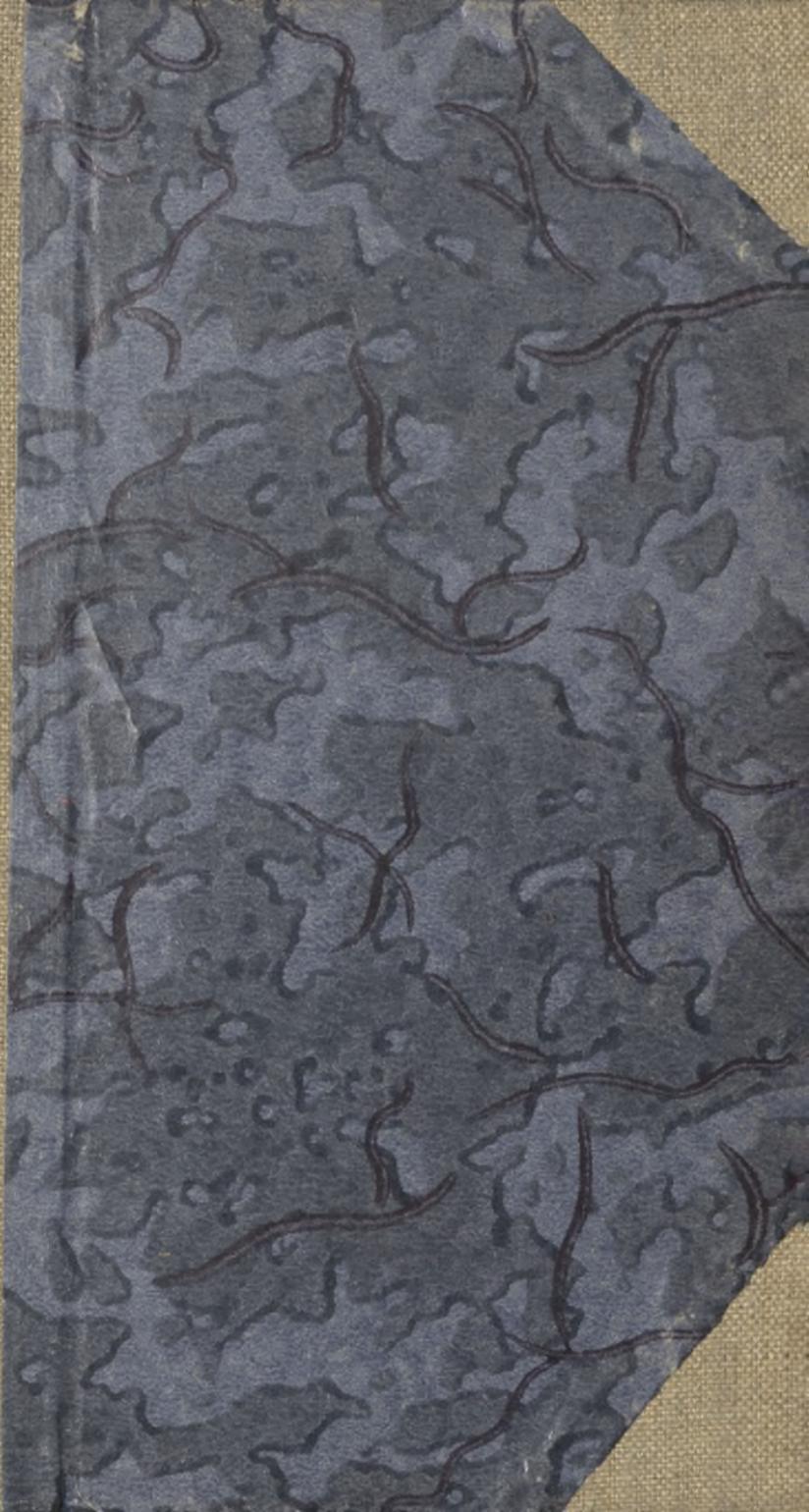


21



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295969

Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

21. Band

Die neueren
Wärmekraftmaschinen

I. Einführung in die Theorie
und den Bau der Gasmaschinen

Von

Richard Vater

weil. Geh. Bergrat, ordentl. Professor
an der Technischen Hochschule Berlin

Sechste Auflage

25. bis 30. Tausend

bearbeitet von

Dr. Fritz Schmidt

Privatdozent
an der Technischen Hochschule Berlin

Mit 45 Abbildungen im Text



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1921

~~1380~~

Vorwort zur fünften Auflage.

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

Berlin, August 1918.

R. Vater.

1-301482

Vorwort zur sechsten Auflage.

Als langjähriger Mitarbeiter des im Januar 1919 verstorbenen verdienstvollen Verfassers habe ich die Bearbeitung der vorliegenden Neuauflage übernommen. Der Inhalt weicht nur in Einzelheiten von der Darstellung der fünften Auflage ab. Zweckmäßig schien mir das in der vorhergehenden Auflage nur im Anhang behandelte Gebiet über die Bestrebungen zur besseren Ausnutzung der Wärmeenergie zu einem selbständigen Abschnitt „Abwärmeverwertung“ — soweit es in dem Rahmen der Darstellung geschehen konnte — auszubauen.

Berlin, Oktober 1920.

Dr. Fritz Schmidt.

Schutzformel für die Vereinigten Staaten von Amerika:
Copyright 1921 by B. G. Teubner in Leipzig

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten

3 PK-R-62/2912
Druck von B. G. Teubner, Dresden

Akc. Nr. _____

~~3581~~ / 49

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort 2

I. Einführung in die allgemeine Theorie der Kraftmaschinen.

1. Grundlegende Sätze aus der Mechanik und Erklärung einiger fachtechnischer Ausdrücke 5
Kraft (5), Arbeit (6), Kraftmaschinen (7), Leistung (8), Pferdestärke (10), Nutzpferdestärke, Indizierte Pferdestärke (11), Mechanischer Wirkungsgrad, Indikator (13), Diagramm (14), Neuere Indikatoren (15), Berechnung der Maschinenleistung (18).
2. Die wichtigsten Sätze aus der mechanischen Wärmelehre 19
Satz von der Erhaltung der Energie (19), Erster Hauptsatz der mechanischen Wärmelehre (20), Absolute Temperatur (23), Zustandsänderungen. Geseze von Gay-Lussac und Boyle (24), Kreisprozeß (28). Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmelehre (29), Thermischer Wirkungsgrad (30), Wirtschaftlicher Wirkungsgrad (31).

II. Überlegenheit der neueren Wärmekraftmaschinen über die älteren.

1. Die älteren Wärmekraftmaschinen 32
Die Dampfmaschine (32), Grund für die schlechte Wärmeausnutzung in Dampfmaschinenanlagen (33), Heißluftmaschinen (35).
2. Die neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen) . . . 36
Verbesserte Wärmeausnutzung bei den neueren Wärmekraftmaschinen (36), Andere Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen (38), Brennstoffkostenvergleich bei Wärmekraftmaschinen (40), Betriebskosten bei Wärmekraftmaschinen (42).

III. Verpuffungsmaschinen für vergaste feste Brennstoffe.

1. Geschichtlicher Rückblick 43
Erste Versuche zum Bau von Gasmaschinen (43), Lenoirmaschine (44), Die atmosphärische Gasmaschine (45), Der „neue Otto“ (47).
2. Die Betriebsmittel 48
Leuchtgas (48), Kraftgas (51), Sauggas (53), Gichtgase und Koks-
ofengase (55).

3. Wirkungsweise der neueren Gasmaschinen	55
Grundbedingungen für zweckmäßiges Arbeiten (55), Viertaktwirkung (58), Mängel der Viertaktwirkung (60), Das Ansaugen (62), Das Verdichten (63), Zündung und Verpuffung (65), Auspuff (66), Zweitaktmaschinen (67).	
4. Der Aufbau der Gasmaschinen	69
Allgemeiner Aufbau (69), Kühlung (71), Steuerung (73).	
5. Die Gasmaschine im Betrieb	76
Zündung (76), Regulierung (78), Regulierung durch Ausseher (79), Gemischregelung (81), Füllungsregelung (82), Verschlechterung des Wirkungsgrades bei abnehmender Leistung (83), Ausführungsbeispiel (86), Das Ingangsehen (87), Anlaufvorrichtungen (88).	
6. Zubehörteile zur Gasmaschine	88
Gasuhr, Druckregler (88), Gummibbeutel, Allgemeine Anordnung (89), Ansaugtopf (91), Auspufftopf (91).	
IV. Verpuffungsmaschinen für bergaste flüssige Brennstoffe.	
1. Allgemeines	92
2. Die Betriebsmittel	93
Die Destillationserzeugnisse des Rohpetroleums (93), Benzol, Spiritus (95), Schweröle (96).	
3. Die Maschinen	96
Benzin- und Benzolmaschine (96), Petroleummaschinen (99), Glühkopfmotoren (100), Spiritusmaschinen (103).	
V. Gasmaschinen mit langsamer Verbrennung (Gleichdruckmaschinen, Dieselmotoren)	
Allgemeines, Hohe Verdichtung (104), Arbeitsweise (105), Regulierung (107), Aufbau und Einzelheiten der Maschine (109), Anlassen (109), Die zum Betriebe geeigneten Brennstoffe (111), Einige weitere Vorteile, Übelstände der Dieselmotoren (111).	
VI. Abwärmeverwertung	
(Bestreben zur besseren Ausnutzung der Wärmeenergie.)	
Allgemeines, Wärmeverteilung bei Gasmaschinen (113), Die in der Abwärme steckende Wärmemenge (114), Ausnutzung der Abwärme (115), Abwärmeverwerter (116).	
Anhang.	
Warum baut man noch Dampfmaschinen?	117
Sachregister	121

I. Einführung in die allgemeine Theorie der Kraftmaschinen.

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

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

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 äußerlich sichtbaren Kräfte, sondern gewisse Bewegungshindernisse, das heißt Reibungswiderstände, die also nach der oben gegebenen Erklärung gleichfalls als Kräfte angesehen werden müssen.

Die Größe der Kräfte wird gemessen durch Gewichte; bekanntlich gilt dabei als Einheit das Kilogramm (kg), das heißt das Gewicht eines Kubikdezimeters (eines Liters) reinen Wassers, dessen Temperatur 4° C beträgt. Sagt man also, ein Arbeiter habe mittels eines Flaschen-

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

zuges 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 der Richtung der Schwerkraft 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.¹⁾ So läßt sich z. B., wenn von Verlusten durch Reibung und sonstigen Verlusten abgesehen wird, unter Auswendung 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

1) Näheres s. des Verf. „Hebezeuge“ (MtuG Bd. 196).

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 soviel Arbeit verrichtet worden als im ersten Falle, und doch können in beiden Fällen die Arbeiten von demselben Arbeiter unter Aufwendung der gleichen Kraft verrichtet worden sein, nämlich dann, wenn beim Heben der doppelt so schweren Last ein Flaschenzug von einer doppelt so großen Anzahl Rollen verwendet wurde. Der Unterschied ist eben nur der, daß die Hand des Arbeiters beim Emporziehen der doppelt so schweren Last infolge des mehrrolligen Flaschenzugs einen doppelt so langen Weg zurückgelegt hat als beim Heben der ersten, leichteren Last.

Um die Größe einer Arbeit zu messen, bedarf es wieder einer Einheit. Als solche dient das Meterkilogramm (mkg), 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 10×40 , das heißt 400 mkg, verrichtet worden, im zweiten Falle dagegen 10×80 , 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 Zug eine Kraft von 40 kg ausüben, seine Hände mußten jedoch dabei allmählich infolge des zweirolligen Flaschenzuges einen Weg von 2×10 m zurücklegen, so daß schließlich die verrichtete Arbeit 40×20 , das heißt 800 mkg, betrug.

Kraftmaschinen. Maschinen, welche mechanische oder Bewegungsarbeit in größerer Menge durch Aufwendung einer anderen Arbeit liefern, bezeichnet man mit dem allgemeinen Namen Kraftmaschinen. In der Bezeichnung scheint allerdings zunächst ein Widerspruch zu liegen, sie hat aber doch ihre Berechtigung. Eine solche Kraftmaschine liefert freilich zunächst nur Arbeit; wirklich nutzbringend wird diese Arbeit jedoch erst

dann sein, wenn sie wiederum in ihre Bestandteile Kraft und Weg zerlegt und die gewonnene Kraft dazu benutzt wird, um durch sie irgend eine nutzbringende Arbeit, wie das Heben von Lasten, Bewegung eines Werkstückes auf der Drehbank und dergleichen, verrichten zu lassen. Mit anderen Worten: gerade so, wie sich die Arbeit in der Kraftmaschine aus Kraft und Weg zusammensetzt, z. B. in der Dampfmaschine aus der an den Kolben wirkenden Dampfkraft und dem von dem Kolben zurückgelegten Weg, so läßt sich auch anderseits die von der Maschine verrichtete Arbeit in ganz beliebiger Weise in die einzelnen Faktoren Kraft und Weg zerlegen.

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

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 (mkg/sk). Man versteht also z. B. unter einer Leistung von 20 mkg/sk diejenige Arbeit, welche aufgewendet werden mußte, um in einer Sekunde entweder 20 kg 1 m hoch oder 1 kg 20 m hoch oder auch 10 kg 2 m hoch usw. zu heben.

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

Kehren wir noch einmal zurück zu dem früher besprochenen Beispiele von dem 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 mkg/sk. 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 mkg/sk. 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, d. h. für leistungsfähiger wird man jedoch offenbar diejenige Kraftmaschine ansehen müssen, welche imstande ist, eine gewisse Menge Wasser auf eine bestimmte Höhe in möglichst kurzer Zeit zu heben. Man spricht deshalb bei Kraftmaschinen immer von ihren Leistungen, das heißt: man fragt stets, welche Arbeit kann die Maschine in einer bestimmten Zeit verrichten.

Pferdestärke. Für die gewöhnlich vorkommenden Fälle ist dabei jedoch die oben erwähnte Einheit des Sekundenmeterkilogramms zu klein, das heißt: die Zahlen, durch welche man die Leistungen ausdrückt, würden für die Rechnung zu unbequem groß werden; man pflegt daher statt dessen eine größere Einheit anzuwenden, die sogenannte Pferdekraft oder besser Pferdestärke (PS), welche 75 mkg/sk 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 usw.

Der Begriff Pferdekraft oder Pferdestärke enthält eine gewisse Unklarheit. Man denkt dabei zunächst unwillkürlich an die Kraft, d. h. an die Fähigkeit eines Pferdes, irgendeine schwere Last von der Stelle zu bewegen. Daß es hierauf bei dem Begriffe Pferdekraft gar nicht 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-and-so viele Pferdestärken. Es verdient dabei übrigens hervorgehoben zu werden, daß nur die wenigsten Pferde imstande sind, 1 PS, d. h. 75 mkg/sk, wirklich eine längere Zeit hindurch zu leisten. Im allgemeinen kann man sagen, daß die dauernde Leistung eines Pferdes

wohl nur in seltenen Fällen etwa 60 mkg/sk übersteigt. Andererseits ist es aber vielleicht gut, sich darüber klar zu werden, daß selbst ein Mensch, der nicht einmal übermäßig kräftig zu sein braucht, gelegentlich eine PS zu leisten vermag, freilich nur während kurzer Zeit. Denken wir uns z. B. den Fall, daß ein Mann, dessen Gewicht mit Kleidung gerade 75 kg beträgt, eine Treppe rasch hinaufläuft. Eine 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. Tat er dies aber, und nehmen wir an, daß die Zeit, die dazu verwendet wurde, gerade eine Sekunde dauerte, so hat der Betreffende in einer Sekunde sein eigenes Gewicht (75 kg) 102 cm hoch gehoben, mit anderen Worten: er hat eine Sekunde lang sogar noch etwas mehr als eine PS geleistet.

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

Nutzpferdestärke. Es sind nun noch zwei Ausdrücke zu erläutern, welche in der Technik gerade bei Kraftmaschinen sehr viel angewendet

1) S. auch des Verf. Abhandlung „Pferdestärke“ in Dinglers Polytechn. Journal Bd. 331, Heft 9.

werden: die Ausdrücke effektive oder Nutzpferdestärke und indizierte oder aufgezeichnete Pferdestärke. Unter effektiver oder Nutzpferdestärke versteht man, wie das in dem Worte selbst zum Ausdruck kommt, diejenige Leistung, welche eine Kraftmaschine effektiv, das heißt tatsächlich nutzbringend abzugeben imstande ist. Denken wir uns z. B. eine Dampfmaschine, deren sehr breites Schwungrad als Trommel ausgebildet ist; an dieser Trommel sei ein Seil befestigt, welches wir uns für einen Augenblick als gewichtslos vorstellen wollen, und an diesem Seile hänge, etwa tief unten in einem Schachte, ein Gewicht. Hat nun die betreffende Dampfmaschine eine Leistung von 100 Nutzpferdestärken ($100 PS_n$), so heißt das: mittels dieser Dampfmaschine sind wir imstande, ein Gewicht von 100×75 kg in jeder Sekunde 1 m hoch zu heben. Diese Größe der Nutzpferdestärken ist es nun, welche für den Gewerbetreibenden einzig und allein von Wichtigkeit ist. Der Gewerbetreibende will wissen, wieviel Kilogramm Dampf oder wieviel Kilogramm Kohle er braucht, um mit seiner Dampfmaschine eine Nutzpferdestärke ($1 PS_n$) zu erreichen, und er wird im allgemeinen diejenige Dampfmaschine für die beste erklären, welche dafür den geringsten Verbrauch an Dampf und an Kohlen verlangt.

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

können, wenn nicht ein Teil davon in der Maschine selbst durch unvermeidliche Verluste infolge von Reibung verloren ginge. Man nennt sie die indizierte Leistung der Maschine und würde also sagen, die Maschine hat eine Leistung von 40 indizierten Pferdestärken (40 PS_i).

Mechanischer Wirkungsgrad. Die Anzahl der PS_n, welche eine solche Maschine von 40 PS_i abzugeben imstande ist, kann verschieden sein, je nach der Sorgfalt, welche beim Bau der Maschine verwendet wurde. Bei einigermaßen guter Ausführung dürfte die Anzahl der PS_n

etwa 34 betragen, und man nennt nun das Verhältnis $PS_n : PS_i = \eta_m$ den mechanischen Wirkungsgrad der Maschine, der also in die-

sem Falle $\eta_m = 34 : 40 = 0,85$ betragen würde, das heißt 85 v. H. der von dem Dampfe im Zylinder wirklich verrichteten Arbeit kann diese Maschine nutz-

bringend abgeben, während 15 v. H. durch Reibung in der Maschine selbst verloren gehen. Von diesem mechanischen

Wirkungsgrade ist zu unterscheiden der sogenannte thermische Wirkungsgrad einer Kraftmaschine, welcher weiter unten erläutert werden soll.

Indikator. Da gerade der Ausdruck „indizierte Pferdestärke“ für die folgenden Untersuchungen von besonderer Bedeutung ist, dürfte es angebracht sein, eine Erklärung dafür zu geben, warum man diese Zahl indizierte Pferdestärken nennt. „Indizieren“ kommt von dem lateinischen Worte indicare, anzeigen, und die schon von Watt erfundene Vorrichtung, welche dazu dient, die Anzahl der indizierten PS zu messen, heißt der Indikator, seine Einrichtung wird durch die Skizze Abb. 1 erläutert. Es sei *a* der Zylinder, *b* der Kolben, *c* die 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,

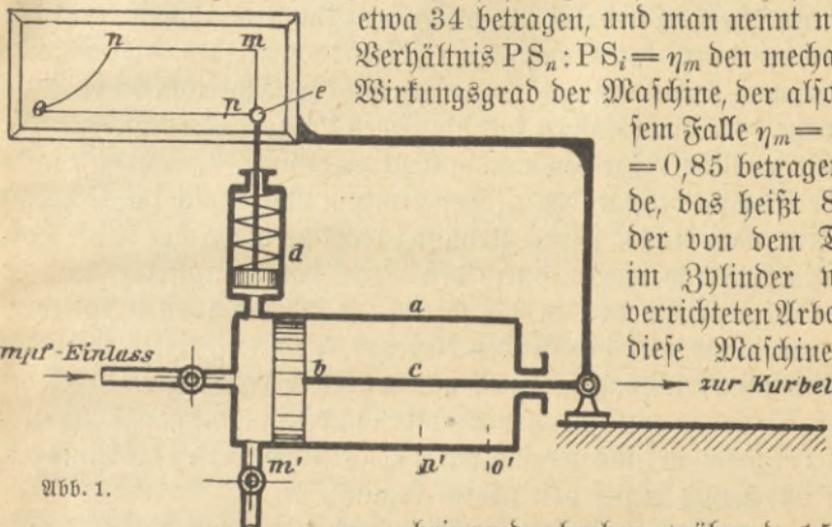


Abb. 1.

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

Diagramm. Den Linienzug $p m n o p$ nennt man nun das Diagramm oder Schaubild der Maschine, und es läßt sich mit seiner Hilfe 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.¹⁾ Man mißt nun den Dampfdruck nach Atmosphären (at) und sagt, der Dampf drücke auf eine Fläche mit 1, 2, 3 . . . at, wenn er auf jeden Quadratcentimeter einer Fläche gerade einen Druck von 1, 2, 3 . . . kg ausübt. Da die der Dampfeinströmung abgewendeten Kolbenseiten in unserem Falle mit der Außenluft in Verbindung stehend gedacht sind, so wird, wenn z. B. von einem Dampfdrucke von 1 at gesprochen wird, der Dampf natürlich erst dann auf jeden Quadratcentimeter der Kolbenflächen einen für Kräfteerzeugung verwendbaren Druck von 1 kg ausüben können, wenn seine Spannung den Druck der Außenluft um 1 at übersteigt. Man sagt in diesem Falle, der Dampf habe eine Spannung von 1 at Überdruck.

1) S. des Verf. „Technische Wärmelehre“ (MKG Bd. 516).

Zum Zwecke der Berechnung der indizierten Leistung wollen wir annehmen, daß durch vorhergehende Versuche festgestellt sei, es werde bei einem Dampfdrucke von 1, 2, 3, 4... at die Feder über dem kleinen Kolben um 1, 2, 3, 4... cm zusammengedrückt. Drückt nun der Dampf auf die Kolben mit einer Spannung von 1 at 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 $1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$ Länge, und es hat dabei der große Kolben eine Arbeit verrichtet von $1000 \times 0,01 = 10$ mkg. Wir sehen demnach, daß jedem Quadratcentimeter Flächeninhalt des Diagrammes eine Arbeit von 10 mkg entspricht. Die im ganzen von dem Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtete Arbeit wird sich also bei der angenommenen Stärke der Feder aus dem Diagramm in sehr einfacher Weise dadurch berechnen lassen, daß man den Flächeninhalt des Diagrammes in Quadratcentimetern feststellt und die erhaltene Zahl mit 10 multipliziert. Nehmen wir an, daß der Flächeninhalt des Diagrammes 180 qcm beträgt, so ist die von dem Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtete Arbeit $180 \times 10 = 1800$ mkg. Macht die Maschine 60 Umdrehungen in der Minute, d. h. wird in jeder Sekunde ein solches Diagramm durchlaufen, so ist die Leistung der Maschine 1800 mkg/sk oder in PS ausgedrückt $1800 : 75 = 24$ PS. Eine andere Art der Berechnung siehe weiter unten S. 18. 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 ebensolches Diagramm, nur in umgekehrter Weise, beschrieben, und die Gesamtleistung der Maschine ergibt sich einfach durch Verdoppelung der oben gefundenen Leistung.

Neuere Indikatoren. Die heutzutage übliche Einrichtung der Indikatoren ist allerdings etwas anders. Bei der vorstehend beschriebenen Anordnung erhält nämlich das Diagramm eine unbequem große Länge. Es muß daher, um eine etwas handlichere Form zu bekommen, dafür gesorgt werden, daß die Maschine das Diagramm in stark verkürzter Form aufzeichnet. Abb. 2 u. 3 stellen die Form eines heutzutage üblichen Indikators dar. Das Wesentliche dieser Einrichtung besteht darin, daß

das Diagramm nicht auf eine hin und her gehende ebene Tafel, sondern auf eine sich drehende Trommel aufgezeichnet wird, welche durch eine in ihrem Innern befindliche Spiralfeder (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

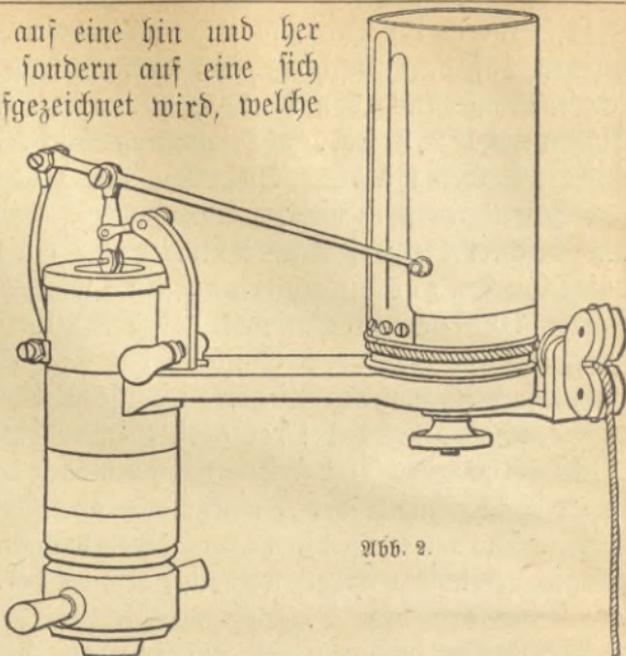


Abb. 2.

die Drehung der kleinen Trommel dem Hube der „zu indizierenden“ Maschine anzupassen und somit immer ein möglichst langes Diagramm zu erhalten, wird das erwähnte Schnur nicht stange unmittelbar be-

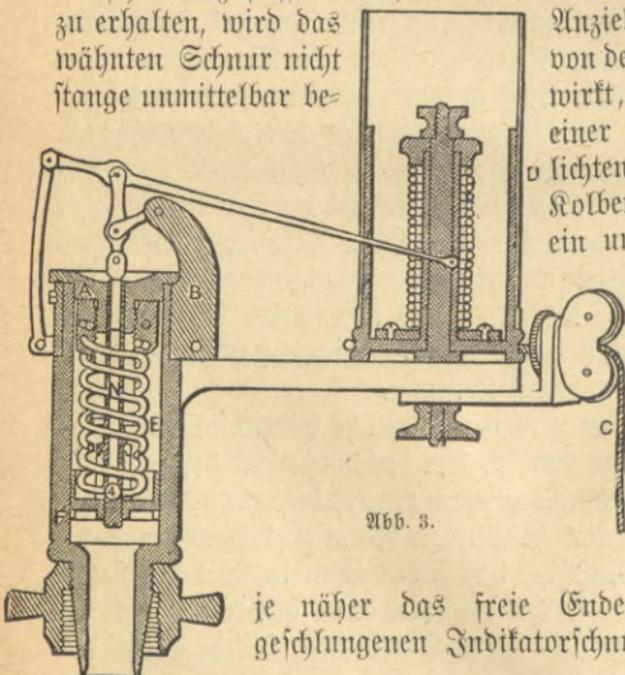
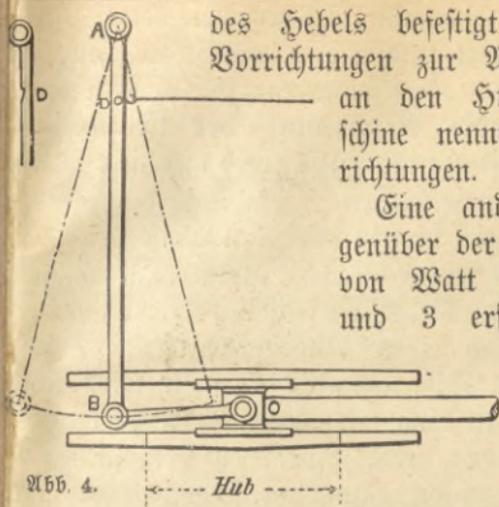


Abb. 3.

Anziehen und Nachlassen der er- von dem Kolben oder der Kolben- wirkt, sondern z. B. vermittels einer durch Abb. 4 veranschaulichten Vorrichtung: durch die Kolbenstange der Maschine wird ein um den Punkt A schwingender Hebel bewegt, an dessen oberem Teile die zur Indikatortrommel führende Schnur befestigt ist, so daß die Drehung der Indikatortrommel um so kleiner, das Diagramm also um so kürzer ausfällt,

je näher das freie Ende der um die Trommel geschlungenen Indikatorscheur an dem Drehpunkte A



des Hebels befestigt wird. Solche oder ähnliche Vorrichtungen zur Anpassung der Diagrammlängen an den Hub der zu indizierenden Maschine nennt man Hubverminderungsvorrichtungen.

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

Ein weiterer Vorzug dieser Art von Diagrammen möge hier noch kurz erwähnt werden. Gegenüber den mit der früher besprochenen 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 offenbar die bequemere, da man, weil ja die wagerechte Länge des Diagramms den Kolbenhub darstellt, durch ein einfaches Hinanmessen sofort die Spannung erkennen kann, welche bei einer gegebenen Kolbenstellung

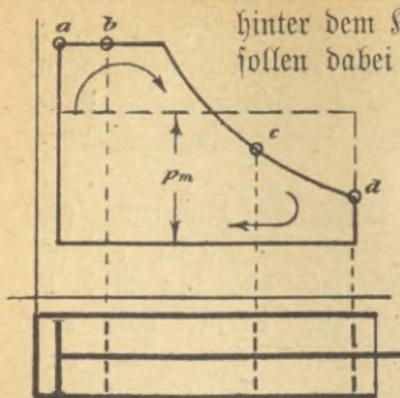


Abb. 5.

hinter dem Kolben herrscht. Die eingezeichneten Pfeile sollen dabei die Art und Weise veranschaulichen, in welcher das Diagramm durchlaufen wird.

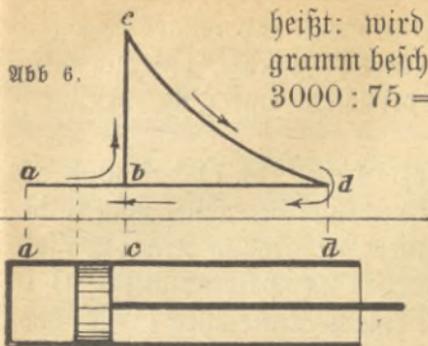
Die Berechnung der Maschinenleistung mit Hilfe eines auf diese Weise aufgezeichneten Indikatorgramms könnte nun in derselben Weise geschehen wie früher (S. 15), indem man zunächst durch Rechnung feststellt, wieviel Arbeit durch einen Quadratcentimeter Fläche des Diagramms dargestellt wird usw.

Man kann sich aber auch eines wesent-

lich einfacheren Verfahrens bedienen. Stellt Abb. 5 ein von einem solchen Indikator aufgezeichnetes Dampfdiagramm vor, so verwandelt man die Fläche des Diagramms (gewöhnlich mit Hilfe eines besonderen kleinen Instruments, Planimeter genannt) in ein Rechteck von gleichem Flächeninhalt und zwar von der Länge des Diagramms. Die Höhe dieses Rechtecks stellt dann p_m dar (Abb. 5) und seine Länge, wie aus den früheren Erörterungen hervorgeht, die Länge des Kolbenhubes, 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 at (oder 1 kg f. d. qcm) einer Senkrechten von 0,5 cm im Diagramm entspricht, so wäre der sogenannte „mittlere indizierte Druck des Diagramms“ $p_m = \frac{2}{0,5} = 4$ at; der während des ganzen Kolbenhubes gleichbleibend gedachte

Kolbendruck würde dann betragen $4 \times 1000 = 4000$ kg, die während eines Kolbenhubes geleistete Arbeit $4000 \times 0,75 = 3000$ mkg. Wird nur auf einer Kolbenseite ein solches Diagramm beschrieben, während die andere Kolbenseite dauernd mit der Außenluft in Verbindung steht, und macht die Maschine wieder 60 Umdrehungen in der Minute, das

Abb 6.



heißt: wird in jeder Sekunde ein solches Diagramm beschrieben, so ist die Leistung der Maschine $3000 : 75 = 40 \text{ PS.}$

Bei der großen Wichtigkeit der eben angestellten Untersuchungen für die ganze folgende Abhandlung möge hier als Beispiel noch das theoretische Diagramm einer besonderen Art von Gasmaschine kurz erläutert werden.¹⁾

Der durch das obenstehende Dia-

gramm (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 spannungslosen Gase aus dem Zylinder heraus. Die von dem Kolben geleistete Arbeit wird wiederum durch die Fläche des Diagramms, d. h. durch die Fläche *bcdb*, dargestellt.

2. Die wichtigsten Sätze aus der mechanischen Wärmelehre.²⁾

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, d. h. gleichwertig seien, mit anderen

1) Näheres über diese Gasmaschine (Lenoirmaschine) s. S. 44.

2) Näheres s. des Verf. „Einführung in die technische Wärmelehre“ (ARuG Bd. 516).

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. 7) das mkg als Einheit gefunden; als Einheit der Wärmemenge bezeichnet man in der Physik diejenige Wärmemenge, welche einem Kilogramm reinen Wassers von 0°C zugeführt werden muß, um dessen Temperatur auf 1°C zu erhöhen, und nennt diese Wärmemenge eine Wärmeeinheit (WE) oder Kalorie (Cal). Die Zahl nun, welche angibt, wieviel mkg durch 1 WE gewonnen werden können — sie ist durch neuere Versuche und Rechnung zu 427 festgestellt —, nennt man das mechanische Wärmeäquivalent (den mechanischen Wärmewert oder den Arbeitswert der Wärme); den umgekehrten Wert $1 : 427$, der also angibt, wieviel Wärmeeinheiten durch Anwendung 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 bei Vermeidung von Verlusten stets eine Arbeit von 427 mkg und umgekehrt durch Anwendung einer Arbeit von 1 mkg immer eine Wärmemenge von $1 : 427$ WE erzeugen läßt.

Der Satz zeigt, daß es unrichtig oder wenigstens ungenau ist, wenn man, z. B. bei Kraftmaschinen, von einer Krafterzeugung spricht. Erzeugung von Kraft oder richtiger Erzeugung von Arbeitsvermögen gibt es nicht. In welcher Weise auch immer ein Arbeitsvermögen scheinbar erzeugt worden sein mag, stets stellt es sich heraus, daß diese Arbeit oder das erlangte Arbeitsvermögen durch Umwandlung eines anderen Arbeitsvermögens gewonnen wurde. Auf diesem Wege weiter fortschreitend gelangt man schließlich zu dem ebenfalls von Robert Mayer zuerst in bestimmter Weise ausgesprochenen berühmten Satze von der Erhaltung der Energie.¹⁾ 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.

