

Aus  
Natur und Geisteswelt

—393—

R. Vater

Die Dampfmaschine

I: Wirkungsweise des Dampfes  
im Kessel und in der Maschine

Vierte Auflage



B. G. Teubner. Leipzig. Berlin



# Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

393. Bändchen

## Die Dampfmaschine

I: Wirkungsweise des Dampfes  
im Kessel und in der Maschine

Von

Richard Vater

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

Mr. 308a

Vierte Auflage

17.-23. Tausend

Mit 37 Abbildungen



*Art IV d<sub>3</sub>*  
*Für ü. g. F. H.*



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

621.1.004.13



CZ-T.393/1

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

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsberechtes, vorbehalten.

## Vorwort zur ersten bis vierten Auflage.

Das Buch behandelt ausschließlich die inneren Vorgänge im Dampfkessel und in der Dampfmaschine. Das Bauliche wurde grundsätzlich ausgeschlossen und in einem besonderen Bändchen (Dampfmaschine II AMuG Bd. 394) behandelt.

Das Buch dürfte allen denen von Interesse und Nutzen sein, welche sich ohne große Vorkenntnisse in der Mechanik und Wärmelehre rasch einen kurzen Überblick über die Theorie des Dampfes und der Dampfmaschine verschaffen wollen. Ich denke dabei an die Besitzer und Betriebsleiter von Dampfmaschinenanlagen, nicht zum wenigsten aber auch an die angehenden Studierenden unserer technischen Hochschulen, Bergakademien usw., denen es z. B. sicherlich sehr angenehm sein wird, schon vor Beginn des eigentlichen Hochschulstudiums, während ihres praktischen Lehrjahres einen kleinen Einblick in jene inneren Vorgänge im Dampfkessel und in der Dampfmaschine zu gewinnen.

Zu einer Erweiterung der theoretischen Abhandlungen, wie sie in einigen Besprechungen früherer Auflagen von geschätzter Seite gewünscht wurden, konnte ich mich nicht entschließen, da meiner Ansicht nach derartige Abhandlungen über den Rahmen der vorliegenden Sammlung hinausgehen würden. Man soll auch von einem so kleinen Buche nicht zu viel verlangen.

Berlin-Grunewald, im Januar 1918.

R. Gater.

# Inhaltsübersicht.

	Seite
Borwort . . . . .	III
Inhaltsübersicht . . . . .	V

## Erster Abschnitt.

### Einführung in die allgemeine Theorie der Kraftmaschinen.

Erstes Kapitel: Grundlegende Sätze aus der Mechanik und Erklärung einiger fachtechnischer Ausdrücke . . . . .	1
Kraft (1). Arbeit (2). Kraftmaschinen (3). Leistung (4). Pferdestärke (6). Nutzpferdestärke. Indizierte Pferdestärke (8). Mechanischer Wirkungsgrad. Indikator (9). Diagramm (10).	

Zweites Kapitel: Die wichtigsten Sätze aus der mechanischen Wärmetheorie . . . . .	16
--	----

Satz von der Erhaltung der Energie. Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit. Erster Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie (16). Absolute Temperatur (19). Zustandsänderungen, Gesetze von Gay-Lussac und Boyle (20). Kreisprozeß (24). Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie (26). Thermischer (27) und wirtschaftlicher Wirkungsgrad (28).

## Zweiter Abschnitt.

### Der Wasserdampf.

Erstes Kapitel: Eigenschaften des Wasserdampfes . . . . .	28
Erster Versuch: Wasserdampf von $0^{\circ}$ (29). Zweiter Versuch: Wasserdampf von $\frac{1}{2}$ at abs. Dritter Versuch: Wasserdampf von 1 at abs. Vierter Versuch: Wasserdampf von 2 at abs (30). Fünfter Versuch: trocken gesättigter Dampf (31). Zusammenhang von P und T bei gesättigtem Dampf (32). Sechster Versuch: ungesättigter oder überhitzter Dampf. Siebenter Versuch: Ähnlichkeit zwischen überhitzen Dampf und Gasen (33). Ergebnisse der Versuche (35).	

Zweites Kapitel: Wärmebedarf bei der Dampferzeugung . . . . .	35
Berdampfungsversuch (35). Ergebnis des Versuches (36). Versuch mit belastetem Kolben (37). Bezeichnung der einzelnen Wärmemengen (38).	

Drittes Kapitel: Die Tabelle für gesättigte Wasserdämpfe . . . . .	39
Ergebnis der Tabelle (39). Form der Wärmekurven (43). Beispiel (44).	

Viertes Kapitel: Erzeugung des Wasserdampfes . . . . .	45
Dampfkessel (45). Heizfläche (46). Berechnung der erforderlichen Kesselgröße. Berdampfungsfähigkeit eines Kessels (48). Trockener und nasser Dampf (49). Überheizter (51). Rauchgasvorwärmer (52).	

## Dritter Abschnitt.

## Die Dampfmaschine.

Erstes Kapitel: Allgemeine Wirkungsweise der Dampfmaschine	54
Erste Versuche Papins. Newcomen (55). Watt (57). Kurbeltrieb.	
Hauptteile der Dampfmaschine (59).	
Zweites Kapitel: Volldruck- und Expansionsmaschine . . . . .	59
Volldruckmaschinen (59). Unzweckmäßigkeit der Volldruckmaschinen (60). Expansionsmaschinen (62).	
Drittes Kapitel: Maschinen mit mehrstufiger Dampfdehnung . . . . .	64
Nachteile weitgehender Dampfdehnung (64). Mehrstufige Dampfdehnung (66). Aufnehmer oder Receiver (68).	
Viertes Kapitel: Vorteile der mehrstufigen Dampfdehnung . . . . .	70
Geringe Temperatur- und Druckschwankungen innerhalb eines Zylinders; erniedrigte Anfangsdrücke (71). Gleiche Gestänge für Hochdruck und Niederdruckseite (72).	
Fünftes Kapitel: Maschinen mit Kondensation . . . . .	72
Übelstände der Auspuffmaschinen. Arbeitsgewinn durch Kondensation (73).	
Sextes Kapitel: Die wirkliche Form des Diagramms . . . . .	74
Vorausströmung, Voreinströmung (75). Kompression, Vorteile der Kompression (76). Druckwechsel im Gestänge (78).	
Siebentes Kapitel: Heißdampfmaschinen . . . . .	79
Berringerung der Kondensationsverluste in den Leitungen (79). Berringerung der Kondensationsverluste in der Maschine (80). Vereinfachung der Maschine (82). Verkleinerung der Kessel (83). Verkleinerung der Kondensatoren (85). Nachteile der Heißdampfmaschinen (86).	

## Vierter Abschnitt.

Der thermische Wirkungsgrad der Dampfmaschine . . . . .	87
Schlechte Wärmeausnutzung (87). Berechnung des Wirkungsgrades der ganzen Anlage aus dem Kohlenverbrauch. Verhütung von Wärmevergeudung (88). Berechnung des Wirkungsgrades aus dem Wärmeverbrauch der Maschine allein (89). Wärmeenergie ein Produkt aus zwei Faktoren (90). Wärmediagramm (Entropie-Temperatur-Diagramm) (93). Beispiele (93 ff.). Wärmeausnutzung bei Kondensationsmaschinen (99). Denkbar günstigster Wirkungsgrad. Carnotscher Kreisprozeß (100).	

## Schluß.

Nachteile der Kolbendampfmaschine . . . . .	103
Verwickelter Bau (103). Nachteile der hin und her gehenden Massen (104).	
Alphabetisches Sachregister . . . . .	107



## Erster Abschnitt.

# Einführung in die allgemeine Theorie der Kraftmaschinen.

### Erstes Kapitel.

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

Kraft. Arbeit. Kraftmaschinen. Leistung. Pferdestärke. Nutzpferdestärke. Indizierte Pferdestärke. Mechanischer Wirkungsgrad. Indikator. Diagramm.

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

Ist ein Pendel, das vorher in Bewegung war, zur Ruhe gekommen, oder ist ein Wagen, der einen Abhang herunterrollte, unten 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.

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

Die Größe der Kräfte wird gemessen durch Gewichte; bekanntlich gilt dabei als Einheit das Kilogramm (kg), das heißt das Gewicht eines Kubikdezimeters (eines Liters) reinen Wassers, dessen Temperatur  $4^{\circ}\text{C}$  beträgt. Sagt man also, ein Arbeiter habe mittels eines Flaschenzuges eine Kraft von 400 kg ausgeübt, so heißt das: dem von dem Arbeiter ausgeübten Zuge würde durch ein an dem anderen Ende des Flaschenzuges angehängtes Gewicht von 400 kg das Gleichgewicht gehalten werden; oder man sagt: der Arbeiter hat an dem Flaschenzug 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 mittels 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, mittels eines solchen Gewichtes erzeugen kann.

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

1) Näheres siehe Vater, Hebezeuge (AMuG Bd. 196).

ohne Anwendung des Flaschenzuges, unter Anwendung eines vierrolligen Flaschenzuges die vierfache Last, unter Anwendung eines sechsrolligen Flaschenzuges die sechsfache Last usw. Handelt es sich nun darum, mit Hilfe von Flaschenzügen Lasten etwa von der Straße aus auf einen Speicher zu heben, so wird die Arbeit, welche durch das Hinaufziehen der Lasten verrichtet wurde, verschieden groß sein, je nach der Schwere der Lasten. Ist die zweite hinaufgezogene Last doppelt so schwer als die erste, so ist auch doppelt 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) oder Kilogrammeter (kgm), das heißt die Größe derjenigen Arbeit, welche erforderlich ist, um eine Last von 1 kg 1 m hoch zu heben. Beträgt also — um auf das oben angeführte Beispiel noch einmal zurückzukommen — die Höhe des Speichers über der Straße 10 m und die erste zu hebende Last 40 kg, die zweite dagegen 80 kg, so ist im ersten Falle eine Arbeit von  $10 \times 40$ , das heißt 400 mkg verrichtet worden, im zweiten Falle dagegen  $10 \times 80$ , das heißt 800 mkg. Nehmen wir an, daß zum Heben der Last von 40 kg kein Flaschenzug, sondern einfach ein um eine Rolle geschlungenes Seil verwendet wurde, zum Heben der Last von 80 kg dagegen ein zweiroller Flaschenzug, so hat der Arbeiter im ersten Falle bei jedem Zuge eine Kraft von 40 kg ausüben müssen, und seine Hände mußten dabei während des Ausübens dieser Kraft allmählich einen Weg von 10 m zurücklegen. Die von dem Arbeiter verrichtete Arbeit betrug daher  $40 \times 10 = 400$  mkg. Im zweiten Falle, beim Heben der 80 kg schweren Last, mußte der Arbeiter wieder bei jedem Zuge eine Kraft von 40 kg ausüben, seine Hände mußten jedoch dabei allmählich infolge des zweirolligen Flaschenzuges einen Weg von  $2 \times 10$  m zurücklegen, so daß schließlich die verrichtete Arbeit  $40 \times 20$ , das heißt 800 mkg betrug.

**Kraftmaschinen.** Maschinen, welche mechanische oder Bewegungsarbeit in größerer Menge durch 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 auf 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*, *Wasserwertmaschinen*, *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 *Wasserwertmaschinen* sind ihrer Größe und ihrer Lage nach in zu hohem Maße an die Örtlichkeit gebunden: wo kein Wasser vorhanden ist, kann auch keine *Wasserwertmaschine* aufgestellt werden; bei nur geringen Wasserkräften ist die Größe der *Wasserwertmaschinen* 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 müste, um in einer Sekunde entweder 20 kg 1 m hoch oder 1 kg 20 m hoch oder auch 10 kg 2 m hoch usf. 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.

Nehmen wir noch einmal zurück zu dem früher besprochenen Beispiele von dem Heraufziehen der beiden Lasten auf den Speicher. Wir hatten gesehen, die von dem Arbeiter aufzuwendende Kraft beträgt in beiden Fällen je 40 kg. Die verrichtete Arbeit betrug im ersten Falle 400 mkg, im zweiten Falle 800 mkg. Nehmen wir nun an, der Arbeiter bewege seine Hände in beiden Fällen mit der gleichen Geschwindigkeit, und zwar so, daß er zum Heben der einfachen Last von 40 kg auf die Höhe von 10 m 50 Sekunden braucht; dann braucht er im zweiten Falle zum Heben der 80 kg 100 Sekunden. Der Arbeiter hat also im ersten Falle zu einer Arbeit von 400 mkg 50 Sekunden gebraucht, das heißt: er leistete in einer Sekunde 8 mkg, seine Leistung war demnach 8 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 Fällen nur die Hälfte der Zeit brauchen, so wäre die von ihm aufgewendete Kraft sowie die verrichtete Arbeit gerade so groß wie

bei dem ersten Arbeiter, während die Leistung die doppelte wäre, da er ja die Last in der Hälfte der Zeit oder, anders ausgedrückt, in einer Sekunde die Last doppelt so hoch gehoben hätte als der erste Arbeiter.

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

**Pferdestärke.** Für die gewöhnlich vorkommenden Fälle ist dabei jedoch die obenerwähnte 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  $75 \text{ mkg/sk}$  beträgt. Sagt man also: eine Dampfmaschine hat eine Leistung von 10 PS, so heißt das: die Dampfmaschine ist imstande, in einer Sekunde  $10 \times 75 \text{ kg 1 m}$  hoch oder  $10 \times 1 \text{ kg 75 m}$  hoch zu heben usf.

Der Begriff Pferdekraft oder Pferdestärke enthält eine gewisse Unklarheit. Man denkt dabei zunächst unwillkürlich an die Kraft, das heißt an die Fähigkeit eines Pferdes, irgendeine schwere Last von der Stelle zu bewegen. Daß es hierauf bei dem Begriffe Pferdekraft 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 soundsoviele Pferdestärken. Es verdient dabei übrigens hervorgehoben zu werden, daß nur die wenigsten Pferde imstande sind, 1 PS, das heißt 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 Treppenstufe hat etwa die Höhe von 17 cm; nun ist es für einen gewandten Menschen kein allzugroßes 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.<sup>1)</sup>

**Nutzpferdestärke.** Es sind nun noch zwei Ausdrücke zu erläutern, welche in der Technik gerade bei Kraftmaschinen sehr viel angewendet werden: die Ausdrücke effektive oder Nutzpferdestärke und indizierte oder aufgezeichnete Pferdestärke. Unter effektiver oder Nutzpferdestärke versteht man, wie das in dem Worte selbst zum Ausdrucke kommt, diejenige Leistung, welche eine Kraftmaschine effektiv, das heißt tatsächlich nutzbringend abzugeben imstande ist. Denken wir uns z. B. eine Dampfmaschine, deren sehr breites Schwungrad als Trommel ausgebildet ist; an dieser Trommel sei ein Seil befestigt, welches wir uns für einen Augenblick als gewichtslos vorstellen wollen, und an diesem Seile hänge, etwa tief unten in einem Schachte, ein Gewicht. Hat nun die betreffende Dampfmaschine eine Leistung von 100 Nutzpferdestärken ( $100 \text{ PS}_n$ ), so heißt das: vermittels dieser Dampfmaschine sind wir imstande, ein Gewicht von  $100 \times 75 \text{ kg}$  in jeder Sekunde 1 m hoch zu heben. Diese Größe der Nutzpferdestärken ist es nun, welche für den Gewerbetreibenden einzig und allein von Wichtigkeit ist. Der Gewerbetreibende will wissen, wieviel Kilogramm Dampf oder wieviel Kilogramm Kohle er braucht, um mit seiner Dampfmaschine eine Nutzpferdestärke ( $1 \text{ PS}_n$ ) zu erreichen, und er wird im allgemeinen diejenige Dampfmaschine für die beste erklären, welche dafür den geringsten Verbrauch an Dampf 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 ( $\text{PS}_i$ ), das heißt mit kurzen Worten: diejenige Anzahl von Pferdestärken, welche die Kraftmaschine zu leisten imstande wäre, wenn es möglich wäre, sämtliche durch Reibung entstehenden Verluste 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 Dampfdrücke auf den Kolben während des ganzen Hubes durchschnittlich mit

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

einer Kraft von 3000 kg, so ist die Arbeit, welche der Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtet,  $1 \times 3000 = 3000$  mkg. Nehmen wir an, die Maschine mache 60 Umdrehungen in der Minute, in jeder Sekunde also eine Umdrehung, so wäre die auf den Kolben der Maschine übertragene Leistung  $1 \times 3000$  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<sub>i</sub>).

**Mechanischer Wirkungsgrad.** Die Anzahl der PS<sub>n</sub>, welche eine solche Maschine von 40 PS<sub>i</sub> abzugeben imstande ist, kann verschieden sein, je nach der Sorgfalt, welche beim Bau der Maschine verwendet wurde. Bei einigermaßen guter Ausführung dürfte die Anzahl der PS<sub>n</sub> etwa 34 betragen, und man nennt nun das Verhältnis PS<sub>n</sub> : PS<sub>i</sub> = η<sub>m</sub> den mechanischen Wirkungsgrad der Maschine, der also in diesem Falle  $\eta_m = 34 : 40 = 0,85$  betragen würde, das heißt 85% der von dem Dampfe im Zylinder wirklich verrichteten Arbeit kann diese Maschine nutzbringend abgeben, während 15% durch Reibung in der Maschine selbst verloren gehen. Von diesem mechanischen Wirkungsgrade ist zu unterscheiden der sogenannte thermische Wirkungsgrad einer Kraftmaschine, welcher weiter unten erläutert werden soll.

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

Kolben hin und her bewegt. Läßt man in den Zylinder Dampf einströmen, so drückt der Dampf auf beide Kolben. 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  $p_m$ . 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 Weg  $m'n'$  entspricht.

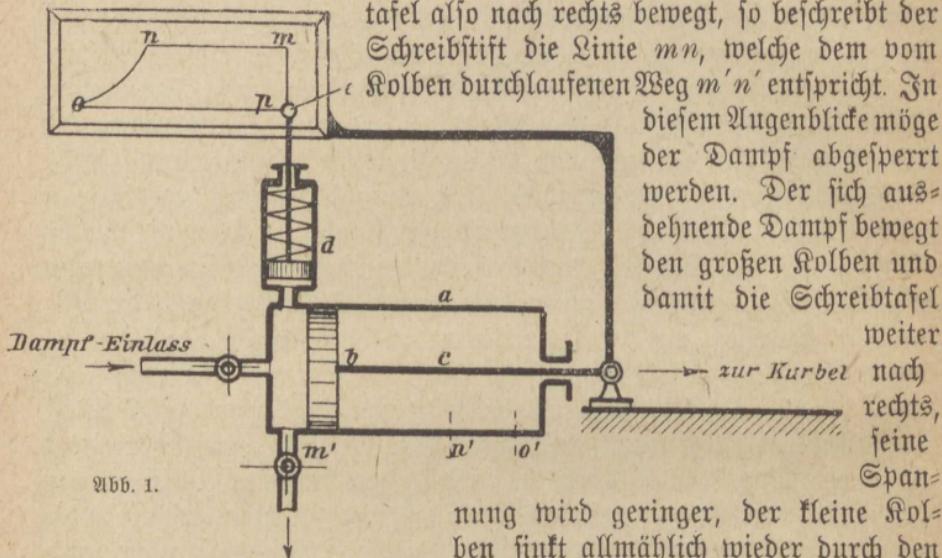


Abb. 1.

nung wird geringer, der kleine Kolben sinkt allmählich wieder durch den Druck der Spiralfeder, und es wird auf diese Weise von dem Schreibstifte die Linie  $no$  beschrieben, welche dem Wege  $n'o'$  des großen Kolbens entspricht. Jetzt wird die Dampfauslassvorrichtung geöffnet, und während dann, etwa durch die Kraft des Schwungrades, der große Kolben und damit die ganze Schreibtafel von rechts nach links gedrückt wird, beschreibt der Stift die Linie  $op$ , worauf das ganze Spiel von neuem beginnt.

**Diagramm.** Den Linienzug  $pmnop$  nennt man nun das Diagramm oder Schaubild der Maschine, und es läßt sich daraus die sogenannte indizierte Leistung der Maschine berechnen. Der Druck, den die Außenluft (die Atmosphäre) auf einen qcm Fläche ausübt, beträgt bekanntlich ungefähr gerade 1 kg.<sup>1)</sup> Man mißt nun den Dampfdruck nach Atmosphären (at) und sagt, der Dampf drückt auf eine Fläche mit 1, 2, 3 ... at, wenn er auf jeden Quadratzentimeter einer Fläche gerade

1) Siehe d. Berl. Technische Wärmelehre (AMuG Bd. 516).

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 Quadratzentimeter der Kolbenflächen einen für Krafterzeugung 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.

Zum Zwecke der Berechnung der indizierten Leistung wollen wir annehmen, daß durch vorhergehende Versuche festgestellt sei, daß bei einem Dampfdrucke von 1, 2, 3, 4 . . . at die Feder über dem kleinen Kolben um 1, 2, 3, 4 . . . at zusammengedrückt werde. 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. Rücksicht der großen Kolben unter dem Einfluß des Dampfdruckes um 1 cm nach rechts, so beschreibt der Stift eine wagerechte Linie von 1 cm = 0,01 m Länge, und es hat dabei der große Kolben eine Arbeit verrichtet von  $1000 \times 0,01 = 10$  mkg. Wir sehen demnach, daß jedem Quadratzentimeter 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 Quadratzentimetern 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 ausgerückt  $1800 : 74 = 25$  PS. Eine andere Art der Berechnung siehe weiter unten S. 14. Wirkt übrigens der Dampf nicht nur auf einer Seite, sondern, wie dies meistens der Fall ist, abwechselnd auf beiden Seiten des Kolbens, so wird auf der entgegengesetzten Seite des Kolbens ein eben solches Diagramm, nur in umgekehrter

Weise, beschrieben, und die Gesamtleistung der Maschine ergibt sich einfach durch Verdoppelung der oben gefundenen Leistung.

Die heutzutage übliche Einrichtung der Indikatoren ist allerdings etwas anders. Bei der vorstehend beschriebenen Anordnung erhält nämlich das Diagramm eine unbequem große Länge. Es muß daher, um

eine etwas handlichere Form zu bekommen, dafür gesorgt werden, daß die Maschine das Diagramm in stark verkürzter Form aufzeichnet. Abb. 2 u. 3 stellen die Form eines heutzutage üblichen Indikators dar. Das Wesentliche dieser Einrichtung besteht darin, daß das Diagramm nicht auf eine ebene hin- und hergehende Tafel, sondern auf eine sich drehende Trommel aufgezeichnet wird, welche durch eine in ihrem Innern befindliche Spiralfeder  $E$  (Abb. 3) beim Zurückgehen des Kolbens

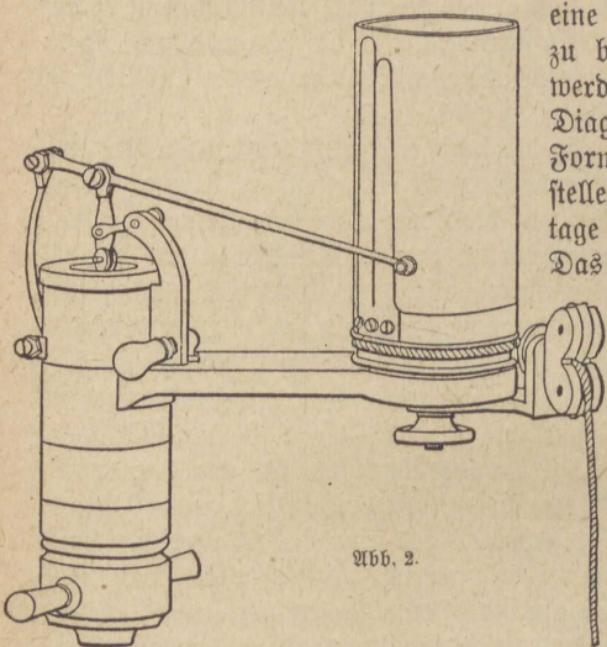


Abb. 2.

immer wieder in ihre Anfangslage zurückgedreht wird. Um den unteren Teil der Trommel ist, wie aus Abb. 2 ersichtlich, eine Schnur gewunden, durch deren Anziehen und Nachlassen eine Drehung der Trommel bewirkt wird. Um nun die Drehung der kleinen Trommel dem Hub der „zu indizierenden“ Maschine anzupassen und somit immer ein möglichst langes Diagramm zu erhalten, wird das Anziehen und Nachlassen der erwähnten Schnur nicht von dem Kolben oder der Kolbenstange unmittelbar bewirkt, 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 Indikatorschnur 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 Reduzierzvorrichtungen.

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

Ein weiterer Vorteil dieser Art von Diagrammen möge hier noch kurz erwähnt werden. Gegenüber den mit der früher besprochenen Indikatorrichtung aufgezeichneten Diagrammen unterscheiden sich die zuletzt erwähnten Diagramme äußerlich auch dadurch, daß sie in verkehrter Form gegen früher, sozusagen als Spiegelbild aufgezeichnet werden, das heißt: die Höhe des Diagramms im Punkte *a* (Abb. 5) entspricht dem Druck im Zylinder bei der Kolbenstellung unter *a*, die Höhe des Diagramms im Punkt *b* entspricht dem Druck im Zylinder bei der Kolbenstellung unter *b* usw. Diese Art der Darstellung ist offenbar

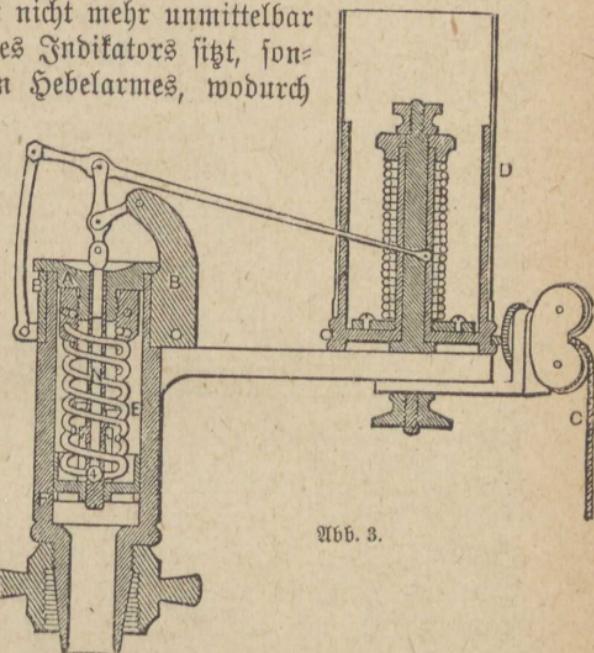


Abb. 3.

die bequemere, da man, weil ja die wagerechte Länge des Diagramms den Kolbenhub darstellt, durch ein einfaches Hinaufmessen sofort die Spannung erkennen kann, welche bei einer gegebenen Kolbenstellung hinter dem Kolben herrscht. Die eingezeichneten Pfeile sollen dabei die Art und Weise veranschaulichen, in welcher das Diagramm durchlaufen wird.

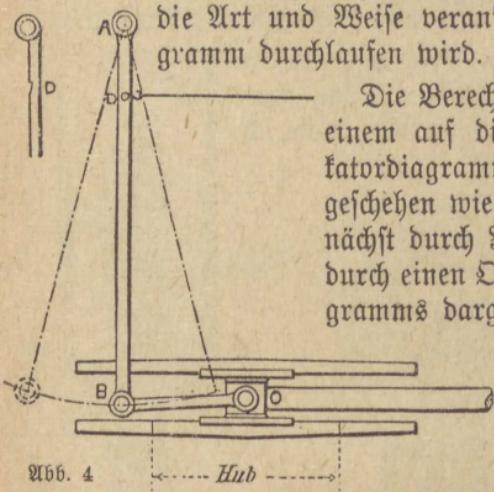


Abb. 4

Die Berechnung der Maschinenleistung aus einem auf diese Weise aufgezeichneten Indikatordiagramm könnte nun in derselben Weise geschehen wie früher (S. 11), indem man zunächst durch Rechnung feststellt, wieviel Arbeit durch einen Quadratzentimeter Fläche des Diagramms dargestellt wird usw. Man kann sich aber auch eines wesentlich einfacheren Verfahrens bedienen. Stellt Abb. 5 ein von einem solchem Indikator aufgezeichnetes Dampfdiagramm vor, so ver-

wandelt 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 wird dann  $p_m$  (siehe die Abbildung). Die Länge des Rechtecks stellt, wie aus den früheren Erörterungen hervorgeht, die Länge des Kolbenhubes dar, der sich an der Maschine selber leicht nachweisen lässt. Da Rechteck und Diagramm denselben Flächeninhalt haben, also genau die gleiche Arbeit darstellen, so ist offenbar die gleichbleibende Höhe  $p_m$  des Rechtecks diejenige „mittlere“ Spannung, welche in gleichbleibender Größe während des ganzen Kolbenhubes auf den Dampfkolben wirken müßte, um dieselbe Arbeit zu erzielen, wie sie von dem Dampfdiagramm dargestellt wird. Es sei beispielsweise der Hub der Maschine  $s = 0,75 \text{ m}$ , der Querschnitt des Dampfkolbens  $F = 1000 \text{ qcm}$ . Ist nun die Höhe des gefundenen Rechtecks  $p_m = 2 \text{ cm}$  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 em im Diagramm entspricht, so wäre der sogenannte „mittlere indizierte Druck des Diagramms“  $p_m = \frac{2}{0,5} = 4 \text{ at}$ ; 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 heißt: wird in jeder Sekunde ein solches Diagramm beschrieben, so ist die Leistung der Maschine  $3000 : 75 = 40$  PS.

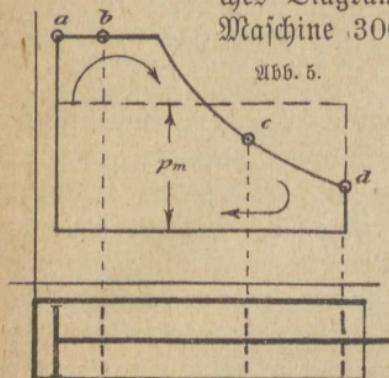


Abb. 5.

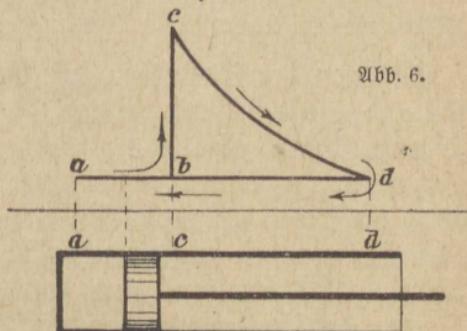


Abb. 6.

Bei der großen Wichtigkeit der eben angestellten Untersuchungen für die ganze folgende Abhandlung möge hier als Beispiel noch ein theoretisches Diagramm einer besonderen Art von Gasmaschine kurz erläutert werden.<sup>1)</sup> Der durch das obenstehende Diagramm (Abb. 6) gekennzeichnete Vorgang im Zylinder dieser Gasmaschine ist folgender: Von  $a$  bis  $b$  wird der Kolben von der Kraft des Schwungrades vorwärts bewegt und saugt dabei ein Gemisch von Gas und Luft an. Im Punkte  $b$  wird dieses Gemisch in geeigneter Weise entzündet, worauf die Spannung und damit der auf den Kolben ausgeübte Druck plötzlich sehr stark, nämlich von  $b$  bis  $c$  wächst. Von hier an schieben die durch die Verbrennung 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, das heißt durch die Fläche  $bcdb$  dargestellt.

1) Näheres darüber siehe Vater, Neuere Wärmekraftmaschinen I (AMuG Bd. 21).

## Zweites Kapitel.

Die wichtigsten Sätze aus der mechanischen Wärmetheorie.<sup>1)</sup>

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

**Satz von der Erhaltung der Energie.** Für das Verständnis der Art und Weise, in welcher eine Kraftwirkung in den Kraftmaschinen zustande kommt, ist es nötig, einen berühmten und äußerst wichtigen Satz kennen zu lernen, welcher etwa um die Mitte des 19. Jahrhunderts zuerst von dem deutschen Arzte Robert Mayer in Heilbronn in aller Bestimmtheit ausgesprochen und bewiesen wurde, den Satz, daß Wärme und Arbeit äquivalent, das heißt gleichwertig seien, mit anderen Worten, daß mit einer bestimmten Wärmemenge sich immer eine ganz bestimmte Menge mechanischer Arbeit und umgekehrt, daß sich durch eine gegebene Menge mechanischer Arbeit stets eine ganz bestimmte Wärmemenge erzeugen lasse.

Für die mechanische Arbeit hatten wir früher (S. 3) das mkg als Einheit gefunden; als Einheit der Wärmemenge bezeichnet man in der Physik diejenige Wärmemenge, welche einem Kilogramm reinen Wassers von  $0^{\circ}\text{C}$  zugeführt werden muß, um dessen Temperatur auf  $1^{\circ}\text{C}$  zu erhöhen, und nennt diese Wärmemenge eine Wärmeeinheit (WE) oder Kalorie (Cal). Die Zahl nun, welche angibt, wieviel mkg durch 1 WE gewonnen werden können — sie ist durch neuere Versuche und Rechnung zu 427 festgestellt —, nennt man das mechanische Wärmäquivalent (den mechanischen Wärmewert oder den Arbeitswert der Wärme); den umgekehrten Wert 1 : 427, der also angibt, wieviel Wärmeeinheiten durch Aufwendung von 1 mkg gewonnen werden können, nennt man das Wärmäquivalent (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 Aufwen-

1) Näheres s. des Verfassers „Einführung in die technische Wärmelehre“ (AMuG Bd. 516).

dung 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.<sup>1)</sup> Dieser Satz besagt, daß ein in der Welt bestehendes Arbeitsvermögen (Energie) nie verloren geht, sondern sich höchstens in andere Formen umwandelt, ebenso wie ein im Weltall vorhandener Stoff niemals untergeht, sondern nur seine Gestalt verändert. Der Ballast, den der Luftschiffer auswirft, verschwindet scheinbar in der Luft, aber die Sandkörnchen haben sich nur unendlich fein zerstreut. Könnte man sie wieder zusammentragen, so müßte sich selbstverständlich wieder 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 Luftsauerstoffes.

Ebenso wie von dem Stoff kann nun auch von einem vorhandenen Arbeitsvermögen nichts verloren gehen, dieses Arbeitsvermögen kann immer nur scheinbar verschwinden, weil es sich umwandelt oder in unendlich kleine Teile zerstreut. Um eine Last von 40 kg 10 m hoch zu heben, muß, wie wir S. 3 gefunden haben, eine Arbeit von 400 mkg verrichtet werden. Diese Arbeit ist nicht verloren, wir können jederzeit die 400 mkg wieder nutzbringend verwenden, zum Beispiel dann, wenn wir ein Seil über eine Rolle laufen lassen und durch das an dem einen Ende des Seiles befestigte und niedersinkende Gewicht von 40 kg ein

1) Siehe Ann. zu Seite 1.



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 Anziehungs Kraft 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 geslogen ist, erwärmt; beim Auftreffen des Geschosses, zum Beispiel auf eine Mauer, verliert die Kugel ihre Kraft, das heißt: das ihr innenwohnende 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 Wasserkräfte, die wir in den Wasserkräftmaschinen verwenden, ist nichts anderes als umgewandeltes Arbeitsvermögen. Durch die von der Sonne ausgehende Wärme verdunstet und verdampft das auf der Erde

das Volumen sich nicht ändert, das heißt so, daß der in dem Zylinder befindliche Kolben seine frühere Lage beibehält, dann wird die Folge sein, daß die Spannung des Gases sich ändert. Man sagt, das Gas habe eine Zustandsänderung durchgemacht, es ist von dem Zustande  $v, P, T$  in den Zustand  $v, P_1, T_1$  übergeführt worden.

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

1. Zustandsänderung bei gleichbleibendem Volumen. Das Gas geht aus dem Zustande  $P, v, T$  in den Zustand  $P_1; v, T_1$  über. Diese Zustandsänderung tritt dann ein, wenn der in dem Zylinder befindliche Kolben festgehalten und dabei dem Gase Wärme entzogen oder zugeführt wird. Wird dem Gase bei dieser Anordnung Wärme zugeführt, steigt also seine Temperatur, so steigt auch die Spannung, wird ihm Wärme entzogen, so fällt die Spannung, und zwar, wie das von dem französischen Physiker Gay-Lussac zuerst aufgestellte und nach ihm benannte Gesetz besagt, in der Weise, daß (bei gleichbleibendem Volumen) die Spannungen sich verhalten wie die absoluten Temperaturen. Das heißt: wird durch die zugeführte Wärme die absolute Temperatur auf das 2, 3, 4 . . . -fache gesteigert, so nimmt auch die Spannung des Gases um das 2, 3, 4 . . . -fache zu und umgekehrt. Da wir uns den im Zylinder 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, den Kolben im Zylinder aber vorwärts schreitet, eine gerade, wagerechte Linie.

3. Zustandsänderung bei gleichbleibender Temperatur. Das Gas geht von dem Zustand  $P, v, T$  in den Zustand  $P_3, v_3, T$  über. Diese Zustandsänderung hat einen ganz bestimmten Namen, man nennt sie die isothermische Zustandsänderung (von den griechischen Worten isos, gleich, und thermos, die Wärme). Wenn dem Gase Wärme zugeführt werden soll, ohne daß sich seine Temperatur erhöht, so ist das offenbar nur dadurch möglich, daß dem Gase Gelegenheit gegeben wird, sich in geeigneter Weise auszudehnen. Ist dies aber der Fall, das heißt: dehnt sich das Gas, während ihm Wärme zugeführt wird, in der Weise aus, daß seine Temperatur sich nicht ändert, so besagt das zuerst von dem englischen Physiker Boyle ausgesprochene (häufig allerdings nach dem französischen Physiker Mariotte benannte) Gesetz, daß in jedem Augenblicke die Volumina des Gases sich umgekehrt verhalten wie die betreffenden Spannungen. Mit anderen Worten: ist das Volumen des Gases infolge der Wärmezuführung um das 2, 3, 4 ...-fache gewachsen, ohne daß sich dabei die Temperatur des Gases geändert hat, so beträgt die Spannung des Gases nur noch den 2., 3., 4., ... Teil der anfänglichen Spannung.

Eine solche isothermische Zustandsänderung kann natürlich auch in umgekehrter Weise stattfinden. Wir hatten früher gesehen: wenn man Gas, welches in einem Zylinder eingeschlossen ist, etwa durch Zusammendrücken mittels eines Kolbens verdichtet, so wird es im allgemeinen erwärmt. Sorgt man jedoch durch entsprechende Wärmeabführung, 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  $O_1$ , Abb. 7, die Größe des ursprünglichen Volumens, und es bezeichne  $1a$  die Größe der dem Gase im Anfangszustande innenwohnenden Spannung. Hat sich das ursprüngliche Volu-

men verdoppelt, das heißt: hat es die Größe  $\bar{O}2$  angenommen, dann ist die Spannung auf die Hälfte gesunken, sie hat also nur noch die Größe  $\bar{2}b$ . Hat sich das Volumen verdreifacht, das heißt: hat es die Größe  $\bar{O}3$  angenommen, so ist die Spannung auf den dritten Teil der Größe von  $1a$ , das heißt auf die Größe  $\bar{3}c$  gesunken usw. Die Verbindung der Punkte  $abc\dots$  gibt dann also die Gestalt der isothermischen Kurve und man kann durch einfaches Hinauftragen irgendeiner Kolbenstellung sofort abmessen, welches die zugehörige Spannung des Gases in dem betreffenden Augenblicke ist.<sup>1)</sup>

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 Zustand übergeführt. In diesem Falle werden sich sowohl Volumen wie Spannung und Temperatur des Gases ändern, das heißt: das Gas wird aus dem Zustande  $v, p, T$  in den Zustand  $v_4, P_4, T_4$  übergehen. Man nennt diese Zustandsänderung eine *adiabatische* Zustandsänderung (von dem griechischen Worte *adiabaino*, nicht hindurchdringen). Diese Zustandsänderung geht nach einem ganz bestimmten Gesetze vor sich, welches jedoch weniger einfach ist als die Gesetze von Boyle und Gay-Lussac. Der Indikator beschreibt in diesem Falle ebenfalls eine Kurve, welche der isothermischen Kurve ähnlich ist, aber sich rascher der Wagerechten nähert. Ihre Gestalt ist z. B. für Luft in Abb. 7 punktiert angedeutet.<sup>1)</sup>

Dass die die adiabatische Zustandsänderung darstellende Kurve oder, wie man sich kürzer ausdrückt, dass die „Adiabate“ rascher absallen 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

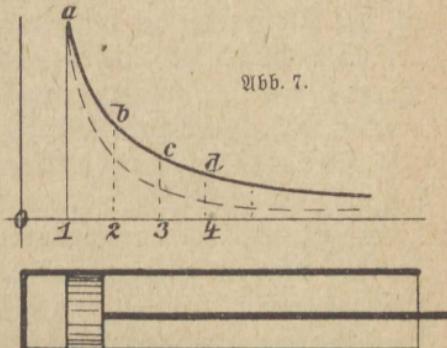


Abb. 7.

1) Bezugl. Aufzeichnung der Kurven vgl. d. Ber. Praktische Thermodynamik (ANuG Bd. 596).

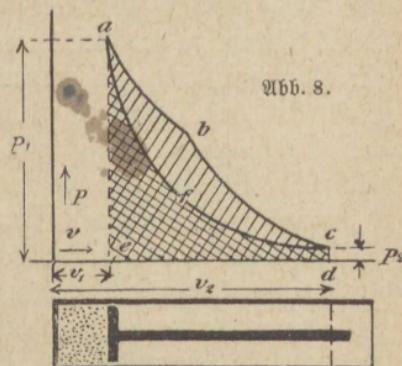
das Gas sich ausdehnt, ohne daß ihm Wärme zugeführt wird. Je größer das Volumen wird, um so mehr sinkt die Spannung, die Kurve fällt ab. Bei der isothermischen Zustandsänderung vergrößert sich ebenfalls das Volumen, gleichzeitig wird dem Gase aber Wärme zugeführt. Nun hatten wir gesehen, daß bei gleichem Volumen der Druck eines Gases um so höher ist, je höher die Temperatur des Gases ist, es muß also bei der Isotherme, bei welcher dem Gase Wärme zugeführt wird, an derselben Stelle des Kolbens, das heißt bei demselben Volumen, der Druck des Gases größer sein als bei der Adiabate, was unser Diagramm Abb. 7 erkennen läßt.

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, gemessen in kg für das qm, 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.<sup>1)</sup>

**Kreisprozeß.** Die eben erläuterten Zustandsänderungen lassen sich nun in beliebiger Reihenfolge einem Gase mitteilen. Betrachten wir zum Beispiel noch einmal ein Diagramm, entsprechend dem auf Seite 15 durch Abb. 6 dargestellten, und gehen dabei von dem Punkte *b* aus. Wir nehmen an, in diesem Punkte befindet sich das Gas in dem Zustand *v*, *P*, *T*. Durch plötzliche Wärmezuführung, das heißt durch Wärmezuführung bei gleichbleibendem Volumen, gelange es in dem Punkte *c* in den Zustand *v*, *P<sub>1</sub>*, *T<sub>1</sub>*. Von *c* bis *d*, wollen wir annehmen, werde Wärme weder zugeführt noch abgeführt, das heißt das Gas mache eine adiabatische Zustandsänderung durch und werde dadurch allmählich in den im Punkte *d* herrschenden Zustand *v<sub>2</sub>*, *P*, *T<sub>2</sub>* 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.

1) Siehe d. Berl. Technische Wärmelehre (ANuG Bd. 516, Abschn. 1).

Hat ein Gas eine Reihe solcher Zustandsänderungen durchgemacht, und zwar in der Weise, daß es dabei, wie in dem eben besprochenen Beispiel, in seinen Anfangszustand zurückkehrt, so sagt man, das Gas habe einen Kreisprozeß durchlaufen und es ist, z. B. an Hand des eben besprochenen Beispieles jener Gasmashine, 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 fortlaufend 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 irgend eine 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  $v$  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  $dcaeb$  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 Hauptatz der mechanischen Wärmethorie**.

Es könnte so scheinen, als ob die eben angestellten Betrachtungen eine Einschränkung des früher (S. 16) angeführten ersten Hauptatzes 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 Hauptatz festgelegten Größe entsprechen würde. Nur setzt sich eben diese Arbeit aus zwei Teilen zusammen: erstens aus der nach außen abgegebenen Arbeit, dargestellt durch die einfach gestrichelte Fläche, und zweitens aus der zur Herstellung des Anfangszustandes verbrauchten, nach außen also nicht abgegebenen Arbeit, dargestellt durch die doppelt gestrichelte Fläche *dofae*. Nun könnte jemand sagen, es wäre doch denkbar, daß man das Gas sich sehr weit ausdehnen läßt, so daß seine Temperatur bei *c* weit unter  $0^{\circ}\text{C}$  beträgt, und man könnte nun während des Kolbenrückganges den Zylinder vermöge irgendeiner Kälteflüssigkeit, deren Herstellung ja heute möglich ist, dauernd auf sehr niedriger Temperatur halten. Dann 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 Herauspumpen gerade wieder so viel Arbeit leisten, als er durch das Tieferstellen des Wasserrades an Arbeit gewonnen hätte. Genau dasselbe ist aber bei

dem obigen Beispiele der Fall. Man kann heutzutage allerdings sehr tiefe Temperaturen erzeugen, entsprechend dem Graben eines sehr tiefen Brunnens. Aber dieses Erzeugen sehr tiefer Temperaturen ist nur möglich durch 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 obenerwähnten künstlichen Abkühlung nicht erreicht.

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

Ein Beispiel wird diese Betrachtung erklären. Es liege eine Gasmaschine vor, deren indizierte Leistung 10 PS, und deren stündlicher Leuchtgasverbrauch für jede PS, 0,5 cbm beträgt. Nimmt man an, daß 1 cbm Leuchtgas bei vollkommener Verbrennung im Mittel etwa 5000 WE entwickelt, so ist in der Gasmaschine mit 2500 WE eine Stunde lang 1 PS, oder, wie man sagt, eine Stundenpferdestärke (PS-st) geleistet worden. Nun entspricht aber, wie sich aus den früheren Erörterungen ergibt, einer PS-st eine Arbeit von  $75 \times 60 \times 60 = 270000$  mkg, oder, da immer 427 mkg einer Wärmeeinheit gleichwertig sind, eine Wärmemenge von  $270000 : 427 = 632$  WE. Aufgewendet wurden nun 2500 WE, in Arbeit wurden umgesetzt 632 WE, mithin würde der

thermische Wirkungsgrad in diesem Falle  $\eta_t = \frac{632}{2500} = 0,253$  sein. Mit anderen Worten: nur etwa 25% der zugeführten Wärmemenge werden in Arbeit umgesetzt, während nahezu 75% unbenuzt aus der Maschine entweichen.

**Wirtschaftlicher Wirkungsgrad.** Wir hatten früher gesehen, daß die Arbeit, welche eine solche Maschine wirklich nutzbringend abzugeben vermag, wiederum nur einen Teil dieser PS<sub>t</sub> beträgt; für die Technik, das heißt für die wirtschaftliche Ausnutzung der Maschine, kommt natürlich auch nur dieser Teilbetrag zur Geltung. Nehmen wir in unserem Falle einen mechanischen Wirkungsgrad von  $\eta_m = 0,8$  an, so beträgt der tatsächliche oder, wie wir ihn nennen wollen, der wirtschaftliche Wirkungsgrad der Maschine  $\eta_w = \eta_t \cdot \eta_m = 0,253 \cdot 0,8 = 0,2024$ . Mit anderen Worten: nur etwa 20% oder  $\frac{1}{5}$  der wirklich aufgewendeten Wärmemenge wird in nutzbringend abzugebende Arbeit umgesetzt, während 80% oder  $\frac{4}{5}$  für die Ausnutzung verloren sind.

Die Größe des wirtschaftlichen Wirkungsgrades  $\eta_w$  ergibt sich auch noch, wenn wir das eben besprochene Beispiel beibehalten, auf folgende Weise: Braucht die Maschine in der Stunde für jede PS<sub>t</sub> 0,5 cbm Gas und ist der mechanische Wirkungsgrad der Maschine  $\eta_m = 0,8$ , so braucht die Maschine also für jede PS<sub>n</sub>-st (während einer Stunde geleistete Nutzleistung)  $0,5 : 0,8 = 0,625$  cbm Gas, und es ergibt sich somit  $\eta_w = \frac{632}{0,625 \cdot 5000} = \frac{632}{3125} = 0,2024$ .

## Zweiter Abschnitt.

### Der Wasserdampf.

#### Erstes Kapitel.

##### Eigenschaften des Wasserdampfes.

Wenn eine Lokomotive leuchend und pustend den Bahnhof verläßt, so entströmen ihrem Schornsteine und ihren Zylinderhähnen gewaltige „Dampfwolken“, wie man sich auszudrücken pflegt. Jene weißen Wolken sind aber durchaus kein Dampf, genauer gesagt Wasserdampf, im eigentlichen Sinne, sondern es sind Nebel, die aus dem in der Maschine tätig gewesenen Wasserdampf entstanden sind. Dadurch, daß der Wasserdampf

beim Ausströmen sich an der verhältnismäßig kalten Außenluft abkühlt, verdichtet er sich zu kleinen Wasserblaschen, welche dann in ihrer Gesamtheit eben jene weißen Wolken bilden.

