

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw.

~~369~~

397

Geisteswelt  
verständlicher Darstellungen

R. Vater

# Die Dampfmaschine

I

Dritte Auflage



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig



17. Juni 21 Krakau

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295878

Ein vollständige  
und Geistes

s Natur  
Bandes.

## Die Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“

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

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

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

So sind denn die schmalen, gehaltvollen Bände durchaus geeignet, die Freude am Buche zu wecken und daran zu gewöhnen, einen kleinen Betrag, den man für Erfüllung körperlicher Bedürfnisse nicht anzusehen pflegt, auch für die Befriedigung geistiger anzuwenden. Durch den billigen Preis ermöglichen sie es tatsächlich jedem, auch dem wenig Begüterten, sich eine kleine Bibliothek zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt“ vereinigt.

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



*Kollier Kupferdruck*

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

Professor an der Königl. Bergakademie Berlin

Dritte Auflage

Mit 37 Abbildungen



Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1913

*W 2/25*



I 301556

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

I 369

Copyright 1913 by B. G. Teubner in Leipzig.

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

BPK-B-99/2017

Akc. Nr.

3750/49

## Vorwort zur ersten Auflage.

Mit der Abfassung des vorliegenden kleinen Bändchens entsprach ich zunächst lediglich einem mehrfach geäußerten Wunsche der Verlagsbuchhandlung. Ich scheute mich nämlich lange davor, die wahrhaftig nicht kleine Zahl der „allgemeinverständlichen“ Bücher über Dampf und Dampfmaschine noch um eins zu vermehren. Bei näherem Zusehen ergab sich jedoch, daß fast sämtliche dieser vorhandenen Bücher, wenn nicht ausschließlich, so doch zum überwiegenden Teile nur das rein Bauliche behandeln, also Bauart der Kessel, Bauart der Dampfmaschine und ihrer Teile usw. Die inneren Vorgänge im Dampfkessel und in der Dampfmaschine sind dagegen meist sehr stiefmütterlich behandelt, und gerade sie sind doch für den, der öfters mit Maschinen in Berührung kommt, sei es als Besitzer, Betriebsleiter und dergleichen, von großer Wichtigkeit.

Ich entschloß mich daher, in dem vorliegenden kleinen Buche das Bauliche grundsätzlich auszuschließen, und ging darin sogar so weit, daß ich selbst auf eine Besprechung der verschiedenen Arten von Steuerungen wie Schieber-Steuerungen, Ventil-Steuerungen usw. verzichtete, da ich mir sagte, daß für das Verständnis jener inneren Vorgänge in der Dampfmaschine eine Kenntnis der verschiedenen Arten von Steuerungen durchaus nicht erforderlich sei. Wer sich darüber sowie über andere bauliche Einzelheiten unterrichten will, findet genügenden Stoff in anderen allgemeinverständlichen Büchern wie Schreiber, Die Kraftmaschinen, Leipzig, V. G. Teubner; Simerka, Dampfkessel und Dampfmaschine, Pilsen, Steinhauser; Scholl, Führer des Maschinisten, Braunschweig, Fr. Vieweg, und vielen anderen.

Das vorliegende kleine 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.

Um ganz sicher zu gehen, daß das kleine Buch für sich allein möglichst abgeschlossen und gut verständlich sei, habe ich aus dem von mir ver-

faßten Bändchen 21 dieser Sammlung (Einführung in den Bau und die Theorie der neueren Wärmekraftmaschinen) die dortige Einleitung als ersten Abschnitt mit ganz geringen Änderungen herübergenommen, so daß derjenige, dem diese Einleitung bekannt und dem die darin erläuterten Fachausdrücke geläufig sind, den ersten Abschnitt des vorliegenden Buches überschlagen kann.

Berlin, Anfang November 1904.

R. Vater.

## Vorwort zur dritten Auflage.

Die vorliegende dritte Auflage weist gegenüber den früheren Auflagen eine kleine aber nicht unwesentliche Änderung auf. Da die Verlagbuchhandlung den dringenden Wunsch geäußert hatte, in ihrer Sammlung Aus Natur und Geisteswelt ein Bändchen zu besitzen, welches die bauliche Ausbildung der Dampfmaschine behandelte, habe ich diejenigen Abschnitte, welche sich nicht auf die inneren Vorgänge im Zylinder der Dampfmaschine beziehen, wie Kondensatoren, Schwungräder und Regulatoren, in der vorliegenden Auflage fortgelassen und gedente sie in dem in Kürze erscheinenden Bändchen Dampfmaschine II in etwas erweiterter Form zu behandeln. Bei der günstigen Aufnahme, die meine kleine Arbeit bisher erfreulicherweise gefunden hat, lag für mich keine Veranlassung vor, sonstige durchgreifende Änderungen in dem Buche vorzunehmen. Namentlich konnte ich mich nicht entschließen zu einer Erweiterung der theoretischen Abhandlungen, wie sie in einigen Besprechungen von geschätzter Seite gewünscht wurden, 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. Für diejenigen, welche sich eingehender mit dem Studium der Dampfmaschine befassen wollen, sind erst in jüngster Zeit wieder vortreffliche größere Werke erschienen, aus denen sich jeder, auch bei geringen Vorkenntnissen eingehend Rat erholen kann. Bezüglich der Ziele des vorliegenden kleinen Buches verweise ich noch einmal ausdrücklich auf das Vorwort zur ersten Auflage. Ich habe mich bemüht, wo es irgend anging, bisher noch vorhandene Unklarheiten in der Darstellungsweise nach Möglichkeit zu beseitigen, und hoffe, daß die neue Auflage sich zu den alten Freunden noch recht viele neue Freunde dazuerwerben wird.

Berlin-Grünwald, im November 1912.

R. Vater.

# Inhaltsübersicht.

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Vorwort . . . . .          | III |
| Inhaltsübersicht . . . . . | V   |

## Erster Abschnitt.

### Einführung in die allgemeine Theorie der Kraftmaschinen.

|  |    |
|--|----|
| Erstes Kapitel: <b>Grundlegende Sätze aus der Mechanik und Erklärung einiger fachtechnischer Ausdrücke</b> . . . . .   | 1  |
| Kraft (1). Arbeit (2). Kraftmaschinen (3). Leistung (4). Pferdekraft (6). Nutzpferdekraft (7). Indizierte Pferdekraft. Mechanischer Wirkungsgrad (8). Indikator (9). Diagramm (10).  |    |
| Zweites Kapitel: <b>Die wichtigsten Sätze aus der mechanischen Wärmetheorie</b> . . . . .  | 15 |
| Satz von der Erhaltung der Energie (15) Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit. Erster Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie (16). Absolute Temperatur (18). Zustandsänderungen, Gesetze von Gay-Lussac und Boyle (19). Kreisprozeß (23). Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie (24). Thermischer und wirtschaftlicher Wirkungsgrad (26). |    |

## Zweiter Abschnitt.

### Der Wasserdampf.

|   |      |
|---|------|
| Erstes Kapitel: <b>Eigenschaften des Wasserdampfes</b> . . . . .  | 27 — |
| Versuche zur Ermittlung der Eigenschaften des Wasserdampfes (28 ff.). Ergebnisse der Versuche (33). Wärmebedarf bei der Dampferzeugung (34). Tabelle für gesättigte Wasserdämpfe (38). Ergebnisse der Tabelle (39). |      |
| Zweites Kapitel: <b>Erzeugung des Wasserdampfes</b> . . . . .   | 42 — |
| Dampfessel (42) Heizfläche (44). Berechnung der erforderlichen Kesselgröße. Verdampfungsfähigkeit eines Kessels (45). Trockener und nasser Dampf (46). Überhitzer (48). Rauchgasvorbärmer (49).                     |      |

## Dritter Abschnitt.

### Die Dampfmaschine.

|  |      |
|--|------|
| Erstes Kapitel: <b>Allgemeine Wirkungsweise der Dampfmaschine</b> . .                            | 51 — |
| Erste Versuche Papins. Newcomen (52). Watt (54). Kurbeltrieb. Hauptteile der Dampfmaschine (56). |      |
| Zweites Kapitel: <b>Bolldruck und Expansionsmaschine</b> . . . . .                               | 56 — |
| Bolldruckmaschinen. Unzweckmäßigkeit der Bolldruckmaschinen (57). Expansionsmaschinen (59).      |      |

|  | Seite      |
|--|------------|
| <b>Drittes Kapitel: Maschinen mit mehrstufiger Dampfdehnung . . . . .</b>  | <b>61</b>  |
| Nachteile weitgehender Dampfdehnung (61). Mehrstufige Dampfdehnung (62). Aufnehmer oder Receiver (64).   |            |
| <b>Viertes Kapitel: Vorteile der mehrstufigen Dampfdehnung . . . . .</b>   | <b>66</b>  |
| Geringe Temperatur- und Druckschwankungen innerhalb eines Zylinders; erniedrigte Anfangsdrücke (67). Gleiches Gestänge für Hochdruck und Niederdruckseite (68).  |            |
| <b>Fünftes Kapitel: Maschinen mit Kondensation . . . . .</b>   | <b>68</b>  |
| Übelstände der Auspuffmaschinen. Arbeitsgewinn durch Kondensation (69).  |            |
| <b>Sechstes Kapitel: Die wirkliche Form des Diagramms . . . . .</b>  | <b>70</b>  |
| Borausströmung, Voreinströmung (71). Kompression, Vorteile der Kompression (72). Druckwechsel im Gestänge (74).  |            |
| <b>Siebentes Kapitel: Heißdampfmaschinen . . . . .</b>   | <b>75</b>  |
| Berringerung der Kondensationsverluste in den Leitungen (75). Berringerung der Kondensationsverluste in der Maschine (76). Vereinfachung der Maschine (78). Verkleinerung des Kessels (79). Verkleinerung der Kondensatoren (80). Nachteile der Heißdampfmaschinen (81).   |            |
| <b>Vierter Abschnitt.</b>  |            |
| <b>Der thermische Wirkungsgrad der Dampfmaschine . . . . .</b>   | <b>83</b>  |
| Schlechte Wärmeausnutzung (83). Berechnung des Wirkungsgrades aus dem Kohlenverbrauch der ganzen Anlage. Verhütung von Wärmevergeudung (84). Berechnung des Wirkungsgrades aus dem Wärmeverbrauch der Maschine allein (85). Wärmeenergie ein Produkt aus zwei Faktoren (86). Wärmediagramm (Entropie-Temperatur-Diagramm) (88). Beispiele (89). Wärmeausnutzung bei Kondensationsmaschinen (95). Denkbar günstigster Wirkungsgrad. Carnotscher Kreisprozeß (95). |            |
| <b>Schluß.</b>   |            |
| <b>Nachteile der Kolbendampfmaschine . . . . .</b>   | <b>99</b>  |
| Verwickelter Bau (99). Nachteile der hin und her gehenden Massen (100).  |            |
| <b>Alphabetisches Sachregister . . . . .</b>   | <b>103</b> |

## Erster Abschnitt.

# Einführung in die allgemeine Theorie der Kraftmaschinen.

### Erstes Kapitel.

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

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

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

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

1) Vgl. z. B. auch F. Auerbach, Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. M. u. G. 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 Flaschenzuge eine Kraft von 30 kg ausgeübt, das heißt: die durch den Flaschenzug zu hebende Last wäre auch gehoben worden, wenn an dem Punkte, wo der Arbeiter gezogen hat, ein Gewicht von 30 kg befestigt worden wäre. Sagt man: die Kraft, mit welcher der Dampf einen sich nach abwärts bewegenden Dampfkolben vorwärts schiebt, betrage 5000 kg, so heißt das, es würde dieselbe Wirkung erreicht werden, wenn auf die obere Fläche des Kolbens ein Gewicht von 5000 kg gestellt würde usw. Die Wirkung einer Kraft wird man sich also immer vorstellen können als die Wirkung eines Gewichtes. Ein solches Gewicht wirkt ja nun allerdings nur in senkrechter Richtung nach abwärts, aber es ist doch auch leicht einzusehen, daß man etwa mittels einer Schnur, die in gehöriger Weise über irgendeine Leitrolle geführt ist, die mannigfachsten Bewegungen und selbst eine gerade entgegengesetzte Bewegung, das heißt eine nach oben gerichtete Kraft, mittels eines solchen Gewichtes erzeugen kann.

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

1) Näheres siehe Vater, Hebezeuge. MuG. Bd. 196.

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

Um die Größe einer Arbeit zu messen, bedarf es wieder einer Einheit. Als solche dient das Meterkilogramm (mkg) oder 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 zweirolliger Flaschenzug, so hat der Arbeiter im ersten Falle bei jedem Zuge eine Kraft von 40 kg ausüben müssen und seine Hände mußten dabei während des Ausübens dieser Kraft allmählich einen Weg von 10 m zurücklegen. Die von dem Arbeiter verrichtete Arbeit betrug daher  $40 \times 10 = 400$  mkg. Im zweiten Falle, beim Heben der 80 kg schweren Last, mußte der Arbeiter wieder bei jedem Zuge eine Kraft von 40 kg ausüben, seine Hände mußten jedoch dabei allmählich infolge des zweirolligen Flaschenzuges einen Weg von  $2 \times 10$  m zurücklegen, so daß schließlich die verrichtete Arbeit  $40 \times 20$ , das heißt 800 mkg betrug.

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

zunächst nur Arbeit; wirklich nutzbringend wird diese Arbeit jedoch erst dann sein, wenn sie wiederum in ihre Bestandteile Kraft und Weg zerlegt und die gewonnene Kraft dazu benutzt wird, um durch sie irgendeine nutzbringende Arbeit, wie das Heben von Lasten, Bewegung eines Werkstückes auf der Drehbank und dergleichen, verrichten zu lassen. Mit anderen Worten: 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 andererseits die von der Maschine verrichtete Arbeit in ganz beliebiger Weise in die einzelnen Faktoren Kraft und Weg zerlegen.

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

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

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

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

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

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

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

**Pferdekraft.** Für die gewöhnlich vorkommenden Fälle ist dabei jedoch die oben erwähnte Einheit des Sekundenmeterkilogramms zu klein, das heißt: die Zahlen, durch welche man die Leistungen ausdrückt, würden für die Rechnung zu unbequem groß werden; man pflegt daher statt dessen eine größere Einheit anzuwenden, die sogenannte Pferdekraft oder Pferdestärke (PS), welche 75 secmkg beträgt. Sagt man also: eine Dampfmaschine hat eine Leistung von 10 PS, so heißt das: die Dampfmaschine ist imstande, in einer Sekunde  $10 \times 75$  kg 1 m hoch oder  $10 \times 1$  kg 75 m hoch zu heben 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 nicht im geringsten ankommt, haben die obigen Erörterungen deutlich gezeigt. Nicht auf die Ausübung einer großen Kraft, sondern auf die Menge der sekundlich verrichteten Arbeit kommt es an, wenn man sagt: die Maschine leistet soundsoviele Pferdekraft. Es verdient dabei übrigens hervorgehoben zu werden, daß nur die wenigsten Pferde imstande sind, 1 PS, das heißt 75 secmkg, wirklich eine längere Zeit hindurch zu leisten. Im allgemeinen kann man sagen, daß die dauernde Leistung eines Pferdes wohl nur in seltenen Fällen etwa 60 secmkg übersteigt. Andererseits ist es aber vielleicht gut, sich darüber klar zu werden, daß selbst ein Mensch, der nicht einmal übermäßig kräftig zu sein braucht, gelegentlich eine PS zu leisten vermag, freilich nur während kurzer Zeit.

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

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

**Nutzpferdekraft.** Es sind nun noch zwei Ausdrücke zu erläutern, welche in der Technik gerade bei Kraftmaschinen sehr viel angewendet werden: die Ausdrücke effektive oder Nutzpferdekraft und indizierte oder aufgezeichnete Pferdekraft. Unter effektiver oder Nutzpferdekraft versteht man, wie das in dem Worte selbst zum Ausdruck kommt, diejenige Leistung, welche eine Kraftmaschine effektiv, das heißt tatsächlich nutzbringend abzugeben imstande ist. Denken wir uns z. B. eine Dampfmaschine, deren sehr breites Schwungrad als Trommel ausgebildet ist; an dieser Trommel sei ein Seil befestigt, welches wir uns für einen

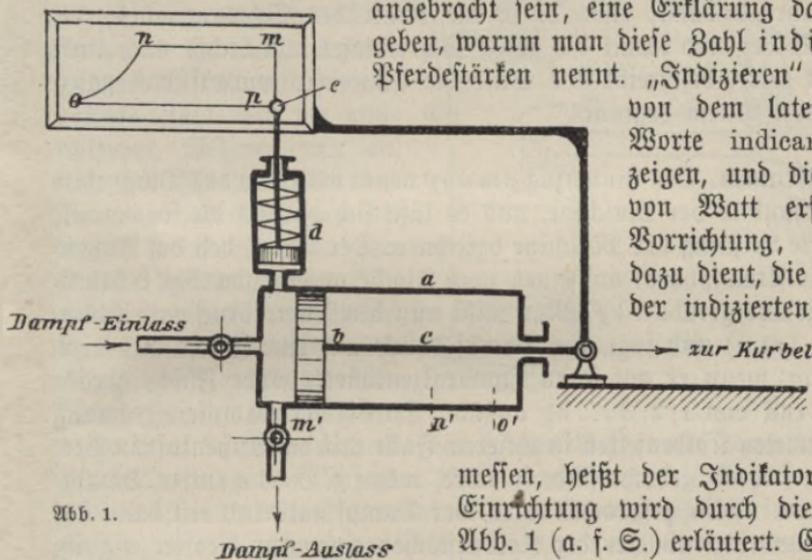
Augenblick als gewichtslos vorstellen wollen, und an diesem Seile hänge, etwa tief unten in einem Schachte, ein Gewicht. Hat nun die betreffende Dampfmaschine eine Leistung von 100 Nutzpferdestärken ( $100 PS_n$ ), so heißt das: vermittels dieser Dampfmaschine sind wir imstande ein Gewicht von  $100 \times 75 \text{ kg}$  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 ( $1 PS_n$ ) zu erreichen, und er wird im allgemeinen diejenige Dampfmaschine für die beste erklären, welche dafür den geringsten Verbrauch an Dampf und an Kohlen verlangt.

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

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

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

Abb. 1.

messen, heißt der Indikator, seine Einrichtung wird durch die Skizze Abb. 1 (a. f. S.) erläutert. Es sei *a* der Zylinder, *b* der Kolben, *c* die

Kolbenstange einer Dampfmaschine. An dem äußersten Ende des Dampfzylinders ist ein kleinerer Zylinder *d* befestigt, der mit dem Innern des Dampfzylinders in Verbindung steht. In diesem kleineren Zylinder bewegt sich ein Kolben, welcher von einer Feder stets nach unten gedrückt wird, und dessen Kolbenstange in einen Schreibstift *e* endigt. An der Kolbenstange des großen Kolbens ist in geeigneter Weise eine Schreibröhre 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 rasch in die Höhe gedrückt und beschreibt dabei die senkrechte Linie  $pm$ . Wird dann der große Kolben durch den Dampf nach vorwärts getrieben, die Schreibtafel also nach rechts bewegt, so beschreibt der Schreibstift die Linie  $mn$ , welche dem vom Kolben durchlaufenen Weg  $m'n'$  entspricht. In diesem Augenblicke möge der Dampf abgesperrt werden. Der sich ausdehnende Dampf bewegt den großen Kolben und damit die Schreibtafel weiter nach rechts, seine Spannung wird geringer, der kleine Kolben sinkt allmählich wieder durch den Druck der Spiralfeder und es wird auf diese Weise von dem Schreibstifte die Linie  $no$  beschrieben, welche dem Wege  $n'o'$  des großen Kolbens entspricht. Jetzt wird die Dampfauslassvorrichtung geöffnet, und während dann, etwa durch die Kraft des Schwungrades, der große Kolben und damit die ganze Schreibtafel von rechts nach links gedrückt wird, beschreibt der Stift die Linie  $op$ , worauf das ganze Spiel von neuem beginnt.

**Diagramm.** Den Linienzug  $pmnop$  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  $q\text{cm}$  Fläche ausübt, beträgt bekanntlich ungefähr gerade 1 kg. Man mißt nun den Dampfdruck nach Atmosphären (atm) und sagt, der Dampf drücke auf eine Fläche mit 1, 2, 3... atm, wenn er auf jeden Quadratcentimeter einer Fläche gerade einen Druck von 1, 2, 3... kg ausübt. Da die der Dampfeinströmung abgewendeten Kolbenseiten in unserem Falle mit der Außenluft in Verbindung stehend gedacht sind, so wird, wenn z. B. von einem Dampfdrucke von 1 atm gesprochen wird, der Dampf natürlich erst dann auf jeden Quadratcentimeter der Kolbenflächen einen für Krafterzeugung verwendbaren Druck von 1 kg ausüben können, wenn seine Spannung den Druck der Außenluft um 1 atm übersteigt. Man sagt in diesem Falle, der Dampf habe eine Spannung von 1 atm Überdruck.

Zum Zwecke der Berechnung der indizierten Leistung wollen wir annehmen, daß durch vorhergehende Versuche festgestellt sei, daß bei einem Dampfdrucke von 1, 2, 3, 4... atm die Feder über dem kleinen Kolben um 1, 2, 3, 4... cm zusammengedrückt werde. Drückt nun der Dampf auf die Kolben mit einer Spannung von 1 atm Überdruck, dann wird der Schreibstift nach unserer Annahme um 1 cm in die Höhe gedrückt und beschreibt eine senkrechte Linie von 1 cm Länge. Die Kraft, die dabei auf den großen Kolben ausgeübt wird, beträgt, wenn der große Kolben 1000  $q\text{cm}$  Flächeninhalt hat,  $1 \times 1000 = 1000$  kg. Rückt der

große Kolben unter dem Einflusse des Dampfdruckes um 1 cm nach rechts, so beschreibt der Stift eine wagerechte Linie von  $1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$  Länge, und es hat dabei der große Kolben eine Arbeit verrichtet von  $1000 \times 0,01 = 10 \text{ mkg}$ . Wir sehen demnach, daß jedem Quadratcentimeter Flächeninhalt des Diagrammes eine Arbeit von 10 mkg entspricht. Die im ganzen von dem Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtete Arbeit wird sich also bei der angenommenen Stärke der Feder

aus dem Diagramm in sehr einfacher Weise dadurch berechnen lassen, daß man den Flächeninhalt des Diagrammes in Quadratcentimetern feststellt und die erhaltene Zahl mit 10 multipliziert. Nehmen wir an, daß der Flächeninhalt des Diagrammes  $180 \text{ qcm}$  beträgt, so ist die von dem Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtete Arbeit  $180 \times 10 = 1800 \text{ mkg}$ . Macht die Maschine 60 Um-

drehungen in der Minute, d. h.: wird in jeder Sekunde ein solches Diagramm durchlaufen, so ist die Leistung der Maschine  $1800 \text{ secmkg}$  oder in PS ausgedrückt  $1800 : 75 = 24 \text{ PS}$ . 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 ebensolches 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

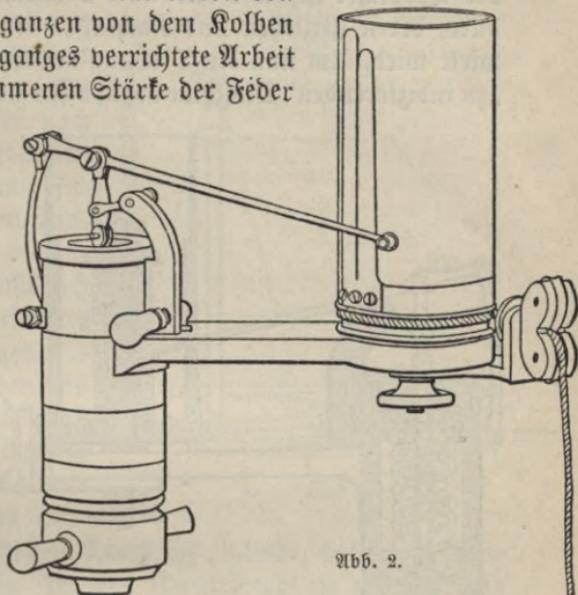


Abb. 2.

auf eine ebene hin und hergehende Tafel, sondern auf eine sich drehende Trommel aufgezeichnet wird, welche durch eine in ihrem Innern befindliche Spiralfeder *E* (Abb. 3) beim Zurückgehen des Kolbens immer wieder in ihre Anfangslage zurückgedreht wird. Um den unteren Teil der Trommel ist, wie aus Abb. 2 ersichtlich, eine Schnur gewunden, durch deren Anziehen und Nachlassen eine Drehung der Trommel bewirkt wird. Um nun die Drehung der kleinen Trommel dem Hube der „zu indizierenden“ Maschine anzupassen und somit immer ein möglichst

langes Diagramm zu erhalten, wird das Anziehen und Nachlassen der erwähnten Schnur nicht von dem Kolben oder der 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 Indikator-trommel füh-

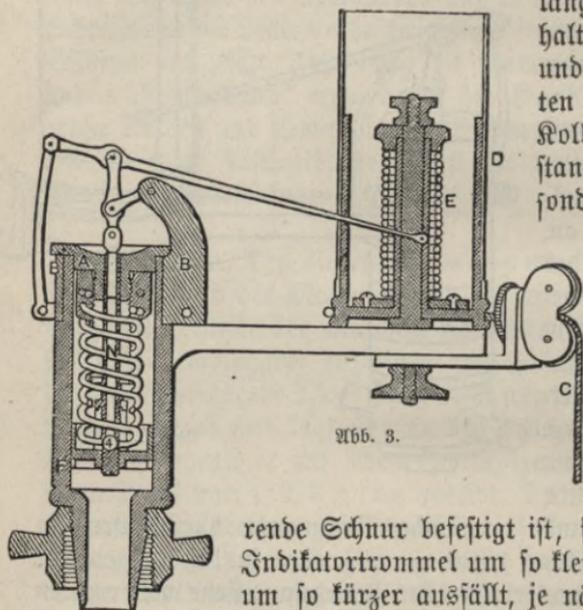


Abb. 3.

rende Schnur befestigt ist, so daß die Drehung der Indikator-trommel um so kleiner, das Diagramm also um so kürzer ausfällt, je näher das freie Ende der um die Trommel geschlungenen Indikatorscheur an dem Drehpunkte *A* des Hebels befestigt wird. Solche oder ähnliche Vor-

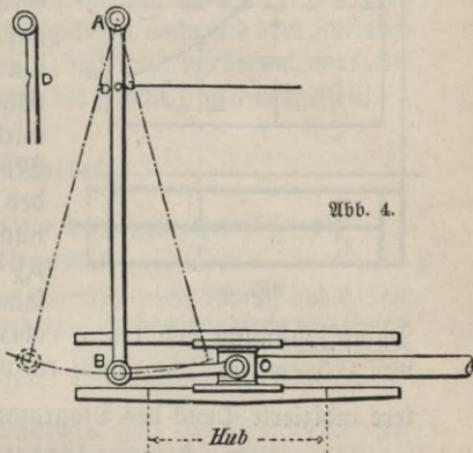
richtungen zur Anpassung der Diagrammlängen an den Hub der zu indizierenden Maschine nennt man Reduzier-vorrichtungen.

