

# Die Maschinistenschule

von

F. D. Morgner

# Die Maschinenschule

Vorträge über die Bedienung von Dampfmaschinen  
und Dampfturbinen zur Ablegung der  
Maschinenprüfung

Von

**F. D. Morgner**

Gewerberat

Leiter der Heizer- und Maschinenkurse in Chemnitz

Mit 119 Textfiguren



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1920

**Alle Rechte,  
insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten**

ISBN 978-3-662-24051-9      ISBN 978-3-662-26163-7 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-26163-7

Copyright 1920 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg  
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1920.

## Vorwort.

Das vorliegende Buch „Die Maschinistenschule“ bildet die Ergänzung zu meiner bereits vor dem Kriege erschienenen, nunmehr in zweiter Auflage vorliegenden „Heizer Schule“. Während letztere meine Vorträge über die Bedienung von Dampfkesselanlagen und Niederdruckheizungen enthält, sind hier, allerdings in erweitertem Umfange, meine Vorträge über die Bedienung von Dampfmaschinen und Dampfturbinen wiedergegeben. Ich hoffe hiermit nicht nur die wiederholt an mich gerichteten Wünsche aus den Teilnehmerkreisen an meinem Heizer- und Maschinistenunterricht zu erfüllen, sondern auch den Dampfkesselbesitzern, Betriebsbeamten, Maschinenmeistern und Dampfmaschinenmonteuren, die sich über die Anforderungen an die sorgfältige, gewissenhafte Bedienung, die Fernhaltung von Störungen im Betriebe und die wirtschaftliche Arbeitsweise und Ausrüstung ihrer Dampfmaschinen unterrichten wollen, ein ausreichendes Hilfsmittel darzubieten.

Hierbei war für mich der Grundsatz maßgebend, eine für einfache Auffassung verständliche Erklärung der Vorgänge im Dampfzylinder und des ursächlichen Zusammenhanges derselben mit der Konstruktion der Dampfmaschine zu geben, sowie darauf hinzuweisen, daß es dem Maschinisten obliegt, bei der regelmäßigen Wartung und bei Reparaturen das regelrechte Arbeiten der Dampfmaschine aufrecht zu erhalten und gegenüber den durch die hohen Kohlenpreise gesteigerten Erzeugungskosten des Dampfes auf dessen sparsame Ausnützung aufs äußerste bedacht zu sein. Es war demgemäß einzugehen auf die Vermeidung von Dampfverlusten durch undichte Kolben, auf den leichten Gang der Kolbenstange durch die richtige Auswahl der Stopfbüchsen und auf das richtige Einstellen des Steuerungs-



mechanismus beim Nacharbeiten von ausgearbeiteten Lagerstellen im Pleuzkopfbolzen, Nurbelzapfen und in den Gelenken des Steuerungs-  
gestänges. Eingehend besprochen wurden die einfache Schiebersteuerung  
und bei den Expansionssteuerungen außer der Meyer- und der Nieder-  
steuerung die an den Wolffschen Lokomobilen, an Lokomotiven und Schiffsmaschinen  
weitverbreiteten Kolbenschiebersteuerungen mit Regulierung  
der veränderlichen Füllungen mittels des Achsen- oder Nachreglers, sowie  
die Ventilsteuernng und die Kulissen- und die Lenkersteuerung für die Um-  
kehrung der Drehungsrichtung der Dampfmaschine.

Mit Rücksicht darauf, daß bei den Kondensationsmaschinen die Naß-  
luftpumpe bei ungenügender Wartung häufig zu Betriebsstörungen Anlaß  
gibt, ist auf die Besprechung derselben, sowie des Umschaltens der Kondensationsmaschinen auf Auspuffbetrieb besonderer Wert gelegt worden.  
Im übrigen sind bei der Besprechung der Dampfmaschinentypen die Wechselstrom- und Gleichstromdampfmaschinen liegender und senkrechter Bauart (Schiffsmaschinen) erläutert worden.

Von den Dampfturbinen sind die Hauptarten mit Druck- und Geschwindigkeitsabstufungen des Dampfes, die Parsonsturbinen von Brown, Boverie & Co., die Curtisdampfturbine der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, die Turbinen kombinierter Bauart dieser beiden Firmen, die für kleine und mittlere Leistungen bestimmte Dampfturbine mit wiederholter Beaufschlagung des vorhandenen Laufrades aus der Maschinenfabrik von C. Rabe, Coswig i. Sachsen, sowie die Rückwärtsturbinen für Schiffe behandelt worden. Im Anschluß an die in diesem Abschnitt gehörige Besprechung der Oberflächenkondensation wurde auf die Rückkühlung des Kühlwassers in den Kühltürmen eingegangen.

Besondere Beachtung wurde auch der Besprechung der Schmieröle, der Druckölschmierung bei Dampfturbinen, den verschiedenartigen Schmiergefäßen und der Graphitschmierung für Dampfzylinder, sowie in Anbetracht der hohen Preise und der Knappheit des Schmieröles den weitverbreiteten Dampfentölungsanlagen zuteil.

Dem Texte sind eine große Anzahl sorgfältig ausgewählter Zeichnungen und Abbildungen beigelegt. Den Firmen, die mir hierbei ihre

Unterstützung zuteil werden ließen, sei auch an dieser Stelle ergebener Dank entboten. Ferner sind mit gütiger Genehmigung des Verlages die Abbildungen 7, 12, 13, 32, 33, 38, 42, 68 und 71 dem Hilfsbuche für den Maschinenbau von Fr. Freitag, die Abbildungen 52, 53, 54 dem Buche „Die Kondensation der Dampfmaschinen und Dampfturbinen“ von Karl Schmidt, die Abbildungen 28, 29, 30, 72 dem Buche „Die Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen“ von Dubbel, die Abbildung 119 dem Buche „Anleitung für Versuche an Dampfmaschinen“ von Seufert, sämtlich im Verlage von Julius Springer, sowie die Zeichnungen 48, 49, 55, 56 und 75 der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure entnommen.

Möge das vorliegende Buch den Beifall der interessierten Kreise finden und im Rahmen des ihm gesteckten Zieles zur Erhöhung des Heizer- und Maschinenistenstandes und somit in seinem bescheidenem Maße zur Aufrihtung der zertrümmerten Wirtschaft unseres gebeugten Vaterlandes beitragen.

Chemnitz, Januar 1920.

**J. D. Morgner**, Gewerberat.

# Inhaltsverzeichnis.

## Einleitung.

	Seite		Seite
Der wärmetechnische Wirkungsgrad der Dampfmaschinen und Dampf- turbinen . . . . .	1	Die Hauptgesichtspunkte für die Dampfmaschinenbedienung . . .	1

## A. Kolbendampfmaschinen.

### I. Zylinder und Kolben.

Der Dampfmaschinenzylinder . . . . .	2	Der höhere Dampfverbrauch der stehenden Dampfmaschinen . . .	7
Das Anwärmen und Entwässern derselben . . . . .	3	Der Kolben . . . . .	7
Der Dampfmantel . . . . .	5	Die Kolbenringe . . . . .	8
Vor- und Nachteile der wagerechten und senkrechten Zylinderlage . . .	6	Das Einsetzen und Herausnehmen des Kolbens . . . . .	8

### II. Die Geradföhrung.

Die Stopfbüchsen . . . . .	10	Die Labyrinthdichtung . . . . .	14
a) mit weicher Padung . . . . .	11	Der Kreuzkopf . . . . .	15
b) mit Metallpadung . . . . .	12	Der Kreuzkopfbolzen . . . . .	16
c) mit gemischter Padung . . . . .	13		
d) für Lokomotiven . . . . .	13		

### III. Der Kurbelmechanismus.

Die Längenänderung der Kurbel- stange beim Nacharbeiten der Lager . . . . .	17	Der Ungleichförmigkeitsgrad und der Spannungsabfall des Dampfes im Zylinder . . . . .	19
Der Kurbelzapfen und die Kurbel	18	Der Einfluß der Kurbelstangen- länge auf den Kolbenweg . . . . .	20
Die Hauptlager . . . . .	18		
Das Schwungrad . . . . .	18		

### IV. Die Steuerung und die Dampfverteilung.

Die Dampfströmung . . . . .	21	Die Stöße im Kurbel- und Kreuz- kopfzapfen . . . . .	25
Die Expansionsperiode . . . . .	22	Die einfache Schiebersteuerung . . . . .	25
Die Ausströmungsperiode . . . . .	23	Die Umdrehungsrichtung der Ma- schine . . . . .	26
Die Kompressionsperiode . . . . .	24		
Die Vorein- und Vorausströmung	24		

Seite	Seite
Vorzüge und Nachteile des Muschel-	Das Einstellen der Steuerung 33
schiebers . . . . . 31	Die Ausnützung des Dampfes und
Die schädlichen Räume . . . . . 32	seine Temperatur im Zylinder 33

**V. Die Steuerungen mit veränderlicher Füllung.**

Die Meyersteuerung . . . . . 34	Die Umsteuerung oder die Kulisse 42
Die Ridersteuerung . . . . . 37	Die Lenkersteuerung . . . . . 44
Die Kolbenschiebersteuerung von	Die Ventilsteuernngen . . . . . 45
R. Wolf, Magdeburg-Budau . 39	

**VI. Die Tourenregler.**

Das Drosselventil . . . . . 51	Die Achsenregler . . . . . 52
Der Porter'sche Regulator . . . . . 51	

**VII. Die Kondensation.**

Die Kondensationsanlagen im all-	Das Messen der Luftleere . . . 61
gemeinen . . . . . 56	Die Oberflächenkondensation siehe
Die Einspritzkondensation . . . . . 66	Abschnitt XIII . . . . . 108
Die Bedienung des Kondensators 57	

**VIII. Die Zwei- und Dreifachexpansionsmaschinen.**

Allgemeines . . . . . 61	Die Verbund(Compound)maschine 64
Die Tandemmaschine . . . . . 64	Der Aufnehmer oder Receiver. . 64

**IX. Die Gleichstromdampfmaschine.**

Allgemeines . . . . . 66	Kombinierte Wechselstrom- u. Gleich-
Das Umstellen auf Auspuff . . 69	stromdampfmaschine der Firma
	R. Wolf, Magdeburg-Budau . 71

**B. Die Dampfturbinen.**

**X. Die Dampfarbeit in den Turbinen.**

Allgemeines . . . . . 72	c) durch kombinierte Geschwin-
Berminderung der Umdrehungszahl	digkeits- und Druckabstufung 75
a) durch Druckabstufung . . . 73	Die Wirkungsweise des Dampfes
b) durch Geschwindigkeitsab-	in der Beschäufelung . . . . . 76
stufung . . . . . 75	Die Aktions- und Reaktionswirkung
	des Dampfstrahles. . . . . 77

**XI. Die hauptsächlichsten Turbinensysteme.**

Die reine Parsonsturbine von	Die kombinierte Turbine (Curtis-
Brown, Boveri & Co. . . . . 78	rad und Parsonsturbine) von
Die Curtisturbine der Allgemeinen	Brown, Boveri & Co. . . . . 89
Elektrizitätsgesellschaft, Berlin . 82	Die Schiffsturbine . . . . . 91
Die mehrstufige Turbine der A. E. G.,	Die Kleindampfturbine von Made,
Berlin . . . . . 86	Coswig i. Sa. . . . . 94

**XII. Die konstruktiven Einzelheiten der Dampfturbinen.**

Seite	Seite
Die Labyrinthdichtung . . . . . 97	b) durch die Düsenhaltung . . . 102
Die Lager und die Drucköl- schmierung . . . . . 98	Die Schnellschlusssicherung . . . 104
Die Regelung der Umdrehungszahl	Die Überlastung der Turbine . . . 105
a) durch den Regulator. . . . . 99	Schaufelabnutzung durch unreinen Dampf . . . . . 105

**XIII. Die Oberflächentondensation.**

Das Anwendungsgebiet . . . . . 108	Die Kondensatpumpe . . . . . 110
Der Kondensator . . . . . 109	Die Luftpumpe . . . . . 110
Die Kühlwasserpumpe . . . . . 110	Betriebsvorschriften für Ober- flächentondensationen . . . . . 113

**XIV. Betriebsvorschriften der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft**

Berlin für Turbadynamos . . . . . 114

**XV. Die Rückführung des Kondensationswassers.**

Die Kaminfühler . . . . . 117	Der Kaminfühler Bauart Balde 118
-------------------------------	----------------------------------

**XVI. Die Zwischendampf- und die Abdampfverwertung.**

Allgemeines . . . . . 119	Die Zwischendampfmaschine . . . 121
Die Gegendruckturbinen . . . . . 121	

**XVII. Das Schmieröl.**

Die Mineralöle . . . . . 123	Die Graphitschmierung . . . . . 125
Anforderungen an das Schmieröl	Die Zylinderschmierapparate . . . 126
a) seine Schlüpfrigkeit . . . . . 124	Die Dampfentöler . . . . . 130
b) seine Zähflüssigkeit . . . . . 124	Der Stoßkraftentöler von Seifert & Co., A.-G. Berlin . . . . . 130
Die Bestimmung der Zähflüssigkeit (Viskosimeter) . . . . . 124	Entölungseinrichtungen von Gebr. Weißbach, Chemnitz . . . . . 131
Die Stabilität der Mine- ralöle . . . . . 125	Der Zentrifugalentöler von Schelbe & Söhne, Leipzig . . . 132

**XVIII. Zubehörteile zu Dampfkraftanlagen.**

Die Kondensstöpfe . . . . . 133	Die Rohrleitungen von Seifert & Co., A.-G., Berlin . . . . . 138
Die Dampfdruck-Reduzierventile. 134	Der Wasserabscheider . . . . . 141
a) von Knappe, Meerane . . . . . 135	
b) von Struve, A.-G. Magde- burg-Budau . . . . . 136	

**XIX. Erläuterungen einiger technischer Fachausdrücke.**

Der Indikator . . . . . 144	Die Pferdestärke . . . . . 145
-----------------------------	--------------------------------

## Einleitung.

**Der wärmetechnische Wirkungsgrad der Dampfmaschinen und Dampfturbinen.** Die Dampfmaschinen und Dampfturbinen sind Wärme-  
kraftmaschinen, d. h. die in dem Dampf enthaltene Wärme wird in ihnen  
zum Teil in Arbeit umgewandelt. Die im Dampfzylinder geleistete Arbeit  
setzt sich zusammen aus der Volldruck- und der Ausdehnungs- (Expansions)-  
arbeit des Dampfes auf der einen Kolbenseite und wird vermindert durch  
die Gegendruckarbeit auf der anderen Kolbenseite, die zur Überwindung  
des Druckes des ausströmenden Dampfes sowie zu dessen Kompression  
im Zylinder vor dem Hubwechsel aufgewendet werden muß. Da der  
Dampf beim Verlassen des Zylinders noch den größten Teil seiner anfäng-  
lichen Wärmemenge enthält, kann in der Dampfmaschine, wie auch in der  
Dampfturbine, nur ein verhältnismäßig kleiner Teil derselben in Arbeit  
umgesetzt werden und zwar beträgt letzterer bei Kondensationsmaschinen  
etwa 12 Prozent. Der übrige Teil geht durch Wärmeausstrahlung und  
infolge der inneren Reibung der Maschine, zum weitaus größten Teil  
aber im Ausstoßdampf verloren. Bei Auspuffmaschinen würden, wie  
aus dem Abschnitt über die Verdampfung in der „Heizerchule“ ersichtlich  
ist, in 1 kg Dampf von einer Austrittstemperatur von 100° Celsius 637  
gegenüber 663 Wärmeeinheiten bei einem Anfangsdruck von 10 Atmo-  
sphären Wärmeeinheiten enthalten sein, also nur  $663 - 637 = 26$  Wärme-  
einheiten in Arbeit umgesetzt werden können. Bei Kondensationsmaschinen  
ist infolge des Vakuums der Wärmeverlust entsprechend geringer. Die  
Folge des Arbeitsvorganges in dem Dampfmaschinenzylinder oder in der  
Dampfturbine ist, daß die Dampftemperatur abnimmt, und zwar ist hier-  
bei die Wärmeumsetzung in Arbeit um so besser, je größer die Temperatur  
des eintretenden Dampfes und je niedriger die Temperatur des aus-  
tretenden Dampfes ist, vorausgesetzt, daß zur Verminderung der Dampf-  
temperatur nicht etwa eine Wärmeausstrahlung an zu großen, nicht ge-  
nügen mit Isoliermasse geschützten Dampfwandungen beiträgt.

**Die Hauptgesichtspunkte für den Maschinisten.** Die Dampfmaschinen  
und Dampfturbinen der deutschen Maschinenfabriken des Dampfmaschinen-

baues entsprechen in bezug auf Wärmeausnutzung allen zeitgemäßen Anforderungen; dem Maschinisten bleibt eigentlich nur überlassen, den von Anfang an vorhandenen guten wärmetechnischen Wirkungsgrad der ihm anvertrauten Dampfmaschine durch die Beseitigung von Undichtheiten, die im Laufe der Zeit infolge der unvermeidbaren Abnutzung der Kolbenringe, der Dampflein- und Auslaßorgane und der Kondensstöpfe entstehen, und durch die gute Instandhaltung der Steuerung zu erhalten. Wesentlich augenfälliger ist aber seine weitere Aufgabe, Betriebsstörungen an der Dampfmaschine zu verhüten. Es lassen sich daher für ihn folgende Hauptgesichtspunkte aufstellen:

1. gutes Anwärmen und Entwässern der Dampfanlage bei deren Inbetriebnahme,
2. ausreichendes Schmierendergleitenden bewegten Teile der Maschine,
3. ordnungsgemäßes Instandhalten der im Betrieb verhältnismäßig empfindlichen Kondensationsanlagen und
4. Aufrechterhaltung der unverkehrten Dampfverteilung durch Instandhaltung der Steuerung.

Voraussetzung für die Erfüllung dieser Aufgaben ist für den Maschinisten eine genaue Kenntnis der Dampfanlage, wozu ihm die nachstehenden Vorträge verhelfen sollen.

## A. Die Kolbendampfmaschinen.

### I. Die Dampfzylinder.

Der Dampfmaschinenzylinder ist an den Enden durch aufgeschraubte Deckel verschlossen. In dem zylindrischen Hohlraume zwischen den beiden Deckeln befindet sich der Dampfkolben, der an der Zylinderwand dampfdicht anliegt und vom Dampf abwechselnd von einem nach dem anderen Ende des Zylinders geschoben wird. Die Zylinderdeckel sollen zur Wahrung ihrer genauen Lagerung in der Zylindermitte mit gedrehten Vorsprüngen in den Zylinder eingreifen. Sie werden durch Gummiringe, Metallsiebe oder Asbest abgedichtet oder auch aufgeschliffen (geschabt) und halten dann ohne jedwede Dichtung dicht. Diese Ausführung ist zwar teurer als die sonst übliche, hat aber den Vorzug, daß der Zylinderdeckel beim Wiederschrauben nach Reparaturen stets gleichweit in den Zylinder hineinragt, was beim Einsetzen von neuen Dichtungen unter dem Deckel nicht immer erreichbar ist.

Die Innenwand des Zylinders hat an den Enden erweiterte Ausbohrungen, über welche die Kolbenringe in den beiden äußersten Stellungen des Kolbens ein wenig (etwa 1 bis 2 Millimeter) hinausragen. Man erreicht durch diesen sogenannten Kolbenüberlauf, daß sich bei dem allmählichen Abnutzen der Zylinderwandung durch die Kolbenringe keine nach innen anstehenden Absätze an derselben bilden. Damit der Kolben beim Hineinbringen in den Zylinder nicht hängen bleibt, müssen die Absätze abgeschragt werden.

**Das Anwärmen und Entwässern der Zylinder** muß vor der jedesmaligen Inbetriebnahme der Maschine in der sorgfältigsten Weise vorgenommen werden. Je nach der Größe der Maschine und dem durch die Dauer des Stillstandes bedingten Abtühlungsgrad dauert das Anwärmen etwa  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  Stunde.

An jeder Dampfmaschine befindet sich am oder dicht vor dem Zylinder, und zwar bei Mehrzylindermaschinen am ersten Zylinder, das Hauptventil, welches an die vom Kessel kommende Dampfleitung angeschlossen ist. Bei langen Stillständen, also etwa über Nacht, ist außer diesem Ventil stets das Absperrventil in der Rohrleitung am Kessel zu schließen, um Wasseransammlungen in der Rohrleitung zwischen Kessel und Maschine zu verhüten.

Das Anwärmen der Maschine hat mit dem Anwärmen der Hauptdampfleitung zu beginnen. Nachdem dies durch allmähliches Öffnen des Absperrventils am Kessel geschehen ist, wird das Hauptventil an dem Zylinder ein wenig geöffnet. Bei großen Dampfmaschinen ist an der Hauptdampfzuleitung ein besonderes kleines Ventil von etwa 30—40 Millimeter zum Zwecke des Anwärmens der Maschine vorhanden. Die beim Anwärmen in die Maschine eintretende Dampfmenge darf nämlich nicht so groß sein, daß sie zum Ingangsetzen der Maschine ausreicht. An jedem Zylinderende sind an der tiefsten Stelle je ein Entwässerungshahn angebracht. Die Entwässerungshähne sind bei jeder Betriebsunterbrechung der Maschine zu öffnen und müssen während des Anwärmens und der Inbetriebsetzung derselben geöffnet bleiben, damit das Kondenswasser aus dem Zylinder ungehindert ablaufen, sich hinter dem Kolben kein Dampfdruck bilden kann und die Maschine nicht etwa unbeabsichtigterweise in Bewegung gesetzt wird. Auf letzteren Umstand ist besonders deshalb Wert zu legen, weil die Maschine des Leichterens Anlassens halber beim Stillstand über einen der beiden Totpunkte hinweggedreht stehen soll und sich somit in einer Stellung befindet, in welcher sie leicht anläuft (siehe Fig. 15 Seite 19). Kleine Dampfmaschinen stellt man während des Anwärmens gewöhnlich auf einen Totpunkt ein.



Das Anwärmen der Maschine darf auch deshalb nicht zu kurze Zeit dauern, weil hierbei der Dampf nur auf der Seite Zutritt zum Zylinder hat, welche für die Dampfeinströmung geöffnet, während die andere Seite des Zylinders für den Dampfzutritt versperret ist und nur durch die indirekte Wärmeübertragung durch die Zylinderwände und den Kolben angewärmt wird (Fig. 19 Seite 27). Hieraus ergibt sich auch, daß bei Mehrzylindermaschinen für den zweiten, dritten und vierten Zylinder besondere Rohrleitungen für das Anwärmen vorhanden sein müssen. Die Hähne sind häufig und namentlich bei großen und bei stehenden Maschinen durch eine gemeinsame Stange miteinander verbunden und können infolgedessen nur gleichzeitig geöffnet oder geschlossen werden. Die zugehörigen Entwässerungsleitungen sind getrennt auszuführen, da bei einer gemeinsamen Rohrleitung das unter Druck ausgeblasene Wasser von einer Zylinderseite nach der anderen gedrückt werden könnte. Doch bringt man auch, um dies zu verhüten, in die gemeinsame Rohrleitung selbsttätige Rückschlagventile an, die vom Maschinisten gut in Ordnung zu halten sind.

Nach dem Anwärmen ist die Maschine durch allmähliches Öffnen des Dampfeinlaßventiles ganz langsam in Gang zu setzen, wobei die Entwässerungshähne erst nach einigen Umdrehungen der Maschine geschlossen werden dürfen. Während des Ganges der Maschine wird das Kondenswasser aus dem Zylinder durch Kondenstöpfe (siehe Seite 133) selbsttätig abgeleitet.

Da der Dampf beim Anwärmen der Maschine nur zu einer Kolbenseite Zutritt hat, wird bei Schiebermaschinen häufig empfohlen, die Maschine durch Drehen von einem Totpunkt zum andern von beiden Kolbenseiten aus anzuwärmen; doch unterbleibt dies in den meisten Fällen wegen der damit verbundenen Mehrarbeit für den Maschinisten und weil der Schieberkasten durch seine immerhin ziemlich große Berührungsfläche mit dem Zylinder das Anwärmen beschleunigt. Bei Maschinen mit Ventilsteuerung wird das Anwärmen dadurch sehr beschleunigt, daß der Maschinist das geschlossene Dampfeinlaßventil etwas anhebt, indem er in dessen Steuerungshebel einen schmalen Holzkeil hineinschiebt. Der auf dieser Seite eintretende Dampf und das sich ausscheidende Kondenswasser haben durch das auf derselben Seite befindliche Auslaßventil, welches in diesem Falle geöffnet ist, einen ungehinderten Ablauf.

Viele Beschädigungen an Dampfmaschinenzylindern, Zylinderdeckeln Kreuzköpfen und Kurbelzapfen durch Risse oder durch völliges Abspringen sind auf ungenügendes Anwärmen oder ungenügendes Entwässern des Zylinders zurückzuführen. Hat sich in einem Dampfmaschinenzylinder

Wasser beim Aufwärmen der Maschine oder infolge des Versagens eines Kondensstopfes angesammelt, so tritt fast stets eine Beschädigung der im Gange befindlichen Maschine ein, da das Wasser nicht elastisch ist und der Dampfkolben mit einer so großen Kraft darauf drückt, daß irgend ein Teil der Maschine beschädigt werden muß. Vielfach werden deshalb an den Dampfmaschinenzylindern **Sicherheitsventile**, und zwar mit Federbelastung angebracht, obwohl sie bei reichlichen Wasseransammlungen auch keinen ausreichenden Schutz zu bieten vermögen und in erster Linie zur Verhütung eines zu hohen Gegendruckes bei der Kompression im Zylinder dienen.

