

Fo 244

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

R. Vater

Die neueren Wärmeraftmaschinen

II

Dritte Auflage



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig



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

Die Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“

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

Es ist gewiß durchaus unmöglich und unnötig, daß alle Welt sich mit geschichtlichen, naturwissenschaftlichen und philosophischen Studien befasse. Es kommt nur darauf an, daß jeder an einem Punkte die Freiheit und Selbständigkeit des geistigen Lebens gewinnt. In diesem Sinne bieten die einzelnen, in sich abgeschlossenen Schriften eine Einführung in die einzelnen Gebiete in voller Ausführlichkeit 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 stereotyptiert, sondern werden — was freilich die Aufwendungen sehr wesentlich erhöht — bei jeder Auflage durchaus neu bearbeitet und völlig neu gesetzt.

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

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

Leipzig.

B. G. Teubner.

B.I. 79.b.

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

86. Bändchen

IV 1811 Fg 24 II

Die neueren

Wärmekraftmaschinen

II. Gaserzeuger, Großgasmaschinen,
Dampf- und Gasturbinen

Von

Richard Vater

Professor an der Kgl. Bergakademie in Berlin

Dritte, völlig umgearbeitete Auflage

Mit 45 Abbildungen



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

621 433 : 621.165



401/2



C2-I. 401/2

Copyright 1913 by B. G. Teubner in Leipzig

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsberechtes, vorbehalten

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage.

Das vorliegende Bändchen stellt eine Ergänzung und Fortsetzung der beiden Bändchen 21 und 63 dieser Sammlung dar.

Die Erklärung der Grundbegriffe der Mechanik und mechanischen Wärmetheorie, die ich in den beiden anderen kleinen Büchern als einleitenden ersten Abschnitt vorausgeschickt hatte, sind in diesem Bändchen schon des beschränkten Raumes wegen fortgelassen. Wem also Begriffe wie Pferdekraft, Indikator, thermischer und mechanischer Wirkungsgrad usw. nicht geläufig sind, findet das zum Verständnis Nötige in den beiden genannten Bändchen 21 und 63 dieser Sammlung.

Berlin, November 1905.

R. Vater.

Vorwort zur dritten Auflage.

Auf jedem der behandelten Gebiete sind seit dem Erscheinen der letzten Auflage so bedeutende Fortschritte gemacht worden, daß eine umfangreiche Neubearbeitung unabwendlich war. Dazu kommt noch, daß die Dieselmashine in den letzten Jahren gewaltige Fortschritte gemacht hat und ihre Anwendung so zugenommen hat, daß sie in einem Buch über Großgasmaschinen nicht mehr fehlen durfte. Auch bei der Gasturbine ist man aus dem Zustand tastender Versuche zum Bau einer betriebsfähigen Maschine gelangt und so mußte auch dieser Abschnitt eine durchgreifende Änderung erfahren.

Unter diesen Umständen war starke Kürzung an anderen Stellen nicht zu vermeiden, sollte der Umfang des Buches nicht über das zulässige Maß hinaus anwachsen. Maschinen, die heute vom Markte verschwunden sind, wie die Öchelhäuser-Maschine, die Laval-Turbine usw., sind daher fortgelassen oder wenigstens nur noch ganz kurz erwähnt worden, ebenso habe ich, um Raum zu gewinnen, von einer in den früheren Auflagen enthaltenen eingehenden Schilderung des Kampfes zwischen Sauggasmashine und Lokomobile abgesehen, zumal sich diese Verhältnisse inzwischen so weit geklärt haben, daß von einem so scharfen Wettbewerbe, wie er früher vorhanden war, jetzt nicht mehr die Rede ist.

Das kleine Buch soll und kann nur einen ganz allgemeinen Überblick über das behandelte Gebiet geben. Möge es auch in der neuen Auflage einen so allgemeinen Beifall finden, wie dies zu meiner Freude bei den ersten beiden Auflagen der Fall war.

Berlin-Grunewald, im März 1913.

R. Vater.

Inhaltsübersicht.

Erster Teil.

Gasmaschinen.

Erster Abschnitt.

Gaserzeuger.

| | |
|---|----|
| Erstes Kapitel: Luftgas, Wassergas, Mischgas | 3 |
| Vollkommene und unvollkommene Verbrennung (3). Luftgas, Wassergas (4). Mischgas (5). | |
| Zweites Kapitel: Mischgas als Druckgas | 7 |
| Verfahren von Dowson. Hauptnachteile der Druckgaserzeugung (7). | |
| Drittes Kapitel: Mischgas als Sauggas | 9 |
| Vereinfachung der Herstellungsweise (9). Vorteile des Saugverfahrens (10). Nachteil der Sauggasanlage gegenüber der Druckgasanlage. Beschreibung einer Sauggasanlage (12). | |
| Viertes Kapitel: Die für die Vergasung geeigneten Brennstoffe . . | 14 |
| Schwierigkeiten bei Verwendung gashaltiger und backender Brennstoffe (14). Vorteile von Anthrazit und Koks. Notwendigkeit von Reinigungsanlagen (15). Vergasung von Braunkohle (16). Vergasung von Torf. Vergasung bituminöser Steinkohlen (18). Vergasung minderwertiger Brennstoffe (19). | |
| Fünftes Kapitel: Betrieb und Wirtschaftlichkeit der Sauggasanlagen | 21 |

Zweiter Abschnitt.

Großgasmaschinen.

| | |
|--|----|
| Erstes Kapitel: Entwicklung der Gasmashine zur Großgasmaschine | 23 |
| Geschichtliches (23). Schwierigkeiten beim Bau von Großgasmaschinen. Schweres Triebwerk (24). Einfluss hoher Temperatur (25). Anlässe zur Entwicklung der Großgasmaschine (26). Koksöfengase (27). Die verschiedenen Formen der Großgasmaschinen (28). | |
| Zweites Kapitel: Zweitaftmaschinen | 28 |
| Viertakt, Zweitakt, Eintakt (28). Arbeitsweise von Zweitaftmaschinen (29). Zweitaftmaschine und Viertaktmaschine (30). | |
| Drittes Kapitel: Die Zweitaftmaschine von Körting | 31 |
| Beschreibung der Maschine. Die Wirkungsweise der Körtingmaschine (31). Vorteile und Nachteile der Körtingmaschine (32). | |

| | |
|---|----|
| Viertes Kapitel: Die doppeltwirkende Viertaktmaschine | 33 |
| Die Viertaktmaschine als Zweitaktmaschine und Eintaktmaschine (33). Beschreibung einer doppeltwirkenden Viertaktmaschine (34). Arbeitsweise und Regulierung der Maschine (35). Vorteile der doppeltwirkenden Viertaktmaschine (36). Entwicklung der doppeltwirkenden Viertaktmaschine (37). | |
| Fünftes Kapitel: Wirtschaftliche Bedeutung und Betrieb der Großgasmaschinen | 38 |
| Großgasmaschine und Großdampfmaschine (38). Wirtschaftliche Bedeutung der Hochofen- und Koksofengasmaschinen (39). Betrieb der Großgasmaschinen (40). | |

Dritter Abschnitt.

Die neuere Entwicklung der Dieselmashinen.

| | |
|--|----|
| Erstes Kapitel: Die Verwendung billiger Brennstoffe | 42 |
| Zweites Kapitel: Die Umgestaltung der ursprünglichen Arbeitsweise | 43 |
| Drittes Kapitel: Bauliche Umgestaltung der Dieselmashine | 45 |
| Die Dieselmashine als ortsfeste Großgasmaschine (45). Die Dieselmashine als Schiffsmashine (46). Die Vorteile der Dieselmashine als Schiffsmashine (48). | |

Zweiter Teil.

Dampfturbinen.

Erster Abschnitt.

Einführung in die Theorie der Dampfturbinen.

| | |
|---|----|
| Erstes Kapitel: Von der „lebendigen Kraft“ eines Körpers | 53 |
| Masse eines Körpers (53). Wichtige Gesetze (54). Änderung der lebendigen Kraft (55). Beispiele (56). Umkehrung (57). | |
| Zweites Kapitel: Absolute und relative Geschwindigkeit | 58 |
| Ruhe ein Relativbegriff (58). Geschwindigkeit ein Relativbegriff (59). Erstes Beispiel. Parallelogramm der Geschwindigkeiten (60). Zweites Beispiel (61). | |

| | |
|---|----|
| Drittes Kapitel: Schaufel und Flüssigkeitsstrahl | 62 |
| Gerade Schaufel (62). Gefrämmte Schaufel (63). Grundform einer Turbine (65). Wechselnde Schaufelgeschwindigkeit (66). Bestimmung der Schaufelform (68). | |

| | |
|---|----|
| Viertes Kapitel: Strömungseigenschaften des Wasserdampfes | 70 |
| Verhalten des Dampfes beim Ausströmen aus Düsen. Versuche mit verjüngten Düsen (70). Zusammenfassung der Versuchsergebnisse. Erweiterte Düsen (73). | |

Zweiter Abschnitt.

Verwendung des Dampfes in den verschiedenen Arten von Dampfturbinen.

| | |
|--|-------------|
| Erfstes Kapitel: Allgemeines über Dampfturbinen | Seite 75 |
| Allgemeine Bauart (75). Regulierung (76). Hohe Umdrehzahl (77). | |
| Zweites Kapitel: Hilfsmittel zur Erniedrigung der Umdrehzahl. Turbinensysteme | 78 |
| Einstufige Turbinen (78). Turbinen mit Geschwindigkeitsstufen (79). Turbinen mit Druckstufen. Druckturbinen (80). Turbinen mit Druckstufen in Verbindung mit Geschwindigkeitsstufen (86). Turbinen mit Überdruckwirkung (87). Zusammengesetzte Turbinarten (91). | |
| Drittes Kapitel: Die Dampfturbine als Kraftmaschine | 92 |
| Nachteile der Kolbenkraftmaschinen (92). Vorteile der Dampfturbinen. Einfache Bauart (93). Ruhiger Gang. Geringer Raumbedarf. Vorteilhafter Betrieb (94). Leichtes Ingangsetzen (96). | |
| Viertes Kapitel: Wirtschaftlichkeit der Dampfturbine | 97 |
| Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Kolbendampfturbine (97). Dampfverbrauch der Dampfturbinen (98). Dampfverbrauch bei wechselnder Belastung (99). Bedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb (100). Überhitzung (101). Gute Kondensation (102). | |
| Fünftes Kapitel: Dampfturbinen für besondere Fälle | 104 |
| Gegendruckturbinen (104). Anzapfturbinen (105). Abdampfturbinen (106). Zweidruckturbinen (107). Schiffsturbinen (108). | |
| Anhang: Die Gasturbine | 109 |
| Sachregister | 115 |

Erster Teil

Gasmaschinen

Erster Abschnitt.

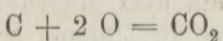
Gaserzeuger.

Erstes Kapitel.

Luftgas, Wassergas, Mischgas.

Vollkommene und unvollkommene Verbrennung. Wenn wir irgendeinen Stoff, sei es ein fester, flüssiger oder gasförmiger, verbrennen wollen, so gehört dazu unter allen Umständen Sauerstoff, welcher uns ja als Bestandteil der überall vorhandenen Luft in unbeschränkten Mengen zur Verfügung steht. So verbrennen wir z. B. die Kohle in unseren Zimmeröfen, indem wir entweder durch die Ofentür, durch den Rost oder durch beides der Außenluft den Zutritt zu den entzündeten Kohlen gestatten, und es ist eine allgemein bekannte Erscheinung, daß diese Verbrennung um so lebhafter vor sich geht, je mehr Luft zu den brennenden Kohlen hinzutritt, oder, wie man sich auszudrücken pflegt, je besser der Ofen „zieht“. Nicht minder bekannt ist es aber auch, daß diese Verbrennung unvollkommen wird, wenn der Zutritt der Luft zu den glühenden Kohlen irgendwie behindert wird, und diese unvollkommene Verbrennung äußert sich in schlimmen Fällen dadurch, daß der Ofen riecht, da sich aus den glühenden Kohlen ein übelriechendes, zum größten Teile aus Kohlenoxyd bestehendes Gas entwickelt, welches infolge seiner großen Gifigkeit schon den Tod so vieler Menschen herbeigeführt hat und leider von Zeit zu Zeit noch immer herbeiführt.

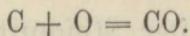
Wir haben hier zwei für die ganze folgende Betrachtung sehr wichtige chemische Erscheinungen vor uns. Die Kohle besteht zum wesentlichen Teile aus Kohlenstoff, in der Chemie mit dem Buchstaben C bezeichnet; der die Verbrennung herbeiführende Teil der Luft ist der Sauerstoff, in der Chemie mit O bezeichnet. Ist für die Verbrennung genügend Luft, also Sauerstoff (O) vorhanden, so verbinden sich immer je zwei Atome O mit einem Atom C und es entsteht die nicht mehr brennbare Kohlensäure (CO_2), ein Vorgang, der in chemischen Zeichen durch die Formel ausgedrückt wird:



(Kohlenstoff + 2 Sauerstoff = Kohlensäure).

Ist dagegen der Zutritt der Luft unvollkommen, so verbindet sich immer nur ein Atom O mit je einem Atom C, und es entsteht das

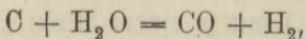
brennbare, giftige, in reinem Zustande geruchlose Kohlenoxydgas (CO) nach der chemischen Formel:



Luftgas. So schädlich und verderbenbringend eine unvollkommene Verbrennung der Kohlen in unseren Zimmeröfen ist oder sein kann, so große Vorteile bietet sie mitunter der Industrie, da das durch jene unvollkommene Verbrennung entstandene, der Hauptsache nach aus CO bestehende brennbare Gas für manche Zweige der Technik wertvolle Eigenschaften besitzt, so daß es geradezu absichtlich in großen Mengen hergestellt wird. Diese Herstellung ist im Grunde genommen außerordentlich einfach. Man denke sich einen aufrechstehenden gemauerten Zylinder, welcher unten mit einem Roste, in seinem obersten Teile mit einem seitlichen Abzugsrohre versehen ist. Dieser Zylinder wird mit Kohlen gefüllt und oben verschlossen. Die Kohlen werden von unten entzündet, und man läßt nun lediglich so viel Luft eintreten, daß nicht eine Verbrennung zu CO_2 , sondern nur eine solche unvollständige Verbrennung unter Bildung von CO stattfinden kann. Das entstandene Gas entweicht durch das seitliche Abzugsrohr des Zylinders und wird dann zu dem gewünschten Verbrauchs Zwecke weitergeleitet.

Obgleich nun ein solches Gas — man bezeichnet es mit dem allgemeinen Namen Generatorgas oder Luftgas — gerade so wie Leuchtgas unter Vermischung mit Luft zum Betriebe von Gasmaschinen verwendet werden könnte, so ist es doch, vor allen Dingen wegen der hohen Temperatur, mit der es aus dem Generator kommt, und wegen seines geringen Heizwertes (nur etwa 800 WE/cbm), wenig dazu geeignet. Man hat daher seine Eigenschaften dadurch zu vervollkommen gestrebt, daß man ihm noch einen anderen wesentlichen Bestandteil beimengte, nämlich den Wasserstoff (H), und so ein neues Gas schuf, das sog. Mischgas, von welchem weiter unten die Rede sein wird.

Wassergas. Wasser oder Wasserdampf besteht bekanntlich der Hauptsache nach aus den beiden Elementen Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) in der chemischen Zusammensetzung H_2O , das heißt bei chemisch reinem Wasser entfallen immer auf je zwei Atome H je ein Atom O. Leitet man nun Wasserdampf über glühende Kohlen, so findet unter Zersetzung des Wassers eine Verbindung des H und O des Wassers mit dem C der Kohlen statt, und zwar je nach der Temperatur, bei welcher der Vorgang stattfindet, entweder nach der Formel:



oder wenn die Temperatur etwa unter 800° C sinkt, nach der Formel:



Mit anderen Worten: es bildet sich bei der Zersetzung entweder ein Gas, welches aus Kohlenoxyd und Wasserstoff, oder ein Gas, welches aus Kohlensäure und Wasserstoff besteht. Ähnlich wie bei der gewöhnlichen Verbrennung der Kohle ist es nun möglich, daß beide Verbindungen gleichzeitig eintreten, das heißt also, daß man ein Gas erhält, welches gleichzeitig aus Kohlenoxyd, Kohlensäure und Wasserstoff besteht. Auch dieses Gas, Wassergas genannt, findet in der Technik Verwendung, und zwar seines hohen Heizwertes wegen in der Regel zu Heizzwecken, nur selten dagegen — seiner umständlichen Herstellung wegen — zur Kraftserzeugung in Gasmaschinen. Bei der Herstellung von Wassergas ist zu beachten, daß durch das Hineinblasen von Wasserdampf in die glühenden Kohlen und die dadurch bewirkte Zersetzung des Wasserdampfes sehr viel Wärme verbraucht wird, so daß die Erzeugung des Gases immer unvollkommener wird und schließlich ganz aufhört. Es kann daher die Herstellung dieses Gases in dem betreffenden Ofen nicht ununterbrochen stattfinden, sondern die Arbeitsweise ist die, daß der Ofen eine Zeitlang durch Einblasen gepreßter Luft zu hoher Glut angefacht wird, dann wird die Luft abgestellt, und es erfolgt die Erzeugung des Wassergases durch Einblasen von Wasserdampf in die glühenden Kohlen. Nach einem gewissen Zeitraum (etwa zehn bis zwölf Minuten) hat sich der Ofen so stark abgekühlt, daß wieder ein Warmblasen durch Einführung gepreßter Luft erfolgen muß und so weiter fort.

Mischgas. Eine Vereinigung dieses Wassergases und des früher besprochenen Generatorgases stellt nun jenes obenerwähnte, durch Zusatz von H verbesserte Luftgas dar, welches dann als Mischgas oder auch allgemein als Kraftgas bezeichnet wird, da es, wie wir sehen werden, gerade für die Kraftserzeugung in Gasmaschinen vorzüglich geeignet ist.

Läßt man in die brennenden Kohlen eines „Generator“ oder „Gas erzeuger“ genannten Ofens, der im wesentlichen gerade so aussieht wie ein Ofen zur Herstellung des Luftgases, außer Luft auch noch Wasserdampf eintreten, so findet einmal eine Verbindung des Sauerstoffs der eingeblasenen Luft mit dem Kohlenstoff der Kohle, dann aber auch eine Zersetzung des Wasserdampfes in der früher beim Wassergas besprochenen Weise statt, und die Folge dieser doppelten Zersetzung und Verbindung ist ein Gas, welches an brennbaren Bestandteilen haupt-

sächlich Kohlenoxyd (etwa 27 %) und Wasserstoff (etwa 16 %) enthält, während die übrigen Bestandteile aus dem der verbrauchten Luft entstammenden Stickstoff sowie geringen Mengen von sog. Kohlenwasserstoffen bestehen.

Die Vorteile dieser neuen Gasart gegenüber dem gewöhnlichen Luftgas sind die folgenden: Das im vorhergehenden besprochene „Luftgas“ hat, wenn es aus dem Gaserzeuger kommt, eine außerordentlich hohe Temperatur, die unter Umständen einige Tausend Grad betragen kann. Ein derartig hocherhitztes Gas, welches für andere Zwecke, z. B. für die Erzeugung möglichst hoher Temperaturen in Schmelzöfen usw., große Vorteile bietet, ist aber natürlich für die Verwendung in Kraftmaschinen ungeeignet. Will man ein solches Luftgas trotzdem dazu verwenden, so bleibt nichts anderes übrig, als das Gas energisch abzukühlen, wobei naturgemäß in der Regel ein großer Teil der in dem Gas steckenden freien Wärme nutzlos verloren geht. Führt man dagegen an Stelle von Luft allein auch noch Wasserdampf in den Brennstoff ein, so wird ein beträchtlicher Teil der bei der Luftgasbildung erzeugten Wärme dadurch in nutzbringender Weise in chemische Energie umgesetzt, daß der Wasserdampf in der vorher besprochenen Weise zerlegt wird und das nunmehr gebildete sog. Mischgas den Gaserzeuger mit einem wesentlich höheren Heizwerte (rund 1400 WE f. d. cbm) und erheblich niedrigerer Temperatur verläßt, die in der Regel nicht wesentlich mehr als etwa 500° beträgt. Neben diesen Vorteilen bietet auch der Gehalt des Gases an Wasserstoff für die Verwendung in Kraftmaschinen verschiedene Vorzüge. So liegt z. B. die Temperatur, bei der die Entzündung eintritt, bei Wasserstoff bedeutend niedriger als bei Kohlenoxyd; die Geschwindigkeit, mit welcher die Zündung erfolgt, ist bei Außenluftdruck für Wasserstoff etwa 30 mal größer als bei Kohlenoxyd, und auch die Diffusionsgeschwindigkeit ist bei Wasserstoff wesentlich größer als bei Kohlenoxyd, das heißt: Wasserstoff vermischt sich rascher mit zugeführter Luft als Kohlenoxyd, eine Eigenschaft, die ja bekanntlich gerade bei der Gasmaschine eine hervorragende Rolle spielt. Endlich wäre noch als Vorteil hervorzuheben, daß während der Verpuffung des Gasluftgemisches in der Gasmaschine der Wasserstoff wieder zu Wasser verbrennt. Da aber Wasser eine sehr hohe spezifische Wärme hat, das heißt, da für die Verdampfung des durch die Verpuffung gebildeten Wassers eine verhältnismäßig große Wärmemenge nötig ist, wird auch die bei der Verpuffung entstehende Temperatur ermäßigt, so daß wiederum weniger Wärme durch das Kühlwasser abgeführt zu werden braucht.

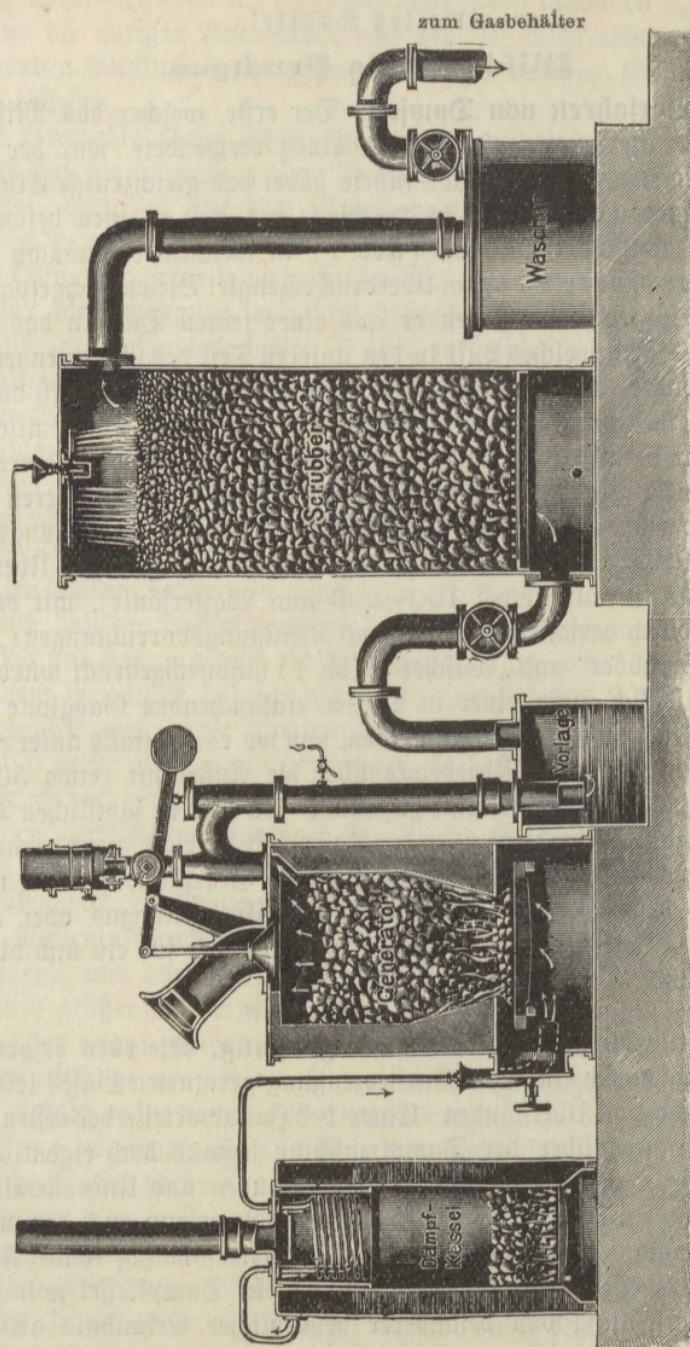
Zweites Kapitel.

Mischgas als Druckgas.

Das Verfahren von Dowson. Der erste, welcher das Mischgas für die Krafterzeugung in Gasmaschinen verwendete, war der Engländer Emerson Dowson. Er führte dabei das gleichzeitige Eintreten von Wasserdampf und Luft in der Weise aus, daß er einen besonderen kleinen Dampfkessel aufstellte (Abb. 1), in welchem er zunächst überhitzten Dampf von etwa 4 atm Überdruck erzeugte. Diesen hochgespannten und überhitzten Dampf ließ er aus einer feinen Düse in das Rohr eintreten, durch welches Luft in den unteren Teil des Gaserzeugers gelangen konnte. Der aus der Düse austretende Dampfstrahl riß die Luft im Rohre mit sich fort, und es wurde auf diese Weise ein Gemisch von Wasserdampf und Luft in den untersten Teil des Gaserzeugers hineingedrückt. Naturgemäß hatte dann auch das aus dem oberen Teile des Gaserzeugers austretende Mischgas (bei dieser Herstellungsweise übrigens häufig auch Dowsongas genannt) einen gewissen Überdruck über die Außenluft (etwa 150—200 mm Wassersäule), mit dem es zunächst durch verschiedene Kühl- und Reinigungs vorrichtungen („Vorlage“, „Skrubber“ und „Wascher“, Abb. 1) hindurchgedrückt wurde, um dann schließlich unter einer in Wasser eintauchenden Gasglocke eines Gasbehälters aufgefangen zu werden, von wo es ebenfalls unter einem, wenn auch geringeren Überdruck über die Außenluft (etwa 50 mm Wassersäule) der Gasmaschine zuströmte. Da also in sämtlichen Teilen der Anlage ein Überdruck über die Außenluft herrscht, nennt man das entstandene Gas auch wohl Druckgas im Gegensache zu dem weiter unten zu besprechenden Sauggas, so daß also Mischgas oder Halbwassergas, Dowsongas, Druckgas alles Ausdrücke für ein und dieselbe Gasart sind.

Hauptnachteile der Druckgaserzeugung. Die eben besprochene Herstellungsweise eines zur Krafterzeugung geeigneten Gases leidet an einer Reihe von Übelständen. Einer der Hauptvorteile der ersten Gasmaschinen gegenüber der Dampfmaschine bestand doch eigentlich gerade darin, daß der mit allerlei Belästigungen und Unbequemlichkeiten verknüpfte Dampfkesselbetrieb fortfiel. Wenn nun auch der zu einer Druckgasanlage gehörige Dampfkessel verhältnismäßig kleine Abmessungen aufweist, so ist doch eben immer ein Dampfkessel notwendig, dessen Aufstellung von besonderer behördlicher Erlaubnis abhängig ist und dessen Betrieb mancherlei lästigen gesetzlichen Bestimmungen

Abb. 1.



unterliegt. Das Vorhandensein des Dampfkessels nötigt außerdem zu einer ständigen sorgfältigen Bedienung der ganzen Anlage, da eben neben der Beschickung des Gaserzeugers mit Brennstoff die Feuerung des mit einem Überhitzer versehenen Dampfkessels nicht allzu lange Zeit sich selbst überlassen bleiben darf, zumal die ganze Gaserzeugung mit dem richtigen Arbeiten des Dampfkessels auf das innigste verknüpft ist.

Da diese und andere Übelstände bei dem gleich näher zu besprechenden Sauggasverfahren fortfallen, dürfte es verständlich sein, daß heutzutage Druckgasanlagen für Kraftzeugungszwecke allein wohl kaum mehr gebaut werden. Sie finden dagegen noch Anwendung zur Erzeugung von Gas zu Heizzwecken; zu Kraftzwecken nur dann, wenn das Gas nebenbei auch noch zu Heizzwecken dienen soll.

Drittes Kapitel.

Mischgas als Sauggas.

Vereinfachung der Herstellungsweise. Es war früher (S. 6) gefragt worden, daß der Vorteil des Mischgases als Kraftgas dem Luftgas gegenüber darin besteht, daß bei dem Mischgas infolge Einblasens von Wasserdampf in den Gaserzeuger ein großer Teil der Kohlenwärme in chemische Energie umgewandelt wird. Mit anderen Worten: bei der Luftgaserzeugung wird ein großer Teil der in den Kohlen steckenden Wärme dazu verwendet, das erzeugte Gas selber auf eine sehr hohe Temperatur zu bringen, die für den Fall einer etwaigen Verwendung des Luftgases als Kraftgas erst durch energische Kühlung wieder erniedrigt werden müßte. Bei der Mischgaserzeugung dagegen wird ein beträchtlicher Teil der in den Kohlen steckenden Wärme dazu verwendet, den in den Gaserzeuger eingeblasenen Wasserdampf in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen, und da der in das erzeugte Gas übergehende Wasserstoff selbst einen bedeutenden Heizwert besitzt, verläßt das Mischgas den Gaserzeuger zwar mit einer wesentlich niedrigeren Temperatur als das Luftgas, dafür ist aber die in dem Mischgas steckende chemisch gebundene Wärme, das heißt der Heizwert des Mischgases, erheblich größer als der des gewöhnlichen Luftgases.

Selbst bei der Herstellung des Mischgases verläßt nun aber das Gas den Gaserzeuger immer noch mit einer Temperatur (meist nicht unter 500°C), welche für die Verwendung des Gases in Gasmaschinen ungeeignet ist. Es lag daher der Gedanke nahe, den Wärmeinhalt des den Gaserzeuger verlassenden Mischgases für die Dampferzeugung zu

benützen und auf diese Weise nicht nur den Dampfkessel und alle die damit verbundenen Unannehmlichkeiten zu ersparen, sondern auch die ganze Gaserzeugung wirtschaftlicher zu gestalten, da eben in diesem Falle für die Erzeugung des Dampfes nicht mehr der Aufwand besonderer Kohlen notwendig war. Die Vorteile einer solchen Verwendung der Eigenwärme des abziehenden Gases zur Dampferzeugung ergibt sich aus einer einfachen Berechnung, deren Grundlagen einer Abhandlung von A. Langen über Sauggeneratorgasanlagen in der Zeitschr. d. Ber. Deutscher Ing. Jahrg. 1902 entnommen sind. Für je 1 kg Kohle ist zur Erzeugung von Mischgas das Einblasen von 0,7 kg Wasserdampf erforderlich, für dessen Verdampfung rund 450 WE notwendig sind. Für je 1 kg in den Gaserzeuger geschütteter Kohle erhält man infolge des Hinzutretens von Luft und Wasserdampf etwa 5 kg Mischgas. Hat nun das entweichende Gas die spezifische Wärme 0,3 (d. h. sind 0,3 WE notwendig, um 1 kg Gas um 1°C zu erwärmen) und verläßt das Gas den Gaserzeuger mit 500°C , so entweichen für je 1 kg in den Gaserzeuger geschütteter Kohle mit dem gebildeten Gase:

$$5 \cdot 0,3 \cdot 500 = 750 \text{ WE.}$$

Da wir eben gesehen hatten, daß nur 450 WE für die Erzeugung des erforderlichen Wasserdampfes gebraucht werden, so kann man also noch $450/750 \cdot 100 = 60\%$ der aus dem Gaserzeuger entweichenden freien Wärme für die Dampferzeugung nutzbringend verwerten.

Gleichzeitig versuchte man auch die Gaserzeugung von der Maschinenleistung selbst dadurch abhängig zu machen, daß man den Saugabschnitt der Viertaktmaschine dazu verwendete, die zur Vergasung nötige Luft von der Maschine durch den Gaserzeuger hindurchsaugen zu lassen, eine Einrichtung, die (nach Versuchen von Benier und denen von Körting) durch die in kleinen Abmessungen gehaltenen Maschinen von Taylor namentlich auf der Pariser Weltausstellung 1900 bekannt wurde.

Das ist nun der Grundgedanke der neueren Sauggasanlagen. Es möge hier besonders hervorgehoben werden, daß einmal die betreffende Kraftmaschine sich nicht von anderen Gas-Kraftmaschinen unterscheidet, ferner aber auch, daß das durch den Saugvorgang gewonnene Kraftgas dieselbe Zusammensetzung, also auch dieselben Eigenschaften besitzt wie das sog. Druck- oder Dowson-gas, und daß eben lediglich die Herstellungsweise eine verschiedene, und zwar wesentlich vereinfachte ist.

Vorteile des Saugverfahrens. Neben der vereinfachten und wirtschaftlicheren Herstellungsweise bietet die Erzeugung des Mischgases

durch das Saugverfahren noch einen weiteren wesentlichen Vorteil gegenüber dem Druck- oder Dowsonverfahren. Wir hatten früher (S. 7) gesehen, daß sämtliche Teile einer Druckgasanlage im Innern einen Überdruck über die Außenluft besitzen, und diese Eigenschaft hat die unangenehme Folge, daß bei den geringsten Undichtigkeiten ein Aussströmen des Gases erfolgen muß, was bei der großen Giftigkeit und noch dazu fast völligen Geruchlosigkeit des Gases unter Umständen für den Maschinenwärter sowohl wie für die ganze Umgebung verhängnisvoll werden kann. Ein solcher Übelstand ist bei der Sauggasanlage so gut wie ausgeschlossen. Da die zur Bergasung notwendige Luft, mit Wasserdampf gesättigt, von der Maschine durch die ganze Anlage hindurchgesaugt wird, stehen sämtliche Teile der Anlage in ihrem Innern unter einem Druck, der geringer ist als der Druck der Außenluft. Sollte daher irgendwo eine Undichtigkeit eintreten, so würde dies nicht ein Austreten von Gas, sondern ein Eindringen von Luft in den betreffenden Teil der Anlage zur Folge haben, und die Undichtigkeit müßte schon sehr bedeutend sein, wenn etwa durch Vermischung der eingedrungenen Luft mit dem erzeugten Gase die Bildung eines Explosionsgemisches im Innern der Anlage erfolgen sollte, ganz abgesehen davon, daß sich ein solches Eindringen von Luft sehr bald infolge des verringerten Heizwertes des Gases durch Nachlassen der Maschinenleistung bemerkbar machen würde.

Ein weiterer Vorteil der Sauggasanlage besteht darin, daß die Gaserzeugung unmittelbar abhängig ist von der wechselnden Maschinenleistung, denn je weniger die Maschine Arbeit leistet, um so weniger Gas erzeugt sie, bei gesteigerter Maschinenleistung steigert sich auch selbsttätig die Menge des erzeugten Gases.

Um eine noch weitergehende Einfachheit der Anlage zu erzielen zum Teil wohl auch um eine Verminderung des Saugwiderstandes herzuführen, ging man schließlich bei kleineren Anlagen und gutem, d. h. möglichst staub- und teerfreiem Brennstoffe noch dazu über, den auf den Skrubber (Abb. 1, S. 8) folgenden (übrigens auch bei kleineren Druckgasanlagen fehlenden) Sägemehlreiniger fortzulassen, so

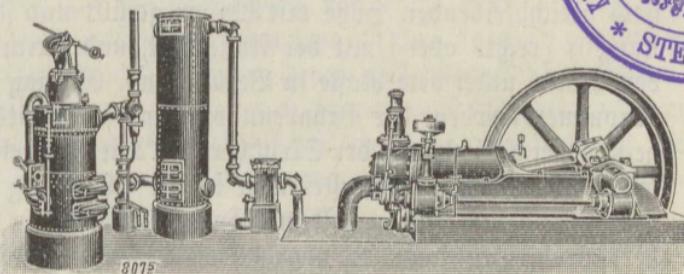


Abb. 2.



* STETTIN *

daz̄ dann die ganze Gaserzeugungsanlage für Sauggas nunmehr eigentlich nur noch in die zwei Hauptbestandteile zerfällt, den mit der Wasser verdampfungsvorrichtung versehenen Gaserzeuger und den zum Abkühlen und Reinigen des Gases bestimmten Skrubber.

Abb. 2 zeigt die bestechende Einfachheit einer solchen Sauggasmaschinenanlage und es ist klar, daz̄ diese Einfachheit auf die Wirtschaftlichkeit der ganzen Kraftanlage von großem Einflusse ist.

Ein Nachteil der Sauggasanlage gegenüber der Druckgas anlage kann jedoch nicht verschwiegen werden: Die Inbetriebsetzung einer Sauggasmaschine gestaltet sich nicht so einfach wie das Ingangsetzen einer mit Druckgas betriebenen Maschine. Bei der Druckgas anlage steht infolge des vorhandenen Dampfkessels mit Dampfstrahl gebläse eine verhältnismäßig einfache Vorrichtung für die Inbetriebsetzung des Gaserzeugers zur Verfügung. Bei der Sauggasanlage bleibt nichts anderes übrig, als einen eigenen kleinen Ventilator aufzustellen, durch welchen vor Inbetriebsetzung der Maschine der Gaserzeuger in die für die Gasbereitung nötige Glut gebracht wird. Erst wenn das geschehen und im Gaserzeuger brennbares Gas vorhanden ist, kann die Gasmaschine mittels einer der bekannten Anlaßvorrichtungen, z. B. vermittels Druckluft, in Gang gesetzt werden, worauf dann nach Verbindung der Maschine mit dem Gaserzeuger die regelmäßige Gaserzeugung und damit der regelmäßige Betrieb beginnt.

Beschreibung einer Sauggasanlage. Von der großen Zahl verschiedener Bauarten möge als Beispiel in Abb. 3 der Schnitt durch eine Sauggasanlage erläutert werden, wie sie von der Deutzer Gas motorenfabrik gebaut wird. Links sieht man den im Innern mit feuerfesten Steinen ausgemauerten Gaserzeuger, dessen oberer Teil aus einem eigentümlich faltigen Aufsatz besteht. Das Innere dieses Aufsatzes, Verdampferschale (C) genannt, ist bis zu einer bestimmten, stets gleichbleibenden Höhe mit Wasser gefüllt und steht durch die Öffnung a (rechts oben) mit der Außenluft, und durch das Rohr r mit dem Raum unter dem Kofte in Verbindung. Es mag nun zunächst angenommen werden, der Beharrungszustand sei bereits eingetreten, das heißt es sei die Leitung, der Skrubber usw. mit Gas gefüllt und die Vierfaktmaschine, deren hinterster Teil in der Abbildung rechts noch ange deutet ist, befindet sich in vollem Gange. Durch die in dem Gaserzeuger herrschende Glut sowie die abgehenden heißen Gase wird das im oberen Teile des Gaserzeugers in der Verdampferschale befindliche Wasser

erhitzt. Tritt nun infolge der saugenden Wirkung des Maschinenkolbens ein Unterdruck in der ganzen Anlage ein, so strömt die Außenluft durch die Öffnung *a* in den oberen Teil des Gaserzeugers, sättigt sich hier beim Hinstreichen über die Oberfläche des heißen Wassers mit Wasserdampf und tritt dann durch das Rohr *r* unter den Rost und von da in den Gaserzeuger, wo die früher besprochene Zersetzung des Wasserdampfes und Bildung des Mischgases vor sich geht. Das Gas verlässt dann den Gaserzeuger durch das bei *B* sichtbare Rohr und durchstreicht zunächst den Skrubber, wo es (vgl. auch Abb. 1, S. 8) gefühlt und

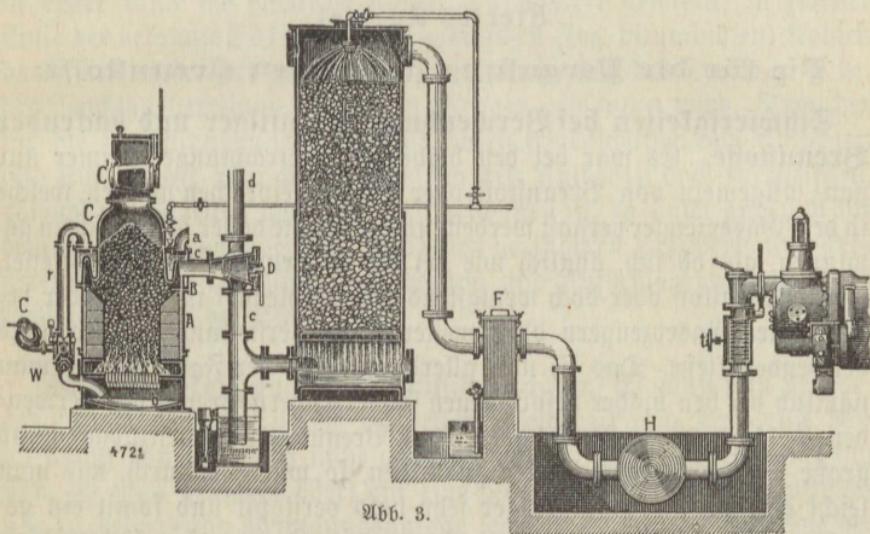


Abb. 3.

gereinigt wird. Nachdem es den zur Abscheidung mitgerissener Flüssigkeitsteilchen dienenden sog. Kondensator *F* durchstrichen hat, kommt es in einen kleinen Gasfessel *H*, von hier in einen Teerabscheider *t* und gelangt schließlich in die Maschine, wo es in der gewöhnlichen Weise, mit Luft vermischt, zur Kraftserzeugung verwendet wird.

Soll die Maschine außer Betrieb gesetzt werden, so wird ein in der Verbindungsleitung zwischen Gaserzeuger und Skrubber befindlicher sog. Dreieghahn *D* herumgedreht, wodurch einmal der Gaszufluss nach dem Skrubber abgesperrt und gleichzeitig das Innere des Gaserzeugers mit einem in der Abbildung noch kurz ange deuteten Kamine *d* in Verbindung gesetzt wird. Der Gaserzeuger brennt bei dieser Stellung des Dreieghahnes einfach wie ein zur Zimmerheizung verwendeter Füllofen, wobei der Zug durch die Türen am Aschenraume reguliert werden kann.

Soll die Anlage von neuem in Betrieb gesetzt werden, so wird durch eine Wechselklappe das Verbindungsrohr *r* zwischen dem Verdampferraum und dem Inneren des Gaserzeugers geschlossen und durch den in der Abbildung links bei *W* ange deuteten Ventilator das Feuer einige Minuten lang angefacht, worauf dann Wechselklappe und Dreiweghahn in die ursprüngliche Betriebsstellung gebracht und die Maschine von neuem angelassen wird. Das erneute Anblasen eines Gaserzeugers, der über Nacht stillgelegen hat, dauert nur etwa eine Viertelstunde.

Viertes Kapitel.

Die für die Vergasung geeigneten Brennstoffe.

Schwierigkeiten bei Verwendung gashaltiger und backender Brennstoffe. Es war bei den bisherigen Betrachtungen immer nur ganz allgemein von Brennstoff oder Kohlen gesprochen worden, welche in dem Gaserzeuger vergast werden, und es könnte daher den Anschein gewinnen, als ob sich, ähnlich wie bei den Feuerungen der Dampfkessel, jeder Brennstoff oder doch wenigstens jede Kohlenart in den bisher besprochenen Gaserzeugern ohne weiteres zur Herstellung von Kraftgas verwenden ließe. Das ist nun allerdings nicht der Fall. Würde man nämlich bei den bisher besprochenen Gaserzeugern Brennstoffe verwenden, welche die Eigenschaft haben, beim Brennen zusammenzubacken und große Mengen von Schlacken zu bilden, so würde dadurch, wie man leicht erkennt, der Gaserzeuger sehr bald verstopft und somit ein ge regelter Betrieb unmöglich gemacht werden. Ferner aber liefern diese Brennstoffe bei der Vergasung neben Kohlenoxyd, Kohlensäure und staubförmigen Unreinigkeiten je nach der Beschaffenheit des Brennstoffes mehr oder weniger teerhaltige Dämpfe, welche sich zunächst mit dem abziehenden heißen Gase vermischen, nachher aber bei fortschreitender Abkühlung des Gases als Teer niederschlagen. Diese Teerniederschläge würden nun, falls sie nicht sorgfältig entfernt würden, die Leitung sowohl als auch die einzelnen Teile im Innern der Maschine: Ventile, Kolben, Zylinder usw., sehr bald derartig verschmutzen, daß häufige umständliche Reinigungen der ganzen Anlage und damit fortwährende Betriebsstörungen nicht zu vermeiden wären. Infolge dieser Übelstände war man bei der Auswahl der Brennstoffe zur Erzeugung von Kraftgas längere Zeit hinburch sehr beschränkt. Erst in den letzten Jahren ist es gelungen, Schritt für Schritt aller Schwierigkeiten Herr zu werden, und heut kann man wohl sagen, daß es kaum mehr einen Brennstoff

gibt, welcher sich nicht in entsprechend ausgebildeten Gaserzeugern zur Herstellung von Kraftgas verwenden ließe.

Vorteile von Anthrazit und Koks. Für Sauggasmaschinen kleinerer und mittlerer Leistung ist Einfachheit eine nicht zu umgehende Bedingung. Will man daher diese Einfachheit nach Möglichkeit wahren, so bleibt nichts anderes übrig, als für die Vergasung im Gaserzeuger Brennstoffe zu wählen, welche beim Brennen nicht zusammenbacken, keine oder nur wenige Schlacke bilden und möglichst wenig oder gar keine teerigen Bestandteile enthalten. Ein solcher Brennstoff ist aber in erster Linie die gasarme Kohle, Anthrazit genannt, in zweiter Linie der bekannte Koks, der aus gasreichen (sog. bituminösen) Kohlen durch Austreiben der gashaltigen Bestandteile und des Teeres, z. B. bei der Leuchtgasbereitung, in großen Mengen gewonnen wird. Trotz der für die Vergasung ungefähr gleich guten Eigenschaften von Anthrazit und Koks pflegt man im allgemeinen den Anthrazit doch vorzuziehen, obwohl er bisweilen schwieriger zu beschaffen ist, da unter anderem bei dem auf die Gewichtseinheit bezogenen geringeren Heizwerte und größeren Volumen des Koks Beförderung und Aufbewahrung manchmal Schwierigkeiten bereiten.

Notwendigkeit von Reinigungsanlagen. Es muß nun hervorgehoben werden, daß selbst bei bestem Anthrazit und Koks eine Abscheidung von Teer sich nicht ganz vermeiden läßt, und es fragt sich nun, ob man größeren Wert auf eine verwinkelte, kostspielige, umständlich zu bedienende Reinigungsanlage legen soll, oder ob man eine geringe Verschmutzung der Leitung und der Maschinen mit in Kauf nimmt und dafür die Gaserzeugungsanlage möglichst einfach gestaltet. Im allgemeinen entscheidet man sich bei kleineren Anlagen für den zuletzt genannten Fall, das heißt man wendet nicht mehr Reinigungsvorrichtungen an, als früher (S. 11) besprochen wurden, und nimmt dafür die kleine Unbequemlichkeit in Kauf, daß einige Einzelheiten der Maschine, wie z. B. namentlich das Einlaßventil sowie auch das Innere des Zylinders, unter Herausnahme des Kolbens von Zeit zu Zeit gereinigt werden müssen. Eine solche Reinigung ist übrigens bei gutem Brennstoff und zweckmäßiger Gaserzeugungsanlage durchaus nicht etwa häufig vorzunehmen, es genügt meist, wenn der Maschinist etwa alle 14 Tage einmal die Ventile herausnimmt und säubert, was wenige Minuten in Anspruch nimmt, während der Kolben wohl selten häufiger als etwa alle drei Monate herausgenommen zu werden

braucht, was eine Betriebseinstellung von einigen Stunden erforderlich macht.

Vergasung von Braunkohle. Die Notwendigkeit der Verwendung eines so teureren, meist schwer zu beschaffenden Brennstoffes wie Anthrazit ist nun allerdings als ein Übelstand der bisher besprochenen Kraftgasanlagen zu bezeichnen, und es war daher schon lange das Bestreben aller Erbauer von Kraftgasanlagen, die Gaserzeuger so umzustalten, daß nicht bloß Anthrazit und Koks, sondern möglichst jeder Brennstoff zur Erzeugung von Kraftgas verwendet werden kann. Die ersten wichtigen Erfolge in dieser Richtung bestanden darin, daß es gelang, die Sauggaserzeuger so umzustalten, daß in ihnen aus Braunkohle hergestellte Briketts in einwandfreier Weise vergast und so zu unmittelbarem Antrieb von Gasmaschinen benutzt werden können. Es ist dies für uns aus dem Grunde von so großer wirtschaftlicher Bedeutung, weil bekanntlich gerade Deutschland Schäze an Braunkohlen besitzt wie kein anderes Land der Erde und diese Braunkohlenlager fast über das ganze Land verbreitet sind. Eine solche weite Verbreitung spielt allerdings dabei eine sehr wesentliche Rolle. Da nämlich Braunkohle und Braunkohlenbriketts einen verhältnismäßig niedrigen Heizwert haben — er beträgt im Mittel etwa 4500—5000 WE/kg gegenüber etwa 8000 WE/kg beim Anthrazit — wird bei gleicher Maschineneistung fast ein doppelt so großes Gewicht an Brennstoff nötig sein als bei Verwendung von Anthrazit, und es wird daher der hohen Frachtkosten wegen eine solche Verwendung von Braunkohlen und Braunkohlenbriketts nur in nicht zu großer Entfernung von Braunkohlengruben wirtschaftliche Vorteile bieten.

Schon im Oktober 1903 wurde in Hoyerswerda ein Elektrizitätswerk in Betrieb gesetzt, dessen hundertpferdige Gasdynamo mit Kraftgas gespeist wurde, welches einer Sauggasanlage mit Braunkohlenbriketts entstammte. Die vorzüglichen Ergebnisse, die hier erzielt wurden, hatten bald eine immer größere Ausbreitung solcher Anlagen zur Folge, und heute finden wir schon Großgasmaschinen von vielen hundert Pferdekräften, welche anstandslos und mit vorzüglichem wirtschaftlichen Erfolge mit Sauggas aus Braunkohlenbriketts betrieben werden.