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 Indicators sitzt, sondern am Ende eines längeren Hebelarmes, wodurch die Bewegungen des Indikator-kolbens sich in vergrößertem Maßstabe auf dem auf der Trommel befestigten Papier- blatte aufzeichnen. Durch Anordnung gewisser Gelenke — einer sogenannten Gelenkgeradführung — ist dann nebenbei dafür gesorgt, daß der am Endpunkte des erwähnten Hebels befestigte Schreibstift auch

wirklich eine senkrechte gerade Linie beschreibt, wenn der Indikator-  
kolben sich auf und ab bewegt. Wäre nämlich diese Gelenkgeradfüh-  
rung nicht vorhanden, wäre also der an dem einen Ende mit dem  
Schreibstift versehene Hebelarm am anderen Ende fest gelagert, so  
würde bei jedem Hube des Indikator-  
kolbens der Schreibstift einen Kreis-  
bogen beschreiben, es würde also das ganze Diagramm in stark ver-  
zerrter Form aufgezeichnet werden.

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

Die Berechnung der Maschinenleistung aus einem auf diese Weise  
aufgezeichneten Indikator-  
diagramme könnte nun in derselben Weise ge-  
schehen wie früher (S. 11), indem man zunächst durch Rechnung fest-  
stellt, wieviel Arbeit durch einen Quadratcentimeter Fläche des Dia-  
gramms dargestellt wird usw. Man kann sich aber auch eines wesentlich  
einfacheren Verfahrens bedienen. Stellt Abb. 5 ein von einem solchen  
Indikator aufgezeichnetes Dampf-  
diagramm vor, so verwandelt man  
die Fläche des Diagramms (gewöhnlich mit Hilfe eines besonderen kleinen  
Instrumentes, Planimeter genannt) in ein Rechteck von gleichem Flächen-  
inhalte und zwar von der Länge des Diagramms. Die Höhe dieses  
Rechteckes wird dann  $p_m$  (siehe die Abbildung). Die Länge des Rechteckes



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“

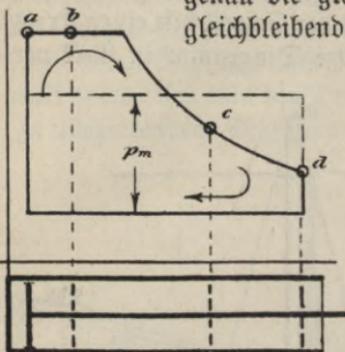


Abb. 5.

Spannung, welche in gleichbleibender Größe während des ganzen Kolbenhubes auf den Dampfkolben wirken müßte, um dieselbe Arbeit zu erzielen, wie sie von dem Dampfdiagramm dargestellt wird. Es sei beispielsweise der Hub der Maschine  $s = 0,75$  m, der Querschnitt des Dampfkolbens  $F = 1000$  qcm. Ist nun die Höhe des gefundenen Rechtecks  $p_m = 2$  cm und weiß man aus der Zusammenfügung des Indikators, daß eine

Dampfspannung von 1 atm (oder 1 kg f. d. qcm) einer Senkrechten von 0,5 cm im Diagramm entspricht, so wäre der sogenannte „mittlere indizierte Druck des Diagramms“  $p_m = \frac{2}{0,5} = 4$  atm; der während

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

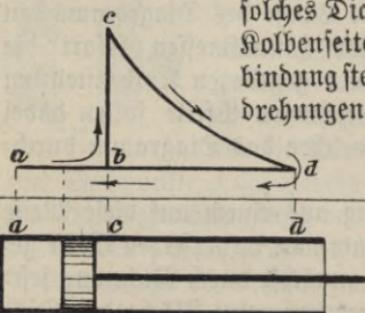


Abb. 6.

Sekunde ein solches Diagramm beschrieben, so ist die Leistung der Maschine  $3000 : 75 = 40$  PS<sub>i</sub>.

Bei der großen Wichtigkeit der eben angestellten Untersuchungen für die ganze folgende Abhandlung möge hier als Beispiel noch ein Diagramm

einer besonderen Art von Gasmaschine kurz erläutert werden.<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

1) Näheres darüber siehe Vater, Neuere Wärmekraftmaschinen. MNB. Bd. 21.

dabei ein Gemisch von Gas und Luft an. Im Punkte *b* wird dieses Gemisch in geeigneter Weise entzündet, worauf die Spannung und damit der auf den Kolben ausgeübte Druck plötzlich sehr stark, nämlich von *b* bis *c* wächst. Von hier an schieben die durch die Verpuffung zu hoher Spannung gelangten Gase den Kolben vorwärts bis zum Ende des Kolbenhubes *d*, wobei ihre Spannung allmählich abnimmt. Hierauf wird der Kolben wiederum durch die Kraft des Schwungrades zurückgetrieben und stößt dabei die verbrannten spannungslosen Gase aus dem Zylinder heraus. Die von dem Kolben geleistete Arbeit wird wiederum durch die Fläche des Diagramms, das heißt durch die Fläche *bcdb* dargestellt.

## Zweites Kapitel.

### Die wichtigsten Sätze aus der mechanischen Wärmetheorie.

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

**Satz von der Erhaltung der Energie.** Für das Verständnis der Art und Weise, in welcher eine Kraftwirkung in den Kraftmaschinen zustande kommt, ist es nötig, einen berühmten und äußerst wichtigen Satz kennen zu lernen, welcher etwa um die Mitte des 19. Jahrhunderts zuerst von dem deutschen Arzte Robert Mayer in Heilbronn in aller Bestimmtheit 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° C zugeführt werden muß, um dessen Temperatur auf 1° C zu erhöhen, und nennt diese Wärmemenge eine Wärmeeinheit (WE) oder Kalorie (Cal). Die Zahl nun, welche angibt, wieviel mkg durch 1 WE gewonnen werden können — sie ist durch neuere Versuche und Rechnung auf 427 festgestellt — nennt man das mechanische Wärmeäquivalent (den mechanischen Wärmewert), den umgekehrten Wert 1 : 427, der also angibt, wieviel Wärmeeinheiten durch Aufwendung von 1 mkg gewonnen

werden können, nennt man das *Wärmeäquivalent* (oder den *Wärmewert*) der Arbeit. Der Satz von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit — man nennt ihn den **ersten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie** — besagt also, daß sich mit einer Wärmeinheit theoretisch stets eine Arbeit von 427 mkg und umgekehrt durch Aufwendung einer Arbeit von 1 mkg immer eine Wärmemenge von 1 : 427 WE erzeugen läßt.

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

1) Siehe Anm. zu Seite 1.

die 400 mkg wieder nutzbringend verwenden, zum Beispiel dann, wenn wir ein Seil über eine Rolle laufen lassen und durch das an dem einen Ende des Seiles befestigte und niedersinkende Gewicht von 40 kg ein am anderen Ende befestigtes, ebenso schweres Gewicht in die Höhe ziehen lassen. Ein Stein, der von einer gewissen Höhe herabfällt, besitzt, wenn er unten angekommen ist, ein ganz bestimmtes Arbeitsvermögen, denn die Anziehungskraft der Erde mußte, indem sie den Stein anzog, eine ganz bestimmte Arbeit verrichten. Wie mancher Bergsteiger ist schon durch einen verhältnismäßig kleinen Stein, der von bedeutender Höhe herabrollte, erschlagen worden, weil der kleine Stein durch das Herabfallen allmählich ein so großes Arbeitsvermögen erlangt hatte, daß er beim Auftreffen wie eine Flintenkugel wirkte. Wieviel Unheil richten die im Gebirge herniedergehenden Lawinen an, deren Arbeitsvermögen während des Herabrollens allmählich ins Ungemessene gesteigert ist! — Um zwei Körper, die miteinander in Berührung stehen, gegeneinander zu bewegen, bedarf es einer gewissen Arbeit, diese Arbeit ist nicht verloren, denn die Körper erwärmen sich, und bekanntlich erzeugen wilde Naturvölker auf diese Weise ihr Feuer. Eine aus einer Flinte abgeschossene Bleikugel besitzt ein Arbeitsvermögen, welches ihr durch das Ausdehnungsbestreben der infolge der Entzündung des Pulvers entstandenen Gase mitgeteilt wurde. Je weiter die Kugel fliegt, um so mehr erlahmt ihre Kraft, das Arbeitsvermögen ist scheinbar geringer geworden, aber eben nur scheinbar, es hat sich nur verwandelt. Durch die Reibung haben sich die Luftteilchen, durch welche die Kugel geflogen ist, erwärmt; beim Auftreffen des Geschosses, zum Beispiel auf eine Mauer, verliert die Kugel ihre Kraft, das heißt: das ihr innewohnende Arbeitsvermögen wird abermals in andere Formen umgewandelt: sowohl der Teil der Mauer, auf welchen die Kugel trifft, wie die Kugel selbst werden beim Aufschlagen heiß, die Kugel oft so sehr, daß sie zum Schmelzen kommt. Diese Wärme verliert sich allerdings bald, aber nur dadurch, daß sie wieder auf die umliegenden Luftteilchen, auf den Boden usw. übertragen wird. Wenn sich diese Luft- oder Bodenteilchen wieder abkühlen, so kann auch das nur geschehen, indem sie ihre Wärme auf andere Körper, sei es wieder in Form von Wärme, sei es wieder in irgendeiner anderen Form von Arbeitsvermögen übertragen. So zerstreut sich also zwar das Arbeitsvermögen, welches durch das Entzünden des Pulvers im Gewehrlaufe frei geworden ist, in unendlich viele Teile, aber es geht nichts von ihm verloren.

Die Wasserkraft, die wir in den Wasserkraftmaschinen verwenden, ist nichts anderes als umgewandeltes Arbeitsvermögen. Durch die von der

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

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

**Absolute Temperatur.** Aus dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit folgt schließlich noch die wichtige Tatsache, daß ein Körper dann nicht mehr fähig ist Arbeit abzugeben, wenn er gar keine Wärme mehr besitzt. Dieser Zustand der Wärmelosigkeit tritt nun aber durchaus nicht etwa dann ein, wenn die Temperatur des Körpers  $0^{\circ}\text{C}$  beträgt, das heißt wenn seine Temperatur der des schmelzenden Eises gleich ist. Ein solcher Körper besitzt immer noch Wärme, ist also immer noch sehr wohl imstande, Wärme d. h. Arbeit abzugeben. Der Zustand der Wärmelosigkeit tritt vielmehr, wie man annimmt, erst dann ein, wenn die Temperatur den sogenannten absoluten Nullpunkt erreicht hat, eine Temperatur, welche  $273^{\circ}$  unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegt.<sup>2)</sup> Es ist nämlich durch Versuche ermittelt worden, daß irgendein Gas, dessen

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

2) Vgl. auch H. Alt, Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. *MNÜG.* Bd. 311.

Temperatur  $0^{\circ}$  beträgt, sich um den  $273$ . Teil seines Volumens ausdehnt, wenn seine Temperatur um  $1^{\circ}$  steigt, und daß auch bei jeder weiteren Temperaturzunahme eine entsprechende Vermehrung, bei jeder Temperaturabnahme dagegen eine entsprechende Verringerung des Volumens eintritt. Nimmt die Temperatur, von  $0^{\circ}\text{C}$  aus gemessen, um  $3^{\circ}$  zu, so beträgt auch die Volumenzunahme  $\frac{3}{273}$ , nimmt die Temperatur um  $3^{\circ}$  unter Null ab, so nimmt auch das Volumen des Gases um  $\frac{3}{273}$  ab. Nach dieser Betrachtung müßte bei einer Temperaturabnahme von  $273^{\circ}$  das Volumen des Gases sich um  $\frac{273}{273}$  vermindert haben, das Volumen also in diesem Augenblicke zu Null geworden sein. Selbstverständlich ist ein solches Verschwindenlassen eines Gases durch weitgehende Abkühlung unmöglich, es stellt vielmehr dieser Zustand, den man den absoluten Nullpunkt nennt, eben nur einen Grenzzustand, eine angenommene Größe dar. Man rechnet aber in der Wärmetheorie stets mit Temperaturen (Wärmegraden), die von diesem Nullpunkte aus gerechnet werden (nicht von dem Gefrierpunkte des Wassers). Sie heißen absolute Temperaturen und werden im folgenden stets mit  $T$  bezeichnet werden, zum Unterschiede von den vom Gefrierpunkte des Wassers aus gerechneten und mit  $t$  bezeichneten Temperaturen. Sagt man also z. B., die absolute Temperatur eines Gases sei  $T = 300^{\circ}$ , so heißt das: die Temperatur beträgt in Graden der gewöhnlichen Skala (nach Celsius)  $t = 300 - 273 = 27^{\circ}\text{C}$ .

### Zustandsänderungen. Gesetze von Gay-Lussac und Boyle.

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

habe eine Zustandsänderung durchgemacht, es ist von dem Zustande  $v, p, T$  in den Zustand  $v, p_1, T_1$  übergeführt worden.

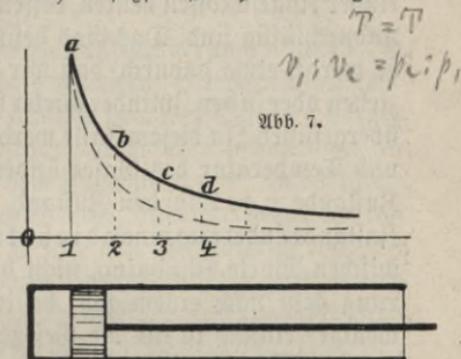
Zur Erklärung der verschiedenen Arten von Zustandsänderungen, welche ein Gas durchmachen kann, denken wir uns die eben beschriebene Anordnung noch in der Weise vervollständigt, daß der Raum hinter dem Kolben mit einem Indikator verbunden ist, der in geeigneter, früher besprochener Weise den Druck des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

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

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

3. Zustandsänderung bei gleichbleibender Temperatur. Das Gas geht von dem Zustande  $p, v, T$  in den Zustand  $p_3, v_3, T$  über.

Diese Zustandsänderung hat einen ganz bestimmten Namen, man nennt sie die isothermische Zustandsänderung (von den griechischen Worten *isos*, gleich, und *thermos*, die Wärme). Wenn dem Gase Wärme zugeführt werden soll, ohne daß sich seine Temperatur erhöht, so ist das offenbar nur dadurch möglich, daß dem Gase Gelegenheit gegeben wird, sich in geeigneter Weise auszudehnen. Ist dies aber der Fall, das heißt: dehnt sich das Gas, während ihm Wärme zugeführt wird, in der Weise aus, daß seine Temperatur sich nicht ändert, so besagt das zuerst 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 in Folge der Wärmezuführung um das 2, 3, 4...fache gewachsen, ohne daß sich dabei die Temperatur des Gases geändert hat, so beträgt die Spannung des Gases nur noch den 2., 3., 4., ... Teil der anfänglichen Spannung.



Eine solche isothermische Zustandsänderung kann natürlich auch in umgekehrter Weise stattfinden. Wir hatten früher gesehen: wenn man Gas, welches in einem Zylinder eingeschlossen ist, etwa durch Zusammendrücken mittels eines Kolbens verdichtet, so wird es im allgemeinen erwärmt. Sorgt man jedoch durch entsprechende Wärmeabführung, das heißt durch geeignete Abkühlung des Zylinders dafür, daß während des Verdichtens die Temperatur des Gases sich nicht ändert, so besagt das Boyle'sche Gesetz, daß die ursprüngliche Spannung des Gases um das 2, 3, 4...fache steigt, wenn sich das Volumen um das 2, 3, 4...fache vermindert. Der Indikator beschreibt in diesem Falle keine gerade Linie mehr, sondern eine ganz bestimmte Kurve, eine sogenannte gleichseitige Hyperbel, man nennt sie wohl auch geradezu die isothermische Linie oder kurz „Isotherme“. Die Gestalt dieser Kurve erhält man leicht durch folgende Überlegung. Es sei  $01$ , Abb. 7, die Größe des ursprünglichen Volumens, und es bezeichne  $1a$  die Größe der dem Gase im Anfangszustande innewohnenden Spannung. Hat sich das ursprüngliche Volumen verdoppelt, das heißt: hat es die Größe  $02$  angenommen, dann ist die Spannung auf die Hälfte

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

4. Zustandsänderung ohne Zuführung oder Abführung von Wärme. Für diesen Fall müssen wir uns das Gas in einem Zylinder eingeschlossen denken, dessen Wandungen gegen Wärme vollständig undurchlässig sind. Das Gas besitze nun den Anfangszustand  $v, p, T$  und es werde, etwa dadurch, daß wir den Kolben aus dem Zylinder herausziehen oder in den Zylinder stärker hineindrücken, in einen anderen Zustand übergeführt. In diesem Falle werden sich sowohl Volumen wie Spannung und Temperatur des Gases ändern, das heißt: das Gas wird aus dem Zustande  $v, p, T$  in den Zustand  $v_4, p_4, T_4$  übergehen. Man nennt diese Zustandsänderung eine *adiabatische Zustandsänderung* (von dem griechischen Worte *adiabaino*, nicht hindurchdringen). Diese Zustandsänderung geht nach einem ganz bestimmten Gesetze vor sich, welches jedoch weniger einfach ist als die Gesetze von Boyle und Gay-Lussac. Der Indikator beschreibt in diesem Falle ebenfalls eine Kurve, welche der isothermischen Kurve ähnlich ist, aber sich rascher der Wagerechten nähert. Ihre Gestalt ist z. B. für Luft in Abb. 7 punktiert angedeutet.

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

Für alle Zustandsänderungen der Gase gemeinsam gilt endlich noch ein wichtiges Gesetz, welches eine Vereinigung der bei den früheren Zu-

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

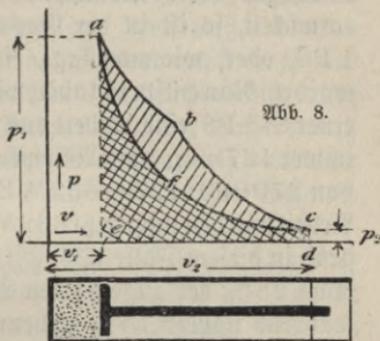
**Kreisprozeß.** Die eben erläuterten Zustandsänderungen lassen sich nun in beliebiger Reihenfolge einem Gase mitteilen. Betrachten wir zum Beispiel noch einmal ein Diagramm ähnlich dem auf Seite 14 dargestellten und gehen dabei von dem Punkte  $b$  aus. Wir nehmen an, in diesem Punkte befinde sich das Gas in dem Zustande  $v, p, T$ . Durch plötzliche Wärmezuführung, das heißt durch Wärmezuführung bei gleichbleibendem Volumen, gelange es in dem Punkte  $c$  in den Zustand  $v, p_1, T_1$ . Von  $c$  bis  $d$ , wollen wir annehmen, werde Wärme weder zugeführt noch abgeführt, das heißt das Gas mache eine adiabatische Zustandsänderung durch und werde dadurch allmählich in den im Punkte  $d$  herrschenden Zustand  $v_2, p, T_2$  übergeführt. Von diesem Punkte an sorgen wir in geeigneter Weise dafür, daß dem Gase Wärme entzogen wird und zwar so, daß seine im Punkte  $d$  herrschende Spannung sich nicht ändert. Sein Volumen nimmt wieder ab und das Gas gelangt schließlich wieder in den Zustand  $v, p, T$ , von dem wir ausgegangen waren.

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

dem Gase Wärme zuführen, sondern wir müssen stets wenigstens einen Teil dieser Wärme dabei auch wieder abgeben. Ein Beispiel wird das eben Gesagte erläutern. Wir wollen uns (Abb. 8 a. f. S.) einen Zylinder denken, in welchem 1 kg eines Gases vom Volumen  $v_1$  und der Spannung  $p_1$  eingeschlossen ist. Dadurch, daß wir auf irgendeine Weise Wärme zuführen, dehne sich das Gas zunächst isothermisch von  $a$  bis  $b$  und nachher ohne weitere Wärmezuführung, also adiabatisch von  $b$  bis  $c$  aus, so daß es schließlich das Volumen  $v_2$  und die Spannung  $p_2$  besitzt. Die von rechts oben nach links unten gestrichelte Fläche  $abcde$  stellt dann die von dem Gase während seiner Ausdehnung geleistete Arbeit dar, welche mit Hilfe des Kolbens in irgendeiner Weise nutzbringend verwendet, also z. B. vermöge eines Kurbelgetriebes in das Schwungrad einer Maschine hineingeschickt werden könnte. Da nun aber das Gas einen Kreisprozeß durchmachen soll, also wieder auf das Volumen  $v_1$  und die Spannung  $p_1$  gebracht werden soll, so ist dazu, wie man aus der Abbildung erkennt, eine Arbeit nötig, welche durch die von links nach rechts gestrichelte Fläche  $dcaef$  dargestellt wird. Man sieht also, wie ein Teil der vorhin von dem Gase geleisteten Arbeit (und demgemäß auch ein Teil der vorher aufgewendeten Wärme) wieder aufgewendet, gewissermaßen wieder an die Natur zurückgeliefert werden muß, um das Gas wieder auf seinen Anfangszustand zu bringen, von dem aus der neue Kreisprozeß beginnen soll. Die Tatsache, daß bei fortlaufender Umwandlung von Wärme in Arbeit immer nur ein Teil der zugeführten Wärme in nutzbare Arbeit umgewandelt werden kann, ist eine Ausdrucksform für den sogenannten **zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie**.

Es könnte so scheinen, als ob die eben angestellten Betrachtungen eine Einschränkung des früher (S. 16) angeführten ersten Hauptsatzes darstellen, des Satzes nämlich, daß sich mit 1 WE stets eine Arbeit von 427 mkg erreichen lasse. Diese Einschränkung ist natürlich nur scheinbar. Bleiben wir bei dem eben besprochenen Beispiele, so erkennt man, daß durch die dem Gase zugeführte Wärme tatsächlich eine Arbeit geleistet worden ist, welche, dargestellt durch die von rechts oben nach links unten gestrichelte Fläche  $abcde$ , der durch den ersten Hauptsatz festgelegten Größe entsprechen würde. Nur setzt sich eben diese Arbeit aus zwei Teilen zusammen: erstens aus der nach außen abgegebenen Arbeit, dargestellt durch die einfach gestrichelte Fläche, und zweitens aus der zur Herstellung des Anfangszustandes aufgewendeten, nach außen also nicht abgegebenen Arbeit, dargestellt durch die doppelt gestrichelte Fläche  $dcaef$ . Nun könnte jemand sagen, es wäre doch denkbar, daß man das Gas sich sehr weit ausdehnen läßt, so daß seine Temperatur bei  $e$  weit unter  $0^\circ$  C beträgt,

und man könnte nun während des Kolbenrückganges den Zylinder vermöge irgendeiner Kälteflüssigkeit, deren Herstellung ja heute möglich ist, dauernd auf sehr niedriger Temperatur halten. Dann würde auch während des Kolbenrückganges Temperatur und Druck des eingeschlossenen Gases dauernd sehr tief liegen und dadurch könnte die doppeltgestrichene Fläche sehr klein, ja sogar fast gleich Null gemacht werden. — An sich wäre das natürlich möglich und doch wäre dadurch gar nichts gewonnen! Das wäre nämlich gerade so, als wenn jemand die Leistung eines Wasserfalles dadurch vergrößern wollte, daß er das durch den Wasserfall getriebene Wasserrad (oder die Wasserturbine) auf den Grund eines sehr tiefen Brunnens setzen wollte. Offenbar hätte er dadurch gar nichts gewonnen; denn wenn das Wasserrad nicht ersaufen sollte, so müßte er das Wasser doch wieder auf die Erdoberfläche hinauspumpen, er müßte also durch das Herauspumpen gerade wieder so viel Arbeit leisten, als er durch das Tieferstellen des Wasserrades an Arbeit gewonnen hätte. Genau dasselbe ist aber bei dem obigen Beispiele der Fall. Man kann heutzutage allerdings sehr tiefe Temperaturen erzeugen, entsprechend dem Graben eines sehr tiefen Brunnens. Aber dieses Erzeugen sehr tiefer Temperaturen ist nur möglich durch Aufwenden von Arbeit, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man einmal in eine Eisfabrik geht und sich dort ansieht, wie die Maschinen zur Herstellung des Eises durch große Dampfmaschinen angetrieben werden. Man sieht also, ein künstliches Abkühlen des Zylinders auf sehr tiefe Temperaturen entspricht einem Aufwande von Arbeit, eine Ersparnis an Arbeit wird also bei der oben erwähnten künstlichen Abkühlung nicht erreicht.



**Thermischer Wirkungsgrad.** Kennt man die Größe der zugeführten Wärmemenge, sowie die Größe der abgeführten Wärmemenge, so läßt sich daraus nach dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit mit Leichtigkeit die Arbeit berechnen, welche bei dem Durchlaufen eines solchen oben erwähnten Kreisprozesses theoretisch geleistet wurde. Die zugeführte Wärme wird sich nun wohl meist ziemlich genau bestimmen lassen, dagegen wird es in den meisten Fällen unmöglich sein, durch unmittelbare Messung die Größe der abgeführten Wärmemenge festzustellen. Sie ergibt sich jedoch gewöhnlich auf einem kleinen Umwege einfach dadurch, daß man aus dem Indikator diagramm die geleistete

Arbeit bestimmt, diese Arbeit nach dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit in Wärmeeinheiten umrechnet und diese so erhaltene Wärmemenge von der im ganzen aufgewendeten, das heißt zugeführten Wärmemenge abzieht. Das Verhältnis dieser in Arbeit umgewandelten zu der im ganzen aufgewendeten Wärmemenge, also eine Zahl, die stets kleiner als 1 ist, nennt man den *thermischen Wirkungsgrad* des Kreisprozesses; er möge im folgenden mit  $\eta_t$  bezeichnet werden.

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

**Wirtschaftlicher Wirkungsgrad.** Wir hatten früher gesehen, daß die Arbeit, welche eine solche Maschine wirklich nutzbringend abzugeben vermag, wiederum nur einen Teil dieser PS<sub>i</sub> beträgt; für die Technik, das heißt für die wirtschaftliche Ausnutzung der Maschine, kommt natürlich auch nur dieser Teilbetrag zur Geltung. Nehmen wir in unserem Falle einen mechanischen Wirkungsgrad von  $\eta_m = 0,8$  an, so beträgt der tatsächliche oder, wie wir ihn nennen wollen, der wirtschaftliche Wirkungsgrad der Maschine  $\eta_w = \eta_t \cdot \eta_m = 0,253 \cdot 0,8 = 0,2024$ .