**Der Dampfmantel.** Die Zylinderwandungen sind während des Ganges der Maschine nicht gleichmäßig warm, da die Temperatur des Dampfes bei dessen Expansion abnimmt. Die hierbei entstehenden Temperaturunterschiede sind sehr beträchtlich. Die Zylinderenden und die Zylinderdeckel werden daher abwechselnd von heißem und abgekühltem Dampf berührt, wobei sich ein Teil des einströmenden Dampfes in Form einer dünnen Wasserschicht an der Zylinderwandung niederschlägt. Der im Zylinder bestehende Temperaturverlauf hat, wie auch durch Versuche bestätigt worden ist, zur Folge, daß das niedergeschlagene Wasser während der Ausdehnung (Expansion) des Dampfes im Zylinder nicht oder nur in geringem Maße nachverdampft und sich erst während der Ausströmungsperiode wieder in Dampf verwandelt. Hierdurch geht nicht nur die dem Zylinder für diese Nachverdampfung entzogene Wärme im Auspuffdampf verloren, sondern es wird auch der Gegendruck auf den Kolben vermehrt und die Leistungsfähigkeit der Maschine vermindert. Dieser Nachteil tritt besonders bei Einzylindermaschinen in die Erscheinung, weil bei ihnen die Expansion immer sehr weit geht und das Temperaturgefälle im Zylinder und die Kondensverluste im einströmenden Dampf infolgedessen sehr groß sind. Dieser Umstand führte zur Konstruktion von Dampfmaschinen mit mehreren Zylindern (also zur mehrstufigen Expansion) und zur Anwendung des überhitzten Dampfes und von Dampfmänteln. Unter Dampfmantel versteht man den Hohlraum zwischen Dampfzylinder und einem zweiten, um letzteren gelegten Zylinder von größerem Durchmesser. Dadurch, daß man in diesen Hohlraum Dampf einströmen läßt, werden die Zylinderwandungen geheizt und die Abkühlungsverluste des Arbeitsdampfes vermindert, indem die während der Ausströmung eintretende Abkühlung der Zylinderwandung schneller ausgeglichen und die oben geschilderte Nachverdampfung des bei der Einströmung aus dem Dampfe ausgeschiedenen Wassers bereits während der Expansion und nicht erst während der Aus-

strömung herbeigeführt wird. Für die Heizung wird entweder der Arbeitsdampf auf seinem Wege nach dem Zylinder oder auch besonders vom Kessel hergeleiteter frischer Dampf verwendet und dessen Niederschlagwasser durch Pumpen oder Speisewasserrückleiter dem Kessel wieder zugeführt. Die Zylinderdeckel werden gleichfalls mit einem Hohlraum versehen und fast immer mit Frischdampf geheizt.

Mit der Verwendung der Dampfmäntel wird seitens der Maschinenfabrikanten verschieden verfahren. Dampfzylinder für hocherhitzten Dampf erhalten keinen Dampfmantel, da bei ihnen hohe Temperaturen der Zylinderwandungen bestehen und der einströmende Dampf wenig oder gar kein Wasser ausscheidet. Im allgemeinen ist der auf Verdampfungsversuche gestützte Grundsatz maßgebend, daß der Nutzen des Dampfmantels bei zunehmender Füllung und Umdrehungszahl der Maschine abnimmt, da hierdurch die durchschnittliche Temperatur der Zylinderwandungen erhöht und der Wärmeverlust durch Kondensation und ungünstige Nachverdampfung vermindert wird. Infolgedessen wird auch bei den mit großen Füllungen arbeitenden, schnell laufenden Dampfmaschinen von der Anwendung des Dampfmantels am Hochdruckzylinder zumeist abgesehen. Bei den Mittel- und Niederdruckzylindern wird der Arbeitsdampf durch den Dampfmantel geführt und erzielt man hiermit etwas kleinere Verluste als bei gänzlich fehlenden Mänteln.

**Vorteile und Nachteile der wagerechten und senkrechten Zylinderlage.** Die wagerechte Zylinderlage hat den Vorteil, daß sich der Zylinder leichter entwässern läßt; sie hat den Nachteil, daß der Zylinder sich infolge des Gewichtes des Kolbens im unteren Teile, namentlich in der Mitte abnützt und nach längerem Gebrauche ausgebohrt werden muß. Die Abnützung stellt man durch genaues Messen mittels eines Stichmaßes fest, d. i. ein an den Enden abgespitzter Eisenstab von etwa 8 mm Dicke, der in die engste Zylinderweite genau hineinpaßt. Diese ungleichmäßige Abnützung entfällt nahezu völlig bei den stehenden Dampfmaschinen, doch läßt sich bei diesen der oberhalb des Kolbens gelegene Teil schwieriger entwässern, weshalb derartige Dampfmaschinen sehr sorgfältig angewärmt und sehr langsam in Gang gesetzt werden müssen. Um Beschädigungen durch Wasserschläge zu verhüten, macht man auch im oberen Zylinderteil den Abstand zwischen dem Zylinderdeckel und der Endstellung des Kolbens größer als im unteren Zylinderteil. In Deutschland werden die liegenden Dampfmaschinen wegen der leichteren Zugänglichkeit der Maschinenteile bevorzugt und man verwendet eigentlich nur stehende Dampfmaschinen aus Rücksicht auf den etwa bestehenden Platzmangel. Stehende Maschinen

müssen auch, um eine zu große Höhe der Maschine zu vermeiden, kurzen Hub und kurze Kurbelstangen erhalten. Da durch letztere aber der Ungleichförmigkeitsgrad der Maschine sehr erhöht wird (siehe den Abschnitt über den Einfluß der Länge der Kurbelstange auf den Kolbenweg), sind stehende Dampfmaschinen auch auf solche Fälle beschränkt, in denen derselbe, wie bei Dampfmaschinen in Holzschleifereien und Schiffsmaschinen, keine wesentliche Rolle spielt, oder durch eine hohe Umdrehungszahl der Dampfmaschine oder durch Anwendung von mehreren Kurbeln (Mehrzylindermaschine) wieder ausgeglichen wird.

Ein weiterer, wesentlicher Grund für die bevorzugte Verwendung der liegenden Dampfmaschinen ist **der höhere Dampfverbrauch der Dampfmaschinen stehender Bauart**. Letzterer ist darauf zurückzuführen, daß die schädlichen Räume bei den stehenden Maschinen sowohl an sich wie auch im Vergleich zu der kürzeren Baulänge der Zylinder größer sind als bei liegenden Maschinen. Ferner hat die freie Lage der stehenden Maschinen größere Wärmeverluste durch Abkühlung der Zylinder und der Dampfleitungen zur Folge. Schließlich sind die stehenden Maschinen zumeist mit Schiebersteuerungen ausgerüstet, die mit einem höheren Dampfverbrauch wie die bei liegenden Maschinen üblichen Ventil- und Kolbensteuerungen arbeiten; auch können liegende Maschinen infolge der breiten Fundamentierung und der tieferen Schwerpunktslage mit höherer Umdrehungszahl laufen.

**Der Dampfkolben** wird durch Kolbenringe gegen die Zylinderwand dampfdicht abgeschlossen.<sup>1)</sup> Ist seine Abdichtung dampfdurchlässig, strömt also während des Ganges der Maschine der Dampf zwischen Kolbenring und Zylinderwand hindurch, so wird nicht nur viel Dampf verbraucht, sondern die Dampfmaschine arbeitet auch schwer, weil der entweichende Dampf einen schädlichen Gegendruck auf den Kolben erzeugt.

Die Kolbenringe (Fig. 1—5) werden entweder durch eigene Federkraft gegen die Zylinderwand gepreßt und heißen dann selbstspannend, oder man benutzt besondere Federn, um sie gegen die Zylinderwand zu drücken. Die

<sup>1)</sup> Die ersten Dampfmaschinen, die bekanntlich in England von James Watt seit etwa 1768 gebaut wurden, hatten mit Hanfüberzug abgedichtete Kolben. Erst 1797, als man von der senkrechten zur wagerechten Zylinderlage übergegangen war, führte der Engländer Cartwright, der Erfinder des mechanischen Webstuhles, die Metallabdichtung für den Dampfkolben ein, wodurch die Anwendung eines höheren Dampfdrucks als bisher, und zwar bis 4 und 5 Atmosphären ermöglicht, wurde und zugleich der Dampfverbrauch der Maschine wesentlich sank.

Kolbenringe werden in Nuten oder Ausparungen des Kolbenkörpers eingesezt und müssen auch in der Längsrichtung dicht eingepaßt sein, andernfalls wird der Kolben dampfdurchlässig und die Kolbenringe erzeugen beim Hubwechsel ein klatschendes Geräusch. Sind sie zu fest eingepaßt, so kommt ihre Spannkraft nicht genügend zur Wirkung. In einem fertig montierten Kolben sollen sich die Kolbenringe beim leichten Aufschlagen mit einem Hammerstiele etwas verschieben.



Fig. 1. Kolbenring der Maschinenfabrik Thor-meyer, Berlin-Steglitz.

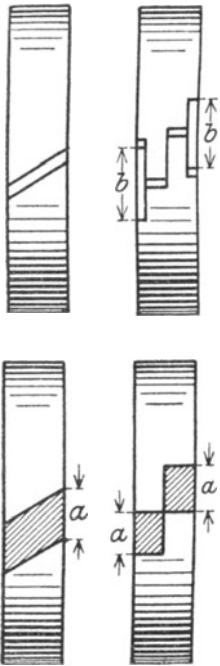


Fig 2 bis 5. Links Kolbenring mit schrägem Schlitz, rechts Kolbenring mit Treppenschlitz.

Nach einem neueren Verfahren werden die Kolbenringe, um eine gleichmäßige und gleichbleibende Federung zu erzielen, unrund gegossen oder unrund gedreht; sie nehmen dann nach erfolgtem Aufschneiden und Zusammenpassen die freisrunde Form an.

Die selbstspannende Kraft der Kolbenringe wird durch eine innen angebrachte Feder aus Flachstahl erhöht. An den Laufflächen sollen die Kanten der Kolbenringe nicht scharf, sondern ein wenig abgerundet sein, damit sie das Öl an der Zylinderwandung nicht abstreifen.

**Will man einen neuen Kolben einsetzen, so dreht man die Dampf-**

maschine soweit herum, daß der Kreuzkopf ganz nahe am Zylinderdeckel, der Pleuelzapfen also im vorderen Totpunkte steht. Alsdann schiebt man die Pleuelstange samt dem Pleuel soweit wie möglich in den Zylinder hinein und ergreift die Pleuelstange mittels ihres Befestigungskeiles oder eines passenden Flach eisens in der Keilnute des Pleuelkopfes und dreht hierauf langsam am Schwungrad der Maschine den Pleuel vollends in den Zylinder hinein. Die Pleuelringe müssen hierbei mit einer Schelle aus dünnem Flach eisens zusammengezogen werden, beim Hineinschieben des Pleuels bleibt die Schelle dann an dem Vorsprunge im Zylinder hängen und fällt herunter.

**Beim Herausnehmen des Pleuels** (Fig. 6) löst man zuerst die Pleuelstange vom Pleuelkopfe los. Man kann dann, nachdem man zwischen Pleuelstange und Pleuelkopf ein Stück Eisen oder Holz geflemmt hat, den Pleuel durch langsames Drehen am Schwungrad aus dem Zylinder herausziehen.

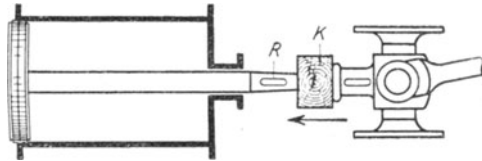


Fig. 6. Das Herausnehmen des Pleuels.  
K = Keil zwischen Kreuzkopf und Pleuelstange.

**Zur Untersuchung, ob der Pleuel dampfdicht abschließt**, schraubt

man den hinteren freiliegenden Zylinderdeckel ab und läßt alsdann Dampf vor den Pleuel. Weniger gefährlich ist eine Besichtigung der inneren Zylinderwandung, wobei letztere sich spiegelglatt erweisen muß; matte Stellen werden von dem durch die undichten Pleuelringe hindurchgehenden Dampf erzeugt. Sind die Laufflächen der Pleuelringe und der Zylinderwandung riefig geworden, so müssen die Pleuelringe erneuert und der Zylinder ausgebohrt werden. Starke Undichtheiten kann man auch durch Abhören am Zylinder oder durch Messung mit dem Indikator feststellen. Letzteres ist aber Aufgabe von sachverständigen Ingenieuren.

**Die Pleuelstange.** Der Pleuel ist in der Mitte konisch durchbohrt und sitzt auf einem genau passenden Konus der Pleuelstange, auf welcher er mittels eines Keiles oder einer Mutter fest angezogen ist. Die Pleuelstangen werden aus Siemens-Martin-Stahl hergestellt. Bei liegenden langhubigen Maschinen und bei sehr großen Zylindern stehender Maschinen läßt man die Pleuelstange zweckmäßig auch durch den hinteren bzw. oberen Deckel hindurchgehen. Bei liegenden Maschinen benötigt man durchgehende Pleuelstangen etwa von einem Pleueldurchmesser von 450 Millimeter an. Die durchgehenden Pleuelstangen haben den Vorteil, daß der Pleuel von

der Kolbenstange getragen wird, während derselbe bei einseitigen Kolbenstangen mit seinem ganzen Gewicht auf der unteren Zylinderwand lastet und der Zylinder mehr abgenützt wird. Aber auch die durchgehenden Kolbenstangen biegen sich bei schweren Kolben durch und es läuft dann der untere Teil der Stopfbüchsen schnell aus, so daß die Stopfbüchsen nicht dicht zu bekommen sind. Da man bei schweren Kolben zur Vermeidung diese Durchbiegung ganz außergewöhnlich starke Kolbenstangen anwenden müßte, was man aber wegen der entstehenden Verringerung der Arbeitsfläche des Kolbens nicht tun kann, macht man die Kolben selbsttragend. Bei diesem Kolben wird auf dessen unteren Teil ein spitz verlaufendes Blech aufgenietet, welches den Zwischenraum zwischen Kolbenring und Kolbenkörper gerade ausfüllt.

Einige Firmen bauen wohl auch für solche Fälle die Kolbenstange etwas exzentrisch in den Kolben ein oder die Kolbenstange wird von Haus aus mit einer Durchbiegung nach oben angefertigt, so daß sie in eingesehendem Zustand durch das Kolbengewicht genau gerade gedrückt wird, oder der Kolbenkörper erhält zunächst das Maß des Zylinderdurchmessers; und es wird alsdann je nach dem Durchmesser, ein Span von 0,5 bis 2,5 mm Stärke exzentrisch abgenommen, so daß der Kolben unten, auf etwa ein Drittel seines Umfanges unberührt bleibt und seitlich, sowie oben einen kleinen Spielraum gegen die Zylinderwandung hat. (Ausführung der Dresdner Maschinenfabrik und Schiffswerft Abigau.)

Die Kolbenstange ist genau und glatt zu drehen, zu schlichten und abzuschmirgeln, da die Abnützung der Stopfbüchsen durch eine glatte Kolbenstange sehr vermindert wird.

## II. Die Geradföhrung.

Die Stopfbüchsen haben die Aufgabe, die Kolbenstange gegen den Dampfdruck im Dampfmaschinenzylinder (oder in der Ventilkammer oder im Schieberkasten) dampfdicht abzuschließen. Ist an der betreffenden Durchgangsstelle der Kolbenstange (oder Schieber- oder Ventilstange) eine Luftleere in der Maschine vorhanden, so muß der durch die Stopfbüchse bewirkte Abschluß luftdicht sein und das Eindringen der Luft in die Maschine verhüten (Kondensationsmaschine). Der dichte Abschluß wird durch eine Packung erreicht, die infolge der unvermeidbarerweise eintretenden Abnützung auswechselbar sein muß. Man unterscheidet Stopfbüchsen mit weicher Packung, mit Metallpackung, und mit gemischter — weicher und metall-

ner — Packung. Die Stopfbüchse besteht ferner aus dem Grundring, der in die Zylinderwand eingesezt und aus Rotguß hergestellt ist, dem Stopfbüchsenfutter, welches die Packung enthält, und aus der Stopfbüchsenbrille, die in den meisten Fällen gleichfalls eine Rotgußbüchse erhält und durch das Anziehen mehrerer Schrauben in das Stopfbüchsenfutter hinein gegen das Packungsmaterial gepreßt werden kann, wodurch der erforderliche dichte Abschluß der Kolbenstange erzeugt wird.

**Die Stopfbüchse mit weicher Packung** (Fig. 7). Bei liegenden Dampfmaschinen wird die lichte Bohrung des Grundrings mit Rücksicht auf die Durchbiegung der Kolbenstange infolge des Kolbengewichtes 1 bis  $1\frac{1}{2}$  Millimeter weiter als der Kolbenstangendurchmesser gemacht. Packungsmaterialien sind: Hanf oder Baumwolle und Asbest. Das Packungsmaterial muß möglichst weich sein und nicht hart werden; aus diesem Grunde verwendet man statt des Hanfes besser Asbest. Zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Packung und des gleichmäßigen Einlegens halber wird die Packung in Schnüre geflochten. Die für hohen Dampfdruck und für überhitzten Dampf bestimmten Packungsschnüre sind mitunter noch von dünnen Messing- und Kupferdrähten durchzogen.

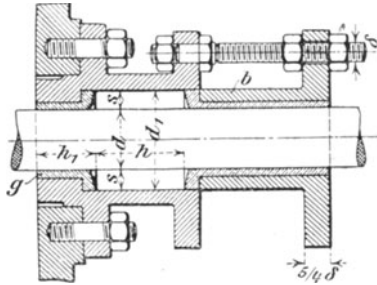


Fig. 7. Stopfbüchse für weiche Packung. (Nach Freytag.)

Zur Schonung der Packung muß die Stopfbüchse möglichst lang und völlig mit Packungsmaterial ausgefüllt sein und gut geschmiert werden. Die Stopfbüchsenbrille darf daher nicht zu weit in die Stopfbüchse hineinragen; hat sich die Packung im Laufe der Zeit zu weit zusammengedrängt, so ist der freigewordene Raum mit Packung auszufüllen. Die Packung muß vor dem Einsetzen reichlich mit Öl oder Talg durchdränkt und mit Graphit eingerieben sein. Das hierzu verwendete Öl muß einen möglichst hohen Siedepunkt haben, damit es auch bei hoher Erwärmung die Packung nicht angreift und nicht zu schnell verfliegt, da die Packung andernfalls sehr schnell trocken und unbrauchbar wird. Schlechte und trocken gewordene Packung verursacht starke Reibung, schnelle Abnutzung der Kolbenstange und schweren Gang der Maschine. Große Sorgfalt ist auf gleichmäßiges Anziehen der Stopfbüchsenbrille zu verwenden, da andernfalls die nämlichen Nachteile entstehen. Sind an der Stopfbüchse keine besonderen Schmiereinrichtungen — Tropföler oder Dochtöler — vorhanden, so ist die Schmierung der hin- und



hergehenden Kolbenstange mittels eines Handpinsels zu besorgen. Bläst die Stopfbüchse, d. h. läßt sie Dampf hindurchtreten, und ist die Packung trocken und hart geworden, so ist das gesamte Packungsmaterial zu er-

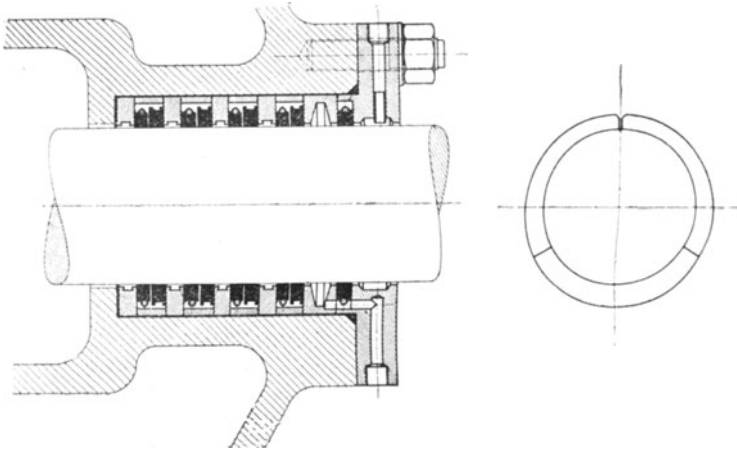


Fig. 8. Stopfbüchse mit Metallpackung von Saak & Kießelbach in Düsseldorf-Rath.

neuern, was bei regulärem Betrieb etwa halbjährlich zu erfolgen hat. Völlig verkehrt ist es, die Packung nur teilweise zu erneuern und die hinteren Packungsschnüre seltener auszuwechseln, da die Stopfbüchse alsdann nur durch übermäßiges Anpressen dicht zu bekommen ist.

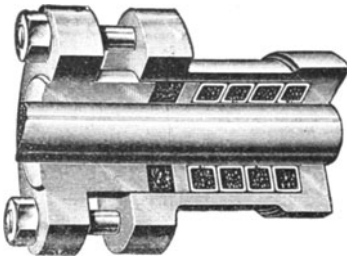


Fig. 9. Selbstschmierende Metallpackung von G. Guhn, S. m. b. H., Berlin. Hohle Dichtungsringe mit Schmierstoff gefüllt, der beim Anziehen aus den Ringen heraustritt und sich als Schmierkissen zwischen den Ringen ablagert. Der weiche Schlußzopf ist nur leicht anzuziehen.

**Die Metallstopfbüchsen** (Fig. 8—11) sind bei hohen Dampfdrücken, bei überhitztem Dampf und bei schnell laufenden Maschinen unentbehrlich, da die weichen Packungen alsdann nicht standhalten, große Reibungsverluste und schnelle Abnutzung der Kolbenstange verursachen. Die Metallpackungen werden bei hocherhitztem Dampf aus Gußeisen hergestellt; für niedrigere Dampftemperaturen wird ein Kompositionsmetall verwendet, das sich bei hohen Überhitzungsgraden jedoch nicht als aus-

reichend erwiesen hat. Die neueren Metallstopfbüchsen bestehen aus einer Anzahl von Kammern; in jede Kammer sind ein oder zwei Dichtungsringe aus Gußeisen oder einer Metalllegierung dicht eingeschliffen. Bei der nebenstehend abgebildeten Stopfbüchse der Firma Sad & Kießelbach (D.R.P.) enthält jede Kammer einen dreiteiligen und einen ungeteilten Ring. Der dreiteilige Ring wird durch eine, um seinen äußeren Umfang geschlungene Schlauchfeder sanft an die Kolbenstange gedrückt und dichtet

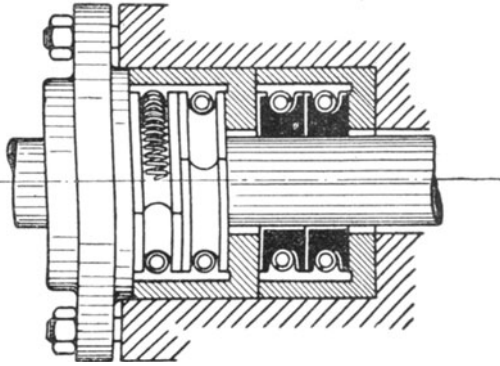


Fig. 10. Metallpackung von Dr.-Ing. Proell, Dresden.

diese ab, ausgenommen die oben befindliche Schlitzzelle. An diesem Punkte liegt aber der zweite daneben befindliche Ring insofern seines Gewichtes dicht auf der Kolbenstange auf. Auch mit ihren Stirnseiten — also in der Längsrichtung der Kolbenstange — sind die Dichtungsringe dampfdicht in die einzelnen Kammern eingepaßt. In senkrechter Richtung zur Kolbenstange müssen sie aber etwas Spielraum haben, damit sie sich bei der Durchbiegung der Kolbenstange ein wenig auf- und abwärts bewegen können. Die Kammern werden durch den Stopfbüchsendeckel fest zusammengedrückt. Der Stopfbüchsendeckel liegt vorn fest an der Stopfbüchse an, gegen die er oft durch eine weiche Packung abdichtet ist. Er enthält zumeist ein Schmierloch, da die Metallstopfbüchsen ununterbrochen geschmiert werden müssen. Doch fehlt auch zuweilen die

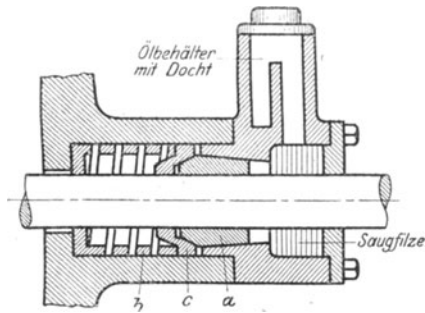


Fig. 11. Stopfbüchse für Lokomotiven. a = zweiseitiger, eingeschliffener Regel aus Weißmetall, b = Feder von etwa 30, 50 oder 75 kg Spannkraft je nach Kolbenstangendurchmesser, c = Preßring, preßt den Regel a gegen die Kolbenstange.