Hier haben wir sofort eine sehr wesentliche Eigenschaft nicht nur des Wasserdampfes, sondern der Dämpfe überhaupt, nämlich die, daß sie mit großer Leichtigkeit, das heißt durch einfache Abkühlung, von dem luftförmigen in den flüssigen Zustand zurückgeführt werden können. Diese Leichtigkeit zeigt sich ganz besonders, wenn der durch Wärmezuführung aus der betreffenden Flüssigkeit (z. B. Wasser) entstandene Dampf während und nach der Wärmezuführung mit dieser Flüssigkeit in Verbindung steht. Wird diese Dampfbildung in einem von allen Seiten geschlossenen Gefäße vorgenommen, so genügt die kleinste Änderung in der Wärmezuführung, um eine Änderung des in dem Gefäße vorhandenen Dampfgewichtes herzorzubringen. Die geringste Wärmeabführung, oder anders ausgedrückt die geringste Abkühlung bewirkt sofort, daß ein (von der Größe der Wärmeabführung abhängiger) Teil des Dampfgewichts sich sofort wieder in Wasser zurückverwandelt. Wir können uns diese Eigenschaft des Wasserdampfes klarmachen, wenn wir uns eine Reihe von Versuchen angestellt denken, deren Anordnung die folgende ist:

Wir denken uns (Abb. 9 S. 31) einen oben offenen Zylinder, welcher entweder aus Glas hergestellt ist oder irgendeine Vorrichtung besitzt, um die Menge des in ihm eingeschlossenen Wassers erkennen zu lassen. Dieser Zylinder sei mit einem Kolben verschlossen, welcher zwar den Zylinder vollkommen dicht abschließt, andererseits sich aber auch sehr leicht, das heißt ohne Reibung bewegen läßt. Der Querschnitt des Zylinderinneren, also auch die Druckfläche des Kolbens, betrage genau 100 qcm. Mit dieser Vorrichtung denken wir uns nun die folgenden Versuche angestellt:

**Erster Versuch: Wasserdampf von 0°.** (Abb. 9, 1.) Wir bringen das in dem Zylinder eingeschlossene Wasser auf eine Temperatur von 0°C und versuchen nun, den Kolben, welcher vorher auf dem Wasser aufsaß, in die Höhe zu ziehen. Messen wir durch irgendeine geeignete Vorrichtung die Größe der hierzu nötigen Kraft, so finden wir, daß diese Kraft ziemlich genau 100 kg beträgt. Das konnten wir von vornherein erwarten. Die Kolbenfläche beträgt ja nach unserer Voraussetzung 100 qcm, und da unter dem Kolben annähernd der Druck Null herrscht (genauer der Druck 0,006 at abs), während oben auf dem Kolben der Druck der Außenluft lastet, welcher, wie wir früher (S. 10) gesehen

hatten, ungefähr 1 kg für den qcm beträgt, so muß die Kraft, welche notwendig ist, um den Kolben in die Höhe zu ziehen, ziemlich genau 100 kg betragen.

**Zweiter Versuch: Wasserdampf von  $\frac{1}{2}$  at abs.** (Abb. 9, 2.) Wir ziehen den Kolben ein Stück in die Höhe, und während wir ihn in dieser Stellung festhalten, bringen wir das Innere des Zylinders mit seinem Wasserinhalt durch Wärmezuführung auf eine Temperatur von  $\sim 81^{\circ}$  C. Sehen wir jetzt unseren Zylinder zunächst einmal auf seinen Wasserinhalt an, so bemerken wir, daß der Wasserspiegel gesunken ist, es muß also ein Teil des Wassers in Dampf übergegangen sein. Dann bemerkten wir aber noch etwas anderes. Die, Kraft welche nötig ist, um den Kolben in seiner Lage festzuhalten, beträgt jetzt nicht mehr 100 kg wie vorher, sondern nur noch 50 kg. Da sich nun der Druck der Außenluft inzwischen nicht geändert hat, sondern wie vorher, auf die ganze Kolbenfläche bezogen, 100 kg beträgt, so kann der Grund für die geringer gewordene Kraft nur der sein, daß unter dem Kolben nicht mehr der Druck Null herrscht, sondern daß von unten her auf den Kolben ein Druck von im ganzen 50 kg, also  $\frac{1}{2}$  kg auf jedes qcm, ausgeübt wird. Wir stellen mithin fest: Ein Teil des Wassers ist durch die Wärmezuführung in Dampfform übergegangen, und der so erzeugte Dampf von  $81^{\circ}$  C übt auf jedes qcm einen Druck von  $\frac{1}{2}$  kg aus, oder, wie wir kürzer sagen, er hat eine Spannung von  $\frac{1}{2}$  at (Atmosphäre).

**Dritter Versuch: Wasserdampf von 1 at abs.** (Abb. 9, 3.) Während wir unsern Kolben in derselben Lage wie beim zweiten Versuch festhalten, bringen wir das Zylinderinnere durch weitere Wärmezuführung auf eine Temperatur von  $100^{\circ}$  C. Der Erfolg ist ein ähnlicher wie vorher. Der Wasserspiegel ist noch weiter gesunken, es hat sich also noch mehr Wasser in Dampf verwandelt; die Kraft, welche nötig ist, um den Kolben in seiner Lage zu erhalten, ist noch geringer geworden, sie beträgt ungefähr 0 kg, das heißt der Kolben bleibt von selbst in seiner Lage stehen, was offenbar nur dadurch möglich ist, daß unter dem Kolben genau derselbe Druck herrscht wie über dem Kolben. Mit anderen Worten: Wasserdampf von einer Temperatur von  $100^{\circ}$  (genauer  $99,1^{\circ}$ ) übt, solange er mit dem Wasser in Verbindung steht, aus dem er erzeugt wurde, auf die ihn umgebenden Wandungen einen Druck von 1 kg für den qcm, das heißt einen Druck von 1 at aus.

**Vierter Versuch: Wasserdampf von 2 at abs.** (Abb. 9, 4.) Während der Kolben in seiner Lage festgehalten wird, steigern wir durch

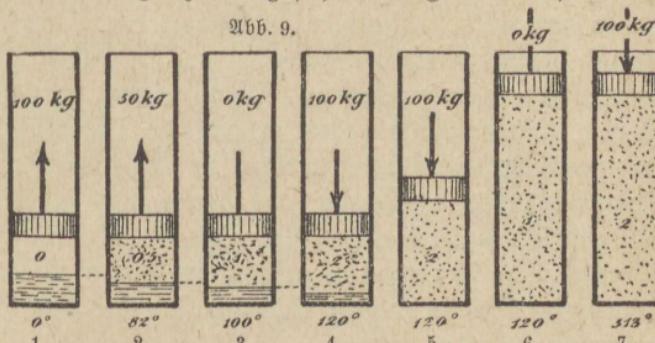
Wärmezufuhr die Temperatur des Zylinderinneren auf  $120^{\circ}$  C. Wir finden, der Wasserspiegel ist noch einmal gesunken, und um den Kolben in seiner Lage festzuhalten, muß ich auf ihn nicht mehr eine nach aufwärts gerichtete Zugkraft, sondern im Gegenteil eine nach abwärts gerichtete Druckkraft von im ganzen ungefähr 100 kg ausüben, ein Beweis, daß Dampf von  $120^{\circ}$  C (genauer  $119,6^{\circ}$ ), solange er mit seinem Wasser in Berührung steht, auf die ihn umgebenden Wandungen einen Druck von 2 kg für den qcm, das heißt also von 2 at abs oder 1 at Ue (Überdruck d. h. über den Druck der Außenluft) ausübt.

Wir haben nun in unserem Zylinder Wasser dampf, also etwas, was mit den früher betrachteten Gasen wenigstens äußerlich eine gewisse Ähnlichkeit hat; es liegt daher die Frage nahe, ob denn dieser Wasser dampf auch die für die Gase geltenden Gesetze, namentlich also das Boyle-Gay-Lussacsche Gesetz, befolgt. Um dies zu erklären, dazu diene uns ein

**Fünfter Versuch: trocken gesättigter Dampf.** (Abb. 9, 5.) Wir sorgen dafür, daß die Temperatur von  $120^{\circ}$  C im Zylinderinneren unter allen Umständen erhalten bleibt und lassen den Kolben in die Höhe steigen. Was finden wir nun? Der Wasserspiegel sinkt immer weiter, während der Kolben in die Höhe steigt, es wird also immer mehr Wasser in Dampf verwandelt. Aber wenn wir die Kraft messen, welche ausgeübt werden muß, um den Kolben in irgendeiner Lage festzuhalten, so finden wir, daß diese Kraft stets dieselbe bleibt; wir wollen, vorwegnehmend, gleich hinzufügen, solange sich noch eine Spur Wasser im Zylinder befindet.

Das Entsprechende finden wir im umgekehrten Falle. Drücken wir den Kolben wieder weiter hinein, sorgen aber immer dafür, daß die Temperatur von  $120^{\circ}$  erhalten bleibt, so verdichtet sich sofort wieder ein Teil des Dampfes zu Wasser, während die auf den Kolben auszuübende Kraft auch hier dieselbe bleibt. Es ist also gerade so, als

Abb. 9.



wenn der Dampf bei einer gewissen Kolbenstellung immer satt wäre und keine weiteren Dampfteilchen mehr aufnehmen wollte. Erst wenn wir den Kolben weiter herausziehen, bekommt der Dampf wieder Hunger und nimmt weiter in Dampf verwandelte Wasserteilchen in sich auf, und zwar so lange, bis er wieder „satt“ ist. Drücken wir dagegen den Kolben hinunter, so scheidet der Dampf sofort wieder eine Anzahl Dampfteilchen als Wasser aus, gerade so, als ob er übersättigt wäre und jene ausgeschiedenen Dampfteilchen nicht mehr bei sich behalten könnte. Wegen dieser eben erläuterten Eigentümlichkeit nennt man nun auch wirklich Dampf, welcher in Verbindung mit seiner Flüssigkeit steht, gesättigten Dampf, und, wenn man sicher ist, daß sich in ihm keinerlei Flüssigkeitsteilchen mehr schwebend befinden: trocken gesättigten Dampf. Den Gegensatz zu gesättigtem Dampf bildet ungesättigter oder überhitzer Dampf, dessen Eigenschaften bei den folgenden Versuchen besprochen werden sollen.

**Zusammenhang von P und T bei gesättigtem Dampf.** Da während des ganzen fünften Versuches die Temperatur dieselbe geblieben ist, das vom Zylinder und Kolben eingeschlossene Volumen aber gegenüber dem vierten Versuche zugenommen hat, so haben wir nach unseren früheren Feststellungen offenbar eine Zustandsänderung bei gleichbleibender Temperatur (isothermische Zustandsänderung, siehe S. 22). Während wir aber gefunden hatten, daß Gase bei isothermischer Zustandsänderung das Gesetz von Boyle befolgen, ihr Druck also in demselben Verhältnisse abnimmt, wie ihr Volumen zunimmt, sehen wir hier, daß gesättigter Wasserdampf (und ebenso jeder andere gesättigte Dampf) ein von diesem Gesetze abweichendes und ganz eigentümliches Verhalten zeigt: Der Druck des gesättigten Dampfes ist unabhängig vom Volumen und lediglich abhängig von der Temperatur. Jrgendeiner Temperatur entspricht immer eine ganz bestimmte Dampfspannung und umgekehrt: gesättigter Dampf von irgendeiner Spannung hat immer ein und dieselbe dieser Spannung eigentümliche Temperatur. Haben wir in einem Gefäße Luft von 5 at Spannung, so kann diese Luft noch unendlich verschiedene Temperaturen besitzen. Ist dagegen in dem Gefäße gesättigter Wasserdampf von 5 at Spannung enthalten, so ist damit auch sofort die Temperatur dieses Dampfes gegeben. In welcher Weise die Temperatur mit der Spannung zusammenhängt und umgekehrt, läßt sich durch eine Formel nur unvollkommen ausdrücken. Man findet die gegenseitige Abhängigkeit am einfachsten

aus Tabellen, die für die verschiedenen Dämpfe durch Versuche gefunden sind. Eine Tabelle für gesättigten Wasserdampf soll weiter unten angegeben werden.

**Sechster Versuch: ungesättigter oder überhitzter Dampf.** (Abb. 9, 6.) Wir wollen annehmen, daß der Versuch 5 so lange fortgesetzt sei, daß heißt der Kolben so weit in die Höhe gezogen sei, bis soeben der letzte Tropfen Wasser verdampft ist. Wir wissen bereits, daß, sofern die Temperatur von  $120^{\circ}$  erhalten geblieben ist, die Spannung dieses Dampfes auch im letzten Augenblicke immer noch 2 at abs beträgt. Nun wollen wir aber, indem wir auch hier dafür sorgen, daß die Temperatur von  $120^{\circ}$  erhalten bleibt, den Kolben weiter herausstretzen lassen. Wir würden in diesem Falle finden, daß der Gegendruck auf den Kolben immer kleiner werden muß, je mehr der Kolben in die Höhe geht, und zwar in demselben Verhältnis kleiner, als das Volumen des Zylinders durch das Zurückweichen des Kolbens größer wird. Ist das vom Zylinder und Kolben eingeschlossene Volumen doppelt so groß als am Ende des fünften Versuches, und messen wir nun die Kraft, welche in diesem Augenblicke nötig ist, um den Kolben in seiner Lage festzuhalten, so finden wir, daß diese Kraft gleich Null geworden ist: über und unter dem Kolben herrscht dieselbe Druck. Der unter dem Kolben befindliche Dampf von  $120^{\circ}$  C hat also die Spannung von 1 at abs. Dieser Versuch zeigt uns recht deutlich eine neue wichtige Eigenschaft des Dampfes: Beim vierten Versuch hatten wir ebenfalls Dampf von der Spannung 1 at abs. Dieser Dampf aber stand noch mit Wasser in Berührung, war also gesättigt und hatte eine Temperatur von  $100^{\circ}$ . Wir sahen auch, daß bei gleichbleibender Temperatur ein Herausziehen und Hineindrücken des Kolbens auf die Spannung dieses Dampfes gar keinen Einfluß hatte. Hier dagegen haben wir einen Wasserdampf von 1 at Spannung und  $120^{\circ}$  C, der einfach durch Ausdehnung, und zwar durch Volumenverdoppelung aus Dampf von  $120^{\circ}$  und 2 at abs entstanden ist, der also dieselben Eigenschaften aufweist, die wir früher bei isothermischer Ausdehnung von Gasen gefunden hatten. Ehe wir jedoch näher auf die Ergebnisse dieses Versuches und auf die Eigenschaften dieser Art von Wasserdampf eingehen, wollen wir noch einen letzten Versuch anstellen.

**Siebenter Versuch: Ähnlichkeit zwischen überhitzen Dämpfen und Gasen.** (Abb. 9, 7.) Der Dampf, den wir beim sechsten Versuch bekommen hatten, schien uns bereits die gleiche Eigenschaft zu haben

wie die früher betrachteten Gase. Wir wollen uns nun durch einen neuen Versuch überzeugen, ob das wirklich der Fall ist, und wollen dazu den Kolben in seiner Stellung festhalten. Hat dieser Dampf die gleichen Eigenschaften wie die Gase, so müßte es möglich sein, einfach durch Temperaturerhöhung seine Spannung wieder auf 2 at zu bringen. Die Höhe der Temperatur läßt sich berechnen, wenn wir uns an das seinerzeit (S. 21) für die Gase aufgestellte Gesetz erinnern, daß bei gleichbleibendem Volumen die Spannungen sich verhalten wie die absoluten Temperaturen. Es muß sich also hier die gesuchte absolute Temperatur  $x$  zur vorhandenen absoluten Temperatur von  $393^{\circ}$  ( $= 120^{\circ}\text{C}$ ) verhalten wie die neue Spannung (2 at) zu der gegenwärtigen Spannung (1 at) oder kürzer  $x : 393 = 2 : 1$ , und daraus

$$x = \frac{2 \cdot 393}{1} = 786^{\circ}\text{abs} = 786 - 273 = 513^{\circ}\text{C}.$$

In der Tat, wenn wir durch weitere Wärmezuführung bei festgehaltenem Kolben die Temperatur des Dampfes auf  $513^{\circ}\text{C}$  bringen, so finden wir, daß gerade so wie beim vierten und fünften Versuch ein Druck von 100 kg auf den Kolben ausgeübt werden muß, um ihn in seiner Lage festzuhalten. Mit anderen Worten: der unter dem Kolben befindliche Dampf von  $513^{\circ}\text{C}$  hat wieder eine Spannung von 2 at abs. Offenbar haben wir hier aber eine ganz andere Art Dampf vor uns als bei Versuch 4, und es ist leicht ersichtlich, woher diese Verschiedenheit stammt. Bei Versuch 4 stand der Dampf in Verbindung mit seiner Flüssigkeit, wir nannten ihn gesättigten Dampf. Der bei dem vorliegenden Versuche erhaltene Dampf ist dagegen entstanden aus einem Dampfe, der gar nicht mehr in Verbindung mit seiner Flüssigkeit stand, seine Temperatur ist ganz wesentlich höher als die Temperatur des gesättigten Wasserdampfes von gleicher Spannung, man nennt ihn überhitzten (auch wohl ungesättigten) Dampf.

Vor einem Irrtum muß aber hier gewarnt werden: Wenn wir eben bei unserem siebenten Versuch überhitzten Wasserdampf von 2 at abs und  $513^{\circ}\text{C}$  bekommen hätten, so muß man wohl beachten, daß ja nicht etwa überhitzter Wasserdampf von 2 at Spannung immer eine Temperatur von  $513^{\circ}\text{C}$  und umgekehrt überhitzter Wasserdampf von  $513^{\circ}\text{C}$  nicht immer eine Spannung von 2 at hat. Hätten wir z. B. bei Beginn des siebenten Versuches im Zylinder trocken gesättigten Dampf von 5 at abs gehabt, welcher eine Temperatur von ungefähr  $151^{\circ}\text{C}$  besitzt (also eine absolute Temperatur von  $151 + 273 = 424^{\circ}$ ),

und hätten wir diesen Dampf dann bei stillstehendem Kolben, das heißt bei gleichbleibendem Volumen, auf  $513^{\circ}\text{C} = 786^{\circ}$  abs erhitzt, so würde seine Spannung eine wesentlich andere werden als 2 at: Nach dem Gesetze von Gay-Lussac verhalten sich bei gleichbleibendem Volumen die Spannungen wie die absoluten Temperaturen. Es würde sich also verhalten die gesuchte Spannung  $x$  bei  $513^{\circ}\text{C}$  zur gegebenen Spannung (5 at) bei  $151^{\circ}\text{C}$  wie die absolute Temperatur bei  $513^{\circ}\text{C}$  zur absoluten Temperatur bei  $152^{\circ}\text{C}$  oder

$$x : 5 = (273 + 513) : (273 + 151) \text{ und daraus } x = 5 \cdot \frac{786}{424} = \sim 9,25 \text{ at.}$$

Die Ergebnisse unserer Versuche sind also, kurz zusammengefaßt, folgende:

1. Dämpfe können in zwei verschiedenen Formen vorkommen:  
a) als gesättigte Dämpfe: Versuch 1—5;  
b) als ungesättigte oder überheizte Dämpfe: Versuch 6 und 7.
2. Bei gesättigten Dämpfen hängt die Spannung lediglich von der Temperatur ab und umgekehrt: Versuch 1—5.
3. Überheizte Dämpfe befolgen das Gesetz von Boyle-Gay-Lussac, d. h. sie verhalten sich gegenüber Temperatur-, Druck- oder Volumenänderung wie ein Gas.

Hinzugefügt sei bei dieser Gelegenheit, daß eine völlige Übereinstimmung mit den Gasen erst bei hoher Überheizung eintritt. Die Übereinstimmung wird um so unvollkommener, je mehr sich die Dämpfe ihrem Sättigungspunkte nähern.

4. Bei gleicher Temperatur hat der gesättigte Dampf eine höhere Spannung als der überheizte Dampf, vgl. Versuch 5 und 6, und zwar hat er, wie eine einfache Überlegung zeigt, die höchste Spannung, welche bei dieser Temperatur möglich ist.
5. Bei gleicher Spannung hat der überheizte Dampf stets eine höhere Temperatur als der gesättigte Dampf, vgl. Versuch 4 und 7.

## Zweites Kapitel.

### Wärmebedarf bei der Dampferzeugung.

**Berdampfungsversuch.** Wir wollen noch einmal auf unsere letzte Versuchsanordnung zurückgreifen und sie uns in der Weise erweitert denken, daß es möglich ist, die dem Zylinderinhalt zugeführte Wärmemenge zu messen. Dies könnte z. B. in der Weise geschehen, daß man

die Erwärmung vermittels Leuchtgas vornimmt und zugleich diejenige Menge Leuchtgas mißt, welche man zur Erhitzung verbraucht hat. Bestimmt man dann noch vermittels einer besonderen Vorrichtung (sogenannten Kalorimeter oder Heizwertmesser) den Heizwert des betreffenden Gases, das heißt diejenige Wärmemenge, welche 1 cbm Leuchtgas bei vollständiger Verbrennung liefert, so kann man daraus jene zur Erwärmung des Wassers verbrauchte Wärmemenge berechnen.<sup>1)</sup>

Wir beginnen nun unseren Versuch, indem wir dem in dem Zylinder eingeschlossenen 1 kg Wasser von 0° C Wärme zuführen. Ein an geeigneter Stelle angebrachtes Thermometer zeigt uns den Erfolg unserer Wärmezuführung: Das Thermometer steigt, und zwar, wenn wir die Wärmezuführung genügend lange fortsetzen, zunächst so lange, bis das Quecksilber des Thermometers auf rund 100° C zeigt. Denken wir uns den auf dem Wasser ruhenden Kolben als gewichtlos, so tritt nun etwas Eigenartiges ein: Trotzdem wir immer noch weitere Wärme zuführen, bleibt das Thermometer auf 100° stehen. Dafür beginnt aber der Kolben in die Höhe zu steigen: der aus dem Wasser sich entwickelnde Dampf braucht Platz und schiebt den Kolben im Zylinder vor sich her, so lange, bis das ganze Wasser in Dampf von 100° verwandelt ist.

**Ergebnis des Versuches.** In diesem Augenblicke wollen wir unseren Versuch abbrechen und zusehen, was wir durch unsere Wärmezuführung erreicht haben. Mit dem ersten Teile der zugeführten Wärme haben wir das Wasser von 0° auf 100° gebracht, mit dem Rest der zugeführten Wärme haben wir das Wasser in Dampf verwandelt. Dieser (übrigens, wie wir sehen werden, recht bedeutende) Rest ist nun wieder zu einem Teile dazu verwendet worden, um lediglich den Zustand des Wassers zu verändern, das heißt das Wasser von der flüssigen Form in die Dampfform überzuführen, während mit dem nun noch übrigbleibenden Teile auch noch etwas anderes erreicht wurde: Bei unserem früheren Versuche 1 (S. 29) hatten wir versucht, den Kolben herauszu ziehen und hatten dabei bemerkt, daß dazu eine Kraft von ungefähr 100 kg nötig war. Hätten wir also damals den Kolben so hoch in die Höhe gezogen, daß er an derselben Stelle gestanden hätte, wie jetzt am Ende unseres Verdampfungsversuches, so hätten wir eine Arbeit leisten müssen, die sich bestimmt aus dem Produkt Kraft mal Weg, das heißt 100 kg mal Hubhöhe des Kolbens. Ganz dieselbe Arbeit hatte

1) Siehe des Verf. „Praktische Thermodynamik“ (ANuG Bd. 516, Abschn. 1).

aber offenbar bei unserem letzten Versuche der Dampf ohne unser Zutun geleistet, und da wir von früher her wissen, daß Wärme und Arbeit gleichwertig sind, oder mit anderen Worten, daß einer geleisteten Arbeit immer eine ganz bestimmte Wärmemenge entspricht, so folgt daraus, daß ein Teil der zugeführten Wärme dazu verwendet worden ist, um diese Arbeit, die sogenannte Raum schaffungs arbeit, zu leisten. Gerade dieser Teil der zugeführten Wärme läßt sich nun leicht berechnen. Denken wir uns, das Wasser (von  $0^{\circ}$ ) stehe in unserem Zylinder 10 cm hoch, so enthält der Zylinder gerade 1000 ccm = 1 kg Wasser. Nun nimmt 1 kg trocken gesättigten Dampfes von  $99,1^{\circ}\text{C}$  (entsprechend 1 at) einen Raum von 1,725 cbm = 1725 ebdcm ein. Der in dem Zylinder stehende Kolben von 1 qdm Flächeninhalt müßte also noch um 1724 dem = 172,4 m gehoben werden, um dem Dampf den für ihn nötigen Platz einzuräumen. Auf dem Kolben lastet aber, wie wir angenommen hatten, der Druck der Außenluft mit insgesamt 100 kg, und es beträgt somit die von dem Dampfe bei der Ausdehnung geleistete Arbeit  $172,4 \cdot 100 = 17\,240$  mkg, und da nach dem ersten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie (S. 16) immer 427 mkg einer WE entsprechen, so beträgt dieser Anteil der zugeführten Wärme

$$\frac{17\,240}{427} = 40,3 \text{ WE.}$$

**Versuch mit belastetem Kolben.** Die Anordnung sei dieselbe wie vorher, nur wollen wir uns den Kolben belastet denken mit einem Gewicht von 100 kg. Führen wir jetzt wieder Wärme zu, so wissen wir aus unserem früheren Versuche 4 (S. 31), daß der Kolben sich erst dann beginnen wird zu heben, wenn das Wasser eine Temperatur von  $120^{\circ}\text{C}$ , der daraus gebildete Dampf also eine Spannung von 2 at abs hat. Nun erst beginnt wieder die Dampfbildung. Der Kolben wird herausgehoben, und wir brechen unseren Versuch wieder ab in dem Augenblicke, wo sämtliches Wasser in Dampf von 2 at verwandelt ist. Auch hier liegen die Verhältnisse offenbar gerade so wie vorher. Durch den ersten Teil der zugeführten Wärme haben wir das 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  auf  $120^{\circ}$  erwärmt, dann haben wir das Wasser von  $120^{\circ}$  in Dampf von  $120^{\circ}$  verwandelt, und endlich haben wir mittels eines dritten Teiles der zugeführten Wärme eine gewisse Arbeit geleistet, die sich berechnen läßt aus dem Produkte Kraft mal Weg, in unserem Falle 200 kg (Außenluftdruck, vermehrt um die aufgelegten 100 kg) mal Hubhöhe des Kolbens.

**Bezeichnung der einzelnen Wärmemengen.** Die eben angestellten Betrachtungen ergeben, daß die Wärmemengen, welche nötig waren, um aus 1 kg Flüssigkeit von  $0^{\circ}\text{C}$  1 kg gesättigten Dampf von bestimmter Temperatur und Spannung zu erzeugen, sich in drei Teile zerlegen lassen:

1. **Flüssigkeitswärme**, auch Wärmeinhalt der Flüssigkeit genannt. Man versteht darunter diejenige Wärmemenge, welche nötig ist, um „1 kg Flüssigkeit von  $0^{\circ}$ “ — die beiden Angaben 1 kg und  $0^{\circ}$  sind besonders zu beachten! — auf eine Temperatur zu bringen, welche der des gesättigten Dampfes von der betreffenden Spannung entspricht. Die Flüssigkeitswärme wird gewöhnlich mit  $q$  bezeichnet.

2. **Innere Verdampfungswärme**  $q$ . Es ist diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um das 1 kg der (vermöge der Flüssigkeitswärme) auf die Dampftemperatur gebrachten Flüssigkeit lediglich in Dampfform überzuführen, ohne Berücksichtigung der dazu zu leistenden äußeren Arbeit.

3. **Außere Verdampfungswärme**. Bei der Verdampfung vergrößert sich das Volumen von 1 kg in erheblichem Maße. Der auf der Flüssigkeit lastende Druck muß dabei überwunden werden, und es muß hierzu mechanische Arbeit geleistet werden. Die dieser mechanischen Arbeit nach dem ersten Hauptsätze entsprechende Wärmemenge nennt man äußere Verdampfungswärme.

Für die kommenden Betrachtungen sind ferner noch folgende Bezeichnungen von Wichtigkeit:

4. **Verdampfungswärme**. Äußere und innere Verdampfungswärme faßt man häufig unter dem allgemeinen Namen Verdampfungswärme zusammen. Es ist dann also Verdampfungswärme diejenige Wärmemenge, welche nötig ist, um 1 kg der vorher auf die Temperatur des Dampfes gebrachten Flüssigkeit zu verdampfen.

5. **Gesamtwärme**. Die Summe der unter 1—3 aufgeführten Wärmemengen bezeichnet man gewöhnlich mit dem Namen Gesamtwärme und hat also die Beziehung Gesamtwärme = Flüssigkeitswärme + Innere Verdampfungswärme + Äußere Verdampfungswärme, oder fürzer: Gesamtwärme = Flüssigkeitswärme + Verdampfungswärme. Unter Gesamtwärme versteht man also diejenige Wärmemenge, welche nötig ist, um 1 kg Flüssigkeit von  $0^{\circ}$  (man beachte 1 kg und  $0^{\circ}$ ) in gesättigten Dampf von der Spannung  $P \text{ kg/qm}$  überzuführen.

6. **Latente Wärme**. Die Zuführung von Wärme während der Verdampfung läßt sich, wie wir gesehen haben, mit dem Thermometer

nicht nachweisen, sie ist also gewissermaßen verborgen (latent), man nennt sie daher bisweilen auch die latente Wärme des Dampfes. Daß sie nicht verschwinden, sondern mit Ausnahme der äußeren Verdampfungswärme in dem Dampf wirklich noch enthalten ist, ersieht man am besten daraus, daß der Dampf diese verborgene (latente) Wärme wieder abgibt, wenn er durch Abkühlung gezwungen wird, sich wieder zu Wasser zu verdichten oder, wie man sagt, zu kondensieren. Er gibt dann diejenige Wärmemenge, welche vorher zu seiner Verdampfung gebraucht wurde, an das Abkühlungsmittel (z. B. Wasser oder Luft) wieder ab, indem er es erwärmt, eine Eigenschaft, von der z. B. in unseren Dampfheizungen für Zimmer usw. ausgiebiger Gebrauch gemacht wird.<sup>1)</sup>

7. Dampfwärme oder Energie des Dampfes. Die Wärme, welche zur Leistung der Raumschaffungsarbeit verwendet wurde, ist in dem Dampfe selber nicht mehr nachweisbar. Nachweisbar ist vielmehr nur noch die Flüssigkeitswärme und die innere Verdampfungswärme, welche man zusammen als Dampfwärme oder Energie des Dampfes bezeichnet.

### Drittes Kapitel.

#### Die Tabelle für gesättigte Wasserdämpfe.

Die in dem vorigen Kapitel erwähnten, sich stets nur auf 1 kg Flüssigkeit von 0° oder auf 1 kg Dampf beziehenden Wärmemengen sind für die verschiedenen Spannungen von Wasserdampf durch zahlreiche Versuche mehrerer Forscher in Form einer Tabelle berechnet worden und geben gleichzeitig durch die jeweilig verzeichneten Temperaturen den früher erwähnten Zusammenhang zwischen Spannung und Temperatur des gesättigten Wasserdampfes bei verschiedenen Spannungen.

**Ergebnisse der Tabelle.** Gehen wir nun etwas näher auf die so trocken erscheinenden Zahlen jener unten in gefürzter Form mitgeteilten Tabelle ein, so finden wir eine Reihe sehr fesselnder Ergebnisse.

Betrachten wir zunächst Spalte 2, welche uns die Temperaturen bei den verschiedenen Dampfspannungen angibt, so bemerken wir, daß je höher wir mit den verschiedenen Dampfspannungen hinaufgehen, um so langsamer die Temperatur wächst. Das ist offenbar ein Vorteil,

1) Siehe des Verf. „Praktische Thermodynamik“ (ANuG Bd. 596, Abschn. 4).

Tabelle für gesättigte Wasserdämpfe  
(nach Taschenbuch der Hütte).

1. Druck in kg für den qcm (absolut)	2. Temperatur in Grad Celsius	3. 1 cbm Dampf wiegt kg	4. Flüssigkeits- wärme in WE	5. Verdampfungswärme innere in WE	6. Verdampfungswärme äußere in WE	7. Gesamt- wärme
0,1	45,6	0,067	45,7	535,4	34,94	618,04
0,125	49,7	0,083	49,8	532,7	35,36	617,86
0,15	53,7	0,098	53,8	530,1	35,79	619,69
0,2	59,8	0,128	59,9	526,1	36,42	622,42
0,5	80,9	0,304	81,2	512,0	38,56	631,76
1	99,1	0,580	99,6	499,4	40,30	639,30
2	119,6	1,110	120,4	484,7	42,14	647,24
3	132,8	1,622	133,9	474,9	43,23	652,03
4	142,8	2,124	144,2	467,2	44,01	655,41
5	151,0	2,617	152,6	460,8	44,61	658,01
6	157,9	3,106	159,8	455,3	45,10	660,20
7	164,0	3,589	166,1	450,4	45,51	662,01
8	169,5	4,068	171,7	446,0	45,86	663,56
9	174,4	4,544	176,8	441,9	46,17	664,87
10	178,9	5,018	181,5	438,2	46,43	666,13
11	183,1	5,489	185,8	434,6	46,67	667,07
12	186,9	5,960	189,9	431,3	46,88	668,08
13	190,6	6,425	193,7	428,2	47,08	668,98
14	194,0	6,889	197,3	425,2	47,26	669,76
15	197,2	7,352	200,7	422,4	47,43	670,53
16	200,3	7,814	203,9	419,7	47,58	671,18
18	206,1	8,734	210,0	414,6	47,85	672,45
20	211,3	9,648	215,5	409,8	48,08	673,38

dessen große Bedeutung man leicht erkennen kann, wenn man berechnet, auf welche Temperatur man beispielsweise Luft erhöhen müßte, um ähnliche Spannungen zu erlangen. Da Luft ein Gas ist, so folgt sie das Gay-Lussacsche Gesetz, das heißt es verhalten sich bei gleichbleibendem Volumen die Spannungen wie die absoluten Temperaturen (vgl. S. 21). Schließen wir also in unserem früher erwähnten Versuchszylinder Luft von  $0^{\circ}$  und Außenluftspannung an Stelle des Wassers ein und wollten wir diese Luft durch Wärmezuführung auf eine Spannung von nur 4 at bringen, so ergibt sich die zugehörige absolute Temperatur, wenn wir die Spannung mit  $P_1$  und  $P_4$ , die zugehörigen abso-

luten Temperaturen mit  $T_1$  und  $T_4$  bezeichnen, aus der einfachen Beziehung  $T_4 : T_1 = P_4 : P_1$ ,  $T_4 = T_1 \cdot \frac{P_4}{P_1} = 273 \cdot \frac{4}{1} = 1092$ . Wir müßten also die Luft auf  $1092 - 273 = 819^{\circ}\text{C}$  erhitzen, während gesättigter Wasserdampf von 4 at absoluter Spannung nach der Tabelle erst eine Temperatur von rund  $143^{\circ}$  hat. Wir könnten mithin für eine derartige mit Luft betriebene Maschine eiserne Zylinder ohne weiteres nicht anwenden, da Eisen bei solchen Temperaturen bereits zu glühen beginnt.

Erwähnt mag bei dieser Gelegenheit werden, daß die Wärme menge welche nötig ist, um z. B. 1 kg Luft von einer gewissen Spannung zu erzeugen, wesentlich geringer ist als beim Wasserdampf.<sup>1)</sup> Das ist der Grund, warum man früher so oft versucht hat, mit Luft betriebene Wärmekraftmaschinen, sogenannte Heißluftmaschinen zu bauen.

Betrachten wir ferner Spalte 3 unserer Tabelle, so finden wir hier zahlenmäßig etwas ausgedrückt, was wir bei unseren früher angestellten Versuchen 3 und 4 (S. 30) schon hatten beobachten können. Wir hatten dort bei Versuch 4 den Kolben in seiner Lage festgehalten und die Temperatur des Zylinderinnern von  $100^{\circ}$  auf  $120^{\circ}$  erhöht. Wir hatten dabei gefunden, daß der Wasserspiegel infolgedessen gesunken war. Es mußte also gewissermaßen die fehlende Wassermenge in den Dampfraum übergeführt sein, der neue Dampf von  $120^{\circ}$  mußte also, da er aus einer größeren Wassermenge entstanden war, schwerer sein als der Dampf von  $100^{\circ}$ . Spalte 3 unserer Tabelle zeigt uns nun, daß dieses Ansteigen des spezifischen Gewichtes bei den niederen Spannungen fast proportional mit der Zunahme der Spannung geschieht, daß also z. B. 1 cbm Dampf von 2, 3, 4 at absoluter Spannung ungefähr 2, 3, 4 mal so schwer ist als 1 cbm Dampf von 1 at, ein Ergebnis, welches sich leicht im Kopfe behalten läßt. Bei höheren Spannungen wird diese Zunahme allerdings, wie aus der Tabelle zu ersehen ist, immer geringer. Für im Kopf auszuführende Überschlagsrechnungen beachte man, daß das spezifische Gewicht etwa halb so groß ist als die Spannung in at abs.

Noch eigenümlicher als die vorhergehenden Betrachtungen sind die Ergebnisse der Spalten 4, 5, 6, 7. Wir wollen uns die Ergebnisse dieser Zahlenreihen dadurch veranschaulichen, daß wir uns eines zeichnerischen Verfahrens bedienen. In einem Netze rechtwinkliger Geraden (sogenanntem Koordinatennetze) tragen wir uns (Abb. 10), in wage-

1) Vgl. Ann. S. 39.

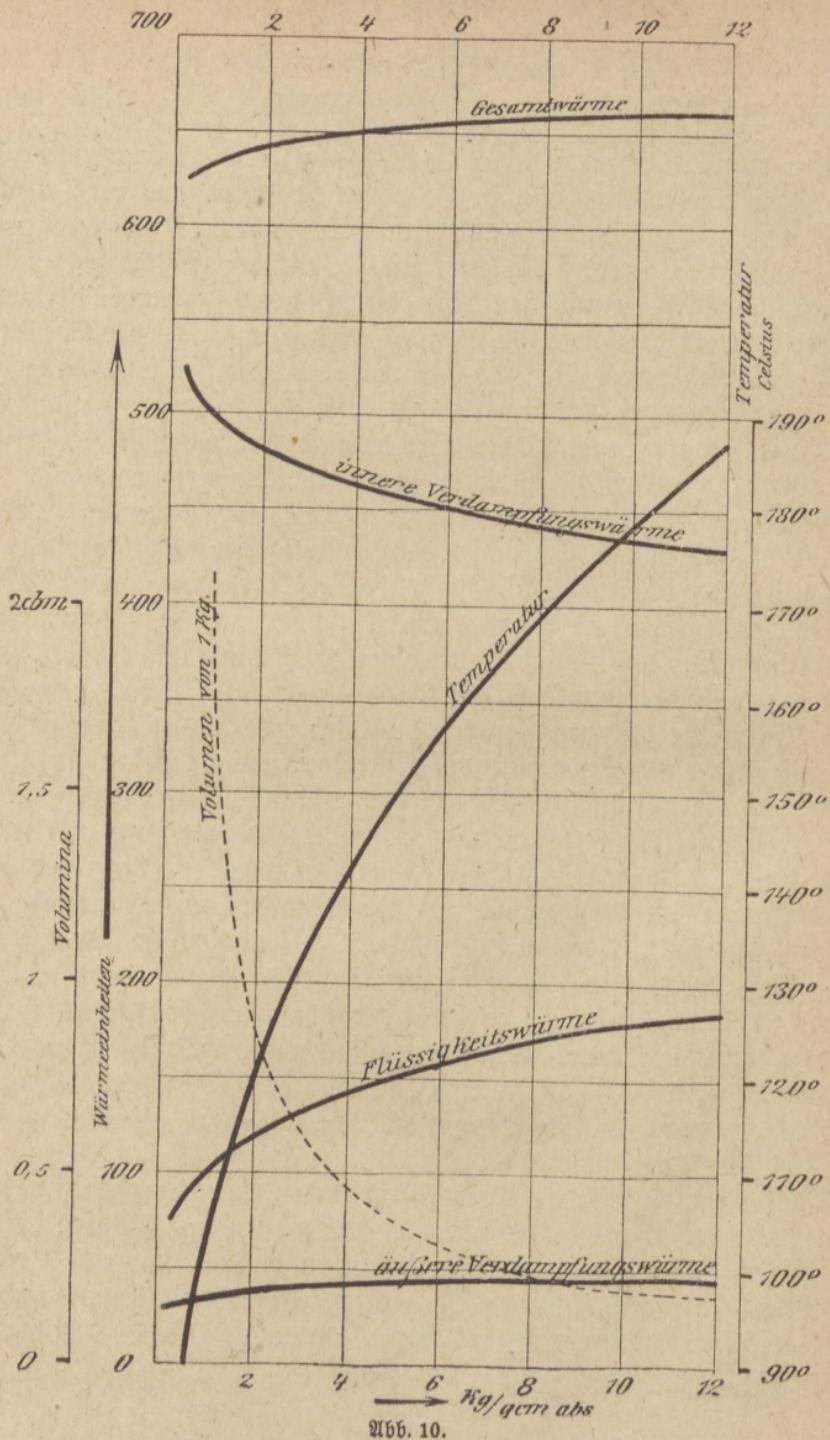


Abb. 10.

rechter Richtung die verschiedenen Dampfspannungen auf, in lotrechter Richtung dagegen diejenigen Wärmemengen (und deren S. 38 erwähnten Teile), welche zur Erzeugung von je 1 kg Dampf der betreffenden Spannung erforderlich sind. Außerdem ist in die Abbildung noch eingetragen: 1) die Kurve, welche die Temperatur bei den verschiedenen Dampfspannungen angibt, also die zeichnerische Darstellung der Spalte 2 unserer Tabelle; 2) eine (gestrichelte) Kurve, welche angibt, welchen Raum 1 kg Dampf bei den verschiedenen Spannungen einnimmt. Man erhält diese Kurve, indem man die Werte aus Spalte 3 unserer Tabelle als Nenner eines Bruches setzt, dessen Zähler 1 ist, oder, wie man sagt, die Kurve stellt die reziproken Werte der Spalte 3 dar.

Der Maßstab für die Temperaturkurve befindet sich an der rechten Kante der Abbildung, der Maßstab für die gestrichelte Kurve an der linken Kante.

**Form der Wärmekurven.** Aus der Form der verschiedenen Kurven erkennt man nun leicht folgendes:

1. Die Flüssigkeitswärme nimmt mit der Zunahme der Spannung verhältnismäßig rasch zu: Je höher die Spannung wird, um so mehr Wärme muß aufgewendet werden, um 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  in Wasser von der der betreffenden Dampfspannung zugehörigen Temperatur zu verwandeln.

2. Die Raumschaffungsarbeit (und ebenso die dieser Arbeit entsprechende äußere Verdampfungswärme) ist für alle Dampfspannungen nahezu gleich.

3. Die innere Verdampfungswärme nimmt mit Zunahme der Dampfspannung ab, und zwar sehr stark ab. Je höher gespannten Dampf ich also in einem Kessel erzeuge, um so geringer ist die Wärmemenge, welche dafür aufgewendet werden muß, um das zunächst auf die Dampf-temperatur gebrachte Wasser in den dampfförmigen Zustand überzuführen

4. Die Gesamtwärme, welche nötig ist, um 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  in gesättigten Dampf von irgendeiner Spannung oder Temperatur überzuführen, nimmt mit Zunahme der Spannung nur außerordentlich wenig zu. Um beispielsweise aus 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  1 kg Dampf von 3 at abs zu erzeugen, braucht man nach unserer Tabelle S. 40 insgesamt 652 WE. Um Dampf von 10 at abs daraus zu erzeugen, braucht man rund 666 WE, also nur 14 WE, daß heißt etwa  $2\%$  mehr.

Gerade dieses letzte Ergebnis ist nun für die Verwendung des Dampfes in Dampfmaschinen von außerordentlicher Wichtigkeit. Da wir ungefähr

dieselbe Wärmemenge nötig haben, um eine bestimmte Anzahl Kilogramm Dampf von niedriger oder von hoher Spannung zu erzeugen, so wird man in der Regel den Dampf von hoher Spannung bevorzugen. Die Maschine nimmt dann bei gleicher Leistung viel weniger Raum ein, sie wird billiger, der Betrieb wird wirtschaftlich vorteilhafter.

Beispiel. Dies lässt sich in sehr einfacher Weise zahlenmäßig durch ein Beispiel beweisen: Denken wir uns zwei Lastenaufzüge (Abb. 11),

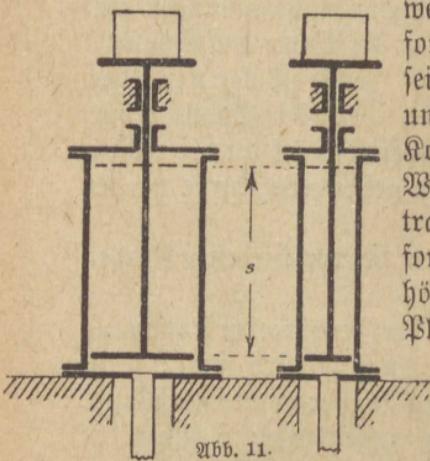


Abb. 11.

welche mit Dampf betrieben werden. Die Plattform, auf welcher die zu hebende Last ruht, sei unmittelbar auf der Kolbenstange befestigt, und durch Einlassen von Dampf unter den Kolben seien die Lasten in die Höhe gehoben. Wir nehmen nun an, die zu hebende Last betrage einschließlich des Gewichtes der Plattform, Kolbenstange usw. 1000 kg. Die Hubhöhe  $s$  (s. Abb. 11) des Kolbens und der Plattform betrage 1 m. Während aber der große Kolben einen Querschnitt von 1000 qcm hat, betrage der Querschnitt des kleinen Kolbens nur 250 qcm. Sehen wir nun zu, welche Dampfspannung, welche

Dampfmenge, welche Dampfgewichte und endlich die Hauptsache, welche Wärmemengen nötig sind, um die Lasten mittels gespannten Wasserdampfes in jedem der beiden Aufzüge um 1 m zu heben: Da der große Kolben 1000 qcm Querschnitt hat, so muß, um jene Last von 1000 kg zu heben, auf jeden Quadratzentimeter des Kolbens offenbar eine Kraft von 1 kg wirken, daß heißt wir müssen in diesem Zylinder Dampf von ungefähr 1 at Überdruck oder von 2 at abs verwenden, wenn wir annehmen, daß die obere Kolbenseite mit der Außenluft in Verbindung steht.

In dem kleinem Zylinder dagegen brauchen wir offenbar Dampf von  $\frac{1000}{250} = 4$  at Überdruck = 5 at abs. Daraus berechnen sich nun die übrigen gesuchten Größen sehr einfach in folgender Weise (S. 45 oben).

Wir brauchen also im zweiten Falle unter Verwendung höher gespannten Dampfes nur 60% der Wärme, die wir unter Verwendung niedrig gespannten Dampfes nötig hätten.

Schon aus diesem einfachen Beispiele kann man schließen, daß es wirtschaftlich vorteilhaft sein wird, möglichst hohe Dampf-

	Großer Zylinder Dampf von 2 atm abs	Kleiner Zylinder Dampf von 5 atm abs
Erforderliche Dampfmenge in cbm . . . . .	$0,1 \times 1 = 0,1$	$0,025 \cdot 1 = 0,025$
1 cbm Dampf wiegt nach der Tabelle S. 40 kg.	1,11	2,61
folglich erforderliches Dampf- gewicht in kg . . . . .	$0,1 \cdot 1,11 = 0,111$	$0,025 \cdot 2,61 = 0,0652$
Gesamtwärme von 1 kg nach der Tabelle (abge- rundet) in WE . . . . .	647	658
also zum Heben der Last erforderliche WE. . . . .	$0,111 \cdot 647$ $= \sim 72$ WE	$0,0652 \cdot 658$ $= \sim 43$ WE

spannungen in Kraftmaschinen zu verwenden. Die näheren Gründe dafür sollen an späterer Stelle erörtert werden.

#### Viertes Kapitel.

### Erzeugung des Wasserdampfes.

**Dampfkessel.** Gefäße, in denen man Dampf in größerer Menge entwickelt, bezeichnet man mit dem Namen Dampfkessel.<sup>1)</sup> Man versteht darunter ganz allgemein einen Behälter, der von allen Seiten geschlossen ist und seiner Bauart nach die beiden Hauptbedingungen erfüllt, die man an einen solchen Dampfkessel stellen muß: Er muß erstens fest genug sein, um den allseitigen Druck aushalten zu können, den der in ihm entwickelte Dampf auf seine Wandungen ausübt, er muß aber auch zweitens so gebaut sein, daß die Wärme, welche seinen Wandungen zugeführt wird, möglichst leicht und möglichst vollkommen sich dem in ihm enthaltenen Wasser mitteilt.