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

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

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

## Zweiter Abschnitt.

### Der Wasserdampf.

#### Erstes Kapitel.

##### Eigenschaften des Wasserdampfes.

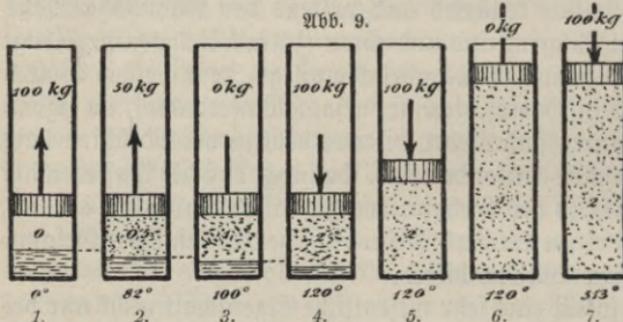
Wenn eine Lokomotive keuchend und pustend den Bahnhof verläßt, so entströmen ihrem Schornsteine und ihren Zylinderhähnen gewaltige „Dampfwolken“, wie man sich auszudrücken pflegt. Jene weißen Wolken sind aber durchaus kein Dampf, genauer gesagt Wasserdampf, im eigentlichen Sinne, sondern es sind Nebel, die aus dem in der Maschine tätig gewesenen Wasserdampfe entstanden sind. Dadurch, daß der Wasserdampf beim Ausströmen sich an der verhältnismäßig kalten Außenluft abkühlt, verdichtet er sich zu kleinen Wasserbläschen, 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 hervorzubringen. Die geringste Wärmeabführung, oder anders ausgedrückt die geringste Abkühlung bewirkt sofort, daß ein (von der Größe der Wärmeabführung abhängiger) Teil des Dampfgewichtes 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) 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 Zy-

linderinneren, also auch die Druckfläche des Kolbens betrage genau 100 qcm. Mit dieser Vorrichtung denken wir uns nun die folgenden Versuche angestellt:

Erster Versuch (Abb. 9, 1). Wir bringen das in dem Zylinder eingeschlossene Wasser auf eine Temperatur von  $0^{\circ}$  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, 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 (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 Wasserinhalte durch Wärmezuführung auf eine Temperatur von  $82^{\circ}$  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 bemerken 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  $82^{\circ}$  Wärme übt auf jedes qcm einen

Druck von  $\frac{1}{2}$  kg aus, oder, wie wir kürzer sagen, er hat eine Spannung von  $\frac{1}{2}$  atm (Atmosphäre).

Dritter Versuch (Abb. 9, 3). Während wir unseren 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 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  $100^{\circ}$  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 atm aus.

Vierter Versuch (Abb. 9, 4). Während der Kolben in seiner Lage festgehalten wird, steigern wir durch Wärmezufuhr die Temperatur des Zylinderinneren auf  $120^{\circ}$ . 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 100 kg ausüben, ein Beweis, daß Dampf von  $120^{\circ}$  (wenigstens 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 atm ausübt.

Will man sich noch genauer ausdrücken, so muß man sagen, der Dampf von  $120^{\circ}$  hat eine Spannung von 2 atm abs (2 Atmosphären absolut). Der Zusatz abs ist deshalb notwendig, weil man die oben gefundene Spannung auch anders bezeichnen kann. Wir hatten gefunden, um den Kolben bei diesem letzten Versuch in seiner Lage zu erhalten, muß auf ihn ein nach unten gerichteter Druck von insgesamt 100 kg, also bei 100 qcm Kolbenfläche auf jeden qcm ein Druck von 1 kg ausgeübt werden. Das ist also mit anderen Worten der Überdruck, den wir neben dem Druck, welchen die Außenluft für sich schon ausübt, außerdem noch auf den Kolben ausüben müssen. Man bezeichnet daher diese Spannung wohl auch so, daß man sagt, Dampf von  $120^{\circ}$  hat eine Spannung von 1 atm Überdruck. Bei dem Bau und Betrieb von Dampfkesseln und Dampfmaschinen ist dies sogar die übliche Bezeichnung. Wenn man von einem Dampfkessel spricht, der „für 12 atm“ gebaut ist, so meint man damit stets 12 atm Überdruck, das heißt, der in diesem Dampfkessel eingeschlossene Dampf übt auf die Wandungen des Dampfkessels einen

Druck von 13 kg für den qcm aus, von denen aber tatsächlich nur 12 kg für den qcm zur Wirkung kommen, da eben die Außenluft ihrerseits von außen einen Druck von rund 1 kg für den qcm auf die Kesselwandungen ausübt. In der mechanischen Wärmetheorie dagegen rechnet man stets nur mit „absoluten Atmosphären“, versteht also unter der Bezeichnung „12 atm“ stets einen Druck, welcher  $12 \times 10\,000$  kg für den qm beträgt.

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

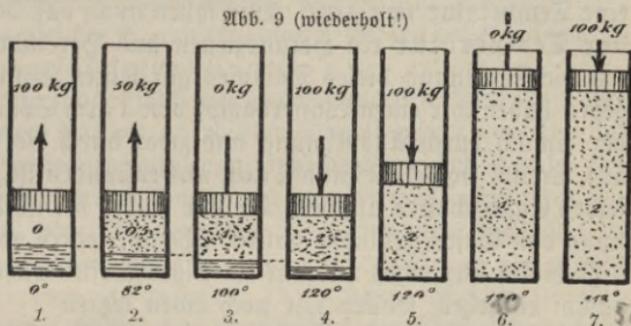
Fünfter Versuch (Abb. 9, 5). Wir sorgen dafür, daß die Temperatur von  $120^{\circ}$  im Zylinderinneren unter allen Umständen erhalten bleibt, und lassen den Kolben in die Höhe steigen. Was finden wir nun? Der Wasserspiegel sinkt immer weiter, während der Kolben in die Höhe steigt, es wird also immer 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 ausübende Kraft auch hier dieselbe bleibt. Es ist also gerade so, als wenn der Dampf bei einer gewissen Kolbenstellung immer satt wäre und keine weiteren Dampfteilchen mehr aufnehmen wollte. Erst wenn wir den Kolben weiter hinausziehen, bekommt der Dampf wieder Hunger und nimmt weitere in Dampf verwandelte Wasserteilchen in sich auf und zwar so lange, bis er wieder „satt“ ist. Drücken wir dagegen den Kolben herunter, 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, im Gegensatz zu ungesättigtem oder überhitztem Dampf, dessen Eigenschaften bei den folgenden Versuchen besprochen werden sollen.

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 Seite 21)]. 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 ein von diesem Gesetze abweichendes und ganz eigentümliches Verhalten zeigt: Der Druck des gesättigten Dampfes ist vollständig unabhängig vom Volumen und lediglich abhängig von der Temperatur. Irgendeiner Temperatur entspricht immer

eine ganz bestimmte Dampfspannung und umgekehrt: gesättigter Dampf von irgendeiner Spannung hat immer eine und dieselbe dieser Spannungeigen-tümliche Tempe-



ratur. Haben wir in einem Gefäße Luft von 5 atm Spannung, so kann diese Luft noch unendlich verschiedene Temperaturen besitzen. Ist dagegen in dem Gefäße gesättigter Wasserdampf von 5 atm 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 diese gegenseitige Abhängigkeit am einfachsten aus einer an späterer Stelle (S. 38) angeführten Tabelle, welche durch Versuche festgestellt ist.

Sechster Versuch (Abb. 9, 6). Wir wollen annehmen, daß der Versuch 5 so lange fortgesetzt sei, das 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° erhalten geblieben ist, die Spannung dieses Dampfes auch im letzten Augenblicke immer noch 2 atm abs beträgt. Nun wollen wir aber, indem wir auch hier dafür sorgen, daß die Temperatur von 120° erhalten bleibt, den Kolben weiter heraustreten lassen. Wir würden in diesem Falle finden, daß die Kraft, mit welcher wir den Kolben niederdrücken müssen, immer kleiner wird, 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 gerade 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 derselbe Druck. Der unter dem Kolben befindliche Dampf von  $120^{\circ}\text{C}$  hat also die Spannung von 1 atm abs. Dieser Versuch zeigt uns recht deutlich eine neue wichtige Eigenschaft des Dampfes: Beim vierten Versuch hatten wir ebenfalls Dampf von der Spannung 1 atm 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 Hereindrücken des Kolbens auf die Spannung dieses Dampfes gar keinen Einfluß hatte. Hier dagegen haben wir einen Wasserdampf von 1 atm Spannung und  $120^{\circ}\text{C}$ , der einfach durch Ausdehnung und zwar durch Volumenverdoppelung aus Dampf von  $120^{\circ}$  und 2 atm abs entstanden ist, der also ganz 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

Siebenten Versuch (Abb. 9, 7) anstellen. Der Dampf, den wir beim sechsten Versuch bekommen hatten, schien uns bereits genau 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 genau die gleichen Eigenschaften wie die Gase, so müßte es möglich sein, einfach durch Temperaturerhöhung seine Spannung wieder auf 2 atm zu bringen. Die Höhe dieser Temperatur läßt sich leicht berechnen, wenn wir uns an das seinerzeit (S. 20) 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 atm) zu der gegenwärtigen Spannung (1 atm) 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, finden wir, daß gerade so wie beim vierten und fünften Versuch ein Druck

Mally des Kolben  $h_1$   $h_2$   $h_3$   $h_4$   $h_5$   $h_6$   $h_7$   $h_8$   $h_9$   $h_{10}$   $h_{11}$   $h_{12}$   $h_{13}$   $h_{14}$   $h_{15}$   $h_{16}$   $h_{17}$   $h_{18}$   $h_{19}$   $h_{20}$   $h_{21}$   $h_{22}$   $h_{23}$   $h_{24}$   $h_{25}$   $h_{26}$   $h_{27}$   $h_{28}$   $h_{29}$   $h_{30}$   $h_{31}$   $h_{32}$   $h_{33}$   $h_{34}$   $h_{35}$   $h_{36}$   $h_{37}$   $h_{38}$   $h_{39}$   $h_{40}$   $h_{41}$   $h_{42}$   $h_{43}$   $h_{44}$   $h_{45}$   $h_{46}$   $h_{47}$   $h_{48}$   $h_{49}$   $h_{50}$

Wasserdampf. Versuche

$p_1 v_1 = p_2 v_2$   
 $2 \cdot h_1 = 5 \cdot h_2$

$h_2 = \frac{2h_1}{5}$

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 atm abs. Offenbar haben wir hier aber eine ganz andere Art Dampf vor uns als bei Versuch vier, 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 Berührung mit seiner Flüssigkeit stand, seine Temperatur ist ganz wesentlich höher als die Temperatur des gesättigten Wasserdampfes von gleicher Spannung, man nennt ihn daher überhitzten (auch wohl ungesättigten) Dampf.

Vor einem Irrtum möge gleich hier gewarnt werden: Wenn wir eben bei unserem siebenten Versuch überhitzten Dampf von 2 atm abs und  $513^\circ\text{C}$  bekommen hatten, so muß man wohl beachten, daß ja nicht etwa überhitzter Dampf von 2 atm Spannung immer eine Temperatur von  $513^\circ\text{C}$  hat. Hätten wir z. B. bei Beginn des siebenten Versuches im Zylinder nur noch trockenen gesättigten Dampf von 5 atm abs gehabt, welcher eine Temperatur von ungefähr  $151^\circ\text{C}$  besitzt (also eine absolute Temperatur von  $151 + 273 = 424$ ) und hätten wir diesen Dampf dann bei stillstehendem Kolben, das heißt bei gleichbleibendem Volumen auf  $513^\circ\text{C} = 786^\circ\text{abs}$  erhitzt, so würde seine Spannung eine wesentlich andere werden als 2 atm: 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 atm) bei  $151^\circ\text{C}$  wie die absolute Temperatur bei  $513^\circ\text{C}$  zur absoluten Temperatur bei  $152^\circ\text{C}$  oder

$$x : 5 = (273 + 513) : (273 + 151)$$

und daraus

$$x = 5 \cdot \frac{786}{425} = 9,25 \text{ atm.}$$

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

1. Wasserdampf kann in zwei verschiedenen Formen vorkommen:
  - a) als gesättigter Wasserdampf: Versuch 1—5;
  - b) als ungesättigter oder überhitzter Dampf: Versuch 6 und 7.
2. Bei gesättigtem Wasserdampf hängt die Spannung lediglich von der Temperatur ab und umgekehrt: Versuch 1—5.
3. Überhitzter Wasserdampf befolgt das Gesetz von Boyle-Gay-Lussac, d. h. er verhält sich gegenüber Temperatur-, Druck- oder Volumenänderungen wie ein Gas.

4. Bei gleicher Temperatur hat der gesättigte Wasserdampf eine höhere Spannung als der überhitzte 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 überhitzte Dampf stets eine höhere Temperatur als der gesättigte Dampf, vgl. Versuch 4 und 7.

**Wärmebedarf bei der Dampferzeugung.** Wir wollen noch einmal auf unsere letzte Versuchsanordnung zurückgreifen und sie uns in der Weise erweitert denken, daß es möglich ist, die dem Zylinderinhalte 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.

Wir beginnen nun unseren Versuch, indem wir dem in dem Zylinder eingeschlossenen Wasser von 0° 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.

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. 28

hatten wir versucht, den Kolben herauszuziehen, und hatten dabei gemerkt, 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 Produkte Kraft mal Weg, das heißt 100 kg mal Hubhöhe des Kolbens. Ganz dieselbe Arbeit hatte 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-schaffungsarbeit zu leisten. Gerade dieser Teil der zugeführten Wärme läßt sich nun sehr leicht berechnen. Denken wir uns, das Wasser (von 0°) 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 100° einen Raum von 1.670 cbm = 1670 ebcm ein. Der in dem Zylinder steckende Kolben von 1 qdem Flächeninhalt müßte also um 1669 dem = 166,9 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

$$166,9 \cdot 100 = 16690 \text{ mkg,}$$

und da nach dem ersten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie (S. 16) immer 427 mkg einer WE entsprechen, so beträgt dieser Anteil der zugeführten Wärme

$$\frac{16690}{427} = 39,1 \text{ WE.}^1)$$

Stellen wir nun einen weiteren Versuch an. 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. 29), daß der Kolben sich erst dann beginnen wird zu heben, wenn das Wasser eine Temperatur von 120°, der daraus gebildete Dampf also eine Spannung von 2 atm abs hat. Nun erst beginnt wieder die Dampf-bildung. Der Kolben

1) Der in der Tabelle auf S. 38 angegebene Wert dieser Wärme bei einem Dampfdruck von 1 kg/qcm lautet etwas anders. Das kommt daher, daß diese Tabelle berechnet ist für denjenigen Druck, welchen Luft von 0° bei einem Barometerstande von 760 m/m Quecksilbersäule auf ihre Unterlage ausübt. Dieser Druck beträgt aber genau 1,0333 kg/qcm.

wird herausgeschoben und wir brechen unseren Versuch wieder ab in dem Augenblicke, wo sämtliches Wasser in Dampf von 2 atm verwandelt ist. Auch hier liegen die Verhältnisse offenbar gerade so wie vorher. Durch den ersten Teil der zugeführten Wärme haben wir das Wasser 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.

Wir stellen also fest: Die Wärmemenge, welche wir zur Verdampfung einer gewissen Wassermenge verbrauchen, zerfällt in drei Teile:

1. diejenige Wärmemenge, welche nötig ist, um die Flüssigkeit (das Wasser) auf die der entsprechenden Dampfspannung entsprechende Temperatur zu erheben, man nennt sie „Flüssigkeitswärme“;

2. diejenige Wärmemenge, welche nötig ist, um das auf die Dampftemperatur erwärmte Wasser in Dampfform überzuführen, man nennt sie „Innere Verdampfungswärme“, im Gegensatz zu

3. derjenigen Wärme, welche der Raumschaffungsarbeit entspricht, der sogenannten „Äußeren Verdampfungswärme“.

Die Summe aller drei Wärmemengen bezeichnet man gewöhnlich mit dem Namen Gesamtwärme und hat also die Beziehung Gesamtwärme = Flüssigkeitswärme + Innere Verdampfungswärme + Äußere Verdampfungswärme, oder kürzer: Gesamtwärme = Flüssigkeitswärme + Verdampfungswärme.

Diese „Verdampfungswärme“ ist, wie wir gesehen hatten, mit dem Thermometer nicht nachweisbar, sie ist also gewissermaßen verborgen (latent), man nennt sie daher bisweilen auch die latente Wärme des Dampfes. Daß sie nicht verschwunden, sondern mit Ausnahme des Teiles 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. der ausgiebigste Gebrauch gemacht wird.

Endlich können wir noch eine dritte Beziehung aufstellen, wenn wir uns daran erinnern, daß die Wärme, welche zur Leistung der Raumschaffungsarbeit verwendet worden ist, ja eigentlich sozusagen verschwunden, das heißt in dem Dampf selber nicht mehr nachweisbar ist. Nach-

weisbar ist in dem Dampf offenbar nur noch die Flüssigkeits- und die innere Verdampfungswärme, welche man zusammen gewöhnlich mit „Dampfwärme“ bezeichnet. Wir bekommen also die dritte Beziehung: Gesamtwärme = Dampfwärme + derjenigen Wärme, welche der Raumschaffungsarbeit entspricht.<sup>1)</sup> Würden wir überhitzten Dampf erzeugen, so käme natürlich als vierte Wärmemenge diejenige in Betracht, welche nötig ist, um überhitzten Dampf aus gesättigtem Dampf herzustellen.

Es fragt sich nun, welches ist diejenige Anzahl von Wärmeeinheiten, aus denen jede dieser Wärmemengen besteht, und dies ist nun der Ort, um eine Tabelle anzuführen, welche in der Theorie des Wasserdampfes eine hervorragende Rolle spielt und auf welche schon an früherer Stelle bei Besprechung der Beziehung zwischen Dampfspannung und Temperatur (Seite 31) hingewiesen wurde.

**Ergebnisse der Tabelle.** Gehen wir nun etwas näher auf die so trocken erscheinenden Zahlen der umstehenden 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, dessen große Bedeutung man leicht erkennen kann, wenn man berechnet, auf welche Temperatur man beispielsweise Luft erhitzen müßte, um ähnliche Spannungen zu erlangen. Da Luft ein Gas ist, so befolgt sie das Gay-Lussacsche Gesetz, das heißt es verhalten sich bei gleichbleibendem Volumen die Spannungen wie die absoluten Temperaturen (vgl. S. 20). Schließen wir also in unserem früher erwähnten Versuchszylinder Luft von 0° und Außenluftspannung an Stelle des Wassers ein und wollten wir diese Luft durch Wärmezuführung auf eine Spannung von nur 4 atm bringen, so ergibt sich die zugehörige absolute Temperatur, wenn wir die Spannung mit  $p_1$  und  $p_4$ , die zugehörigen absoluten 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 atm absoluter Spannung nach der Tabelle erst eine Temperatur von rund  $143^\circ$  hat. Wir könnten mithin für eine der-

1) Vgl. auch F. C. Mayer, Feuerungsanlagen und Dampfkessel. *MuG.* Bd. 348.

Tabelle für gesättigte Wasserdämpfe (nach Taschenbuch der Hütte).

| 1.                                       | 2.                                    | 3.                         | 4.                                   | 5.                |                 | 6. | 7.               |
|--|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|----|------------------|
| Druck<br>in kg<br>f. d. qcm<br>(absolut) | Tempe-<br>ratur<br>in Grad<br>Celsius | 1 cbm<br>Dampf<br>wiegt kg | Flüssig-<br>keits-<br>wärme<br>in WE | Verdampfungswärme |                 |    | Gesamt-<br>wärme |
|  |                                       |                            |                                      | innere<br>in WE   | äußere<br>in WE |    |                  |
| 0,1                                      | 45,6                                  | 0,067                      | 45,7                                 | 535,4             | 34,94           |    | 616,04           |
| 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           |

artige 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, ganz wesentlich geringer ist als beim Wasserdampf. 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 ange-  
stellten Versuchen 3 und 4 (S. 29) schon hatten beobachten können. Wir hatten dort bei Versuch vier den Kolben in seiner Lage festgehalten und die Temperatur des Zylinderinnern von 100° auf 120° erhöht. Wir

hatten dabei gefunden, daß der Wasserspiegel insolgedessen 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 4 unserer Tabelle zeigt uns nun, wie sich die Gewichte des verschieden gespannten Wasserdampfes zueinander verhalten. Vergleichen wir diese Zahlen, so finden wir bei niedrigen Spannungen folgendes Ergebnis:

| Spannung<br>in atm | Gewicht von<br>1 cbm in kg  | Spannung<br>in atm | Gewicht von<br>1 qbm in kg    |
|--------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------------------|
| 1                  | 0,58 =                      | 1                  | $\times 0,58$                 |
| 2                  | 1,11 = $\sim 2 \times 0,58$ | 3                  | 1,62 = $\sim 3 \times 0,58$   |
|                    |                             | 4                  | 2,12 = $\sim 4 \times 0,58$ . |

In Worten: 1 cbm Dampf von 2, 3, 4 atm absoluter Spannung ist ungefähr 2, 3, 4 mal so schwer als 1 cbm Dampf von 1 atm, ein Ergebnis, welches sich leicht im Kopfe behalten läßt. Bei höheren Spannungen wird dieses Verhältnis allerdings, wie ja leicht aus der Tabelle zu ersehen ist, immer ungenauer.

Weit eigentümlicher als die vorhergehenden Betrachtungen sind die Ergebnisse der noch übrigbleibenden Spalten 4, 5, 6, 7. Wir wollen uns die Ergebnisse dieser Zahlenreihen dadurch veranschaulichen, daß wir uns eines zeichnerischen Verfahrens bedienen. In einem Neze rechtwinkliger Geraden (sogenanntem Koordinatenneze) tragen wir uns (Abb. 10 a. f. S.) in wagerechter Richtung die verschiedenen Dampfspannungen auf, in lotrechter Richtung dagegen diejenigen Wärmemengen (und deren S. 36 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.

Aus der Form der verschiedenen Kurven erkennt man nun leicht folgendes:

1. Die Flüssigkeitswärme nimmt mit Zunahme der Spannung verhältnismäßig rasch zu: Je höher die Spannung wird, um so mehr Wärme

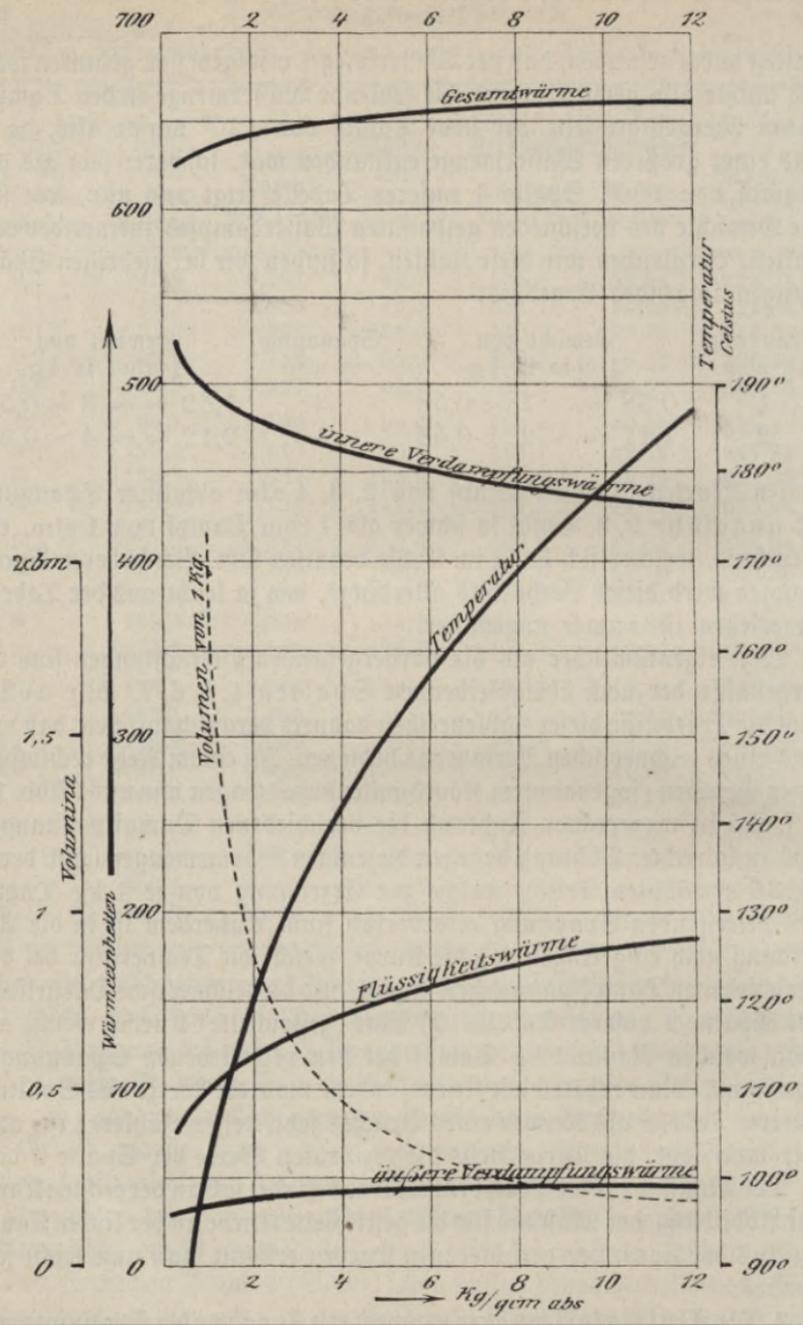


Abb. 10.

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 Dampftemperatur 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 atm abs zu erzeugen, braucht man nach unserer Tabelle S. 38 insgesamt 652 WE. Um Dampf von 10 atm abs daraus zu erzeugen, braucht man rund 666 WE, also nur 14 WE, das 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.

Dies läßt sich in sehr einfacher Weise zahlenmäßig durch ein Beispiel beweisen: Denken wir uns zwei Lastenaufzüge (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

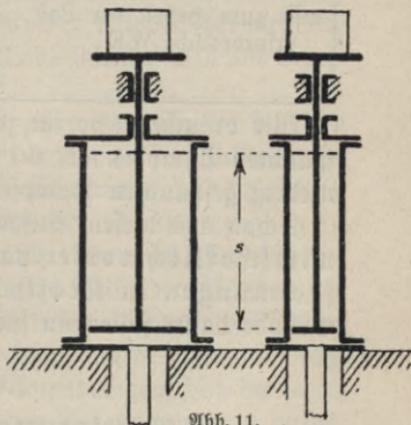


Abb. 11.

zu, welche Dampfspannung, welche Dampfmenge, welche Dampfgeichte und endlich die Hauptsache, welche Wärmemengen nötig sind, um die Lasten vermittels 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 Quadratcentimeter des Kolbens offenbar eine Kraft von 1 kg wirken, das heißt wir müssen in diesem Zylinder Dampf von ungefähr 1 atm Überdruck oder von 2 atm abs verwenden, wenn wir annehmen, daß die obere Kolbenseite mit der Außenluft in Verbindung steht.