Schmiereinrichtung, wenn der Ölgehalt des Dampfes für die Schmierung ausreicht. Die Metallstopfbüchsen halten jahrelang ohne irgendwelche Reparaturen aus und verdienen mit Recht die weite Verbreitung, die sie gefunden haben. Ist der dreiteilige Ring nach längerem Gebrauche ausgelaufen, so kann er durch Nachfeilen der Trennflächen wieder passend gemacht werden. Die Metallstopfbüchsen verlangen genau runde glatte Kolbenstangen; sollen sie nachträglich, anstelle von Weichpackungen, angebracht werden, so ist die abgenutzte Kolbenstange vorher nachzudrehen und zu polieren.

Bei der umstehend abgebildeten Proell-Packung, die gleichfalls sehr verbreitet ist, ist der gegen die Kolbenstange durch Federkraft angepreßte Ring sechsteilig, der andere Ring ist in senkrechter Richtung geteilt und es werden dessen Teile durch eine gleichfalls um den äußeren Ringumfang geschlungene Schlauchfeder in wagerechter Richtung auseinandergepreßt, wodurch ein dichter Abschluß der Kammern in der Längsrichtung der Kolbenstange erzielt wird.

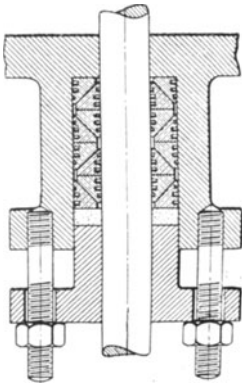


Fig. 12.  
Stopfbüchse der Howaldwerke, Kiel, für Schiffsmaschinen (nach Freytag).

Die umstehende Abbildung zeigt eine Stopfbüchse für die Kolbenstangen der Lokomotive. Zu den Metallpackungen gehören noch die **Labyrinthdichtungen** mit geschlossenen Dichtungsringen und mit Labyrinthnuten, in denen der etwa hindurchtretende Dampf verwirbelt. Fig. 78 Seite 97 und Fig. 93 Seite 121.

Die Howaldpackung (Fig. 12) ist eine **gemischte Packung**, sie setzt sich aus einer Anzahl von Metallringen zusammen, die mit ihren kegelförmigen Flächen aufeinander aufliegen. Die Ringe sind zweiteilig; sind sie einem Druck in der Richtung der Stopfbüchsenbrille ausgesetzt, so suchen die Ringe auf ihren kegelförmigen Berührungsflächen aneinander zu gleiten, wobei der eine Ring gegen die Kolbenstange, der andere gegen das Stopfbüchsenfutter gedrückt wird und die Abdichtung der Kolbenstange entsteht. Unter die Stopfbüchsenbrille wird ein Ring aus Weichpackung gelegt. Die Packung ist behutsam anzuziehen bis die Dichtung dicht hält; zu heftiges Anziehen der Stopfbüchsenbrille ist schädlich und verursacht zu starke Pressung der Metallringe gegen die Kolbenstange, wodurch Heißlaufen der Kolbenstange und schwerer Gang der Dampfmaschine entstehen.

**Der Kreuzkopf** (Fig. 13) ist auf einem konischen Zapfen am vorderen Ende der Kolbenstange genau aufgepaßt und wird durch einen Keil festgehalten. Der Keil erhält, damit er sich nicht zufällig und von selbst lösen kann, eine Schraubensicherung und wird mittels eines Kupferhammers fest angezogen.

Der Kreuzkopf läuft mit den Gleitschuhen oder Gleitbacken in der Geradföhrung. Der einseitige (eingleisige) Kreuzkopf, der nur bei kleinen und stehenden Dampfmaschinen der leichteren Zugänglichkeit halber gebräuch-

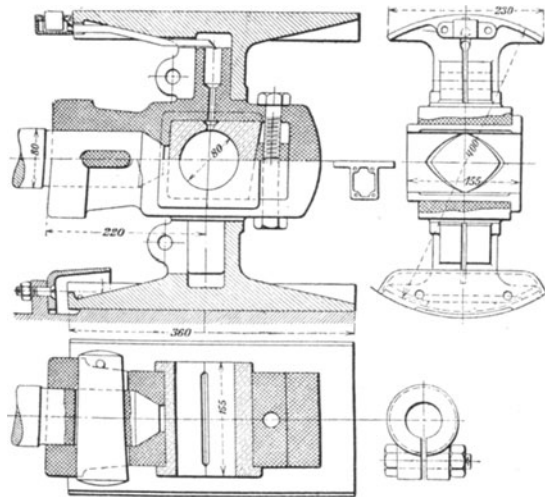


Fig. 13. Kreuzkopf mit verstellbaren Gleitschuhen. (Nach Freitag.)

lich ist, läßt nur eine Umdrehungsrichtung der Dampfmaschine zu, wenn der Gleitschuh nicht während des Ganges von seiner Auflagefläche abgedrückt werden soll. Dreht sich eine Dampfmaschine wie in Fig. 15 Seite 19, angegeben, so wird der untere Gleitbacken auf den Führungsschlitten gedrückt, während der obere Gleitbacken keinen Druck gegen den Führungsschlitten ausübt. Ist eine solche Dampfmaschine mehrere Jahre gelaufen, so haben sich nur der untere Gleitbacken und der untere Führungsschlitten abgenutzt. Der ganze Kreuzkopf hat sich dann gesenkt, so daß der obere Gleitbacken überhaupt nicht mehr an der Führung anliegt. Hat die Dampfmaschine die entgegengesetzte Umdrehungsrichtung, so wird nur der obere Gleitbacken gegen die Führung gepreßt, während der untere völlig entlastet ist. Die Gleitbacken können bei vielen Kreuzkopfkonstruktionen nachgestellt

und abgenommen werden. Letzteres erfolgt, nachdem man den Kreuzkopf samt dem Kolben und der Kolbenstange nach Herausnehmen des Kreuzkopfpapfens in der Geradführung herumgedreht hat. Die richtige Einstellung der abgenutzten Gleitschuhe ist ziemlich schwierig, bei zu festem Einstellen laufen sie schnell heiß und tritt ein Festfressen derselben ein. Da hiermit sehr unangenehme Betriebsstörungen verbunden sind, werden die Kreuzköpfe auch vielfach überhaupt nicht nachstellbar eingerichtet. Damit ihre Abnutzung möglichst gering ist, werden sie sehr reichlich bemessen und erhalten gute Schmiervorrichtungen. Man läßt deshalb die Maschinen meist wie in Fig. 15 umlaufen, da sich die Lauffläche des unteren Gleitbadens besser in Öl halten läßt als die des oberen Badens.

**Der Kreuzkopfbolzen** wird mittels einer Mutter, die durch einen Splint oder eine Gegenmutter gegen zufälliges Lockern gesichert ist, fest angezogen. Sein mittlerer, zylindrischer Teil dient als Lagerstelle für die Pleuell- oder Pleuellstange und wird zur Verringerung der Abnutzung vielfach an der Oberfläche etwa 1 bis 1½ mm tief glashart gemacht. Sein Kern muß jedoch weich bleiben, damit der Bolzen bei der stoßweisen Belastung nicht während des Ganges der Maschine abplatzt. Große Sorgfalt ist auf die Schmierung des Kreuzkopfbolzens zu verwenden, die durch eine an seiner vorderen Stirnfläche angebrachte Schmiervorrichtung erfolgt und zu welchem Zwecke er mehrere Löcher und Nuten besitzt, die bei jedesmaligem Auseinandernehmen des Kreuzkopfes zu reinigen sind. Sind diese Ölgänge einmal verstopft, so treten sehr schnell Anfrassungen am zylindrischen Teil des Bolzens ein, denn obgleich die Bewegung der Lagerschalen auf dem Kreuzkopfbolzen sehr gering ist, so ist doch andererseits der Druck, den die Pleuellstange ausübt, sehr beträchtlich und verursacht bei ungenügender Schmierung eine rasche Abnutzung der reibenden Flächen.

### III. Der Kurbelmechanismus.

**Die Kurbelstange** umschließt mit dem einen Ende den Kreuzkopfbolzen, mit dem andern den Pleuell- oder Pleuellzapfen. Beim Gange der Maschine bewirkt sie eine Umkehrung der geradlinigen hin- und hergehenden Bewegung des Kolbens und des Kreuzkopfes in die kreisförmige Bewegung der Pleuell- und der Pleuellstange der Maschine. Die Lagerschalen der Kurbelstange werden aus zweiteiligen Pleuellschalen hergestellt und sind durch den Keil **E** nachstellbar, so daß bei einer etwaigen Abnutzung der Laufflächen, die sich während des Ganges der Maschine durch Pleuell-

bemerkbar macht, die Lagerschalen nach Abfeilen enger gestellt werden können. Beim Nacharbeiten ist zweierlei zu beobachten. Erstens muß zwischen den Trennflächen der Lagerschalen ein Spalt freibleiben; liegen sie fest aneinander an, so ist ein Nachziehen mit dem Keile unmöglich. Zweitens muß beim Nacharbeiten der Lagerschalen darauf gesehen werden, daß die Entfernung  $L$  zwischen den Mittelpunkten des Kreuzkopfbolzens und des Kurbelzapfens nicht verändert, also nicht verkürzt und nicht verlängert wird, da hierdurch der Kreuzkopf samt dem Kolben im Zylinder nach einer Seite verschoben wird. Würden z. B. in einer Kurbelstange (Fig. 14) die Keile  $D$  und  $E$  nach einem Nacharbeiten der Lagerschalen tiefer in die Lager eingetrieben, so würde sich die Länge  $L$  zwischen den Mittelpunkten des Kreuzkopfbolzens und des Kurbelzapfens vergrößern,

d. h. die wirksame Länge der Kurbelstange würde vergrößert und der Kolben im Zylinder mehr nach dem hinteren Zylinderdeckel zu geschoben werden. Hat man daher die Lagerstellen einer derartigen Kurbelstange nach-

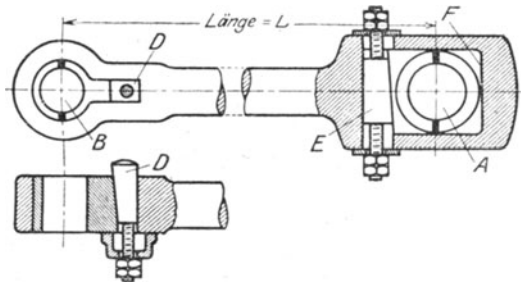


Fig. 14. Die Länge  $L$  der Kurbelstange darf beim Anziehen der Keile  $D$  und  $E$  nicht verändert werden.

gearbeitet, so muß man eine solche nachteilige Längenänderung derselben dadurch vermeiden, daß man an den Stellen  $F$  Blechscheiben (dünnes Messingblech) einlegt. Es ist daher zweckmäßig, wenn man die vorderste und hinterste Stellung des Kreuzkopfes mittels einer Reißnadel ein für allemal dauerhaft an der Geradführung bezeichnet und sich nach Reparaturen an der Kurbelstange überzeugt, ob diese Zeichen noch stimmen. Beim Anbringen der Zeichen und beim Kontrollieren derselben ist auf die Ausdehnung der Kolbenstange infolge der Dampfwärme Bedacht zu nehmen.

Die Lagerschalen der Kurbelstange müssen gut eingepaßt sein und dürfen nicht zu locker sitzen. Dem Schmieren des Kurbelzapfens ist wegen dessen hoher Beanspruchung durch Druck große Aufmerksamkeit zuzuwenden. Bei neueren Maschinen erhält der Zapfen Öllöcher, durch welche das Öl infolge der Zentrifugalkraft hindurchgedrückt wird. Der Maschinist tut gut, die Öllöcher öfter mit reinem Petroleum auszuspülen.

**Der Kurbelzapfen und die Kurbel.** Der Kurbelzapfen sitzt mit einem Konus in der Warze der Kurbel und wird mittels eines Querkeiles fest angezogen. Er kann jedoch auch eingeschrumpft werden, d. h. man erwärmt die Warze der Kurbel und schiebt den Kurbelzapfen in die durch die Erwärmung erweiterte Bohrung. Beim Erkalten schrumpft die Warze zusammen und hält den Kurbelzapfen sehr fest. Da die Erneuerung des Kurbelzapfens schwieriger als die der Lagerschalen in der Kurbelstange ist, sucht man seine Abnutzung nach Möglichkeit zu verringern. Er wird deshalb aus Stahl (Tiegelstahl) hergestellt und mitunter auf der Oberfläche des Lagerhalbes etwa 1 Millimeter tief gehärtet.

Die Kurbel wird gleichfalls auf die Welle aufgeschrumpft oder durch hohen Wasserdruck aufgedrückt und durch einen Keil oder eingebohrten Bolzen gegen etwaiges Verdrehen auf der Welle gesichert. Eine Erneuerung der Kurbel ist nur selten erforderlich. Mitunter lockert sie sich auf der Schwungradwelle oder ihre Warze reißt beim zu festen Anziehen des Kurbelzapfenkeiles auf. Derartige Beschädigungen bedingen eine Erneuerung der Kurbel. Das Abnehmen einer beschädigten Kurbel ist nur nach vorherigem Anwärmen möglich. Vor dem Aufziehen der Erfaßkurbel ist der Wellenhals zu überdrehen, damit sie besser sitzt.

**Die Lager der Hauptwelle,** von denen das neben der Kurbel befindliche auch Kurbellager heißt, werden mit zwei- bis vierteiligen Lagerschalen ausgerüstet, die bei einer etwaigen Abnutzung nachgestellt werden können. Das Nachstellen geschieht mittels Schrauben, Keilen oder Blechbeilagen. Auch hierbei ist zu beachten, daß durch das Nachziehen der Schrauben nicht die Mittelpunktslage der Schwungradwelle geändert wird. Es sind daher bei den drei- und vierteiligen Lagern die in wagerechter Richtung einander gegenüber liegenden Lagerschalen stets zugleich anzuziehen.

Das Kurbellager und die Geradföhrung bilden ein gemeinsames Gußstück (Fram), an welchem der Zylinder angeschraubt ist. Der Zylinder ruht mit gußeisernen Füßen in einer Föhrung auf einer gehobelten Fundamentplatte, so daß er bei den unvermeidlichen Längenänderungen durch die Erwärmung sich ungehindert ausdehnen kann, während der Fram fest auf das Fundament geschraubt ist und seine Lage nicht verändern kann.

**Das Schwungrad.** Befindet sich der Kurbelzapfen in den Stellungen a und b, steht der Kolben also an den äußersten Enden seines Hubes, so vermag der im Zylinder auf den Kolben drückende Dampf die Maschine nicht in Bewegung zu setzen. Man nennt daher diese beiden Stellungen die „toten Punkte“ der Maschine. Um letztere über diese Stellungen hinwegzubringen, bringt man das Schwungrad an. Dasselbe speichert während





so ungleichmäßig wie auf dem oberen Halbkreis a c b. Der Dampfdruck im Zylinder ist nämlich auf der Strecke von b bis etwa nach e am größten, d. h. gleich dem Kesseldruck, kann aber nicht zur Entfaltung der vollen Umdrehungsgeschwindigkeit der Maschine führen, da die wirksamste Kurbelstellung erst bei d erreicht wird und an dieser Stelle der Dampfdruck im Zylinder infolge der Expansion beträchtlich gefallen ist.

#### Der Einfluß der Länge der Kurbelstange auf den Kolbenweg.

Wenn der Kurbelzapfen in einem der Totpunkte a und b steht (Fig. 16), befinden sich der Kolben und der Kreuzkopf selbstverständlich an ihren äußersten Stellungen. Befindet sich der Kurbelzapfen im Punkte c, hat er also auf dem Halbkreise von a nach b die Hälfte seines Weges zurückgelegt, so könnte man bei oberflächlicher Beurteilung meinen, es müßten nun auch der Kolben und der Kreuzkopf nicht mehr und nicht weniger als die Hälfte ihres Weges zurück-

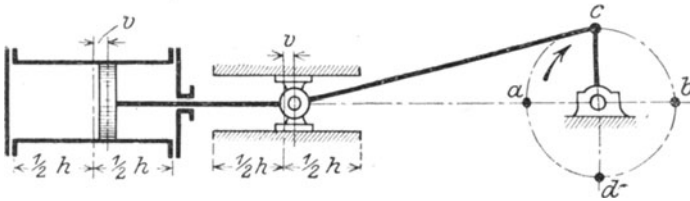


Fig. 16. Kolbenweg und Länge der Kurbelstange. Die Kurbel im Mittelpunkte c, der Kolben und der Kreuzkopf sind um die Strecke v über ihre mittlere Lage hinaus-

gelegt haben und in der Mitte zwischen ihren Endstellungen stehen. Diese Annahme ist jedoch falsch. Stellen wir uns vor, der Kurbelzapfen hätte sich, um von a nach c zu gelangen, nicht auf dem Viertelkreisbogen, sondern zunächst von a aus nach dem Mittelpunkte g bewegt, so ist ohne weiteres klar, daß der Kolben und der Kreuzkopf alsdann ihre Mittelstellung einnehmen. Zieht man dann den Kurbelzapfen in senkrechter Richtung von g nach c, so werden hierbei der Kreuzkopf und der Kolben ein Stück über ihre Mittelstellung hinausgezogen. Wir sehen also, daß der Kolben bei der Drehung der Dampfmaschine von a nach c einen größeren Weg zurücklegt als bei der Drehung von c nach b. Bei der Drehung der Maschine von b nach d ist der Kolbenweg so groß wie bei der Drehung von c nach b, bei d a so groß wie bei a c. Es ergibt sich also auch eine Ungleichförmigkeit des Ganges der Dampfmaschine während einer Umdrehung derselben aus der Länge der Kurbelstange. Eine kurze Kurbelstange bewirkt, wie sich aus einem Vergleich ergibt, einen größeren Ungleichförmigkeitsgrad als eine

längere Pleuellstange. Diese Schwankungen in der Umdrehungsgeschwindigkeit der Dampfmaschine übertragen sich natürlich auch auf die Arbeitsmaschinen, sind aber bei letzteren nur bemerkbar, wenn sie mit hoher Umdrehungszahl laufen, wie dies bei elektrischen Dynamomaschinen und Spinnmaschinen der Fall ist, während sie bei Werkzeugmaschinen, Schiffsschrauben usw. nicht in die Erscheinung treten.

Von größerer Bedeutung ist aber dieser Ungleichförmigkeitsgrad für die Konstruktion der Steuerung. Da der Pleuellzapfen von a nach b einen größeren Weg als während der Umdrehung derselben von b nach d zurücklegt, muß zur Erreichung gleicher Füllungen auf beiden Pleuellseiten der Dampfeinlaßkanal auf der Pleuellseite des Pleuellzylinders etwas eher als auf der Pleuellseite geschlossen werden, was bei Schiebersteuerungen durch entsprechende Einstellung des Schiebers und bei Ventilsteuern durch voneinander abweichende Formen der Einlaßsteuerhebel erreicht wird. Bei manchen Dampfmaschinen mit verhältnismäßig langer Pleuellstange wird auf diese verschiedene Einstellung der Steuerung zwar verzichtet, doch ist sie bei Dampfmaschinen mit sehr kurzer Pleuellstange (Schiffsmaschinen u. a.) zur Erzielung einer gleichmäßigen Arbeitsleistung auf beiden Pleuellseiten nicht zu umgehen.

#### IV. Die Steuerung und die Dampfverteilung.

Um die hin- und hergehende Bewegung des Pleuels im Pleuellzylinder zu erzeugen, muß der gespannte Dampf abwechselnd auf die beiden Pleuellseiten wirken und zur Erzielung dieser Wirkung bei bestimmten Pleuellstellungen regelmäßig in den Pleuellzylinder einströmen und aus diesem wieder ausströmen. Aufgabe der Steuerung ist es nun, die hiernach erforderliche Dampfverteilung richtig zu bewerkstelligen, indem sie die Dampfeinlaß- und Auslaßkanäle am Pleuellzylinder regelrecht öffnet und schließt; und zwar unterscheidet man bei dem Arbeitsvorgange des Dampfes im Pleuellzylinder vier Abschnitte, die in nachstehender zeitlichen Reihenfolge nacheinander auf jeder der beiden Pleuellseiten auftreten: erstens die Einströmungsperiode, zweitens die Expansionsperiode, drittens die Ausströmungsperiode und viertens die Kompressionsperiode. Von einer gut gebauten Steuerung verlangt man, daß sich diese vier Abschnitte auf jeder Pleuellseite gleichmäßig wiederholen, so daß auf jeder Pleuellseite die gleiche Arbeit geleistet wird.

Die **Dampfeinströmung** in den Pleuellzylinder ist so geregelt, daß sie nur während eines Teiles des Pleuellhubes andauert und alsdann abgestellt

wird, damit auch diejenige Arbeit noch nutzbar gemacht wird, welche der gespannte Dampf leisten kann, wenn er expandiert. Der Teil des Zylinder-raumes, auf den sie sich erstreckt, und der demnach mit Dampf von der vollen Drosselspannung gefüllt ist, wird als Füllung bezeichnet und nach seinem Verhältnis zum vollen Zylinderraume zahlenmäßig angegeben. Hält beispielsweise die Dampfeinströmung während des halben Kolbenweges an, so sagt man, die Dampfmaschine arbeitet mit 50 Prozent Füllung usw. Soll die Dampfmaschine den Anforderungen der gleichen Füllungsgrade auf beiden Kolbenseiten entsprechen, so ist beim Entwurf der Steuerungsvorrichtung darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Kolbenstellung, wie Seite 21 dargelegt ist, nicht nur von der Stellung des Kurbelzapfens, sondern auch von der Länge der Kurbelstange abhängig ist.

Die Füllung wird bei vielen Dampfmaschinen, deren Kraftabgabe nicht gleichmäßig groß ist, sondern schwankt, veränderlich eingerichtet, so daß diese Maschinen zeitweise mit kleiner oder großer Füllung arbeiten können. Die Veränderung der Füllungen wird durch die Steuerung hauptsächlich dadurch bewirkt, daß die Einströmung bei kleinen Füllungen eher, bei großen Füllungen später abgeschlossen wird. Als größte Füllungsgrade, über die man nur selten hinausgehen sollte, kann man für Einzylindermaschinen 60 Prozent, für den Hochdruckzylinder von Verbundmaschinen 70 Prozent annehmen, damit die Dampfmaschine bei vorübergehender hoher Belastung durch das Einrücken schwerer Arbeitsmaschinen ihre volle Geschwindigkeit behalten kann. Für Dauerbetrieb sind jedoch derart große Füllungen nicht geeignet, da hierbei die Expansionsperiode zu erheblich verkürzt und der Enddruck derselben zu hoch bleibt, so daß die Maschine unwirtschaftlich arbeitet.

**Die Expansionsperiode.** Nach der Beendigung der Dampfeinströmung wird der Kolben durch die Expansions(Ausdehnungs)kraft des im Zylinder eingeschlossenen gespannten Dampfes fortbewegt. Man nennt deshalb den auf die Einströmungsperiode fallenden Abschnitt des Arbeitsvorganges im Zylinder **die Expansionsperiode**. Während derselben fällt der Dampfdruck im Zylinder und zwar soll die Druckabnahme zur Erzielung einer guten Dampfausnützung möglichst bis nahe an den Druck erfolgen, den der Dampf beim Ausströmen aus dem Zylinder billigerweise haben muß. Läßt man die im Zylinder auftretenden Wärmeverluste durch Ausstrahlung, sowie die Verluste infolge von Undichtigkeiten des Kolbens und der Einlaßorgane (Schieber oder Ventile) außer Betracht, so müßte diese Spannungsabnahme in demselben Verhältnis abnehmen, wie der Kolbenweg zunimmt. Ist also der Kolbenweg nach dem Abschluß der Einströmung

auf das Doppelte oder Dreifache vergrößert, so müßte, rein theoretisch betrachtet, die Spannung des expandierten Dampfes nur noch die Hälfte oder das Drittel von dessen Anfangsspannung betragen. Tatsächlich ist jedoch der Spannungsabfall während der Expansionsperiode infolge der erwähnten Wärme- und Dampfverluste etwas höher. Die Expansionsperiode und der bei ihrem Abschluß noch bestehende Dampfdruck im Zylinder stehen bei den Dampfmaschinen mit veränderlichen Füllungen in Wechselbeziehung zu dem jeweiligen Füllungsgrade. Bei großer Füllung, also bei langer Einströmungsperiode, wird die Expansionsperiode kurz und ihr Enddruck groß, und umgekehrt wird die Expansionsperiode lang und ihr Enddruck klein bei kleinem Füllungsgrad, also bei kurzer Einströmungsperiode. Da die Arbeitsleistung des Dampfes im Zylinder mit dem Aufhören der Expansionsperiode beendet ist, ergibt sich, daß die Ausnützung des Dampfes am besten ist, wenn die Expansion des Dampfes im Zylinder weit getrieben wird, und zwar vom praktischen Standpunkte aus betrachtet, soweit, daß der Enddruck bei Auspuffmaschinen 0,6 bis 1,0 Atm. Überdruck, bei Kondensationsmaschinen eine Atmosphäre tiefer, also bei 0,6 bis 1,0 Atm. absolut, liegt und zwar im letzteren Falle sowohl bei Einzylinder- wie bei Verbundmaschinen.