Diese beiden Anforderungen, die an einen Dampfkessel gestellt werden müssen, sind in gewissem Sinne einander widersprechend. Die erste Bedingung allein würde uns nämlich dazu verleiten, die Kesselwandungen möglichst stark zu machen, um sie zu befähigen, dem manchmal sehr starken Druck des Dampfes standhalten zu können, während die zweite Bedingung in Verbindung mit dem Wunsche nach möglichst billiger Herstellung es

1) Näheres über bauliche Gestaltung und Berechnung der Dampfkessel siehe J. E. Mayer, Feuerungsanlagen und Dampfkessel (ANuG Bd. 348).

wünschenswert erscheinen läßt, recht dünne Kesselwandungen auszuführen, um den Widerstand, den die Wärme beim Hineindringen in das Innere des Kessels erfährt, möglichst herabzumindern. Diesem Zwiespalt kann man nur dadurch entgehen, daß man einmal einen nicht nur sehr festen, sondern auch gleichzeitig möglichst zähen Stoff — in der Regel festes, zähes, schmiedbares Eisen — für die Herstellung des Kessels wählt, und ferner dadurch, daß man dem Kessel diejenigen Formen gibt, welche nach den Regeln und Gesetzen der Festigkeitslehre den größten Widerstand gegen Formveränderung ausüben. Dies ist aber in erster Linie die Kugel-, in zweiter Linie die Zylinderform und so kommt es, daß die überwiegende Mehrzahl der Dampfkessel zum größten Teil aus zylindrischen und kugelförmigen Teilen zusammengesetzt ist.

Die einfachste Art der Dampferzeugung wäre nun offenbar die, daß man einen entsprechend gesformten Behälter irgendwo frei aufstellt, ein Feuer darunter anzündet und auf diese Weise versucht, daß Wasser in Dampf zu verwandeln. Daß eine solche Art der Dampferzeugung in höchstem Grade unwirtschaftlich wäre, leuchtet sofort ein. Die Wärme des Feuers würde sich eben nur zum kleinsten Teile den Wänden des Dampfkessels und damit seinem Inhalte mitteilen, während der größte Teil der Wärme nutzlos ins Freie entweichen würde. Hieraus folgt sofort die Notwendigkeit, die Feuerung so anzu bringen, daß die durch sie erzeugte Wärme möglichst vollständig den Kesselwandungen mitgeteilt wird. Dies geschieht entweder dadurch, daß man die Feuerung in den entsprechend gesformten Kessel selbst hineinverlegt, oder daß man Kessel und Feuerung mit Mauerwerk umgibt und mittels Kanälen den durch die Feuerung erzeugten heißen Gasen — „Heizgasen“ — einen bestimmten Weg vorschreibt, den sie an den Kesselwandungen entlang zurückzulegen haben, bis sie dann ihre Wärme nach Möglichkeit an den Kessel abgegeben haben und durch den Schornstein ins Freie entweichen. Diese Kanäle, in denen die Heizgase an den Kesselwandungen entlang streichen, bezeichnet man mit dem Namen Büge und unterscheidet daher bei einer Dampfkesselfeuerung 1. den Feuerraum, 2. die Büge, 3. den Schornstein oder Kamin.

**Heizfläche.** Ein weiterer sehr wichtiger Begriff beim Dampfkessel ist die sogenannte Heizfläche, das heißt diejenige im Innern von Wasser berührte Wandungsfläche des eigentlichen Dampfkessels, an welcher die Heizgase entlang streichen, ehe sie durch den Kamin ins Freie entweichen. Je mehr Heizfläche ein Kessel von bestimmtem Wasserinhalt

hat, um so mehr besteht die Möglichkeit, Wärme in das Innere des Kessels überzuführen, um so mehr Dampf kann in der Regel in dem Kessel erzeugt werden. Man bestimmt daher geradezu die Größe, das heißt die Leistungsfähigkeit, eines Kessels nach der Größe der Heizfläche.

Allerdings zeigt eine einfache Überlegung, daß die Größe der Heizfläche allein nicht ohne weiteres die Leistungsfähigkeit eines Kessels bestimmen kann. Nehmen wir ein Beispiel aus dem täglichen Leben. Wir setzen einen offenen Topf mit Wasser auf den Küchenofen und bringen das Wasser zum Kochen. Wir wissen nun bereits, daß, wieviel Wärme wir auch nach Beginn des Siedens dem Topfe immer zuführen mögen, die Temperatur des Wassers nicht mehr steigt, ganz gleich, ob das Wasser ganz leicht fortkocht, oder ob es, wie man sagt, „in Wellen kocht“. Die Temperatur und Spannung des erzeugten Dampfes bleibt zwar dieselbe, wir bekommen immer Dampf von derselben (nämlich Außenluft-) Spannung, dagegen zeigt sich sehr bald ein anderer Unterschied. Hat man in dem Topfe z. B. gerade ein Liter Wasser und läßt man das Wasser nur leicht fortkochen, so dauert es vielleicht zwei Stunden, bis das ganze Liter Wasser in Dampf (von 1 at) verwandelt ist. Läßt man dagegen den Topf in Wellen kochen, so dauert es vielleicht nur eine Stunde oder noch weniger. Man sieht also, trotzdem die „Heizfläche“ in beiden Fällen dieselbe war, hat man das eine Mal in einer Stunde  $\frac{1}{2}$  Liter, in dem zweiten Falle dagegen in derselben Zeit ein ganzes Liter Wasser in Dampf verwandelt. Ganz dasselbe ist nun offenbar bei dem Dampfkessel der Fall. In einem Dampfkessel von z. B. 10 qm Heizfläche kann man in einer Stunde — theoretisch wenigstens — fast jede beliebige Menge Dampf von einer bestimmten Spannung erzeugen (vorausgesetzt natürlich, daß man dafür sorgt, daß das verdampfte Wasser immer wieder durch neues ersetzt wird). Es fragt sich nur, wie steht es mit der Wirtschaftlichkeit? Je mehr Dampf man in der Stunde mit einem Kessel von 10 qm Heizfläche erzeugen will, ein um so lebhafteres Feuer muß man anwenden, um so mehr Wärme wird aber auch andererseits wieder ungenutzt aus der ganzen Kesselanlage entweichen, da eben die Heizgase nur in ihrem heißesten Zustande ausgenutzt werden und mit hoher Temperatur und daher auch mit hohem Wärmegehalte aus dem Schornstein ins Freie entweichen. Erzeugt man dagegen mit dem Kessel von 10 qm Heizfläche nur wenig Dampf in der Stunde, so genügt ein verhältnismäßig schwaches Feuer, die Verdampfung geht langsam vor sich, aber die Heizgase entweichen dafür auch mit verhältnismäßig niedriger Tem-

peratur und daher auch mit geringem Wärmegehalte. Die Wärme der Heizgase, mit anderen Worten die in dem Brennstoffe steckende Wärme wird also gut ausgenutzt, man hat eine wirtschaftlich vorteilhafte Dampfkesselanlage.

**Berechnung der erforderlichen Kesselgröße.** Weiß man nun die Anzahl der Kilogramm Wasser, welche man im Durchschnitt vermittels eines Quadratmeters Heizfläche wirtschaftlich vorteilhaft verdampfen kann, so kann man auch sofort durch eine höchst einfache Rechnung die Größe des Kessels bestimmen, welchen man für einen bestimmten Zweck, z. B. für eine bestimmte Dampfmaschine, nötig hat. Ein Beispiel wird die Sache am besten erläutern.

Es liege die Aufgabe vor, für eine Dampfmaschine von einer Leistung von 100 PS die Größe des erforderlichen Dampfkessels zu bestimmen. Der Verfertiger der Dampfmaschine hat Gewähr dafür geleistet, daß die Maschine für jede PS-st nicht mehr als 8 kg Dampf verbraucht, es müssen mithin in jeder Stunde  $8 \times 100 = 800$  kg Dampf geschafft werden. Weiß man nun, daß man bei der in Aussicht genommenen Kesselart mit einem Quadratmeter Heizfläche in der Stunde etwa 16 kg Wasser verdampfen kann, so muß also der Kessel, welcher den Dampf für die genannte Maschine von 100 PS liefern soll, eine Heizfläche haben von  $\frac{800}{16} = 50$  qm.

**Verdampfungsfähigkeit eines Kessels.** Nach den oben angestellten Erwägungen ist es ohne weiteres klar, daß man mit dem eben berechneten Kessel nicht nur gerade 800, sondern ebensogut 500 wie 1200 kg Dampf in der Stunde wird erzeugen können. Will man nur 500 kg Dampf erzeugen, mit jedem Quadratmeter Heizfläche also nur  $\frac{500}{50} = 10$  kg Dampf in der Stunde, dann hält man das Feuer auf dem Roste niedrig und hat dann gleichzeitig den Vorteil, daß man die in dem Brennstoffe, z. B. Kohlen, enthaltene Wärme vorzüglich ausnutzt (man sagt, der Kessel wird stark geschont), oder, anders ausgedrückt, man hat den Vorteil, daß man dann mit 1 kg Kohle mehr Wasser verdampft, als wenn man mit demselben Kessel 800 kg Dampf in der Stunde erzeugt.

Umgekehrt! Will man mit demselben Kessel 1200 kg Dampf in der Stunde erzeugen, mit jedem Quadratmeter Heizfläche also  $\frac{1200}{50} = 24$  kg in der Stunde, so muß das Feuer auf dem Roste hochgehalten werden, man muß viel Kohle ausschütten, bekommt dadurch zwar mehr Dampf in der Stunde, muß dann aber den Nachteil mit in Kauf nehmen, daß man die in den Kohlen steckende Wärme, wie oben gezeigt wurde, schlecht ausnutzt, also mit jedem Kilogramm Kohle viel weniger Wasser verdampft,

als wenn man mit demselben Kessel in der Stunde nur 800 oder gar nur 600 kg Dampf erzeugt. Man sagt dann, der Kessel wird angestrengt.

Die eben angestellten Erwägungen kann man in folgender Weise zusammenfassen: Will man bei einem bestimmten Kessel mit 1 kg Kohle viel Wasser verdampfen, dann verdampft jeder Quadratmeter Kesselheizfläche nur wenig Wasser, der Kessel wird geschont. Umgekehrt, will man bei demselben Kessel mit 1 qm Kesselheizfläche viel Wasser verdampfen, den Kessel also anstrengen, dann verdampft 1 kg Kohle nur wenig Wasser. Nimmt man als Brennstoff mittelgute Steinkohle, so kann man annehmen, daß man bei einem einigermaßen guten Dampfkessel mit 1 kg Kohle bei regelrechtem Betriebe im Mittel etwa 7 kg Wasser verdampfen kann. Man sagt dann, die Kohle liefere in dem Kessel eine siebenfache Verdampfung. Wird der Kessel stark geschont, so kann man annehmen, daß man etwa achtfache Verdampfung erzielt, also mit 1 kg Kohle 8 kg Wasser verdampft; bei angestrengtem Betrieb dagegen wird etwa nur sechs-fache Verdampfung anzunehmen sein. Es möge hier ausdrücklich hervorgehoben werden, daß die eben angegebenen Zahlen nur rohe Durchschnittswerte darstellen, die je nach der Beschaffenheit der Kohle und Bauart des Kessels mehr oder minder großen Schwankungen unterliegen. — Man erhält also für die oben angegebenen Zahlen folgende Zusammenstellung:

Will man mit 1 kg Kohle verdampfen: dann kann man annehmen, daß man mit jedem Quadratmeter Heizfläche in der Stunde etwa verdampfen kann:	6    7    8 kg Wasser,  24   16   10 kg Wasser.
--	---

**Trockener und nasser Dampf.<sup>1)</sup>** Neben Festigkeit und genügender Größe hat nun ein guter Dampfkessel noch eine weitere wichtige Forderung zu erfüllen: Er soll möglichst trockenen Dampf liefern, das heißt es soll nach Möglichkeit vermieden werden, daß kleinere oder größere Wassertröpfchen, die sich beim Aufwallen des Wassers im Kessel bilden, von dem strömenden Dampfe mitgerissen werden und als Wasser in die Leitung und in die Maschine gelangen. Ein solches Mitreißen von Wasser ist in mehr als einer Beziehung schädlich. Zunächst ist zu bedenken, daß Wasser unzusammendrückbar ist. Sammelt es sich daher an einzelnen Stellen in größerer Menge in der Dampfleitung an, so kann es den Durchtrittsquerschnitt des Dampfes verengen und kann dann, plötzlich

1) Näheres darüber siehe des Verf. Technische Wärmelehre (AMuG Bd. 516).

mit fortgerissen, zu heftigen Schlägen in der Leitung Anlaß geben. Kommt es schließlich in beträchtlichen Mengen in den Zylinder der Dampfmaschine, so kann es vorkommen, daß der Zwischenraum zwischen Zylinderdeckel und dem in seiner äußersten Stellung stehenden Dampfsolben von Wasser vollständig ausgefüllt wird und daß schließlich, da Wasser eben unzusammendrückbar ist, durch die Bewegung des Kolbens der ganze Zylinderdeckel herausgeschlagen wird, was oft genug schon zu schweren Unglücksfällen und Betriebsstörungen Anlaß gegeben hat. Ganz abgesehen davon ist nasser Dampf aber auch vom wärmetheoretischen Standpunkte aus verwerflich. Man hat sich nur zu vergegenwärtigen, daß, wenn z. B. in einem Dampfkessel Dampf von 5 at abs erzeugt wird, nicht nur der Dampf, sondern auch das Wasser eine Temperatur von etwa  $151^{\circ}$  hat. Da nun das Wasser als solches, wenn es einmal den Kessel verlassen hat, wie eben gezeigt, nicht nur nicht zu brauchen, sondern sogar schädlich ist und durch besondere Vorrichtungen von der Maschine ferngehalten werden muß, so ergibt sich, daß die zur Erwärmung dieses Wassers aufgewendete Wärme so gut wie verloren ist. Es muß also das Bestreben eines jeden Erbauers eines Dampfkessels sein, den Kessel so zu bauen, daß er möglichst trockenen Dampf liefert.

Im allgemeinen wird sich das dadurch erreichen lassen, daß man den Wasserinhalt des Kessels so groß als möglich wählt. Befindet sich nur wenig Wasser im Kessel, so wird die Verdampfung eine sehr lebhafte sein müssen, um die in der Stunde erforderliche Dampfmenge zu erzeugen; das Wasser wallt infolgedessen sehr stark, und die hierdurch sich bildenden Wassertropfen können dann leicht mit dem strömenden Dampf fortgerissen werden. Es ist einleuchtend, daß dieser Übelstand weniger eintritt, wenn der Kessel eine verhältnismäßig große Menge Wasser enthält. Trotzdem wird man unter Umständen Kessel mit kleinem Wasserinhalt, also mit einer im Verhältnis zum Wasserinhalt großen Heizfläche ausführen müssen, nämlich entweder dann, wenn es notwendig ist, sehr große Mengen Dampf zu schaffen, und es an Raum fehlt, Kessel mit entsprechend großem Wasserinhalt aufzustellen, oder auch dann, wenn die Aufgabe vorliegt, Kessel zu bauen, welche imstande sein sollen, in möglichst kurzer Zeit angeheizt zu werden und Dampf von bestimmter Spannung zu liefern, z. B. bei Dampffeuerspritzen.

Verhältnismäßig einfach läßt sich die Aufgabe Dampf zu liefern, welcher keine Spur von Flüssigkeit enthält, dadurch lösen, daß man den aus dem Kessel kommenden Dampf überheizt, und da, wie später ge-

zeigt werden wird, überhitzter Dampf im Dampfmaschinenbetrieb auch noch aus anderen Gründen ein große Rolle spielt, möge die Wirkungsweise der sogenannten Überhitzer hier ebenfalls in ihren Grundzügen, kurz besprochen werden.

**Überhitzer.** Um den Dampf zu überhitzen, leitet man ihn, nachdem er den Kessel verlassen hat, durch eiserne Kanäle, bestehend aus schmiedeeisernen Rohren, welche von außen erhitzt werden. Derartige Überhitzer können nun z. B. ähnlich wie die Kessel selbst in eine Mauerung eingeschlossen und mit einer besonderen Feuerung versehen werden. Es wird dann der Dampf aus beliebig vielen Kesseln zunächst gesammelt und dann durch einen solchen getrennt geheizten Überhitzer hindurchgeschickt, wo seine Temperatur auf jede praktisch erreichbare Temperatur gebracht werden kann. Wenn nun auch diese Anordnung den Vorteil besitzt, die Überhitzung in jedem Augenblicke ausschalten und gegebenenfalls den Überhitzer ausbessern zu können, ohne den übrigen Dampfkesselbetrieb zu stören, so besitzt sie anderseits den Nachteil, daß sie eben neben dem Dampfkessel einer besonderen Wartung bedarf, und daß, falls der getrennt geheizte Überhitzer einmal aus irgendeinem Grunde ausgeschaltet werden muß, sofort der ganze Betrieb mit überhitzen Dampfe für alle Kessel aufhört. Diese Übelstände vermeidet man dadurch, daß man jedem einzelnen Kessel innerhalb der Züge einen aus schmiedeeisernen Rohren bestehenden Überhitzer befügt, so zwar, daß die Heizgase der Kesselfeuerung, sobald sie ihre höchste Temperatur verloren haben, den Überhitzer umspülen und dann erst den Rest ihrer Wärme weiterhin an die Kesselwandungen abgeben.

Gewarnt möge hier noch werden vor einem Irrtum, in den man leicht verfallen könnte, wenn man sich an unsere früheren Versuche S. 33 erinnert. Es war nämlich damals gesagt worden, eine Überhitzung des Dampfes könne erst dann eintreten, wenn der Dampf nicht mehr mit seiner Flüssigkeit in Berührung steht, und es hatte sich damals ergeben, daß mit der Erhöhung der Temperatur eine nach dem Gesetze von Boyle-Gay-Lussac sich bestimmende Erhöhung der Spannung verbunden war. Eine solche Erhöhung der Spannung kann nun hier bei diesen Überhitzern nicht eintreten, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil diese Überhitzer-Räume ja mit dem Dampfraume des Dampfkessels in Verbindung stehen, eine Erhöhung des Druckes im Überhitzer sich also sofort bis in den Dampfkessel hinein fortpflanzt. Der Druck im Überhitzer kann demnach niemals größer werden als der Druck im Dampfkessel.

Bedenken könnte vielleicht noch erregen, ob es denn überhaupt möglich ist, einen Dampf zu überhitzen, der, wie eben erwähnt wurde, mit dem Dampfraume des Kessels, also doch auch mit der Flüssigkeit in Verbindung steht. Bei einer an allen Stellen gleichmäßigen Wärmezuführung, wie sie bei den früher S. 30 ff. angestellten Versuchen angenommen wurde, wäre allerdings in einem solchen Falle eine Überhitzung nicht möglich, dagegen ist es offenbar ohne weiteres möglich, eine einzelne Stelle des Dampfraumes — eine solche stellt ja eigentlich ein Überhitzer nur vor — durch gesonderte Wärmezuführung auf eine höhere Temperatur zu bringen, gerade so, wie es ja möglich ist, etwa von einer Stange Zinn, welches doch ein vorzüglicher Wärmeleiter ist, durch lebhafte Wärmezuführung an einem Ende ein Stück abzuschmelzen, ohne daß deshalb die ganze Stange Zinn auf die Schmelztemperatur erhitzt wird.

Auf die Vorteile der Anwendung überheizten Dampfes soll später bei der Besprechung der Heißdampfmaschinen ausführlich hingewiesen werden.<sup>1)</sup>

**Rauchgasvorwärmer.** Das Bestreben, die in den Kohlen steckende Wärme in einer vorhandenen Dampfkesselanlage möglichst gut auszunutzen, führte zur Anwendung einer Vorrichtung, welche mit einem Überhitzer zwar äußerlich eine gewisse Ähnlichkeit hat, von ihm aber doch grundsätzlich verschieden ist und daher nicht mit einem solchen verwechselt werden darf. Es ist dies eine Einrichtung zum Vorwärmen des Kesselspeisewassers, welche Rauchgasvorwärmer oder häufig auch noch mit dem englischen Worte Economiser (sprich Economeiser), zu deutsch eigentlich „Sparer“ genannt wird.

Nehmen wir an, es liege ein Dampfkessel vor, welcher für die vorhandene Dampfmaschinenanlage gerade die hinreichende Menge Dampf liefert. Mit der Zeit stelle sich die Notwendigkeit ein, die Dampfmaschinenanlage zu vergrößern, und es trete nun die Frage an uns heran, auf welche Weise die für die erhöhte Maschinenleistung benötigte größere Dampfmenge geschafft werden könnte. Ist aus wirtschaftlichen Gründen oder wegen Platzmangels von der Anlage eines neuen oder eines zweiten Kessels abzusehen, so bleibt nur die eine Möglichkeit übrig, den Kessel stärker anzustrengen, das heißt durch Verbrennen einer größeren Kohlenmenge eine lebhaftere Verdampfung zu erzielen. Die hierdurch erzielte höhere Temperatur der Verbrennungsgase wird nun aber bei dem vorhandenen kleinen Kessel schlecht ausgenutzt (vgl. S. 48), und die Ver-

1) Siehe Ann. S. 49.

brennungsgase entweichen daher mit hoher Temperatur und demgemäß auch mit hohem Wärmegehalte durch den Schornstein ins Freie. Diesen Wärmegehalt der Verbrennungsgase wenigstens teilweise für den Dampfkesselbetrieb noch auszunutzen und dadurch die ganze Dampferzeugung wirtschaftlicher zu gestalten, dazu dient nun jener obengenannte Speisewasservorwärmer oder Economiser. Seine Einrichtung besteht darin, daß die noch sehr heißen Feuergase („Rauchgase“) an der Stelle, wo sie aus der Dampfkesselanlage herausstreten und in den Schornstein hineingeleitet werden (man bezeichnet die Stelle mit dem eigentümlichen Namen „Fuchs“), eine Verbindung von Röhren umspülen, durch welche das Kesselspeisewasser hindurchgeleitet wird, ehe es in den Kessel selber hineingelangt. Das Speisewasser kommt auf diese Weise nicht kalt, sondern schon hoch erwärmt (unter Umständen sogar schon mit einer der Dampfspannung entsprechenden Temperatur) in den Kessel, so daß der größte Teil der „Flüssigkeitswärme“ bereits in dem Vorwärmer auf das Wasser übergeht.

Es könnte vielleicht zweifelhaft erscheinen, ob eine solche Anlage nicht ebenso teuer ist als ein neu hinzugefügter Kessel mit gleich großer Heizfläche. Das ist jedoch nicht der Fall. Der Vorwärmer besteht, wie erwähnt, aus einer großen Anzahl enger Röhren, die, nach den Regeln der Festigkeitslehre, eben wegen ihres geringen Durchmessers bei gleicher Druckbeanspruchung viel dünnerne Wandungen haben können als die Dampfkessel selber, so daß also auch die Wärme leichter von den heißen Gasen auf das Wasser übergehen kann. Außerdem ist zu bedenken, daß diese Röhre ganz mit Wasser gefüllt sind, im Gegensatz zum Dampfkessel, in welchem neben dem Wasser auch noch eine reichliche Menge Dampf vorhanden sein muß. Die Folge davon ist, daß die gesamte Oberfläche der Röhre des Rauchgasvorwärmers für die Übertragung der Wärme von den Gasen auf das Wasser sehr gut ausgenutzt werden kann. Aus alledem wird es verständlich erscheinen, wenn gesagt wird, daß die Vorwärmerheizfläche wesentlich billiger ist als eine gleich große Heizfläche eines Dampfkessels, und da sich ein derartiger Vorwärmer in vielen Fällen leicht in die vorhandene Kesselanlage wird einbauen lassen, so dürfte sich seine Anwendung namentlich dort empfehlen, wo man gezwungen ist, mit einem kleinen Dampfkessel eine verhältnismäßig große Dampfmenge zu erzeugen.

## Dritter Abschnitt.

## Die Dampfmaschine.

## Erstes Kapitel.

## Allgemeine Wirkungsweise der Dampfmaschine.

Die ersten Versuche, die in dem gespannten Wasserdampfe steckende Energie zur Ingangsetzung von allerlei Vorrichtungen und Spielereien auszunutzen, liegen wohl schon mehr als 2000 Jahre zurück, und trotz-

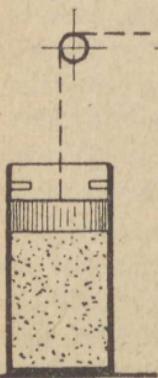


Abb. 12.

dem dauerte es bis an das Ende des 17. Jahrhunderts, ehe die erste Vorrichtung ersonnen wurde, welche mit unserer heutigen Dampfmaschine wenigstens eine entfernte Ähnlichkeit hatte. Der französische Emigrant Dionysius Papin, später Professor in Marburg, war es, welcher, angeregt durch die Entdeckung Torricellis über den Druck der Außenluft und die Versuche Otto von Guericke zur Herstellung eines luftleeren Raumes vermittelst der Luftpumpe, im Jahre 1690 auf den Gedanken kam, einen in einem Zylinder sich bewegenden Kolben vermittelst Wasserdampfes zur Arbeitsleistung zu veranlassen. Freilich geschah diese

Arbeitsleistung noch in gänzlich anderer Weise, als dies heute bei unseren Dampfmaschinen der Fall ist. Die Gerippskizze (Abb. 12) veranschaulicht das Wesen der Papinschen Vorrichtung. In einem Zylinder wurde unter dem an die Wandungen eng anschließenden Kolben eine kleine Menge Wasser verdampft, wobei der Kolben durch ein Gewicht so lange in die Höhe gezogen wurde, bis ein Anschlag seine weitere Aufwärtsbewegung verhinderte. Wurde nun nach Verdampfung des Wassers die Wärmequelle unter dem Zylinder fortgenommen, so verdichtete sich der Dampf allmählich, es entstand unter dem Kolben ein starker Unterdruck und der auf der Oberseite des Kolbens lastende Druck der Außenluft trieb den Kolben in den Zylinder hinein und war so imstande, ein am anderen Ende des Fadens hängendes Gewicht zu heben und dadurch mechanische Arbeit zu leisten.

Ungünstige Verhältnisse verhinderten Papin seine Erfindung auszunutzen, und erst dem Engländer Newcomen war es vorbehalten, im

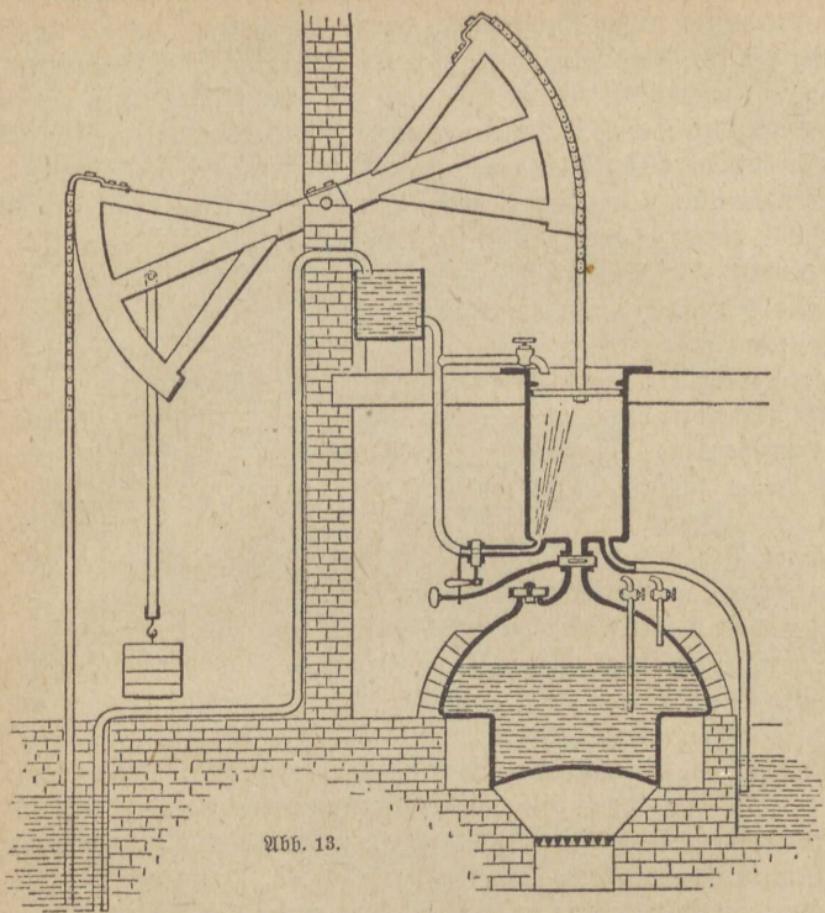


Abb. 13.

Jahre 1705 genau nach dem Grundsätze Papins die erste wirkliche Dampfmaschine zu erbauen. Auch die Maschine von Newcomen war noch eine, wie man sie zu nennen pflegt, atmosphärische Maschine, denn auch bei ihr war es, gerade so wie bei Papin, eigentlich nicht der Dampf, der die Arbeit verrichtete, sondern der Druck der Außenluft (Atmosphäre), welche einen Kolben in einen Zylinder hineindrückte, nachdem unter dem Kolben im Zylinder durch Verdichtung von Wasserdampf ein starker Unterdruck geschaffen war.

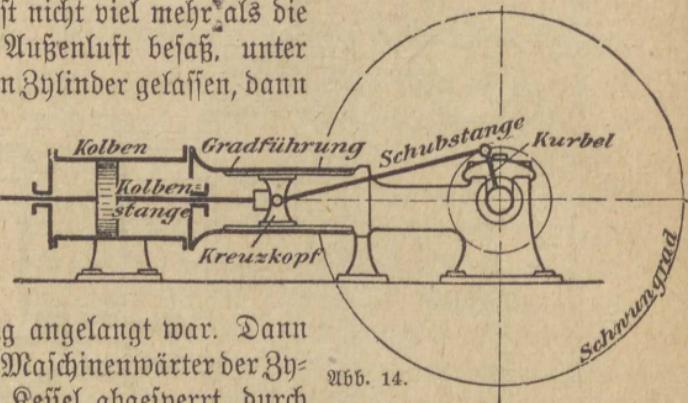
Abb. 13 gibt eine Darstellung der Maschine von Newcomen. Man erkennt leicht den Kolben, welcher sich in dem Zylinder bewegt. Unter dem Zylinder, mit ihm unmittelbar zusammenhängend, befand

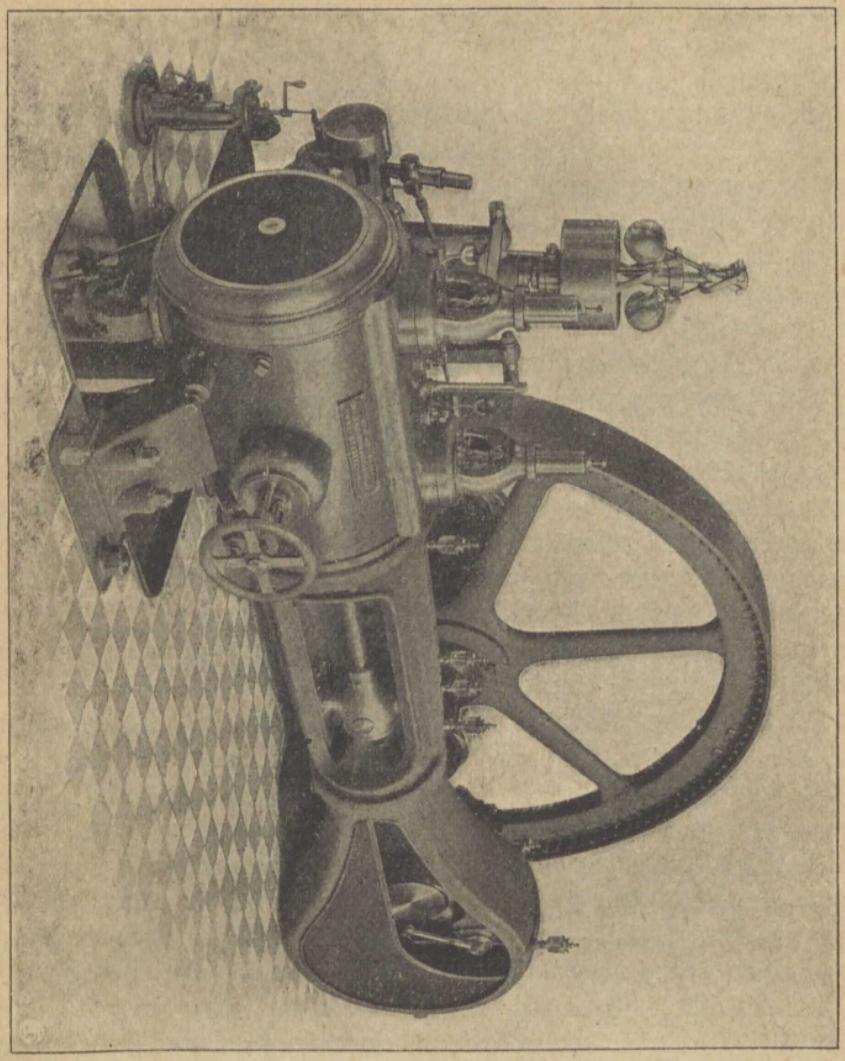
sich ein Kessel, dessen Wasserinhalt durch eine darunter befindliche Feuerung (in der Abbildung nur durch den Querschnitt des Feuerrostes bezeichnet) verdampft wurde. Wie man sieht, stand der Kolben mit einem schwingenden Hebel, Balancier genannt, in Verbindung, dessen andere Seite mit dem Gestänge einer zu Bergwerkszwecken bestimmten tiefstehenden Pumpe verbunden war. Wurde der in dem Kessel entwickelte Dampf, der meist nicht viel mehr als die Spannung der Außenluft besaß, unter den Kolben in den Zylinder gelassen, dann zog die linke schwerere Seite des Balanciers den Kolben in die Höhe, bis er in seiner höchsten Stellung angelangt war. Dann wurde durch den Maschinenwärter der Zylinder von dem Kessel abgesperrt, durch

Öffnung eines anderen Hahnes, wie in der Abbildung ersichtlich, Wasser in den Zylinder eingespritzt und hierdurch der unter dem Kolben befindliche Dampf rasch und ziemlich vollständig verdichtet. Der auf der Oberseite des Kolbens lastende Druck der Außenluft trieb nun den Kolben in den Zylinder hinein, und diese Bewegung wurde benutzt, um auf der anderen Seite Wasser vermittels eines in der Abbildung nicht mehr ersichtlichen Pumpenkolbens heben zu lassen.

Wie man sieht, war diese Maschine, die noch dazu nur einem ganz besonderen Zweck, dem Heben von Wasser, diente, noch sehr unvollkommen. Der ganze Gang der Maschine war von der Geschicklichkeit und Aufmerksamkeit des Maschinisten abhängig, welcher durch Öffnen und Schließen der verschiedenen Hähne die einzelnen Abschnitte in dem Maschinengange einzuleiten hatte. Ihre Kraftleistung war bei dem verhältnismäßig geringen Drucke der Außenluft eine sehr geringe, und schließlich bestand vielleicht der Hauptübelstand der Maschine darin, daß sie selbst für diese geringe Kraftleistung unverhältnismäßig viel Dampf brauchte. Durch das vorher erwähnte Einspritzen kalten Wassers kühlte sich nämlich der Zylinder jedesmal sehr stark ab und der neueintretende Dampf mußte diese kalten Wände stets erst wieder auf die Dampftemperatur erwärmen, wobei sich bis zu vier Fünftel des verwendeten Dampfes an den Wänden niederschlug.

Abb. 14.





Trotz dieser Mängel erwies sich damals die Maschine für ihre Zwecke doch als sehr nützlich und wurde auch mehrfach ausgeführt, bis es dann dem Schotten James Watt gelang, zunächst durch Verbesserung der Maschine von Newcomen, dann aber durch vollständige Umgestaltung etwa um das Jahr 1784 die Dampfmaschine so auszubilden, daß sie nicht mehr nur einem einzigen, ganz besonderen Zwecke diente, sondern sich für alle Zweige der Industrie und Technik zu einer treuen und

unentbehrlichen Helferin entwickelte, welche sie bis in unsere Tage hinein geblieben ist und für viele Zwecke voraussichtlich auch noch lange bleiben wird.

Das Hauptverdienst um die Entwicklung der Dampfmaschine erwarb sich Watt dadurch, daß er zuerst den wichtigen Einfluß der Zylinderwandungen auf den im Zylinder arbeitenden Dampf klar erkannte. Er sah z. B. sehr bald, daß gerade infolge des schon oben erwähnten Wärmeaustausches zwischen dem frisch einströmenden Dampfe und den kurz vorher durch das eingespritzte Kühlwasser abgekühlten Zylinderwandungen bei der Maschine von Newcomen große Wärmeverluste und damit auch Dampfverluste (infolge von Kondensation) verbunden waren. Eine unmittelbare Folge dieser Erkenntnis war es, daß Watt bei seinen Maschinen das Niederschlagen des den Zylinder verlassenden Dampfes in einem besonderen Gefäße, dem (später noch genauer zu beschreibenden) Kondensator, vor sich gehen ließ und schon dadurch einen wesentlich geringeren Dampfverbrauch erzielte, als es bei den Maschinen von Newcomen möglich war. Wie fruchtbringend diese Erkenntnis des Wärmeaustausches zwischen Dampf und Zylinderwandung war, wird später bei der Besprechung der mehrstufigen Expansionsmaschine, der Heißdampfmaschine usw. deutlich hervortreten.

Die Maschine von Watt war auch nicht mehr einfach wirkend, wie die von Newcomen, sondern doppelt wirkend, das heißt der Dampf wirkte abwechselnd auf beide Seiten des Kolbens, und durch die Einführung einer von der Maschine selbst betätigten Steuerung, ferner durch das Hinzufügen von Kurbeltrieb, Schwungrad und Regulator, sowie namentlich durch Anfügen des Kondensators schaffte Watt bereits in ihren Grundzügen fast alle diejenigen Teile, aus denen auch heute noch unsere neuesten Dampfmaschinen zusammengesetzt sind.

Abb. 14 gibt die Gerippskizze, Abb. 15 das Bild einer neueren Dampfmaschine. Die Arbeitsweise einer solchen Dampfmaschine ist bekanntlich die, daß der hochgespannte Dampf zunächst beispielsweise auf die linke Seite des Kolbens tritt, den Kolben also nach rechts schiebt. Dann wird der Dampf durch eine Vorrichtung, Steuerung genannt, auf die rechte Seite des Kolbens geleitet, der Kolben geht wieder nach links und schiebt dabei gleichzeitig den auf der linken Seite des Kolben befindlichen Dampf aus dem Zylinder hinaus. Man nennt derartige Maschinen doppelt-wirkende Maschinen im Gegensatz zu einfachwirkenden Maschinen, bei denen der Dampf den Kolben immer nur nach einer Seite drückt, während

das Zurückdrücken des Kolbens durch die in einem Schwungrad aufgespeicherte lebendige Kraft geschieht. Dieser Teil der Dampfmaschine gibt uns also lediglich eine hin und her gehende Bewegung, welche nun, um die Maschine für alle Zwecke brauchbar zu machen, in eine umlaufende Bewegung umgewandelt werden muß. Es geschieht dies durch den sogenannten Kurbeltrieb. Durch eine die vordere Zylinderwand durchdringende und gegen diese Wand abgedichtete Stange, Kolbenstange genannt, steht der Kolben mit einem außerhalb des Zylinders ebenfalls hin und her gehenden und durch eine besondere Führung gerade geführten Teile, dem sogenannten Kreuzkopf, in Verbindung. Der Kreuzkopf seinerseits ist durch die Schubstange mit dem Ende einer auf der Maschinenwelle befindlichen Kurbel verbunden, und diese Vereinigung von Kreuzkopf, Schubstange und Kurbel ist es nun, die man mit dem Namen Kurbeltrieb zu bezeichnen pflegt. (Näheres über bauliche Einzelheiten der Dampfmaschine siehe des Verfassers Dampfmaschine II, AMuG Bd. 394.)

## Zweites Kapitel.

### Bolldruck- und Expansionsmaschine.

**Bolldruckmaschinen.** Sehen wir nun zu, in welcher Weise der Dampf seine Tätigkeit in der Maschine verrichtet. Die zunächstliegende Arbeitsweise ist offenbar die folgende: Der Dampf tritt zu Beginn des Hubes mit der dem Kessel entsprechenden Spannung in den Dampfzylinder ein und drückt nun während des ganzen Vorwärtsschreitens des Kolbens, also während des ganzen Hubes, mit gleichbleibender Kraft auf den Kolben. Dasselbe geschieht dann beim Zurückgehen des Kolbens auf der entgegengesetzten Kolbenseite, wobei, wie schon erwähnt, auf der zuerst betrachteten Kolbenseite der Dampf durch geeignete Öffnungen aus dem Zylinder entweicht. Eine solche Maschine nennt man eine Bolldruckmaschine, ihre Anwendung ist selten, aus Gründen, die sofort erläutert werden sollen.

Betrachten wir uns einmal (Abb. 16) das theoretische Diagramm einer solchen und zwar sehr langsam gehenden Maschine, das heißt den Linienzug, den der mit der einen z. B. der linken Zylinderseite in Verbindung stehende Indikator (siehe S. 9 ff.) bei einem Hin- und Hergange des Kolbens aufzeichnen würde. Wird der Dampf in die linke Seite des Zylinders eingelassen, so geht der Stift des Indikators in die Höhe,

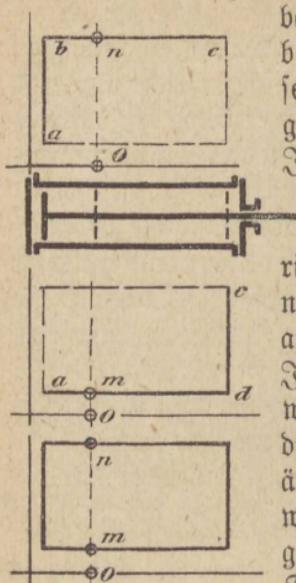


Abb. 16.

beschreibt also die lotrechte Linie  $a - b$ . Der Kolben beginnt nach rechts zu gehen, und da nach Voraussetzung die Spannung des Dampfes während des ganzen Kolbenhubes dieselbe bleibt, beschreibt der Indikatorstift beim Vorwärtsschreiten des Kolbens die wagerechte Linie  $b - c$ .

Nun dreht der Kolben um. Die Auslaßvorrichtung öffnet sich und die Folge ist, daß die Spannung fällt, wenn der Dampf ins Freie entweicht, auf die Spannung der Außenluft erniedrigt, der Indikator beschreibt die Linie  $c - d$ . Da auch hier während des ganzen Kolbenrückganges die auf dieser Zylinderseite herrschende Spannung sich nicht ändert, beschreibt der Indikatorstift auch hier eine wagerechte Linie, die Linie  $d - a$ , und nun beginnt das Spiel von neuem. Man sieht also: das Diagramm einer solchen Volldruckmaschine wäre theoretisch ein genaues Rechteck. Daß die Größe

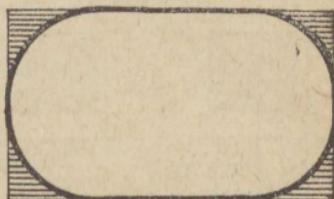
der Arbeitsleistungen in diesem Falle ganz besonders einfach zu berechnen ist, ergibt sich aus den früher (S. 11 u. S. 14) angestellten Betrachtungen über den Indikator und seine Wirkungsweise. Wir brauchen ja nur die Größe der Kolbenfläche in Quadratzentimetern festzustellen und mit ihr den tatsächlich auf den Kolben ausgeübten Dampfdruck in Kilogramm für den Quadratzentimeter zu multiplizieren. Wie man aus Abb. 16 erkennt, herrscht auf der linken Seite des Kolbens die absolute Dampfspannung  $o - n$ , während gleichzeitig auf der rechten Seite die Spannung  $o - m$  herrscht. Der tatsächlich auf den Kolben ausgeübte Druck oder, wie man auch wohl sagt, der Kolbenüberdruck, findet sich also aus der Differenz dieser beiden Drücke und ergibt sich in dem betreffenden Maßstabe des Diagramms aus der Höhe der Linie  $o - n$  weniger  $o - m = mn$ . Beträgt z. B. die Kolbenfläche 1000 qcm und ergibt sich in dem Maßstabe des Diagramms  $mn = 4$  kg für den Quadratzentimeter, so ist die Kraft, welche der Dampf auf den Kolben ausübt,  $1000 \times 4 = 4000$  kg;  $bc$  stellt bekanntlich die Länge des Kolbenhubes dar, und ist z. B. der Hub des Kolbens gleich 1 m, so stellt das Diagramm eine Arbeit vor von (Kraft mal Weg  $=$ )  $4000 \times 1 = 4000$  mkg.

**Unzweckmäßigkeit der Volldruckmaschinen.** Warum werden nun

derartige Volldruckmaschinen nur selten und nur zu untergeordneten Zwecken ausgeführt? Einfach deshalb, weil eine solche Maschine viel zu unwirtschaftlich arbeitet, und zwar aus folgenden Gründen: Zunächst wurde vorher schon bemerkt, daß das eben besprochene Diagramm das Diagramm einer sehr langsam gehenden Volldruckmaschine sei. Läuft die Maschine nämlich einigermaßen rasch, so ändert sich das Diagramm ganz wesentlich. Die den Eintritt des Dampfes in den Zylinder und seinen Austritt aus dem Zylinder regelnden Maschinenteile — Schieber oder Ventile — schließen sich immer mehr oder weniger allmählich. Während dieses allmählichen Öffnens und Schließens, welches bei rasch laufenden Maschinen allerdings in verhältnismäßig kurzer Zeit vor sich geht, muß sich aber der Dampf sowohl beim Einströmen in den Zylinder wie beim Ausströmen aus dem Zylinder teilweise durch enge Schlitze hindurchpressen. Hierzu ist Arbeit erforderlich, und zwar um so mehr Arbeit, in je kürzerer Zeit dieses Hindurchpressen geschehen soll. Natürlich geht diese Arbeit für die Arbeitsleistung des Dampfes im Zylinder verloren, und so kommt es, daß bei einer einigermaßen raschlaufenden Maschine die Diagramme keine solchen scharfen Ecken aufweisen, wie in Abb. 16. Es fehlt eben gerade in den vier Eckpunkten derjenige Teil der Arbeit, der für das Hindurchpressen des Dampfes verwendet wurde (man spricht von einer „Drosselung des Dampfes“), und das Diagramm bekommt dann etwa eine Form, die sich mehr oder weniger der Abb. 17 annähert. Die durch die gestrichelten Flächen dargestellten Arbeitsverluste würden sich nur vermeiden lassen, wenn die Abschlußorgane — Schieber oder Ventile — ganz plötzlich auf- und wieder zuspringen würden, was aber bei raschlaufenden Maschinen infolge von Ausführungsschwierigkeiten nicht angängig ist. Die Größe der Arbeitsverluste in mkg ergibt sich durch den Inhalt der gestrichelten Flächen aus dem Maßstabe des Diagrammes.

Die Unwirtschaftlichkeit einer solchen Volldruckmaschine ergibt sich aber auch noch aus einem anderen Grunde. Angenommen selbst, daß das Diagramm sei ein vollständiges Rechteck, so ist doch zu erwägen, daß der Dampf, wenn er seine Arbeit im Zylinder verrichtet, das heißt den Kolben vorwärts gedrückt hat, mit seiner vollen Austrittsspannung aus dem

Abb. 17.



Zylinder ins Freie entweicht. Das ist ganz offenbar eine Verschwendungen. Würde man einen anderen Zylinder verwenden, welcher denselben Querschnitt hat, aber wesentlich länger ist als der erste Zylinder, so könnte der Dampf, nachdem er diesen zweiten Zylinder genau so weit gefüllt hat, als es dem Inhalt des ersten Zylinders entspricht, noch viel mehr Arbeit leisten

dadurch, daß er sich ausdehnt (expandiert). Seine Spannung würde zwar allmählich abnehmen, sie würde aber noch eine ganze Weile hindurch hoch genug sein, um den Kolben vorwärts zu treiben und dadurch Arbeit zu leisten. Man bekäme dann also mit derselben Dampfmenge und demselben Dampfgewichte wesentlich mehr

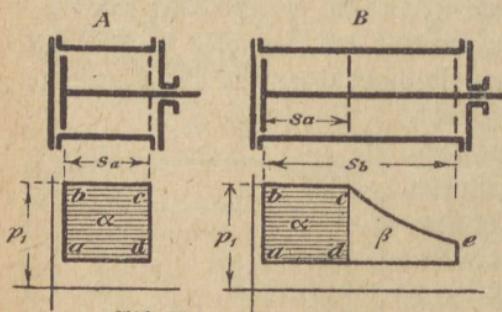


Abb. 18.

Arbeit als im ersten Falle, so daß eine solche Maschine, die man dann **Expansionsmaschine** nennt, offenbar viel wirtschaftlicher arbeitet als eine sogenannte **Volldruckmaschine**.