Die Hauptschwierigkeit bei der Vergasung der Braunkohlen und der aus ihnen hergestellten Briketts bildet die Beseitigung des Teeres. Da eine Abscheidung des Teeres auf mechanischem Wege durch umfangreiche Reinigungsanlagen aus wirtschaftlichen Gründen ausgeschlossen ist, wurde der Gaserzeuger so umgestaltet, daß der Teer schon im Gaserzeuger

selbst in ein sog. permanentes, d. h. nicht kondensierbares Gas übergeführt wird. In welcher Weise dies z. B. von der Deutzer Gasmotorenfabrik ausgeführt wird, zeigt Abb. 4. Der Gaserzeuger besteht aus einem oben offenen Schachtofen (A), der unten einen Rost besitzt. Während das Gas in der Mitte (in der Abbildung auf der rechten Seite) abzieht, findet die Luftzufuhr oben und unten zugleich statt, so daß sich zwei Brennzentren bilden. Der oben aufgegebene Brennstoff wird zunächst durch die Verührung mit der unter ihm liegenden glühenden Schicht verkokt und hierbei, indem er nach abwärts sinkt, im unteren Teile des Ofens vollständig vergast. Die bei der Verkokung nach abwärts ziehenden Destillationserzeugnisse enthalten noch eine große Menge leicht kondensierbarer flüchtiger Kohlenwasserstoffe (Teere). Diese Stoffe werden aber, da sie vor ihrem Austritte aus dem Gaserzeuger die in voller Glut befindlichen Kohlenschichten in der Mitte des Gaserzeugers durchstreichen müssen, vollständig in permanente, nicht kondensierbare Gase zerlegt und dadurch für den Motorbetrieb unschädlich gemacht. Das erzeugte Gas verläßt den Gaserzeuger nach Angaben der Fabrik praktisch teerfrei, so daß es nur nötig ist, die etwa mitgerissenen Staubteilchen in geeigneter Weise durch die folgenden, verhältnismäßig einfachen Reinigungsvorrichtungen auszuscheiden, die sich nicht wesentlich von den früher beschriebenen Reinigungsvorrichtungen unterscheiden. Das auf der linken Seite der Abbildung sichtbare Rohr dient nur dazu, beim Anfeuern des Gaserzeugers die entstehenden Gase ins Freie abzuleiten.

Wegen der oben erwähnten beiden Brennzentren nennt man derartige Gaserzeuger Doppelgeneratoren, auch wohl Doppelfeuergeneratoren.

Der Verbrauch an Brennstoff beträgt je nach Größe der Maschine und dem Heizwerte der verwendeten Briketts etwa 0,9—0,7 kg für die Std-PS_n, was bei dem meist niedrigen Preise der Braunkohlenbriketts bisweilen einem Brennstoffpreise von wenig mehr als einen halben Pfennig für die Std-PS entspricht.

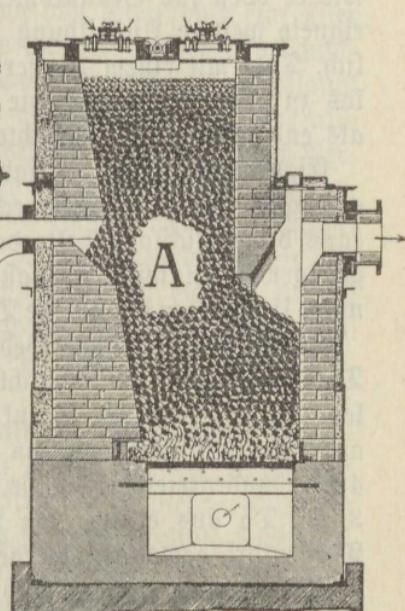


Abb. 4.



Bergasung von Torf. Eine fast noch größere Bedeutung wie die Bergasung von Braunkohle und Braunkohlenbriketts hat die Frage, ob es möglich ist, den auch in Deutschland in gewaltigen Mengen vorhandenen Torf in wirtschaftlicher Weise zur Erzeugung von Kraft in Gasmaschinen zu verwenden. Schwierigkeiten bereitet dabei die Feuchtigkeit des Torses sowie sein hoher Teergehalt. Falls der Wassergehalt etwa 20—25 % nicht übersteigt, lässt sich auch Torf ohne Schwierigkeit in einem Doppelfeuer-Gaserzeuger vergasen, ähnlich demjenigen, wie er oben für Braunkohlenbriketts beschrieben wurde, und durch geeignete weitere Ausbildung dieser Gaserzeuger ist es jetzt sogar möglich, Torf mit einem Wassergehalte von 40 % und darüber anstandslos zu vergasen, so daß die Frage der Kraftgaserzeugung aus Torf als endgültig gelöst betrachtet werden kann.

Eigenartig ist das Verfahren von Mond, bei welchem als Nebenerzeugnis das zu Düngzwecken sehr gesuchte schwefelsauere Ammoniak (aus dem Stickstoffgehalte des Torses) in nicht unbeträchtlichen Mengen gewonnen wird, so daß durch Verkauf dieses Nebenerzeugnisses unter Umständen der größte Teil der Betriebskosten gedeckt werden kann.

Welche wirtschaftliche Bedeutung die Erzeugung von Kraftgas aus Torf namentlich für Deutschland besitzt, dafür nur einige wenige Zahlen. Professor Dr. A. Frank schätzt allein die preußischen Torfmoore auf etwa 2,5 Millionen ha — die von ganz Deutschland auf etwa 400 Quadratmeilen! — bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 3 m. Da aus einem cbm Rohtorf erfahrungsgemäß etwa 150 kg Trockentorf gewonnen werden und davon¹⁾ für die Erzeugung von 1 Std-PS etwa 0,6 kg verbraucht werden, so liefert 1 ha Torfmoor 7,5 Millionen Std-PS, d. h. ein ganzes Jahr hindurch eine ununterbrochene Leistung von 850 PS.

Eine größere Anzahl von Elektrizitätswerken wird jetzt schon mit Torfgasmassen betrieben, im Dammer Moor in der Provinz Hannover ist ein solches im Entstehen begriffen, welches nach völligem Ausbau für eine Leistung von 4000 PS geplant ist.

Bergasung bituminöser Steinkohlen. Unter Berücksichtigung seiner in so großen Mengen vorhandenen Braunkohlen- und Torfsschäze ist es für Deutschland von verhältnismäßig geringer Bedeutung, daß es in letzter Zeit auch gelungen ist, gewöhnliche gasreiche Steinkohle

1) S. Heinz, Die Ausnutzung unserer Torfmoore. Btschr. d. Ver. Deutscher Ingenieure 1911.

in Gaserzeugern besonderer Art zu vergasen und so zur unmittelbaren Kraft erzeugung zu verwenden.

Der eine Weg ist z. B. der, den Teer in der früher bei den Braunkohlenbriketts besprochenen Weise in einem Doppelfeuer-Gaserzeuger in ein permanentes Gas zu zerlegen, ein Verfahren mittels dessen nichtbackende Steinkohle, wie die oberschlesische, von höchstens 20% Gasgehalt ohne Schwierigkeit vergast werden kann.

Einen wesentlich anderen Weg schlug die Firma Julius Pintsch in Berlin bei ihren Versuchen zur Vergasung von Steinkohle ein. Hier wird nämlich das im oberen Teile des Gaserzeugers entstehende Leuchtgas zusammen mit dem Teer durch ein Dampfstrahlgebläse abgesaugt und unter den Rost geblasen, wo beides verbrennt, so daß hier also die Entfernung des Teeres nicht durch Zersetzung, sondern durch Verbrennung bewirkt wird. Das Gas soll sich (nach einer Mitteilung der Firma) für Gasmaschinenbetrieb vorzüglich eignen, weil es vollkommen teerfrei ist, infolgedessen gar keine Reinigungsarbeiten an der Maschine verursacht, und weil es wenig Wasserstoff enthält, so daß Störungen im Betriebe der Maschine durch vorzeitige Zündung u. dgl. selbst bei empfindlichen Maschinen kaum eintreten.

Bergasung minderwertiger Brennstoffe. Die bisher besprochenen Gaserzeuger versagen in allen den Fällen, wo der Asche- und Schlackengehalt des Brennstoffes zu groß wird, da in diesem Falle ein Stillsetzen und Reinigen des Gaserzeugers so oft notwendig wird, daß ein ununterbrochener Betrieb nicht aufrechtzuerhalten ist. Gelingt es dagegen Gaserzeuger zu bauen, bei denen ein solches Entfernen von Asche und Schlacke möglich ist, ohne den Betrieb zu unterbrechen oder die Güte der Gasbildung zu beeinträchtigen, so ist damit zugleich die Möglichkeit gegeben, eine ganze Reihe von Stoffen zur Kraft erzeugung zu verwenden, die sonst trotz hinreichend großen Kohlenstoffgehaltes in Feuerungsanlagen schlecht oder gar nicht zu verwerten sind und deren Preis daher meist außerordentlich niedrig ist.

Der erste, der einen derartigen Gaserzeuger baute, war der Amerikaner Morgan. Der Grundgedanke dieser Erfindung ist der, daß der Gaserzeuger als eine Art Glocke ausgebildet ist, deren unterer Rand in eine weite mit Wasser gefüllte Schüssel eintaucht. In dieser Schüssel sammeln sich Asche und Schlacke an und können dann, da ja das Wasser den Gaserzeuger dauernd nach unten abschließt, ohne Unterbrechung des Betriebes von Zeit zu Zeit abgezogen werden. Eine in neuerer Zeit häufig angewandte verbesserte Ausführungsform dieses Morgan-Gas-

erzeugers besteht im wesentlichen darin, daß die erwähnte, mit Wasser gefüllte Schüssel sich dauernd ganz langsam dreht. Infolge dieser Drehung wird einmal die Schlacke in Bewegung gehalten und so die Gefahr eines Zusammenbackens verhindert, dann aber werden durch das ständige Umdrehen der Schlacke und Kohle fortwährend neue Flächen des Brennstoffes mit der zuströmenden Luft in Verührung gebracht, was eine Verbesserung und Beschleunigung der Vergasung zur Folge hat. Schließlich können dann auch in einfacher Weise schaufelförmige Vorrichtungen angebracht werden, welche bei der Drehung der wasserhaltenden Schüssel Asche und Schlacke selbsttätig entfernen, so daß damit eine weitere Vereinfachung und Verbilligung des Betriebes erzielt wird.

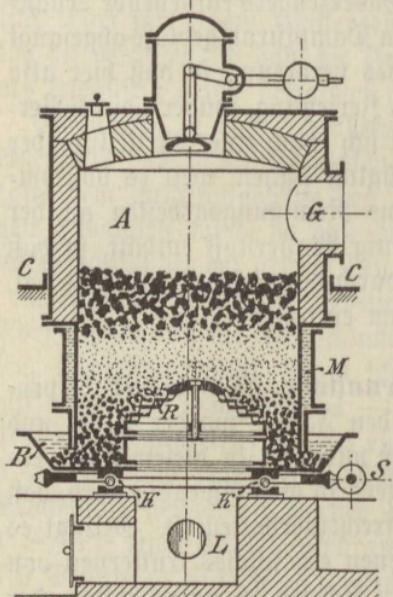


Abb. 5.

Abb. 5 zeigt die Gerippskizze eines solchen neuzeitlichen Gaserzeugers. A ist der obere feststehende Teil, welcher in irgendeiner Weise (z. B. bei C, C) gelagert und häufig (z. B. in der Ausführung von Chrhardt und Sehmer, Saarbrücken) in der Nähe der heißesten Zone mit einem KühlwassermanTEL M umgeben ist. B ist die mit Wasser gefüllte Schüssel, welche der leichteren Beweglichkeit wegen auf Kugeln K, K gelagert ist und durch ein Zahnrad mit Schneckengetriebe S ganz langsam in Umdrehung gehalten wird. R ist der tellerförmige Rost. Seine Achse ist absichtlich nicht mit der Achse des Gaserzeugers zusammenfallend angeordnet, weil dadurch ein fortwährendes Lösen und Zerkleinern der Schlacke erzielt und somit auch ein Festbacken besser verhindert wird. Luft und Dampf treten bei L unter den Rost, während das Gas bei G abgesaugt wird und dann natürlich, ehe es in die Maschine gelangt, eine Reihe der früher besprochenen Reinigungs vorrichtungen durchströmt.

Mit Gaserzeugern dieser und ähnlicher Bauart lassen sich nun eine Reihe von Stoffen zur Gaserzeugung verwenden, die man als minderwertige Brennstoffe zu bezeichnen pflegt. Ein solcher Stoff ist z. B. der Abfall, der sich auf Hüttenwerken und in Leuchtgasanstalten bei der Herstellung des Koks bildet und Koksgrus oder Koksasche genannt wird. Auch

die Rauchkammerlösche der Lokomotiven gehört hierher, das sind feinkörnige, fast staubförmige Kohlenteilchen, die infolge des lebhaften Zuges durch die Rauchrohre des Lokomotivkessels mit fortgerissen werden und sich dann unterhalb des Schornsteines der Lokomotive in der sogenannten Rauchkammer allmählich in großen Mengen ansammeln. Trotz ihres verhältnismäßig hohen Kohlenstoffgehaltes waren diese Brennstoffe bisher schon wegen ihrer feinkörnigen Beschaffenheit in Feuerungsanlagen schlecht oder gar nicht zu brauchen und wurden häufig zu nebensächlichen Zwecken, wie Aufschüttungen von Wegen u. dgl., zu Spottpreisen abgegeben. Eine weitere Art von Brennstoffen, welche als Abfallerzeugnisse bezeichnet werden müssen, sind minderwertige Steinkohlen, insbesondere die sogenannten Klaubeberge, das sind diejenigen Stücke, welche von der aus der Grube kommenden Kohle durch Menschenhand ausgelesen („geklaut“) werden, da sie zu sehr mit Nebenbestandteilen, wie Ton, Schiefer u. dgl., durchsetzt sind.

Durch den Bau der obengenannten Gaserzeuger mit drehbarem Roste ist es möglich geworden, alle diese minderwertigen Brennstoffe in einwandfreier und betriebsicherer Weise zu vergasen und so, bei dem billigen Preise dieser Stoffe, eine äußerst wirtschaftliche Kraftquelle zu erschließen, namentlich auf Werken, wo solche Stoffe im eigenen Betriebe in großen Mengen gewonnen werden. Daß sie in großen Mengen gewonnen werden müssen, ist deshalb wichtig, weil bei dem etwas verwickelten Aufbau und dem dadurch verursachten höheren Preise der besprochenen Gaserzeuger erst bei größeren Leistungen (200 PS und darüber) der wirtschaftliche Vorteil des billigen Brennstoffes zur Geltung kommt.

Übrigens lassen sich solche Drehrost-Gaserzeuger mit geringen Änderungen auch für alle anderen Arten von Brennstoffen — Braunkohle, ja sogar bituminöse Steinkohlen — einrichten, so daß sie infolge dieser vielseitigen Verwendbarkeit eine in jüngster Zeit immer mehr zunehmende Verbreitung gefunden haben.

In das Gebiet der „Abfallerzeugnisse“ gehören eigentlich auch die Gichtgase und die Koksofengase. Da sie aber in engem Zusammenhange stehen mit der Entwicklung der Gasmaschine zur Großgasmaschine, sollen sie erst im nächsten Abschnitte etwas eingehender behandelt werden.

Fünftes Kapitel.

Betrieb und Wirtschaftlichkeit der Sauggasanlagen.

Aus zahlreich angestellten Versuchen hat sich ergeben, daß der Wirkungsgrad des Gaserzeugers einer Sauggasanlage ein ganz vorzüg-

licher genannt werden muß. Dabei versteht man unter Wirkungsgrad das Verhältnis der in dem fertigen Kraftgase enthaltenen Wärmeeinheiten zu der Anzahl der Wärmeeinheiten, welche der für die Vergasung verwendete Brennstoff bei vollständiger Verbrennung liefern würde. Im Mittel kann man diesen Wirkungsgrad zu etwa 80 % annehmen, es sind aber schon solche bis zu 85 % und darüber durch Versuche nachgewiesen worden.

Neben guter Wärmeausnützung besitzen Sauggasmaschinen eine Reihe bedeutender Vorzüge, welche in vielen Fällen für ihre Anschaffung entscheidend gewesen sind und auch fernerhin entscheidend sein werden. Hervorgehoben wurde schon oben (S. 11) die bestechende Einfachheit solcher Anlagen. Dementsprechend sind natürlich auch die Anlagekosten gering und gerade wegen der großen Einfachheit werden Ausbesserungen nur in seltenen Fällen notwendig sein. Gegenüber Dampfmaschinen mit ihren Kesseln, die einer Reihe lästiger gesetzlicher Bestimmungen unterliegen und wegen ihrer Gefährlichkeit unter ständiger Bewachung stehen müssen, ist hervorzuheben die Ungefährlichkeit der Anlage, welche die Möglichkeit einer Explosion wie beim Dampfkessel ausschließt und zur Folge hat, daß Sauggasanlagen z. B. auch unter Räumen, die von Menschen bewohnt sind, also in Kellern u. dgl. aufgestellt werden dürfen, was bekanntlich bei Dampfkesseln nur in bestimmten Ausnahmefällen für Kessel von ganz geringen Leistungen gesetzlich gestattet ist.

Auch die Bedienung der Sauggasanlagen ist außerordentlich einfach. Sieht man ab von dem Ingangsetzen des Gaserzeugers am Morgen sowie nach einer etwaigen Betriebspause, so beschränkt sich die ganze Bedienung der Anlage auf ein in Beiträumen von je 1 ~ 2 oder noch mehr Stunden notwendiges Auffüllen von Brennstoff und das täglich etwa 1—2 mal notwendige Entfernen der Schlacke und Asche, was übrigens meist während des Betriebes geschehen kann. Sehr ins Gewicht fallen dürfte ferner in vielen Fällen der Umstand, daß ein Schornstein nicht erforderlich ist, und damit zusammenhängend das Fortfallen jeglicher Belästigung der Umwohner durch Ruß und Rauch. Endlich wäre auch noch etwas hervorzuheben, was für manche Zwecke sehr wichtig ist, daß nämlich das Ingangsetzen der Anlage im Bedarfsfalle sehr schnell erfolgen kann, da selbst, wenn der Gaserzeuger vollständig ausgeräumt wurde und erkaltet ist, die Anlage meist schon in etwa 1 Stunde betriebsbereit sein kann. Die Brennstoffkosten sind namentlich bei Verwendung von Braunkohle und den oben (S. 9) genannten minderwertigen Brennstoffen außerordentlich gering und betragen mitunter weniger als $\frac{1}{2}$ Pfennig für die Stundenpferdestärke.

Zweiter Abschnitt.

Großgasmaschinen.

Erstes Kapitel.

Entwicklung der Gasmashine zur Großgas-mashine.

Geschichtliches. Es dürfte vielleicht befreindlich erscheinen, der Ausgestaltung der Gasmashine als Großgasmaschine einen besonderen Abschnitt zu widmen, da es zunächst wohl nicht ersichtlich ist, warum dieselbe Gattung von Kraftmaschinen je nach der Größe der von ihr geforderten Leistungen wesentlich andere Eigenschaften besitzen sollte, zumal von einer solchen Unterscheidung z. B. bei Dampfmaschinen nur selten oder gar nicht die Rede ist. Und doch zeigt schon die Entwicklungsgeschichte der Gasmashine, daß es mit dieser Ausbildung als Großgasmaschine seine eigene Bewandtnis haben muß. Daß die erste technisch wirklich brauchbare Gasmashine — die Ottosche Viertaktmaschine vom Jahre 1878 — zunächst nur für kleinere Leistungen ausgeführt wurde, ist vielleicht nicht wunderbar, da ja gerade für kleinere Leistungen eine möglichst einfache, wirtschaftlich arbeitende Kraftmaschine ein schon seit längerer Zeit tief empfundenes Bedürfnis gewesen war, welches durch die technisch mit vielerlei Mängeln behaftete Gasmashine von Lenoir (1860), sowie die sogenannte atmosphärische Gas-Kraftmaschine von Otto und Langen (1867) nicht befriedigt werden konnte.¹⁾ Nachdem sich aber sehr bald die vorzüglichen Eigenschaften dieser neuen Ottoschen Gasmashine herausgestellt hatten, lag der Gedanke nahe, diese Maschine auch für größere Leistungen auszuführen und zu versuchen, der Dampfmaschine auch auf diesem Gebiete in scharfem Wettbewerb gegenüberzutreten.

Da aber stellten sich plötzlich kaum vorhergesehene Schwierigkeiten ein, und es bedurfte der Entwicklungszeit eines Vierteljahrhunderts, um aller dieser Schwierigkeiten Herr zu werden und die Gasmashine so auszugestalten, daß sie nunmehr auch auf diesem von der Dampfmaschine lange und zähe verteidigten Gebiete als höchst gefährlicher und in einzelnen Fällen sogar schon unbedingt siegreicher Wettbewerber auf-

1) Siehe des Verfassers: Neuere Wärme-Kraftmaschinen I, Bd. 21 dieser Sammlung.

zutreten in der Lage ist. Noch im Jahre 1881 wurde eine 50pferdige Gasmaschine der Deutzer Gasmotorenfabrik auf einer Ausstellung in München erheblich angestaut. Im Jahre 1894 erregte die Bestellung einer 160pferdigen Deutzer Gasmaschine von seiten des Baseler Wasserwerkes gewaltiges Aufsehen, und erst in den allerletzten Jahren des vergessenen Jahrhunderts ging man dazu über, wirkliche Großgasmaschinen für Leistungen von mehreren hundert Pferdestärken zu erbauen.

Schwierigkeiten beim Baue von Großgasmaschinen. Welches waren nun die Schwierigkeiten, die sich dem Bau von Gasmaschinen größerer Leistung entgegenstellten? Da wäre zunächst zu beachten, daß ja infolge der eigentümlichen Wirkungsweise des Viertaktes, der sich noch dazu bei den ersten Gasmaschinen lediglich auf der einen Seite des Kolbens abspielte, bei zwei vollständigen Kurbelumdrehungen immer nur während eines Hubes Kraft auf die Maschinenwelle übertragen wurde, bei den anderen drei Hüben dagegen für das Ausstoßen der Verbrennungsgase, das Ansaugen und Verdichten des Ladungsgemisches ein Teil der eben erzeugten Arbeit in der Maschine selbst wieder verbraucht wurde. Anders dagegen bei der Dampfmaschine. Hier wird bei jedem Hub des Kolbens, also bei zwei vollständigen Kurbelumdrehungen viermal Kraft auf die Maschinenwelle übertragen, und wenn auch der auf den Kolben während eines solchen Krafthubes ausgeübte mittlere Druck bei der Gasmaschine infolge des andersgearteten Diagrammes in der Regel größer ist als bei der Dampfmaschine, so folgt doch aus dieser Betrachtung, daß für gleiche Leistung bei der mit einseitiger Kolbenwirkung arbeitenden Viertaktgasmaschine die Abmessungen der Maschine, d. h. Zylinderdurchmesser und Kolbenhub wesentlich größer ausfallen müssen als bei der Dampfmaschine.

Schweres Triebwerk. Diese großen Abmessungen ergeben aber infolge der hohen Pressungen, die in der Gasmaschine bei der Verbrennung des Gasgemisches eintreten, bedeutende Kräfte, die wiederum ein sehr schweres Gestänge notwendig machten. Erwägt man noch, daß auch das Schwungrad in Abbetracht der ungleichmäßigen Kraftausführungen für einen einigermaßen gleichförmigen Gang der Maschine bei größerer Leistung sehr schwer ausfallen müßte, so ist leicht ersichtlich, daß als Folge der nur auf einer Kolbenseite sich abspielenden Viertaktwirkung bedeutende Reibungsverluste in der Maschine auftreten müßten, die nahezu 30% der in der Maschine erzeugten Arbeit betrugten.

Einsluß der hohen Temperatur. Waren das nun aber Übelstände, die sich durch die mit der Zeit immer mehr fortschreitende Werkstatt-Technik sehr wohl noch beherrschen ließen, so bot eine andere Eigentümlichkeit der Gasmaschine für die Ausführung großer Abmessungen bedeutende Schwierigkeiten, nämlich die während der Verpuffung des Gasgemisches im Innern des Zylinders auftretenden sehr hohen Temperaturen. Hat ein Würfel eine Seitenkante von der Länge 1 dem, so beträgt bekanntlich sein Inhalt $1^3 = 1$ cbdem, seine Oberfläche $1^2 \cdot 6 = 6$ qdem. Nimmt man dagegen einen Würfel, dessen Seitenkante 2 dem lang ist, so ist sein Inhalt $(2 \cdot 1)^3 = 2^3 = 8$ cbdem, seine Oberfläche dagegen $(2 \cdot 1)^2 \cdot 6 = 24$ qdem. Während also durch Vergrößerung der Seitenkante auf das Doppelte der früheren Länge die Oberfläche nur $2^2 =$ viermal so groß geworden ist, ist der Inhalt $2^3 =$ achtmal so groß geworden wie vorher. Ganz dasselbe ist nun bei den Kraftmaschinen der Fall. Während die inneren Zylinderwandungen bei zunehmenden Abmessungen sich nur in der zweiten Potenz vergrößern, vergrößert sich das Zylinder volume in der dritten Potenz, es wird also mit zunehmender Größe von Zylinderdurchmesser und Kolbenhub immer schwieriger, durch Kühlung der Zylinderwandungen mittels noch so reichlichen Kühlwassers die Temperaturen im Innern des Zylinders auf ein erträgliches Maß herabzubringen.

Hier erkennt man recht deutlich den Unterschied zwischen Gasmaschine und Dampfmaschine. Bei der Dampfmaschine ist das Kraftmittel Wasserdampf, dessen Temperatur selbst bei hoher Überhitzung etwa 350° C in dem verhältnismäßig kleinen Hochdruckzylinder der Maschine nicht übersteigt, während die Temperatur in den bei großen Maschinen manchmal recht umfangreichen Niederdruckzylindern meist nicht über 100° C hinausgeht. Bei der Gasmaschine dagegen ist mit Temperaturen von 1800° C und darüber zu rechnen, und wenn es nun nicht gelingt, auch für große Leistungen die Zylinderabmessungen in bescheidenen Grenzen zu halten und so mit Hilfe energischer und zweckmäßiger Kühlung der Zylinderwände die Temperatur im Innern des Zylinders zu beherrschen, so können die an einzelnen Stellen auftretenden Temperaturerhöhungen sehr unbedeute Ausdehnungsbestrebungen und damit ein Verziehen einzelner Teile, ja selbst die gefährlichen Frühzündungen des angesaugten Ladungsgemisches zur Folge haben, so daß dadurch sowohl der Betrieb wie der ganze Bestand der Maschine ernstlich gefährdet werden kann.

Gerade durch die zuletzt angestellten Erwägungen dürfte es klar werden, warum die Ausführung von Großgasmaschinen auf Schwierig-

keiten stieß. Man versuchte eben, die Verhältnisse und Bauarten, die sich bei Ausführung für kleinere Leistungen bewährt hatten, einfach ins große zu übertragen, und da sich hierbei die angeführten Übelstände herausstellten, glaubte man, daß die Gasmaschine überhaupt nicht für größere Kraftleistungen geeignet sei, und wandte, um doch einigermaßen große Leistungen zu erzielen, das Aushilfsmittel an, daß man mehrere kleinere Maschinen zu einer größeren Maschine zusammenstelle, wobei aber der Nachteil in Kauf genommen werden mußte, daß der ganze Aufbau der Maschine verwickelt und die Zugänglichkeit zu den einzelnen Teilen erschwert wurde.

Anlässe zur Entwicklung der Großgasmaschine. Den Hauptanstoß zu der Entwicklung der wirklichen Großgasmaschine gab die in der Mitte der 90er Jahre eintretende Erkenntnis, daß man in den aus dem oberen Teile der Hochofen entweichenden Abgasen, den sog. Gichtgasen, ein zur unmittelbaren Krafterzeugung in Gasmaschinen vorzüglich geeignetes Gas in überreichlichem Maße zur Verfügung habe. Zwar wurde dieses Gas schon seit längerer Zeit außer zur Erhitzung der für den Hochofenbetrieb dienenden Gebläseluft auch dadurch zur Krafterzeugung verwendet, daß man es, mit Luft vermischt, unter Dampfkesseln verbrannte und so die Aufwendung besonderen Brennstoffes zum Betriebe der für das Hochofenwerk notwendigen Dampfmaschinen, namentlich der Gebläsemaschinen, ersparte; aber als man erkannte, daß dieses Gas trotz oder vielleicht gerade wegen seines geringen Heizwertes von nur etwa 900 bis 950 WE/cbm vorzüglich zur unmittelbaren Krafterzeugung in Gasmaschinen geeignet sei, ergab sich auch sehr bald, daß jenes Verbrennen des Gases unter Dampfkesseln eine große Wärmevergeudung darstellte und daß bei unmittelbarer Verwendung des Gases als Kraftgas etwa das Zweieinhalb- bis Dreifache der bisher erzielten Leistung gleichsam kostenlos zur Verfügung stand.

So fand z. B. Professor E. Meyer bei seinen Versuchen, die er in Differdingen an solchen mit Gichtgas von 950 WE/cbm getriebenen Gasmaschinen anstellte, einen Verbrauch von 2,25 cbm Gichtgas für die Std-PS, entsprechend einem Wärmeverbrauch von 2140 WE. Nimmt man dagegen an, daß das Gas in vollkommener Weise unter Dampfkesseln verbrannt wird, daß der Wirkungsgrad der Dampfkesselanlage 70 %, der Dampfverbrauch für die Std-PS 6,5 kg und der Wärmebedarf zur Erzeugung von 1 kg Dampf rund 650 WE beträgt, dann hat man zur Erzeugung von 1 Std-PS nötig eine Wärmemenge von $6,5 \cdot 650 = 4225$ WE und folglich (da 1 cbm Gichtgas bei voll-

ständiger Verbrennung unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Kessels $0,7 \cdot 950 = 665$ WE im Dampfkessel zu erzeugen vermag) eine Gasmenge von $\frac{4225}{0,7 \cdot 950} = 6,5$ cbm f. d. Std-PS.

Mit anderen Worten: bei unmittelbarer Verwendung des Gichtgases in Gasmaschinen verbraucht man nur $\frac{2,25}{6,50}$, d. h. etwa den dritten Teil des Gases, den man aufwenden müßte, um unter Zwischenschaltung von Dampfkessel und Dampfmaschine dieselbe Leistung zu erzielen.

Bedenkt man, daß für jede im Hochofen erzeugte Tonne Roheisen nach Abzug aller Verluste und der für Wiederhitzung benötigten Gasmenge noch etwa 2500 cbm Gichtgas für Kraftzwecke zur Verfügung stehen, die nach den eben angestellten Berechnungen für die Erzeugung von etwa 1000 Std-PS ausreichen, und daß ein mittelgroßer Hochofen täglich etwa 150 t Roheisen (größere 250 t, in Amerika sogar 500 t) zu erzeugen vermag, so ergibt sich, daß ein solches Hochofenwerk für jeden seiner Hochofen eine Kraftquelle zur Erzeugung von $\frac{150 \cdot 1000}{24} = 6000$ PS dauernd und fast möchte man sagen: kostenlos zur Verfügung hat.

Da nun derartige Hüttenwerke schon für ihren eigenen Betrieb Maschinen von sehr großen Leistungen nötig haben, so ist es klar, daß durch diese ausgiebige und billige Quelle der Anstoß zum Bau von Gasmaschinen möglichst großer Leistung gegeben war.

Koksengase. Was für die Hüttenwerke die Hochofengase sind, sind für die Kohlenzechen die Koksengase, deren Ausnützung zur Kraftserzeugung ebenfalls zur Entwicklung und raschen Verbreitung der Großgasmaschinen namentlich in neuester Zeit nicht unwesentlich beigetragen hat. Die Ausbeute der Koksöfen an Gas sowie der für Kraftserzeugung verwendbare Überschuß schwankt je nach der Art der Öfen und Beschaffenheit der Kohle in ziemlich weiten Grenzen. Rechnet man den Heizwert des Koksengases im Mittel zu rund 4000 WE/cbm, den Wärmeverbrauch einer Koksengasmaschine zu 2200 WE/Std-PS, so dürfte die Gasmenge, die für jede in 24 Stunden hergestellte Tonne Koks zur Kraftserzeugung zur Verfügung steht, erfahrungsgemäß für eine Dauerleistung von etwa 10 PS ausreichen. Da nun Anlagen mit einer täglichen Erzeugung von 300 t Koks und darüber auf neuzeitlichen Kokereien nichts Seltenes sind, so ergäbe das für ein solches Werk eine dauernde Kraftleistung von etwa 3000 PS_n.

Endlich war es auch noch ein anderes Ereignis, welches (ebenfalls um die Mitte der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts) einen mächt-

tigen Anstoß zum Bau von Großgasmaschinen gab: das Auftreten der ersten großen für den Betrieb mit Gichtgasen gebauten Zweitaktmaschine nach dem System von Öchelhäuser, und man hat wohl das Erscheinen dieser Maschine geradezu als den Ausgangspunkt sowohl für die Hochofengasverwertung wie für den Gasmaschinengroßbetrieb bezeichnet.

Die verschiedenen Formen der Großgasmaschinen. In rascher Auseinanderfolge erschienen dann nach der Öchelhäusermaschine die gewaltigen einfachwirkenden Viertaktmaschinen der Firma Cockerill in Seraing; die in Tandemanordnung gebauten zweizylindrigen Maschinen mit einfachwirkendem Viertakt in jedem Zylinder; die doppeltrwirkende Zweitaktmaschine von Körting, an welche sich dann schließlich die doppeltrwirkenden Viertaktmaschinen anschlossen.

Von den genannten Bauarten sind die großen Einzylindermaschinen mit einfachwirkendem Viertakt sowie die Öchelhäusermaschine heute vom Markte verschwunden und sollen daher hier nicht näher besprochen werden. Die doppeltrwirkende Zweitaktmaschine von Körting findet in der Hauptsache nur noch Anwendung zum Betriebe von Gebläsen und Pumpen, wofür sie sich ihrer guten Regulierfähigkeit wegen besonders eignet. Für die größten Leistungen, namentlich zur Erzeugung elektrischer Energie auf großen Hüttenwerken und Zechen, kommt heute wohl nur noch die doppeltrwirkende Viertaktmaschine in Frage, meist in der Form der Tandem- oder Zwillingstandemmaschine, mit welcher Leistungen bis zu 1500 PS in einem Zylinder, im Höchstfalle also etwa 6000 PS in einer Maschineneinheit erzielt werden können.

Zweites Kapitel. Zweitaktmaschinen.

Viertakt, Zweitakt, Einakt. Es kann als bekannt vorausgesetzt werden¹⁾, daß der Viertakt in der Form, wie er in den ersten Gasmaschinen zur Wirkung kam, nämlich als sog. einfachwirkender Viertakt, eine Reihe von unleugbaren Übelständen zur Folge hatte, deren schlimmster wohl der war, daß sich für eine bestimmte Kraftleistung ein verhältnismäßig schweres Gestänge ergab, dessen Festigkeitseigenschaften bei dem Gange der Maschine nur unvollkommen ausgenutzt werden konnten, da eben immer für drei unter vier Kolbenhüben ein wesent-

1) S. Anmfg. a. S. 23.

lich leichteres Gestänge ausreichend gewesen wäre und somit durch das schwere Gestänge eine Versteuerung der Maschine und unnötige Reibungsverluste verursacht würden.

Gelang es, die Wirkungsweise der Gasmaschinen so umzugestalten, daß bei jeder Umdrehung der Maschine oder, anders ausgedrückt, bei jedem Hin- und Hergange des Kolbens wenigstens einmal eine Verbrennung angesaugten Ladungsgemisches erfolgte, so müßte eine solche „Zweitaktmaschine“ theoretisch bei gleichen Abmessungen der Maschine die doppelte Leistung und eine doppelt so gute Gestängearausnützung ergeben wie eine einfachwirkende Viertaktmaschine. Gelang es dann gar noch, einen solchen Zweitakt zu beiden Seiten des Maschinenkolbens zur Ausführung zu bringen, so daß also bei jedem Hub des Kolbens eine Verbrennung angesaugten Ladungsgemisches erfolgte, so war mit einer solchen „Eintaktmaschine“ theoretisch offenbar das Ideal einer Gaskraftmaschine erreicht, da sie bei gleichen Zylinderabmessungen und gleichem Kolbenhub die vierfache Leistung und viermal so gute Gestängearausnützung ergeben müßte wie eine einfachwirkende Viertaktmaschine.

Arbeitsweise von Zweitaktmaschinen. Die Schwierigkeit bei der Gasmaschine, den Zweitakt einzuführen, wurde in der Weise gelöst, daß der Maschinenkolben selber als Mittel zur Steuerung herangezogen wurde. Bei allen Zweitaktmaschinen, ganz gleichgültig welcher Bauart, erhält der Zylinder in entsprechender Entfernung von den Zylinderdeckeln Durchbrechungen („Auspuffschlitze“ Abb. 6a), welche von dem stets verhältnismäßig langen Kolben auf dem größten Teile des Hubes verdeckt und erst am Ende des Hubes, wenn die Ausströmung beginnen soll, freigegeben werden (Abb. 6c). Infolge der verhältnismäßig hohen Spannung — 3 bis 4 atm —, welche die Gase im

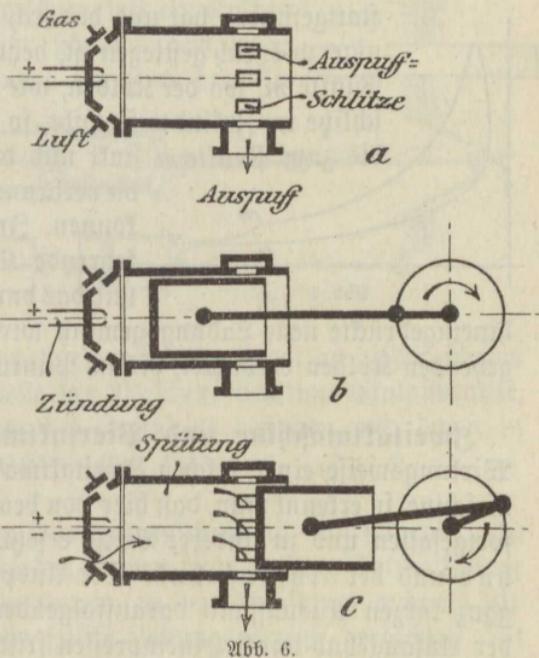


Abb. 6.

Augenblicke der Öffnung der Auspuffschlitzé noch besitzen, strömen sie dann zum größten Teile selbsttätig mit großer Geschwindigkeit aus dem Zylinder heraus, während der Rest durch eingeleitete Preßluft („SpülLuft“) aus dem Zylinder hinausgespült wird (Abb. 6c). Das Ausströmen und Ausspülen muß außerordentlich rasch vor sich gehen, da es ja in dem Augenblicke beendet sein muß, wo der rückkehrende Kolben die Auspuffschlitzé wieder schließt. Kurz vor und unmittelbar nach dem Abschluß der Schlitze wird, ebenfalls in sehr kurzer Zeit, frisches Gasgemisch mit Hilfe besonderer Pumpen in den Zylinder hineingedrückt, von dem rückkehrenden Kolben verdichtet, worauf dann im Tropfpunkte die Zündung erfolgt (Abb. 6b).

Die Füllung des Zylinders mit neuem, frischem Gasgemisch kann hier also nicht wie bei der Viertaktmaschine durch den Maschinenkolben selber erfolgen, vielmehr sind dazu eigene Vorrichtungen, d. h. Pumpen, notwendig, und so besitzen also sämtliche Zweitaktmaschinen, ganz gleichgültig welcher Bauart, folgende kennzeichnende Einrichtungen: erstens Auspuffschlitzé an Stelle von Auslaßventilen, zweitens einen Kolben, dessen Länge nur wenig kürzer ist als sein Hub, und drittens je eine Pumpe für Luft und eine für Brennstoff.

Abb. 7 zeigt das kennzeichnende Diagramm einer Zweitaktmaschine. Nachdem im Punkte *P* die Zündung des verdichteten Gasgemisches stattgefunden hat und dadurch die Spannung mehr oder weniger plötzlich gestiegen ist, dehnen sich die Gase aus bis zum Punkte *m*, wo der Kolben, wie oben beschrieben, die Auslaßschlitzé im Zylinder freigibt, so daß die Spannung sehr rasch bis zum Punkte *n* sinkt und durch nachströmende SpülLuft die verbrannten Gase ausgetrieben werden können. Im Punkte *o* schließt der rückkehrende Kolben die Schlitzé wieder ab und das durch die Pumpen in den Zylinder

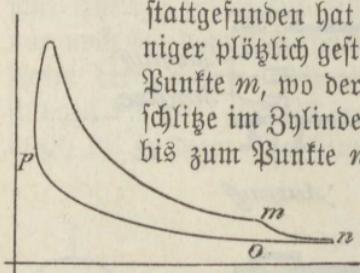


Abb. 7

hineingedrückte neue Ladungsgemisch wird von dem weiter nach links gehenden Kolben verdichtet, bis im Punkte *P* die neue Zündung erfolgt.

Zweitaktmaschine und Viertaktmaschine. Vergleicht man die Wirkungsweise einer solchen Zweitaktmaschine mit der einer Viertaktmaschine, so erkennt man, daß hier von dem Viertaktvorgange zwei Takte fortgefallen und in anderer Weise ersetzt sind, nämlich der Auspuffhub und der Ansaugehub. Der Auspuffhub wird ersetzt durch den ganz kurzen Auspuff mit darauffolgender Ausspülung des Zylinders, der Ansaugehub durch Hineinpressen frischen Ladungsgemisches. Man

erkennt aber auch, daß die übrigen Vorgänge im Zylinder der Zweitaftmaschine genau dieselben geblieben sind wie bei der Viertaktwirkung. So ist vor allem darauf hinzuweisen, daß auch hier, gerade so wie bei der Viertaktmaschine, die Verdichtung des Ladungsgemisches in dem Kraftzylinder der Maschine selbst erfolgt, da die geringe für das Hineinbringen des Ladungsgemisches in den Zylinder erforderliche und durch die obenerwähnten Pumpen bewirkte Preßung des Gases und der Luft (etwa 1,3—1,4 atm Überdruck) während des Ladens fast vollständig verloren geht und somit für die eigentliche Verdichtung vor Eintritt der Zündung so gut wie gar nicht in Betracht kommt.

Drittes Kapitel.

Die Zweitaftmaschine von Körting.

Beschreibung der Maschine. Die Zweitaftmaschine von Körting ist insofern bemerkenswert, als sich bei ihr ein doppeltwirkender Zweitaft oder mit anderen Worten eine Eintaktwirkung in einem einzigen Zylinder abspielt.

Abb. 8 zeigt als Gerippskizze den wagerechten Durchschnitt durch eine solche Maschine. Wie man sieht, besteht die Maschine im wesentlichen aus dem Kraftzylinder, in welchem sich ein Kolben bewegt, dessen Länge ungefähr gleich seinem Hub ist. Neben dem Zylinder befinden sich zwei doppeltwirkende Pumpen, von denen die eine nur Luft, die andere nur Gas, wie oben beschrieben, in die Maschine hineinpreßt. Für das

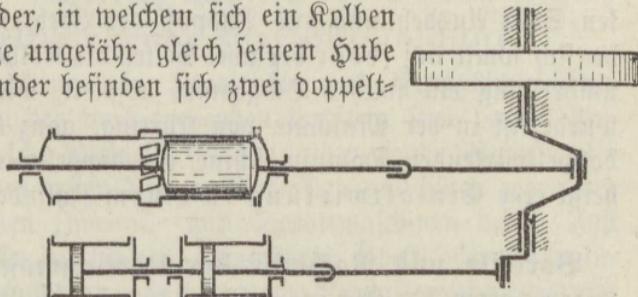


Abb. 8.

Einlassen von Luft und Gas besitzt der Kraftzylinder an beiden Enden besondere, von der Steuerwelle der Maschine betätigten Einlaßventile, die sich auf der oberen Seite des Zylinders befinden und daher in dem dargestellten Schnitte nicht sichtbar sind.

Die Wirkungsweise der Körtingmaschine ist nun folgende: In der gezeichneten Stellung hat der Kolben seine vordere Totpunktslage erreicht und dabei auf der vorderen (in der Abbildung rechten) Zylinderseite das dort befindliche frische Ladungsgemisch verdichtet. Die

in diesem Augenblicke durch elektrische Zündung eintretende Verbrennung treibt den Kolben nach links, wobei die Verbrennungsgase sich so lange ausdehnen, bis die rechte Kolbenkante die in der Mitte des Zylinders sichtbaren Auspuffschlitze freilegt. In diesem Augenblicke treten die immer noch hochgespannten Gase mit großer Gewalt in das Auspuffrohr, verlieren dadurch an Spannung, und kurz darauf öffnet sich das rechte (in der oberen Zylinderhälfte befindliche und darum in der Abbildung nicht sichtbare) Einlaßventil, durch welches zunächst nur SpülLuft in den Zylinder eintritt, um, wie oben beschrieben, die Verbrennungsgase vollständig aus dem Zylinder hinauszudrängen. Kurz darauf tritt, während die rechte Kante des rückkehrenden Kolbens allmählich die Auspuffschlitze abschließt, durch dasselbe Ventil Gas mit jener Luft vermischt in den Zylinder ein, das Einlaßventil schließt sich und das auf der rechten Zylinderseite befindliche Ladungsgemisch wird nun von dem rückkehrenden Kolben verdichtet, worauf im vorderen Totpunkte die Zündung eintritt und dasselbe Spiel sich erneuert.

Es dürfte aus der Abbildung ohne weiteres ersichtlich sein, daß sich genau dieselben Vorgänge, nur gegen die rechte Seite des Kolbens um etwas verschoben, auf der linken Kolbenseite abspielen. Während rechts Verdichtung und Zündung vor sich gehen, finden auf der linken Seite Ausdehnung und Auspuff der Verbrennungsgase statt, und da sich somit auf jeder der zwei Seiten des Kolbens bei jeder Kurbelumdrehung ein solches Diagramm abspielt, wie es oben beschrieben wurde, ist in der Maschine von Körting, ganz ähnlich wie bei einer doppelstwirkenden Dampfmaschine, ein doppelstwirkender Zweitakt, das heißt eine Eintaktwirkung in einem Zylinder erreicht.

Vorteile und Nachteile der Körtingmaschine. Was nun die Eigenschaften der Körtingmaschine betrifft, so ist ja zunächst nicht zu leugnen, daß diese Maschine der einfachen Viertaktmaschine gegenüber gewisse schon früher erwähnte Vorzüge besitzt, von denen die größere Gleichförmigkeit des Ganges sowie die bessere Ausnützung des Gestänges noch einmal hervorzuheben wären. Auch die Abmessungen des Zylinders werden für gleiche Leistungen zwar kleiner als die Abmessungen einer einfachwirkenden Viertaktmaschine, jedoch ist zu beachten, daß diese Abmessungen nicht etwa so klein werden, als dies nach den früheren Erörterungen (S. 29) theoretisch der Fall sein sollte. Stimmt das von dem Kolben zurückgelegte Hubvolumen bei beiden Maschinengattungen überein, so würde bei gleicher Umdrehzahl und

gleich großem Diagramm die Leistung der doppeltwirkenden Zweitaktmaschine theoretisch viermal so groß sein als bei der einfachwirkenden Viertaktmaschine. Das ist nun aber nicht der Fall. Verfolgt man nämlich zunächst den Ladevorgang bei der Zweitaktmaschine, so erkennt man, daß es sehr schwierig sein wird, Größe und Anordnung der Auspuffschlitze a gerade so auszuführen, daß das hinter den Auspuffgasen und der Spülluft in den Zylinder eintretende frische Gas nicht ebenfalls zum Teil aus den Auspuffschlitzen entweicht und so zu Gasverlusten und damit zu unwirtschaftlichem Arbeiten Anlaß gibt. Und dies hat zur Folge, daß das Diagramm in der Regel etwas kleiner aussfällt als das gleich großer Viertaktmaschinen.

Erwägt man ferner, daß der Betrieb der Spül- und Ladepumpen und das Hineinbringen der Luft- und Gasmengen in den Zylinder nicht unerhebliche Reibungs- und sonstige Arbeitsverluste zur Folge hat, so wird es erklärlieh erscheinen, daß die Leistung der Körtingmaschine, die theoretisch viermal so groß sein sollte als die Leistung einer mit gleichen Abmessungen ausgeführten einfachwirkenden Viertaktmaschine, in Wirklichkeit um ein Beträchtliches hinter dieser theoretischen Leistung zurück bleibt.

Viertes Kapitel.

Die doppeltwirkende Viertaktmaschine.

Die Viertaktmaschine als Zweitakt- und Eintaktmaschine. Es war absichtlich in den vorhergehenden Kapiteln stets darauf hingewiesen worden, welche Nachteile der einfachwirkende Viertakt, also die Wirkungsweise der ersten kleinen Viertaktgasmaschinen gegenüber den eben beschriebenen Zweitakt- und Eintaktmaschinen besitzt. Fast alle die im vorhergehenden (S. 28) aufgeführten Übelstände verschwinden nämlich, wenn man die einfachwirkende Viertaktmaschine dadurch zur Zweitaktmaschine macht, daß man einen solchen regelrechten Viertakt sich nicht bloß auf einer, sondern unter entsprechender Verschiebung auf beiden Seiten des Maschinenkolbens abspielen läßt. Obgleich eine solche Arbeitsweise unzweifelhaft eine Zweitaktwirkung genannt werden kann, pflegt man im allgemeinen derartige Maschinen zum Unterschiede von den im vorhergehenden besprochenen Maschinen doch nicht als Zweitakt-, sondern als doppeltwirkende Viertaktmaschinen zu bezeichnen. Setzt man zwei solcher Zylinder hintereinander, indem man beide Kolben auf dieselbe, entsprechend verlängerte Kolbenstange wirken läßt, so ergibt sich in einfacher Weise eine Ein-

taktmaschine, in diesem Falle auch doppeltwirkende Viertakt-tandemmaschine genannt, eine Gasmaschinenart, die in neuerer Zeit auf großen Hüttenwerken und Zechen zur Ausnützung der Hochofen- und Koksofengase eine weite Verbreitung gefunden hat. Läßt man dann noch zwei derartige Tandemaschinen an einer Welle angreifen (Zwillingstandemaschinen) so bekommt man die größten Maschinen-einheiten (4000 PS und darüber), die bisher bei Hoch- und Koksofengasmaschinen ausgeführt wurden.

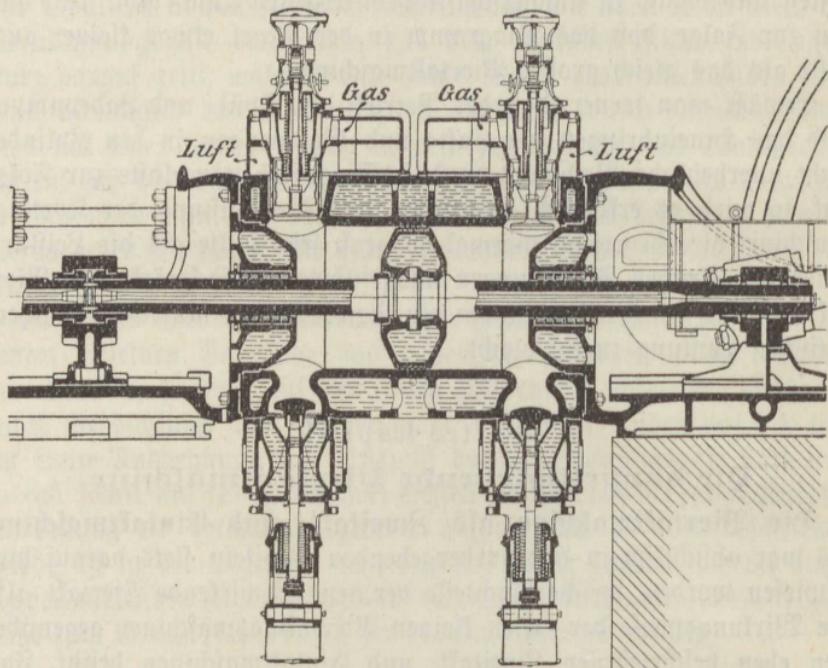


Abb. 9.