**Die Ausströmungsperiode.** Beim Rückgange des Kolbens strömt der Dampf aus dem Zylinder wieder aus. Den Druck, welchen der ausströmende Dampf im Zylinder hat, bezeichnet man als Gegendruck, da er dem Drucke des nunmehr auf der anderen Kolbenseite zur Wirkung gelangenden Frischdampfes entgegenwirkt und von letzterem überwunden werden muß. Bei den Auspuffmaschinen findet die Ausströmung ins Freie, bei Kondensationsmaschinen in den Kondensator statt, in welchem der Dampf durch starke Abkühlung, die durch kaltes Wasser bewirkt wird, zu Wasser (Kondenswasser) verdichtet (kondensiert) wird. Im ersteren Falle ist der Druck des ausströmenden Dampfes gleich dem äußeren Luftdruck vermehrt um den Druck, der zur Überwindung der Widerstände erforderlich ist, welche der ausströmende Dampf in den Auslaßkanälen findet. Im zweiten Falle ist dieser Druck infolge des Vakuums im Kondensator und der sehr kurzen Abdampfrohre um eine Atmosphäre niedriger. Hieraus ist ersichtlich, daß auch nach dem Abschluß der Expansionsperiode ein weiterer Druckabfall stattfindet, derselbe erstreckt sich aber nur auf einen verhältnismäßig kleinen Teil der Ausströmungsperiode, während des übrigen Teiles derselben bleibt der Gegendruck unverändert. Der Druck des ausströmenden Dampfes soll im Zylinder möglichst niedrig sein, damit der nunmehr auf der anderen Kolbenseite einströmende Frischdampf seine Wirkung voll zur Geltung bringen kann.

**Die Kompressionsperiode.** Ebenso wie die Einstromungsperiode, so erstreckt sich auch die Ausstromungsperiode nicht auf den vollen Kolbenhub. Hat der Kolben einen Teil seines Rückganges durchlaufen, so wird die Ausströmung des Dampfes durch das Schließen der Auslaßkanäle beendet. Der im Zylinder noch verbliebene Dampf ist alsdann eingeschlossen, kann also nicht entweichen und wird auf dem weiteren Rückgange des Kolbens von diesem zusammengedrückt (komprimiert). Sein Druck steigert sich hierbei von der Spannung des Ausströmdampfes nahezu auf diejenige des Frischdampfes, so daß beim Wiedereröffnen des Dampfeinlaßkanales nur wenig Frischdampf erforderlich ist, um die Spannung des Dampfes im Zylinder auf die volle Höhe zu bringen. Die Kompression des Dampfes ist aber auch aus dem Grunde sehr nützlich, weil sie zum ruhigen Gang der Dampfmaschine viel beiträgt und durch sie die Stöße, die namentlich beim Hubwechsel im Gestänge und in den Lagerstellen auftreten, ausgeglichen werden.

**Die Vorein- und die Vorausströmung.** Aus vorstehendem ist ersichtlich, daß der Dampf nur auf dem Hinwege, nicht aber auf dem Rückgange des Kolbens seine Arbeit verrichtet. Man läßt jedoch allgemein den Beginn sowohl der Einstrom- wie der Ausstromperiode nicht auf den Hubwechsel fallen, sondern beide vor demselben stattfinden, und man spricht deshalb von einer Voreinstromung und einer Vorausströmung. Die Voreinstromung hat den Zweck, schon in der Kolbentotlage das Auftreten des vollen Arbeitsdruckes im Zylinder zu sichern. Ehe der Kolben in seine Totlage gelangt, öffnet das Einlaßorgan um einen Betrag, der als „lineares Voreilen“ bei Schiebern, als „Voröffnen“ bei Ventilen bezeichnet wird. Unter „Voreinstromung“ versteht man hingegen zumeist die Strecke, welche der Kolben von Beginn der Einstromung an bis zu seinem Totpunkt noch zurückzulegen hat. Die Steuerungen sucht man vorwiegend so zu konstruieren, daß die Größe des linearen Voreilens oder der Voreinstromung für die verschiedenen Füllungen unveränderlich bleibt. Zu großes Voreilen kann wegen des Druckwechsels im Kreuzkopf- und Kurbelzapfen stoßenden Gang des Gestänges und auch Dampfverlust verursachen. Im übrigen gibt das Voreilen ein Mittel in die Hand, um bei kleinen Füllungen günstige Kanalöffnungen zu erlangen, so daß sich in manchen Fällen eine Veränderung der Voreinstromung empfiehlt. Die Vorausströmung bezweckt, daß schon im Hubwechsel ein niedriger Gegendruck erzielt wird. Je höher die Umlaufzahl der Maschine und je größer die in den Dampfkanälen zugelassene Dampfgeschwindigkeit ist, um so reichlicher bemessen soll die Dauer der Vorausströmung sein, damit schon vor der Kolbentotlage genügende Dampfmen-

abströmen können. Mit der Größe des Enddruckes bei der Expansion muß die Vorausströmung zunehmen, weil hierbei die starke Ausdehnung des auspuffenden Dampfes zu berücksichtigen ist. Bei kleinen Füllungen von Auspuffmaschinen geht der Enddruck der Expansionsperiode mitunter bis unter den äußeren Luftdruck herab. Eine große Vorausströmung hat in diesem Falle den Vorteil, daß im Augenblick des Eröffnens des Auslasses Luft in den Zylinder strömt und das Auftreten einer zu niedrigen Spannung in denselben verhindert. Als Höchstwert der Vorausströmung ist bei raschlaufenden Dampfmaschinen etwa 15 bis 20 Prozent des Kolbenweges zu wählen, bei langsam laufenden Maschinen soll sie mindestens 5 bis 7 Prozent betragen. (Dubbel, Die Steuerungen der Dampfmaschinen.)

**Die Stöße im Kurbel- und Kreuzkopfszapfen.** Gelingt es dem Maschinenisten nicht, trotz genau zusammengepaßter Lagerschalen das Klopfen des Kurbel- und Kreuzkopfszapfens zu verhüten oder schlagen sich die Lagerschalen derselben sehr schnell aus, so ist eine Untersuchung der Steuerung durch einen Fachingenieur eines Dampfesselüberwachungsvereins vornehmen zu lassen. Die Wirkung der Stöße beruht darin, daß der Kurbel- und der Kreuzkopfszapfen abwechselnd gegen ihre vorderen und hinteren Lagerschalen gepreßt werden. Dies tritt nicht beim Hubwechsel, sondern kurz vorher ein, wenn der Gegendruck auf dem Kolben den andern Druck überwiegt und zwar findet dieser Druckwechsel regelmäßig beim Übergang zur Kompressions- und Voreinstromungsperiode statt. Der Gegendruck auf den Kolben versucht hierbei die Maschine rückwärts zu drehen, wird aber durch die lebendige Kraft des Schwungrades, welches die Maschine während dieses kurzen Kolbenweges bis zum Hubwechsel fortschleppt, überwunden. Bei einer guten Steuerung vollzieht sich dieser Druckwechsel allmählich, so daß die Maschine stoßfrei arbeitet. Ist aber beispielsweise die Expansion kurz vor Hubende zu weit getrieben worden, so daß der Gegendruck auf den Kolben überwiegt und der Druckwechsel im Gestänge bereits während der Expansionsperiode erfolgt, so kann mit der Eröffnung der Ausströmung bei Auspuffmaschinen durch das Einströmen von Luft in den Zylinder ein nochmaliger Druckwechsel und ein harter Stoß im Gestänge erzeugt werden. Tatsächlich wird auch mancher Maschinenist bemerkt haben, daß seine Maschine bei normaler Belastung ruhig läuft, bei geringer Belastung, also bei kleiner Füllung, aber heftig klopft.

**Die einfache Schiebersteuerung.** Dieselbe wird durch einen sogenannten Muschelschieber bewirkt, der auf einer aufgeschraubten ebenen Platte, dem Schieberpiegel, dampfdicht aufliegt. Vom Schieberpiegel aus führen in den Zylinder drei Kanäle, von denen der mittlere mit dem ins Freie

führenden Abdampfrohr der Maschine verbunden ist. Die Öffnung dieses Kanales ist stets vom Schieber überdeckt, so daß niemals frischer Dampf durch ihn hindurch ins Freie entweichen kann.

Der Schieber ist muschelförmig und nur auf seiner Grundfläche offen. Wird er nach rechts gezogen (siehe Fig. 17, Seite 27), so gibt er den Kanal *c* frei; es strömt durch denselben der Dampf aus dem Schieberkasten in den Zylinder, und der Kolben, der sich infolge der Bauart der Maschine gerade am linken Zylinderende befindet, wird nach vorn geschoben. Während dieser Kolbenbewegung tritt der an der anderen Kolbenseite befindliche, niedergearbeitete Dampf durch den Kanal *d* in den Hohlraum des Schiebers und von hier aus durch den Kanal *o* in das Abdampfrohr und aus letzterem ins Freie. Wird nun der Schieber nach der linken Seite gezogen, so gibt er den rechten Kanal *d* für den Damphauchtritt nach dem Zylinder frei, gleichzeitig wird der linke Kanal *c* mit der Auspufföffnung *o* verbunden, so daß der Kolben von rechts nach links geschoben wird. Man erfieht hieraus, daß durch die hin- und hergehende Bewegung des Schiebers die gewünschte Bewegung des Kolbens im Zylinder verursacht wird. Die Bewegung des Schiebers, dessen Weg bei weitem kürzer als der Kolbenhub ist, wird durch ein Exzenter auf der Hauptwelle der Dampfmaschine erzeugt. Exzenter und Schieber sind durch die Exzenterstange verbunden.

**Die Stellung des Schieberexzcenters zur Kurbel bestimmt die Umdrehungsrichtung der Maschine,** wie sich aus folgender Betrachtung ergibt:

**Die Einströmung des Dampfes** (Fig. 17—20) in den Dampfzylinder muß beginnen, ehe der Kolben im Totpunkte angelangt ist. Man bezeichnet die Einströmung vor der Totpunktlage als Voreinströmung. Dieselbe erstreckt sich auf einen sehr kleinen Kolbenweg, der gewöhnlich nur etwa 2 Prozent des Kolbenhubes beträgt, d. h. wenn letzterer 600 Millimeter groß ist, beginnt die Einströmung des Dampfes bereits, wenn der Kolben noch etwa 12 Millimeter von der Totpunktlage entfernt ist. Die Einströmung dauert so lange, wie der Kanal offen ist, d. i. so lange, bis die äußere Kante des Schiebers über den Einströmungskanal von links nach rechts und dann wieder von rechts nach links hinweggegangen ist. Man findet daher die Stelle, an welcher die Exzenter Scheibe bei Beginn der Damphauchströmung stehen muß, wenn man durch den Exzenterkreis eine Senkrechte zieht, die von dessen äußerstem Punkt um die Kanalbreite nach innen liegt. An den beiden Punkten, wo sie den Kreis schneidet, steht die Exzenter Scheibe bei Beginn und Ende der Einströmung. Ist die Ausweichung des Schiebers größer als die Kanalbreite, was bei Dampfmaschinen mit sehr großen Füllungen der Fall ist, so muß die Senkrechte im Abstände gleich

dieser **Ausweichweite** von dem äußeren Scheitel des Exzenterkreises gezogen werden. Für praktische Verhältnisse genügt dieses Verfahren, will man die Stellung der Exzenter Scheibe genau ermitteln, so ist die Länge der Exzenterstange zu berücksichtigen.

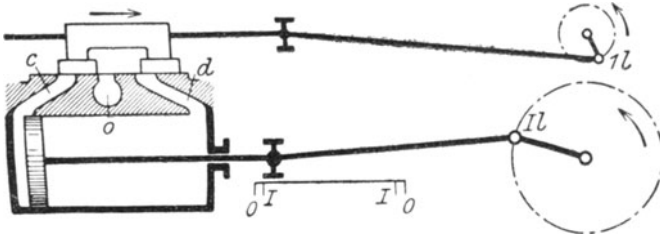


Fig. 17. Links vom Kolben: Beginn der Einströmung, zugleich Ende der Kompression. Die Maschine dreht sich links herum.

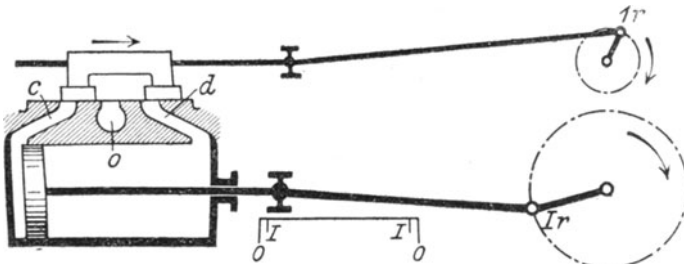


Fig. 18. Rechte Seite des Kolbens: Beginn der Einströmung, zugleich Ende der Komposition. Die Maschine dreht sich rechts herum.

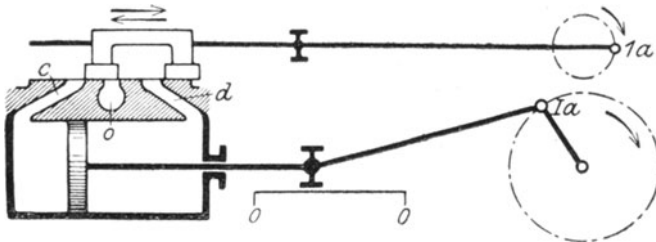


Fig. 19. Links vom Kolben: Die Einströmung ist voll geöffnet.

Die beiden Figuren 17 und 18 zeigen an, wie Kurbel und Exzenter-scheibe bei den beiden Umdrehungsrichtungen zueinander stehen müssen. Es ergibt sich aus ihnen, daß der Schieber dem Kolben voreilen muß. Den Winkel, welchen die Senkrechte zur Kurbel und die Exzenter-scheibe



in diesem Punkte bilden, nennt man den Voreilungswinkel, während die Strecke, um welche der Einströmkanal in der Totlage der Kurbel geöffnet ist, als *lineares* Voreilen bezeichnet wird. Will ein Feizer die Umdrehungsrichtung einer Dampfmaschine mit einer solchen Steuerung feststellen,

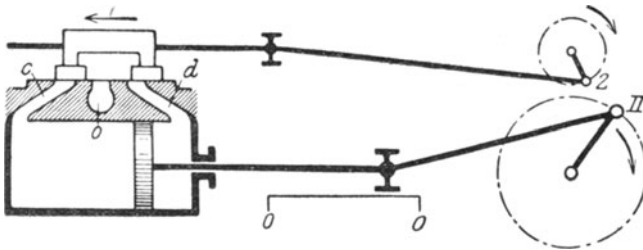


Fig. 20. Links vom Kolben: Ende der Einströmung, zugleich Beginn der Expansion.

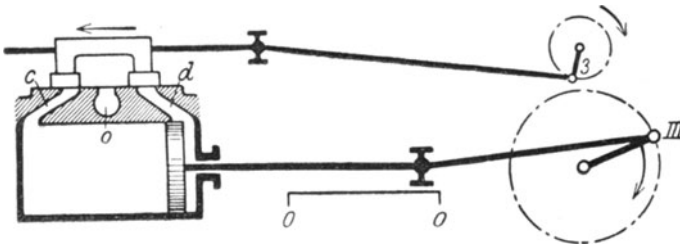


Fig. 21. Links vom Kolben: Ende der Expansion, zugleich Beginn der Ausströmung.

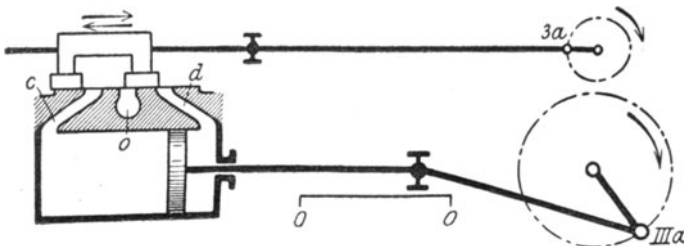


Fig. 22. Links vom Kolben: Ausströmung voll geöffnet.

so drehe er die Maschine in die vordere Totpunktstage, die Kurbel dreht sich alsdann nach dem Exzenter zu.

**Die Expansion** (Fig. 20, 21). Nachdem der Schieber den Einströmkanal verschlossen hat, und demnach kein Dampf mehr in den Zylinder ein-

treten kann, treibt der eingeschlossene Dampf vermöge seiner Expansions- (Ausdehnungs-)kraft den Kolben weiter. Hat sich der Schieber soweit bewegt, daß seine innere Kante über den Einströmungskanal hinweggeht, so tritt der im Zylinder eingeschlossene expandierte Dampf durch den Einströmungskanal hindurch in die Muschel des Schiebers und von hier aus durch den Kanal *o* hindurch ins Freie. Ende der Expansionsperiode und Beginn der Ausströmungsperiode fallen also zusammen. Der Schieberweg, durch den die Dauer der Expansionsperiode im Zylinder bestimmt ist, ist gleich der Länge des Schieberlappens, vermindert um die Breite des Einströmungskanales. Um dieselbe Weglänge müssen sich aber auch Schieberstange und Exzenterstange nach links bewegt haben, so daß man die Stelle, an welcher die Expansionsperiode aufhört (und die Ausströmungsperiode beginnt), findet, indem man in dem nämlichen Abstände von Punkt 2 (wo die Expan-

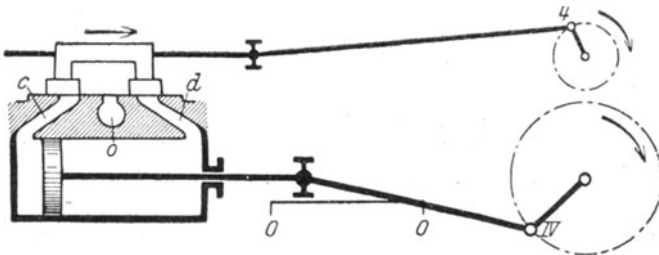


Fig. 23. Links vom Kolben: Ende der Ausströmung, zugleich Beginn der Kompression.

sionsperiode begann) eine senkrechte Linie zieht; wo letztere den Schieberkreis schneidet, steht der Schieber beim Abschluß der Expansionsperiode. Die Pleuellagerstange steht alsdann im Punkte III.

**Die Ausströmung** (Fig. 21—23). Nachdem der Kolben vom linken nach dem rechten Zylinderende gelangt ist, tritt er den Rückweg an. Es muß dann der expandierte Dampf ins Freie abströmen können. Während der Ausströmungsperiode ist die Spannung des Dampfes im Zylinder nur wenig höher als der äußere Luftdruck und zwar beträgt sie nur so viel mehr — etwa  $\frac{2}{10}$  Atmosphären — als zur Überwindung des Widerstandes beim Durchströmen des Dampfes in den Kanälen und in der Auspuffrohrleitung nötig ist. Die Ausströmung läßt man kurz vor dem Hubwechsel beginnen und man spricht daher von einer Vorausströmung. Durch dieselbe wird bewirkt, daß die Dampfspannung, die bei Beendigung der Expansion je nach der Bauart der Maschine durchschnittlich etwa  $1\frac{1}{2}$  bis 2 Atm. beträgt, zu Beginn des neuen Hubes schon auf die Austrittsspannung des Dampfes ge-

fallen ist. Infolgedessen arbeitet die Dampfmaschine stoßfrei und kann der auf der anderen Kolbenseite einströmende Frischdampf seine volle Wirkung ausüben.

Die Ausströmungsperiode dauert so lange, als der Schieber den Kanal mit der Auslaßöffnung *o* verbindet. Der Schieber geht während der Ausströmungsperiode zunächst von rechts nach links über den Kanal *c* hinweg; seine äußerste Stellung befindet sich ein Stück über der Kanalöffnung hinaus (siehe Fig. 22), man erhält hierdurch einen langen Schieberweg und eine längere Dauer der Ausströmung.

Ist der Schieber an seiner äußersten Stellung angekommen, steht also die Exzenter Scheibe an der Stelle 4, so beginnt er wieder über die Kanalöffnung *c* in der umgekehrten Richtung hinwegzulaufen; also von links nach rechts. Die Ausströmungsperiode wird beendet, sobald die innere Kante des Schiebers die rechte Kante des Kanals *c* erreicht hat. Das Schieberexzenter muß sich daher bei Abschluß der Ausströmungsperiode genau in derselben Entfernung von Punkt 4 befinden, wie letzterer vom Punkt 3. Steht die Exzenter Scheibe bei Punkt 4, ist die Ausströmung also voll geöffnet, so steht die Kurbel bei II; bei Beendigung der Ausströmung steht sie in Punkt I.

Dampfmaschinen, die abwechselnd mit Auspuff und Kondensation arbeiten, erhalten eine veränderliche Vorausstömung, da bei ihnen der Gegendruck auf den Kolben infolge des durch den Kondensator erzeugten Vakuums um nahezu eine Atmosphäre kleiner ist als bei Auspuffmaschinen (S. 56).

**Die Kompression.** Auf dem weiteren noch verbleibenden Wege des Schieberexzenters zwischen den Stellungen Punkt 4 und 1 ist der Dampfraum auf der linken Kolbenseite des Zylinders völlig abgesperrt; er ist weder mit dem Schieberkastenraum noch mit dem Auslaßkanal *o* verbunden. Die Folge ist, daß der in Bewegung befindliche Kolben den Dampf zusammendrückt (komprimiert) oder man sagt, es findet die Kompression des Dampfes statt. Während derselben wird der Druck des im Zylinder befindlichen expandierten Dampfes, der zuletzt (bei Auspuffmaschinen) nur eine Austrittsspannung von  $1\frac{1}{10}$  Atm. hatte, gesteigert. Der hierdurch auf den Kolben ausgeübte Gegendruck verkleinert selbstverständlich die Leistung der Dampfmaschine; doch ist die Kompression erforderlich, da sie bewirkt, daß die Spannung des eingeschlossenen Dampfes nahezu auf die Spannung des einströmenden Frischdampfes gesteigert wird und hierdurch beim Hubwechsel Stöße im Gestänge und im Schwungradlager vermieden werden. Außerdem tritt durch die Kompression eine gewisse

Dampfersparnis während der Voreinströmung ein, so daß der von ihr verursachte Kraftverbrauch zum Teil wieder ausgeglichen wird.

**Die Abmessungen des Schiebers** (Fig. 24). In seiner Mittellage muß der Schieber nicht nur die Kanäle verschließen, sondern auch nach beiden Seiten hinüber die Kanten der Kanalöffnungen hinauszuragen. Man nennt dieses Übergreifen die Deckung des Schiebers und zwar die Entfernung  $e$  die äußere und die Entfernung  $i$  die innere Deckung ( $e$  ist annähernd 3 bis 10;  $i = 1,5$  bis 2,5 mm bei der noch zu besprechenden Meyersteuerung). Diese Abmessungen sind für die richtige Dampfverteilung sehr wichtig; sie und die Breite der Einlaßkanäle bestimmen die Länge des Schieberweges und die Abmessungen des Schieberzentrums. Namentlich ist von der äußeren Deckung der Beginn der Einströmung und von der inneren Deckung der Beginn der Ausströmung abhängig.

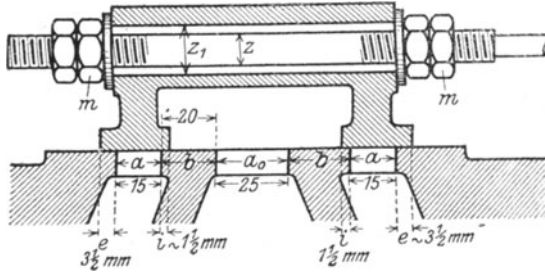


Fig. 24. Muschelschieber an einem Zylinder von 190 mm Durchmesser.

Der Schieber darf von den Muttern  $m$  nicht zu fest gehalten werden, aber auch nicht zwischen ihnen klappern, damit er keinen toten Gang bei seinem Hubwechsel hat; im übrigen muß er freie Bewegung in der Richtung gegen den Schieber Spiegel haben, so daß er infolge des Dampfdruckes fest auf diesem aufliegt. Aus diesem Grunde muß auch die Exzenterstange  $z$  in der Schieberbohrung  $z_1$  genügenden Spielraum haben. Der Schieber darf nicht zu groß sein, damit seine Bewegung nicht zu viel Kraft erfordert und der Schieber Spiegel nicht zu sehr abgenutzt wird. Zur Verringerung der Reibung erhält der Schieber Spiegel unter den Laufflächen des Schiebers eine Anzahl Schmiermuten, die für den ölhaltigen Dampf zugänglich sind, die Schmierung des Schieber Spiegels bewirken und den Schieber vom Dampfdruck gegen den Schieber Spiegel teilweise entlasten.