1) Vgl. Anm. zu S. 5.

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 entstehen, so finden wir in diesem Gefäße genau das Gewicht wieder, welches der Alkohol vor seiner Verbrennung gehabt hat, vermehrt um das Gewicht des zur Verbrennung verbrauchten 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. 7 gefunden haben, eine Arbeit von 400 mkg verrichtet werden. Diese Arbeit ist nicht verloren, wir können jederzeit die 400 mkg wieder nutzbringend verwenden, z. B. 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 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, z. B. auf eine Mauer, verliert die Kugel ihre Kraft, das heißt: das ihr innewohnende Arbeitsvermögen wird abermals in andere Formen umgewandelt: sowohl der Teil der Mauer, auf welchen die Kugel trifft, wie die Kugel selbst werden beim Aufschlagen heiß, die Kugel oft so sehr, daß sie zum Schmelzen kommt. Diese Wärme verliert sich allerdings bald, aber nur dadurch, daß sie wieder auf die umliegenden Luftteilchen, auf den Boden usw. übertragen wird. Wenn sich diese Luft- oder Bodenteilchen wieder abkühlen, so kann auch das nur geschehen, indem sie ihre Wärme auf andere Körper, sei es wieder in Form von Wärme, sei es wieder in irgendeiner anderen Form von Arbeitsvermögen, übertragen. So zerstreut sich also zwar das Arbeitsvermögen, welches durch das Entzünden des Pulvers im 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 vor Jahrtausenden aufgesparte Sonnenwärme.)

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

1) Vgl. auch A. Stein, Die Lehre von der Energie (ANuG Bd. 257).

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°C beträgt, d. h. wenn seine Temperatur der des schmelzenden Eises gleich ist. Ein solcher Körper besitzt immer noch Wärme, ist also immer noch sehr wohl imstande, Wärme, d. h. Arbeit abzugeben. Der Zustand der Wärmelosigkeit tritt vielmehr, wie man annimmt, erst dann ein, wenn die Temperatur den sogenannten absoluten Nullpunkt erreicht hat, eine Temperatur, welche 273° unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegt.¹⁾ Es ist nämlich durch Versuche ermittelt worden, daß irgendein Gas, dessen Temperatur 0°C beträgt, sich um den 273. Teil seines Volumens ausdehnt, wenn seine Temperatur um 1° 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°C aus gemessen, um 3° zu, so beträgt auch die Volumenzunahme $\frac{3}{273}$, nimmt die Temperatur um 3° unter Null ab, so nimmt auch das Volumen des Gases um $\frac{3}{273}$ ab. Nach dieser Betrachtung müßte bei einer Temperaturabnahme von 273° 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 Grenz- zustand, eine angenommene Größe dar.²⁾ 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 be-

1) Vgl. auch H. Alt, Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Bewertung (AnnG Bd. 311).

2) Vgl. Ann. S. 20.

zeichneten Temperaturen. Sagt man also z. B., die absolute Temperatur eines Gases sei $T = 300^\circ$, so heißt das: die Temperatur beträgt, mit Thermometern der gewöhnlichen Skala (nach Celsius) gemessen, $t = 300 - 273 = 27^\circ \text{C}$.

Zustandsänderungen. Gesetze von Gay-Lussac und Boyle. Denke wir uns 1 kg irgendeines Gases in einem Zylinder eingeschlossen, in welchem es also ein bestimmtes Volumen einnimmt, dessen Größe wir mit v bezeichnen wollen. Das Gas besitze eine Temperatur T und drückt dabei auf einen in dem Zylinder beweglichen, dicht schließenden Kolben mit einer Kraft, deren Größe für jeden Quadratmeter Kolbenfläche $P \text{ kg}$ betrage. Dann sagt man, das Gas befinde sich in einem gewissen Zustande und zwar in einem Zustande, welcher durch die Größe jenes Volumens, durch die Höhe der Temperatur, sowie durch die Größe des auf die Flächeneinheit (qm) ausgeübten Druckes vollständig bestimmt ist. In unserem Falle würden wir also sagen, das Gas befinde sich in dem Zustande v, P, T . Jede Änderung einer oder mehrerer dieser drei Größen bedingt sofort eine Änderung des früheren Zustandes. Lassen wir zum Beispiel die Temperatur zunehmen, indem wir das Gas in dem Zylinder in irgendeiner Weise erwärmen, jedoch so, daß das Volumen sich nicht ändert, d. h. so, daß der in dem Zylinder befindliche Kolben seine frühere Lage beibehält, dann wird die Folge sein, daß die Spannung des Gases sich ändert. Man sagt, das Gas habe eine Zustandsänderung durchgemacht, es ist von dem Zustande v, P, T in den Zustand v, P_1, T_1 übergeführt worden.

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

1. Zustandsänderung bei gleichbleibendem Volumen. Das Gas geht aus dem Zustande P, v, T in den Zustand P_1, v, T_1 über. Diese Zustandsänderung tritt dann ein, wenn der in dem Zylinder befindliche Kolben festgehalten und dabei dem Gase Wärme entzogen oder zugeführt wird. Wird dem Gase bei dieser Anordnung Wärme zugeführt, steigt also seine Temperatur, so steigt auch die Spannung, wird ihm Wärme entzogen, so fällt die Spannung und zwar, wie das von dem französischen Physiker Gay-Lussac zuerst aufgestellte und nach

ihm benannte Gesetz besagt, in der Weise, daß (bei gleichbleibendem Volumen) die Spannungen sich verhalten wie die absoluten Temperaturen. Das heißt: wird durch die zugeführte Wärme die absolute Temperatur auf das 2, 3, 4 . . . -fache gesteigert, so nimmt auch die Spannung des Gases um das 2, 3, 4 . . . -fache zu und umgekehrt. Da wir uns den im Zylinder befindlichen Kolben festgehalten dachten, 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, jedoch immer so, daß die Spannung hinter dem Kolben dieselbe bleibt. Hier sagt nun eine andere Form des Gay-Lussacschen Gesetzes, daß (bei gleichbleibender Spannung) die Volumina sich verhalten wie die absoluten Temperaturen; das heißt: wird dem Gase zum Beispiel Wärme zugeführt, und soll dabei die Spannung gleichbleiben, so kann das nur in der Weise geschehen, daß bei einer Erhöhung der absoluten Temperatur um das 2, 3, 4 . . . -fache das Volumen des Gases um das 2, 3, 4 . . . -fache gesteigert wird. Bei Abkühlung des Gases, das heißt bei Wärmeentziehung, findet natürlich der umgekehrte Fall statt. Der Indikator beschreibt, da die Spannung dieselbe bleibt, der Kolben im Zylinder aber vorwärts schreitet, eine gerade, wagerechte Linie.

3. Zustandsänderung bei gleichbleibender Temperatur. Das Gas geht von dem Zustande P, v, T in den Zustand P_3, v_3, T über. Diese Zustandsänderung hat einen ganz bestimmten Namen, man nennt sie die isothermische Zustandsänderung (von den griechischen Worten *isos*, gleich, und *thermos*, die Wärme). Wenn dem Gase Wärme zugeführt werden soll, ohne daß sich seine Temperatur erhöht, so ist das offenbar nur dadurch möglich, daß dem Gase Gelegenheit gegeben wird, sich in geeigneter Weise auszudehnen. Ist dies aber der Fall, das heißt: dehnt sich das Gas, während ihm Wärme zugeführt wird, in der Weise aus, daß seine Temperatur sich nicht ändert, so besagt das zuerst vom englischen Physiker Boyle ausgesprochene (häufig allerdings nach dem französischen Physiker Mariotte benannte) Gesetz, daß in jedem Augenblicke die Volumina des Gases sich umgekehrt verhalten zu den betreffenden Spannungen. Mit anderen Worten: ist das

Volumen des Gases infolge der Wärmezuführung um das 2, 3, 4 . . . -fache gewachsen, ohne daß sich dabei die Temperatur des Gases geändert hat, so beträgt die Spannung des Gases nur noch den 2., 3., 4. . . Teil der anfänglichen Spannung.

Eine solche isothermische Zustandsänderung kann natürlich auch in umgekehrter Weise stattfinden. Wir hatten früher gesehen: wenn man Gas, welches in einem Zylinder eingeschlossen ist, etwa durch Zusammendrücken vermittels eines Kolbens verdichtet, so wird es im allgemeinen erwärmt. Sorgt man jedoch durch entsprechende Wärmeabführung, d. h. 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 gesunken, sie hat also nur noch die Größe $2b$. Hat sich das Volumen verdreifacht, das heißt: hat es die Größe 03 angenommen, so ist die Spannung auf den dritten Teil der Größe von $1a$, das heißt auf die Größe $3c$ gesunken usw. Die Verbindung der Punkte abc . . . gibt dann also die Gestalt der isothermischen Kurve, und man kann durch einfaches Hinauftragen irgend-einer Kolbenstellung sofort abmessen, welches die zugehörige Spannung des Gases in dem betreffenden Augenblicke ist.¹⁾

4. Zustandsänderung ohne Zuführung und 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

1) Bezügl. Aufzeichnung der Kurven vgl. des Verf. „Technische Wärmelehre“ (ARuG Bd. 516).

Zustand übergeführt. In diesem Falle werden sich sowohl Volumen wie Spannung und Temperatur des Gases ändern, das heißt: das Gas wird aus dem Zustande v, P, T in den Zustand v_4, P_4, T_4 übergehen. Man nennt diese Zustandsänderung eine adiabatische Zustandsänderung (von dem griechischen Worte *adiabaino*, nicht hindurchdringen).

Diese Zustandsänderung geht nach einem ganz bestimmten Gesetze vor sich, welches jedoch weniger einfach ist als die Gesetze von Boyle und Gay-Lussac. Der Indikator beschreibt in diesem Falle ebenfalls eine Kurve, welche der isothermischen Kurve ähnlich ist, aber sich rascher der Wagerechten nähert. Ihre Gestalt ist z. B. für Luft in Abb. 7 strichiert angedeutet.¹⁾

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

5. 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-Boyle'sche Gesetz genannt wird. Dieses Gesetz besagt, daß bei irgendeiner Zustandsänderung in jedem Augenblicke das Produkt aus der Spannung,

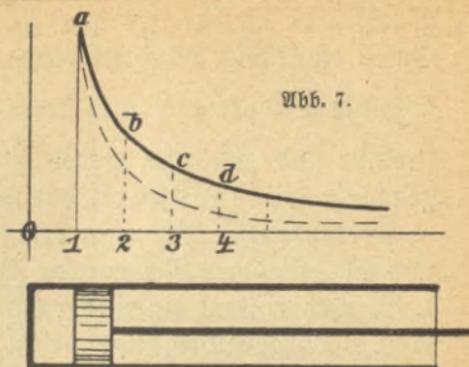


Abb. 7.

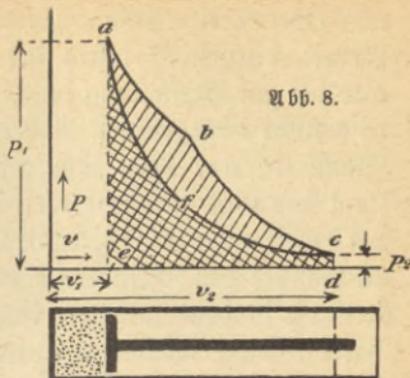
1) Vgl. des Verf. „Technische Wärmelehre“ (AMUG Bd. 516 Abschn. 1).

gemessen in kg für das q_m , und dem Volumen, welches ein kg des Gases einnimmt, dividiert durch die in diesem Augenblicke herrschende absolute Temperatur, also der Ausdruck $\frac{Pv}{T}$, bei jedem Gase eine bestimmte und zwar bei diesem Gase stets gleichbleibende Größe, die sogenannte Gaskonstante, darstellt.

Kreisprozeß. Die eben erläuterten Zustandsänderungen lassen sich nun in beliebiger Reihenfolge einem Gase mittheilen. Betrachten wir z. B. noch einmal ein Diagramm, entsprechend dem auf S. 19 durch Abb. 6 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, d. h. 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, d. h. das Gas mache eine adiabatische Zustandsänderung durch und werde dadurch allmählich in den im Punkte d herrschenden Zustand v_2, P, T_2 übergeführt. Von diesem Punkte an sorgen wir in geeigneter Weise dafür, daß dem Gase Wärme entzogen wird und zwar so, daß seine im Punkte d herrschende Spannung sich nicht ändert. Sein Volumen nimmt wieder ab, und das Gas gelangt schließlich wieder in den Zustand v, P, T , von dem wir ausgegangen waren.

Hat ein Gas eine Reihe solcher Zustandsänderungen durchgemacht und zwar in der Weise, daß es dabei, wie in dem eben besprochenen Beispiele, in seinen Anfangszustand zurückkehrt, so sagt man, das Gas habe einen Kreisprozeß durchlaufen, und es ist, z. B. an Hand des eben besprochenen Beispiels jener Gasmaschine, leicht einzusehen, daß durch eine fortwährende Wiederholung solcher Kreisprozesse in einer Kraftmaschine fortlaufend Wärme in Arbeit umgewandelt werden kann. Eine einfache Überlegung zeigt nun aber auch, daß es erstens einmal eine große Anzahl solcher Kreisprozesse geben muß, denn es wird sich offenbar durch eine geeignete Reihenfolge der obengenannten Zustandsänderungen der Anfangszustand in sehr verschiedener Weise wieder erreichen lassen. Es ergibt sich aber auch noch etwas anderes: Wenn wir fortwährend Arbeit erzeugen wollen, dadurch, daß wir ein Gas einen Kreisprozeß durchmachen lassen, so kann dies nicht etwa bloß dadurch geschehen, daß wir dem Gase Wärme zuführen, sondern wir müssen stets wenigstens einen Teil dieser Wärme dabei auch wieder abgeben.

Ein Beispiel wird das eben Gesagte erläutern. Wir wollen uns (Abb. 8) einen Zylinder denken, in welchem 1 kg eines Gases vom Volumen v_1 und der Spannung P_1 eingeschlossen ist. Dadurch, daß wir auf irgendeine Weise Wärme zuführen, dehne sich das Gas zunächst isothermisch von a bis b und nachher ohne weitere Wärmezuführung, also adiabatisch, von b bis c aus, so daß es schließlich das Volumen v_2 und die Spannung P_2 besitzt.



Die von rechts oben nach links unten gestrichelte Fläche $abcde$ stellt dann die von dem Gase während seiner Ausdehnung geleistete Arbeit dar, welche mit Hilfe des Kolbens in irgendeiner Weise nutzbringend verwendet, also z. B. vermöge eines Kurbelgetriebes in das Schwungrad einer Maschine hineingeschickt werden könnte. Da nun aber das Gas einen Kreisprozeß durchmachen soll, also wieder auf das Volumen v_1 und die Spannung P_1 gebracht werden soll, so ist dazu, wie man aus der Abbildung erkennt, eine Arbeit nötig, welche durch die von links nach rechts gestrichelte Fläche $dcfae$ dargestellt wird. Man sieht also, wie ein Teil der vorhin von dem Gase geleisteten Arbeit (und demgemäß auch ein Teil der vorher zugeführten Wärme) wieder verbraucht, gewissermaßen wieder an die Natur zurückgeliefert werden muß, um das Gas wieder auf seinen Anfangszustand zu bringen, von dem aus der neue Kreisprozeß beginnen soll. Die Tatsache, daß bei fortlaufender Umwandlung von Wärme in Arbeit immer nur ein Teil der zugeführten Wärme in nutzbare Arbeit umgewandelt werden kann, ist eine Ausdrucksform für den sogenannten **zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie**.

Es könnte so scheinen, als ob die eben angestellten Betrachtungen eine Einschränkung des früher (S. 20) angeführten ersten Hauptsatzes darstellen, des Satzes nämlich, daß sich mit 1 WE stets eine Arbeit von 427 mkg erreichen lasse. Diese Einschränkung ist natürlich nur scheinbar. Bleiben wir bei dem eben besprochenen Beispiele, so erkennt man, daß durch die dem Gase zugeführte Wärme tatsächlich eine Arbeit geleistet worden ist, welche, dargestellt durch die von rechts oben nach links unten gestrichelte Fläche $abcde$, der durch den ersten Hauptsatz festgelegten Größe entsprechen würde. Nur setzt sich eben diese Arbeit

aus zwei Theilen zusammen: erstens aus der nach außen abgegebenen Arbeit, dargestellt durch die einfach gestrichelte Fläche, und zweitens aus der zur Herstellung des Anfangszustandes verbrauchten, nach außen also nicht abgegebenen Arbeit, dargestellt durch die doppelt gestrichelte Fläche *defae*. Nun könnte jemand sagen, es wäre doch denkbar, daß man das Gas sich sehr weit ausdehnen läßt, so daß seine Temperatur bei c weit unter $0^{\circ} C$ beträgt, und man könnte nun während des Kolbenrückganges den Zylinder vermöge irgendeiner Kälteflüssigkeit, deren Herstellung ja heute möglich ist, dauernd auf sehr niedriger Temperatur halten. Dann würden auch während des Kolbenrückganges Temperatur und Druck des eingeschlossenen Gases dauernd sehr tief liegen und dadurch könnte die doppelt gestrichene Fläche sehr klein, ja sogar fast gleich Null gemacht werden. — An sich wäre das natürlich möglich, und doch wäre dadurch gar nichts gewonnen! Das wäre nämlich gerade so, als wenn jemand die Leistung eines Wasserfalles dadurch vergrößern wollte, daß er das durch den Wasserfall getriebene Wasserrad (oder die Wasserturbine) auf den Grund eines sehr tiefen Brunnens setzen wollte. Offenbar hätte er dadurch gar nichts gewonnen; denn, wenn das Wasserrad nicht ersaufen sollte, so müßte er das Wasser doch wieder auf die Erdoberfläche hinauspumpen, er müßte also durch das Hinauspumpen gerade wieder so viel Arbeit leisten, als er durch das Tieferstellen des Wasserrades an Arbeit gewonnen hätte. Genau dasselbe ist aber bei dem obigen Beispiele der Fall. Man kann heutzutage allerdings sehr tiefe Temperaturen erzeugen, entsprechend dem Graben eines sehr tiefen Brunnens. Aber dieses Erzeugen sehr tiefer Temperaturen ist nur möglich durch Aufwendung von Arbeit, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man einmal in eine Eisfabrik geht und sich dort ansieht, wie die Maschinen zur Herstellung des Eises durch große Dampfmaschinen angetrieben werden. Man sieht also, ein künstliches Abkühlen des Zylinders auf sehr tiefe Temperaturen entspricht einem Aufwande von Arbeit, eine Ersparnis an Arbeit wird also bei der oben erwähnten künstlichen Abkühlung nicht erreicht.

Thermischer Wirkungsgrad. Kennt man die Größe der zugeführten Wärmemenge sowie die Größe der abgeführten Wärmemenge, so läßt sich daraus nach dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit mit Leichtigkeit die Arbeit berechnen, welche bei dem Durchlaufen eines solchen oben erwähnten Kreisprozesses theoretisch geleistet wurde. Die zugeführte Wärme wird sich nun wohl meist ziemlich genau be-

stimmen lassen, dagegen wird es in den meisten Fällen unmöglich sein, durch unmittelbare Messung die Größe der abgeführten Wärmemenge festzustellen. Sie ergibt sich jedoch gewöhnlich auf einem kleinen Umwege einfach dadurch, daß man mit Hilfe des Indikatorgramms 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, d. h. 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 η_t bezeichnet werden.

Ein Beispiel wird diese Betrachtung erklären. Es liege eine Gasmaschine vor, deren indizierte Leistung 10 PS_i und deren stündlicher Leuchtgasverbrauch für jede PS_i 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 Pferdestärkenstunde (PS-st) geleistet worden. Nun entspricht aber, wie sich aus den früheren Erörterungen ergibt, einer PS-st eine Arbeit von $75 \times 60 \times 60 = 270\,000$ mkg oder, da immer 427 mkg einer Wärmeeinheit gleichwertig sind, eine Wärmemenge von $270\,000 : 427 = 632$ WE. Aufgewendet wurden nun 2500 WE, in Arbeit wurden umgesetzt 632 WE, mithin würde der thermische Wirkungsgrad in diesem Falle $\eta_t = \frac{632}{2500} \sim 0,253$ sein. Mit anderen Worten: nur etwa 25 v. H. der zugeführten Wärmemenge werden in Arbeit umgesetzt, während nahezu 75 v. H. 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, beträgt; für die Technik, d. h. für die wirtschaftliche Ausnutzung der Maschine, kommt natürlich auch nur dieser Teilbetrag zur Geltung. Nehmen wir in unserem Falle einen mechanischen Wirkungsgrad von $\eta_m = 0,8$ an, so beträgt der tatsächliche oder, wie wir ihn nennen wollen, der wirtschaftliche Wirkungsgrad der Maschine $\eta_w = \eta_t \cdot \eta_m = 0,253 \cdot 0,8 = 0,2024$. Mit anderen Worten: nur etwa 20 v. H. oder $\frac{1}{5}$ der wirklich aufgewendeten Wärmemenge wird in nutzbringend abzugebende Arbeit umgesetzt, während 80 v. H. oder $\frac{4}{5}$ für die Ausnutzung verloren sind.

Die Größe des wirtschaftlichen Wirkungsgrades η_w ergibt sich auch noch, wenn wir das eben besprochene Beispiel beibehalten, auf folgende Weise: Braucht die Maschine in der Stunde für jede PS_i 0,5 cbm Gas und ist der mechanische Wirkungsgrad der Maschine $\eta_m = 0,8$, so braucht die Maschine also für jede PS_n-st (während einer Stunde geleistete Nutzpferdestärke) $0,5 : 0,8 = 0,625$ cbm Gas, und es ergibt sich somit

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

II. Überlegenheit der neueren Wärmekraftmaschinen über die älteren.

1. Die älteren Wärmekraftmaschinen.

Die Dampfmaschine. Wenn man sich den gewaltigen Aufschwung vor Augen führt, den die Industrie, fast möchte man sagen, in der ganzen Welt im Laufe des letzten Jahrhunderts genommen hat, und wenn man sich darüber klar zu werden versucht, was denn den Anstoß zu diesem in der Geschichte einzig dastehenden Aufblühen gegeben hat, so wird man immer auf eine Erfindung geführt, deren Anfänge schon in die zweite Hälfte des 17. Jahrhunderts zurückreichen, auf die Erfindung der Dampfmaschine. Es sieht daher fast wie Undankbarkeit aus, wenn der Mensch sich heute von diesem treuen Freunde, der Dampfmaschine, die ihm über ein Jahrhundert lang ihre Kräfte gewidmet hat, 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, 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, Jahrhunderte alte Dampfmaschine.

Eine kleine Rechnung möge diese Behauptung beweisen. Als Mittel zur Erzeugung des Dampfes dient in unseren Dampfmaschinenanlagen in den weitaus meisten Fällen die Steinkohle, deren Heizwert, d. h. deren Wärmeentwicklung bei vollständiger Verbrennung etwa 7000 WE für jedes Kilogramm Steinkohle beträgt. Mit anderen Worten: Durch vollständige Verbrennung von 1 kg Steinkohle (d. h. einem Würfel von

nur etwa 9 cm Seitenkante!) ließe sich, wenn es möglich wäre, die ganze Wärme in Arbeit umzusetzen, nach dem Satze von der Erhaltung der Energie eine Arbeit von $427 \times 7000 = 298\,900$ mkg verrichten. Sehen wir zu, wieviel von dieser Arbeit in der Dampfmaschine wirklich geleistet wird, und betrachten wir zu diesem Zwecke zwei Gattungen von Dampfmaschinenanlagen, nämlich einmal solche von ganz geringer Leistung, auf deren Ausführung in den meisten Fällen keine allzu große Sorgfalt verwendet wird, und ferner Dampfmaschinenanlagen für die größten heutzutage vorkommenden Leistungen, bei deren Entwurf und Herstellung jede nur denkbare Rücksicht auf möglichst große Vollkommenheit genommen wird.

Aus zahlreichen Versuchen ergibt sich, daß eine solche kleine Dampfmaschinenanlage im Mittel etwa 5 kg Steinkohle in der Stunde für jede Nutzpferdestärke verbraucht. Eine PS-st („Pferdestärkenstunde“) entspricht aber, wie wir schon früher (S. 31) gesehen hatten, einer Leistung von $75 \times 60 \times 60 = 270\,000$ mkg oder einer in Arbeit, und zwar hier in wirklich nutzbringende Arbeit, umgewandelten Wärmemenge von $\frac{270\,000}{427} = 632$ WE. Um diese Arbeit in der Dampfmaschine zu erzeugen, wurden aber 5 kg Kohle verbrannt mit einer Wärmeentwicklung von $5 \times 7000 = 35\,000$ WE, das heißt: Es beträgt der wirtschaftliche Wirkungsgrad dieser Klasse von Dampfmaschinenanlagen

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

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

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

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

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

Der Grund für die schlechte Wärmeausnutzung in der Dampfmaschinenanlage ist ein mehrfacher: Zunächst ist schon die Erzeugung des Dampfes im Dampfkessel mit verhältnismäßig großen Wärmeverlusten verbunden; durch unvollständige Verbrennung der Kohle auf dem

Koste, durch die aus dem Schornstein entweichenden Gase, deren Temperatur der Zugerzeugung wegen eine verhältnismäßig hohe sein muß, sowie durch Wärmestrahlung gehen selbst bei den vollkommensten Anlagen 20 v. H. der erzeugten Wärme und mehr für die Ausnutzung in der Dampfmaschine verloren. Weitere Verluste treten ein durch Niederschlagen des Dampfes in den zur Maschine hinführenden Rohrleitungen sowie im Dampfzylinder selbst, aber alle diese Verluste sind verhältnismäßig gering gegenüber den Wärmeverlusten, welche in dem ganzen Grundgedanken der Verwendung des Wasserdampfes zur Kräfteerzeugung begründet sind. Nehmen wir eine sogenannte Auspuffmaschine an, zu deren Betrieb etwa Dampf von 6 at Spannung verwendet werde. Der Dampf tritt also mit einer Spannung von 6 at in den Dampfzylinder ein, verliert hier durch allmähliche Ausdehnung seine Spannung und damit seine hohe Temperatur und entweicht schließlich als Dampf von 1 at aus dem Zylinder ins Freie. Dieser Dampf enthält nun aber noch seine gesamte Verdampfungswärme, d. h. diejenige Wärme, welche vorher aufgewendet werden mußte, um das Wasser aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand 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 mit Kondensation arbeitende Dampfmaschine, jedoch enthält auch hier der aus dem Zylinder in den Kondensator eintretende Dampf noch den weitaus größten Teil der zu seiner Erzeugung aufgewendeten Wärme, die somit für die Umsetzung in Arbeit verloren geht.¹⁾

Nun läßt sich allerdings der sogenannte Auspuffdampf sowie auch das durch Benutzung bei der Kondensation erwärmte Kühlwasser zu anderweitigen Zwecken, zum Kochen, Heizen und dergleichen, verwenden, und diese Ausnutzung der sogenannten Abwärme spielt sogar in neuerer Zeit eine sehr bedeutende Rolle, dies hat aber mit der Ausnutzung in der Dampfmaschine gar nichts zu tun, für die Ausnutzung in der Dampfmaschine, d. h. 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 S. 33 zeigte, daß die an und für sich schon schlechte Wärme-

1) Genauerer hierüber s. in des Verf. „Dampfmaschinen I“ (ANuG Bd. 393) sowie „Prakt. Thermodynamik“ (ANuG Bd. 596).

ausnutzung um so schlechter wird, je geringer die Leistung der Dampfmaschine ist, so daß die Dampfmaschine als sogenannte Kleinkraftmaschine, d. h. als Maschine für kleine Arbeitsleistungen (1—2 PS), nur schlecht zu gebrauchen ist. Hierzu kommt noch der Uebelstand, daß jede Dampfmaschinenanlage an die Erfüllung lästiger polizeilicher Vorschriften gebunden ist; ein im Betriebe stehender Dampfkessel ist die Quelle einer steten Gefahr für die Nachbarschaft, und schließlich darf auch der Umstand nicht unerwähnt bleiben, daß der ganze Betrieb einer Dampfmaschinenanlage immer mit einer gewissen Umständlichkeit verknüpft ist: die Anheizung des Kessels erfordert eine beträchtliche Zeit; soll also die Maschine stets betriebsbereit sein, so muß der Kessel mitunter lange Zeit hindurch angeheizt stehen bleiben, wodurch dann wieder starke Wärmeverluste, d. h. Geldverluste, unvermeidlich sind. — Warum trotz alledem heute noch Dampfmaschinen in so großer Zahl gebaut werden, ist im Anhang (S. 117) näher auseinandergesetzt.

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 gewaltiges Aufsehen. Die Wirkungsweise dieser, sowie aller späteren sogenannten Heißluftmaschinen war im wesentlichen folgende: Es wurde Luft in einen Zylinder eingeführt, hier in geeigneter Weise durch Erhitzung auf eine höhere Spannung gebracht, die dazu verwendet wurde, gerade so wie in einer Dampfmaschine einen Kolben vorwärts zu treiben. Dann wurde während des Kolbenrückganges die Luft abgekühlt, ihre Spannung erniedrigte sich, worauf das Spiel von neuem begann.

Die Heißluftmaschine ist stets auf ganz geringe Leistungen beschränkt geblieben, und zwar liegt der Hauptgrund hierfür darin, daß es unmöglich ist, atmosphärische Luft durch äußere Erwärmung allein auf eine hohe Spannung zu bringen. Dies läßt sich leicht aus der Betrachtung des früher (S. 24) 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 . . . at

Spannung bringen, so müssen wir ihre absolute Temperatur auf das 2, 3, 4 . . . fache erhöhen. Nehmen wir an, die Luft befände im Anfangszustande eine Temperatur von 0°C , d. h. eine absolute Temperatur von 273° , so müßten wir ihre Temperatur auf 2×273 , $3 \times 273 \dots$, d. h. auf 546, 819 . . . Grad absolut oder auf 273, 546 . . . Grad C bringen. Wollte man trotzdem große Leistungen erzielen, so müßten die Maschinen mit niederen Drücken betrieben werden und erhielten dadurch so gewaltige Abmessungen, daß dadurch ein etwa errungener Vorteil gegenüber anderen Wärmekraftmaschinen wieder verloren ginge. Heutzutage sind daher die Heißluftmaschinen fast vollständig verschwunden, sie sind durch die zweckmäßigeren Gasmaschinen verdrängt worden und werden nur noch für ganz kleine Leistungen, zu Gartenbewässerung, Antrieb von kleinen Springbrunnen u. dgl., von einigen wenigen Firmen ausgeführt.

2. Die neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen).

Über die Heißluftmaschine hatte die Dampfmaschine noch einmal gesiegt. Bald zeigte es sich aber, daß ihr in Gestalt der um die Mitte des vorigen Jahrhunderts zum ersten Male auftauchenden Gasmaschine 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 Jahrhunderte alten Dampfmaschine hinarbeiteten.

Verbesserte Wärmeausnutzung bei den neueren Wärmekraftmaschinen. Ein Hauptvorteil der eben genannten neueren Wärmekraftmaschinen besteht in der wesentlich besseren Ausnutzung der zu Gebote stehenden Wärmequellen. Daß das ein nicht zu unterschätzender Vorteil ist, ergibt sich aus der einfachen Erwägung, daß der Kohlenvorrat unserer Erde, so gewaltig er auch sein mag, doch endlich einmal zu Ende gehen muß, und gerade mit der durch die Kohlen gebotenen Wärmequelle wurde bisher, wie wir früher gesehen hatten, in der Dampfmaschine in der verschwenderischsten Weise umgegangen. Heute schon nutzen selbst kleine Gas- und Petroleummaschinen die ihnen zugeführte Wärmemenge fast ebensogut aus wie unsere besten und größten, mit der äußersten Sorgfalt hergestellten Dampfmaschinen, und, was nicht übersehen werden darf, während die Jahrhunderte alte Dampfmaschine wohl an der Grenze

der Vollkommenheit angelangt sein dürfte und eine nennenswerte Verbesserung in der Ausnutzung der ihr zugeführten Wärme kaum mehr erreicht werden wird, sind die neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen) noch immer in der Entwicklung begriffen. Es kann mit Sicherheit angenommen werden, daß hier die nächsten Jahre immer noch weitere Verbesserungen der Wärmeausnutzung bringen werden.

In allen Gasmaschinen wird die Wärme in der Weise in Arbeit umgewandelt, daß das Brennmaterial, ein Gas oder eine vergaste Flüssigkeit, in dem Zylinder selbst zur Verbrennung gebracht wird, und daß die durch diese Verbrennung entstandenen heißen, hochgespannten Gase einen in dem Zylinder befindlichen Kolben vorwärts treiben. Schon hieraus ist ersichtlich, daß die Wärmeausnutzung eine wesentlich bessere sein muß als bei der Dampfmaschine: durch die Verwendung eines gasförmigen Brennstoffes läßt sich eine viel vollkommene Verbrennung erzielen als durch die Verbrennung fester Brennstoffe, denn nur bei gasförmigem Brennstoffe läßt sich die Zuführung einer zur vollkommenen Verbrennung¹⁾ 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.

Infolge der großen Verschiedenheit aller der festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffe, welche zum Antriebe von Gasmaschinen heute verwendet werden, ist es fast allgemein üblich geworden, bei den einzelnen Maschinengattungen nicht die kg oder cbm Brennstoff, sondern die Anzahl von WE anzugeben, welche zur Leistung einer PS-st verbraucht werden, in derselben Weise, wie dies schon auf S. 33 bei der Dampfmaschine geschehen ist. Das ist insofern sehr zweckmäßig, als man dadurch die doppelten Angaben für Brennstoffverbrauch und Heizwert des verwendeten Brennstoffes erspart, denn natürlich verbraucht eine Maschine um so weniger von einer bestimmten Brennstoffart (Kohle, Petroleum, Leuchtgas usw.), je hochwertiger dieser Brennstoff ist, d. h. je höher sein Heizwert ist.

1) Vgl. Blochmann, Luft, Wasser, Licht und Wärme (MnG Bd. 5 VI. Vortrag).