**Expansionsmaschinen.** Es seien A und B (Abb. 18) zwei solche eben besprochene Zylinder von genau gleichem Durchmesser, aber wesentlich verschiedener Länge, und zwar betrage die Länge des Kolbenhubes bei dem einen Zylinder  $s_a$ , bei dem anderen  $s_b$  m. In beiden Zylindern ströme nun Dampf aus einem und demselben Kessel z. B. von der Spannung  $p_1 = 5$  at abs auf die linke Seite des Kolbens und drücke den Kolben nach rechts, wobei angenommen werden mag, daß die rechte Seite des Kolbens mit der Außenluft in Verbindung steht. Hat der Kolben in beiden Zylindern den Weg  $s_a$  zurücklegt, so ist auch offenbar die von den beiden Kolben bis dahin geleistete Arbeit genau dieselbe, nämlich gleich dem Rechteck  $a \cdot b \cdot c \cdot d$ . Sperrt man nun den Dampfzufluß ab, so kann der Kolben in A keine weitere Arbeit mehr leisten, da er am Ende seines Hubes angekommen ist, wohl aber der in B. Die Spannung des Dampfes nimmt allerdings, wie leicht einzusehen ist, ständig ab, trotzdem aber ist, wenn der Kolben im Zylinder B schließlich an seinem Endpunkte angekommen ist, zu der Diagrammsfläche  $a \cdot b \cdot c \cdot d$  doch ein nicht unbeträchtlicher Teil hinzugekommen. Mit anderen Worten: der Kolben hat auch noch nach Zurücklegung des Weges  $s_a$  eine ganz erhebliche Arbeit geleistet, die um so wertvoller ist, als sie ohne jeden weiteren Aufwand von Wärme, also kostenlos hinzugewonnen wurde.

Will man die neu hinzugekommene Fläche vorher theoretisch berechnen, so müßte man wissen, in welcher Weise oder, anders ausgedrückt, nach welcher Kurve die Spannung des Dampfes mit zunehmendem Kolbenwege, das heißt mit zunehmendem Volumen abnimmt. Wäre Zylinder und Kolben vollkommen wärmeundurchlässig, so müßte nach unseren früheren Betrachtungen die Kurve  $c-e$  offenbar eine Adiabate sein (S. 23), da während der Ausdehnung Wärme weder zugeführt noch abgeführt wird. In Wirklichkeit haben aber die durch den Eintritt des hochgespannten heißen Dampfes erhitzten Zylinderwände einen nicht unbedeutenden Einfluß auf die Art der Ausdehnung, und so kann man für die meisten Zwecke genügend genau annehmen, daß die Ausdehnung sich in derselben Weise vollzieht, als wenn ein Gas unter den gleichen Verhältnissen sich isothermisch, das heißt nach dem Gesetze von Boyle (S. 22) ausdehnt (gleichseitige Hyperbel; s. S. 23). Mit anderen Worten: es wird die Spannung in derselben Weise abnehmen, als das Volumen zunimmt.

Es kann hier nicht scharf genug betont werden, daß diese Kurve keine wirkliche „Isotherme“, das heißt die Kurve einer Zustandsänderung bei gleichbleibender Temperatur ist. Wir hatten ja früher gesehen (S. 31 ff), daß gesättigter Wasserdampf wesentlich andere Gesetze befolgt als ein Gas, daß z. B. bei zunehmendem Volumen seine Spannung stets dieselbe bleibt, falls seine Temperatur sich nicht ändert. Trägt man zur Darstellung der isothermischen Zustandsänderung gesättigten Wasserdampfes die Größen der einzelnen Volumina in wägerechter, die jedesmal dazu gehörige Spannung dagegen in senkrechter Richtung auf (Abb. 19), so erhält man nicht wie bei den Gasen eine gleichseitige Hyperbel (S. 23), sondern einfach eine wagerechte gerade Linie. (Vgl. Versuch 5, S. 32.)

Wenn daher oben gesagt wurde, daß die Ausdehnung des Dampfes in der Dampfmaschine sich annähernd nach einer gleichseitigen Hyperbel vollzieht, so muß nur beachtet werden, daß diese Art der Ausdehnung im vorliegenden Falle keine Zustandsänderung bei gleichbleibender Temperatur ist!<sup>1)</sup>

Dass derjenige Teil der Arbeit, welchen man durch mehr oder weniger

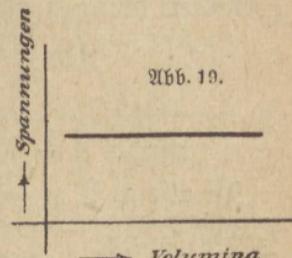


Abb. 19.

1) Vgl. Anm. S. 49.

weitgehende Ausnutzung der Dampfdehnung noch dazugewinnen kann, gar nicht unbedeutend ist, zeigen folgende Zahlen. Es sei (Abb. 62 a. S. 18) die durch Volldruckarbeit erzielte Größe der Diagrammfläche  $\alpha = 1$ . Dann ist unter der Voraussetzung, daß der Dampf beim Rückgange des Kolbens ins Freie entweicht, die Größe der Diagrammfläche  $\beta$ , das heißt diejenige Arbeit, welche man durch Ausdehnung des Dampfes noch dazugewinnen kann, in abgerundeten Zahlen:

$$\text{für } \frac{s_b}{s_a} = 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6$$

$$\beta = 0,0 \quad 0,6 \quad 0,9 \quad 1,0 \quad 1,1 \quad 1,2$$

$$\text{mithin } \alpha + \beta = 1,0 \quad 1,6 \quad 1,9 \quad 2,0 \quad 2,1 \quad 2,2.$$

Ist also z. B.  $s_b = 4 s_a$ , das heißt wird der Zylinder nur zu  $\frac{1}{4}$  mit Dampf gefüllt — man sagt, die Maschine arbeite mit  $\frac{1}{4}$  ( $\frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \dots$ ) Füllung —, so erhält man ohne neuen Wärmeaufwand schon etwa doppelt soviel Arbeit, als wenn man dasselbe Dampfgewicht in einer Volldruckmaschine ausgenutzt hätte.

### Drittes Kapitel.

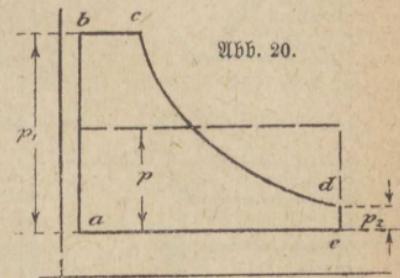
#### Maschinen mit mehrstufiger Dampfdehnung.

**Nachteile weitgehender Dampfdehnung.** Nach den eben angestellten Betrachtungen scheint es nun so, als ob eine Dampfmaschine immer sparsamer, also wirtschaftlicher arbeitet, je weiter man den Dampf sich ausdehnen lässt. Dies ist aber nur in beschränktem Maße der Fall. Läßt man nämlich den Dampf sich sehr weit ausdehnen, seine Spannung und Temperatur also sehr stark abnehmen, so stellen sich wieder andere Übelstände ein, welche eine Abänderung des Verfahrens ratsam erscheinen lassen. Der zunächst eintretende Übelstand ist ganz ähnlich demjenigen, der schon bei der Maschine von Newcomen (S. 55) hervorgehoben wurde. Dehnt sich der Dampf sehr stark aus, so verliert er, wie wir gesehen hatten, nicht bloß an Spannung, sondern auch an Temperatur. Die Folge davon ist, daß auch die Zylinderwandungen im Verlaufe der Ausdehnung sich abkühlen, und wenn nun bei der Umkehr des Kolbens der neu eintretende, hochgespannte, also heiße Dampf mit diesen verhältnismäßig kühlen Wandungen in Berührung kommt, so gibt er sofort einen Teil seiner Wärme an diese Wandungen ab, er verliert dadurch an Spannung, und die Folge davon ist ein unter Umständen nicht unbeträchtlicher Arbeitsverlust.

Betrachtet man die beiden nebenstehenden Diagramme (Abb. 20), welche, des besseren Verständnisses wegen ineinander gezeichnet, genau die gleiche Arbeit darstellen, so ergibt sich ein weiterer Übelstand der Expansionsmaschine gegenüber der Volldruckmaschine. Wie man sofort erkennt, wird der Gang einer Volldruckmaschine ein gleichförmigerer sein als der Gang einer Expansionsmaschine von sonst gleicher Leistung, und zwar aus dem Grunde, weil eben bei der Volldruckmaschine der von dem Dampf auf den Kolben ausgeübte Druck während des ganzen Kolbenhubes gleichmäßig =  $p$  bleibt, während er bei der Expansionsmaschine in weiten Grenzen, nämlich von  $p_1$  bis  $p_2$  schwankt.

Aus derselben Abb. 20 erkennt man auch noch einen dritten Übelstand. Bei einer Volldruckmaschine gleicher Leistung braucht das sogenannte Gestänge der Maschine, das heißt Kolbenstange, Kreuzkopf, Schubstange, Kurbel, ebenso aber auch die anderen, ruhenden Teile der Maschine nur so stark gemacht zu werden, daß sie den auf die Flächeneinheit des Kolbens ausgeübten Druck  $p$  auszuhalten vermögen. Die Expansionsmaschine dagegen, die sonst ganz dieselbe Leistung ergibt, muß, wie man aus der Abb. 20 erkennt, in allen ihren Teilen wesentlich stärker ausgeführt werden, denn alle die vorher genannten Teile müssen stark genug sein, um bei Beginn des Kolbenhubes dem größeren Drucke  $p_1$  standhalten zu können, der unter Umständen ein Mehrfaches von dem Drucke  $p$  einer Volldruckmaschine gleicher Leistung betragen kann. Die Maschine wird also schwer, die Abmessungen des Gestänges können unter Umständen bis an die Grenzen der Ausführbarkeit steigen. Durch das fortwährende Hin- und Hergehen der schweren Maschinenteile treten starke Erschütterungen auf, welche starke Fundamente nötig machen, kurzum die Maschine wird teuer, und somit geht ein unter Umständen nicht unbedeutlicher Teil der durch die Ausdehnung des Dampfes gewonnenen Ersparnisse durch höhere Anlage- und Abschreibungskosten wieder verloren.

Es ist klar, daß alle diese vorgenannten Übelstände in um so erhöhterem Maße eintreten werden, je höher die Eintrittsspannung des Dampfes ist und je weiter gleichzeitig die Ausdehnung des Dampfes getrieben wird. Es fragt sich nun, gibt es nicht ein Mittel, die durch die weitgehende



Ausdehnung des Dampfs erzielbaren Vorteile auszunutzen, ohne die obenerwähnten Nachteile in ihrem vollen Umfange in Kauf nehmen zu müssen? Ein solches Mittel gibt es nun in der Tat, und zwar besteht es

in der Anwendung von Maschinen mit sogenannter mehrstufiger Dampfdehnung.

### Mehrstufige Dampfdehnung.

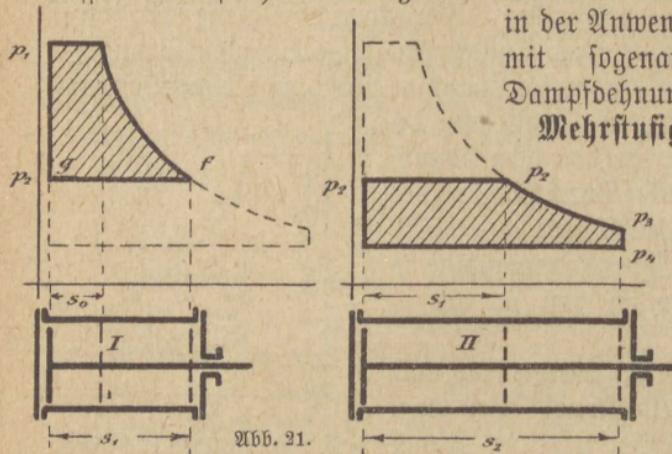


Abb. 21.

Es liege die Aufgabe vor, eine Dampfmaschine zu bauen, welche nach dem Diagramm abcde (Abb. 20) arbeitet. Das nächstliegende wäre offenbar, einen

Zylinder anzuwenden und in diesem Zylinder das Diagramm sich abspielen zu lassen. Man würde also während des Kolbenhubes bc den Dampf in den Zylinder einströmen lassen, hierauf die Einströmung unterbrechen und nun den Dampf bis zum Punkte d sich ausdehnen lassen, worauf nach Öffnen des Auslaßventils während des Kolbenrückganges der Dampf ins Freie entweichen würde. Da nun bei dieser Arbeitsweise alle die obengenannten Nachteile in ziemlich hohem Maße eintreten würden, soll die Arbeitsweise folgendermaßen umgestaltet werden.

Wir führen die Maschine nicht mit einem Zylinder, sondern mit zwei Zylindern aus, und zwar in der Weise (Abb. 21), daß wir zu dem bei der ersten Ausführung verwendeten Zylinder mit dem Kolbenhube  $s_1$  einen zweiten von genau demselben Durchmesser, aber wesentlich fürzerem Hub  $s_2$  hinzufügen. Nehmen wir der Einfachheit halber an, daß die Maschine nur einfach wirkend ist, das heißt, daß sich die Arbeitsvorgänge nur auf einer Kolbenseite (etwa der linken) abspielen, während die rechte Kolbenseite mit der Außenluft in Verbindung steht, so ist die Arbeitsweise der Maschine die folgende: Der Dampf strömt zunächst in den Zylinder I mit seiner vollen Eintrittsspannung ein. Nachdem der Kolben den Weg  $s_0$  zurückgelegt hat, wird der Dampf abgesperrt und beginnt sich auszudehnen, bis mit dem Ende des Kolbenhubes  $s_1$  die Ausdehnung im Punkte f vorläufig beendet ist. Wenn nun der

Kolben umdreht, so sorgen wir dafür, daß er in demselben Maße, wie der Kolben den Weg  $f \sim g = s_1$  zurücklegt, bei gleichbleibender Spannung, etwa durch die in einem Schwungrad aufgespeicherte lebendige Kraft, in den zweiten Zylinder hineingedrückt wird. Ist dann der Kolben I in seiner Ausgangsstellung wieder angekommen, so hat offenbar der Kolben im Zylinder II den entsprechenden Hub  $s_1$  zurückgelegt, und wenn wir nun den Dampf im Zylinder II sich noch weiter ausdehnen und dann beim Rückgange des Kolbens II den ausgedehnten Dampf ins Freie entweichen lassen, so haben wir weiter nichts getan, als daß wir das Diagramm sozusagen in zwei Teile zerlegt haben. Im Zylinder I dehnte sich der Dampf aus von der Spannung  $p_1$  bis zur Spannung  $p_2$ : mit dieser Spannung ging er hinüber in den Zylinder II, dehnte sich hier aus bis zur Spannung  $p_3$  und strömte dann mit der der Außenluft entsprechenden Spannung  $p_4$  ins Freie. Legt man die beiden gestrichelten Diagrammteile zusammen, so ergibt sich offenbar dieselbe Diagrammfläche, also auch dieselbe Arbeit, als wenn wir das ganze Diagramm sich in einem und demselben (z. B. in dem zweiten) Zylinder hätten abspielen lassen. Da der Dampf im Zylinder I mit hohem Drucke, im Zylinder II dagegen mit niedrigem Drucke arbeitet, nennt man Zylinder I den Hochdruckzylinder, Zylinder II den Niederdruckzylinder, und da die beiden Zylinder unmittelbar zusammengehören, also gewissermaßen miteinander verbunden sind, nennt man eine derartige Maschine Verbundmaschine (im Betriebe häufig noch mit dem englischen Namen Compoundmaschine bezeichnet).

Eine andere zweckmäßiger Bezeichnung leitet sich daraus ab, daß man sagt, der Dampf überwinde das Spannungsgefälle  $p_1$  bis  $p_4$  gewissermaßen in zwei Stufen. Man spricht daher von Maschinen mit zweistufiger Dampfdehnung (oder zweistufigen [Expansions-]Maschinen), im Gegensatz zu den früher besprochenen Expansionsmaschinen mit einem Zylinder, die man wohl auch als Maschinen mit einstufiger Dampfdehnung bezeichnet.

Ist die Eintrittsspannung des Dampfes sehr hoch, etwa 12 at und darüber, und wird die Ausdehnung des Dampfes noch weiter getrieben, so kann man statt zweier Stufen und zweier Zylinder auch drei oder noch mehr Stufen mit ebensoviel Zylindern anwenden. Das Diagramm wird dann eben mittels der einzelnen Zylinder nicht mehr in zwei, sondern in drei und mehr Teile zerlegt. Auch hier wollen wir zunächst der Einfachheit halber annehmen, daß die Zylinder alle denselben Durch-

messer, aber verschieden langen Hub haben. Der Dampf geht nacheinander durch die verschiedenen Zylinder hindurch, wobei die Arbeitsweise (z. B. für eine Maschine mit dreistufiger Dampfdehnung) nach den vorhergehenden Erläuterungen aus der nebenstehenden Abb. 22 wohl ohne weiteres verständlich ist.

Die drei Zylinder nennt man in diesem Falle Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruckzylinder.

**Aufnehmer oder Receiver.**

Eine einfache Überlegung zeigt nun aber, daß ein fortlaufendes Arbeiten einer Maschine, wie sie eben bei der Besprechung der Wirkungsweise der Verbundmaschinen angenommen wurde, unmöglich ist. Da nämlich nach der früheren Annahme beim Hinüberdrücken des Dampfes aus dem ersten in den zweiten Zylinder die Kolben sich gleichmäßig schnell bewegen sollen, der Gesamtkolbenhub beim zweiten Zylinder aber wesentlich größer ist als beim ersten Zylinder, so würden die Zeiten für einen solchen Hin- und Hergang bei beiden Kolben nicht übereinstimmen, es müßte also zeitweise der Kolben auf den anderen warten, was natürlich undenkbar ist.

Nun kann man sich aber in die Rohrleitung zwischen Hochdruck- und Niederdruckzylinder dieser Maschine ein Gefäß eingeschaltet denken, welches mit Dampf von der Spannung  $p_2$  (Abb. 21 S. 66) angefüllt und dabei so groß ist, daß ein Hinzukommen oder eine Entnahme einer Dampfmenge, welche einer Zylinderfüllung entspricht, keinen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Spannung in dem Gefäße hat (das Gefäß müßte dann, genau genommen, unendlich groß sein). Jetzt kann die Dauer eines Hin- und Herganges bei den beiden Kolben gleich groß sein. Es wird eben (vorausgesetzt, daß wir eine einfach wirkende Maschine annehmen) bei jeder Umdrehung der Maschine vom Hochdruckzylinder eine Hochdruckzylinderfüllung Dampf von  $p_2$  at in jenes Gefäß hineingedrückt, von dem Niederdruckzylinder dagegen bei jeder

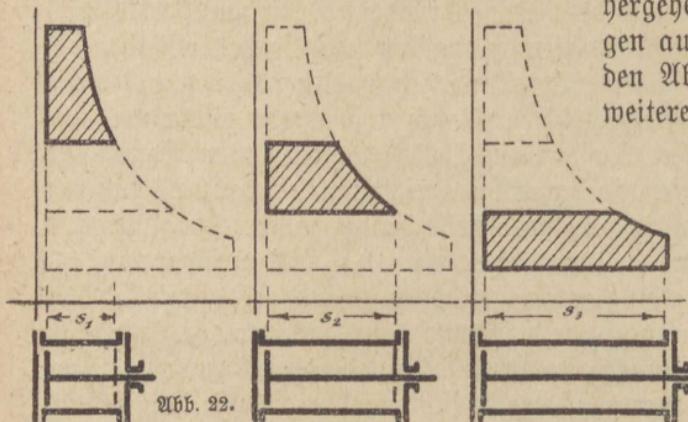


Abb. 22.

Umdrehung der Maschine eine gleich große Dampfmenge von der Spannung  $p_2$  entnommen, so daß, wenn auch das Hinzukommen und die Entnahme einer solchen Dampfmenge zu verschiedenen Zeiten und mit verschiedener Geschwindigkeit geschieht, die Menge des in dem Gefäße enthaltenen Dampfes und somit auch seine Spannung im Mittel stets dieselbe bleibt. Da jenes Gefäß den Dampf zeitweise in sich aufnimmt, bezeichnet man es mit dem Namen Aufnehmer oder (englisch) Receiver (spr. Ressiver).

Dß bei Maschinen mit drei- und vierstufiger Dampfdehnung je ein solcher Aufnehmer zwischen die Zylinder der einzelnen Stufen eingeschaltet werden muß, bedarf nach dem Vorhergehenden wohl kaum einer Erklärung. Man erkennt auch, daß sich durch Zwischenschaltung des Aufnehmers in der Wirkungsweise der Maschine im wesentlichen gar nichts geändert hat. Im Gegenteil, erst durch die Zwischenschaltung des Aufnehmers ist ein regelrechter Gang der Maschine überhaupt ermöglicht worden, und gleichzeitig sind wir auch vollständig unabhängig geworden von der Bewegung der einzelnen Kolben zueinander, mit anderen Worten: es ist jetzt für die Wirkungsweise der Maschine vollständig gleichgültig, unter welchen Winkeln die Kurbeln zum Antriebe der einzelnen Kolben gegeneinander versetzt sind.

Unter Berücksichtigung des Vorhandenseins von Aufnehmern wird nun auch folgendes klar werden: Aus Gründen, die in der bequemeren Ausführung der ganzen Maschine liegen, macht man bei zwei- und mehrstufigen Expansionsmaschinen die Zylinder nicht von gleichem Durchmesser und verschieden langem Hub, sondern umgekehrt von gleichem Hub und verschieden großen Durchmessern. Das ändert aber offenbar an unseren Betrachtungen, im Grunde genommen, gar nichts. Es kommt ja eben nur darauf an, welche Dampfmenge oder, noch genauer gesagt, welches Dampfgewicht bei dem ganzen Vorgange zur Verwendung kommt. Ob aber z. B. bei einer dreistufigen Expansionsmaschine die Zylinderquerschnitte alle die gleiche Größe z. B.  $F$  haben und die Höhe der einzelnen Kolben sich verhalten wie  $s_1 : s_2 : s_3$ , oder ob die Zylinder alle denselben Hub haben, z. B. von der Länge  $s$ , und dafür die Zylinderquerschnitte sich verhalten wie  $s_1 : s_2 : s_3$ , kommt offenbar auf dasselbe hinaus, denn in beiden Fällen verhalten sich die Volumina der Zylinder (d. h. die Produkte aus Zylinderdurchmesser und Kolbenhub) wie  $s_1 : s_2 : s_3$ , und die Volumina der einzelnen Zylinder sind ja allein maßgebend für die Dampf Mengen, welche in den Aufnehmer hineinkommen und aus ihm wieder entnommen werden.

In Wirklichkeit hat der Aufnehmer insofern einen Einfluß auf die Gestaltung der Diagramme, als er natürlich niemals unendlich groß gemacht werden kann, oft genug sogar einfach aus dem Inhalte des Verbindungsrohres zwischen Hochdruck- und Niederdruckzylinder oder Hochdruck- und Mitteldruckzylinder usw. besteht. Die Folge davon ist, daß während des Hineindrückens und ebenso während der Entnahme von Dampf die Spannung im Aufnehmer nicht dieselbe bleibt, so daß also auch die Auslaßlinie des Hochdruckdiagrammes und die Einfachlinie des Niederdruckdiagrammes niemals, wie es hier der Einfachheit wegen angenommen wurde, eine wagerechte gerade Linie sein kann.

### Viertes Kapitel.

#### Vorteile der mehrstufigen Dampfdehnung.

Inwiefern sind nun durch Anwendung mehrstufiger Expansionsmaschinen alle die Übelstände gemildert, welche früher (S. 64 f.) als Folgen der weitgehenden Dampfdehnung erörtert wurden? Der damals zuerst angeführte Übelstand lag in den großen Temperaturschwankungen innerhalb eines und desselben Zylinders. Daß dieser Übelstand durch Anwendung mehrstufiger Dampfdehnung wesentlich gemildert wird, zeigt am besten ein einfaches Beispiel. Der zur Verwendung kommende Dampf habe eine Eintrittsspannung von 7 at abs und dehne sich während des Durchganges durch die Maschine aus bis auf Außenluftspannung, also bis auf eine Spannung von 1 at abs. Wie die Tabelle S. 40 lehrt, hat gesättigter Dampf von 7 at abs eine Temperatur von  $164^{\circ}$ , gesättigter Dampf von 1 at aber eine Temperatur von rund  $100^{\circ}$  C. Würde sich also die Dampfdehnung in einem einzigen Zylinder vollziehen, so würden in diesem Zylinder Temperaturschwankungen von  $64^{\circ}$  auftreten. Teilt man dagegen das Diagramm z. B. in zwei Teile, wendet man also eine Verbundmaschine an, bei welcher der Dampf sich im Hochdruckzylinder von 7 at bis auf etwa 3 at abs ausdehnt, im Niederdruckzylinder dann von 3 at auf 1 at, so sind die Temperaturunterschiede, die in den einzelnen Zylindern vorkommen, schon wesentlich geringer. Da gesättigter Wasserdampf von 3 at eine Temperatur von  $132^{\circ}$  hat, so beträgt das Temperaturgefälle im Hochdruckzylinder  $164 - 132 = 32^{\circ}$ , im Niederdruckzylinder  $132 - 100$ , also ebenfalls  $32^{\circ}$ . Der in den einzelnen Zylindern auf-

tretende Temperaturunterschied ist also genau um die Hälfte verringert, und damit sind natürlich die früher (S. 64) erörterten üblen Folgen einer so starken Temperaturschwankung wesentlich herabgemindert.

Der zweite Übelstand lag in den großen Druckschwankungen während eines Kolbenhubes. Daß diese Druckunterschiede bei Anwendung mehrstufiger Dampfdehnung wesentlich geringer ausfallen als bei der Ausdehnung des Dampfes in einem Zylinder, zeigt ein einfacher Vergleich der betreffenden Diagramme (Abb. 20 und 21 auf S. 65 und 66).

Der dritte Übelstand endlich lag in dem hohen Anfangsüberdruck mit seinen früher erörterten üblen Folgen. Auch hier zeigt ein Vergleich der zugehörigen Diagramme (Abb. 20 und 21), welche Vorteile eine Maschine mit mehrstufiger Dampfdehnung gegenüber einer solchen mit einstufiger Dampfdehnung bietet. Nehmen wir wiederum an, die Maschine arbeite mit einer Eintrittsspannung von 7 at abs und einer Austrittsspannung von 1 at abs. Läßt man das Diagramm sich in einem einzigen Zylinder abspielen so ist der größte tatsächliche Druck, der auf die Flächeneinheit ausgeübt wird, der sogenannte Überdruck,  $7 - 1 = 6$  at, also 6 kg für den Quadratzentimeter. Arbeitet die Maschine dagegen mit zweistufiger Dampfdehnung und verläßt der Dampf den Hochdruckzylinder mit 3 at abs, so ist der größte Überdruck, der auf die Flächeneinheit des Hochdruckkolbens ausgeübt wird,  $7 - 3 = 4$  at, der auf die Flächeneinheit des Niederdruckkolbens ausgeübte Druck dagegen nur  $3 - 1 = 2$  at. Gerade hier im Niederdruckzylinder spielt nun diese Verminderung des höchsten Kolbendruckes eine wichtige Rolle. Eine Betrachtung des Diagramms Abb. 21 II a. S. 66 zeigt nämlich, daß der Niederdruckzylinder irgendeiner Dampfmaschine mit mehrstufiger Dampfdehnung immer gerade genau dieselben Abmessungen (d. h. Durchmesser und Hub) erhalten muß, als wenn man das ganze Diagramm sich in einem einzigen Zylinder hätte abspielen lassen. Nehmen wir nun die Verhältnisse unseres soeben gewählten Beispiels, so ergeben sich auch zahlenmäßig die großen Vorteile der Anwendung mehrstufiger Dampfdehnung. Hat der Zylinder der Maschine mit einstufiger Dampfdehnung (oder, wie wir eben gesehen haben, der Niederdruckzylinder der ebensoviel leistenden Maschine mit zweistufiger Dampfdehnung) einen Querschnitt von 10 000 qcm, dann beträgt bei Anwendung einstufiger Dampfdehnung der höchste auf den Kolben ausgeübte Überdruck abgerundet  $(7 - 1) \times 10\,000 = 60\,000$  kg, beim Niederdruckzy-

linder dagegen nur  $(3 - 1) \times 10000 = 20000$  kg. Das ganze Gestänge der Maschine, Rahmen, Lager usw., alles braucht im zweiten Falle nur für einen Kolbendruck berechnet zu werden, der den dritten Teil des Kolbendruckes beträgt, wie er bei Verwendung einer einstufigen Maschine eintreten würde.

Beim Hochdruckzylinder, der, wie wir gesehen hatten, einen wesentlich kleineren Durchmesser, also auch einen wesentlich kleineren Querschnitt bekommt als der Niederdruckzylinder, ist die Verminderung des Druckes und, damit zusammenhängend, die Ersparnis an Gestängegewicht natürlich ebenfalls nicht unbedeutend. Es lässt sich daher ohne Schwierigkeit so einrichten, daß die größten Kolbenüberdrücke im Hochdruckzylinder und im Niederdruckzylinder ungefähr gleiche Größe bekommen. Mit Ausnahme des Zylinders und des Kolbens selber können dann beide Maschinenseiten, die Hochdruckseite wie die Niederdruckseite, in allen ihren Teilen genau dieselben Abmessungen bekommen, was naturgemäß auf die Billigkeit der Herstellung von großem Einfluß ist. Über weitere bauliche Ausgestaltung mehrzylindriger Dampfmaschinen siehe des Verfassers Dampfmaschine II (ANuG Bd. 394).

### Fünftes Kapitel.

#### Maschinen mit Kondensation.

Bisher war der Einfachheit halber immer angenommen worden, daß, wenn der Dampf im Zylinder seine Tätigkeit verrichtet hatte, er in die freie Luft ausströmt oder, wie man sagt, auspufft. Man nennt daher auch Dampfmaschinen mit derartiger Arbeitsweise Auspuffmaschinen. Ein solches Auspuffen des Dampfes in die freie Luft ist aber aus mehr als einem Grunde unwirtschaftlich. Zunächst nämlich ist zu bedenken, daß, wenn der Dampf in die freie Luft auspufft, er ja naturgemäß auch mindestens die Spannung des Außenluftdruckes, in der Regel sogar eine noch etwas höhere Spannung hat. Nun wissen wir aber aus unserer Tabelle auf Seite 40, daß gesättigter Dampf von Außenluftspannung, also 1 at abs, eine Gesamtwärme von rund 639 WE für je 1 kg Dampf enthält; man würde also bei jedem Kilogramm Dampf, welches arbeitend durch die Maschine hindurchgeht, eine große Wärmenenge nutzlos ins Freie entweichen lassen, ein Übelstand, auf den an späterer Stelle noch einmal ausführlicher hingewiesen werden soll.

Ein zweiter Übelstand solcher Auspuffmaschinen liegt ferner darin, daß der in die freie Luft auspuffende Dampf eben verloren ist, also fortwährend durch neues Kesselspeisewasser ersetzt werden muß. Hat man gutes Kesselspeisewasser in hinreichender Menge zur Verfügung, so ist dieses Unglück allerdings nicht eben groß. Ist ein derartiges Wasser aber schwierig zu beschaffen, so wird eine Wiedergewinnung des aus der Maschine tretenden Dampfes zu einer dringenden Notwendigkeit. Ganz abgesehen davon, daß schon auf dem Lande wirklich gutes Kesselspeisewasser nicht häufig kommt — es muß möglichst frei sein von Säuren und sogenannten „Kesselstein“ bildenden Salzen —, so denke man nur an alle den Ozean befahrenden Schiffe, welche ihre Kessel unmöglich mit Salzwasser speisen und ebensowenig frisches Kesselspeisewasser in genügender Menge für lange Fahrten mit sich führen können. Hier muß also unter allen Umständen der Dampf wiedergewonnen werden, um dann, zu Wasser verdichtet, von neuem zur Kesselspeisung verwendet zu werden. Man bekommt dadurch erstens sehr reines und gutes (sogenanntes destilliertes) Kesselspeisewasser und hat daneben noch den Vorteil, daß man einen nicht unbeträchtlichen Teil der in dem niedergeschlagenen Dampfe enthaltenen Wärme wiedergewinnt, so daß ein solches Niederschlagen des Dampfes auch schon vom wärmetheoretischen Standpunkte aus zu empfehlen ist.

Einen dritten Übelstand der Auspuffmaschinen erkennt man aus der Betrachtung des Diagramms einer solchen Maschine, wie es Abb. 23 darstellt. Wir wissen bereits aus unseren früheren Betrachtungen, daß eine Vergrößerung der Diagrammfläche stets gleichbedeutend ist mit einem Gewinn an Arbeit. Wenn es uns also gelänge, die Ausströmlinie  $de$  tiefer herunterzulegen, das Diagramm also nach unten um das gestrichelte Stück zu vergrößern, so könnte damit sofort ein nicht unbedeutender Arbeitsgewinn erzielt werden. Nimmt man z. B. eine Eintrittsspannung von 6 at abs, eine Austrittsspannung von 0,15 at abs an, entsprechend einer Dampftemperatur von etwa  $50^{\circ}$ , und nimmt man ferner an, daß  $ab = \frac{1}{5} ed$ , daß also die Maschine mit  $\frac{1}{5}$  Füllung arbeitet, so würde der durch die gestrichelte Fläche erzielte Arbeitsgewinn schon beinahe 40% gegenüber derjenigen Arbeitsleistung betragen, welche mit einer unter

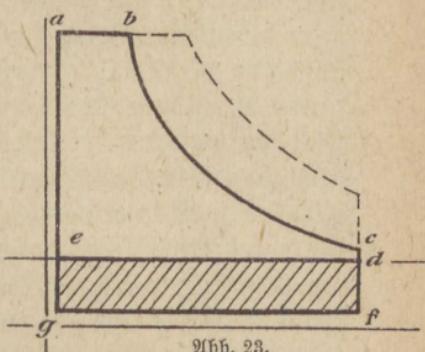


Abb. 23.

sonst gleichen Umständen arbeitenden Auspuffmaschine zu erzielen wäre. Ein solches Tieferlegen der Ausströmlinie ist nun bei Dampfmaschinen verhältnismäßig leicht zu erreichen. Läßt man nämlich den Dampf, nachdem er seine Arbeit im Zylinder verrichtet hat, in einen Raum eintreten, welcher unter Verwendung von Kühlwasser dauernd auf einer sehr niedrigen Temperatur erhalten wird — einen sogenannten Kondensator —, so verdichtet er sich in diesem Raum zu Wasser und erfährt dadurch eine ganz bedeutende Volumenverkleinerung, da z. B. Dampf von 1 at einen ungefähr 1700 mal so großen Raum einnimmt als Wasser. Die Folge davon ist ein starkes Sinken der Spannung auf dieser Seite des Kolbens, wodurch wiederum der von der anderen Seite auf den Kolben ausgeübte Dampfdruck um den durch *eg* dargestellten Betrag erhöht wird. Man erkennt übrigens aus der Abbildung, daß dieser durch die gestrichelte Fläche dargestellte Arbeitsgewinn verhältnismäßig um so größer wird, je kleiner die Strecke *ab* (die Eintrittsdauer) gegenüber der Strecke *ed* (dem Kolbenhub), das heißt, je kleiner die „Füllung“ ist. (Vgl. die punktierte Form des Diagramms.) Es wird sich daher die Anwendung einer solchen Vorrichtung zur Tieferlegung der Ausströmlinie hauptsächlich für solche Maschinen eignen, welche mit sehr weitgehender Dampfdehnung arbeiten, also z. B. gerade für die früher besprochenen zwei- und mehrstufigen Expansionsmaschinen.

Je kälter das zur Verdichtung verwendete Wasser ist, um so vollkommener ist natürlich die Verdichtung. Da aber das Kühlwasser durch den Dampf erwärmt wird, wird auch im Kondensator der Unterdruck unter die Außenluft höchstens so weit vermindert werden können, als es der Temperatur des abfließenden, erwärmten Wassers (bei Kolbendampfmaschinen im Mittel etwa  $45^{\circ} \sim 50^{\circ} = 0,1 \sim 0,125$  at abs) entspricht. Über die bauliche Gestaltung der Kondensatoren siehe des Verfassers Dampfmaschine II (ANuG Bd. 394), Abschnitt Kondensation.

### Sechstes Kapitel.

#### Die wirkliche Form des Diagramms.

Es war wegen der Einfachheit der Darstellung bisher immer angenommen worden, daß sich die Wirkung des Dampfes in der Dampfmaschine nach einem mit mehreren Ecken versehenen Diagramm vollzieht. Das ist nun in Wirklichkeit nicht der Fall. Wollte man versuchen,

eine Maschine nach einem Diagramm wie Abb. 20 (S. 65) oder Abb. 21 (S. 66) arbeiten zu lassen, so würden sich, namentlich bei einigermaßen raschlaufenden Maschinen, dieselben Übelstände einstellen, die früher (Seite 61) bei Gelegenheit der Besprechung der Volldruckmaschinen bereits erwähnt wurden. Am Ende des Hubes könnte z. B. der Dampf nicht sofort von der der Ausdehnung entsprechenden Spannung auf die Eintrittsspannung herab sinken, bei Beginn des Hubes könnte er nicht plötzlich von der Austrittsspannung auf die Eintrittsspannung steigen. Die Folge wäre unter diesen Umständen wiederum das Fehlen der gestrichelten Ecken des Diagramms (Abb. 24), also Arbeitsverlust: die Maschine würde unwirtschaftlich arbeiten. Hier bei der mit Dampfdehnung arbeitenden Maschine kommt außerdem noch ein anderer Umstand hinzu: wollte man die Austrittsspannung bis zum Ende des Kolbenrückganges fort dauern lassen, so würde der ganze zwischen dem Kolben in seiner äußersten Stellung und dem Zylinderdeckel noch verbleibende Raum, der sogenannte „schädliche Raum“ der Maschine, mit verhältnismäßig kühlem Dampf angefüllt bleiben, der neu eintretende heiße Dampf würde sich mit diesem kühleren Dampf vermischen, und die Folge wäre ein neuer Wärme- und damit Arbeitsverlust.

**Voraus- und Voreinströmung.** Um alle diese Übelstände zu vermeiden oder doch nach Möglichkeit zu verringern, pflegt man das gewöhnliche Dampfdiagramm in folgender Weise abzuändern: Schon ehe der Kolben während der Ausdehnung des Dampfes in seiner äußersten Lage angekommen ist, lässt man den Ausströmkanal sich öffnen, so daß der Dampf Zeit hat, bis zum Ende des Hubes und kurz nachher seine Spannung auf die der Ausströmung entsprechende Spannung zu ermäßigen. Man nennt diesen Punkt des Diagramms, an welchem das vorzeitige Ausströmen des Dampfes beginnt, die Vorausströmung (VA Abb. 25).

Bei dieser Gelegenheit mag gleich noch eine weitere Abänderung des Diagramms erwähnt werden. Geradeso wie die Ausströmung lässt man auch die Dampfeinströmung schon vor dem Anfang des betreffenden Kolbenhubes beginnen — man nennt es die Voreinströmung (Punkt VE Abb. 26) —, damit aus einem ähnlichen

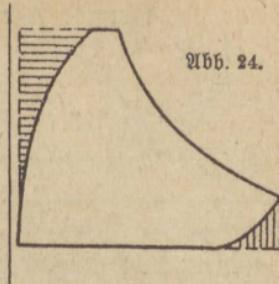


Abb. 24.

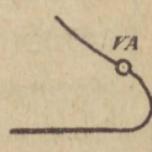


Abb. 25.

Gründe wie bei der Vorausströmung der Dampf bei Beginn des Kolbenhubes bereits seine volle Eintrittsspannung erreicht hat.

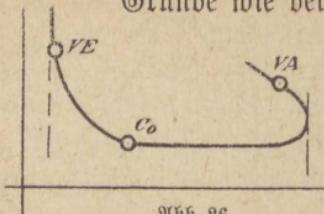


Abb. 26.

**Kompression.** Hat man die Ausströmung des Dampfes schon vorzeitig beginnen lassen, so läßt man sie anderseits auch vorzeitig enden.

Schon geraume Zeit bevor der Kolben auf

seinem Rückgange den Tropunkt erreicht hat, schließt man den Ausströmkanal im Punkt Co (Abb. 26), und während der Kolben den Rest seines Weges zurücklegt, verdichtet (komprimiert) er den noch im Zylinder befindlichen Dampf bis zu einer Höhe, welche davon abhängt, an welchem Punkte der Ausströmung man diese Verdichtung (Kompression) hatte beginnen lassen. Je früher man den Ausströmkanal geschlossen hat, um so höher wird natürlich die Verdichtung und umgekehrt (Abb. 26).

Die regelrechte Form des Diagramms einer mit Dampfdehnung arbeitenden Maschine dürfte also etwa die sein, wie sie Abb. 27 darstellt.

**Vorteile der Kompression.** Es wird auf den ersten Blick nicht recht erklärllich erscheinen, inwiefern diese Verdichtung des Dampfes von Vor teil sein kann, da ja dadurch ein nicht unbeträchtliches Stück des Diagramms, also Arbeit, verloren geht, und doch erweist sich diese Verdichtung nicht nur als sehr nützlich, sondern sogar als dringend notwendig. Die Nützlichkeit wurde eben bereits besprochen. Durch die Verdichtung steigt nicht nur die Spannung, sondern auch die Temperatur des Dampfes, so daß der bei der Einstromung neu hinzukommende Dampf nicht mehr durch Berührung mit dem verhältnismäßig kühlen Dampfe von Ausströmspannung einen Teil seiner Wärme verliert und dadurch einen Arbeitsverlust erzeugt.

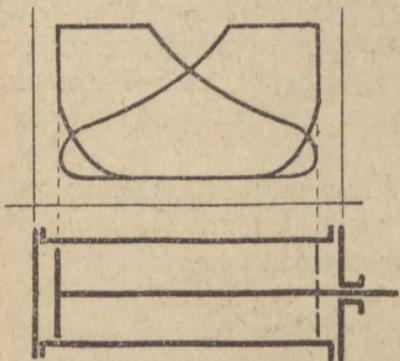
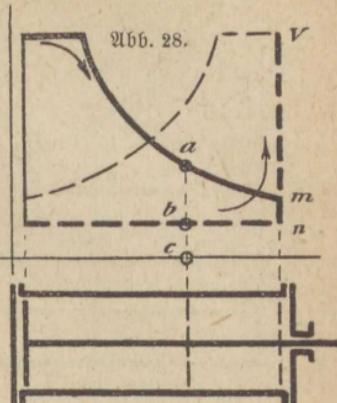


Abb. 27.

Der zweite Grund, warum die Kompression, das heißt die Verdichtung des Dampfes vor Eintritt der Voreinströmung, als dringend notwendig bezeichnet werden muß, ist folgender. Betrachtet man (Abb. 28) gleichzeitig die Diagramme der beiden Kolbenseiten einer mit Dampfdehnung arbeitenden Dampfmaschine und nimmt man zunächst noch einmal die früher besprochene einfache Form der Diagramme an, so ist aus der

Abbildung leicht erkenntlich, daß die stark gezeichneten Teile der beiden Diagramme, und zwar in der Richtung der eingezzeichneten Pfeile, gleichzeitig durchlaufen werden. Während also z. B. auf der linken Kolbenseite sich Einströmung und Ausdehnung vollzieht, findet auf der rechten Kolbenseite die Ausströmung statt. In dem Augenblicke, in dem auf der linken Kolbenseite die Ausdehnung beendet ist, steigt auf der rechten Kolbenseite die Spannung rasch an usw. Man findet also den in jedem Augenblicke tatsächlich auf den Kolben ausgeübten Druck sehr einfach dadurch, daß man bei der betreffenden Kolbenstellung in dem Diagramm eine Senkrechte zieht. Die Entfernung der stark ausgezogenen Linie von der stark gestrichelten, z. B. also die Entfernung  $ab$ , stellt dann in dem Maßstabe des Diagramms die wahre Größe des auf den Kolben ausgeübten Druckes dar; denn während der Dampf auf der linken Seite mit der absoluten Spannung  $ac$  den Kolben nach rechts drückt, herrscht auf der rechten Kolbenseite der Druck  $bc$ , und da  $ac$  um die Strecke  $ab$  größer ist als  $bc$ , wird der Kolben mit der Kraft  $ab$  nach rechts gedrückt.

Berfolgt man nun auf Grund dieser Betrachtungen und an der Hand der Abb. 29 das Spiel des Kurbeltriebes während einer Maschinenumdrehung, so würde sich als Folge der oben angegebenen einfachen Diagrammform folgende Arbeitsweise ergeben: Der Kolben sei auf dem Wege von links nach rechts begriffen. Wie aus Abbildung 28 ersichtlich ist, wird er dabei auf dem ganzen Wege mit abnehmender Kraft nach rechts gedrückt, bis diese nach rechts treibende Kraft kurz vor dem Toppunkte die Größe  $mn$  (Abb. 28) erreicht hat. Im nächsten Augenblicke aber springt der Druck plötzlich nach



die Kurve  $mn$  (Abb. 28) erreicht hat. Im nächsten Augenblicke aber springt der Druck plötzlich nach

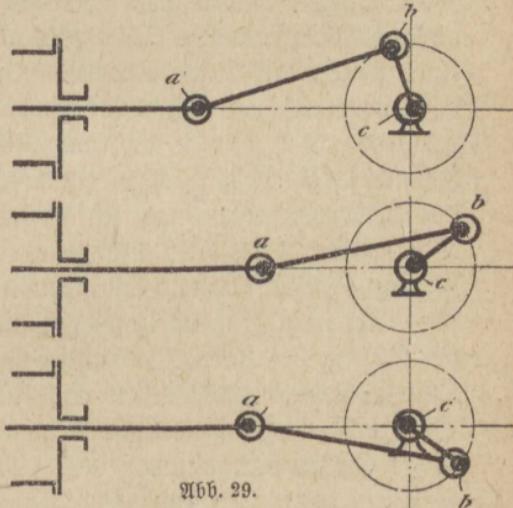


Abb. 29.

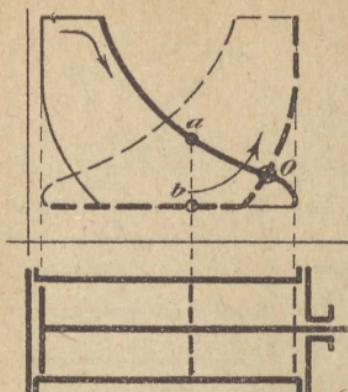


Abb. 30.

der anderen Seite um, er wirkt nun von rechts nach links, und zwar gleich in einer Größe, welche sich in dem Maßstab des Diagramms durch die Ordinate  $nv$  (Abb. 28) ausdrückt. Daß aber ein solcher sprunghafter Wechsel der Größe und Richtung des Kolbendruckes mit einem heftigen Stoße in der Maschine verbunden sein muß, ist leicht zu ersehen, wenn man bedenkt, daß die Spielräume der in den drei Lagern  $abc$  (Abb. 29) sich drehenden Zapfen, wenn auch im einzelnen noch so gering, in ihrer Summe aber immerhin merkbar sind, wozu noch der Umstand kommt, daß in dem betrachteten Falle das ganze Gestänge der Maschine im Totpunkte einen Wechsel der Beanspruchung, nämlich von Zug in einen solchen auf Druck oder umgekehrt erfahren würde, was bei der Plötzlichkeit und Heftigkeit des Druckwechsels ebenfalls zur Vergrößerung des Stoßes beitragen würde.

Wie eine Betrachtung der Abb. 30 zeigt, wird diesem Übelstande durch Einführung der Verdichtung des Dampfes am Ende des Kolbenrückganges in sehr einfacher und vollkommener Weise abgeholfen. Auch hier stellt wieder die senkrechte Entfernung der stark ausgezogenen Kurve des einen Diagramms von der stark gestrichelten des anderen Diagramms in dem betreffenden Maßstabe den auf den Kolben ausgeübten Druck dar. Wie man aber sieht, nimmt dieser Druck von links nach rechts infolge der Verdichtung so rasch ab, daß er bereits vor Ende des Hubes, nämlich im Punkte  $O$ , zu Null geworden ist und nun während des übrigbleibenden Teiles des Kolbenhubes sich allmählich in einen immer größer werdenden negativen, das heißt von rechts nach links wirkenden Druck verwandelt hat. Der Dampfdruck selbst hält also gegen das Ende des Kolbenhubes die in Bewegung befindlichen Gestängemassen allmählich auf, der Druckwechsel findet nicht plötzlich, sondern ganz allmählich statt, und wenn dann bei Beginn des Kolbenrückganges der neue Dampf auf die rechte Kolbenseite strömt und Kolben und Gestänge nach links drückt, kann ein Stoß in der Maschine nicht mehr auftreten, da der Druckwechsel schon lange vorher stattgefunden hat.

Wenn daher eine Dampfmaschine beim Hin- und Hergange, wie man

sagt, „stößt“, so ist durchaus nicht immer gesagt, daß ein Lager zuviel Spiel hat oder sonst etwas lose geworden ist, sondern die Erscheinung kann auch davon kommen, daß die Steuerung nicht in Ordnung ist, das heißt, daß die Kompression zu gering ist.

Man erkennt auch, daß man mit der Verdichtung um so höher hinaufgehen, den Dampfaustritt also um so zeitiger abschließen wird, je größer die lebendige Kraft des Gestänges am Ende des Kolbenhubes ist, das heißt, je schwerer das Gestänge und je größer die Anzahl der Hübe ist, welche der Kolben in der Minute zurücklegt.