**Nachteile und Vorzüge der Schiebersteuerung. Die Drosselung des Dampfes.** Beim Abschluß der Einströmungsperiode erfolgt eine all-

mähliche Verengung des Einströmungskanales. Es kann dann nur noch eine sehr geringe Dampfmenge in den Zylinder einströmen. Da sich der Kolben zu dieser Zeit ungefähr in der Mitte des Zylinders befindet und sehr rasch bewegt, fällt trotz der noch nicht unterbrochenen Dampfeinströmung der Dampfdruck im Zylinder. Die Expansion beginnt daher etwas früher als in der Skizze 20 angegeben. Man nennt diese Periode die Drosselung des Dampfes, die im allgemeinen nicht vorteilhaft für den Dampfverbrauch der Maschine ist.

Dieselbe Erscheinung tritt auch bei der Beendigung der Ausströmung des Dampfes ein, nur daß in diesem Falle das allmähliche Abschließen des Ausströmungskanales das Ausströmen des Dampfes verhindert, so daß sich der Dampfdruck steigert und die Kompression schon früher beginnt.

Dieses schleichende Schließen der Ein- und Ausströmungskanäle ist ein Nachteil der Schiebersteuerung. Man macht deshalb die Kanäle sehr hoch und schmal, so daß der Schieberweg sehr kurz wird. Ungünstig ist ferner, daß der Dampf durch denselben Kanal ein- und ausströmt; da der ausströmende Dampf eine niedrigere Temperatur hat als der einströmende Dampf und infolgedessen die Kanäle beim Ausströmen des Dampfes abgekühlt werden, so daß beim Einströmen Abkühlungsverluste entstehen. Auch möchten die Ausströmungskanäle weiter sein als die Einströmungskanäle, da der ausströmende Dampf infolge seiner im Zylinder stattgefundenen Expansion ein größeres Volumen hat.

Trotzdem wird die Schiebersteuerung sehr viel angewendet, da diese Nachteile nur von untergeordneter Bedeutung sind und sie den Vorzug großer Einfachheit und guter Übersichtlichkeit besitzt.

**Die schädlichen Räume.** Der Dampfkolben muß in seinen äußersten Stellungen von den Zylinderdeckeln noch ein Stück, je nach der Größe der Dampfmaschine etwa 3 bis 6 mm, abstehen. Die durch diese Entfernungen und die zugehörigen Dampfkanäle gebildeten Räume heißen die schädlichen Räume. Ihre schädliche Wirkung besteht darin, daß sie bei jedem Hubwechsel mit soviel frischem Dampf gefüllt werden müssen, bis darin die Anfangsspannung herrscht. Da der Dampf auch bei der Kompressionsperiode nicht den vollen Dampfdruck und dessen Temperatur erreicht, aber während der Voreinströmung auf den Druck und die Temperatur des Frischdampfes gebracht werden muß, ergibt sich bei großen schädlichen Räumen ein höherer Dampfaufwand als bei kleinen schädlichen Räumen. Die schädlichen Räume sollen daher möglichst klein gehalten werden, wobei zu berücksichtigen ist, daß ihr Hauptanteil nicht auf den Spielraum zwischen Kolben und Zylinderdeckel, sondern auf die Dampfkanäle entfällt.

Durch große Dampfkanäle werden auch die Abkühlungsflächen für den Dampf vergrößert, so daß man auch von schädlichen Flächen spricht.

**Das Einstellen der Steuerung** wird beim Bau der Dampfmaschine in der Werkstätte und bei der Aufstellung besorgt. Man bezeichnet hierbei die Stellen, an denen sich der Kolben in den Totpunktlagen der Kurbel befinden muß, durch Striche an der Gradführung des Kreuzkopfes. Auch die Kolbenstellungen bei Beginn der Dampfeinströmung und mitunter auch die sonstigen Abschnitte der Dampfverteilung werden in derselben Weise an der Gradführung gekennzeichnet. Die zu jeder dieser Kolbenstellungen gehörige Schieberstellung wird außerdem auf dem Schieber Spiegel mittels einer Reißnadel angezeichnet. Diese Bezeichnung bringt man möglichst an der betriebswarmen Maschine an, damit die Verlängerung der warm gewordenen Kolbenstange berücksichtigt wird. Bei Reparaturen am Kolbengestänge, an den Schieber- und Exzenterstangen muß dann der Maschinist den Schieberkastendeckel abnehmen und sich davon überzeugen, ob die Schieber- und Kolbenstellungen noch in der anfänglich gekennzeichneten Weise übereinstimmen. Ungenauigkeiten verursachen eine ungleichmäßige Dampfverteilung, die einen größeren Dampfverbrauch und einen ungleichmäßigen Gang der Maschine zur Folge hat. Größere Abweichungen machen sich bei Auspuffmaschinen durch ungleichmäßiges Ausstoßen des Dampfes bemerkbar.

Ob eine äußerlich in Ordnung befindliche Dampfmaschinensteuerung richtig eingestellt ist und fehlerlos arbeitet, kann im übrigen nur durch In-katorversuche festgestellt werden, was ausschließlich Aufgabe von Fachingenieuren ist.

**Ausnützung des Dampfes und der Temperatur im Zylinder.** Die Temperatur im Zylinder ist beim Einstromen des Dampfes hoch, während der Expansion und Ausströmung nimmt sie ab, während der Kompression nimmt sie wieder zu. Die Zylinderwandungen sind also abwechselnd kühl und heiß.

Je mehr die Wärme des Dampfes im Zylinder ausgenutzt wird, um so besser arbeitet die Maschine. Zur Verhütung von Wärmeverlusten werden die Zylinder und die Rohrleitungen mit Isoliermassen eingepackt. Die Ausnützung der Wärme in der Dampfmaschine ist sehr gering. 1 kg Dampf von 10 Atm. Überdruck enthält 661 Wärmeeinheiten, 1 kg Dampf von 1 Atm. Druck 637 Wärmeeinheiten. Da nun die Dampfmaschine den Dampf nur soweit aufarbeiten kann, daß er im besten Falle mit wenig mehr als 1 Atm. Druck den Zylinder verläßt, so können in dem angeführten Falle höchstens  $661 - 637 = 24$  Wärmeeinheiten nutzbar gemacht werden. Für gewöhnlich

wird aber bei den besten Dampfmaschinen selten über 0,85% dieser Wärmemenge nutzbar gemacht. Die übrigen 15% werden in der Dampfmaschine selbst aufgezehrt; bei älteren Dampfmaschinen oft ganz erheblich mehr.

## V. Die Steuerungen mit veränderlichen Füllungen.

**Die Mehersteuerung.** (Fig. 25 bis 27). Die bisher besprochene Muschelschiebersteuerung hat den Nachteil, daß sie keine Veränderung der Dampfverteilung gestattet. Eine damit ausgestattete Dampfmaschine arbeitet stets mit der gleichen Füllung, Expansion, Ausströmung und Kompression. Sinkt der Kraftbedarf einer solchen Dampfmaschine, so bewirkt man die Minderung der Leistung und des Dampfaufwandes dadurch, daß man die Dampfzufuhr durch ein Drosselventil, das vom Regulator geöffnet und geschlossen wird, vermindert. Es arbeitet alsdann die Maschine mit verringerter Spannung. Diese Methode ist indes für den Dampfverbrauch nicht vorteilhaft. Man wendet daher die einfache Muschelschiebersteuerung nur für bestimmte Dampfmaschinen mit nahezu gleichmäßigem Kraftbedarf an; also z. B. für Pumpen, Lokomotiven, Walzenzugmaschinen und für kleine Dampfmaschinen, die unmittelbar zum Antrieb von einzelnen Arbeitsmaschinen dienen (Schleudermaschinen, Krane usw.).

An Dampfmaschinen für veränderlichen Kraftbedarf bringt man jedoch Steuerungen an, welche statt der Drosselung des einströmenden Dampfes eine Veränderung der Füllung des Dampfmaschinenzylinders mit Frischdampf vom vollen Kesseldruck ermöglichen. Da sich hierbei aber auch die Expansionsperiode verändert, sagt man, die Maschine arbeitet mit veränderlicher Expansion. Die einfachste und gebräuchlichste derartige Schiebersteuerung ist die seit 1842 ausgeführte Mehersteuerung.

Dieselbe hat zwei Schieber, den Grundschieber  $G$  und die Expansionschieber  $E_1$  und  $E_2$ . Der Grundschieber bewegt sich auf dem Schieber Spiegel. Er ist wie ein gewöhnlicher Muschelschieber gebaut, doch besitzt er abweichend von diesem an beiden Seiten zwei Einströmkanäle. Auf dem Rücken des Grundschiebers bewegen sich zwei Platten, die Expansionschieber  $E_1$  und  $E_2$  hin und her, wodurch die Einströmkanäle abwechselnd geöffnet und geschlossen werden. Der Grundschieber ist mit dem zugehörigen Exzenter wie der gewöhnliche Muschelschieber verbunden. Die Expansionschieber sind hingegen mit ihrer Schieberstange durch Gewinde verbunden und zwar die eine Platte mit rechtsgängigem, die andere Platte mit linksgängigem Gewinde. Außerhalb des Schieberkastens sitzt auf der Expansionschieber-

stange ein Handrad (siehe Fig. 27), mittels dessen die Stange gedreht werden kann. Das entgegengesetzte Gewinde bewirkt nun, daß sich beim Drehen am Handrade die Expansionschieberplatten einander nähern oder voneinander entfernen. Sind sie einander genähert worden, so schließen sie die Einströmungskanäle im Grundschieber später ab, so daß die Füllung des Dampfzylinders und die Leistung der Maschine vergrößert werden. Sind die Expansionschieber jedoch durch entgegengesetztes Drehen am Handrade weiter auseinandergeschoben worden, so schließen sie bei ihrer Gleitbewegung auf dem Grundschieber dessen Einströmkanäle zeitiger als vorher ab, so daß die Füllung im Zylinder und die Leistung der Maschine kleiner werden. Dicht hinter dem Handrade befindet sich eine Skala mit einem Zeiger, wodurch die jeweilige Füllung der Maschine angezeigt wird.

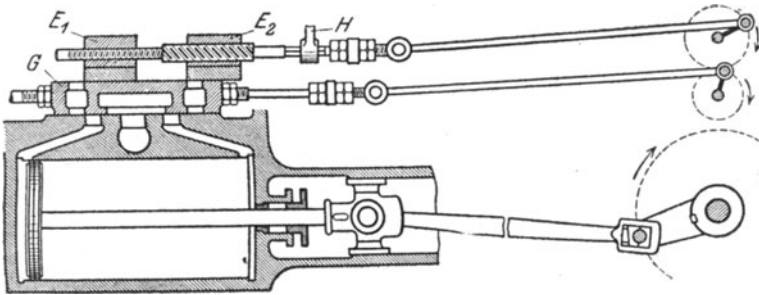


Fig. 25. Mehersteuerung. Links vom Kolben: Beginn der Einströmung. Rechts vom Kolben: die Ausströmung ist bereits geöffnet.

Bei besseren und größeren Dampfmaschinen reguliert man indes die Füllung nicht durch Drehen an dem Handrade, sondern man richtet eine selbsttätige Verstellung der Expansionschieber ein, indem man den Regulator mit der Expansionschieberstange verbindet. Auf letzterer wird dann ein kleines Zahnrad angebracht, das durch einen mit einem Zahnradsegment versehenen Hebelarm des Regulators gedreht wird.

Das Exzenter für den Expansionschieber erhält einen etwas größeren Hub als das für den Grundschieber und einen Voreilungswinkel, der ungefähr in der Mitte zwischen dem Voreilungswinkel des Grundschieberexzenters und einem zu letzteren gebildeten rechten Winkel, also etwa bei  $65^\circ$  liegt. Seine Exzentrizität ist demnach ungefähr entgegengesetzt der Kurbelstellung gerichtet (siehe Fig. 25 u. 26). Für Dampfmaschinen mit Umsteuerung macht man seinen Voreilungswinkel  $= 90^\circ$ , d. h. er liegt genau entgegengesetzt zur Kurbel, da diese Stellung sowohl für den Vorwärts-



wie auch für den Rückwärtsgang passend ist und infolgedessen bei der Umsteuerung nur der Grundschieber verstellt zu werden braucht, während die Stellung des Expansionschiebers und des zugehörigen Exzenters unverändert bleiben kann.

Macht sich infolge von Reparaturarbeiten an dem Steuerungsgestänge einer Meyersteuerung deren Neueinstellung erforderlich, sind also beispielsweise die Lagerungen von Gelenkbolzen erneuert worden, so hat der Maschinist folgendes zu beachten. Der Grundschieber ist so einzustellen, daß die Dampfeinströmung an beiden Zylinderseiten in gleichen Entfernungen der Kolben von den Totpunktlagen beginnt. Hierbei muß der Maschinist den Schieberkasten öffnen, die Maschine so drehen, daß die für den Beginn der Dampfeinströmung festgesetzten Striche an der Geradföhrung und an

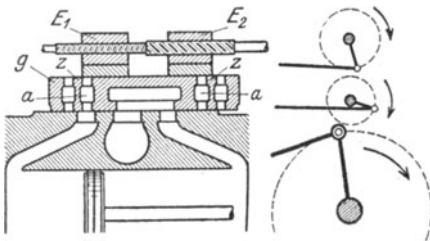


Fig. 26. Meyersteuerung. Der Grundschieber ist ein Kostschieber. Links vom Kolben: Abschluß der Einströmung. Rechts vom Kolben: Ausströmung voll geöffnet.

dem Kreuzkopfschuh übereinstimmen, und sich überzeugen, daß der Grundschieber bei diesen Kolbenstellungen den Dampfeinlaß nach dem Zylinder freizugeben beginnt (siehe den Abschnitt über das Einstellen der Muschelschiebersteuerung Seite 27).

Bei der Einstellung der Expansionschieberplatten ist zweckmäßig von einer mittleren Füllung, etwa 25%,

auszugehen, deren Kolbenstellungen gleichfalls an der Geradföhrung bezeichnet sein müssen. Ist die Maschine auf diese Zeichen eingestellt, so müssen die Expansionsplatten so stehen, daß sie das Ende der Dampfeinströmung herbeiföhren (Fig. 26). Es ergibt sich dann von selbst, daß die Expansionschieberplatten nicht genau symmetrisch zum Grundschieber stehen. Diese ungleichmäßige Stellung ist dadurch bedingt, daß, wie wir Seite 20 sahen, die Kolbenstellung von der Kurbelstangenlänge in gewissem Maße abhängig ist. Diese Einstellung der Expansionschieber für einen bestimmten Füllungsgrad an beiden Zylinderenden kann zwar nicht bewirken, daß beim weiteren Verstellen derselben während des Ganges der Maschine die Füllungsgrade zu beiden Seiten des Kolbens gleich bleiben, doch werden die hierbei sich unvermeidlicherweise ergebenden Verschiedenheiten besser verteilt. Aus letzterem Grunde erhält mitunter auch die Gewindest spindle des Expansionschiebers Gewinde mit

verschiedenen Ganghöhen. Geht man beim Bau der Steuerung von einer kleinen Füllung aus, so ist diese Ganghöhe bei dem nach der Kurbelseite zu gelegenen Gewindeteil größer als auf dem anderen Gewindeteil (Fig. 25 u. 26). Hierdurch wird erreicht, daß sich beim Einstellen der Expansionschieber auf eine größere Füllung diese Expansionsplatte weiter als die andere fortbewegt und die von ihr gesteuerte Dampfeinströmung etwas längere Zeit offen läßt, bis der Kolbenweg auf dieser Zylinderseite ebenso lang wie der auf der anderen Zylinderseite ist. Geht man beim Bau der Steuerung von einer großen Füllung aus, so müssen die Ganghöhen der Gewinde umgekehrt angeordnet sein, damit die nach der Kurbelseite zu gelegene Expansionsplatte die Dampfeinströmung etwas später abschließt.

Um einen schnelleren Abschluß der Dampfeinströmung zu erreichen, wird der Grundschieber, wie Fig. 26 zeigt, mitunter noch als Spalt- oder

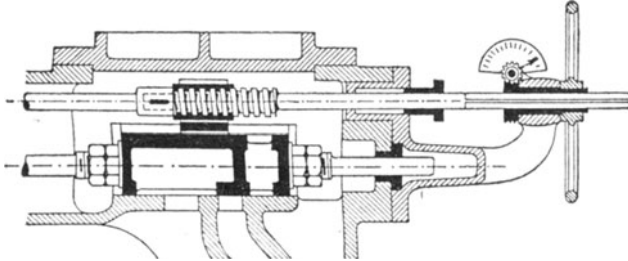


Fig. 27. Mehrsteuerung, getrennt nach den Zylinderseiten. (Nach Leist.)

Roßschieber ausgeführt. Durch die hierbei eintretende Zerlegung der Dampfeinströmungskanäle durch die Zwischenstege a ist der Dampfabschluß nach dem Zylinder bereits möglich, wenn die Dampfeinströmung nur noch durch die inneren Kanäle a des Grundschiebers erfolgt.

Bei großen Dampfmaschinen ist auch die Trennung der Mehrsteuerung nach den Zylinderseiten gebräuchlich, wie aus Fig. 27 ersichtlich ist. Es sind dann zwei Grundschieber an einer gemeinsamen Verbindungsstange vorhanden, von denen jeder einen Expansionschieber trägt. Das an der Außenseite der Expansionschieberstange befestigte Handrad mit Skala dient zum Verstellen der Steuerung während des Ganges.

**Die Rädersteuerung** (Fig. 28—30) besteht, wie die Mehrsteuerung, aus Grundschieber und Expansionschieber. Ihr Expansionschieber hat die Form einer trapezförmigen Platte, die auf dem Rücken des Grundschiebers hin- und hergleitet. Die Durchlaßkanäle des Grundschiebers münden in dessen Grundfläche in der gewöhnlichen Weise aus, während sie auf dem Rücken

dieselbe schräge Form wie die schrägen Ranten des Expansionschiebers haben. Die Veränderung der Füllung wird hierbei durch die Verschiebung des Expansionschiebers in senkrechter Richtung erreicht, wodurch sich seine äußeren schrägen Ranten den Durchlaßkanälen des Grundschiebers nähern

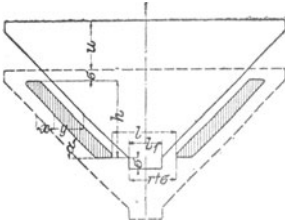


Fig. 28. Schematische Darstellung des Niderschiebers; die schraffierten Flächen sind die Einlaßkanäle im Schieberpiegel. (Nach Dubblel.)

oder von ihnen entfernen und letztere eher oder später geschlossen werden. Die Auf- und Abwärtsbewegung des Expansionschiebers wird durch eine Verdrehung der Schieberstange bewirkt, die im Schieberkasten eine den Expansionschieber erfassende Daumenscheibe trägt. Da es zur Veränderung der Füllung nur einer geringen Verdrehung der Schieberstange bedarf, kann letztere bequem vom Regulator aus in die Wege geleitet werden, was bei der Mehersteuerung nicht immer möglich ist, da bei ihr die Einstellung der verschiedenen Füllungen mehrere Umdrehungen der Expansionschiebersteuerung erforderlich macht, die nur von Hand ausführbar sind.

Fig. 29 zeigt die Nidersteuerung für Flachschieber. Bei derselben hat jeder Durchlaßkanal des Grundschiebers auf der Seite der Expansionschieber

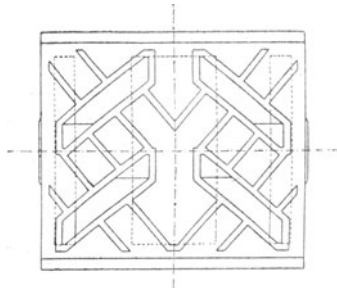


Fig. 29. Ansicht des Grundschiebers einer Nidersteuerung. Die beiden Dampfkanäle haben auf der Seite des Expansionschiebers je zwei Mündungen. (Nach Dubblel.)

**zwei** Mündungen. Der Expansionschieber steuert dann eine derselben mit seinen schrägen Außenkanten und die anderen mit den inneren Ranten eines in ihm angebrachten schrägen Schlitzes. Der Expansionschieber liegt nicht auf der vollen Fläche, sondern auf schmalen Rippen des Grundschiebers auf. Durch die zwischen diesen Rippen gebildeten Kanäle hat der Dampf zu der unteren Seite des Expansionschiebers Zutritt, wodurch dieser entlastet wird.

Die Nidersteuerung wird auch mit Rund- und Kolbenschieber ausgeführt.

**Die Kolbenschieber.** Bei der Mehersteuerung beansprucht die Schieberbewegung namentlich bei hohen Dampfspannungen einen ziemlich erheblichen Kräfteaufwand, da die Schieber infolge des Dampfdruckes auf ihre Reibungsflächen fest angebrückt werden. Es werden daher in neuerer Zeit

Kolbenschieber angewendet, die wegen des Fehlens jener Anpreßwirkung durch den Dampfdruck auch als entlastete Schieber bezeichnet werden. Sie laufen in einer zylindrischen Ausbohrung des Schieberkastens und erhalten, gleich den Dampfkolben im Dampfzylinder, durch federnde Kolbenringe einen dampfdichten Abschluß. Nebenstehende Fig. 31 zeigt die neuere Ausführung des Kolbenschiebers an den Wolffschen Lokomobilen, die sich durch die kurzen Dampfkanäle auszeichnet, und die wegen des geringen Dampfverbrauches und der einfachen Bauart in vielen Tausenden von Ausführungen im Gebrauch ist. Auch bei Schiffsmaschinen sind die Kolbenschiebersteuerungen sehr häufig angewendet (siehe Fig. 55). Bei der in Fig. 31 dargestellten Wolffschen Kolbenschiebersteuerung wird der Dampf dem Dampfzylinder durch den Raum zwischen den beiden Kolben zuge-

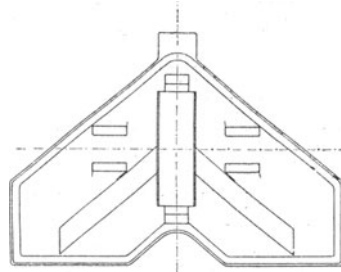


Fig. 30. Expansionschieber zu der Ridersteuerung. (Nach Dubbel.)

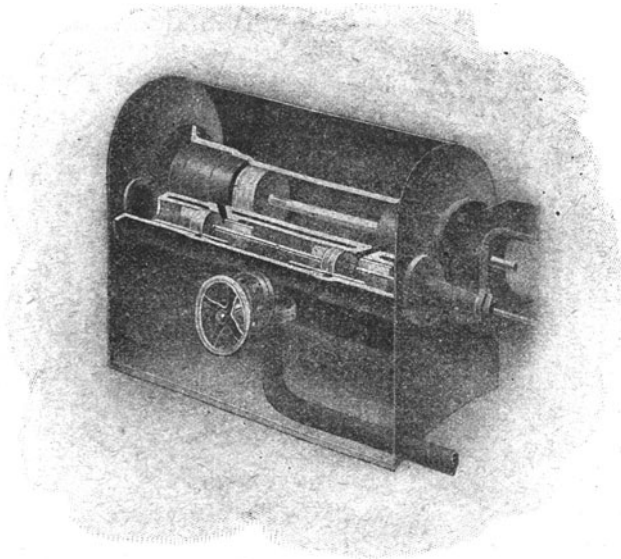


Fig. 31. Dampfzylinder mit Kolbenschiebersteuerung von R. Wolf, Magdeburg-Buckau.

führt; sein Austritt erfolgt an den beiden äußeren Seiten der Kolbenschieber. Hierdurch wird, was für den Wirkungsgrad der Dampfmaschine sehr günstig ist, erreicht, daß die äußere Abkühlungsfläche des Schiebergehäuses innen, nicht wie bei der Meyersteuerung mit Arbeitsdampf, sondern mit Auspuffdampf bespült ist. Aus der erwähnten Dampfverteilung durch den Kolbenschieber geht ferner hervor, daß bei den Einströmungsperioden die Dampfeinlässe von den **inneren** Kanten der beiden Schieberkolben geöffnet werden, während dies beim Muschelschieber und bei der Meyersteuerung durch dessen **äußere** Kanten erfolgt. Hieraus ergibt sich eine veränderte Exzenterstellung gegenüber den besprochenen Schiebersteuerungen; und zwar muß bei der Kolbenschiebersteuerung das Exzenter der Kurbel um denselben Winkel nach-eilen, den es bei den besprochenen Flachschiebersteuerung voreilt. Es würde daher, falls in Fig. 17 und 18 anstelle des Muschelschiebers ein Kolben-

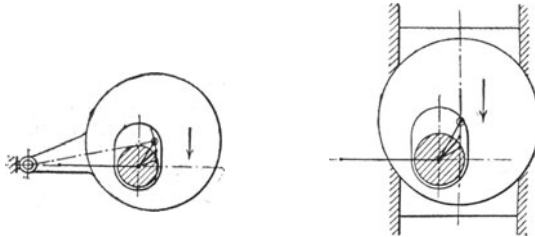


Fig. 32 und 33. Exzenter mit veränderlichem Hub zur Veränderung des Füllungsgrades. (Nach Freytag.)

schieber gesetzt sein würde, die Dampfmaschine sich in den Richtungen drehen, die den auf beiden Figuren eingezeichneten Pfeilen entgegengesetzt sind. Man nennt diese Schieber innenkantsteuernde Schieber oder Schieber mit innerer Einströmung.