Der Wärmeverbrauch selbst kleiner Gasmaschinen beträgt heute häufig nicht mehr als etwa 3500 WE/PS-st, sinkt aber bei größten, besten Maschinen herunter bis auf etwa 1800 WE. Dies entspricht aber nach der bei der Dampfmaschine (S. 33) angegebenen Berechnungsweise einem wirtschaftlichen Wirkungsgrad von

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

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

Andere Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen. Ein wesentlicher Vorteil aller Gasmaschinen besteht in dem Fortfallen des Dampfkessels. Daß gerade hierdurch eine Quelle bedeutender Wärmeverluste vermieden wird, wurde bereits früher erwähnt. Zu beachten ist ferner der Umstand, daß durch das Fortfallen der Dampfkesselanlage die Anschaffungskosten der Wärmekraftmaschine geringer werden, erstens durch das Fortfallen des Dampfkessels selber, zweitens aber hauptsächlich deswegen, weil der sonst für den Dampfkessel benötigte, meist nicht unbeträchtliche Raum zu anderweitiger Verwendung frei wird. Schließlich sei auch noch auf die größere Gefahrlosigkeit der Anlage bei Fortfallen des Dampfkessels hingewiesen. Freilich kann auch hier die Möglichkeit von Unfällen infolge von Explosionen, namentlich bei Gas- und Benzinmaschinen, nicht rundweg abgeleugnet werden, indessen müssen es doch schon Versehen größter Art sein, wenn derartige Unfälle auch nur annähernd den Umfang annehmen sollten, wie die trotz aller gesetzlichen Sicherheitsmaßregeln leider immer noch von Zeit zu Zeit vorkommenden Dampfkesselerplosionen 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. Einem Kleinhandwerker, einem Schlosser z. B., ist die Anschaffung selbst einer kleinen Dampfmaschine meistens unmöglich. Einmal wird es ihm an dem für den Dampfkessel erforderlichen Plaze in den meisten Fällen fehlen, ferner aber würde sich ein solcher Dampfmaschinenbetrieb für ihn als viel zu kostspielig erweisen, da er ja, wenn die Maschine jeden Augenblick bereit sein soll, Arbeit zu leisten, etwa zum Betriebe einer Drehbank, einer Holzhobelmaschine usw., den Dampfkessel ununterbrochen geheizt stehen haben müßte, was neben der Notwendigkeit fortwährender Bedienung vor allen Dingen eine Vergeudung von Wärmeenergie, d. h. einen 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 wenig Handgriffe, um die Maschine in Gang zu setzen, und ebenso schnell, wie sie in Gang gesetzt ist, ist sie auch wieder zum Stillstand gebracht. Während ihres Stillstandes bedarf aber eine solche Maschine weder einer Aufsicht noch einer Bedienung, der Wärmeverlust während einer Betriebspause ist nahezu gleich Null, da hierbei nur diejenige Wärme in Betracht kommt, welche durch die Abkühlung des Zylinders während der Betriebspause verlorengeht.

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 eher der Elektromotor bezeichnet werden, d. h. diejenige Kraftmaschine, in welcher elektrische Energie in mechanische 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, d. h. 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 in vielen Fällen die Gasmaschine dem Elektromotor als Kleinkraftmaschine noch überlegen ist.

Brennstoffkosten bei Wärmekraftmaschinen. Freilich wird nun derjenige, welcher sich eine Wärmekraftmaschine anschaffen will, zunächst nicht fragen: welche Maschine nutzt die ihr zugeführte Wärme am besten aus, oder mit anderen Worten, welche Maschine verbraucht für die Erzeugung einer PS-st die geringste Anzahl WE, sondern er wird sich vor allen Dingen fragen: welche Maschine liefert mir die verlangte Arbeit am billigsten; es werden daher für die Anschaffung einer Wärmekraftmaschine weniger die Zahlen des wirtschaftlichen Wirkungsgrades oder die Anzahl der verbrauchten WE/PS-st in Betracht kommen als die Zahlen für die Kosten einer PS_n-st, und es wird sich zeigen, daß selbst diejenigen Maschinen, welche die ihnen zugeführte Wärme verhältnismäßig sehr gut ausnutzen, im Betriebe durchaus nicht etwa die billigsten sind. Eine allgemein gültige Rechnung über die Kosten des Brennstoffverbrauches für 1 PS-st 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 selbst unter normalen Verhältnissen stark voneinander abweichen. Um jedoch einen ungefähren Überblick darüber zu geben, wie sich diese Kosten bei den einzelnen Kraftmaschinen gegeneinander verhalten, seien zunächst für Brennstoffverbrauch, Heizwert und Preis des verwendeten Brennstoffes folgende Mittelwerte angenommen:

Art der Maschinen		Brennstoffverbrauch für 1 PS-st in kg (cbm)	Heizwert von 1 kg (1 cbm) Brennstoff in WE	angenommener Preis von 1 kg (1 cbm) Brennstoff in Pfg. ¹⁾
Dampfmaschinen	{ klein	5 kg	7000 (kg)	2,2
	{ groß	0,5 =		
Leuchtgasmaschinen	{ klein	0,65 cbm	5000 (cbm)	12,0
	{ groß	0,45 =		
Sauggasmaschinen für Braunkohlenbriketts . .	{ klein	0,9 kg	4800 =	1,8
	{ groß	0,65 =		
Benzolmaschinen	{ klein	0,4 =	9500 (kg)	30,0
	{ groß	0,25 =		
Spiritusmaschinen mit 20 % Benzolzusatz . . .	{ klein	0,5 =	6000 =	24,0
	{ groß	0,35 =		
Dieselmaschinen mit Gasöl	{ klein	0,23 =	10000 =	12,0
	{ groß	0,18 =		

1) Infolge der durch den Weltkrieg und die Nachkriegszeit geschaffenen ganz ungewöhnlichen Verhältnisse sind die Preise für sämtliche Brennstoffe der-

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

Man erhält nun ein sehr übersichtliches Bild über das Verhältnis von Wärmeverbrauch und Brennstoffkosten für eine PS-st bei den einzelnen Maschinengattungen, wenn man sich (Abb. 9 a. v. S.) eines zeichnerischen Verfahrens bedient. Im obersten Teile der Abbildung ist für die in der Überschrift angegebene Maschinengattung auf Grund der eben angegebenen kleinen Tabelle der Wärmeverbrauch für die PS-st als Länge von Rechtecken in einem gewissen Maßstabe dargestellt. Der Wärmeverbrauch kleiner Dampfmaschinen ist so gewaltig, daß das betreffende Rechteck abgebrochen gezeichnet werden mußte. Die mittlere Darstellung zeigt, wie falsch es wäre, etwa nur nach dem Wärmeverbrauch oder, was ja dasselbe ist, nur nach dem wirtschaftlichen Wirkungsgrade den Wert der einzelnen Maschinengattung zu beurteilen. Unter Berücksichtigung der oben angenommenen mittleren Brennstoffpreise sind hier für die verschiedenen Brennstoffe die Kosten von je 10 000 WE berechnet und wiederum als Längen von Rechtecken aufgetragen. Man erkennt die gewaltigen Preisunterschiede derselben Wärmemenge je nach dem Brennstoffe, aus welchem sie erzeugt wurde. Multipliziert man die Angaben der ersten und zweiten Reihe, so erhält man endlich die Darstellung der untersten Reihe: die Kosten der zur Leistung einer PS-st erforderlichen Brennstoffmenge. Ein Vergleich der obersten und der untersten Reihe zeigt, wie gewaltig der Unterschied zwischen den einzelnen Maschinengattungen ist, je nachdem man den Wärmeverbrauch oder die Brennstoffkosten für eine PS-st in Betracht zieht.

Betriebskosten bei Wärmekraftmaschinen. Aber auch aus diesen Zahlen darf man noch keinen endgültigen Schluß auf die größere oder geringere Wirtschaftlichkeit der einzelnen Wärmekraftmaschinen ziehen. Ein solcher wird erst dann möglich sein, wenn man auch die Kosten für die Anschaffung und Aufstellung der Kraftmaschine, für den Bau des Maschinenhauses, für Rohrleitungen, Schmiermittel, Verzinsung, Abschreibung usw. berücksichtigt. Eine allgemein gültige Berechnung darüber aufzustellen ist hier jedoch noch weniger möglich als bei der Berechnung der Brennstoffkosten, wenn man nicht ganz ausführliche Angaben über die zur Berechnung jeweilig gemachten Annahmen mitteilt. Es möge daher hier nur

artig in die Höhe gegangen und erfahren noch tagtäglich wesentliche Änderungen, so daß es zurzeit sinnlos wäre, diese schwankenden Preise hier als Grundlage solch allgemein vergleichender Rechnungen zu nehmen. Es sind daher die in der 5. Auflage dieses Buches angegebenen, vor Beginn des Krieges gültig gewesenen Preise einfach beibehalten worden.

kurz erwähnt werden, daß sich unter Berücksichtigung aller der oben genannten Umstände die Verhältnisse gegenüber den Angaben der untersten Reihe von Abb. 9 auch in normalen Zeiten oft sehr wesentlich verschieben. So werden z. B. bei kleineren Dampfmaschinenanlagen trotz geringerer oder gleich großer Brennstoffkosten die Gesamtbetriebskosten für 1 PS-st wesentlich größer als die gleich großer Benzin- und Petroleummaschinen, die Gesamtbetriebskosten kleinerer Dieselmotoren größer als die gleich großer Spiritusmaschinen, und schließlich kann auch die Ausnutzung der Abwärme in vielen Fällen für die gesamten Betriebskosten von entscheidender Bedeutung sein, wie im Abschnitt VI (S. 113) näher dargelegt werden soll.

III. Verpuffungsmaschinen für vergaste feste Brennstoffe.

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

so gebührt ihm doch der Ruhm, vorher bekannten Gedanken eine für die Praxis brauchbare Gestalt gegeben zu haben.

Lenoirmaschine. Für den Bau seiner Maschine hatte sich Lenoir die doppelwirkende Dampfmaschine zum Vorbilde genommen. In einem Zylinder bewegte sich ein Kolben, dessen Kolbenstange, durch eine Stopfbüchse abgedichtet, durch den vorderen Zylinderdeckel hindurchging. Gerade so wie bei der Dampfmaschine wurde dann durch eine Schubstange die Kraft des Kolbens auf eine Kurbel übertragen und so die hin- und hergehende Bewegung in eine drehende Bewegung umgewandelt. Die Steuerung der Maschine, daß 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 at 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.

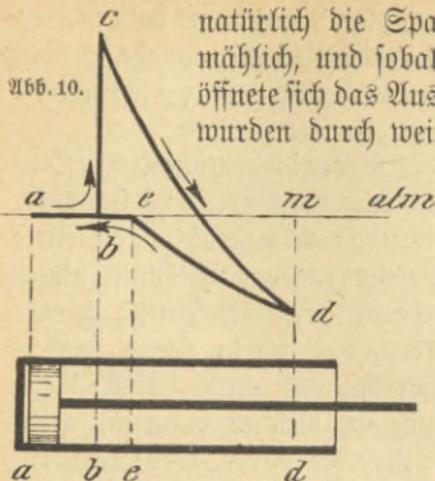
Das auf S. 19 ange deutete und dort erläuterte Diagramm (Abb. 6) ist das theoretische Diagramm einer Lenoirmaschine, weshalb die damaligen Erörterungen an dieser Stelle noch einmal nachgelesen werden mögen.

Der Leuchtgasverbrauch war bei der Maschine von Lenoir sehr hoch und betrug 3 cbm und mehr für 1 PS-st. Ebenso verbrauchte die Maschine ungewöhnlich viel Schmieröl, und schließlich war auch die Betriebssicherheit eine ungenügende, denn die Maschine blieb 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 PS-st wesentlich

zu verbessern, so war die Folge die, daß die Gasmaschine bald wieder aus dem Betriebe verschwand und nur dort beibehalten wurde, wo die Vorteile der Maschine, wie das Fehlen des Dampfkessels, die anderen großen Nachteile überwogen.

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



natürlich die Spannung unter dem Kolben wieder allmählich, und sobald die Außenluftspannung erreicht war, öffnete sich das Ausströmventil, und die Verbrennungsgase wurden durch weiteres Heruntersinken des Kolbens aus der Maschine ausgetrieben.

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

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

Die Maschine von Otto & Langen hatte zwei Uebelstände: Da das eigentlich Treibende in der Maschine nicht hochgespannte Gase, sondern nur der verhältnismäßig geringe Druck der Außenluft war, so erhielt die Maschine für einigermaßen große Leistungen sehr große Abmessungen; sie wurde daher auch in der Tat nur für ganz kleine Leistungen von $\frac{1}{2}$, 1 oder 2 PS gebaut. Der zweite größere Uebelstand war der, daß die Maschine ein außerordentlich starkes Geräusch verursachte, herrührend von dem fortwährenden Emporschleudern des Kolbens. Dieses Geräusch war so lästig, daß die Anwendung der Maschine dadurch nicht selten unmöglich wurde, und häufig genug kam es später vor, daß infolge

von Beschwerden der Anwohner der Betrieb eingestellt werden mußte. Diese beiden üblen Eigenschaften wurden aber 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 PS_n-st verlangte und alle späteren Verbesserungsversuche im wesentlichen erfolglos geblieben waren, zeigte es sich, daß die neue Gasmaschine von Otto & Langen den für damalige Verhältnisse ganz unerhört niedrigen Gasverbrauch von etwa 0,8 cbm für 1 PS_n-st aufwies, eine Zahl, die erst in neuerer Zeit von den besten Gasmaschinen übertroffen wurde.

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

Der „neue Otto“. Während dieser Zeit arbeitete die Firma Otto & 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 Kraft-erzeugung 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 in ihrem Grundgedanken bis zum heutigen Tage dieselbe geblieben ist und eine wesentliche Verminderung des Gasverbrauchs erst nach vielen Jahren 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 Verdichtungsmaschine benutzt wurde und erst bei dem darauffolgenden Hin- und Hergange des Kolbens als eigentliche Kraftmaschine arbeitete. Genaueres über diese Viertaktwirkung später.

2. Die Betriebsmittel.

Leuchtgas (Steinkohlengas). Die Herstellung des Gases ist im Grunde genommen außerordentlich einfach. Die Steinkohlen — solche werden fast durchgängig zur Leuchtgasbereitung verwendet und zwar bituminöse (gasreiche) Backkohle — werden in großen Gefäßen, sogenannten Retorten, die früher aus Gußeisen, neuerdings wohl meistens aus Schamotte bestehen, luftdicht verschlossen und in diesen Gefäßen vier bis sechs Stunden lang von außen bis zur Weißglut ($\sim 1200^{\circ}\text{C}$) erhitzt. Bei dieser „trockenen Destillation“ zersetzen sich die Steinkohlen und liefern ein Gas, das trotz der großen Hitze nicht verbrennen kann, weil eben der zur Verbrennung unbedingt erforderliche Sauerstoff, d. h. atmosphärische Luft, fehlt. Das sogenannte rohe Leuchtgas wird hierauf gekühlt, macht dann verschiedene Reinigungsvorgänge durch und wird schließlich in großen glockenförmigen Gasbehältern für den Gebrauch aufgespeichert. Das, was in den Retorten nach Austreiben 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), die zum Teil in der Gasanstalt selbst zum Anheizen der Retorten wieder verwendet werden.

Die Zusammensetzung des gereinigten Leuchtgases, das aus vielen einzelnen, innig miteinander vermischten Gasen besteht, ist eine verschiedene und stark wechselnde, je nach der Beschaffenheit der Kohle und nach Art der Destillation. Seine Hauptbestandteile bilden die sogenannten schweren Kohlenwasserstoffe, ferner Wasserstoff, Kohlenoxyd sowie auch geringe Mengen von Kohlenäure, Sauerstoff u. a. In der Abb. 11 ist die mittlere Zusammensetzung von gereinigtem Leuchtgas in Volumenprozenten ausgedrückt.¹⁾

1) Aus Fritz Schmidt, Leuchtgas-erzeugung, „Die Wissenschaft“ Bb. 40, Bieweg = Braunschweig.

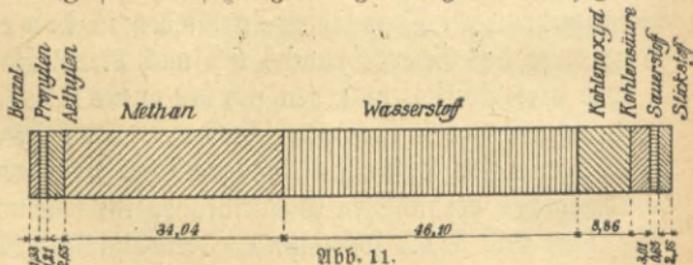


Abb. 11.

Die wichtigsten Eigenschaften des Leuchtgases, dessen spezifisches Gewicht, bezogen auf atmosphärische Luft als Einheit, im Mittel etwa 0,4 beträgt (d. h. also, es ist noch nicht halb so schwer wie Luft), sind seine sehr schnelle und innige Vermischung mit der Luft (Diffusion) und, in geschlossenen Räumen zur Entzündung gebracht, seine Verbrennung oder, wie man sagt, seine Verpuffung unter starker Druckentwicklung. Auf diesen Eigenschaften beruht seine Verwendung zu Kraftzwecken. Die Druckentwicklung begründet sich darauf, daß durch die Verbrennung eine große Menge Wärme frei wird, durch welche die Temperatur und damit die Spannung der entstehenden Gase gesteigert wird. Die Höhe der durch die Verpuffung entstehenden Temperatur und Spannung wird verschieden sein, je nach dem Verhältnis, in welchem Gas und Luft miteinander gemischt sind: die größte Druckentwicklung wird offenbar dann stattfinden, wenn dem Gase gerade so viel Luft beigemischt ist, als zur vollständigen Verbrennung aller Gasteilchen eben nötig ist. Man spricht alsdann von einem „stärksten Gasgemisch“. Enthält das Gemisch weniger Luft, so werden einzelne Gasteilchen unverbrannt bleiben, ist zuviel Luft vorhanden, so wird zwar die Verbrennung eine sehr vollkommene, aber ein Teil der entstandenen Wärme muß dann dazu verwendet werden, um diese überschüssige Luft mit zu erwärmen, er geht also für die Steigerung der Druckwirkung verloren. Wird das Verhältnis von Luft zu Gas noch größer, so kommt man schließlich an eine Grenze, bei welcher das Gemisch aufhört, entzündbar zu sein, und ebenso wird es natürlich eine untere Grenze geben, d. h. es wird eine geringste Luftmenge geben, welche einer bestimmten Gasmenge mindestens beigemischt werden muß, damit das Gemisch überhaupt entzündbar ist.

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

Die folgende Zusammenstellung gibt die Ergebnisse einer Anzahl von Versuchen, die Clerk mit einem Leuchtgase von Außenluftspannung und 17° C angestellt hat und aus denen der bei der Verbrennung ent-

stehende höchste Druck, die Zeitdauer der Verbrennung sowie die (rechnerisch bestimmte) höchste Temperatur während der Verpuffung ersichtlich ist.

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

Bei diesem Gase würde also etwa die Mischung 1 zu 5 dem oben erwähnten stärksten Gasgemische entsprechen, da sich hier der stärkste Druck, die höchste Temperatur sowie annähernd die kürzeste Zeitdauer der Verpuffung ergibt. Man sieht auch, daß bei der Verpuffung des schwächsten Gasgemisches von einer „Explosion“ nicht mehr gut gesprochen werden kann, ja es ergibt sich geradezu, daß eine derartige Verpuffung in einer 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 Kreisprozesse derartig hohe Temperaturen auf, daß ein ungestörter Maschinenbetrieb unmöglich sein würde, wenn nicht die Zylinderwandungen künstlich von außen gekühlt werden würden. In der Regel geschieht diese Kühlung in der Weise, daß der Arbeitszylinder der Maschine von einem Mantel umgeben wird und durch den zwischen Mantel und Zylinder entstehenden Hohlraum Wasser in ununterbrochenem Strome hindurchgeleitet wird. Freilich ist mit einer solchen Kühlung auch ein großer Wärmeverlust oder, was ja damit gleichbedeutend ist, ein großer Verlust an Arbeitsvermögen verbunden; aber gerade so, wie es bei der Dampfmaschine unmöglich ist, die in dem Dampfe enthaltene latente Wärme

vollständig auszunutzen¹⁾, 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 mehr als ein Drittel 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, d. h. wieviel von der durch den Heizwert der Steinkohle dargestellten Wärme sich schließlich in dem Heizwerte des erzeugten Gases und der sich ergebenden Nebenerzeugnisse Koks und Teer wiederfindet. Es bedarf wohl keiner Erwähnung, daß diese Ausnutzung eine sehr verschiedene sein wird, je nach der Größe und Vollkommenheit der einzelnen Gasanstalten; es ist ferner klar, daß bei schwacher Inanspruchnahme des Gaswerkes die Erzeugung des Gases eine ungünstigere ist als in den Tagen voller Benutzung der Gasanstalt. Im Mittel wird man bei guten neuzeitlichen Gasanstalten eine Ausnutzung von nahezu 80 v. H. annehmen können, wobei zu beachten ist, daß diese Ausnutzungszahl noch dadurch erhöht wird, daß die Verkaufspreise der Nebenerzeugnisse, vor allem Koks und Teer, ziemlich hoch sind und sich bei Teer bisweilen doppelt so hoch stellen wie die Preise für Koks oder für Gaskohlen. Auch der Wert des Ammoniaks ist hier mit in Rechnung zu ziehen. Ammoniak hat allerdings keinen Heizwert, es kann also bei der Beurteilung der Frage, wie bei der 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, d. h. zur besseren Ausnutzung der Steinkohle, bei.

Kraftgas.²⁾ So vorteilhaft nun auch die Verwendung des Leuchtgases als Mittel zur Krafterzeugung ist, so einfach es auch ist, dieses

1) Vgl. Anm. S. 34.

2) Genaueres hierüber s. in des Verf. „Neuere Wärmekraftmaschinen II“ (MUG Bd. 86).

Gas überall hinzuleiten, so hat seine Verwendung für die Besitzer von Gaskraftmaschinen doch eine unangenehme Seite, nämlich die stete Abhängigkeit von der Gasanstalt. Diese Abhängigkeit, die um so fühlbarer wird, je größer der Verbrauch an Leuchtgas ist, verbunden mit dem hohen Preise, welche einzelne Gasanstalten besonders in der Zeit nach dem Kriege für die Lieferung des zu Kraftzwecken verwendeten Gases verlangen, machen es wünschenswert, in ähnlicher Weise wie der Dampfkesselbesitzer bei der Krafterzeugung eine größere Selbständigkeit zu besitzen sowie ein billigeres Betriebsmittel zu erhalten, als es das von den Gasanstalten gelieferte Leuchtgas ist. Die Errichtung einer eigenen Leuchtgasanstalt ist in den meisten Fällen in Anbetracht der hohen Anlage- und Betriebskosten sowie in Anbetracht der umständlichen Herstellungsweise des Leuchtgases nicht angängig, dagegen hat ein anderes, zu Krafterzeugungszwecken geeignetes Gas, das sogenannte Kraftgas, heute eine große Verbreitung gefunden. Die ursprüngliche Herstellungsweise dieses von dem Engländer Dowson erfundenen und häufig nach ihm benannten Gases wird heute nur noch selten angewendet. Sie besteht darin, daß man zunächst in einem kleinen Dampfkessel Dampf von etwa 4—6 at Spannung erzeugt und diesen Dampf, mit Luft vermischt, durch eine Schicht glühender Kohlen hindurchstreichen läßt, welche sich in einem kleinen Ofen, dem eigentlichen Gaserzeuger oder Generator, befinden. Ein Teil der von dem Dampfe mitgerissenen Luft liefert hierbei den Sauerstoff, welcher zur Verbrennung des im Generator befindlichen Brennstoffes notwendig ist, während der andere Teil der Luft, ebenso wie der Wasserdampf, bei dem Hindurchstreichen durch die glühenden Kohlen eine chemische Zersetzung erleidet und in Verbindung mit dem bei der Verbrennung der Kohlen freiwerdenden Kohlenoxyd ein brennbares Gas bildet, welches nach einigen Reinigungsvorgängen in einem Gasbehälter aufgefangen wird. Der Gaserzeuger muß natürlich von Zeit zu Zeit mit neuem Brennstoffe beschickt werden, und zwar dürfen hierzu nur Anthrazit oder Koks, nicht etwa die gewöhnlichen Gaskohlen verwendet werden, da diese Kohlen, wie wir früher gesehen hatten, noch andere Nebenbestandteile, besonders Teer und Ammoniak, enthalten, die bei dieser Herstellungsweise schwer zu beseitigen wären.

Das so hergestellte „Dowsongas“ ist ein farbloses und fast geruchloses Gas, welches angezündet mit nichtleuchtender, bläulicher Flamme verbrennt. Wegen seines bedeutenden Gehaltes an Kohlenoxyd ist es außerordentlich giftig, weshalb bei der Anwendung mit größter Vor-

sicht verfahren werden muß. Die Wärmeausnutzung bei der Herstellung ist eine ganz vorzügliche, da der Heizwert des erzeugten Kraftgases etwa 85 v. H. des Heizwertes des im Gaserzeuger verwendeten Brennstoffes beträgt, wogegen z. B. bei der Leuchtgasherstellung nur etwa 20 v. H. des Heizwertes der Steinkohlen sich in dem erzeugten Gase wiederfinden. Der Heizwert des Dowsongases beträgt im Mittel etwa 1200 WE für das cbm.

Der Brennstoffbedarf, der gewöhnlich in kg für 1 PS -st angegeben wird, beträgt bei kleinen Maschinen ungefähr 0,65 kg, bei größeren Maschinen etwa 0,45 kg Anthrazit.

Sauggas.¹⁾ 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, die Rohrleitung bis zur Gasmaschine also immer unter Druck steht, benutzt man hier bei der neuen Herstellungsweise die gleich zu beschreibende saugende Wirkung des Maschinenkolbens, um bei jedem Saughube Luft in den Gaserzeuger hinein- und durch die ganze Anlage hindurchzusaugen, wobei aber die Luft, bevor sie in den Gaserzeuger tritt, über das durch die abziehenden Gase erwärmte Wasser hinwegstreicht und so mit Wasserdampf gesättigt wird.

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

1) Vgl. Anm. S. 51.

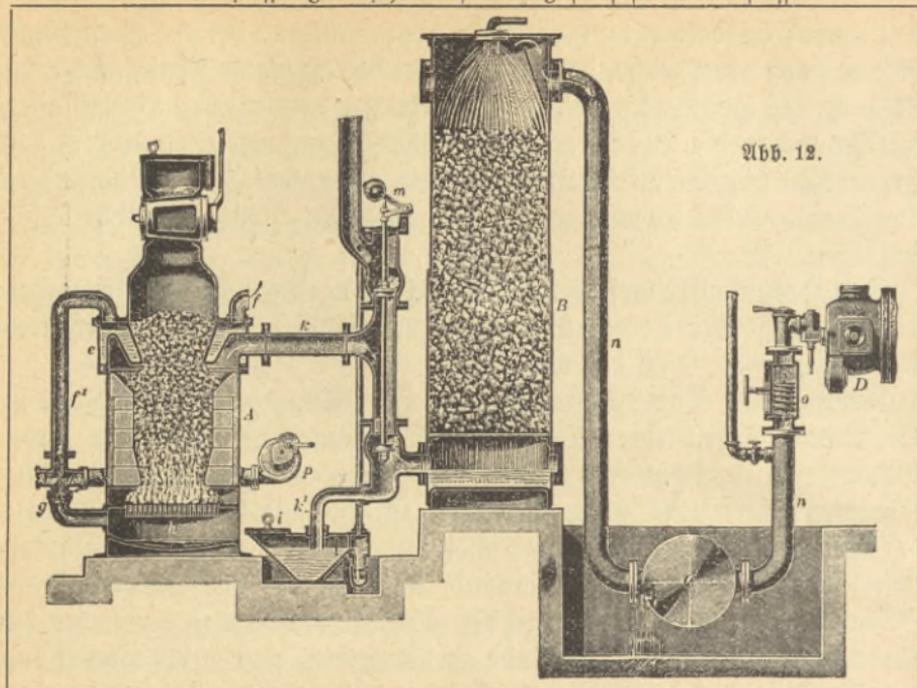


Abb. 12.

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

Abb. 12 zeigt den Schnitt durch eine solche Sauggasanlage der Deutzer Gasmotorenfabrik. Man erkennt links in dem oberen Teile des Ofens bei *e* den Wasserbehälter, der durch die aus dem Gaserzeuger *A* abziehenden heißen Gase erhitzt wird. Die von der rechts angedeuteten Gasmaschine *D* angesaugte Luft tritt in den Wasserbehälter *e* rechts oben bei *f* ein, sättigt sich hier mit Wasserdampf und tritt dann bei *h* durch den Krost in das Innere des Gaserzeugers. *B* ist eine Reinigungsvorrichtung, bestehend aus einem Behälter, gefüllt mit Koks, welcher von oben her mit Wasser berieselt wird. Das Gas tritt unten ein, durchströmt den Behälter (Skrubber) im Gegenstrom zum herunterrieselnden Wasser und tritt oben gereinigt und abgekühlt wieder aus, um durch einen kleinen Zwischenbehälter *C* nach der Maschine zu gelangen.

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

Gichtgase und Koksöfengase. Das Bestreben, vorhandene Wärmequellen besser als bisher auszunutzen in Verbindung mit dem Bestreben, den Gasmaschinen immer weitere Absatz- und Anwendungsgebiete zu verschaffen, führte gegen Ende des verfloßenen Jahrhunderts dazu, die sogenannten Gichtgase (oder Hochofengase) sowie auch die Koksöfengase zum Betriebe von Gasmaschinen zu verwenden. Näheres über diese beiden wichtigen Gasarten und die große wirtschaftliche Bedeutung ihrer Verwendung zur unmittelbaren Kräftezeugung s. in des Verf. eben erwähntem Werke.

3. Wirkungsweise der neueren Gasmaschinen.

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

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

den. Die Geschwindigkeit 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. Teilen wir nun beispielsweise den Halbkreis O3 in drei gleiche Teile O1, 12, 23, wobei wir annehmen wollen, daß der Kurbelzapfen einen jeden solchen Teil 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, d. h. in der Mitte seines Hubes, einen viel größeren Weg zurückgelegt hat als in der ersten und dritten Sekunde. Mit anderen Worten: der Kolben besitzt etwa in der Mitte seines Hubes seine größte Geschwindigkeit, und da wir früher gesehen 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, d. h. an eine möglichst weitgehende Ausdehnung (Expansion) der hochgespannten Gase, war dann während des letzten Teiles des Kolbenweges natürlich nicht mehr zu denken; die Gase entwichen mit hoher Temperatur und hoher Spannung aus dem Zylinder, und das in ihnen enthaltene Arbeitsvermögen ging für die Wirkung der Maschine verloren. Daß die Verpuffung des Gasgemisches in dem Augenblicke der größten Kolbengeschwindigkeit von größtem Nachteile für eine möglichst vollkommene Wärmeausnutzung sein mußte, ergibt sich noch aus folgender Betrachtung. Wir hatten früher (S. 24) gesehen, daß nach dem Gesetze von Gay-Lussac bei gleichbleibendem Volumen die Spannungen sich verhalten wie die absoluten Temperaturen. Bleibt also während der Verpuffung eines Gasgemisches das Volumen unverändert, so steigt die Spannung im Verhältnis der absoluten Temperaturen des Gemisches vor und nach der Zündung. Findet dagegen die Verpuffung nicht bei gleichbleibendem Volumen statt, das heißt: vergrößert sich das Volumen während der Verpuffung, in unserem Falle also dadurch, daß der Kolben schnell vorwärts schreitet, so geht schon während der Verpuffung ein Teil der entstehenden Wärme durch die Ausdehnung des Gemisches verloren, die durch die Verpuffung erreichbare Spannung kann demnach auch nicht die Höhe erreichen, die sie sonst bei gleichbleibendem Volumen erreichen würde. Man erkennt leicht, daß dieser Nachteil bei der atmosphärischen Gaskraftmaschine von Otto & Langen vermieden war. Hier trat die Verpuffung annähernd bei gleichblei-

bendem 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 erfüllt eben der „neue Otto“ in ziemlich vollkommener Weise, erstens durch die Verwendung verdichteter Gasgemische und zweitens durch die Zündung im Totpunkte der Maschine, d. h. bei kleinster Kolbengeschwindigkeit.

Viertaktwirkung. Um den als richtig erkannten Grundgedanken der Verwendung verdichteten Gasgemischs 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, d. h. die Maschine so einzurichten, daß sie zunächst während einer vollständigen Umdrehung, also während eines Kolbenhin- und -herganges als Verdichtungsmaschine diene, bei der nächsten Umdrehung aber durch Entzündung des vorher verdichteten Gasgemisches als Wärmekraftmaschine arbeitete. Der Versuch gelang und erwies sich in der Folge als so außerordentlich günstig und zweckmäßig, daß heute noch mit wenigen Ausnahmen 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 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.

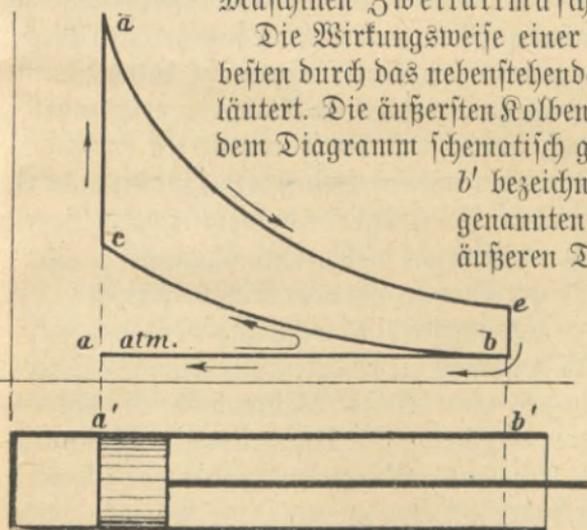
Vierter Abschnitt: Der Kolben dreht wieder um, er geht nach innen und treibt dabei die verbrannten Gase, die ihre Spannung zum größten Teile verloren haben, aus dem Zylinder hinaus: Auspuffabschnitt.

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 Verdichtungszylinder, 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 eine 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.* Abb. 14). Auf dem Rückwege des



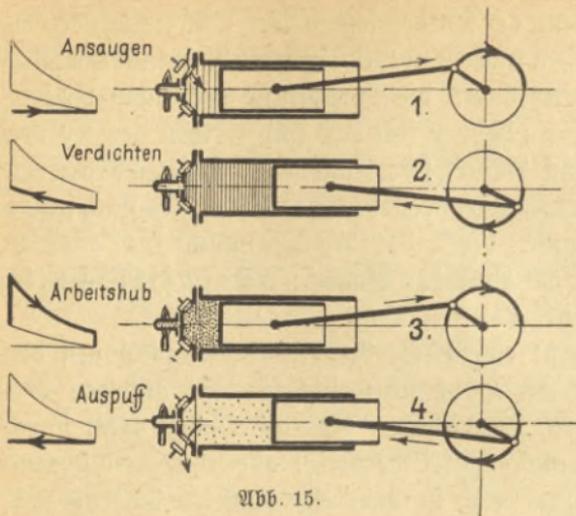


Abb. 15.