In dem kleinen Zylinder dagegen brauchen wir offenbar Dampf von  $\frac{1000}{250} = 4$  atm Überdruck = 5 atm abs. Daraus berechnen sich nun die übrigen gesuchten Größen sehr einfach in folgender Weise:

|  | Großer Zylinder<br>Dampf von 2 atm abs      | Kleiner Zylinder<br>Dampf von 5 atm abs |
|--|---|---|
| Erforderliche Dampfmenge<br>in cbm . . . . .                                   | <i>gem. m = cbm</i><br>$0,1 \times 1 = 0,1$ | $0,025 \cdot 1 = 0,025$                 |
| 1 cbm Dampf wiegt nach<br>der Tabelle S. 38 kg . .                             | 1,11  | 2,61                                    |
| folglich erforderliches Dampf-<br>gewicht in kg . . . . .                      | $0,1 \cdot 1,11 = 0,111$                    | $0,025 \cdot 2,61 = 0,0652$             |
| Gesamtwärme von 1 kg . .<br>nach der Tabelle (abge-<br>rundet) in WE . . . . . | 647   | 658                                     |
| also zum Heben der Last .<br>erforderliche WE . . . . .                        | $0,111 \cdot 647$<br>= ~ 72 WE              | $0,0652 \cdot 658$<br>= ~ 43 WE         |

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

## Zweites 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

1) Über die bauliche Gestaltung der Dampfkessel siehe F. E. Mayer, Feuerungsanlagen und Dampfkessel. ArnG. Bd. 348.

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 mittheilt.

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 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 geformten Behälter irgendwo frei aufstellt, ein Feuer darunter anzündet und auf diese Weise versucht, das 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 Theile den Wänden des Dampfkessels und damit seinem Inhalte mittheilen, während der größte Teil der Wärme nutzlos ins Freie entweichen würde. Hieraus folgt sofort die Notwendigkeit, die Feuerung so anzubringen, daß die durch sie erzeugte Wärme möglichst vollständig den Kesselwandungen mitgeteilt wird. Dies geschieht entweder dadurch, daß man die Feuerung in den entsprechend geformten Kessel selbst hineinverlegt, oder daß man Kessel und Feuerung mit Mauerwerk umgibt und vermittels 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 Züge und unterscheidet daher bei einer Dampfkesselheizung 1. den Feuerraum, 2. die Züge, 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 Wasserinhalte 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 atm) 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 Schornsteine 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 Temperatur, 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 Std-PS nicht mehr als 8 kg Dampf verbraucht, es müssen mithin in jeder Stunde  $8 \times 100 = 800$  kg Dampf geschafft werden. Da man nun annehmen kann, daß man 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  $\frac{500}{16} = 31,25$  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 ausnützt (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 aufschütten, 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 8fache Verdampfung erzielt, also mit 1 kg Kohle 8 kg Wasser verdampft, bei angestregtem Betriebe dagegen wird etwa nur sechsfache Verdampfung anzunehmen sein. Daß alle diese Zahlen je nach der Beschaffenheit der Kohle und Bauart des Kessels mehr oder minder großen Schwankungen unterliegen, bedarf wohl kaum der Erwähnung. — Man erhält also für die oben angegebenen Zahlen folgende Zusammenstellung:

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

**Trockener und nasser Dampf.** Neben Festigkeit und genügender Größe hat nun ein guter Dampfkessel noch eine weitere sehr 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 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 Dampfkolben 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 atm 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 im höchsten Grade 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 vollständig 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 Wasserinhalte, also mit einer im Verhältnis zum Wasserinhalte 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 Wasserinhalte 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 Dampfheizersprizen.

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 überhitzt, und da, wie später gezeigt werden wird, überhitzter Dampf im Dampfmaschinenbetrieb auch noch aus anderen Gründen eine 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. So einfach diese Anordnung auch ist, einfach insofern, als es möglich ist, die Überhitzung in jedem Augenblicke auszuschnalten und gegebenenfalls den Überhitzer auszubessern, ohne den übrigen Dampfkesselbetrieb zu stören, so besitzt sie andererseits 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 überhitztem Dampfe für alle Kessel aufhört. Diese Uebelstände vermeidet man dadurch, daß man jedem einzelnen Kessel innerhalb der Züge einen aus schmiedeeisernen Rohren bestehenden Überhitzer beifügt, so zwar, daß die Heizgase der Kesselheizung, sobald sie ihre höchste Temperatur verloren haben, den Überhitzer umspülen und dann erst den Rest ihrer Wärme weiterhin an die Kesselwandungen abgeben. Auch hier wird übrigens in der Regel die Anordnung so getroffen, daß man den Überhitzer ausschalten kann, ohne den Kesselbetrieb zu unterbrechen, jedoch gibt es auch gut gebaute Überhitzer, bei denen ein solches Ausschalten nicht möglich ist, die aber trotzdem jahrelang ohne die geringsten Anstände gearbeitet haben.

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 Überhitzerräume ja mit dem Dampftraume 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 überhizen, der, wie eben erwähnt wurde, mit dem Dampftraume 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 Dampftraumes — 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 lebhaftere Wärmezuführung an einem Ende ein Stück abzuschmelzen, ohne daß deshalb die ganze Stange Zinn auf die Schmelztemperatur erhitzt wird.

Auf die Vorteile der Anwendung überhitzten Dampfes soll später bei der Besprechung der Heißdampfmaschinen ausführlich hingewiesen werden.

**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 Ekonomieiser), 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 Kohlen-

menge eine lebhaftere Verdampfung zu erzielen. Die hierdurch erzielte höhere Temperatur der Verbrennungsgase wird nun aber bei dem vorhandenen kleinen Kessel schlecht ausgenutzt (vgl. S. 46), und die Verbrennungsgase 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 heraustreten 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 dünnere 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 in allen den Fällen 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 Inangabezung von allerlei Vorrichtungen und Spielereien auszunutzen, liegen wohl schon mehr als 2000 Jahre zuruck, und trotzdem dauerte es bis an das Ende des 17. Jahrhunderts, ehe die erste Vorrichtung erfunden wurde, welche mit unserer heutigen Dampfmaschine wenigstens eine entfernte Ahnlichkeit hatte. Der franzosische Emigrant Dionysius Papin, spater Professor in Marburg, war es, welcher, angeregt durch die Entdeckung Torricellis uber den Druck der AuBenluft und die Versuche Otto von Guericques 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 ganzlich anderer Weise, als dies heute bei unseren Dampfmaschinen der Fall ist. Die Gerippsskizze (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 Hohe gezogen wurde, bis ein Anschlag seine weitere Aufwartsbewegung verhinderte. Wurde nun nach Verdampfung des Wassers die Warmequelle unter dem Zylinder fortgenommen, so verdichtete sich der Dampf allmahlich, es entstand unter dem Kolben ein starker Unterdruck und der auf der Oberseite des Kolbens lastende Druck der AuBenluft trieb den Kolben in den Zylinder hinein und war so imstande, ein am anderen Ende des Fadens hangendes Gewicht zu heben und dadurch mechanische Arbeit zu leisten.

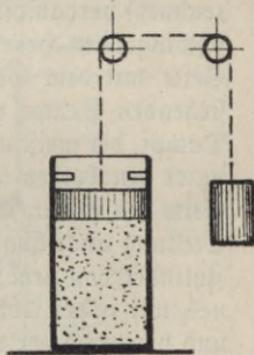


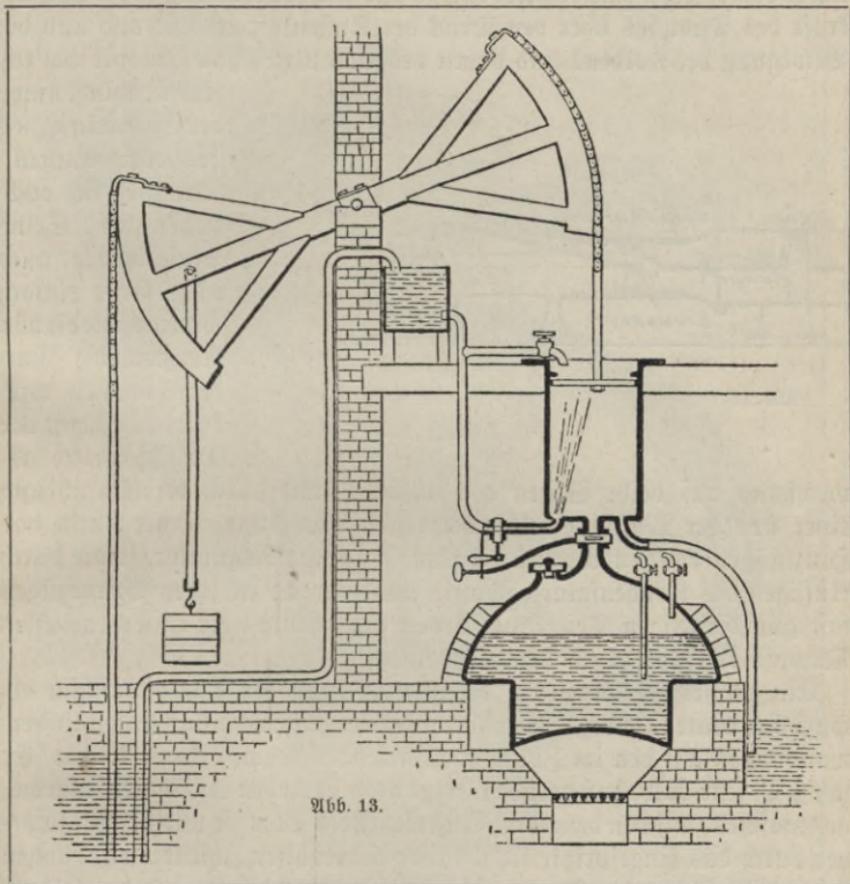
Abb. 12.

Ungünstige Verhältnisse verhinderten Papin'seine Erfindung auszunutzen, und erst dem Engländer Newcomen war es vorbehalten, im Jahre 1705 genau nach dem Grundsatz Papin's 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 a. f. S. 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 Maschinen gange 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 kalten Wänden niederschlug.



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.

Die Hauptänderung, die Watt an der Maschine von Newcomen vornahm, war die, daß er den Dampf nicht mehr lediglich dazu benutzte, unter dem Kolben einen Unterdruck zu schaffen, sondern daß er die Spannkraft des Dampfes über den Druck der Außenluft erhöhte und nun die Bewegung des Kolbens und damit des Balanciers und was mit ihm zu-

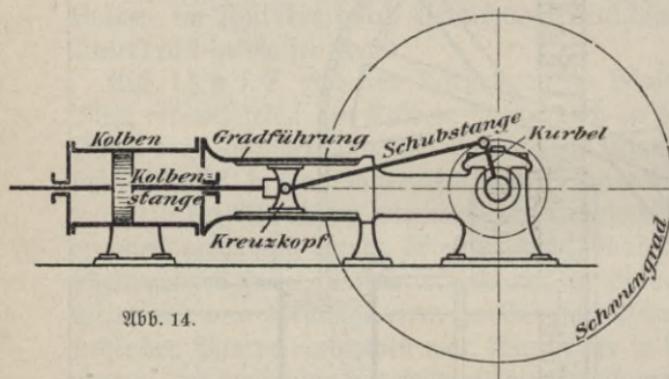


Abb. 14.

sammenhäng, unter der Einwirkung des höhergespannten Dampfes sich vollziehen ließ. Seine Maschine war auch nicht mehr einfach wirkend, wie die von Newcomen, sondern doppelt wirkend, das heißt der Dampf wirkte ab-

wechselnd 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 durch Anfügen des Kondensators schaffte Watt bereits in ihren Grundzügen fast alle diejenigen Teile, aus denen auch heute noch unsere neuesten Dampfmaschinen zusammengesetzt sind.

Ein großes Verdienst 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.

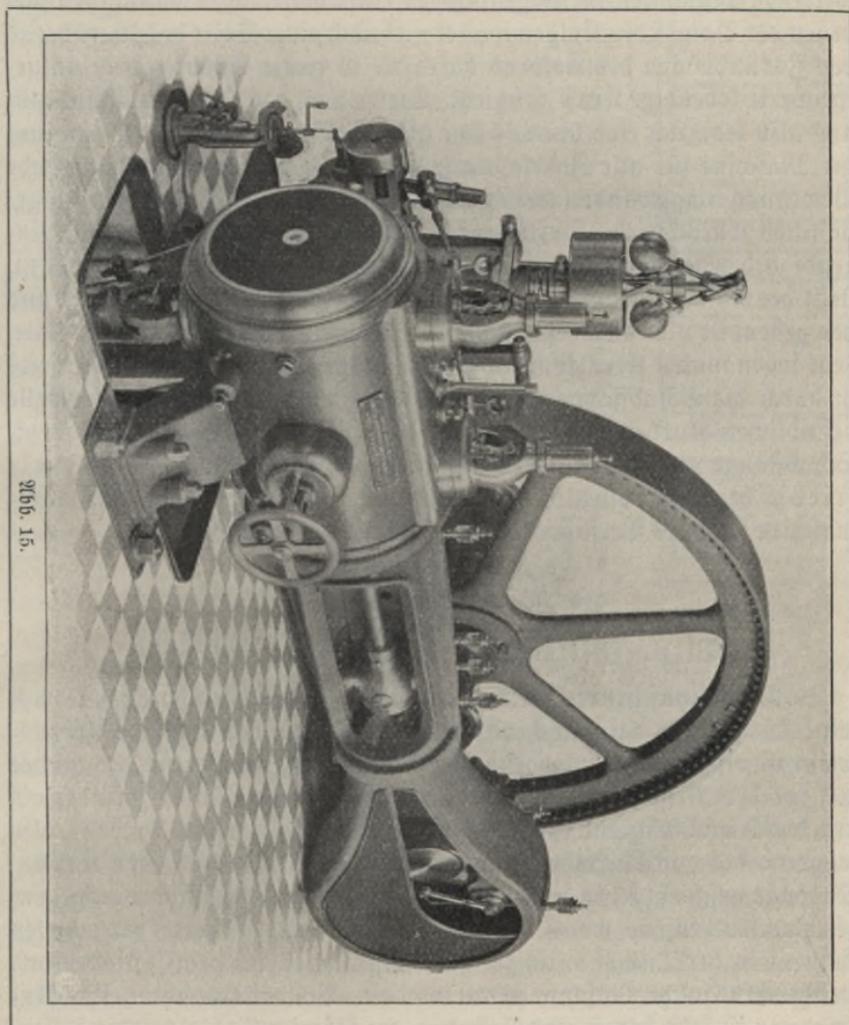


Abb. 15.

Abb. 14 gibt die Gerippfskizze, 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 Kolbens befindlichen Dampf aus dem Zylinder hinaus. Man nennt derartige Maschinen doppeltwirkende 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 Schwungrade 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 geradegeführten 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 Nr. 6.)

## Zweites Kapitel.

### **Volldruck- und Expansionsmaschine.**

**Volldruckmaschinen.** 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 Volldruckmaschine, ihre Anwendung ist sehr 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, 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 sich, 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 Quadratcentimetern festzustellen und mit ihr den tatsächlich auf den Kolben ausgeübten Dampfdruck

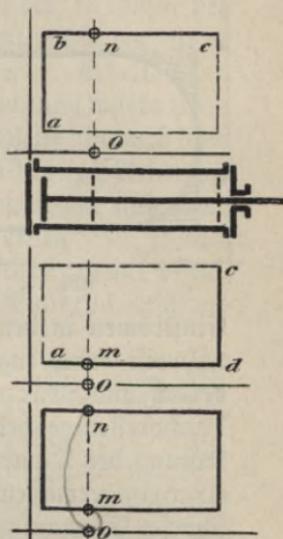


Abb. 16.

in Kilogramm für den Quadratcentimeter 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 Drucke 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 Quadratcentimeter, 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 dieser Hub z. B. 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 Dia-

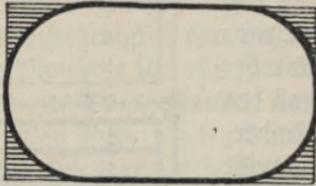


Abb. 17.

gramm 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 ver-

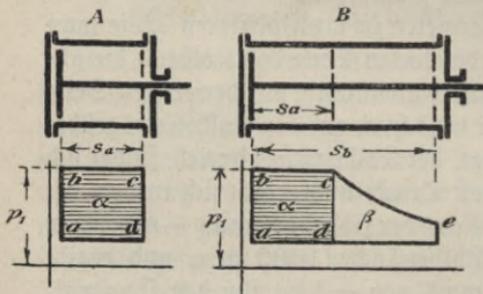


Abb. 18.

hältnismäßig 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 Abschlusssorgane — Schieber oder Ventile — ganz plötzlich auf-

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, 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 Zylinder ins Freie entweicht. Das ist ganz offenbar eine Verschwendung. 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 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  $p_1 = 5$  atm 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  $s_a$  zurückgelegt, so ist auch offenbar die von den beiden Kolben bis dahin geleistete Arbeit genau dieselbe, nämlich gleich dem Rechteck *abcd*. 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 in *B* schließlich an seinem Endpunkte angekommen ist, zu der Diagrammfläche *abcd* 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 frü-

heren Betrachtungen die Kurve  $c-e$  offenbar eine Adiabate sein (S. 22), 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. 21) ausdehnt. Mit anderen Worten, es wird die Spannung in derselben Weise abnehmen, als das Volumen zunimmt.

Spannungen

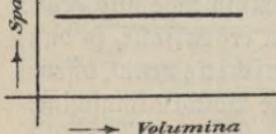


Abb. 19.

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 wagerechter, die jedesmal dazu gehörige Spannung dagegen in senkrechter Richtung auf (Abb. 19), so erhält man nicht wie bei den Gasen eine gleichseitige Hyperbel (S. 21), sondern einfach eine wagerechte gerade Linie. (Vgl. Versuch 5, S. 30.)

Wenn daher oben gesagt wurde, daß die Ausdehnung des Dampfes in der Dampfmaschine sich nach einer Mariotteschen Linie, das heißt nach einer gleichseitigen Hyperbel vollzieht, so muß nur beachtet werden, daß diese Art der Ausdehnung im vorliegenden Falle keine Zustandsänderung bei gleichbleibender Temperatur ist.

Daß derjenige Teil der Arbeit, welchen man durch mehr oder weniger weitgehende Ausnutzung der Dampfdehnung noch dazu gewinnen kann, gar nicht unbedeutend ist, zeigen folgende Zahlen. Es sei (Abb. 18 a. S. 58) 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 dazu gewinnen kann, in abgerundeten Zahlen

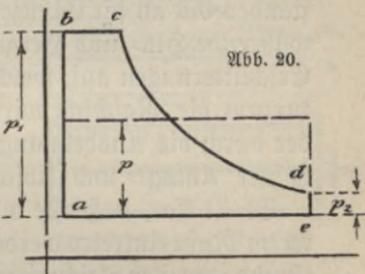
$$\begin{array}{l} \text{für } \frac{s_b}{s_a} = 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \\ \beta = 0,0 \quad 0,6 \quad 0,9 \quad 1,0 \quad 1,1 \quad 1,2 \\ \text{mithin } \alpha + \beta = 1,0 \quad 1,6 \quad 1,9 \quad 2,0 \quad 2,1 \quad 2,2. \end{array}$$

Ist also z. B.  $s_b = 4s_a$ , 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 ange-  
stellten 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 Abände-  
rung des Verfahrens ratsam erscheinen lassen.  
Der zunächst eintretende Übelstand ist ganz  
ähnlich demjenigen, der schon bei der Ma-  
schine von Newcomen (S. 52) 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 Zylinderwan-  
dungen 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 Kolben-  
hubes gleichförmig  $= p$  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 wiederum starke Fundamente nötig machen, kurzum die Maschine wird sehr teuer, und somit geht ein großer 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 Dampfes 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.** Es liege die Aufgabe vor, eine Dampfmaschine zu bauen, welche nach dem Diagramm *abcde* (Abb. 20 a. v. S.) 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 Auslaßventiles 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  $s_2$ , einen zweiten von genau demselben Durchmesser, aber wesentlich kürzerem Hube  $s_1$  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

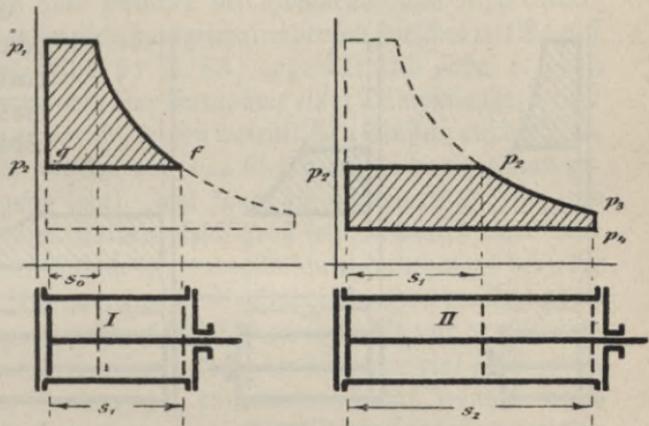


Abb. 21.

Kolbenhubes  $s_1$  die Ausdehnung im

Punkte  $f$  vorläufig beendet ist. Wenn nun der Kolben umdreht, so sorgen wir dafür, daß der Dampf nicht etwa ins Freie ausströmt, sondern daß er in demselben Maße, wie der Kolben den Weg  $f - g = s_1$  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).

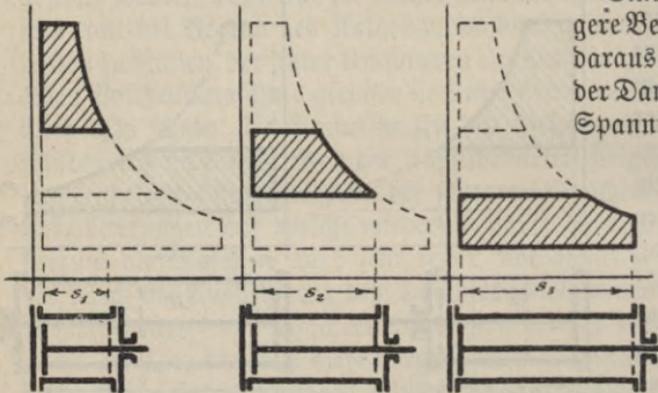


Abb. 22.

Eine andere zweckmäßigere Bezeichnung leitet sich daraus ab, daß man sagt, der Dampf überwinde das Spannungsgefälle  $p_1$  bis  $p_4$  gewissermaßen in zwei Stufen. Man nennt daher derartige Maschinen zweistufige Expansionsmaschinen, im Gegensatz zu den früher besproche-

nen Expansionsmaschinen mit einem Zylinder, die man wohl auch mit einstufige Expansionsmaschine bezeichnet.

Ist die Eintrittsspannung des Dampfes sehr hoch, etwa 12 atm 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 vermittle 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 Durchmesser, aber verschieden langen Hub haben. Der Dampf geht nacheinander durch die verschiedenen Zylinder hindurch, wobei die Arbeitsweise (z. B. für eine dreistufige Expansionsmaschine) nach den vorhergehenden Erläuterungen aus der obigen 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, 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 eine Kolben auf den anderen warten, was natürlich undenkbar ist.

Nun kann man sich aber zwischen den Hochdruck- und Niederdruckzylinder dieser Maschine ein Gefäß eingeschaltet denken, welches mit Dampf von der Spannung  $p_2$  (Abb. 21 S. 63) 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  $p_2$  atm in jenes Gefäß hineingedrückt, von dem Niederdruckzylinder dagegen bei jeder 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. Reffiver).

Daß 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 Hube, sondern umgekehrt von gleichem Hube 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 Hübe 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 Dampfmenge, 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 Hochdruckdiagramms und die Einlaßlinie des Niederdruckdiagramms 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. 61 f.) als Folgen der weitgehenden Dampfdehnung erörtert wurden? Der damals zuerst angeführte Übelstand lag in den großen Temperaturchwankungen 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 atm abs und dehne sich während des Durchganges durch die Maschine aus bis auf Außenluftspannung, also

bis auf eine Spannung von 1 atm abs. Wie die Tabelle S. 38 lehrt, hat gesättigter Dampf von 7 atm abs eine Temperatur von  $164^{\circ}$ , gesättigter Dampf von 1 atm 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 atm bis auf etwa 3 atm abs ausdehnt, im Niederdruckzylinder dann von 3 atm auf 1 atm, so sind die Temperaturunterschiede, die in den einzelnen Zylindern vorkommen, schon wesentlich geringer. Da gesättigter Wasserdampf von 3 atm 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 auftretende Temperaturunterschied ist also genau um die Hälfte verringert, und damit sind natürlich die früher (S. 61) 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. 61 und 63).

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 atm abs und einer Austrittsspannung von 1 atm abs. Läßt man das Diagramm sich in einem einzigen Zylinder abspielen, so ist der größte tatsächliche Druck, der auf die Flächeneinheit des Kolbens ausgeübt wird, der sogenannte Überdruck,  $7 - 1 = 6$  atm, also ungefähr 6 kg für den Quadratcentimeter. Arbeitet die Maschine dagegen mit zweistufiger Dampfdehnung und verläßt der Dampf den Hochdruckzylinder mit 3 atm abs, so ist der größte Überdruck, der auf die Flächeneinheit des Hochdruckkolbens ausgeübt wird,  $7 - 3 = 4$  atm, der auf die Flächeneinheit des Niederdruckkolbens ausgeübte Überdruck dagegen nur  $3 - 1 = 2$  atm. Gerade hier im Niederdruckzylinder spielt nun diese Verminderung des höchsten Kolbenüberdruckes eine ganz hervorragende Rolle. Eine Betrachtung des Diagramms Abb. 21 II 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 gewaltigen Vorteile der Anwendung mehrstufiger Dampfdehnung. Hat der Zylinder der einstufigen Expansionsmaschine (oder, wie wir eben gesehen haben, der Niederdruckzylinder der zweistufigen Expansionsmaschine gleicher Leistung) einen Querschnitt von 10 000 qcm, dann beträgt bei Anwendung einstufiger Expansion der höchste auf den Kolben ausgeübte Überdruck abgerundet  $(7 - 1) \times 10\,000 = 60\,000$  kg. Beim Niederdruckzylinder dagegen nur  $(3 - 1) \times 10\,000 = 20\,000$  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 Kolbendrucks 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 Gestängengewicht natürlich nicht minder bedeutend. 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 A u. G.

## 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 wie 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 38, daß gesättigter Dampf von Außenluftspannung, also 1 atm 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 Wärmemenge 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 nun 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 vorkommt — 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 a. f. S. 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 atm abs, eine Austrittsspannung von 0,15 atm abs an, entsprechend einer Dampftemperatur von etwa 50°, 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

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 Räume zu Wasser und erfährt dadurch eine ganz bedeutende Volumenverkleinerung, da z. B. Dampf von 1 atm einen ungefähr 1700 mal so großen Raum einnimmt als Wasser. Die Folge

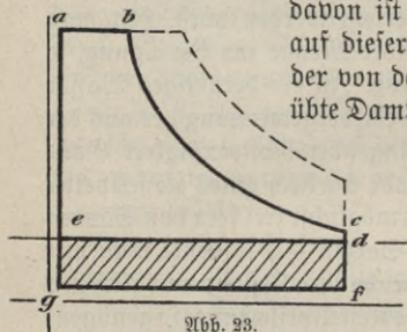


Abb. 23.

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  $cd$  (dem Kolbenhube), 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.