**Die Veränderung des Füllungsgrades** entsprechend der wechselnden Belastung der Dampfmaschine, die bei der Meyersteuerung mittels der Expansionschieberplatte erfolgt, wird bei den Kolbenschiebersteuerungen durch die Vergrößerung oder Verkleinerung des Exzenterhubes bewirkt. Das Exzenter wird zu diesem Zwecke nicht fest auf die Welle aufgefickt, sondern erhält einen Schlitz, innerhalb dessen seine Verschiebung auf der Welle möglich ist. Nebstehende Figuren zeigen die schematische Anordnung zweier solcher Exzenter. In Fig. 32 hat das Exzenter eine Führung in einem Gleitstück, in Fig. 33 ist es mit einem längeren Arm versehen, der am Ende einen Drehpunkt hat, der am Schwungrad oder an einer besonderen mit der Welle fest verbundenen Scheibe befestigt ist. Durch Drehen um

diesen Drehpunkt wird das Exzenter in dem Schlitze auf der Welle verschoben, worauf sich dann ein kleinerer oder größerer Exzenterhub ergibt. Bei kleinerem Exzenterhub wird die Tourenzahl der Maschine infolge der abnehmenden Füllung verkleinert, bei größerem Exzenterhub aber infolge der zunehmenden Füllung vergrößert. Die Verstellung des Exzenteres soll hierbei so bewirkt werden, daß sich außer seinem Hub auch sein Voreilwinkel verändert und das lineare Voreilen (siehe Seite 24) möglichst unverändert bleibt. Das Exzenter darf daher nicht in der Richtung der Linie zwischen der Exzenter- und der Wellenmitte, sondern muß in der auf den Fig. 32 und 33 angegebenen geraden Pfeilrichtung verschoben werden. In ersterer Figur erfolgt zwar seine Verschiebung auf einem flachen Kreisbogen um den Drehpunkt im Exzenterarm, doch hat diese geringe Ab-

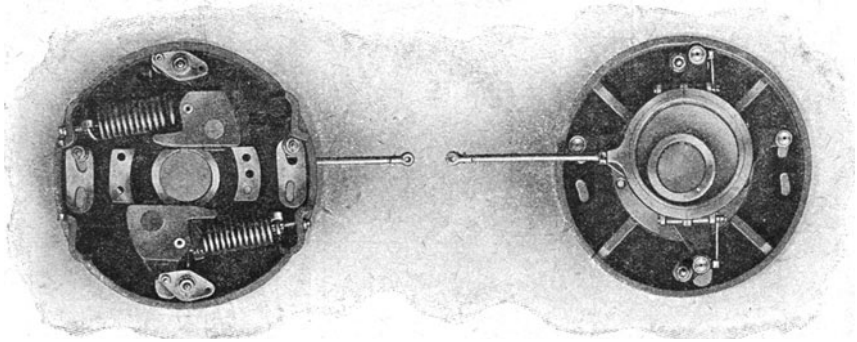


Fig. 34 und 35. Vorderseite und Rückseite des Patentachsenreglers an den Lokomotiven von R. Wolf, Magdeburg-Buckau.

weichung von der geraden Linie keine praktische Bedeutung. Die nebenstehend abgebildeten Fig. 34 u. 35 zeigen den die Verstellung des Kolbenschieberhubes unmittelbar beeinflussenden Patentachsenregler der Firma R. Wolf u.-G., Magdeburg-Buckau. Durch die beweglich gelagerten Schwungmassen an einer auf der Schwungradwelle sitzenden Scheibe werden die Verschiebung des Exzenteres und die Veränderungen seines Hubes bewerkstelligt. Da der Kolbenschieber infolge seines geringen Gewichtes, seiner Entlastung und der geringen Reibung wenig Kraft für seine Bewegung erfordert, sind die Widerstände bei seinem Einstellen für einen größeren oder kleineren Füllungsgrad sehr gering, was wesentlich dazu beiträgt, daß sich bei Belastungsänderungen der Maschine die Regulierung durch den Achsenregler sehr schnell einstellt.

Um die Maschine vom Rechtsgang auf den Linksgang oder umgekehrt

einzustellen, erhält die Scheibe, an welcher die Schwungmassen mit den Federn befestigt sind, für beide Umdrehungsrichtungen die nötigen Bohrungen zum Anschrauben der Achsenreglerteile, so daß es hierbei nur des Umsteckens der Befestigungs- und Drehbolzen für letztere bedarf.

! **Die Umsteuerung oder die Kulisse der Dampfmaschine.** Die Dampfmaschinen in Bergwerken, die Lokomotiven, Schiffsmaschinen usw. müssen ihre Umdrehungsrichtung wechseln können. Man bedient sich hierzu der sogenannten Umsteuerung oder Kulisse (Fig. 36). Diese Art von Dampfmaschinen werden fast ausschließlich mit einer einfachen Schiebersteuerung

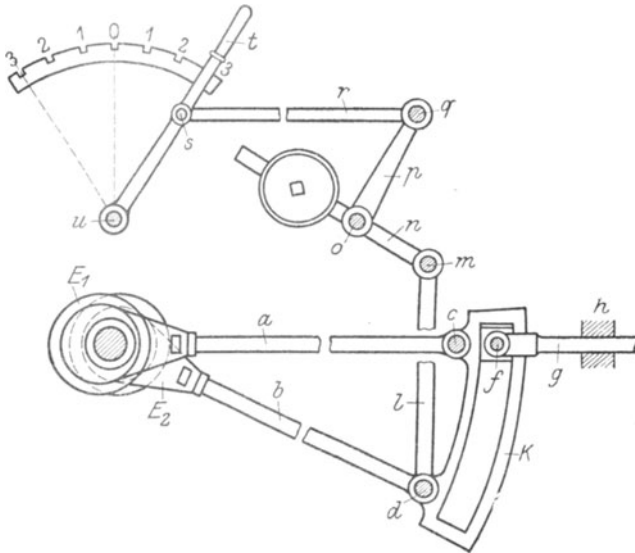


Fig. 36. Stephenson'sche Umsteuerung (Kulisse).

versehen, und zwar mit einem Muschel- oder einem Kolbenschieber. (Doch sind auch unsteuerbare Ventilsteuerungen bei Schiffsmaschinen u. a. im Gebrauch.) Wie wir bereits früher gesehen haben — vgl. Fig. 17 und 18 — wird die Umdrehungsrichtung einer Dampfmaschine durch die Stellung des Schieberexzenters zur Kurbel bestimmt. Durch eine Verstellung des Exzenters auf der Schwungradwelle kann man demnach auch die Umlaufrichtung der betr. Dampfmaschine ändern. Eine Ausführung dieser Art ist bei der Besprechung des Patentachsenreglers der Firma Wolf, Magdeburg-Buckau erwähnt worden, bei welchem durch Umstecken einiger Bolzen das Exzenter beliebig für den Vor- oder Rückwärtsgang

der Maschine eingestellt werden kann. Muß jedoch die Umsteuerung während des Betriebs erfolgen, wie dies bei den oben erwähnten Dampfmaschinen erforderlich ist, so wendet man von vornherein zwei Exzenter an, von denen der eine die Rechtsdrehung, der andere die Linksdrehung der Dampfmaschine bewirkt, je nachdem man den einen oder anderen von beiden auf den Schieber einwirken läßt. Die Umsteuerung muß also ein leichtes Ein- und Ausschalten der Exzenter ermöglichen. Die einfachste und sehr häufig angewendete Umsteuerung ist die Stephenson'sche Umsteuerung.  $E_1, E_2$  sind die beiden Exzenter,  $a$  und  $b$  die zugehörigen Exzenterstangen,  $g$  ist die Schieberstange, welche mit ihrem Ende  $f$  im Schlitze der Kuliße  $k$  geführt ist. Mit der Kuliße sind außerdem die Enden der Schieberstangen mittels Bolzen  $c$  und  $d_1$  verbunden. Ist der Hebel  $t$  nach rechts umgelegt, wie es die Figur zeigt, so wirkt nur das Exzenter  $E_1$  auf den Schieber ein, so daß die Dampfmaschine in der Richtung des eingezeichneten Pfeiles umläuft. Legt der Maschinist den Hebel  $t$  nach links um, so wird die Kuliße in die Höhe gezogen und zugleich die Exzenterstange  $b$  in die Richtung der Schieberstange  $g$  gebracht, so daß nunmehr dieses Exzenter auf den Schieber einwirkt und die Dampfmaschine in entgegengesetzter Richtung umläuft. Der Bolzen  $o$  ist fest gelagert und bildet den Drehpunkt für den Hebel  $t$ ;  $h$  ist die Lagerstelle für die Schieberstange  $g$ .

Es sind noch mehrere andere Umsteuerungen konstruiert worden, deren Zweck eine bessere Dampfverteilung als bei der Stephenson'schen Umsteuerung ist, da letztere die Boreinströmung etwas ungleichmäßig verteilt.

**Sonstige Eigenschaften der Kulißensteuerung.** Die mit einer Umsteuerung versehenen Dampfmaschinen brauchen zur Regelung ihrer Umdrehungszahl keinen Regulator. Will man die Dampfmaschine langsam laufen, also mit kleiner Füllung arbeiten lassen, so wird die Kuliße nicht ganz in ihre Endstellung, sondern durch den Hebel  $t$  in eine Mittellage bei Rute 1 oder 2 gebracht, so daß dann der Schieberweg von beiden Exzentern bestimmt und kleiner wird. Steht die Kuliße völlig in der Mittelstellung (der Hebel  $t$  also in der Rute 0), so steht der Schieber nahezu still und hat eine so geringe Bewegung, daß er keinen Dampf in den Zylinder einströmen läßt, die Maschine steht dann still.

Der Maschinist kann also durch entsprechendes Verstellen an dem Hebel  $t$  nicht nur die Umdrehungsrichtung der Dampfmaschine wechseln, sondern letztere auch schnell und langsam laufen lassen oder auch ganz still setzen.

Bei den Schiffsdampfmaschinen mit mehreren Zylindern (siehe



Fig. 55 und 56) muß für die Umsteuerung jeder Zylinder mit zwei Exzentern, je einen für den Vor- und für den Rückwärtsgang, versehen sein. Es muß dann an jedem Zylinder eine Kullisse angebracht sein, doch sind letztere durch Hebelvorrichtungen an eine gemeinsame Welle angeschlossen, die durch Vermittelung eines Schneckenradantriebes durch ein Handrad gedreht wird, so daß die Verstellung der Kullissen an den Zylindern stets gemeinsam und gleichmäßig erfolgt.

**Die Lenkersteuerungen.** Eine zweite Art der Umsteuerungen, die jünger als die Kullissensteuerungen und namentlich bei Schiffsmaschinen und Lokomotiven eingeführt ist, sind die Lenkersteuerungen. Sie arbeiten zum Unterschiede von den Kullissensteuerungen statt mit zwei Exzentern nur mit einem solchen. Der Schieber wird auch nicht von diesem Exzenter

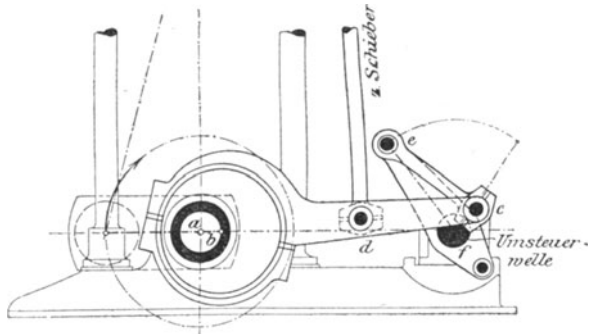


Fig. 37. Lenkersteuerung von Marshall-Bremme. (Nach Leift.)

unmittelbar, sondern von **einem Punkt der Exzenterstange** aus gesteuert. Nebenstehende Fig. 37 zeigt die Lenkersteuerung von Marshall-Bremme. Von dem auf der Kurbelwelle aufgekeilten Exzenter a b geht wagerecht die Exzenterstange b—c aus, deren Endpunkt c durch die bewegliche Schwinge e—c in einem flachen Kreisbogen geführt wird. Die Exzenterstange ist im Punkt d mit der Schieberstange verbunden. Soll die Dampfmaschine umgesteuert werden, so dreht der Maschinist die Umsteuerwelle f, mit welcher der Punkt e durch den Hebel e f fest verbunden ist. Bei dieser Drehung der Umsteuerwelle gelangt der Punkt e in die gestrichelte Lage nach rechts, wobei auch der Endpunkt c der Exzenterstange seine Lage verändert, indem er nach unten gedrückt wird. Diese Veränderung der Lage der Exzenterstange hat auch eine Lagenänderung des Punktes d zur Folge, wodurch die Umsteuerung der Maschine bewirkt wird. Wie bei der Kullissensteuerung, kann auch bei der Lenkersteuerung die Füllung der Maschine dadurch ver-

ändert werden, daß der Hebel *e f* mehr oder weniger aus seiner Mittellage herausgedreht wird. Hat er seine Mittelstellung eingenommen, so wird die Kurve, welche der Punkt *d* beschreibt, so flach, daß der Schieber, wie dies auch bei der Kulissensteuerung der Fall ist, keinen Dampf in den Zylinder einströmen läßt und die Maschine alsdann stillsteht. Kommt der Hebel *e f* über seine Mittellage hinaus, so beginnt die entgegengesetzte Drehrichtung der Maschine. Bei stehenden Maschinen, also bei Schiffsmaschinen, muß die Pleuellstange in der Kurbelstotpunktstellung wagrecht liegen, bei liegenden Maschinen, also bei Lokomotiven, ist die Pleuellstange in diesem Falle senkrecht angeordnet.

**Die Ventilsteuerungen.** Der Dampfzylinder erhält bei den Ventil-

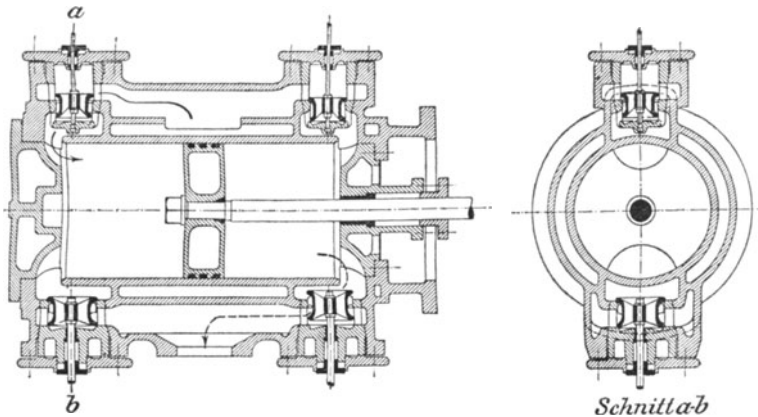


Fig. 38. Dampfzylinder mit Ventilsteuerung von Gebr. Sulzer. (Nach Freitag.)

steuerungen 2 Einlaß- und 2 Auslaßventile, so daß demnach vier Dampfwege vorhanden sind.

Die Einlaßventile sind am Zylinder oben, die Auslaßventile unten (Fig. 38) angeordnet und werden sehr nahe an den Zylinder herangerückt. Es entstehen daher sehr kurze Dampfkanäle und sehr kleine schädliche Räume. Letztere sind im allgemeinen kleiner als bei Schiebersteuerungen, mit Ausnahme der Kolbenschiebersteuerungen, bei denen, wie wir bei der Besprechung der Wolffschen Steuerung sehen, die Beschränkung der schädlichen Räume auf ein sehr kleines Maß möglich ist. Auch ist bei der Beurteilung der Größe der schädlichen Räume zu berücksichtigen, daß bei den Ventilsteuerungen zu jedem der schädlichen Räume je ein Dampfeinlaß- und Dampfauslaßkanal gehören. Die Trennung des Dampfeinlasses

vom Dampfauslaß wird ferner als Vorzug der Ventilsteuerungen bezeichnet, weil durch die getrennten Dampfwege die Abkühlung der Einlaßkanäle durch den ausströmenden Dampf und die Abkühlung des einströmenden Dampfes an den Auslaßkanälen vermieden werde. Doch darf bei der Bewertung dieser Wärmeverluste nicht außer acht gelassen werden, daß bei den Ventilmaschinen die Dampfeinlaßkanäle zwar nicht vom Auspuffdampf durchströmt, aber doch immerhin mit ihm in Berührung kommen, was auch für den einströmenden Dampf hinsichtlich der Dampfauslaßkanäle gilt. Jedes Ventil kann bei entsprechender Anordnung

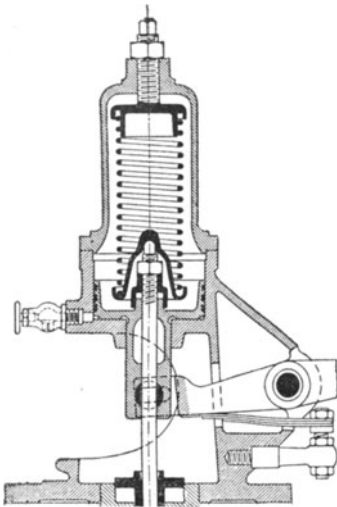


Fig. 39. Luftpuffer von Gebr. Sulzer, Winterthur.

der zugehörigen Steuerungssteile unabhängig von den übrigen Ventilen eingestellt werden, so daß ein Vorzug der Ventilsteuerungen in der Unabhängigkeit der Dampfverteilung besteht. Die Steuerungen sind so gebaut, daß ein rascher Abschluß der Einströmung erfolgt und der Dampf infolgedessen bei der Beendigung seiner Einströmung in den Zylinder sehr wenig gedrosselt wird. Man nennt daher die Ventilsteuerungen auch Präzisionssteuerungen.

Der präzise Abschluß der Ventile wird durch Federn erreicht, die beim Anheben der Ventile durch den Steuerungsmechanismus zusammengedrückt werden und nach dem Ausklappen der Steuerhebel die-

selben schließen (Fig. 39). Damit die Ventile nicht zu hart auf den Ventilsitz aufschlagen und letzterer nicht beschädigt wird, wird ihr Aufsetzen durch einen Luftpuffer gemildert. Die Luftpuffer bestehen aus einem mit der Ventilschindel verbundenen, von oben mit einer nachstellbaren Feder belasteten Kolben. Dadurch, daß die bei seinem Aufwärtsgang unter den Kolben eingetretene Luft bei seinem Niedergang durch eine sehr kleine Öffnung treten muß und ihr Austritt infolgedessen verlangsamt wird, erfolgt ein sanftes Aufsetzen des Ventils. Zur Regulierung des Luftpuffers erhält er unten ein kleines Niederschraubventil. Zum Einlassen der Luft während des Ventillhubes dient außerdem ein kleines Rückschlagventil oder

eine Reihe von Öffnungen in der ungefähren Mitte der Kolbenführung. Der Maschinist hat die Luftpuffer richtig einzustellen, daß sich die Ventile beim Schließen nicht zu hart aufsetzen oder zu langsam schließen oder gar kurz vor dem Abschluß hängen bleiben. Dies ist insbesondere zu beachten, wenn die Ventilstangen in den Stopfbüchsen schwer gehen und letztere neue Uiderung erhalten haben.

Man nennt solche Steuerungen, bei denen das Ventil durch die Kraft einer Feder oder des Dampfdruckes auf seinen Sitz gedrückt wird, auch Ausklinksteuerungen oder kraftschlüssige Steuerungen im Gegensatz zu den zwangsläufigen Steuerungen, bei denen die Ventile durch die Steuerungshebel geschlossen werden. Die weitaus gebräuchlichsten Ventilsteuerungen sind kraftschlüssig; sie erfordern etwas größere Aufmerksamkeit bei der Bedienung, zeichnen sich aber durch leichte Regulierbarkeit, schnelle Abschlußbewegung und Billigkeit aus.

Sie eignen sich jedoch nur für Maschinen bis etwa zu 125 Umdrehungen in der Minute, bei zwangsläufigen Maschinen kann die höchste Umdrehungszahl etwa 150 betragen. Schneller laufende Maschinen müssen Schiebersteuerung erhalten. Ventilsteuerungen eignen sich daher gut für große, nicht zu schnell laufende Maschinen. Bei schnellem Laufe der Maschine verursacht das

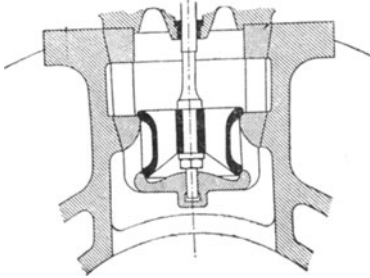


Fig. 40. Doppelsitzventil am Dampfzylinder. (Nach Leift.)

Auffschlagen der Ventile viel Geräusch und schnelle Abnutzung, mitunter auch den Bruch der Ventile und ihrer Sitze.

Die Ventile werden als entlastete Doppelsitz- oder Glockenventile ausgeführt. Einfache Tellerventile, die auf der äußeren Seite unter vollem Dampfdruck stehen, würden zum Öffnen zuviel Kraft verbrauchen und beim Schließen mit zu großer Gewalt auf den Sitz gedrückt werden. Ein Doppelsitzventil ist aus Fig. 40 ersichtlich. Sein Sitz besteht aus einer vollen Scheibe, welche die untere, und einem Ringe, welcher die obere Dichtungsfläche trägt. Da beim Anheben des Ventils nur der Druck zu überwinden ist, welchen der Dampf auf einem Ringe mit dem inneren Durchmesser des unteren Sitzes und dem äußeren Durchmesser des oberen Sitzes ausübt, ist hierbei nur wenig Kraft erforderlich.

Die Ventile haben ihre Dichtungsflächen in einem Korb, der außen konisch verläuft und dampfdicht in den Zylinder eingepaßt ist. Der Regel

des Einlaßventiles kann, wie aus Fig. 38 ersichtlich ist, nach dem Abschrauben des darüber befindlichen Deckels mit der Stopfbüchse für die Ventilspindel nach oben aus dem Zylinder herausgezogen werden, da von seinen beiden Dichtungsflächen die untere den kleineren Durchmesser hat. Bei den Auslaßventilen in Fig. 38 hingegen ist die Herausnahme des Ventilkogels aus dem Zylinder nur mitsamt ihrem Korbe möglich.

Die Ventilspindeln erhalten an Stelle der gewöhnlichen Stopfbüchsen zumeist Labyrinthdichtung. Bei der Verwendung der Weichpackungen nützen sich die Ventilspindeln an den Stellen, die sich bei den gewöhnlichen Füllungen und Ventilhuben mit der Packung in Berührung befinden, ab,

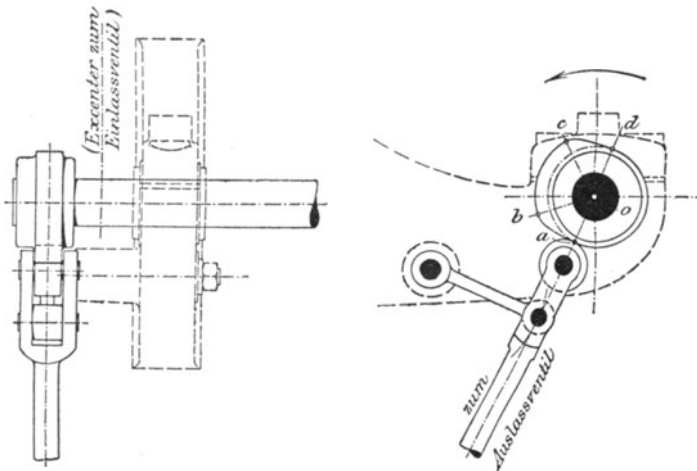


Fig. 41. Antrieb eines Dampfauslaßventils mittels unrunder Scheibe.  
(Nach Leist.)

so daß letztere stark angezogen werden muß und bei größeren Ventilhuben die Ventile an den nicht abgenutzten, dickeren Stellen der Ventilspindeln leicht hängen bleiben.

Bei der Labyrinthdichtung fällt die Weichpackung zumeist ganz fort, einzelne haben jedoch an der obersten Stelle einen Schlußzopf. Die Ventilspindeln werden geschliffen, in die Führung genau eingepaßt und mit eingedrehten Labyrinthnuten versehen, in denen sich der Druck des etwa hindurchtretenden Dampfes verliert. Bei manchen Konstruktionen sind die Stopfbüchsen in der Mitte mit einer die Ventilspindel ringförmig umschließenden Ausparung versehen, die durch ein dünnes Rohr mit dem Kondensator in Verbindung steht. Es soll hierdurch das Ausströmen von

Dampf aus der Stopfbüchse, sowie deren Schmierung erleichtert werden, da das Öl infolge des Vakuums leichter in die dicht eingepaßte Labyrinthdichtung eindringt. Für die Labyrinthdichtung muß gutes Schmieröl verwendet werden, da die bei schlechtem Öl sich bildenden Krusten das Hängenbleiben der Ventile verursachen können.

Die Ventile müssen möglichst in betriebswarmem Zustande sorgfältig eingeschliffen werden, da kalt eingeschliffene Ventile infolge der Formänderungen, die beim Heißwerden der Dampfmaschine am Ventilgehäuse auftreten, undicht werden könnten.