Beschreibung einer doppeltwirkenden Viertaktmaschine. Die Abb. 9 stellt den vorderen, nach dem Schwungrad zu gelegenen Zylinder einer Tandemaschine der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg dar. Das Schwungrad ist rechts oben noch angedeutet, einen gleich großen Zylinder muß man sich links als Fortsetzung der Abbildung denken. Man erkennt zunächst ganz allgemein, daß die Maschine sich auf den ersten Blick fast gar nicht von einer gewöhnlichen doppeltwirkenden Ventildampfmaschine unterscheidet. In der oberen Hälfte des Zylinders befinden sich die beiden Einlaßventile, in der unteren die beiden Auslaßventile. Ganz oben auf dem Zylinder sind ferner die beiden Kanäle sichtbar, durch welche Luft und Gas den Ventilen zugeleitet

werden. Die Ventile sind so gebaut, daß sie in geschlossenem Zustande die Kanäle für Luft und Gas abschließen. Werden sie durch die Steuerung nach unten gedrückt, also geöffnet, so öffnen sie auch und zwar gleichzeitig die Kanäle für Gas und Luft, so daß also ein durch das Verhältnis der Kanalöffnungen bestimmtes Gasgemisch an den Ventilen vorbei in den Zylinder eintritt. Bemerkenswert ist, daß hier (wie übrigens auch bei der Körtingmaschine) der Kolben sowohl wie die Kolbenstangen von Kühlwasser durchflossen werden. Das Kühlwasser wird bei dem einen Kreuzkopf — bei Tandemmaschinen ist es in der Regel der mittlere — zugeleitet, durchströmt Kolbenstange und Kolben und fließt dann durch die andere Kolbenstange und den zweiten Kreuzkopf wieder ab. Bei einfachwirkenden Viertaktmaschinen, die ja in der Regel nur für kleine Leistungen gebaut werden, ist eine solche Kolbenführung überflüssig, da ja hier die eine Kolbenseite mit der Außenluft ständig in Berührung bleibt und so bei der schnellen Bewegung des Kolbens in ausreichender Weise gefühlt wird.

Arbeitsweise und Regulierung der Maschine. Geht der Kolben von der linken Endlage nach rechts, so wird durch einen in der Abbildung nicht sichtbaren Hebel das links oben befindliche Einlaßventil geöffnet und so lange offen gehalten, bis der Kolben in der Nähe der rechten Endlage angekommen ist. Dann wird das Einlaßventil geschlossen, der Kolben geht wieder nach links und verdichtet dabei das Gasgemisch, bis in der Nähe der linken Endlage die Zündung des Gemisches — auf elektrischem Wege — eintritt, wodurch der Kolben nach rechts getrieben wird (Arbeitshub!). Ist dann die rechte Endlage wieder erreicht, so wird von der Steuerung das Auslaßventil geöffnet, durch welches die verbrannten Gase von dem rückkehrenden Kolben ins Freie ausgestoßen werden. Genau derselbe Vorgang, nur in entsprechender Weise gegen die linke Seite verschoben, spielt sich natürlich auf der rechten Kolbenseite ab.

Soll die Maschine weniger Arbeit leisten, so wirkt der Regulator der Maschine in der Weise auf die Steuerung ein, daß die Ventile weniger hoch gehoben werden, so daß also ein entsprechend geringeres Gasgewicht von dem Kolben der Maschine angesaugt wird. Bei erforderlicher größerer Arbeitsleistung tritt natürlich das Umgekehrte ein.

Eine eigentümliche, wenig angenehme Eigenschaft der Gasmaschine ist bekanntlich die (s. des Verfassers Neuere Wärmekraftmaschinen I, Bd. 21 dieser Sammlung), daß sie nicht überlastet werden kann, da sie im Falle einer solchen Überlastung sofort stehenbleibt. Bei der eben

besprochenen Maschine wäre z. B. die Höchstleistung dann erreicht, wenn die Ventile ihre größtmögliche Hubhöhe, entsprechend der Weite der Gas- und Luftröhre, erreicht haben. Um nun doch noch im Notfalle eine über dieses Maß hinausgehende Leistung erzielen zu können, wird von einigen Firmen (z. B. von Ehrhardt & Schmer, Saarbrücken) folgende Einrichtung getroffen: Bei gewöhnlichem Gange der Maschine bleibt bekanntlich am Ende des Auspuffes der sogenannte Laderraum, das ist der Raum zwischen Zylinderdeckel und Kolben in äußerster Totlage mit verbrannten Gasen gefüllt. Diese verbrannten Gase vermischen sich mit dem neu angesaugten Gasgemisch und verschlechtern daher seine Wirksamkeit. Läßt man dagegen im Verlaufe des Auspuffes frische Luft unter Druck in den Zylinder eintreten, so daß er, ähnlich wie bei der Zweitaktmaschine, vor dem Eintreten des neuen Ladungsgemisches ausgespült wird, so wird auch die Wirkung des neuen Gasgemisches bei der Bündung stärker, die Maschine leistet etwa 25 % mehr Arbeit. Allerdings müssen für ein solches Ausspülen natürlich besondere Luftverdichtungsmaschinen (Ventilatoren) und besondere Steuereinrichtungen vorhanden sein, wodurch ein Teil der erzielten Mehrleistung wieder verbraucht und der ganze Aufbau der Maschine etwas verwirchter wird.

Vorteile der doppelwirkenden Viertaktmaschine. Der am meisten in die Augen springende Vorteil der doppelwirkenden Viertaktmaschinen gegenüber den früher besprochenen Zweitakt- und Einaktmaschinen ergibt sich aus dem Fortfall jeder Art von Spül- und Ladepumpen, wodurch nicht nur die ganze Bauweise der Maschine vereinfacht, sondern auch infolge des Fortfallens der Pumpenwiderstände und durch die wesentlich verringerten Reibungsverluste der mechanische Wirkungsgrad der Maschine so erheblich verbessert wird, daß er bei neueren besten Maschinen dieser Art bis zu 85 % und darüber beträgt. Der Fortfall der Ladepumpen und die dadurch bewirkte Einfachheit der Bauart ist naturgemäß auch für die Betriebsicherheit von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Ist es doch sogar in Notfällen bei Schadhaftwerden von Steuerungsteilen oder dergleichen möglich, die eine oder andere Zylinderseite auszuschalten und die Maschine nur mit einer Kolbenseite zu betreiben. Bei der Körtingmaschine dagegen sind, wie ja überhaupt bei jeder Zweitaktmaschine, außer dem Kraftzylinder auch noch die Ladepumpen vorhanden, deren Betriebsbereitschaft für die ganze Maschine von ausschlaggebender Bedeutung ist, da ja z. B. ein Unfall an diesen Pumpen ein Stillsetzen der ganzen Maschine zur Folge haben muß.

Bergleicht man ferner die im Eintakt arbeitende Körtingmaschine mit der ebenfalls im Eintakt arbeitenden zweizylindrischen doppelstwirkenden Viertaktmaschine, so tritt bei der Viertaktmaschine als weiterer Vorteil der vollkommenere Ladevorgang hinzu, und wenn man erwägt, wie groß schon die Abmessungen des einen Kraftzylinders bei der Körtingmaschine infolge des sehr langen Kolbens werden, und daß außerdem zu dem einen Kraftzylinder noch zwei für den Betrieb der Maschine unumgänglich nötige Pumpenzylinder mit ihren Steuerungen auszuführen sind, so dürfte die Körtingmaschine mit ihrem einen großen Kraftzylinder jener insgesamt nur zwei kleinere Zylinder besitzenden doppelstwirkenden Viertaktmaschine gegenüber kaum im Vorteil sein.

Allerdings besitzt die doppelstwirkende Viertaktmaschine gegenüber der Körtingmaschine einen kaum zu bestreitenden Nachteil, und zwar in der Gestalt der Auslaßventile. Die Vorrichtung, vermittels derer die heißen Verbrennungsgase aus dem Zylinder herausgelassen werden, besteht ja, wie aus den früheren Beschreibungen hervorgeht, bei der Körtingmaschine wie überhaupt bei jeder Zweitaktmaschine aus einem Kranz von Schlitzen, welche in der Wandung des Zylinders untergebracht sind und durch den Kolben der Maschine selbst geöffnet und geschlossen werden. Bei den Viertaktmaschinen dagegen geschieht dieses Herauslassen der heißen Verbrennungsgase durch Ventile. Infolge der hohen Temperatur dieser Gase (500° und darüber) ist es von besonderer Wichtigkeit, daß gerade diese Ventile gut durch Wasser gekühlt werden, da sonst ein Festbrennen der Ventile und damit eine Betriebsstörung unvermeidlich ist. Erwägt man nun, daß eine doppelstwirkende Viertakt-Tandemmaschine (nur eine solche kann des erforderlichen Eintaktes wegen mit einer Körtingmaschine verglichen werden) vier solcher Auslaßventile besitzt, die noch dazu aus baulichen Rücksichten meist unterhalb der Maschine, also an einer nicht leicht zugänglichen Stelle angebracht sind, so wird man dies als einen nicht unerheblichen Nachteil der doppelstwirkenden Viertaktmaschine gegenüber der Körtingmaschine anerkennen müssen.

Entwicklung der doppelstwirkenden Viertaktmaschine. Betrachtet man die vielfachen Vorteile der doppelstwirkenden Viertaktmaschinen insbesondere für die Ausbildung als Großgasmaschinen, so liegt die Frage nahe, warum man diesen bei der großen Verbreitung und hohen Entwicklung der doppelstwirkenden Dampfmaschine so naheliegenden Gedanken nicht schon viel früher zur Ausführung gebracht hat. Der Hauptgrund liegt wohl darin, daß man zunächst immer versucht, die für eine

möglichst billige Herstellung zweckmäßige und für kleinere Leistungen auch völlig ausreichende Bauweise der ersten Viertaktgasmaschinen, die sich in jahrelangen Betrieben als durchaus zuverlässig bewiesen hatte, auch für den Bau von Großgasmaschinen zu verwenden. Das mußte aber, infolge des einfachwirkenden Viertaktes, für größere Leistungen auf gewaltige Abmessungen von Zylindern und Triebwerken führen, was wiederum große Schwierigkeiten für Bau und Betrieb zur Folge hatte. Diese Schwierigkeiten glaubte man nur durch Übergang vom Viertakt zum Zweitakt überwinden zu können, weil theoretisch ja eine Maschine mit gleich großem Zylinderdurchmesser und gleich großem Kolbenhub als Zweitaktmaschine doppelt so viel leisten mußte wie als einfachwirkende Viertaktmaschine. Es wurde früher (S. 33) gezeigt, daß das in Wirklichkeit nicht der Fall ist.

Außerdem scheute man sich anfänglich davor, Stopfbüchsen auszuführen, da man solche bei den hohen in der Gasmaschine vorkommenden Temperaturen nicht für genügend betriebsicher ansah und die ersten Versuche zur Anwendung von Stopfbüchsen infolge unzweckmäßiger Bauart fehlgeschlagen. Auch die für doppeltrwirkende Maschinen unbedingt nötige Kühlung des Kolbens bereitete anfänglich Schwierigkeiten, die wohl zuerst von Körting in seiner zwar nicht in den Handel gelangten, aber in der Fabrik jahrelang betriebenen ersten doppeltrwirkenden Viertaktmaschine überwunden wurden.

Fünftes Kapitel.

Wirtschaftliche Bedeutung und Betrieb der Großgasmaschinen.

Großgasmaschine und Großdampfmaschine. Die im vorhergehenden geschilderten Anstrengungen, die von allen Seiten gemacht wurden, um die Gasmaschine, deren theoretische Überlegenheit über die Dampfmaschine schon längst erkannt war, auch in betriebstechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht auf eine möglichst hohe Stufe der Vollkommenheit zu bringen, haben heute schon mehrfach zu großartigen Erfolgen geführt. Zunächst ist es ja immer wieder die wesentlich bessere Wärmeausnutzung, welche der Gasmaschine, ganz gleichgültig in welcher Gestaltung, einen Vorsprung gegenüber ihrer heftigen Wettbewerberin, der Dampfmaschine, verleiht, denn während selbst die vollkommensten Dampfmaschinen etwa 0,6 kg Kohle, d. h. rund 4500 WE zur Erzeugung einer Std-PS_n brauchen, ist man bei besten Großgasmaschinen heute schon bis auf einen Gasverbrauch heruntergekommen,

der einem Wärmeverbrauch von nicht wesentlich mehr als etwa 2000 WE/Std-PS_n entspricht. Erwägt man, daß nach dem ersten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie 1 Std-PS einer Wärmemenge von $\frac{75 \cdot 60 \cdot 60}{427} = 632$ WE gleichwertig ist, so würden jene 4500 WE einer Ausnützung der in den Kohlen zugeführten Wärme von

$$\frac{632}{4500} \cdot 100 = \sim 14\%$$

entsprechen, gegenüber einer Wärmeausnützung von

$$\frac{632}{2000} \cdot 100 = \sim 32\%$$

bei der Gasmaschine.

Wirtschaftliche Bedeutung der Hochofen- und Koksofengasmaschinen. Diese wärmetechnische Überlegenheit der Gasmaschine wird natürlich ganz besonders da zur Geltung kommen, wo für Dampfmaschine sowohl wie für Gasmaschine ein und dieselbe Wärmequelle in Frage kommt, und dies ist vornehmlich der Fall auf Hüttenwerken und Kohlenzechen, die daher augenblicklich auch das Hauptanwendungsbereich der Gasmaschinen bilden, und zwar, bei dem bedeutenden Kraftbedarfe der genannten Unternehmungen, hauptsächlich in der Gestalt der sogenannten Großgasmaschinen. Eine vergleichende Rechnung für die Bewertung der Hochofengase in Gasmaschinen und Dampfmaschinen wurde schon früher (S. 27) gegeben. Daß für die Koksofengase die Verhältnisse ganz ähnlich liegen, bedarf wohl kaum einer Erwähnung. Welche wirtschaftliche Bedeutung diese bessere Ausnützung der Hochofengase und Koksofengase allein schon für Deutschland besitzt, ersieht man aus folgender Berechnung: Die jährliche Roheisenerzeugung in Deutschland beträgt gegenwärtig etwa 13 000 000 t, entsprechend einer Ausbeute an Gichtgas, welche nach den früheren Berechnungen (s. S. 27) ausreichen würde zur dauernden Erzeugung von

$$\frac{13\,000\,000}{365 \cdot 24} \cdot 1000 = \sim 15\,000\,000 \text{ PS.}$$

Die jährliche Kokserzeugung in Deutschland beträgt gegenwärtig etwa 26 000 000 t, entsprechend (nach unseren auf S. 27 angestellten Berechnungen) der Möglichkeit einer dauernden Krafterzeugung von

$$\frac{26\,000\,000}{365} \cdot 10 = \sim 700\,000 \text{ PS.}$$

Da man bei Verbrennung der genannten Gase unter Dampfkesseln, wie wir früher gesehen hatten, nur etwa $\frac{1}{s}$ der Leistung zu erzielen vermag, so ergäbe die ausschließliche Ausnützung der Gicht- und Kok-

ofengase in Großgasmaschinen einen sozusagen kostenlosen Gewinn von fast 1500000 PS.

Weniger günstig liegen natürlich die Verhältnisse für Gasmaschinen dann, wenn auch für sie erst der Energieträger, in diesem Falle das Gas, in besonderen Erzeugern irgendwelcher Art hergestellt werden muß, da in diesem Falle noch die in den Gaserzeugern eintretenden Wärmeverluste hinzukommen. Aber da der Wirkungsgrad der Gaserzeuger, wie früher (S. 22) gezeigt wurde, im allgemeinen verhältnismäßig hoch ist, so wird auch in diesem Falle die Großgasmaschine sehr häufig mit der Dampfmaschine in Wettkampf treten können, namentlich dann, wenn für die Herstellung des Kraftgases minderwertige Brennstoffe verwendet werden können. Allgemein gültige Angaben lassen sich allerdings dafür nicht geben, vielmehr wird es immer von den jeweiligen Verhältnissen abhängen, ob in dem betreffenden Falle die Gasmaschine oder die Dampfmaschine als die wirtschaftlichere Kraftmaschine anzusehen ist.

Betrieb der Großgasmaschinen. Ist nun die wärmetechnische Überlegenheit der Gasmaschine über die Dampfmaschine erwiesen, so fragt es sich, ob auch in betriebstechnischer Hinsicht die Großgasmaschine, namentlich in der Gestalt als Hochofen- oder Koksofengasmaschine auf gleicher Höhe steht wie die hochentwickelte Großdampfmaschine. Die meisten Schwierigkeiten bereitete dabei anfänglich die Unreinheit der in Betracht kommenden Gase, der sogenannte Gichtstaub der Hochofengase, die Teerbestandteile und der Schwefelgehalt der Koksofengase. Nachdem es aber gelungen ist, dieser Schwierigkeiten in vollkommener Weise Herr zu werden, so daß es z. B. jetzt möglich ist, den Staubgehalt des Gichtgases bis auf 0,01 g im Kubikmeter, ja selbst noch weiter herunterzubringen und auch das Koksofengas in jeder gewünschten Reinheit herzustellen, kann in dieser Hinsicht der Gasmaschine ein Vorwurf nicht mehr gemacht werden.

Auch der Bedarf an Schmieröl, einst der wundeste Punkt aller Gasmaschinenbetriebe, ist in neuester Zeit durch zweckentsprechende Ausbildung der Maschinen und der zur Schmierung benötigten Vorrichtungen auf ein so geringes Maß gebracht worden, daß ein Unterschied zwischen Gasmaschine und einer namentlich mit Heißdampf betriebenen Dampfmaschine in dieser Hinsicht heute nicht mehr besteht. Er beträgt unter Voraussetzung eines gut gereinigten Gases im durchschnittlichen Dauerbetriebe nicht mehr als etwa 1—2 g für eine Std-PS.

Der Bedarf an Kühlwasser spielt allerdings eine nicht unbedeutende Rolle, da bei einer Zuflüssestemperatur von 15° etwa 35 lit/Std-PS_n

erforderlich sind. Jedoch ist zu beachten, daß der eigentliche Wasserverbrauch ein sehr geringer ist, da ja das Kühlwasser bei Aufstellung von Rückkühlwerken immer wieder benutzt werden kann, so daß nur die dabei unvermeidlichen Verluste zu ersehen sind, die etwa $2 \sim 2,5$ lit./Std.-PS_n betragen.

In einigen Punkten freilich sind auch die bisher besprochenen Großgasmaschinen der Dampfmaschine unter allen Umständen bis jetzt wenigstens unterlegen, und es scheint fast so, als ob sie darin auch stets unterlegen bleiben werden. Die wichtigsten dieser Punkte sind: rascheres Sinken des Wirkungsgrades und infolge davon rascheres Ansteigen des Wärmeverbrauches bei abnehmender Leistung; die Unfähigkeit, unter Belastung anzulaufen, sowie endlich die Unmöglichkeit, die Maschine je nach Bedarf vorwärts oder rückwärts laufen zu lassen.

Über das Sinken des Wirkungsgrades bei abnehmender Leistung wurde bereits früher gesprochen. Bei Hochofen- und Koksofengasmaschinen kann man im Mittel annehmen, daß der Wärmeverbrauch bei $\frac{3}{4}$ der Belastung um etwa $8 \sim 10\%$, bei halber Belastung um etwa 30% ansteigt.

Das Anlassen einer Großgasmaschine bietet zwar unter Verwendung von Druckluft bei zweckmäßiger Bauart der Anlaßvorrichtungen in der Regel weniger Schwierigkeiten als das Anlassen großer Dampfmaschinen, bei denen dem Anlassen ein stundenlanges Anwärmnen vorgehen muß; der Übelstand ist eben nur der, daß die Gasmaschine als solche nicht unter voller Belastung anlaufen kann, was, gerade so wie der an dritter Stelle genannte Übelstand, die Unmöglichkeit der Umsteuerbarkeit, unter anderem ein Hindernis bietet, die Gasmaschine zum unmittelbaren Antriebe von Fördervorrichtungen sowie zum unmittelbaren Antriebe schwerer Walzwerke verwenden zu können.

Die Folge davon ist, daß auf den Hüttenwerken und Kohlenzechen die Großgasmaschinen hauptsächlich zum Antriebe von Dynamomaschinen, Gebläsen für Hochofen- und Stahlwerke, in neuerer Zeit auch für den Betrieb der sogenannten Feinstrecken der Walzwerke verwendet werden. Aber gerade die vorzügliche Verwendbarkeit der Großgasmaschine zum Antriebe von Dynamomaschinen hat zur Verbreitung der wirtschaftlichen und auch sonst mannigfache Vorteile bietenden elektrischen Kraftverteilung auf Hüttenwerken und Kohlenzechen sehr viel beigetragen, und es konnte auf diese Weise erreicht werden, daß man nunmehr imstande ist, durch Zwischenschaltung elektrischer Energie auch schwere Walzwerke und Fördervorrichtungen, ja überhaupt jede beliebig gestaltete Hilfsmaschine mit Hilfe der Gasmaschine als Kraftquelle anzutreiben.

Dritter Abschnitt.

Die neuere Entwicklung der Dieselmashinen.

Während auf dem Gebiete der Verbrennungsgasmashinen die letzten Jahre nur insofern wesentlich Neues gebracht haben, als die Erzeugung von Kraftgas aus allen möglichen, namentlich minderwertigen Brennstoffen einen hohen Grad der Vollkommenheit erreicht hat, ist die bekanntlich¹⁾ auf einem anderen Grundgedanken beruhende Dieselmashine zu immer größerer Bedeutung gelangt und zwar einmal durch die Anpassung der Maschine an den Betrieb mit billigen Treibölen, ferner durch die Umgestaltung der Arbeitsweise zu gewissen Zwecken und endlich durch die weitere bauliche Ausbildung, insbesondere zu einer Maschine mit der Möglichkeit unmittelbarer Umsteuerung.

Erstes Kapitel.

Die Verwendung billiger Brennstoffe.

Das Antriebsmittel für Dieselmashinen war anfänglich in der Hauptsache Petroleum. Wenn nun auch bei der vorzüglichen Wärmeausnützung in der Dieselmashine der Brennstoffverbrauch ein verhältnismäßig geringer war, so wurde es doch in Deutschland, dem Geburtslande der Dieselmashine, als ein großer Übelstand empfunden, daß man mit dem Bezug des Brennstoffes im wesentlichen auf das Ausland angewiesen war. Man suchte daher nach Brennstoffen, die im Innlande gewonnen wurden, und fand als solche die durch Destillation der Braunkohle gewonnenen Öle, Solaröl und Paraffinöl, welche bei wesentlich billigerem Preise das Petroleum vollständig zu ersetzen imstande waren. Da die Dieselmashine bekanntlich auch sonst vortreffliche Eigenschaften vor anderen Gasmashinen voraus hat, wurde ihre Verbreitung zwar zunehmend größer, doch stellte sich dadurch allmählich wieder der Übelstand ein, daß gerade infolge der großen Nachfrage der Preis für die genannten Öle bedenklich in die Höhe ging. Man griff daher vielfach wieder auf ausländische Stoffe zurück, und heute sind es namentlich die in großen Mengen zur Verfügung stehenden galizischen Erdöle, welche in Deutschland vielfach zum Antriebe von Dieselmashinen verwendet werden, da ihr Preis trotz hohen Zolles

1) S. des Berf. Neuere Wärmeleistungsmashinen I (ANuG Bd. 21).

immer noch niedriger ist als die im Innlande gewonnenen Öle der Braunkohlendestillation. Inzwischen war es aber nach langen mühsamen Versuchen insbesondere der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg gelungen, für Dieselmaschinen die Verwendbarkeit eines anderen Brennstoffes nachzuweisen, welcher bisher ein wenig verwertbares Abfallerzeugnis der Steinkohlendestillation (bei der Herstellung des Koks) bildete, nunmehr aber berufen erscheint, eine weitere große Ausbreitung der Dieselmaschine zur Folge zu haben. Es ist dies das Steinkohlenteeröl und in allerneuester Zeit auch der gewöhnliche Teer. Die Wichtigkeit dieser Erfindung gerade für Deutschland ergibt sich daraus, daß Teer sowohl wie Steinkohlenteeröl Stoffe sind, welche in gewaltigen und immer noch steigenden Mengen in Deutschland hergestellt werden, so daß selbst bei immer mehr zunehmender Verbreitung der Dieselmaschine eine wesentliche Preissteigerung auf lange Zeit hinaus kaum zu befürchten ist. Die Menge des in Deutschland erzeugten Steinkohlenteeröles wird für das Jahr 1911 auf etwa 450000 t (1 t = 1000 kg) geschätzt, wobei der Preis für die Tonne etwa 38 M beträgt gegenüber etwa 75 M für ausländische Gasöle und 100 M für inländische Paraffin- oder Solaröle. Da von diesen letzteren Olen in Deutschland gegenwärtig etwa 45000 t zum Betriebe von Dieselmaschinen verwendet werden (s. die weiter unten angeführte Stelle der *Ztschr. d. Ver. Deutscher Ingenieure*), so erkennt man, welch große Bedeutung der Verwendung des Steinkohlenteeröles für die weitere Entwicklung der Dieselmaschinen zuzumessen ist.

Bu beachten ist allerdings, daß der Heizwert des Teeres und Steinkohlenteeröles etwa 12—15% niedriger ist als der der Gasöle und daß gegenwärtig zum Betriebe der Dieselmaschinen neben Teer und Steinkohlenteeröl meist noch kleinere Mengen (etwa 2% des Brennstoffes) von sogenanntem Bündöl, z. B. Paraffinöl, gebraucht werden, welches gleichzeitig mit dem Betriebsbrennstoffe in die Maschine bei jedem Hub eingespritzt wird, um eine bessere Zündung des Betriebsbrennstoffes zu erreichen. Beziiglich weiterer Einzelheiten über die Bedeutung der Teeröle für Dieselmaschinen s. z. B. Nr. 32 des Jahrganges 1911 der *Ztschr. d. Ver. Deutscher Ingenieure*.

Zweites Kapitel.

Die Umgestaltung der ursprünglichen Arbeitsweise.

Die ursprüngliche Arbeitsweise der ersten Dieselmaschinen kann hier als bekannt vorausgesetzt werden (s. Anm. auf S. 42). Die Maschinen

wurden ausnahmslos mit aufrechtstehenden Zylindern als einfach wirkende Viertaktmaschinen gebaut, wobei größere Leistungen dadurch erzielt wurden, daß zwei, drei oder auch vier Zylinder zu einer Maschineneinheit vereinigt wurden. Die weitere Entwicklung war ähnlich wie bei den früher besprochenen Großgasmaschinen, und heute gibt es Dieselmashinen mit einfach- und solche mit doppeltwirkendem Vier-takte, Maschinen mit einfach- und solche mit doppeltwirkendem Zwei-takte. Ganz besonders einfach gestaltete sich hier die Ausbildung des

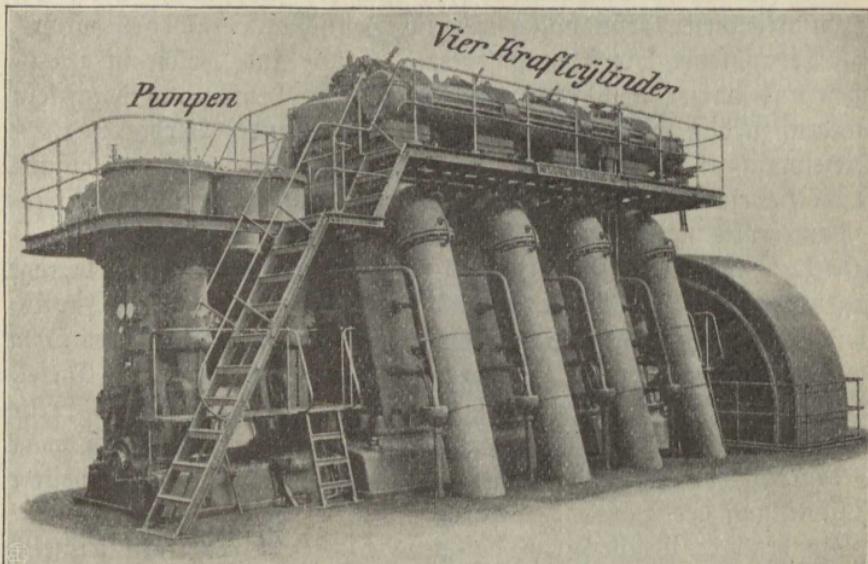


Abb. 10.

Zweitaktes. Der Grundgedanke ist auch hier wieder derselbe, wie er oben auf S. 29 für alle Zweitaktmaschinen angegeben wurde. Auch hier öffnet der lange Kolben am Ende seines Hubes in dem Zylinder Auspuffschlitze, durch welche die noch hochgespannten Auspuffgase zum Teil selbsttätig ins Freie entweichen, zum Teil durch nachfolgende Spülluft aus dem Zylinder hinausgespült werden. Nun besteht aber bei den Verpuffungsgasmashinen eine große Schwierigkeit darin, daß das Anfüllen des Zylinders mit frischem Gasgemisch nach dem Ausspülen, zum Teil sogar schon während des Ausspülens in sehr kurzer Zeit vor sich gehen muß, da ja das Gemisch vor der Bündung durch den rückkehrenden Maschinenkolben auch noch verdichtet werden muß. Bei der Dieselmashine dagegen fallen diese Schwierigkeiten fort, da ja eben vor der Bündung nur reine Luft, in diesem Falle also die

SpülLuft selber, verdichtet zu werden braucht, während der flüssige Brennstoff entsprechend der Arbeitsweise der Maschine ja sowieso erst in dem Augenblicke in den Zylinder hineingedrückt wird, in welchem die Bündung erfolgen soll.

Zu beachten ist, daß auch hier, bei der im Zweitakte arbeitenden Dieselmashine, eine besondere Pumpe zur Erzeugung der SpülLuft von geringer Pressung vorhanden sein muß. Nun gehört aber bekanntlich zur Erzielung der Arbeitsweise in der Dieselmashine eine weitere Pumpe, welche Luft von sehr hoher Pressung, etwa 50—60 Atm. erzeugt, um den Brennstoff in die auf 35 Atm. im Zylinder verdichtete Luft einzublasen, und da schließlich auch noch zur Beförderung des Brennstoffes eine kleine Pumpe vorhanden sein muß, so sind also bei einer im Zweitakte arbeitenden Dieselmashine neben den Arbeitszylindern drei verschiedene Pumpen zu unterscheiden, die man kurz als Spülspumpe, Luftpumpe und Brennstoffpumpe zu bezeichnen pflegt. Abb. 10 zeigt eine große Zweitakt-Dieselmashine von 2000 PS, erbaut von Gebr. Sulzer in Winterthur.

Drittes Kapitel.

Bauliche Umgestaltung der Dieselmashine.

Die Dieselmashine als ortsfeste Großgasmaschine. Die Bauart mit aufrechtstehendem Zylinder, wie sie bei den ersten Dieselmashinen durchweg angewendet wurde und wie sie auch Abb. 10 zeigt, hat neben mancherlei Vorzügen unter anderem den Nachteil, daß die empfindlichen Teile der Maschine, Steuerungsteile und Reguliervorrichtung, sehr hoch liegen, so daß eine Überwachung und Instandhaltung dadurch etwas erschwert ist. Um diesem Übelstande abzuhelfen, ging man in den letzten Jahren vielfach zur Bauart mit wagerecht liegendem Zylinder über, wobei zugleich der Vorteil erreicht wurde, daß es nunmehr in einfacher Weise möglich war, Maschinen in Tandemanordnung (zwei Zylinder hintereinander) zu bauen und so unter gleichzeitiger Einführung des doppelstwirkenden Viertaktes eine Einzaktwirkung zu erzielen, genau in derselben Weise, wie dies früher (S. 33) bei den Verpuffungs-Großgasmaschinen beschrieben wurde.

Abb. 11 zeigt eine solche Tandemmaschine in Zwillingssausführung mit doppelstwirkendem Viertakt, wie sie von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg für das städtische Elektrizitätswerk in Halle a/S. geliefert wurde. Die Maschine, welche Steinkohlenteeröl als Brennstoff

benützt, leistet etwa 2000 PS, so daß auf jeden Zylinder eine Leistung von 500 PS entfällt. Die vier Zylinder sind in der Abb. mit 1—4 bezeichnet; L, L sind die „Laternen“, Zwischenstücke zwischen den Zylindern. Trotzdem diese Maschine erst etwa zwei Jahre alt ist, ist sie bezüglich ihrer Leistung doch schon überholt. Heute schon werden Maschinen mit 1000 PS in einem Zylinder angeboten und, wie man hört, sind sogar bei mehreren Firmen Versuchsmaschinen im Gange, welche 2000 PS in einem Zylinder leisten sollen, so daß also damit die Leistungen der früher besprochenen Großgasmaschinen mit einem Schlag überholt wären.

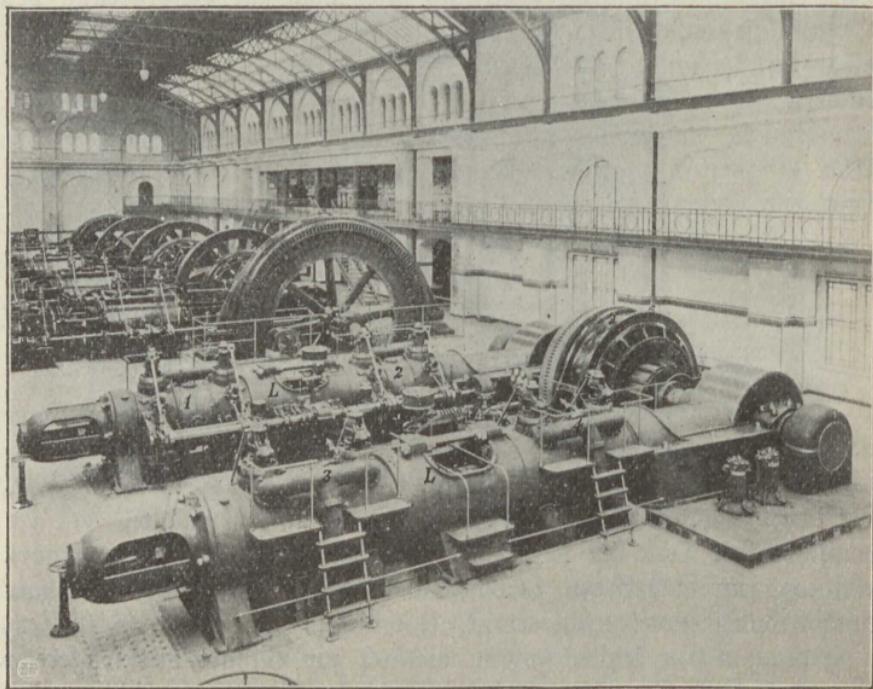


Abb. 11.

Die Dieselmaschine als Schiffsmaschine. Schon lange war ja die Gasmaschine in der Gestalt von Benzin- und Benzolmaschinen zum Antriebe kleinerer Schiffe verwendet worden. Aber trotz der großen Vorteile, die eine solche Antriebsart sowohl in technischer wie in wirtschaftlicher Hinsicht gegenüber dem Dampfmaschinenbetriebe bot, schien es doch lange Zeit, als wenn wegen baulicher Schwierigkeiten und namentlich wegen der hohen Feuergefährlichkeit der genannten Brennstoffe der Antrieb von größeren Schiffen, insbesondere von Ozeanschiffen, der Gasma-

schine verschlossen bleiben sollte. Da war es wieder die Dieselmaschine, die einen Umschwung in dieser Hinsicht herbeiführte, und fast steht es so aus, als wenn wir heute an einem Wendepunkte des Schiffsmaschinenbaues angelangt wären, da die vorzüglichsten technischen und wirtschaftlichen Erfolge der kleineren und mittleren Motorschiffe den Erfolg gehabt haben, daß immer größere Schiffe, ja sogar große Frachtschiffe für überozeanischen Verkehr mit Dieselmaschinen als Antriebsmaschinen gebaut werden.

Die ersten Schiffsdieselmaschinen und wohl noch ein großer Teil der heute im Betriebe befindlichen Schiffsdieselmaschinen überhaupt und eigentlich gar keine besonders gestalteten Maschinen, es sind Maschinen der ursprünglichen Bauart, welche nur in einer Richtung umlaufen, so daß also das Vorwärts- oder Rückwärtsdrehen der Schiffsschrauben unter Zuhilfenahme irgendwelcher Zwischengetriebe erzielt werden muß. Derartige Maschinen sind z. B. zum Betriebe von Unterseeboten in großer Zahl mit Einzelleistungen von vielen hundert Pferdestärken gebaut worden. Die erste unmittelbar umsteuerbare Schiffsdieselmaschine, welche also selber die Schraubenwelle nach Belieben vorwärts oder rückwärts zu drehen imstande war, wurde im Jahre 1905 von Gebrüder Sulzer in Winterthur, und zwar als Zweitaktmaschine mit einer Leistung von 100 PS, gebaut. Seit dieser Zeit sind die Leistungen umsteuerbarer Schiffsdieselmaschinen immer größer geworden und erst vor kurzem, Anfang August 1912, wurde bekanntlich das erste in Deutschland von den Howaldtswerken in Kiel gebaute Motorfrachtschiff, der „Monte Benedo“, mit einer Maschinenleistung von 1600 PS. für die Hamburg-Südamerikalinie in Dienst gestellt. Ein großes Frachtschiff von 8000 t mit einer Leistung von 3000 PS wird für die Hamburg-Amerika-Linie auf der Werft von Blohm und Voss in Hamburg gebaut, und schon wird der Einbau von Dieselmaschinen auch in Kriegsschiffe ernstlich erwogen.

Zwei Fragen sind es, die sich hierbei unwillkürlich aufdrängen. Erstens, wie ist es möglich, eine Gasmashine zu bauen mit der Möglichkeit unmittelbarer Umsteuerbarkeit, und zweitens, welches sind denn die Gründe, welche einen Übergang vom Dampfmaschinen- oder Dampfturbinenbetrieb zum Dieselmaschinenbetrieb bei Schiffen als wünschenswert erscheinen lassen?

Die Schwierigkeit der Umsteuerung einer Gasmashine fällt, wie man leicht einsieht, zusammen mit der Schwierigkeit, eine Gasmashine in Gang zu setzen, da natürlich die Maschine vor dem Umsteuern zunächst zum Stillstand gebracht und dann vollbelastet wieder angelassen

werden muß. Wie aber schon früher (S. 41) erwähnt, geschieht heute das Anlassen großer Gasmäschinen verhältnismäßig einfach unter Zuhilfenahme von Preßluft, und so wird es verständlich sein, daß sich auch eine Umsteuerung mit Hilfe von Preßluft erreichen läßt, wobei natürlich für einen genügend großen Vorrat an hochgespannter Preßluft gesorgt werden muß. Der Vorgang bei einer solchen Umsteuerung ist also kurz folgender: Angenommen, die Mäschine läuft rechts herum, dann wird sie zunächst durch Abstellen der Brennstoffzufuhr still gesetzt, sodann nach Verstellen gewisser Steuereinrichtungen durch eingeführte Preßluft nach der entgegengesetzten Richtung in Gang gebracht und schließlich durch erneutes Einschalten der Brennstoffzufuhr der regelrechte Gang in gegenläufiger Richtung wiederhergestellt. So umständlich der ganze Vorgang erscheint, so hat sich doch gezeigt, daß durch geschickte bauliche Anordnung eine Umsteuerung von vollem Vorwärtsgänge auf vollen Rückwärtsgang selbst bei großen Schiffsdieselmäschinen nur etwa 12—15 Sekunden in Anspruch nimmt.

Die Zuhilfenahme von hochgespannter Preßluft gestaltet sich bei der Dieselmäschine insofern verhältnismäßig einfach, da solche bekanntlich schon zum Einblasen des Brennstoffes in den Zylinder zur Verfügung stehen muß, so daß die hierzu erforderliche Pumpe gleich dazu benutzt werden kann, um die für die Umsteuerung nötige Preßluft in Vorratsbehälter hineinzupressen.

Die Vorteile der Dieselmäschine als Schiffsmäschine liegen in erster Linie auf wirtschaftlichem Gebiete. Infolge der vorzüglichen Wärmeausnützung ist der Verbrauch an Brennstoff wesentlich geringer als bei der Dampfmäschine — dem Gewichte nach beträgt er nur etwa den dritten Teil. Ganz abgesehen von dem Preise hat dies entweder den Vorteil, daß bei gleicher Brennstoffmenge der Aktionsradius des Schiffes entsprechend größer wird, oder aber, daß bei gleichem Aktionsradius infolge der geringeren mitzuführenden Brennstoffmenge viel mehr Raum zur Unterbringung von Reisenden oder Frachtgütern zur Verfügung steht. Die Vergrößerung des Aktionsradius wäre zunächst allerdings im wesentlichen für Kriegsschiffe von Bedeutung, doch könnten auch Handelsschiffe insofern Vorteil daraus ziehen, als sie das zum Antriebe für längere Zeit nötige Treiböl immer dort ankaufen könnten, wo es am billigsten zu haben wäre. Auch bei der Maschinenanlage treten große Raumsparnisse dadurch ein, daß ja die gesamte Dampfkesselanlage fortfällt, der betreffende Raum also auch wieder zur Unterbringung von Brennstoffen, von Mitreisenden oder Fracht

ausgenützt werden kann. Nach Professor Laas (J. Blschr. Petroleum, 1911, S. 953) kann ein Schnelldampfer von der Größe des „Kaiser Wilhelm II.“ eine Motoranlage von 60000 PS statt der vorhandenen 40000 unterbringen, die ihm eine noch höhere Geschwindigkeit gibt, als sie die viel größere Mauretania besitzt; er kann dabei in New York Öl nehmen für Hin- und Rückreise, während er jetzt in Bremerhaven und New York Kohlen nehmen muß, und trotz dieser um 50 % stärkeren Maschinenleistung und dem um 100 % weiterreichenden Brennstoffvorrat wird noch erheblich an Gewicht gespart, also der Tiefgang verringert. Für Kriegsschiffe käme ferner noch in Betracht die vollständige Rauchlosigkeit des Betriebes, die, wie man leicht ein sieht, im Kriegsfalle von großer Bedeutung sein würde.

Eine sehr wichtige Frage ist allerdings die, ob denn bei immer mehr zunehmender Verbreitung von Motorschiffen der Ölverrat der Welt genügend groß ist und ob nicht die dauernde Versorgung der Schiffe mit Treiböl auf Schwierigkeiten stoßen könnte. Dass mit Bezug hierauf gar keine Gefahr vorliegt, zeigt eine Berechnung von Prof. Laas (s. die obengenannte Quelle), wonach schon 40 % der heutigen Weltproduktion allein an Erdöl ausreichen würden, um sämtliche Handels- und Kriegsschiffe der Welt mit Kraft zu versorgen. Bedenkt man ferner die gewaltigen und immer noch zunehmenden Mengen von Steinkohlenteeröl, welche, wie früher erwähnt, allein in Deutschland zum Betriebe von Ölmaschinen zur Verfügung stehen, so wird man offenbar einer weiteren Entwicklung der Motorschiffe mit Ruhe entgegensehen können.

Endlich könnte vielleicht noch die Frage aufgeworfen werden, ob denn die Maschine selber heute schon eine ebenso große Betriebssicherheit aufweist wie die altbewährte Kolbendampfmaschine oder die ebenfalls schon in jahrelangem Großbetriebe bewährte Dampfturbine. Dass auch in dieser Beziehung jedes Bedenken fortfallen muss, beweist die große Zahl jetzt schon vorhandener Schiffe mit Dieselmaschinen, insbesondere die große Zahl der mit Dieselmaschinen angetriebenen Unterseeboote, bei denen Betriebssicherheit eine der ersten Bedingungen ist, die an ihre Maschinen gestellt werden müssen. Schon bei der Abnahme derartiger Maschinen werden von den Marinebehörden häufig ungemein scharfe Bedingungen gestellt, die aber von den liefernden Firmen meist anstandslos erfüllt werden. Bei einer solchen Maschine von 1000 PS lautete z. B. diese Bedingung so, dass die Maschine sechs Tage und sechs Nächte hintereinander arbeiten müsste, wobei nur ein dreimaliger Stillstand von insgesamt nicht mehr als drei Stun-

den gestattet war. Die Bedingung wurde glänzend erfüllt, da die Maschine mit Ausnahme eines einmaligen Stillstandes von wenigen Minuten zum Anziehen einer lose gewordenen Schraubenmutter ohne jede Pause sechs Tage und sechs Nächte hindurch anstandslos arbeitete.

Wenn daher auch noch gewisse Schwierigkeiten namentlich beim Bau von sehr großen Schiffen zu überwinden sein werden, so kann doch behauptet werden, daß die Frage des Motorschiffes heute schon als gelöst zu betrachten ist. Es scheint in der Tat, als wenn wir, wie oben erwähnt, vor einem Wendepunkt in der Entwicklung der Seeschiffahrt ständen, denn wie Prof. Laas a. a. D. bemerkt: Es handelt sich nicht mehr darum, wer wird der Erste sein, der mutig das Risiko der Neuerung auf sich nimmt, sondern die Reedereien müssen heute dafür sorgen, daß sie nicht die Letzten sind. Die Ersten haben den Vorteil, der Letzte hat nur die Kosten der Neuerung.

Zweiter Teil

Dampfturbinen

Erster Abschnitt.

Einführung in die Theorie der Dampfturbinen.

Erstes Kapitel.

Von der „lebendigen Kraft“ eines Körpers.

Unter dem Ausdrucke „lebendige Kraft“ versteht man in der Mechanik die Arbeitsfähigkeit eines in Bewegung befindlichen Körpers. So hat z. B. ein aus einer Kanone geschleudertes Geschöß eine gewisse lebendige Kraft, d. h. ein Arbeitsvermögen oder die Fähigkeit mechanische Arbeit zu leisten, wenn auch freilich diese „Arbeit“ wohl stets dazu verwendet wird, um irgendein Unheil oder eine Zerstörung anzurichten. Der Rammskopf einer Ramme verrichtet Arbeit, indem er einen Pfahl in das Erdreich hineintreibt. Diese Arbeitsfähigkeit hatte er dadurch bekommen, daß er von Arbeitern in die Höhe gezogen wurde und dann eine Strecke frei hinunterfiel, wodurch ihm eine gewisse Geschwindigkeit und damit eine „lebendige Kraft“ erteilt wurde.

„Masse“ eines Körpers. Was zunächst die Größe dieser lebendigen Kraft anlangt, so ist wohl ohne Schwierigkeiten einzusehen, daß unter sonst gleichen Umständen, d. h. bei gleicher Geschwindigkeit die lebendige Kraft um so größer sein wird, je schwerer der in Bewegung befindliche Körper ist, genauer gesagt: je größer die „Masse“ des in Bewegung befindlichen Körpers ist. Unter Masse eines Körpers versteht man bekanntlich den Faktor: Gewicht des Körpers, dividiert durch die Größe der Fallbeschleunigung, oder anders ausgedrückt: Gewicht eines Körpers = Masse des Körpers \times Fallbeschleunigung. Der Grund, warum man in der Mechanik bei den Gesetzen für die Bewegung der Körper nicht mit den Gewichten, sondern mit den Massen der Körper rechnet, ist der, daß die Masse eines bestimmten Körpers an allen Punkten des unendlichen Weltalls immer ein und dieselbe ist, nicht aber das Gewicht dieses Körpers. Könnten wir einen und denselben Körper mittels einer Federwaage zuerst auf der Erde wiegen, dann auf der Sonne und endlich auf dem Monde, so würden wir finden, daß sein Gewicht auf der Sonne wesentlich größer, auf dem Monde dagegen wesentlich geringer ist als auf der Erde. Ja selbst an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche hat ein und derselbe Körper, mit

der Federwage gemessen, ein verschiedenes Gewicht, weil eben, aus hier nicht zu erörternden Gründen, die Fallbeschleunigung, oder anders ausgedrückt: die Anziehungs Kraft der Erde selbst auf der Erdoberfläche nicht an allen Punkten dieselbe ist, sondern z. B. von den Polen nach dem Äquator hin abnimmt. Die Gesetze für die Bewegung der Körper können also nur dann allgemeine Richtigkeit haben, wenn sie nicht für die veränderlichen Gewichte, sondern für die unveränderlichen „Massen“ der Körper aufgestellt werden. Würde man beispielsweise die Größe der lebendigen Kraft durch das Gewicht eines Körpers ausdrücken, so könnte man zwar auch sagen: bei gleich großer Geschwindigkeit hat ein doppelt so schwerer Körper die doppelte lebendige Kraft, müßte dann aber hinzufügen: unter der Bedingung, daß beidemal die betreffenden Versuche an einem und demselben Punkte der Erdoberfläche angestellt würden. Der Satz könnte nämlich sofort unrichtig sein, wenn wir an einem und demselben Punkte der Erdoberfläche die lebendige Kraft zweier Körper untersuchen würden, deren Gewicht an zwei weit voneinander entfernt liegenden Orten festgestellt worden wäre. Bestimmen wir dagegen an irgendwelchen, beliebig weit voneinander liegenden Punkten die Massen zweier Körper und finden wir, daß die Masse des einen Körpers doppelt so groß ist als die an irgendeiner anderen Stelle bestimmte Masse des anderen Körpers, dann ist an ganz beliebigen Stellen des Weltalls bei gleich großer Geschwindigkeit der beiden Körper die lebendige Kraft des Körpers mit doppelter Masse auch doppelt so groß als die lebendige Kraft des anderen Körpers usw.

Wichtige Gesetze. Ein erstes sehr wichtiges Gesetz lautet demgemäß:

Bei gleicher Geschwindigkeit zweier in Bewegung befindlicher Körper verhalten sich ihre lebendigen Kräfte wie ihre Massen,

ein Körper mit zwei-, drei-, vierfacher Masse hat auch die zwei-, drei-, vierfache lebendige Kraft. Ein zweites Gesetz, dessen Ableitung hier zu weit führen würde, lautet:

Die lebendigen Kräfte zweier in Bewegung befindlicher Körper von gleich großer Masse verhalten sich wie die Quadrate ihrer Geschwindigkeiten.

Hat also ein Körper a die zwei-, drei-, vierfache Geschwindigkeit eines Körpers b von gleich großer Masse, so ist die lebendige Kraft des Körpers a $4=, 9=, 16$ mal so groß als die lebendige Kraft des Körpers b . Endlich ist man noch übereingekommen, als Größe der lebendigen Kraft eines in Bewegung befindlichen Körpers aus gewissen Gründen nicht

den Ausdruck Masse \times Quadrat der Geschwindigkeit anzunehmen, sondern die Hälfte dieses Ausdrückes, so daß sich schließlich der sehr wichtige Satz ergibt:

Die lebendige Kraft (L) eines Körpers ist gleich der Hälfte des Produktes aus Masse des Körpers mal dem Quadrat seiner Geschwindigkeit.