Kolbens wird dieses Gasgemisch verdichtet, wodurch die Spannung allmählich bis zum Punkte *c* steigt. In diesem Augenblick tritt die Zündung ein, der Druck steigt infolge der Verpuffung fast augenblicklich bis zum Punkte *d*, die hochgespannten Gase dehnen sich aus und treiben den Kolben vorwärts, wobei ihr Druck allmählich bis zum Punkte *e* abnimmt. Durch Öffnung

des Auspuffventils fällt der Druck auf die Außenluftspannung (Punkt *b*), und mit dieser Spannung werden die Gase auf dem Rückwege des Kolbens (*b a*) aus dem Zylinder ausgetrieben, so daß also die Linie *a b* gewissermaßen als Doppellinie zu denken ist. Die von der Maschine geleistete Arbeit wird, wie früher gezeigt, durch die Fläche *b, c, d, e, b* dargestellt.

Abb. 15 zeigt noch einmal im Zusammenhang, in welcher Weise sich die einzelnen Vorgänge im Zylinder der Viertaktmaschine abspielen. Die Abbildung dürfte nach dem Vorhergehenden ohne weiteres verständlich sein.

Mängel der Viertaktwirkung. Wenn nun auch die sogenannten Viertaktmaschinen den Vorzug großer Einfachheit besitzen, so haften ihnen doch infolge ihrer Wirkungsweise zwei wesentliche Mängel an. Es wurde schon darauf hingewiesen, daß immer erst bei jedem vierten Hube der Kolben einen Arbeitsantrieb erfährt und infolgedessen die für die andern drei Hübe 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 Hübe allmählich verlangsamt, wenn auch nur in geringem Maße. Während des Arbeitshubes tritt dann wieder eine Erhöhung der Umdrehungsgeschwindigkeit ein und so weiter fort. Eine solche Unregelmäßigkeit des Ganges mag ja nun allerdings für manche Betriebe belanglos sein, für viele

aber und namentlich z. B. zum Antriebe 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 Tat geschehen und zwar zunächst einmal dadurch, daß man die Maschinen mit einem oder zwei schweren Schwungrädern versieht. In den Massen dieser Schwungräder lassen sich so große Mengen mechanischer Arbeit anhäufen, daß es schon einer bedeutenden Arbeitsentnahme bedarf, um die Umfangsgeschwindigkeit in einer merkbaren und unzulässigen Weise zu verringern. Bei größeren Maschinen, bei denen entsprechend schwere Schwungräder zu bedeutende Abmessungen erhalten würden, kann eine größere Gleichmäßigkeit des Ganges noch in der Weise erzielt werden, daß man die Maschine nicht mit einem, sondern mit zwei Arbeitszylindern ausführt, deren Kolben an zwei zueinander gleichgerichteten Kurbeln arbeiten (Abb. 16). 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 andern Zylinder der Arbeitshub stattfindet, und umgekehrt. Werden der Ansaugabschnitt mit 1, der Verdichtungsabschnitt mit 2, der Arbeitshub mit 3 und der Auspuffabschnitt mit 4 bezeichnet, dann ist beispielsweise in der gezeichneten Kolbenstellung der Abb. 16 im Zylinder *a* das Gas-Luftgemisch gerade verdichtet (Beginn des Arbeitshubes), während im Zylinder *b* der Ansaugabschnitt beginnt. 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 größere Gleichförmigkeit des Ganges zur Folge hat.

Ein weiterer Nachteil der Viertaktwirkung ergibt sich aus dem Umstande, daß die Verdichtung des Gasgemisches in demselben Zylinder

<i>b</i> :	12	34	12	34
<i>a</i> :	34	12	34	12

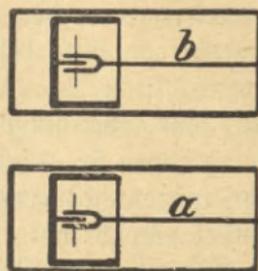


Abb. 16.

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

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

Der erste Abschnitt des Kreisprozesses: das **Anfaugen**. Schon bei der Besprechung der verschiedenen Betriebsmittel hatten wir gesehen, daß Gas die Fähigkeit besitzt, sich außerordentlich rasch mit Luft in jedem beliebigen Verhältnisse zu vermischen. Wir hatten gefunden, daß Leuchtgas in geschlossenem Raume anfängt, unter Druckentwicklung zu verbrennen oder, wie man sagt, zu verpuffen, wenn ein Raumteil Gas mit etwa vier Raumteilen Luft gemischt ist; wir hatten gefunden, daß eine Mischung von einem Raumteil Leuchtgas mit vierzehn Raumteilen Luft bei Außenluftspannung aufhört, entzündbar zu sein, und hatten endlich gefunden, daß es zwischen diesen beiden Grenzen ein sogenanntes stärkstes Gasgemisch gibt, ein Gemisch von einem Raumteil Gas mit etwa fünf Raumteilen Luft, bei dessen Verbrennung in geschlossenem Raume der größte Druck, die höchste Temperatur und die kleinste Verpuffungszeitdauer 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 sehr stark beansprucht würde, ferner aber hätte die bei einer solchen Verpuffung auftretende hohe Temperatur die Notwendigkeit zur Folge, eine besonders kräftige Kühlung der Zylinderwänden eintreten zu lassen, was wiederum mit einem großen Wärme-

das heißt Arbeitsverlust, verbunden wäre. Das Bestreben geht daher in neuerer Zeit dahin, stark verdünnte Gasgemische zu verwenden, doch darf hierbei nicht außer acht gelassen werden, daß dieses Gemisch eine weitere Verdünnung noch dadurch erfährt, daß von dem vorhergehenden Auspuffabschnitt ein Teil der Verbrennungsgase in dem sogenannten Laderaume der Maschine zurückbleibt und sich mit der frisch angesaugten Ladung vermischt. Dabei versteht man unter Laderaum denjenigen Raum des Arbeitszylinders, welcher von dem verdichteten Gasgemische eingenommen wird, wenn der Kolben in seiner inneren Totlage steht. Man ersieht leicht, daß die Menge dieses im Zylinder nach dem Auspuffabschnitte zurückbleibenden Gases um so geringer sein wird, je kleiner der Raum ist, den das Gasgemisch nach seiner Verdichtung einnimmt, das heißt, je höher die Spannung ist, bis zu welcher die Verdichtung getrieben wird.

Zweiter Abschnitt: das **Verdichten**. Es ist leicht ersichtlich, daß die Kraftwirkung einer Verpuffung um so größer sein wird, je größer die Menge des Gasgemisches ist, welches zur Verpuffung gelangt. Ist z. B. die Menge des Gasgemisches bei sonst gleicher Beschaffenheit doppelt so groß, so ist natürlich auch die Kraftwirkung doppelt so groß, und so weiter fort. Um nun die Menge des angesaugten Gemisches zu steigern, könnte man den Weg einschlagen, daß man sehr lange Zylinder verwendete, den Kolben also einen sehr langen Weg zurücklegen ließe. Derartige Maschinen hätten aber einmal den Nachteil, daß ihre Abmessungen, namentlich in der Längsrichtung, zu bedeutend würden, ferner aber würde in erhöhtem Maße der Übelstand eintreten, der bereits auf S. 56 bei der Lenoirmaschine besprochen wurde, nämlich der, daß die bei der Verpuffung sich bildenden heißen Gase im Augenblicke der Verbrennung mit einem großen Teile der verhältnismäßig kühlen Zylinderwandungen in Berührung ständen, was einen starken Wärmeverlust unvermeidlich zur Folge hätte. Beide Übelstände vermeidet man, wenn man das angesaugte Gasgemisch vor der Entzündung verdichtet. Man sieht zunächst, daß die durch eine Verpuffung zu erreichende Kraftwirkung mit der Höhe der Verdichtung wächst; denn beträgt z. B. der oben erwähnte Laderaum der Maschine gerade 1 cdm, so wird die Kraftwirkung einer Verpuffung unter sonst gleichen Umständen um das 2, 3, 4...fache steigen, wenn ich in diesen Raum von 1 cdm 2, 3, 4... cdm 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 Zylinderwandungen in Berührung steht. Ein weiterer Vorteil, der durch die Verdichtung erreicht wird, besteht in der erhöhten Zündfähigkeit des angesaugten Gasgemisches. Trotzdem sich nämlich Gas und Luft stets in sehr kurzer Zeit innig miteinander vermischen (diffundieren), ist die Gleichartigkeit des angesaugten Gemisches doch keine vollkommene. Man kann sich das in der Weise klar machen, daß man sich das Gas in sehr viele kleine Teilchen zerlegt denkt, deren jedes von einer gewissen Menge Luft umgeben ist. Durch die Verdichtung kommen gewissermaßen alle diese von Luft umgebenen Gasteilchen näher aneinander, und zwar um so näher, je weiter die Verdichtung getrieben wird, die Entzündung wird also viel rascher von einem Gasteilchen zum andern fortschreiten können, als wenn die Teilchen, wie es bei unverdichtetem Gemische der Fall ist, weiter voneinander entfernt sind. Infolge davon können aber auch wiederum viel stärker verdünnte Gasgemische verwendet werden als ohne Verdichtung; diese schwachen Gasgemische verbrennen, wie aus der Tafel auf S. 50 ersichtlich ist, mit geringerer Anfangstemperatur, es braucht daher auch weniger Wärme durch das Kühlwasser abgeführt zu werden. Endlich ist noch zu beachten, daß mit höherer Verdichtung die durch die Verpuffung entstehende Spannung eine höhere wird. Demgemäß bekommt auch die Ausdehnungslinie *de* im Diagramm S. 59 eine höhere Lage, der Flächeninhalt des Diagramms wird also größer als der bisherige Flächeninhalt, was, wie wir wissen, gleichbedeutend ist mit einer Vergrößerung der im Zylinder geleisteten Arbeit. — Die angeführten Betrachtungen machen es wohl auch ohne lange theoretische Erörterungen zur Genüge klar, welche großen Vorteile die Verdichtung der Gasgemische vor der Zündung bietet, und in der Tat zeigt auch die Theorie, daß der thermische Wirkungsgrad einer Gasmaschine (das Verhältnis des Unterschiedes von zu- und abgeführter Wärmemenge zur gesamten zugeführten Wärmemenge), sie mag nun mit Leuchtgas oder Sichtgas, 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 at Überdruck über die Außenluft, das heißt also: der Laderaum der Maschine wird so groß gewählt, daß das mit Außen-

luftspannung angefaugte Gasgemisch am Ende des Verdichtungsabschnittes, kurz vor der Zündung, diese Spannung erhält.

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

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

Dritter Abschnitt: **Zündung und Verpuffung.** Über die Mittel, welche dazu dienen, eine Zündung des Gasgemisches zu bewirken, soll später im Zusammenhange gesprochen werden, hier möge nur der Zündungsvorgang an sich kurz erörtert werden. Zündung und Verpuffung des Gasgemisches geschehen durchaus nicht in unermessbar kurzer Zeit, also explosionsartig. Deshalb wird auch bei allen neueren Gasmaschinen die Zündung kurz vor dem inneren Totpunkte der Maschine (Kolbenstellung o' Abb. 13 S. 56) eingeleitet, damit im Totpunkte selber die Entzündung des Gasgemisches möglichst weit fortgeschritten ist. 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. Daß die Verpuffung nicht explosionsartig erfolgt, sondern zu ihrem Verlaufe eine gewisse Zeit beansprucht, erkennt man leicht aus folgendem: Läßt man die Diagramme vermittleis eines Indikators von der Maschine selbst aufzeichnen, so erkennt man, daß bei

der Zündung die Spannung ($c-d$ Abb. 14 S. 59) meist nur in ihrem untersten Teil senkrecht ansteigt, während der obere Teil sich etwas nach rechts, das heißt nach der Richtung der Ausdehnungslinie hinüberneigt, so daß die höchste Spannung erst erreicht ist, wenn der Kolben einen, wenn auch kleinen, Weg vom Totpunkte aus zurückgelegt hat. Erhöht man während des Ganges der Maschine die Verdünnung des Gasgemisches, indem man weniger Gas zuströmen läßt, und läßt man dann die Maschine vermittle des Indikators die Diagramme aufzeichnen, so sieht man, daß die Linie $c-d$ (Abb. 14) 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. Erfolgt die Zündung erst hinter dem Totpunkt der Maschine, so tritt dadurch ebenfalls eine Verringerung der Leistung und damit eine Verschlechterung des Wirkungsgrades ein, da auch hier bei dem rasch zunehmenden Volumen während der Verpuffung der Druck nicht genügend hoch steigen kann und die Verbrennung zu spät beendet ist. Es ist auf diese Weise die Möglichkeit gegeben, eine gewisse Regelung des Ganges der Maschine herbeizuführen lediglich durch Verstellen des Zündungszeitpunktes, wovon z. B. bei Automotoren, Flugzeugmotoren öfters Gebrauch gemacht wird.

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 eine Spannung von etwa 3 at 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 etwa 400°C aus der Maschine ausgetrieben. Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß hiermit ein beträchtlicher Wärmeverlust, das heißt Arbeitsverlust in der Maschine verbunden ist, der sich deswegen nicht vermeiden läßt, weil eben Verdichtung und Ausdehnung in einem und demselben Zylinder stattfinden. Dagegen sind in neuerer Zeit beträchtliche Erfolge erzielt worden mit der anderweitigen Verwendung der in den heißen Auspuffgasen steckenden Abwärme. Näheres darüber im Abschnitt VI (S. 113).

Der Versuch, durch eine Abänderung des Kurbeltriebes den Kolben während des Aufganges 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 Erfolg geführt.

Zweitaktmaschinen.¹⁾ 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, also bei jeder Umdrehung der Maschinenwelle, eine Verpuffung und damit ein Arbeitsantrieb der Maschinenwelle stattfindet.

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

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

Derartige doppelwirkende 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 heute von vielen Fabriken bis zu den größten Leistungen (1500 bis 2000 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. 17 veranschaulichten Form zuerst von Döbelhäuser und später von Körting mit Erfolg beschritten. Nachdem die Zündung des vorher verdichteten Gasgemischs (siehe weiter unten!) im Punkte *c* stattgefunden hat, dehnen sich die Gase aus (Kurve *d ~ m*), indem sie den Kolben dabei vorwärts drücken. Kurz

1) Vgl. Anm. S 51.

bevor nun der Kolben seinen Hub beendet hat, öffnet er, etwa im Punkte *m*, Schlitze, die sich in der Zylinderwandung befinden und mit der Auspuffleitung in Verbindung stehen, so daß die in diesem Augenblicke immer noch verhältnismäßig hochgespannten Gase rasch aus dem Zylinder entweichen. Während dieses Auspuffens dringt von dem linken

Zylinderende her frische, sogenannte Spülluft mit geringem Überdrucke in den Zylinder ein, wodurch der letzte Rest der Verbrennungsgase aus dem Zylinder hinausgetrieben („hinausgespült“) wird.

Unmittelbar darauf, etwa

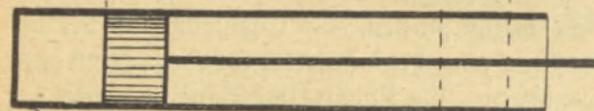


Abb. 17.

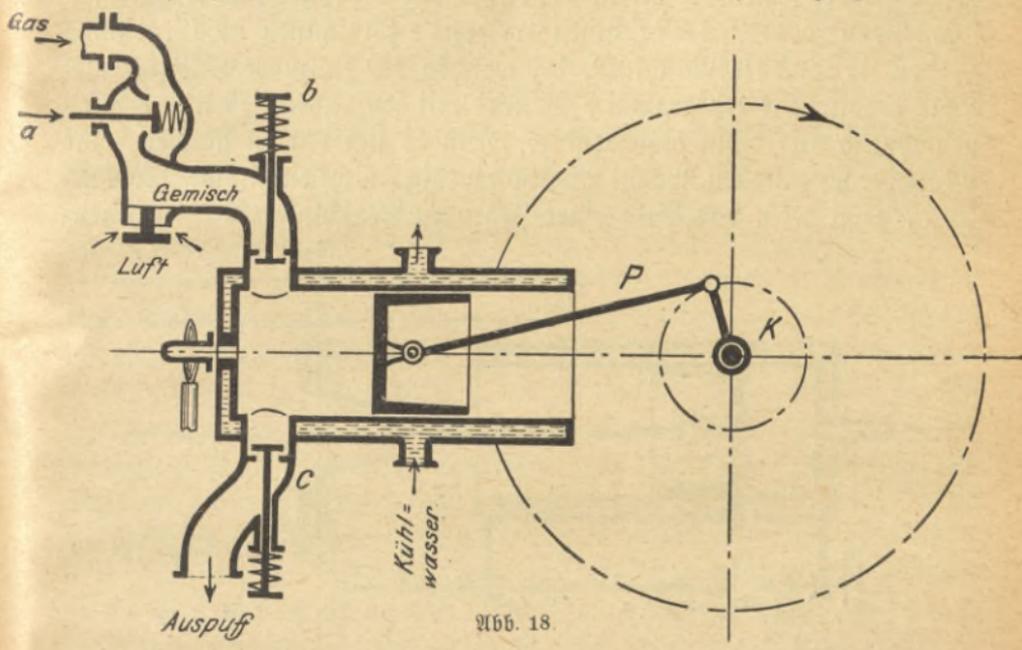
während der Kolben den Weg *n—o* zurücklegt, wird nun bei fortwauernder Lufteinströmung ebenfalls mit geringem Überdrucke Gas in den Zylinder hineingedrückt. Im Punkte *o* hört dann das Zuströmen von Gas und Luft auf, worauf der rückkehrende Kolben das nun im Zylinder befindliche Gasluftgemisch verdichtet. Eine nach einem solchen Diagramme arbeitende Maschine ist z. B. die in Abb. 36—38 (S. 100 u. 102) dargestellte Petroleummaschine.

Zum Betriebe derartiger Zweitaktmaschinen gehören also stets zwei besondere Pumpen, um Brennstoff und Luft in den Zylinder hineinzudrücken. Die Maschinen eignen sich daher, wenn es sich um gasförmige Brennstoffe handelt, ihrer verwickelten Bauart wegen (ebenso wie die vorher beschriebenen doppelwirkenden Viertaktmaschinen) im allgemeinen nur für größere Leistungen, für welche sie aber schon in großer Zahl ausgeführt worden sind.

Bringt man endlich, wie dies bei den Maschinen von Körting der Fall ist, einen solchen eben beschriebenen Zweitakt auf jeder der beiden Kolbenseiten zur Ausführung, so erhält man offenbar eine Eintaktmaschine, das heißt eine Maschine, welche sich, was die Zahl der Krafthübe während einer Kurbelumdrehung betrifft, von einer doppelwirkenden Dampfmaschine nicht mehr unterscheidet. Näheres über Zweitaktmaschinen s. des Verf. „Neuere Wärmekraftmaschinen II“ (MKG Bd. 86).

4. Der Aufbau der Gasmaschinen.

Allgemeiner Aufbau. Es ist natürlich in dem Rahmen des vorliegenden Bändchens unmöglich, eine Übersicht über die verschiedenen Bauarten von Gasmaschinen zu geben, die sich im Laufe der Zeit aus dem ursprünglichen „Otto“ entwickelt haben. Der Zweck unserer Betrachtung ist ja aber auch nur der, ein Verständnis für die Art und Weise der Kräfteerzeugung in den neueren Wärmekraftmaschinen zu gewinnen,



und so dürfte es zunächst genügen, an einem durch Gerippfzissen veranschaulichten Beispiele den allgemeinen Aufbau einer Gasmaschine und die zu ihrer Arbeitsweise nötigen Einzelheiten in Kürze zu erläutern.

Der allgemeine Aufbau ist bei der Mehrzahl der heutigen Gasmaschinen im wesentlichen derselbe geblieben wie bei dem ersten „Otto“. Als Vorbild diente hier, wie bei der Lenoirmaschine, die Dampfmaschine, deren Einzelheiten wir zum großen Teile bei der Gasmaschine wiederfinden. In einem Zylinder bewegt sich ein dicht an die Wandungen anschließender Kolben, dessen hin und her gehende Bewegung durch eine Schubstange, auch wohl Pleuelstange genannt (P Abb. 18 u. 19), auf eine Kurbel *K* übertragen und so in eine umlaufende Bewegung umgesetzt wird. Die Kurbel sitzt auf einer mehrfach gelagerten

Welle, welche ein Schwungrad, außerdem aber häufig noch eine Riemenscheibe trägt, vermittels deren, unter Zuhilfenahme eines Riemens, die Arbeit auf irgendeine andere Welle übertragen wird. An die Stelle der bei der Dampfmaschine häufig verwendeten Stirnkurbel tritt hier in fast allen Fällen die sogenannte gekröpfte Welle (*w* Abb. 19), das heißt eine Welle, welche so gebogen ist, daß die Kurbel sich nicht an einem Ende (an der „Stirn“ der Welle), sondern in der Mitte befindet. Die Lage des Zylinders ist in der Mehrzahl der Fälle eine wagerechte. Man nennt derartige Maschinen liegende Maschinen im Gegensatz zu den stehenden Maschinen, bei welchen der Zylinder eine lotrechte Lage erhält. Die letztgenannte Bauart mit senkrechtem Zylinder wird gewöhnlich nur dann angewendet, wenn es sich darum handelt, eine Maschine herzustellen, welche möglichst wenig Fläche einnimmt. Abb. 23 S. 77 zeigt z. B. das Bild einer stehenden Maschine mit untenliegen-

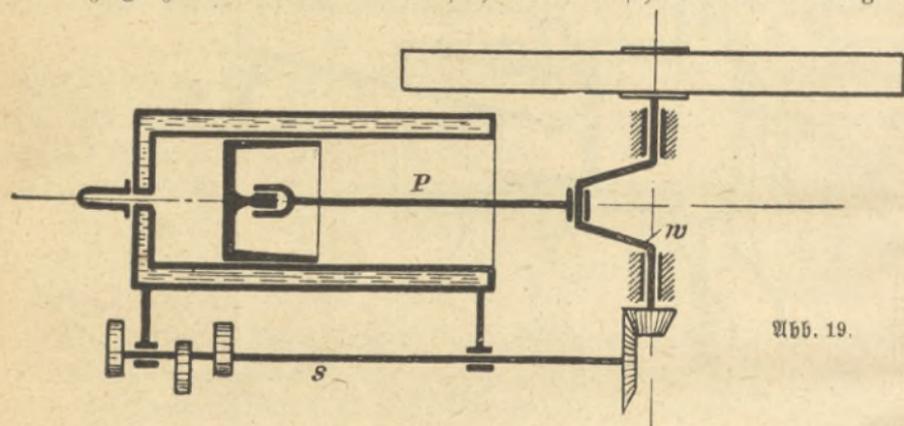


Abb. 19.

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

Bemerkenswert ist es, daß bei Gasmaschinen, namentlich bei denen kleinerer Leistung, in der Regel eine besondere Geradföhrung des Kolbens nicht ausgeführt wird. Der Kolben erhält vielmehr eine solche Länge (Abb. 18), daß dadurch eine besondere Geradföhrung entbehrlich wird und somit auch die ganze Länge erspart wird, die sonst für eine eigene Kolbenstange und einen besonderen Kreuzkopf mit Gleitbahn nötig wäre. Die Folge ist, daß derartige Maschinen bedeutend kürzer und somit auch billiger werden, während man andererseits den

Nachteil mit in Kauf nehmen muß, daß der Zapfen, um welchen die Schubstange in dem Kolben schwingt, nur schwer zugänglich wird.

Kühlung. Eine allen Gasmaschinen eigentümliche Einrichtung, durch welche sie sich von der Dampfmaschine wesentlich unterscheiden, ist die Kühlung des Zylinders. Daß sie mit Bezug auf die Umsetzung von Wärme in Arbeit in der Maschine selber ein der Gasmaschine anhaftendes notwendiges Übel ist, wurde bereits eingehend besprochen. Sie wird es um so mehr, als der Bedarf an Kühlwasser kein unbedeutender ist (er beträgt etwa 30—40 l für die PS-st), und namentlich die Kosten für die Beschaffung des nötigen Wassers zu den allgemeinen Betriebskosten hinzugerechnet werden müssen. Daß allerdings die Verwendung des aus der Maschine kommenden warmen „Kühlwassers“ unter Umständen die Wirtschaftlichkeit der ganzen Anlage nicht unbedeutend erhöhen kann, ist eine Sache für sich. Siehe darüber Abschnitt VI. In der Regel geschieht die Kühlung 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 (Abb. 18). Nur bei ganz kleinen Gasmaschinen, z. B. bei den zum Antriebe von Fahrrädern dienenden kleinen Benzinmaschinen, auch bei gewissen Maschinen für Flugzeuge, den sogenannten Umlaufmotoren (Motoren mit kreisenden Zylindern), hat man die Wasserkühlung dadurch ersetzt, 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. Macht die Beschaffung von stets zu erneuerndem Kühlwasser aus irgendwelchen Gründen Schwierigkeit, so kann man sich in mancherlei Weise helfen. Bei Automobil- und Flugmotoren mit feststehenden Zylindern z. B. wird immer wieder dasselbe Wasser verwendet, indem man es nach dem Austritt aus dem Zylindermantel vermittels einer kleinen Pumpe durch einen sogenannten Luftkühler (einen Behälter mit kleinem Querschnitt, aber großer Oberfläche) hindurch- und wieder in den Zylindermantel hineindrückt. Ein anderes Hilfsmittel, welches namentlich bei Maschinen kleinerer Leistung angewendet wird, besteht darin, daß man (Abb. 20) in der Nähe der Maschine einen größeren Wasserbehälter aufstellt und vermittels zweier Rohre den Kühlmantel des Zylinders mit dem oberen und mit dem unteren Teile dieses Gefäßes in Verbindung bringt. Da warmes Wasser bekanntlich leichter ist als kaltes, stellt sich nach einiger Zeit von selbst

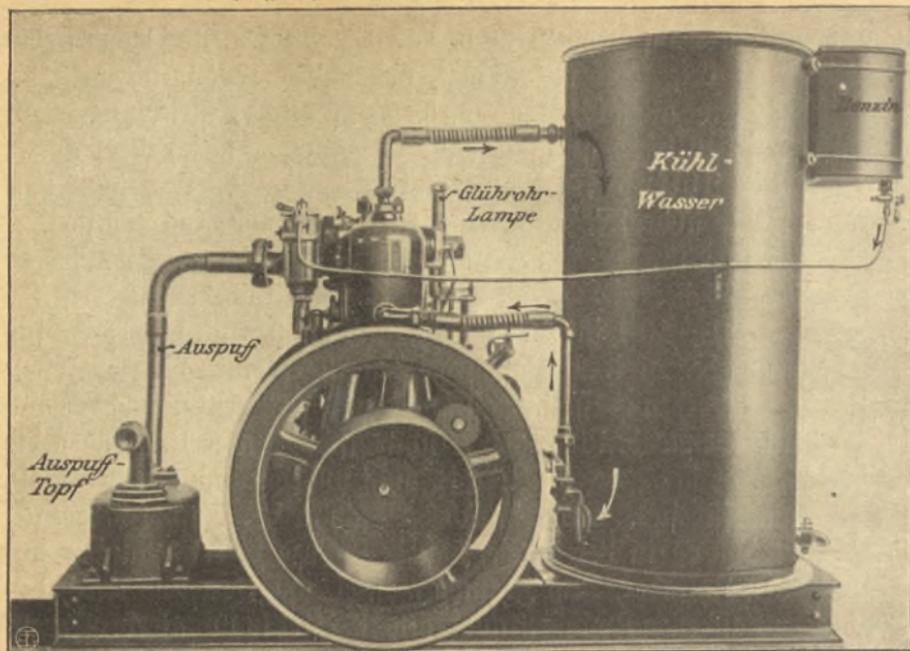


Abb. 20.

ein Kreislauf des Wassers in der Weise ein, daß das in der Maschine erwärmte Wasser durch das obere Rohr in den Wasserbehälter hinüberwandert, während durch das untere Rohr das im Behälter abgekühlte Wasser in den Kühlmantel nachströmt. Abb. 20 zeigt eine solche Anordnung in Verbindung mit einer kleinen Benzinmaschine. Die eingezeichneten Pfeile geben die Richtung an, in welcher das Wasser umläuft.

Ein drittes Hilfsmittel endlich findet sich hauptsächlich bei Benzin- und Spirituslokomobilen und -lokomotiven. Bekanntlich kann Wasser in einem offenen Gefäße höchstens eine Temperatur von etwa 100°C annehmen. Bildet man nun den Kühlwassermantel des Zylinders zu einem solchen offenen, mit Wasser gefüllten Gefäße aus, so wird auch die Zylinderwandung niemals jene für eine Wärmekraftmaschine niedrige Temperatur übersteigen können. Allerdings wird das Wasser allmählich verdampfen (daher auch der Name Verdampfungskühlung) und muß von Zeit zu Zeit durch neues Wasser ersetzt werden. Abb. 21 zeigt eine solche Verdampfungskühlung bei einer Maschine für flüssige Brennstoffe. Die Maschine, gebaut von der Motorenfabrik Oberursel, ist eine Maschine, wie sie in Benzinlokomotiven eingebaut wird (daher die sehr zu-

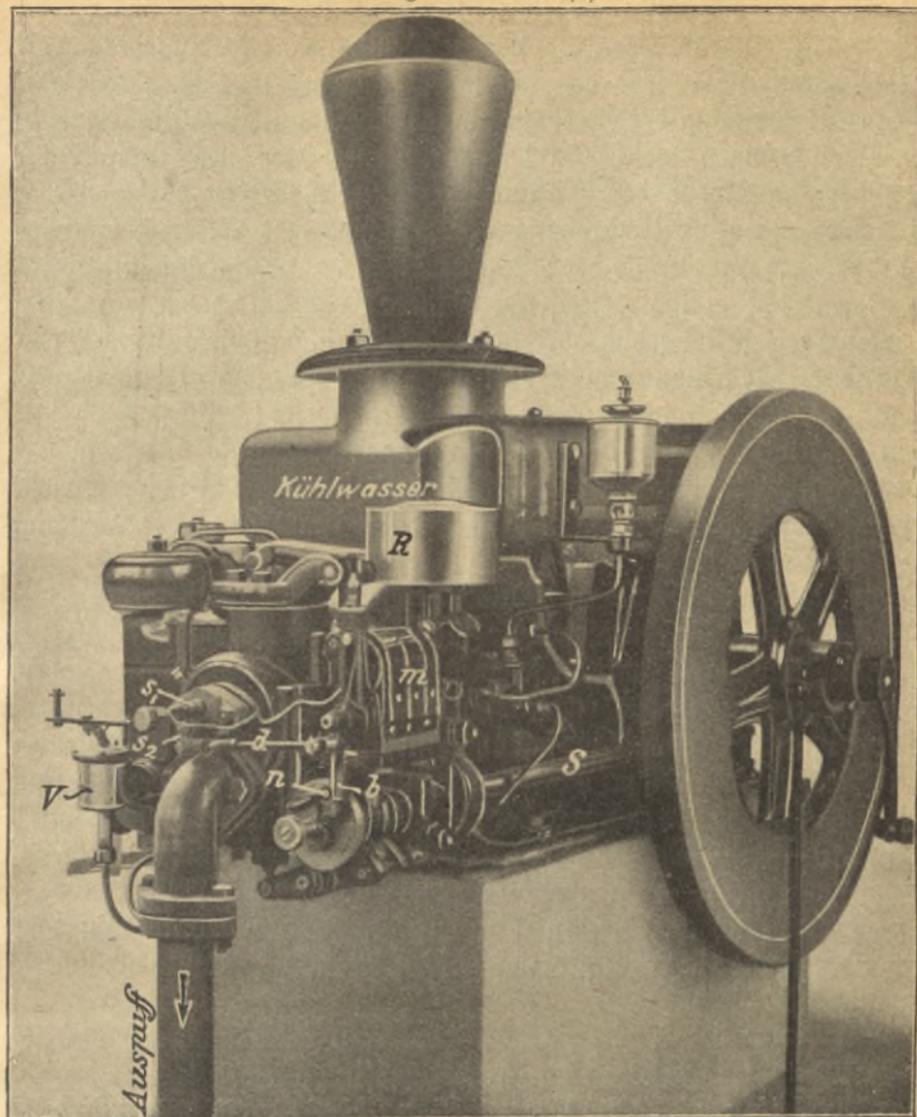


Abb. 21.

sammengedrückte Bauart). Der Kühlwassermantel ist oben kastenartig ausgebildet und steht durch den Schornstein mit der Außenluft in Verbindung.

Steuerung. Zu den wichtigsten Teilen der Gasmaschine gehört die Steuerung, unter der man zusammenfassend alle diejenigen Vorrichtungen versteht, durch welche die vorher eingehend beschriebenen Arbeits-

abschnitte erreicht werden. Wie wir gesehen hatten, tritt ein jeder solcher Arbeitsabschnitte immer erst bei jedem vierten Hube, d. h. bei jeder zweiten Umdrehung der Maschine ein, es werden mithin alle die erwähnten Vorrichtungen, welcher Art sie auch sein mögen, nicht unmittelbar von der Hauptwelle der Maschine angetrieben werden dürfen, da sie ja sonst bei jeder Umdrehung der Maschine ihre Wirkung ausüben würden. Die Hauptwelle der Maschine treibt daher zunächst eine zweite, meist senkrecht zu ihr verlaufende kleinere Welle, und zwar durch Verwendung geeigneter Zahnräder in der Weise an, daß diese zweite Welle, Steuerwelle genannt, in der Zeiteinheit nur halb soviel Umdrehungen macht als die Hauptwelle. Von dieser Steuerwelle (S Abb. 19, 21 und 31) 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 oben genannten Steuerwelle angetrieben wurde. Heutzutage werden zur Steuerung der Gasmaschine fast ausschließlich die leichter herzustellenden und leichter instand zu haltenden Ventile verwendet, und zwar kann man bei jeder Gasmaschine in der Regel drei verschiedene Ventile unterscheiden — das Gasventil (*a*), das Gemischeinlaßventil (*b*) und das Auslaßventil (*c*) —, deren Wirkungsweise aus der Gerippfzisse Abb. 18 S. 69 ersichtlich ist. Die Anordnung der Ventile, d. h. ihre Lage zueinander sowie die Lage in bezug auf die Maschine, kann natürlich sehr mannigfaltig sein.