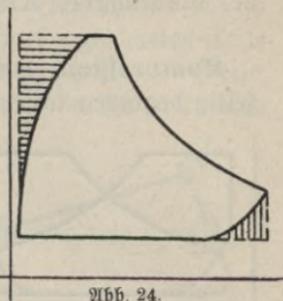
Je kälter das zur Verdichtung verwendete Wasser ist, um so vollkommener ist natürlich die Verdichtung. Da aber das Kühlwasser durch den Dampf erwärmt wird, wird auch im Kondensator der Unterdruck unter die Außenluft höchstens so weit vermindert werden können, als es der Temperatur des abfließenden, erwärmten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

zieht. Das ist nun in Wirklichkeit nicht der Fall. Wollte man versuchen, eine Maschine nach einem Diagramm wie Abb. 20 (S. 61) oder Abb. 21 (S. 63) arbeiten zu lassen, so würden sich, namentlich bei einigermaßen rasch laufenden Maschinen, dieselben Übelstände einstellen, die früher (S. 58) bei Gelegenheit der Besprechung der Volldruckmaschinen bereits erwähnt wurden. Am Ende des Hubes könnte der Dampf nicht sofort von der der Ausdehnung entsprechenden Spannung auf die Eintrittsspannung herabsinken, bei Beginn des Hubes könnte er nicht plötzlich von der Eintrittsspannung auf die Eintrittsspannung steigen. Die Folge wäre 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 Dampfe angefüllt bleiben, der neu ein tretende heiße Dampf würde sich mit diesem kühleren Dampfe 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).

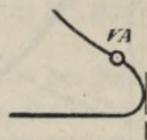


Abb. 25.

Bei dieser Gelegenheit mag gleich noch eine weitere Abänderung des Diagramms erwähnt werden. Geradeso wie die Ausströmung läßt man auch die Dampfeinströmung schon vor

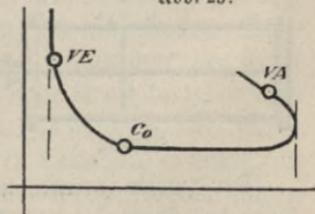


Abb. 26.

dem Anfang des betreffenden Kolbenhubes beginnen — man nennt es die Voreinströmung (Punkt *VE*, Abb. 26 a. v. S.) —, damit aus einem ähnlichen Grunde wie bei der Vorausströmung der Dampf bei Beginn des Kolbenhubes bereits seine volle Eintrittsspannung erreicht hat.

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

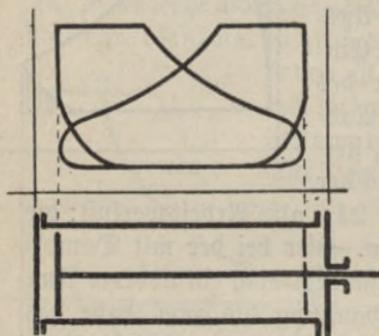


Abb. 27.

Schon geraume Zeit bevor der Kolben auf seinem Rückgange den Totpunkt 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 erklärlich erscheinen, inwiefern diese Verdichtung des Dampfes von Vorteil sein kann, da ja dadurch ein nicht unbedeutliches Stück des Diagramms, also Arbeit, verloren geht, und doch erweist sich diese Verdichtung nicht nur als sehr nützlich, sondern sogar als dringend notwendig.

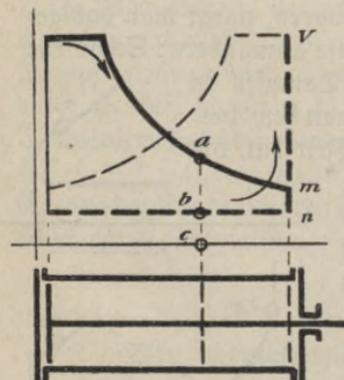


Abb. 28.

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 Einströmung neu hinzukommende Dampf nicht mehr durch Berührung mit dem verhältnismäßig kühlen Dampf von Ausströmspannung einen Teil seiner Wärme verliert und dadurch einen Arbeitsverlust erzeugt.

Der zweite Grund, warum die Kompression, das heißt die Verdichtung des Dampfes vor Eintritt der Voreinströmung, als dringend not-

wendig 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 eingezeichneten Pfeile, gleichzeitig durchlaufen werden. Während also z. B. auf der linken Kolben-

seite sich Einströmung und Ausdehnung vollzieht, findet auf der rechten Kolbenseite die Ausströmung statt. In dem Augenblicke wo auf der linken Kolbenseite die Ausdehnung beendet ist, steigt auf der rechten Kolbenseite die Spannung rasch an usw. Man findet also den in jedem Augenblick tatsächlich auf den Kolben ausgeübten Druck sehr einfach dadurch, daß man bei der betreffenden Kolbenstellung in dem Diagramm eine Senkrechte zieht. Die Entfer-

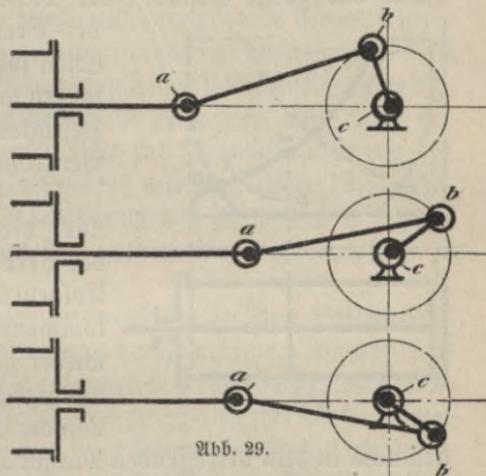


Abb. 29.

nung 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.

Verfolgt man nun auf Grund dieser Betrachtungen und an der Hand der Abb. 28 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 der Abbildung ersichtlich ist, wird er dabei auf dem ganzen Wege mit abnehmender Kraft nach rechts gedrückt, bis diese nach rechts treibende Kraft kurz vor dem Totpunkte die Größe  $mn$  (Abb. 28) erreicht hat. Im nächsten Augenblicke aber springt der Druck plötzlich nach 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) aus-

drückt. 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

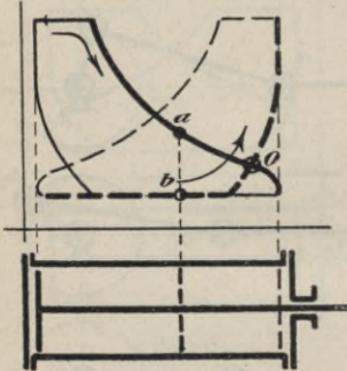


Abb. 30.

der Beanspruchung, nämlich von Zug in einen solchen auf Druck oder umgekehrt erfahren würde, was bei der Pflöchlichkeit 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 Anwendung 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 hochüberhitztem Dampf oder, wie man ihn auch nennt, Heißdampf.

#### **Verringerung der Kondensationsverluste in den Leitungen.**

Um sich die Vorteile der Anwendung von hochüberhitztem Dampf klarzumachen, beachte man zunächst die eigenartige Erscheinung, daß überhitzter Wasserdampf im geraden 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 sehr häufig eine Quelle starker Wärmeverluste und anderer Übelstände. Da gesättigter Dampf, wie oben erwähnt, ein guter Wärmeleiter ist, so werden, falls die Rohrleitungen nicht ganz vorzüglich mit einer die Wärmeausstrahlung verhindernden sogenannten Wärmeschutzmasse eingehüllt sind, nicht nur die unmittelbar an den Rohrwandungen entlang streichenden, sondern auch die mehr nach innen zu liegenden 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. 47) schon erwähnt, durch besondere Vorrichtungen auf das sorgfältigste aus der Rohrleitung abgeschieden und von der Maschine ferngehalten werden. Erwägt man nun, welche gewaltige Ausdehnung manchmal in großen Fabrikanlagen, Hüttenwerken usw. die Dampfrohr-

leitungen besitzen, so erkennt man, welche Wärmeverluste allein durch solche Rohrleitungen auftreten können. Hier bietet nun die Anwendung von überhitztem Dampf große Vorteile. Zunächst wird eine Abkühlung bei überhitztem Dampfe schon deswegen in geringerem Maße auftreten als bei gesättigtem Wasserdampfe, weil eben überhitzter 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 überhitzte Dampf noch wesentliche Vorteile. Aus unserem früher (S. 31) angestellten Versuche 6 folgt, daß gerade so, wie eine Wärmezufuhr notwendig ist, um aus gesättigtem Wasserdampfe, der nicht mehr mit seiner Flüssigkeit in Verbindung steht überhitzten Wasserdampf herzustellen, gerade so natürlich auch eine (unter Umständen recht bedeutende) Wärmeabführung dazu notwendig ist, um umgekehrt überhitzten Wasserdampf in gesättigten Wasserdampf oder gar in gesättigten Wasserdampf und Wasser (niedergeschlagenen Dampf) zu verwandeln. Schickt man also durch eine Rohrleitung nicht gesättigten, sondern überhitzten Wasserdampf hindurch, so wird schon eine recht beträchtliche Wärmeabführung, das heißt Abkühlung, erforderlich sein, ehe der überhitzte Dampf sich zu gesättigtem Dampfe abkühlt oder gar bei weiterer Abkühlung Wasser in der Rohrleitung abscheidet. Man hat also bei der Verwendung überhitzten Dampfes nicht nur einen geringeren Wärmeverlust zu befürchten in Folge der geringeren Wärmeleitfähigkeit 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. 47) erwähnte Gefahr der sogenannten Wasserschläge in der Maschine in weitgehender Weise vermindert oder sogar vollständig vermieden ist.

### **Verringerung 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. 61) 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 hervorragende Vorteile in dieser Beziehung die Verwendung überhitzten Dampfes beim Maschinenbetriebe bietet. Auch hier

tritt, gerade so wie in den Rohrleitungen, eine Abkühlung des Dampfes nicht entfernt in so hohem 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 Ausschneiden von Wasser zur Folge haben, so daß auch hier die Gefahr des Wasserschlages verringert, die Betriebssicherheit also erhöht wird. Hieraus ergibt sich nun 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.  $\frac{D^2 \pi}{4}$  *oder D = 2r*

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 Hube 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 Wandungsoberfläche, 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 Abkühlungsoberfläche, und die einfache Folge schon hiervon ist, daß Dampfmaschinen kleinerer Leistung namentlich unter Verwendung gesättigten Wasserdampfes infolge der größeren Dampfverluste verhältnismäßig, das heißt für die Std-PS, mehr Dampf verbrauchen als Maschinen größerer Leistung.

Man erkennt nun leicht, welche Vorteile hier die Anwendung überhitzten 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 überhitzten Dampfes gerade bei kleinen Maschinen in hohem Grade bemerkbar machen müssen.

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

**Bereinfachung der Maschine.** Könnte man die Überhitzung des Dampfes beliebig hoch treiben, so müßte offenbar der Vorteil der Überhitzung bei Verwendung niedrig- oder hochgespannten Dampfes gleich groß sein. Das ist nun aber durchaus nicht der Fall. Aus praktischen Gründen ist eine Überhitzung des Dampfes auf eine Temperatur von mehr als etwa  $350^{\circ}$  ausgeschlossen. Verwendet man nun den höchstgespannten Dampf, der im allgemeinen noch angewendet zu werden pflegt, nämlich Dampf von 15 atm Überdruck, der schon im gesättigten Zustande eine Temperatur von  $200^{\circ}$  C hat, so läßt sich dieser Dampf nur um  $150^{\circ}$  überhizen, während z. B. bei Verwendung eines Dampfes von 5 atm 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 bieten wird als bei Verwendung sehr hochgespannten Dampfes, und dieses Ergebnis hat die Erfahrung in der Tat bestätigt.

Aus den Überlegungen Seite 60 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 zwei- bis dreistufiger 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 hochüberhitztem Dampfe ungefähr ebenso wirtschaftlich arbeiten wie eine Maschine mit hochgespanntem und wenig oder gar nicht überhitztem Dampfe. Dieses Ergebnis hat, wie gesagt, die Erfahrung vollauf bestätigt, und man kann etwa annehmen, daß bei Anwendung hoher Überhitzung eine einstufige Expansionsmaschine ebenso wirtschaftlich arbeitet wie eine zweistufige Expansionsmaschine bei Verwendung gesättigten Dampfes, eine zweistufige Expansionsmaschine mit überhitztem Dampfe ebenso wirtschaftlich wie eine dreistufige Expansionsmaschine mit 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 überhitzten Dampfes erreicht wird. Da sich aus den im zweiten Abschnitt angestellten Versuchen ergab, daß namentlich hochüberhitzter Dampf in seinem Verhalten große Ähnlichkeit zeigt mit den Gasen (vgl. S. 32), so folgt daraus, daß bei gleichbleibender Spannung, wie sie ja im Dampfkessel zu herrschen pflegt, das Volumen des überhitzten Dampfes annähernd in demselben Verhältnis steigt wie seine absolute Temperatur (Gesetz von Boyle-Gay-Lussac, S. 23). Dies hat aber für den Dampfmaschinenbetrieb sehr wesentliche Folgen. Zunächst braucht man bei Anwendung überhitzten 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 Überhitzung jede Gewichtseinheit Dampf mehr Wärme enthält als im gesättigten Zustande, und, da Wärme und Arbeit ja gleichwertig sind, wird 1 kg überhitzten 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. 46 f.) darauf hingewiesen worden, daß durch angestregten 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. 49) läßt sich nun bei derartig stark angestregten 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 liest nicht selten von bedeutenden Kohlenersparnissen (30 % und mehr), welche durch Einbau eines Überhitzers in eine bestehende Kesselanlage erzielt wurden. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß dies stets Fälle waren wie der eben erwähnte, wo also der durch einen stark angestregten 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 überhitzten Dampfes von entscheidender 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 überhitzter Dampf, sondern gesättigter Dampf von der dem Austritt entsprechenden Spannung in den Kondensator eintreten wird. Da nun vorher gezeigt wurde, daß bei Verwendung überhitzten Dampfes dieselbe Maschinen-

leistung mit einem geringeren Dampfgewicht erzielt wurde, so folgt daraus, daß bei Verwendung überhitzten 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 überhitzten Dampfes eine Arbeitersparnis und dadurch eine größere Wirtschaftlichkeit der Dampfmaschine erzielt.

Aus dem Gefagten dürften auch ohne theoretische Erörterungen die großen Vorteile der Anwendung des überhitzten 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 unserer neueren Schnelldampfer von einer Leistung von 50 000 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 hochüberhitzten Dampfes bietet, die Heißdampfmaschinen nicht allgemeine und ausschließliche Verwendung finden, liegt darin, daß die hohen Temperaturen in Verbindung mit der großen Trockenheit des überhitzten Dampfes immerhin gewisse Unzuträglichkeiten mit sich bringen, infolge deren die Dampfmaschine eine Reihe von Vorteilen wieder einbüßt, welche sie sonst vor anderen Wärmekraftmaschinen, namentlich vor den Gasmaschinen voraus hat: nämlich die Vorteile der Einfachheit, Betriebssicherheit 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 ganz besondere Aufmerksamkeit, und gerade in dieser Beziehung mußte in der ersten Zeit der Anwendung hochüberhitzten Dampfes häufig genug infolge schadhast gewordener Zylinder usw. von einzelnen Fabriken hohes Lehrgeld 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. Überhitzter Dampf besitzt, wie wir gesehen haben, eine große Ähnlichkeit mit den Gasen; er ist vor allen Dingen durchaus trocken im Gegensatze 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 wenig Schaden anrichten, da der gesättigte Dampf selber eine gewisse Schmierfähigkeit 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 überhitztem Dampfe etwas weniger Arbeit als beim Betriebe mit gesättigtem Dampfe, weil nämlich bei der Überhitzung das Volumen des Dampfes schneller zunimmt als seine Arbeitsfähigkeit. Dieser Umstand ist wohl zu beachten für den Fall, daß vorhandene Maschinen später mit überhitztem Dampfe anstatt mit gesättigtem Dampfe betrieben werden sollen. Jedoch wird in der Regel diesem Übelstande durch eine kleine Umänderung der Steuerung leicht abzuhelpfen sein.

## Vierter 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 Entwicklungszeit 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 Eisenbahnzug 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 Eigenschaften verbittern und vergessen machen, sie heißt mit einem Worte Verschwendungssucht! 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 wirklichen 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, „kosten“ 427 mkg gerade 1 WE, und wenn wir eine Stunde hindurch in jeder Sekunde 75 mkg oder, mit anderen Worten, wenn wir 1 Std-PS leisten wollen, so entspricht das einem „Preise“ von  $\frac{75 \cdot 60 \cdot 60}{427} = 632$  WE. Da nun 1 kg 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 Std-PS zu leisten. Tatsächlich verbrauchen aber kleinere Maschinenanlagen etwa 5 kg Kohle, also rund 37500 WE zur Leistung einer Std-PS, was nach den Erörterungen des ersten Abschnittes (vgl. S. 26) 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 Std-PS 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 Verschwendung darstellt.

**Verhütung von Wärmevergendung.** Es dürfte hier vielleicht der Ort sein, einige kurze Bemerkungen darüber einzufügen, in welcher Weise bei einer Dampfmaschinenanlage einer allzu großen Wärmevergendung 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, Vorausstromung, 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 vermittels sogenannter Wärmeschutzmasse geschieht, das heißt einer Masse, welche, wie z. B. Kork, Kieselgubh 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  $200^{\circ}\text{C}$  — nicht selten findet man Temperaturen von  $500^{\circ}$ , ja selbst bis zu  $1000^{\circ}\text{C}$  —, 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 Rauchgasvorbärmer, unter Umständen vielleicht sogar beides einzubauen. Inwiefern hierdurch die Wirtschaftlichkeit erhöht wird, wurde früher S. 49 und 80 ff. eingehend erläutert.

**Berechnung des Wirkungsgrades aus dem Wärmeverbrauche der Maschine allein.** Wie man aus dem eben Gesagten erkennt, ist es eigentlich unrichtig, 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 anzugehen, und zwar in der Weise, daß man den tatsächlichen Verbrauch in der Maschine selbst feststellt und den aus der Tabelle S. 38 zu berechnenden Wärmeinhalt dieses Dampfes als Wärmeverbrauch der Dampfmaschine angibt.

Der Dampfverbrauch beträgt bei Maschinen mittlerer Leistung etwa 10 kg für 1 Std-PS und sinkt für Maschinen größter Leistung und bester Ausführung auf ungefähr 5 kg und weniger für die Std-PS. Nimmt man z. B. einen Dampfverbrauch von 5 kg für die Std-PS an bei einer Dampfspannung von 12 atm Überdruck = 13 atm abs, so würde, da nach der früher mitgeteilten Tabelle S. 38 die Gesamtwärme von 1 kg

Dampf von 13 atm abs rund 669 WE beträgt, eine solche Dampfmaschine zur Leistung einer Std-PS  $5 \cdot 669 = 3345$  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, 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: Wassergewicht mal Gefälle (d. h. Höhendifferenz).

Um elektrische Energie in Arbeit zu verwandeln, brauchen wir eine Spannungsdifferenz. Die größte Elektrizitätsmenge wäre für uns wertlos, wenn es uns nicht gelänge, eine solche Spannungsdifferenz, oder anders ausgedrückt, ein solches Spannungsgefälle herzustellen. Es ist also auch hier wieder ein Produkt, das Produkt aus Elektrizitätsmenge mal Spannungsdifferenz (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, verständlich sein, wenn gesagt wird, daß gerade so wie die unter Umständen im Wasser und in der Elektrizität, so auch die in der Wärme stehende 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 Er-

zeugung mechanischer Arbeit vollkommen wertlos wären, wenn nicht eine Temperaturdifferenz (oder Temperaturgefälle) vorhanden wäre. Man denke doch nur daran, welche geradezu ungeheuren Wärmemengen beispielsweise in unseren Seen und Meeren enthalten sind. Jedes Kilogramm Wasser von  $12^{\circ}$  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“, so ziemlich wertlos, wir können mit dieser Unmenge von Energie nichts anfangen, denn wir haben keine genügende Temperaturdifferenz, kein genügendes Temperaturgefälle, um diese gewaltigen Wärmemengen ausnutzen zu können. Der Wärmehalt einer einzigen Schaufel voll Kohlen ist uns als „Arbeitswärme“, d. h. als Wärme zur Erzeugung mechanischer Arbeit, wertvoller als der gesamte Wärmehalt 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 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  $12^{\circ}$  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  $12^{\circ}\text{C}$  vor kommen.

Rehren wir noch einmal zurück zu jenen beiden Faktoren, aus denen die in der Wärme steckende Energie besteht. Der eine war das Temperaturgefälle. Geradese 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  $= \frac{Q}{T} \times T = \text{Wärmegewicht mal Temperaturdifferenz}$ . Clausius bezeichnet den Faktor  $\frac{Q}{T}$  mit dem hier nicht näher zu erläuternden Ausdruck „Entropie“, den Dr. F. Auerbach in einer sehr lesenswerten kleinen Schrift „Die Weltherrin und ihr Schatten“ (Jena, 1902) in vorzüglicher Weise allgemeinverständlich dargestellt hat.

**Wärmediagramm (Entropie-Temperatur-Diagramm).** Ein Produkt aus zwei Faktoren läßt sich nun zeichnerisch immer in der Weise darstellen, daß man in einem Neze 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 Augenblicke 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 natürlich zunehmen. Es würde also, wenn wir einige bestimmte Punkte herausgreifen und mit den Zeichen 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 Aus-

druck  $T$  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, als auch in den Punkten  $\left(\frac{Q_2}{T_2}\right)$ ,

$\left(\frac{Q_3}{T_3}\right)$  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. 34) wissen, die Temperatur während der Verdampfung dieselbe, so lange, bis alles Wasser in Dampf verwandelt ist.

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

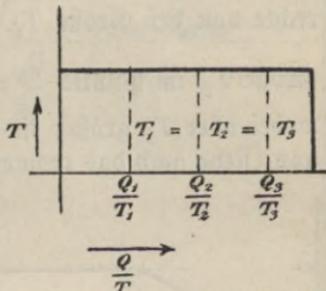


Abb. 31.

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

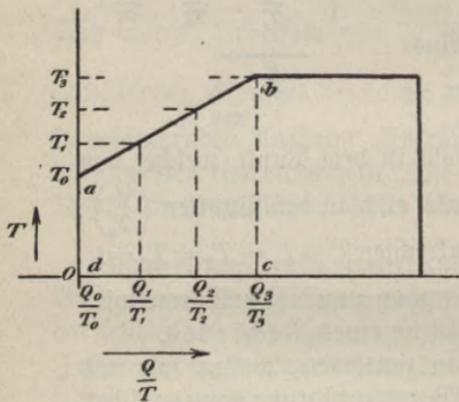


Abb. 32.

Dampfmaschine!), so erhalten wir in Abb. 32 zunächst eine Fläche  $abcd$ , welche oben von einer ansteigenden Linie begrenzt wird. Diese 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 irgendeinem Grunde bei weiterer Wärmezuführung (ebenso wie bei dem ersten Beispiel) die Temperatur dieselbe bleiben, so würde sich, wie jetzt nach Besprechung des ersten Bei-

spiels 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  $\frac{Q_3}{T_3}$  aus) sich nicht mehr änderte.

Drittes Beispiel (Abb. 33). Es liege die Aufgabe vor, eine Dampfmaschine mit Dampf von 3 atm 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. 38, daß zur Erzeugung von 1 kg Dampf von 3 atm 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 zugehörige 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  $\frac{Q_0}{T_0} = 0$  auf-

zutragen. 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.  $Q_1 = 50$  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 ange-

gebenen) Maßstab  $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{50}{322} = 0,155$  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

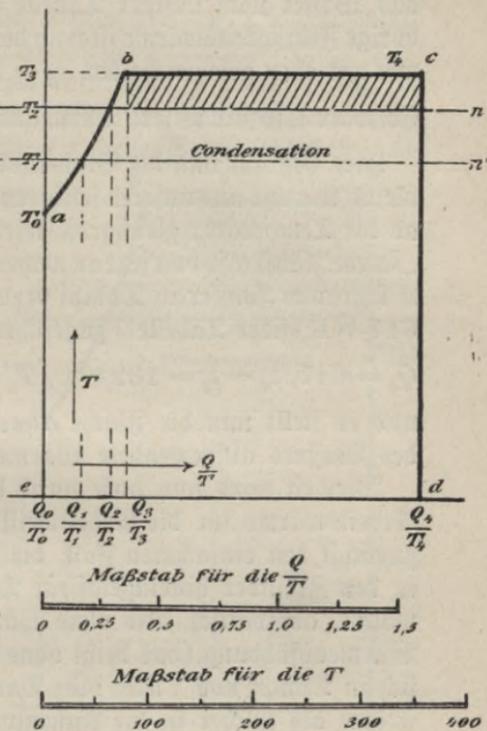


Abb. 33.

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.

$Q_2 = 100$  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 atm 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  $Q_3 = 133,9$  WE, ferner ist, wie wir eben gesehen hatten,  $t_3 = 132,8^\circ \text{C}$  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. 34 ff.) wissen, von jetzt ab die Temperatur gleichgroß, 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  $Q_4 = 647$ ,  $t_4 = t_3 = 132,8^\circ \text{C}$ ,  $T_4 = T_3 = 405,8$ ,  $\frac{Q_4}{T_4} = \frac{647}{405,8} = 1,59$ , und es stellt nun die Fläche *abcde* die insgesamt zur Verdampfung des Wassers aufgewendete Wärme dar.

Wieweit 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 atm 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. 91 gewählten Maßstabe 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

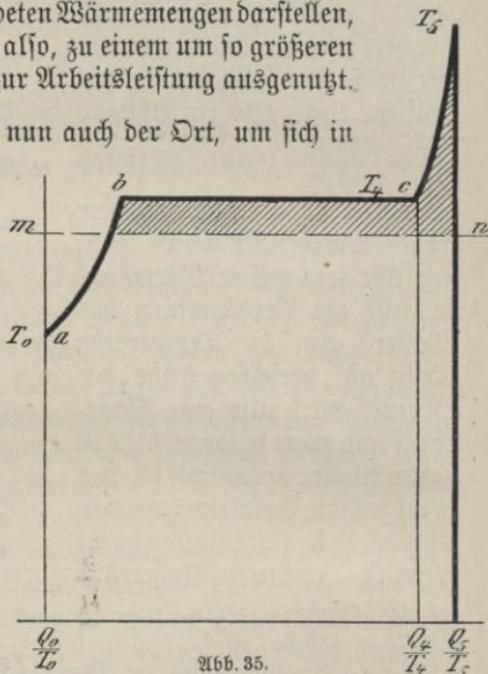


Ein Vergleich der beiden letzten Beispiele und der dazu gehörigen Abbildungen 33 und 34 zeigt nun aber recht deutlich ein sehr wichtiges Ergebnis, welches wir früher bereits aus anderen Betrachtungen und Überlegungen gefunden hatten: den Vorteil der Anwendung hoher Dampfspannungen. Die Größe der im ganzen zugeführten Wärmemenge ist in beiden Fällen, wie wir übrigens auch schon früher, S. 41, 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 Dampfüberhitzung 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. 32, wissen, die Temperatur des Dampfes, und zwar ungefähr in demselben Verhältnisse, als Wärme zugeführt wird. Mit anderen Worten: Bei Vergrößerung der

Abzissen  $\frac{Q}{T}$  über  $\frac{Q_1}{T_1}$  hinaus steigt die obere Begrenzungslinie  $abc$

der Abb. 35 über  $c$  hinaus ebenso an, wie es in der ersten Hälfte des Beispiels 2, S. 90, 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.