Der Antrieb der Ventile geschieht bei liegenden Dampfmaschinen mittels Exzenter. Die Auslaßventile werden mitunter auch mittels Daumen oder unrunder Scheiben (Fig. 41) geöffnet und durch Federkraft geschlossen; an den zugehörigen Steuerungshebeln werden meist Handgriffe angebracht, damit man die Auslaßventile beim Ingangsetzen der Maschine auch von Hand öffnen kann, um den Zylinder zu entwässern. Bei Verwendung von Daumenscheiben ist auch die Vergrößerung der Dampfaus-

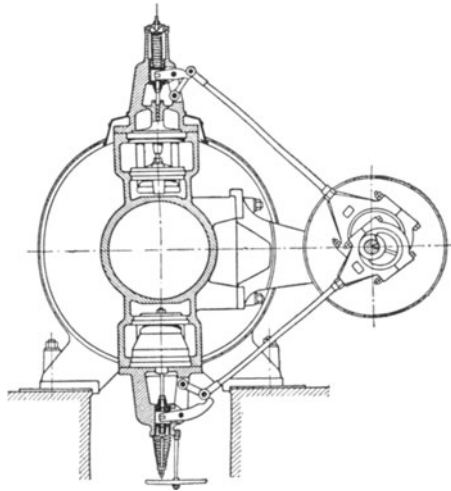


Fig. 42. Ventilsteuerung von Dr. Ing. Proell, Dresden. (Nach Frehtag.)

lassperiode beim Umstellen der Dampfmaschine vom Kondensations- auf den Auspuffbetrieb möglich, indem die Daumenscheiben alsdann zweiteilig hergestellt sind und auseinander gezogen werden können. Zum richtigen Einstellen werden sie hierbei mit einer Skala versehen (siehe den Abschnitt über Kondensation). Die Exzenter und die Daumen der beiden Zylinderseiten sind entgegengesetzt auf die Steuerwelle aufgefickt, oder nötigenfalls ein wenig davon abweichend, um einen Füllungsausgleich für beide Zylinderseiten zu schaffen. Veränderungen der Füllung, entsprechend dem Wechsel im Kraftverbrauch der Maschine, werden bei den Ausklippsteuerungen dadurch erreicht, daß die Einlaßventile eher oder später ausgelöst werden. Bei den zwangsläufigen Steuerungen wird die Ver-

änderung der Füllung durch Verstellen der Gelenkpunkte der Steuerungshebel bewirkt. Die Füllungsänderungen werden selbstverständlich automatisch von dem Regulator durchgeführt.

Umstehende Fig. 42 zeigt die Ventilsteuerung von Proell, die sich durch große Einfachheit auszeichnet. Zwischen den beiden Exzentern für die Einlaßventile sitzt der später zu besprechende Achsenregler. Die Exzenterstangen der Einlaßventile tragen an ihrem oberen Ende je eine

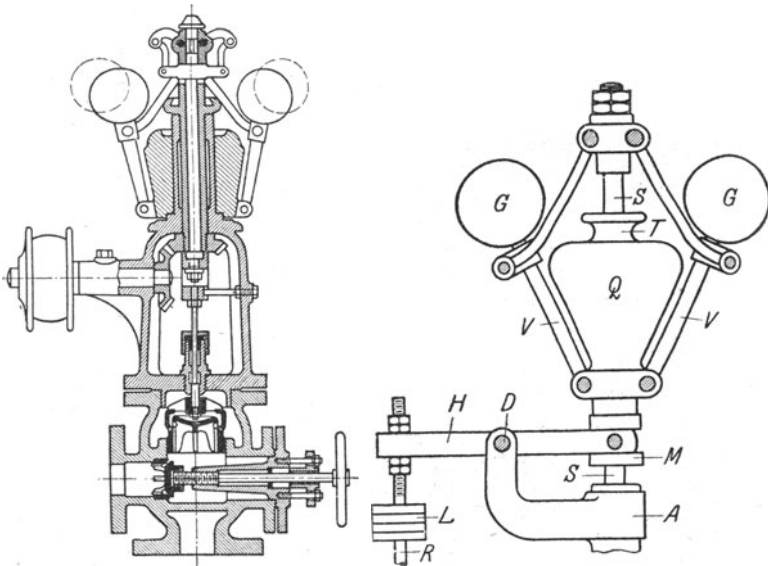


Fig. 43. Regulator mit Drosselventil von Steinte & Hartung, Quebclinburg. Fig. 44. Der Portersche Regulator.

Rolle, die auf der Kurve eines Hebels, der mit der Ventilstange des Einlaßventiles verbunden ist, auf- und ablaufen, und hierdurch das Anheben des Hebels und des Einlaßventiles bewirken. Bei zunehmender Füllung wird die Strecke, welche die erwähnte Rolle auf der Kurve abläuft, durch Vergrößerung des Exzenterhubes durch den Achsenregler vergrößert, bei abnehmender Füllung verkleinert. Zur Erreichung des durch die Länge der Kurbelstange bedingten Füllungsausgleiches für beide Zylinderseiten wird die Kurve an dem Hebel des Einlaßventiles an der Kurbelseite etwas wulstiger gemacht wie diejenige des Hebels vom Einlaßventil auf der Deckseite.

## VI. Die Tourenregler oder Regulatoren.

Der Regulator hat die Umdrehungszahl der Dampfmaschine auf gleicher Höhe zu erhalten. Verändert sich die Belastung der Maschine, so muß er eine entsprechende Veränderung der Füllung bewirken.

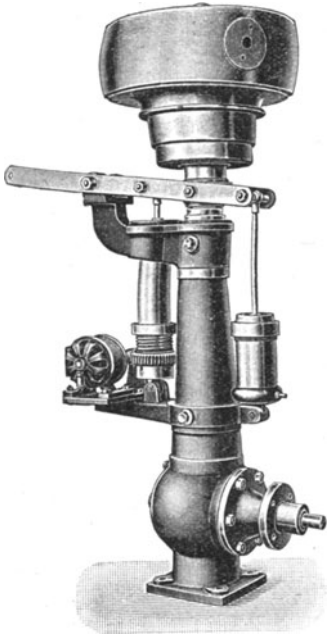


Fig. 45. Federregulator von Steinle & Hartung, Quedlinburg, mit Ölbremse und elektromotorischer Drehzahlverstellung vom Schaltbrett aus.

Bei kleinen Dampfmaschinen wird diese Veränderung durch die Drosselung des Dampfes bewirkt (Fig. 43). Oberhalb des Dampfabsperrentils befindet sich das Drosselventil, das bei zunehmender Geschwindigkeit der Maschine dem Ventilsitz genähert wird und hierbei den einströmenden Dampf drosselt, so daß die Dampfspannung im Zylinder fällt und die Umdrehungszahl der Maschine auf das normale Maß zurückgeht. Die Bewegung des Drosselventils wird durch die Schwungkugeln bewirkt, welche die Regulatorspindel, an deren unterem Ende das Drosselventil hängt, heben oder senken. Der Antrieb des Regulators erfolgt mittels eines Riemens von der Schwungradwelle aus.

Die Drosselung des Dampfes ist jedoch, vom Standpunkte der wirtschaftlichen Ausnutzung des Dampfdruckes aus betrachtet, nicht wirtschaftlich, und es wird ihr bei der Regelung der Tourenzahl der Dampfmaschinen die Veränderung des jeweiligen Füllungsgrades vorgezogen.

Nebenstehende Fig. 44 zeigt den häufig angewendeten **Porter'schen Regulator**. Bei steigender Umdrehungszahl der Dampfmaschine werden die Kugeln G durch die Zentrifugalkraft nach außen geschleudert, so daß sie die Muffe M in die Höhe ziehen, bei abnehmender Umdrehungszahl der Maschine wird die Muffe gesenkt. Die Bewegung der Muffe wird durch den Hebel H und die Stange R auf die Steuerung übertragen, so daß die Füllung der Maschine vergrößert oder verkleinert wird. Damit nicht zu



große und schwere Schwungfugeln erforderlich sind, wird das Gegengewicht **Q** angebracht, das bei anderen Regulatorarten durch eine Feder ersetzt ist. Soll zeitweise mit einer erhöhten Umdrehungszahl der Maschine gearbeitet werden, so muß das Gewicht des Regulators geändert werden. Zu diesem Zwecke bringt man an der Verbindungsstange **R** des Regulators mit der Steuerung einige kleine Gewichte **L** an, die der Maschinist während des Ganges der Maschine auflegen und abnehmen kann.

Nebenstehende Fig. 45 zeigt einen **Federregler** der Firma Steinle & Hartung. In dem Kopfe des Regulators sind die Schwungmassen untergebracht, die durch die Zentrifugalkraft nach dem Rande der Kapsel zu getrieben und von starken Gegenfedern im Gleichgewicht gehalten werden. An der Verlängerung des Muffenhebels ist des gleichmäßigen

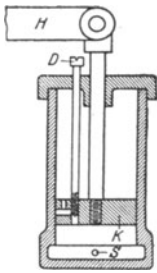


Fig. 46. Ölbremse v. Steinle & Hartung.



Fig. 47. Schematische Darstellung des Achsenreglers.

Arbeitens des Regulator halber und zur Vermeidung von Schwingungen eine Ölbremse angeschlossen. Letztere (Fig. 46) enthält einen Kolben mit einer Durchbohrung für den Öldurchlaß. Die Schraube **D** gestattet durch die Verengung und Erweiterung dieser Durchlaßöffnung die Beweglichkeit der Ölbremse zu verändern.

An die Regulatoren werden bestimmte Anforderungen in bezug auf Empfindlichkeit und Verstellbarkeit gestellt. Sie entsprechen bald der einen, bald der anderen Anforderung mehr oder weniger, woraus sich ihre vielerlei Bauarten erklären.

Die **Achsenregler** (Fig. 47), auch **Flachregler** genannt, haben sich in neuerer Zeit, und zwar an schnellaufenden Dampfmaschinen anstelle der Schwungfugelregulatoren eingeführt. Sie unterscheiden sich in ihrer Wirkung von letzteren insofern, als sie den Dampfeinlaß durch Verstellen der Exzenter regulieren, neben denen sie daher auch angebracht werden müssen.



zogen und das Drehzentrum in entgegengesetzter Weise auf dem Grundzentrum gedreht. Der ganze Mechanismus ist in einer Napsel *k* untergebracht, an deren Stirnwänden die festen Drehpunkte der Gewichte angebracht sind; sie selbst ist bei Schiebermaschinen mit dem Schwungrad durch einen Zapfen verbunden oder bei Ventilmaschinen auf der Steuerwelle *S* fest aufgefickt.

Die Achsenregler sind etwas teurer als die Schwungradregulatoren, doch regulieren sie die Umlaufzahl der Maschine schneller, da sie unmittel-

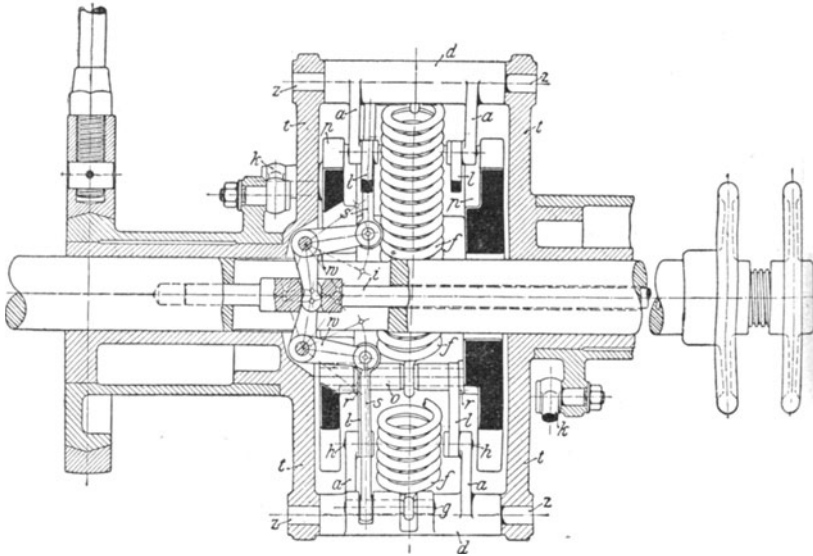


Fig. 49. Flachregler mit Verstellbarkeit der Umdrehungszahl der Maschine während des Ganges. Patent Proell.

barer wirken als jene. Bei Ventilmaschinen mit Flachreglern wird, wie aus Fig. 42 S. 49 ersichtlich ist, außerdem die Steuerung sehr einfach.

Die Achsenregler werden auch für verschiedene Tourenzahlen der Dampfmaschine einstellbar gebaut (Fig. 48 u. 49). Die Steuerwelle ist in diesem Falle hohl und von einer zweiten Welle durchzogen, welche mittels der am Ende der Steuerwelle angebrachten Handräder verschoben werden kann. Durch diese Verschiebung werden die Hebel *w* und die mit letzterem verbundenen Hebel *s* bewegt und hierdurch ein stärkeres Anziehen oder Nachlassen der Reglerfedern *f* bewirkt, so daß ein schnelleres oder lang-

lameres Laufen der Dampfmaschine herbeigeführt wird. Die Verdrehung der Dreherzenter erfolgt durch die Zugstangen k.

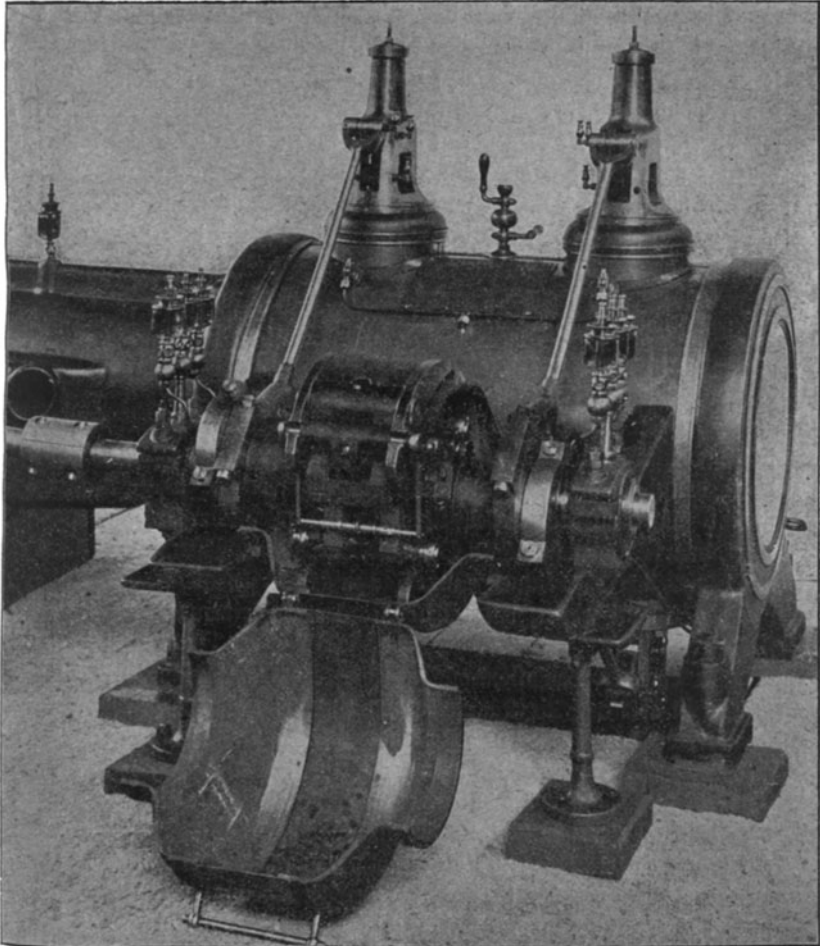


Fig. 50. Anordnung eines Flachreglers. Patent Proell.  
Ausführung der Maschinenfabrik Herm. Ulbricht, Chemnitz.

Die Flachregler erhalten zum Unfallschutze ein Gehäuse, welches, wie Fig. 50 zeigt, aufklappbar eingerichtet ist, so daß der Reglermechanismus beim Stillstande der Maschine bequem kontrolliert werden kann.

## VII. Die Kondensation.

**Die Kondensation.** Tritt der im Dampfzylinder verbrauchte Dampf ins Freie — man nennt derartige Dampfmaschinen Auspuffmaschinen — so muß der ausströmende Dampf den äußeren Luftdruck (= 1 Atm.) und den Widerstand in der Rohrleitung überwinden. Es beträgt daher bei solchen Maschinen der Gegendruck auf den Kolben etwa 1,1 oder 1,2 Atm. Schlägt man aber den austretenden Dampf durch Abkühlung nieder, so entsteht hinter dem Kolben eine Luftleere (ein Vakuum), der Gegendruck wird nahezu gleich Null und der wirksame Arbeitsdruck des Dampfes im Zylinder hierdurch um annähernd 1 Atm. erhöht. Man erzielt also auf diesem Wege eine beträchtliche Mehrleistung der Dampfmaschine. Die Einrichtung zum Niederschlagen des Dampfes nennt man den Kondensator. Das Niederschlagen (Kondensieren) des Dampfes wird durch kaltes Wasser bewirkt.

Soll eine dauernde Luftleere in dem Kondensator erzielt werden, so muß außer dem Kühlwasser und dem niedergeschlagenen Dampf auch die in den Kondensator gelangte Luft abgesaugt werden. Diese Luft entstammt zum Teil dem Keiselpfeisewasser und wird vom Dampf mitgeführt, dem sie sich an undichten Stellen der Dampfmaschinen (Stoffbüchsen und Rohrleitungen) beimengt, zum Teil entstammt sie auch dem stets lufthaltigen Einspritzwasser, das bei der Erwärmung seinen Luftgehalt ausscheidet.

Zu einer Kondensationsanlage gehört daher auch eine Luftpumpe. Häufig ist aber auch die Kühlwasserpumpe zugleich die Luftpumpe.

Nebenstehende Figur 51 zeigt die schematische Darstellung einer **Einspritzkondensation**. Dieselbe besteht aus einer doppelt wirkenden Wasserpumpe. Das Wasser wird durch das Saugrohr angepumpt und tritt, nachdem es durch Hahn E hindurchgeströmt ist, durch das Rohr R, welches auf seiner ganzen Länge mit einer großen Anzahl von etwa 3 bis 4 mm großen Löchern versehen ist, in Form einer Brause aus und spritzt hierbei in den vom Dampfzylinder kommenden Dampf hinein, der infolgedessen sofort zu Wasser abgekühlt wird. Das miteinander vermischte Kühl- und Dampfwater wird vom Pumpenkolben durch die Druckventile g gedrückt und fließt durch das Rohr U in eine Schleufe ab.

Der Kondensator wird gewöhnlich in einer Unterkellerung des Dampfmaschinenhauses aufgestellt, was den Vorteil hat, daß die Saughöhe der Kondensatorpumpe verkleinert wird, so daß dieselbe nicht so leicht verjagt;

außerdem wird die Entwässerung der Abdampfleitung der Dampfmaschine erleichtert, da das darin sich niederschlagende Wasser der Pumpe selbsttätig zuläuft.

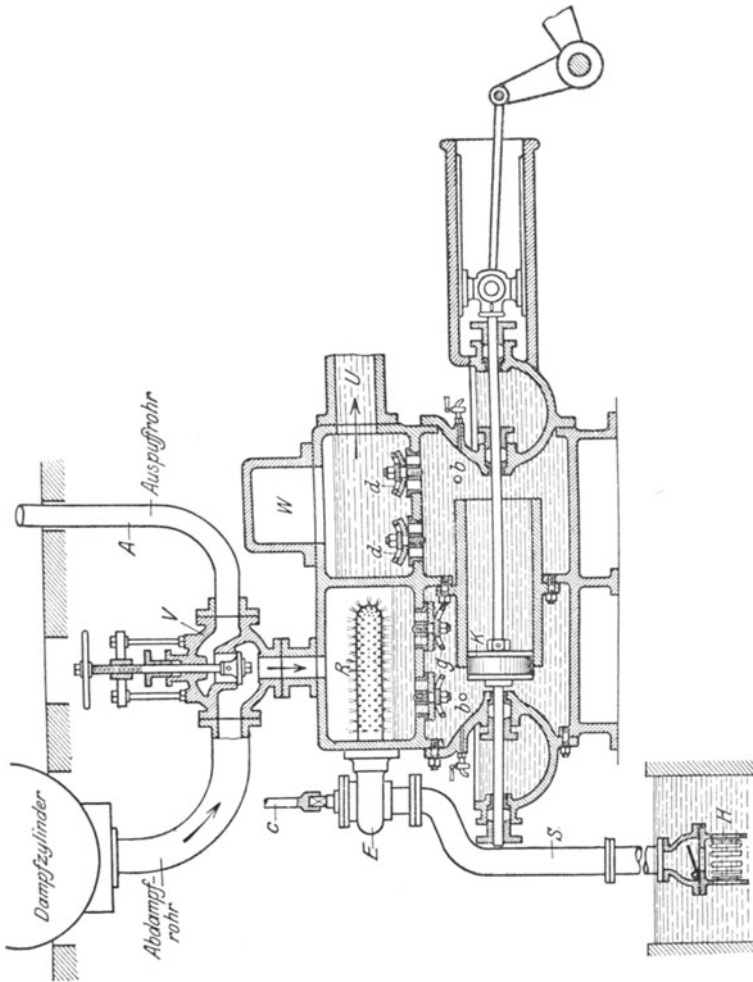


Fig. 51. Schematische Darstellung einer Einprügkondensation.

**Die Bedienung des Kondensators.** Der Maschinist muß dem Kondensator große Aufmerksamkeit zuwenden. Versagt der Kondensator während des Ganges der Maschine, so muß letzterer abgestellt werden. Bedarf die Abstellung der Betriebsstörung des Kondensators längere Zeit, so

kann die Maschine auch mit Auspuff arbeiten. Zu diesem Zwecke schraubt der Maschinist das Dreiwegventil **V** in der Abdampfleitung in die entsprechende Stellung. Ferner muß er die Auslaßdaumen (siehe Fig. 41, Seite 48) an dem Zylinder vor dem Kondensator etwas weiter stellen, so daß der aus dem Zylinder austretende Dampf einen leichteren, bequemeren Ausweg hat. Bei diesem Umstellen der Dampfauslaßdaumen ist aber darauf zu achten, daß trotzdem eine regelrechte Dampfverteilung im Zylinder stattfindet und der Dampf nicht etwa durch das Auslaßventil austritt, wenn das Einlaßventil derselben Zylinderseite noch geöffnet ist. Im allgemeinen kann das Arbeiten einer Kondensationsmaschine mit Auspuff nur ein kurzfristiger Notbehelf sein. Zur Vermeidung von Störungen des Kondensatorbetriebes muß der Maschinist zunächst stets für einen ungehinderten, leichten Zufluß des Wassers zur Kondensatorpumpe sorgen und den Saugkorb **H** am unteren Ende der Saugleitung sowie das Einspritzrohr regelmäßig reinigen, denn sowohl der Saugkorb wie auch das Einspritzrohr setzen sich im Laufe der Zeit voll Schmutz und verursachen, wenn sie auch nur teilweise verstopft sind, sehr leicht ein Versagen der Kondensatorpumpe. Hängt der Saugkorb in einem Brunnen schacht, so ist es sehr zweckmäßig, darin einen Podest und einen Flaschenzug anzubringen, so daß der Saugkorb behufs Reinigung leicht abgeschraubt und hochgezogen werden kann. Alle Rohrleitungen nach dem Kondensator müssen ferner gut dicht gehalten werden. Als Dichtung sind gute Gummidichtungen zu verwenden.

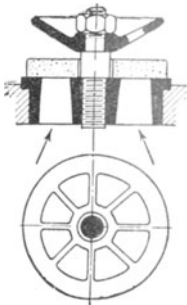


Fig. 52. Anordnung einer Gummiflappe im Kondensator. (Nach R. Schmidt.)

Statt der bei gewöhnlichen Pumpen üblichen Metallventile wendet man im Kondensator zumeist **Gummiflappen** (Fig. 52) von etwa 10 bis 20 mm Dicke an. Die Gummiflappen sind zumeist scheibenförmig. Beim Öffnen schlagen sie zum Schutze gegen zu weites Umbiegen gegen einen Klappenfänger, der durchlocht ausgeführt wird, damit die Klappe nicht daran haften bleibt. Auf dem Schraubenbolzen, womit sie befestigt sind, erhalten die Gummiflappen ein wenig Spielraum in senkrechter Richtung, da sie andernfalls leicht reißen, was ohnehin bei längerem Gebrauche mitunter vorkommt. Loßgerissene Gummiflappen werden meist von dem Wasser mit fortgerissen und können beim Durchgang durch die Pumpe auch andere Klappen mit losreißen. Schadhafte Gummiflappen oder schadhafte Befestigungsschrauben derselben sind daher rechtzeitig auszuwechseln.