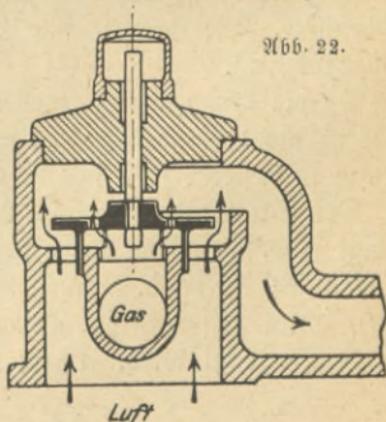
Bei der in der Abb. 18 S. 69 gewählten Anordnung gestaltet sich nun das Spiel der Ventile folgendermaßen:

Bei Beginn des ersten Abschnittes, d. h. 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, d. h. 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 offen gehalten, bis der Kolben wiederum in seiner inneren Totlage angelangt ist, worauf mit dem Schluß des Ventiles *c* und der Öffnung der Ventile *a* und *b* das Spiel von neuem beginnt.

Die eben besprochene Ventilanordnung wird bisweilen in der Weise abgeändert, daß an Stelle des gesteuerten Gasventiles *a* ein selbsttätiges Mischventil tritt, d. h. ein Ventil, welches gleichzeitig Luft- und Gaseintritt in die Maschine regelt, und das 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 eben besprochenen Art zeigt Abb. 22. Wie man sieht, besteht das Ventil aus einer Art Glocke (in der Abbildung schwarz gezeichnet) mit verschiedenen Löchern, durch welche bei gehobener Glocke (die Stellung, wie sie in der Abbildung gezeichnet ist) das Gas eintritt, während um den Rand der Glocke herum die von dem Kolben angesaugte Luft hineindringt. Das Verhältnis des angesaugten Gases zur angesaugten Luftmenge, also das Mischungsverhältnis, bleibt hier stets dasselbe, mag sich die Ventilklocke 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.



5. Die Gasmaschine im Betrieb.

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

Heutzutage geschieht die Zündung in den Gasmaschinen ebenso wie in den später zu besprechenden Petroleum-, Benzin- und Spiritusmaschinen (mit Ausnahme der Dieselmachine) fast ausschließlich durch einen elektrischen Funken, welcher in dem Augenblicke, wo er benötigt wird, von einer kleinen magnet-elektrischen Maschine erzeugt wird. Nur bei kleineren Maschinen, namentlich solchen älterer Bauart, findet man wohl noch eine Zündung mit Hilfe eines sogenannten Glührohres, dessen Einrichtung und Wirksamkeit die folgende ist: An dem Hintertheile des Arbeitszylinders ist ein kleines, auf einer Seite geschlossenes Röhrchen befestigt (Abb. 18 S. 69 u. Abb. 15 S. 60), das, in der Regel aus Porzellan bestehend, von außen durch eine Flamme erhitzt und in rotglühendem Zustande erhalten wird. Während des Verdichtungsabschnittes werden die von dem vorhergehenden Viertakte in dem Röhrchen noch befindlichen, nicht mehr brennbaren Gase ebenfalls verdichtet. Frisches Gasgemisch dringt in das Röhrchen ein und entzündet sich an dessen glühenden Wandungen. Natürlich müssen die Abmessungen des Röhrchens so gewählt werden, daß erst in dem Augenblicke, in welchem die Verdichtung ihren höchsten Grad erreicht hat, d. h. im inneren Totpunkte der Maschine, die in das Röhrchen eingedrungene frische Ladung den heißesten Teil des Röhrchens erreicht hat und somit in diesem Augenblicke erst die Zündung erfolgt.

Abb. 23 zeigt das Glührohr der in Abb. 20 S. 72 dargestellten Maschine. Die Lampe zum Erhitzen des Glührohres ist in Abb. 23 abgenommen.

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

Den Grundgedanken einer neuzeitlichen magnet-elektrischen Zündung zeigt Abb. 24. Eine Reihe von Stahlmagneten *m* umschließt einen sogenannten Anker, d. h. einen mit Drahtwicklungen versehenen Zylinder (*a*), durch dessen kurze, aber rasche Drehung ein kräftiger elektrischer Strom erzeugt wird. Durch die Wand des Maschinenzylinders sind

ferner zwei Stäbe s_1 und s_2 hindurchgeführt, von denen s_1 unbeweglich ist, während s_2 drehbar gelagert ist und an seinem in die Maschine hineinragenden Ende eine kleine Nase besitzt, die unter dem Einfluß einer Feder f_1 auf dem Stabe s_1 aufliegt. Die beiden Stäbe s_1 und s_2 stehen in leitender Verbindung mit den Drahtwicklungen des Ankers. Zu diesem Zwecke ist Stab s_1 isoliert durch die Zylinderwandungen hindurchgeführt und durch eine Leitung mit dem einen Pol der Drahtwicklungen des Ankers verbunden, während der andere Pol

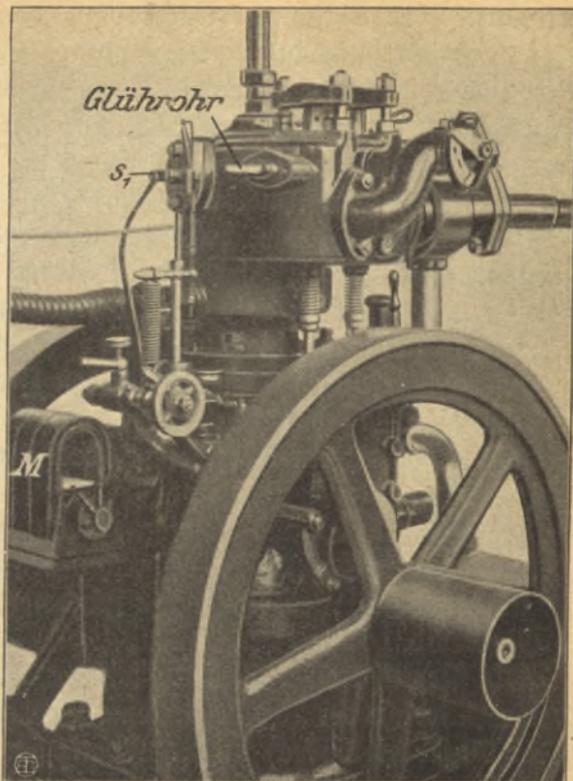


Abb. 23.

des Ankers durch die Maschinewandungen 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

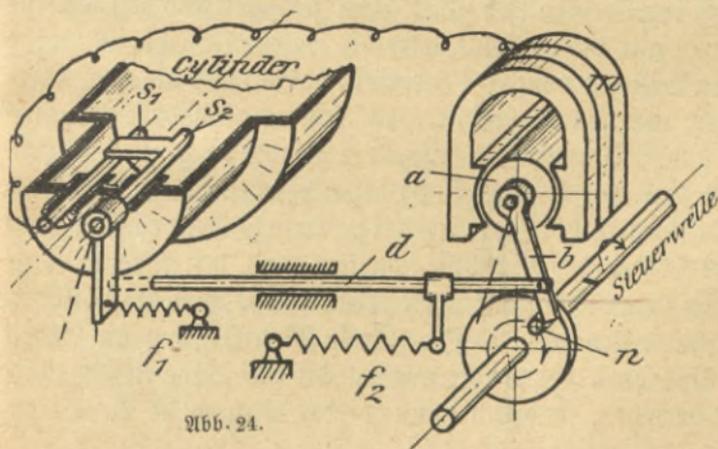


Abb. 24.

Stab s_2 so gedreht, daß sich seine Nase von dem Stifte s_1 abhebt, dann springt offenbar in demselben Augenblicke im Inneren der Maschine ein elektrischer Funke über, der das

verdichtete Gasgemisch zur Entzündung bringt. Die erwähnte kurze, aber rasche Drehung des Ankers und das gleichzeitige „Abreißen“ der Nase von dem Stabe s_1 wird nun auf folgende einfache Weise erzeugt. Eine auf der Steuerwelle der Maschine befestigte Scheibe besitzt einen Vorsprung n , der bei jeder Umdrehung der Steuerwelle einmal einen auf der Achse des Ankers sitzenden Arm b 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 Abb. 21, 31 und 32 zeigen solche „Abreißzündungen“. Die dabei eingesetzten Buchstaben entsprechen denen der Abb. 24.

Über andere Arten elektrischer Zündung vgl. Blau, Das Automobil (MtuG Bd. 166).

Die Regulierung. Nehmen wir an, wir hätten eine Gasmaschine vor uns, welche bei 200 Umdrehungen (d. h. also bei 100 Doppelhüben oder 50 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 Leistung 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. Leistung ist aber, wie wir früher (S. 8) schon 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 ge-

leistet 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 zertrümmert 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 verlangsamte sich der Gang des Schwungrades, die Maschine macht weniger Umdrehungen, sie leistet dadurch weniger Arbeit; dem Schwungrade muß also noch mehr Arbeitsvermögen entzogen werden, die Maschine geht also noch langsamer, sie wird nach kurzer Zeit endlich stillstehen. Um beide Fälle, ein Durchgehen wie ein Stehenbleiben der Maschine, nach Möglichkeit zu verhindern, ist jede Kraftmaschine, welcher Art sie auch sein möge, gewöhnlich mit einer Vorrichtung versehen, welche die Kräfteerzeugung der Maschine in der Weise regelt, daß, falls der Arbeitswiderstand auf kurze Zeit wächst, die Leistung der Maschine erhöht wird, und umgekehrt bei abnehmendem Widerstande ihre Arbeitsleistung verringert wird. Beides natürlich nur in gewissen Grenzen.

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

Regulierung durch Aussetzen. 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 auf-

einander folgender Arbeitsabschnitte das Gasventil *a* (Abb. 18 S. 69) geschlossen zu halten. Die Maschine saugt dann nur reine Luft an, Zündung und Verpuffung bleiben aus, und die Maschine verzehrt einen Teil des in dem Schwungrade aufgespeicherten Arbeitsvermögens, bis dann nach einigen Umdrehungen der gewöhnliche Arbeitszustand wieder eintritt. Um nun die Maschine gelegentlich auch eine größere Arbeit leisten zu lassen, ist die Einrichtung so getroffen, daß schon während des gewöhnlichen Arbeitswiderstandes etwa nach jedem 8. oder 9. Doppelhube ein solches Ausfallen einer Ladung eintritt. Steigt dann der Arbeitsbedarf, so wird auch bei diesem 8. oder 9. Doppelhube Gasgemisch angesaugt, wodurch sich natürlich die Gesamtleistung der Maschine erhöht. Diese Art der Regulierung läßt sich nun z. B. durch folgende Vorrichtung erreichen, welche durch die beiden Abb. 25 und 26 veranschaulicht wird. Durch die Steuerwelle *s* wird mittels 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

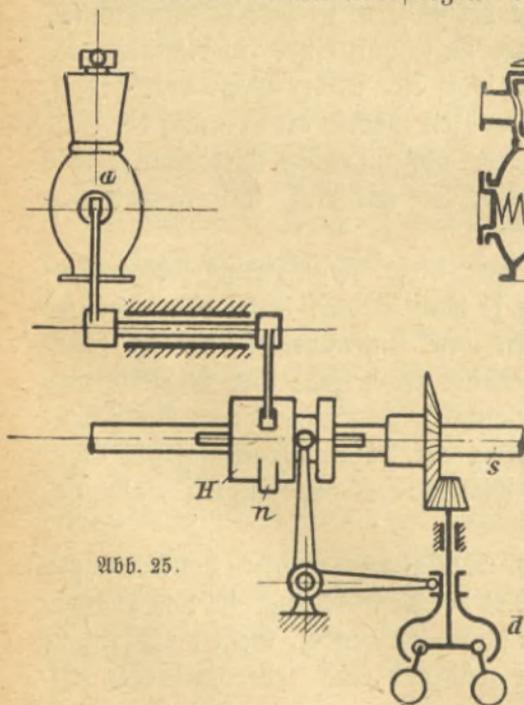


Abb. 25.

Abb. 26.

weiteres ersichtlich, daß beim Heben dieses Deckels infolge der Einwirkung des unteren Winkelhebels eine Verschiebung der Hülse *H* nach links eintritt, während bei zu langsamem Gange die Kugeln und damit der Deckel wieder heruntersinken und dadurch die Hülse auf der Steuerwelle mehr nach rechts verschoben wird.

Diese eben besprochene Hülse hat nun an einer Stelle eine Erhöhung oder, wie man sagt, einen Nocken *n*, dessen Wirkung ebenfalls aus der Abbildung ersichtlich ist. Kommt nämlich dieser Nocken durch die Umdrehung der Steuerwelle nach oben, so wird dadurch der obere Winkelhebel (Abb. 26) ein klein wenig gedreht und öffnet auf diese Weise das Gasventil *a*, dessen Zweck bei dem Bau der Maschine S. 74 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.

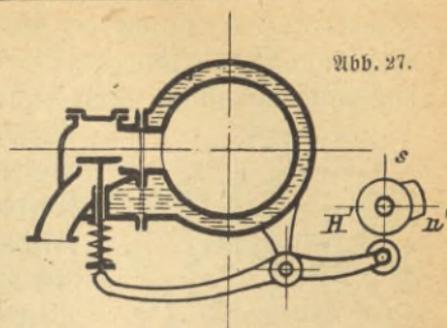


Abb. 27.

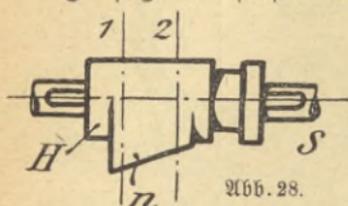
Ganz ähnlich ist, wie hier bemerkt werden möge, die Steuerung des Auslaßventils (Abb. 27), nur daß hier die Bewegung der Hülse nicht vom Regulator beeinflusst wird. Die Wirkung der Steuerung ist nach dem Vorhergehenden ohne weiteres aus der Abbildung verständlich.

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

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

Gemischregelung. Durch eine Regulierung vermittels zunehmender oder abnehmender Verdünnung des Gasgemisches wird zwar der Übelstand eines ungleichmäßigen Ganges wesentlich gemildert,

dafür tritt aber ein anderer Übelstand schärfer hervor, nämlich der, daß eine solche Regulierung den Gasverbrauch für eine Nutzpferdestärke recht ungünstig beeinflusst. Wir hatten allerdings früher gesehen, daß eine



Verwendung stark verdünnter Gasgemische vorteilhaft ist, jedoch nur dann, wenn die Verdichtung vor der Entzündung gesteigert wird. Geschieht das nicht, so tritt, namentlich bei starker Verdünnung, eine langsamere Verpuffung und damit zusammenhängend

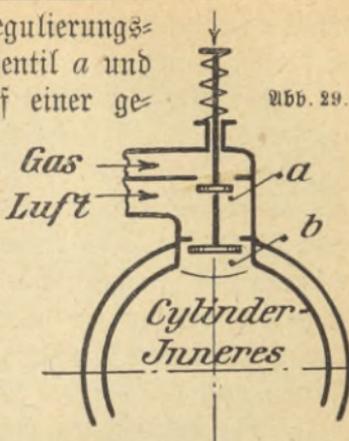
eine weniger gute Ausnutzung der sich ausdehnenden Gase ein, was wiederum ein Sinken des Wirkungsgrades, das heißt eine Erhöhung des Gasverbrauches für eine PS-st zur Folge hat.

Die Ausführung einer solchen Gemischänderung kann z. B. in der Weise geschehen, daß man die Hülse *H* in Abb. 25 etwa so gestaltet, wie es Abb. 28 angibt. Bei erhöhtem Leistungsbedarfe würde der Regulator die Hülse so weit verschieben, daß der obere Winkelhebel der Abb. 25 etwa an der Stelle 1 (Abb. 28) über die Hülse hinweggleitet, das Gasventil also lange und weit öffnet. Geht dagegen die Maschine zu schnell, soll also die Leistung geringer werden, so würden die Regulatorkugeln auseinanderfliegen und die Hülse so weit verschieben, daß der Winkelhebel etwa an der Stelle 2 über die Hülse hinweggleitet, das Gasventil also nur für kurze Zeit und nur in geringem Maße offen hält.

Die Gemischregelung ist sehr empfindlich gegen plötzliche Steigerung des Gasdruckes und plötzliche Änderungen des Heizwertes des Gases. Es kann daher unter Umständen folgender eigentümliche Fall eintreten: Angenommen, die Maschine arbeitet mit hoher Belastung, also starkem Gasgemisch, und plötzlich steige der Gasdruck oder der Heizwert des Gases. Dann kann es vorkommen, daß die zugeführte (unveränderliche!) Luftmenge zur Verbrennung nicht mehr ausreicht, die Verbrennung wird unvollkommen, die Maschine geht langsamer. In einem solchen Falle stellt ja aber der Regulator eine noch größere Gasfüllung ein! Die Verbrennung wird also noch schlechter, die Leistung noch geringer, und die Maschine bleibt endlich stehen. Sie „erstickt im Gase“, wie man sich wohl auszudrücken pflegt.

Diesen Übelstand vermeidet die dritte Art der Regelung, die **Füllungsregelung**, d. h. Regulierung durch Veränderung der Menge des angesaugten Ladungsgemisches. Ein Ausführungsbeispiel

dieser in neuerer Zeit viel angewendeten Regulierungsart zeigt die Gerippfizzze Abb. 29. Gasventil *a* und Gemischeinlaßventil *b* sitzen hier fest auf einer gemeinsamen Spindel und schließen die Kanäle für Gas und Luft ab. Je weniger tief die Ventilspindel nach unten gedrückt wird, was von dem Regulator der Maschine in einfacher Weise geregelt werden kann, um so mehr werden Gas und Luft „gedrosselt“, um so weniger Gemisch wird also vom Kolben der Maschine angefangt, um so geringer ist also die Leistung der Maschine.



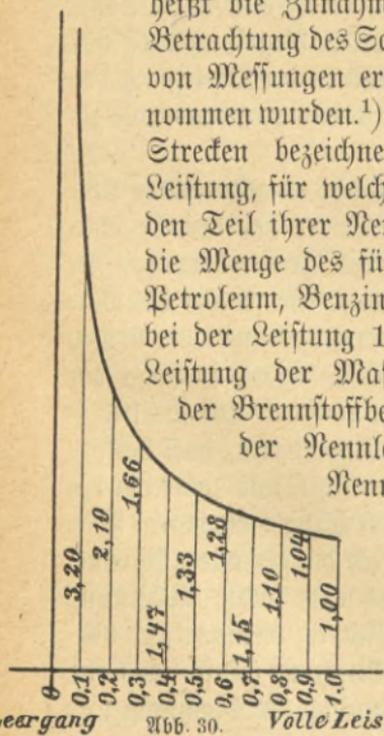
Dasselbe erreicht man auch, wenn man ein selbsttätiges Mischventil nach Abb. 22 S. 75 anwendet und das Gemischeinlaßventil *b* Abb. 18 S. 69 unter dem Einfluß des Regulators sich mehr oder weniger weit öffnen läßt. Da hier bei abnehmender Leistung die Verdichtung vor der Zündung nicht dieselbe Höhe erreichen kann wie bei regelrechtem Gange, weil eben weniger Gasgemisch angefangt wurde, so tritt auch hier eine Erhöhung des Gasverbrauches für 1 PS-st ein, mithin eine Verschlechterung des Wirkungsgrades. Eine weitere Regelungsmöglichkeit, wenn auch in engen Grenzen, besteht endlich in der Verlegung des Zündungszeitpunktes, worüber schon auf S. 66 das Notwendigste gesagt wurde.

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 PS-st beziehen sich stets auf diejenige Leistung, für welche die Maschine eigentlich gebaut ist, die sogenannte Normalleistung oder Nennleistung. Sinkt die Maschinenleistung unter diesen Wert, so steigt der Gasverbrauch für 1 PS-st, und zwar in um so stärkerem Maße, je weiter die Leistung sinkt. Der Grund hierfür liegt darin, daß bei abnehmender Leistung sich der Zylinder stärker abkühlt, und zwar bei der erstgenannten Regulierungsart infolge des Fortfallens einzelner Verpuffungen, bei der zweiten und dritten Art durch die geringere Wärmerückentwicklung der einzelnen Verpuffungen. Durch eine solche Abkühlung des Zylinders wird die Ladung vor der Entzündung weniger gut vorgewärmt, es tritt hierdurch eine weniger gute Mischung (Diffusion) ein, und die Folge davon ist eine schlechte, unvollständige Verbrennung und

damit zusammenhängend eine Erhöhung des Gasverbrauches. Ferner darf nicht außer acht gelassen werden, daß in jeder 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 Nennleistung verbrauchten Gases, und da diese Gasmenge selbst dieselbe Größe behält, ganz gleichgültig, ob die Maschine mit ganzer oder halber Leistung arbeitet, so verteilt sie sich zu um so größeren Teilen auf jede einzelne PS, je geringer die Arbeitsleistung der Maschine wird; es wird also infolge hiervon der Gasverbrauch für 1 PS-st 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 PS-st, bei der Betrachtung des Schaubildes Abb. 30, welches Durchschnittswerte von Messungen ergibt, die an verschiedenen Maschinen vorgenommen wurden.¹⁾ Die auf der wagerechten Linie aufgetragenen Strecken bezeichnen den Prozentsatz der mit 1 bezeichneten Leistung, für welche die Maschine gebaut wurde (den betreffenden Teil ihrer Nennleistung), während die senkrechten Strecken die Menge des für 1 PS-st verbrauchten Brennstoffes (Gas, Petroleum, Benzin) darstellen, bezogen auf den Brennstoffbedarf bei der Leistung 1 (bei der Nennleistung). Beträgt z. B. die Leistung der Maschine nur 0,7 ihrer Nennleistung, so ist der Brennstoffbedarf für 1 PS-st 1,15 mal so groß wie bei der Nennleistung; beträgt die Leistung nur 0,3 der Nennleistung, so ist der Brennstoffbedarf für 1 PS-st 1,66 mal so groß als bei der Nennleistung usw.

Dies Ergebnis ist für jeden, der sich eine Gasmaschine anschaffen will, von hoher



1) Aus Musil, Wärmemotoren. Braunschweig 1899.

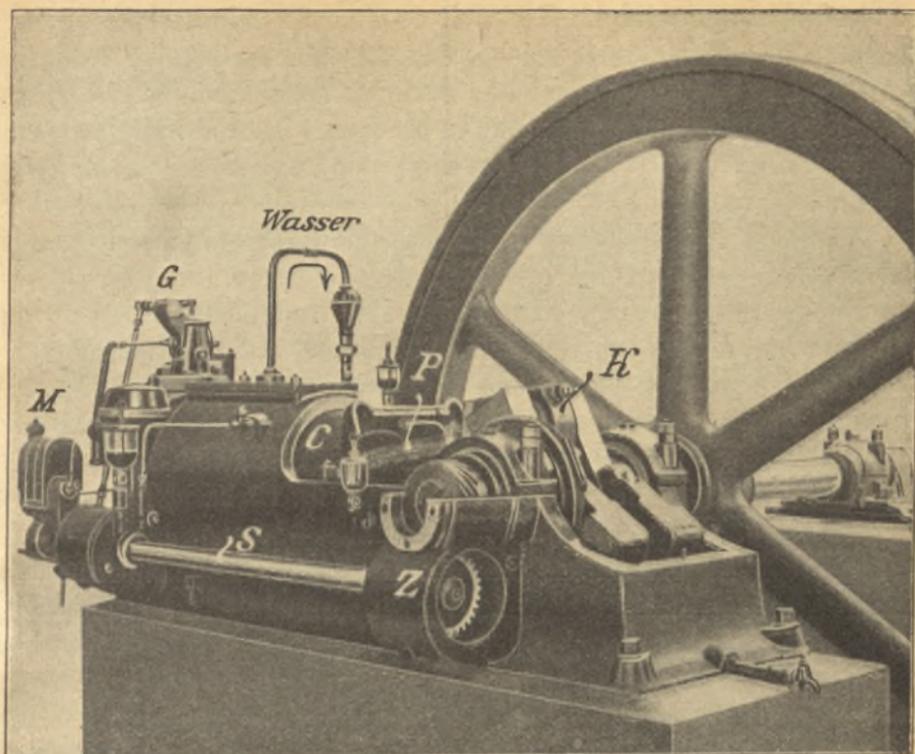


Abb. 31.

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 PS-st gewährleistet, für einen Betrieb verwenden, welcher nur 15 PS verlangt, so würde eben, wie sich aus unserer Schaulinie ergibt, der Gasverbrauch nicht 0,5 cbm, sondern ungefähr $1,33 \times 0,5 = 0,665$ cbm für 1 PS-st betragen. Die Maschine würde also unwirtschaftlich arbeiten, und eine etwaige Ersparnis in den Anschaffungskosten würde durch einen solchen unwirtschaftlichen, teureren Betrieb schon in verhältnismäßig kurzer Zeit wieder verloren gehen.

Ausführungsbeispiel. Die Abb. 31 und 32 zeigen eine von der Deutzer Gasmotorenfabrik für das Maschinenlaboratorium der Bergbauabteilung der Techn. Hochschule Berlin gelieferte Leuchtgasmaschine. *C* ist der Zylinder, in welchem sich in der früher besprochenen Weise ein langer Kolben ohne besondere Geradföhrung bewegt. Die Bewegung der Schwungradwelle wird durch ein Paar sogenannter Schraubenräder bei *Z* auf die Steuerwelle *S* übertragen, und zwar ist aus den bekannten Gründen zur Erzielung des Viertaktes die Ausführung dieser Räder eine derartige, daß die Steuerwelle eine Umdrehung macht, wenn die Schwungradwelle sich zweimal herumdreht. Um die Zahnräder *Z*, die Kurbel *K* und die Schubstange *P* zeigen zu können, sind in Abb. 31 verschiedene Verkleidungsteile abgenommen. An der Stelle, wo das Gaszuföhrungsrohr in das Luftansaugerohr einmündet (Abb. 32), befindet sich ein Mischventil nach Art des in Abb. 22 S. 75 dargestellten. Das Öffnen (Herabdrücken) des Gemischeinlaßventiles bei *G* geschieht dadurch, daß ein auf der Steuerwelle angebrachter Vorsprung (Nocken) zu gegebener Zeit die Stange *B* anhebt. Der Regulator *R* dreht den in Abb. 32 mit einem gebogenen Doppelpfeil (zwischen den Buchstaben *B* und *R*) bezeichneten Hebel und schiebt dadurch eine Art Keil unter die Stange, welche innerhalb des Gehäuses bei *G* das Gemischeinlaßventil herunterdrückt. Je weiter der Keil vom Regulator hineingeschoben wird,

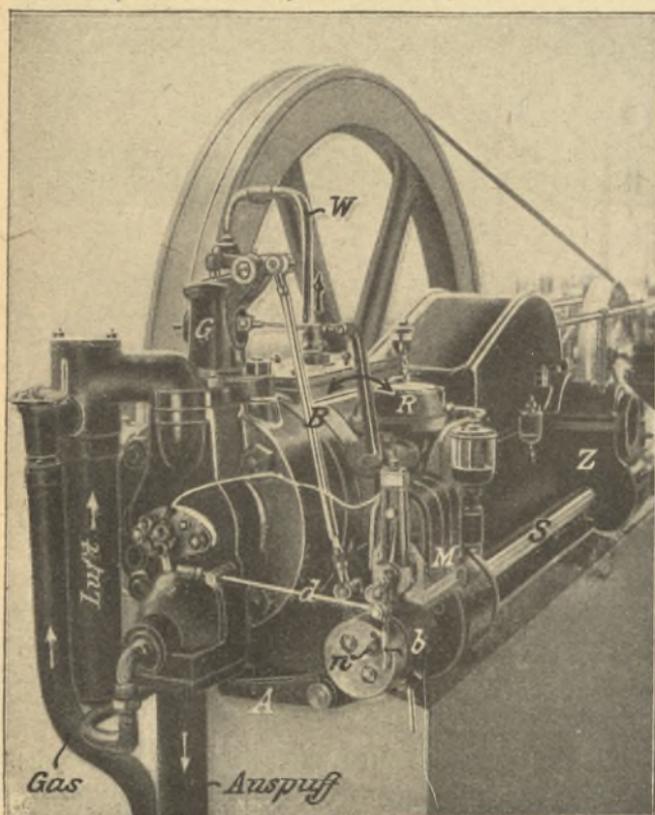


Abb. 32.

Je weiter der Keil vom Regulator hineingeschoben wird,

um so tiefer wird das Ventil heruntergedrückt, um so größer ist die Leistung der Maschine. Die Zündung ist eine Magnetabreißzündung. Die in Abb. 32 eingeschriebenen Buchstaben *M*, *b*, *d*, *n* entsprechen denen der Abb. 24 S. 77. Das Kühlwasser tritt durch das gewundene Rohr unterhalb der Abreißzündung ein und oben bei *W* aus. *A* ist der Hebel zur Steuerung des Auslaßventiles. Vgl. Abb. 27 S. 81.

Das Zungangsetzen 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 Zungangsetzen einer Dampfmaschine. Ist in dem Dampfkessel die nötige Spannung vorhanden, so bedarf es, wenigstens bei kleinen Maschinen, meist nur der Öffnung eines einzigen Ventiles, um die Dampfmaschine in Gang zu bringen, wobei es gleichgültig ist, ob die Maschine leer läuft, oder ob sie belastet ist. Bei der Gasmaschine dagegen liegen die Verhältnisse wesentlich anders. Hier fehlt der Kraftsammler, der bei der Dampfmaschine durch den Dampfkessel dargestellt wird. Die Gasmaschine bereitet sich ja, wie wir wissen, das zu jedem Arbeitshube erforderliche Gasluftgemisch selber, und da ein solches Gemisch vor dem Anlassen nicht vorhanden ist, so muß es für die ersten Hübe auf besondere Weise hergestellt werden. Das geschieht nun bei allen kleineren Gasmaschinen einfach dadurch, daß die Maschine mit der Hand entweder am Schwungrade oder besser mit Hilfe einer besonderen Kurbel so lange gedreht wird, bis das erste zündfähige Ladungsgemisch sich gebildet und entzündet hat, worauf die Maschine ihren regelmäßigen Gang beginnt. Aber selbst bei kleinen Maschinen wäre ein solches Andrehen mit der Hand nicht ohne weiteres angängig, und zwar deshalb, weil die vor der Zündung stattfindende Verdichtung zu viel Kraft zum Herumdrehen der Maschine erfordern würde. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als für die Dauer des Andrehens die Verdichtungsspannung erheblich zu verringern, was einfach in der Weise geschieht, daß das Auslaßventil auch während des Verdichtungsabschnittes ein klein wenig geöffnet wird. Zu diesem Zwecke besitzt diejenige Scheibe auf der Steuerwelle, durch welche die Öffnung des Auslaßventiles betätigt wird, eine zweite, in Abb. 27 S. 81 nicht gezeichnete kleinere Erhöhung, etwa bei *H*, welche so gestellt ist, daß auch während des Verdichtungsabschnittes der Hebel für das Auslaßventil ein klein wenig bewegt und damit das Auslaßventil etwas geöffnet wird. Ist dann die Maschine in Gang gesetzt, so wird die Scheibe von dem Maschinenwärter auf der Steuerwelle so weit verschoben, daß

diese zweite, kleinere Erhöhung an dem Hebel des Auslaßventiles seitwärts vorbeigeht, worauf dann der regelmäßige Gang der Maschine eintritt.

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

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

6. Zubehöerteile zur Gasmaschine.

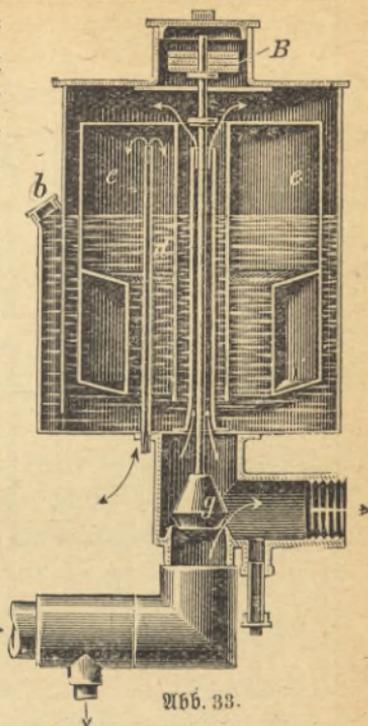
Zu einer mit Leuchtgas betriebenen Gasmaschinenanlage gehören noch eine Anzahl von Vorrichtungen, deren Zweck und Wirkungsweise hier kurz erörtert werden mögen, zumal einige dieser Vorrichtungen auch bei anderen Gasmaschinen vorkommen.

Gasuhr. Ehe das Gas aus der Straßenleitung in die Gasmaschine gelangt, hat es zunächst einen Gasmesser, die sogenannte Gasuhr (so genannt nach ihrem Zählwerk), zu durchströmen, jene wohl allgemein bekannte und in jedem Haushalte vorhandene Vorrichtung, welche dazu dient, den Verbrauch an Gas in cbm festzustellen.

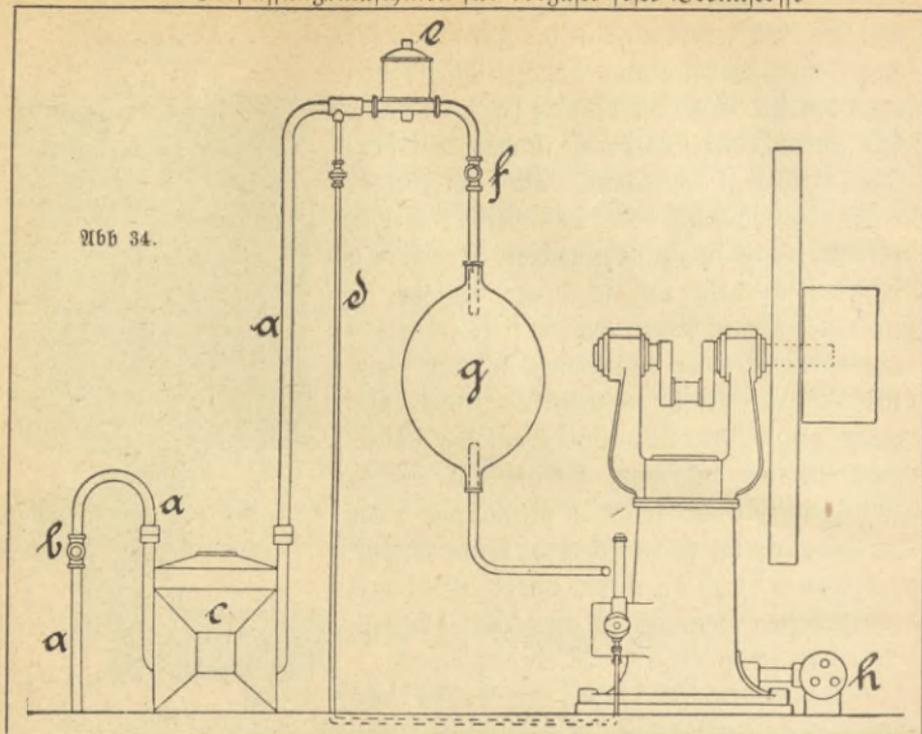
Druckregler. Wollte man das Gas von hier aus unmittelbar in die Maschine eintreten lassen, so gäbe das zu mancherlei Übelständen Anlaß. Zunächst ist zu bedenken, daß der Druck, unter welchem das Gas in der Leitung steht, durchaus kein gleichbleibender, sondern ein fortwährend wechselnder ist, da er z.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

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

man das Gas, bevor es in die Maschine gelangt, eine Vorrichtung durchströmen, den sogenannten Gasdruckregler, welcher dazu dient, den Gasdruck immer auf derselben Höhe zu erhalten. Die Wirkungsweise eines solchen Reglers besteht darin, daß das Gas bei zunehmendem Drucke ein Ventil selbsttätig um so mehr schließt, je höher der Druck steigt, während sich bei abnehmendem Drucke das Ventil wieder mehr öffnet. Einen häufig verwendeten Gasdruckregler zeigt Abb. 33. Das Ventil *g* ist an einer Stange befestigt, welche mit einem Schwimmer *e* in fester Verbindung steht (die Verbindung ist in der Abbildung schlecht zu erkennen) und an ihrem oberen Ende mit verschiedenen Scheiben *B* aus Blei oder Gußeisen beschwert ist. Wird der Druck in der Leitung zu stark, so drückt das Gas oben auf den Schwimmer, der Schwimmer taucht tiefer in die Flüssigkeit ein und nähert dadurch das Ventil *g* seinem Sitze. Hierdurch verringert sich aber der Durchtrittsquerschnitt, und die Folge davon ist, daß auf der Seite, auf welcher der austretende Pfeil (rechts) gezeichnet ist, der Gasdruck sinkt. Im umgekehrten Falle, das heißt, wenn der Druck des Gases niedriger ist als gewöhnlich, hebt der Schwimmer das Ventil, was eine Vergrößerung des 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 hinter dem Regler 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.