### Siebentes Kapitel.

## Heißdampfmaschinen.

Der scharfe Wettbewerb mit der allmählich immer mehr vervollkommenen Gasmaschine blieb für die Dampfmaschine nicht ohne Folgen. Mit allen Kräften versuchten sich die Erbauer von Dampfmaschinen dem mächtigen Nebenbuhler gegenüber auf der Höhe zu halten, und einer der wichtigsten Fortschritte, der in dieser Zeit zur Vervollkommnung der Dampfmaschine und zur Verbesserung ihres wirtschaftlichen Wirkungsgrades gemacht wurde, war die Einführung des Betriebes mit hochüberheiztem Dampf oder, wie man ihn auch nennt, Heißdampf.

**Berringerung der Kondensationsverluste in den Leitungen.**  
Um sich die Vorteile der Anwendung von hochüberheiztem Dampf klarzumachen, beachte man zunächst die eigenartige Erscheinung, daß überheizter Wasserdampf im Gegensatz zu gesättigtem Wasserdampf ein schlechter Wärmeleiter ist. Hieraus folgt sofort eine Reihe sehr wichtiger Erscheinungen. Nur selten wird es möglich sein, den Dampf in unmittelbarer Nähe seiner Erzeugungsstelle, also in unmittelbarer Nähe des Kessels zu verwenden. In der Regel wird es notwendig sein, ihn durch längere Rohrleitungen den betreffenden Maschinen zuzuführen, und gerade diese Rohrleitungen sind nun im Falle der Verwendung gesättigten Wasserdampfes meist eine Quelle starker Wärmeverluste und anderer Übelstände. Da gesättigter Dampf, wie oben erwähnt, ein guter Wärmeleiter ist, so werden, falls die Rohrleitungen nicht mit einer die Wärmeausstrahlung verhindernden sogenannten Wärmeschutzmasse gut eingehüllt sind, nicht nur die unmittelbar an den Rohrwandungen entlang streichenden, sondern auch die mehr nach innen zu liegen-

den Teile des Dampfstromes Gelegenheit haben, sich abzukühlen. Mit einer solchen Abkühlung des gesättigten Wasserdampfes ist aber, wie aus den früher besprochenen Versuchen hervorgeht, sofort ein Ausscheiden von Wasser verbunden, und dieses Wasser muß dann, wie ebenfalls früher (S. 50) schon erwähnt, durch besondere Vorrichtungen aus der Rohrleitung abgeschieden und von der Maschine ferngehalten werden. Erwägt man nun, welche gewaltige Ausdehnung manchmal in großen Fabrik Anlagen, Hüttenwerken usw. die Dampfrohrleitungen besitzen, so erkennt man, welche Wärmeverluste allein durch solche Rohrleitungen auftreten können. Hier bietet nun die Anwendung von überheiztem Dampf große Vorteile. Zunächst wird eine Abkühlung bei überheiztem Dampfe schon deswegen in geringerem Maße auftreten als bei gesättigtem Wasserdampf, weil eben überheizter Dampf ein schlechter Wärmeleiter ist, so daß nur die unmittelbar an den Rohrwandungen entlang streichenden Dampfteilchen der Abkühlung ausgesetzt sind. Aber selbst hierbei bietet der überheizte Dampf noch wesentliche Vorteile. Aus unserem früher (S. 33) angestellten Versuche 6 folgt, daß gerade so, wie eine Wärmezufuhr notwendig ist, um aus gesättigtem Wasserdampf, der nicht mehr mit seiner Flüssigkeit in Verbindung steht, überheizten Wasserdampf herzustellen, gerade so natürlich auch eine (unter Umständen recht bedeutende) Wärmeabfuhrung dazu notwendig ist, um umgekehrt überheizten Wasserdampf in gesättigten Wasserdampf oder gar in gesättigten Wasserdampf und Wasser (niedergeschlagenen Dampf) zu verwandeln. Schickt man also durch eine Rohrleitung nicht gesättigten, sondern überheizten Wasserdampf hindurch, so wird schon eine recht beträchtliche Wärmeabfuhrung, das heißt Abkühlung, erforderlich sein, ehe der überheizte Dampf sich zu gesättigtem Dampf abkühlt und bei weiterer Abkühlung Wasser in der Rohrleitung abscheidet. Man hat also bei der Verwendung überheizten Dampfes nicht nur einen geringeren Wärmeverlust zu befürchten infolge der geringeren Wärmeleitungsfähigkeit des Dampfes, sondern man erspart auch unter Umständen einen Teil der Vorrichtungen zur Abscheidung des in den Rohrleitungen niedergeschlagenen Dampfes und hat dabei noch den weiteren Vorteil, daß die schon früher (S. 50) erwähnte Gefahr der sogenannten Wasserschläge in der Maschine in weitgehender Weise vermindert oder sogar vermieden ist.

**Berringerung der Kondensationsverluste in der Maschine.** Ganz genau dieselbe Erscheinung ist es nun auch, die in der Dampfmaschine selber eine hervorragende Rolle spielt. Schon bei der Besprechung

der Dampfmaschinen mit mehrstufiger Dampfdehnung (S. 64) war darauf hingewiesen worden, daß ein nicht unbeträchtlicher Arbeitsverlust dadurch entsteht, daß der in die Maschine eintretende Dampf mit verhältnismäßig kalten Zylinderwandungen in Berührung kommt, seine Wärme zum Teil an diese Wandungen abgibt und dadurch selbst an Wärme, das heißt an Spannung verliert.

Es ist nach den vorhergegangenen Erörterungen wohl ohne weiteres verständlich, welche hervorragenden Vorteile in dieser Beziehung die Verwendung überheizten Dampfes beim Maschinenbetriebe bietet. Auch hier tritt, gerade so wie in den Rohrleitungen, eine Abkühlung des Dampfes nicht in dem Maße ein, wie bei der Verwendung gesättigten Dampfes mit seiner guten Wärmeleitungsfähigkeit, und selbst wenn eine solche Abkühlung eintritt, wird sie aus dem oben angeführten Grunde nicht sofort ein Ausscheiden von Wasser zur Folge haben, so daß auch hier die Gefahr des Wasserschlages verringert, die Betriebssicherheit also erhöht wird. Hieraus ergibt sich aber noch ein weiterer, nicht zu unterschätzender Vorteil. Die Leistung einer Maschine hängt, wie aus allen früheren Betrachtungen hervorgeht, bei gleicher Dampfspannung und gleicher Umdrehungszahl offenbar lediglich ab von den Abmessungen des Dampfzylinders, das heißt von seinem Querschnitt und der Länge des Kolbenhubes. Mit anderen Worten: Unter sonst gleichen Umständen hat eine Maschine die doppelte Leistung wie eine andere Maschine, wenn entweder ihr Kolbenhub doppelt so lang wie der der anderen Maschine, oder wenn der Hub der gleiche, der Zylinderquerschnitt dagegen der doppelte ist. Oder die Maschine hat die vierfache Leistung einer anderen Maschine, wenn Zylinderquerschnitt (nicht Zylinderdurchmesser) und Kolbenhub der doppelte ist.

Die Fläche eines Kreises ist nun bekanntlich gleich  $r^2\pi$ , wobei  $r$  der Halbmesser des Kreises, oder gleich  $\frac{D^2\pi}{4}$ , wenn  $D = 2r$  der Durchmesser des Kreises ist.

Nehmen wir nun an, die eine Maschine habe den Zylinderdurchmesser  $D$  cm und den Hub  $s$  cm, so ist das die Leistung bestimmende, vom Kolben bei jedem Hube zurückgelegte Volumen  $\frac{D^2\pi}{4} \times s$  ccm. Nehmen wir ferner an, eine zweite Maschine habe unter sonst gleichen Verhältnissen, also gleicher Dampfspannung und gleicher Umdrehungszahl einen Durchmesser von  $(2D)$  cm und einen Hub  $(2s)$  cm, so ist das bei jedem

Hübe zurückgelegte Kolbenvolumen

$$(2D)^2 \frac{\pi}{4} \times 2s = 4 \cdot \frac{D^2\pi}{4} \times 2s = 8 \left( \frac{D^2\pi}{4} \times s \right) \text{ ccm.}$$

Da der Umfang des Kreises bekanntlich  $= D\pi$  ist, so hat der Zylinder der zweiten Maschine, wenn die Zylinderabmessungen (Durchmesser und Kolbenhub) verdoppelt werden, eine Wandungs-oberfläche, welche viermal so groß ist als die Wandung des ersten Zylinders, nämlich  $= (2D)\pi \times 2s = 4(D\pi \times s)$ , das Volumen und daher auch die Leistung der Maschine ist aber, wie eben bewiesen, achtmal so groß geworden. Mit anderen Worten: Wenn die Abmessungen der Dampfmaschine in der zweiten Potenz wachsen, wächst die Leistung der Maschine unter sonst gleichen Verhältnissen in der dritten Potenz oder umgekehrt: Eine Maschine kleinerer Leistung hat unter sonst gleichen Umständen verhältnismäßig viel größere Zylinderwandungen, also eine viel größere Abkühlungsfläche, und die einfache Folge davon hiervon ist, daß Dampfmaschinen kleinerer Leistung namentlich unter Verwendung gesättigten Wasserdampfes infolge der größeren Dampfverluste verhältnismäßig, das heißt für die PS-st, mehr Dampf verbrauchen als Maschinen größerer Leistung.

Man erkennt nun leicht, welche Vorteile hier die Anwendung überheizten Dampfes bietet. Hier spielen auch bei kleineren Maschinen, also bei Maschinen mit verhältnismäßig großen Abkühlungsflächen, die Abkühlungsverluste keine so bedeutende Rolle wie bei Maschinen mit gesättigtem Wasserdampfe, und es werden sich daher auch die Vorteile des überheizten Dampfes gerade bei kleinen Maschinen in hohem Grade bemerkbar machen müssen.

Selbstverständlich findet auch bei überheiztem Dampf eine Wärmeübertragung an die Wandungen der Rohrleitung und Zylinder statt, und man sollte eigentlich annehmen, daß sie sogar höher ist als bei gesättigtem Dampf, weil der Temperaturunterschied zwischen Dampf und Außenluft größer ist. Tatsächlich ist sie jedoch bei überheiztem Dampf geringer, eben wegen der geringeren Wärmeleitungsfähigkeit des überheizten Dampfes gegenüber dem gesättigten Dampf.

**Bereinfachung der Maschine.** Könnte man die Überheizung des Dampfes beliebig hoch treiben, so müßte offenbar der Vorteil der Überheizung bei Verwendung niedrig- oder hochgespannten Dampfes gleich groß sein. Das ist nun aber durchaus nicht der Fall. Aus praktischen Gründen geht man mit der Temperatur des überheizten Dampfes nicht

höher als etwa  $350^{\circ}$  C. Verwendet man nun z. B. Dampf von 15 at Überdruck, der schon im gesättigten Zustande eine Temperatur von  $200^{\circ}$  C hat, so läßt sich dieser Dampf nur noch um  $150^{\circ}$  überhitzen, während z. B. bei Verwendung eines Dampfes von 5 at Überdruck, der im gesättigten Zustande etwa  $160^{\circ}$  warm ist, schon eine Überhitzung um  $190^{\circ}$ , also eine wesentlich höhere Überhitzung stattfinden kann. Aus den eben angestellten Erwägungen läßt sich also schon schließen, daß die Überhitzung bei Verwendung niedriggespannten Dampfes mehr Vorteile bietet als bei Verwendung sehr hochgespannten Dampfes, und dieses Ergebnis hat die Erfahrung in der Tat bestätigt.

Aus den Überlegungen Seite 66 ff. geht hervor, daß, um eine möglichst weitgehende Dampfdehnung, also Dampfersparnis zu erzielen, die Eintrittsspannung des Dampfes eine möglichst hohe sein muß. Dies erfordert aber wiederum die Anwendung zweistufiger Dampfdehnung, die doch immerhin den Nachteil hat, daß die Maschinen dadurch in ihrem Aufbau etwas verwickelt werden. Verwendet man nun hochüberhitzten Dampf, so tritt nicht nur, wie wir vorher gesehen haben, der Einfluß der Größe der Maschine, sondern auch, wie wir jetzt gesehen haben, der Einfluß der Höhe der Dampfspannung zurück, mit anderen Worten: es wird eine Maschine mit niedriggespanntem, aber hochüberhitzen Dampfe ungefähr ebenso wirtschaftlich arbeiten wie eine Maschine mit hochgespanntem und wenig oder gar nicht überhitzen Dampfe. Dieses Ergebnis hat, wie gesagt, die Erfahrung vollauf bestätigt, und man kann etwa annehmen, daß bei Anwendung hoher Überhitzung eine Maschine mit einstufiger Dampfdehnung ebenso wirtschaftlich arbeitet wie eine Maschine mit zweistufiger Dampfdehnung bei Verwendung gesättigten Dampfes, eine Maschine mit zweistufiger Dampfdehnung und überhitzen Dampfe ebenso wirtschaftlich wie eine Maschine mit dreistufiger Dampfdehnung und gesättigtem Dampfe usw. Daß in dieser Vereinfachung der Maschine ein nicht unwesentlicher Vorteil liegt, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

**Verkleinerung der Kessel.** Endlich ist noch ein weiterer Vorteil zu erwähnen, der bei der Dampfmaschine durch Anwendung überhitzen Dampfes erreicht wird. Da sich aus den im zweiten Abschnitt angestellten Versuchen ergab, daß namentlich hochüberhitzer Dampf in seinem Verhalten große Ähnlichkeit zeigt mit den Gasen (vgl. S. 35), so folgt daraus, daß bei gleichbleibender Spannung, wie sie ja im Dampfkessel

zu herrschen pflegt, das Volumen des überheizten Dampfes annähernd in demselben Verhältnis steigt wie seine absolute Temperatur (Gesetz von Boyle-Gay-Lussac, S. 20 ff.). Dies hat aber für den Dampfmaschinenbetrieb sehr wesentliche Folgen. Zunächst braucht man bei Anwendung überheizten Dampfes, wenn die Dampfspannung dieselbe bleibt wie beim Betrieb mit gesättigtem Wasserdampfe, für ein und dieselbe Maschinenleistung ein geringeres Dampfgewicht oder, mit anderen Worten, weniger Dampf. Dies wird auch dadurch verständlich, wenn man sich überlegt, daß infolge der Überheizung jede Gewichtseinheit Dampf mehr Wärme enthält als im gesättigten Zustande, und, da Wärme und Arbeit ja gleichwertig sind, wird 1 kg überheizten Dampfes jedenfalls mehr leisten können als 1 kg gesättigten Dampfes. Die Folgen dieser Tatsache für den Dampfmaschinenbetrieb sind leicht einzusehen: Man kann entweder mit demselben Kessel mehr Arbeit erzielen, was bei notwendig werdender Vergrößerung der Maschinenleistung und baulicher Beschränkung von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist, oder man kann, wenn eine vollständige Neuanlage geschaffen werden soll, für eine gleich große Maschinenleistung mit kleineren Kesseln oder weniger Kesseln auskommen, was einer Verbilligung der ganzen Anlage entspricht.

Namentlich der Fall, daß eine vorhandene Kesselanlage für den erweiterten Betrieb nicht mehr ausreicht und dann durch den Einbau eines Überhitzers in ihrer Leistungsfähigkeit erhöht werden soll, spielt im Dampfkesselbau eine große Rolle. Es war schon an früherer Stelle (S. 47 f.) darauf hingewiesen worden, daß durch angestrengten Betrieb schließlich jeder Kessel eine beliebig große Menge Dampf liefern kann, daß dann aber bei zunehmender Anstrengung neben dem Auftreten anderer Nachteile die Wirtschaftlichkeit des Betriebes, das heißt die Ausnutzung der in den Kohlen steckenden Wärme, immer ungünstiger wird. In ganz ähnlicher Weise wie durch den Einbau eines Rauchgasvorwärmers (S. 52) läßt sich nun bei derartig stark angestrengten Kesseln auch durch den Einbau eines Überhitzers die Wirtschaftlichkeit erhöhen, nur möge hier darauf hingewiesen werden, daß ein solcher Überhitzer dann nicht wie ein Rauchgasvorwärmer an das Ende der Dampfkesselanlage zu liegen kommt, sondern an einer Stelle eingebaut wird, wo die Gase erst einen kleinen Teil ihrer Wärme an die Kesselwandungen abgegeben haben. Man hört und sieht nicht selten von bedeutenden Kohlenersparnissen (30% und mehr), welche durch Einbau eines Überhitzers in eine bestehende Kesselanlage erzielt wurden. Es verdient hervor-

gehoben zu werden, daß dies stets Fälle waren wie der eben erwähnte, wo also der durch einen stark angestrengten Kesselbetrieb bedingten Wärmevergeudung durch Einbau des Überhitzers abgeholfen wurde.

**Verkleinerung der Kondensatoren.** Schließlich sei auch noch ein Punkt erwähnt, der unter Umständen für die Anwendung überheizten Dampfes von Wichtigkeit sein kann. Während der Ausdehnung des Dampfes im Zylinder der Maschine tritt, wie früher gezeigt wurde, ein Sinken der Spannung und damit eine starke Abkühlung ein. Es ist also leicht ersichtlich, daß während des Verlaufes oder wenigstens am Ende der Ausdehnung die Überhitzung allmählich verschwinden wird, so daß z. B. am Ende der Ausdehnung nicht mehr überheizter Dampf, sondern gesättigter Dampf von der dem Austritt entsprechenden Spannung in den Kondensator eintreten wird. Da nun vorher gezeigt wurde, daß bei Verwendung überheizten Dampfes dieselbe Maschinenleistung mit einem geringeren Dampfgewicht erzielt wurde, so folgt daraus, daß bei Verwendung überheizten Dampfes auch in den Kondensator weniger Dampf gelangen wird, also auch zum Niederschlagen des Dampfes weniger Kühlwasser erforderlich sein wird. Die zum Kondensatorbetriebe notwendigen Pumpen können kleiner sein, erfordern weniger Arbeit, es wird also auch hier wiederum durch Anwendung überheizten Dampfes eine Arbeitersparnis und dadurch eine größere Wirtschaftlichkeit der Dampfmaschine erzielt.

Aus dem Gesagten dürften auch ohne theoretische Erörterungen die großen Vorteile der Anwendung des überheizten Dampfes klar geworden sein. Wie hoch sich die Ersparnis beläuft, ist selbstverständlich nur von Fall zu Fall zu entscheiden. Vor allen Dingen wird man sich klarmachen müssen, daß die Kohlenersparnis nicht ebenso bedeutend sein wird wie die Ersparnis an Dampf, da eben eine Überhitzung ohne Neuaufwand von Wärme, das heißt von Kohlen, nicht möglich ist. Aber schon die Dampfersparnis kann unter Umständen von großem Vorteil sein, wie oben an dem Beispiel mit den Kesseln und mit dem Kondensator gezeigt wurde. Man denke auch nur z. B. an die gewaltigen Maschinen neuzeitlicher Schnelldampfer von einer Leistung von 50000 und noch mehr PS, und man wird erkennen, daß hier, auch abgesehen von der Kohlenersparnis, jede Ersparnis an Dampf, durch die sich eine Verkleinerung der Kessel und Kondensatoranlage erreichen läßt, für die Raumausnutzung des Schiffes und damit für seine Wirtschaftlichkeit von großem Vorteile sein wird.

**Nachteile der Heißdampfmaschinen.** Der Grund, warum trotz der vielen Vorteile, welche die Anwendung hochüberheizten Dampfes bietet, die Heißdampfmaschinen nicht allgemeine und ausschließliche Verwendung finden, liegt darin, daß die hohen Temperaturen in Verbindung mit der großen Trockenheit des überheizten Dampfes immerhin gewisse Unzuträglichkeiten mit sich bringen, infolge deren die Dampfmaschine eine Reihe von Vorteilen wieder einbüßt, welche sie sonst vor anderen Wärme-kraftmaschinen, namentlich vor den Gasmaschinen voraus hat: nämlich die Vorteile der Einfachheit, Betriebsicherheit und Anspruchslosigkeit in der Bedienung. Schon der Bau der Maschine selber verlangt infolge der hohen Temperaturen und der damit verbundenen bedeutenden Ausdehnung der einzelnen Teile besondere Aufmerksamkeit, und gerade in dieser Beziehung mußte in der ersten Zeit der Anwendung hochüberheizten Dampfes häufig genug infolge schadhaft gewordener Zylinder usw. von einzelnen Fabriken hohes Gehrgeld gezahlt werden. Auch die Abdichtung der Kolbenstange in den sogenannten Stopfbüchsen sowie die Schmierung des Kolbens und der Kolbenstange boten anfänglich Schwierigkeiten, da die bisher bei den gewöhnlichen Dampfmaschinen verwendeten Schmieröle bei den hohen Dampftemperaturen ihren Zweck nicht mehr erfüllten. Endlich verlangt auch die Bedienung der Heißdampfmaschinen eine größere Sorgfalt gegenüber den mit gesättigtem Dampf betriebenen Maschinen. Überheizter Dampf besitzt, wie wir gesehen haben, eine große Ähnlichkeit mit den Gasen; er ist vor allen Dingen durchaus trocken im Gegensatz zu gesättigtem Wasserdampfe, der doch immerhin eine gewisse Feuchtigkeit hat. Wenn also z. B. durch Unachtsamkeit des Maschinenwärters die Schmierung der im Zylinder befindlichen bewegten Teile wie Kolben, Kolbenstange, Dampfschieber usw. eine Zeitlang unterbliebe, so würde das bei Maschinen mit gesättigtem Dampfe nicht sofort Schaden anrichten, da der gesättigte Dampf selber eine gewisse Schmiersfähigkeit besitzt. Bei einer Heißdampfmaschine dagegen würde eine nachlässige oder gar für längere Zeit ganz ausbleibende Schmierung infolge Heißlaufens jener Teile sehr bald schwere Betriebsstörungen zur Folge haben.

Endlich ist noch ein weiterer Umstand erwähnenswert. Bei gleicher Dampfspannung und gleicher Zylinderfüllung leistet die Maschine mit überheiztem Dampfe etwas weniger Arbeit als beim Betriebe mit gesättigtem Dampfe, weil nämlich bei der Überheizung das Volumen des Dampfes schneller zunimmt als seine Arbeitsfähigkeit. Dieser Umstand

ist wohl zu beachten für den Fall, daß vorhandene Maschinen später mit überhitzen Dampfe anstatt mit gesättigtem Dampfe betrieben werden sollen. Jedoch wird in der Regel diesem Übelstände durch eine kleine Umänderung der Steuerung leicht abzuhelfen sein.

#### Bierter Abschnitt.

### Der thermische Wirkungsgrad der Dampfmaschine.

**Schlechte Wärmeausnutzung.** Wenn man einen Menschen tagtäglich ruhig und unverdrossen seine Arbeit verrichten sieht, wenn man beobachtet, wie er zu allen Sachen zu gebrauchen ist, wie er sich sogar gelegentlich eine unzarte Behandlung ohne Murren gefallen lässt, so wird man aller Wahrscheinlichkeit nach glauben, es hier mit einem höchst vollkommenen Menschen zu tun zu haben. Und doch kann man unter Umständen bei näherer Untersuchung die traurige Erfahrung machen, daß dieser sonst so vollkommen erscheinende Mensch eine ganz verhängnisvolle Charaktereigenschaft besitzt, die uns geradezu veranlassen kann, seine Anstellung oder den Umgang mit ihm nach Möglichkeit zu vermeiden. Ganz dasselbe trifft nun auch bei der Dampfmaschine zu. In einer Entwickelungszeit von mehr als 200 Jahren hat sich die Dampfmaschine allmählich zu einer treuen, unentbehrlichen Helferin des Menschen herangebildet. Auch heute noch gibt es keine Kraftmaschine, welche in derartig hervorragender Weise für alle und jede Betriebsverhältnisse sich verwenden lässt wie unsere Kolbendampfmaschine, die sich ganz nach unserem Willen beliebig schnell, beliebig langsam dreht, vorwärts und rückwärts läuft, einen Eisenbahnhzug mit derselben Leichtigkeit auf dem Lande fortbewegt wie ein stahlgepanzertes Kriegsschiff durch die Fluten des Ozeans, die sich für die kleinsten Leistungen gerade so verwenden lässt wie für die riesigen Maschinen unserer Schnelldampfer. Wo gibt es auch heute noch eine Kraftmaschine, die sich bei aller Vielseitigkeit der Verwendung in allen Lagen so betriebssicher erweist wie unsere Kolbendampfmaschine, die sich mitunter eine so schlechte Behandlung, so schlechte Wartung gefallen ließe, und die sich schließlich, wenn sie durch zu große Vernachlässigung doch endlich einmal erkrankt ist, mit den rohesten, einfachsten Mitteln wieder auf die Beine, das heißt in Gang bringen lässt?

Und doch! Die böse Charaktereigenschaft, sie fehlt auch hier nicht und kann uns alle sonstigen schönen Eigenarten verbittern und vergessen machen, sie heißt mit einem Worte Verschwendungsucht! Was nützt uns ein sonst noch so treuer, noch so zuverlässiger Diener, wenn wir erkennen, daß er mit dem Gelde, welches wir ihm geben, um Anschaffungen für uns zu machen, in der verschwenderischsten Weise umgeht und schließlich nur einen kleinen Bruchteil des ihm anvertrauten Geldes zu wirklich nutzbaren Anschaffungen verwendet? Aller Voraussicht nach werden wir sehen, so rasch wie möglich von ihm loszukommen, und werden uns nach einem etwas sparsameren, wenn auch vielleicht sonst nicht ganz so vollkommenen Diener umsehen.

**Berechnung des Wirkungsgrades der ganzen Anlage aus dem Kohlenverbrauche.** Betrachten wir nun im Hinblick auf diese Eigenschaft unsere Dampfmaschine! Das Geld, welches wir ihr geben, sind die Kohlen, und das, was sie uns dafür schaffen soll, ist Arbeit. Den „Preis“ dieser Arbeit kennen wir sehr genau, denn wie wir aus der Einleitung wissen, „kösten“ 427 mkg gerade 1 WE, und wenn wir eine Stunde hindurch in jeder Sekunde 75 mkg, oder, mit anderen Worten, wenn wir 1 PS-st leisten wollen, so entspricht das einem „Preise“ von  $75 \cdot 60 \cdot 60$

$$= 632 \text{ WE.}$$

Da nun 1 kg gute Kohle bei vollständiger Verbrennung etwa 7500 WE liefert, so müßte es bei einer vollkommenen Maschinenanlage möglich sein, mit  $\frac{632}{7500} = 0,084$  kg Kohle eine PS-st zu leisten. Tatsächlich verbrauchen aber kleinere Maschinenanlagen etwa 5 kg Kohle, also rund 37500 WE zur Leistung einer PS-st, was nach den Erörterungen des ersten Abschnittes (vgl. S. 28) einem wirtschaftlichen Wirkungsgrade  $\frac{632}{37500} = 0,017$  oder mit anderen Worten einer Ausnutzung der in den Kohlen steckenden Wärme von noch nicht einmal 2% entsprechen würde. Bei größeren Maschinenanlagen, welche nur etwa 0,6 kg Kohle für die PS-st verbrauchen, verbessert sich ja

das Verhältnis auf  $\frac{632}{0,6 \cdot 7500} = 0,14$  oder 14%, aber es ist klar, daß selbst diese beste Ausnutzung der in der Kohle steckenden Wärme noch eine ungeheuerliche Verschwendungen darstellt.

**Verhütung von Wärmevergeudung.** Es dürfte hier vielleicht der Ort sein, einige kurze Bemerkungen darüber einzufügen, in welcher Weise bei einer Dampfmaschinenanlage einer allzu großen Wärmevergeudung vorgebeugt werden kann. Will man etwa die Wirtschaftlichkeit einer

bestehenden Anlage untersuchen, so hätte man sich in erster Linie davon zu überzeugen, ob das Diagramm der Maschine den Anforderungen entspricht, die wir zu stellen berechtigt sind, beispielsweise, ob Expansion, Vorausströmung, Kompression sich in richtiger Weise vollziehen, ob die Kondensation richtig arbeitet usw. Sodann hätte man zu untersuchen, ob nicht mehr Wärme als unvermeidlich verloren geht, das heißt ohne Arbeit zu verrichten in die Außenluft entweicht. Wärme kann durch Leitung und Strahlung des Kesselmauerwerkes, der Dampfleitungen und der Maschine selbst verloren gehen. Das Kesselmauerwerk soll daher so stark sein, daß es sich nicht zu heiß anfühlt, sämtliche Rohrleitungen und die Maschine selbst müssen gut gegen Wärmeausstrahlung geschützt sein, was durch Einhüllen mittels sogenannter Wärmeschutzmasse geschieht, das heißt einer Masse, welche, wie z. B. Kork, Kieselgur usw., die Wärme schlecht leitet. Gerade dieses möglichst sorgfältige Einhüllen mit Wärmeschutzmasse ist ein ganz besonders wichtiger Punkt, da schlechter Wärmeschutz oft mehr Verluste zur Folge hat, als die vorzüglichste Maschine wieder einbringen kann. Endlich kann auch die Wärme noch zu einem Teil unausgenutzt durch den Schornstein entweichen. Das läßt sich sehr einfach, z. B. schon dadurch feststellen, daß man die Temperatur mißt, mit welcher die Gase in den Schornstein gelangen. Findet man, daß diese Temperatur dauernd wesentlich mehr beträgt als etwa  $200^{\circ}$  C — nicht selten findet man Temperaturen von  $500^{\circ}$ , ja selbst bis zu  $1000^{\circ}$  C —, so ist das ein Zeichen, daß der Kessel überanstrengt ist, die Wärme also schlecht ausgenutzt wird. Will man nun ein solch unwirtschaftliches Arbeiten vermeiden, so bleibt nichts anderes übrig, als entweder den Kessel zu vergrößern, oder, wo das nicht angängig ist, einen Überhitzer oder einen Rauchgasvorwärmer, unter Umständen vielleicht sogar beides einzubauen. Inwiefern hierdurch die Wirtschaftlichkeit erhöht wird, wurde früher S. 51 und 52 ff. eingehend erläutert.

**Berechnung des Wirkungsgrades aus dem Wärmeverbrauche der Maschine allein.** Wie man aus dem eben Gesagten erkennt, ist es eigentlich unrecht, den oben gefundenen geringen thermischen Wirkungsgrad oder, anders ausgedrückt, die schlechte Ausnutzung der Kohlenwärme der Dampfmaschine allein zur Last zu legen. Es ist daher in neuerer Zeit üblich geworden, den Wärmeverbrauch einer Dampfmaschine geradezu in WE anzugeben, und zwar in der Weise, daß man den tatsächlichen Verbrauch in der Maschine selbst feststellt und

den aus der Tabelle S. 40 zu berechnenden Wärmeinhalt dieses Dampfes als Wärmeverbrauch der Dampfmaschine angibt.

Der Dampfverbrauch beträgt bei Maschinen mittlerer Leistung etwa 10 kg für 1 PS-st und sinkt für Maschinen größter Leistung und bester Ausführung auf ungefähr 5 kg und weniger für die PS-st. Nimmt man z. B. einen Dampfverbrauch von 5 kg für die PS-st an bei einer Dampfspannung von 12 at Überdruck = 13 at abs, so würde, da nach der früher mitgeteilten Tabelle S. 40 die Gesamtwärme von 1 kg Dampf von 13 at abs rund 669 WE beträgt, eine solche Dampfmaschine zur Leistung einer PS-st  $5 \cdot 669 = 3345$  WE verbrauchen, was einem Wirkungsgrad, das heißt einer Wärmeausnutzung, von  $\frac{632}{3345} = 0,189$  oder rund 19 % entsprechen würde. Selbst bei dieser günstigsten Art der Berechnung wird also noch nicht einmal ein Fünftel der der Dampfmaschine zugeführten Wärme in Arbeit umgesetzt<sup>1)</sup>, und es fragt sich nun, welches mag wohl der Grund für diese schlechte Wärmeausnutzung sein.

**Wärmeenergie ein Produkt aus zwei Faktoren.** Wenn wir mechanische Arbeit leisten wollen, so stehen uns dazu verschiedene Hilfsmittel zu Gebote. Haben wir z. B. Wasser zur Verfügung, so ist es unter Umständen möglich, dieses Wasser zur Arbeitsleistung heranzuziehen; aber auch eben nur unter gewissen Umständen, nämlich dann, wenn außer dem Wasser selbst auch noch ein Gefälle, also eine Höhendifferenz, vorhanden ist. Selbst gewaltige Wassermengen, wie sie etwa durch große Seen dargestellt werden, sind für die Beschaffung mechanischer Arbeit wertlos, wenn wir keinen tiefer gelegenen Punkt haben, auf welchen wir das Wasser dauernd herabstürzen lassen können, und der kleinste Gebirgsbach kann uns in dieser Beziehung oft viel nützlicher sein als ein Flachlandsee von mehreren Quadratkilometern Oberfläche. Also nicht Wasser allein ist es, was wir zur Leistung mechanischer Arbeit brauchen, sondern das Produkt aus Wassermenge, genauer gesagt: Wasser gewicht mal Gefälle (d. h. Höhendifferenz).

1) Um diesem Übelstande abzuheben, ist man in neuerer Zeit darauf bedacht, die in dem Abdampfe d. h. dem aus der Maschine kommenden Dampf steckende Wärme nach Möglichkeit zur Heizung von Zimmern, Fabriken, Trockenräumen u. dgl., zur Heißwasserbereitung, zum Kochen usw. zu verwenden. Bei Betrieben, welche einen hohen Bedarf an solchem Heiz- oder Kochdampf haben — chemische Fabriken, Brauereien u. dgl. — kann auf diese Weise von der der Maschine zugeführten Dampfwärme eine Gesamtausnutzung von nahezu 100 % erreicht werden.

Um elektrische Energie in Arbeit zu verwandeln, brauchen wir eine Spannungs differenz. Die größte Elektrizitätsmenge wäre für uns wertlos, wenn es uns nicht gelänge, eine solche Spannungs differenz oder, anders ausgedrückt, ein solches Spannungsgefälle herzustellen. Es ist also auch hier wieder ein Produkt, das Produkt aus Elektrizitätsmenge mal Spannungs differenz (Spannungsgefälle), mit dessen Hilfe wir erst imstande sind, elektrische Energie in mechanische Arbeit umzusetzen.

Es dürfte wohl nun auch ohne den strengeren Beweis, welchen die mechanische Wärmetheorie liefert<sup>1)</sup>, verständlich sein, wenn gesagt wird, daß gerade so wie die unter Umständen im Wasser und in der Elektrizität, so auch die in der Wärme steckende Energie ein Produkt aus zwei Faktoren ist, die man sogar wegen der Ähnlichkeit mit den Verhältnissen, die wir beim Wasser kennen gelernt hatten, geradezu mit „Wärmegewicht“ (nach Prof. Zeuner) und „Temperaturgefälle“ bezeichnet hat. Eine einfache Überlegung zeigt uns ja, daß, ähnlich wie beim Wasser und bei der Elektrizität, selbst die größten Wärmemengen für die Erzeugung mechanischer Arbeit wertlos wären, wenn nicht eine Temperaturdifferenz (oder Temperaturgefälle) vorhanden wäre. Man denke doch nur daran, welche geradezu ungeheueren Wärmemengen beispielsweise in unseren Seen und Meeren enthalten sind. Jedes Kilogramm Wasser von 12° Wärme enthält, wenn wir selbst bloß von dem gewöhnlichen Nullpunkt, das heißt von dem Gefrierpunkt des Wassers aus, rechnen, 12 WE. Wieviel Milliarden von WE, also welche Unmengen von WE enthält demnach wohl allein der Atlantische Ozean! Und doch sind alle diese Milliarden von WE für die Gewinnung von Arbeit aus dieser Wärme, sagen wir also kurz als „Arbeitswärme“, wertlos, wir können mit dieser Unmenge von Energie nichts anfangen, denn wir haben keine genügende Temperaturdifferenz, kein genügendes Temperaturgefälle, um diese gewaltigen Wärmemengen auszunutzen zu können. Der Wärmeinhalt einer einzigen Schaufel voll Kohlen ist uns als „Arbeitswärme“, d. h. als Wärme zur Erzeugung mechanischer Arbeit, wertvoller als der gesamte Wärmeinhalt eines großen Sees, denn die in der Kohle schlummernde Energie können wir (durch Entzünden der Kohle) mit Leichtigkeit so umgestalten, daß wir Wärme von sehr hoher Temperatur erhalten, so daß es uns leicht wird, auch ein sehr hohes Temperaturgefälle herzustellen, was bei der in den Wassern

1) Siehe Anmerkung S. 49.

des Ozeans steckenden Wärme trotz ihrer ungeheuren Menge nicht möglich ist. Schon hieraus ergibt sich der für die folgenden Betrachtungen sehr wichtige Satz, daß bestimmte Wärmemengen durchaus nicht immer bei derselben Temperatur vorzukommen brauchen. Ein paar einfache Beispiele werden die Sache vielleicht noch klarer machen.

Um 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  in 1 kg Wasser von  $1^{\circ}$  zu verwandeln, braucht man, wie früher schon erwähnt, eine gewisse Wärmemenge, welche man mit 1 WE bezeichnet. Um 10 kg Wasser von  $0^{\circ}$  in 10 kg Wasser von  $1^{\circ}$  zu verwandeln, braucht man demgemäß 10 WE. Genau ebensoviel braucht man aber auch andererseits, um 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  in 1 kg Wasser von  $10^{\circ}$  zu verwandeln. Wir haben also das erste Mal die Wärmemenge von 10 WE bei einer Temperatur von  $1^{\circ}$ , das zweite Mal dagegen dieselbe Wärmemenge bei einer Temperatur von  $10^{\circ}$ . 1 cbm Leuchtgas enthält, gewissermaßen in sich eingeschlossen, etwa 4800 WE, also ebensoviel wie 400 kg des vorhin genannten Meerwassers von  $12^{\circ}\text{C}$ . Mit jenen 4800 WE des Leuchtgases können wir mit Leichtigkeit dadurch, daß wir das Gas entzünden und die in ihm schlummernde Wärme bei hoher Temperatur zur Entfaltung bringen, z. B. Wasserdampf von hoher Spannung erzeugen und damit eine Dampfmaschine treiben. Mit den in dem Meerwasser steckenden 4800 WE können wir dagegen gar nichts anfangen, da sie eben nur bei einer Temperatur von  $12^{\circ}\text{C}$  vorkommen.

Rkehren wir noch einmal zurück zu jenen beiden Faktoren, aus denen die in der Wärme steckende Energie besteht. Der eine war das Temperaturgefälle. Gerade so wie man beim Wasser die Höhendifferenz als eine Höhe in Metern ausdrückt, drückt man hier das Temperaturgefälle durch eine (in unserem Falle natürlich absolute) Temperatur aus. Der eine Faktor ist also  $T$ . Da nun das Produkt aus diesem Faktor und dem anderen Faktor (dem „Wärmegewicht“) gleich der Wärmemenge  $Q$  in WE sein muß, so dürfte es verständlich sein (den Beweis liefert die mechanische Wärmetheorie), daß das „Wärmegewicht“ ausgedrückt wird durch den Faktor  $\frac{Q}{T}$ . In einer Formel ausgedrückt, würde also der Satz lauten: Arbeitswärme =  $\frac{Q}{T} \times T$  = Wärmegewicht mal Temperaturdifferenz. Clausius bezeichnet den Faktor  $\frac{Q}{T}$  mit dem hier nicht näher zu erläuternden Ausdruck „Entropie“.<sup>1)</sup>

1) S. Anmerkung. S. 96.

**Wärmediagramm (Entropie-Temperatur-Diagramm).** Ein Produkt aus zwei Faktoren lässt sich nun zeichnerisch immer in der Weise darstellen, daß man in einem Nehe rechtwinkliger Geraden den einen Faktor auf einer Wagerechten (der sogenannten Abszissenachse) als „Abszisse“, den anderen zugehörigen Faktor dagegen jedesmal auf der zugehörigen Senkrechten als „Ordinate“ aufträgt. Dies war ja bekanntlich die Darstellung der in der Dampfmaschine geleisteten Arbeit mit Hilfe des Diagramms: Dadurch, daß wir auf der Wagerechten die jedesmalige Kolbenstellung (den Weg) als Abszisse, auf der zugehörigen Senkrechten dagegen den in dem betreffenden Augenblick auf den Kolben ausgeübten Dampfdruck (die Kraft) als Ordinate auftragen, erhalten wir in dem Dampfdiagramm die Darstellung des Produktes aus Kraft mal Weg, das heißt die Darstellung der vom Kolben geleisteten Arbeit. Etwas ganz Ähnliches können wir nun offenbar auch bei der Wärme machen. Führen wir bei irgendeinem Prozeß Wärme zu, so können wir nach den obigen Erörterungen diese zugeführte Wärme zeichnerisch darstellen, indem wir auf der Wagerechten in irgendeinem Maßstabe die Größen  $\frac{Q}{T}$  (Wärmemenge geteilt durch absolute Temperatur), auf den zugehörigen Senkrechten dagegen die in dem betreffenden Augenblick dazugehörige Temperatur  $T$  auftragen. Wir bekommen auf diese Weise die Wärmeenergie als etwas Sichtbares, nämlich als eine Fläche, deren Gestalt aber je nach der Art der Wärmezuführung verschieden sein kann, wie aus einigen einfachen Beispielen hervorgehen wird.

**Erstes Beispiel (Abb. 31).** Würde die bei einer Zustandsänderung zugeführte Wärmemenge stets bei gleicher Temperatur zugeführt, so würde sich in dem Ausdruck  $\frac{Q}{T}$  immer nur  $Q$  ändern, und zwar na-

türlich zunehmen. Es würde also, wenn wir einige bestimmte Punkte herausgreifen und mit den Beichen 1, 2, 3, ... versehen,  $\frac{Q_2}{T_2}$  größer sein als  $\frac{Q_1}{T_1}$ ;  $\frac{Q_3}{T_3}$  wieder größer als  $\frac{Q_2}{T_2}$  und so weiter fort. Der Ausdruck  $T$  würde sich dabei aber nie ändern, es würde also in allen diesen Brüchen  $T_1 = T_2 = T_3 = \dots$  sein, und wir müßten sowohl in dem Punkt, welcher von dem Nullpunkt um  $\left(\frac{Q_1}{T_1}\right)$  entfernt ist,

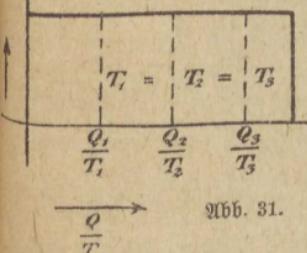


Abb. 31.

dieser Punkt, welcher von dem Nullpunkt um  $\left(\frac{Q_1}{T_1}\right)$  entfernt ist,

als auch in den Punkten  $(\frac{Q_2}{T_2})$ ,  $(\frac{Q_3}{T_3})$  usw. immer die gleichbleibenden Senkrechten  $T = T_1 = T_2 = T_3 = \dots$  auftragen. Die bei einem derartigen Vorgang zugeführte Wärme wird also (Abb. 31) dargestellt durch die Fläche eines Rechteckes.

Um einen ganz einfachen Fall herauszunehmen, wollen wir uns daran erinnern, daß eine solche Art von Wärmezuführung dann vorliegt, wenn Wasser von irgendeiner Temperatur, z. B.  $150^{\circ}\text{C}$ , in Dampf von  $150^{\circ}\text{C}$  übergeführt wird. Die hierbei zugeführte Wärme würde sich in der eben angegebenen Darstellungsweise als ein Rechteck veranschaulichen lassen, denn tatsächlich bleibt ja, wie wir von früher her (S. 36) wissen, die Temperatur während der Verdampfung dieselbe, so lange, bis alles Wasser in Dampf verwandelt ist.

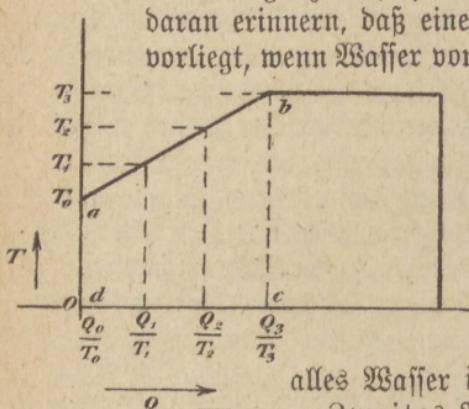
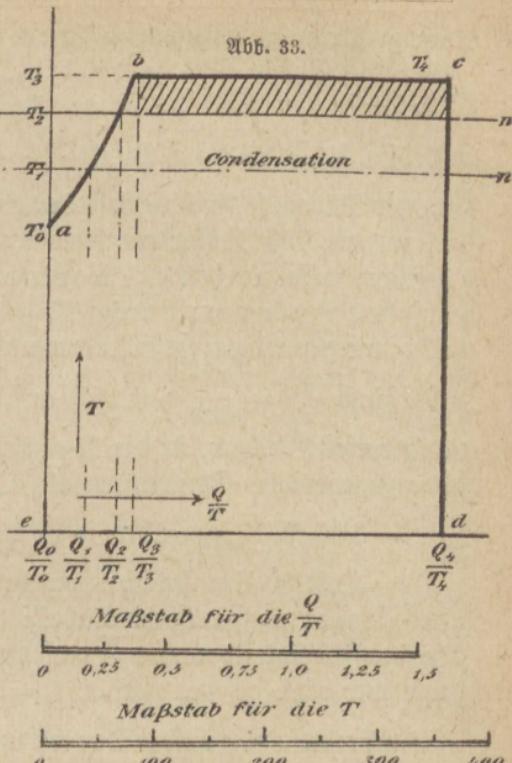


Abb. 32.

Zweites Beispiel (Abb. 32). Die Temperatur soll, zunächst wenigstens, während der Wärmezuführung nicht mehr dieselbe bleiben, sondern ansteigen. Dieser Fall wird offenbar der häufigere sein, denn wenn wir z. B. irgendeinem Gase Wärme zuführen, das heißt das Gas erwärmen, so wird im allgemeinen die Temperatur während der Wärmezuführung ansteigen. Wir wollen nun der Einfachheit halber annehmen, daß die Temperatur in demselben Maße ansteigt, als Wärme zugeführt wird, es soll also für jede zugeführte Wärmeeinheit die Temperatur immer um dieselbe Anzahl Grade zunehmen. Greifen wir hier wieder einzelne bestimmte Punkte heraus, die wir mit dem Zeichen 1, 2, 3, ... versehen, so ist auch hier  $\frac{Q_2}{T_2}$  größer als  $\frac{Q_1}{T_1}$ ,  $\frac{Q_3}{T_3}$  größer als  $\frac{Q_2}{T_2}$ . Hier ist aber auch  $T_2$  größer als  $T_1$ , ferner  $T_3$  größer als  $T_2$ . Wir müssen also in dem um die Länge  $\frac{Q_1}{T_1}$  von dem Nullpunkt abstehenden Punkt eine Senkrechte von der Größe  $T_1$ , in dem Punkt  $\frac{Q_2}{T_2}$  eine Senkrechte von der Größe  $T_2$ , im Punkte  $\frac{Q_3}{T_3}$  eine Senkrechte von der Größe  $T_3$  auftragen, wobei aber  $T_2$  größer ist als  $T_1$ ,  $T_3$  größer als  $T_2$ . Führen wir dies aus (siehe auch das rechnerisch durchgeführte folgende Beispiel von der Dampfmaschine!), so erhalten wir in Abb. 32 zunächst eine Fläche  $abcd$ .

welche oben von einer ansteigenden Linie begrenzt wird. Die Fläche  $abcd$  stellt also dann die gesamte Wärme dar welche in der Weise zugeführt wurde, daß während der Wärmezuführung die Temperatur in gleichmäßiger Weise zunahm. Würde von nun an aus irgend einem Grunde bei weiterer Wärmezuführung (ebenso wie bei dem ersten Beispiel) die Temperatur dieselbe bleiben, so würde sich, wie jetzt nach Besprechung des ersten Beispiels wohl leicht verständlich ist, die weiter zugeführte Wärme als ein Rechteck von der Höhe  $bc$  darstellen. Die gesamte Fläche stellt uns also eine Wärmemenge dar, welche in der Weise zugeführt wurde (oder, anders ausgedrückt, in der Weise auf die betreffende Flüssigkeit [Gas usw.] überging), daß die Temperatur während der Wärmezuführung zunächst gleichmäßig anstieg, nachher aber (vom Punkt  $\frac{Q_s}{T_3}$  aus) sich nicht mehr änderte.