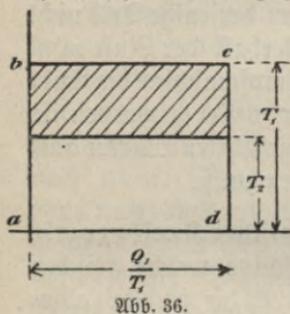
**Wärmeausnutzung bei Kondensationsmaschinen.** Eine weitere Überlegung zeigt, daß, selbst wenn wir die Maschine nicht mit Auspuff, sondern mit Kondensation arbeiten lassen, die Ausnutzung der Wärme nur wenig besser wird. Nehmen wir an, das zum Niederschlagen des Dampfes verwendete Kühlwasser fließe mit einer Temperatur von etwa  $50^{\circ}\text{C}$  aus dem Kondensator ab, dann herrscht, wie unsere Tabelle S. 38 zeigt, im Kondensator eine Spannung von  $0,125$  atm abs. Der in den 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 ( $50^{\circ}\text{C} = 323$  abs) ausdehnen, und die Wärmeabführung geschieht dann bei einer gleichbleibenden Temperatur von  $323$  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  $abcde$  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 günstigster Wirkungsgrad. Carnot'scher 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 Beispiel von der Dampfmaschine, welche mit einer Dampfspannung von  $20$  atm abs und mit Kondensation arbeitet, wäre die höchste Temperatur  $T_1 = 211,3 + 273 = 484,3^{\circ}$  abs, die niedrigste, im Kondensator herrschende Temperatur  $T_2 = 50 + 273 = 323^{\circ}$  abs.) Ist nun  $Q_1$  die bei irgendeinem Kreisprozeß in ganzen zugeführte Wärmemenge, so ist  $\frac{Q_1}{T_1}$  eine ganz bestimmte Größe (z. B. gleich der in Abb. 36 a. f. S. 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 Wärmezuführung 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 heißt, die beste Wärmeausnutzung ergeben, welcher sich in der eben erläuterten Darstellungsweise des Wärmediagramms 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); 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. 25) das Verhältnis der in Arbeit umgewandelten Wärme zu der insgesamt zugeführten Wärme. Das ist ja aber in unserer Darstellungsweise des Wärmediagramms, 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 heißt beim Carnot'schen Kreisprozeß, Rechtecke sind von derselben

Breite  $\frac{Q_1}{T_1}$ , so verhalten sich ihre Flächeninhalte einfach wie ihre Höhen, das heißt 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 **Carnot'schen** Kreisprozeß entspricht. Bei diesem Carnot'schen 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. 26) kürzer sagen können, bei dem günstigsten (Carnot'schen) Kreisprozeß ist

$$\eta_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

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

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 noch anwendbar ist, dürfte wohl etwa 20 atm abs sein. Dies entspräche nach unserer Tabelle (S. 38) bei Verwendung gesättigten Wasserdampfes einer höchsten Temperatur  $T_1$  von rund  $211^\circ\text{C} = 484^\circ\text{abs}$ , wofür wir zur Abrundung einfach  $500^\circ$  setzen wollen. Die niedrigste Temperatur dürfte, wie wir schon früher (S. 70) gefunden hatten, im Mittel etwa  $50^\circ\text{C} = 323^\circ\text{abs}$  betragen, entsprechend einer Kondensatorspannung von rund 0,125 atm 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 allergünstigsten Fall, unter Annahme des günstigsten Kreisprozesses und der allergünstigsten Temperaturgrenzen, wäre es bei Verwendung von Wasserdampf als Kraftmittel nur möglich, 40% der zugeführten Wärme in Arbeit umzusetzen. Wenn wir nun früher (S. 84) einen tatsächlich erreichbaren Wirkungsgrad der Dampfmaschine 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 sogar noch ziemlich wirtschaftlich arbeitet, da sie von den unter jenen günstigsten Verhältnissen überhaupt nur ausnutzbaren 40% der zugeführten 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 Wärmekraftmaschinen die Bestrebungen zur Verbesserung des Wirkungsgrades hauptsächlich wenden müssen:  $\eta_z$  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. 25), werden wir versuchen müssen, vor allen Dingen mit  $T_1$  möglichst weit heraufzugehen, und hierin liegt z. B. ein Grund, warum Dampfmaschinen mit hochüberhitztem Dampf (sogenannte Heißdampfmaschinen) und Gasmaschinen wirtschaftlicher arbeiten als Dampfmaschinen unter Verwendung gesättigten Wasserdampfes.

## Schluß.

### Nachteile der Kolbendampfmaschine.

Bei dem im vorhergehenden Abschnitte besprochenen Übelstande der schlechten Wärmeausnutzung war mit keinem Worte von der Bauweise der Dampfmaschine selbst die Rede. Die vorstehenden Erörterungen 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 Schluß noch einer kurzen Besprechung unterzogen werden mögen.

**Verwickelter 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 Anwendungsgebiet 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 Kurbetriebes genannt werden kann, so haften ihr doch nicht unbedeutende Nachteile an. Der Kurbetrieb selber besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen: Kolben, Kolbenstange, Geradföhrung (in der Regel vermittelt Kreuzkopf und Gleitbahn), Schubstange, Kurbel, Kurbelwelle. 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 vorzüglich geschmiert werden müssen, man bedenke ferner, daß auch eine Nachstellbarkeit in allen diesen Teilen vorgesehen sein muß, da trotz vorzüglichster Schmierung eine Abnutzung auf die Dauer niemals ganz zu vermeiden ist, und man wird erkennen, daß in der That diese so einfach erscheinende Umwandlung

einer hin und her gehenden in eine umlaufende Bewegung, selbst bei vollkommenster Ausführung, eine Reihe großer Übelstände mit sich bringt. Dabei darf auch nicht außer acht gelassen werden, welcher großen Raum diese Umwandlung beansprucht, was in Verbindung mit den Herstellungskosten für alle die oben genannten Teile des Kurbeltriebes den Gesamtpreis der Maschine und damit natürlich auch ihre Wirtschaftlichkeit recht 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 Getriebe 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 Getriebe still —, muß auch das Inbewegungsetzen des Gestänges bei Beginn eines jeden 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 fortschieben, also in Bewegung setzen, daß man sich mit dem Rücken dagegen stemmt und, um einen Gegenhalt zu haben, die Füße gegen eine andere schwere Kiste *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 oben erwähnten Kiste *a*. Der Dampf, der das Gestänge



dieser 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 Zubewegungssetzen (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 sehr schwerer Mängel aufzuweisen hat, und zwar Mängel, welche im Wesen der Maschine selber begründet sind, so daß leider nicht die geringste 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 Wärmekraftmaschinen“, Band 86 dieser Sammlung.

# Sachregister.

- Abkühlungsverluste 78.  
absolute Atmosphäre 29, 30.  
absoluter Nullpunkt 18.  
absolute Temperatur 18.  
Adiabate 22.  
Äquivalent, Wärme— 15.  
Anstrengen des Kessels 46, 80.  
Arbeit 2.  
Arbeitsvermögen 7, 17.  
Atmosphäre 10, 29.  
atmosphärische Maschine 52.  
Aufnehmer 64.  
Außenluftdruck 28.  
äußere Verdampfungswärme 36.  
Auspuffmaschinen 68.  
Boyle 19, 21, 23, 30.  
Calorie 15.  
Compoundmaschine 64.  
Carnot'scher Kreisprozeß 95.  
Dampf, gesättigter 30, 31.  
—kessel 43.  
—spritzen 48.  
—tabelle 38.  
—überhitzter 30, 33.  
—ungesättigter 33.  
—verbrauch von Maschinen 85.  
—wärme 37.  
—wolken 27.  
Diagramm 10, 13, 57 ff.  
doppeltwirkende Maschine 56.  
Drosselung des Dampfes 58.  
Druck, mittlerer indizierter 14.  
Druckwechsel im Gestänge 74.  
Einfachwirkende Maschine 56.  
einstufige Expansion 64.  
Economiser 49.  
Energie 15.  
Entropie 88.  
Ergebnisse der Dampfmaschinen 37.  
—Dampfversuche 33.  
Erhaltung der Energie, Satz von der — 15.  
Expansionsmaschine 59.  
Feuerraum 44.  
Flaschenzug 2.  
Flintenkegel 17.  
Flüssigkeitswärme 36, 39.  
Fundament, Zweck eines —es 101.  
Fuchs 50.  
Gaskonstante 23.  
Gay-Lussac 19, 20, 23, 30.  
Gefälle, Temperatur— 86.  
Gelenkgeradföhrung 12.  
Gesamtwärme 36, 41.  
gesättigter Dampf 30, 31, 34.  
Größe eines Dampfessels 45.  
Guericke 51.  
Hauptsatz erster 16.  
—zweiter 24.  
Heißdampf 75 ff., 98.  
Heizfläche 44, 46.  
Heizgase 44.  
Heizwertmesser 34.  
Hochdruckzylinder 64.  
Indikator 9, 11.  
—diagramm 10, 13.  
Indizieren 9.  
indizierte Pferdestärke 8.  
indizierter Druck 14.  
Innere Verdampfungswärme 36, 41.  
Isotherme 21, 22, 31, 60.  
Kalorie 15.  
Kalorimeter 34.  
Kamin 44.  
Kesselformen 43.  
—größe 45.  
—stein 69.  
Kilogramm 3.  
Kohlensparnisse 80.  
—verbrauch bei Dampfmaschinen 84.  
Kolbenstangen 56.  
—überdruck 57.  
Kompression 72.  
Kondensation 68, 95.  
Kondensator 54, 70.  
Konstante, Gas— 23.  
Kraft 1.  
Krafterzeugung 16.  
—maschinen 3.  
Kreisprozeß 23, 95.  
Kreuzkopf 56.  
künstliche Kühlung 25.  
Kurbel 56.  
—trieb 54.  
Lastenaufzug 41.  
latente Wärme 36.  
Latvine 17.  
Leistung 4  
—einer Maschine 13.  
—eines Pferdes 6.  
—indizierte 10.  
Luftdruck 35.  
Mariotte 21.  
Maschinenleistung 13.  
Massenwirkungen bei Dampfmaschinen 100.

- Mayer, Robert — 15, 16.  
 mechanischer Wirkungsgrad 8.  
 mehrstufige Dampfdehnung 62, 66.  
 Meterkilogramm 3.  
 Mitteldruckzylinder 64.  
 mittlerer indizierter Druck 14.  
 Muskelkraftmaschinen 4.  
 Nass-Dampf 46.  
 Newcomen 52.  
 Niederdruckzylinder 64, 67f.  
 Nullpunkt abf. 18.  
 Nupferde kraft 7.  
 Papin 51.  
 Pendel 1.  
 Pferdekraft 6.  
 Planimeter 13.  
 Rauchgase 50.  
 Rauchgasvorbärmer 49, 80, 85.  
 Raumschaffungsarbeit 35, 41.  
 Receiver 64.  
 Reduziervorrichtung 12.  
 Schädlicher Raum 71.  
 Schonen des Kessels 46.  
 Schornstein 44, 85.  
 Schubstange 56.  
 Spannung 29.  
 Speisewasservorbärmer 50.  
 Steinkohlenwärme 18.  
 Stoßen der Maschine 74.  
 Stundenpferdekraft 26, 84.  
 Tabelle für gesättigte Dämpfe 39.  
 Temperatur, absolute 18.  
 Temperaturgefälle 86.  
 thermischer Wirkungsgrad 25, 83.  
 trockener Dampf 46.  
 Überdruckatmosphären 10, 29.  
 Überdruck, Kolben— 57.  
 Überhitzer 48, 85.  
 überhitzter Dampf 30, 33.  
 Übersetzung 2.  
 ungesättigter Dampf 33, 34.  
 Verbundmaschine 64.  
 Verbrauch an Dampf 85.  
 Verdampfungsfähigkeit eines Kessels 45.  
 Verdampfungswärme 36.  
 verlustlose Dampfmaschine 92, 97.  
 Versuche betr. Dämpfe 28 ff.  
 Volldruckmaschine 56.  
 Vorausströmung 71.  
 Voreinströmung 71.  
 Wärmeäquivalent 15.  
 —ausnützung 92.  
 —bedarf bei Dampfzerzeugung 34, 36.  
 —einheit 15.  
 —diagramm 88.  
 —energie 86.  
 —gewicht 86.  
 —kraftmaschinen 4.  
 —löslichkeit 18.  
 —vergeudung 84.  
 —wert 15.  
 Wasserdampf 27.  
 —inhalt des Kessels 47.  
 —kraftmaschinen 4, 17.  
 —schlag 47, 76.  
 Watt 9, 53.  
 Windkraftmaschinen 4.  
 Wirkungsgrad, mechanischer 8.  
 —, thermischer 25, 83.  
 —, wirtschaftlicher 26.  
 Wirkungsweise d. Dampfmaschinen 51.  
 Züge beim Kessel 44.  
 Zustand eines Gases 19.  
 Zustandsänderung 20 ff., 31.  
 zweistufige Dampfdehnung 64.

# Aus Natur und Geisteswelt

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

**Maschinen-Elemente.** Von Prof. Richard Vater. Mit 184 Abb. [VI u. 110 S.] (Bd. 301.)

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

**Hebezeuge.** Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Prof. R. Vater. Mit 67 Abb. [VI u. 126 S.] (Bd. 196.)

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

**Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen** (Gasmotoren). Von Prof. Richard Vater. 3. Auflage. Mit 53 Abb. [IV u. 143 S.] (Bd. 21.)

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

**Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen.** Von Prof. R. Vater. 2. Aufl. Mit 48 Abb. (Bd. 86.)

Der Verfasser behandelt die einzelnen Maschinengattungen mit Rücksicht auf ihre Vor- und Nachteile, wobei im zweiten Teil, nach Erklärung der grundlegenden Art und Weise, in welcher durch bewegten Wasserdampf überhaupt Arbeit geleistet werden kann, der Versuch unternommen ist, eine möglichst einfache Einführung in die Theorie und den Bau der Dampfmaschine zu geben.

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

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

**Landwirtschaftliche Maschinenkunde.** Von Prof. Dr. Gust. Fischer. Mit 62 Abb. [VI u. 126 S.] (Bd. 316.)

Bietet einen allgemeinverständlichen Überblick über die verschiedenen Arten der landwirtschaftlichen Maschinen und ihre modernsten Vervollkommnungen, indem es, nach einem Überblick über die Bedeutung des Maschinenbetriebes in der Landwirtschaft, zunächst die landwirtschaftlichen Kraftmaschinen und dann die verschiedenen Arten der Arbeitsmaschinen schildert, die das Pflügen, Eggen, Walzen, Säen, Düngen, Hacken, Jäten, die verschiedenen Verrichtungen der Ernte, endlich das Dreschen, die Verarbeitung des Strohes, das Reinigen und Sortieren des Getreides und den Transport sowie auch noch mannigfache andere Erfordernisse des landwirtschaftlichen Betriebes mechanisch besorgen, und schließt mit einem Ausblick auf die Zukunftsaufgaben dieses Zweiges der Technik.

# Aus Natur und Geisteswelt

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

**Die technische Entwicklung der Eisenbahnen der Gegenwart.** Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor E. Biedermann. Mit zahlr. Abb. [VI u. 132 S.] (Bd. 144).

Nach einem geschichtlichen Überblick über die Entwicklung der Eisenbahnen werden die wichtigsten Gebiete der modernen Eisenbahntechnik behandelt: der Oberbau, Entwicklung und Umfang der Spurbahnnetze in den verschiedenen Ländern, die Geschichte des Lokomotivenwesens bis zur Ausbildung der Heißdampflokomotiven einerseits und des elektrischen Betriebes andererseits, sowie die Sicherung des Betriebes durch Stellwerks- und Blockanlagen.

**Klein- und Straßenbahnen.** Von Oberingenieur a. D. Oberlehrer A. Liebmann. Mit 82 Abb. [VIII u. 126 S.] (Bd. 322.)

Will weiteren Kreisen, ohne Voraussetzung von Spezialkenntnissen, einen Einblick in Wesen und Eigenart der in ihrer sozialen Bedeutung immer mehr erkannten Klein- und Straßenbahnen vermitteln, indem es nach einer allgemeinen Würdigung ihrer wirtschaftlichen Bedeutung einen Überblick über Anlage und Bau von Überlandbahnen, elektrische und Stadtbahnen sowie über deren Betriebsmittel: Lokomotiven, Triebwagen, Personen- und Güterwagen sowie sonstige Fahrzeuge, endlich über den Betrieb und Verkehr selber und über verwandte Spezialbahnen und Transporteinrichtungen gibt.

**Das Automobil.** Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ingenieur Karl Blau. Mit 86 Abb. und einem Titelbild. [V u. 126 S.] (Bd. 166.)

Gibt in gedrängter Darstellung und leichtfaßlicher Form einen anschaulichen Überblick über das Gesamtgebiet des modernen Automobils, so daß sich auch der Nichttechniker mit den Grundprinzipien rasch vertraut machen kann. Behandelt werden das Benzinautomobil, das Elektromobil und das Dampfautomobil nach ihren Kraftquellen und sonstigen technischen Einrichtungen wie Zündung, Kühlung, Bremsen, Stundung, Bereifung usw.

**Die Luftschiffahrt,** ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. Raimund Nimführ. 2. Auflage. Mit 42 Abb. [VIII u. 152 S.] (Bd. 300.)

Bietet zum ersten Male in knapper Form eine umfassende Darstellung der wissenschaftlichen Grundlagen und technischen Entwicklung der Luftschiffahrt. Nachdem jene aus den Bedingungen und Gesetzen der Fortbewegung der Körper auf dem Lande und im Wasser entwickelt sind, und gezeigt ist, wie die sich ergebenden Probleme der Bewegungstechnik in der Luft im natürlichen Vogelflug gelöst sind, wird das aerostatische und aerodynamische Prinzip des künstlichen Fluges behandelt. Hierauf folgt eine ausführliche, durch zahlreiche Abbildungen unterstützte Beschreibung der verschiedenen Konstruktionen von Luftschiffen, wobei ein Überblick über den technischen Entwicklungsgang von der Montgolfiere bis zum modernen Aeroplan gegeben wird.

**Das Eisenhüttenwesen.** Erläutert in acht Vorträgen von Geh. Bergrat Professor Dr. Hermann Wedding. 4., vollständig neu bearbeitete Auflage. Mit 24 Abb. [VIII u. 108 S.] (Bd. 20.)

Schildert in gemeinschaftlicher Weise, wie Eisen, das unentbehrlichste Metall, erzeugt und in seine Gebrauchsformen gebracht wird. Besonders wird der Hochofenprozeß nach seinen chemischen, physikalischen und geologischen Grundlagen geschildert, die Erzeugung der verschiedenen Eisenarten und die dabei in Betracht kommenden Prozesse erörtert.

**Die Metalle.** Von Prof. Dr. K. Scheid. 2. Auflage. Mit 16 Abb. [VI u. 148 S.] (Bd. 29.)

Behandelt die für Kulturleben und Industrie wichtigen Metalle, schildert die mutmaßliche Bildung der Erze, die Gewinnung der Metalle aus den Erzen, das Hüttenwesen mit seinen verschiedenen Systemen, die Fundorte der Metalle, ihre Eigenschaften und Verwendung unter Angabe historischer, kulturgeschichtlicher und statistischer Daten sowie die Verarbeitung der Metalle.

# Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher  
Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Jeder Band ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich

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

Übersicht nach Wissenschaften geordnet.

## Allgemeines Bildungswesen. Erziehung und Unterricht.

Das deutsche Bildungswesen in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von weif. Prof. Dr. Friedrich Paulsen. 3. Aufl. Von Prof. Dr. W. Münch. Mit einem Bildnis Paulsens. (Vb. 100.)

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

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

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

Allgemeine Pädagogik. Von Prof. Dr. F. H. Siegle. 3. Aufl. (Vb. 33.)

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

Psychologie des Kindes. Von Prof. Dr. R. Gaupp. 3. Aufl. Mit 18 Abb. (Vb. 213.)

Moderne Erziehung in Haus und Schule. Von F. Tewes. 2. Aufl. (Vb. 159.)

Großstadtpädagogik. Von F. Tewes. (Vb. 327.)

Schulkämpfe der Gegenwart. Von F. Tewes. 2. Aufl. (Vb. 111.)

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

Vom Hilfschulwesen. Von Rektor Dr. B. Maennel. (Vb. 73.)

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

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

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

Die amerikanische Universität. Von Ph. D. C. D. Perry. Mit 22 Abb. (Vb. 206.)

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

Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten. Von Dir. Dr. F. Runners. Mit 48 Abb. u. 1 Titelbild. (Vb. 150.)

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

Schulhygiene. Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 33 Fig. (Vb. 96.)

Jugend-Fürsorge. Von Waisenhaus-Direktor Dr. F. Petersen. 2 Bde. (Vb. 161. 162.)

Vestalozzi. Sein Leben und seine Ideen. Von Prof. Dr. P. Ratory. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis u. 1 Briefsammlung. (Vb. 250.)

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

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

## Religionswissenschaft.

Leben und Lehre des Buddha. Von weif. Prof. Dr. R. BischeI. 2. Aufl. von Prof. Dr. H. Lüders. Mit 1 Tafel. (Vb. 109.)

Germanische Mythologie. Von Prof. Dr. F. v. Regelein. 2. Aufl. (Vb. 95.)

Mystik im Heidentum und Christentum. Von Dr. E. Lehmann. (Vb. 217.)

Palästina und seine Geschichte. Von Prof. Dr. S. Freyberg von Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan u. 6 Ansichten. (Vb. 6.)

## Aus Natur und Geisteswelt.

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

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

## Philosophie und Psychologie.

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

## Literatur und Sprache.

- Die Sprachstämme des Erdkreises. Von weil. Prof. Dr. F. R. Fink. (Bd. 267.)
- Die Haupttypen des menschlichen Sprachbaues. Von weil. Prof. Dr. F. R. Fink. (Bd. 268.)
- Rhetorik. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. Von Dr. E. Geißler. (Bd. 310.)
- Wie wir sprechen. Von Dr. E. Richter. (Bd. 354.)

- Die deutschen Personennamen. Von Direktor A. Bähnisch. (Bd. 296.)
- Das deutsche Volkslied. Über Wesen und Werden des deutschen Volksgefanges. Von Dr. J. W. Bruhier. 4. Aufl. (Bd. 7.)
- Die deutsche Volks Sage. Von Dr. O. Bödel. (Bd. 262.)
- Das Theater. Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altertum bis auf die Gegenwart. Von Dr. Chr. Gachde. Mit 20 Abb. (Bd. 230.)
- Das Drama. Von Dr. B. Busse. Mit Abbildungen. 2 Bde. (Bd. 287/288.)
- Bd. I: Von der Antike zum französischen Klassizismus. (Bd. 287.)
- Bd. II: Von Versailles bis Weimar. (Bd. 288.)
- Geschichte der deutschen Lyrik seit Claudius. Von Dr. S. Spiero. (Bd. 254.)
- Schiller. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit Bildnis Schillers. 2. Aufl. (Bd. 74.)
- Das deutsche Drama des neunzehnten Jahrhunderts. In seiner Entwicklung dargestellt von Prof. Dr. G. Witkowski. 3. Aufl. Mit 1 Bildn. Hebbels. (Bd. 51.)
- Deutsche Romantik. Von Prof. Dr. O. F. Walzel. 2. Aufl. (Bd. 232.)
- Friedrich Hebbel. Von Dr. A. Schapire-Neurath. Mit 1 Bildn. Hebbels. (Bd. 238.)
- Gerhart Hauptmann. Von Prof. Dr. E. Sulger-Gebing. Mit 1 Bildn. Gerhart Hauptmanns. (Bd. 283.)
- Henrik Ibsen. Björnsterne Björnson und ihre Zeitgenossen. Von weil. Prof. Dr. B. Kahle. Mit 7 Bildn. (Bd. 193.)
- Shakespeare und seine Zeit. Von Prof. Dr. E. Sieper. Mit 3 Taf. u. 3 Textb. (Bd. 185.)

### Bildende Kunst und Musik.

- Bau und Leben der bildenden Kunst. Von Dir. Prof. Dr. Th. Volbehr. Mit 44 Abb. (Bd. 68.)
- Die Ästhetik. Von Dr. R. Hamann. (Bd. 345.)
- Die Entwicklungsgeschichte der Stile in der bildenden Kunst. Von Dr. E. Cohn-Wiener. 2 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 317/318.)
- Band I: Vom Altertum bis zur Gotik. Mit 57 Abb. (Bd. 317.)
- Band II: Von der Renaissance bis zur Gegenwart. Mit 31 Abb. (Bd. 318.)
- Die Blütezeit der griechischen Kunst im Spiegel der Relieffarndphage. Eine Einführung in die griechische Plastik. Von Dr. S. Wachtler. Mit 8 Taf. u. 32 Abb. (Bd. 272.)
- Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Prof. Dr. A. Matthaei. 3. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 8.)
- Deutsche Baukunst seit dem Mittelalter bis zum Ausgang des 18. Jahrhunderts. Von Prof. Dr. A. Matthaei. Mit 62 Abb. u. 3 Taf. (Bd. 326.)
- Die deutsche Illustration. Von Prof. Dr. R. Rauhsch. Mit 35 Abb. (Bd. 44.)
- Deutsche Kunst im täglichen Leben bis zum Schlusse des 18. Jahrhunderts. Von Prof. Dr. B. Saenbde. Mit 63 Abb. (Bd. 198.)
- Albrecht Dürer. Von Dr. R. Wustmann. Mit 33 Abb. (Bd. 97.)
- Rembrandt. Von Prof. Dr. P. Schüring. Mit 50 Abb. (Bd. 158.)
- Niederländische Malerei im 17. Jahrhundert. Von Dr. S. Janzen. Mit zahlr. Abbild. (Bd. 373.)
- Ostasiatische Kunst und ihr Einfluß auf Europa. Von Direktor Prof. Dr. H. Graul. Mit 49 Abb. (Bd. 87.)
- Kunstpflege in Haus und Heimat. Von Superintendent Richard Würner. 2. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 77.)
- Geschichte der Gartenkunst. Von Reg.-Baum. Chr. Raack. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)
- Die Grundlagen der Tonkunst. Versuch einer genetischen Darstellung der allgemeinen Musiklehre. Von Prof. Dr. S. Rietzsch. (Bd. 178.)
- Einführung in das Wesen der Musik. Von Prof. E. R. Hennig. (Bd. 119.)
- Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der Tasteninstrumente. Von Prof. Dr. O. Bie. (Bd. 325.)
- Geschichte der Musik. Von Dr. Fr. Spiero. (Bd. 143.)
- Haydn, Mozart, Beethoven. Von Prof. Dr. E. Krebs. Mit 4 Bildn. (Bd. 92.)
- Die Blütezeit der musikalischen Romantik in Deutschland. Von Dr. E. Fstel. Mit 1 Silhouette. (Bd. 239.)
- Das Kunstwerk Richard Wagners. Von Dr. E. Fstel. Mit 1 Bildnis R. Wagners. (Bd. 330.)
- Das moderne Orchester in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit Faciturbespr. u. 2 Instrumententab. (Bd. 308.)