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



Betriebe nötige Gas nicht in gleichförmiger Weise aus der Leitung entnimmt, wie das etwa bei einer Gasflamme der Fall ist, sondern gewissermaßen stoßweise, da ja die Maschine während dreier Kolbenhübe gar kein Gas braucht und erst bei jedem vierten Hübe plötzlich eine verhältnismäßig große Menge benötigt. Die hierdurch auftretenden starken Druckschwankungen in der Gasleitung würden zur Folge haben, daß Gasflammen, die in der Nähe der Gasmaschine brennen, bei jedem Arbeitshube der Maschine, also etwa 80 bis 100 mal in der Minute, eine zuckende Bewegung machen würden, was die betreffenden Besitzer der Gasflamme mit Recht zu einer Beschwerde bei dem Gasmaschineninhaber veranlassen würde. Um diese ununterbrochenen starken Druckschwankungen zu vermeiden, dazu dient der linsenförmige Gummibeutel *g* Abb. 34, der 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 Vorratsbehälter dar, aus welchem die Maschine bei dem jedesmaligen Ansaugabschnitt das Gas entnimmt, wobei der Druck in der übrigen Leitung beinahe unverändert bleibt. Die Leitung für

das zur Erhizung eines etwaigen Glührohres nötige Gas muß natürlich schon vor dem Gummibeutel abgezweigt werden.

Die **allgemeine Anordnung** der eben besprochenen Vorrichtungen in Verbindung mit einer kleinen stehenden Leuchtgasmaschine zeigt die Skizze Abb. 34; 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 Erhizung des Glührohrchens abzweigt. Nachdem das Gas einen Absperrhahn *f* durchströmt hat, gelangt es in den Gummibeutel *g* und von hier aus in die Maschine. Der Absperrhahn *f* wird einige Augenblicke vor dem Stillsetzen der Gasmaschine geschlossen, damit der Gummibeutel nach dem Stillstande der Maschine kein Gas mehr enthält.

Ansaugtopf. Dem Rohre, durch welches die Luft angesaugt wird, gibt man häufig eine plötzliche Erweiterung in der Gestalt des sogenannten Ansaugtopfes. Durch diese plötzliche Querschnittsvergrößerung, die eine Verringerung der Luftgeschwindigkeit zur Folge hat, setzt sich der etwa mitgerissene Staub in dem Topfe ab, und es wird gleichzeitig dabei der Vorteil erreicht, daß das schlürfende Geräusch, welches beim Ansaugen der immerhin bedeutenden Luftmenge durch das enge Rohr hindurch eintreten würde, fast vollständig vermieden wird. Nötig ist ein solcher Ansaugtopf nicht; vielfach wird er ersetzt durch ein Rohr, welches mit länglichen Schlitzen versehen ist, um das schlürfende Geräusch zu mildern (Abb. 32).

Auspufftopf. Einem ähnlichen Zwecke dient der sogenannte Auspufftopf, eine topfartige Erweiterung des Auspuffrohres, in welchem sich das bei der Verbrennung des Gases bildende Wasser in Verbindung mit Schmierölteilchen usw. absetzen soll. Von diesem Topfe aus wird das Auspuffrohr (möglichst ohne scharfe Krümmungen) über Dach geführt, damit eine Belästigung der Nachbarschaft durch die unangenehm riechenden Auspuffgase nach Möglichkeit vermieden wird. Abb. 20 S. 72 zeigt einen solchen Auspufftopf.

IV. Verpuffungsmaschinen für vergaste flüssige Brennstoffe.

1. Allgemeines.

Die bisher besprochenen Gasmaschinen haben sämtlich den einen Übelstand gemeinsam, daß ihr Betrieb an das Vorhandensein einer Gasanstalt mit einem mehr oder weniger verzweigten Rohrnetz gebunden ist. Durch die Erfindung der Sauggasanlagen wurde es zwar ermöglicht, Gasmaschinen auch dort zu verwenden, wo eine städtische Gasanstalt nicht vorhanden ist, jedoch ist zu beachten, daß dadurch zum Teil wiederum der Vorteil der Einfachheit verloren geht, den namentlich die Leuchtgasmaschine gegenüber der Dampfmaschine besitzt. Man versuchte es daher, Maschinen herzustellen, welche sich das zu ihrem Betriebe notwendige Gas in einfachster Weise selbst zubereiteten, und wählte dabei zuerst als Betriebsmittel die Destillationserzeugnisse des sogenannten Rohpetroleums (Benzin sowie gewöhnliches Lampenpetroleum), später auch den Spiritus, und in jüngster Zeit sind es namentlich die Destillationserzeugnisse der Steinkohle (Benzol und Teeröl) sowie die der Braunkohle (Paraffinöl, Solaröl), welche in großem Umfange zur Kraftzeugung 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 Kraftzeugung 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, bei Kraftwagen, Luftschiffen, Flugzeugen und Wasserfahrzeugen.

Die flüssigen Brennstoffe haben vor den festen im allgemeinen den großen Vorzug voraus, daß sie sozusagen viel gehaltvoller sind als die festen Brennstoffe, da ihr Heizwert (mit Ausnahme des Spiritus) im Mittel etwa 10 000 WE für das kg beträgt und somit die Raumanspruchnahme für den gleichen Heizwert bei Steinkohle und Koks etwa 2- bis 3 mal, für Braunkohle sogar 7—8 mal so groß ist, ganz abgesehen davon, daß sich infolge der flüssigen Beschaffenheit die Auf-

bewahrung (ebenso wie übrigens auch die Fortbewegung) in vielen Fällen wesentlich zweckmäßiger gestalten läßt als bei festen Brennstoffen.

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

2. Die Betriebsmittel.

Die Destillationserzeugnisse des Rohpetroleums. Das Rohpetroleum (bisweilen auch Stein- oder Erdöl genannt) ist ein dickflüssiges Öl, das namentlich in Amerika, in den Staaten Pennsylvania und Kanada, dann aber auch in Europa, hauptsächlich in der Umgegend der russischen Stadt Baku am Kaspischen Meere, gewonnen wird. Seiner Beschaffenheit nach ist es ein Gemisch aus verschiedenen festen, flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffverbindungen und verdankt seine Entstehung im Innern der Erde nach Ansicht einiger Gelehrter einer Zersetzung tierischer Körper, namentlich von Meerestieren, welche sich durch das Zurücktreten der Meere in früheren Erdzeitaltern an gewissen Stellen in ungeheuren Mengen angehäuft hatten. Nach anderer Ansicht (Potonie) sind es Überreste tierischen sowohl wie pflanzlichen Lebens, von 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 Rohpetroleumgewonnenen Erzeugnisse teilt man gewöhnlich in mehrere Gruppen ein und rechnet dabei zu der ersten Gruppe alle diejenigen Flüssigkeiten, welche bei Temperaturen bis zu 150°C übergehen. Als wichtigste Flüssigkeit kommt für den vorliegenden Fall nur das bei Temperaturen zwischen 80 und 100° übergehende Benzin in Betracht, jene bekannte Flüssigkeit, welche nicht nur zur Krasterzeugung, sondern auch im großen wie im kleinen zur Fleckenreinigung viel verwendet wird. Das Benzin hat ein spezifisches Gewicht im Mittel von $0,7$ (sogenanntes Leichtbenzin von $0,68$, Schwerbenzin von $0,72$) und darf nach einem Beschlusse des Bundesrates für Krasterzeugung zu gewerblichen Zwecken unter Kontrolle zollfrei in Deutschland eingeführt werden. Die der zweiten Gruppe zugerechneten, bei Temperaturen von 150 bis etwa 300°C übergehenden Stoffe werden nicht gesondert aufgefangen, sondern bilden in ihrer Gesamtheit das gewöhnliche Lampenpetroleum, im folgenden kurzweg mit Petroleum bezeichnet, dessen spezifisches Gewicht in den Grenzen zwischen $0,8$ und $0,825$ schwankt. Wird die Destillationstemperatur noch weiter gesteigert, so gehen die Stoffe der dritten Gruppe über, die gewöhnlich als Gasöle bezeichnet werden. Der Heizwert aller dieser bisher genannten Stoffe beträgt etwas über 10000 WE/kg . Die Flüchtigkeit der sich ergebenden Erzeugnisse nimmt bei noch höheren Destillationstemperaturen immer weiter ab; man erhält die zum Schmieren von Maschinen in ausgedehntester Weise verwendeten Mineralschmieröle sowie schließlich das unter dem Namen Vaseline bekannte Erzeugnis von salbenartiger Beschaffenheit.

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

Benzol. Die in einem früheren Kapitel (S. 55) erwähnten Koks-
ofengase enthalten Kohlenwasserstoffverbindungen, die den in neuerer Zeit in großen Mengen erzeugten Gasen als Flüssigkeit entzogen werden und unter dem Namen Benzol in den Handel kommen. Das Benzol ist in seinen Eigenschaften dem Benzin sehr ähnlich, es ist nur etwas weniger flüchtig, sein Heizwert ist etwas geringer als der des Benzins, er beträgt etwa 9300 WE/kg. Der große Vorteil des Benzols gegenüber dem Benzin besteht darin, daß es nicht vom Auslande eingeführt zu werden braucht und, da die Koks-erzeugung 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. Die durch den Weltkrieg zeitweise verursachten ungewöhnlichen Verhältnisse müssen natürlich hier außer Betracht bleiben.

Auf die verschiedenen, teils einfach durch Mischung, teils durch Destillation des Benzols usw. hergestellten Brennstoffe (Mutin, Ergin, Motorenspiritus, Benzolspiritus usw.), wie sie namentlich zum Betriebe von Automobilen viel verwendet werden, kann hier nicht eingegangen werden.

Spiritus. Der Spiritus, und zwar in der Form des gewöhnlichen denaturierten Brenns-
spiritus, hat als Betriebsmittel für Gasmaschinen namentlich in landwirtschaftlichen Kreisen Beachtung gefunden; neben seinen sonstigen, für Kraft-erzeugungszwecke 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 Krafterzeugung geeignetes Verpuffungsgemisch sich bei Spiritus leichter herstellen läßt als bei dem gewöhnlichen Lampenpetroleum. Sein Heizwert beträgt nur etwas über die Hälfte des Heizwertes von Benzin und Petroleum und kann bei 90-volumprozentigem Spiritus (spezifisches Gewicht etwa = 0,83) im Mittel zu 5500 WE/kg angenommen werden.

Schweröle. Eine besondere Klasse von flüssigen Brennstoffen bilden diejenigen Öle, die man unter dem Namen Schweröle zusammenfassen kann. Man rechnet hierzu die durch Destillation der Braunkohle gewonnenen Paraffin- und Solaröle, das oben S. 94 erwähnte Gasöl, ferner die auf den Ölfeldern gewonnenen nicht destillierten Rohöle, sowie endlich das Teeröl, welches unter anderem bei der Leuchtgasherstellung als Nebenerzeugnis gewonnen wird. In den letzten Jahren ist es sogar gelungen, den Teer selbst als Brennstoff zur unmittelbaren Krafterzeugung zu verwenden. Alle diese Öle, deren schwere Entzündbarkeit und daher Ungefährlichkeit einen großen Vorzug bildet, haben eine Bedeutung eigentlich erst gewonnen durch das Erscheinen der später zu besprechenden Dieselmachine, zu deren Betrieb sie heute hauptsächlich verwendet werden. In Verpuffungsmaschinen lassen sie sich nur unter ganz bestimmten Umständen verwenden. Eine solche Art von Verpuffungsgasmaschinen mit Verwendung von Schwerölen soll später bei Gelegenheit der Petroleummaschinen besprochen werden. Der Heizwert der Schweröle beträgt durchschnittlich etwa 9000—10000 WE/kg.

3. Die Maschinen.

Benzin- und Benzolmaschine. Die einfachste Art, aus so leichtflüchtigen Brennstoffen, wie z. B. Benzin, ein zur Krafterzeugung in Gasmaschinen geeignetes Verpuffungsgemisch zu bilden, besteht darin, daß man Luft durch eine Schicht von Benzin hindurchsaugt. Sie sättigt sich dabei so stark mit Benzindämpfen, daß schon hierdurch ein Verpuffungsgemisch zustande kommt, welches, kurz vor dem Eintritt in die Maschine durch nochmaligen Zutritt von Luft verdünnt, ohne weiteres in der Gasmaschine zur Krafterzeugung verwendet werden kann.

Diese Art der Bildung eines Gasgemisches, die früher bei Benzinmaschinen vielfach verwendet wurde, hat den Vorteil großer Einfachheit, da irgendwelche empfindlichen, Aufmerksamkeit in der Bedienung

und Instandhaltung erfordernden Teile nicht vorhanden sind, sie hat dagegen den Nachteil, daß bei längerer Betriebsdauer eine Gleichmäßigkeit in der Stärke des Gasgemisches nicht zu erzielen ist, da ja das Benzin zum Teil aus leichter, zum Teil aber auch aus schwerer flüchtigen Bestandteilen zusammengesetzt ist. Saugt man nun die Luft durch einen größeren Vorrat von Benzin hindurch, so werden natürlich zuerst die leichtflüchtigen Bestandteile verdunsten und die angesaugte Luft ziemlich stark mit Benzindämpfen sättigen. Je länger dagegen der Betrieb dauert, um so mehr wird die Sättigung der angesaugten Luft mit Benzindämpfen abnehmen, da ja immer schwerer flüchtige Bestandteile in dem Vorratsgefäße zurückbleiben.

Diesen Übelstand des ungleichmäßigen Gasgemisches vermeidet eine andere, heute fast allgemein übliche Art der Gemischbildung. Es

wird nämlich die für jede Ladung erforderliche Benzinmenge von dem ganzen Vorrat abgetrennt und der von dem Kolben angesaugten Luft so fein zerstäubt beigemischt, daß diese Mischung sofort in der Maschine zur Verwendung gelangen kann. Eine Ungleichmäßigkeit in der Stärke des Ladungsgemisches ist hierdurch auch bei längerer Betriebsdauer vermieden. Dagegen ist diese Art der Gemischbildung etwas weniger einfach als die erstgenannte Art, weil die Absonderung so kleiner Benzinmengen, wie sie für jeden Arbeitshub gebraucht werden, und die Regulierung dieses Zuflusses je nach der wechselnden Leistung der Maschine ziemlich empfindliche Maschinenteile voraussetzt. Abb. 35 stellt den Grundgedanken eines Vergasers dar, der heute für die mit Benzin, Benzol, Spiritus und dergleichen leichtflüchtigen Stoffen betriebenen Maschinen eine weite Verbreitung gefunden hat. In einem Gehäuse, das zum Teil mit Brennstoff gefüllt ist, befindet sich ein Schwimmer,

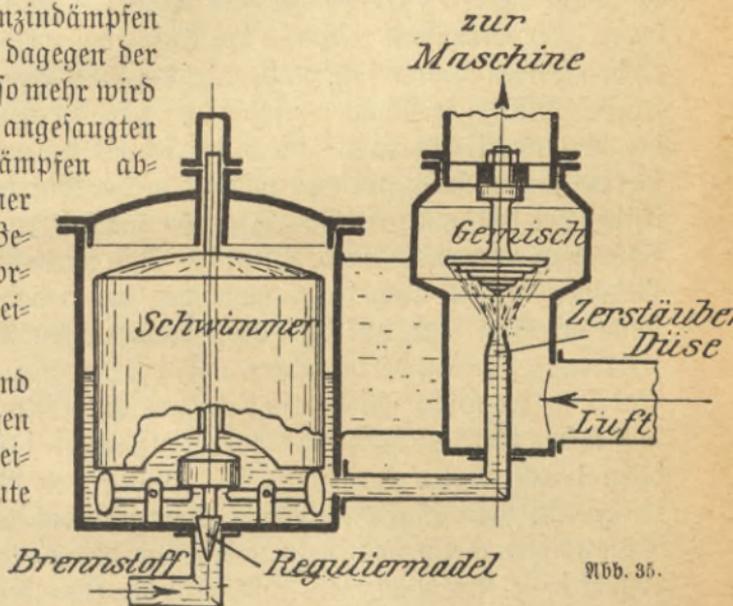


Abb. 35.

durch welchen lose eine Nadel hindurchgeht, die unten in eine Spitze endigt. Diese Nadel verschließt vermittels ihrer eignen Schwere eine Bodenöffnung, durch welche beim Anheben der Nadel neuer Brennstoff aus einem höher stehenden Behälter eintreten kann. An das Gehäuse ist ein in eine Düse (Zerstäuberdüse) endigendes Rohr angefügt, in welchem nach dem Gesetze der kommunizierenden Röhre der Brennstoff ebenso hoch steht wie in dem Gehäuse. Findet nun der Saughub in der Maschine statt, so entsteht in dem Raume über der Düse ein Unterdruck: Der Brennstoff tritt aus der Düse aus, wird von der gleichzeitig eindringenden Luft erfaßt und, wie die Abbildung erkennen läßt, in feinste Theilchen 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 Kraft-erzeugung verwendet wird. Sinkt der Spiegel des Brennstoffes in dem Gehäuse, so sinkt auch der Schwimmer, drückt dadurch, wie die Abbildung erkennen läßt, auf die etwas verbreiterten Enden zweier kleiner zweiarmiger Hebel, deren andere, nach der Nadel zu gelegenen Arme die Nadel in die Höhe schieben und so das Eintreten von neuem Brennstoff in das Gehäuse bewirken. Beim Ansteigen des Schwimmers wird dann durch Sinken der Nadel der Zufluß von Brennstoff selbsttätig wieder abgestellt. Auf diese Weise ist erreicht, daß der Brennstoff in der Düse immer gleich hoch steht und somit bei gleich starkem Ansaugen immer die gleiche Menge Brennstoff in den Zylinder gelangt. Eine Zerstäubereinrichtung dieser Art (auch Schwimmervergaser oder Spritzvergaser genannt) zeigt die auf S. 73 dargestellte Maschine bei V. Auch die auf S. 72 dargestellte Benzinmaschine besitzt einen solchen Vergaser, der allerdings hier nicht sichtbar ist, dagegen sieht man in der Abbildung den Benzinbehälter, von welchem ein dünnes Kupferrohr den Brennstoff dem Vergaser zuführt. Auf die anderen zahlreichen, heute namentlich bei Automobilen in Gebrauch befindlichen Vergaser-Bauarten kann hier nicht eingegangen werden.

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

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

Petroleummaschinen. Die große Feuergefährlichkeit des Benzins war der Grund, warum man versuchte, Wärmekraftmaschinen mit dem weit ungefährlicheren Petroleum zu betreiben. Daß dieser Versuch lange Zeit nicht glückte und selbst heute noch die gewöhnlichen Petroleummaschinen im allgemeinen nicht die Betriebssicherheit guter Benzinmaschinen besitzen, liegt einzig und allein daran, daß die Bildung eines zur Krafterzeugung brauchbaren Verpuffungsgemisches unter Verwendung von Petroleum schwieriger ist als bei dem leichtflüchtigen Benzin. Da nämlich das Petroleum, wie früher gezeigt wurde, bei Destillationstemperaturen von 150—300° C gewonnen wird, euthält es nur Bestandteile, die bedeutend schwerer flüchtig sind als die Bestandteile des bei Destillationstemperaturen von 80—100° gewonnenen Benzins. Infolgedessen verdunstet auch Petroleum bei gewöhnlicher Lufttemperatur so gut wie gar nicht, und seine Entzündungstemperatur liegt so hoch (etwa bei 60°), daß man in gut gereinigtes Petroleum von gewöhnlicher Temperatur unbedenklich ein brennendes Streichholz hineinwerfen kann, ohne eine Entzündung oder gar Explosion befürchten zu müssen. Selbst in ganz feine Teilchen zerstäubt und mit Luft vermischt, bildet das Petroleum noch kein Verpuffungsgemisch, vielmehr ist es nötig, das Petroleum vorher durch Erhitzung in den dampfförmigen Zustand überzuführen, denn erst in dieser Dampfform hat das Petroleum die Eigenschaft, mit Luft vermischt ein zur Krafterzeugung brauchbares Verpuffungsgemisch zu bilden. Die Verwendung des Petroleums zu Kraftmaschinen ist daher selten; denn bei den später zu besprechenden Dieselmotoren, zu deren Betrieb es sich sonst vorzüglich eignen würde, stellt sich die Verwendung der sogenannten Schweröle wesentlich billiger. Soll Petroleum in den gewöhnlichen Viertaktmaschinen trotzdem verwendet werden, so geschieht das meist unter Benutzung desselben Schwimmer-

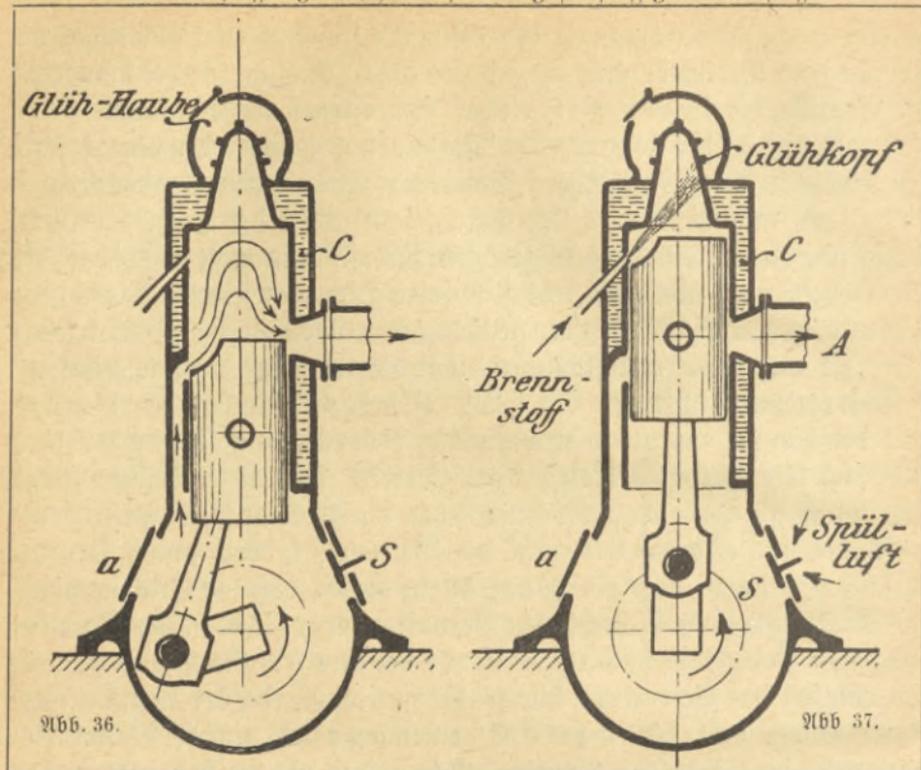


Abb. 36.

Abb. 37.

vergasers, wie er oben bei Benzinmaschinen besprochen wurde. Allerdings ist es in diesem Falle nicht möglich, eine Maschine sofort mit Petroleum anzulassen, da ja, wie wir eben gesehen hatten, für die Bildung eines Verpuffungsgemisches das Petroleum nicht nur zerstäubt, sondern auch verdampft werden muß. Man läßt daher die Maschine zunächst mit einem leichtflüchtigen Brennstoffe (Benzin oder Benzol) an, und erst, wenn infolge einer Reihe von Verpuffungen die Maschine genügend warm geworden ist, läßt man an Stelle des Benzins Petroleum in den Vergaser eintreten, worauf dann die Maschine mit Petroleum weiter arbeitet.

Glühkopfmotoren. Ein großer Übelstand solcher Maschinen ist die Notwendigkeit des Vorhandenseins von zwei verschiedenen Brennstoffen, von denen der eine noch dazu sehr feuergefährlich ist. Fehlt aber der Anlaßbrennstoff, so kann auch die Maschine trotz hinreichender Brennstoffmenge nicht in Gang gesetzt werden. Viel Verbreitung, ganz besonders für Schiffsfahrtszwecke, hat daher in jüngster Zeit eine andere Maschinengattung gefunden, bei welcher dieser Übelstand vermieden ist. Die Abb. 36—38 zeigen in zwei Schnitten und einer Ansicht eine solche

Zweitaktglühkopfmäschine, wie sie genannt wird, in einer Ausführung der Gasmotorenfabrik Deuz. Das Gestell der Mäschine ist allseitig geschlossen und besitzt auf einer Seite ein Luftansaugeventil S, durch welches von dem hochgehenden Kolben Luft von außen in das Innere des Mäschinengestells eingesaugt wird. Kurz bevor der Kolben in seiner höchsten Lage angekommen ist, wird oben durch eine kleine Pumpe Brennstoff, in diesem Falle also Petroleum, gegen den sogenannten Glühkopf gespritzt (Abb. 37), welcher in gleich näher zu beschreibender Weise in rotglühendem Zustande gehalten werden muß. Das Petroleum verdampft sofort an den glühenden Wandungen, vermischt sich mit der über dem Kolben befindlichen verdichteten Luft (siehe weiter unten) und wird dann durch die Wärme des Glühkopfes in Verbindung mit der durch die Verdichtung entstehenden Wärme entzündet. Der nach abwärts getriebene Kolben legt nun gegen Ende seines Hubes zunächst den Kanal A frei, durch welchen die verbrannten Gase infolge ihrer eigenen, immer noch hohen Spannung nach außen entweichen. Im nächsten Augenblicke öffnet der Kolben auf der linken Seite (Abb. 36) einen Kanal, der das Innere des Mäschinengestelles mit dem Raume über dem Kolben verbindet. Durch den abwärtsgehenden Kolben wurde nämlich die vorher in das Mäschinengestell angesaugte Luft verdichtet, und diese verdichtete Luft strömt nun durch den geöffneten Kanal in den Zylinder und spült infolge der eigenartigen Gestalt der Kolbenoberfläche, wie Abb. 36 zeigt, die verbrannten Gase aus dem Zylinder hinaus. Beim Aufwärtsgange des Kolbens befindet sich daher im Zylinder nur reine Luft, welche von dem aufwärtsgehenden Kolben weiter verdichtet wird und nachher mit dem eingespritzten Brennstoffe das Verpuffungsgemisch bildet. Wie man erkennt, findet hier bei jeder Umdrehung der Mäschine, also bei jedem zweiten Takte der Mäschine, ein Arbeitshub statt, wir haben also eine Zweitaktmäschine vor uns. Vgl. das Diagramm Abb. 17 S. 68.

Soll die Mäschine in Gang gesetzt werden, so muß zunächst der Glühkopf in rotglühenden Zustand versetzt werden. Das geschieht mit Hilfe einer besonderen Lampe nach Art der Lötlampen, deren Stichflamme nach Öffnung des Deckels der Glühhaube auf den Glühkopf gerichtet wird. Ist der Glühkopf erwärmt, was nach etwa 15—20 Minuten der Fall ist, so kann die Mäschine angelassen werden, worauf dann durch die aufeinanderfolgenden Zündungen und durch den Schutz der Glühhaube der Kopf eine genügend hohe Temperatur beibehält. Der Regulator verändert je nach dem Leistungsbedarfe die Menge des eingespritz-

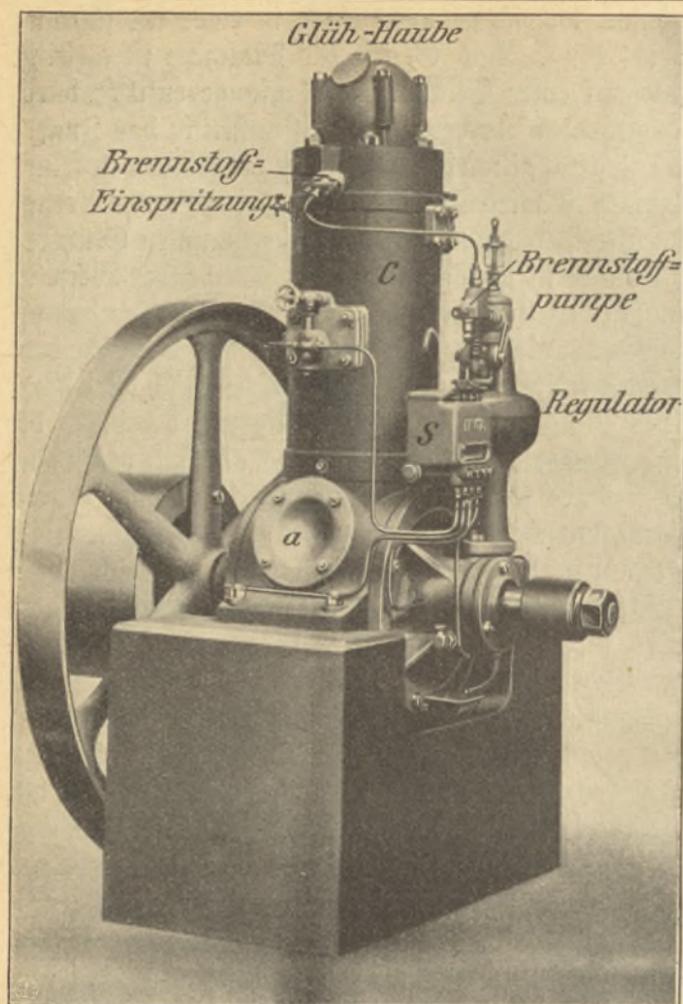


Abb. 38.

die Maschine nicht sofort betriebsbereit ist, sondern, daß es immer erst des Anwärmens mittels einer offen brennenden Flamme bedarf, was neben dem Zeitverlust auch eine nicht zu unterschätzende Feuergefahr in sich schließt. Als weiterer Übelstand ergibt sich, daß bei längere Zeit hindurch andauernder schwacher Belastung die Glühhaube so kalt wird, daß die Zündung versagt und die Maschine stehen bleibt. Die Abb. 38 zeigt die Ansicht einer solchen Maschine. Das Luftansaugeventil befindet sich auf der hinteren Seite der Maschine und zwar an der Stelle, wo auf der vorderen Seite der Deckel *a* sichtbar ist.

ten Brennstoffes durch geeignete Einwirkung auf die Brennstoffpumpe. Diese Maschinen zeichnen sich durch ungemein große Einfachheit aus, denn, wie man sieht, besitzen sie außer dem kleinen Luftansaugeventil keinerlei Ventile oder sonstige Steuerungsteile, was eine große Betriebssicherheit zur Folge hat. Das ist auch der Grund, warum sie z. B. für Seefischereifahrzeuge heute sehr viel verwendet werden. Ein großer Übelstand besteht nur darin, daß

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

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

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

Eine Eigentümlichkeit der Spiritusmaschinen, durch welche sie sich vorteilhaft namentlich gegenüber den gewöhnlichen, mit Vergaser arbeitenden Petroleummaschinen auszeichnen, ist der Umstand, daß die Verbrennung im Inneren der Maschine eine sehr vollkommene ist. Hauptsächlich deshalb, weil die stets Wasserdampf enthaltenden Spiritusgase vor der Zündung eine sehr hohe Verdichtung (bis 15 at und darüber) ermöglichen. Diese vollkommene Verbrennung 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 Betriebsicherheit der Spiritusmaschine ergibt.

Den genannten Vorteilen steht allerdings als Nachteil der hohe Preis des Spiritus gegenüber, oder anders ausgedrückt: der hohe Preis der mit Hilfe des Spiritus erzeugten WE (s. S. 40). Dieser Übelstand hat zur Folge, daß trotz der vorzüglichen Wärmeausnutzung die Brennstoff-

kosten für die PS-st bei Spiritusmaschinen noch höher sind als bei gleich großen Benzol- und sogar Benzinmaschinen, so daß Spiritusmaschinen im allgemeinen nur dort gegen Benzol- und Benzinmaschinen im Vortheil sein werden, wo etwa die geringere Feuergefährlichkeit des Brennstoffes sowie vor allen Dingen die leichte Beschaffung des Spiritus als Kräfteerzeugungsmittel 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.

V. Gasmaschine mit langsamer Verbrennung, Gleichdruckmaschine (Dieselmaschine).

Allgemeines. Zu den in den vorhergehenden Abschnitten behandelten neueren Wärmekraftmaschinen ist in dem letzten Jahrzehnt des verfloßenen Jahrhunderts noch eine weitere hinzugetreten, die zwar im allgemeinen Aufbau den übrigen Gasmaschinen ähnlich ist, in ihrer Wirkungsweise jedoch in wesentlichen Punkten von ihnen abweicht; es ist die in neuerer Zeit zu so großer Berühmtheit gelangte Dieselmachine, so benannt nach dem deutschen Ingenieur Rudolf Diesel, welcher die Anregung zu dem Bau dieser Maschine gegeben und sich unter Mitwirkung führender deutscher Maschinenfabriken um ihre bauliche Ausgestaltung Verdienste erworben hat.