In Buchstaben ausgedrückt lautet dieses sehr wichtige Gesetz:

$$L = \frac{mv^2}{2},$$

wobei also L die lebendige Kraft des Körpers darstellt, m seine Masse und v die Geschwindigkeit (gemessen in Metern in der Sekunde), die er in dem betrachteten Augenblick hat.

Änderung der lebendigen Kraft. Wir hatten gesehen, lebendige Kraft ist nichts anderes als Arbeitsvermögen, d. h. Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu leisten, und zwar eine Fähigkeit, die er dadurch erlangt hat, daß ihm eine gewisse Geschwindigkeit erteilt wurde. Eine einfache Überlegung zeigt nun, daß die Geschwindigkeit eines in Bewegung befindlichen, also mit lebendiger Kraft begabten Körpers unter allen Umständen abnehmen muß, wenn er dazu gezwungen wird, wirklich Arbeit zu leisten. Leistet der Körper nämlich Arbeit, d. h.: gibt er Arbeit nach außen hin ab, so geht ihm offenbar ein Teil der in ihm steckenden Arbeitsfähigkeit verloren, seine lebendige Kraft wird also kleiner, und da sich m , die Masse des Körpers, nicht ändern kann, so kann sich eben nur v geändert haben, d. h. kleiner geworden sein.

Umgekehrt: Hat ein in Bewegung befindlicher Körper in einem gegebenen Augenblicke eine gewisse lebendige Kraft und läßt sich feststellen, daß nach einer gewissen Zeit seine Geschwindigkeit und folglich auch seine lebendige Kraft abgenommen hat, so können wir daraus mit Sicherheit schließen, daß der Körper inzwischen Arbeit verrichtet hat. Die Größe dieser Arbeit können wir sogar genau bestimmen, sobald wir nur imstande sind, die Geschwindigkeit des Körpers in den beiden Zeitpunkten mit Sicherheit festzustellen. Hat nämlich der Körper im ersten Zeitpunkte die Geschwindigkeit v_1 , also die lebendige Kraft $\frac{mv_1^2}{2}$, im zweiten Zeitpunkte dagegen nur noch die Geschwindigkeit v_2 , also nur noch die lebendige Kraft $\frac{mv_2^2}{2}$, so ist seine lebendige Kraft kleiner geworden um den Betrag $\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}$, und diese Differenz muß nach dem Gesetze

von der Erhaltung der Energie genau so groß sein als die während der Geschwindigkeitsabnahme von dem Körper geleistete Arbeit. Wir finden also den wichtigen Satz: **Geleistete Arbeit = Unterschied der lebendigen Kräfte;** oder in Buchstaben ausgedrückt:

$$A = \frac{m v_1^2}{2} - \frac{m v_2^2}{2}.$$

Ein paar Beispiele mögen diesen für die ganzen folgenden Betrachtungen sehr wichtigen Satz erläutern.

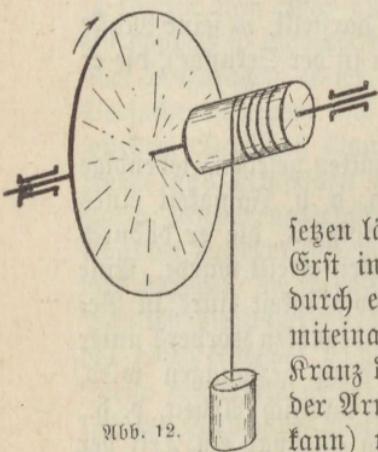


Abb. 12.

Beispiele. Auf einer Achse (Abb. 12) sitze, mit ihr fest verbunden, eine Trommel, um welche ein Seil geschlungen ist. An diesem Seile hänge eine Last von 250 kg. Auf der Achse sei ferner ein schweres Schwungrad so angebracht, daß es sich in Umdrehung versetzen läßt, zunächst ohne daß sich die Achse mitdreht. Erst in einem gewünschten Augenblick sei es möglich, durch eine sog. Kupplung Achse und Schwungrad fest miteinander zu verbinden. Nehmen wir nun an, der Kranz des Schwungrades wiege 981 kg (das Gewicht der Arme sei so gering, daß es vernachlässigt werden kann) und das Schwungrad sei durch irgendwelche Mittel in so schnelle Umdrehung versetzt worden, daß

ein Punkt der Kranzoberfläche (genauer: der Schwerpunkt des Kranzquerschnittes) in jeder Sekunde einen Weg von 10 m zurücklegt. Man sagt dann, der Kranz habe eine Umfangsgeschwindigkeit von 10 m/sec. Wie groß ist nun die lebendige Kraft dieses Schwungrades? Da die Fallbeschleunigung auf der Erde bekanntlich im Mittel etwa gleich 9,81 m ist, so ist die Masse des Schwuntringes = Gewicht dividiert durch Fallbeschleunigung, also $m = \frac{981}{9,81} = 100$ Masseneinheiten. Die Geschwindigkeit des Kranzes ist, wie wir gesehen hatten, $v_1 = 10$ m/sec; folglich ist die lebendige Kraft des mit dieser Geschwindigkeit sich drehenden Schwuntringes:

$$L_1 = \frac{m v_1^2}{2} = \frac{100 \cdot 10^2}{2} = 5000 \text{ mkg.}$$

Es müssen offenbar mkg (Meterkilogramm) sein, da wir ja bereits wissen, daß die lebendige Kraft nichts anderes ist als die Fähigkeit, Arbeit zu leisten, und Arbeit ja in Meterkilogramm gemessen wird.

Verbinden wir jetzt das Schwungrad in der vorhin angegebenen Weise mit der Welle, so wird es ganz offenbar vermittels des um die Trommel geschlungenen Seiles das Gewicht in die Höhe ziehen. Wir könnten aber dabei bemerken, daß das Schwungrad immer langsam und langsamer geht, daß also seine lebendige Kraft fortwährend abnimmt. Betrachten wir z. B. den Augenblick, in welchem der Schwungradkranz nur noch eine Umfangsgeschwindigkeit von $v_2 = 5 \text{ m}$ in der Sekunde hat, dann ist seine lebendige Kraft nur noch $L = \frac{m v_2^2}{2} = \frac{100 \cdot 5^2}{2} = 1250 \text{ mkg}$, die lebendige Kraft hat also um $5000 - 1250 = 3750 \text{ mkg}$ abgenommen, und dieser Unterschied von 3750 mkg muß nach dem oben angegebenen Satze gerade der von dem Schwungrad geleisteten mechanischen Arbeit entsprechen. Da nun die an dem Seile hängende Last nach unserer früheren Annahme 250 kg wiegt, so müßte unter der Voraussetzung, daß keine Arbeitsverluste durch Reibung auftreten, das Schwungrad, während sich seine Umfangsgeschwindigkeit von 10 auf 5 m in der Sekunde verringerte, jene Last um $\frac{3750}{250} = 15 \text{ m}$ in die Höhe gehoben haben.

In ähnlicher Weise läßt sich nun auch berechnen, wie hoch überhaupt die Last von 250 kg unter den gegebenen Voraussetzungen durch das in Bewegung gesetzte Schwungrad gehoben werden könnte. Das Schwungrad hatte bei Beginn des Anhebens eine lebendige Kraft von 5000 mkg . Soll nun diese lebendige Kraft vollständig vernichtet oder, besser ausgedrückt, in Arbeitsleistung umgewandelt werden, so würde die Lasthebung so lange fortgesetzt werden können, bis die Geschwindigkeit des Schwungradkranzes zu Null geworden ist. Da die Last 250 kg wiegt, das mit 10 m Umfangsgeschwindigkeit umlaufende Schwungrad aber eine Arbeitsfähigkeit von 5000 mkg besitzt, so ließe sich demnach bei vollständiger Umwandlung der lebendigen Kraft in Arbeit jene Last um $\frac{5000}{250} = 20 \text{ m}$ hoch heben, worauf die ganze Vorrichtung zum Stillstande kommen würde.

Umkehrung. Gerade dieses Beispiel läßt nun mit großer Deutlichkeit eine sehr wichtige Umkehrung des obengenannten Satzes erkennen, daß geleistete Arbeit gleich dem Unterschied der lebendigen Kräfte in zwei gegebenen Augenblicken ist. Nehmen wir an, am Ende unseres zuletzt angestellten Versuches, d. h. wenn das Schwungrad eben zum Stillstande gekommen ist, hielten wir die ganze Vorrichtung nicht etwa fest, sondern überließen sie sich selbst. Was würde dann eintreten? Offen-

bar würde die Last von 250 kg nach kurzem Stillstande wieder anfangen hinunterzusinken, sie würde das Schwungrad in immer schnellere Umdrehung versetzen, die lebendige Kraft des Schwungrades würde wieder zunehmen, und offenbar würde in dem Augenblicke, wo die Last von 250 kg wiederum um 20 m gesunken ist, eine Arbeitsleistung von $250 \times 20 = 5000$ mkg wieder auf das Schwungrad übertragen worden sein. Mit anderen Worten: wenn die Last wieder um 20 m gesunken ist, würde auch der Schwungradkranz wieder eine Umfangsgeschwindigkeit von 10 m erreicht haben.

Hatten wir also vorher den wichtigen Satz: Arbeitsleistung = Differenz der lebendigen Kräfte, oder geleistete Arbeit = der Abnahme der lebendigen Kraft, so können wir jetzt als einen nicht minder wichtigen Satz die Umkehrung des obengenannten Satzes aussprechen:

Die Zunahme der lebendigen Kraft eines in Bewegung befindlichen Körpers entspricht genau der auf ihn übertragenen mechanischen Arbeit, oder anders ausgedrückt: eine Zunahme der lebendigen Kraft eines in Bewegung befindlichen Körpers ist nur dadurch möglich, daß mechanische Arbeit auf ihn übertragen wird.

Zweites Kapitel.

Absolute und relative Geschwindigkeit.

Ruhe ein Relativbegriff. „Alles fließt“, hat schon in alten Zeiten ein Philosoph ausgerufen, indem er dabei meinte, daß alles, was man auch immer sehen kann, sich in Bewegung befindet. Und in der Tat, ein wirklich ruhender Punkt ist aller Wahrscheinlichkeit nach in unserem gesamten Weltall nicht vorhanden, denn wo immer ein solcher scheinbar vorhanden ist, bei näherer Betrachtung stellt es sich immer heraus, daß seine Ruhe eben nur scheinbar ist, oder mit anderen Worten: die Ruhe erscheint uns nur als Ruhe, sie ist, wie man in der Mechanik sich auszudrücken pflegt, nur eine relative Ruhe, häufig z. B. deshalb, weil der Beobachter sich ebenso rasch bewegt, wie jener scheinbar sich in Ruhe befindende Punkt. Wenn wir vor einem Haus, einer Kirche, einem Baum stehen, so sagen wir, das alles stehe still, das Haus, die Kirche, der Baum befinden sich in Ruhe. Diese Ruhe ist aber nur scheinbar, denn in Wirklichkeit stehen alle diese Gegenstände an der Oberfläche der Erde, welche mit gewaltiger Geschwindigkeit den Weltenraum durchsetzt. Ja, selbst diese relative Ruhe hört sofort auf, sobald wir uns bewegen. Gehen wir an einem Baum vorbei, so können wir ebenso gut sagen, der Baum

bewegt sich (relativ) mit derselben Geschwindigkeit an uns vorbei, mit der wir selbst an dem von einem anderen Beobachter als ruhend angesehenen Baum vorbeigehen. Wer könnte sich wohl, in einem schnell dahinfahrenden Eisenbahnzuge sitzend, der Täuschung verschließen, als ob die Telegraphenstangen in atemloser Hast an uns vorüberjagten, als ob die Telegraphendrähte, wie von unsichtbaren Kräften bewegt, vor den Fenstern unseres Abteils auf und nieder tanzten? Wir wissen ganz genau, die Drähte, die Stangen, sie hängen und stehen da in regungsloser „Ruhe“, und doch sehen wir ganz genau ihre Bewegung, ihre „Ruhe“ ist also nur eine relative Ruhe.

Ganz genau dasselbe ist ja auch bei der Sonne der Fall. Wir wissen, sie steht still, sie ist in „Ruhe“, und doch sehen wir sie ganz genau aufgehen, sehen sie sich am Himmelsgewölbe weiterbewegen, sehen sie untergehen; auch ihre Ruhe ist also nur eine relative Ruhe.

Geschwindigkeit ein Relativbegriff. In ganz derselben Weise wie bei der Ruhe kann man, genau genommen, von einer absoluten Geschwindigkeit niemals sprechen. Wenn wir sagen: die Schnecke, der Reiter, die Lokomotive bewegen sich mit einer gewissen Geschwindigkeit, so beziehen wir unwillkürlich die Geschwindigkeit, d. h. den in der Sekunde zurückgelegten Weg auf eine von uns als ruhend angenommene Strecke oder Ebene, in der Regel wohl auf der Oberfläche der Erde, die sich doch, wie wir schon in der Schule lernen, mit rasender Geschwindigkeit durch den Weltenraum dahinbewegt.

Denken wir uns folgenden Fall: Ein kleiner Dampfer fahre von Osten nach Westen durch den Englischen Kanal. In dem Augenblicke, wo er sich an der engsten Stelle, gerade in der Höhe von Dover, befindet, wird das Wetter neblig, der Dampfer fährt mit halber Kraft, und als sich eine Stunde darauf der Nebel teilt, erkennt der Kapitän, daß — er sich noch genau an derselben Stelle befindet. Die zufällig gerade um diese Zeit herrschende von Westen nach Osten gerichtete starke Strömung des Wassers trieb das Schiff immer genau so schnell rückwärts, als die Schraube das Schiff vorwärts drückte. Welche „Geschwindigkeit“ hatte nun das Schiff? Ein Beobachter am Lande würde sagen: das Schiff war während dieser Stunde in Ruhe. Die Insassen des Schiffes hörten die Maschine arbeiten, sahen deutlich verschiedene Gegenstände an dem Schiff rasch vorbeitreiben, sie waren also berechtigt anzunehmen, das Schiff fahre vorwärts. Die Mitreisenden eines großen Schnelldampfers, der gerade noch in Sichtweite im Nebel in derselben Richtung das Schiff überholte, waren der Ansicht, unser Dampfer

fahre in entgegengesetzter Richtung an ihnen vorüber, seine Geschwindigkeit sei also rückwärts gerichtet. Wer von den drei Beobachtern hatte nun recht? Genau genommen offenbar alle drei! Vorausgesetzt, daß Ruhe und Geschwindigkeit als relative Ruhe und relative Geschwindigkeit aufgefaßt werden, beides bezogen auf den als ruhend angenommenen Standpunkt des jeweiligen Beobachters. Die relative Geschwindigkeit unseres Dampfers gegenüber dem Lande war gleich Null, gegenüber dem Wasser und den darin treibenden Gegenständen positiv, gegenüber dem schneller fahrenden Schnelldampfer negativ.

Da gerade diese Betrachtungen über relative und absolute Geschwindigkeit für die ganze folgende Abhandlung von größter Wichtigkeit sind, dürfte es nicht überflüssig sein, noch ein paar Beispiele zur Erläuterung des eben Gesagten hinzuzufügen.

Erstes Beispiel. Denken wir uns (Abb. 13) einen Fluß, über welchen

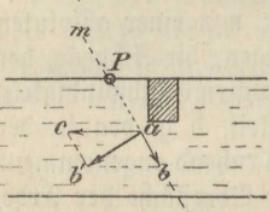


Abb. 13.

vom Punkte P aus ein von einer Benzinmaschine getriebenes Boot in der Richtung $m\ n$ mit der Geschwindigkeit $a\ b$ fahren will. Das Boot fahre zunächst eine Strecke lang geschützt vor der Strömung, deren Größe und Richtung durch die Strecke $a\ c$ dargestellt werde ($a\ b$ sowohl wie $a\ c$ mögen dabei die Geschwindigkeit als in der Sekunde zurückgelegte Wegstrecken darstellen). Ist nun das Boot über den schützenden Vorsprung hinausgefahren und

etwa bis zum Punkte a gelangt, so erkennt man sofort, daß das Boot am Ende der nächsten Sekunde nicht nach b , sondern nach b' gelangt sein wird, weil eben in derselben Zeit, in der die Kraft der Benzinmaschine das Boot von a nach b treiben würde, die Strömung des Wassers das Boot um die Strecke $a\ c = b\ b'$ von rechts nach links treibt. Die Relativgeschwindigkeit des Bootes in bezug auf die den Kahn umspülenden Wasserteilchen ist in der Tat gleich der Strecke $a\ b$, da aber die Wasserteilchen selbst in der betrachteten Sekunde von der Stelle $a\ b$ nach der Stelle $c\ b'$ getrieben werden, ergibt sich eine sog. absolute Geschwindigkeit des Bootes von der Größe $a\ b'$.

Parallelogramm der Geschwindigkeiten. Aus diesen Betrachtungen kann man einen für das Folgende sehr wichtigen Satz ableiten: $a\ b$ ist die Relativgeschwindigkeit des Bootes in bezug auf die das Boot umspülenden Wasserteilchen; $a\ c$ ist die Relativgeschwindigkeit des Bootes in bezug auf das Ufer. Man erkennt nun aus der Abbildung, daß

man aus diesen beiden Relativgeschwindigkeiten die absolute Geschwindigkeit des Bootes einfach dadurch findet, daß man mit den beiden Relativgeschwindigkeiten als Seiten ein Parallelogramm zeichnet (in der Mechanik Parallelogramm der Geschwindigkeiten genannt). Die Diagonale dieses Parallelogrammes stellt dann der Größe und Richtung nach die absolute Geschwindigkeit des betreffenden Punktes, hier also die absolute Geschwindigkeit des Bootes, dar. Es ist aus dem Gesagten leicht ersichtlich, daß man auch umgekehrt irgendeine Geschwindigkeit wieder zerlegen oder sich entstanden denken kann aus zwei beliebigen anderen Geschwindigkeiten, sofern nur diese beiden anderen Geschwindigkeiten, in diesem Falle dann Seitengeschwindigkeiten genannt, ihrer Größe und Richtung nach so beschaffen sind, daß sie die Seiten eines Parallelogrammes bilden, dessen Diagonale die gegebene Geschwindigkeit ist.

Zweites Beispiel. Ein anderer Fall: Wir denken uns (Abb. 14) eine wagerecht liegende und mit feinem Sande bestreute Tafel mit einer ihrer Größe nach durch die Strecke $a b$ dargestellten Geschwindigkeit etwa auf dem Boden eines Zimmers zwischen Führungssleisten seitlich fortbewegt. Von der Decke herab hänge an einem langen Faden eine Kugel, an welcher unten irgendwie ein Stift befestigt ist. Die Vorrichtung sei gerade so lang, daß der Stift eine Linie in den

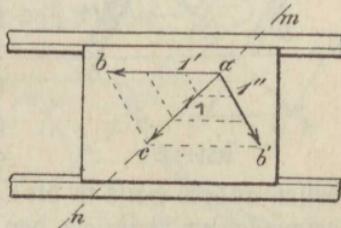


Abb. 14.

Sand einzeichnen könne, und nun denke man sich, die Kugel schwinge in der Richtung $m n$ und mit einer durch die Strecke $a c$ dargestellten Geschwindigkeit über die Tafel. Welche Linie wird der an der Kugel befestigte Stift beschreiben? Stände die Tafel fest, so würde offenbar die Linie $a c$ beschrieben werden. Da sich aber die Tafel gleichzeitig mit der Geschwindigkeit $a b$ nach links bewegt, beschreibt der Stift in dem Sande nicht die Linie $a c$, sondern $a b'$. Dies ergibt sich aus folgender Betrachtung: In dem Augenblicke, wo die Kugel im Raum beispielsweise nach dem Punkte 1 gekommen ist, hat sich die Tafel um das Stück $a 1'$ nach links bewegt. Es ist also im Raum der Punkt a nach $1'$ gelangt, folglich auch der Punkt $1''$ nach 1 , so daß nunmehr die Kugel auf der Tafel über dem Punkte $1''$ steht usw. Wir sprechen auch hier wieder von einer absoluten Geschwindigkeit ($a c$) des Schreibstiftes, während $a b'$ die Relativgeschwindigkeit des Schreibstiftes in bezug auf die Tafel, $a b$ die Relativgeschwindigkeit etwa in bezug auf

Systemgeschwindigkeit^{5*}

die Führungsleisten darstellt. Man erkennt ohne weiteres, daß man $a'b'$ dadurch findet, daß man die Endpunkte b und c der gegebenen Strecken ab und ac verbindet und von a aus zu bc eine Parallele $a'b'$ zieht, oder anders ausgedrückt: auch hier bildet die absolute Geschwindigkeit ihrer Größe und Richtung nach die Diagonale eines aus beiden Relativgeschwindigkeiten gebildeten Parallelogramms.

Drittes Kapitel.

Schaufel und Flüssigkeitsstrahl.

Gerade Schaufel. Gegen eine schräge Schaufel ab (Abb. 15), welche durch irgendeine Vorrichtung mit der durch die Strecke om

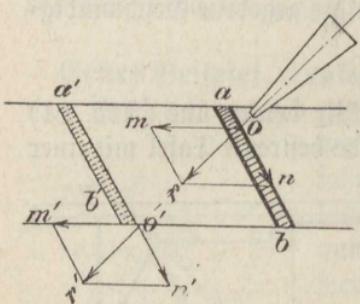


Abb. 15.

dargestellten Geschwindigkeit geradlinig von rechts nach links bewegt wird, treffe ein aus einer Düse, d. h. einem sich verjüngenden Rohre, ausströmender Flüssigkeitsstrahl mit einer Geschwindigkeit, deren Größe und Richtung im Augenblicke des Auftreffens auf die Schaufel durch die Strecke or dargestellt wird. Größe und Richtung von or seien dabei derartig, daß or die Diagonale eines Parallelogramms bildet, dessen eine Seite om ist und

dessen andere Seite in die Oberfläche der Schaufel falle. Aus dem eben besprochenen Beispiele der mit Sand bestreuten Tafel ist wohl klar, daß or die absolute Geschwindigkeit eines Flüssigkeitsteilchens ist, während on die Relativgeschwindigkeit dieses Flüssigkeitsteilchens in bezug auf die Schaufel ab darstellt. Das betrachtete Flüssigkeitsteilchen wird also, wie wohl zu beachten ist, nicht etwa durch die Schaufel abgelenkt; es bewegt sich im Raume tatsächlich von o nach r . Da aber in demselben Zeitabschnitte die Schaufel mit der Geschwindigkeit om von rechts nach links bewegt wird, bewegt sich das Flüssigkeitsteilchen relativ, oder in bezug auf die Schaufel, mit der ihrer Größe und Richtung nach durch die Strecke on dargestellten Geschwindigkeit. Da nun on nach unserer Annahme gerade mit der Schaufeloberfläche zusammenfällt, so erkennt man leicht, daß das Flüssigkeitsteilchen ohne jeden weiteren Einfluß auf die Schaufelbewegung an der Schaufel entlang fließt. Man erkennt aber auch noch folgendes: Ist die Schaufel auf ihrer Vorwärtsbewegung in die Lage $a'b'$ gelangt, so können wir uns vorstellen, daß ein am untersten Ende der Schaufel sich befindendes Flüssigkeitsteilchen ähnlich wie das früher besprochene Boot gleichzeitig zwei Geschwindig-

keiten hat: erstens die Geschwindigkeit $o'n'$, die Relativgeschwindigkeit, mit der es sich gegen die Schaufelwandung bewegt, und zweitens die Geschwindigkeit $o'm'$, die Geschwindigkeit der Schaufel selbst. Diese beiden Geschwindigkeiten setzen sich nun gerade so wie damals bei dem Boote zu einer einzigen sog. absoluten Austrittsgeschwindigkeit $o'r'$ zusammen, welche, wie sofort aus der Zeichnung ersichtlich ist, dieselbe Größe und Richtung haben muß wie die ursprüngliche absolute Geschwindigkeit or , mit welcher das Wasser die Schaufel trifft. Es mag an dieser Stelle, gleichzeitig auch mit Bezug auf alle folgenden Betrachtungen, hingewiesen werden, daß verschiedene Höhenlagen des Ein- und Austrittspunktes der Flüssigkeit sowie Reibung der Flüssigkeit an den Schaufeln die Geschwindigkeitsverhältnisse allerdings etwas beeinflussen. Diese Einflüsse sind aber (ganz besonders bei einer einzelnen Dampfturbineschafel) verartig verschwindend gering, daß sie im folgenden stets vernachlässigt werden sollen.

Gekrümmte Schaufel. Wir wollen nun den oben angestellten Versuch in der Weise abändern, daß wir die Schaufel in ihrem unteren Teile ein klein wenig krümmen (Abb. 16). Alles übrige, also die absolute Auftreffgeschwindigkeit des Flüssigkeitsteilchens, Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit der Schaufel und demgemäß auch die Relativgeschwindigkeit des Wassers zu der Schaufel sei unverändert geblieben. Zunächst erkennen

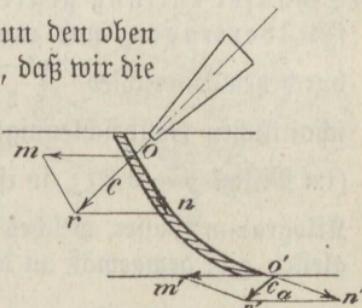


Abb. 16.

wir, daß auch hier das Wasser die Schaufel ohne jeden Stoß trifft und anfänglich sogar ohne Einfluß auf die Bewegung der Schaufel mit der Relativgeschwindigkeit on an der Schaufeloberfläche entlang gleitet. Bei der Kürze der Schaufel wird sich nun diese Relativgeschwindigkeit offenbar so gut wie gar nicht ändern, auch wenn die Schaufel gekrümmmt ist, das Wasser wird also mit angenähert derselben Relativgeschwindigkeit $o'n' = on$ die Schaufel verlassen. Da nun aber die Schaufel an ihrem unteren Ende, gerade so wie oben, eine nach links gerichtete wagerechte Geschwindigkeit $o'm' = om$ hat, so verläßt das Wasser die Schaufel mit einer absoluten Geschwindigkeit, welche sich in einfacher Weise daraus ergibt, daß man durch m' eine Parallele zu $o'n'$ und durch n' eine Parallele zu $o'm'$ zieht; $o'r'$ gibt dann der Größe und Richtung nach die absolute Austrittsgeschwindigkeit des Wassers an.

Ein Blick auf die Abbildung zeigt nun sofort folgendes: $o'r'$ ist kleiner als or , d. h. die absolute Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser die Schaufel verläßt, ist kleiner als die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser die Schaufel traf. Da das Wasser ebenso eine „Masse“ hat wie jeder andere Körper, so wissen wir aus unseren früheren Überlegungen (S. 55): Die lebendige Kraft, mit der das Wasser die Schaufel traf, hat sich während des Entlanggleitens des Wassers an der Schaufel vermindert. Bezeichnen wir die Geschwindigkeit or mit c , die Geschwindigkeit $o'r'$ mit c_a , so ist die Einbuße an lebendiger Kraft nach unseren früheren Betrachtungen (S. 55) gleich $\frac{mc^2 - mc_a^2}{2}$. Eine solche Einbuße an lebendiger Kraft muß sich nun aber, wie wir bereits wissen, von Reibungs- und anderen Verlusten abgesehen, in geleisteter Arbeit wiederfinden, und daraus ergibt sich mit Notwendigkeit folgendes: Während die Flüssigkeit an der gekrümmten Schaufel entlang geglichen ist, hat sie Arbeit an die Schaufel übertragen, und zwar eine Arbeit, deren Größe sich darstellt durch den Unterschied $\frac{mc^2 - mc_a^2}{2}$. Bezeichnet man die Größe der durchschnittlichen Fallbeschleunigung auf der Erde mit dem Buchstaben g (im Mittel $g = 9,81$), so ist die Masse von 1 kg Wasser $= \frac{1}{g}$. Jedes Kilogramm Wasser, welches also an der gekrümmten Schaufel entlang gleitet, gibt demgemäß an die Schaufel eine Arbeit ab von der Größe

$$A = \left(\frac{1}{g}\right) \frac{c^2}{2} - \left(\frac{1}{g}\right) \frac{c_a^2}{2} \text{ mkg},$$

oder kürzer geschrieben

$$A = \frac{c^2 - c_a^2}{2g} \text{ mkg.}$$

Man erkennt sofort, wie man es einzurichten hat, um diese Arbeit möglichst groß zu machen. Die Arbeit wird offenbar um so größer werden, je größer c ist, je größer also die Geschwindigkeit ist, mit welcher das Wasser die Schaufel trifft. A wird aber auch um so größer, je kleiner c_a , die absolute Austrittsgeschwindigkeit des Wassers, wird. Theoretisch müßte man sogar durch passende Krümmung der Schaufel und passende Geschwindigkeit der Schaufel imstande sein, c_a zu Null zu machen. Das ist aber deswegen unmöglich, weil ja das Wasser dann, wenn es gar keine Geschwindigkeit mehr hätte, nicht mehr aus der Schaufel heraus könnte. Da es also von der Schaufel wieder abfließen muß, kann tatsächlich c_a nicht gleich Null gemacht werden, es wird

sich nur darum handeln, c_a so klein zu machen als möglich, weil jedes Kilogramm Wasser, welches mit der Geschwindigkeit c_a die Schaufel verläßt, eine lebendige Kraft, d. h. ein Arbeitsvermögen von $\frac{mc_a^2}{2}$, oder weil 1 kg Wasser die Masse $\frac{1}{g}$ hat, ein Arbeitsvermögen von $\frac{c_a^2}{2g}$ mkg unbenutzt mit sich fortnimmt.

Grundform einer Turbine. Abb. 17 zeigt, wie man eine Vereinigung solcher gekrümmter Schaufeln als Kraftmaschine benützen kann. Der einzige Unterschied gegenüber der vorher besprochenen Anordnung besteht darin, daß sich die Schaufeln nicht geradlinig fortbewegen, sondern um eine Achse herumlaufen. Da die Schaufeln jedoch sehr kurz sind, das Wasser sich also in ihnen nur sehr kurze Zeit aufhält, und außerdem der Durchmesser des Schaufelrades in der Regel verhältnismäßig groß ist, kann die Bewegung der Schaufeln mit großer Annäherung für die kurze Zeit, während deren ein Flüssigkeitsteilchen mit ihnen in Berührung ist, entsprechend unseren früheren Betrachtungen als geradlinig angesehen werden. Man

nennt eine derartige Kraftmaschine allgemein eine Turbine, und je nachdem die „Flüssigkeit“, welche man an den Schaufeln entlang gleiten läßt, in Wasser oder Dampf oder auch wohl heißen Gasen besteht (man kann im weiteren Sinne des Wortes wohl alles dreies als „Flüssigkeiten“ bezeichnen), spricht man von Wasserturbinen (meist schlechtweg als Turbinen bezeichnet), Dampfturbinen oder Gasturbinen.

Die Leistung, welche eine solche Turbine theoretisch abzugeben imstande ist, läßt sich nach den eben angegebenen Erörterungen verhältnismäßig einfach angeben. Strömen in der Sekunde G Kilogramm Flüssigkeit (Wasser, Dampf, heiße Luft) in das Schaufelrad der Turbine mit einer absoluten Geschwindigkeit von c Metern in der Sekunde, und verläßt die Flüssigkeit das Schaufelrad mit einer absoluten Geschwindigkeit von c_a Metern in der Sekunde, so ist, wenn g wiederum die Größe der Fallbeschleunigung (= 9,81) darstellt, die Masse der in der Sekunde durchströmenden Flüssigkeit $m = \frac{G}{g}$, die lebendige

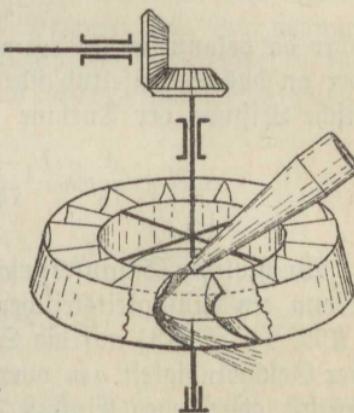


Abb. 17.

Kraft der zuströmenden Flüssigkeit $L_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} c^2$, die lebendige Kraft der austretenden Flüssigkeit $L_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} c_a^2$, folglich die an das Schaufelrad übertragene Arbeit in der Sekunde

$$A = L_1 - L_2 \text{ mkg.}$$

Arbeit in der Sekunde bezeichnet man aber als Leistung und mißt sie nach Sekundenmeterkilogramm. Es wäre also die Leistung dieser Turbine

$$E = \frac{G}{2g} (c^2 - c_a^2) \text{ secmkg,}$$

oder da bekanntlich 75 secmkg 1 PS darstellen, so beträgt die Anzahl der an das Schaufelrad übertragenen Pferdestärken oder die theoretische Leistung der Turbine

$$N = \frac{A}{75} = \frac{L_1 - L_2}{75} = \frac{1}{75 \cdot 2g} (c^2 - c_a^2) \text{ PS.}$$

Wechselnde Schaufelgeschwindigkeit. Wir hatten früher gesehen: Wenn ein Flüssigkeitsteilchen mit der absoluten Geschwindigkeit o_r (Abb. 16 S. 63) auf die Schaufel ab trifft, welche sich gerade mit der Geschwindigkeit o_m vorwärts bewegt, so gleitet das Wasser zunächst ohne jeden Einfluß auf die Bewegung der Schaufel an der Schaufel entlang, weil die Richtung des oberen Schaufelteiles der Verbindungslinie mr parallel ist. Nach unseren früheren Betrachtungen über die Relativgeschwindigkeiten (S. 62) ist dabei die Bewegung des Wassers in bezug auf die Schaufel gerade so, als wenn die Schaufel stände und dafür das Wasser nicht in der ursprünglichen Richtung o_r , sondern in der Richtung on und mit der der Länge dieser Strecke entsprechenden Geschwindigkeit auf die Schaufel aufläuft. Daß aber ein solches Auftreffen des Wassers auf die Schaufel ohne jeden Stoß erfolgen muß, ist ohne weiteres ersichtlich.

Wir wollen nun annehmen, Gestalt und Bewegungsrichtung der Schaufel sowie Richtung und Geschwindigkeit des auftreffenden Flüssigkeitsstrahles bleiben genau dieselben, nur die Geschwindigkeit der Schaufel werde verringert und betrage nicht mehr o_m , sondern nur noch $o'm'$ (Abb. 18 a. f. S.). Ziehen wir wieder durch die Endpunkte der gegebenen Strecken o_m und o_r die Verbindungslinie $m'r$ und durch o dazu eine Parallele $o'n'$, so sieht man, daß jetzt eigentlich der oberste Teil der Schaufel nicht mehr die Richtung o_n , sondern die Richtung

o' haben müßte, wenn das Wasser die Schaufel wiederum ohne Stoß und zunächst ohne jeden Einfluß auf die Schaufel treffen sollte. Da eine solche Änderung der Schaufeln bei jeder Änderung der Umlaufszahl natürlich unmöglich ist, wollen wir sehen, was hierdurch für Folgen eintreten. Es ist $o'n'$ die Geschwindigkeit mit welcher sich ein Flüssigkeitsteilchen relativ gegen die Schaufel (nicht absolut im Raum!) bewegen möchte. Zerlegt man nun (Abb. 19) diese Relativgeschwindigkeit in eine Geschwindigkeit $o'n''$ in Richtung der Schaufel und in eine Geschwindigkeit $o'm''$ senkrecht zur Schaufel, so stellt $o'n''$ diejenige Geschwindigkeit dar, mit welcher sich das Flüssigkeitsteilchen nun tatsächlich relativ an der Schaufel entlang bewegt. Setzt man jetzt wieder (Abb. 20) die Geschwindigkeit $o'm'$ der Schaufel mit der wahren Relativgeschwindigkeit $o'n''$ zu einer absoluten Geschwindigkeit $o'r'$ zusammen, so erkennt man, daß $o'r'$ wesentlich kleiner geworden ist als $o'r$.

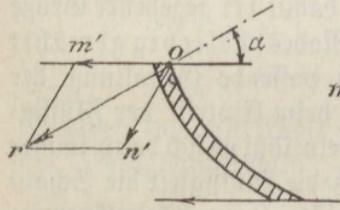


Abb. 18.

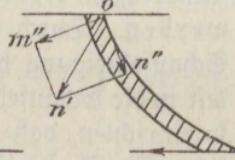


Abb. 19.

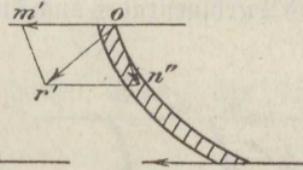


Abb. 20.

Es ist also der diesem Unterschiede entsprechende Betrag an lebendiger Kraft durch das unzweckmäßige, mit Stoß verbündene Auftreffen des Wasserstrahles auf die für diese Umlaufsgeschwindigkeit des Schaufelrades nicht richtig gekrümmte Schaufel verloren gegangen. In der Tat beweist die Mechanik, daß jedes stoßweise Auftreffen zweier bewegter Körper mit einem Energieverlust verknüpft ist. Daß die Energie nicht wirklich verschwindet, sondern sich nur in andere Formen, z. B. Wärme umwandelt, ist nach dem Satze von der Erhaltung der Energie ohne weiteres einleuchtend (siehe Anmerkung S. 42).

Aus diesen Betrachtungen folgt aber das sehr wichtige Ergebnis, daß jede Turbine nur eine einzige ganz bestimmte Umfangsgeschwindigkeit, also auch nur eine einzige ganz bestimmte Umdrehzahl besitzt, bei welcher sie mit größter Wirtschaftlichkeit arbeitet. Geht sie zeitweise langsamer, als es dieser einen Umdrehzahl entspricht, so entstehen, wie wir eben gesehen haben, sofort Stoßverluste beim Auftreffen der Flüssigkeit auf die Schaufeln. Geht sie durch irgendeinen Zufall zeitweise schneller, so ist, wie Abb. 21 a. f. S. zeigt, die Relativgeschwindigkeit der einzelnen Flüssigkeitsteilchen (nicht ihre

absolute Geschwindigkeit im Raume) geradezu von den Schaufeln weggerichtet, die Flüssigkeit trifft also die Schaufeln gar nicht, kann also auch die ihr innenwohnende Energie nicht oder nur unvollkommen an die Schaufeln abgeben.

Bestimmung der Schaufelform.

Es stelle noch einmal Abb. 22 den Schnitt durch ein Stück des Schaufelkranzes einer Turbine dar, und es sei Richtung α und Geschwindigkeit c des an kommenden Flüssigkeitsstrahles ein für allemal dieselbe, dann ergibt sich aus den vorhergegangenen Betrachtungen folgendes:

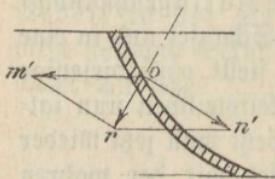


Abb. 21.

1. Es kann zunächst, d. h. solange die Schaufelform noch nicht gegeben ist, die Umfangsgeschwindigkeit u des Rades, dargestellt durch die Strecke u , (und damit bei gegebener Größe des Turbinenrades auch die Umdrehzahl des Rades) beliebig gewählt werden. Durch passende Gestaltung der Schaufelneigung beim Eintritt der Flüssigkeit in die Schaufeln lässt es sich dann immer so einrichten, daß die Flüssigkeit die Schaufeln ohne Stoß trifft, also auch kein Energieverlust durch Stoß der Flüssigkeit auf die Schaufel eintritt. Die Abb. 22 und 23 zeigen solche Verschiedenheiten der Schaufelgestaltung bei verschiedenen Umfangsgeschwindigkeiten des Turbinenrades, aber gleichen c und α .

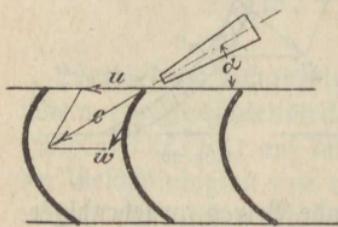


Abb. 22.

2. Ist α , c und u gegeben, so ist nicht nur, wie wir oben gesehen hatten, die Neigung der Schaufel am Anfang gegeben, sondern auch, wie wir früher (S. 62) gesehen hatten, Richtung und Größe der Relativgeschwindigkeit w , mit welcher sich

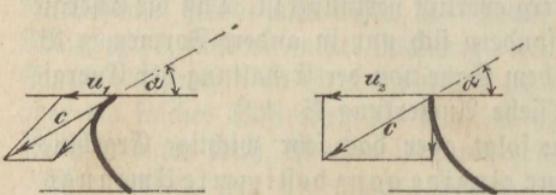


Abb. 23.

die Flüssigkeit an der Schaufel entlang bewegt.

3. Durch richtige Gestaltung des weiteren Verlaufes der Schaufelkrümmung lässt sich ein beliebiger Bruchteil der am Flüssigkeitsstrahle beim Eintritte in das Schaufelrad innenwohnenden lebendigen Kraft in Arbeit umsetzen, welche auf die Schaufel übertragen wird. Abb. 24 zeigt zunächst noch einmal eine Schaufel, welche vollständig gerade ist.

Die Folge dieser Schaufelgestaltung ist, daß die Flüssigkeit mit (angenähert) derselben absoluten Geschwindigkeit $c_a = c$ von der Schaufel wieder abfließt, mit der sie die Schaufel getroffen hat; die in Arbeit umgesetzte lebendige Kraft ist daher einfach gleich Null.

Bei Abb. 25 dagegen fließt bei demselben a , c , u und w das Wasser nur noch mit einer absoluten Geschwindigkeit c'_a von der Schaufel ab. Die von dem Flüssigkeitsstrahle an die Schaufel übertragene Arbeit

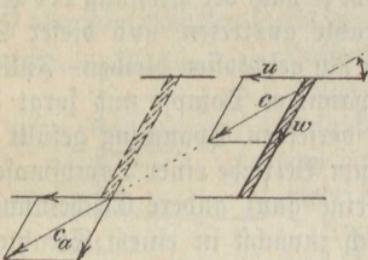


Abb. 24.

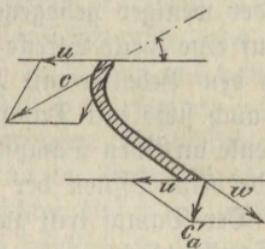


Abb. 25.

ist daher, wie wir früher (S. 64) bewiesen hatten, wenn m die Masse des Flüssigkeitsstrahles

$$A = \frac{m(c^2 - c'^2)}{2};$$

oder wenn in der Sekunde ein Flüssigkeitsgewicht von G kg durch die Schaufel strömt und g wie früher die Erdbeschleunigung bezeichnet, so ist die an die Schaufel sekundlich übertragene Arbeit allgemein

$$A = \frac{G}{g} \left(\frac{c^2 - c'^2}{2} \right) \text{ mkg};$$

durch passende Wahl der Schaufelkrümmung, d. h. durch passende Wahl der absoluten Austrittsgeschwindigkeit c_a

hat man es also in der Hand, dem Flüssigkeitsstrahle bei seinem Wege durch das Schaufelrad einen beliebigen Bruchteil der ihm innewohnenden Geschwindigkeit und damit auch der ihm innewohnenden Energie oder lebendigen Kraft zu entziehen,

ein Ergebnis, welches für die spätere Betrachtung der Dampfturbinen von ganz hervorragender Bedeutung ist.

Viertes Kapitel.

Strömungseigenschaften des Wasserdampfes.

Verhalten des Dampfes beim Ausströmen aus Düsen. Denkt man sich einen rings geschlossenen Behälter, welcher an einer Seitenwand mit einer sich nach außen verjüngenden Düse versehen ist, zunächst mit Wasser von irgendeiner Pressung angefüllt, so wird beim Öffnen der Düse das Wasser in einem je nach der Pressung des Wassers mehr oder weniger gebogenen Strahle austreten, und dieser Strahl wird auf eine weite Strecke hin in sich geschlossen bleiben. Füllt man dagegen den Behälter mit hochgespanntem Dampf und sorgt dafür, daß er auch stets mit Dampf von derselben Spannung gefüllt bleibt (man denke an einen Dampfkessel zum Betriebe einer Dampfmaschine), so würde beim Öffnen der Düse eine ganz andere Erscheinung eintreten: Der Dampf tritt zwar auch zunächst in einem Strahle aus, dieser Strahl bleibt aber nur auf eine kleine Strecke hin in sich geschlossen und breitet sich dann sehr bald nach allen Seiten aus. Setzt man dagegen eine Düse ein, welche sich nach außen hin erweitert, so wird, vorausgesetzt, daß diese Erweiterung in der richtigen Weise berechnet ist, der Dampf in einem Strahle austreten, der auf eine verhältnismäßig lange Strecke in sich geschlossen bleibt, der also nicht das Bestreben zeigt, sich sofort nach allen Seiten hin auszubreiten.

Schon aus diesen ganz einfachen Versuchen erkennt man, daß die Strömungseigenschaften des Dampfes gewisse Eigentümlichkeiten aufweisen, und da diese Strömungseigenschaften für das Verständnis der Wirkung des Dampfes in den Dampfturbinen von grösster Wichtigkeit sind, sollen sie hier, soweit es dem vorliegenden Zwecke entspricht, etwas genauer betrachtet werden.

Versuche mit verjüngten Düsen. Denken wir uns zunächst ein mit hochgespanntem, gesättigtem Wasserdampf gefülltes Gefäß *a* (Abb. 26 a. f. S.), welches an irgendeiner Stelle mit einer sich nach außen verjüngenden Düse versehen ist. Die Mündung dieser Düse führe in ein anderes Gefäß *b*, in welchem sich etwa ebenfalls Dampf befinden möge. Es soll nun angenommen werden, daß es möglich sei, die Spannung des Dampfes in dem Gefäße *a* stets gleichbleibend auf derselben Höhe zu erhalten, beispielsweise auf 10 atm abs, während es anderseits möglich sei, die Spannung des Dampfes in dem Gefäß *b* nach Belieben zu verringern, und zwar nicht bloß bis auf den Druck der Außenluft, sondern sogar annähernd bis auf den Druck Null, z. B. bei An-

wendung eines Kondensators. Mit dieser Vorrichtung wollen wir uns nun eine Reihe von Versuchen angestellt denken.

Erste Versuchsreihe. Der Druck in beiden Gefäßen sei gleich groß. Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß in diesem Falle der Dampf in beiden Gefäßen *a* und *b* im Ruhezustande bleiben wird, wie hoch oder wie niedrig auch die Dampfspannung in den beiden Gefäßen gewählt werden möge.

Zweite Versuchsreihe. Während der Druck im Gefäß *a* dauernd auf 10 atm abs erhalten bleibt, vermindern wir den Druck im Gefäß *b*

stufenweise allmählich auf 5,7 atm abs. Die Folge ist, daß der Dampf aus dem Gefäß *a* in das Gefäß *b* überströmt, und zwar mit um so größerer Geschwindigkeit, je mehr der Druck im Raume *b* abnimmt.

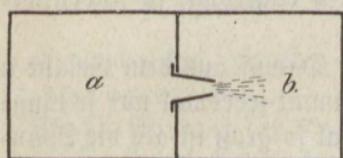


Abb. 26.

Um die Geschwindigkeit des ausströmenden Dampfes wirklich zu finden, braucht man nur die Gewichtsmenge des Dampfes zu messen, welcher in einem gewissen Zeitraume aus *a* ausströmt. Bezeichnet man das Volumen, welches ein kg gesättigten Wasserdampfes bei 10 atm abs einnimmt, mit *v* cbm (die Größe dieser Zahl ist aus Tabellen zu entnehmen) und hat man gefunden, daß in 1 sec *G* kg Dampf aus dem Gefäß *a* ausgeströmt sind, so sind in einer Sekunde offenbar *G* · *v* cbm Dampf durch die Düse geströmt. Hat nun die Düse einen Querschnitt von *f* qm, so war die Geschwindigkeit des ausströmenden Dampfes

$$c = \frac{G \cdot v}{f} \text{ m/sec},$$

weil ja durchströmendes Volumen (*G* · *v*) gleich sein muß dem Produkte aus Querschnitt *f* mal Durchtrittsgeschwindigkeit *c*.

Denken wir uns nun hier eine Reihe solcher Geschwindigkeitsversuche angestellt, so finden wir, daß die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf aus dem Gefäß *a* in das Gefäß *b* überströmt, allmählich bis auf rund 450 m/sec steigt, wenn die Spannung im Gefäß *b* allmählich bis auf 5,7 atm abs verringert wird.

Dritte Versuchsreihe. Während die Spannung von 10 atm abs im Gefäß *a* erhalten bleibt, verringern wir die Spannung im Gefäß *b* stufenweise beliebig weit unter 5,7 atm abs und stellen jeweils Messungen an bezüglich der Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf durch die Düse strömt. Das Ergebnis ist im höchsten Grade überraschend! Die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf durch die

Düse strömt, bleibt von nun an dieselbe (etwa rund 450 m/sec), wie weit wir auch die Spannung im Gefäße b vermindern.

Vierte Versuchsreihe. Wir wiederholen die Versuchsreihen 2 und 3 mit der Abänderung, daß wir in dem Gefäße a anstatt der Spannung von 10 atm zunächst mehrmals verschiedene höhere und darauf mehrmals verschiedene tiefere Spannungen als 10 atm abs annehmen. Erniedrigen wir dann bei jedem derartigen Versuche, gerade so wie in den Versuchsreihen 2 und 3 stufenweise allmählich die Spannung in dem Gefäße b und messen die jeweilige Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf durch die Düsen in das Gefäß b einströmt, so finden wir die folgenden eigenartigen Ergebnisse:

a) Die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf aus dem Gefäße a durch die Düse in das Gefäß b einströmt, nimmt jedesmal nur so lange zu, bis die Spannung im Gefäße b 0,57 mal so groß ist als die Spannung im Gefäße a , oder kürzer ausgedrückt, so lange bis $p_b = 0,57 p_a$ (oder $p_a = 1,75 p_b$).

b) Sowie $p_b = 0,57 p_a$ erreicht ist, hat der die Düse durchströmende Dampf, ganz gleichgültig wie hoch p_a sein möge, eine Geschwindigkeit von ungefähr 450 m/sec, und diese Geschwindigkeit bleibt dieselbe, wie weit auch die Spannung im Gefäße b erniedrigt wird.

Aus diesen beiden Ergebnissen a und b folgt endlich durch eine einfache Überlegung:

c) Der Druck p_o in der Ausslußöffnung selber kann nie tiefer sinken als $p_o = 0,57 p_a$. Wenn also p_a auch wesentlich größer ist als $1,75 p_b$, so herrscht in der Mündungsebene selber doch immer nur der Druck $p_o = 0,57 p_a$, und der diese Mündungsebene durchströmende Dampf hat eine fast bei allen Spannungen p_a gleichbleibende Ausslußgeschwindigkeit von rund 450 m/sec.