**Geschichte und Kulturgeschichte.**

- Das Altertum im Leben der Gegenwart. Von Prof. Dr. P. Cauer. (Bd. 356.)
- Kulturbilder aus griechischen Städten. Von Oberlehrer Dr. E. Ziebarth. 2. Aufl. Mit 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 131.)
- Pompeji, eine hellenistische Stadt in Italien. Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn. 2. Aufl. Mit 62 Abb. (Bd. 114.)
- Soziale Kämpfe im alten Rom. Von Privatdoz. Dr. L. Bloch. 2. Aufl. (Bd. 22.)
- Roms Kampf um die Welt Herrschaft. Von Prof. Dr. F. Kromayer. (Bd. 368.)
- Byzantinische Charakterköpfe. Von Privatdoz. Dr. R. Dieterich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.)
- Germanische Kultur in der Urzeit. Von Prof. Dr. G. Steinhausen. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)
- Mittelalterliche Kulturideale. Von Prof. Dr. B. Fedel. 2 Bde. (Bd. 292.)
- Bd. I: Heldenleben. (Bd. 293.)
- Bd. II: Ritterromantik.
- Deutsches Frauenleben im Wandel der Jahrhunderte. Von Dir. Dr. E. Otto. 2. Aufl. Mit 27 Abb. (Bd. 45.)
- Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter. Von Prof. Dr. B. Heil. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppeltafel. (Bd. 43.)
- Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland. Von Reg.-Baum. a. D. H. Erbe. Mit 59 Abb. (Bd. 117.)
- Das deutsche Dorf. Von R. Mielke. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)
- Das deutsche Haus und sein Hausrat. Von Prof. Dr. R. Meringer. Mit 106 Abb. (Bd. 116.)
- Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses. Von Reg.-Baum. Chr. Raack. Mit 70 Abb. (Bd. 121.)
- Geschichte des deutschen Bauernstandes. Von Prof. Dr. H. Gerdes. Mit 21 Abb. (Bd. 320.)
- Das deutsche Handwerk in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung. Von Dir. Dr. E. Otto. 3. Aufl. Mit 27 Abb. (Bd. 14.)
- Deutsche Volksfeste und Volksitten. Von H. S. Rehm. Mit 11 Abb. (Bd. 214.)
- Deutsche Volkstrachten. Von Pfarrer C. Spieß. (Bd. 342.)
- Familienforschung. Von Dr. E. Devrient. (Bd. 350.)
- Die Münze als hist. Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben. Von Prof. Dr. A. Luschin v. Ebengreuth. Mit 53 Abb. (Bd. 91.)
- Das Buchgewerbe und die Kultur. Sechs Vorträge, gehalten im Auftrage des Deutschen Buchgewerbevereins. Mit 1 Abb. (Bd. 182.)
- Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. D. Weise. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 4.)
- Das Zeitungswesen. Von Dr. H. Diez. (Bd. 328.)
- Das Zeitalter der Entdeckungen. Von Prof. Dr. E. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltk. (Bd. 26.)
- Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte. Von Prof. Dr. D. Weber. (Bd. 123, 124.)
- Friedrich der Große. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. Mit 2 Bildn. (Bd. 246.)
- Geschichte der Französischen Revolution. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. (Bd. 346.)
- Napoleon I. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 195.)
- Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrh. Von Prof. Dr. R. Th. v. Seigel. 2. Aufl. (Bd. 129.)
- Restauration und Revolution. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 37.)
- Die Reaktion und die neue Ära. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 101.)
- Vom Bund zum Reich. Neue Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 102.)
1848. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. D. Weber. 2. Aufl. (Bd. 53.)
- Österreichs innere Geschichte von 1848 bis 1907. Von Richard Charmaß. 2 Bde. [1 2. Aufl.] Band I: Die Vorkherrschaft der Deutschen. (Bd. 242.) Band II: Der Kampf der Nationen. (Bd. 243.)
- Englands Weltmacht in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrhundert bis auf unsere Tage. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. Mit 19 Bildn. (Bd. 174.)
- Geschichte der Vereinigten Staaten von Amerika. Von Prof. Dr. C. Daenell. (Bd. 147.)
- Die Amerikaner. Von R. M. Butler. Deutsche Ausg. bes. von Prof. Dr. W. Paszkowski. (Bd. 319.)

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

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

**Rechts- und Staatswissenschaft. Volkswirtschaft.**

Deutsches Fürstentum und dtsch. Verfassungsw. Von Prof. Dr. Ed. Hubrich. (Bd. 80.)  
 Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches. Von Prof. Dr. E. Voening. 3. Aufl. (Bd. 34.)  
 Moderne Rechtsprobleme. Von Prof. Dr. F. Kohler. (Bd. 128.)  
 Die Psychologie des Verbrechers. Von Dr. P. Pollak. Mit 5 Diagrammen. (Bd. 248.)  
 Strafe und Verbrechen. Von Dr. P. Pollak. (Bd. 323.)  
 Verbrechen und Aberglaube. Skizzen aus der volkskundlichen Kriminalistik. Von Kammergerichtsrat Dr. A. Sellwig. (Bd. 212.)  
 Das deutsche Zivilprozessrecht. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 315.)  
 Ehe und Ehre. Von Prof. Dr. L. Wahrmund. (Bd. 115.)  
 Der gewerbliche Rechtsschutz in Deutschland. Von Patentanw. B. Tolksdorf. (Bd. 138.)  
 Die Miete nach dem B. G. B. Ein Handb. für Juristen, Mieter und Vermieter. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 194.)  
 Das Wahlrecht. Von Reg.-Rat Dr. O. Poensgen. (Bd. 249.)  
 Die Jurisprudenz im häuslichen Leben. Für Familie und Haushalt dargestellt. Von Rechtsanw. P. Wienengraber. 2 Bde. (Bd. 219, 220.)  
 Finanzwissenschaft. Von Prof. Dr. E. P. Altmann. (Bd. 306.)  
 Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von G. Maier. 4. Aufl. (Bd. 2.)  
 Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrh. Von Privatdoz. Dr. Fr. Mucke. 2 Bände. (Bd. 269, 270.) Band I: Der rationale Sozialismus. (Bd. 269.) Band II: Proudhon und der entwicklungsgeschichtliche Sozialismus. (Bd. 270.)  
 Geschichte des Welthandels. Von Prof. Dr. M. G. Schmidt. 2. Aufl. (Bd. 118.)

Geschichte d. deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 237.)  
 Deutschlands Stellung in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. P. Knudt. (Bd. 179.)  
 Deutsches Wirtschaftsleben. Auf geographischer Grundlage geschildert. Von Prof. Dr. Chr. Gruber. 3. Aufl. Neubearb. von Dr. S. Reinlein. (Bd. 42.)  
 Die Dittmar. Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte. Von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)  
 Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im letzten Jahrh. Von Prof. Dr. L. Pohle. 2. Aufl. (Bd. 57.)  
 Das Hotelwesen. Von Paul Damm-Stienne. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)  
 Die deutsche Landwirtschaft. Von Dr. W. Glaaben. Mit 15 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 215.)  
 Innere Kolonisation. Von A. Brenning. (Bd. 261.)  
 Antike Wirtschaftsgeschichte. Von Dr. O. Neurath. (Bd. 258.)  
 Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben. Von Prof. J. L. Laughlin. Mit 9 graph. Darst. (Bd. 127.)  
 Die Japaner in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. R. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.)  
 Die Gartenstadtbewegung. Von Generalsekr. S. Kampffmeier. Mit 43 Abb. (Bd. 259.)  
 Das internationale Leben der Gegenwart. Von A. S. Fried. Mit 1 Tafel. (Bd. 226.)  
 Bevölkerungslehre. Von Prof. Dr. M. Haushofer. (Bd. 50.)  
 Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung. Von Prof. Dr. O. v. Zwiédineck-Südenhorst. 2. Aufl. (Bd. 78.)  
 Das Recht der kaufmännischen Angestellten. Von Rechtsanwalt Dr. M. Strauß. (Bd. 361.)  
 Die Konsumgenossenschaft. Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)  
 Die Frauenarbeit. Ein Problem des Kapitalismus. Von Prof. Dr. R. Wilbrandt. (Bd. 106.)  
 Grundzüge des Versicherungswesens. Von Prof. Dr. A. Manes. 2. Aufl. (Bd. 105.)

Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800—1900 (fortgeführt bis zur Gegenwart). Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft. Von Prof. Dr. W. Vog. 3. Aufl. (Bd. 15.)

Das Postwesen, seine Entwicklung und Bedeutung. Von Postr. J. Bruns. (Bd. 165.) Die Telegraphie in ihrer Entwicklung und Bedeutung. Von Postr. J. Bruns. Mit 1 Fig. (Bd. 183.) Deutsche Schifffahrt und Schifffahrtspolitik der Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Zehf. (Bd. 169.)

### Erdfunde.

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

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

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

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

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

Politische Geographie. Von Dr. E. Schöne. (Bd. 353.)

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

Diseegebiet. Von Privatdozent Dr. G. Braun. (Bd. 367.)

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

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

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

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

Der Orient. Eine Länderkunde. Von E. Hanse. 3 Bde. Mit zahlr. Abb. u. 8 Karten. (Bd. 277, 278, 279.)

Band I: Die Atlasländer. Marokko, Algerien, Tunesien. Mit 15 Abb., 10 Kartenskizzen, 3 Diagr. u. 1 Tafel. (Bd. 277.)

Band II: Der arabische Orient. Mit 29 Abb. u. 7 Diagr. (Bd. 278.) Band III: Der arische Orient. Mit 34 Abb., 3 Kartenskizzen u. 2 Diagr. (Bd. 279.)

### Anthropologie. Heilwissenschaft und Gesundheitslehre.

Der Mensch der Urzeit. Vier Vorlesungen aus der Entwicklungs-geschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. A. Heilborn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 62.)

Die moderne Heilwissenschaft. Weisen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Biernacki. Deutsch von Dr. Ebel. (Bd. 25.)

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

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

Arzneimittel und Genußmittel. Von Prof. Dr. D. Schmiedeberg. (Bd. 363.)

Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers. Von Prof. Dr. H. Sachs. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 39.)

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

I. Teil: Allg. Anatomie und Entwicklungs-geschichte. Mit 69 Abb. (Bd. 201.) II. Teil: Das Skelett. Mit 53 Abb. (Bd. 202.)

III. Teil: Das Muskel- und Gefäßsystem.

Mit 68 Abb. (Bd. 203.) IV. Teil: Die Eingeweide (Darm, Atmungs-, Harn- u. Geschlechtsorgane). Mit 38 Abb. (Bd. 204.)

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

Moderne Chirurgie. Von Prof. Dr. Feßler. Mit 16 Abb. (Bd. 339.)

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

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

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

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

Schulhygiene. Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 33 Fig. (Bd. 96.)

Vom Nerven-system, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele in gesundem und krankem Zustande. Von Prof. Dr. R. Sander. 2. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 48.)

- |  |   |
|--|---|
| <p>Die fünf Sinne des Menschen. Von Prof. Dr. J. K. Kreibitz. 2. Aufl. Mit 30 Abb. (Bd. 27.)</p> <p>Das Auge des Menschen und seine Gesundheitspflege. Von Prof. Dr. med. G. Abelsdorff. Mit 15 Abb. (Bd. 149.)</p> <p>Die menschliche Stimme und ihre Hygiene. Von Prof. Dr. P. H. Gerber. 2. Aufl. Mit 20 Abb. (Bd. 136.)</p> <p>Die Geschlechtskrankheiten, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Bekämpfung und Verhütung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 4 Abb. und 1 Tafel. (Bd. 251.)</p> <p>Die Tuberkulose, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 1 Tafel und 8 Figuren. (Bd. 47.)</p> <p>Die krankheitsregenden Bakterien. Von Privatdoz. Dr. M. Loehlein. Mit 33 Abb. (Bd. 307.)</p> | <p>Geisteskrankheiten. Von Anstaltsoberarzt Dr. G. Fiberg. (Bd. 151.)</p> <p>Krankenpflege. Von Chefarzt Dr. B. Leif. (Bd. 152.)</p> <p>Gesundheitslehre für Frauen. Von weif. Privatdoz. Dr. R. Sticher. Mit 13 Abb. (Bd. 171.)</p> <p>Der Säugling, seine Ernährung und seine Pflege. Von Dr. W. Kaup. Mit 17 Abb. (Bd. 154.)</p> <p>Der Alkoholsmus. Von Dr. G. W. Gruber. Mit 7 Abb. (Bd. 103.)</p> <p>Ernährung und Volksnahrungsmittel. Von weif. Prof. Dr. J. Frenkel. 2. Aufl. Neu bearb. von Geh. Rat Prof. Dr. R. Zunk. Mit 7 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 19.)</p> <p>Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Prof. Dr. R. Bander. 3. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 13.)</p> |
|--|---|

### Naturwissenschaften. Mathematik.

- |  |  |
|--|--|
| <p>Naturwissenschaften u. Mathematik im klassischen Altertum. Von Prof. Dr. Joh. L. Seiberg. (Bd. 370.)</p> <p>Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Prof. Dr. F. Auerbach. 3. Aufl. Mit 79 Fig. (Bd. 40.)</p> <p>Die Lehre von der Energie. Von Dr. A. Stein. Mit 13 Fig. (Bd. 257.)</p> <p>Moleküle — Atome — Weltäther. Von Prof. Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 58.)</p> <p>Die großen Physiker und ihre Leistungen. Von Prof. Dr. F. A. Schulze. Mit 7 Abb. (Bd. 324.)</p> <p>Werdegang der modernen Physik. Von Dr. S. Keller. (Bd. 343.)</p> <p>Einführung in die Experimentalphysik. Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit zahlr. Abb. (Bd. 371.)</p> <p>Das Licht und die Farben. Von Prof. Dr. L. Graeb. 3. Aufl. Mit 117 Abb. (Bd. 17.)</p> <p>Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Von Prof. Dr. R. Börnstein u. Prof. Dr. W. Markwald. 2. Aufl. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)</p> <p>Die optischen Instrumente. Von Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. Mit 84 Abb. (Bd. 88.)</p> <p>Die Brille. Von Dr. M. von Rohr. Mit zahlr. Abb. (Bd. 372.)</p> <p>Spektroskopie. Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abb. (Bd. 284.)</p> <p>Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung. Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abb. (Bd. 35.)</p> | <p>Das Stereoskop und seine Anwendungen. Von Prof. Th. Hartwig. Mit 40 Abb. u. 19 Taf. (Bd. 135.)</p> <p>Die Lehre von der Wärme. Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 33 Abb. (Bd. 172.)</p> <p>Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von Dr. S. Alt. Mit 45 Abb. (Bd. 311.)</p> <p>Luft, Wasser, Licht und Wärme. Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimentalchemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. 3. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)</p> <p>Das Wasser. Von Privatdoz. Dr. D. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)</p> <p>Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe. Von Dr. B. Bavinck. Mit 7 Fig. (Bd. 187.)</p> <p>Die Erscheinungen des Lebens. Von Prof. Dr. S. Mische. Mit 40 Fig. (Bd. 130.)</p> <p>Abstammungslehre und Darwinismus. Von Prof. Dr. R. Hesse. 3. Aufl. Mit 37 Fig. (Bd. 39)</p> <p>Experimentelle Biologie. Von Dr. C. Thejling. Mit Abb. 2 Bde. Band I: Experimentelle Zellforschung. (Bd. 336.)</p> <p>Band II: Regeneration, Transplantation und verwandte Gebiete. (Bd. 337.)</p> <p>Einführung in die Biochemie. Von Prof. Dr. W. Loh. (Bd. 352.)</p> <p>Der Befruchtungsvorgang, sein Wesen und seine Bedeutung. Von Dr. C. Thejlingmann. Mit 7 Abb. u. 4 Doppeltaf. (Bd. 70.)</p> <p>Das Werden und Vergehen der Pflanzen. Von Prof. Dr. P. Gisevius. Mit 24 Abb. (Bd. 173.)</p> |
|--|--|

- Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen.** Von Prof. Dr. E. Küster. Mit 38 Abb. (Bd. 112.)
- Unsere wichtigsten Kulturpflanzen (die Getreidearten).** Von Prof. Dr. K. Giesenhagen. 2. Aufl. Mit 38 Fig. (Bd. 10.)
- Die fleischfressenden Pflanzen.** Von Dr. A. Wagner. Mit 1 Abb. (Bd. 344.)
- Der deutsche Wald.** Von Prof. Dr. H. Hausrath. Mit 15 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 153.)
- Die Pilze.** Von Dr. A. Eichinger. Mit 54 Abb. (Bd. 334.)
- Weinbau und Weinbereitung.** Von Dr. F. Schmitthenner. (Bd. 332.)
- Der Obstbau.** Von Dr. E. Voges. Mit 13 Abb. (Bd. 107.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Zimmer.** Von Prof. Dr. U. Dammer. (Bd. 359.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Garten.** Von Prof. Dr. U. Dammer. (Bd. 360.)
- Kolonialbotanik.** Von Prof. Dr. F. Zabler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
- Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Getränke.** Von Prof. Dr. A. Wielez. Mit 24 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 132.)
- Die Milch und ihre Produkte.** Von Dr. A. Reih. (Bd. 326.)
- Die Pflanzenwelt des Mikroskops.** Von Bürgerchullehrer E. Reutkauf. Mit 100 Abb. (Bd. 181.)
- Die Tierwelt des Mikroskops (die Urtiere).** Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 39 Abb. (Bd. 160.)
- Die Beziehungen der Tiere zueinander und zur Pflanzenwelt.** Von Prof. Dr. R. Kraepelin. (Bd. 79.)
- Der Kampf zwischen Mensch und Tier.** Von Prof. Dr. K. Eckstein. 2. Aufl. Mit 51 Fig. (Bd. 18.)
- Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie.** Von Prof. Dr. R. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)
- Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der Wirbeltiere.** Von Prof. Dr. W. Lubowich. Mit 107 Abb. (Bd. 232.)
- Die Stammesgeschichte unserer Haustiere.** Von Prof. Dr. C. Kellner. Mit 28 Fig. (Bd. 252.)
- Die Fortpflanzung der Tiere.** Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)
- Tierzüchtung.** Von Dr. G. Wilsdorf. (Bd. 369.)
- Deutsches Vogelleben.** Von Prof. Dr. A. Voigt. (Bd. 221.)
- Vogelzug und Vogelschutz.** Von Dr. W. R. Eckardt. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)
- Korallen und andere gesteinsbildende Tiere.** Von Prof. Dr. W. May. Mit 455 Abb. (Bd. 231.)
- Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere.** Von Prof. Dr. D. Raas. Mit 11 Karten u. Abb. (Bd. 139.)
- Die Bakterien.** Von Prof. Dr. E. Gutzeit. Mit 13 Abb. (Bd. 233.)
- Die Welt der Organismen. In Entwicklung und Zusammenhang dargestellt.** Von Prof. Dr. R. Lampert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.)
- Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus).** Von Dr. Fr. Knauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)
- Die Ameisen.** Von Dr. Fr. Knauer. Mit 61 Fig. (Bd. 94.)
- Das Süßwasser-Plankton.** Von Prof. Dr. D. Zacharias. 2. Aufl. Mit 49 Abb. (Bd. 156.)
- Meeresforschung und Meeresleben.** Von Dr. D. Janson. 2. Aufl. Mit 41 Fig. (Bd. 30.)
- Das Aquarium.** Von E. W. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 335.)
- Wind und Wetter.** Von Prof. Dr. L. Weber. 2. Aufl. Mit 28 Fig. u. 3 Tafeln. (Bd. 55.)
- Gut und schlecht Wetter.** Von Dr. R. Hennig. (Bd. 349.)
- Der Kalender.** Von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. (Bd. 69.)
- Der Bau des Weltalls.** Von Prof. Dr. F. Scheiner. 3. Aufl. Mit 26 Fig. (Bd. 24.)
- Entstehung der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft.** Von Prof. Dr. W. Weinfein. (Bd. 223.)
- Aus der Vorzeit der Erde.** Von Prof. Dr. Fr. Frech. In 6 Bdn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abbildungen. (Bd. 207—211, 61.)
- Band I: Vulkane einst und jetzt.** Mit 80 Abb. (Bd. 207.)
- Band II: Gebirgsbau und Erdbeben.** Mit 57 Abb. (Bd. 208.)
- Band III: Die Arbeit des fließenden Wassers.** Mit 51 Abb. (Bd. 209.)
- Band IV: Die Arbeit des Ozeans und die chemische Tätigkeit des Wassers im allgemeinen.** Mit 1 Titelbild und 51 Abb. (Bd. 210.)
- Band V: Kohlenbildung und Klima der Vorzeit.** (Bd. 211.)
- Band VI: Gletscher einst und jetzt.** 2. Aufl. (Bd. 61.)
- Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit.** Von Prof. Dr. S. Oppenheim. Mit 24 Abb. (Bd. 110.)
- Probleme der modernen Astronomie.** Von Prof. Dr. S. Oppenheim. (Bd. 355.)
- Die Sonne.** Von Dr. A. Krause. Mit zahlreichen Abb. (Bd. 357.)
- Der Mond.** Von Prof. Dr. F. Franz. Mit 31 Abb. (Bd. 90.)
- Die Planeten.** Von Prof. Dr. W. Peter. Mit 18 Fig. (Bd. 240.)

**Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht.** Von Prof. Dr. P. Cranz. In 2 Bdn. Mit zahlr. Fig. (Bd. 120, 205.) I. Teil: Die Rechnungsarten. Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten. Gleichungen zweiten Grades. 2. Aufl. Mit 9 Fig. (Bd. 120.) II. Teil: Gleichungen. Arithmetische und geometrische Reihen. Zinseszins- und Rentenrechnung. Komplexere Zahlen. Binomischer Lehrsatz. 2. Aufl. Mit 21 Fig. (Bd. 205.)

**Praktische Mathematik.** Von Dr. R. Neundorff. I. Teil: Graphisches u. numerisches Rechnen. Mit 62 Figuren und 1 Tafel. (Bd. 341.)

**Planimetrie zum Selbstunterricht.** Von Prof. Dr. P. Cranz. Mit 99 Fig. (Bd. 340.)

**Einführung in die Infinitesimalrechnung mit einer historischen Übersicht.** Von Prof. Dr. G. Kowalewski. Mit 18 Fig. (Bd. 197.)

**Mathematische Spiele.** Von Dr. W. Ahrens. 2. Aufl. Mit 70 Fig. (Bd. 170.)

**Das Schachspiel und seine strategischen Prinzipien.** Von Dr. M. Lange. Mit den Bildnissen E. Kasfers und P. Morphus, 1 Schachbretttafel und 43 Darst. von Übungsspielen. (Bd. 281.)

## Angewandte Naturwissenschaft. Technik.

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

**Bilder aus der Ingenieurtechnik.** Von Baurat R. Merdel. Mit 43 Abb. (Bd. 60.)

**Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit.** Von Baurat R. Merdel. 2. Aufl. Mit 55 Abb. (Bd. 28.)

**Die Handfeuerwaffen. Ihre Entwicklung und Technik.** Von Hauptmann R. Weiß. Mit 69 Abb. (Bd. 364.)

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

**Das Eisenhüttenwesen.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. S. Wedding. 3. Aufl. Mit 15 Fig. (Bd. 20.)

**Die Metalle.** Von Prof. Dr. R. Scheid. 2. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 29.)

**Mechanik.** Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Föhring. 3 Bde. (Bd. 303/305.)

Band I: Die Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abb. (Bd. 303.) Band II: Die Mechanik der flüssigen Körper. Mit 34 Abb. (Bd. 304.) Band III: Die Mechanik der gasförmigen Körper. (In Vorb.) (Bd. 305.)

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

**Sebezeuge. Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper.** Von Prof. R. Vater. Mit 67 Abb. (Bd. 196.)

**Dampf und Dampfmaschine.** Von Prof. R. Vater. 2. Aufl. Mit 45 Abb. (Bd. 63.)

**Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen).** Von Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 33 Abb. (Bd. 21.)

**Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen.** Von Prof. R. Vater. 2. Aufl. Mit 48 Abb. (Bd. 86.)

**Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte.** Von Kais. Geh.

Reg.-Rat A. v. Föhring. Mit 73 Fig. (Bd. 228.)

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

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

**Die technische Entwicklung der Eisenbahnen der Gegenwart.** Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinsp. E. Biederer. Mit 50 Abb. (Bd. 144.)

**Die Klein- und Straßenbahnen.** Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)

**Das Automobil. Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens.** Von Ing. R. Blau. 2. Aufl. Mit 83 Abb. (Bd. 166.)

**Grundlagen der Elektrotechnik.** Von Dr. R. Blochmann. Mit 128 Abb. (Bd. 168.)

**Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung.** Von Telegrapheninspektor S. Brid. Mit 58 Abb. (Bd. 235.)

**Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik.** Von Telegrapheninspektor S. Brid. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)

**Die Funkentelegraphie.** Von Oberpostpraktikant S. Thurn. Mit 53 Illust. (Bd. 167.)

**Nautik.** Von Dir. Dr. J. Möller. Mit 58 Fig. (Bd. 255.)

**Die Luftschiffahrt, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung.** Von Dr. R. Nimführ. 2. Aufl. Mit 42 Abb. (Bd. 300.)