Hohe Verdichtung. Um den Fortschritt zu verstehen, welcher in der Arbeitsweise der Dieselmachine 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, d. h. das Verhältnis der in Arbeit umgewandelten Wärme zur gesamten aufgewendeten Wärmemenge (S. 30), um so höher wird, je kleiner das Volumen ist, bei welchem die Zündung stattfindet, oder anders ausgedrückt, daß die der Maschine zugeführte Wärme um so besser ausgenutzt wird, je höher die Verdichtung vor der Zündung getrieben wird. Wenn man nun auch in neuerer Zeit mit der Verdichtung im allgemeinen weiter hinaufgeht, als es früher für zulässig erachtet wurde, so ist man doch mit Rücksicht auf die Gefahr vorzeitiger Selbstentzündung des Gasgemisches bei allen übrigen Gasmaschinen an verhältnismäßig enge Grenzen gebunden, welche je nach

Umständen etwa zwischen 4 und 15 at schwanken. Da nun bei der Dieselmachine die Verdichtung vor der Zündung bis auf 35 und mehr at Überdruck getrieben wird, so muß auch der thermische Wirkungsgrad der Dieselmachine höher, d. h. die Wärmeausnutzung besser sein als bei allen bisher besprochenen Gasmaschinen.

In der Tat! Schon auf S. 41 wurde erwähnt, daß große Dieselmachines nur etwa 1800 WE für 1 PS-st verbrauchen. Dies ergibt aber nach den früher (S. 31) angestellten Berechnungen einen wirtschaftlichen Wirkungsgrad von

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

Das Mittel, welches in der Dieselmachine angewendet wird, um ohne Gefahr einer vorzeitigen Selbstzündung eine derartig hohe Verdichtung vor der Zündung zu ermöglichen, besteht darin, daß der Brennstoff nicht schon während des Aufgehübes der Luft beigemischt wird, sondern daß die Maschine nur reine Luft ansaugt und diese Luft allein bis auf die vorher angegebene Höhe verdichtet wird.

Arbeitsweise. Das Diagramm Abb. 39 erläutert die Arbeitsweise, die Gerippsskizze Abb. 42 (S. 108) den allgemeinen Aufbau der Dieselmachine. Geht der Maschinenkolben nach abwärts, so saugt er während des ganzen Hubes *ab* (Abb. 39) reine Luft an (in den Abb. 42 u. 43 aus dem Maschinengestell). Während des zweiten Hubes verdichtet dann der nach aufwärts gehende Kolben bei geschlossenen Ventilen die angesaugte Luft bis auf etwa 30—35 at, wodurch die Temperatur der Luft bis weit über die Entzündungstemperatur der meisten Brennstoffe, das heißt bis über 600° C, gesteigert wird (Kurve *bc* Abb. 39). Ist der Kolben im oberen Totpunkte angekommen, so beginnt die auf S. 109 näher beschriebene Zuführung des Brennstoffes. In sein

verteilttem Zustande während des Kolbenweges *cd* (Abb. 39) in die glühend heiße Luft eingeführt, entzündet sich der Brennstoff in dem Maße, wie er durch das „Einblaseventil“ (Abb. 42 S. 108) eingeführt wird, augenblicklich und verbrennt, da er ja Luft in genügender Menge vorfindet, sofort in vollkommener Weise. Dann findet während des übrigen Kolbenhubes *de* (Abb. 39) ganz wie bei den gewöhnlichen Gasmaschinen eine Ausdehnung der heißen, hochgespannten Gase statt, durch Öffnung des Auspuffventiles im Punkte *e* ver-

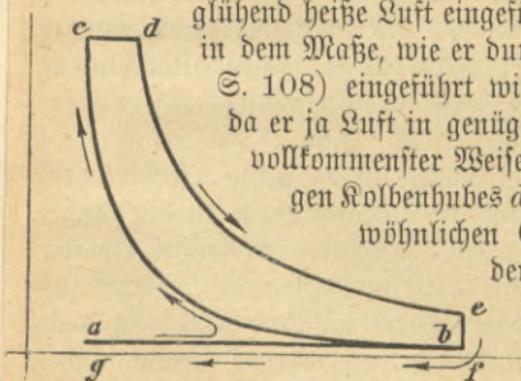


Abb. 39.

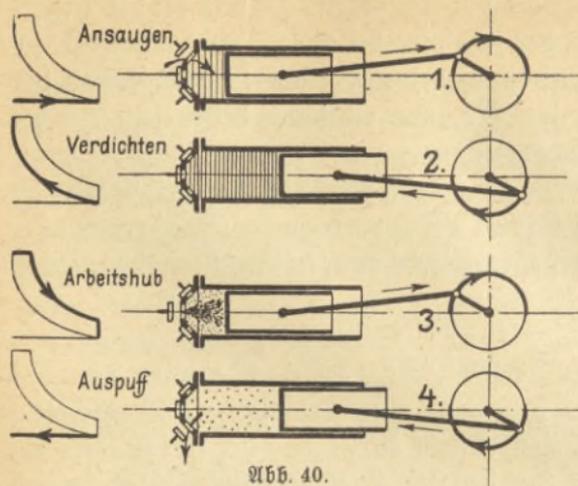


Abb. 40.

lieren die Gase ihre Spannung und werden dann mit Außenluftspannung aus der Maschine ausgetrieben (*fg*), worauf das Spiel von neuem beginnt.

Abb. 40 zeigt noch einmal im Zusammenhange diese Vorgänge. Die Abbildung dürfte ohne weiteres verständlich sein.

Der eben beschriebene Kreisprozeß weist ver-

schiedene 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. Bei allen früher besprochenen Gasmaschinen im engeren und weiteren Sinne wird das ganze zur Verwendung gelangende Ladungsgemisch während des Verdichtungshubes im Zylinder der Maschine verdichtet und dann mit einem Male entzündet, während bei der Dieselmachine der Brennstoff erst nach Beendigung des Verdichtungshubes sozusagen allmählich in den Zylinder eingeführt wird, so daß die Spannung während der Verbrennung annähernd auf gleicher Höhe bleibt.

Wegen dieser verhältnismäßig lange andauernden Verbrennung des allmählich eingeführten Brennstoffes im Gegensatz zu der raschen Verpuffung des gesamten Ladungsgemisches bei allen früher erwähnten Gasmaschinen, kann man die Dieselmachine als Gasmaschine mit langsamer Verbrennung oder Gleichdruckmaschine bezeichnen, während man zweckmäßigerweise die früher besprochenen Gasmaschinen

unter dem Namen Explosions- oder Verpuffungsmaschinen zusammenfaßt.

Regulierung. Neben der schon früher (S. 105) erwähnten guten Wärmeausnutzung weist die Dieselmachine noch einen Vorteil auf, durch welchen sie sämtliche bisher besprochenen Gasmaschinen übertrifft, nämlich den, daß ihr wirtschaftlicher Wirkungsgrad bei abnehmender Leistung etwas langsamer abnimmt, zunächst sogar, bei geringem Sinken des Arbeitsbedarfes, ein klein wenig zunimmt. Der Grund, warum bei Verpuffungsmaschinen der Brennstoffbedarf für eine Nutzperdestärke bei abnehmender Leistung so stark wächst, liegt, wie wir früher (S. 83) gesehen hatten, vor allen Dingen darin, daß die Verbrennung des angesaugten Gasgemisches bei sinkender Leistung immer unvollkommener wird. Anders bei der Dieselmachine. Hier besteht die Regulierung darin, daß bei abnehmendem oder zunehmendem Arbeitsbedarfe die Brennstoffzufuhr durch Einwirkung des Regulators auf die Brennstoffpumpe kürzere oder längere Zeit andauert.



Abb. 41.

Wird nun aber bei abnehmender Lei-

stung weniger Brennstoff eingeführt, so findet der Brennstoff eine verhältnismäßig größere Menge Luft zu seiner Verbrennung vor, da ja die angesaugte und verdichtete Luftmenge stets dieselbe bleibt. Die Verbrennung wird daher im Gegensatz zu allen anderen Gasmaschinen bei sinkender Arbeitsleistung zunächst nicht schlechter, sondern höchstens noch etwas besser, und die Maschine würde auch bei weiter sinkender Arbeitsleistung einen günstigen Wirkungsgrad ergeben, wenn nicht gleichzeitig der mechanische Wirkungsgrad der Maschine, das heißt das Verhältnis der nutzbar abgegebenen zu der im Zylinder geleisteten Arbeit, bei abnehmender Leistung fortwährend schlechter würde, aus dem Grunde, weil die von der Maschine zu überwindenden Widerstände stets fast dieselben bleiben, ganz gleichgültig, ob die Maschine mehr oder weniger Arbeit leistet. Die Folge davon ist, daß der wirtschaftliche Wirkungsgrad (das Produkt aus thermischem und mechanischem Wirkungsgrade) bei sinkender Arbeitsleistung zunächst zwar etwas zunimmt, dann aber ebenfalls abnimmt, jedoch etwas langsamer, als dies bei den gewöhnlichen Verpuffungsmaschinen der Fall ist.

Sehr deutlich zeigt dies die Schaulinie¹⁾ Abb. 41, welche in derselben Weise erhalten wurde wie die, welche durch Abb. 30 S. 84 den Brennstoffbedarf der Verpuffungsmaschinen bei abnehmender Leistung darstellt. Bezüglich der Erklärung kann auf die damaligen Erörterungen verwiesen werden. Die in Abb. 41 eingetragene strichierte Linie stellt noch einmal die Schaulinie der Abb. 30 dar, um das Sinken des Wirkungsgrades (d. h. Ansteigen des Wärmebedarfs) bei den beiden Maschinengattungen, Verpuffungsmaschinen und Gleichdruckmaschinen, vergleichen zu können.

Infolge des langsameren Sinkens des Wirkungsgrades kann die Gleichdruckmaschine auch da mit Vorteil verwendet werden, wo der Arbeitsbedarf ein schwankender ist, während, wie wir früher gesehen hatten, die Verpuffungsmaschinen nur dann wirtschaftlich arbeiten, wenn der

Arbeitsbedarf ein möglichst gleichbleibender ist und von der Nennleistung der Maschine nur 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 engen Grenzen schwankendem Kraftbedarf wird die Dieselmachine, was lediglich die Wirtschaftlichkeit der gesamten Anlage betrifft, von der Benzol- und auch von der Spiritusmaschine erreicht, von der Sauggasmaschine übertroffen, sowie aber ein Betrieb in Frage kommt,

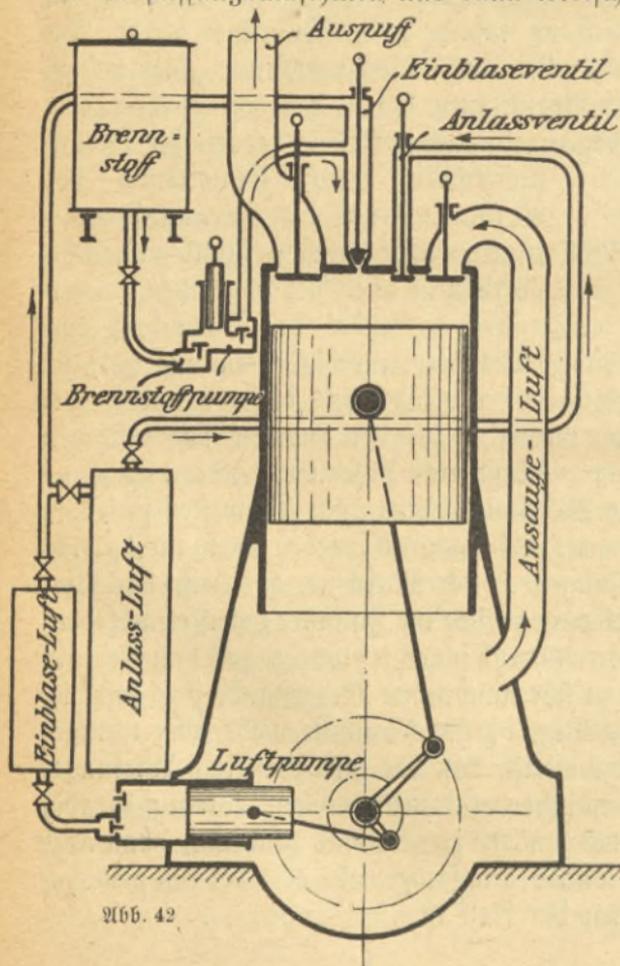


Abb. 42

1) Aus Musil, Wärmemotoren. Braunschweig 1899.

wo der Arbeitsbedarf häufig innerhalb weiter Grenzen schwankt und namentlich erheblich unter die Nennleistung der Maschine herunterfällt, tritt die Überlegenheit der Dieselmachine zutage, wie ein Vergleich der beiden Kurven in Abb. 41 sofort erkennen läßt.

Aufbau und Einzelheiten der Maschine. Abb. 42 zeigt in einer Gerippfskizze Aufbau und wichtigere Einzelheiten der Dieselmachine. Um die Skizze übersichtlicher zu machen, ist der Kühlwassermantel um den Zylinder fortgelassen.

Bemerkenswert ist z. B. die Art der Einführung des Brennstoffes in die am Ende der Verdichtung im Arbeitszylinder befindliche, auf 35 und mehr at verdichtete Luft. Eine kleine, von der Maschine selbst angetriebene Brennstoffpumpe bringt zunächst eine geringe, durch den Regulator beeinflusste Brennstoffmenge in den über dem sogenannten Einblase- oder Zerstäuberventil befindlichen Raum, in welchen gleichzeitig von einer Luftpumpe her Luft von sehr hoher Pressung (60 at und darüber) hineingedrückt wird. In dem Augenblicke, wo die Einführung des Brennstoffes erfolgen soll, wird das Ventil angehoben und so der Brennstoff vermöge der hochgespannten Preßluft in ganz fein verteiltem Zustande in den Zylinder hineingebblasen. Die genannte Luftpumpe, die eine besondere Eigentümlichkeit der Dieselmachine bildet, ist in der Gerippfskizze der Einfachheit wegen als einzylindrige Pumpe dargestellt. In Wirklichkeit besitzen diese Luftpumpen bei den neueren Ausführungen einen Niederdruck- und einen Hochdruckzylinder, in welchen nacheinander die Luft auf die verlangte Pressung verdichtet 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 Einblasegefäß hineingedrückt, von welchem sie dann, vermittels der „Einblaseleitung“, zu dem Einblaseventile geleitet wird.

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

Soll die Maschine angelassen werden, so wird der Winkelhebel, welcher das Anlaßventil betätigt, so eingestellt, daß die Maschine nach Öffnung des Hahnes am Anlaßgefäß während einiger Umdrehungen wie eine mit Preßluft getriebene Maschine umläuft. Ist die erfahrungsgemäß notwendige minutliche Umdrehzahl der Maschine erreicht, so wird das An-

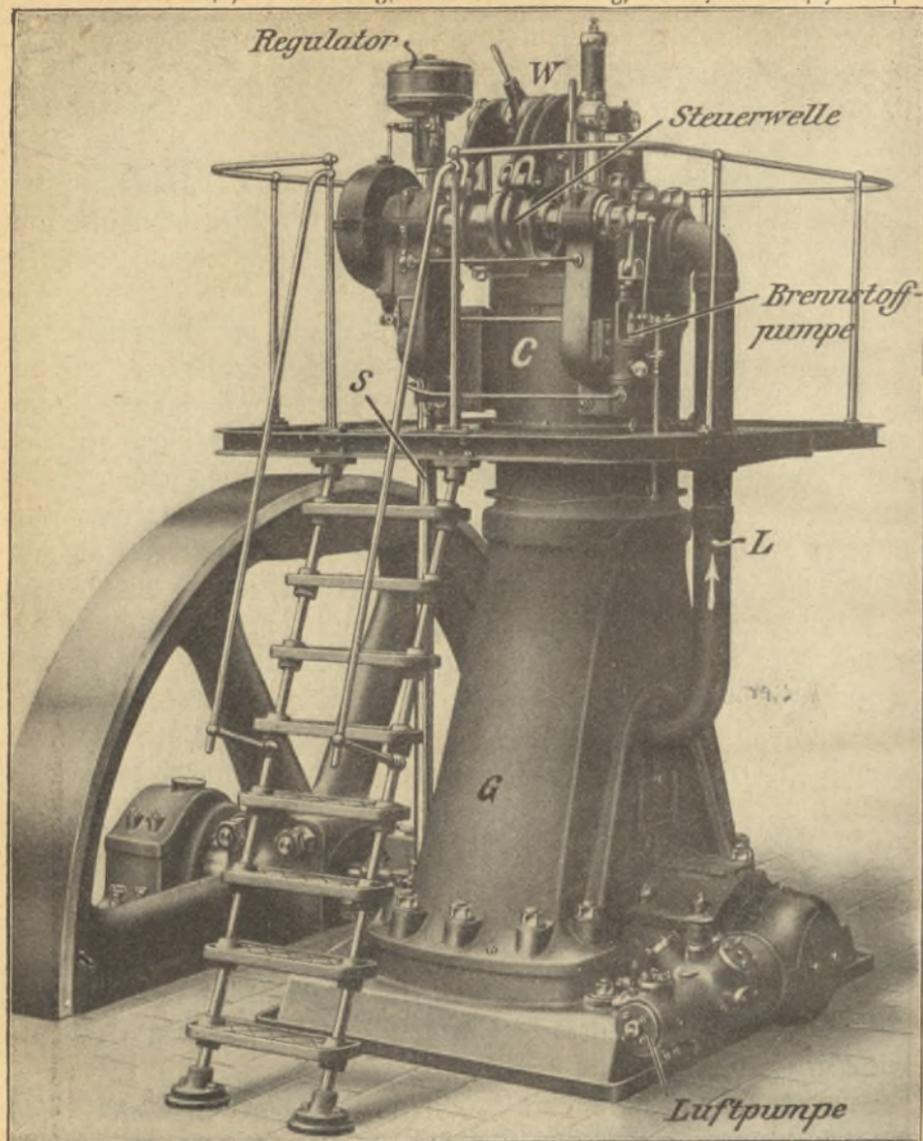


Abb. 43.

laßventil durch einen auf der Welle *W* (Abb. 43) sitzenden Handhebel (links vom Buchstaben *W*) außer Tätigkeit gesetzt, 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 Kohlenäure in Gang gesetzt werden kann.

Abb. 43 zeigt das Bild einer einzylindrigen stehenden Dieselmachine nach einer Ausführung der Gasmotorenfabrik Deutz. Die vier im Deckel untergebrachten Ventile (siehe Gerippfizzze) werden von einer Steuerwelle aus betätigt, auf welcher für jedes Ventil eine unrunde Scheibe sitzt. Diese unrunder Scheiben wirken je auf das eine Ende von zweiarmigen Hebeln, deren Drehpunkt sich auf der Welle *W* befindet und deren anderes Ende die einzelnen Ventile betätigt (ähnlich wie in Abb. 27 S. 81). Der Antrieb der Steuerwelle geschieht mit Hilfe von Regelrädern und der senkrechten Welle *S* von der Hauptwelle der Maschine aus. Es ist klar, daß auch hier die Steuerwelle nur halb soviel Umdrehungen machen darf als die Hauptwelle der Maschine (s. S. 74).

Die zum Betriebe geeigneten Brennstoffe. Ein wesentlicher Vorteil der Dieselmachine besteht darin, daß die Auswahl der zum Betriebe geeigneten Brennstoffe sehr groß ist. An sich können hier sämtliche im dritten Abschnitte erwähnten flüssigen Brennstoffe verwendet werden, mit besonderem Vorteil jedoch alle die früher aufgeführten schwerflüchtigen Öle, für welche die Industrie bis zum Erscheinen der Dieselmachine nur wenig Bewertung hatte. Derartige Stoffe sind, um sie noch einmal zu nennen: die durch Destillation deutlicher Braunkohle gewonnenen Öle (Paraffinöl, Solaröl); amerikanische, russische, galizische und deutsche Rohöle, wie sie aus den Quellen kommen; die bei hohen Destillationstemperaturen gewonnenen Gasöle; russische Naphtharückstände (das sogenannte Masut) und endlich in neuester Zeit das u. a. bei der Leuchtgasherstellung als Nebenerzeugnis gewonnene Teeröl, ja sogar der Teer selbst. Um bei diesen, zum Teil sehr schwer entzündlichen Stoffen, wie es z. B. der Teer ist, eine sichere Zündung herbeizuführen, werden gegebenenfalls bei jeder Brennstoffzufuhr zunächst einige Tropfen eines leichtentzündlichen Stoffes, sogenannten Zündöles (Paraffinöl oder dgl.), eingespritzt, wodurch dann eine sichere Zündung des unmittelbar nachfolgenden, fein zerstäubten Schweröles erreicht wird. Gerade die Möglichkeit der Verwendung aller dieser sonst schwer verwertbaren und daher verhältnismäßig billigen Öle war es, die der Dieselmachine in Verbindung mit ihrer vorzüglichen Wärmeausnutzung zu einer Verbreitung verholfen hat, wie sie in der Geschichte der Wärmekraftmaschinen fast bei pielloß dasteht.

Einige weitere Vorteile der Dieselmachine seien im folgenden kurz zusammengefaßt. Da jede Gasbereitungsanlage fortfällt, erfordert die

Aufstellung wenig Raum, und die Bedienung gestattet sich ungewöhnlich einfach und daher auch betriebsicher. Die Maschine kann auch in minderwertigen Räumen untergebracht werden (was im Inneren von Großstädten von Bedeutung ist), während dies z. B. bei Sauggasanlagen nicht möglich ist, da hier des immerhin giftigen Gases wegen von der Aufsichtsbehörde sehr häufig erschwerende Bedingungen gestellt werden. Überhaupt besitzt die Dieselmachine gegenüber den Sauggasanlagen eine Reihe betriebstechnischer Vorteile, was insofern beachtenswert ist, als gerade die Sauggasanlagen zu denjenigen Wärmekraftmaschinen gehören, deren Betrieb sich durch hohe Wirtschaftlichkeit auszeichnet. Bei der Dieselmachine fällt z. B. fort die Schwierigkeit der Fortschaffung von Asche und Schlacke sowie die Schwierigkeit der Fortschaffung des durch Geruch und durch seine chemische Wirkung gleich lästigen Strubberwassers. Die Dieselmachine ist sofort betriebsbereit, während ein Gaserzeuger nach jeder längeren Betriebspause erst angeblasen werden muß, was immerhin 20—30 Minuten und noch mehr Zeit in Anspruch nimmt. Beim Stillstande verbraucht die Dieselmachine keinen Betriebsstoff, während der Brennstoff im Gaserzeuger, wenn auch langsam, weiterbrennt. Die Dieselmachine gestattet ohne weiteres einen ununterbrochenen Betrieb, während der Gaserzeuger von Zeit zu Zeit abgeschlakt und gereinigt werden muß. Schließlich wäre gegenüber den im dritten Abschnitte besprochenen Maschinen hervorzuheben die Gefahrllosigkeit und vor allen Dingen die Billigkeit der zum Betriebe von Dieselmachines hauptsächlich verwendeten Brennstoffe, denn während z. B. selbst bei Verwendung von im Inlande hergestellten Benzol 10000 WE vor dem Weltkriege etwa 30 Pf. kosteten, stellte sich bei Verwendung von Teeröl der Preis nur auf etwa 5 Pf.

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 ganz besonders zutage, nämlich die Unregelmäßigkeit des Ganges während eines Viertaktes, verursacht durch die große Höhe, bis zu welcher die Verdichtung vor der Zündung getrieben wird. Eine Folge davon ist, daß die Maschine sehr schwere Schwungräder braucht, und daß, wenn besonders große Gleichförmigkeit des Ganges verlangt wird, die Maschine mindestens als

Zwillingsmaschine ausgeführt werden muß, so daß dann, wie früher (S. 61) erwähnt, wenigstens bei jeder Umdrehung der Maschinenwelle eine Zündung stattfindet.

Diese schweren Schwungräder im Verein mit den sehr hohen Drücken, die bei dem Betriebe der Dieselmachine vorkommen (35 und mehr at im Kraftzylinder; 60 at und darüber in der Luftpumpe, der Einblaseleitung usw.), machen einen besonders kräftigen Bau der ganzen Maschine notwendig, was zunächst die Wirkung hat, daß die Reibungsverluste in der Maschine höher werden als bei anderen Gasmaschinen, wodurch wiederum der mechanische Wirkungsgrad der Maschine beeinträchtigt wird. Ferner aber ist bekanntlich das Gewicht einer Maschine in hohem Maße ausschlaggebend für ihren Preis, und wenn man bedenkt, daß die ganze Wirkungsweise der Maschine eine besonders sorgfältige und dadurch teurere Herstellung erfordert, so wird es verständlich sein, daß der Anschaffungspreis einer Dieselmachine ungleich höher ist als der anderer gleich starker Gasmaschinen.

Dieser hohe Herstellungspreis hat nun wieder weitere mißliche Folgen. Für kleinere Maschinen, etwa unter 10—12 PS_n, 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 Verwendung eines billigen Brennstoffes von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Bezüglich der neueren Entwicklung der Dieselmachine als Zweitaktmaschine, Großgasmaschine, als umsteuerbare Schiffsmachine usw. sei auf die betreffenden Abschnitte in dem Bändchen „Neuere Wärmekraftmaschinen II“ (MuG Bd. 86) verwiesen.

VI. Abwärmebewertung.

(Bestreben zur besseren Ausnutzung der Wärmeenergie.)

Allgemeines. Wärmeverteilung bei Gasmaschinen. Im zweiten Abschnitt ist auf die verhältnismäßig gute Ausnutzung der den Gasmaschinen in Gestalt von gasförmigen, flüssigen leicht flüchtigen und schwer flüchtigen Brennstoffen zugeführten Wärme hingewiesen worden.

Wir hatten festgestellt, daß diese gute Wärmeausnutzung vor allem auf die unmittelbare Kraftentfaltung der Brennstoffe im Maschinenzylinder bei Anwendung höherer Anfangstemperaturen und auf den Fortfall der bei den Dampfkraftanlagen im Kessel und auf dem Wege zur Maschine auftretenden Wärmeverluste zurückzuführen ist. Absolut genommen ist diese

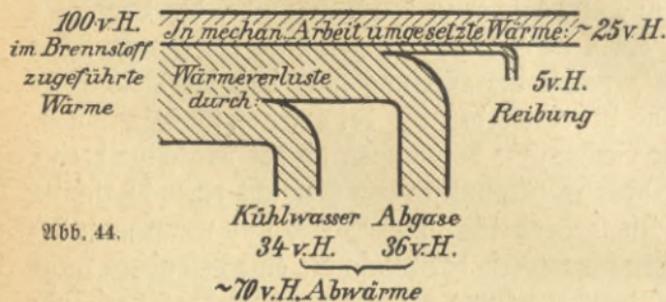


Abb. 44.

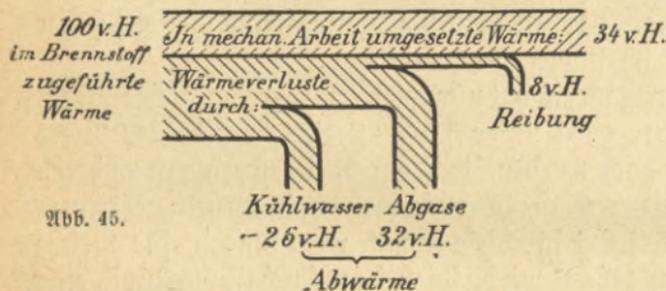


Abb. 45.

Ausnutzung ja immer noch recht dürftig, be trägt sie doch, wie wir gesehen haben, selbst im günstigsten Falle etwa nur $\frac{1}{3}$ der zugeführten Wärme, während $\frac{2}{3}$ hauptsächlich mit dem Kühlwasser und den heißen Auspuffgasen unausgenutzt aus der Maschine entweichen. In der Abb. 44 ist die ungefähre Wärmeverteilung bei einer Verpuffungsmaschine, in

der Abb. 45 bei einer Gleichdruckmaschine zeichnerisch dargestellt. Da nun vorläufig keine Aussicht vorhanden ist, eine wesentlich höhere Wärmeausnutzung in der Gasmaschine selber zu erreichen, so ist man in immer steigendem Maße dazu übergegangen, die im abfließenden erwärmten Kühlwasser und in den abströmenden heißen Auspuffgasen steckende bedeutende Wärmemenge der Gasmaschine nach Möglichkeit noch nutzbringend zu verwerten. Diese Verwertung bietet gewisse Schwierigkeiten. Der eine Teil der Abwärme, das warme Kühlwasser, besitzt eine verhältnismäßig niedrige Temperatur (bei kleineren Gasmaschinen bis zu etwa 70°C und bei Großgasmaschinen bis zu 50°C); er läßt sich also nur etwa dort unmittelbar ausnutzen, wo ein größerer Bedarf an warmem Wasser vorliegt, wie z. B. in Badeanstalten, Wäschereien, für die Warmwasserheizung, Kesselspeisung u. dgl. Der zweite Teil der Abwärme, die heißen Auspuffgase, besitzt zwar eine sehr hohe Temperatur (300 bis 450°C und mehr), für praktische Zwecke besteht aber der Nachteil darin, daß der Wärmeinhalt dieser Auspuffgase ein verhältnismäßig kleiner ist,

da ihre spezifische Wärme nur etwa 0,22 WE/kg beträgt. Das heißt bekanntlich, wenn 1 kg dieser Gase sich um 1°C abkühlt, hat es dabei nur 0,22 WE an das erwärmende Medium (Wasser oder dgl.) abgegeben, während beispielsweise Wasser unter den gleichen Bedingungen 1 WE, also $4\frac{1}{2}$ mal soviel, hergibt. Als weiterer Nachteil kommt noch die verhältnismäßig schlechte Wärmeabgabefähigkeit dieser Gase hinzu.

Ausnutzung der Abwärme. Immerhin: Die Verwertung der Abwärme bei Gasmaschinen hat im Interesse einer möglichst guten Wärmewirtschaft in den letzten Jahren mehr und mehr zugenommen. Naturgemäß stellen sich die Verhältnisse dort am günstigsten, wo ein großer Bedarf an warmem oder heißem Wasser vorliegt. Hier kann fast die gesamte Abwärme in Nutzwärme umgewandelt werden. Ist ein Bedarf an Warmwasser von einer Temperatur bis zu etwa 60°C vorhanden, dann kann das austretende erwärmte Kühlwasser (bis zu 35 l und mehr für 1 PS_n-st) meist unmittelbar Verwendung finden. Daneben können mit den heißen Auspuffgasen noch weitere Mengen von Frischwasser auf die gleiche Temperatur gebracht werden. Wird Warmwasser von noch höherer Temperatur verlangt, dann kann das ausströmende Kühlwasser in entsprechenden Abwärmeverwertern (in stehenden, mit Gegenstromwirkung arbeitenden Röhrenkesseln) durch die heißen Auspuffgase auf die gewünschte Temperatur nachgewärmt werden. So kann eine gesamte Ausnutzung der zugeführten Wärme bis zu 85 v. H. erreicht werden. Es verbleiben dann nur noch 15 v. H. als nicht zu vermeidender Verlust.

Eine andere, in neuerer Zeit öfters angewendete Form der Abwärmeverwertung besteht darin, daß die durch die sorgfältig isolierten Auspuffrohrleitungen strömenden heißen Abgase durch die Heizrohre eines Dampfkessels, eines ausziehbaren liegenden Röhrenkessels in Verbindung mit Vorwärmer und Überhitzer, geleitet werden, der mit einem Teile des warmen Kühlwassers gespeist wird. Der in diesen Abwärmeverwertern erzeugte gesättigte oder überhitzte Wasserdampf — und zwar sowohl Niederdruckdampf wie Hochdruckdampf bis zu einem Überdruck von 8 bis 12 at und mehr und einer Temperatur bis zu 350°C — kann dann wiederum zur Kräfteerzeugung in nachgeschalteten Dampfkraftmaschinen (Dampfturbinen), für chemische Zwecke oder dergl. verwendet werden. Hierbei ist eine Abkühlung der Auspuffgase unter etwa 150°C nicht ratsam, weil dann der in den Abgasen vorhandene, sich niederschlagende Wasserdampf mit der schwefligen Säure zusammen das Mate-

rial angreifen würde. Je nach der Temperatur der ausströmenden Abgase können durch diese Art der Verwertung etwa $\frac{2}{3}$ der in den Auspuffgasen steckenden Wärmemenge, d. h. 400 bis 600 WE je PS_n -st, gewonnen werden. Beträgt beispielsweise der für 1 PS_n -st einer Sauggasmaschine benötigte Brennstoffverbrauch 0,4 kg Anthrazit von einem Heizwert von 7500 WE/kg, d. h. beläuft sich die für 1 PS_n -st aufgewendete Wärme auf $0,4 \cdot 7500 = 3000$ WE und sind hiervon 30 v. H., also $3000 \cdot 0,30 = 900$ WE, in den Auspuffgasen enthalten, dann können $\frac{2}{3} \cdot 900 = 600$ WE noch nutzbringend verwertet werden. Unter Umständen läßt sich noch eine höhere Ausnutzung dadurch erzielen, daß die aus der Dampfkraftmaschine entweichende Dampfabwärme etwa in der Form von warmem Wasser verwendet wird.

Weitere Möglichkeiten zur Abwärmeverwertung wären auch z. B. noch die Erhitzung von Luft durch die Auspuffgase als Wärmeträger für Heizung- und Trockenzwecke oder die unmittelbare Beheizung von Trockenräumen durch die Abgase, was allerdings weniger zu empfehlen ist, weil die Auspuffgase vielfach durch Öl, schwefelige Säure oder Ruß verunreinigt sind.