Diese Ergebnisse, die wir uns hier durch eine Reihe von Versuchen gefunden dachten, deren Richtigkeit sich aber auch rechnerisch nachweisen lässt, sind jedenfalls so überraschend, daß man unwillkürlich nach einer Art Erklärung sucht, und diese Erklärung ist etwa die folgende: Wenn der hochgespannte Dampf aus der Düse in einen Raum hinaustritt, in welchem eine wesentlich geringere Spannung herrscht, so hat er das Bestreben, sich plötzlich nach allen Seiten hin stark auszudehnen. Dieses Ausdehnen geschieht nun aber nicht bloß nach vorn und nach den Seiten, sondern auch nach rückwärts, und es findet dadurch ein Zurückstauen des austretenden Dampfes statt, welches natürlich gerade um so stärker sein wird, je mehr Ausdehnungsbestrebungen der Dampf besitzt, d. h. je größer der Unterschied der Spannungen p_a und p_b ist.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse. Die durch die Versuchsreihen 3 und 4 gefundenen Ergebnisse sind nun für das Verständnis der Dampfturbinen von großer Bedeutung. Wenn der durch die Düse strömende Dampf stets ungefähr dieselbe Geschwindigkeit von $c_0 = 450 \text{ m/sec}$ hat, ganz gleichgültig, wie hoch die Spannung im Gefäße a auch sein möge, so hat eben auch jedes Kilogramm Dampf, welches in der Sekunde durch die Düse strömt, gleichmäßig die lebendige Kraft

$$\frac{mc_0^2}{2} = \frac{\frac{1}{g} \cdot c_0^2}{2} = \frac{\frac{1}{9,81} \cdot 450^2}{2} = \sim 10000 \text{ mkg},$$

ganz gleichgültig, ob ich z. B. Dampf von 5 atm oder Dampf von 15 atm erzeuge.

Da die Wirkung der Dampfturbinen auf der Ausnutzung der lebendigen Kraft des strömenden Dampfes beruht, wäre es nach diesen Erfahrungen unwirtschaftlich, hochgespannte Dämpfe in der eben besprochenen Weise zum Antriebe von Dampfturbinen zu benützen. Anderseits lehrt nun aber wieder die mechanische Wärmetheorie, daß es unwirtschaftlich ist, Dampf von niedriger Spannung zum Betriebe von Kraftmaschinen zu verwenden, und so müßte man denn aus wirtschaftlichen Gründen überhaupt darauf verzichten, den Dampf in Dampfturbinen zu verwenden, wenn es nicht möglich wäre, dem hochgespannten Dampf eine wesentlich höhere Austrittsgeschwindigkeit und damit eine wesentlich höhere lebendige Kraft zu erteilen.

Erweiterte Düsen. Das ist nun in der Tat möglich! Wir hatten gesehen, wenn hochgespannter Dampf aus einer einfachen Öffnung oder einer sich verjüngenden Düse plötzlich in einen Raum von wesentlich niedrigerer Spannung eintritt, so wird die in dem Dampf steckende Energie dazu verbraucht, um den Dampf sofort nach allen Seiten hin auszudehnen, so daß also der Dampf nicht als geschlossener Strahl austreten kann. Wenn wir nun aber an die bei den früheren Versuchen benützte Öffnung noch eine Düse ansetzen würden, die sich nach außen, also nach dem damaligen Raume b hin allmählich erweitert (Abb. 27), so müßte offenbar folgendes eintreten: der aus der früher benützten Öffnung austretende Dampf könnte und müßte sich auch hier ausdehnen. Da ihn aber die Wandungen der sich erweiternden Düse verhindern, sich, wie früher, nach allen Seiten

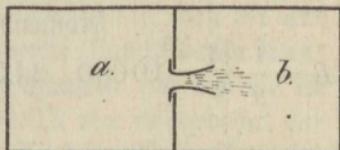


Abb. 27.

hin auszudehnen, so wird jetzt die in dem Dampfe steckende Energie dazu benutzt werden, um den Dampf vor allen Dingen sozusagen nach vorn hin auszudehnen, mit anderen Worten: die in dem Dampfe noch steckende Energie wird dazu benutzt werden, um den Dampf noch weiter zu beschleunigen, und die Folge davon wird wieder die sein, daß jetzt der Dampf aus der erweiterten Düsenöffnung mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit c_2 austreten wird. Wird dann noch die Düse so lang gemacht und in richtiger Weise derartig erweitert, daß beim Austreten aus der erweiterten Düsenöffnung der Dampf gerade genau die Spannung des Ausströmlraumes, also die in dem früheren Raume b herrschende Spannung erreicht hat (diese Erweiterung der Düse läßt sich nach den Regeln der Theorie des Wasserdampfes verhältnismäßig einfach berechnen), so kann offenbar auch der Dampf nicht mehr das Bestreben haben, sich nach allen Seiten hin auszudehnen. Mit anderen Worten: der Dampf wird nun als ein geschlossener Strahl aus der Mündung der erweiterten Düse austreten, und zwar jetzt mit um so größerer Geschwindigkeit c_2 , je größer der Druckunterschied zwischen dem Raume a und b ist. Da nun, wie wir früher (S. 54) gesehen hatten, die lebendige Kraft einer strömenden Flüssigkeit im Quadrate ihrer Geschwindigkeit wächst ($L = \frac{mc^2}{2}$), so erkennt man, welche gewaltigen Vorteile bei dieser Anordnung die Anwendung hochgespannten Dampfes (p_a) bei möglichst tiefer Spannung p_b im Ausströmlraume bietet, im Gegensatz zu der früher besprochenen Anordnung ohne Anwendung einer sich erweiternden Düse.

Nimmt man für c_0 , die Dampfgeschwindigkeit an der engsten Stelle der Düse, einen runden für alle Spannungen p_a gleichbleibenden Wert von 450 m/sec an, so findet man durch Rechnung, deren Durchführung hier nicht angängig ist, folgendes: Wenn

$$p_a = 1,75 \quad 4 \quad 10 \quad 50 \quad 100 \text{ mal}$$

so groß ist als p_b , dann wird

$$c_2 = 450 \quad 700 \quad 880 \quad 1090 \quad 1160 \text{ m/sec},$$

und die lebendige Kraft eines jeden Kilogramm austretenden Dampfes in runden Zahlen

$$L = \frac{1}{g} \cdot \frac{c_2^2}{2} = 10000 \quad 24500 \quad 39500 \quad 59500 \quad 67100 \text{ mkg.}$$

Zweiter Abschnitt.

Verwendung des Dampfes in den verschiedenen Arten von Dampfturbinen.

Erstes Kapitel.

Allgemeines über Dampfturbinen.

Allgemeine Bauart. Wir hatten im vorigen Kapitel gesehen, daß es drei Bedingungen sind, welche erfüllt sein müssen, damit eine möglichst wirtschaftliche Ausnützung des strömenden Wasserdampfes in Dampfturbinen stattfinden kann, nämlich:

1. Möglichst hohe Anfangsspannung,
2. Möglichst tiefe Endspannung,
3. Nicht plötzliche, sondern allmäßliche Ausdehnung des Dampfes von der Anfangsspannung auf die Endspannung.

Nehmen wir an, die beiden ersten Bedingungen wären erfüllt, d. h., wir hätten z. B. einen Dampfkessel, der uns genügende Mengen trocken gesättigten Dampfes von 10 atm abs liefert, und ebenso wären wir im Besitze eines Kondensators, vermittels dessen wir imstande wären, uns einen Druck von 0,2 atm abs mit Leichtigkeit zu verschaffen. Eine Dampfturbine zur Ausnützung der Energie des strömenden Wasserdampfes könnte dann etwa so aussehen, wie die Gerippskizze (Abb. 28) zeigt. Auf einer wagerechten Welle sitzt ein Rad, welches an seinem Umfange mit einer großen Zahl von Schaufeln besetzt ist. Durch die Schaufeln dieses Rades ströme Dampf aus einer oder mehreren Düsen, deren nach dem Turbinen-

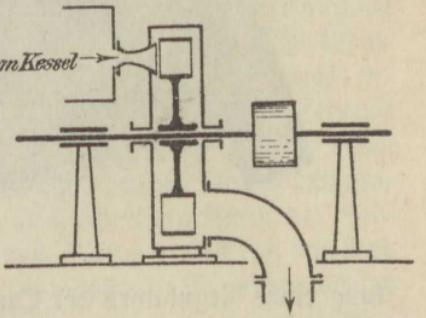


Abb. 28.

rade zunehmende Erweiterung in der Weise berechnet ist, daß der aus dem Kessel mit 10 atm vor der Düse ankommende Dampf beim Austritt aus der Düse und Eintritt in die Schaufeln sich auf die im Kondensatorraume herrschende Spannung von 0,2 atm ausgedehnt hat. Abb. 29 a. f. S. zeigt die Hauptteile einer solchen Turbine (Welle, Schaufelrad und Düsen; Die Laval-Turbinenrad und Düsen der Maschinen-

fabrik Humboldt in Kalk bei Köln) in perspektivischer Ansicht. Betrachtet man die Abbildung von der rechten Seite aus, so erkennt man die Ähnlichkeit mit der früheren Abb. 17, S. 65.

Regulierung. Sehr einfach gestaltet sich bei einer solchen Kraftmaschine die Regulierung. Soll nämlich die Dampfturbine eine Zeitlang weniger Arbeit leisten, so kann das zunächst in der Weise geschehen, daß entweder von Hand oder durch die selbsttätige Einwir-

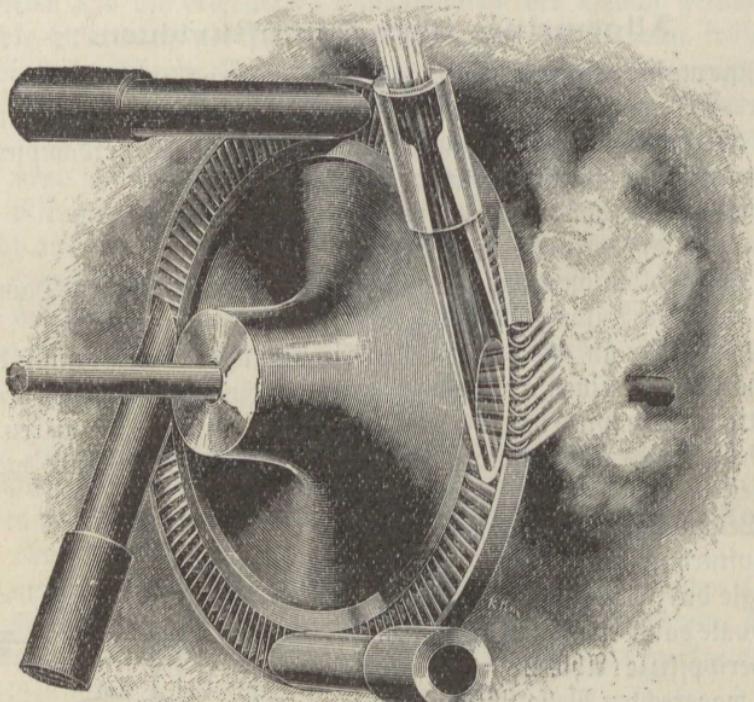


Abb. 29.

lung eines Regulators der Querschnitt der Hauptdampfzuleitung verringert und dadurch die Spannung des nach den Düsen hinstromenden Dampfes verringert wird. Man sagt dann: der Dampf wird gedrosselt. Da dieses Drosseln eine Vernichtung der vorher in dem Kessel erzeugten hohen Spannung bedeutet, so ist eine andere Art der Regulierung besser, welche darin besteht, daß bei verringertem Arbeitsbedarfe eine oder mehrere der vorhandenen Düsen überhaupt für den Dampfdurchtritt gesperrt werden. Wenn sich hierdurch auch nur eine stufenweise Regulierung erzielen läßt, so wird bei nicht zu kleiner An-

zahl der Düsen diese Art der Regulierung der erstgenannten Art, ihrer Wirtschaftlichkeit wegen, vorzuziehen seint.

Hohe Umdrehzahl. Grinnern wir uns nun noch einmal an die Erwägungen, die wir früher (S. 68) über die Form der Schaufelkrümmung angestellt hatten. Wir hatten damals gesagt, daß, wenn die Eintrittsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in die Schaufeln des Rades ihrer Richtung und Größe nach gegeben ist, die Richtung der ersten Schaufelteilchen erst dann gefunden werden kann, wenn auch die Umfangsgeschwindigkeit des Rades gegeben ist. Nach Regeln der allgemeinen Turbinentheorie, deren Ableitung hier zu weit führen würde, wird die Ausnützung der Strömungsenergie einer Flüssigkeit dann am vollkommensten sein, wenn die Umfangsgeschwindigkeit u des Schaufelrades etwa halb so groß ist als die absolute Eintrittsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in das Rad, wenn also ungefähr $u = \frac{1}{2} c$. (Man versteht dabei, wie hier noch einmal hervorgehoben sei, unter Umfangsgeschwindigkeit u des Schaufelrades denjenigen in Metern gemessenen Weg, den ein Punkt des Schaufelradumfangs in 1 Sekunde zurücklegt.)

Die Befolgung dieser Regel bringt nun für unsere eben beschriebene und unter den dort angegebenen Verhältnissen arbeitende Dampfturbine einen eigentümlichen Übelstand mit sich. Nach den Angaben der Tabelle auf S. 74 hat nämlich der aus der Düse ausströmende Dampf eine Geschwindigkeit von $c = 1090$ m/sec, so daß nach der oben angegebenen Regel für eine möglichst vollkommene Ausnützung der Strömungsenergie unser Turbinenrad eine Umfangsgeschwindigkeit von etwa 500 m/sec bekommen muß. Mit anderen Worten: jeder Punkt am Anfange unseres Turbinenrades muß in einer Sekunde einen Weg von 500 m/sec zurücklegen. Hat nun z. B. das Rad einen Durchmesser von 0,5 m, so beträgt der Umfang des Rades bekanntlich $0,5 \cdot 3,14 = 1,57$ m, und es muß also, damit ein Punkt des Radumfangs in der Sekunde einen Weg von 500 m zurücklegt, das Rad und damit auch die Turbinenwelle in der Sekunde (in abgerundeten Zahlen) $\frac{500}{1,57} = \sim 320$ oder in der Minute $60 \cdot 320 = \sim 19000$ Umdrehungen machen. Es ist wohl ohne weiteres klar, daß mit einer derartig hohen Umdrehzahl nichts anzufangen ist, und es fragt sich nun: welche Hilfsmittel gibt es, um die Dampfturbine zu einer brauchbaren Kraftmaschine umzugestalten, oder mit anderen Worten:

Welche Hilfsmittel gibt es, um die Umdrehzahl der die Kraft fortleitenden Welle auf ein in der Technik brauchbares Maß zurückzuführen?

Zweites Kapitel.

Hilfsmittel zur Erniedrigung der Umdrehzahl. Turbinensysteme.

Einstufige Turbinen. Das für den Erbauer von Maschinen zunächst liegende Hilfsmittel, um hohe Umdrehzahlen in niedrige zu verwandeln, ist die Anwendung von Zahnrädern, und in der Tat hat dieses Hilfsmittel auch bei Dampfturbinen Verwendung gefunden, und zwar bei derjenigen Dampfturbine, welche wohl zuerst eine weitergehende Verwendung gefunden hat: der Dampfturbine des Schweden de Laval, meist kurz Laval'sche Dampfturbine genannt. Der Aufbau dieser Dampfturbine ist im allgemeinen derselbe wie der Aufbau der in Abb. 28 S. 75 skizzierten Dampfturbine, nur mit dem Unterschiede, daß auf der eigentlichen Turbinenwelle, d. h. der Schaufelradwelle, ein kleines Zahnräder sitzt, welches seinerseits in ein auf einer zweiten Welle sitzendes großes Zahnräder eingreift. Diese zweite Welle, deren Umdrehzahl im Verhältnis der Zahnräderübersetzung gegenüber der ersten Welle verkleinert ist, stellt dann die Kraftmaschinewelle dar, von welcher aus die in der Dampfturbine erzeugte Kraft etwa vermittels eines Treibriemens oder durch Haußseile weitergeleitet werden kann.

Heute ist die Laval-Turbine vom Markte verschwunden. Es hat sich gezeigt, daß die Ausführung von Zahnrädern für derartig hohe Umgangsgeschwindigkeiten große Schwierigkeiten bietet und daß selbst bei guter Ausführung viel zu große Energieverluste infolge von Reibung in den Zahnrädern auftreten.

Ein zweites mechanisches Hilfsmittel, welches ebenfalls naheliegt, ergibt sich aus unserer Betrachtung auf S. 77. Wir hatten dort bestimmte Voraussetzungen für den Bau und den Betrieb einer Dampfturbine gemacht und hatten dabei gefunden, daß eine solche Turbine eine Umgangsgeschwindigkeit von rund 500 m/sec bekommt und folglich bei einem Raddurchmesser von 0,5 m etwa 19 000 Umdrehungen in der Minute machen müßte. An der Umgangsgeschwindigkeit läßt sich nach unseren früheren Darlegungen bei dieser Turbine nichts ändern (s. S. 77), wohl aber könnten wir offenbar die Zahl der Umdrehungen dadurch verkleinern, daß wir den Durchmesser des Turbinenrades wesentlich größer machen, da sich, wie aus den damaligen Berechnungen leicht ersichtlich ist, bei gleicher Umgangsgeschwindigkeit die Anzahl der minutlichen Umdrehungen in demselben Maße verkleinert, als sich der Durchmesser des Schaufelrades vergrößert. Wählen wir z. B. für das Schaufelrad einen Durchmesser von 3,5 m, dann

ist der Umfang des Rades $3,5 \cdot 3,14 = 11$ m, und das Rad müßte, um eine Umfangsgeschwindigkeit von 500 m/sec zu bekommen, in der Sekunde $\frac{500}{11} = \sim 45$ und folglich in der Minute $60 \cdot 45 = \sim 2700$ Umdrehungen machen, eine Zahl, die z. B. für den Antrieb von Dynamomaschinen durchaus nicht zu hoch ist.

Turbinen dieser Art wurden seinerzeit von den Professoren Niederl und Stumpf entworfen, zeigten aber bei den enorm hohen Dampfgeschwindigkeiten so starke Schaufelabnutzung, daß ihr Bau sehr bald wieder aufgegeben werden mußte.

Turbinen mit Geschwindigkeitsstufen, Ausnützung der hohen Dampfgeschwindigkeit in mehreren aufeinanderfolgenden, langsam laufenden Schaufelrädern. Es war auf S. 77 gesagt worden, daß, wenn man die Strömungsenergie einer Flüssigkeit in einem einzigen Schaufelrade möglichst vollkommen ausnützen wolle, die Umfangsgeschwindigkeit des Schaufelrades etwa gleich der halben Dampfgeschwindigkeit sein müsse. Wählt man nun die Umfangsgeschwindigkeit wesentlich kleiner, dann können wir zwar auch für diesen Fall den Anfang der Schaufelkrümmung so bestimmen (s. S. 68), daß der Eintritt des Dampfes in die Schaufeln ohne Stoß und damit ohne Energieverlust erfolgt; es ist dann aber nicht mehr möglich, die Strömungsenergie des Dampfes in dem einen Rade vollständig auszunützen, sondern der Dampf wird nun mit einer noch mehr oder minder bedeutenden Geschwindigkeit aus diesem Rade austreten. Um nun die Strömungsenergie auch dieses Dampfes noch auszunützen, kann man ihm nach seinem Austritte aus dem ersten Schaufel- oder „Laufrade“ zunächst durch feststehende Leitschaufeln eine andere Richtung geben und dann noch einmal in ein zweites auf derselben Welle sitzendes Laufrad treten lassen, von hier aus unter Umständen noch einmal durch Leitschaufeln in ein drittes Laufrad usw., bis seine Geschwindigkeit annähernd auf Null gesunken ist, seine Strömungsenergie also möglichst ausgenützt ist.

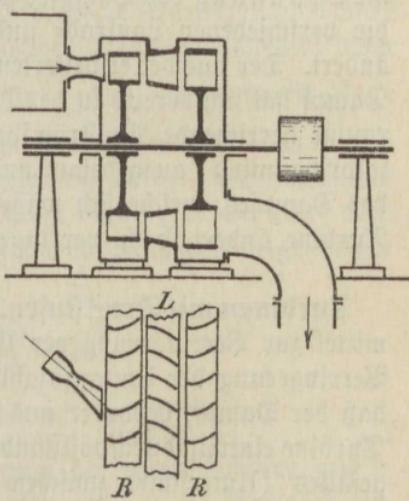


Abb. 30 a und b.

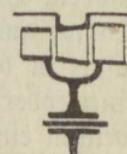


Abb. 31.

Man spricht dann von Dampfturbinen mit mehreren Geschwindigkeitsstufen. Ihre Anordnung zeigen die Gerippskizzen 30 und 31 a. v. S. Bei Abb. 30 sind zwei vollständig gesonderte, auf ein und derselben Welle sitzende Turbinenläufräder ausgeführt, zwischen denen, am Gehäuse der Turbine befestigt, die feststehenden Leitradshaufeln (bisweilen ein vollständiges „Leitrad“) zur Umkehr der Bewegungsrichtung des Dampfes angebracht sind. Abb. 30b stellt das Stück eines Schnittes durch die Läufräder und die Leitradshaufeln dar. Abb. 31 zeigt eine lediglich bauliche Abänderung, und zwar derart, daß die beiden Schaufelkränze der Läufräder auf einem einzigen Radkörper angebracht sind, jedoch so, daß die Leitradshaufeln zwischen den beiden Läufradshaufelkränzen Platz haben. Solche im neuzeitlichen Turbinenbau sehr viel angewendeten Räder pflegt man kurz mit dem Namen Geschwindigkeitsräder zu bezeichnen.

Es möge hier noch einmal darauf hingewiesen werden, daß bei der vorliegenden Dampfturbinenart mit mehreren Geschwindigkeitsstufen die Spannung des Dampfes sich während des Hindurchstreichens durch die verschiedenen Läufrad- und Leitradshaufeln nicht im geringsten ändert. Der aus der erweiterten Düse in das erste Läufrad einströmende Dampf hat sich bereits in der Düse vollständig bis auf die im Turbinenraume herrschende Ausströmspannung (Außenluftdruck oder Kondensatorspannung) ausgedehnt, und es ist lediglich die Geschwindigkeit des Dampfes, welche sich während seines Hindurchströmens durch die Turbine ändert, d. h. verringert.

Turbinen mit Druckstufen. Druckturbinen. Alle bisherigen Hilfsmittel zur Verringerung der Umlängsgeschwindigkeit und damit zur Verringerung der Umlaufszahl der Turbinenräder gingen davon aus, daß der Dampf, bevor er aus der erweiterten Düse in die eigentliche Turbine eintritt, durch vollständige Ausnutzung des gesamten sog. „Druckgefälles“ (Unterschied zwischen größter und niedrigster Spannung) die größte Geschwindigkeit erhielt, die er bei dem vorliegenden Druckgefälle überhaupt bekommen konnte. Wenn wir nun aber das ganze vorhandene Druckgefälle in mehrere Teile zerlegen, d. h., wenn wir den Dampf aus dem damaligen Raum *a* mit höchster Spannung nicht sofort in den Raum *b* mit tiefster Spannung, sondern erst noch in einen oder mehrere Zwischenräume oder Kammern treten lassen, in welchen eine allmählich immer mehr abnehmende Spannung herrscht, so wird die Höchstgeschwindigkeit, die sich bei dem Überströmen des Dampfes von einem Raum in den jeweilig darauf folgenden Raum

erzielen läßt, immer nur abhängen von dem jeweiligen Druckgefälle zwischen den aufeinanderfolgenden Räumen, und es läßt sich dieses Druckgefälle offenbar so einteilen, daß diese jeweiligen Überströmgeschwindigkeiten stets dieselbe Größe haben, die dann natürlich wesentlich geringer ist als jene höchste erzielbare Dampfgeschwindigkeit bei sofortiger Ausnützung des gesamten Druckgefälles.

Vor einem Irrtum muß allerdings gewarnt werden. Wenn der Dampf in einer einstufigen Turbine unter gewissen, auf S. 74 angegebenen Verhältnissen mit einer Geschwindigkeit von rund 1000 m/sec aus der Düse ausströmt, so strömt er unter den gleichen Verhältnissen bei einer Turbine mit 2, 4, 8 usw. Druckstufen nicht etwa mit 500, 250, 125 usw. m/sec aus den einzelnen Düsen, sondern mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit, wie sich aus folgender Betrachtung ergibt: Nehmen wir an, es ströme in 1 sec gerade 1 kg Dampf durch die Düsen, dann ist die Masse dieses Dampfes nach den Erklärungen auf S. 64 $\frac{1}{g}$, wobei g die Größe der Erdbeschleunigung (rund 10 m/sec²) darstellt. Die lebendige Kraft, d. h. die theoretische Arbeitsfähigkeit eines solchen mit $c = 1000$ m/sec ausströmenden Dampfgewichtes ist dann nach S. 74 $= \frac{1}{2} \frac{1}{g} c^2 = \sim 50000$ mkg. Bei einer (ohne Verluste arbeitenden) Turbine mit 2, 4, 8 usw. Druckstufen muß also die in den sämtlichen Stufen zusammen geleistete Arbeit natürlich immer wieder 50000 mkg betragen. Man findet daher z. B. bei einer achtstufigen Turbine die theoretische Austrittsgeschwindigkeit in irgendeiner der 8 Stufen aus der Beziehung

$$\frac{1}{2} \frac{1}{g} x^2 = \frac{50000}{8} \text{ oder}$$

$$x = 350 \text{ m/sec.}$$

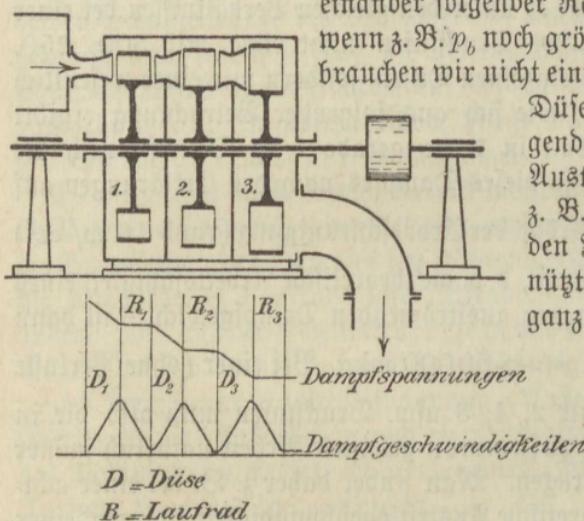
In derselben Weise ergibt die Berechnung bei einer Turbine mit 2, 4, 6 usw. Druckstufen eine Austrittsgeschwindigkeit des Dampfes aus den einzelnen Düsen von rund 700, 500, 400 usw. m/sec.

Mit einer solchen Verminderung der Dampfgeschwindigkeit ist nun aber auch sofort die größte Schwierigkeit beseitigt, die sich, wie wir früher S. 77 gesehen hatten, der Verwendung des strömenden Dampfes zum Betriebe von Kraftmaschinen entgegenstellten, denn es liegt ja in unserer Gewalt, die Zahl dieser „Druckstufen“, wie die einzelnen kleineren Druckgefälle genannt werden, so groß zu wählen, daß wir eine, wenigstens theoretisch, beliebig geringe Dampfgeschwindigkeit be-

kommen, die sich dann in wirtschaftlicher Weise zur Ausnützung in verhältnismäßig langsam laufenden Dampfturbinen verwenden läßt. Nur ist es dann eben nicht mehr eine einzige Dampfturbine, oder sagen wir lieber: ein einziges Laufrad, sondern es sind mehrere Dampfturbinen oder mehrere Laufräder, die aber natürlich gerade so, wie früher bei den Turbinen mit mehreren Geschwindigkeitsstufen, alle auf einer und derselben Welle sitzen können.

Aus unseren früher (S. 71 u. f.) angestellten Versuchsreihen ergibt sich übrigens noch folgendes: Wenn der Druckunterschied zweier aufeinander folgender Räume sehr klein ist, d. h.:

wenn z. B. p_b noch größer ist als $0,57 p_a$, dann brauchen wir nicht einmal eine sich erweiternde



Düse, sondern es genügt irgendeine beliebig gestaltete Austrittsöffnung, als welche z. B. Kanäle eines feststehenden Rades („Leitrades“) benutzt werden können, welches ganz ähnlich gebaut ist wie eins der mehrfach besprochenen Turbinenlaufräder, nur daß die Schaufelung nicht um den ganzen Umfang herumzugehen braucht, sondern unter Umständen

(wie z. B. bei den vorderen Rädern der Abb. 35 auf S. 85) nur an einem oder mehreren Teilen des Leitradumfangs angebracht ist.

Abb. 32 zeigt die Gerippskizze einer Dampfturbine mit drei Druckstufen. Man beachte wohl den Unterschied zwischen dieser Abbildung und Abb. 30 a. S. 79. Während dort (Abb. 30) in dem ganzen Raum, in dem sich die Laufräder bewegen, ein und dasselbe Druck herrschte, nämlich der niedrigste Druck, der überhaupt zur Verwendung kommt (Außenluftdruck oder Kondensatorspannung), bewegen sich hier in Abb. 32 die verschiedenen Laufräder in voneinander sorgfältig abgedichteten Räumen von allmählich abnehmender Spannung, so daß erst im Raum 3 die niedrigste Spannung herrscht, während die Spannung im Raum 2 höher ist als die im Raum 3 und die Spannung im Raum 1 wieder höher als die im Raum 2. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf in jedes der drei Laufräder einströmt,

ist, wie wir gesehen hatten, stets dieselbe; sie wird in jedem

Laufrade nahezu vollständig in Arbeit umgesetzt, ist also beim Austritte aus dem Laufrade nahezu gleich Null, und muß dann erst wieder beim Überströmen des Dampfes in die nächste Kammer durch den Druckunterschied von neuem erzeugt werden. Es ist aber zu beachten, daß trotz der gleich großen Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf durch alle

Schaufelräder strömt, die Durchtrittsquerschnitte der Schaufelräder doch, wie das auch in der Skizze angedeutet ist, allmählich zunehmen müssen, da ja das Volumen von 1 kg Dampf beinahe in demselben Maße zunimmt, als die Spannung abnimmt.

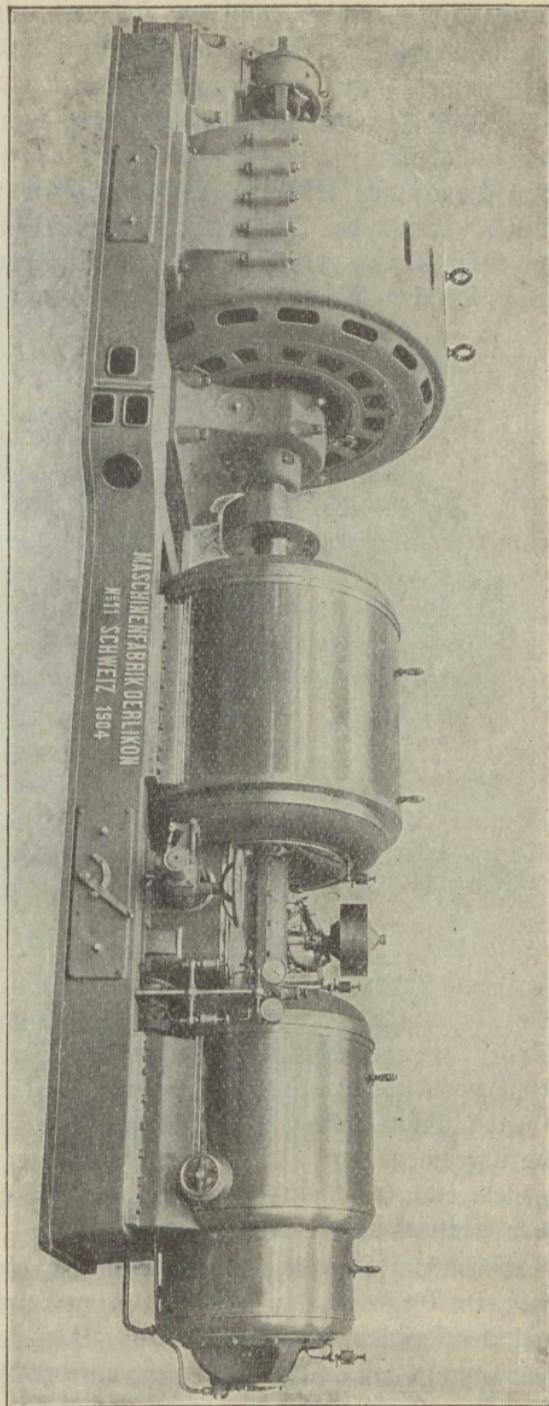
Trotzdem also in jedem Augenblicke durch jedes der drei Laufräder die gleiche Gewichtsmenge Dampf mit gleicher

Dynamomaschine

Nr. 33.

Dampfturbinen

MASCHINENFABRIK UERLICKE
N° 1 SCHWEIZ 1904



Geschwindigkeit hindurchströmt, strömt durch jedes der drei Räder ein verschiedenes Dampfvolume hindurch, und zwar ein Volumen, welches immer größer wird, je kleiner die Spannung des Dampfes wird.

Das Diagramm in Abb. 32 veranschaulicht die Druck- und Geschwindigkeitsverhältnisse, wie sie in einer solchen Dampfturbine mit drei Druckstufen herrschen. Wie man sieht, und wie wir auch bereits wissen, nimmt der Druck des Dampfes beim Hindurchströmen durch die Düse D_1 ab, die Geschwindigkeit dagegen zu, da ja eben in der Düse Druck in Geschwindigkeit umgesetzt wird. Während des Hindurch-

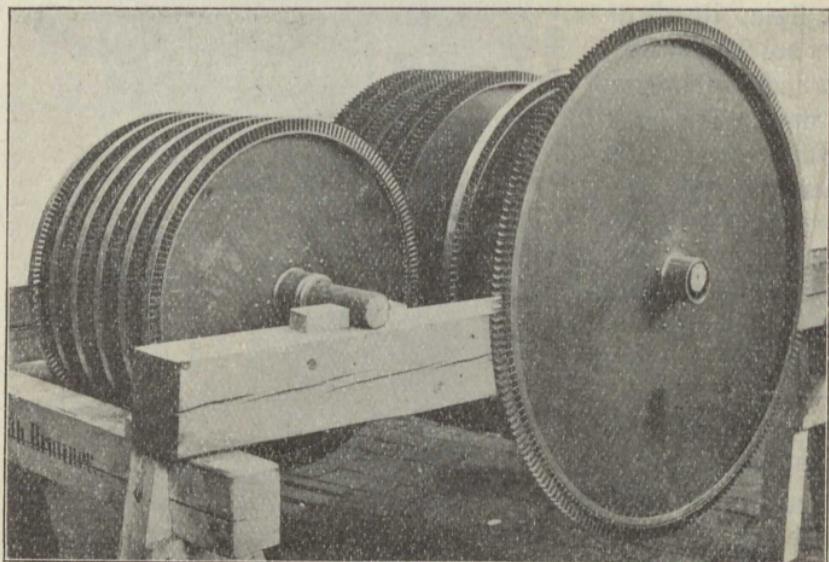


Abb. 34.

strömens durch das Laufrad R_1 bleibt der Druck ungeändert, während die Geschwindigkeit wegen Umwandlung der lebendigen Kraft in Arbeit annähernd auf Null herabsinkt. In der zweiten Düse (oder in dem zweiten Leitrade) D_2 wird wieder ein Teil des Druckgefälles in Geschwindigkeit umgesetzt, die Spannung sinkt also während des Hindurchströmens durch die zweite Düse weiter, während der Dampf von neuem eine Geschwindigkeit bekommt, die gerade so groß ist wie die vor Eintritt in das erste Laufrad usw.

Es möge hier noch einmal besonders darauf hingewiesen werden, daß, im Gegensatz zu einer später zu besprechenden Dampfturbinenart, der Druck unmittelbar vor und hinter einem jeden Laufrade dieselbe ist, so daß ein Bestreben, die mit den Laufrädern versehene Welle

in Richtung der Dampfbewegung zu verschieben, hier nicht vorliegt. Dampfturbinen dieser Art waren die nach ihren Erfindern benannten ursprünglichen Bölly- und Rateau-Turbinen. In neuerer Zeit hat ihre Bauart eine kleine Abänderung erfahren, auf die an späterer Stelle

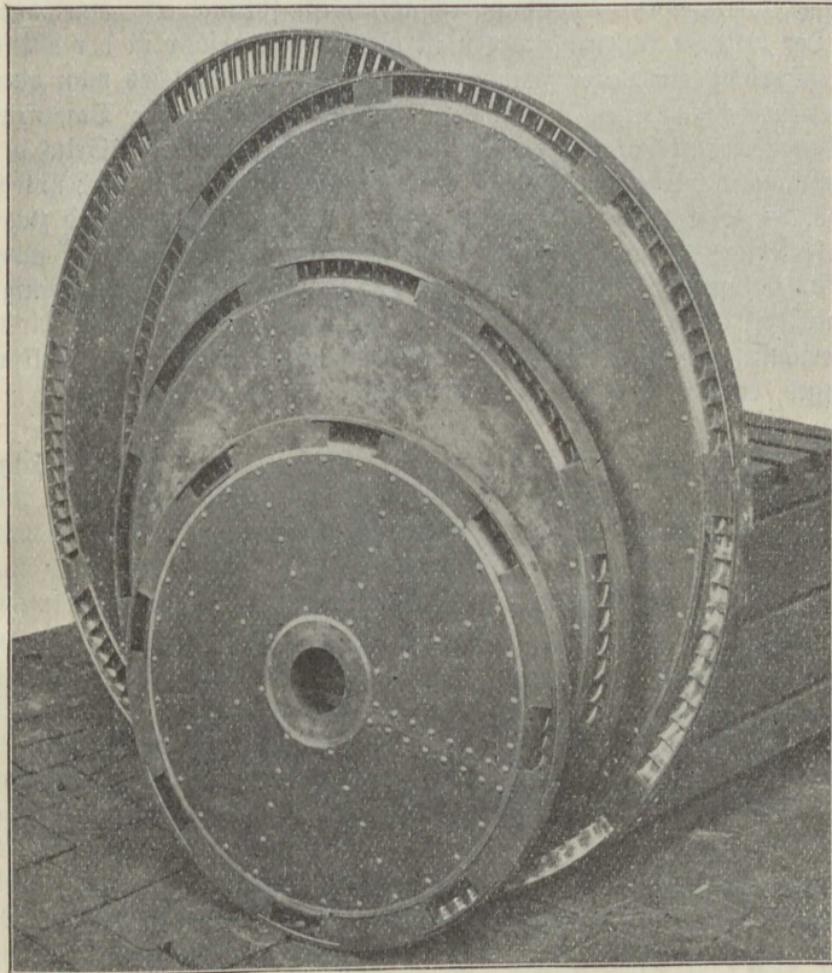


Abb. 35.

hingewiesen werden soll. Man nennt sie (geradeso wie die sämtlichen vorhergenannten Turbinenarten) Druckturbinen aus einem Grunde, der weiter unten angegeben ist.

Abb. 33 a. S. 83 zeigt eine von der Maschinenfabrik Oerlikon in Oerlikon (Schweiz) für die Zechen Holland in Westfalen erbaute Dampfturbine,

Bauart Rateau, von 1300 PS zum Antrieb einer Dynamomaschine (welche in dem größten Gehäuse links enthalten ist). Da die Anzahl der Druckstufen hier ziemlich beträchtlich ist und, wie wir gesehen hatten, die Durchtrittsquerschnitte des Dampfes allmählich zunehmen müssen, wurde die ganze Turbine gewissermaßen in mehrere Teile zerlegt, deren Durchmesser, wie aus der Abbildung ersichtlich ist, sprungweise zunehmen.

Der besseren Lagerung wegen ist hier noch ungefähr in der Mitte der Turbine ein Lager zwischengeschaltet worden, welches man aber bei neueren Turbinen möglichst zu vermeiden sucht. Die Dampfzuleitung befindet sich auf der dem Beschauer abgewendeten Seite der Maschine, die Überströmung in den Kondensator geschieht nach unten. Abb. 34 zeigt einige Laufräder einer solchen Turbine, und zwar links fertige Räder mit einem die Schaufeln umschließenden Bande, rechts halbfertige Räder zum Teil ohne Band. Abb. 35 zeigt einige Leiträder, bei denen sehr deutlich zu sehen ist, wie der Durchtrittsquerschnitt des Dampfes, d. h. der mit Schaufeln besetzte Teil des Umlanges, entsprechend der Ausdehnung des Dampfes, zunimmt.

Turbinen mit Druckstufen in Verbindung mit Geschwindigkeitsstufen. Faßt man die beiden zuletzt besprochenen Hilfsmittel, die Umfangsgeschwindigkeit herabzumindern, zusammen, so bekommt man eine neue wichtige Art von Dampfturbinen, vermittels deren es nun möglich ist, in verhältnismäßig einfacher Weise eigentlich jede gewünschte niedrige Umfangsgeschwindigkeit und damit auch jede gewünschte ge-

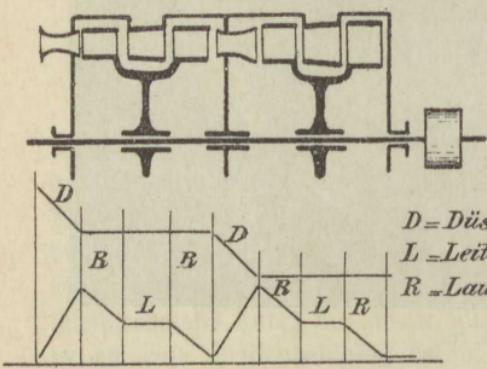


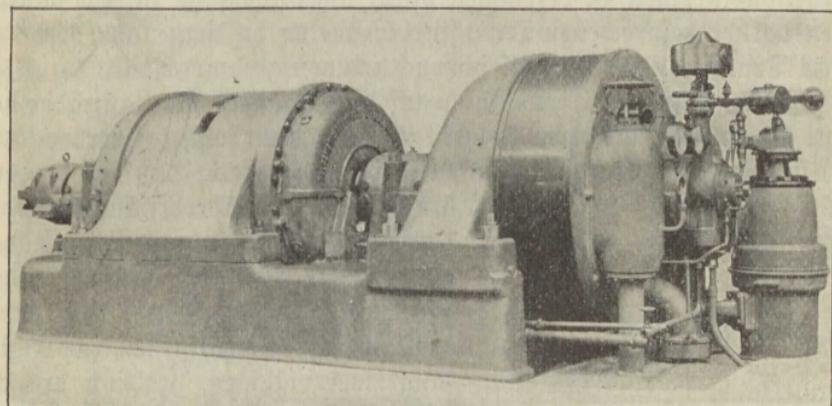
Abb. 36.

ringre Umdrehzahl der Dampfturbinenwelle zu erreichen: Es sind dies die Dampfturbinen mit mehreren Druckstufen, wobei in jeder Druckstufe zwei oder mehrere Geschwindigkeitsstufen ausgeführt werden. Abb. 36 zeigt die Hälfte der Gerippskizze einer solchen Turbine mit zwei Druckstufen und je zwei Geschwindigkeitsstufen. Durch die Teilung des Druckgefäßes

erhalten wir an den Ausströmungsöffnungen der Düsen oder Leiträder eine verringerte Dampfgeschwindigkeit und dadurch, daß wir diese Geschwindigkeit nicht in einem, sondern in zwei Schaufelräder mit dazwischen geschaltetem Leitrad ausnützen, können wir die Umfangsge-

schwindigkeit der Laufräder auch noch kleiner wählen, als die Hälfte der verringerten Dampfgeschwindigkeit beträgt (vgl. S. 77).

Das Diagramm in Abb. 36 lässt die ungefähren Druck- und Geschwindigkeitsverhältnisse erkennen, die beim Hindurchströmen des Dampfes durch die Turbine auftreten. Nach den vorhergegangenen Betrachtungen bedarf die Abbildung wohl kaum noch einer Erklärung.



Dynamo

Abb. 37.

Turbine

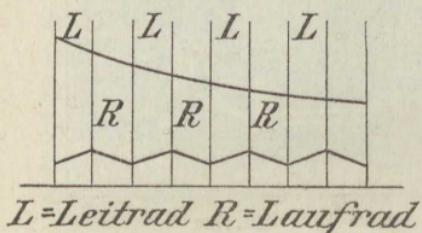
Die obere stufenweise abfallende Linie stellt wieder die Dampfspannung dar; die untere zickzackartige Linie die wechselnden Dampfgeschwindigkeiten. Turbinen dieser Bauart haben namentlich in Amerika nach den Patenten von Curtis (daher Curtis-Turbinen genannt) eine sehr weite Verbreitung gefunden. In Deutschland war es die A. G., welche diese Bauart aufnahm und damit große Erfolge erzielte. Abb. 37 zeigt eine solche Dampfturbine der A. G. für eine Leistung von 1000 Kilowatt. Die (auf der Abb. rechts befindliche) Turbine zeichnet sich durch besonders gedrängte Bauart aus.

Turbinen mit Überdruckwirkung. In den bisher besprochenen Turbinen trat eine Druckabnahme (ein Druckgefälle) immer nur innerhalb der feststehenden Leiträder auf, während beim Hindurchströmen des Dampfes durch die Laufräder die Spannung des Dampfes sich nicht änderte (s. oben S. 84). Nun lässt es sich aber durch besondere Gestaltung der Schaufeln so einrichten, daß eine Ausdehnung des Dampfes auch während seines Hindurchströmens durch die Laufräder erfolgt. Die Wirkung ist jetzt eine etwas andere: Der Dampf gibt hier an die Schaufeln der Laufräder nicht bloß einen Teil seiner in den Leiträder oder Düsen erlangten lebendigen Kraft ab, sondern, da er

sich innerhalb der Laufräder ausdehnt, stößt er gewissermaßen die Schaufeln noch hinter sich zurück, er wirkt, wie man sagt, hier nicht bloß durch Druck, sondern auch noch durch Überdruck (Gegendruck, Reaktion), weshalb man derartige Turbinen als Überdruck- oder auch Reaktionsturbinen zu bezeichnen pflegt, im Gegensätze zu den sämtlichen vorher besprochenen Dampfturbinenarten, die man unter dem Namen Druckturbinen oder Gleichdruckturbinen zusammenfaßt.

Die neue Art der Einwirkung auf die Schaufeln der Laufräder hat eine Reihe sehr wichtiger Folgen für den Bau solcher Überdruckturbinen. Zunächst dürfte nicht schwer einzusehen sein, daß infolge der

hinzukommenden Überdruckwirkung die Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder eine größere wird, und dies hat wieder zur unmittelbaren Folge, daß unter sonst gleichen Verhältnissen zur Erzielung einer mäßigen, praktisch brauchbaren Umfangsgeschwindigkeit die Zahl der Druckstufen bei solchen Überdruckturbinen eine wesentlich größere sein



L = Leitrad R = Laufrad

Abb. 38.

muß als bei den früher besprochenen Dampfturbinen, wobei allerdings zu beachten ist, daß hier jede Schaufelreihe, ganz gleichgültig ob Leitrad oder Laufrad, als Druckstufe zu betrachten ist. In der Tat besitzen derartige Turbinen, wie sie zuerst von dem Engländer Parsons ausgeführt wurden, unter Umständen 50—70 und noch mehr Laufräder, wozu mitunter Tausende, ja Hunderttausende von Schaufeln gehören.

Die Schaulinien Abb. 38 geben, entsprechend den früheren Abb. 32 u. 36, eine ungefähre Darstellung des Verlaufes von Druck und Geschwindigkeit in einer solchen Parsons-Turbine. Die obere Linie stellt wieder den Druckverlauf dar, die untere Linie den Verlauf der Dampfgeschwindigkeiten. Wie man sieht, fällt hier der Druck stetig von Schaufelkranz zu Schaufelkranz. Die in den Leiträdern *L* erzeugte Geschwindigkeit wird zwar in den Laufrädern *R* zur Arbeitsleistung ausgenutzt, also herabgemindert, gleichzeitig aber auch wieder durch das im Laufrade auftretende Druckgefälle etwas erhöht, so daß sie mit kleinen Schwankungen im allgemeinen während der Durchflußzeit ganz langsam ansteigt.

Es war oben (S. 84) ausdrücklich darauf hingewiesen worden, daß bei allen bisher besprochenen Turbinen der Druck des Dampfes zu beiden Seiten der Laufräder der gleiche war. Das ist ja nun hier aber nicht mehr der Fall. Wegen des hier auch in den Laufrädern auf-

tretenden Druckgefälles ist der Druck vor jedem Laufrade (in der Strömungsrichtung gemessen) größer als hinter dem Laufrade und die Folge dieser in allen Laufrädern auftretenden und sich natürlich zusammenzählenden Drücke ist die, daß der Dampf das Bestreben hat, die gesamte Turbinenwelle mit allen darauf sitzenden Laufrädern in der Strömungsrichtung des Dampfes zu verschieben. Um diesen Verschiebungsdruck nicht allzu groß werden zu lassen, ist es bei Überdruckturbinen nicht mehr möglich, die Laufradschaufeln als Kränze von großen Scheibenrädern auszubilden in der Form, wie Abb. 32 a. S. 82 sie darstellt, sondern es müssen die Schaufelkränze auf eine Art Trommel aufgesetzt werden, wie aus Abb. 39 ersichtlich ist. Ganz vermeiden läßt sich allerdings der Verschiebungsdruck auch hierdurch nicht, da ja auch die Schaufel-

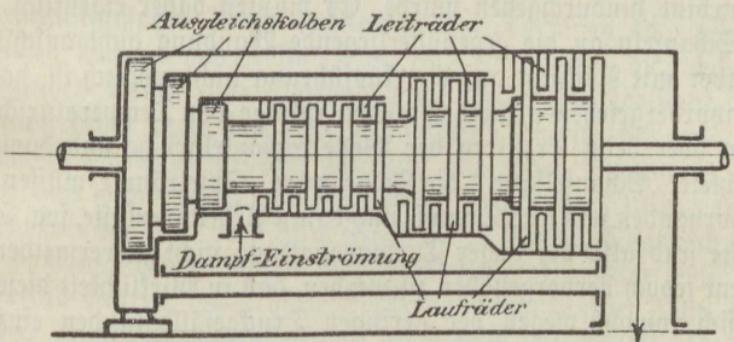


Abb. 39.

oberflächen immer noch eine verhältnismäßig große Druckfläche darbieten. In welcher Weise aber diesem Übelstande z. B. in den ursprünglichen Parsons-Turbinen abgeholfen wird, zeigt die Gerippskizze einer solchen Turbine in Abb. 39. Wie man erkennt, befinden sich am linken Ende der Trommel drei sog. Ausgleichskolben, deren Durchmesser den einzelnen Durchmessern der Laufradkränze entsprechen. Der Dampf drückt nun die einzelnen Kolben mit derselben Kraft nach links, mit der er die entsprechenden Laufradkränze nach rechts drückt, so daß also eine Verschiebung der Trommel in Richtung der Dampfströmung nicht mehr eintreten kann. Eigentlich müßte dabei der Durchmesser der Trommel sowohl wie die Länge der Schaufeln von Stufe zu Stufe gleichmäßig zunehmen, da ja während der fortwährenden Ausdehnung des Dampfes auch sein Volumen fortwährend und gleichmäßig zunimmt. Da dies aber bei der großen Zahl von Schaufelkränzen die Herstellung erheblich verteuern würde, läßt man auch hier, wie bei

größeren Druckturbinen (s. S. 83), die Durchmesser und Schaufellängen nur von Zeit zu Zeit sprungweise zunehmen, wie es Abb. 39 andeutet.