Drittes Beispiel (Abb. 33). Es liege die Aufgabe vor, eine Dampfmaschine mit Dampf von 3 at abs arbeiten zu lassen. Nehmen wir der Einfachheit halber an, daß wir den Dampf aus 1 kg Wasser von  $0^\circ$  herzustellen hätten, so zeigt uns unsere Tabelle S. 40, daß zur Erzeugung von 1 kg Dampf von 3 at Spannung eine Gesamtwärme von 652 WE nötig ist. Wie stellt sich nun diese Wärme in der Form unseres vorher erörterten Wärmediagramms (auch Entropie-Temperatur-Diagramm genannt) dar? Rechnen wir, wie oben erwähnt, die Wärmezuführung von  $0^\circ$  aus, so ist also bei  $0^\circ$  die zugeführte Wärme  $Q_0$  gleich Null, der Ausdruck  $\frac{Q_0}{T_0}$  also ebenfalls gleich Null. Die zuge-



Maßstab für die  $\frac{Q}{T}$

Maßstab für die  $T$

hörige Ordinate oder die in diesem Punkte aufgetragene Senkrechte hat aber die Größe  $0^\circ\text{C} = 273^\circ \text{abs}$ . Wir hätten also in irgendeinem Maßstabe (in Abb. 33 ist er unter der Abbildung angegeben) diese Größe  $T_0 = 273$  im Punkt  $\frac{Q_0}{T_0} = 0$  aufzutragen. Führen wir nun weiter Wärme zu, so bleibt die Temperatur nicht auf gleicher Höhe, sondern nimmt zu, das Wasser erwärmt sich. Haben wir z. B.  $Q_1 = 50 \text{ WE}$  zugeführt, so hat sich das 1 kg Wasser auf  $t_1 = 50^\circ\text{C}$  erwärmt, die zugehörige absolute Temperatur beträgt  $T_1 = 273 + 50 = 323^\circ \text{abs}$ . Wir hätten also in irgendeinem (z. B. in dem unterhalb der Abbildung angegebenen) Maßstab  $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{50}{323} = 0,155$  auf der Wagerechten (der Abszisse) und andererseits in dem für die  $T$  vorher gewählten Maßstab  $T = 323$  auf der zugehörigen Senkrechten als Ordinate aufzutragen.<sup>1)</sup> Haben wir  $Q_2 = 100 \text{ WE}$  zugeführt, so ist  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 373^\circ \text{abs}$ ,  $\frac{Q_2}{T_2} = \frac{100}{373} = 0,268$ . Um Dampf von 3 at abs zu erzeugen, müssen wir erst das Wasser nach unserer Tabelle auf  $132,8^\circ\text{C}$  erwärmen. Die zugehörige Flüssigkeitswärme ist nach der Tabelle  $Q_3 = 133,9 \text{ WE}$ , ferner ist, wie wir eben gesehen hatten,  $t_2 = 132,8^\circ\text{C}$  und demnach  $T_3 = 405,8$ . Es wäre also für unsere Darstellung  $\frac{Q_3}{T_3} = \frac{133,9}{405,8} = 0,33$ ;  $T_3 = 405,8$ .

Hier beginnt nun die Verwandlung des Wassers in Dampf, und es bleibt, wie wir aus unseren früheren Versuchen (S. 36 ff.) wissen, von jetzt ab die Temperatur gleich groß, wieviel Wärme wir auch zuführen. Die „Kurve“ läuft also von jetzt an wagerecht, und zwar so lange, bis das ganze Kilogramm Wasser in Dampf verwandelt ist, das heißt, bis im ganzen 647 WE (siehe Tabelle!) zugeführt sind. In diesem Augenblick ist also

1) Es mag hier vielleicht kurz darauf hingewiesen werden, daß in den sämtlichen folgenden Beispielen die Berechnung der Entropiewerte  $\frac{Q_1}{T_1}$ ,  $\frac{Q_2}{T_2}$  und  $\frac{Q_3}{T_3}$  streng genommen nicht ganz richtig ist. Die Zuführung der Wärmemenge  $Q_1$  z. B. erfordert ja eine gewisse Zeit, und während dieser Zeit steigt die Temperatur nur allmählich von  $T_0$  auf  $T_1$ . Tatsächlich wird also nicht die ganze Wärmemenge  $Q_1$  bei der Temperatur  $T_1$  zugeführt, sondern eigentlich erst der allerletzte verschwindend kleine Teil (das letzte „Differential“) von  $Q_1$ . Nur unter Zulassung dieses kleinen Fehlers ist es aber möglich, die folgende für die ganze Beurteilung der Dampfmaschine so außerordentlich wichtige Betrachtung im Rahmen dieses Buches zu bringen, und so habe ich denn kein Bedenken getragen, den kleinen Fehler zu begehen.

$Q_4 = 647$ ,  $t_4 = t_3 = 132,8^\circ\text{C}$ ,  $T_4 = T_3 = 405,8$ ,  $\frac{Q_4}{T_4} = \frac{647}{405,8} = 1,59$ , und es stellt nun die Fläche  $abcde$  die insgesamt zur Verdampfung des Wassers aufgewendete Wärme dar.

Wie weit wird nun diese durch die eben genannte Fläche dargestellte Arbeitswärme für die Arbeitsleistung nutzbar gemacht? Nehmen wir zunächst den einfacheren Fall, die Maschine arbeite mit Auspuff. Der in den Zylinder hineingelassene Dampf dehne sich, wie wir annehmen wollen, adiabatisch, also ohne Wärmezuführung und namentlich ohne Wärmeabführung (das heißt ohne Wärmeverlust) aus, so lange, bis er sich in Dampf von 1 at oder Dampf von  $100^\circ\text{C}$  verwandelt hat, und ströme als solcher in die Außenluft. Eine Dampfmaschine, in welcher der Dampf genau wie hier angegeben arbeitet, bezeichnet man gewöhnlich mit dem Namen „verlustlose“ Dampfmaschine. Die Wärmeabführung geschieht hier also bei einer Temperatur von  $100^\circ\text{C} = 373^\circ\text{abs}$ , die bei dem für unsere Abb. 33 a. S. 95 gewählten Maßstäbe durch die Höhe  $T_2$  dargestellt ist. Mit anderen Worten: Von der durch die Fläche  $abcde$  dargestellten zugeführten Wärme führen wir denjenigen Teil wieder (in die Außenluft) ab, welcher unterhalb der Linie  $mn$  liegt. Wir nutzen also selbst in der verlustlosen Dampfmaschine von der durch die Fläche  $abcd$  dargestellten zugeführten Wärme nur den durch die gestrichelte Fläche dargestellten geringen Teil aus und können durch Ausmessen der betreffenden Flächen geradezu denjenigen Bruchteil der zugeführten Wärme ausrechnen, welcher tatsächlich in Arbeit umgesetzt wird.

**Viertes Beispiel.** Wir wollen nun in genau derselben Weise, in genau demselben Maßstabe die Größe der zu- und abgeführten Wärme feststellen bei einer Dampfmaschine, welche mit sehr hoher Dampfspannung, also z. B. mit 20 at abs = 19 at Überdruck, arbeitet. Bis zur Erwärmung des Wassers auf  $132,8^\circ\text{C}$  ist der Vorgang offenbar genau derselbe wie vorher. Wollen wir nun aber Dampf von 20 at abs =  $211,3^\circ\text{C}$  erzeugen, so müssen wir bekanntlich zuerst wieder das Wasser mittels der sogenannten Flüssigkeitswärme auf dieselbe Temperatur bringen, die der Dampf von jener Spannung besitzt, nämlich auf  $211,3^\circ\text{C}$ . Die Flüssigkeitswärme  $Q'_s$  für Dampf von 20 at abs ist nach unserer Tabelle (S. 40) 215,5 WE, die absolute Temperatur  $T'_s = 211,3 + 273 = 484,3^\circ$ . Der Punkt, an dem wir die Senkrechte von der Größe  $T_s = 484,3$  auftragen müssen, liegt also im Abstand  $\frac{Q'_s}{T'_s} = \frac{215,5}{484,3} = 0,445$

(Maßstab siehe Abb. 33 a. S. 95) von dem angenommenen Nullpunkt. Führen wir jetzt weiter Wärme zu, so tritt die Verdampfung des Wassers ein, die Temperatur bleibt auf derselben Höhe, die „Kurve“ wird also

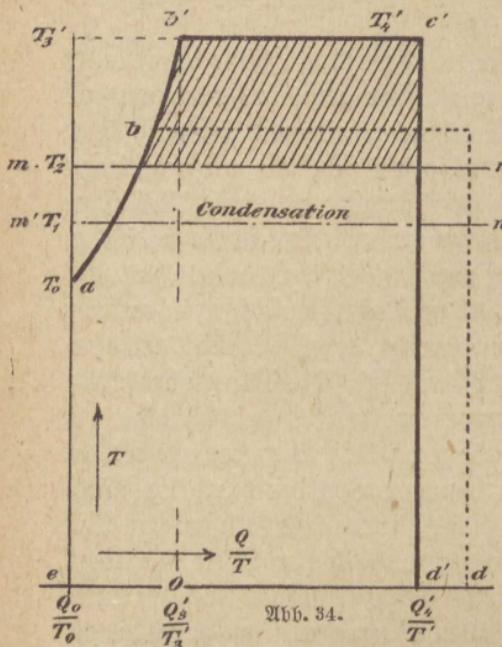


Abb. 34.

eine Wagerechte, und zwar so lange, bis das ganze Wasser verdampft ist, das heißt bis die Gesamtwärme von 673,38 WE (s. Tabelle) zugeführt ist. In diesem Augenblick ist

$$\frac{Q'_4}{T'_4} = \frac{673,38}{484,3} = 1,39;$$

$T'_4 = T'_3 = 484,3$ , und es stellt die Fläche  $abb'c'd'e$  die insgesamt zur Verwandlung des Wassers in Dampf von 20 at abs aufgewendete Wärme dar. (Zum Vergleich ist die Fläche, welche den Wärmeverbrauch der mit 3 at arbeitenden Dampfmaschine darstellt, in Abb. 34 noch einmal punktiert eingetragen.)

Lassen wir auch diese Maschine zunächst mit Auspuff arbeiten, so geschieht die Abführung der Wärme offenbar unter ganz denselben Verhältnissen wie vorher; mit anderen Worten, auch hier müssen wir wieder selbst in der sogenannten verlustlosen Dampfmaschine von der durch die obengenannte Fläche dargestellten Wärme denjenigen Teil wieder abführen, welcher unterhalb der (an derselben Stelle wie in Abb. 33 gezeichneten) Linie  $mn$  liegt.

Ein Vergleich der beiden letzten Beispiele und der dazu gehörigen Abbildungen 33 und 34 zeigt nun aber recht deutlich ein sehr wichtiges Ergebnis, welches wir früher bereits aus anderen Betrachtungen und Überlegungen gefunden hatten: den Vorteil der Anwendung hoher Dampfspannungen. Die Größe der im ganzen zugeführten Wärmemenge ist in beiden Fällen, wie wir übrigens auch schon früher, S. 43, gefunden hatten, nur wenig voneinander verschieden, d. h. die Fläche  $abcd$  ist ungefähr ebenso groß wie die Fläche  $ab'c'd'e$ . Je höher wir aber die Dampfspannungen wählen, zu einem um so größeren Teil liegen jene Flächen, welche die aufgewendeten Wärmemengen darstellen,

oberhalb der Linie  $mn$ , das heißt also: zu einem um so größeren Teil wird die zugeführte Wärme zur Arbeitsleistung ausgenutzt.

Fünftes Beispiel. Hier ist nun auch der Ort, um sich in einfacher Weise über den Nutzen der Dampfsüberhitzung klar zu werden. Gehen wir etwa von dem dritten Beispiele aus und denken wir uns nach vollständiger Umwandlung des Wassers in Dampf noch weiter Wärme zugeführt, dann steigt auch, wie wir aus unserem siebenten Versuche, S. 33, wissen, die Temperatur des Dampfes, und zwar ungefähr in demselben Verhältnisse, als Wärme zugeführt wird. Mit anderen Worten: Bei

Vergrößerung der Abszissen  $\frac{Q}{T}$   $\frac{Q_2}{T_2}$

Abb. 35.

 $\frac{Q_4}{T_4} \frac{Q_5}{T_5}$ 

über  $\frac{Q_4}{T_4}$  hinaus steigt die obere Begrenzungslinie  $abc$  der Abb. 35 über  $c$  hinaus ebenso an, wie es in der ersten Hälfte des Beispiels 2, S. 40, von  $\frac{Q_0}{T_0}$  bis  $\frac{Q_3}{T_3}$  der Fall war. Das Diagramm für überhitzten Dampf bekommt dann also z. B. bei einer Überhitzung bis auf  $300^{\circ}\text{C}$  eine Form, wie sie Abb. 35 veranschaulicht. Man sieht nun: je höher der Dampf überhitzt wird, zu einem um so größeren Teile liegt auch hier jene Fläche, welche die aufgewendete Wärmemenge darstellt, oberhalb der Linie  $mn$ , das heißt also: zu einem um so größeren Teile wird die zugeführte Wärme auch wirklich zur Arbeitsleistung ausgenutzt.

**Wärmeausnutzung bei Kondensationsmaschinen.** Eine weitere Überlegung zeigt, daß, selbst wenn wir die Maschine nicht mit Auspuff, sondern mit Kondensation arbeiten lassen, die Ausnutzung der Wärme nur wenig besser wird. Nehmen wir an, das zum Niederschlagen des Dampfes verwendete Kühlwasser fließe mit einer Temperatur von etwa  $50^{\circ}\text{C}$  aus dem Kondensator ab, dann herrscht, wie unsere Tabelle S. 40 zeigt, im Kondensator eine Spannung von 0,125 at abs. Der in den

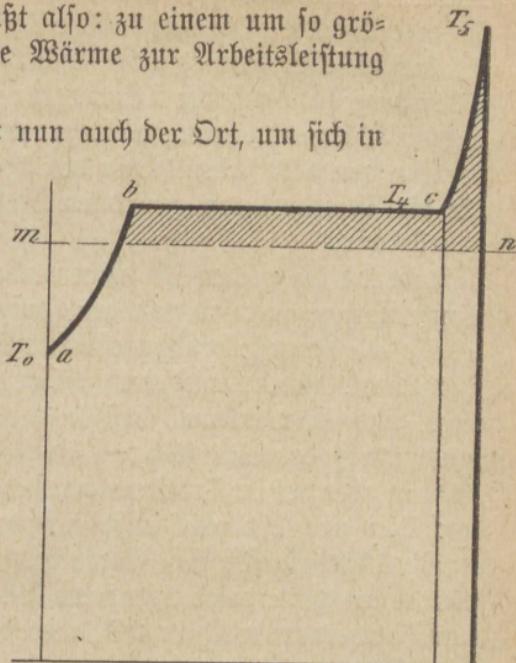


Abb. 35.

Zylinder der Maschine eingelassene Dampf kann sich also in der Maschine bis auf diese Spannung oder, anders ausgedrückt, bis auf die dieser Spannung entsprechende Temperatur ( $50^{\circ} \text{ C} = 323^{\circ} \text{ abs}$ ) ausdehnen, und die Wärmeabführung geschieht dann bei einer gleichbleibenden Temperatur von  $323^{\circ} \text{ abs}$ , die in den beiden Abb. 33 und 34 nach dem für die Temperaturen gewählten Maßstab durch die Linie  $m'n'$  dargestellt wird.

Arbeiten die beiden Maschinen also nicht mit Auspuff, sondern mit Kondensation, so wird von den (durch die beiden Flächen  $abede$  und  $abb'c'd'e$  dargestellten) zugeführten Wärmemengen derjenige Teil nicht ausgenutzt, sondern wieder abgeführt, welcher unterhalb der Linie  $m'n'$  liegt, und man erkennt, daß in der verlustlosen Dampfmaschine die Ausnutzung der Wärme durch die Kondensation zwar besser geworden ist, daß aber der in Arbeit umgewandelte Teil der zugeführten Wärme auch hier noch ein recht unbedeutender genannt werden muß.

**Denkbar günstiger Wirkungsgrad. Carnotscher Kreisprozeß.**  
 Betrachten wir einmal irgendeine Wärmekraftmaschine, welche zwischen den Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  arbeitet. Dabei sei  $T_1$  die höchste (absolute) Temperatur, welche in dem betreffenden Kreisprozeß vorkommt,  $T_2$  die niedrigste. (In unserem Beispiele von der Dampfmaschine, welche mit einer Dampfspannung von 20 at abs und mit Kondensation arbeitet, wäre die höchste Temperatur  $T_1 = 211,3 + 273 = 484,3^{\circ} \text{ abs}$ , die niedrigste, im Kondensator herrschende Temperatur  $T_2 = 50 + 273 = 323^{\circ} \text{ abs}$ .) Ist nun  $Q_1$  die bei irgendeinem Kreisprozeß im ganzen zugeführte Wärmemenge, so ist  $\frac{Q_1}{T_1}$  eine ganz bestimmte Größe (z. B. gleich der in Abb. 36 mit  $\frac{Q_1}{T_1}$  bezeichneten Strecke), und es zeigt eine einfache Betrachtung der Abbildung, daß, welcher Art die Wärmekraftmaschine auch sein möge, der in Arbeit umgewandelte Teil der zugeführten Wärme (dargestellt durch die gestrichelte Fläche) dann am größten sein wird, wenn die ganze zugeführte Wärme bei der gleichbleibenden höchsten Temperatur  $T_1$ , die ganze notwendigerweise abzuführende Wärme dagegen bei der gleichbleibenden niedrigsten Temperatur  $T_2$  abgeführt wird. Denn sowie an einer Stelle der Wärmeabführung die Temperatur kleiner wäre als die höchste zulässige Temperatur  $T_1$ , oder an irgendeiner Stelle der Wärmeabführung die Temperatur höher als die niedrigste zulässige Temperatur  $T_2$ , würde die gestrichelte Fläche sofort kleiner werden. Mit anderen Worten, es wird

derjenige Kreisprozeß der günstigste sein, das heißtt, die beste Wärmeausnutzung ergeben, welcher sich in der eben erläuterten Darstellungsweise des Wärmendiagramms als ein Rechteck ergibt, dessen obere und untere Begrenzungslinien in der Höhe der Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  liegen. Dies können wir feststellen, ohne daß wir deshalb den betreffenden Kreisprozeß wirklich zu untersuchen brauchen (es möge nur kurz bemerkt werden, daß er einen besonderen Namen führt und Carnotscher Kreisprozeß genannt wird<sup>1)</sup>); wir können sogar, und das ist recht bemerkenswert, ohne den Verlauf dieses Kreisprozesses zu kennen (seine Beschreibung würde hier zu weit führen), die Größe seines thermischen Wirkungsgrades angeben. Unter thermischem Wirkungsgrade verstanden wir (S. 27) das Verhältnis der in Arbeit umgewandelten Wärme zu der insgesamt zugeführten Wärme. Das ist ja aber in unserer Darstellungsweise des Wärmendiagramms, wie wir gesehen hatten, nichts anderes als das Verhältnis der Größe der gestrichelten Fläche zu der (die gesamte zugeführte Wärme darstellenden) Fläche  $abcd$  (Abb. 36). Da beide Flächen hier in unserem Falle, das heißtt beim Carnotschen Kreisprozeß, Rechtecke sind von derselben Breite  $\frac{Q_1}{T_1}$ , so verhalten sich ihre Flächeninhalte einfach wie ihre Höhen, das heißtt wie  $(T_1 - T_2)$  zu  $T_1$ , und wir erhalten den für die ganze Theorie der Wärmekraftmaschinen sehr wichtigen Satz:

Eine Wärmekraftmaschine arbeitet zwischen zwei gegebenen Grenztemperaturen dann am günstigsten, wenn der sich in der Maschine abspielende Kreisprozeß dem sogenannten Carnotschen Kreisprozeß entspricht. Bei diesem Carnotschen Kreisprozeß verhält sich die in Arbeit umgesetzte Wärme zu der insgesamt zugeführten Wärme wie  $T_1 - T_2$  zu  $T_1$ , oder, wie wir mit unserer früheren Bezeichnung (S. 27) fürzter sagen können, bei dem günstigsten (Carnotschen) Kreisprozeß ist  $\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ .

Dabei ist also  $T_1$  die Temperatur, bei welcher Wärme zugeführt wurde,  $T_2$  die Temperatur der abgeführten Wärme.

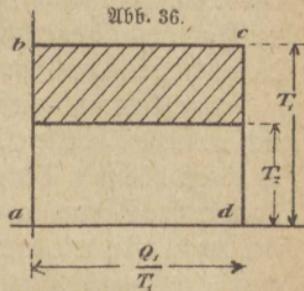


Abb. 36.

1) Siehe Anmerkung S. 49.

Untersuchen wir nun einmal an der Hand dieser Gleichung unsere mit Kondensation arbeitende Dampfmaschine: Angenommen, es wäre die Möglichkeit vorhanden, eine Dampfmaschine genau nach dem Carnotschen Kreisprozeß arbeiten zu lassen. [Dass es tatsächlich nicht möglich ist, haben wir oben gesehen, denn der Kreisprozeß der „verlustlosen“ Dampfmaschine, dargestellt durch das Wärmediagramm, war eben (vgl. Abb. 33 und 34) kein Rechteck.] Wie groß könnte dann im günstigsten Falle der thermische Wirkungsgrad dieser Dampfmaschine werden? Die höchste Dampfspannung, die für den Betrieb von Dampfmaschinen in Frage kommt, dürfte wohl etwa 20 at abs sein. Dies entspräche nach unserer Tabelle (S. 40) bei Verwendung gesättigten Wasserdampfes einer höchsten Temperatur  $T_1$  von rund  $211^{\circ}\text{C} = 484^{\circ}$  abs, wofür wir zur Abrundung einfach  $500^{\circ}$  setzen wollen. Die niedrigste Temperatur dürfte, wie wir schon früher (S. 99) gefunden hatten, im Mittel etwa  $50^{\circ}\text{C} = 323^{\circ}$  abs betragen, entsprechend einer Kondensatorspannung von rund 0,125 at abs (s. Tabelle). Wir wollen aber auch hier einen außergewöhnlich günstigen Fall annehmen, indem wir zur Abrundung  $T_2 = 300^{\circ}$  annehmen. Trägt man diese Werte in unsere obige Gleichung ein, so ergibt sich ein thermischer Wirkungsgrad

$$\eta_t = \frac{500 - 300}{500} = 0,4 = 40\%.$$

Also selbst für diesen günstigsten Fall, unter Annahme des günstigsten Kreisprozesses und der günstigsten Temperaturgrenzen, wäre es bei Verwendung von Wasserdampf als Kraftmittel nur möglich, 40% der zugeführten Wärme in Arbeit umzusetzen. Wenn wir nun früher (S. 88) einen tatsächlich erreichbaren Wirkungsgrad der Dampfmaschinenanlagen von rund 14% im günstigsten Falle gefunden hatten, so erkennt man, dass unter den gegebenen Verhältnissen, das heißt für das gegebene Betriebsmittel (Wasserdampf), die Dampfmaschine nicht allzu unwirtschaftlich arbeitet, da sie von den unter jenen günstigsten Verhältnissen überhaupt nur ausnutzbaren Wärme  $\frac{14}{40} = 0,35$  oder 35% wirklich ausnutzt.

Schreibt man die angeführte Formel für  $\eta_t$  in der Gestalt

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

so erkennt man, nach welcher Richtung hin sich bei irgendwelchen Wärme- kraftmaschinen die Bestrebungen zur Verbesserung des Wirkungsgrades hauptsächlich wenden müssen:  $\eta_t$  wird offenbar um so größer werden,

das heißt um so mehr sich der „1“ nähern, je größer  $T_1$  und je kleiner  $T_2$  ist. Da wir durch die Verhältnisse auf unserer Erde mit der niedrigsten Temperatur  $T_2$  nicht wesentlich tiefer gehen können, als es jetzt schon der Fall ist (vgl. S. 99), werden wir versuchen müssen, vor allen Dingen mit  $T_1$  möglichst weit heraufzugehen, und hierin liegt z. B. wieder ein Grund, wärum Dampfmaschinen mit hochüberheiztem Dampf (sogenannte *Heißdampfmaschinen*) und Gasmaschinen wirtschaftlicher arbeiten als Dampfmaschinen unter Verwendung gesättigten Wasserdampfes.

### Schlüß.

## Nachteile der Kolbendampfmaschine.

Bei dem im vorhergehenden Abschnitte besprochenen Übelstände der schlechten Wärmeausnutzung war mit keinem Worte von der Bauweise der Dampfmaschine selbst die Rede. Die vorstehenden Grörterungen gelten also ganz allgemein für irgendeine Kraftmaschine, deren Betriebsmittel hochgespannter Wasserdampf ist, ganz gleichgültig, wie die Bauart und Wirkungsweise dieser Kraftmaschine sein möge. Sie gelten daher ebenso gut für die bisher allein besprochene Kolbendampfmaschine mit hin und her gehendem Kolben wie für die in neuester Zeit zu so schneller Entwicklung gelangte Dampfturbine. Dagegen gibt es nun noch einige Übelstände, welche der Dampfmaschine lediglich in der Form der Kolbendampfmaschine anhaften und die daher zum Schlüß noch einer kurzen Besprechung unterzogen werden mögen.

**Vermittelster Bau.** In allererster Linie wären hier hervorzuheben die großen Übelstände, welche mit der Kraftaufnahme durch den hin und her gehenden Kolben verbunden sind. Da das weitaus größte Verwendungsbereich der Kraftmaschinen die Hervorbringung einer umlaufenden Bewegung ist, muß bei der Kolbenmaschine die hin und her gehende Bewegung des Kolbens erst in eine umlaufende Bewegung verwandelt werden. So verhältnismäßig einfach nun auch diese Verwandlung mittels des Kurbeltriebes genannt werden kann, so haften ihr doch nicht unbedeutende Nachteile an. Der Kurbeltrieb selber besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen: Kolben, Kolbenstange, Geradführung (in der Regel vermittels Kreuzkopf und Gleitbahn), Schubstange, Kurbel, Kurbelwelle (s. Abb. 14 S. 56). Nun bedenke man, wieviel Lager und sonstige gleitende Flächen

mit dieser Verbindung von Maschinenteilen verknüpft sind; man bedenke, daß alle diese Lager und gleitenden Flächen dauernd geschmiert werden müssen, man bedenke ferner, daß auch eine Nachstellbarkeit in allen diesen Teilen vorgesehen sein muß, da selbst bei guter Schmierung eine Abnutzung auf die Dauer niemals ganz zu vermeiden ist, und man wird erkennen, daß in der Tat diese so einfach erscheinende Umwandlung einer hin und her gehenden in eine umlaufende Bewegung, selbst bei vollkommenster Ausführung, eine Reihe von Übelständen mit sich bringt. Dabei darf auch nicht außer acht gelassen werden, welch großen Raum diese Umwandlung beansprucht, was in Verbindung mit den Herstellungskosten für alle die obengenannten Teile des Kurbeltriebes den Gesamtpreis der Maschine und damit natürlich auch ihre Wirtschaftlichkeit ungünstig beeinflußt.

**Nachteile der hin und her gehenden Massen.** Ein anderer großer Übelstand der hin und her gehenden Bewegung ergibt sich aus folgender Betrachtung. Wenn der Dampf in den Zylinder einströmt, so muß er, ehe seine Spannkraft in nutzbare Arbeit umgesetzt werden kann, das ganze Triebwerk, also Kolben, Kolbenstange, Kreuzkopf usw., in Bewegung setzen. Dieses Inbewegungsetzen geschieht ja nun nicht etwa nur ein einziges Mal beim Anlassen der Maschine, sondern, da das ganze Gestänge am Ende eines jeden Kolbenhubes zur Ruhe kommt oder, besser gesagt, gewaltsam zur Ruhe gebracht wird — in den beiden Totpunkten der Maschine steht ja für einen Augenblick das ganze Gestänge still —, muß auch das Inbewegungsetzen des Gestänges bei Beginn eines neuen Kolbenhubes jedesmal wiederum von neuem erfolgen. Wenn nun auch zu diesem Inbewegungsetzen jedesmal Kraft verbraucht wird, so wäre dieser Kraftverlust doch nicht von wesentlicher Bedeutung, da gegen Ende des Hubes, wenn das Gestänge wieder verzögert wird, die in ihm aufgespeicherte lebendige Kraft zum größten Teil wieder als Kraft an die Kurbel abgegeben wird. Wohl aber hat das jedesmalige Inbewegungsetzen des Gestänges bei Beginn eines neuen Hubes einen anderen Übelstand zur Folge. Man stelle sich einmal vor, man wolle etwa eine schwere Kiste *a* dadurch auf dem Boden forschieben, also in Bewegung setzen, daß man sich mit dem Rücken dagegen stemmt und, um einen Gegenhalt zu haben, die Füße gegen eine andere stütze *b* stemmt. Ist die Kiste *b* nicht wesentlich schwerer, oder ist sie nicht sonst irgendwie am Fortgleiten verhindert, so kann es vorkommen, daß beim Anstemmen nicht allein die Kiste *a*, sondern auch die Kiste *b* um ein Stück auf dem

Boden fortgeschoben wird. Hat man dagegen die zweite Kiste *b* etwa mit Schrauben am Fußboden befestigt, so ist ein solches Fortschieben dieser zweiten Kiste natürlich ausgeschlossen. Etwas Ähnliches ist nun bei der Kolbendampfmaschine der Fall. Ehe der Kolben und das mit ihm zusammenhängende Gestänge der Maschine in Bewegung gesetzt ist, stellt er durch seine Trägheit einen Widerstand dar, ähnlich dem Widerstand der obenerwähnten Kiste *a*.

Der Dampf, der das Gestänge z. B. nach rechts drücken will (vgl. Abb. 14 S. 56), muß sich auch gewissermaßen irgendwo anstemmen, in diesem Falle gegen die hintere Zylinderwandung. Wäre nun das Gestänge etwa sehr schwer, die ganze übrige Maschine dagegen sehr leicht und außerdem sonst gar nicht auf dem Fußboden befestigt, so ist aus Abbildung 14 leicht ersichtlich, daß nicht der Kolben und das Gestänge nach rechts, sondern die ganze Maschine nach links gerückt werden würde. Am anderen Zylinderende, beim Umdrehen des Kolbens, würde das Entgegengesetzte eintreten. Der Kolben würde, zunächst wenigstens, nicht nach links, sondern die ganze Maschine nach rechts geschoben werden, und so weiter fort. Die Maschine würde fortwährend auf ihrer Unterlage hin und her rücken.

Man erkennt ohne weiteres aus Abb. 37, daß etwas ganz Ähnliches bei einer stehenden Maschine der Fall wäre. Wäre die Maschine nicht fest auf einer unnachgiebigen Grundlage verankert, so würde sie jedesmal nach Überschreiten der oberen Totlage das Bestreben haben in die Höhe zu hüpfen.

Dieses Bestreben, sich auf der Grundlage — dem sogenannten Fundamente — fortzuschlieben oder sich davon abzuheben, wird, wie man leicht einsieht, um so größer sein, einmal, je schwerer das Gestänge ist, dann aber auch, je rascher die Maschine läuft. Denn je rascher die Maschine läuft, um so rascher muß das Gestänge jedesmal in Bewegung gesetzt werden, um so größer ist aber auch die Kraft, die dazu nötig ist, was man auch ohne die Kenntnis des Grundgesetzes der Mecha-

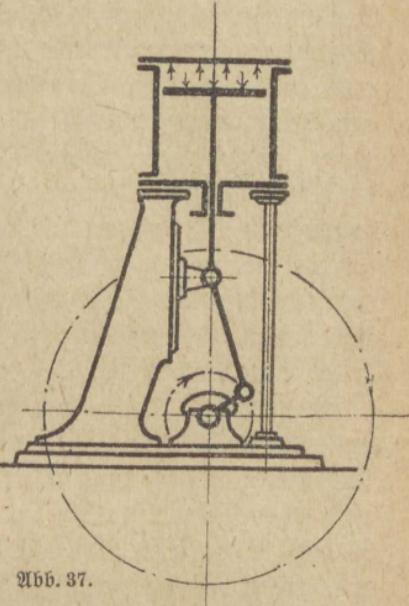


Abb. 37.

nit: „Kraft gleich Masse mal Beschleunigung“ schon daraus erkennen kann, daß man, um einen Wagen aus seiner Ruhelage in Bewegung zu setzen, eine um so größere Kraft nötig hat, je schneller dieses Inbewegungssetzen geschehen soll.

Aus den soeben angestellten Betrachtungen ergibt sich also, daß nicht nur jede Dampfmaschine, sondern überhaupt jede Kraftmaschine, bei welcher eine hin und her gehende Kolbenbewegung in eine umlaufende Bewegung umgewandelt wird, fest auf einem Fundamente verankert werden muß, und daß diese Verankerung um so fester, das Fundament selber um so schwerer sein muß, je größer die Maschine und je größer die Zahl ihrer Umdrehungen in der Minute ist. Man erkennt auch geradezu, daß die Umdrehungszahl einer Maschine eine immer geringere werden muß, je größer die Maschine wird, da sonst die zum jedesmaligen Inbewegungssetzen (Beschleunigen) des Gestänges nötigen Kräfte so groß werden würden, daß die Gleichmäßigkeit des Ganges der Maschine darunter leiden und die Aufnahme jener Kräfte durch das Fundament Schwierigkeiten bereiten würde.

So sehen wir denn, daß unsere Jahrhunderte alte, scheinbar so hoch entwickelte Dampfmaschine neben einer großen Zahl hervorragend guter Eigenschaften doch auch eine Reihe erheblicher Mängel aufzuweisen hat, und zwar Mängel, welche im Wesen der Maschine selber begründet sind, so daß leider keine Aussicht besteht, diese Mängel etwa durch eine immer mehr vervollkommnete Ausführung oder tieferes Eindringen in die Theorie dieser Maschine von Grund aus zu beseitigen. Wohl aber hat in neuester Zeit ein anderer Gedanke zu großen Erfolgen geführt, nämlich der Gedanke, die Kraft des hochgespannten Wasserdampfes in einer anderen Kraftmaschine auszunutzen, welche einen Teil der Übelstände vermeidet, die der alten Kolbendampfmaschine anhaften. Es ist dies die Dampfturbine, welche ähnlich wie der Elektromotor nur einen umlaufenden Kraftaufnehmer besitzt, so daß hier alle die oben besprochenen Übelstände der Umwandlung einer hin und her gehenden Bewegung in eine umlaufende Bewegung in Fortfall kommen. Über Dampfturbinen siehe des Verfassers „Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmeleistungsmaschinen“, Band 86 dieser Sammlung.



## Sachregister.

- Ablühlungsverluste 70.  
absolute Atmosphäre 29,  
30.  
absoluter Nullpunkt 19.  
absolute Temperatur 19.  
Adiabate 23.  
Anstrengen des Kessels 49,  
84.  
Äquivalent, Wärme — 16  
Arbeit 2.  
Arbeitsvermögen 17.  
Atmosphäre 10, 30.  
atmosphärische Maschine  
55  
Aufnehmer 69.  
Auspuffmaschinen 72.  
Außenluftdruck 29.  
äußere Verdampfungswärme 38.  
Boyle 20, 22, 24, 32.  
Calorie 16  
Carnotscher Kreisprozeß 101.  
Compoundmaschine 67.  
Dampf, gesättigter 31, 32.  
—kessel 45.  
—sprühen 50.  
—tabelle 40.  
—, überhitzter 33.  
—, ungesättigter 33.  
—verbrauch von Ma-  
schinen 90.  
—wärme 39.  
—wolken 28.  
Diagramm 10, 13, 60 ff.  
doppelwirkende Ma-  
schine 57.  
Drosselung des Dampfes  
61.
- Druck, mittlerer indizier-  
ter 14.  
Druckwechsel im Gestänge  
78.
- Einfachwirkende Maschine  
57.  
einstufige Expansion 67.  
Economiser 49, 52.  
Energie 17.  
Entropie 92.  
Ergebnisse der Dampfta-  
bellen 39.  
— der Dampfversuche 36.  
Erhaltung der Energie,  
Satz von der — 17.  
Expansionsmaschine 59, 62.
- Feuerraum 46.  
Flaschenzug 2.  
Flintenfugel 18.  
Flüssigkeitswärme 38, 43.  
Fuchs 53.  
Fundament, Zweck eines  
—es 106.
- Gaskonstante 25.  
Gay-Lussac 21, 35.  
Gefälle, Temperatur — 86,  
92.  
Gelenkgeradeführung 13.  
Gesamtwärme 38, 43.  
gesättigter Dampf 31, 35.  
Größe eines Dampfkessels  
48.  
Guericke 54.
- Hauptzylinder erster 16.  
— zweiter 26.  
Heißdampf 79 ff., 99.  
Heizfläche 46, 49.  
—gase 46.
- Heizwertmesser 36.  
Hochdruckzylinder 67.
- Indikator 9, 12.  
—diagramm 10, 14.  
Indizieren 9.  
indizierte Pierdestärke 8.  
indizierter Druck 14.  
Innere Verdampfungswärme 38, 43.  
Isotherme 22, 32, 63.
- Kalorie 16.  
Kalorimeter 36.  
Kamin 46.  
Kesselformen 46.  
—größe 48.  
—stein 73.
- Kilogramm 3.  
Kohlenersparnisse 85.  
—verbrauch bei Dampf-  
maschinen 88.  
Kolbenstangen 58.  
—überdruck 60.  
Kompression 76.  
Kondensation 72, 99.  
Kondensator 57, 74.  
Konstante, Gas — 24.  
Kraft 1.  
—erzeugung 17.  
—maschinen 3.  
Kreisprozeß 24, 100.  
Kreuzkopf 57.  
künstliche Kühlung 26.  
Kurbel 57.  
—trieb 59.
- Lastenaufzug 44.  
latente Wärme 38.  
Lawine 18.  
Leistung 4  
— einer Maschine 14.

Leistung eines Pferdes 7.	Schädlicher Raum 75.	Versuche betr. Dämpfe 29ff.
— indizierte 11.	Schonen des Kessels 48.	Boilddruckmaschine 59.
Luftdruck 10	Schorfstein 46, 89.	Vorausströmung 75.
Mariotte 22.	Schubstange 57.	Voreinströmung 75.
Maschinenleistung 14.	Spannung 30.	Wärmeäquivalent 16.
Massenwirkungen bei Dampfmaschinen 104.	Speisewasservorwärmer 52.	—ausnützung 97.
Mayer, Robert — 16.	Steinkohlenwärme 19.	—bedarf bei Dampferzeugung 35, 38.
mechanischer Wirkungsgrad 9.	Stoßen der Maschine 79.	—diagramm 98.
mehrstufige Dampfdehnung 66.	Stundenpferdestärke 28, 88.	—einheit 16.
Meterkilogramm 3.	Tabelle für gesättigte Dämpfe 40.	—energie 90.
Mitteldruckzylinder 68.	Temperatur, absolute 19.	—gewicht 90.
mittlerer indizierter Druck 14.	Temperaturgefälle 91.	—kraftmaschinen 4.
Muskelkraftmaschinen 4.	thermischer Wirkungsgrad 27.	—losigkeit 19.
Nasser Dampf 49.	trockener Dampf 49.	—vergudeung 88.
Newcomen 55.	Überdruck, Kolben— 57, 60.	—wert 16.
Niederdruckzylinder 67f.	Überdruckatmosphären 11, 31.	Wasser dampf 28.
Nullpunkt abs. 19.	Überhitzer 51, 87.	—inhalt des Kessels 50.
Nutzpferdestärke 8.	überhitzter Dampf 33.	—kraftmaschinen 4, 18.
Papin 54.	Übersetzung 2.	—schlag 50, 80.
Pendel 1.	ungefäßtigter Dampf 33, 34.	Watt 9, 57.
Pferdestärke 6.	Verbrauch an Dampf 90.	Windkraftmaschinen 4.
Planimeter 14.	Verbundmaschine 67.	Wirkungsgrad, mechanischer 9.
Rauchgase 52.	Verdampfungsfähigkeit eines Kessels 48.	—, thermischer 27.
Rauchgasvorwärmer 52, 84, 89.	Verdampfungswärme 38.	—, wirtschaftlicher 28.
Raum schaffungsarbeit 37, 43.	verlustlose Dampfmaschine 97, 102.	Wirkungsweise d. Dampfmaschinen 54.
Receiver 68.		Züge beim Kessel 46.
Reduzierzvorrichtung 13.		Zustand eines Gases 20.
		Zustandsänderung 20ff., 32.
		zweistufige Dampfdehnung 66.

Vom Verfasser des vorliegenden Bändchens sind ferner in derselben Sammlung erschienen:

## Die Dampfmaschine

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

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

(Deutsche Bergwerks-Zeitung.)

## Einführung in die technische Wärmelehre

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

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

## 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 Altug Bd. 516 (Techn. Wärmelehre) des gleichen Verfassers an, in dem eine grundlegende Darstellung der mechanischen Wärmetheorie und Ableitung ihrer Formeln gegeben ist.

## Die neueren Wärmekraftmaschinen

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

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

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

II. Gaserzeuger, Großgasmaschinen, Dampf- und Gasturbinen. 3. Auflage. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 86.)

Der Verfasser behandelt die einzelnen Maschinengattungen mit Rücksicht auf ihre Vor- teile und Nachteile, wobei im zweiten Teil der Versuch unternommen ist, eine möglichst einfache Einführung in die Theorie und den Bau der Dampfmaschine zu geben.

## Maschinen-Elemente

Mit 175 Abbildungen. 2. Aufl. (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 Vortragssweise 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.)

## Hebezeug

Das Heben fester, flüssiger und gasförmiger Körper.

Mit 67 Abbildungen im Text. 2. Aufl. (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.

Teuerungszuschlag auf sämtliche Preise 30 % einschl. 10 % Zuschlag der Buchhandlung.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

**Die Dampfmaschine** (einschl. der Dampfturbine) und Gas- und Ölmaschinen. Von Prof. Dr. John Perry. Erweiterte deutsche Bearbeitung von Dr.-Ing. Hermann Meuth. Mit 350 Fig. u. 1 Wärmetafel. Geh. M. 22.—

„Die Darstellung in dem vorliegenden Werke ist durchweg so klar und durch gute Abbildungen aufs reichste unterstützt, daß das Studium des Buches jedem Interessenten, auch dem Nicht-Techniker, der sich über die Wirkungsweise der verschiedenen Wärmemotoren und der mit ihnen zusammenhängenden Konstruktionen (Indikatoren, Kessel, Injektoren usw.) gründlich unterrichten will, bestens zu empfehlen ist.“ (Naturwissenschaftl. Monatschrift.)

**Die praktische Wartung der Dampfkessel und Dampfmaschinen.** Ein Lehrbuch für Dampfkessel- und Dampfmaschinenwärter sowie für Fabrikbeamte ohne technische Vorbildung von Prof. Dr. J. W. Mayer und Prof. Dr. E. Zap. 3. Aufl. Mit 216 Fig. Geh. M. 3.50, geb. M. 4.30.

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

„Der Verfasser behandelt in acht Abschnitten die Dampfturbinensysteme im allgemeinen, die Vorgänge in den Dampfdüsen sowie die konstruktiven Ausführungen der Laval-, Parsons-, Joullie-, Riedler-Stumpf-, Curtis- und Rateau-Turbinen. Das 233 Seiten starke Buch ist durch 102 sehr gute und deutliche Figuren illustriert und von der Verlagsbuchhandlung recht gefällig ausgestattet. Es sei hiermit allen Fachgenossen wärmstens empfohlen.“ (Tschr. d. Oest. Ing.-u. Archit.-Ver.)

**Lehrbuch der Motorenkunde.** Von Prof. Dr. J. W. Mayer. Für gewerb'l. u. fachl. Fortbildungssch. bearb. von Prof. Dr. E. Zap. Mit 149 Fig. Geh. M. 2.—

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

**Grundlagen der Theorie u. des Baues der Wärmekraftmaschinen.** Aus d. Engl. v. Prof. Dr. A. Musil. Zugl. autor., erw. dtsh. Ausg. d. Werkes: „The steam-engine and other heat-engines“ v. Prof. Dr. J. A. Ewing. Mit 302 Figuren. Geh. M. 20.—

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

**Die Kraftmaschinen.** Von Prof. Dr. K. Schreber. Eine Einführung in die allgem. Maschinenkunde. 2. Ausg. Mit 56 Abb. Geh. M. 3.60, geb. M. 4.20.

Gibt eine Darstellung der wichtigsten Kraftmaschinen der Zeitzeit unter Bezugnahme auf die Ausnutzung der Energievorräte der Natur und auf die Kosten der gewonnenen Arbeit.

**Baukunde 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.“ (Tschr. f. gewerb'l. Unterr.)

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

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

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

I. Bd. Einführung in die Mechanik. 5. Aufl. Mit 104 Figuren. Geh. M. 9.20, geb. M. 10.— II. Bd. Graphische Statik. 3. Aufl. Mit 209 Fig. M. 8.— III. Bd. Festigkeitslehre. 6. Aufl. Mit ca. 100 Fig. ca. M. 16.— IV. Bd. Dynamik. 4. Aufl. Mit 86 Fig. M. 12.— V. Bd. Die wichtigsten Lehren der höheren Elastizitätstheorie. Mit 44 Fig. M. 10.— VI. Bd. Die wichtigsten Lehren der höheren Dynamik. Mit 30 Fig. M. 12.—

Teuerungszuschläge auf sämtliche Preise 30 % einschließlich 10 % Zuschlag der Buchhandlung

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

# Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher  
Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Jeder Band ist  
einzelne käuflich

Gehetet M. 1.20,  
gebunden M. 1.50

Verlag B. G. Teubner



Bände in Leipzig und Berlin

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

## I. Religion und Philosophie.

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

Aufgaben u. Ziele d. Menschenlebens. Von Prof. Dr. J. Nold. 4. Aufl. (Bd. 12.)

Vergil. Henri, der Philosoph moderner

Relig. Von Pfarrer Dr. C. Ott. (Bd. 480.)

Berkeley siehe Locke, Berkeley, Hume.

Buddha. Leben u. Lehre d. B. Von weil.

Prof. Dr. R. Pischel. 3. Aufl., durchgef. von Prof. Dr. H. Lüders. Mit 1 Titelbild u. 1 Taf. (Bd. 109.)

Calvin, Johann. Von Pfarrer Dr. G. Sodenr. Mit 1 Bildn. (Bd. 247.)

Christentum. Aus der Verdezeit des Chr.

V. Prof. Dr. J. Geßken. 2. Aufl. (Bd. 54.)

— Christentum und Weltgeschichte seit der Reformation. Von Prof. Dr. Dr. R. Selt. 2 Bde. (Bd. 297. 298.)

— siehe Jesus, Mystik im Christentum.

Ethik. Grundzüge der E. Von E. Bentzschäfer. (Bd. 397.)

— s. a. Aufg. u. Ziele, Sennalethik, littl. Lebensanschauungen, Willensfreiheit.

Freimaurerei. Die. Anschauungswelt u. Geschichte. Von weil. Geh. Rat Dr. L. Keller. (Bd. 463.)

Griechische Religion siehe Religion.

Handschriftenbeurteilung. Die. Eine Einführung in die Philol. d. Handschrift.

Von Prof. Dr. G. Schneidemühl. Mit 51 Handschriftenabbild. (Bd. 514.)

Heidentum siehe Musit.

Hellenistische Religion siehe Religion.

Hume siehe Locke, Berkeley, Hume.

Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. C. Trönnier. 2. Aufl. (Bd. 199.)

Jesusiten. Die. Eine histor. Skizze. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 4. Aufl. (Bd. 49.)

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

— Die Gleichnisse Jesu. Von Prof. Dr. Dr. H. Weinel. 4. Aufl. (Bd. 46.)

Judaistische Religion siehe Religion.

Kant, Immanuel. Darstellung und Würdigung. Von weil. Prof. Dr. O. Küller. 4. Aufl. hrsg. v. Prof. Dr. A. Messer. M. 1 Bildn. (Bd. 146.)

Kirche s. Staat u. Kirche.

Kriminallychologie s. Psychologie d. Verbrechers, Handschriftenbeurteilung.

Lebensanschauungen s. Sittl. L.

Locke, Berkeley, Hume. Die großen engl. Philos. V. Oberlehrer Dr. B. Thormeyer. (Bd. 481.)

Luther. Martin L. u. d. deutsche Reformation. Von Prof. Dr. W. Köbler. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis Luthers. (Bd. 515.)

— s. auch von L zu Bismarck Abt. IV. Mechanik d. Geisteslebens. Die. V. Medizinalrat Direktor Prof. Dr. M. Berworn. 3. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 200.)

Mission. Die evangelische. Von Pastor S. Baudert. (Bd. 406.)

Musit in he dentum u. Christentum. Von Prof. Dr. Ed. Lehmann. 2. Aufl. (Bd. 217.)

Mythologie. Germanische. Von Prof. Dr. J. von Negelein. 2. Aufl. (Bd. 95.)

Naturphilosophie. Die moderne. V. Priv.-Doz. Dr. J. M. Berwonen. (Bd. 491.)

Valdikta und seine Geschichte. Von weil. Prof. Dr. H. Frb. v. Soden. 3. Aufl. M. 2 Kart. 1 Plan u. 6 Ansicht. (Bd. 6.)

— V. u. s. Kultur in 5 Jahrtausenden. Nach den neuesten Ausgrabungen und Forschungen dargestellt von Oberl. Dr. B. Thomesen. 2. neubearb. Aufl. M. 37 Abb. (Bd. 260.)

Paulus. Der Apostel u. sein Werk. Von Prof. Dr. E. Fischer. (Bd. 309.)

Philosophie. Die. Von Realischuldirekt. H. Richter. 2. Aufl. (Bd. 186.)

— Einführung in die Ph. Von Prof. Dr. R. Richter. 3. Aufl. von Dr. M. Brähn. (Bd. 155.)

— Führende Denker. Geschichtl. Einleit. in die Philosophie. Von Prof. Dr. J. Cohn. 3. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 176.)

— Religion und Ph. im alten Orient. Von Prof. Dr. E. von Aster. (Bd. 521.)