Wie hoch die Ersparnisse durch Ausnutzung der im warmen Kühlwasser und in den heißen Auspuffgasen steckenden Wärme sein können, zeigt folgendes Beispiel einer mit Koksöfengas arbeitenden Gasmaschine von 2000 PS_n . Unter der Annahme, daß die Maschine für die PS_n -st 0,5 cbm Koksöfengas mit einem Heizwert von 3300 WE/cbm benötigt und ihr thermischer Wirkungsgrad 22 v. H. beträgt, ist die gesamte Verlustwärme $0,5 \cdot 3300 - 0,22 \cdot 0,5 \cdot 3300 = 1650 - 363 = 1287$ WE PS_n -st. Von der durch den Brennstoff zugeführten Wärme entfallen auf das Kühlwasser und auf die Abgase 65 v. H., d. h. eine Wärmemenge von zusammen $0,65 \cdot 0,5 \cdot 3300 = 1073$ WE. Wird angenommen, daß von diesen 1073 WE bis zu ~ 600 WE für die PS_n -st beispielsweise für Heißwasserbereitung verwertbar sind, dann beläuft sich bei 300 Betriebstagen zu je 12 Stunden die gesamte nutzbare Abwärme für 1 PS_n -st im Jahre auf $300 \cdot 12 \cdot 600 = 2\,160\,000$ WE, für 2000 PS_n also auf $2000 \cdot 2\,160\,000 = 4\,320\,000\,000$ WE. Würde diese Wärmemenge in einem besonderen Kessel mit einem Wirkungsgrad von 70 v. H. durch Kohlen mit einem Heizwert von 7000 WE/kg erzeugt werden, dann würde sich bei einem Brennstoffpreis von beispielsweise nur 16 M. für je 1000 kg ein Wärmepreis für 10 000 WE von $\frac{10\,000 \cdot 16}{7000 \cdot 0,7 \cdot 1000} \sim 0,033$ M. = 3,3 Pf., bei einem Brennstoffpreis von

250 M. für je 1000 kg, wie er bei Herausgabe dieses Buches gezahlt wird, sogar von $\frac{10\,000 \cdot 250}{7000 \cdot 0,70 \cdot 1000} = 0,51 \text{ M.} = 51 \text{ Pf.}$ ergeben. Die jährliche Ersparnis an Betriebskosten durch Verwertung der nutzbaren Abwärme würde sich im ersten Falle also auf $\frac{4\,320\,000\,000 \cdot 0,033}{10\,000} = 14\,256 \text{ M.}$, im anderen Falle auf $\frac{4\,320\,000\,000 \cdot 0,51}{10\,000} = 220\,320 \text{ M.}$ stellen.

Dem Gewinne aus der Verwertung der Abwärme stehen natürlich die Anlage- und Betriebskosten derjenigen Apparate und Vorrichtungen gegenüber, vermittels deren die Abwärmeausnutzung stattfindet (Kessel, Heizkörper u. dgl.) Diese Kosten sind aber durchweg verhältnismäßig so gering, daß die Anlage einer Abwärmeverwertung bei allen Gasmaschinen größerer Leistung, unter Umständen sogar schon bei solchen mittlerer Leistung (25 PS_n und darüber), wirtschaftlich vorteilhaft erscheint.

Anhang.

Warum baut man noch Dampfmaschinen?

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

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

vorrichtung hat in kürzester Zeit ein Trockenlaufen des Kolbens zur Folge, und wird diesem Übelstande nicht sofort abgeholfen, so kann die Maschine binnen wenigen Minuten bis zur Betriebsunfähigkeit beschädigt sein. Bei der Dampfmaschine dagegen ist ein Versagen der Kolbenschmievorrichtung 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.

Sehr mißlich ist ferner, daß Gasmaschinen, mit Ausnahme einer besonderen Art von Gleichdruckmaschinen, nur in einer Richtung umlaufen können, daß sie also, wie man sagt, nicht umsteuerbar sind. Das ist wohl einer der größten Übelstände im Gegensatz zur Dampfmaschine und schließt die Gasmaschine von einer Reihe von Anwendungsgebieten aus, wo sie sonst in der Form der Koks-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 verlangsamte zwar ihren Gang, gegebenenfalls so stark, daß sie eben nur noch über die beiden Totpunkte hinwegkommt, sie arbeitet aber doch längere Zeit ruhig fort,

Da die Größe der Arbeitsleistung während einer Umdrehung, das heißt die Größe des Diagrammes, sich bei verlangsamtem Gange nicht wie bei der Gasmaschine verringert.

Keine Gasmaschine läßt sich eine so rohe Behandlungsweise gefallen wie die Dampfmaschine, keine Gasmaschine läßt sich, wenn sie infolge schlechter Behandlung zum Stillstande gekommen ist, in so einfacher Weise und mit so einfachen Mitteln wieder in Gang bringen, wie dies bei der Dampfmaschine in einem solchen Falle möglich ist.

Alles in allem fehlt also den Gasmaschinen bis jetzt wenigstens der hohe Grad von Betriebssicherheit und Anpassungsfähigkeit an alle nur denkbaren Verhältnisse, welcher gerade die Kolbendampfmaschine vor allen anderen Kraftmaschinen in so hervorragender Weise auszeichnet.

Zu diesen betriebstechnischen Gründen kommen nun aber noch wirtschaftliche. Das am meisten zur Verwendung kommende Betriebsmittel der Dampfmaschine, die Steinkohle, ist in vielen Fällen noch verhältnismäßig billiger als die Betriebsmittel der Gasmaschine, so daß trotz der erheblich besseren Wärmeausnutzung der Gasmaschinenbetrieb sich häufig unwirtschaftlicher, d. h. teurer gestaltet, als dies bei der Dampfmaschine unter Verwendung von Steinkohle, Braunkohle usw. der Fall ist, deren Wärme in den Dampfmaschinenanlagen, wie früher im zweiten Abschnitte, Kapitel 1, gezeigt wurde, in so unvollkommener Weise ausgenutzt wird.

Gerade diese schlechte Wärmeausnutzung kann übrigens unter Umständen sogar der Grund dafür sein, die Dampfmaschinenanlage einer Gasmaschinenanlage vorzuziehen. Das klingt zunächst paradox, wird aber sofort verständlich, wenn man folgendes beachtet: Da die Wärme in der Dampfmaschinenanlage schlecht (bekanntlich nur zu etwa 12—15 v. H.) ausgenutzt wird, liefert die Dampfmaschine eine große Menge von Abwärme, z. B. in der Form von Abspuffdampf, dessen Verwertung im Gegensatz zu der Verwertung der Gasmaschinenabwärme (siehe oben) z. B. zu Heizzwecken außerordentlich einfach ist. Liegt also ein großer dauernder Bedarf an Heizwärme in Verbindung mit Kraftbetrieb vor (man denke an Fabriken, Warenhäuser u. dgl. in kalten Gegenden), so kann aus wirtschaftlichen Gründen gerade die schlechte Wärmeausnutzung, d. h. die große Abwärmemenge der Dampfmaschine, bestimmend dafür sein, den Kraftbedarf durch eine Dampfmaschinenanlage zu befriedigen.

Sachregister.

- Abreißzündung 78
 absolute Nullpunkt 23
 absolute Temperatur 23
 Abwärme 113
 Abwärmeverwerter 115
 Adiabate 27
 Anlassen der Dieselma-
 schinen 109
 — der Gasmaschinen 87,
 117
 — — Petroleummaschi-
 nen 99
 — — Spiritusmaschinen
 103
 Anlaßgefäß (Diesel) 109
 Anlaßventil (Diesel) 111
 Anlaßvorrichtungen 88
 Ansaugen 62
 Ansaugtopf 91
 Äquivalent 20
 Arbeit 6
 Atmosphäre 14
 atmosphärische Gasma-
 schine 45 55
 Aufbau der Gasmaschi-
 nen 69
 Ausdehnung der Gase 23
 Ausführungsbeispiel 86
 Auslaßventil 74
 —steuerung 81
 Auspuff 66
 —topf 91
 Ausseher 79

 Benzin 92, 94
 —maschine 96
 Benzol 95
 —maschine 96
 Betriebskosten 42
 Boyles Gesetz 24, 28
 Brennstoffe, flüssige 92,
 111
 Brennstoffkosten 40
 Brennstoffpumpe 101, 109
 Clerk 49
 Dampfmaschine 32
 Deutzer Gasmotorenfabrik
 47
 Diagramm 14, 17, 19
 — Diesel 105
 — Lenoir 19
 — Otto & Langen 46
 — Viertakt 58
 — Zweitakt 68
 Diesel 104
 doppelwirkender Viertakt
 67
 Dowson 53
 Druckgas 53
 Druckregler 88
 Durchgehen von Maschi-
 nen 79
 Einblasegefäß 109
 Einblaseluft 109
 Einblaseventil (Diesel) 109
 Energie, Satz von der Er-
 haltung der 20
 Ergin 95
 Ericson 35
 Explosion des Schwung-
 rades 79
 — von Gasgemischen 50
 Flüssige Brennstoffe 92
 Frühzündung 65
 Füllungsregelung 82
 Gasdruckregler 88
 Gaslofs 48
 Gaskonstante 28
 Gasöl 94
 Gasuhr 88
 Gasventil 74
 Gay-Lussacs Gesetz 24, 27
 gekrüppfte Welle 70
 Gemischeinlaßventil 74
 Gemischregelung 81
 Geratführung des Kolbens
 70
 Geschichte der Gasmaschine
 43
 Geschwindigkeit des Kol-
 bens 56
 Gichtgase 55
 Gleichdruckmaschine 104
 Glühhaube 101
 Glühkopfmachine 100
 Glührohr 76
 Gummibentel 90

 Hauptfaß, erster 20
 — zweiter 29
 Heißluftmaschinen 35
 Heizwert 33
 — Benzin 94
 — Benzol 95
 — Dowsongas 53
 — Gichtgas 65
 — Petroleumdestillate 93
 — Schwefel 96
 — Spiritus 95
 — Steinkohle 32
 Subverminderungsvor-
 richtung 17

 Indikator 13
 —en, neuere 15
 indizierte Leistung 13
 — Pferdestärke 12
 Ingangsetzen s. Anlassen
 Jottherme 25
 isothermische Zustands-
 änderung 25

- Kleinkraftmaschinen 35, 39
 Koks 48
 Koksöfengase 55
 Kolbengeschwindigkeit 56
 Körtingmaschine 68
 Kraft 5
 —erzeugung 20
 —gas 52
 —maschinen 7
 Kreisprozeß 28
 Kühlung der Zylinder 50, 71
 Kühlwasserbedarf 71

 Laderaum 63
 Lampenpetroleum 92, 94
 Längen 45
 Leergangsgasverbrauch 84
 Leistung 8
 —berechnung 15, 18
 Lenoir 19, 44, 56
 Leuchtgas 48
 liegende Maschinen 70
 Luftansaugeventil 102
 Luftkühlung bei Zylindern 71
 Luftpumpe (Diesel) 109

 magnetelektrische Zündung 76
 Mariotte 25
 Masut 111
 Mayer, Robert 20
 mechanischer Wirkungsgrad 13
 Meterkilogramm 7
 Mischungsverhältnis 49
 Mischventil 45
 mittlere Spannung 18
 Muskelkraftmaschinen 8

 Nennleistung 84
 Nocken 81
 Nullpunkt, absoluter 23
 Nutzpferdestärke 11

 Öchelhäuser 67
 Otto & Langen 45, 55

 Paraffinöl 92, 111
 Petroleum 94
 —entstehung 93
 —maschinen 99
 Pferdestärke 10 ff.
 Planimeter 18
 Pumpen bei Zweitaktmaschinen 68

 Regler für Gasdruck 88
 Reguliernadel 98
 Regulierung 78
 — bei Dieselmaschinen 107
 Rippenkühlung 71
 Rohpetroleum 93

 Sauggas 53
 Schweröle 96
 Schwimmervergaser 97
 Schwungradexplosion 79
 Schrubber 54
 Solaröl 92, 111
 Spannung, mittlere 18
 Spiritus 95
 —maschine 103
 Spritzvergaser 98
 stehende Maschine 70
 Steinkohlengas 48
 Steuerung 73
 Steuerwelle 73
 Stundenpferdestärke 31, 33

 Teer 96, 111
 —öl 92, 96, 111
 Temperatur, absolute 23
 thermischer Wirkungsgrad 30
 Totpunkt der Maschine 59

 Überdruckatmosphäre 14
 Überlastung der Gasmaschine 118
 Umsteuerung bei Gasmaschinen 118

 Verdampfungskühler 72
 Verdichtung bei Dieselmaschinen 104

 Verdichtung bei Gichtgasmaschinen 65
 — — Leuchtgasmaschinen 64
 — — Spiritusmaschinen 103
 — des Gasgemisches 63
 Vergaser 97
 Verpuffung 50, 65
 Viertakt 48, 58, 60
 Vorzüge der Gasmaschinen 38

 Wärmeäquivalent 20
 Wärmeausnutzung bei Dampfmaschinen 33, 38
 — — Gasmaschinen 38, 114
 Wärmekraftmaschinen 8
 Wärmelosigkeit 23
 Wärmeverbrauch bei Kraftmaschinen 38
 Wärmewert der Arbeit 20
 Wasserkraftmaschinen 8
 Watt 13
 Welle, gekröpfte 70
 Windkraftmaschinen 8
 Wirkungsgrad, mechanischer 13
 —, thermischer 30
 —, Verschlechterung bei abnehmender Leistung 83, 108
 —, wirtschaftlicher 31
 — von Dampfmaschinen 33
 — — Gasmaschinen 38

 Zerstäuberdüse 98
 Zerstäuberventil bei Dieselmaschinen 109
 Zubehörteile zur Gasmaschine 88
 Zündflamme 45
 Zündung 65, 76
 — bei Diesel 105
 Zustandsänderung 24 ff.
 Zweitakt 61, 67, 100

Vom Verfasser des vorliegenden Bändchens sind ferner in derselben Sammlung (jedes Bändchen kart. M. 2.80, geb. M. 3.50) erschienen:

Die neueren Wärmekraftmaschinen

II. Gaserzeuger, Großgasmaschinen, Dampf- und Gasturbinen. 4. Auflage. Mit 43 Abbildungen. (Bd. 86.)

Behandelt an Hand zahlreicher Abbildungen Gestaltung und Bau der Dampfmaschine sowie ihrer einzelnen Teile und gibt eine Übersicht über die vielseitige Verwendung der Kolbendampfmaschine.

Die Dampfmaschine

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

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

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

II. Ihre Gestaltung und Verwendung. 3. Auflage bearbeitet von Privatdozent Dr. F. Schmidt. Mit 94 Abbildungen. (Bd. 394.)

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

Maschinen-Elemente

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

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

Hebezeuge

Das Heben fester, flüssiger und gasförmiger Körper.

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

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

Einführung in die technische Wärmelehre
(Thermodynamik.)

2. erw. Aufl. bearb. v. Privatdoz. Dr. Fr. Schmidt. Mit 46 Abb. i. T. (Bd. 516.)

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

Praktische Thermodynamik

Aufgaben und Beispiele zur mechanischen Wärmelehre.

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

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

Auf sämtliche Preise Teuerungszuschläge 1920 120%, Abänderung vorbehalten

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Preise freibleibend

Maschinenbau. Von Ing. O. Stolzenberg, Direktor der Gewerbeschule u. d. gewerbl. Fach- und Fortbildungsschulen zu Charlottenburg. Band I: Werkstoffe des Maschinenbaues und ihre Bearbeitung auf warmem Wege. Mit 255 Abb. im Text. Geb. M. 9.60. Band II: Arbeitsverfahren. Mit 750 Abbild. im Text. Geb. M. 18.—. Band III: Methodik der Sachkunde und Sachrechnen. Mit ca. 35 Abbildungen im Text.

Das aus langjähriger Erfahrung der Praxis und im Unterricht hervorgegangene Werk behandelt nach dem neuesten Stand des Maschinenbaues in seinem I. Band Die Rohstoffe des Maschinenbaues einschließlich der Ersatzstoffe, soweit sich ihre Verwendung bewährt hat, die Mittel und Wege zu ihrer Prüfung und ihrer Bearbeitung auf warmem Wege. In Band II gelangt die Arbeit des Maschinenbauers in ihren sämtlichen Verfahren, sei es, daß sie mit der Hand oder mit der Maschine ausgeführt werden, zur Darstellung. Der III. Band ist für die Hand des Lehrers an gewerblichen Schulen bestimmt. Er gibt ihm eine bisher noch nicht vorhandene Anleitung, wie der in Band I und II dargebotene Stoff im Unterricht zu behandeln, wie das Anschauungsmaterial zu beschaffen und zu verwerten ist und bietet neben anderen wertvollen Winken zahlreiche Sachrechenaufgaben aus der Werkstattpraxis.

Sachkunde für Maschinenbauerklassen der gewerblichen Fortbildungsschulen. I. Teil: Rohstoffkunde. Bearb. von Dir. Uhrmann und Ing. F. Schuth. M. 3.40. II. Teil: Arbeitskunde. Bearbeitet von Direktor Ing. O. Stolzenberg. III. Teil: Kraftmaschinen und Hebezeuge. Bearbeitet von Direktor Uhrmann und Ing. O. Schuth. M. 3.60

Die Lehrhefte sollen das zeitraubende Niederschreiben des Vortrages ersparen und zur Wiederholung und Vorbereitung für den Unterricht dienen. Jedes Heft enthält auf ca. 75 Seiten mit zahlreichen Abbildungen den Lehrstoff für die einzelnen Stufen der gewerblichen Fortbildungsschule in anschaulicher und leichtfaßlicher Form unter Ausschaltung alles Nebensächlichen.

Baufunde für Maschinentechniker. Von Oberlehrer Dipl.-Ing. A. Weiske. Mit 168 Fig. Steif geh. M. 1.20

„Behandelt das gesamte Gebiet der Hochbaukunde. Wenn auch aus jedem Kapitel nur das Wichtigste gebracht wird, so dürfte doch der gebotene Stoff genügen, um jungen Maschinentechnikern einen guten Überblick über die gesamte Hochbaukunde zu verschaffen, besonders da der knapp gehaltene Text durch zahlreiche zweckmäßige Abbildungen erläutert wird.“ (Ztschr. f. gewerbl. Unterr.)

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

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

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

I. Bd. Einführung in die Mechanik. 6. Aufl. Mit 104 Figuren. Geh. M. 20.—, geb. M. 24.—. II. Bd. Graphische Statik. 5. Aufl. Mit 203 Abb. M. 20.—, geb. M. 24.—. III. Bd. Festigkeitslehre. 8. Aufl. Mit 114 Fig. Geh. M. 21.20, geb. M. 25.20. IV. Bd. Dynamik. 6. Aufl. Mit 86 Fig. M. 20.—, geb. M. 24.—. V. Bd. Die wichtigsten Lehren der höheren Elastizitätstheorie. 3. Aufl. Mit 44 Figuren. M. 20.—, geb. M. 24.—. VI. Bd. Die wichtigsten Lehren der höheren Dynamik. 3. unv. Aufl. Mit 30 Fig. M. 23.20, geb. M. 28.—.

Kleiner Leitfaden der praktischen Physik. Von Professor Dr. Fr. Kohlrausch. 4. Aufl. bearb. von Prof. Dr. H. Schöll. Mit 165 Abbildungen im Text. Geh. M. 12.—, geb. M. 14.—

Die neue, von Professor Schöll-Leipzig bearbeitete Auflage stellt eine erhebliche Erweiterung des wertvollen Werkes dar, da das Buch nicht nur dem Universitätspraktikum, sondern auch den Anforderungen des späteren Berufes nutzbar gemacht werden sollte. Die den einzelnen Abschnitten vorangestellten Bemerkungen über physikalische Begriffe und Gesetze stellen in ihrer Gesamtheit zugleich ein kurzes Repetitorium der Experimentalphysik dar.

Auf sämtl. Preise Teuerungszuschläge 120%, Abänderung vorbehalten) und teilweise d. Buchhandl.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Preise freibleibend

TEUBNERS TECHNISCHE LEITFÄDEN

Die Leitfäden wollen zunächst dem Studierenden, dann aber auch dem Praktiker in knapper, wissenschaftlich einwandfreier und zugleich übersichtlicher Form das Wesentliche des Tatsachenmaterials an die Hand geben, das die Grundlage seiner theoretischen Ausbildung und praktischen Tätigkeit bildet. Sie wollen ihm diese erleichtern und ihm die Anschaffung umfänglicher und kostspieliger Handbücher ersparen. Auf klare Gliederung des Stoffes auch in der äußeren Form der Anordnung wie auf seine Veranschaulichung durch einwandfrei ausgeführte Zeichnungen wird besonderer Wert gelegt. — Die einzelnen Bände, für die vom Verlag die ersten Vertreter der verschiedenen Fachgebiete gewonnen werden konnten, erscheinen in rascher Folge im Umfang von je 8—10 Bogen gr. 8.

Bisher sind erschienen bzw. unter der Presse:

- Analytische Geometrie. Von Geh. Hofrat Dr. R. Fricke, Professor an der Techn. Hochschule zu Braunschweig. Mit 96 Fig. [VI u. 135 S.] 1915. (Bd. 1.) M. 2.80.
Darstellende Geometrie. Von Dr. M. Großmann, Prof. an der Eidgen. Techn. Hochschule zu Zürich. Bd. I. Mit 134 Fig. [IV u. 84 S.] 1917. (Bd. 2.) M. 4.—
Darstellende Geometrie. Von Dr. M. Großmann, Professor an der Eidgen. Technischen Hochschule zu Zürich. Bd. II. 2. Aufl. Mit 145 Fig. (Bd. 3.)
Differential- und Integralrechnung. V. Dr. L. Bieberbach, o. ö. Prof. a. d. Univ. Frankfurt a. M. I. Differentialrechnung. Mit 32 Fig. [VI u. 130 S.] 1917. (Bd. 4) Steif geh. M. 2.80. II. Integralrechnung. Mit 25 Fig. [VI u. 142 S.] 1918. (Bd. 5.) Steif geh. M. 3.40.
Funktionenlehre. V. Dr. L. Bieberbach, Prof. a. d. Univ. Frankfurt a. M. [U. d. Pr.]
Grundriß der Hydraulik. Von Hofrat Dr. Ph. Forchheimer, Prof. a. d. Techn. Hochschule in Wien. Mit 114 Fig. i. Text. [V u. 118 S.] 1920. (Bd. 8.) Kart. M. 7.20
Feldbuch für geodätische Praktika. Nebst Zusammenstellung der wichtigsten Methoden und Regeln sowie ausgeführten Musterbeispielen. Von Dr.-Ing. O. Israel, Prof. a. d. Techn. Hochschule in Dresden. Mit 46 Fig. im Text. [IV u. 160 S.] 1920. (Bd. 11.) Kart. M. 8.—
Erdbau, Stollen- und Tunnelbau. Von Dipl.-Ing. A. Birk, Prof. a. d. Techn. Hochschule zu Prag. Mit 110 Abb. [V u. 117 S.] 1920. (Bd. 7.) Kart. M. 3.80.
Landstraßenbau einschl. Trassieren. V. Oberbaurat W. Euting, Stuttgart. Mit 54 Abb. i. Text u. a. 2 Taf. [IV u. 100 S.] 1920. (Bd. 9.) Kart. M. 5.60
Hochbau in Stein. Von Geh. Baurat H. Walbe, Prof. a. d. Techn. Hochschule zu Darmstadt. Mit 302 Fig. im Text. [VI u. 110 S.] 1920. (Bd. 10.) Kart. M. 6.40.
Veranschlagen, Bauleitung, Baupolizei, Heimatschutzgesetz. Von Stadtbaurat Fr. Schultz, Bielefeld. (Bd. 12.)
Mechanische Technologie. Von Dr. R. Escher, Prof. an der Eidgen. Techn. Hochschule zu Zürich. Mit 418 Abb. i. Text. 2. Aufl. (Bd. 6.) Kart. M. 8.—
Praktische Astronomie. Von V. Theimer, Adjunkt an der Montanistischen Hochschule zu Leoben. (Bd. 13.) [Unter der Presse 1921.]

In Vorbereitung sind auf dem Gebiete

DER MATHÉMATIK UND DES MASCHINENBAUES:

- Höhere Mathematik. 2 Bde. Von Dr. R. Rothe, Prof. a. d. Techn. Hochschule Berlin.
Versicherungsmathematik. Von Reg.-Rat Dr. P. E. Böhmer, Prof. an der Technischen Hochschule Dresden. [Technischen Hochschule Darmstadt.
Praktische Geometrie. Von Dr.-Ing. Heinrich Hohener, Prof. an der Maschinenelemente. 2 Bde. V. K. Kutzbach, Prof. a. d. Techn. Hochschule Dresden.
Thermodynamik. 2 B. V. Geh. Hofr. Dr. R. Mollier, Prof. a. d. Techn. Hochschule Dresden.
Kolbenkraftmaschinen. V. Dr.-Ing. A. Nägel, Prof. a. d. Techn. Hochschule Dresden.
Dampfturbinen und Turbokompressen. Von Dr.-Ing. H. Baer, Prof. an der Technischen Hochschule Breslau. [Franz Lawaczeck, Halle.
Wasserkraftmaschinen und Kreiselpumpen. Von Oberingenieur Dr.-Ing. Grundlagen der Elektrotechnik. 2 Bde. Von Dr. E. Orlich, Prof. an der Technischen Hochschule Berlin.
Elektrische Maschinen. 4 Bde. V. Dr.-Ing. M. Klob, Prof. a. d. Techn. Hochschule Berlin.
Baustoffe des Maschinenbaues. Von Dr. W. Schwinning, Prof. an der Technischen Hochschule Dresden.
Mech. Technologie in der Textilindustrie. Von Dr.-Ing. W. Frenzel, Delft.
Aufsämtl. Pr. Teuerungszuschl. d. Verl. 120% (Abänd. vorbeh.) u. der Buchhandlungen

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Preise freibleibend

Teubners kleine Fachwörterbücher

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

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

* in Vorbereitung bzw. unter der Presse (1922)

Philosophisches Wörterbuch. 2. Aufl. V. Studienrat Dr. P. Thormeyer. (Bd. 4.) geb. M. 25.—

Psychologisches Wörterbuch von Dr. Fritz Diefse. (Bd. 7.) geb. M. 22.—
Wörterbuch zur deutschen Literatur von Studienrat Dr. H. Köhl.

(Bd. 14.) geb. M. 25.—

***Musikalisches Wörterbuch** von Privatdoz. Dr. J. H. Moser. (Bd. 12.)

***Wörterbuch zur Kunstgeschichte** von Dr. H. Vollmer.

Physikalisches Wörterbuch v. Prof. Dr. G. Berndt. (Bd. 5.) geb. M. 25.—

***Chemisches Wörterbuch** von Privatdozent Dr. H. Remb. (Bd. 10.)

***Astronomisches Wörterbuch** v. Observator Dr. H. Naumann. (Bd. 11.)

Geologisch-mineralogisches Wörterbuch von Dr. C. W. Schmidt.

(Bd. 6.) geb. M. 25.—

Geographisches Wörterbuch v. Prof. Dr. O. Kende. I. Allgem. Erdkunde.

(Bd. 8.) geb. M. 25.— *II. Wörterbuch d. Länder- u. Wirtschaftskunde. (13.)

Zoolog. Wörterbuch v. Dr. Th. Knottnerus-Meyer. (2.) geb. M. 20.—

Botanisches Wörterbuch von Dr. O. Gerke. (Bd. 1.) geb. M. 20.—

Wörterbuch der Warenkunde von Prof. Dr. M. Pietsch. (Bd. 3.)

geb. M. 25.—

Handelswörterbuch von Handelschuldir. Dr. V. Sittel u. Justizrat

Dr. M. Strauß. Zugleich fünfsprachiges Wörterbuch, zusammengestellt von V. Armhaus, verpl. Dolmetscher. (Bd. 9.) geb. M. 25.—

Verlag von V. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Teubners Naturwissenschaftliche Bibliothek

Serie A. Für reifere Schüler, Studierende und Naturfreunde

Alle Bände sind reich illustriert und geschmackvoll gebunden

- Große Physiker.** Von Joh. Kernerstein. Mit 12 Bildnissen M. 24.—
- Physikalisches Experimentierbuch.** Von H. Nebenstorff. In 2 Teilen. I. Teil. 2. Aufl. Mit 99 Abbildungen M. 30,70. II. Teil. Mit 87 Abbildungen . M. 24.—
- Chemisches Experimentierbuch.** Von K. Scheid. In 2 Teilen. I. Teil. 4. Aufl. Mit 77 Abbildungen. M. 24.—. II. Teil. 2. Aufl. Mit 51 Abbildungen . M. 26,70
- An der Werkbank.** Von E. Scheidlen. Mit 110 Abbildungen u. 44 Tafeln. M. 32.—
- Hervorragende Leistungen der Technik.** Von K. Schreiber. Mit 56 Abb. M. 16.—
- Vom Einbaum zum Linienschiff.** Streifzüge auf dem Gebiete der Schifffahrt und des Seewesens. Von K. Kadunz. Mit 90 Abbildungen. M. 16.—
- Die Luftschiffahrt.** Von R. Nimführ. Mit 99 Abbildungen M. 12.—
- Aus dem Luftmeer.** Von M. Sassenfeld. Mit 40 Abbildungen M. 12.—
- Himmelsbeobachtung mit bloßem Auge.** Von J. Kusch. 2. Aufl. Mit 30 Figuren und 1 Sternkarte. M. 26,70
- An der See.** Geogr.-geologische Betrachtungen. Von V. Dahms. Mit 61 Abb. M. 10,70
- Küstenwanderungen.** Biologische Ausflüge. Von V. Franz. Mit 92 Fig. M. 12.—
- Geologisches Wanderbuch.** Von K. G. Volk. 2 Teile. I. 2. Aufl. Mit 201 Abb. u. 1 Orientierungstafel. M. 48.—. II. 2. Aufl. Mit zahlr. Abb. [U. d. Pr. 2.]
- Große Geographen.** Bilder aus der Geschichte der Erdkunde. Von J. Lampe. Mit 6 Porträts, 4 Abb. u. Kartenskizze. M. 21,60
- Geographisches Wanderbuch.** Von A. Berg. 2. Aufl. Mit 212 Abb. M. 29,40
- Anleitung zu photographischen Naturaufnahmen.** Von G. E. J. Schulz. Mit 41 photographischen Aufnahmen. M. 26,40
- Vegetations schilderungen.** Von P. Gräbner. Mit 40 Abbildungen . . . M. 10.—
- Unsere Frühlingspflanzen.** Von Fr. Höd. Mit 76 Abbildungen . . M. 16.—
- Große Biologen.** Bilder aus der Geschichte der Biologie. Von W. Mah. Mit 21 Bildnissen M. 16.—
- Biologisches Experimentierbuch.** Anleitung zum selbständigen Studium der Lebenserscheinungen für jugendliche Naturfreunde. Von C. Schäffer. Mit 100 Abbildungen. M. 26,70
- Insektenbiologie.** Von Chr. Schröder. [U. d. Presse 1921.]
- Erlebte Naturgeschichte.** Von C. Schmitt. 2. Aufl. Mit 35 Abb. 1 Text. Kart. M. 26,40

In Vorbereitung:

Große deutsche Industriebegründer. Von C. Matschoss. **Große Mathematiker.** Von E. Löffler. **Große Chemiker.** Von D. Ohmann und K. Winderlich.

Serie B. Für jüngere Schüler und Naturfreunde.

- Physikalische Plaudereien f. die Jugend.** Von E. Wunder. Mit 15 Abbildungen. Kart. M. 8.—
- Chemische Plaudereien für die Jugend.** Von E. Wunder. Mit 5 Abbildungen. Kart. M. 8.—
- Mein Handwerkszeug.** Von D. Freß. Mit 12 Abbildungen . . . Kart. M. 6,40
- Vom Tierleben in den Tropen.** Von K. Guenther. Mit 7 Abb. Kart. M. 6,40
- Versuche mit lebenden Pflanzen.** Von M. Dettli. Mit 7 Abb. Kart. M. 6,40

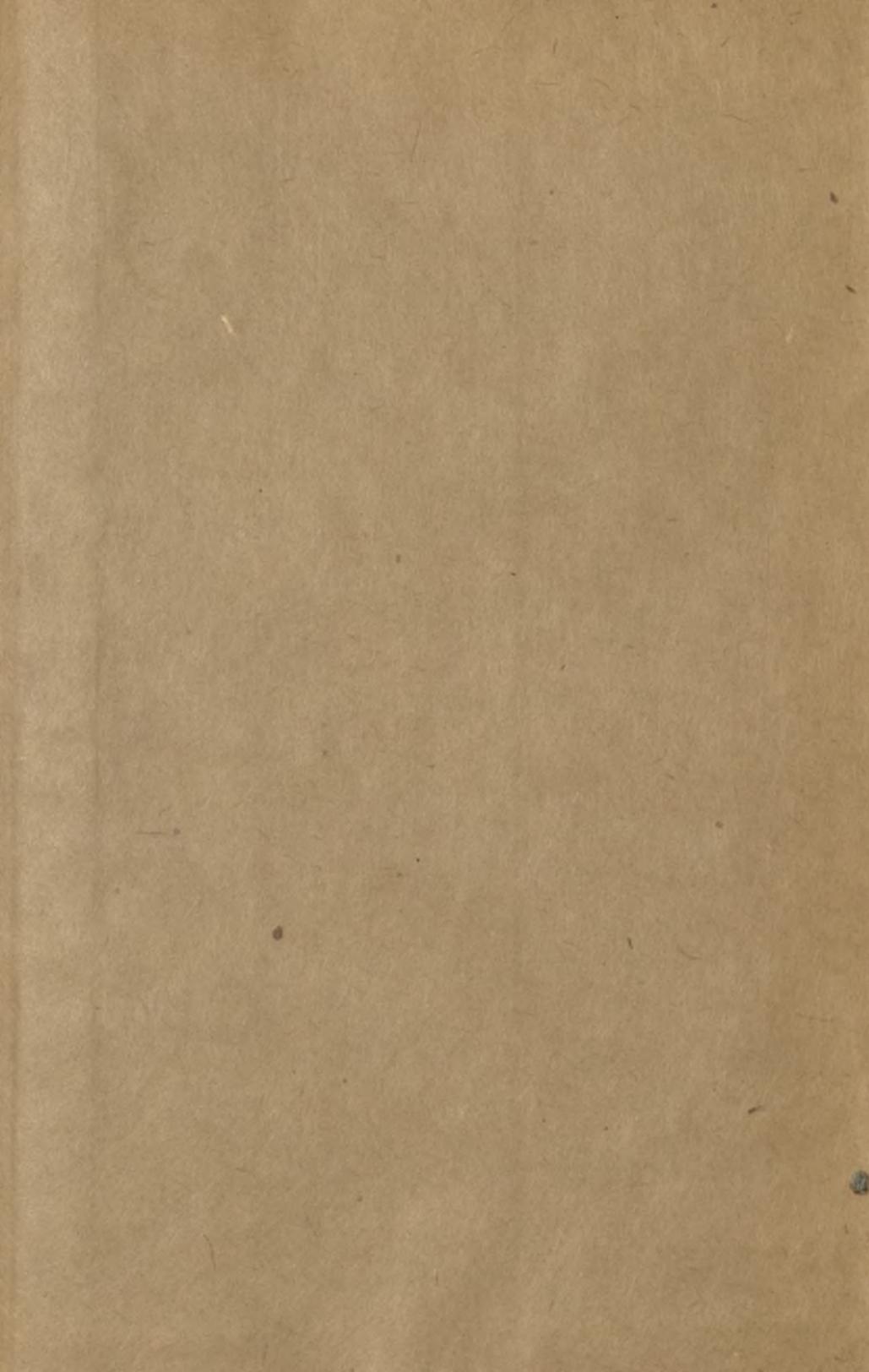
Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Preisänderung vorbehalten

S - 96

22

S. 61



30,00

B
Po

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301482

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295969