Eine weitere wichtige Folgeerscheinung der sog. Überdruckturbinen ergibt sich aus nachstehender Betrachtung: Bei den Druckturbinen war es möglich, zwischen Laufrad, Kranz und Gehäusewandung verhältnismäßig große Spielräume zu lassen, da bei den gleich großen Drücken zu beiden Seiten der Laufräder der Dampf ja nicht das Bestreben hat, etwa durch diese Zwischenräume hindurch zu entweichen. Anders dagegen bei den Überdruckturbinen. Sieht man sich die Gerippskizze (Abb. 39) an, so ist leicht zu erkennen, daß bei den in der Skizze nur der Deutlichkeit halber so groß gezeichneten Spielräumen zwischen Laufradschaufeln und Gehäusewandung sowie zwischen Leitradtschaufeln und Trommel ein großer Teil des Dampfes ohne Arbeitsleistung durch die Turbine hindurchgehen würde. Es müßten daher eigentlich sämtliche Schaufeln an die gegenüberliegende Wandung dicht anschließen, was aber mit Rücksicht auf die Ausführung nicht möglich ist, da sonst bei unvorhergesehenen Ausdehnungen infolge von Temperaturschwankungen oder beim Erzittern der Welle Schaufelbrüche und damit der gefürchtete „Schaufelsalat“ die Folge wäre. Spielräume müssen demnach vorhanden sein und Dampf- und damit Arbeitsverluste, sog. Spaltverluste sind also bei dieser Turbinengattung nicht zu vermeiden. Es verdient jedoch hervorgehoben zu werden, daß in Wirklichkeit diese Verluste sich sowohl wegen der geringen Druckfälle in den einzelnen Stufen als auch infolge vorzüglicher Ausführung nur auf ein sehr geringes Maß beschränken.

Der soeben besprochene Übelstand der Spaltverluste hat nun eine eigentümliche Folge. Da der Dampf sich in Überdruckturbinen von Schaufelkranz zu Schaufelkranz in sehr kleinen Druckstufen ausdehnen soll, eine plötzliche große Querschnittserweiterung also nicht eintreten darf, ist es auch nicht möglich, den ersten Schaufelkränzen den Dampf nur auf einem Teile des Umfanges zuzuführen, wie dies gelegentlich bei Druckturbinen geschieht (vgl. S. 82). Es muß vielmehr stets der Dampf von vornherein auf sämtliche Schaufeln des Umfanges geleitet werden, die Turbine muß, wie man sagt, von vornherein voll beaufschlagt werden. Wollte man daher Turbinen von kleinen Leistungen ausführen, bei denen also nur kleine Dampfmengen zur Wirkung kommen, so müßten Schaufelkränze von geringem Durchmesser mit sehr kurzen Schaufeln zur Anwendung kommen. Bei solch kurzen Schaufellängen würden aber die für die Ausführung unbedingt nötigen Spielräume zwischen Schaufeln und Wandungen und damit die unvermeid-

lichen Dampfverluste verhältnismäßig zu groß werden, so daß also Überdruckturbinen sich nur für größere Dampfmengen, d. h. größere Arbeitsleistungen, eignen.

Ein wesentlicher Vorteil der Überdruckturbinen besteht in den sehr kleinen Druckgefällen bei den einzelnen Stufen. Wie früher gezeigt wurde (s. S. 74), ist die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf die Schaufeln durchströmt, um so kleiner, je kleiner das Druckgefälle ist. Bei kleinen Dampfgeschwindigkeiten werden aber die unvermeidlichen Arbeitsverluste, die infolge von Reibung und Wirbelbildung während des Hindurchströmens durch die Schaufelkränze auftreten, sehr klein und die Folge ist die, daß man durch Anwendung der Überdruckschaufelung besonders gute Wirkungsgrade erzielen kann.

Zusammengesetzte Turbinenarten. Die Turbinen nach der ursprünglichen Bauart von Zöllly (s. S. 85) ebenso wie die nach der ursprünglichen Bauart von Parsons haben beide den Übelstand, daß der Dampf, bevor er in das erste Schaufelrad eintritt, sich nur verhältnismäßig wenig ausgedehnt hat, also mit hoher Spannung und, was hier viel wichtiger ist, mit sehr hoher Temperatur in die ersten Turbinenräder eintritt. Man kann jedoch diesen Übelstand dadurch vermeiden, daß man den Dampf in der ersten Düse, also bevor er in das erste Laufrad eintritt, ein großes Druckgefälle durchlaufen läßt. Infolge dieses großen Druckgefälles tritt der Dampf mit verhältnismäßig niedriger Spannung (2—3 Atm.) und entsprechend niedriger Temperatur, aber allerdings auch mit so großer Geschwindigkeit in das erste Laufrad ein, daß zur Erzielung einer mäßigen Umfangsgeschwindigkeit das erste Laufrad mehrere, in der Regel zwei Geschwindigkeitsstufen erhalten muß.

Dies ist nun die Bauart, wie sie jetzt fast bei allen Turbinenarten angewendet wird. Das erste Rad ist stets ein sog. Geschwindigkeitsrad, in der Regel mit zwei Geschwindigkeitsstufen, und erst im weiteren Verlaufe unterscheiden sich dann die einzelnen Turbinenarten durch verschiedene Anwendung von Druckstufen mit und ohne Geschwindigkeitsstufen oder durch Anwendung von Überdruckschaufelung.

Die großen Vorteile der Überdruckschaufelung insbesondere bei großen Schaufellängen haben sogar zur Folge gehabt, daß namentlich für sehr große Leistungen, wie sie z. B. für Schiffsturbinen erforderlich sind, Turbinen ausgeführt werden, welche sämtliche vorher genannten Turbinenarten in sich vereinigen: Die ersten Stufen sind Druckstufen mit je zwei oder drei Geschwindigkeitsstufen, dann kommt eine Reihe

von Druckstufen ohne Geschwindigkeitsstufen und endlich die letzten Stufen, in welchen der Dampf nur noch eine geringe Spannung, also ein großes Volumen besitzt, werden dann mit Überdruckschaufelung ausgeführt.

Drittes Kapitel.

Die Dampfturbine als Kraftmaschine.

Nachteile der Kolbenkraftmaschinen. Der beispiellose Aufschwung, den die Dampfturbinenindustrie in den letzten Jahren genommen hat, ist ein offensichtlicher Beweis dafür, daß eine derartige Kraftmaschine einem längst empfundenen Bedürfnisse entsprach. Und in der Tat, wenn man auf die gewaltigen Ungeheuer von Dampf- und Gasmaschinen blickt, die in jüngster Zeit zu den verschiedensten Zwecken bis hinauf zu den Leistungen von vielen tausend Pferdestärken entstanden sind, so drängt sich auch dem Fernerstehenden unwillkürlich der Gedanke auf, daß man allmählich wohl an den Grenzen der Ausführbarkeit angekommen sei. Werden doch heute die Bauarten aller dieser großen Dampf- und Gasmaschinen schon ganz wesentlich beeinflußt durch Rücksichtnahme auf das sog. Normalprofil unserer Eisenbahnen, das heißt auf die Möglichkeit der Beförderung vom Orte der Entstehung nach dem Aufstellungsorte der Maschine.

Die Platzfrage ist es ferner, die namentlich in großen Städten in Anbetracht der hohen Grundstückspreise, aber häufig auch anderweitig bei den Plänen für die Aufstellung und den Bau von großen Kraftmaschinen bedeutende Schwierigkeiten verursacht. Allerdings hatte man hier seit langer Zeit das Hilfsmittel der stehend angeordneten Maschinen, aber schon die Rücksichtnahme auf eine (für einen gesicherten Betrieb durchaus notwendige) bequeme und zweckmäßige Bedienung der Maschine zwang dazu, von diesem Hilfsmittel einen möglichst bescheidenen Gebrauch zu machen.

Ein weiterer Übelstand bei solchen großen Dampf- und Gasmaschinen sind die gewaltigen Gewichte der hin und her gehenden Teile, wie Kolben, Kolbenstange, Kreuzkopf, Schubstange usw., deren Beschleunigung und Verzögerung bei Beginn und Ende eines jeden Hubes für den ruhigen Gang der Maschine von nachteiligem Einfluß sind und unter Umständen gewaltige Fundamente sowie riesige Schwungräder erfordern. Rechnet man endlich noch dazu die große Zahl der sich drehenden und aufeinander gleitenden Teile, die eine solche Maschine besitzt und die alle eine mehr oder weniger sorgfältige Schmierung und Beaufsichtigung verlangen, so erkennt man, wie weit unsere so viel

gepriesenen Gas- und Dampfmaschinen schon in baulicher Hinsicht von dem Ideale einer Kraftmaschine entfernt sind, und welche Vorteile demgegenüber eine Kraftmaschine bieten muß, bei welcher alle diese vorgenannten Übelstände entweder vollständig beseitigt oder auf ein bescheidenes Maß zurückgeführt sind.

Vorteile der Dampfturbinen.

Einfache Bauart. Eine solche Kraftmaschine stellt nun aber unsere Dampfturbine dar. Wie aus den früheren Betrachtungen zur Genüge hervorgeht, besteht die Dampfturbine als solche im wesentlichen nur aus einem einzigen umlaufenden Körper, nämlich der mit den Laufrädern versehenen Welle, die an zwei Stellen gelagert ist. Aus dieser einfachen Bauart folgen nun aber sofort eine Reihe wichtiger Vorteile.

Zunächst kann die Lieferung neuer Maschinen in der Regel wesentlich schneller erfolgen als bei Kolbendampfmaschinen. Als Beispiel sei hier vielleicht angeführt, daß die A. G. G. es im Jahre 1907 übernahm, für die Berliner Elektrizitätswerke Dampfturbinen von einer Gesamtleistung von 36 000 PS innerhalb 8 Monaten zu liefern, trotzdem ihre Dampfturbinenfabrik erst 3 Jahre im Betrieb war. Bei Kolbendampfmaschinen wäre dies wohl selbst dem besteingerichteten Werke aus Herstellungsrücksichten unmöglich gewesen.

Ferner ist zu beachten, daß durch die Einfachheit der Bauart Zusammenbau und Aufstellung einer neu zu liefernden Dampfturbine sehr vereinfacht wird und in wenigen Tagen ausführbar ist, während dies bei einer gleich starken Dampf- oder Gasmaschine Wochen ja Monate an Zeit erfordert. — Wie aus den vorangegangenen Erörterungen hervorgeht, fehlt bei den Dampfturbinen die verwickelte Steuerung der Kolbendampfmaschine, und wenn man bedenkt, daß z. B. eine zweistufige Verbunddampfmaschine mit Ventilsteuerung bereits acht Ventile besitzt, eine dreistufige Verbundmaschine schon zwölf, bei geteiltem Niederdruckzylinder sogar sechzehn Ventile, die mit ebenso vielen Stopfbüchsen und allen ihren Antriebshebeln für einen ordnungsmäßigen Gang der Maschine dauernd in gutem Zustande erhalten werden müssen, so erkennt man, welche Vorteile demgegenüber der verhältnismäßig einfache Aufbau der Dampfturbine besitzt. — Da hin und her gehende Teile wie bei den Kolbenkraftmaschinen hier nicht vorhanden sind, fehlt bei der Dampfturbine ein Maschinenteil, der bei den Kolbenkraftmaschinen zur Erzielung eines ruhigen Ganges unbedingt erforderlich ist: das große, schwere Schwungrad; und wenn man bedenkt, welche Schwierig-

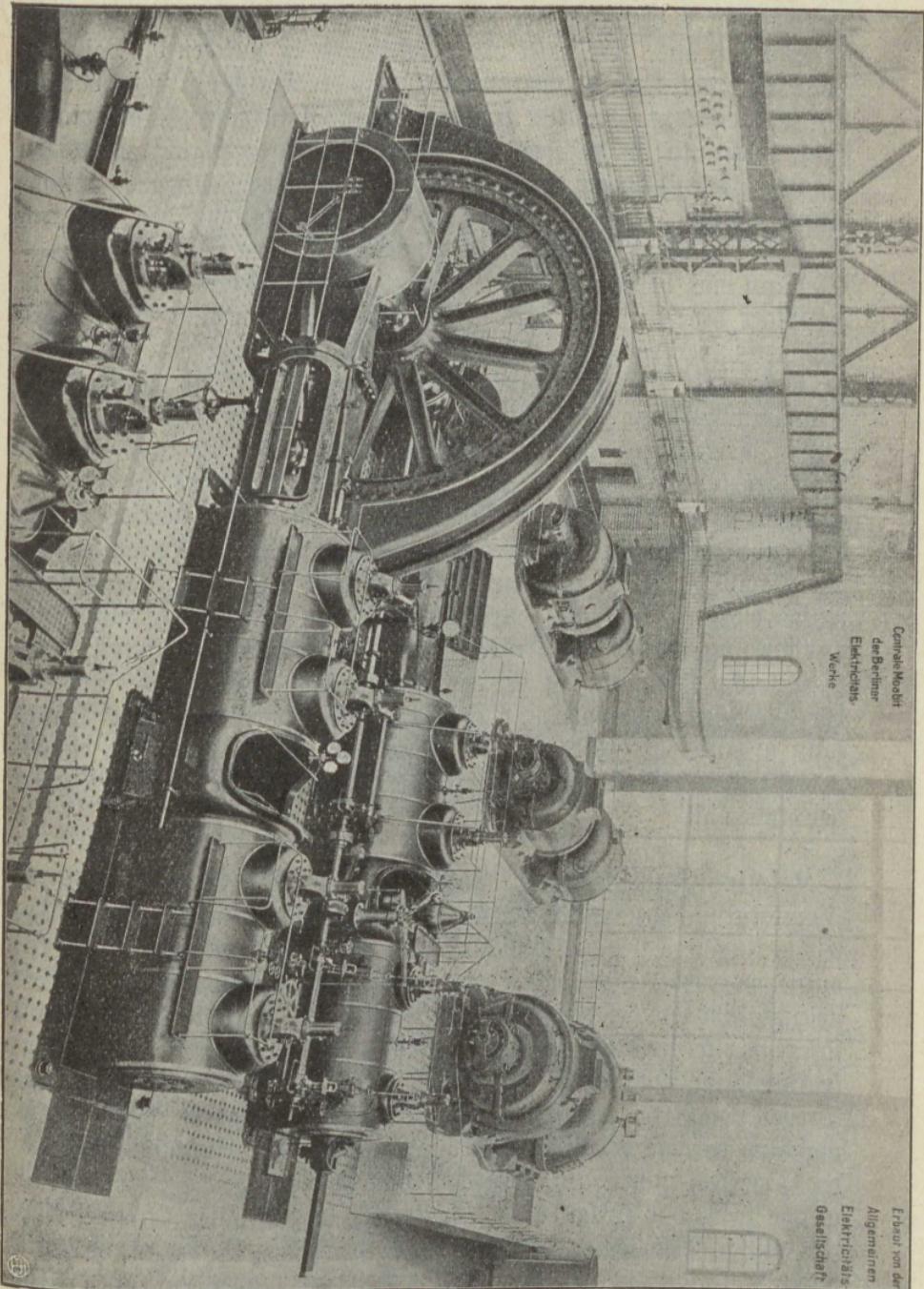
keiten die Ausführung, der Bau und die Platzfrage bei einem solchen großen Schwungraden bieten, so erkennt man, daß dieser Umstand allein schon einen wesentlichen Vorteil der Dampfturbine gegenüber der Kolbenkraftmaschine darstellt.

Ruhiger Gang. Der ruhige, vollständig gleichförmige Gang des lediglich im Kreise umlaufenden Kraftaufnehmers hat weiterhin zur Folge, daß die zum Aufbau einer Dampfmaschine benötigten Fundamente auf ein geringes Maß beschränkt sind, ja bei Turbinen kleinerer Leistung sogar vollständig fortfallen und durch ein paar Eisenträger oder eine Holzunterlage ersetzt werden können. Im allgemeinen dürfte der Rauminhalt eines Fundaments für Dampfturbinen kaum mehr als etwa 15—40% von dem einer gleich starken Kolbenmaschine gleicher Leistung betragen. Es spricht dies insofern zugunsten der Dampfturbine, als, ganz abgesehen von der Raumanspruchnahme, durch Ersparung oder starke Verminderung der Fundamentskosten der Anschaffungspreis einer Dampfturbinenanlage gegenüber dem Anschaffungspreise einer Anlage mit Kolbenkraftmaschinen nicht unwesentlich herabgemindert wird.

Geringer Raumbedarf. Auch die Raumanspruchnahme der Turbine selber ist um ein Vielfaches geringer als bei den Kolbenkraftmaschinen und wird oft genug für die Anschaffung einer Dampfturbine von entscheidender Bedeutung sein.

Ein lehrreiches und fesselndes Beispiel hierfür bietet die nebenstehende Abb. 40, welche das in jüngster Zeit allerdings umgebaute Ende der großen Maschinenhalle im Kraftwerk Moabit der Berliner Elektrizitätswerke darstellt. Das Bild zeigt im Vordergrunde eine große dreistufige Expansions-Kolbendampfmaschine mit vier Zylindern von Gebrüder Sulzer und im Hintergrunde drei Turbodynamos, gebaut von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin. Die Leistung der Kolbenmaschine beträgt etwa 3000 PS, während die drei ungefähr denselben Raum einnehmenden Turbodynamos zusammen über 20000 PS entwickeln.

Vorteilhafter Betrieb. Waren vorher als großer Nachstand der Kolbenkraftmaschinen die vielen hin und her gehenden, sich ineinander drehenden und aufeinander schleifenden Teile erwähnt worden, die einer fortwährenden Aufsicht und vorzüglichen Schmierung bedürfen, so zeichnet sich anderseits gerade die Dampfturbine durch große An-



Centrale Modell
der Berliner
Elektricitäts-
Werke

Erbau von den
Allgemeinen
Elektricitäts-
Gesellschaften

spruchslösigkeit bezüglich der Bedienung und verschwindend geringen Ölverbrauch aus. Die zwei oder drei Lager, in welchen die Laufradwelle sich dreht, sind so ziemlich alles, was der Maschinist zu beobachten hat, während der eigentliche Verbrauch an Öl auf ein äußerst geringes Maß beschränkt ist, da eben fast nichts anderes geschmiert zu werden braucht als jene Lager, die noch dazu in der Regel mit einer Ölumlaufvorrichtung versehen werden, welche darin besteht, daß das den Lagern in reicher Menge zugeführte und aus ihnen wieder abfließende Öl durch eine besondere kleine Pumpe immer wieder von neuem in die Lager hineingepréßt wird. Ganz besonders tritt dieser Vorteil des geringen Ölverbrauches gegenüber den Gasmaschinen hervor, bei welchen die Kosten für Schmierung der Maschine das Sechs- bis Achtfache der Schmierungskosten gleich leistungsfähiger Dampfturbinen betragen.

Bei dieser Gelegenheit sei auch gleich noch ein weiterer Vorteil der Dampfturbine erwähnt, welcher darin besteht, daß das Öl mit dem Dampfe selber gar nicht in Berührung kommt, im Gegensatz zu der Kolbendampfmaschine, wo wegen der Schmierung der Zylinderwände der Dampf durch Öl stark verunreinigt wird und nachher erst einer umständlichen Reinigung unterworfen werden muß, ehe er nach seiner Verdichtung wieder als Kesselspeisewasser Verwendung finden kann. Eine solche Reinigung ist bei der Dampfturbine überflüssig. Der aus der Maschine kommende und in dem Kondensator verdichtete Dampf kann unmittelbar wieder in die Kessel zurückgeführt werden, womit neben größerer Einfachheit auch eine nicht unbedeutende Wärmeersparnis verbunden ist.

Leichtes Ingangsetzen. Endlich sei noch als letzter Vorteil der Dampfturbine gegenüber den Kolbenkraftmaschinen hervorgehoben das leichte Ingangsetzen der Maschine. Da es bei dem umlaufenden Kraftaufnehmer weder eine Totlage noch sonst irgendwelche ungünstige Kolbenstellung gibt wie bei den Kolbenkraftmaschinen, kann die Dampfturbine sofort von jeder Stellung aus angelassen werden, während die Kolbenkraftmaschine nach jedem Stillstande in der Regel erst durch mühsames Drehen von Hand, mitunter sogar mit Hilfe einer eigenen kleinen Kraftmaschine in eine günstige Kolbenstellung, die sog. Anlaufstellung, gedreht werden muß, ganz abgesehen von den sonstigen Schwierigkeiten, welche z. B. das Anlassen von Gasmaschinen mitunter bereitet. Auch das lästige Anwärmnen der Maschine, welches z. B. bei den Kolbendampfmaschinen wegen der vielen genau ineinander passenden Teile mit großer Sorgfalt geschehen muß und bei großen Maschinen meh-

viele Stunden in Anspruch nimmt, kann bei der verhältnismäßig einfachen Bauart der Dampfturbine auf eine Zeitdauer von wenigen Minuten beschränkt werden.

Viertes Kapitel.

Wirtschaftlichkeit der Dampfturbine.

Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Kolbendampfmaschine. Die vielen äußerlichen Vorteile, die in dem vorhergehenden Kapitel genannt wurden, könnten offenbar dazu beitragen, die alte Kolbendampfmaschine für gewisse Zweige des Maschinenbetriebes gänzlich zu verdrängen, wenn sich die Dampfturbine auch wirtschaftlich der Kolbendampfmaschine entweder überlegen zeigt oder ihr doch wenigstens in wirtschaftlicher Beziehung nicht wesentlich nachsteht. Da das nun tatsächlich der Fall ist, d. h., da heute schon die Dampfturbine bei größeren Leistungen die Wirtschaftlichkeit der besten Kolbendampfmaschinen erreicht, zum Teil sogar schon überholt hat, so dürfte kein Zweifel mehr darüber obwalten, daß für einzelne Betriebsarten künftig nur noch der Dampfturbinenbetrieb in Frage kommt. In erster Linie wäre hier der Antrieb von Dynamomaschinen zu nennen, weil neben sonstigen Vorteilen gerade die hohe Umdrehzahl der Dampfturbine, die für so viele andere Zweige des Maschinenbetriebes auch heute noch als großer Übelstand empfunden wird, einen sehr vorteilhaften und billigen Bau der Stromerzeuger ermöglicht. Bei der gewaltigen Ausdehnung, die heutzutage die Verwendung des elektrischen Stromes zu allen nur denkbaren Zwecken gefunden hat, ist es auch gerade die lebhafte Nachfrage nach dieser Verbindung von Dynamomaschine und Dampfturbine, d. h. die Nachfrage nach den sog. Turbodynamos, gewesen, die einen so beispiellosen Aufschwung der Dampfturbinenindustrie in den letzten Jahren verursacht hat.

Die fast ausschließliche Verwendung der Dampfturbinen zum Bau von Turbodynamos hat zur Folge gehabt, daß wohl in allen neueren Veröffentlichungen über den Dampfverbrauch von Turbinen die Angaben für das verbrauchte Dampfgewicht bezogen sind auf die sog. Kilowattstunde (KW-St), eine Leistungseinheit, welche bekanntlich mit einer PS in dem Zusammenhange steht, daß $0,736 \text{ KW} = 1 \text{ PS}$, und demnach auch $0,736 \text{ KW-St} = 1 \text{ St-PS}$ sind. Diese Art der Angaben hat sich deshalb so schnell eingebürgert, weil dadurch die Messungen wesentlich erleichtert werden. Diejenige Anzahl Kilogramm Dampf, welche die Turbine in einer gewissen Zeit, z. B. einer Stunde, verbraucht

hat, läßt sich ja sehr einfach dadurch feststellen, daß man den aus dem Oberflächenkondensator kommenden verdichteten Dampf in einem Meßgefäß auffängt, während die von der Dynamomaschine gelieferte nutzbare elektrische Energie am sog. Schaltbrett mit Leichtigkeit abgelesen werden kann. Auf die Verhältnisse des gewöhnlichen Dampfmaschinenbetriebes übertragen, würden die Angaben über den Dampfverbrauch für die KW-St den Angaben über den Dampfverbrauch für die Std-PS_i (Stundennutzpferdestärke) entsprechen, jedoch einschließlich des Energieverlustes, der noch in der Dynamomaschine auftritt.

Ein Beispiel wird die Sache erläutern. Wir wollen annehmen, es liege eine Kolbendampfmaschine vor, auf deren Schwungradachse eine Dynamomaschine sitzt, und es sei durch Indikatorversuche festgestellt worden, daß die Dampfmaschine gerade 1000 PS_i leistet. Es sei ferner bekannt, daß in der Dampfmaschine selbst durch Reibung 15% der Leistung verloren gehen (man sagt dann, der mechanische Wirkungsgrad der Maschine betrage 85%), und es sei endlich bekannt, daß der in der Dynamomaschine entstehende Energieverlust 4% nicht überschreite (oder mit anderen Worten: der Wirkungsgrad der Dynamomaschine sei 96%). Die Anzahl der tatsächlich gelieferten Kilowatt beträgt dann:

$$0,736 \cdot 0,85 \cdot 0,96 \cdot 1000 = \sim 0,6 \cdot 1000 = 600 \text{ KW.}$$

Es liege nun anderseits eine Turbodynomo vor von einer Leistung von 600 KW, welche in einer Stunde 4200 kg Dampf, also für die KW-Std $\frac{4200}{600} = 7$ kg Dampf verbraucht. Wollte man nun wissen, wieviel der Dampfverbrauch betragen würde, bezogen auf die Std-PS_i einer dieselbe Nutzleistung ergebenden Kolbendampfmaschine, so findet man, da nach den eben angestellten Berechnungen 600 KW ungefähr $\frac{600}{0,6} = 1000$ PS_i entsprechen,

$$\frac{4200}{600} = \frac{4200}{1000} = 4,2 \cdot \text{kg für die Std-PS}_i.$$

Dampfverbrauch der Dampfturbinen. Was die tatsächlichen Dampfverbrauchszyhlen der Dampfturbinen anlangt, so wurde bereits erwähnt, daß die Dampfturbine die besten Kolbendampfmaschinen an Wirtschaftlichkeit nicht nur erreicht, sondern in vielen Fällen sogar schon übertroffen hat, wobei hervorzuheben wäre, daß die mit den einzelnen Turbinengattungen angestellten Versuche keine besonders wesentlichen Unterschiede der einen Turbinenart vor der anderen ergeben haben. Eine der niedrigsten durch Messungen festgestellten Dampfverbrauchszyhlen

ergab sich bei einer im Carville-Kraftwerk in Wallsend bei Newcastle (England) aufgestellten Parsons-Dampfturbine. Nach einem Berichte in der Zeitschrift d. Ver. Deutscher Ing. (1907, S. 1122) verbrauchte die dortige Dampfturbine bei einer Leistung von rund 5000 Kilowatt und der verhältnismäßig geringen Temperatur von $247,7^{\circ}$ C nur 6,075 kg/KW-Std. Nun sinkt erfahrungsgemäß der Dampfverbrauch bei einer weiteren Überhitzung des Dampfes von je $5,7^{\circ}$ um etwa 1%. zieht man dies in Rücksicht, so würde jene Turbine bei Verwendung eines Dampfes von 300° C, wie er sonst bei Dampfturbinen üblich ist, nur 5,51 kg/KW-Std verbraucht haben, was nach unseren eben angestellten Berechnungen bei einer Kolbendampfmaschine einem Dampfverbrauche von $5,51 \cdot 0,6 = 3,3$ kg für die Std-PS entsprechen würde, d. h. einem Dampfverbrauche, wie er bisher selbst bei unseren vollkommensten, mit allen Mitteln zur Erzielung größter Wirtschaftlichkeit arbeitenden Kolbendampfmaschinen noch nicht erreicht worden ist.

Wenn dies nun auch als vereinzelt günstiger Fall angesehen werden mag, so ist doch hervorzuheben, daß bei einer Durchschnittsleistung von etwa 1000 KW ein Dampfverbrauch von 7—8 kg für die KW-St heute nichts Ungewöhnliches mehr ist, und daß dieser Verbrauch bei höheren Leistungen nicht unbedeutlich unterschritten wird. Bei geringeren Leistungen ist der Dampfverbrauch für die KW-St höher. Es ist das bekanntlich eine Eigentümlichkeit sämtlicher Wärmekraftmaschinen, welche zum großen Teile darin begründet ist, daß sowohl der Energieverlust durch die Leerlaufswiderstände, als auch die Abkühlungsflächen bei Maschinen mit kleinerer Leistung verhältnismäßig größer sind als bei Maschinen von größerer Leistung.

Dampfverbrauch bei wechselnder Belastung. Zu einem fesselnden Ergebnisse gelangt man, wenn man den Verlauf der Dampfverbrauchscurve bei der Dampfturbine betrachtet und ihn vergleicht mit dem Verlauf derselben Kurve bei der Kolbendampfmaschine. Trägt man nämlich in einem Nehe rechtwinkliger Geraden die bei verschiedenen Leistungen für die KW-St verbrauchte Anzahl kg Dampf als Senkrechte auf und verbindet deren Endpunkte, so erhält man unter der Annahme, daß Kolbendampfmaschine sowohl wie Dampfturbine bei ihrer regelrechten Leistung (Rennleistung) gleich viel Dampf verbrauchen, im allgemeinen die folgenden beiden Kurven (Abb. 41). Wie

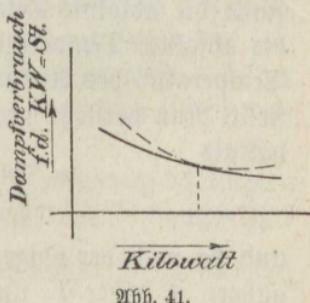


Abb. 41.

man sieht, nimmt der Dampfverbrauch für die KW-St bei der Kolbendampfmaschine (gestrichelte Kurve) zu, sowohl wenn die Nennleistung der Maschine (die Stelle ist gekennzeichnet durch die senkrechte gestrichelte Linie) unterschritten wird, d. h. wenn die Maschine schwach beansprucht ist, als auch wenn die Nennleistung überschritten, die Maschine also überlastet wird. Bei der Dampfturbine (ausgezogene Kurve) nimmt aus dem oben angegebenen Grunde bei verringelter Leistung der Dampfverbrauch für die KW-St zwar ebenfalls zu (aber meist etwas langsamer als bei der Kolbendampfmaschine), dagegen nimmt der Verbrauch bei Überlastung der Turbine über die Nennleistung im allgemeinen auch noch weiter bis zu der höchsten, überhaupt erreichbaren Leistung hin ab, ein Ergebnis, das natürlich als ein Vorzug der Dampfturbine gegenüber der Kolbendampfmaschine anzusehen ist.

Bedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb. Da die Dampfturbine gerade so wie die Kolbendampfmaschine eben eine Dampfmaschine ist, so werden auch bei der Dampfturbine alle diejenigen theoretischen Erörterungen Gültigkeit haben, welche bei der Kolbendampfmaschine hinsichtlich der Ausnützung der in dem Dampf steckenden Wärme in Frage kommen, d. h.: auch hier bei der Dampfturbine wird im allgemeinen ein mehr oder minder wirtschaftliches Arbeiten auf denselben Bedingungen beruhen wie bei der Kolbendampfmaschine, abgesehen natürlich von denjenigen Bedingungen, welche mit der Bauart und Wirkungsweise der Kolbendampfmaschine als Kolbenkraftmaschine zusammenhängen.

Die Güte der Wärmeausnützung in der Dampfmaschine, der sog. thermische Wirkungsgrad, lässt sich bekanntlich unter der Voraussetzung eines möglichst günstigen Arbeitens ausdrücken durch die einfache Formel:

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

wobei T_1 die absolute Temperatur der zugeführten Wärme, in diesem Falle die absolute Temperatur des zugeführten Dampfes, T_2 dagegen die absolute Temperatur der abgeföhrten Wärme, d. h. entweder die Temperatur des Auspuffdampfes oder die Kondensatortemperatur darstellt. Nun versteht man ja unter thermischen Wirkungsgrade das Verhältnis

$$\frac{\text{in Arbeit umgewandelte Wärmemenge}}{\text{insgesamt zugeführte Wärmemenge}},$$

und da nach der obigen Formel dieser Faktor sich um so mehr der „1“ nähert, je höher T_1 und je niedriger T_2 ist, so wird auch die Dampf-

turbine gerade so wie die Kolbendampfmaschine um so günstiger, d. h. um so wirtschaftlicher arbeiten, erstens je höher die Spannung und Überhitzung des Dampfes gewählt wird und zweitens je vollkommener die Kondensation ist.¹⁾

Überhitzung. Die Anwendung einer für wirtschaftlichen Betrieb sehr vorteilhaften hohen Überhitzung stößt bei den Kolbendampfmaschinen auf Schwierigkeiten, einmal wegen der Rücksicht, die infolge der hohen Temperatur auf die Ausdehnung der einzelnen aufeinander gleitenden Teile genommen werden müssen, dann aber auch deswegen, weil bei Dampftemperaturen von über 300—350° eine Schmierung der aufeinander gleitenden Teile wie Kolben und Zylinder, Kolbenstange und Stopfbüchse usw. schwierig wird, da es nur wenige Schmiermittel gibt, welche diesen hohen Temperaturen standhalten. Wie wir nun früher gesehen hatten, war es ja gerade ein wesentlicher Vorzug der Dampfturbine gegenüber der Kolbendampfmaschine, daß sie mit Ausnahme der beiden Wellenlager gar keine aufeinander gleitenden Teile besitzt, und es ist nun die unmittelbare Folge dieser günstigen Eigenschaft, daß man bei der Dampfturbine mit der Überhitzung des Dampfes so hoch hinaufgehen kann, als das die Bauart der Überhitzer und der Baustoff der Turbine überhaupt gestatten. So hat z. B. Professor Lewicki in Dresden bei Versuchen an einer Laval'schen Dampfturbine überhitzten Dampf von 7 atm Spannung bis zu einer Temperatur von 500° C angewendet und gefunden, daß der Dampfverbrauch für eine St-PS mit zunehmender Überhitzung stetig geringer wurde. In welcher Weise bauliche Schwierigkeiten bei hoher Überhitzung durch geeigneten Bau der Turbinen beseitigt werden können, wurde schon oben S. 91 erläutert.

Zu den wärmetheoretischen Vorteilen, welche die Anwendung hochüberhitzten Dampfes bietet, kommen nun noch ein paar rein mechanische Vorteile. So hat sich z. B., zum Teil durch die obengenannten Versuche von Lewicki, herausgestellt, daß die Reibung der mit den Laufradschaufeln besetzten Räder in dem Dampfe um so geringer, der mechanische Wirkungsgrad der Turbine also um so besser wird, je höher die Temperatur und je geringer der Druck des Dampfes ist, in welchem die Laufräder arbeiten.

Ein weiterer rein mechanischer Vorteil der Anwendung überhitzten Dampfes besteht dann ferner darin, daß überhitzter Wasserdampf keine

1) Genaueres darüber siehe in des Berf. Dampfmaschine I, Band 393 dieser Sammlung.

im Dampfe schwebenden Wasserteilchen mehr enthält, die bei gesättigtem Wasserdampfe infolge des Aufwallens des Wassers im Kessel sich nur schwer vermeiden lassen. Da Wasser bekanntlich so gut wie unzusammendrückbar ist, wirken derartige Wasserteilchen, wenn sie mit großer Geschwindigkeit die Schaufeln der Laufräder treffen, ganz ähnlich wie feste Körper, so daß eine starke Abnutzung der Schaufeln die Folge sein wird. Durch Überhitzung des Dampfes verschwinden jene im Dampfe schwebenden Wasserteilchen, und es ist bereits durch Erfahrung bewiesen, daß bei Anwendung überheizten Dampfes selbst bei jahrelangem, angestrengten Betriebe eine nennenswerte Abnutzung der Schaufeln nicht eintritt.

Gute Kondensation. Die zweite Bedingung für ein möglichst wirtschaftliches Arbeiten der Dampfturbinen besteht in der Anwendung möglichst guter Kondensation. Der Nutzen, ja die Notwendigkeit einer solchen ergibt sich bereits aus der auf S. 74 angeführten kleinen Tabelle, wie folgende einfache Rechnung

zeigt: Wir hatten uns damals (S. 73) zwei geschlossene Räume a und b gedacht, welche durch eine Düse in Verbindung standen, die sich von dem Raum a nach dem Raum b hin erweitert. Wir wollen nun annehmen, es befindet



Abb. 42.

sich in dem Raum a gesättigter Wasserdampf von der Spannung 10 atm abs, während der Raum b zunächst mit der Außenluft in Verbindung stehe, und es sei die Düse so berechnet, daß in jeder Sekunde gerade 0,5 kg Dampf hindurchströme. In diesem Falle ist also $p_a = 10 p_b$, und es wäre die in einer Dampfturbine auszunützende lebendige Kraft nach der auf S. 74 gegebenen kleinen Tabelle $0,5 \cdot 39\,500 = 19\,750 \text{ secmkg} = 264 \text{ PS}$. Verbinden wir nun den Raum b mit einem guten Kondensator, in welchem eine Spannung von nur 0,1 atm abs herrscht, und setzen gleichzeitig eine anders berechnete Düse ein, durch welche aber wiederum in jeder Sekunde gerade 0,5 kg Dampf hindurchströmen, dann wäre $p_a = 100 p_b$, und es könnte nach der Tabelle mit derselben Dampfmenge, also unter Aufwendung derselben Wärmemenge, eine Leistung von $0,5 \cdot 67\,100 = 33\,550 \text{ secmkg}$ oder rund 450 PS, d. h. eine um 70% größere Leistung erzielt werden.

Bei der Kolbendampfmaschine ist nun allerdings etwas Ähnliches der Fall, d. h.: man kann zwar auch dort bei guter Kondensation einen nicht unbeträchtlichen Teil von Arbeit ohne Aufwendung neuer Wärmemengen dazugewinnen, es läßt sich jedoch zeigen, daß die Anwendung guter Kondensation gerade beim Dampfturbinenbetriebe noch wesentlich größere Vorteile mit sich bringt und bringen muß als bei Kolbendampfmaschinen.

Es sei zunächst Abb. 42 a b c d das theoretische Diagramm einer mit Auspuff arbeitenden Expansionsdampfmaschine, wobei l_1 die Größe des dazugehörigen Dampfzylinders darstellt. Läßt man nun bei dieser Maschine den Dampf am Ende des Hubes nicht in die freie Luft, sondern in einen Kondensator strömen, in welchem z. B. die Spannung 0,15 atm abs herrscht, so gewinnt man zwar den punktiert angelegten Teil des Diagrammes als neue Arbeit hinzu, dagegen ist es wegen der beschränkten Zylinderlänge nicht möglich, auch noch die durch die gestrichelte Fläche dargestellte Arbeit hinzuzugewinnen, oder mit anderen Worten: man kann die Ausdehnungsfähigkeit des Dampfes nicht im vollen Umfange ausnützen. Wollte man versuchen, in einer sonst unter gleichen Verhältnissen arbeitenden Kolbendampfmaschine die gesamte Arbeitsfähigkeit des Dampfes auszunützen, die also dargestellt wird durch die zwischen der Ausdehnungslinie b ce und der der Spannung von 0,15 atm abs entsprechenden Linie fe, so brauchte man dazu, wie aus der Abbildung ersichtlich ist, einen Zylinder, dessen Volumen sich zu dem Volumen des Zylinders der vorher betrachteten Maschine verhält wie $l_1 : l_2$. Die Abmessungen dieser Maschine sowie die Gewichte der hin und her zu bewegenden Massen würden aber so groß, die dadurch entstehenden Reibungs- und Abkühlungsverluste so bedeutend werden, daß der durch die gestrichelte Fläche dargestellte Arbeitsgewinn dadurch wieder verloren ginge.

Bei der Dampfturbine liegen die Verhältnisse wesentlich anders. Da hin und her bewegte Massen hier fortfallen, spielen die Reibungsverhältnisse nur eine untergeordnete Rolle und auch die Abkühlungsverluste sind wesentlich geringer als bei der Kolbendampfmaschine, wie folgende Überlegung beweist. Nehmen wir an, das vorher erwähnte Dampfdiagramm spielle sich in einem einzigen Zylinder einer Kolbendampfmaschine ab, so erkennt man, daß die inneren Zylinderwandungen immer abwechselnd mit Dampf von hoher Spannung, also hoher Temperatur, und dann wiederum mit Dampf von sehr geringer Spannung, also niedriger Temperatur, in Berührung kommen. Die Folge davon ist die, daß der neue einströmende Dampf durch Berührung mit

den kurz vorher abgekühlten Zylinderwandungen einen Teil seiner Wärme und damit auch einen Teil seiner Arbeitsfähigkeit verliert, und dieser Verlust wird natürlich hier um so größer ausfallen, je weiter die Ausdehnung des Dampfes getrieben wird. Bei der Dampfturbine dagegen strömt ja der Dampf ununterbrochen durch die ganze Turbine hindurch, und es wird sich daher nach dem Ingangsetzen der Turbine sehr bald eine Art von Beharrungszustand einstellen, derart, daß die einzelnen Teile der Turbine stets nur mit Dampf von annähernd ein und derselben Temperatur in Berührung kommen. Die Folge davon ist aber offenbar wieder die, daß wir hier bei der Dampfturbine die Ausdehnungsfähigkeit des Dampfes bis zu der überhaupt erreichbaren Grenze ausnützen können, und es wird die durch Kondensation dazuzugewinnende Arbeit tatsächlich um so größer, die Wärmeausnutzung also um so besser sein, je tiefer die Spannung ist, die sich mittels des Kondensators erreichen läßt.

Fünftes Kapitel.

Dampfturbinen für besondere Fälle.

Zwei Eigenschaften der Dampfturbine sind es, welche in neuester Zeit zu eigentümlichen Betriebsbedingungen für diese Maschinengattung geführt haben: einmal die Einfachheit ihres Aufbaues und ihres Betriebes und ferner der am Schlusse des vorigen Kapitels erwähnte Umstand, daß es möglich ist, selbst Dämpfe von sehr niedriger Spannung in durchaus wirtschaftlicher Weise zur Arbeitsleistung in Dampfturbinen zu verwenden.

Gegendruckturbinen. Zur Heizung umfangreicher Gebäudeanlagen sowie für Koch- und Heizzwecke, beispielsweise in chemischen Fabriken, werden oftmals große Mengen von Wasserdampf gebraucht, und zwar in der Regel von niedriger Spannung ($0,5 - 1,0$ atm Überdruck). Die Erzeugung dieses Dampfes wird häufig so bewerkstelligt, daß Dampf von wesentlich höherer Spannung in gewöhnlichen Betriebsdampfkesseln erzeugt und nachher durch Abdrosseln, also ohne äußere Arbeitsleistung, auf die verlangte niedrige Spannung gebracht wird. In neuester Zeit ist man nun dazu übergegangen, eine Verminderung der Spannung des erzeugten Dampfes in der Weise herbeizuführen, daß man den Dampf von höherer Spannung zunächst in Dampfturbinen treten und hier unter Arbeitsverrichtung sich auf die gewünschte

niedrige Spannung ausdehnen lässt. Eine Kondensationsanlage ist dann mit einer solchen Dampfturbine natürlich nicht verbunden, und die Dampfturbine verbraucht daher, wie im vorigen Kapitel bereits erwähnt wurde, für die KW-Std verhältnismäßig viel Dampf. Andererseits wird aber gerade durch dieses Fortfallen der Kondensationsanlage der Betrieb der Dampfturbine außerordentlich einfach, und die in der Turbine geleistete Arbeit wird ja außerdem sozusagen nur nebenher erzeugt, weil eben der Dampf seinem eigentlichen Verwendungszwecke (zum Heizen und Kochen) erst nach seinem Austritte aus der Dampfturbine zugeführt wird. Da sich der Dampf in solchen Turbinen nicht bis auf die tiefste erreichbare Spannung ausdehnt, sondern mit verhältnismäßig hohem Gegendruck (2—3 und mehr atm) aus der Maschine entweicht, bezeichnet man derartige Turbinen mit dem Namen **Gegendruckturbinen**.

Zuweilen wird ja allerdings Dampf zu Koch- und Heizzwecken in besonderen sog. Niederdruckdampfkesseln (beispielsweise von 1 atm Überdruck) erzeugt. Aber selbst in einem solchen Falle stellt es sich als wirtschaftlicher heraus, Dampf von hoher Spannung zu erzeugen, ihn, wie eben besprochen, zunächst in einer Gegendruckturbine Arbeit verrichten zu lassen (etwa zur Erzeugung elektrischer Energie) und dann erst seinem Hauptverwendungszwecke zuzuführen.

Dass in beiden Fällen durch die Ausschaltung besonderer Kessel zu Heizzwecken eine große Ersparnis an Dampf, d. h. also an Kohle erzielt werden muss, ergibt sich schon aus der einfachen Überlegung, dass im Falle gesonderter Kessel in beiden Kesselarten der Dampf aus Wasser in flüssiger Form erzeugt werden muss. Nun ist aber bekanntlich gerade diejenige Wärmemenge, welche nötig ist, um Wasser aus der flüssigen Form in die Dampfform überzuführen, der weitaus größte Teil der zur Dampferzeugung überhaupt verbrauchten Wärmemenge. Sie beträgt z. B. rund 500 WE, um Wasser von 100° in Dampf von 100° überzuführen. Wenn es also gelingt, diese gewaltige Wärmemenge bei dem größten Teile des benötigten Dampfes zu sparen, so lässt sich wohl auch ohne eingehende Berechnung leicht erkennen, dass eine solche oben beschriebene Verbindung von Kraftserzeugung und Heizung große wirtschaftliche Vorteile bieten muss.

Anzapfturbinen. Es bedarf allerdings wohl kaum der Erwähnung, dass derartige vereinigte Betriebe sich nur dann als wirtschaftlich erweisen werden, wenn die zu Koch- und Heizzwecken benötigten Dampfmengen bedeutend sind, da sonst die Ersparnisse an Dampf durch die Kosten

der Dampfturbinenanlage zum größten Teil wieder aufgezehrt werden. Um aber auch in solchen Fällen Ersparnisse zu erzielen, ist man dazu übergegangen, den zu Koch- und Heizzwecken benötigten Dampf einer mehrstufigen Dampfturbine an einer solchen Stelle gewissermaßen abzuzapfen, wo er die gewünschte niedrige Spannung besitzt. Der nicht gebrauchte Rest des Dampfes geht Arbeit leistend auch durch die letzten Stufen der Dampfturbine hindurch, gelangt dann bei möglichst niedriger Spannung in den Kondensator und wird so in möglichst wirtschaftlicher Weise ausgenützt. Dampfturbinen dieser Art nennt man daher auch wohl geradezu Anzapfturbinen.

Abdampfturbinen. Im Maschinenbetrieb kommen häufig Fälle vor, bei denen Dampfmaschinen nicht längere Zeit ununterbrochen, sondern sozusagen stoßweise zu arbeiten haben. Solche Fälle sind z. B. auf Bergwerken die sog. Fördermaschinen, welche Kohlen und Erze aus den Schächten herausholen, die Maschinen zum Antriebe der Walzenstraßen auf Hüttenwerken und andere mehr. Wegen des stoßweisen Arbeitens, d. h. wegen des Arbeitens mit vielen mehr oder weniger großen Pausen, ist bei derartigen Maschinen die Anwendung von Kondensation nur schwer oder gar nicht durchzuführen, weshalb diese Maschinen meistens mit Auspuffbetrieb arbeiten. Man läßt also den Dampf sich in der Maschine nur auf etwas mehr als 1 atm abs ausdehnen und nützt daher seine Ausdehnungsfähigkeit nur sehr unvollständig aus.

Die auf Seite 102 besprochene Möglichkeit, die Ausdehnungsfähigkeit des Dampfes gerade in Dampfturbinen bis auf weite Grenzen hin vorzüglich ausnützen zu können, hat nun zu einer eigentümlichen in neuester Zeit sehr beliebt gewordenen Verwendungsart dieser Maschinen geführt, nämlich zur Verwendung als Niederdruck- oder Abdampfturbine. Trifft man nämlich die Anordnung so, daß jene nur zeitweise austretenden, meist recht bedeutenden Dampfmengen nicht in die freie Luft, sondern in einen großen Behälter auspuffen, so kann man diesen Behälter gewissermaßen als Dampfkessel für eine mit sehr niedriger Spannung arbeitende Dampfturbine benützen, bei der dann allerdings vermittels vorzüglicher Kondensationseinrichtungen die Ausdehnungsfähigkeit des Dampfes soweit als möglich ausgenützt werden muß. Die Spannung des Dampfes in jenem Behälter wird ja nun allerdings schwanken, sie wird ansteigen, wenn die Hauptmaschine im Gange ist, und wird sinken, wenn die Hauptmaschine stillsteht. Es hat sich aber erstens gezeigt, daß geringe Schwankungen der Eintrittsspannung keinen wesentlichen Einfluß auf die Regelmäßigkeit des Ganges der

Turbine ausüben, und es läßt sich ferner durch Ausbildung der genannten Behälter als sog. Wärmespeicher erreichen, daß jene Schwankungen in der Tat nicht allzu bedeutend werden.

Der Grundgedanke eines solchen Wärmespeichers, wie er zuerst wohl von Rateau angegeben wurde, ist ein sehr einfacher. Der Wärmespeicher besteht im wesentlichen aus einem Kessel, der zum Teil mit Wasser gefüllt ist, in welches der Auspuffdampf der betreffenden Maschine hineingeblasen wird. Ein Teil des Dampfes verdichtet sich, wobei die Temperatur des im Kessel befindlichen Wassers erhöht wird und gleichzeitig die Spannung im Innern des Kessels steigt. Verbraucht nun die Dampfturbine mehr Wärme (Dampf), als in den Wärmespeicher hineinkommt, also z. B. während die Hauptmaschine stillsteht, so sinkt die Spannung im Innern des Kessels, ein Teil des Wassers verdampft wieder, und es läßt sich auf diese Weise, wie man sieht, eine Art Ausgleich zwischen Dampfverbrauch und Dampflieferung erzielen. Zur Sicherheit sind dann noch Vorkehrungen getroffen, daß bei zu stark ansteigendem Drucke ein Sicherheitsventil geöffnet wird, das den überschüssigen Dampf ins Freie entweichen läßt, während bei zu stark fallendem Drucke frischer Dampf aus dem Hauptdampfkessel in den Wärmespeicher überströmt. Der Bedarf an Abdampf ist in letzter Zeit immer geringer geworden und beträgt in neueren Abdampfturbinenanlagen etwa 12—15 kg für die KW-Std. Er betrug z. B. bei einem Versuche, der auf der Zeche Zollverein in Westfalen mit einer Abdampfturbine Parsonscher Bauart angestellt wurde, nur etwa 15 kg für die KW-Std bei einer Leistung der Turbine von rund 1000 KW.

Zweidruckturbinen. Liegt die Gefahr vor, daß zeitweise nicht genügend Abdampf zum Betriebe der Abdampfturbine zur Verfügung steht, so baut man die Turbine wohl so, daß sie aus zwei gesonderten Abteilungen besteht, einem Hochdruckteil und einem Niederdruckteil. Ist dann genügend Abdampf vorhanden, so arbeitet die Turbine nur mit ihrem Niederdruckteile, bleibt dagegen der Abdampf aus, so wird von der Maschine selbsttätig das Frischdampfventil einer Kesselanlage geöffnet und es strömt nun hochgespannter und überhitzter Dampf, wie bei den gewöhnlichen Turbinen, zunächst in den Hochdruckteil und nachher mit derselben Spannung, die sonst der Abdampf hat, in den Niederdruckteil. Gegebenenfalls kann derartig arbeitender Frischdampf auch als Unterstützung bei zu geringen Mengen von Abdampf hinzugezogen werden. Turbinen dieser Art, die heute vielfach gebaut werden, bezeichnet man mit dem Namen Zweidruckturbinen.