— Die Ph. d. Gegenw. in Deutschland. Von Prof. Dr. O. Küller. 6. Aufl. (Bd. 41.)

— Philosophisches Wörterbuch. Von Oberlehrer Dr. B. Thormeyer. (Bd. 520.)

— s. a. Ethik, Naturphilos., Weltansch.

- Psychologie.** Einführ. i. d. Ps. B. Prof. Dr. G. von Aster. Mit 4 Abb. (Bd. 492.)  
— Psychologie d. Kindes. B. Prof. Dr. R. Gaupp. 3. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 213.)  
— Psychologie d. Verbrechers. (Kriminalpsychol.) B. Strafanstaltsdir. Dr. med. B. Pollitz. 2. Aufl. M. 5 Diagr. (Bd. 248.)  
— Einführung in die experiment. Psychologie. Von Dr. R. Braunschweigen. Mit 17 Abbildungen im Text. (Bd. 484.)  
— s. auch Handschriftenbeurteilg., Hypnotismus u. Sugg. Mechanik d. Geistesleb., Seele d. Menschen, Veranlagung u. Vererb. Willensfreiheit; Pädagog. Abt. II. Reformation siehe Calvin, Luther.
- Religion.** Die Stellung der R. im Geistesleb. B. Lic. Dr. B. Kalweit. (Bd. 225.)  
— Relig. u. Philosophie im alten Orient. Von Prof. Dr. E. von Aster. (Bd. 521.)  
— Die Religion der Griechen. Von Prof. Dr. E. Samter. M. Bildern. (Bd. 457.)  
— hellenistisch-röm. Religionsgesch. Von Hospredig. Lic. A. Jacoby. (Bd. 584.)  
— Die Grundzüge der israel. Religionsgeschichte. Von weil. Prof. Dr. Fr. Giesebeckt. 2. Aufl. (Bd. 52.)  
— Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. Von Pfarrer Dr. A. Bannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)  
— Die relig. Strömungen der Gegenwart. Von Superintendent. D. A. H. Braasch. 2. Aufl. (Bd. 66.)  
— s. a. Bergson, Buddha, Calvin, Christentum, Luther.

- Rousseau.** Von Prof. Dr. B. Hensei. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 180.)  
**Schopenhauer.** Von Realschuldir. H. Richtert. 3. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 81.)  
**Seele des Menschen.** Die. Von Geh. Rat Prof. Dr. J. Nehmle. 4. Aufl. (Bd. 36.)  
— siehe auch Psychologie.

- Sexualethik.** Von Prof. Dr. H. C. Timmerding. (Bd. 592.)  
**Sinne d. Menschen.** D. Sinnesorgane und Sinnesempfindungen. Von Prof. Dr. F. K. Kreibig. 3. verb. Aufl. Mit 30 Abbildungen. (Bd. 27.)  
**Sittl. Lebensanschauungen d. Gegenw.** B. weil. Prof. Dr. O. Kirn. 3. Aufl. durchges. von Prof. Dr. E. Stephan. — s. a. Ethik, Sexualethik. (Bd. 177.)  
**Spencer, Herbert.** Von Dr. K. Schwarze. Mit 1 Bildnis. (Bd. 245.)  
**Staat und Kirche in ihrem gegenseitigen Verhältnis seit der Reformation.** Von Pastor Dr. A. Bannkuche. (Bd. 485.)  
**Sterngläuben und Sterndeutung.** Von Hofsrat Prof. Dr. Fr. Voll. Mit 20 Abb. (Bd. 638.)  
**Suggestion s. Hypnotismus.**  
**Testament, Neues.** Der Text d. N. T. nach seiner geschichtl. Entwicklung. B. Div.-Pfarr. A. Bott. Mit 8 Taf. (Bd. 134.)  
**Theologie.** Einführung in die Theologie. Von Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)  
**Veranlagung u. Vererbung.** Geistige. B. Dr. phil. et med. G. Sommer. (Bd. 512.)  
**Weltanschauung, Griechische.** Von Prof. Dr. M. Wundt. 2. Aufl. (Bd. 329.)  
**Weltanschauungen, D. d. grob.** Philosophen d. Neuzeit. B. weil. Prof. Dr. L. Buß. 6. Aufl., hrsg. v. Geh. Hofsrat Prof. Dr. R. Falderberg. (Bd. 56.)  
— siehe auch Philosophie.  
**Weltentstehung.** Entsteh. d. W. u. d. Erde nach Sage u. Wissenschaft. Von Prof. Dr. M. B. Weinstein. 2. Aufl. (Bd. 223.)  
**Weltuntergang.** Untergang der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft. B. Prof. Dr. M. B. Weinstein. (Bd. 470.)  
**Willensfreiheit.** Das Problem der W. Von Prof. Dr. G. F. Lövps. (Bd. 383.)  
— s. a. Ethik, Mechan. d. Geistesleb., Psychol.

## II. Pädagogik und Bildungswesen.

- Amerikanisches Bildungswesen** siehe Techn. Hochschulen, Universitäten, Volksschule. Berufswahl, Vergabung u. Arbeitsleistung in ihren gegenseitigen Beziehungen. Von B. J. Nuttmann. M. 7 Abb. (Bd. 522.)  
**Bildungswesen.** D. deutsche, in s. geschichtl. Entwicklung. B. weil. Prof. Dr. Fr. Baulen. 3. Aufl. Von Prof. Dr. B. Münnich. M. Bildn. Baulens. (Bd. 100.)  
— s. auch Volksbildungswesen.  
**Deutsches Ringen n. Kraft u. Schönheit.** Von Turninst. A. Möller. (Bd. 188.)  
**Erziehung, S. zur Arbeit.** Von Prof. Dr. Ed. Behmann. (Bd. 459.)  
— Moderne S. in Haus und Schule. Von J. Lews. 2. Aufl. (Bd. 159.)  
— siehe auch Großstadtpädagogik.  
**Fortsbildungsschulwesen, Das deutsche.** Von Dr. Dr. F. Schilling. (Bd. 256.)  
**Fröbel, Friedrich.** Von Dr. Joh. Brücker. Mit 1 Tafel. (Bd. 82.)

- Großstadtpädagog.** B. J. Lews. (Bd. 327.)  
— siehe Erzieh., Schulfämpfe d. Gegenw., Handschriftenbeurteilung, Die. Eine Einf. in die Psychol. der Handschrift. B. Prof. Dr. G. Schneidemühl. Mit 51 Handschriftenabbildungen. (Bd. 514.)  
**Herbarts Lehren und Leben.** Von weil. Pastor Dr. O. Flügel. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis Herbarts. (Bd. 164.)  
**Höfsschulwesen.** Bem. Von Rektor Dr. B. Maennel. (Bd. 73.)  
**Hochschulen f. Techn.** Hochschulen u. Univ. Jugendfürsorge, Dörfchl. B. Wallenhausd. Dr. J. Peterken. (Bd. 161, 162.)  
**Jugendpflege.** Von Fortbildungsschullehrer W. Biemann. (Bd. 434.)  
**Knabenhandarbeit.** Die. In der heutigen Erziehung. B. Sem.-Dir. Dr. A. Babst. Mit 21 Abb. u. Titelbild. (Bd. 140.)  
**Lehrerbildung** siehe Volksschule und Lehrerbildung der Verein. Staaten.

Leibesübungen siehe Abt. V.

Mädchen schule. D. höhere, in Deutschland.

B. Oberlehrerin M. Martin. (Bd. 65.)

Mittel schule i. Volks- u. Mittelsch.

Pädagogik. Allgemeine. Von Prof. Dr.

Th. Biegler. 4. Aufl. (Bd. 33.)

— Experimentelle P. mit bes. Rücksicht

auf die Erzieh. durch die Tat. Von Dr. W.

A. Lach. 2. Aufl. Mit 2 Abb. (Bd. 224.)

— I. Erzieh. Großstadt päd., Handschrif-

tenbeurteilung. Pinchol., exp., Pinch. d.

Kindes, Veranlag. u. Vererb. Abt. I.

Pestalozzi. Leben und Ideen. Von Geh.

Reg.-Rat Prof. Dr. B. Mattox. 2. Aufl.

Mit Bildn. u. 1 Brieffaximile. (Bd. 250.)

Rousseau. Von Prof. Dr. B. Heniel.

2. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 180.)

Schule siehe Fortbildung-, Hilschulwes.

Techn. Hoch-, Mädch., Volkschule, Univ.

Schulungslene. Von Proj. Dr. B. Bur-

gerstein. 3. Aufl. M. 33 Fig. (Bd. 96.)

Schulkämpfe der Gegenwart. Von J.

Lewin. 2. Aufl. (Bd. 111.)

— siehe Erziehung, Großstadt päd.

Student. Der Leipziger, von 1409 bis

1909. Von Dr. W. Bruchmüller.

Mit 25 Abb. (Bd. 273.)

Studententum, Geschichte des deutschen St.

Von Dr. W. Bruchmüller. (Bd. 477.)

Technische Hochschulen in Nordamerika.

Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. W. Müll-

ler. Mit zahlr. Abbild., Karte u. Lage-

plan. (Bd. 190.)

Universität. über Universitäten u. Uni-

versitätsstud. B. Prof. Dr. Th. Bieg-

ler. Mit 1 Bildn. Humboldt. (Bd. 411.)

— Die amerikanische Univers. Von Ph.

D. C. D. Perryn. Mit 22 Abb. (Bd. 206.)

Unterrichtswesen, Das deutsche, der Gegen-

wart. Von Geh. Studienrat Oberreal-

schuldir. Dr. K. Knabe. (Bd. 299.)

Volksbildungswesen, Das moderne, Bü-

über- und Lesekallen, Volks hochschulen

und verwandte Bildungseinrichtungen in den

wicht. Kulturländern. B. Stadtbibl.

Dr. G. Fritz. Mit 14 Abb. (Bd. 266.)

Volks- und Mittelschule, Die preußische,

Entwicklung und Ziele. Von G. h. Reg.

u. Schulrat Dr. A. Sachse. (Bd. 432.)

Volkschule und Lehrerbildung der Ver-

einigten Staaten. Von Dir. Dr. K. Kuh-

pers. M. 48 Abb. u. Titelb. (Bd. 150.)

Zeichenkunst. Der Weg zur Z. Von Dr. G.

Weber. Mit 82 Abb. u. 1 Taf. (Bd. 430.)

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

Architektur siehe Baukunst und Renaissancearchitektur.

Asthetik. Von Prof. Dr. R. Hamann.

— siehe auch Poetik. (Bd. 345.)

Baukunst. Deutsche B. im Mittelalter. Von

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei.

3. Aufl. Mit zahlr. Abb. i. T.

u. auf 2 Doppelstafeln. (Bd. 8.)

— Deutsche B. seit dem Mittelalter bis z.

Ausg. des 18. Jahrh. Von Geh. Reg.-

Rat Prof. Dr. A. Matthaei. Mit 62

Abb. und 3 Tafeln. (Bd. 326.)

— Deutsche B. im 19. Jahrh. Von Geh.

Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei. Mit

35 Abb. (Bd. 453.)

— siehe auch Renaissancearchitektur.

Beethoven siehe Handn.

Bildenden Kunst. Bau und Leben der. Von

Dir. Prof. Dr. Th. Boltehr. 2. Aufl.

Mit 44 Abb. (Bd. 68.)

— siehe auch Baukunst, griech. Kunst.

Impressionismus, Kunst, Maler, Ma-

lererei, Stile.

Björnson siehe Ibsen.

Buch. Wie ein Buch entsteht siehe Abt. VI.

— s. auch Schrift- u. Buchwesen Abt. IV.

Decorative Kunst des Altertums. Von Dr.

F. Poulsen. Mit 112 Abb. (Bd. 454.)

Deutsch siehe Baukunst, Drama, Frauen-

dichtung, Helden sage, Kunst, Literatur, Ly-

rik, Maler, Malerei, Personennamen, No-

mantik, Sprache, Volkslied, Volks sage.

Drama, Das. Von weiland Dr. W. Busse.

M. 3 Abb. 3 Bde. I: Von d. Antike z.

franz. Klassizismus. 2. Aufl. neu bearb.

von Oberlehrer Dr. Niedlich u. Prof.

Dr. Glaser. II: Von Versailles bis

Weimar. III: Von der Romantik zur

Gegenwart. (Bd. 287/289.)

Drama, D. dtsc̄e. D. d. 19. Jahrh. I. j.

Entwickelg. d. v. Prof. Dr. G. Wittföltz

II. 4. Aufl. M. Bildn. Hebbels. (Bd. 51.)

— siehe auch Grillparzer, Hauptmann,

Hebbel, Ibsen, Lessing, Literatur, Schil-

ler, Shakespeare, Theater.

Griechische Roman. Der, und die No-

valle. Von O. Hale. (Bd. 377.)

Grenzdichtung. Geschicke der deutschen G.

seit 1800. Von Dr. H. Spiero. Mit

3 Bildnissen auf 1 Tafel. (Bd. 399.)

Gremiworkfunde. Von Dr. Elise Rich-

ter. (Bd. 570.)

Gartenkunst siehe Abt. VI.

Griechische Komödie. Die. Von Prof. Dr.

A. Körte. M. Titelb. u. 2 Taf. (Bd. 400.)

Griechische Kunst. Die Blütezeit der g. K.

im Spiegel der Reliefsarkophage. Eine

Einführung. i. d. griech. Plastik. Von Dr. K.

Wachtler. M. 8 Taf. u. 32 Abb. (Bd. 272.)

— siehe auch Dekorative Kunst.

Griechische Tragödie. Die. Von Prof. Dr.

F. Geßken. Mit 1 Plan u. Abb. (Bd. 566.)

Grillparzer, Franz. Der Mann u. d. Welt.

B. Prof. Dr. A. Kleinberg. M. Bildn.

Harmonium s. Tasteninstrument. (Bd. 513.)

- Hauptmann, Gerhart. Von Prof. Dr. G. Sulger-Gebing. 2. verb. u. vermehrte Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 283.)
- Haydn, Mozart, Beethoven. Von Prof. Dr. C. Krebs. 2. Aufl. Mit 4 Bildn. (Bd. 92.)
- Hebbel, Friedrich. Von Geh. Hofrat Prof. Dr. O. Walzel. M. 1 Bildn. (Bd. 408.)
- Heldenfrage, Die germanische. Von Dr. J. W. Brünnier. (Bd. 486.)  
— siehe auch Volksfrage.
- Homerische Dichtung, Die. Von weil. Rektor Dr. G. Finsler. (Bd. 496.)
- Ibsen, Björnsen u. i. Zeitgenossen. V. weil. Prof. Dr. B. Kahle. 2. Aufl. v. Dr. G. Morgenstern. M. 7 Bildn. (Bd. 193.)
- Impressionismus. Die Maler des s. Von Prof. Dr. B. Lazar. Mit 32 Abb. u. 1 farb. Tafel. (Bd. 395.)
- Instrumente s. Tasteninstrument., Orchester. Klavier siehe Tasteninstrumente.
- Komödie siehe Griech. Komödie.
- Kunst. Das Wesen der deutschen bildenden K. Von Geh. Rat Prof. Dr. H. Thode. Mit Abb. (Bd. 585.)  
— Deutsche K. im tägl. Leben bis zum Schlusse d. 18. Jahrh. V. Prof. Dr. B. Haandke. Mit 63 Abb. (Bd. 198.)  
— f. a. Baukunst. Bild-, Dekorat., Griech., Ostasiat. K., Pompeji. Stile; Gartenl. Abt. VI.
- Kunstslegie in Haus und Heimat. Von Suvertint. R. Bürkner. 2. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 77.)
- Leßing. Von Dr. Ch. Schreyer. Mit einem Bildnis. (Bd. 403.)
- Literatur. Entwicklung der deutschen L. seit Goethes Tod. Von Dr. W. Precht. (Bd. 595.)  
— f. auch Sturm und Drang.
- Lurit. Geschichte d. deutsch. L. f. Claudio. V. Dr. H. Spiero. 2. Aufl. (Bd. 254.)  
— siehe auch Frauendichtung, Literatur, Minnesang, Volkslied.
- Maler. Die altdutschen, in Süddeutschland. Von H. Nemeth. Mit 1 Abb. i. Text und Bilderanhang. (Bd. 464.)  
— f. a. Michelangelo, Impression.
- Malerei. Die deutsche, im 19. Jahrh. Von Prof. Dr. R. Hamann. 2 Bände Text, 2 Bände mit 57 ganzseitigen und 200 halbseitigen Abb., auch in 1 Halbvergr. monatbd. zu M. 7.—. (Bd. 448—451.)  
— Niederländische M. im 17. Jahrh. Von Prof. Dr. H. Janßen. Mit 37 Abb.  
— siehe auch Rembrandt. (Bd. 373.)
- Märchen f. Volksmärchen.
- Michelangelo. Von Prof. Dr. E. Hildebrandt. Mit 44 Abb. (Bd. 392.)
- Minnesang. Von Dr. J. W. Brünnier.
- Mozart siehe Haydn. (Bd. 404.)
- Musik. Die Grundlagen d. Tonkunst. Versuch einer genet. Darstell. d. allg. Musiklehre. V. Prof. Dr. H. Nietzsche. (Bd. 178.)
- Musik. Musikalische Kompositionssarten. Von S. G. Kallenberg. Bd. I: Die elementar. Tonverbindungen als Grundlage d. Harmonielehre. Bd. II: Kontrapunkt u. Formenlehre. (Bd. 412, 413.)
- Geschichte der Musik. Von Dr. A. Einstein. (Bd. 438.)
- Beispieldammlung zur Musikgeschichte. Von Dr. A. Einstein. (Bd. 439.)
- Musikal. Romantik. Die Blütezeit d. m. K. in Deutschland. Von Dr. E. Flei. Mit 1 Silhouette. (Bd. 239.)
- f. a. Haydn, Mozart, Beethoven, Oper, Orchester, Tasteninstrumente, Wagner. Mythologie, Germanische. Von Prof. Dr. J. v. Negelein. 2. Aufl. (Bd. 95.)  
— siehe auch Volksfrage, Deutsche. Niederländische Malerei f. Malerei. Novelle siehe Roman.
- Oper. Die moderne. Vom Tode Wagners bis zum Weltkrieg (1883—1914). Von Dr. E. Flei. Mit 3 Bildn. (Bd. 495.)  
— siehe auch Haydn, Wagner.
- Orchester. D. Instrumente d. O. V. Prof. Dr. F. v. Welbach. M. 60 Abb. (Bd. 384.)
- Das moderne Orchester in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. F. v. Welbach. Mit Partiturbeisp. u. 3 Taf. (Bd. 308.)
- Orgel siehe Tasteninstrumente.
- Ostasiat. Kunst u. ihre Einwirkl. a. Europa. V. Dir. Prof. Dr. R. Graul. 49 Abb. (Bd. 87.)
- Personennamen, D. deutsch. V. Geh. Studienrat A. Böhni. 2. A. (Bd. 296.)
- Perspektive. Grundzüge der P. nebst Anwendungen. Von Prof. Dr. R. Doeblmann. M. 91 Fig. u. 11 Abb. (Bd. 510.)
- Phonetik. Einführ. in d. Ph. Wie wir sprechen. Von Dr. E. Richter. Mit 20 Abb. (Bd. 354.)
- Photographie, Die künstlerische. Von Dr. W. Warstat. Mit 12 Taf. (Bd. 410.)  
— f. auch Photographie Abt. VI.
- Plastik f. Griech. Kunst, Michelangelo.
- Poetik. Von Dr. R. Müller-Freienfels. (Bd. 460.)
- Pompeji. Eine hellenist. Stadt in Italien. Von Prof. Dr. F. v. Duhn. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 272.)
- Projektionslehre. Von Zeichenlehrer A. Schubert. M. Abb. (Bd. 564.)
- Rembrandt. Von Prof. Dr. P. Schubring. Mit 50 Abb. (Bd. 158.)
- Renaissancearchitektur in Italien. Von Dr. B. Franklin. 2 Bde. I. M. 12 Taf. u. 27 Tafabb. II. M. Abb. (Bd. 381/382.)
- Rhetorik. Von Dozent Prof. Dr. E. Geißler. 2 Bde. I. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. 2. Aufl. II. Anweisungen zur Kunst der Rede. (Bd. 455/456.)  
— siehe auch Sprache; Stimme Abt. V.
- Roman. Der französische Roman und die Novelle. Von O. Flacke. (Bd. 377.)
- Romantik, Deutsche. V. Geh. Hofrat Prof. Dr. O. Walzel. 4. A. (Bd. 232/233.)
- Sage siehe Heldenfrage, Volksfrage, Mythol.

**Schiller.** Von Prof. Dr. E. Biegler. Mit 1 Bildn. 3. Aufl. (Bd. 74.)  
**Schillers Dramen.** Von Prophminaldi-rector G. Heusermann. (Bd. 493.)  
**Shakespeare und seine Zeit.** Von weil. Prof. Dr. E. Siever. M. 3 Abb. 2. Aufl. (Bd. 185.)  
**Sprache, Die Haupttypen des menschlichen Sprachbaus.** Von weil. Prof. Dr. F. N. Finsc. (Bd. 268.)  
— **Die deutsche Sprache von heute.** Von Dr. W. Fischer. (Bd. 475.)  
— **Fremdwortkunde.** Von Dr. C. L. Richter. (Bd. 570.)  
— siehe auch Phonetik, Rhetorik; ebenso Sprache u. Stimme Abt. V.  
**Sprachstämme des Erdkreises.** Von weil. Prof. Dr. F. N. Finsc. 2. Aufl. (Bd. 267.)  
**Sprachwissenschaft.** Von Prof. Dr. A. Sandfeld-Jensen. (Bd. 472.)  
**Stile.** Die Entwickelungsgesch. d. St. in der bild. Kunst. Von Dozent Dr. E. Cohorn-Wiener. 2 Bde. 2. Aufl. I.: V. Altertum bis zur Gotik. M. 66 Abb. II.: Von der Renaissance bis zur Gegenwart. Mit 39 Abb. (Bd. 317/318.)

#### IV. Geschichte, Kulturgechichte und Geographie.

**Alpen, Die.** Von H. Reishauer. Mit 26 Abb. und 2 Karten. (Bd. 276.)  
**Altertum, Das, im Leben der Gegenwart.** V. Prof.-Schul- u. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. P. Gauer. 2. Aufl. (Bd. 356.)  
**Amerika, Gesch. d. Verein. Staaten v. A. B.** Prof. Dr. E. Daenell. 2. A. (Bd. 147.)  
**Amerikaner, Die.** V. M. M. Butler. Dtsch. v. Prof. Dr. Taszowsky. (Bd. 319.)  
— s. Volkschule u. Lehrerbild.; Technische Hochschulen, Univers. Amerikas Abt. II.  
**Antike Wirtschaftsgeschichte.** Von Dr. O. Neurath. 2. Aufl. (Bd. 258.)  
**Antikes Leben nach den ägyptischen Papyri.** Von Geh. Postal Prof. Dr. F. Preislige. Mit 1 Tafel. (Bd. 565.)  
**Arbeiterbewegung s. Soziale Bewegungen.**  
**Australien und Neuseeland.** Land, Leute und Wirtschaft. Von weil. Prof. Dr. R. Schachner. Mit 23 Abb. (Bd. 366.)  
**Babylonische Kultur, Die, i. Verbreit. u. i. Nachwirkungen auf d. Gegenw.** V. Prof. Dr. F. C. Lehmann-Haupt. (Bd. 579.)  
**Balltisch-Provinzen.** V. Dr. B. Tornius. 2. Aufl. M. 8 Abb. u. 2 Kartenbl. (Bd. 542.)  
**Bauernhaus, Kulturgechichte des deutschen.** V. Von Baurat Dr. Ing. Chr. Mandl. 2. Aufl. Mit 70 Abb. (Bd. 121.)  
**Bauernstand, Gesch. d. dtisch.** V. V. Prof. Dr. H. Gerdes. M. 21 Abb. (Bd. 320.)  
**Belgien.** Von Dr. B. Oswald. 2. verbes. Aufl. M. 5 Kart. (Bd. 501.)  
**Bismarck und seine Zeit.** Von Professor Dr. B. Valentin. Mit einem Bildn. Bismarcks. (Bd. 500.)

**Sturm und Drang.** Von Prof. Dr. R. Unger. (Bd. 589.)  
**Lasteninstrumente.** Klavier, Orgel, Harmonium. V. Prof. Dr. O. Biele. (Bd. 325.)  
**Theater, Das, Schauspielhaus u. -kunst v. griech. Altert. bis auf d. Gegenw.** V. Prof. Dr. Chr. Gaehe. 2. A. 18 Abb. (Bd. 230.)  
**Tonkunst siehe Musik.**  
**Tragödie s. Griech. Tragödie.**  
**Urheberrecht** siehe Abt. VI.  
**Volkslied, Das deutsche, über Wesen und Werden d. deutschen Volksgesanges.** Von Dr. J. W. Bruinier. 5. Aufl. (Bd. 7.)  
**Volksmärchen, Das deutsche.** V. Von Pfarrer K. Siebel. (Bd. 587.)  
**Volksrage, Die deutsche, übersichtl. dargest.** v. Dr. O. Böckel. 2. Aufl. (Bd. 262.)  
— siehe auch Heldenrage, Mythologie.  
**Wagner, Das Kunstwerk Richard Wagner's.** Von Dr. E. Iseler. Mit Bildn. (Bd. 330.)  
— siehe auch Musik, Romantik u. Oper.  
**Zeichenkunst, Der Weg zur S.** Von Dr. E. Weber. M. 82 Abb. u. 1 Taf. (Bd. 430.)  
— i. auch Perspektive, Projektionslehre, Zeitungswesen. V. Dr. H. Diez. (Bd. 328.)

**Brandenburg-preuß. Gesch.** Von Archiv-assistent Dr. Fr. Israel. 2 Bde. I. V. d. ersten Anfängen b. z. Tode König Fr. Wilhelms I. 1740. II. V. der Regier. Frdr. d. Gr. b. zum Ausbruch des Weltkrieges. (Bd. 440/441.)  
**Bulgarien.** Von Otto Müller-Reudorf. (Bd. 597.)  
**Bürger im Mittelalter s. Städte.**  
**Byzant, Charakterköpfe.** V. Privadoz. Dr. K. Dietrich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.)  
**Calvin, Johann.** Von Pfarrer Dr. G. Sodeur. Mit 1 Bildnis. (Bd. 247.)  
**Christentum u. Weltgeschichte seit der Reformation.** Von Prof. D. Dr. A. Sell. 2 Bde. (Bd. 297/298.)  
**Deutsch** siehe Bauernhaus, Bauernstand, Dorf, Feste, Frauenleben, Geschichte, Handel, Handwerk, Jahresfeste, Reich, Staat, Städte, Verfassung, Verfassungsgr., Volksstämme, -trachten, Wirtschaftsl. usw.  
**Deutschland im Ausland, Das.** Von Prof. Dr. R. Hoeniger. (Bd. 402.)  
**Dorf, Das deutsche.** Von R. Mielke. 2. Aufl. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)  
**Eiszeit, Die, und der vorgeschichtliche Mensch.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. G. Steinmann. 2. Aufl. M. 24 Abbildungen. (Bd. 302.)  
**England u. Deutschland i. ihr. Beziehungen v. Mittelalter b. z. Gegenw.** V. Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 543.)  
— Englands Weltmarkt in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrhundert bis auf unsere Tage. V. Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl. Mit 8 Bildn. (Bd. 174.)

- Entdeckungen, Das Zeitalter der E. Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltkarte. (Bd. 26.)
- Erde siehe Mensch u. E.
- Erdkunde f. Wirthl. Erdk. Geogr.
- Europa. Vorgeschichte E.s. Von Prof. Dr. H. Schmidt. (Bd. 571/572.)
- Familienforschung. Von Dr. E. Drevient. M. 7 Abb. u. 2 Taf. (Bd. 350.)
- Feste. Deutsche, u. Volksbräuche. B. Priv.-Doz. Dr. E. Fehrlé. M. 30 Abb. (Bd. 518.)
- Französische Geschichte. I.: Das französische Königstum. Von Prof. Dr. R. Schrömer. (Bd. 574.)  
— siehe auch Napoleon, Revolution.
- Frauenbewegung. Die moderne. Ein geschichtlicher Überblick. Von Dr. K. Schirmacher. 2. Aufl. (Bd. 67.)
- Grauenleben, Deutscher, i. Wandel d. Jahrhunderte. Von Geh. Schulrat Dr. Ed. Otto. 2. Auflage. (Bd. 45.)
- Friedrich d. Gr. B. Prof. Dr. Th. Bitter auf. 2. A. M. 2 Bild. (Bd. 246.)
- Gartenkunst. Geschichte d. G. B. Baurat Dr.-Ing. Chr. Rand. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)
- Geographie der Vorwelt (Paläogeographie). Von Priv.-Doz. Dr. E. Dacque. Mit 21 Abb. (Bd. 619.)
- Geologie siehe Abt. V.
- German. Heldenage i. Heldenst.
- Germanische Kultur in der Urzeit. Von Geh.-Rat, Bibliothesdir. Prof. Dr. G. Steinhausen. 3. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)
- Geschichte. Deutsche. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte d. deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schrömer. 3. Bd. I.: Von 1800—1848. Restauration u. Revolution. 3. Aufl. (Bd. 37.) II.: Von 1848—1862. Die Reaktion u. die neue Ära. 2. Aufl. (Bd. 101.) III.: 1862—1871. B. Bund d. Reich. 2. Aufl. (Bd. 102.) — der Römer i. Römer.
- Griechentum. Das G. in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Prof. Dr. R. v. Scalas. Mit 46 Abb. (Bd. 471.)
- Griechische Städte. Kulturbilder aus gr. St. Von Professor Dr. G. Siebath. 2. A. M. 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 131.)
- Handel. Geschichte d. Welthandels. Von Reichshofmann-Dir. Prof. Dr. M. G. Schmidt. 3. Aufl. (Bd. 118.)
- Geschichte des deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. Bd. 237.)
- Handwerk. Das deutsche, in seiner kulturgeschichtl. Entwickl. B. Geh. Schulrat Dr. E. Otto. 4. A. M. 27 Abb. (Bd. 14.)
- siehe auch Dekorative Kunst Abt. III.
- Haus. Kunstslegie in Haus u. Heimat. B. Superintendent R. Bürkner 2 Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 77.)
- s. a. Bauernhaus, Dorf; Wohnhaus Abt. VI.
- Heldenfrage. Die germanische. Von Dr. J. W. Bruinier. (Bd. 486.)
- Hellenist.-röm. Religionsgeschichte f. Abt. I.
- Holland siehe Städtebilder, Historische.
- Japaner. Die, i. d. Weltwirtschaft. B. Prof. Dr. K. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.)
- Jesuiten. Die. Eine hist. Skizze. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 4. Aufl. (Bd. 49.)
- Indien. B. Prof. S. Konow. (Bd. 614.)
- Indogermanenfrage. Von Dir. Dr. R. Agath. (Bd. 594.)
- Internationale Leben, Das, der Gegenwart. Von A. H. Fried. M. 1 Taf. (Bd. 226.)
- Iceland, d. Land u. d. Volk. B. Prof. Dr. P. Herrmann. M. 9 Abb. (Bd. 461.)
- Kaisertum und Papsttum. Von Prof. Dr. A. Hofmeister. (Bd. 576.)
- Kalender siehe Abt. V.
- Kirche f. Staat u. K.
- Kolonialgeschichte, Allgemeine. Von Prof. Dr. F. Kautgen. 2 Bde. (Bd. 545/546.)
- Kolonien. Die deutschen. (Land u. Leute.) Von. Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit 28. Abb. u. 8 Karten. (Bd. 98.)
- Unsere Schutzbiete n. i. wirtschaftl. Verhältn. Im Lichte d. Erdkunde darg. von Dr. Chr. G. Barth. (Bd. 290.)
- Königstum, Französisches. Von Prof. Dr. R. Schrömer (Bd. 574.)
- Krieg, Der, im Zeitalter des Verkehrs und der Technik. Von weil. Major A. Meyer. M. 3 Abb. u. 2 Taf. (Bd. 271.)
- Kulturgeschichte d. Krieges. Von Prof. Dr. K. Beule, Geh. Hofrat Prof. Dr. E. Bethe, Prof. Dr. B. Schmeidler, Prof. Dr. A. Doren, Prof. Dr. P. Herre. (Bd. 561.)
- Der Dreißigjährige Krieg. Von Dr. F. C. Endres. (Bd. 577.)
- Kriegsschiff, Das. Seine Entstehung und Verwendung. B. Geh. Marine-Baurat a. D. E. Krieger. Mit 60 Abb. (Bd. 389.)
- Kulturgeschichte d. Krieges i. Krieg.
- Luther. Martin L. u. d. dtische. Reformation. Von Prof. Dr. W. Köhler. M. 1 Bildn. Luthers. 2. Aufl. (Bd. 515.)
- i. auch Von B. zu Bismarck.
- Marr. Von Dr. M. Adler. (Bd. 621.)
- Mensch u. Erde. Skizzen v. den Wechselbeziehungen zw. beiden. B. weil. Geh.-Rat Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl.
- i. a. Eiszeit; Menich Abt. V. (Bd. 31.)
- Merito. Von Ferd. Frhr. v. Neißenstein. Mit Abb. (Bd. 588.)
- Mittelalter. Mittelalterl. Kulturideale. B. Prof. Dr. B. Vedel. I.: Heldenleben. II.: Ritterromantil. (Bd. 292, 293.)
- i. auch Städte u. Bürger i. M.
- Moltke. B. Kaiserl. Ottoman. Major a. D. F. C. Endres. Mit 1 B. lbn. (Bd. 415.)
- Münze, Die, als histor. Denkmal sowie i. Bedeut. im Rechts- u. Wirtschaftsleben. Von Hofrat Prof. Dr. A. Luschin v. Ehengreuth. Mit 53 Abb. (Bd. 91.)
- i. a. Finanzwiss.; Geldwesen Abt. VI.

Mythenische Kultur, Die. Von Prof. Dr. F. C. Lehmann-Haupt. (Bd. 581.)

Mythologie s. Abt. I.

Napoleon I. Von Prof. Dr. Th. Bitter auf. 3 Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 195.)

Nationalbewußtsein siehe Volk.

Naturvölker. Die geistige Kultur der N. V. Prof. Dr. K. Th. Breuer. M. 9 Abb. — s. a. Völkerkunde, allg. (Bd. 452.)

Newzeeland s. Australien.

Orient s. Palästina, Türkei.

Österreich. Geschichte der auswärtigen Politik d. im 19. Jahrh. Von R. Charmaß. 2 Bde. 2. Aufl. Bd. I: 1800 bis 1848. Bd. II: 1848—1895. Bis zum Sturze Kalnoths. (Bd. 651/652.)

— Österreichs innere Geschichte von 1848 bis 1895. Von R. Charmaß. 2 Bde. 3. Aufl. Bd. I: 1848—1895. Von der Revolution bis zum Sturze Hohenwerts. Bd. II: 1871—1895. Vom Ministerium Auersperg bis zum Sturze d. Koalitionsministeriums. (Bd. 653/654.)

— Österreichs innere und äußere Politik von 1895—1914. Von R. Charmaß. (Bd. 655.)

Ostmark s. Abt. VI.

Ostseegebiet, Das. V. Prof. Dr. G. Braun. M. 21 Abb. u. 1 mehrl. Karte. (Bd. 367.)

Palaſtina und seine Geschichte. Von weil. Prof. Dr. H. Fr. v. Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan u. 6 Ans. (Bd. 6.)

— P. u. s. Kultur in 5 Jahrtausenden. Nach d. neuesten Ausgrabungen u. Forschungen dargestellt von Gymn.-Oberl. Dr. B. Thomesen. 2. neu bearb. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 260.)

Papsttum s. Kaisertum.

Papuari s. Antiles Leben.

Polarforschung. Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- u. Südpol v. d. ältesten Zeiten bis zur Gegenw. V. Prof. Dr. K. Hässler. 3. Aufl. M. 6 Kart. (Bd. 38.)

Polen. Mit einem geschichtl. Überblick über d. polnisch-ruthenische Frage. V. Prof. Dr. N. F. Kaindl. 2. Auflage. Mit 6 Kart. (Bd. 547.)

Politik. V. Dr. A. Grabowski. (Bd. 537.)

— Umrisse der Weltpolitik. V. Prof. Dr. J. Hashagen. 3 Bde. I: 1871 bis 1907. II: 1908—1914. III: D. polit. Ereign. währ. d. Krieges. (Bd. 553/555.)

— Politische Geographie. Von Prof. Dr. E. Schöne. Mit 7 Kart. (Bd. 353.)

— Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrhundert. Von weil. Prof. Dr. K. Th. v. Heigel. 3. Aufl. (Bd. 129.)

Pompeji, eine hellenistische Stadt in Italien. Von Prof. Dr. Fr. v. Dubn. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 114.)

Breitische Geschichte s. Brandenburg. G. Reaktion und neue Era s. Gesch., deutsche. Reformation s. Calvin, Luther.

Reich. Das deutsche R. von 1871 bis zum Weltkrieg. Von Archivassistent Dr. Fr. Israel. (Bd. 575.)

Religion s. Abt. I.

Restauration und Revolution siehe Geschichte, deutsche.

Revolution. Die französ. V. Prof. Dr. Th. Bitter auf. 2. U. M. 8 Bild. (Bd. 346.)

— R. 1848, 6 Vorträge. Von Prof. Dr. O. Weber. 2. Aufl. (Bd. 53.)

Rom. Das alte Rom. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. O. Richter. Mit Bilderhang u. 4 Plänen. (Bd. 386.)

— Soziale Kämpfe t. alt. Rom. V. Privatdozent Dr. L. Bloch. 3. Aufl. (Bd. 22.)

— Roms Kampf um die Weltherrschaft. V. Prof. Dr. F. Cromaver. (Bd. 368.)

Römer. Geschichte der R. Von Prof. Dr. R. v. Scal. (Bd. 578.)

— siehe auch Hellenist.-röm. Religionsgeschichte Abt. I; Pompeji Abt. II.

Rugland. 2 Bde. I.: Land, Volk u. Wirtschaft. Von Syndicus Dr. Wallrich. II.: Geschichte, Staat und Kultur. Von Dr. A. Luther. (Bd. 562/563.)

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

— s. a. Wie ein Buch entsteht. Abt. VI.

Schutzzgebiete s. Kolonien.

Schweiz. Die. Land, Volk, Staat u. Wirtschaft. Von Reg.- u. Ständerat Dr. O. Wettstein. Mit 1 Karte. (Bd. 482.)

Seekrieg s. Kriegsschiff.

Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von G. Maier. 4. Aufl. (Bd. 2.)

— s. a. Marx, Rom; Sozialism. Abt. VI.

Staat. St. u. Kirche in ihr. gegen. Verhältnis seit d. Reformation. V. Biarre. Dr. phil. A. Pfannkuche. (Bd. 485.)

— Der deutsche St. Von Geh. Justizrat Prof. Dr. F. v. Lütz. (Bd. 600.)

Städte. Die. Geogr. betrachtet. V. Prof. Dr. K. Hässler. M. 21 Abb. (Bd. 163.)

— Deutsche. Städte u. Bürger i. Mittelalter. V. Prof. Dr. B. Heil. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppelplat. (Bd. 43.)

— Historische Städtsbilder aus Holland und Niederdeutschland. V. Reg.-Baum. a. D. A. Erbe. M. 59 Abb. (Bd. 117.)

— s. a. Griech. Städte, Pompeji, Rom.

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

Studententum. Geschichte d. deutschen St. Von Dr. W. Bruchmüller. (Bd. 477.)

Türkei. Die. V. Reg.-Rat V. R. Krause. Mit 2 Karten. 2. Auflage. (Bd. 469.)

Ungarn siehe Österreich.

Urzeit s. german. Kultur in der U.

Versaffung. Grundzüge der V. des Deutschen Reiches. Von Geheimrat Prof. Dr. E. Vöning. 4. Aufl. (Bd. 34.)

Versaffungsrecht. Deutsches, in gesichtlicher Entwicklung. Von Prof. Dr. Ed. Hubrich. 2. Aufl. (Bd. 80.)

Volk. Vom deutschen V. zum dt. Staat. Eine Gesch. d. dt. Nationalbewußtheins. B. Prof. Dr. P. Joachimsen. (Bd. 511.) Völkerkunde, Allgemeine. I: Das Feuer, der Nahrungserwerb, Wohnung, Schmuck und Kleidung. Von Dr. A. Heilborn. M. 54 Abb. (Bd. 487.) II: Waffen und Werkzeuge, die Industrie, Handel und Geld, die Verlebensmittel. Von Dr. A. Heilborn. Mit 51 Abbild. (Bd. 488.) III: Die geistige Kultur der Naturvölker. Von Prof. Dr. A. Ch. Preuß. Mit 9 Abbildungen. (Bd. 452.) Volksbräuche, deutsche, siehe Feste. Völkerstämme, Die deutschen, und Landschaften. Von Prof. Dr. O. Weise. S. völlig umgearb. Aufl. Mit Abb. I. Tert u. einer Dialektkarte Deutschlands. (Bd. 16.) Volkstrachten, Deutsche. Von Pfarrer A. Spieß. Mit 11 Abb. (Bd. 342.) Vom Bund zum Reich siehe Geschichte.

Von Jena bis zum Wiener Kongreß. Von Prof. Dr. G. Rolloff. (Bd. 465.) Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbild. a. deutscher Gesch. B. Prof. Dr. O. Weber. 2 Bde. 2. Aufl. (Bd. 123/124.) Vorgeschichte Europas. Von Prof. Dr. H. Schmidt. (Bd. 571/572.) Weltgeschichte s. Christentum. Welthandel s. Handel. Weltpolitik s. Politik. Wirtschaftliche Erdkunde. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 2. Aufl. Bearb. von Prof. Dr. A. Dove. (Bd. 122.) Wirtschaftsgeschichte, Antike. Von Dr. O. Neurath. 2. Auflage. (Bd. 258.) — s. a. Antikes Leben n. d. Ägypt. Papyri. Wirtschaftsleben, Deutsches. Auf geogr. Grundlage geschildert. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 3. Aufl. Neu bearb. von Dr. H. Reinlein. (Bd. 42.) — s. auch Abt. VI.

## V. Mathematik, Naturwissenschaften und Medizin.

Überglaube, Der, in der Medizin u. s. Gefahr s. Gesundh. u. Leben. B. Prof. Dr. D. v. Hansemann. 2. Aufl. (Bd. 83.) Abstammungslehre u. Darwinismus. B. Prof. Dr. M. Hesse. 4. A. M. 37 Fig. (Bd. 39.) Abstammungs- und Vererbungslehre, Experimentelle. Von Prof. Dr. E. Lehmann. Mit 26 Abb. (Bd. 379.) Abwehrkräfte d. Körpers, Die. Einführ. i. d. Immunitätslehre. B. Prof. Dr. med. H. Kämmerer. M. 52 Abb. (Bd. 479.) Algebra siehe Arithmetik. Altkolosismus, Der. Von Dr. G. B. Gruber. Mit 7 Abb. (Bd. 108.) — Seine Wirkungen u. s. Bekämpf. hrsg. v. Zentralverb. z. Belämo. d. Altkolosismus in Berlin. III. Teil. (Bd. 145.) I. u. II. Teil s. Altkolosismus v. Gruber. Anatomie d. Menschen, Die. B. Prof. Dr. A. v. Bardeleben. 6 Bde. Jeder Bd. mit zahlr. Abb. (Bd. 418-428.) I. Zellen- und Gewebelehre. Entwicklungsgeschichte. Der Körper als Ganzes. 2. Aufl. II. Das Skelett. 2. Aufl. III. Das Muskel- u. Gefäßsystem. 2. Aufl. IV. Die Eingeweide (Darm-, Atmungs-, Harn- und Geschlechtsorgane). 2. Aufl. V. Nervensystem und Sinnesorgane. VI. Statik u. Mechanik d. menschl. Körpers. — siehe auch Wirbeltiere.

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

Arbeitsleistungen des Menschen, Die. Einführ. in d. Arbeitsphysiologie. B. Prof. Dr. H. Voruta. M. 14 Fig. (Bd. 539.) — Berufswahl, Begabung u. Arbeitsleistung in i. gegens. Beziehungen. Von W. J. Nuttmann. Mit 7 Abb. (Bd. 522.)

Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht. Von Prof. B. Granß. 2 Bände. I: Die Rechnungsarten. Gleichungen 1. Grades mit einer u. mehreren Unbekannten. Gleichungen 2. Grades. 4. Aufl. M. 9 Fig. II.: Gleichungen, Arithmet. u. geometr. Reih. Zinsszins- u. Rentenrechn. Kompl. Zahlen. Binom. Lehrbuch. 3. Aufl. M. 21 Fig. (Bd. 120, 205.) Arzneimittel und Genussmittel. Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.) Arzt, Der. Seine Stellung und Aufgaben im Kulturreben der Gegenw. Von Dr. med. M. Fürst. (Bd. 265.) Astromanie. Probleme d. msd. A. B. Prof. Dr. S. Oppenheim. 11 Fig. (Bd. 355.) — Die A. in ihrer Bedeutung für das praktische Leben. Von Prof. Dr. A. Marcuse. Mit 26 Abb. (Bd. 378.) — siehe auch Weltall, Weltbild, Sonne, Mond, Planeten; Sterngläuben Abt. I. Atome, Moleküle — A. — Weltäther. B. Prof. Dr. G. Mie. 4. A. Fio. OB. 58/59.) Auge des Menschen, Das, und seine Gesundheitspflege. Von Prof. Dr. G. Abelsoff. Mit 15 Abb. (Bd. 149.) Augen, Das, und die Brille. Von Prof. Dr. M. v. Rohr. Mit 84 Abb. und 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.) Bakterien, Die, im Kreislauf des Stoffes in der Natur und im Haushalt des Menschen. Von Prof. Dr. E. Gutzeit. 2. Aufl. Mit Abb. (Bd. 242.) — Die Krankheitserregenden Bakterien. Von Privatdozent Dr. M. Voehlein. Mit 33 Abb. (Bd. 307.) — s. a. Abwehrkräfte, Desinfektion, Pilze, Schädlinge.