**Die Beleuchtungsarten der Gegenwart.** Von Dr. W. Brück. Mit 155 Abb. (Bd. 108.)

**Erzierung und Rüstung.** Von Ingenieur J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)

- |   |   |
|---|---|
| <b>Industrielle Feuerungsanlagen und Dampf-<br/>kessel.</b> Von Ingenieur J. E. Mayer.<br>(Bd. 348.)  | <b>Chemie und Technologie der Sprengstoffe.</b><br>Von Prof. Dr. R. Viedermann. Mit<br>15 Fig. (Bd. 286.)   |
| <b>Die Uhr.</b> Von Reg.-Bauführer a. D. S.<br>Bod. Mit 47 Abb. (Bd. 216.)                            | <b>Photochemie.</b> Von Prof. Dr. G. Küm-<br>mell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)   |
| <b>Wie ein Buch entsteht.</b> Von Prof. A. B.<br>Unger. 3. Aufl. Mit 7 Taf. u. 26 Abb.<br>(Bd. 175.)  | <b>Die Kinematographie.</b> Von Dr. S. Lehmann.<br>(Bd. 358.)   |
| <b>Einführung in die chemische Wissenschaft.</b><br>Von Prof. Dr. W. Löb. Mit 16 Fig.<br>(Bd. 264.)   | <b>Elektrochemie.</b> Von Prof. Dr. R. Arndt.<br>Mit 38 Abb. (Bd. 234.)   |
| <b>Bilder aus der chemischen Technik.</b> Von<br>Dr. A. Müller. Mit 24 Abb. (Bd. 191.)                | <b>Die Naturwissenschaften im Haushalt.</b> Von<br>Dr. J. Bongardt. 2 Bde. Mit zahlr.<br>Abb. (Bd. 125, 126.)   |
| <b>Der Luftstickstoff und seine Verwertung.</b><br>Von Prof. Dr. K. Kaiser. Mit 13 Abb.<br>(Bd. 313.) | <b>I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die<br/>Gesundheit der Familie? Mit 31 Abb.<br/>(Bd. 125.) II. Teil: Wie sorgt die Haus-<br/>frau für gute Nahrung? Mit 17 Abb.<br/>(Bd. 126.)</b> |
| <b>Agrikulturchemie.</b> Von Dr. P. Frische.<br>Mit 21 Abb. (Bd. 314.)                                | <b>Chemie in Küche und Haus.</b> Von weif.<br>Prof. Dr. G. Abel. 2. Aufl. von Dr.<br>J. Klein. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)   |
| <b>Die Bierbrauerei.</b> Von Dr. A. Bau. Mit<br>47 Abb. (Bd. 333.)                                    |   |

# Die Kultur der Gegenwart ihre Entwicklung und ihre Ziele

Herausgegeben von Professor Paul Hinneberg

Von Teil I und II sind erschienen:

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

Bearb. von: W. Lexis, Fr. Paulsen, G. Schöppa, G. Kersch-  
steiner, A. Matthias, H. Gaudig, W. v. Dyck, E. Pallat, K. Kraepelin,  
J. Lessing, O. N. Witt, P. Schlenther, G. Göhler, K. Bücher, R. Pietschmann, F. Milkau,  
H. Diels. 2. Aufl. (XIV u. 716 S.) Lex.-8. 1912. Geh. M. 18.—, in Leinwand geb. M. 20.—

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

## Teil I. Die orientalischen Religionen. Bearb. von: E. Lehmann, A. Erman, C. Bezold, H.

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

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

## Teil I. Geschichte der christlichen Religion. Mit Einleitung: Die Abt. 4, I: dische Religion. Bearbeitet von J. Wellhausen, A. Jülicher, A. Harnack,

N. Bonwetsch, K. Müller, A. Ehrhard, E. Troeltsch. 2., stark vermehrte und verbesserte  
Auflage. (X u. 792 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 18.—, in Leinwand geb. M. 20.—

# Die Kultur der Gegenwart

**Teil I, Systematische christliche Religion.** Bearbeitet von: E. Troeltsch, J. Pohle, Abt. 4. II: J. Mausbach, C. Krieg, W. Herrmann, R. Seeberg, W. Faber, H. J. Holtzmann.

2., verb. Auflage. (VIII u. 279 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 6.60, in Leinwand geb. M. 8.—

„... Die Arbeiten des ersten Teiles sind sämtlich, dafür bürgt schon der Name der Verfasser, ersten Ranges. Am meisten Aufsehen zu machen verspricht Troeltsch, Aufriß der Geschichte des Protestantismus und seiner Bedeutung für die moderne Kultur. ... Alles in allem, der vorliegende Band legt Zeugnis ab dafür, welche bedeutende Rolle für die Kultur der Gegenwart Christentum und Religion spielen.“ (Zeitschr. f. Kirchengeschichte.)

**Teil I, Allgemeine Geschichte der Philosophie.** Bearbeitet v.: W. Wundt, Abt. 5: H. Oldenberg, J. Goldziher, W. Grube, T. Jnouye, H. v. Arnim, Cl. Baeumker.

W. Windelband. (VIII u. 572 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 12.—, in Leinw. geb. M. 14.—

„... Man wird nicht leicht ein Buch finden, das, wie die ‚Allgemeine Geschichte der Philosophie‘ von einem gleich hohen überblickenden und umfassenden Standpunkt aus, mit gleicher Klarheit und Tiefe und dabei in fesselnder Darstellung eine Geschichte der Philosophie von ihren Anfängen bei den primitiven Völkern bis in die Gegenwart und damit eine Geschichte des geistigen Lebens überhaupt gibt.“ (Zeitschrift f. lateinl. höh. Schulen.)

**Teil I, Systematische Philosophie.** Bearbeitet von: W. Dilthey, A. Riehl, W. Wundt, W. Ostwald, Abt. 6: H. Ebbinghaus, R. Eucken, Fr. Paulsen, W. Münch, Th. Lipps. 2. Aufl. (X u. 435 S.)

Lex.-8. 1908. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—

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

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

**Teil I, Die orientalischen Literaturen.** Bearbeitet von: E. Schmidt, A. Erman, C. Bezold, H. Gun-

Abt. 7: kel, Th. Nöldeke, M. J. de Goeje, R. Pischel, K. Geldner, P. Horn, F. N. Finck, W. Grube, K. Florenz. (IX u. 419 S.) Lex.-8. 1906. Geh. M. 10.—, in Leinw. geb. M. 12.—

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

**Teil I, Die griechische und lateinische Literatur und**

Abt. 8: **Sprache.** Bearbeitet von: U. v. Wilamowitz-Moellendorf, K. Krumbacher, J. Wackernagel, Fr. Leo, E. Norden, F. Skutsch. 3. Auflage.

(VIII u. 582 S.) Lex.-8. 1912. Geh. M. 12.—, in Leinwand geb. M. 14.—

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

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

Abt. 9: von: V. v. Jagić, A. Wesselovsky, A. Brückner, J. Máchal, M. Murko, A. Thumb, Fr. Riedl, E. Setälä, G. Suits, A. Bezzenberger, E. Wolter. (VIII u. 396 S.) Lex.-8.

1908. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—

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

# Die Kultur der Gegenwart

## Teil I, Die romanischen Literaturen und Sprachen

Abt. 11, I: mit Einschluß des Keltischen. Bearbeitet von: H. Zimmer, K. Meyer, L. Chr. Stern, H. Morf, W. Meyer-Lübke. (VIII u. 499 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 12.—, in Leinw. geb. M. 14.—

„Auch ein kühler Beurteiler wird diese Arbeit als ein Ereignis bezeichnen. . . Die Darstellung ist derart durchgearbeitet, daß sie in vielen Fällen auch der wissenschaftlichen Forschung als Grundlage dienen kann.“ (Jahrbuch für Zeit- u. Kulturgeschichte.)

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

Abt. 2, I: I. Hälfte. Bearb. v.: A. Vierkandt, L. Wenger, M. Hartmann, O. Franke, K. Rathgen, A. Luschin v. Ebengreuth. (VII u. 373 S.) Lex.-8. 1911. Geh. M. 10.—, in Leinw. geb. M. 12.—

Dieser Band behandelt, dem Charakter des Gesamtwerkes entsprechend, in großzügiger Darstellung aus der Feder der berufensten Fachleute die allgemein historisch und kulturgeschichtlich wichtigen Tatsachen der Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte und führt einerseits von den Anfängen bei den primitiven Völkern und den Völkern des orientalischen Altertums über die islamischen Staaten bis zu den modernen Verhältnissen in China und Japan, andererseits vom europäischen Altertum und den Germanen bis zum Untergang des römischen Reiches deutscher Nation.

## Teil II, Staat und Gesellschaft des Orients.

Bearbeitet von: A. Vierkandt, G. Maspero, M. Hartmann, O. Franke, K. Rathgen. [Unter der Presse.]

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

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

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

## Teil II, Staat und Gesellschaft der neueren Zeit

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

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

## Teil II, Systematische Rechtswissenschaft.

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

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

## Teil II, Allgemeine Volkswirtschaftslehre.

Von W. Lexis. (VI u. 259 S.) Abt. 10, I: Lex.-8. 1910. Geh. M. 7.—, in Leinwand geb. M. 9.—

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

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

**Mathematische Bibliothek.** Gemeinverständliche Darstellungen aus der  
Elementar-Mathematik für Schule und Leben.  
Herausgegeben von Dr. W. Lietzmann und Dr. A. Witting. In Kleinoktavbändchen.  
Kartonierte je *M* —.£0.

Zunächst sind erschienen:

1. E. Löffler, Ziffern und Ziffernsysteme der Kulturvölker in alter und neuer Zeit.
2. H. Wieleitner, der Begriff der Zahl in seiner logischen u. histor. Entwicklung. Mit 10 Figuren.
3. W. Lietzmann, der pythagoreische Lehrsatz mit einem Ausblick auf das Fermatsche Problem. Mit 44 Figuren.
4. O. Meißner, Wahrscheinlichkeitsrechnung nebst Anwendungen. Mit 6 Figuren.

**Encyklopädie der Elementar-Mathematik.** Ein Handbuch für  
Lehrer u. Studierende  
von H. Weber und J. Wellstein, Professoren an der Universität Straßburg. In 3 Bänden.  
gr. 8. In Leinwand geb.

- I. Elementare Algebra und Analysis. Bearb. von H. Weber. 3. Aufl. Mit 40 Fig. 1909. *M* 10.—
- II. Elemente der Geometrie. Bearbeitet von H. Weber, J. Wellstein und W. Jacobsthal. 2. Auflage. Mit 251 Figuren. 1907. *M* 12.—
- III. Angewandte Elementar-Mathematik. 2. Auflage. I. Teil: Mathematische Physik. Mit einem Buch über Maxima und Minima von H. Weber und J. Wellstein. Bearbeitet von Rudolph H. Weber, Professor in Rostock. Mit 254 Figuren. 1910. *M* 12.—  
II. Teil: Praktische Mathematik und Astronomie. [Unter der Presse.]

**Grundlehren der Mathematik.** In 2 Teilen. Mit vielen Figuren. gr. 8.  
In Leinwand geb.

- I. Teil: Die Grundlehren der Arithmetik und Algebra. Bearbeitet von E. Netto und C. Färber. 2 Bände.  
I. Band: Arithmetik. Von Prof. Dr. C. Färber in Berlin. Mit 9 Figuren. 1911. *M* 9.—  
II. Band: Algebra. Von Prof. E. Netto in Gießen. [In Vorbereitung.]
- II. Teil: Die Grundlehren der Geometrie. Bearb. von W. Frz. Meyer u. H. Thieme. 2 Bände.  
I. Band: Die Elemente der Geometrie. Bearbeitet von Prof. Dr. H. Thieme, Direktor des Realgymnasiums zu Bromberg. Mit 323 Figuren. 1909. *M* 9.—  
II. Band. [In Vorbereitung.]

**Elemente der Mathematik.** Von Prof. Dr. E. Borel. Deutsche Ausgabe von  
Dr. P. Stäckel, Professor an der Techn. Hochschule  
in Karlsruhe. In 2 Bänden. gr. 8. In Leinwand geb.

- I. Band: Arithmetik und Algebra. Mit 57 Figuren und 3 Tafeln. 1903. *M* 8.60.
- II. Band: Geometrie. Mit 403 Figuren. 1909. *M* 6.40.

**Elemente der Mathematik.** Von J. Tannery, Professor an der Universität  
Paris. Deutsche Ausgabe von Dr. P. Klaffel  
in Echternach. Mit einem Einführungswort von F. Klein. gr. 8. 1909. Geh. *M* 7.—,  
in Leinwand geb. *M* 8.—

**Taschenbuch für Mathematiker und Physiker.** Unter Mitwirk.  
zahlreich. Fach-  
gelehrter herausgegeben von F. Auerbach und R. Rothe. II. Jahrgang 1910/11. Mit einem  
Bildnis H. Minkowskis. 8. 1912. In Leinwand geb. *M* 7.—

**Die Elemente der analytischen Geometrie.** Von Dr. H. Ganter,  
Prof. an der Kanton-  
schule zu Aarau, und Dr. F. Rudio, Professor am Polytechnikum zu Zürich. Mit zahl-  
reichen Übungsbeispielen. gr. 8. In 2 Teilen. In Leinwand geb. je *M* 3.—

- I. Die analytische Geometrie der Ebene. 7., verbesserte Auflage. Mit 53 Figuren. 1910.
- II. Die analytische Geometrie des Raumes. 4., verbesserte Auflage. Mit 20 Figuren. 1908.

## Zur Biologie · Botanik · Zoologie

**Die Fundamente der Entstehung der Arten.** Zwei in den Jahren 1842 und 1844 verfaßte Essays. Von Charles Darwin. Hrsg. von seinem Sohn Francis Darwin. Dtsch. Übersetzung v. Maria Semon. Geh. M. 4.—, in Leinw. geb. M. 5.—

Man findet in diesen Fundamenten die Keime zur Entstehung der Arten, zu fast allen späteren Werken Darwins deutlich vorgebildet.

**Experimentelle Zoologie.** Von Th. Hunt Morgan, Deutsche autorisierte und verb. Ausgabe von H. Rhumbler. Mit zahlr. Abb. Geh. M. 11.—, in Leinw. geb. M. 12.—

**Das Verhalten der niederen Organismen unter natürlichen und experiment. Bedingungen.** Von H. S. Jennings. Deutsch von Dr. E. Mangold. Mit 144 Fig. Geh. M. 9.—, in Leinwand geb. M. 10.—

... Der klare und durchsichtige Aufbau der Gedankengänge, die sorgfältigen Zusammenfassungen in den einzelnen Abschnitten und die ansprechende Darstellung sind geeignet, das Verständnis für eine Reihe komplizierter Fragen auch in weitere, naturwissenschaftlich denkende Kreise zu tragen...“ (Botanische Zeitung.)

**Lebensweise und Organisation.** Von Prof. Dr. P. Deegener, Privatdoz. an der Universität Berlin. Eine Einführung in die Biologie der wirbellosen Tiere. Mit 154 Abb. gr. 8. In Leinw. geb. M. 6.—

Das vorliegende Buch ist von einem bestimmten theoretischen Standpunkt aus geschrieben, ohne doch in einer Theorie zu gipfeln. Es will dem selbstdenkenden Leser Materialien an die Hand geben, ein eigenes, begründetes Urteil zu gewinnen, und enthält sich daher tunlichst breiter theoretischer Darlegungen.

**Blumen und Insekten, ihre Anpassung aneinander und ihre gegenseitige Abhängigkeit.** Von Prof. Dr. O. v. Kirchner. Mit 2 Taf. u. 159 Fig. Geh. M. 6.60, in Leinw. geb. M. 7.50.

**Instinkt und Gewohnheit.** Von C. Lloyd Morgan, F.R.S. Autoris. deutsche Übersetzung von M. Semon. Geh. M. 5.—, in Leinw. geb. M. 6.—

„Dieses sehr beachtenswerte Werk ist so flott überetzt worden, daß seine Lektüre ein wahrer Genuß ist. Auch der naturwissenschaftlich interessierte Laie wird unbedingt auf seine Kosten kommen.“ (Münchener Neueste Nachr.)

**Einführung in die Biologie.** Von Dr. K. Kraepelin. 2. Aufl. Mit 303 Abb., 5 farbigen Taf. u. 2 Karten. In Leinw. geb. M. 4.—

... Jeder, der naturwissenschaftlicher Betrachtungsweise nicht völlig abgeneigt ist und der die elementaren Vorkenntnisse dazu mitbringt, wird in diesem Buche mit hohem Genuß und Augen lesen...“ (Dtsch. Literaturztg.)

**Blütengeheimnisse.** Eine Blütenbiologie in Einzelbildern. Von Prof. Dr. Georg Morgitzky. Mit 47 Abb., u. 1 farb. Tafel von P. Slanderky. 2., verm. Aufl. In Leinw. geb. M. 3.—

„Ein vortreffliches und reizend illustriertes kleines Buch, das allen Freunden der Pflanzenwelt willkommen sein wird...“ (Gaea.)

**Naturgeschichte für die Großstadt.** Von W. Pfalz. 2 Teile in Leinwand geb. je M. 3.—

I. Teil: Tiere u. Pflanzen der Straßen, Plätze, Anlagen, Gärten und Wohnungen. Mit 50 Federzeichnungen.  
II. Teil: Aquarium und Terrarium, Pflanzen der Gärten, Wohnungen, Anlagen und des Palmenhauses. Mit 54 Federzeichnungen.

**Botanisch-Geologische Spaziergänge i. d. Umgebung v. Berlin.** Von Dr. W. Gothan. Mit 23 Figur. Geh. M. 1.80, in Leinw. geb. M. 2.40.

**Unsere Pflanzen.** Ihre Namensklärung und ihre Stellung in der Mythologie und im Volksaberglauben. Von Dr. Franz Söhns. 4. Auflage. Mit Buchschmuck von J. V. Cisarz. In Leinwand geb. M. 3.—

**Mittelmeerbilder.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Theobald Fischer. Gesammelte Abhandlungen zur Kunde der Mittelmeerländer. Geb. M. 7.—  
Neue Folge. Mit 8 Karten. Geb. M. 7.—

„... Ein Meister ländereundlicher Darstellung spricht hier zu uns, aber in einer Sprache, die sich bei allem wissenschaftlichen Ernst doch immer in den Grenzen allgemeiner Verständlichkeit und allgemeinen Interesses hält.“  
(Deutsche Literaturzeitung.)

**Das Mittelmeergebiet.** Von Dr. A. Philippson. Seine geographische und kulturelle Eigenart. 2. Aufl. Mit 9 Fig. im Text, 13 Ansichten u. 10 Karten auf 15 Tafeln. Geb. . . . . M. 7.—

„Von dem höchsten Standpunkte aus, auf den die heutige Wissenschaft den Forscher zu stellen vermag, läßt der Verfasser seinen Leser die unendliche, von nicht auszugewöhnenden Reizen verklärte Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen am Mittelmeer überschauen.“  
(Norddeutsche Allgemeine Zeitung.)

**Ostasienfahrt.** Von Professor Dr. Franz Doflein. Erlebnisse und Beobachtungen eines Naturforschers in China, Japan und Ceylon. Mit zahlr. Abbild. und Karten. Geb. M. 13.—

„... Dofleins Ostasienfahrt gehört zu den allerersten Reisebeschreibungen, die Ref. überhaupt kennt. Es liegt eine solche Fülle feinsten Natur- und Menschenbeobachtung in dem Werk, über das Ganze ist ein solcher Zauber künstlerischer Auffassung gegossen, daß das Ganze nicht wie eine Reisebeschreibung wirkt, sondern wie ein Kunstwerk.“  
(Die Umschau.)

**Die Polarwelt und ihre Nachbarländer.** Von Professor Dr. Otto Nordenstjöld. Mit 77 Abbildungen. Geb. . . . . M. 8.—

**Weltreisebilder.** Von Julius Meurer. Mit 116 Abb. sowie einer Weltkarte. Geb. . . . . M. 9.—

„... Ich möchte behaupten, daß der ‚Meurer‘ unter Umständen bessere Dienste tun kann als der ‚Baedeker‘.“  
(Die Zeit.)

**Lehrbuch der Physik.** Von E. Grimsehl. Große Ausgabe. 2. Auflage. Mit 1296 Fig., 2 farb. Tafeln u. einem Anhange, enthaltend Tabellen physikalischer Konstanten und Zahlentabellen. gr. 8. 1912. Geb. M. 15.—, in Leinw. geb. M. 16.—

„Auch der gebildete Laie, der das Bedürfnis hat, auf Grund einer guten naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung seine physikalischen Kenntnisse zu vertiefen, wird das Buch mit Nutzen verwenden können. .... Mit einem Worte, das Buch verdient in wissenschaftlicher, methodischer und didaktischer Hinsicht volle Anerkennung.“  
(Natur und Erziehung.)

**Populäre Astrophysik.** Von Dr. J. Scheiner. 2., ergänzte Auflage. Mit 30 Tafeln und 210 Figuren. gr. 8. 1912. In Leinw. geb. M. 14.—

„... Und soweit es überhaupt möglich ist, dem Laien einen Einblick in diese schwierige Materie zu erschließen, dürfte der Verfasser seine Aufgabe mit großer Geschicklichkeit gelöst haben. Der Vortrag Scheiners ist populärwissenschaftlich im besten Sinne: klar, eindringlich, frei von allen jetzt üblichen Mäßen der naturwissenschaftlichen Populärschriftsteller. Vortreffliche Abbildungen unterstützen das Verständnis des vorliegenden Textes.“  
(Propyläen.)

„Das Buch ist zum mindesten für den Laien zu einem Kompendium der Astrophysik geworden. Sehr unterstützt wird der Text durch ein passend gewähltes und vorzüglich ausgeführtes Illustrationsmaterial.“  
(Deutsche Literaturzeitung.)

**Experimentelle Elektrizitätslehre,** verbunden mit einer Einführung in die Maxwell'sche und die Elektronentheorie der Elektrizität und des Lichts. 2. Auflage. Mit 334 Abbildungen. gr. 8. 1910. In Leinwand geb. M. 12.—

„... Nur durch so echt wissenschaftliche Behandlung, also durch feste theoretische Fundierung, konnte auf so kleinem Raum so viel gebracht werden, und zwar so gebracht werden, daß man es bei der Lektüre wirklich ‚erlebt‘. Auch die prinzipiellen Seiten der technischen Anwendung sind sehr ausgiebig eingefügt, so daß das Buch gleichzeitig eine Einführung in die Elektrotechnik ist, wie es zurzeit kaum eine bessere in Deutschland gibt. Die Ausstattung ist dem Gehalte entsprechend.“  
(S. Th. Simon in der Physikalischen Zeitschrift.)

## Wertvolle Jugendschriften

**Deutsches Märchenbuch.** Von Prof. Dr. Oskar Dähnhardt. Mit vielen Zeichnungen und farbigen Originallithographien von E. Kuitman und K. Mühlmeister. 2 Bände. [I. Band. 2. Auflage.] Geb. je M. 2.20.

**Naturgeschichtliche Volksmärchen.** Von Prof. Dr. Oskar Dähnhardt. 2 Bände. 3. Aufl. Mit Zeichnungen von O. Schwindrazheim. Geb. je M. 2.40.

**Schwänke aus aller Welt.** Herausg. von Prof. Dr. Oskar Dähnhardt. Mit 52 Original-Abbildungen von A. Kolb. Geb. M. 3.—

**Unsere Jungs.** Von F. Gansberg und H. Eildermann. Geschichten für Stadtkinder. 2. Aufl. Geb. M. 1.50.

**Deutsche Heldenjagen.** Von K. H. Keß. 2. Auflage von Dr. B. Busse. Mit Künstler-Steinzeichnungen von R. Engels. 2 Bände. Geb. je M. 3.—

**Die Sagen des klassischen Altertums.** Von H. W. Stoll. 6. Auflage. Neu bearbeitet von Dr. H. Lamer. 2 Bände mit 79 Abbildungen. Geb. je M. 3.60, in einem Bande M. 6.—

**Die Götter des klassischen Altertums.** Von H. W. Stoll. 8. Auflage. Neu bearbeitet von Dr. H. Lamer. Geb. M. 4.50.

**Karl Kraepelins Naturstudien** (m. Zeichnungen v. O. Schwindrazheim). Im Hause (4. Aufl. Geb. M. 3.20); in Wald und Feld (3. Auflage. Geb. M. 3.60); in der Sommerfrische (Reiseplaudereien. 2. Auflage. Geb. M. 3.60); in fernen Zonen (Plaudereien in der Dämmerstunde. Geb. M. 3.60). **Volksausgabe** (vom hamburger Jugendschriften-Ausfuß ausgewählt). 2. Auflage. Geb. M. 1.—

**Streifzüge durch Wald und Flur.** Eine Anleitung zur Beobachtung der heimischen Natur in Monatsbildern. Von Prof. Bernh. Landsberg. 4. Auflage. Mit 83 Abbildungen. Geb. M. 5.—

**Hinaus in die Ferne!** Zwei Wanderfahrten deutscher Jungen durch deutsche Lande, erzählt von Dr. E. Neuendorff. Geb. M. 3.20.

**Natur-Paradoxe.** Von Dr. C. Schäffer. 2. Auflage. Mit 3 Tafeln und 79 Abbildungen. Geb. M. 3.—

**Der Heine Geometer.** Von G. C. und W. H. Houg. Deutsch von S. und F. Bernstein. Mit 127 Abbildungen. Geb. M. 3.—

**Naturwissenschaftliche Schülerbibliothek.** Von Dr. Bastian Schmid. In dauerhaften Oktavbänden mit vielen Abbildungen. Preis eines jeden Bandes, wenn nicht anders angegeben, in Leinwand geb. M. 3.—

1—2. **Physikalisches Experimentierbuch.** Von H. Rebenstorff. 2 Teile. 3. **An der See.** Von Dr. P. Dahms. 4. **Große Physiker.** Von Dr. H. Kieferstein. 5. **Himmelsbeobachtung mit bloßem Auge.** Von Fr. Rusch. M. 3.50. 6—7. **Geologisches Wanderbuch.** Von K. G. Voll. 2 Teile. I. Teil M. 4.—. 8. **Küstenwanderungen.** Von Dr. V. Franz. 9. **Anleitung zu photographischen Naturaufnahmen.** Von G. E. S. Schulz. 10. **Die Luftschiffahrt.** Von Dr. R. Nimführ. 11. **Vom Einbaum zum Linienschiff.** Von K. Radunz. 12. **Vegetations schilderungen.** Von Dr. P. Graebner. 13. **An der Werkbank.** Von E. Scheidlen. 14—15. **Chemisches Experimentierbuch.** Von Dr. K. Scheid. 2 Teile. I. Teil. 3. Auflage. II. Teil. Oberstufe in Vorbereitung. — Weitere Bände befinden sich in Vorbereitung.

# Schaffen und Schauen

Zweite Auflage Ein Führer ins Leben Zweite Auflage

1. Band:

Von deutscher Art  
und Arbeit



2. Band:

Des Menschen Sein  
und Werden

Unter Mitwirkung von

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

Jeder Band in Leinwand gebunden M. 5.—

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

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

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

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

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

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

20  
Dr. R. Hesse  
Professor an der Landwirtschaftlichen  
Hochschule in Berlin

und  
Dr. S. Doflein  
Professor der Zoologie an der Universität  
Freiburg i. Br.

# Tierbau und Tierleben

in ihrem Zusammenhang betrachtet

2 Bände. Leg.-8.

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

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

- I. Band: **Der Tierkörper als selbständiger Organismus.**  
Von R. Hesse. Mit 480 Abbild. u. 15 Tafeln. [XVII u. 789 S.] 1910.  
II. Band: **Das Tier als Glied des Naturganzen.** Von S. Doflein. [Erscheint im Winter 1912.]

## Aus den Besprechungen:

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

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

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

(Lit. Jahresbericht des Pädagogischen Bundes.)

„... Das Hessesche Werk faßt nicht alles Wissenswerte aus weiten Forschungsgebieten kurz zusammen, sondern behandelt diese in umfangreicher, erschöpfender und nach Form und Inhalt mustergültiger Darstellung. Das Buch ist als grundlegend anzusehen und von bleibendem Wert. Jeder Sachmann wie Laie muß und wird es mit größtem Interesse und größter Freude lesen. Das Buch wendet sich an einen großen Leserkreis, an alle, die die Tiere als Ganzes kennen lernen wollen, die naturwissenschaftliche Anregung suchen und die eine gute, allgemeine Bildung besitzen, und wird an seinem Teil die Liebe zur Natur und die Freude am Beobachten fördern helfen.“ (Kölnische Zeitung.)

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

S-96  
BIBLIOTEKA POLITECHNICZEA  
KRAKÓW

S. 61

**Künstlerischer Wandschmuck für das deutsche Haus**

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

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



Nr. 250. C. Selber: Bach im Winter. 41x50 cm.  
N. 250. In dunkelbraunem Eichenrahmen M. 7.—

Verfl. farbige Wiedergabe der Orig.-Lithographie.

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

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

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



**I-301556**

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295878