Schiffsturbinen. Zwei Haupteigenschaften sind es, durch welche sich Schiffsturbinen von anderen Dampfturbinen unterscheiden: niedrige Umdrehzahl und die Notwendigkeit, die Maschine sowohl in der einen wie in der anderen Richtung umlaufen lassen zu können. Es würde zu weit führen hier darzulegen, warum die Umdrehzahl der Schiffsschrauben nicht beliebig erhöht werden kann. Für uns handelt es sich nur darum, in welcher Weise werden die zum Antriebe der Schiffsschrauben notwendigen niedrigen Umdrehzahlen erreicht, und die Antwort darauf lautet einfach: durch eine große Zahl von Druckstufen.

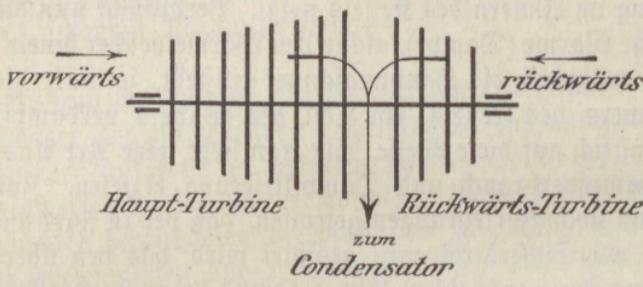


Abb. 43.

Je größer die Zahl der Druckstufen, desto kleiner die Dampfgeschwindigkeiten, desto kleiner die zulässige Umlaufgeschwindigkeit der Schaufelkränze, desto

kleiner die minutlichen Umdrehzahlen. Freilich lassen sich niedrige Umdrehzahlen auch durch verhältnismäßig wenige Druckstufen erzielen, aber nur dann, wenn innerhalb dieser Druckstufen eine größere Zahl — etwa drei oder gar vier — von Geschwindigkeitsstufen angewendet werden. Die Erfahrung hat aber gelehrt, daß die weitgehende Erniedrigung der Umdrehzahlen unter Anwendung vieler unmittelbar aufeinander folgender Geschwindigkeitsstufen mit großen Energieverlusten verknüpft ist, so daß also von diesem Mittel bei den früher besprochenen Turbinen und erst recht bei den Schiffsturbinen aus wirtschaftlichen Gründen nur in beschränktem Maße gebraucht gemacht wird. (Siehe übrigens auch S. 91 unter Zusammengesetzte Turbinenarten.)

Und trotzdem findet sich gerade bei Schiffsturbinen eine weitgehende Anwendung solcher Geschwindigkeitsstufen, allerdings, wie eben erwähnt, nicht bei den Hauptturbinen. Die zweite oben genannte Bedingung für Schiffsturbinen war nämlich die, daß es möglich sein muß, die Turbine nach beiden Richtungen umlaufen zu lassen. Das ist nun so ohne weiteres, wie man leicht ein sieht, bei Dampfturbinen nicht möglich. Soll daher eine Welle bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung umlaufen, so bleibt nichts anderes übrig, als auf diese Welle zwei Turbinen aufzusetzen, von denen die eine nur nach der einen, die andere nur nach der anderen Richtung umlaufen kann. In der

Tat ist dies auch das Mittel, welches bei Schiffsturbinen angewendet wird. Abb. 43 stellt das Schema einer solchen Schiffsturbine dar: links ist die Hauptturbine, rechts ist die auf derselben Welle sitzende sog. Rückwärtsturbine. Soll die Maschine vorwärts laufen, so wird der Dampf auf der linken Seite eingelassen; dann läuft also die Rückwärtsturbine leer mit. Bei Rückwärtsgang wird der Dampf rechts eingelassen und die Hauptturbine läuft leer mit. Da nun das Rückwärtsfahren ja nur selten und immer nur für kurze Zeit vorkommt, spielt hier die Unwirtschaftlichkeit des Betriebes keine Rolle und man kann daher für die Rückwärtsturbine das obenerwähnte Mittel der großen Zahl von Geschwindigkeitsstufen anwenden, so daß man dabei, wie dies die Abbildung andeutet, mit nur sehr wenigen Druckstufen, also sehr wenig Rädern auskommt.

Anhang.

Die Gasturbine.

Zwei Jahrhunderte lang war die alte Dampfmaschine unbestrittene Alleinherrscherin auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen gewesen, bis sie dann in den beiden letzten Jahrzehnten des verflossenen Jahrhunderts in einen heftigen Kampf verwickelt wurde mit der immer mächtiger vorwärts strebenden Gasmaschine.

Das Bedürfnis nach einer neuen Art von Wärmekraftmaschinen ergab sich zunächst aus der Erkenntnis, daß die alte Dampfmaschine mit ihrem Kessel für kleinere Leistungen in ihrem Aufbau zu umständlich, in ihrer Wirkungsweise viel zu unwirtschaftlich war. Aus diesem Bedürfnisse heraus entsprangen dann die ersten Gasmaschinen, die zunächst ausschließlich Leuchtgasmaschinen waren und, insbesondere auf dem Gebiete der sog. Kleinkraftmaschinen, infolge ihrer fast unübertrefflichen Einfachheit im Betriebe sehr bald die Dampfmaschine völlig zu verdrängen drohten. Freilich trat für die Besitzer solcher Gasmaschinen der Übelstand hinzu, in Abhängigkeit von den großen Gaswerken zu treten, und man versuchte daher sehr bald, durch Schaffung von Generatorgasanlagen und durch den Bau von Petroleum- und Benzинmaschinen die Selbständigkeit der Dampfmaschinenanlagen zu erreichen. Eine Zeitlang schien es nun, als wenn die Gasmaschine eben nur auf das Gebiet der kleinen und mittleren Leistung beschränkt bleiben würde, während die Dampfmaschine das Feld der großen und größten Leistungen

unbestritten beherrschen sollte, auf welchem noch dazu durch Einführung des hochüberheizten Dampfes nicht unerhebliche Fortschritte in der Erhöhung der Wirtschaftlichkeit erzielt wurden.

Aber Schritt für Schritt drang auch hier die Gasmaschine siegreich vor, größer und größer wurden ihre Leistungen, und auch die Wirtschaftlichkeit wurde durch Einführung der Sauggasanlagen, namentlich der für minderwertige Brennstoffe, nicht unwesentlich erhöht, worauf allerdings die Gegenpartei mit der Ausbildung der in hohem Maße wirtschaftlich arbeitenden Heißdampflokomobile antwortete. Ein schwerer Schlag für die Dampfmaschine war es ferner, als durch die Ausnützung der Gicht- und Koksofengase in Verbindung mit der Entwicklung der Großgasmaschinen ein weiterer Schritt auf der Siegeslaufbahn der Gasmaschine getan wurde. Aber noch einmal machten die Anhänger der Dampfmaschine einen starken Vorstoß, indem sie eine zwar schon früher erfundene, aber lange Zeit hindurch vernachlässigte neue Form der Dampfmaschine ausbildeten: die Dampfturbine, die zwar nicht den thermischen Wirkungsgrad der alten Dampfmaschine, geschweige denn den der Gasmaschine übertreffen konnte, wohl aber infolge ihrer Bauart so viele andere erhebliche Vorteile bot, daß hierdurch die Siegeslaufbahn der Gasmaschine eine Zeitlang ganz wesentlich gehemmt wurde.

Das mußte natürlich ein mächtiger Ansporn sein für die Anhänger der Gasmaschine und in der Tat ließ der Gegenangriff nicht lange auf sich warten: Die Dieselmashine war es, welche den Kampf mit erneuter Heftigkeit aufnahm und Erfolge auf einem Gebiete errang, welches der Gasmaschine bisher völlig verschlossen schien; auf dem Gebiete der Schiffsmaschinen. So wogt der Kampf hin und her, und wenn wir gewissermaßen von höherer Warte aus entscheiden wollten, wem endlich der Sieg zufallen wird, so dürfte diese Entscheidung nicht gerade leicht werden: eine allgemeine Überlegenheit der einen Maschinengattung über die andere ist nicht vorhanden und wird wohl auch nie eintreten, wohl aber können wir sagen, daß jede der beiden Kraftmaschinen der anderen auf einem besonderen Gebiete überlegen ist. Die Gasmaschine ist der Dampfturbine überlegen in der Ausnützung der zugeführten Wärme, die Dampfturbine hingegen bietet durch ihre Bauart so erhebliche Vorteile, daß sie trotz des bedeutend geringeren thermischen Wirkungsgrades in manchen Fällen der Gasmaschine wirtschaftlich überlegen ist, unter Umständen selbst dann, wenn für beide dieselbe Wärmequelle zur Verfügung steht.

Der Gedanke liegt nahe: Gelingt es, eine Kraftmaschine zu bauen, welche neben dem thermischen Wirkungsgrade der Gasmaschinen die

vorteilhafte Bauart der Dampfturbinen besäße, so müßte eine solche mit Gas betriebene Turbine unter den gegenwärtigen Verhältnissen dem Ideale einer Kraftmaschine sehr nahe kommen.

Die Verwirklichung des Gedankens einer Gasturbine stößt leider auf sehr große Schwierigkeiten, die vollständig zu überwinden trotz vielfacher Versuche bis jetzt leider noch immer nicht gelungen ist. Der Grundgedanke ist ja einfach genug. Ein Gasgemisch wird in einer Verbrennungskammer zur Entzündung gebracht und die durch die Verbrennung entstandene hohe Spannung der Gase wird gerade so wie bei der Dampfturbine mit Hilfe von Düsen in Geschwindigkeit umgesetzt, welche ihrerseits wieder in Schaufelrädern zum Erzeugen von Arbeit benutzt werden kann.

Die Schwierigkeiten, die sich der Ausführung dieses Gedankens entgegenstellen, sind teils rein technischer, teils wirtschaftlicher Art. In technischer Beziehung besteht eine Hauptschwierigkeit in der durch die Verbrennung der Gase entstehenden hohen Temperatur von 1000° und darüber. Während aber bei Kolbenmaschinen dieser Übelstand durch ausgiebige Wasserkühlung von Zylinder und Kolben usw. verhältnismäßig einfach überwunden werden kann, ist eine künstliche Kühlung bei Düsen und Schaufeln sehr schwierig, eine Kühlung durch Wasser wohl überhaupt unausführbar. Eine Schwierigkeit in wirtschaftlicher Hinsicht besteht insofern, als eine Gasturbine, bei gleicher technischer Einfachheit und Betriebsicherheit, einer Dampfturbine hinsichtlich der gesamten Betriebskosten unbedingt überlegen sein muß, wenn sie daran denken will, ihre gefährliche Nebenbuhlerin aus dem Felde zu schlagen. Das ist nun nicht so einfach, und gerade an dieser wirtschaftlichen Frage, oder anders ausgedrückt, an dem geringen Wirkungsgrade der gesamten Anlage frankten die bisher ausgeführten Gasturbinen, soweit sie überhaupt je betriebsfähig wurden. Dabei ist zu beachten, daß zu einer Gasturbine außer der Gaserzeugungsanlage und der eigentlichen Turbine noch zwei sehr wichtige Nebenbestandteile gehören: eine Gas- und eine Luftverdichtungsmaschine, denn Luft sowohl wie Gas können ja nicht von der Turbine angesaugt werden, sondern müssen mit Hilfe der genannten Maschinen in die oben erwähnte Verbrennungskammer hineingebracht und dort je nach der Arbeitsweise mehr oder minder verdichtet werden. Die Kraft, welche diese Verdichtungsmaschinen erfordern, muß natürlich von der Turbine mitgeliefert werden und vermindert also die nach außen abgabbare Leistung und damit den Gesamtwirkungsgrad.

Ausführungen von Gasturbinen sind nur in geringer Zahl bekannt geworden. Diejenige, welche vielleicht allein Hoffnungen auf spätere

Brauchbarkeit erweckt, zugleich wohl auch die einzige Gasturbine, welche, baulich gut durchgebildet, sich als betriebsfähige Maschine erwiesen hat, ist die Turbine von Holzwarth. Umfangreiche Versuche, welche der Erfinder H. Holzwarth an dieser Gasturbine angestellt und veröffentlicht hat, lassen zum mindesten erkennen, daß hier ein Weg zur Erreichung des Ziels vorliegt, hat doch der Erfinder in einzelnen Fällen wirtschaftliche Wirkungsgrade von 20 und mehr vom Hundert an seiner Gasturbine nachweisen können.

Holzwarth ordnet vor den Schaufeln des mit Geschwindigkeitsstufen versehenen Laufrades R (Abb. 44) einen Kranz von etwa zehn von-

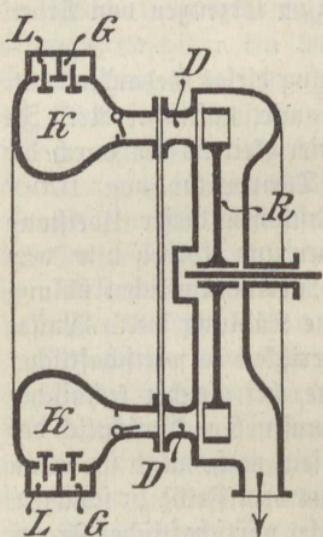


Abb. 44.

einander getrennten Verbrennungskammern K an, deren jede an eine Düse D anschließt, welche die in der Verbrennungskammer erzeugten hochgespannten Gase auf die Schaufeln des Laufrades leitet. Die einzelnen Kammern sind zunächst nach den Düsen hin durch eine Klappe verschlossen und werden nun nacheinander mit einem Gasluftgemisch von geringer Pressung (etwa $1\frac{1}{2}$ atm) gefüllt. Das auf elektrischem Wege entzündete Gasgemisch schlägt die nach der Düse zu führende Klappe auf, so daß nunmehr die Umsetzung von Druck in Geschwindigkeit in den Düsen und die Ausnutzung der Geschwindigkeit in den Schaufeln des Laufrades erfolgen kann. Dieser Vorgang wiederholt sich nacheinander in den einzelnen Kammern im Kreise

herum. Bemerkenswert ist die Art und Weise, in welcher Holzwarth die oben erwähnte Schwierigkeit der hohen Temperaturen zu bekämpfen sucht. Sobald nämlich die Spannung in den Verbrennungskammern auf die Spannung im Auspuffrohre gesunken ist, wird eine Zeitlang Spül-Luft von Außentemperatur durch die Verbrennungskammer, durch Düse und Laufrad mit Hilfe eines saugenden Ventilators hindurchgesaugt, wodurch einmal die Verbrennungskammer von dem Reste der verbrannten Gase gereinigt und ferner eine Kühlung der sämtlichen Teile herbeigeführt wird. Nach erfolgter Ausspülung wird durch die Steuerung der Maschine die nach der Düse hin führende Klappe geschlossen, worauf die Kammer zu einem neuen Ladevorgange fertig ist. Besonders bemerkenswert ist noch die Lösung der Frage des Antriebes von Gasverdichtungsmaschine und Ventilator. Der Antrieb beider Maschinen er-

folgt nämlich durch eine Dampfturbine, für welche der Dampf durch die in den Abgasen der Gasturbine steckende Wärme erzeugt wird. Wer Einzelheiten über diese Gasturbine und die damit erzielten Erfolge zu erfahren wünscht, sei auf das fesselnd geschriebene mit guten Abbildungen versehene Buch des Erfinders, *Die Gasturbine*, München 1911, R. Oldenbourg, hingewiesen.

Der Freundlichkeit des Erfinders, Herrn Ingenieurs Hans Holzwarth, verdanke ich beifolgende Abb. 45, welche die für eine Leistung von

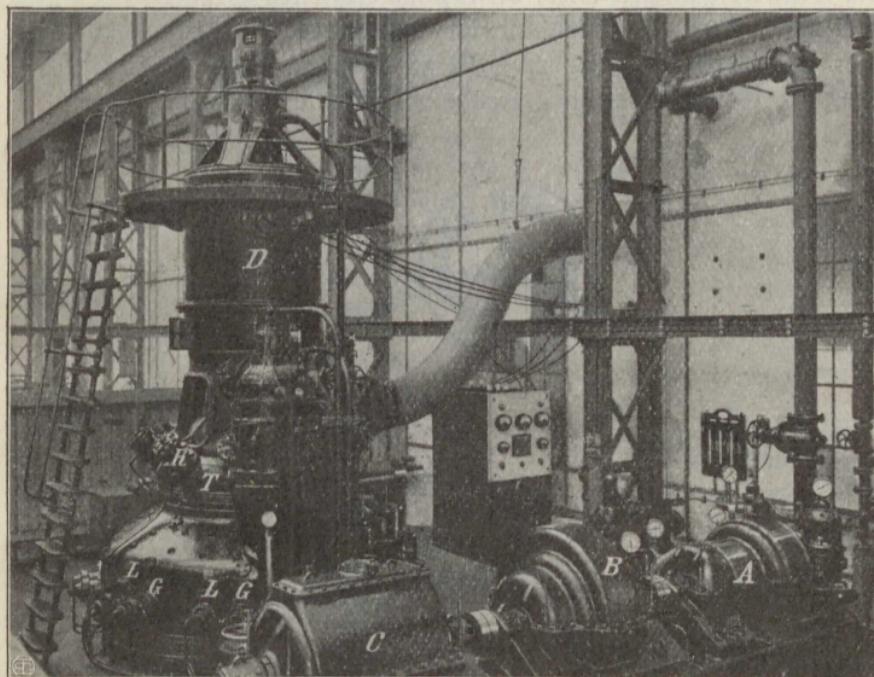


Abb. 45.

1000 PS berechnete Gasturbine darstellt, an welcher jene eingehenden Versuche gemacht wurden. Die Turbine ist mit senkrecht stehender Welle ausgeführt, man erhält daher die entsprechende Gerippskizze dieser Turbine, wenn man Abb. 44 von der linken Seite aus betrachtet. Die Bedeutung der Buchstaben G und L ist in beiden Abbildungen dieselbe. Das wagerechte Turbinenrad befindet sich etwa an der Stelle T. Oben bei D (Abb. 45) befindet sich auf der verlängerten Welle eine Dynamomaschine. A ist die Dampfturbine zum Antriebe des Ventilators B und der Gasverdichtungsmaschine C. Unterhalb des Turbinenrades sind im Kreise herum abwechselnd die Luftventile L und die Gas-

ventile G angeordnet. An der Stelle K (Abb. 45) sitzen die Steuervorrichtungen zum Abschließen der oben erwähnten Klappen (oder Ventile), welche sich zwischen den Verbrennungskammern und den Düsen befinden.

Noch ist das Ziel nicht erreicht, große Schwierigkeiten sind noch zu überwinden. Aber wenn man bedenkt, welche gewaltigen, fast unüberwindlich scheinenden Schwierigkeiten z. B. bei der Dieselmashine zu überwinden waren, der von manchen Seiten geradezu jede Lebensfähigkeit abgesprochen wurde, so darf man hoffen, daß es auch hier dem Erfinder gelingen wird, diese Schwierigkeiten zu überwinden und jenes Ideal einer Kraftmaschine, wie man die Gasturbine wohl nennen kann, in absehbarer Zeit der Welt zu schenken. Daß es wieder ein Deutscher ist, muß uns mit Freude und hohem Stolze erfüllen.



Sachregister.

- Abdampfbedarf von Turbinen 107.
 Abdampfturbinen 106.
 Absolute Geschwindigkeit 58.
 A.C.G.-Turbinen 87, 93.
 Anblasen eines Gaserzeugers 14.
 Anlassen von Dampfturbinen 96.
 Anlassen von Großgasmaschinen 41, 96.
 Anthrazit 15.
 Anzapfturbinen 105.
 Ausfluggeschwindigkeit von Dampfturbinen 72, 74.
 Auspuffschlüsse 29.
 Ausspülen 30, 36.
 Bituminöse Kohlen 15, 18.
 Braunkohle 16.
 Brennstoffe für Dieselmaschinen 42.
 — für Gaserzeuger 14.
 — Kosten 22.
 — minderwertige 19.
 — Pumpe 45.
 — Verbrauch bei Braunkohlegaserzeugern 17.
 Briketts 16.
 Curtis-Turbinen 87.
 Dammer Moor 18.
 Dampfverbrauch bei Turbinen 98.
 De Laval f. Laval.
 Dieselmashine 42 ff.
 Diffusionsgeschwindigkeit 6.
 Doppelfeuer-Gaserzeuger 17, 18, 19.
 Doppelgaserzeuger 17.
 Doppeltwirkende Dieselmaschine 44.
 Doppeltwirkender Biertakt 33, 44.
 Dowson 7. [21.
 Drehrost-Gaserzeuger
 Druckgas 7.
 — -gefälle 80, 86.
 — -stufen 80, 82, 86.
 — -turbinen 80.
 Düsen 70, 73, 112.
 Eintaft 28, 31, 37.
 Fallbeschleunigung 53.
 Frachtschiffe mit Dieselmaschinen 47.
 Fundament einer Turbine 94.
 Gaserzeuger 3, 7, 13, 17, 21.
 Gasöl 43.
 Gasturbine 109.
 Generatorgas 4. [104
 Gegendruckturbine 88,
 Geschwindigkeitsräder 80, 91.
 — -stufen 79, 86.
 Gewicht 53.
 Gichtgas 26.
 — -staub 40.
 Gleichdruckturbine 88.
 Großgasmaschine 23, 40.
 Grundform einer Turbine 65.
 Halbwässergas 7.
 Heizwert von Anthrazit 16.
 Braunkohle 16.
 Gichtgas 26.
 Koksofengas 27.
 Luftgas 4.
 Mischgas 6.
 Hochosen 27.
 — -gase 26, 39.
 Holzwarth-Turbine 112.
 Höhnerwerda 16.
 Inbetriebsetzung von Gaserzeugern 12, 14.
 Dampfturbinen 96.
 Koks 15.
 — -asche 20.
 — -erzeugung 39.
 — -gruß 20.
 — -ofengas 27, 39.
 Kondensation bei Dampfturbinen 102.
 Kondensator bei Gasreinigung 13.
 Körtingmaschine 31.
 Kraftgas 5.
 Kühlwasserbedarf bei Großgasmaschinen 40.
 Laden von Gasmaschinen 33.
 Ladepumpen 33, 36.
 Laterne bei Tandemmaschinen 46.
 Laufräder 79.
 Laval 75, 78, 101.
 Luftpumpe bei Dieselmaschine 45.
 Lebendige Kraft 53.
 Leistung einer Turbine 65.
 Leitrad 80, 82. [65.
 Leitschaufeln 79.
 Luftgas 4.
 Masse 53.
 Minderwertige Brennstoffe 19.
 Mischgas 5, 7.
 Mondgas 18.
 Moore 18.
 Morgan-Gaserzeuger 19.
 Motorfrachtschiff 47.

- Niederdruckturbine 106.
 Œchelhäuser-Maschine 28.
 Ölverbrauch bei Dampfturbinen 96.
 — — Gasmaschinen 40.
 Paraffinöl 42.
 Parallelogramm der Geschwindigkeiten 61.
 Parsons-Turbine 88.
 Pintsch-Gaserzeuger 19.
 Ramme 58.
 Rateau-Turbine 85, 86.
 — — Wärmespeicher 107.
 Regulieren von Dampfturbinen 76.
 — — Gasmaschinen 35.
 Reinigung von Gas 7, 15, 40. [58.
 Relativgeschwindigkeit
 Niedler-Stumpf-Turbine 79.
 Roheisenerzeugung in Deutschland 39.
 Rückwärts-Turbine 109.
 Sauggas 9 ff., 21 f.
 Schaufelbrüche 90.
 — = geschwindigkeit 66.
 — = gestaltung 62, 68.
 — = salat 90. [46, 48.
 Schiffsdieselmaschinen — turbinen 91, 108.
 Schläze, Auspuff= 29.
 Schmierölbedarf, j. Ölverbrauch.
- Schmierung bei Dampfturbinen 101.
 Schwungrad 56, 93.
 Skrubber 7, 13.
 Solaröl 42.
 Spaltverluste bei Dampfturbinen 90.
 Spülluft 30, 45.
 Spülumpen 33, 36.
 Staubgehalt von Gichtgas 40.
 Strömungsgeschwindigkeit bei Dampf 70.
 Sulzer-Dieselmaschinen 45, 47. [78 ff.
 Systeme von Turbinen
 Tandemmaschinen 34, 45.
 Teer 14.
 Teerabscheider 13.
 Teeröl 43.
 Thermischer Wirkungsgrad 100.
 Torf 18.
 Tormoore 18.
 Turbine, Grundform 65.
 Turbinenleistung 65.
 Turbodynamo 97.
 Überdruckturbine 87.
 Überhitzung bei Turbinen 101.
 Umdrehzahl einer Turbine 67, 77.
 Umfangsgeschwindigkeit 56, 67, 77.
 Umsteuern von Dieselmaschinen 47, 48.
- Brennung 3.
 Verbrennungskammern bei Gasturbinen 112.
 Verdampferchale 12.
 Biertakt 28.
 Vollbeaufschlagte Turbinen 90.
 Vorlage bei Gaserzeugern 7.
 Wärmespeicher 107.
 Wärmeverbrauch von Dampfmaschinen 38.
 Großgasmaschinen 27, 39.
 Wascher 7.
 Wasserdampf, Strömungseigenschaften von, 70.
 Wassergas 4.
 Wirkungsgrad von Gaserzeugern 22.
 — Sinken des 41.
 —, thermischer 100.
 Wirtschaftlichkeit von Großgasmaschinen 39.
 Gaserzeugern 21.
 Zoelly-Turbine 85.
 Zweidruckturbinen 107.
 Zweitakt 28.
 — = Dieselmaschinen 44.
 Zwillingstandemmaschinen 34.
 Zusammengesetzte Turbinenarten 91.

Aus Natur und Geisteswelt

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

Maschinen-Elemente. Von Prof. R. Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)

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

Hebezeuge. Das heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Prof. R. Vater. Mit 67 Abb. (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 wichtige Abschnitte, wie: Hebel und schiefe Ebene, Druckwasserhebevorrichtungen, Zentrifugalpumpen, Gebläse usw. besonders eingehend behandelt sind.

Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmeleistungsmaschinen (Gasmaschinen). Bd. I. Von Prof. Rich. Vater. 3. Auflage. Mit 33 Abb. (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-, Benzins-, Benzol-, Petroleum- und Spiritusmaschinen, sowie der Wärmemotor Patent Diesel dargestellt.

Die Dampfmaschine. Bd. I: Wirkungsweise des Dampfes im Kessel und in der Maschine. Von Prof. Richard Vater. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 393.)

Gibt, ohne technische Kenntnisse vorauszusezten, eine anschauliche Darstellung der im Innern des Kessels der Dampfmaschine sich abspielenden Vorgänge, um so für jeden ein wirkliches Verständnis ihres Wesens und ihrer Wirkungsweise zu ermöglichen.

— Bd. II: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. Von Prof. Richard Vater. (Bd. 394.) [Unter der Presse.]

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

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

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

Bietet einen allgemeinverständlichen Überblick über die verschiedenen Arten der landwirtschaftlichen Maschinen und ihre modernsten vervollkommenungen, 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 manigfache 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. (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 Spurahneneze in den verschiedenen Ländern, die Geschichte des Lokomotivenwesens bis zur Ausbildung der Heizdampflokomotiven einerseits und des elektrischen Betriebes andererseits, sowie die Sicherung des Betriebes durch Stellwerks- und Blockanlagen.

Klein- und Straßenbahnen. Von Oberingenieur a. D. Oberslehrer A. Liebmam. Mit 82 Abb. (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. (Bd. 166.)

Gibt in gedrängter Darstellung und leichtfaßlicher Form einen anschaulichen Überblick über das Gesamtgebiet des modernen Automobilismus, 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 Nimpföhr. 2. Auflage. Mit 42 Abb. (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 Entwicklungs-gang von der Montgolfiere bis zum modernen Aeroplane gegeben wird.

Das Eisenhüttenwesen. Erläutert in acht Vorträgen von Geh. Bergrat Professor Dr. Hermann Wedding. 4., vollständig neu bearbeitete Auflage. Mit 24 Abb. (Bd. 20.)

Schildert in gemeinsamer 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. Aufl. Mit 16 Abb. (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, kulturgechichtlicher und statistischer Daten sowie die Verarbeitung der Metalle.

Lehrbuch der Physik. Von Direktor E. Grimsehl. Zum Gebrauch beim Unterricht, bei akademischen Vorlesungen und zum Selbststudium. 2. Auflage. Mit 1296 Figuren, zwei farbigen Tafeln und Tabellen physikalischer Konstanten und Zahlentabellen. Geh. M. 15.—, in Leinwand geb. M. 16.—

„Weit mehr als früher, als noch vor zwanzig Jahren, ist die Physik und die Kenntnis ihrer grundlegenden Lehren ein Allgemeingut der gebildeten Schichten unseres Volkes geworden. Dem hat sich auf die Dauer auch das humanistische Gymnasium nicht mehr entziehen können. Das vorliegende Buch will denen, die eine höhere Schule besucht haben und das Bedürfnis fühlen, ihre erworbenen Kenntnisse lebendig zu erhalten und sie zu erweitern, einen zuverlässigeren Führer und Berater sein. Auch die studierende Jugend wird vorteilhaft davon Gebrauch machen können. Beide auch deshalb, weil eine große Anzahl von Abbildungen den Text begleitet und erläutert. Im übrigen wird jeder Erwachsene dies umfangreiche Werk gern in seiner Bibliothek haben, da es an einem solchen Werke bisher fehlte, das ohne allzu große Gelehrsamkeit die in Betracht kommenden Kenntnisse übermittelt.“

(Der Tag.)

Die Dampfmaschine (einschließlich der Dampfturbine) und Gas- u. Ölmaschinen. Von Dr. John Perry, Professor der Mechanik und Mathematik am Royal College of Science in London. Autorisierte, erweiterte deutsche Bearbeitung von Dr.-Ing. Hermann Meuth, Bauinspektor, Mitglied der Kgl. Württ. Zentralstelle für Gewerbe u. Handel in Stuttgart. Mit 350 Figuren und 1 Wärmetafel. 1909. In Leinwand geb. M. 22.—

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

„Die Ausführungen werden erläutert durch etwa 350 Skizzen, Figuren und Konstruktionszeichnungen, die nach ihrer Auswahl auch geeignet sind, den Physiker leicht in die Lehre der Wärmekraftmaschinen einzuführen. Sehr wertvoll sind die zahlreichen Aufgaben, die durchweg der Praxis entnommen sind. Für das Studium ist das Werk in der Bearbeitung von H. Meuth jedenfalls sehr zu empfehlen.“

(Beiblätter zu den Annalen der Physik.)

Experimentelle Elektrizitätslehre. Von Dr. H. Starke, Professor an der Universität Greifswald. Versehen mit einer Einführung in die Maxwellsche und die Elektronentheorie der Elektrizität und des Lichtes. 2., umgearb. Aufl. Mit 334 Abbildungen. 1910. In Leinw. geb. M. 12.—

Das in Lehrbuchform gehaltene Werk ist für alle diejenigen bestimmt, die sich, ohne größere mathematische Vorkenntnisse, doch eingehender mit der Elektrizitätslehre beschäftigen wollen. Es ist als eine Einführung in das Studium der theoretischen Elektrizitätslehre gedacht, vor allem aber für den Experimentalphysiker auch für den Gebrauch im Laboratorium bestimmt, indem unter anderem beispielsweise die Aufgaben, welche in dem elektrischen Praktikum des physikalischen Instituts der Berliner Universität bearbeitet werden, besondere Berücksichtigung erfahren haben.

„Ein Lehrbuch wie das vorliegende, das von ganz modernem, theoretisch einheitlichem Standpunkte aus unsere Kenntnis auf dem Gebiete der Ätherphysik zusammenstellt, war längst ein Bedürfnis. Die Reichthaltigkeit des mitgeteilten, bis zu den neuesten Ergebnissen der Elektronentheorie reichenden Materials ist erstaunlich. 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 keine bessere in Deutschland gibt.“

(H. Th. Simon in der Physikalischen Zeitschrift.)

VERLAG VON B. G. TEUBNER IN LEIPZIG UND BERLIN

Die elementare Mechanik.

Ein Lehrbuch. Enthaltend: Eine Begründung der allgemeinen Mechanik; die Mechanik der Systeme starrer Körper; die synthetischen und die Elemente der analytischen Methoden, sowie eine Einführung in die Prinzipien der Mechanik deformierbarer Systeme. Von Georg Hamel, Professor an der Deutschen Technischen Hochschule zu Brünn. Mit 265 Figuren. 1912. Geh. M. 16.—, in Leinwand geb. M. 18.—

Der erste Abschnitt entwickelt ausführlich den kinetischen Kraftbegriff, der zweite enthält die Statik, der dritte baut die allgemeine Mechanik auf die Theorie der Volumelemente auf und geht in der Systemmechanik bis zu den Lagrangeschen Gleichungen. Die beiden letzten Paragraphen zeigen, wie sich die Begründung der Mechanik deformierbarer Körper an die allgemeinen Grundlagen anschließt.

Angewandte Mechanik.

Von John Perry, F. R. S. Ein Lehrbuch für Studierende, die Versuche anstellen und numerische und graphische Beispiele durcharbeiten wollen. Berechtigte deutsche Übersetzung von Ingenieur Rudolf Schick in Cöln. Mit 371 Figuren. 1908. In Leinwand geb. M. 18.—

„Aus diesem Werke spricht ein Lehrer allerersten Ranges, der ausgedehnte Kenntnisse mit vollendet Lehrkunst vereinigt. Er hat aus dem großen Wissensgebiete der technischen Mechanik viele hundert Beispiele zusammengetragen, an welchen er die Grundgesetze anschaulich erläutert, und damit ein echtes Lehrbuch geschaffen, dessen Übersetzung sich bald zahlreiche Freunde erwerben wird. Alle Darlegungen sind unmittelbar auf den praktischen Gebrauch zugeschnitten, und der mathematische Apparat ist in möglichst engen Grenzen gehalten; vorausgesetzt wird lediglich die Kenntnis der niederen Analysis.“

(Literarisches Zentralblatt.)

Die technische Mechanik.

Elementares Lehrbuch für mittlere maschinen-technische Fachschulen und Hilfsbuch für Studierende höherer technischer Lehranstalten. Von P. Stephan. 2 Teile. Mit zahlreichen Figuren. gr. 8. Steif geh. je M. 5.—, in Leinw. geb. je M. 7.— I. Teil: Mechanik starrer Körper. 1904. II. Teil: Festigkeitslehre und Mechanik der flüssigen und gasförmigen Körper. 1906.

„So bestand die Aufgabe des Verfassers darin, aus dem großen, sonst behandelten Stoff das auszuwählen, was für Maschinentechniker wichtig ist und elementar behandelt werden kann, und hauptsächlich die Anwendung der Lehrsätze auf maschinen-technische Beispiele zu zeigen. Diese Aufgabe hat der Verfasser in gelungener Weise gelöst. Die Lehrsätze sind in einfacher, klarer Sprache vorgetragen und stets durch Zahlenbeispiele illustriert. In den Zahlenbeispielen, unter denen zahlreiche dem Gebiet der Maschinen-elemente und Hebelzeuge entnommen sind, liegt der Hauptwert des Buches. Erfahrungskoeffizienten sind in zahlreicher Menge zu finden...“ (Dinglers Polytechnisches Journal.)

Maschinen und Apparate der Starkstromtechnik,

ihre Wirkungsweise und Konstruktion. Ein Lehrbuch für den Gebrauch an technischen Lehranstalten, zum Selbststudium und für den in der Praxis stehenden Ingenieur. Von Elektroingenieur G. W. Meyer. I. Teil: Gleichstrom. II. Teil: Wechselstrom. Mit 772 Figuren. Geh. M. 15.—, in Leinwand geb. M. 16.—

Will dem Studierenden wie dem in der Praxis stehenden Ingenieur schnelle und zuverlässige Information über den Stand des Baues moderner elektrischer Maschinen und Apparate sowie über die bei der Konstruktion derselben zu beachtenden Gesichtspunkte bieten. Soweit zum Verständnis der betreffenden Maschinen und Apparate erforderlich, wurde auch auf die Theorie derselben kurz eingegangen. Zu dem gleichen Zwecke dient eine große Zahl graphischer Reproduktionen.

„Das Buch stellt durch die übersichtliche Anordnung des Stoffes, die Veranschaulichung des Textes durch zahlreiche Skizzen und Abbildungen und durch Beschränkung alles theoretischen Beiwerks ein vorzügliches Nachschlagewerk für den in der Praxis stehenden Ingenieur dar.“

(Naturwissenschaftliche Wochenschrift.)

Haus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher

Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Jeder Band ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich

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

Übersicht nach Wissenschaften geordnet.

Allgemeines Bildungswesen. Erziehung und Unterricht.

- Das deutsche Bildungswesen in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von weil. Prof. Dr. Friedrich Baulsen. 3. Aufl. Von Prof. Dr. W. Münch. Mit einem Bildnis Baulsens. (Bd. 100.)
Der Leipziger Student von 1409—1909. Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)
Geschichte des deutschen Schulwesens. Von Oberrealschuldirektor Dr. K. Knabe. (Bd. 85.)
Das deutsche Unterrichtswesen der Gegenwart. Von Oberrealschuldirektor Dr. K. Knabe. (Bd. 299.)
Allgemeine Pädagogik. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 3. Aufl. (Bd. 33.)
Experimentelle Pädagogik mit besonderer Rücksicht auf die Erziehung durch die Tat. Von Dr. W. A. Bay. 2. Aufl. Mit 2 Abb. (Bd. 224.)
Psychologie des Kindes. Von Prof. Dr. A. Gaupp. 3. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 213.)
Moderne Erziehung in Haus und Schule. Von J. Tew s. 2. Aufl. (Bd. 159.)
Großstadt-pädagogik. Von J. Tew s. (Bd. 327.)
Schulkämpfe der Gegenwart. Von J. Tew s. 2. Aufl. (Bd. 111.)
Die höhere Mädchenschule in Deutschland. Von Oberlehrerin M. Martin. (Bd. 65.)
Vom Hilfsschulwesen. Von Rektor Dr. B. Mannel. (Bd. 73.)
Das deutsche Fortbildungsschulwesen. Von Direktor Dr. Fr. Schilling. (Bd. 256.)
Die Knabenhandarbeit in der heutigen Erziehung. Von Seminar-Dir. Dr. A. Pabst. Mit 21 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 140.)
- Das moderne Volksbildungswesen. Bücher- und Befallen, Volkshochschulen und verwandte Bildungseinrichtungen in den wichtigsten Kulturländern in ihrer Entwicklung seit der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Von Stadtbibliothekar Dr. G. Friis. Mit 14 Abb. (Bd. 266.)
Die amerikanische Universität. Von Ph. D. E. D. Perrin. Mit 22 Abb. (Bd. 206.)
Technische Hochschulen in Nordamerika. Von Prof. S. Müller. Mit zahlr. Abb., Karte u. Lageplan. (Bd. 190.)
Volkschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten. Von Dr. Dr. F. Kuppers. Mit 48 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 150.)
Deutsches Ringen nach Kraft und Schönheit. Aus den literarischen Zeugnissen eines Jahrhunderts gesammelt. Von Turninspektor K. Möller. 2 Bde. Band II: In Vorb. (Bd. 188/189.)
Schulhygiene. Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 33 Fig. (Bd. 96.)
Jugend-Fürsorge. Von Waisenhaus-Direktor Dr. J. Petersen. 2 Bde. (Bd. 161. 162.)
Pestalozzi. Sein Leben und seine Ideen. Von Prof. Dr. P. Natorp. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis u. 1 Brieffaksimile. (Bd. 250.)
Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor O. Flügel. Mit 1 Bildnisse Herbarts. (Bd. 164.)
Friedrich Fröbel. Sein Leben und sein Wirken. Von A. von Portugal. Mit 5 Tafeln. (Bd. 82.)

Religionswissenschaft.

- Einführung in die Theologie: Von Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)
Leben und Lehre des Buddha. Von weil. Prof. Dr. R. Bischel. 2. Aufl. von Prof. Dr. H. Übers. Mit 1 Tafel. (Bd. 109.)
Germanische Mythologie. Von Prof. Dr. J. v. Negelein. 2. Aufl. (Bd. 95.)
Mystik im Heidentum und Christentum. Von Dr. E. Lehmann. (Bd. 217.)
Palästina und seine Geschichte. Von Prof. Dr. H. Freiherr von Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan u. 6 Ansichten. (Bd. 6.)
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. Gieserecht. 2. Aufl. (Bd. 52.)

Aus Natur und Geisteswelt.

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

Die Gleichnisse Jesu. Zugleich Anleitung zu einem quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Lic. Prof. Dr. H. Weinek. 3. Aufl. (Bd. 46.)

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

Jesu 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. Bott. Mit 8 Tafeln. (Bd. 134.)

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

Christentum und Weltgeschichte. Von Prof. Dr. K. Sell. 2 Bde. (Bd. 297. 298.)

Aus der Werdezeit des Christentums. Studien und Charakteristiken. Von Prof. Dr. J. Geßken. 2. Aufl. (Bd. 54.)

Luther im Lichte der neueren Forschung. Ein kritischer Bericht. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 2. Aufl. Mit 2 Bildn. (Bd. 113.)

Johann Calvin. Von Pfarrer Dr. G. Sodeur. Mit 1 Bildnis. (Bd. 247.)

Die Jesuiten. Eine historische Skizze. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 3. Aufl. (Bd. 49.)

Die religiösen Stromungen der Gegenwart. Von Superintendent D. A. H. Braach. 2. Auflage. (Bd. 66.)

Die Stellung der Religion im Geistesleben. Von Lic. Dr. P. Kallweit. (Bd. 225.)

Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. Ein geschichtlicher Rückblick. Von Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)

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

Philosophie und Psychologie.

Einführung in die Philosophie. Von Prof. Dr. G. Richter. 3. Aufl. (Bd. 155.)

Die Philosophie. Einführung in die Wissenschaft, ihr Wesen und ihre Probleme. Von Realchuldirektor H. Richter. 2. Aufl. (Bd. 186.)

Aesthetik. Von Dr. W. Hamann. (Bd. 345.)

Führende Denker. Geistige Einleitung in die Philosophie. Von Prof. Dr. J. Cohn. 2. Aufl. Mit 6 Bildn. (Bd. 176.)

Entstehung der Welt und der Erde. Von Prof. Dr. W. Weinstein. 2. Aufl. (Bd. 221.)

Griechische Weltanschauung. Von Privatdoz. Dr. M. Bündt. (Bd. 329.)

Die Weltanschauungen der großen Philosophen der Neuzeit. Von weil. Prof. Dr. L. Busse. 5. Aufl. herausgegeben von Prof. Dr. R. Falckenberg. (Bd. 56.)

Die Philosophie der Gegenwart in Deutschland. Eine Charakteristik ihrer Hauptrichtungen. Von Prof. Dr. O. Kühlwe. 5. Aufl. (Bd. 41.)

Rousseau. Von Prof. Dr. P. Hensel. 2. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 180.)

Immanuel Kant. Darstellung und Würdigung. Von Prof. Dr. O. Kühlwe. 3. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 146.)

Schopenhauer. Seine Persönlichkeit, seine Lehre, seine Bedeutung. Von Realchuldirektor H. Richter. 2. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 81.)

Herrbarts Lehren und Leben. Von Pastor O. Flügel. Mit 1 Bildn. (Bd. 164.)

Herbert Spencer. Von Dr. A. Schwarze. Mit 1 Bildn. (Bd. 245.)

Aufgaben und Ziele des Menschenlebens. Von Dr. J. Ubold. 3. Aufl. (Bd. 12.)

Prinzipien der Ethik. Von E. Wentzsch. (Bd. 397.)

Sittliche Lebensanschauungen der Gegenwart. Von weil. Prof. Dr. O. Kinn. 2. Aufl. (Bd. 177.)

Das Problem der Willensfreiheit. Von Prof. Dr. G. J. Vipp. (Bd. 383.)

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.)

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

Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trümner. (Bd. 199.)

Literatur und Sprache.

Die Sprachstämme des Erdkreises. Von weil. Prof. Dr. F. N. Finck. (Bd. 267.)

Die Haupttypen des menschlichen Sprachbaues. Von weil. Prof. Dr. F. N. Finck. (Bd. 268.)

Ametorik. 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.)

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

Minnesang. Von Dr. J. W. Bruinier. (Bd. 404.)

Das deutsche Volkslied. Über Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges. Von Dr. J. W. Bruinier. 4. Aufl. (Bd. 7.)

Aus Natur und Geisteswelt.

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

- Die deutsche Volksage. Von Dr. O. Bödeker. (Bd. 262.) gestellt von Prof. Dr. G. Witkowski.
Das Theater. Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altertum bis auf die Gegenwart. Von Dr. Chr. Gaehde. 2. Aufl. Mit 20 Abb. (Bd. 230.) 4. Aufl. Mit 1 Bildn. Hebbels. (Bd. 51.) Deutsche Romantik. Von Prof. Dr. O. Walzel. 2. Aufl. (Bd. 232.) Friedrich Hebbel. Von Dr. A. Schapire-Neurath. Mit 1 Bildn. Hebbels. (Bd. 238.) Das Drama. Von Dr. V. Busse. Mit Abbildungen. 2 Bde. (Bd. 287/288.) Gerhart Hauptmann. Von Prof. Dr. G. Süller-Gebbing. Mit 1 Bildn. Gerhart Hauptmanns. (Bd. 283.) Bd. I: Von der Antike zum französischen Klassizismus. (Bd. 287.) Shakespeare und seine Zeit. Von Prof. Dr. E. Siever. Mit 3 Taf. u. 3 Terti. 2. Aufl. (Bd. 185.) Bd. II: Von Berailles bis Weimar. (Bd. 288.) Byzantinische Charakterköpfe. Von Dr. K. Dietrich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.) Geschichte der deutschen Lyrik seit Claudius. Von Dr. H. Spiero. (Bd. 254.) Der französische Roman und die Novelle. Von O. Flate. (Bd. 277.) Geschichte der deutschen Frauendichtung seit 1800. Von Dr. H. Spiero. (Bd. 300.) Henrik Ibsen. Björnsterne Björnson und ihre Zeitgenossen. Von weil. Prof. Dr. B. Kahle. Mit 7 Bildn. (Bd. 193.) Lessing. Von Dr. Ch. Schrempp. (Bd. 403.) (In Vorber.)

Schiller. Von Prof. Dr. Th. Biegler. Mit Bildnis Schillers. 2. Aufl. (Bd. 74.) Das deutsche Drama des neunzehnten Jahrhunderts. In seiner Entwicklung dar-

Kunst und Musik.

- Von und Leben der bildenden Kunst. Von Dir. Prof. Dr. Th. Volbehr. Mit 44 Abb. (Bd. 68.) Albrecht Dürer. Von Dr. R. Wustmann. Mit 33 Abb. (Bd. 97.) Die Ästhetik. Von Dr. R. Hamann. (Bd. 345.) Rembrandt. Von Prof. Dr. P. Schubrina mit 50 Abb. (Bd. 158.) Die Entwicklungsgeschichte der Stile in der bildenden Kunst. Von Dr. E. Cohn-Wiener. 2 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 317/318.) Niederländische Malerei im 17. Jahrhundert. Von Dr. H. Janzen. Mit zahlr. Abbild. (Bd. 373.) Band I: Von der Antike bis zur Gotik. Mit 57 Abb. (Bd. 317.) Der Impressionismus. Von Prof. Dr. B. Lazar. Mit 32 Abb. u. einer farbigen Tafel. (Bd. 395.) Band II: Von der Renaissance bis zur Gegenwart. Mit 31 Abb. (Bd. 318.) Ostasiatische Kunst und ihr Einfluß auf Europa. Von Direktor Prof. Dr. R. Graul. Mit 49 Abb. (Bd. 87.) Die Blütezeit der griechischen Kunst im Spiegel der Relieffarzophore. Eine Einführung in die griechische Plastik. Von Dr. H. Wachtler. Mit 8 Taf. u. 32 Abb. (Bd. 272.) Kunstsplege in Haus und Heimat. Von Superintendent Richard Bürkner. 2. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 77.) Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Prof. Dr. A. Matthaei. 3. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 8.) Geschichte der Gartenkunst. Von Reg.-Baum. Chr. Rand. Mit 41 Abb. (Bd. 274.) 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 Grundlagen der Konkunst. Versuch einer genetischen Darstellung der allgemeinen Musikkunst. Von Prof. Dr. H. Mettsch. (Bd. 178.) Die Renaissancearchitektur in Italien. Von Dr. P. Frankl. Mit 12 Tafeln und 27 Textabbildungen. (Bd. 381.) Einführung in das Wesen der Musik. Von Prof. C. R. Hennig. (Bd. 119.) Die deutsche Illustration. Von Prof. Dr. R. Kauffisch. Mit 35 Abb. (Bd. 44.) Musikalische Harmonik. Von S. G. Kallenberg. (Bd. 386.) Deutsche Kunst im täglichen Leben bis zum Schlusse des 18. Jahrhunderts. Von Prof. Dr. B. Haendke. Mit 63 Abb. (Bd. 198.) Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der Tasteninstrumente. Von Prof. Dr. O. Biele. (Bd. 325.) Michelangelo. Eine Einführung in das Verständnis seiner Werke. Von E. Hildebrandt. Mit 44 Abb. (Bd. 392.) Geschichte der Musik. Von Dr. Fr. Spiro. (Bd. 143.) Haydn, Mozart, Beethoven. Von Prof. Dr. C. Krebs. Mit 4 Bildn. (Bd. 92.) Die Blütezeit der musikalischen Romantik in Deutschland. Von Dr. E. Stiel. Mit 1 Silhouette. (Bd. 239.)

Aus Natur und Geisteswelt.

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

Das Kunstwerk Richard Wagners. Von Dr. E. Istele. Mit 1 Bildnis R. Wagners. (Bd. 330.) Das moderne Orchester in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. G. Volbach.

lung. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit Partiturbeisp. und 3 Tafeln. (Bd. 308.) Die Instrumente des Orchesters. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. (Bd. 384.)

Geschichte und Kulturgeschichte.