- Von u. Tätigkeit d. menschl. Körpers. Einf. in die Physiologie d. Menschen. V. Prof. Dr. H. Sach's. 4. Aufl. M. 34 Abb. (Bd. 32.)  
Begabung s. Berufswahl.  
Betrachtungsvorgang. Der, sein Wesen und s. Bedeutung. V. Dr. C. Leichmann. 2. Aufl. M. 9 Abb. u. 4 Doppelstaf. (Bd. 70.)  
Bewegungslehre s. Mechan. Aufg. a. d. M. I. Biochemie. Einführung in die V. Von Prof. Dr. W. Löb. Mit 12 Fig. (Bd. 352.)  
Biologie. Allgemeine. Einführ. i. d. Hauptprobleme d. organ. Natur. V. Prof. Dr. H. Meiche. 2. Aufl. 52 Fig. (Bd. 130.)  
— Experimentelle. Von Dr. C. Lebeßing. Mit Abb. 2 Ube. I: Experiment. Zellforschung. II: Regeneration, Transplantat. und verwandte Gebiete. (Bd. 336. 3.-7.)  
— siehe a. Abstammungslehre, Befruchtungsvorgang, Fortpflanzung, Lebewesen, Organismen, Mensch und Tier, Urtiere, Blumen. Unsere Bl. u. Pflanzen im Garten. Von Prof. Dr. H. Dammer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)  
— Uns. Bl. u. Pflanzen i. Zimmer. V. Prof. Dr. H. Dammer. 65 Abb. (Bd. 359.)  
— siehe auch Garten.  
Blut. Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. H. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)  
Botanik. V. d. praktischen Lebens. V. Prof. Dr. B. Gisevius. M. 24 Abb. (Bd. 173.)  
— siehe Blumen, Lebewesen, Pflanzen, Pilze, Schädlinge, Wald; Kolonialbotanik, Tabal. Abt. VI.  
Brille. Das Auge und die Br. Von Prof. Dr. M. v. Rohr. Mit 84 Abb. und 1 Lichtdruckstiel. (Bd. 372.)  
Chemie. Einführung in die allg. Ch. V. Dr. B. Bavinck. M. 24 Fig. (Bd. 582.)  
— Einführung in die organ. Chemie: Naturl. u. künstl. Pflanzen- u. Tierstoffe. Von Dr. B. Bavinck. Mit 7 Fig. (Bd. 187.)  
— Einführung in die anorganische Chemie. Von Dr. B. Bavinck. (Bd. 598.)  
— Einführung i. d. analst. Chemie. V. Dr. F. Rüsing. 2 Ube. (Bd. 524, 525.)  
— in Küche und Haus. Von Dr. J. Klein. 3. Aufl. (Bd. 76.)  
— siehe a. Biochemie, Elektrochemie, Luft, Photoch., Technit, Chem., Agrarökonomie, Sprengstoffe. Abt. VI.  
Chirurgie. Die, unserer Zeit. Von Prof. Dr. J. Feßler. Mit 52 Abb. (Bd. 339.)  
Darwinismus. Abstammungslehre und D. Von Prof. Dr. R. Hesse. 4. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 39.)  
Desinfektion, Sterilisation und Konserverung. Von Reg.- u. Med.-Rat Dr. O. Solbrig. M. 20 Abb. i. L. (Bd. 401.)  
Differential- u. Integralrechnung mit Berücksichtigung der präf. Anwendung in der Technik. Von Dr. M. Lindow. M. 42 Fig. (Bd. 387.)  
Dynamik s. Mechanik, Aufg. a. d. techn. M. 2. Bd., ebenso Thermodynamik.
- Eiszeit, Diz. und der vorgeischtliche Mensch. Von Geh. Bergrat Bro. Dr. G. Steinmann. 2. Aufl. Mit 24 Abb. (Bd. 302.)  
Elektrochemie. Von Prof. Dr. K. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)  
Elektrotechnik. Grundlagen der E. Von Oberingenieur A. Roth. 2. Aufl. Mit 74 Abb. (Bd. 391.)  
Energie. D. Lehre v. d. E. V. weil. Oberlehr. A. Stein. 2. Aufl. 13 Fig. (Bd. 257.)  
Entwickelungsgeschichte des Menschen. Von Dr. A. Heilborn. Mit 60 Abbild. (Bd. 388.)  
Erde s. Weltentstehung u. -untergang.  
Ernährung und Volksnahrungsmittel. 3. Aufl. von Geh.-Rat Prof. Dr. N. Bunge. Mit Abb. u. Taf. (Bd. 19.)  
— s. auch Nahrungsmittel.  
Experimentalkhemie s. Bust usw.  
Gärden s. Licht u. J.: i. a. Farben Abt. VI.  
Gestigkeitslehre s. Statistik.  
Gortpflanzung. F. und Geschlechtsunterschiede d. Menschen. Eine Einführung in die Seguabiologie. V. Prof. Dr. H. Borutta. M. 39 Abb. (Bd. 540.)  
Garten. Der Kleing. Von Redakteur Joh. Schneider. Mit 80 Abb. (Bd. 498.)  
— Der Haugarten. Von Gartenchef W. Schubert. Mit Abb. (Bd. 502.)  
— siehe auch Blumen, Pflanzen; Gartenuk. Gartenschadbewegung Abt. VI.  
Gebiß. Das menschl. s. Erkrank. u. Pflege. V. Zahnrat Fr. Jäger. 24 U. (Bd. 229.)  
Geisteskrankheiten. Von Geh. Medizinalrat Oberhäusserat Dr. G. Silberg. 2. Aufl. (Bd. 151.)  
Genussmittel siehe Arzneimittel u. Genussmittel, Kaffee, Kakao, Tabal, Tee.  
Geographie s. Abt. IV.  
— Mathematische G. s. Astronomie.  
Geologie. Allgemeine. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. Fr. Freih. 2. u. 3. Aufl. 6 Bände (Bd. 207/211 u. Bd. 61.)  
I.: Russland einst und jetzt. Mit Titelbild u. 80 Abb. II.: Gebirgsbau u. Erdbeben. Mit Titelbild u. 57 Abbildgn.  
III.: D. Arbeit d. fließ. Wassers. 56 Abb.  
IV.: Die Arbeit des Ozeans. Bodenbildung und Mittelgebirgsformen. Mit 1 Titelbild und Abb. V.: Steinkohle, Wüsten und Klima der Vorzeit. Mit Titelbild u. 49 Abb. VI.: Gleicher einst u. jetzt. M. Titelb. u. 65 Abb.  
— s. a. Kohlen, Salzlägerst. Abt. VI.  
Geometrie. Analyst. G. d. Ebene s. Selbstunterricht. Von Prof. V. Kraus. Mit 55 Fig. (Bd. 504.)  
— s. a. Planum., Projektionslehre, Stereometrie, Trigonometrie.  
Ge schlechtskrankheiten, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Bekämpfung u. Verhütg. V. Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 3. Aufl. M. 4 Abb. u. 1 Tafel. (Bd. 251.)

Geschlechtsunterschiede s. Fortpflanzung.  
Gesundheitslehre. Acht Vorträge aus der  
G. Von weil. Prof. Dr. H. Buchner.  
4. Aufl. v. Obermedizinalrat Prof. Dr.  
M. v. Gruber. Mit 26 Abb. (Bd. 1.)  
— G. für Frauen. Von Prof. Dr. K.  
Baisch. Mit 11 Abb. (Bd. 588.)  
— s. a. Abwehrkräfte, Bakterien, Leibesüb.  
Graphische Darstellung. Die. B. Höfrat  
Prof. Dr. F. Auerbach. M. 100 Abb.  
(Bd. 437.)

Haushalt siehe Bakterien, Chemie, Des-  
infektion, Naturwissenschaften, Physiol.  
Haustiere. Zur Stammesgeschichte unserer  
G. Von Prof. Dr. C. Keller. Mit 28  
Fig. (Bd. 252.)

— siehe auch Kleintierzucht, Tierzüchtung  
Abt. VI.

Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Er-  
krankungen. Von Prof. Dr. H. Rosin.  
Mit 18 Abb. (Bd. 312.)

Hyggiene s. Schulhygiene, Stimme.

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

Immunitätslehre s. Abwehrkräfte d. Körp.  
Infinitesimalrechnung. Einführung in die  
G. Von Prof. Dr. G. Kowalewski.  
2. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 197.)

Integralrechnung s. Differentialrechnung.  
Kaffee, Tee, Kakao u. die übrig. narfotisch.

Getränke. Von Prof. Dr. A. Weiler.  
Mit 24 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 132.)

Kalender, Der. Von weil. Prof. Dr. W.  
F. Wöslitzenus. 2. Aufl. (Bd. 69.)

Kälte, Die. Wesen, Erzeug. u. Verwert.  
Von Dr. H. Alt. 45 Abb. (Bd. 311.)

Kinematographie s. Abt. VI.

Konservierung siehe Desinfektion.

Korallen u. and. gesteinbild. Tiere. B. Prof.  
Dr. W. May. Mit 45 Abb. (Bd. 231.)

Kosmetik. Ein kurzer Abriss der ärztlichen  
Beschönigungskunde. Von Dr. F. Soudet.  
Mit 10 Abb. im Text. (Bd. 489.)

Krankenpflege in Haus u. Beruf. B. Chef-  
arzt Dr. M. Berg. M. Abb. (Bd. 533.)

Lebewesen. Die Beziehungen der Tiere und  
Pflanzen zueinander. Von weil. Prof.  
Dr. K. Kraevelin. 2. Aufl. M. 132 Abb.

I. Der Tiere zueinander. II. Der Pflan-  
zen zueinander u. zu d. Tier. (Bd. 426/427.)

— s. a. Biologie, Organismen, Schädlinge.  
Leibesübungen. Die. und ihre Bedeutung  
für die Gesundheit. Von Prof. Dr. R.  
Bander. 3. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 13.)

— s. auch Turnen.

Licht, Das. u. d. Farben. (Einführung in  
die Optik.) B. Prof. Dr. L. Graeß.  
4. Aufl. Mit 100 Abb. (Bd. 17.)

Auft. Wasser, Licht und Wärme. Neun  
Vorträge aus dem Gebiete der Experi-  
mentalchemie Von Prof. Dr. R. Bloch-  
mann. 4. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)

Auftidstoff. D. u. s. Wertvorta. B. Prof.  
Dr. K. Kaiser. M. 13 Abb. (Bd. 313.)

Mathematis. Naturwissenl. u. M. i. Klasse.  
Altertum. Von Prof. Dr. Joh. L. Hei-  
berg. Mit 2 Fig. (Bd. 370.)

Praktische Mathem. B. Prof. Dr. R.  
Neuendorff. I. Graph. und numer.  
Rechnen, laufm. Rechnen i. tägl. Leben,  
Wahrscheinlichkeitsrechnung. M. 62 Fig.  
u. 1 Tafel. II. Geometr. Konstruktionen,  
Perspektive, Ort-, Zeit- u. Entfernungsr-  
berechnungen. Mit Fig. (Bd. 341.526.)

Mathemat. Spiele. B. Dr. W. Ahrens.  
3. Aufl. M. Tielb. u. 77 Fig. (Bd. 170.)  
— s. a. Arithmetik, Diff- u. Integral-  
rechn., Geometrie, Infinitesimalrechn.,  
Perspektive, Planim. Projektionslehre,  
Trigon.

Mechanik. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A.  
v. Thering. 2 Bde. I: Die Mechanik d.  
fest. Körper. Mit 61 Abb. II: D. Mech. d.  
flüss. Körper. 34 Abb. (Bd. 303, 304.)

Aufgaben aus d. technischen Mechanik  
für d. Schul- u. Selbstunterr. B. Prof.  
M. Schmitt. I. Bewegungslehre, Satz.  
156 Aufg. u. Lösungen. M. zahlr.  
Fig. i. T. II. Dynamik. 140 Aufg. u.  
Lösungen. M. zahlr. Fig. i. T.  
— siehe auch Statif. (Bd. 558/559.)

Medizin s. Aberglaube in der Medizin.

Meer. Das M., s. Erforsch. u. f. Leben. Von  
Prof. Dr. O. Fanson. 3. Aufl. 40 F. (Bd. 30.)

Mensch u. Erde. Sitzen von den Wech-  
selbeziehungen zwischen beiden. Von weil.  
Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl. (Bd. 31.)

— s. auch Eiszeit, Entwicklungsgeschichte,  
Urzeit.

Natur u. Mensch siehe Natur.

Menschl. Körper. Bau u. Tätigkeit d. menschl.  
K. Einführung in die Physiol. d. Men-  
schen. Von Prof. Dr. H. Sach s. 4. Aufl.  
Mt 34 Abb. (Bd. 32.)

— s. auch Anatomie, Arbeitsleistungen,  
Auge, Blut, Gebiß, Herz, Fortpflanz.,  
Nervensystem, Ph. siol., Sinne, Verbild.  
Microskop, Das. Allgemeinverständl. dar-  
gestellt. Von Prof. Dr. W. Scheffer.  
Mit 99 Abb. 2. Aufl. (Bd. 35.)

— s. auch Pflanzenwelt d. M.

Moleküle — Atome — Weltäther. B. Prof.  
Dr. G. Mele. 4. Aufl. M. Fig. (Bd. 58/59.)

Mond, Der. Von Prof. Dr. F. Franz.  
Mit 34 Abb. 2. Aufl. (Bd. 90.)

Nahrungsmittel. Die. ihre Zusam-  
mensetzung, Herstellung und Brüting. Von  
Dr. H. Kühl. Mit Abb. (Bd. 599.)

— s. a. Ernährung u. Volksnahrungsmitt.  
Natur u. Mensch. B. Direkt. Prof. Dr. M.  
G. Schmidt. Mit 19 Abb. (Bd. 458.)

Naturelehre. Die Grundbegriffe der mo-  
dernen N. Einführung in die Ph. siit.  
Von Hörat Prof. Dr. F. Auerbach.  
4. Aufl. Mit 71 Fig. (Bd. 40.)

Naturphilosophie. Die mod. B. Privatdoz.  
Dr. F. M. Verweyen. (Bd. 491.)

Naturwissenschaft und Religion. N. und N. in Kampf und Frieden. Von Bäcker. Dr. A. Bäcker. 2. Aufl. (Bd. 141.) Naturwissenschaft und Technik. Am scheidenden Webstuhl der Zeit. Überblick über Wirkung der Entwicklung der N. u. T. auf das gesamte Kulturleben. B. Prof. Dr. W. Baumhardt. 4. Aufl. neubearb. von Geh. Reg.-Nat. M. Geitel. Mit Abbildungen. (Bd. 23.)

— N. u. Math. i. Klaff. Altert. B. Prof. Dr. J. L. Heiberg. 27 Fig. (Bd. 370.) Nerven. Vom Nervensystem. sein. Bau u. sein. Bedeutung für Leib u. Seele im gesund. u. frank. Zustande. B. Prof. Dr. R. Bander. 2. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 48.) — siehe auch Anatomie.

Optik. Die opt. Instrumente. B. Prof. Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. M. 84 Abb. (Bd. 88.) — f. a. Augen, Brille, Kinetik, Licht u. Farbe, Mikrosk., Spektroskopie, Strahlen. Organismen. D. Welt d. O. In Entwickl. u. Zusammenhang dargest. B. Prof. Dr. K. Lampert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.) — siehe auch Lebewesen.

Paläozoologie siehe Tiere der Vorwelt. Perspektive. Grundzüge der P. nebst Anwendung. B. Prof. Dr. K. Doeblemann. Mit 91 Fig. u. 11 Abb. (Bd. 510.)

Pflanzen. Vermehrung u. Sexualität bei den Pfl. Von Prof. Dr. E. Küster. Mit 38 Abb. (Bd. 112.) — Die fleischfressenden Pfl. B. Prof. Dr. A. Wagner. Mit 82 Abb. (Bd. 344.)

— Unz. Blumen u. Pfl. i. Garten. B. Prof. Dr. U. Dammer. M. 69 Abb. (Bd. 360.) — Unz. Blumen u. Pfl. i. Zimmer. B. Prof. Dr. U. Dammer. M. 65 Abb. (Bd. 359.) — f. auch Botanik, Garten, Lebewesen, Pilze, Schädlinge.

Pflanzenphysiologie. B. Prof. Dr. H. Molisch. Mit 63 Fig. (Bd. 569.)

Pflanzenwelt des Mikroskops, Die. Von Lehr. C. Neukauf. 100 Abb. (Bd. 181.)

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

Photographie 1. Abt. VI.

Physik. Verdegang d. mod. Ph. B. Oberl. Dr. H. Keller. M. 13 Fig. (Bd. 343.)

— Experimentalphysik. Von Prof. Dr. R. Börnstein. M. 90 Abb. (Bd. 371.)

— Physik in Küche und Haus. Von Prof. H. Sveitlamy. M. 51 Abb. (Bd. 478.)

— Die großen Physiker und ihre Leistungen. Von Prof. Dr. F. A. Schulze. 2. Aufl. Mit 7 Tafeln. (Bd. 324.)

— f. a. Energie, Naturlehre, Optik, Relativitätstheorie, Wärme; ebenso Elektrotechnik Abt. VI.

Physiologie des Menschen. Von Privatdoz. Dr. A. Bispich. 4 Bde. I: Allgem. Physiologie II: Physiologie d. Stoffwechsels. III: Ph. d. Atmung, d. Kreislaufs u. d. Ausscheidung. IV: Ph. der Bewegungen und der Empfindungen. (Bd. 527—530.)

Physiologie siehe auch Arbeitsleistungen, Menschl. Körper, Bilanzphysiologie. Pilze. Die. Von Dr. A. Eichinger. Mit — f. a. Batterien. 164 Abb. (Bd. 334.) Planeten. Die. Von weil. Prof. Dr. B. Peter. Mit 18 Fig. (Bd. 240.) Planimetrie s. Selbstunterricht. B. Prof. B. Cranck. Mit 99 Fig. (Bd. 340.) Praktische Mathematik s. Mathematik. Projektionslehre. Die rechtwinklige Parallelprojektion und ihre Anwend. auf die Darstell. techn. Gebilde nebst Anhang über die schiefwinklige Parallelprojektion in kurzer leichtfaßlicher Darstellung für Selbstunterr. u. Schulgebr. B. Beichsel. A. Schubert. M. Fig. (Bd. 564.) Radium und Radaktivität. Von Dr. M. Gentnerizwer. M. 33 Abb. (Bd. 405.) Rechenmaschinen. Die. und das Maschinenrechnen. Von Reg.-Nat. Dipl.-Ing. K. Venz. Mit 43 Abb. (Bd. 490.) Relativitätstheorie. Von Dr. B. Bloch. (Bd. 618.)

Röntgenstrahlen, D. N. u. ihre Anwendg. B. Dr. med. G. Bucky. M. Abb. (Bd. 556.)

Säugling. Der. i. Ernährung u. f. Pflege. B. Dr. W. Kaupe. M. 17 Abb. (Bd. 154.) Schachspiel, Das. und seine strategischen Prinzipien. Von Dr. M. Langen. 2. Aufl. Mit 2 Bildn., 1 Schachbrettafel u. 43 Darst. v. Übungsbeispiel. (Bd. 281.)

Schädlinge im Tier- und Pflanzenreich und ihre Bekämpfung. Von Prof. Dr. K. Edsteini. 3. Aufl. M. Fig. (Bd. 18.) Schulhygiene. Von Prof. Dr. E. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 43 Fig. (Bd. 96.)

Sexualbiologie s. Fortpflanzung, Pflanzen. Sexualethik. B. Prof. Dr. H. E. Timerding. (Bd. 592.)

Sinne d. Mensch.. D. Sinnesorgane und Sinnesempfindungen. B. Prof. Dr. F. K. Kreibig. 3. Aufl. M. 30 A. (Bd. 27.)

Sonne. Die. Von Dr. A. Krause. Mit 64 Abb. (Bd. 357.)

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

Spiel siehe mathem. Spiele, Schachspiel. Sprache. Entwicklung der Spr. und Heilung ihrer Gebrechen bei Normalen, Schwachsinnigen und Schwerhörigen. B. Lehrer K. Nickel. (Bd. 586.) — siehe auch Rhetorik, Sprache Abt. III.

Statistik. Mit Einschluß der Festigkeitslehre. B. Baugewerbeschuldbirector Reg.-Baum. A. Schau. Mit 149 Fig. i. T. (Bd. 497.) — siehe auch Mechanik.

Sterilisation siehe Desinfektion, Stoffstoff s. Luftschiffbau.

Stimme. Die menschliche St. und ihre Hygiene. Von Prof. Dr. B. H. Gerber. 2. Aufl. Mit 20 Abb. (Bd. 136.)

Strahlen. Sichtbare u. unsichtb. B. Prof. Dr. R. Börnstein und Prof. Dr. W. Marckwald. 2. Aufl. M. 85 Abb. (Bd. 64.) — f. auch Optik, Röntgenstrahlen.

Suggestion. Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trömmner. 2. Aufl. (Bd. 199.)  
Schwässer-Plancton. Das. B. weil. Prof. Dr. D. Bacharias. 2. A. 57 Abb. (Bd. 156.)  
Thermodynamik s. Abt. VI.

Tiere. T. der Vorwelt. Von Prof. Dr. O. Abel. Mit 31 Abb. (Bd. 399.)  
— Fortpflanzung der T. B. Prof. Dr. R. Goldschmidt. M. 77 Abb. (Bd. 253.)  
— Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie. B. weil. Privatdozent Dr. K. Henning. Mit 84 Abb. (Bd. 142.)  
— Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere. B. weil. Prof. Dr. O. Maass. Mit 11 Karten und Abb. (Bd. 139.)  
— Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus). Von Dr. F. Knauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)  
— s. auch Aquarium, Galerien, Haustiere, Korallen, Krebs, Lebewesen, Schädlinge, Urtiere, Vogelleben, Vogelzug, Wirbeltiere.

Tierzucht siehe Abt. VI: Kleintierzucht, Tierzüchtung.

Trigonometrie. Ebene, z. Selbstunterr. B. Prof. B. Granz. M. 50 Fig. (Bd. 431.)

Umbilikoze. Die. Wesen, Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg.

2. Aufl. M. 1 Tas. u. 8 Fig. (Bd. 47.)

Turnen. Das. Von Oberl. F. Edardt.

— s. auch Leibesübungen. (Bd. 583.)

Urtiere. Die. Einführung i. d. Wissenschaft vom Leben. Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. 2. A. M. 44 Abb. (Bd. 160.)

Arbeit. Der Mensch d. u. Bier Vorlesung aus der Entwicklungsgeschichte des Menschen geschlechts. Von Dr. A. Heilborn.

2. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 62.)

Berbildungen, körperliche im Kindesalter u. ihre Verhütung. Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)

Vererbung. Grp. Abstammungs- u. B.-Lehre. Von Prof. Dr. E. Lehmann. Mit 20 Abbildungen. (Bd. 379.)

— Geistige Veranlagung u. B. Von Dr. phil. et med. G. Sommer. (Bd. 512.)  
Vogelleben. Deutsches. Von Prof. Dr. A. Voigt. (Bd. 221.)

Vogelzug und Vogelschuk. Von Dr. W. R. Edardt. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)

Vollnahrungsmittel siehe Ernährung u. B. Wald. Der dicke. B. Prof. Dr. H. Hausrath. 2. Aufl. M. Bilderanh. u. 2. Karten. — siehe auch Holz Abt. VI. (Bd. 153.)

Wärme. Die Lehre v. d. B. B. Prof. Dr. R. Bönnstein. M. 33 Abb. (Bd. 172.)

— s. a. Luft, Wärmekraftmasch., Wärmelehre, techn., Thermodynamik Abt. VI.

Wasser. Das. Von Geh. Reg.-Rat Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)

Weidwerk. D. dicke. B. Forstmstr. G. Frhr. v. Nordenfjeld. M. Titel. (Bd. 436.)

Weltall. Der Bau des B. B. Prof. Dr. F. Scheiner. 4. A. M. 26 Fig. (Bd. 24.)

Weltäther siehe Molekül.

Weltbild. Das astronomische B. im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. G. Oppenheim. 2. Aufl. Mit 24 Abb. (Bd. 110.)

— siehe auch Astronomie.

Weltentstehung. Entstehung d. W. n. d. Erde nach Sage u. Wissenschaft. B. Prof. Dr. M. Weinsteins. 2. Aufl. (Bd. 223.)

Weltuntergang. Untergang der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft. B. Prof. Dr. M. B. Weinstein. (Bd. 470.)

Wetter. Gut und schlecht. Von Dr. R. Hennig. Mit 46 Abb. (Bd. 349.)

— Einführung in die Weiterkunde. Von Prof. Dr. L. Weber. 2. Aufl. Mit 28 Fig. u. 3 Tas. (Bd. 55.)

Wirbeltiere. Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der B. Von Prof. Dr. W. Lubosch. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)

Zahnheilkunde siehe Gebiß.

Zellen- und Gewebelere. siehe Anatomie des Menschen, Biologie.

## VI. Recht, Wirtschaft und Technik.

Agrarforschung. Von Dr. B. Krüsse. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)

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

— Seine Wirkungen u. seine Bekämpfung. Hrsg. v. Centralverband z. Bekämpfung d. A. in Berlin. III. Teil. (Bd. 145.) (I. u. II. Teil i. Alkoholismus v. Grüner.)

Amerika. Aus dem amerik. Wirtschaftsleben. Von Prof. J. L. Langhlin. Mit 9 graphisch. Darstellung. (Bd. 127.)

Angestellte siehe Kaufmännische A.

Antikes Wirtschaftsgeschichte. Von Dr. O. Neurath. 2. Aufl. (Bd. 258.)

— siehe auch Antikes Leben Abt. IV.

Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung. Von Prof. O. v. Biedineck-Südendorff. 2. Aufl. (Bd. 78.)

— siehe auch soziale Bewegungen.

Arbeitsleistungen des Menschen. Die. Einführ. in d. Arbeitsphysiologie. B. Prof. Dr. H. Voruttau. M. 14 Fig. (Bd. 539.)

— Berufswahl. Begabung u. A. in ihren gegenseitigen Beziehungen. Von W. J. Nuttmann. Mit 7 Abb. (Bd. 522.)

Arzneimittel und Genussmittel. Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.)

Apt. Der. Seine Stellung und Aufgaben im Kulturreben der Gegenw. Von Dr. med. M. Fürst. (Bd. 265.)

**Automobil.** Das. Eine Einf. in d. Bau d. deut. Personen-Kraftwagens. V. Ob.-Ing. K. Blau. 3. Aufl. M. 98 Abb. u. Titelbild. (Bd. 166.)

**Bahnen s.** Eisenbahnen, Klein- u. Straßenbahnen, Verkehrsentwicklung.

**Baukunde.** Der Eisenbetonbau. V. Dipl.-Ing. E. Haimovici. 81 Abb. (Bd. 275.)

— siehe auch Städtebau.

**Baukunst** siehe Abt. III.

**Bauverwaltungswesen.** Das moderne. Von Dr. H. Lutz. Mit 54 Abb. (Bd. 433.)

**Bergbau.** V. Bergreferendar F. W. Wedding. (Bd. 467.)

**Bewegungsllehre s.** Mechanik. Aufg. a. d. M. Bierbrauerei. Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 332.)

**Bilanz** s. Buchhaltung u. B.

**Blumen.** Unsere Bl. und Pflanzen im Garten. Von Prof. Dr. U. Dammmer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)

— uns. Bl. u. Pfl. i. Zimmer. V. Prof. Dr. U. Dammmer. M. 65 Abb. (Bd. 359.)

— siehe auch Garten.

**Brauerei** s. Bierbrauerei.

**Buch.** Wie ein V. entsteht. V. Prof. A. W. Unger. 4. Aufl. Mit 8 Taf. u. 26 Abb. im Text. (Bd. 175.)

— s. a. Schrift- u. Buchwesen Abt. IV.

**Buchhaltung u. Bilanz,** Kaufm., und ihre Beziehungen z. Buchhalter. Organisation, Kontrolle u. Statistik. V. Dr. P. Gerstner. M. 4 schemat. Darstell. (Bd. 507.)

**Chemie** in Küche und Haus. Von Dr. J. Klein. 3. Aufl. (Bd. 76.)

— s. auch Agriculturnchemie, Elektrochemie, Farben, Sprengstoffe, Technit; ferner Chemie Abt. V.

**Dampfessel** siehe Feuerungsanlagen.

**Dampfmaschine.** Die. Von Geh. Bergrat Prof. R. Bäuerle. 2 Bde. I: Wirkungsweise des Dampfes in Kessel und Maschine. 3. Aufl. Mit 45 Abb. (Bd. 393.)

II: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. Mit 95 Abb. u. 1 Taf. (Bd. 394.)

**Desinfektion, Sterilisation und Konservierung.** Von Reg.- und Med.-Rat Dr. O. Solbrig. Mit 20 Abb. (Bd. 401.)

**Deutsch** siehe Handel, Handwerk, Landwirtschaft, Reich, Reichsversicherung, Schiffahrt, Verfassung, Weidwerk, Wirtschaftsleben, Zivilprozeßrecht.

**Drähte und Kabel**, ihre Anfertigung und Anwendung in d. Elektrotechnik. V. Telegr.-Inst. H. Brügel. M. 43 Abb. (Bd. 285.)

**Dynamik** s. Mechanik. Aufg. a. d. M. 2. Bd. ebenso Thermodynamik.

**Eisenbahnen**, Das. Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinst. a. D. Biedermann. 2. Aufl. Mit 56 Abb. (Bd. 144.)

**Eisenbetonbau.** Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)

**Eisenhüttenwesen.** V. weiß. Geh. Bergr. Prof. Dr. H. Wedding. 5. Aufl. v. Bergref. F. W. Wedding. M. Fig. (Bd. 20.)

**Elektrische Kraftübertragung.** Die. V. Ing. P. Köhn. Mit 137 Abb. (Bd. 424.)

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

**Elektrotechnik.** Grundlagen der E. Von Obering. A. Nottl. 2. Aufl. Mit 74 Abb. (Bd. 391.)

— s. auch Drähte u. Kabel, Telegraphie, Erbrecht, Testamentserrichtung und G. Von Prof. Dr. F. Leonhardt. (Bd. 429.)

**Ernähr. u. Volksnahrungsmittel** s. Abt. V. **Gärten u. Farbstoffe.** F. Erzeug. u. Verwend. V. Dr. A. Bart. 31 Abb. (Bd. 483.)

— siehe auch Licht Abt. V.

**Fernsprechtechnik** s. Telegraphie. **Feuерungsanlagen.** Industr. u. Dampfkessel. V. Ing. J. C. Mayer. 88 Abb. (Bd. 343.)

**Finanzwissenschaft.** Von Prof. Dr. S. P. Altman. 2 Bde. 2. Aufl. I. 2112. Teil. II. Besond. Teil. (Bd. 549—550.)

— siehe auch Gelbwissen.

**Frauenarbeit.** Ein Problem d. Kapitalismus. V. Prof. Dr. R. Wilbrandt. (Bd. 106.)

— siehe auch Frauenbewegung Abt. IV. **Friedensbewegung.** Die moderne. Von A. H. Fried. (Bd. 157.)

**Gruenktelegraphie** siehe Telegraphie. **Kürbisse** s. Krägsbeschädigten.; Jgds. Abt. II.

**Garten.** Der Kleingarten. V. Rebalt. P. v. Schneider. Mit 80 Abb. (Bd. 498.)

— Der Haugarten. Von Gartenarchitekt W. Schubert. Mit Abb. (Bd. 502.)

— siehe auch Blumen.

**Gartenkunst.** Geschr. d. S. V. Baurat Dr.-Ing. Chr. Ranft. M. 41 Abb. (Bd. 274.)

**Gartenstadtbewegung.** Die. Von Generalsekretär H. Kampffmeyer. 2. Aufl. Mit 43 Abb. (Bd. 259.)

**Gefängniswesen** s. Verbrechen. **Geldweisen.** Zahlungsverkehr und Vermögensverwalt. V. C. Mayer. (Bd. 393.)

— s. a. Finanzwissensch.; Münze Abt. IV.

**Genußmittel** siehe Arzneimittel und Genußmittel, Kaffee, Tabak.

**Getränke** siehe Kaffee, Tee, Kakao.

**Gewerblicher Rechtsausübung** i. Deutschland. V. Patentamt. V. Tollisdorf. (Bd. 138.)

— siehe auch Urheberrecht.

**Graphische Darstell.** Die. V. Hofrat Prof. Dr. Auerbach. M. 100 Abb. (Bd. 437.)

**Handel.** Geschichte d. Welth. Von Direktor Prof. Dr. M. G. Schmidt. 3. Aufl. (Bd. 118.)

— Geschichte des deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 237.)

**Handfeuerwaffen.** Die. Entwickl. u. Tech. V. Major R. Weiß. 69 Abb. (Bd. 364.)

**Handwerk.** D. deutsche, in s. Kunstgewerbe. Entwickl. V. Geh. Schuf. Dr. C. Otto. 4. Aufl. M. 33 Abb. (Bd. 14.)

— s. auch Klempnergewerbe.

- Hausbau s. Bauten, Chemie, Desinfekt.,  
Garten, Jurisprud., Physik; Nahrungs-  
mittel Abt. IV.
- Häuserbau siehe Baukunde, Beleuchtungs-  
weisen, Heizung und Lüftung.
- Hebezeuge. Hilfsmittel zum Heben fester,  
flüssiger und gasf. Körper. Von Geh.  
Bergrat Prof. R. Bater. 2. Aufl. M.  
zahlr. Abb. (Bd. 196.)
- Heizung und Lüftung. Von Ingenieur J.  
E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
- Holz. Das d. seine Bearbeitung u. seine  
Verwendung. V. Insy. J. Großmann.  
Mit 39 Originalabb. i. T. (Bd. 473.)
- Hotelswesen. Das. Von P. Damme-  
Etienne. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)
- Hüttenwesen siehe Eisenhüttenwesen.
- Japaner. Die. i. d. Weltwirtschaft. V. Prof.  
Dr. K. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.)
- Immunitätslehre s. Abwehrkräfte Abt. V.
- Ingenieurtechnik. Schöpfungen d. J. der  
Neuzeit. Von Geh. Regierungsrat M.  
Geitel. Mit 32 Abb. (Bd. 28.)
- Installateurgewerbe s. Klempnergew.
- Instrumente siehe Optische J.
- Jurisprudenz i. häusl. Leben, J. Familie  
und Haushalt. V. Rechtsanw. V. Vie-  
nengräber. 2 Bde. (Bd. 219, 220.)  
— siehe auch Miete.
- Kabel s. Drähte und K.
- Kaffee, Tee, Kaka u. d. übrigen alkohol.  
Getränke. Von Prof. Dr. A. Wiesler.  
Mit 24 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 182.)
- Kälte. Die, ihr Wesen, ihre Erzeugung und  
Verwertung. Von Dr. H. Alt. Mit  
45 Abb. (Bd. 311.)
- Kaufmann. Das Recht des R. V. Justiz-  
rat Dr. M. Strauß. (Bd. 409.)
- Kaufmännische Angestellte. D. Recht d. I.  
A. Von Justizrat Dr. M. Strauß.  
(Bd. 361.)
- Kinematographie. V. Dr. H. Lehmann.  
Mit 69 Abb. (Bd. 358.)
- Klein- u. Straßenbahnen. V. Oberlehrer  
A. Liebmann. M. 85 Abb. (Bd. 322.)
- Kleintierzucht. Von Redakteur Joh.  
Schneider. Mit 29 Fig. im Text u.  
28 auf Tafeln. (Bd. 604.)  
— siehe auch Tierzüchtung.
- Klempner- und Installateurgewerbe. Das.  
Von Dr. O. Kallenberg. (Bd. 615.)
- Kohlen, Unsere. V. Bergass. V. Kühl.  
Mit 60 Abb. u. 3 Taf. (Bd. 396.)
- Kolonialbotanik. Von Prof. Dr. F. Tob-  
ler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
- Kolonisation, Innere. Von A. Bren-  
ning. (Bd. 261.)
- Konservierung siehe Desinfektion.
- Konsumgenossenschaft. Die. Von Prof. Dr.  
F. Staudinger. (Bd. 222.)  
— s. auch Mittelstandsbewegung, Wirt-  
schaftliche Organisationen.
- Kraftanlagen siehe Feuerungsanlagen und  
Dampfmaschine, Dampfmaschine, Wärme-  
kraftmaschine, Wasserkraftmaschine.
- Kraftübertragung. Die elektrische. Von  
Ing. P. Köhn. Mit 137 Abb. (Bd. 424.)
- Krankenpflege in Haus u. Beruf V. Chef-  
arzt Dr. M. Berg. M. Abb. (Bd. 533.)
- Krieg. Kulturgeschichte d. R. V. Prof. Dr.  
A. Weule, Geh. Hofrat Prof. Dr. E.  
Wetzel, Prof. Dr. B. Schmeidler,  
Prof. Dr. A. Doren, Prof. D. P.  
Herre. (Bd. 561.)
- Kriegsbeschädigtenfürs. In Verbindg. m.  
Med.-Rat Dr. Mebentisch, Gewerbe-  
schuldir. H. Bach, Dir. d. Städt. Ar-  
beitsamts Dr. P. Schlotter hrsg. von  
Dr. S. Kraus, Leiter d. Städt. Für-  
sorgeamts für Kriegshinterbliebene in  
Frankfurt a. R. (Bd. 523.)
- Kriegsschiff. Das. Seine Entstehung und  
Verwend. V. Geh. Marinebaurat a. D.  
C. Krieger. Mit 60 Abb. (Bd. 389.)
- Kriminalistik. Moderne. Von Amtsrichter  
Dr. A. Hellwig. M. 18 Abb. (Bd. 476.)  
— s. a. Verbrechen, Verbrecher.
- Küche siehe Chemie in Küche und Haus.
- Kulturgeschichte des Krieges siehe Krieg.
- Landwirtschaft. D. deutsche. V. Dr. W. Caa-  
ßen. 2. Aufl. Mit 1 Karte. (Bd. 215.)  
— s. auch Agrarchemie, Kleintier-  
zucht, Luftstoffs, Tierzüchtung; Haus-  
tiere, Tierkunde Abt. V.
- Landwirtschaftliche Maschinenkunde. Von  
Prof. Dr. G. Fischer. Mit 62 Abbild.  
(Bd. 316.)
- Luftfahrt. Die, ihre wissenschaftlichen  
Grundlagen und ihre technische Entwick-  
lung. Von Dr. R. Niemann. 3. Aufl.  
v. Dr. Fr. Huth. M. 60 Abb. (Bd. 300.)
- Airstoff. Der. u. s. Verm. V. Prof.  
Dr. A. Kaiser. M. 18 Abb. (Bd. 313.)
- Lüftung, Heizung und L. Von Ingenieur  
J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
- Marr. Von Dr. M. Adler. (Bd. 621.)  
— s. auch Sozialismus.
- Maschinen s. Hebezeuge, Dampfmaschine,  
Landwirtschaft, Maschinenkunde, Wärme-  
kraftmasch., Wasserkraftmasch.
- Maschinenelemente. Von Geh. Bergrat Prof.  
R. Bater. 2. A. M. 175 Abb. (Bd. 301.)
- Maße und Messen. Von Dr. W. Bloch.  
Mit 34 Abb. (Bd. 385.)
- Mechanik. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A.  
v. Bering. I: Die Mechanik d. festen  
Körper. M. 61 Abb. II: Die Mechanik d.  
flüss. R. M. 34 Abb. (Bd. 303/304.)  
— Aufgaben aus der technischen M.  
s. d. Schul- u. Selbstunterr. V. Prof.  
N. Schmitt. M. zahlr. Fig. I. Bewe-  
gungsl., Statik. 156 Aufg. u. Lösungen.  
II. Dynam. 140 A. u. Lös. (Bd. 558/559.)
- Messen siehe Maße und Messen.

- Metalle, Die. Von Prof. Dr. K. Scheid. 3. Aufl. Mit 11 Abb. (Bd. 29.)
- Miete, Die, nach dem VGB. Von Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 194.)
- Mikroskop, Das. Gemeinderätslich dargestellt von Prof. Dr. W. Schäffer. 2. Aufl. Mit 99 Abb. (Bd. 35.)
- Milch, Die, und ihre Produkte. Von Dr. A. Reiß. Mit 16 Abb. (Bd. 362.)
- Mittelstandsbewegung, Die moderne. Von Dr. O. Müßelmann. (Bd. 417.) — siehe Konsumgenoss., Wirtschaftl. Org.
- Nahrungsmittel s. Abt. V.
- Naturwissenschaften und Technik. Umfassende Webschrift der Zeit. Übersicht über Wirkungen d. N. u. T. auf das gesamte Kulturreben. Von Prof. Dr. W. Gauhaber. 3. Aufl. M. 16 Abb. (Bd. 23.)
- Nautik. Von Dr. F. Möller. 50 Fig. (Bd. 255.)
- Optischen Instrumente, Die. Von Prof. Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. Mit 84 Abb. (Bd. 88.)
- Organisationen, Die wirtschaftlichen. Von Privatdoz. Dr. E. Ledermann. (Bd. 428.)
- Ostmark, Die. Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeographie. Hrsg. von Drs. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)
- Patente u. Patentrecht s. Gewerb. Rechtssch. Verpetuum mobile, Das. Von Dr. Fr. Schatz. Mit 38 Abb. (Bd. 462.)
- Photoschemie. Von Prof. Dr. G. Kümmell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)
- Photographie, Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen u. Anwendung. Von Dr. O. Prelinger. Mit 65 Abb. (Bd. 414.) — Die künstlerische Photographie. Von Dr. W. Warstat. M. 12 Tafeln. (Bd. 410.) — Angewandte Liebhaber-Photographie, ihre Technik und ihr Arbeitsfeld. Von Dr. W. Warstat. Mit Abb. (Bd. 535.)
- Physik in Küche und Haus. Von Prof. Dr. H. Speitkamp. M. 51 Abb. (Bd. 478.) — siehe auch Physik in Abt. V.
- Postwesen, Das. Entwicklung und Bedeutung. Von Postrat F. Brunns. (Bd. 165.)
- Rechenmaschinen, Die, und das Maschinenrechnen. Von Reg.-Rat Dipl.-Ing. R. Lenzen. Mit 43 Abb. (Bd. 490.)
- Recht siehe Gericht, Erbrecht, Gewerbl. Rechtsichtg., Jurispr., Kaufm., Kaufm. Angest., Urheber-, Verbrechen, Kriminallist., Verfugst., Wahlr., Zivilprozeßr.
- Rechtsprobleme, Moderne. Von Geh. Justizr. Prof. Dr. F. Höbler. 3. Aufl. (Bd. 128.)
- Reichsversicherung, Die. Von Landesrat H. Seelman. (Bd. 380.)
- Salzlagerstätten, Die deutschen. Von Dr. C. Niemann. Mit 27 Abb. (Bd. 407.) — siehe auch Geologie Abt. V.
- Schiffahrt, Deutsche, u. Schiffahrtspol. d. Gegen. Von Prof. Dr. K. Theiß. (Bd. 169.)
- Schiffbau siehe Kriegsschiff.
- Schmuckst., Die, u. d. Schmucksteinindustr. Von Dr. A. Cypler. M. 64 Abb. (Bd. 376.)
- Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von G. Maier. 4. Aufl. (Bd. 2.) — s. a. Arbeiterschutz u. Arbeiterversicher.
- Sozialpolit. Gesch. der sozialist. Ideen i. 19. Jhd. Von Privatdoz. Dr. Fr. Müdle. 2. Aufl. I: D. ration. Soz. II: Proudhon u. d. entwicklungsgeschichtl. Soz. (Bd. 269. 270.) — siehe auch Marx; Rom, soziale Kämpfe i. alten R. Abt. IV.
- Spinnerei. Von Dir. Prof. M. Lehmann. Mit 35 Abb. (Bd. 338.)
- Sprengstoffe, Die, ihre Chemie u. Technologie. Von Prof. Dr. R. Biedermann. 2. Aufl. M. 12 Fig. (Bd. 286.)
- Staat siehe Abt. IV.
- Statik. Mit Einführung der Festigkeitslehre. Von Reg.-Baum. Baugewerkschuldirekt. A. Schau. M. 149 Fig. i. T. (Bd. 497.) — siehe auch Mechanik, Aufg. a. d. M. I.
- Statistik. Von Professor Dr. G. Schott. (Bd. 442.)
- Strafe und Verbrechen. Geschichte u. Organis. d. Gefängniswes. Von Strafanstaltsdir. Dr. med. P. Pollitz. (Bd. 323.)
- Straßenbahnen. Die Klein- u. Straßenb. Von Oberingenieur a. d. Oberlehrer A. Siebmann. M. 82 Abb. (Bd. 322.)
- Kabel, Der. Anbau, Handel u. Verarbeit. Von Jac. Böhl. M. 17 Abb. (Bd. 416.)
- Technik, Die chemische. Von Dr. A. Müller. Mit 24 Abb. (Bd. 191.) — s. a. Elektrotechnik, Naturwiss. u. T. Technologie siehe Sprengstoffe.
- Tee siehe Kaffee.
- Telegraphie, Die, i. t. Entwicklung u. Bedeutg. Von Postrat F. Brunns. M. Fig. (Bd. 183.) — Telegraphen- und Fernschreientechnik in ihrer Entwicklung. Von Oberpost-Inspv. H. Brüd. 2. Aufl. Mit 64 Abb. (Bd. 235.) — Die Funksentelegr. Von Telegr.-Inspv. H. Thurn. M. 51 Abb. 4. Aufl. (Bd. 167.) — siehe auch Draht und Kabel.
- Testamentserrichtung und Erbrecht. Von Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)
- Thermodynamik. Aufgaben aus d. T. Geh. Bergrat Prof. Dr. R. Bäuer.
- siehe auch Wärmelehre. (Bd. 596.)
- Tierzüchtung. Von Dr. G. Wilsdorf. Mit 30 Abb. auf 12 Tafeln. (Bd. 369.) — siehe auch Kleintierzucht.
- Uhr, Die. Grundlagen und Technik der Zeitmessung. Von Prof. Dr.-Ing. H. Bod. 2., umgearb. Aufl. Mit 49 Abb. (Bd. 216.)
- Urheberrecht. Das Recht an Schrift- und Kunstwerken. Von Rechtsanw. Dr. R. Mothes. (Bd. 435.) — siehe auch gewerblich. Rechtsschutz.

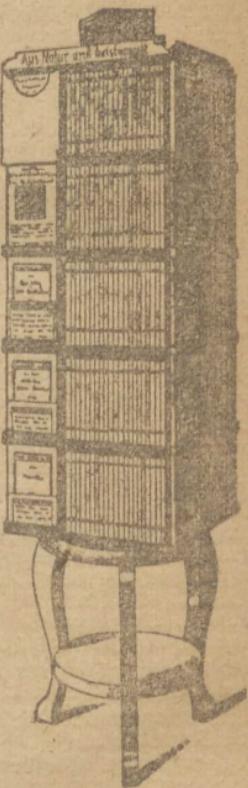
Jeder Band gehestet M. 1.20 Aus Natur und Geisteswelt Jeder Band gebunden M. 1.50  
Verzeichnis der bisher erschienenen Bände innerhalb der Wissenschaften alphabetisch geordnet

- Berbrechen, Strafe und V. Geschichte u. Organisation d. Gefängniswesens. V. Strafanst.-Dir. Dr. med. V. Pöllig. (Bd. 323.)
- Berbrechen und Überglauke. Sätze aus der volkstümlichen Kriminalistik. V. Amtsrichter Dr. A. Hellwig. (Bd. 212.)
- Moderne Kriminalistik. V. Amtsrichter Dr. A. Hellwig. M. 18 Abb. (Bd. 476.)
- Berbrecher. Die Psychologie des V. (Kriminologisch.) V. Strafanstaltsdirektor. Dr. med. V. Pöllig. 2. Aufl. M. 5 Diagr. (Bd. 248.)
- s. a. Handschriftenbeurteilt. Abt. I.
- Berfassg. Grundz. d. V. d. Deutsch. Reiches. V. Geheimrat Prof. Dr. E. Voening. 4. Aufl. (Bd. 34.)
- Berfassg. und Verwaltung der deutschen Städte. Von Dr. Matth. Schmid. (Bd. 466.)
- Deutsch. Berfassgr. i. geschichtl. Entwickl. V. Br. Dr. E. Hubrich. 2. Aufl. (Bd. 80.)
- Verkehrsentwicklung i. Deutschl. 1890 b. J. Gw. V. Prof. Dr. W. Börs. 3. Aufl. (Bd. 45.)
- Versicherungswesen. Grundzüge des V. V. Prof. Dr. A. Manes. 2. Aufl. (Bd. 105.)
- s. a. Arbeitsschutz, Reichsversicherung. Volksnahrungsmittel s. Ernähr. u. V. Abt. V.
- Waffentechnik siehe Handfeuerwaffen.
- Wahlrecht, Das. Von Reg.-Rat Dr. O. Boenigen. (Bd. 249.)
- Wald, Der deutsche. V. Prof. Dr. Hausrath. 2. Aufl. Wilderanh. u. Kart. (Bd. 153.)
- Wärmeleistungsmaschinen. Die neueren. Von Geh. Bergrat Prof. R. Bater. 2 Bde. I: Einführung in die Theorie u. d. Bau d. Gasmaschin. 4. Aufl. M. 42 Abb. (Bd. 21.) II: Gasfeuerzeuger, Großgasmasch., Dampf- u. Gasturbine. 3. Aufl. M. 45 Abb. (Bd. 86.)
- siehe auch Kraftanlagen.
- Wärmelehre, Einführ. i. d. techn. (Thermodynamik). Von Geh. Bergrat Prof. R. Bater. M. 40 Abb. i. Text. (Bd. 516.)
- i. auch Thermodynamik.
- Wasser, Das. Von Geh. Reg.-Rat Dr. O. Anielmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)
- s. a. Luft, Wasser, Licht, Wärme Abt. V.
- Wasserleistungsmaschinen u. d. Ausnützung d. Wasserkräfte. V. Raif. Geh. Reg.-Rat A. v. Hering. 2. Aufl. M. 57 Fig. (Bd. 228.)
- Weidwerk, Das deutsche. Von Forstmeister G. Frhr. v. Nordenflicht. Mit 1 Titelbild. (Bd. 436.)
- Weinbau und Weinbereitung. Von Dr. F. Schmittner. 34 Abb. (Bd. 332.)
- Welthandel siehe Handel.
- Wirtschaftliche Erdkunde. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 2. Aufl. Bearb. von Prof. Dr. A. Dove. (Bd. 122.)
- Wirtschaftsgeograph. i. Antike W., Ostmark. Wirtschaftsleben, Deutsches. Aus geograph. Grundl. gesch. v. weil. Prof. Dr. Gruber. 3. Aufl. v. Dr. H. Reinlein. (Bd. 42.)
- Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im letzten Jahrhundert. V. Prof. Dr. L. Böhle. 3. Aufl. (Bd. 57.)
- Deutsche Stellung i. d. Weltwirtsch. V. Prof. Dr. P. Arndt. 2. Aufl. (Bd. 179.)
- Aus dem amerikanischen Wirtschaftsl. Von. Prof. J. L. Laughlin. Mit 9 graphischen Darstellungen. (Bd. 127.)
- Die Japaner in d. Weltwirtschaft. V. Prof. Dr. A. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.)
- Wirtschaftlichen Organisationen, Die. Von Privadoz. Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)
- s. Konsumgenoss. Mittelstandsbeweg. Zeitungswesen. V. Dr. H. Diez. (Bd. 328.)
- Civilprozeßrecht. Das deutsche. Von Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 315.)

Das  
drehbare  
Gestell

Die Sammlung  
Aus Natur u.  
Geisteswelt,  
gesäßig und maß-  
voll in der Form  
und praktisch im  
Gebrauch, will je-  
dem Grende der  
schmücken, gehalt-  
vollen Bändchen  
deren Vereinigung  
zur neuwertvollen  
handschriftschefer-  
leichtern, um so  
die Grende an der  
ständigen Benut-  
zung der liebge-  
wordenen Bücher  
noch wesentlich zu  
erhöhen.

Preis des Gestells  
(für 500 Bände)  
aus dunkelbraun  
geräuchertem Holz  
mit Fuß M. 90.—  
ohne Fuß M. 82.50



Weitere Bände sind in Vorbereitung.



Biblioteka Główna  
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu  
Technologicznego w Szczecinie  
**CZ-I.393/1**



100-000393-01-0

ARCHIWALIA

ARCHIWALIA