- Das Altertum im Leben der Gegenwart. Von Prof. Dr. P. Cauer. (Bd. 356.) Deutsche Volkstrachten. Von Pfarrer C. Spiegel. (Bd. 342.) Kulturbilder aus griechischen Städten. Von Oberlehrer Dr. E. Giebarth. 2. Aufl. Mit 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 181.) Familienforschung. Von Dr. E. Devrient. (Bd. 350.) Antike Wirtschaftsgeschichte. Von Dr. D. Neurath. (Bd. 258.) Die Münze als hist. Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben. Von Prof. Dr. A. Luschin v. Ebengreuth. Mit 53 Abb. (Bd. 91.) Pompeji, eine hellenistische Stadt in Italien. Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn. 2. Aufl. Mit 62 Abb. (Bd. 114.) Das Buchgewerbe und die Kultur. Sechs Vorträge, gehalten im Auftrage des Deutschen Buchgewerbevereins. Mit 1 Abb. (Bd. 182.) Soziale Kämpfe im alten Rom. Von Privatdoz. Dr. L. Bloch. 2. Aufl. (Bd. 22.) Rom's Kampf um die Weltherrschaft. Von Prof. Dr. J. Crommeyer. (Bd. 368.) Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. O. Weise. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 4.) Byzantinische Charakterköpfe. Von Privatdoz. Dr. N. Dieterich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.) Das Zeitungswesen. Von Dr. H. Diez. (Bd. 328.) Germanische Kultur in der Urzeit. Von Prof. Dr. G. Steinhausen. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.) Der Kalender. Von Prof. Dr. W. F. Wisselius. (Bd. 69.) Mittelalterliche Kulturideale. Von Prof. Dr. B. Böbel. 2 Bde. (Bd. I: Heldenleben. Bd. II: Ritterromantik. (Bd. 292.) Das Zeitalter der Entdeckungen. Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltl. (Bd. 26.) (Bd. 293.) Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte. Von Prof. Dr. O. Weber. 2. Aufl. (Bd. 123. 124.) Deutsches Frauenleben im Wandel der Jahrhunderte. Von Dir. Dr. E. Otto. 2. Aufl. Mit 27. Abb. (Bd. 45.) Die Jesuiten. Eine historische Skizze. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 3. Aufl. (Bd. 29.) Deutsches Verfassungsrecht in geschichtlicher Entwicklung. Von Prof. Dr. E. Hubrich. 2. Aufl. (Bd. 80.) Friedrich der Große. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. Mit 2 Bildn. (Bd. 246.) Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter. Von Prof. Dr. B. Heil. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppeltafel. (Bd. 43.) Geschichte der Französischen Revolution. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. (Bd. 346.) Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland. Von Reg.-Baum. a. D. A. Erbe. Mit 59 Abb. (Bd. 117.) Napoleon I. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 195.) Das deutsche Dorf. Von R. Mielke. Mit 51 Abb. (Bd. 192.) Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrh. Von Prof. Dr. A. Th. v. Heigel. 2. Aufl. (Bd. 129.) Das deutsche Haus und sein Hausrat. Von Prof. Dr. R. Meringer. Mit 106 Abb. (Bd. 116.) Restauration und Revolution. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. 3. Aufl. (Bd. 37.) Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses. Von Reg.-Baum. Chr. Mandl. Mit 70 Abb. (Bd. 121.) Die Reaktion und die neue Ära. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 101.) Geschichte des deutschen Bauernstandes. Von Prof. Dr. R. Gerdes. Mit 21 Abb. (Bd. 320.) Vom Bund zum Reich. Neue Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 102.) Das deutsche Handwerk in seiner kulturogeschichtlichen Entwicklung. Von Dir. Dr. E. Otto. 4. Aufl. Mit 27 Abb. (Bd. 14.) 1848. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. O. Weber. 2. Aufl. (Bd. 53.) Deutsche Volksfeste und Volksriten. Von H. S. Nehm. Mit 11 Abb. (Bd. 214.)

Aus Natur und Geisteswelt.

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

- Oesterreichs innere Geschichte von 1848 bis 1907. Von Richard Charmaß. 2 Bde. 2. Aufl. Band I: Die Vorherrschaft der Deutschen. (Bd. 242.) Band II: Der Kampf der Nationen. (Bd. 243.) Geschichte der auswärtigen Politik Österreichs im 19. Jahrhundert. Von R. Charmaß. (Bd. 374.) Englands Weltmacht in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrhundert bis auf unsere Tage. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl. Mit 19 Bildn. (Bd. 174.) Geschichte der Vereinigten Staaten von Amerika. Von Prof. Dr. E. Daenell. (Bd. 147.) Die Amerikaner. Von N. M. Butler. Deutsche Ausg. bes. von Prof. Dr. W. Bassowksi. (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. Meyer. Mit 3 Abb. (Bd. 271.)
- Der Seekrieg. Eine geschichtliche Entwicklung vom Zeitalter der Entdeckungen bis zur Gegenwart. Von A. Freiherrn von Malzahn, Vice-Admiral a. D. (Bd. 99.) Geschichte des Welthandels. Von Prof. Dr. M. G. Schmidt. 2. Aufl. (Bd. 118.) Geschichte des deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 237.) Geschichte des deutschen Schulwesens. Von Oberrealschuldirektor Dr. A. Knabe. (Bd. 85.) Der Leipziger Student von 1409 bis 1909. Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.) Die moderne Friedensbewegung. Von A. H. Fries. (Bd. 157.)

Rechts- und Staatswissenschaft. Volkswirtschaft.

- Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches. Von Prof. Dr. E. Loening. 4. Aufl. (Bd. 34.) Deutsches Verfassungsrecht in geschichtlicher Entwicklung. Von Prof. Dr. Ed. Hubrich. 2. Aufl. (Bd. 80.) Moderne Rechtsprobleme. Von Prof. Dr. J. Kohler. 3. Aufl. (Bd. 128.) Die Psychologie des Verbrechers. Von Dr. P. Politz. Mit 5 Diagrammen. (Bd. 248.) Strafe und Verbrechen. Von Dr. P. Politz. (Bd. 323.) Verbrechen und Abergläub. Stizzen aus der volkskundlichen Kriminalistik. Von Dr. A. Hellwig. (Bd. 212.) Das deutsche Zivilprozeßrecht. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 315.) Ehe und Ehrerecht. Von Prof. Dr. L. Wahrmund. (Bd. 115.) Der gewerbliche Rechtsschutz in Deutschland. Von Patentanw. B. Tolksdorf. (Bd. 138.) Die Reichsversicherung. Die Kranken-, Invaliden-, Hinterbliebenen-, Unfall- und Angestelltenversicherung nach der Reichsversicherungsordnung und dem Versicherungsgesetz für Angestellte. Von Landesversicherungssachseffor H. Seelmann. (Bd. 380.) Die Miete nach dem B. G.-G. Ein Handbüchlein für Juristen, Mieter und Vermieter. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 194.) Das Wahlrecht. Von Reg.-Rat Dr. O. Boenigen. (Bd. 249.) Die Jurisprudenz im häuslichen Leben. Für Familie und Haushalt dargestellt. Von Rechtsanw. P. Bienengräber. 2. Aufl. (Bd. 219. 220.) Finanzwissenschaft. Von Prof. Dr. S. P. Altman. (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. Muddle. 2 Bände. (Bd. 269. 270.) Band I: Der rationale Sozialismus. (Bd. 269.) Band II: Boudhon und der entwicklungsgeschichtliche Sozialismus. (Bd. 270.) Geschichte des Welthandels. Von Prof. Dr. M. G. Schmidt. 2. Aufl. (Bd. 118.) Geschichte des deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 237.) Deutschlands Stellung in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. P. Arndt. 2. Aufl. (Bd. 179.) Deutsches Wirtschaftsleben. Auf geographischer Grundlage geschildert. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 3. Aufl. Neubearb. von Dr. H. Reinlein. (Bd. 42.) Die Ostmark. Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte. Von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.) Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im letzten Jahrh. Von Prof. Dr. P. Pohle. 3. Aufl. (Bd. 57.) Das Hotelwesen. Von Paul Damme-Tierné. Mit 30 Abb. (Bd. 331.) Das deutsche Handwerk. Von Dir. Dr. E. Otto. 4. Aufl. Mit 27 Abb. (Bd. 14.) Die deutsche Landwirtschaft. Von Dr. W. Claassen. Mit 15 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 215.) Geschichte des deutschen Bauernstandes. Von Prof. Dr. H. Gerdes. Mit 21 Abb. (Bd. 320.)

Aus Natur und Geisteswelt.

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

- Innere Kolonisation. Von A. Brenning. (Bd. 261.) Die Münze als histor. Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben. Von Prof. Dr. A. Buschin v. Ebengreuth. Mit 55 Abb. (Bd. 91.)
- Das Deutschtum im Ausland. Von Prof. Dr. R. Hoeniger. (Bd. 402.) Die moderne Frauenbewegung. Ein geschichtlicher Überblick. Von Dr. K. Schimacher. 2. Aufl. (Bd. 67.)
- Antike Wirtschaftsgeschichte. Von Dr. O. Neurath. (Bd. 258.) Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben. Von Prof. J. L. Laughlin. Mit 9 Graph. Darst. (Bd. 127.) Die Frauenarbeiter. Ein Problem des Kapitalismus. Von Prof. Dr. R. Wilbrandt. (Bd. 106.)
- Die Japaner in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. A. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.) Grundzüge des Versicherungswesens. Von Prof. Dr. A. Manes. 2. Aufl. (Bd. 105.)
- Die Gartenstadtbewegung. Von Generalsekr. H. Kamppfmeier. Mit 43 Abb. 2. Aufl. (Bd. 259.) Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800—1900 (fortgeführt bis zur Gegenwart). Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenschiffahrten, ihre Entwicklung und Verwaltung sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft. Von Prof. Dr. W. Vogel. 3. Aufl. (Bd. 15.)
- Das internationale Leben der Gegenwart. Von A. H. Fried. Mit 1 Tafel. (Bd. 226.) Das Postwesen, seine Entwicklung und Bedeutung. Von Postr. J. Bruns. (Bd. 165.)
- Bevölkerungslehre. Von Prof. Dr. M. Haushofer. (Bd. 50.) Die Telegraphie in ihrer Entwicklung und Bedeutung. Von Postr. J. Bruns. Mit 4 Fig. (Bd. 183.)
- Arbeiter- und Arbeiterversicherung. Von Prof. Dr. O. v. Zwiedinek-Südenhorst. 2. Aufl. (Bd. 78.) Deutsche Schiffahrt und Schiffahrtspolitik der Gegenwart. Von Prof. Dr. K. Thiele. (Bd. 169.)
- Von Rechtsanwalt Dr. M. Strauß. (Bd. 361.)
- Das Recht der kaufmännischen Angestellten. Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)
- Die Konsumgenossenschaft. Von Prof. Dr. G. Maier. (Bd. 398.)

Erdkunde.

- Mensch und Erde. Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von weil. Prof. Dr. A. Kirchhoff. 3. Aufl. (Bd. 31.) Die Alpen. Von H. Reishauer. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 276.)
- Die Polarforschung. Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Von Prof. Dr. A. Hassert. 2. Aufl. Mit 6 Karten. (Bd. 38.) 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 Erdkunde dargestellt. Von Dr. Chr. G. Barth. (Bd. 290.)
- Die Städte. Geographisch betrachtet. Von Prof. Dr. A. Hassert. Mit 21 Abb. (Bd. 163.) Australien und Neuseeland. Land, Leute und Wirtschaft. Von Prof. Dr. R. Schaeffer. (Bd. 366.)
- Wirtschaftl. Erdkunde. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 2. Aufl. Bearbeitet von Prof. Dr. K. Dove. (Bd. 122.) Der Orient. Eine Landeskunde. Von C. Vanse. 3 Bde. Mit zahlr. Abb. u. Karten. (Bd. 277. 278. 279.)
- Politische Geographie. Von Dr. E. Schöne. (Bd. 353.) Band I: Die Atlasländer. Marocco, Algerien, Tunesien. Mit 15 Abb., 10 Kartenskizzen, 3 Diagr. u. 1 Tafel. (Bd. 277.)
- Die deutschen Volksstämme und Landschaften. Von Prof. Dr. O. Weise. 4. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 16.) 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.)
- Östereigebiet. Von Privatdozent Dr. G. Braun (Bd. 367.)

Anthropologie. Heilwissenschaft und Gesundheitslehre.

- Die Eiszeit und der vorgeschichtliche Mensch. Von Prof. Dr. G. Steinmann. Mit 24 Abb. (Bd. 302.) schengeschlechts. Von Dr. A. Heilborn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 62.)
- Mensch und Erde. Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von weil. Prof. Dr. A. Kirchhoff. 3. Aufl. (Bd. 31.) Die moderne Heilwissenschaft. Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Bierstadt. Deutsch von Dr. S. Ebels. (Bd. 25.)
- Der Mensch der Urzeit. Vier Vorlesungen aus der Entwicklungsgeschichte des Men-
- hypnotismus und Suggestion. Von Dr. F. Trömlner. (Bd. 199.)

Aus Natur und Geisteswelt.

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

- Der Arzt.** Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenwart. Ein Leitfaden der sozialen Medizin. Von Dr. med. M. Fürtst. (Bd. 265.)
- Der Abergläubische in der Medizin und seine Gefahr für Gesundheit und Leben.** Von Prof. Dr. D. von Hansemann. (Bd. 83.)
- Arzneimittel und Genussmittel.** Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.)
- Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers.** Von Prof. Dr. H. Sachs. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 32.)
- Die Anatomie des Menschen.** Von Prof. Dr. K. v. Barthélémy. 5 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 201. 202. 203. 204. 263.)
- I. Teil: Allg. Anatomie und Entwicklungsgeschichte. Mit 69 Abb. (Bd. 201.) II. Teil: Das Skelett. Mit 53 Abb. (Bd. 202.) III. Teil: Das Muskel- und Gefäßsystem. Mit 68 Abb. (Bd. 203.) IV. Teil: Die Eingeweide (Darm, Atmungs-, Harn- u. Geschlechtsorgane). Mit 38 Abb. (Bd. 204.)
- V. Teil: Statik und Mechanik des menschlichen Körpers. Mit 20 Abb. (Bd. 263.)
- Die Chirurgie unserer Zeit.** Von Prof. Dr. Fehrer. Mit 52 Abb. (Bd. 33.)
- Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre.** Von weil. Prof. Dr. H. Buchner. 3. Aufl. besorgt von Prof. Dr. M. v. Gründer. Mit 26 Abb. (Bd. 1.)
- Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen.** Von Prof. Dr. H. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)
- Das menschliche Gebiß, seine Erkrankung und Pflege.** Von Zahnnarzt Fr. Jäger. Mit 24 Abb. (Bd. 229.)
- Körperliche Verbildungen im Kindesalter und ihre Verhütung.** Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)
- Schulhygiene.** Von Prof. Dr. L. Bürgerstein. 3. Aufl. Mit 43 Fig. (Bd. 96.)
- Vom Nervensystem, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele in gesundem und krankem Zustande.** Von Prof. Dr. R. Bander. 2. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 48.)
- Die fünf Sinne des Menschen.** Von Prof. Dr. J. K. Kreibig. 2. Aufl. Mit 30 Abb. (Bd. 27.)
- Das Auge des Menschen und seine Gesundheitspflege.** Von Prof. Dr. med. G. Abelsoff. Mit 15 Abb. (Bd. 149.)
- Die menschliche Stimme und ihre Hygiene.** Von Prof. Dr. P. H. Gerber. 2. Aufl. Mit 20 Abb. (Bd. 136.)
- 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.)
- Die Lungenkrankheit, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung.** Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 1 Tafel und 8 Figuren. (Bd. 47.)
- Die krankheitserregenden Bakterien.** Von Privatdoz. Dr. M. Voehlein. Mit 33 Abb. (Bd. 307.)
- Geisteskrankheiten.** Von Anstaltsobertarzt Dr. G. Ilberg. (Bd. 151.)
- Krankenpflege.** Von Chefarzt Dr. B. Leid. (Bd. 152.)
- Gesundheitslehre für Frauen.** Von weil. Privatdoz. Dr. R. Sticher. Mit 13 Abb. (Bd. 171.)
- Der Säugling, seine Ernährung und seine Pflege.** Von Dr. W. Kaupe. Mit 17 Abb. (Bd. 154.)
- Der Alkoholismus.** Von Dr. G. B. Gründer. Mit 7 Abb. (Bd. 103.)
- Ernährung und Volksnahrungsmittel.** Von weil. Prof. Dr. J. Frenzel. 2. Aufl. Neu bearb. von Geh. Rat Prof. Dr. N. Zunz. Mit 7 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 19.)
- Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit.** Von Prof. Dr. R. Bander. 3. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 13.)

Naturwissenschaften. Mathematik.

- Naturwissenschaften u. Mathematik im klassischen Altertum.** Von Prof. Dr. Joh. L. Heidelberg. (Bd. 370.)
- Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre.** Von Prof. Dr. F. Auerbach. 3. Aufl. Mit 79 Fig. (Bd. 40.)
- Die Lehre von der Energie.** Von Dr. A. Stein. Mit 13 Fig. (Bd. 257.)
- Moleküle — Atome — Weltäther.** Von Prof. Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 58.)
- Die großen Physiker und ihre Leistungen.** Von Prof. Dr. F. A. Schulze. Mit 7 Abb. (Bd. 324.)
- Werdegang der modernen Physik.** Von Dr. H. Keller. (Bd. 343.)
- Einführung in die Experimentalphysik.** Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 90 Abb. (Bd. 371.)
- Das Licht und die Farben.** Von Prof. Dr. L. Graeb. 3. Aufl. Mit 117 Abb. (Bd. 17.)
- Sichtbare und unsichtbare Strahlen.** Von Prof. Dr. R. Börnstein u. Prof. Dr. W. Marckwald. 2. Aufl. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)
- Die optischen Instrumente.** Von Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. Mit 84 Abb. (Bd. 88.)
- Das Auge und die Brille.** Von Dr. M. von Rohr. Mit 84 Abb. u. 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)
- Spektroscopie.** Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abb. (Bd. 284.)

Aus Natur und Geisteswelt.

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

- Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung. Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abb. (Bd. 35.)
- Das Stereoskop und seine Anwendungen. Von Prof. Th. Hartwig. Mit 40 Abb. u. 19 Taf. (Bd. 135.)
- Die Lehre von der Wärme. Von Prof. Dr. R. Börsenstein. Mit 33 Abb. (Bd. 172.)
- Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von Dr. H. Alt. Mit 45 Abb. (Bd. 311.)
- Luft, Wasser, Licht und Wärme. Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimental-Chemie. Von Prof. Dr. St. Blochmann. 3. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)
- Das Wasser. Von Privatdoz. Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)
- Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe. Von Dr. B. Bavinck. Mit 7 Fig. (Bd. 187.)
- Die Erscheinungen des Lebens. Von Prof. Dr. H. Miehe. Mit 40 Fig. (Bd. 130.)
- Abstammungslehre und Darwinismus. Von Prof. Dr. R. Hesse. 4. Aufl. Mit 37 Fig. (Bd. 39.)
- Experimentelle Abstammungs- und Vererbungslehre. Von Dr. H. Lehmann. (Bd. 379.)
- Experimentelle Biologie. Von Dr. C. Theling. Mit Abb. 2 Bde. Band I: Experimentelle Zellsforschung. (Bd. 336.) Band II: Regeneration, Transplantation und verwandte Gebiete. (Bd. 337.)
- Einführung in die Biochemie. Von Prof. Dr. W. Löb. (Bd. 352.)
- Der Befruchtungsvorgang, sein Wesen und seine Bedeutung. Von Dr. C. Teichmann. 2. Aufl. Mit 7 Abb. und 4 Doppeltaf. (Bd. 70.)
- Das Werden und vergehen der Pflanzen. Von Prof. Dr. P. Gisevius. Mit 24 Abb. (Bd. 173.)
- Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen. Von Prof. Dr. E. Küster. Mit 38 Abb. (Bd. 112.)
- Unsere wichtigsten Kulturspflanzen (die Getreidegräser). Von Prof. Dr. K. Giesen-hagen. 2. Aufl. Mit 38 Fig. (Bd. 10.)
- Die fleischfressenden Pflanzen. Von Dr. A. Wagner. Mit Abb. (Bd. 344.)
- Der deutsche Wald. Von Prof. Dr. H. 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. Schmitthener. (Bd. 332.)
- Der Obstbau. Von Dr. C. Voges. Mit 13 Abb. (Bd. 107.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Blümer. Von Prof. Dr. U. Dammer. (Bd. 359.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Garten. Von Prof. Dr. U. Dammer. (Bd. 360.)
- Geschichte der Gartenkunst. Von Reg. Baum-Chr. Randt. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)
- Kolonialbotanik. Von Prof. Dr. F. Tobler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
- Kaffee, Tee, Kacao und die übrigen natürlichen Getränke. Von Prof. Dr. A. Wiesler. Mit 24 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 132.)
- Die Milch und ihre Produkte. Von Dr. A. Reitz. (Bd. 326.)
- Die Pflanzenwelt des Mikroskops. Von Bürgerschullehrer E. Neukauf. 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. K. 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 weil. Privatdoz. Dr. K. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)
- Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der Wirbeltiere. Von Prof. Dr. W. Lubosch. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)
- Die Stammesgeschichte unserer Haustiere. Von Prof. Dr. C. Keller. Mit 28 Fig. (Bd. 252.)
- Die Fortpflanzung der Tiere. Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)
- Tierzüchtung. Von Dr. G. Wilsdorf. (Bd. 369.)
- Deutsches Vogelleben. Von Prof. Dr. W. Voigt. (Bd. 221.)
- Vogelzug und Vogelschutz. Von Dr. W. R. Gerdts. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)
- Korallen und andere gezeitinhabende Tiere. Von Prof. Dr. W. May. Mit 455 Abb. (Bd. 231.)
- Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere. Von Prof. Dr. O. Maass. Mit 11 Karten u. Abb. (Bd. 139.)
- Die Bakterien. Von Prof. Dr. E. Gutezeit. Mit 13 Abb. (Bd. 233.)
- Die Welt der Organismen. In Entwicklung und Zusammenhang dargestellt. Von Prof. Dr. K. 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. O. Jachariás. 2. Aufl. Mit 49 Abb. (Bd. 156.)

Aus Natur und Geisteswelt.

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

- Meeresforschung und Meeresleben. Von Dr. O. Janson. 2. Aufl. Mit 41 Fig. (Bd. 30.)
- Das Aquarium. Von C. W. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 33.)
- 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. J. Scheiner. 3. Aufl. Mit 26 Fig. (Bd. 24.)
- Entstehung der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft. Von Prof. Dr. B. Weinsteins. 2. Aufl. (Bd. 223.)
- Aus der Vorzeit der Erde. Von Prof. Dr. Fr. Frech. In 6 Bdn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abbildungen. (Bd. 207—211. 61.)
- Vand I: Gufane einst und jetzt. Mit 80 Abb. (Bd. 207.) Vand II: Gebirgsbau und Erdbeben. Mit 57 Abb. (Bd. 208.)
- Vand III: Die Arbeit des fließenden Wassers. Mit 51 Abb. (Bd. 209.) Vand IV: Die Arbeit des Ozeans und die chemische Tätigkeit des Wassers im allgemeinen. Mit 1 Titelsbild und 51 Abb. (Bd. 210.)
- Vand V: Kohlenbildung und Klima der Vorzeit. (Bd. 211.) Vand VI: Gletscher einst und jetzt. 2. Aufl. (Bd. 61.)
- Die Metalle. Von Prof. Dr. A. Scheid. 2. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 29.)
- Natrium und Radioaktivität. Von Dr. M. Gentner schwer. (Bd. 405.)
- Das Salz. Von Dr. C. Riemann. (Bd. 407.)
- Unsere Kohlen. Von Bergassessor Kulul. (Bd. 396.)
- Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. S. Oppenheim im. 2. Aufl. Mit 24 Abb. (Bd. 110.)
- Probleme der modernen Astronomie. Von Prof. Dr. S. Oppenheim. (Bd. 355.)
- Astronomie in ihrer Bedeutung für das praktische Leben. Von Prof. Dr. A. Marcus. Mit 26 Abb. (Bd. 378.)
- Die Sonne. Von Dr. A. Krause. Mit zahlreichen Abb. (Bd. 357.)
- Der Mond. Von Prof. Dr. J. Franz. Mit 31 Abb. (Bd. 90.)
- Die Planeten. Von Prof. Dr. B. Peter. Mit 18 Fig. (Bd. 240.)
- Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. P. Granz. 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. Binomialsatz- und Rentenrechnung. Komplexe Zahlen. Binomischer Lehrsatz. 3. Aufl. Mit 21 Fig. (Bd. 205.)
- Praktische Mathematik. Von Dr. R. Neendorff. I. Teil: Graphisches u. numerisches Rechnen. Mit 62 Figuren und 1 Tafel. (Bd. 341.)
- Planimetrie zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. P. Granz. Mit 99 Fig. (Bd. 340.)
- Maße und Messen. Von Dr. W. Bloed. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)
- Einführung in die Infinitesimalrechnung mit einer historischen Übersicht. Von Prof. Dr. G. Kowalewski. 2. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 197.)
- Differential- und Integralrechnung. Von Dr. M. Lindon. (Bd. 387.)
- 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 C. Lassers und P. Morphy's, 1 Schachbretttafel und 43 Darst. vonübungsspielen. (Bd. 281.)

Angewandte Naturwissenschaft. Technik.

- Am sausenden Webstuhl der Zeit. Von Prof. Dr. W. Baunhardt. 3. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 23.)
- Bilder aus der Ingenieurtechnik. Von Baurat A. Merdel. Mit 43 Abb. (Bd. 60.)
- Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Baurat A. Merdel. 2. Aufl. Mit 55 Abb. (Bd. 28.)
- Der Eisenbetonbau. Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)
- Das Eisenhüttenwesen. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. H. Wedding. 4. Aufl. Mit 15 Fig. (Bd. 20.)
- Die Schmucksteine und die Schmuckstein-Industrie. Von Dr. A. Eppler. Mit 64 Abb. (Bd. 376.)
- Die Metalle. Von Prof. Dr. A. Scheid. 2. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 29.)
- Unsere Kohlen. Von Bergassessor Kulul. (Bd. 396.)
- Mechanik. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Hering. 3 Bde. (Bd. 303/305.)
- Vand I: Die Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abb. (Bd. 303.) Vand II: Die Mechanik der flüssigen Körper. Mit 34 Abb. (Bd. 304.) Vand III: Die Mechanik der gasförmigen Körper. (In Vorb.) (Bd. 305.)
- Maschinelemente. Von Prof. R. Water. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)

Aus Natur und Geisteswelt.

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

Hebezeuge. Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Prof. R. Bater. Mit 67 Abb. (Bd. 196.)

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

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

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

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

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

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

Die Eisenbahnen, ihre Entstehung und gegenwärtige Verbreitung. Von Prof. Dr. F. Hahn. Mit zahlreichen Abb. (Bd. 71.)

Die technische Entwicklung der Eisenbahnen der Gegenwart. Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinsp. E. Biedermann. 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. A. Blau. 2. Aufl. Mit 83 Abb. (Bd. 166.)

Grundlagen der Elektrotechnik. Von Dr. A. Roth. Mit 72 Abb. (Bd. 391.)

Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Von Telegrapheninspektor H. Brück. Mit 58 Abb. (Bd. 235.)

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

Die Funkentelegraphie. Von Oberpostpraktifant H. Thurn. Mit 53 Illustr. 2. Aufl. (Bd. 167.)

Astronomie in ihrer Bedeutung für das tägliche Leben. Von Professor Dr. A. Marcuse. Mit 26 Abb. (Bd. 378.)

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

Das Kriegsschiff. Von Geh. Marinebaudrat Krieger. (Bd. 889.)

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

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

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

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

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

Die Uhr. Von Reg.-Bauführer a. D. H. Koch. Mit 47 Abb. (Bd. 216.)

Wie ein Buch entsteht. Von Prof. A. W. Unger. 3. Aufl. Mit 7 Taf. u. 26 Abb. (Bd. 175.)

Einführung in die chemische Wissenschaft. Von Prof. Dr. W. Böb. Mit 16 Fig. (Bd. 264.)

Bilder aus der chemischen Technik. Von Dr. A. Müller. Mit 24 Abb. (Bd. 191.)

Der Luftstoff und seine Bewertung. Von Prof. Dr. R. Kaiser. Mit 13 Abb. (Bd. 313.)

Agrarforschung. Von Dr. P. Kräisch. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)

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

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

Chemie und Technologie der Sprengstoffe. Von Prof. Dr. R. Biedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)

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

Die Kinematographie. Von Dr. H. Lehmann. (Bd. 358.)

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

Die Naturwissenschaften im Haushalt. Von Dr. J. Vongardt. 2 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 125. 126.)

I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie? Mit 31 Abb. (Bd. 125.) II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung? Mit 17 Abb. (Bd. 126.)

Chemie in Küche und Haus. Von weil. Prof. Dr. G. Abel. 2. Aufl. von Dr. J. Klein. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)

DIE KULTUR DER GEGENWART

— IHRE ENTWICKLUNG UND IHRE ZIELE —

HERAUSGEGEBEN VON PROF. PAUL HINNEBERG

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

TEIL I u. II: Die geisteswissenschaftlichen Kulturgebiete.

Die allgemeinen Grundlagen der Kultur der Gegenwart.

Geh. M. 18.—, in Leinw. geb. M. 20.—, in Halbf. geb. M. 22.—.

[2. Aufl. 1912. Teil I, Abt. I.]

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

Die Religionen des Orients und die altgermanische Religion.

Geh. ca. M. 7.—, in Leinw. geb. ca. M. 9.—, in Halbf. geb. ca. M. 11.—. [2. Aufl. 1913. Unter der Presse. Teil I, Abt. 3, I.]

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

Geschichte der christlichen Religion. Geh. M. 18.—, in Leinw. geb.

M. 20.—, in Halbf. geb. M. 22.—. [2. Aufl. 1909. Teil I, Abt. 4, I.]

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

Systematische christliche Religion. Geh. M. 6.60, in Leinw. geb.

M. 8.—, in Halbf. geb. M. 10.—. [2. Aufl. 1909. Teil I, Abt. 4, II.]

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

Allgemeine Geschichte der Philosophie. Geh. ca. M. 12.—, in Leinwand geb. ca. M. 14.—, in Halbfanz geb. ca. M. 16.—.
[2. Aufl. 1913. Unter der Presse. Teil I, Abt. 5.]

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

Systematische Philosophie. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—, in Halbfanz geb. M. 14.—. [2. Aufl. 1908. Teil I, Abt. 6.]

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

Die orientalischen Literaturen. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—, in Halbfanz geb. M. 14.—. [1906. Teil I, Abt. 7.]

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

Die griech. u. latein. Literatur u. Sprache. Geh. M. 12.—, in Leinwand geb. M. 14.—, in Halbfanz geb. M. 16.—. [3. Aufl. 1912. Teil I, Abt. 8.]

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

Die osteuropäischen Literaturen u. die slawisch. Sprachen. Geh. M. 10.—, in Lnw. geb. M. 12.—, in Hlbfr. geb. M. 14.—. [1908. Teil I, Abt. 9.]

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

Die romanischen Literaturen und Sprachen. Mit Einschluß des Keltischen. Geh. M. 12.—, in Leinwand geb. M. 14.—, in Halbfanz geb. M. 16.—. [1908. Teil I, Abt. 11, I.]

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

Allgemeine Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte. I. Hälfte. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—, in Halbfanz geb. M. 14.—. [1911. Teil II, Abt. 2, I.]

Inhalt: Einleitung. Die Anfänge der Verfassung und der Verwaltung und die Verfassung und Verwaltung der primitiven Völker: A. Vierkandt. A. Die orientalische Verfassung

und Verwaltung. 1. Die Verfassung und Verwaltung des orientalischen Altertums: L. Wenger. 2. Die islamische Verfassung und Verwaltung: M. Hartmann. 3. Die Verfassung und Verwaltung Chinas: O. Franke. 4. Die Verfassung und Verwaltung Japans: K. Rathgen. — B. Die europäische Verfassung u. Verwaltung (1. Hälfte). 1. Die Verfassung u. Verwaltung des europäischen Altertums: L. Wenger. 2. Die Verfassung u. Verwaltung der Germanen und des Deutschen Reiches bis z. Jahre 1806: A. Luschin v. Ebengreuth.

Staat u. Gesellschaft des Orients. [Teil II, Abt. 3 erscheint 1913.]

Inhalt: I. Anfänge des Staates und der Gesellschaft. Staat und Gesellschaft der primitiven Völker: A. Vierkandt. II. Staat und Gesellschaft des Orients im Altertum, Mittelalter und der Neuzeit. 1. Altertum: G. Maspero. 2. Mittelalter und Neuzeit. a) Staat und Gesellschaft Nordafrikas und Westasiens (die islamischen Völker): M. Hartmann. b) Staat und Gesellschaft Ostasiens. c) Staat und Gesellschaft Chinas: O. Franke. f) Staat und Gesellschaft Japans: K. Rathgen.

Staat u. Gesellschaft d. Griechen u. Römer. Geh. M. 8.—, in Leinw.

geb. M. 10.—, in Halbf. geb. M. 12.—. [1910. Teil II, Abt. 4, I.]

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

Staat und Gesellschaft der neueren Zeit. Geh. M. 9.—, in Leinw.

geb. M. 11.—, in Halbf. geb. M. 13.—. [1908. Teil II, Abt. 5, I.]

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

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

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

Systematische Rechtswissenschaft. Geh. ca. M. 14.—, in Leinw. geb. ca. M. 16.—, in Halbf. geb. ca. M. 18.—. [2. Aufl.

1913. Unter der Presse. Teil II, Abt. 8.]

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

Allgemeine Volkswirtschaftslehre. Von W. Lexis. Geh. ca.

M. 7.—, in Leinw. geb. ca. M. 9.—, in Halbf. geb. ca. M. 11.—.

[2. Aufl. 1913. Teil II, Abt. 10, I.]

In Vorbereitung befinden sich noch:

Teil I, Abt. 2: Die Aufgaben und Methoden der Geisteswissenschaften.

I. Die Geisteswissenschaften u. ihre Methoden im allgemeinen. II. Erkenntnismittel u. Hilfsdisziplinen der Geisteswissenschaften.

Teil I, Abt. 3, II: Die Religionen des klassischen Altertums.

Teil I, Abt. 10: Die deutsche Literatur und Sprache.

Teil I, Abt. 11, II: Englische Literatur und Sprache, skandinavische Literatur und allgemeine Literaturwissenschaft.

Teil I, Abt. 12: Musik.

I. Geschichte der Musik u. der Musikkissenschaft. II. Allgemeine Musikkissenschaft.

Teil I, Abt. 13: Die orientalische Kunst. Die europäische Kunst des Altertums.

I. Die Anfänge der Kunst und die Kunst der primitiven Völker. II. Die orientalische Kunst. III. Die europäische Kunst des Altertums.

Teil I, Abt. 14: Die europäische Kunst des Mittelalters und der Neuzeit. Allgemeine Kunsthistorie.

Teil II, Abt. 1: Völker-, Länder- u. Staatenkunde. (Die anthropogeograph Grundlagen.)

Teil II, Abt. 2, II: Allgem. Verfassungs- u. Verwaltungsgeschichte. 2. Hälfte.

Teil II, Abt. 4, II: Staat und Gesellschaft Europas im Altertum und Mittelalter. I. Osteuropa (Byzanz). II. Westeuropa (Die romanisch-germanischen Völker).

Teil II, Abt. 5, II: Staat und Gesellschaft der neuesten Zeit.

I. Revolutionszeitalter und Erstes Kaiserreich. II. 19. Jahrhundert. III. Osteuropa, IV. Nordamerika. V. Romanisch-germanische Kolonialländer außer Nordamerika.

Teil II, Abt. 6: System der Staats- und Gesellschaftswissenschaft.

I. Allgemeines. II. Die einzelnen Teilgebiete. III. Die Zukunftsaufgaben des Staates und

der Gesellschaft und der Staats- und der Gesellschaftswissenschaft.

Teil II, Abt. 7, II: Allg. Rechtsgeschichte mit Geschichte der Rechtswissenschaft.

I. Das orientalische Recht des Mittelalters und der Neuzeit. II. Das europäische Recht des Mittelalters und der Neuzeit.

Teil II, Abt. 9: Allg. Wirtschaftsgeschichte mit Geschichte der Volkswirtschaftslehre.

Teil II, Abt. 10, II: Spezielle Volks- wirtschaftslehre.

I. Agrarpolitik. II. Gewerbepolitik. III. Handelspolitik. IV. Kolonialpolitik. V. Verkehrspolitik. VI. Versicherungspolitik. VII. Sozialpolitik.

Teil II, Abt. 10, III: System der Staats- u. Gemeindewirtschaftslehre (Finanz- wissenschaft).

TEIL III: Die mathematischen, naturwissenschaftlichen und medizinischen Kulturgebiete.

Bearbeitet unter Leitung von

F. Klein, E. Lecher, R. v. Wettstein, Fr. v. Müller.

Die Mathematik im Altertum und im Mittelalter: Professor Dr. H. G. Zeuthen, Kopenhagen. Geh. M. 3.— [1912. Abt. I. Lfg. 1.]

Chemie einschl. Kristallographie u. Mineralogie. Bandredakt.: E. v. Meyer u. Fr. Rinne. Mit Abb. Geh. ca. M. 22.—, in Leinw. geb. ca. M. 24.—, in Halbf. geb. ca. M. 26.—. [1913. Abt. III., Bd. 2.]

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

Zellen- und Gewebelehre, Morphologie und Entwicklungs geschichte. Bandredakteure: O. Hertwig und + E. Strasburger, in zwei Teilbänden. Mit Abb. Geh. ca. M. 22.—, in Leinw. geb. ca. M. 24.—, in Halbf. geb. ca. M. 26.—. [1913. Abt. IV., Band 2.]

Inhalt: I. Hälfte: Botanik. Pflanzliche Zellen- und Gewebelehre: E. Strasburger. — Morphologie und Entwicklungsgeschichte der Pflanzen: W. Benecke. — II. Hälfte: Zoologie. Die einzelligen Organismen: R. Hertwig. — Zellen und Gewebe des Tierkörpers: H. Poll. — Allgemeine und experimentelle Morphologie und Entwicklungsgeschichte der Tiere: O. Hertwig. — Entwicklungsgeschichte u. Morphologie d. Wirbellosen: K. Heider. — Entwicklungsgeschichte d. Wirbeltiere: F. Keibel. — Morphologie d. Wirbeltiere: E. Gaupp.

In Vorbereitung bzw. unter der Presse * befinden sich:

* I. Abteilung: Die mathematischen Wissenschaften.

Abteilungsleiter und Bandredakteur: F. Klein.

Inhalt: Die Beziehungen der Mathematik zur

allgemeinen Kultur: A. Voß. — Mathematik u. Philosophie: A. Voß. — Die Mathematik im 16., 17. und 18. Jahrh.: P. Stäckel. — Die Entwicklung d. reinen Mathematik. 19. Jahrh.: F. Klein. — Die moderne Entwicklung d. an-

gewandten Mathematik: C. Runge. — Mathematischer Unterricht: H. E. Timerding.

II. Abt.: Die Vorgeschichte der modernen Naturwissenschaften und der Medizin.

Bandredakteure: J. Ilberg und K. Sudhoff. Bearb. von Fr. Boll, S. Günther, I. L. Heiberg, M. Höfler, J. Ilberg, E. Seidel, H. Stadler, K. Sudhoff, E. Wiedemann u. a.

III. Abt.: Anorgan. Naturwissenschaften. Abteilungsleiter: E. Lecher.

* Band 1: Physik.

Bandredakteur: E. Warburg.

Inhalt: Akustik: F. Auerbach. — Telegraphe: F. Braun. — Experimentelle Atomistik: E. Dorn. — Theoret. Atomistik Relativitätsprinzip: A. Einstein. — Radioaktivität I: J. Elster und H. Geitel. — Spektralanalyse: F. Exner. — Theorie des Magnetismus: R. Gans. — Über die Untersuchung d. feinsten Spektrallinien: E. Gehrke. — Positive Strahlen: E. Gehrke und O. Reichenheim. — Die Energie degradierender Vorgänge im elektromagnetischen Feld: E. Gußlich. — Das Prinzip von der Erhaltung der Energie und das Prinzip von der Vermehrung der Entropie: Fr. Hasenöhrl. — Natur der Wärme (Thermodynamik): Fr. Henning. — Mechan. u. therm. Eigenschaften: Kalorimetrie: L. Holborn. — Wärmeleitung: W. Jäger. — Kathoden- und Röntgenstrahlen: W. Kaufmann. — Entdeckungen von Maxwell u. Hertz: E. Lecher. — Die Maxwell'sche und Elektrontheorie: H. A. Lorentz. — Neuere Fortschritte der geometr. Optik: O. Lummer. — Das Prinzip der kleinsten Wirkung: M. Planck. — Gesch. d. Elektrizität bis z. Siege der Faraday'schen Anschauungen: F. Richartz. — Wärmestrahlung H. Rubens. — Radioaktivität II: E. v. Schweidler. — Elektr. Leitvermögen: H. Starke. — Phänomenologische u. atomistische Betrachtungsweise: W. Voigt. — Newtonsche Mechanik: E. Wiechert. — Die gekoppelten elektr. Systeme: M. Wien. — Strahlungstheorie: W. Wien. — Entwicklung der Wellenlehre des Lichts: O. Wiener. — Magnetooptik: P. Zeeman.

* Band 3: Astronomie.

Bandredakteur: J. Hartmann.

Inhalt: Anfänge der Astronomie, Zusammenhang mit der Religion: Fr. Boll. — Chronologie und Kalenderwesen: F. K. Ginzel. — Zeitmessung: J. Hartmann. — Astronomische Ortsbestimmung: L. Ambronn. — Erweiterung des Raumbegriffs: A. v. Flotow. — Mechan. Theorie des Planetensystems: J. v. Hepperger. — Physische Erforschung des Planetensystems: K. Graff. — Physik der Sonne: E. Pringsheim. — Physik der Fixsterne: F. W. Ristenpart. — Sternsystem:

H. Kobold. — Beziehungen der Astronomie zu Kunst und Technik: L. Ambronn. — Organisation: F. W. Ristenpart.

Band 4: Geonomie.

Bandredakteure: F. R. Helmert und H. Benndorf. Bearbeitet von H. Benndorf, † G. H. Darwin, H. Ebert, O. Eggert, S. Finsterwalder, E. Kohlschütter u. a.

Band 5: Geologie (einschl. Petrographie).

Bandredakteur: A. Rothpletz. Bearbeitet von A. Bergeat, E. v. Koken, J. Königsberger, A. Rothpletz.

Band 6: Physiogeographie.

Bandredakteur: E. Brückner. 1. Hälfte: Allgemeine Physiogeographie. Bearbeitet von E. Brückner, S. Finsterwalder, J. v. Hann, † O. Krümmel, E. Oberhummer, A. Merz u. a. 2. Hälfte: Spezielle Physiogeographie. Bearbeitet von E. Brückner, W. M. Davis u. a.

IV. Abt.: Organische Naturwissenschaften. Abteilungsleiter: R. v. Wettstein.

* Band 1: Allgemeine Biologie.

Bandredakteure C. Chun u. W. L. Johannsen.

Inhalt: Geschichte der modernen Biologie [etwa seit Linnes Tode]: E. Rädl. — Biologische Methodik im allgemeinen, Richtungen und Organisation der Forschung A. Fischer. — Organisation des biologischen Unterrichts: R. v. Wettstein. — Allgemeine Biologie. a) Organismen: W. Roux, W. Ostwald, O. zur Straßen. b) Protoplasma: B. Lüd-fors. c) Einzellige, Vielzellige: E. Laqueur. d) Organisationshöhe: H. Spemann. e) Individuum, Lebenslauf, Alter, Tod: W. Schleip. f) Allgemeines über Fortpflanzungsvorgänge: E. Godlewski, P. Claußen. g) Regeneration und Transplantation. x) der Tiere: H. Przibram. p) der Pflanzen: E. Baur. h) Experimentelle Grundlagen der Deszendenzlehre: W. L. Johannsen. i) Gliederung in Pflanzen und Tiere: O. Porsch.

Band 3: Physiologie und Ökologie.

Bandredakteure: M. Rubner und G. Haberlandt. Bearbeitet von E. Baur, Fr. Czapek, H. v. Guttenberg u. a.

* Band 4: Abstammungslehre, Systematik, Paläontologie, Biogeographie.

Bandredakt.: R. v. Hertwig u. R. v. Wettstein.

Inhalt: Deszendenztheorie: R. v. Hertwig. — Systematik. a) Allgemeines: L. Plate. b) System der Pflanzen: R. v. Wettstein. c) System der Tiere: L. Plate. — Biogeographie. a) Allgemeine Prinzipien der Biogeographie: A. Brauer. — b) Pflanzengeographie: A. Engler. c) Tiergeographie: A. Brauer. — Paläontologie. a) Allgemeines: O. Abel. b) Paläophytologie: W. J. Jongmans. c) Paläozoologie: O. Abel. — Spezielle Phylogenie. a) des Pflanzenreiches: R. v. Wettstein. b) des Tierreiches: J. E. V. Boas. a) der Wirbellosen: K. Heider. b) der Wirbeltiere.

V. Abt.: Anthropologie einschließlich naturwissenschaftl. Ethnographie.

Bandredakteur: G. Schwalbe. Bearbeitet von E. Fischer, M. Hoernes, F. v. Luschan, Th. Mollison, A. Plotz, G. Schwalbe.

VI. Abt.: Die medizinischen Wissenschaften. Abteilungsleiter: Fr. v. Müller.

Band 1: **Die Geschichte der modernen Medizin.** Bandredakteur: K. Sudhoff. Bearbeitet von M. Neuburger, K. Sudhoff u. a. **Die Lehre von den Krankheiten.** Bandredakteur: F. Marchand.

Band 2: **Die medizin. Spezialfächer.** Bandredakteure: W. His und Fr. von Müller. Band 3: **Beziehungen der Medizin zum Volkswohl.** Bandredakteur: M. v. Gruber.

VII. Abt.: Naturphilosophie und Psychologie.

* Band 1: **Naturphilosophie.** Bandredakt.: C. Stumpf. Bearb. von E. Becher. Band 2: **Psychologie.** Bandredakteur: C. Stumpf. Bearbeitet von C. L. Morgan und C. Stumpf.

VIII. Abt.: Organisation d. Forschung u. d. Unterrichts. Bandredakt.: A. Gutzmer.

TEIL IV: Die technischen Kulturgebiete.

Abteilungsleiter: W. v. Dyck und O. Kammerer.

Technik des Kriegswesens. Bandredakteur: M. Schwarte. Mit Abb. Geh. M. 24.—, in Leinwand geb. M. 26.—, in Halbfanz geb. M. 28.—. [1913. Teil IV. Band 12.]

Inhalt: Kriegsvorbereitung, Kriegsführung: M. Schwarte. — Waffentechnik. a) Die Waffentechnik in ihren Beziehungen zur Chemie: O. Poppenberg. b) Die Waffentechnik in ihren Beziehungen zur Metallurgie: W. Schwinning. c) Die Waffentechnik in ihren Beziehungen zur Konstruktionslehre: W. Schwinning. — d) Die Waffentechnik in ihren Beziehungen zur optischen Technik: O. von Eberhard. e) Die Waffentechnik in ihren Beziehungen zur Physik und Mathematik: O. Becker. — Technik des Festigungswesens: J. Schröter. — Kriegsschiffbau: O. Kretschmer. — Vorbereitung für den Seekrieg und Seekriegsführung: M. Glatzel. — Einfluß des Kriegswesens auf die Gesamtkultur: A. Kersting.

In Vorbereitung befinden sich:

Band 1: **Vorgeschichte der Technik.** Bandredakteur u. Bearbeiter: C. Matschoß.

Band 2: **Verwertung der Naturkräfte zur Gewinnung mechanischer Energie.** Bandredakteur: M. Schröter. Bearbeitet von H. Bunte, R. Escher, W. Lynen, W. v. Oechelhaeuser, R. Schöttler, M. Schröter.

Band 3: **Umwandlung und Verteilung der Energie.** Bandredakteur: M. Schröter. Bearbeitet von A. Schwaiger u. a.

Band 4: **Bergbau und Hüttenwesen.** (Stoffgewinnung auf anorganischem Wege.)

I. Teil. **Bergbau.** Bandredakt.: W. Bornhardt. Bearbeitet von H. E. Böker, G. Franke, Fr. Heise, Fr. Herbst, M. Krahmann, M. Reuß, O. Stegemann, L. Tübben. — II. Teil. **Hüttenwesen.**

Band 5: **Land- und Forstwirtschaft.** (Stoffgewinnung auf organischem Wege.)

I. Teil. **Landwirtschaft.** — II. Teil. **Forstwirtschaft.** Bandredakteur und Bearbeiter: R. Beck und H. Martin.

Band 6: **Mechanische Technologie.** (Stoffbearbeitung auf maschinentechnisch. Wege.)

Bandredakteure: E. Pfuhl und A. Wallich. Bearbeitet von P. von Deuffer, Fr. Hülle, O. Johannsen, E. Pfuhl, M. Rudeloff, A. Wallich.

Band 7: **Chemische Technologie.** (Stoffbearbeitung auf chem.-technischem Wege.)

Band 8 und 9: **Siedlungen.** Bandredakteure: W. Franz und C. Hocheder. Bearbeitet von H. E. von Berlepsch-Valendas, W. Bertsch, K. Diestel, M. Dülfer, Th. Fischer, H. Grässel, C. Hocheder, R. Rohlen, R. Schachner, H. v. Schmidt.

Band 10 u. 11: **Verkehrswesen.** Bandredakteur: O. Kammerer.

Band 12: **Die technischen Mittel des geistigen Verkehrs.** Bandredakteur: A. Miethe.

Band 13: **Die technischen Mittel der Beobachtung und Messung.** Bandredakteur: A. Miethe. Bearbeitet von A. Miethe, E. Goldberg u. a.

Band 14: **Entwicklungslien der Technik im 19. Jahrhundert.** Bandredakteur: W. v. Dyck.

Band 15: **Organisation der Forschung. Unterricht.** Bandredakteur: W. v. Dyck.

Band 16: **Die Stellung der Technik zu den anderen Kulturgebieten. I.** Bandredakteur: W. v. Dyck. Bearbeitet von Fr. Gottl von Ottlilienfeld u. a.

Band 17: **Die Stellung der Technik zu den anderen Kulturgebieten. II.** Bandredakteur: W. v. Dyck.

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

Jeder Band in Leinwand gebunden M. 5.—

Nach übereinstimmendem Urtheile 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 bedeutsamsten 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

Dr. R. Hesse

Professor an der Landwirtschaftlichen
Hochschule in Berlin

Dr. S. Doflein

Professor der Zoologie an der Universität
Freiburg i. Br.

Tierbau und Tierleben in ihrem Zusammenhang betrachtet

2 Bände. Lep.-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 Erde unserer naturwissenschaftlichen Literatur.... Es wird rasch seinen Weg machen. Wir können es seiner Originalität und seiner Vorteile wegen dem gebildeten Publikum nur warm empfehlen. Ganz besonders aber begrüßen wir sein Erscheinen im Interesse des naturgeschichtlichen Unterrichts." (Prof. C. Hesse in der „Neuen Zürcher Zeitung“.)

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

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

"...Das Hessische 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 (Kölner Zeitung.)

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

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 ebenso gut, wie sie das einfachste Wohnzimmer schmücken.

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



Ir. 121. L. Baurnfeind: Inntal am Abend. 55×42 cm. M. 4.—

Verkleinerte farbige Wiedergabe der Original-Lithographie.

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

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

Biblioteka Główna
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie
CZ-I.401/2



100-000401-02-0

ARCHIWALIA