Die Gummiklappen sind auch öfter vom Maschinisten nachzusehen; zur Erleichterung dieser Kontrolle sind die Ventilkammern seitlich mit großen, abschraubbaren Deckeln versehen. Neuerdings, z. B. seitens der Firma Wolf, Magdeburg-Buckau, werden auch anstelle der Gummiklappen dünne Messingventile angebracht. Der Kolben des Kondensators wird häufig aus Holz hergestellt. Eine Schmierung desselben ist nicht möglich, findet aber in geringem Maße durch das ölhaltige Kondensationswasser statt. Ein abgenützter Kolben, der nicht mehr dicht hält, hat natürlich zur Folge, daß die Wirkung der Pumpe nachläßt und das Vakuum schlecht wird. Der Kolben muß daher öfter erneuert werden. Damit das Auswechseln des Kolbens schnell stattfinden kann, sind Reservokolben bereit zu halten. Holzkolben müssen mehrere Wochen vor ihrer Verwendung im Wasser liegen, damit sie nicht hinterher im Kondensator aufquellen, was schweren Gang des Kolbens, unter Umständen auch ein Abreißen der Schwinghebel zur Folge haben kann. Man dreht deshalb auch die Holzkolben erst unmittelbar vor ihrem Einsetzen in die Kondensatorpumpe auf das richtige Maß ab.

Beim Ingangsetzen und beim Abstellen der Dampfmaschine ist hinsichtlich der Kondensation folgendes zu beachten. Das Dampfabsperrentil am Zylinder wird, nachdem letzterer genügend angewärmt ist, nur so viel geöffnet, daß die Maschine in Bewegung kommt; nach etwa 2 bis 3 Umdrehungen hat der Maschinist den Einspritzhahn E am Kondensator zu öffnen und die Ablasshähne am Zylinder zu schließen. Das Dampfabsperrentil ist nunmehr langsam weiter zu öffnen bis der Regulator spielt und die Maschine die normale Umdrehungszahl macht.

Beim Abstellen von Einzylindermaschinen wird zunächst der Einspritzhahn am Kondensator geschlossen und gleich darauf das Dampfabsperrentil, das vorher auf geringen Dampfdruck eingestellt war, vollends geschlossen und zugleich die Ablasshähne geöffnet.

Mehrzylindermaschinen (Verbund- und Compoundmaschinen) machen nach erfolgter Schließung des Dampfabsperrentils am Zylinder noch eine größere Anzahl Umdrehungen bis der im Receiver (siehe Seite 65), in den Zwischendampfleitungen und im Mantel des zweiten (Niederdruck-)Zylinders vorhandene Dampf aufgezehrt ist, und es kann, wenn der Einspritzhahn unmittelbar nach dem Niederschrauben des Absperrentils geschlossen wird, die Kondensatorpumpe leer geschöpft werden. Um dies zu vermeiden, schließt man zunächst das Dampfabsperrentil am Hochdruckzylinder soweit, daß sich die Geschwindigkeit der Maschine merklich verlangsamt, schließt dann, wenn die Maschine voraussichtlich nur noch wenige Umdrehungen



macht, den Wassereinspritzhahn am Kondensator, öffnet hierauf die Abfläshähne an den Zylindern und schließt dann das Dampfabsperrentil.

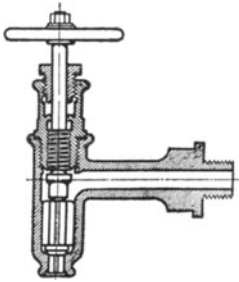


Fig. 53. Schnüffelventil am Kondensator.  
(Nach K. Schmidt.)

Zur Milderung des Wasserchlages, der beim Hubwechsel des Pumpenkolbens auftritt, dient der auf dem Pumpengehäuse sitzende, mit Luft gefüllte **Windkessel** W und die in den Saugraum mündenden **Schnüffelventile** b (Fig. 51), durch welche bei jedem Hubwechsel eine geringe Luftmenge in die Pumpe gesaugt wird. Diese Luftmenge darf nicht zu groß sein, da sie die Luftleere, also die Leistung der Dampfmaschine vermindert. Durch Verstellen der Schraube ist die Subhöhe des Einlassventils und hiermit die Luftzufuhr veränderlich (siehe Fig. 53).

Das aus dem Einspritzkondensator ablaufende Wasser hat gewöhnlich eine Temperatur von 40° Celsius, weshalb es gern zur Kesselspeisung verwendet wird. Es empfiehlt sich

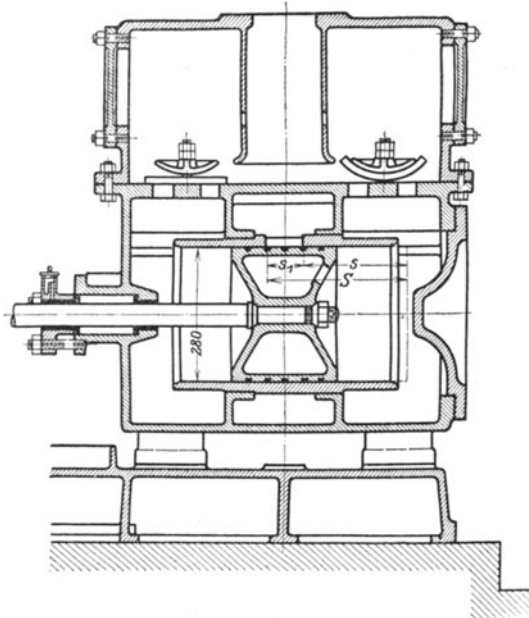


Fig. 54. Raßluftpumpe mit Saugschlitz von der Maschinenfabrik Germania, Chemnitz. (Nach K. Schmidt.)

aber in diesem Falle, den Dampf, bevor er in den Kondensator gelangt, durch einen Dabscheider vom Öl zu befreien.

Die Kondensationspumpen werden auch mit Saugschlügen (a) ausgeführt (siehe Fig. 54), wobei die Saugventile wegfallen. Der Widerstand beim Saugen der Pumpe ist infolgedessen etwas geringer, so daß auch das Vakuum besser wird. Durch das im Druckraum der Pumpe hängende Steigrohr b wird ferner ein Windkessel gebildet, der eine stetige, stoßfreie Wasserförderung bewirkt. (Ausführung der Maschinenfabrik Germania, Chemnitz). Im übrigen sind diese Pumpen genau wie die anderen Bauarten mit einem Einspritzrohr ausgerüstet, und es gilt auch für sie das bereits Gesagte.

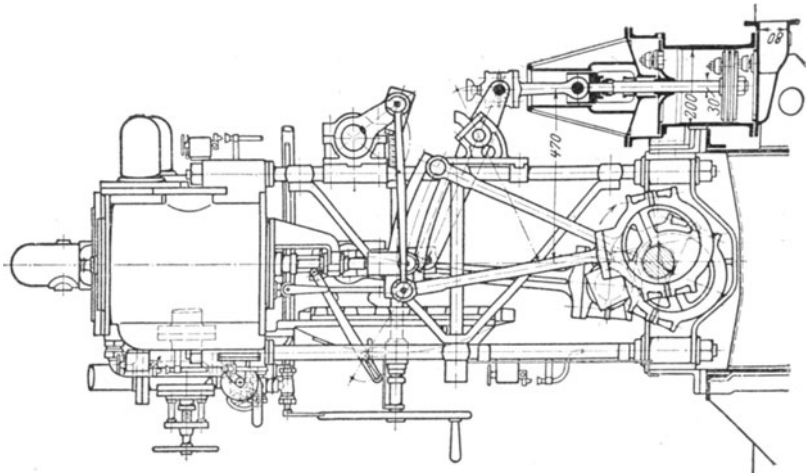
**Das Messen der Luftleere** (Vakuum) erfolgt mit Hilfe des Vakuummeters. Die Vakuummeter sind entweder nach Art der Manometer gebaut oder man benutzt eine U-förmige mit Quecksilber gefüllte Glasröhre, die an einem Ende mit der Luft, mit dem andern mit dem luftverdünnten Raum des Kondensators in Verbindung steht. Da der normale Luftdruck einer Quecksilbersäule von 760 mm das Gleichgewicht hält, gibt man auf den Vakuummetern die erzeugte Luftleere in Millimeter Quecksilbersäule an; doch ist auch die Skaleneinteilung in Atmosphären = 1 kg/qcm gebräuchlich. Je nach der Bauart der verwendeten Kondensationsanlage schwankt die erzeugte Luftleere etwa zwischen 80 und 95%. Bei den Anschlüssen der Vakuummeter ist auf sorgfältige Abdichtung derselben zu achten, da etwaige Undichtheiten falsche Messungen der Luftleere anzeigen.

## VIII. Die Zwei- und Dreifachexpansionsmaschinen.

Dampfmaschinen von größerer Leistung und für hohen Anfangsdruck werden als Zwei- oder Mehrzylindermaschinen gebaut. Erstere bestehen aus einem Hoch- und einem Niederdruckzylinder; bei den Dreifachexpansionsmaschinen kommt noch der Mitteldruckzylinder hinzu, mitunter wird bei ihnen der Niederdruckzylinder außerdem in zwei Zylinder gleicher Größe zerlegt, so daß in diesem Falle insgesamt vier Zylinder vorhanden sind (Fig. 55). Der Dampf strömt zunächst in den Hochdruckzylinder und gelangt von letzterem aus der Reihe nach in die übrigen Zylinder, wobei der Dampfdruck entsprechend der in jedem einzelnen Zylinder stattfindenden Expansion stufenweise abnimmt. Da sich hierbei auch sein Volumen in jedem Zylinder vergrößert, müssen die Zylinderdurchmesser in der Reihenfolge Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruckzylinder größer werden, und

zwar muß der Durchmesser des Mitteldruckzylinders so groß werden, daß der Ausströmdampf vom Hochdruckzylinder für einen bestimmten Füllungsgrad des Mitteldruckzylinders ausreicht; dasselbe gilt für das Größenverhältnis des Niederdruckzylinders zum Mitteldruckzylinder. Der Vorteil dieser stufenweisen Ausnützung des Dampfdruckes besteht in der Verteilung des Temperaturabfalles des Dampfes auf mehrere Zylinder und die bessere Ausnutzung der Dampfwärme durch die Vermeidung von Wärmeverlusten. Während bei einer Einzylindermaschine die Temperatur im Zylinder, 12 Atm. Dampfdruck vorausgesetzt, von 191 auf etwa 110° C. sinkt, würde die Temperatur bei einer Zweifachexpansionsmaschine im Hochdruckzylinder, eine Ausströmungsspannung von 3 Atm. vorausgesetzt, zwischen 191 und 143° Celsius, und im Niederdruckzylinder zwischen 142 und 110° Celsius schwanken. Noch größer wird der Temperaturunterschied bei Dampfmaschinen mit Kondensation, da bei ihnen die Endtemperatur des Dampfes infolge der weitgehenden Expansion noch niedriger als bei Auspuffmaschinen ist. Daraus, daß durch die großen Temperaturschwankungen in den einzelnen Zylindern ein größerer Wärmeverlust verursacht wird, folgt, daß die Dampfmaschinen mit zwei- oder dreifacher Expansion einen geringeren Dampfverbrauch als Einzylindermaschinen haben. Doch können auch noch andere Gründe für die Anwendung von Zwei- oder Dreifachexpansionsmaschinen maßgebend sein, z. B. gleichmäßiger Gang der Maschine bei Anwendung von zwei oder mehreren Kurbeln.

Die Regelung des Dampfverbrauches erfolgt bei diesen Maschinen



am Hochdruckzylinder; dessen Füllung durch den Regulator dem jeweiligen Kraftbedarf entsprechend verändert wird. Die übrigen Zylinder werden auf eine bestimmte Füllung eingestellt und erhalten bei Ventilsteuerungen verstellbare Steuerscheiben an Stelle der Exzenter, bei Anwendung von

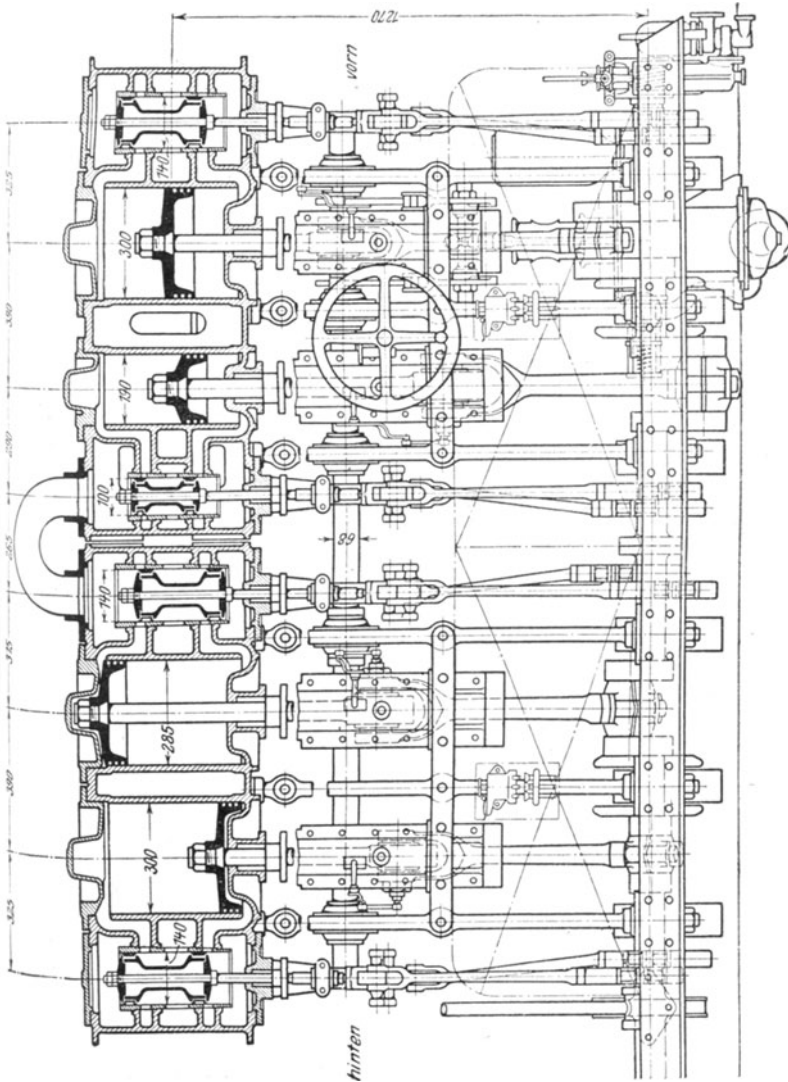


Fig. 55 und 56. Vierzylinderige Schiffsmaschine mit dreifacher Expansion, Kolbenschieber- und Stephenson'scher Umsteuerung, die von Hand bedient wird, gebaut von den Rulfsanverken Hamburg-Geleitn. Der Niederdruckzylinder ist in zwei Zylinder von je 300 mm Durchmesser geteilt.

Schiebersteuerungen aber Exzenter von unveränderlichem Hub (siehe die Abbildung der Schiffsdampfmaschine).

**Die Tandemmaschine** (vom englischen Tandem, d. i. ein leichter Wagen mit zwei hintereinander gespannten Pferden) ist eine Dampfmaschine mit einem Hoch- und einem Niederdruckzylinder, die hintereinander angeordnet sind. Sie haben demnach nur eine Kolbenstange, einen Kreuzkopf und eine Kurbel. Sie nehmen weniger Raum als Verbundmaschinen mit zwei Kurbeln in Anspruch und sind auch billiger. Der Hochdruckzylinder wurde früher seines kleinen Durchmessers halber fast ausnahmslos vorn, nach der Kreuzkopffseite zu, angeordnet, damit sein Kolben durch den Niederdruckzylinder hindurch nach hinten herausgezogen werden konnte. Neuerdings und zwar mit der zunehmenden Verwendung des überhitzten Dampfes, ist die umgekehrte Zylinderanordnung mit Rücksicht darauf üblich geworden, daß der Hochdruckzylinder infolge seiner höheren Temperatur eine größere Längenausdehnung als der Niederdruckzylinder hat und sich am äußeren Ende der Maschine ungehinderter ausdehnen kann als bei seinem Einbau zwischen Geradführung und Niederdruckzylinder; außerdem kann sich seine hohe Temperatur nicht auf den Kreuzkopf und die Geradführung übertragen. Beim Herausnehmen des großen Kolbens muß alsdann der hinten liegende Hochdruckzylinder vom Niederdruckzylinder abgeschoben werden, oder das zwischen beiden Zylindern befindliche Verbindungsstück, die Laterne, ist so geräumig, daß an dieser Stelle der Kolben des Niederdruckzylinders herausgenommen werden kann.

Die Verbindung der beiden Zylinder erfolgt durch ein einfaches Dampfrohr. Das Anwärmen des Hochdruckzylinders vor der Inbetriebnahme der Maschine ist wie bei den Einzylindermaschinen vorzunehmen. Zum Anwärmen des Niederdruckzylinders und der zugehörigen Dampfzuleitung wird eine besondere kleine Dampfleitung angebracht, deren Absperrventil zwar unter Flur des Maschinenhauses liegt, aber eine verlängerte Ventilspindel hat, so daß es beim Aulassen der Maschine vom Standorte des Maschinisten aus bequem betätigt werden kann.

**Verbund- oder Compoundmaschinen** sind Maschinen mit zwei- oder dreifacher Expansion. Letztere nennt man auch Triplemaschinen. Ihre Zylinder sind nicht hintereinander, sondern nebeneinander angeordnet und die Kurbeln zur Erzielung eines möglichst gleichmäßigen Ganges der Maschine entweder um einen halben oder viertel Kurbelkreis (um  $180^\circ$  oder  $90^\circ$ ) gegeneinander versetzt. In letzterem Falle ist mit Rücksicht darauf, daß das Eröffnen der Auslaßventile am Hochdruckzylinder und der Einlaßventile am Niederdruckzylinder zeitlich nicht zusammenfällt, der Einbau

eines Zwischenbehälters oder Dampfaufnehmers oder Receivers zwischen beiden Zylindern erforderlich (Fig. 57). Sein Zweck ist demnach, den aus dem Hochdruckzylinder strömenden Dampf aufzuspeichern, bis letzterem durch Öffnen der Eintrittsventile am Niederdruckzylinder der Zugang zu diesem möglich ist. Er besteht aus einem zylindrischen Gefäß mit je einem Stutzen für den Dampfeintritt, den Dampfauslaß und für seine Entwässerung, wozu ein Ausblasehahn und ein Kondensstopf an ihn angeschlossen sind. Vor der Inbetriebnahme der Maschine ist er gut anzuwärmen und zu entwässern. Für das Anwärmen wird er an eine kleine Frischdampfleitung angeschlossen, die bei der Inbetriebnahme der Maschine wieder abzuschließen ist. Der Rauminhalt des Receivers ist gewöhnlich gleich dem Rauminhalt des Hochdruckzylinders, so daß er den aus letzterem ausströmenden Dampf voll und ohne Drucksteigerung aufzunehmen vermag. Der Receiverdampf wird mitunter durch Frischdampf erhitzt und alsdann im Receiver eine Heizrohrschlange oder mehrere Heizrohre untergebracht, oder er erhält einen Dampfmantel.

Bei Dampfmaschinen mit gleichen oder um einen Halbkreis ( $180^\circ$ ) verjetzten Kurbeln ist der Receiver nicht erforderlich und wird weggelassen. Doch erhält mit Rücksicht darauf, daß der Beginn der Ausströmung am Hochdruckzylinder und der Beginn der Einströmung am Niederdruckzylinder auch bei diesen Maschinen um ein geringes auseinanderliegen, das zwischen beiden Zylindern befindliche Dampfrohr einen etwas erweiterten Durchmesser. Auch in diesem Falle erhält der Receiver mitunter eine Frischdampfheizung, so daß er dann nichts anderes als ein etwas erweitertes Dampfrohr darstellt. Diese Maschinen nennt man auch Woolfsche Maschinen, während man die anderen für gewöhnlich als Compoundmaschinen bezeichnet. Ist bei Dampfmaschinen mit Receiver eine Dampfentölungs- und Ölwiedergewinnungsanlage vorhanden, so ist letzterer auch das Kondenswasser aus dem Receiver wegen seines hohen Ölgehaltes zuzuführen.

Die Verbundmaschinen werden so ausgeführt, daß die Arbeitsleistung auf beide Zylinder oder auf die vier Quadranten des Kurbelkreises möglichst gleichmäßig verteilt ist. Wenn bei den Verbundmaschinen mit um  $90^\circ$

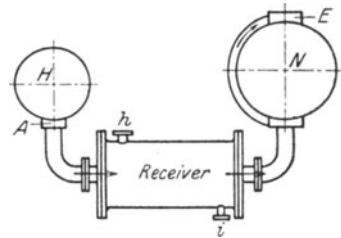


Fig. 57. Verbundmaschine.  
 H = Hochdruckzylinder mit Dampfaustritt A. N = Niederdruckzylinder mit Dampfeintritt E. h = Stutzen für den Heizdampf zum Receiver.  
 i = Entwässerungsstutzen.

verfehrten Kurbeln die Kurbel des Hochdruckzylinders sich in einer für das Ingangsetzen ungünstigen Stellung befindet, so kann man sie mit Hilfe des Niederdruckzylinders leicht um  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  Umdrehung wie folgt verstellen. Man schließt an beiden Zylindern die Kondenswasserablaßhähne und öffnet dann ganz langsam das Hilfsventil an der Zwischendampfleitung, schließt dieses jedoch sofort, sobald sich die Maschine zu drehen beginnt. Hierauf werden an beiden Zylindern die Kondenswasserablaßhähne wieder ganz geöffnet und die Maschine wie gewöhnlich durch vorsichtiges und langsames Öffnen des Dampfsperrventils am Hochdruckzylinder in Gang gesetzt. Über das Abstellen der Verbundmaschine ist insbesondere das über die Bedienung von Kondensationsanlagen Gesagte (Seite 59) zu beachten.

Arbeitet eine Verbundmaschine andauernd mit großer Füllung am Hochdruckzylinder, ist sie also stark belastet, so sind die Steuerhebeln für die Dampfeinlässe am Niederdruckzylinder auf die Marke 60% einzustellen. Die Steuerhebeln sind zu diesem Zwecke in senkrechter Richtung zur Steuerwelle zweiteilig und erhalten eine Skala, nach welcher ihre Einstellung zu erfolgen hat.

## IX. Die Gleichstromdampfmaschine.

Bei den bisher besprochenen Dampfmaschinen tritt der Dampf an demselben Zylinderende ein und aus; bei den Dampfmaschinen mit Schiebersteuerung sind außerdem die Dampfeinlaßkanäle am Zylinder zugleich die Dampfauslaßkanäle. Der Dampf wechselt bei diesen Dampfmaschinen, nachdem er den Kolben von dem einen zum anderen Hubende getrieben hat, seine Strömungsrichtung und strömt während der Ausströmungsperiode mit dem Kolben wieder zurück. Man nennt solche Dampfmaschinen daher zum Unterschiede von den neuerdings aufgetretenen Gleichstromdampfmaschinen auch Wechselftromdampfmaschinen. Da sich der Dampf bei seiner Ausdehnung abkühlt, sind bei dieser Maschine die Zylinderenden bzw. auch die Dampfkanäle abwechselnd von heißem oder kühlem Dampf bespült, wobei dem einströmenden heißen Dampf durch die abgekühlten Wandungen Wärme entzogen wird. Diese Wärmeverluste sind um so größer, je größer der Spannungsabfall im Zylinder ist. Es führte daher die Anwendung hoher Dampfspannungen und des hocherhitzten Dampfes im wesentlichen mit zum Bau von Zweifach- und Dreifacherpansionsmaschinen. Wenn diese Maschinen auch teurer sind als Einzylindermaschinen, so besitzen sie doch den Vorzug geringen Dampfverbrauches. Die scharfe Konkurrenz, die die Dampfturbine namentlich den größeren Dampfmaschinen in

den letzten Jahren in zunehmendem Maße bereitete, gab den Anlaß zum Bau der Gleichstromdampfmaschine. Verwirklicht wurde dieser Gedanke durch Prof. Stumpf in Charlottenburg, nach dessen Angaben im Jahre 1908 die erste Gleichstromdampfmaschine hergestellt wurde. Bei der Gleichstromdampfmaschine wird der Dampf, wie schon der Name andeutet, im gleichbleibenden Richtungsstrome ausgenutzt. Er tritt, wie Fig. 58 und 62 zeigen, durch die Einlaßventile, die in den Zylinderdeckeln eingebaut sind, in den Zylinder ein und nachdem der Kolben am anderen Hubende angelangt ist, durch Auslaßschlitze in der Zylindermitte wieder aus. Die Strömungsrichtung des Dampfes bleibt daher stets unverändert gleich.

Wesentlicher ist die Einfachheit der Maschine, wodurch ihre Herstellung verbilligt, der Öl- und Platzbedarf vermindert und der Betrieb bedeutend vereinfacht wird. Die Ventile, Hebel und Exzenter für den Auslaß fallen bei ihr fort, da die Auslaßschlitze in der Zylindermitte lediglich durch den Kolben verdeckt und freigegeben werden. Es machen sich hierdurch allerdings Zylinder und Kolben von beträchtlicher Länge erforderlich. Letzterer muß in seiner Endstellung die Auslaßschlitze vollständig freigeben und alsdann über dieselben hinweg wieder zurückgehen. Die Auslaßschlitze verteilen sich nahezu auf den ganzen Zylinderumfang und können infolgedessen einen großen Querschnitt erhalten, der etwa die dreifache Größe des durch einen Schieber oder ein Ventil erreichbaren Querschnittes erhält, so daß der Dampf, auch wenn die Auslaßschlitze nicht lange, etwa nur  $\frac{1}{5}$  der ganzen Zeit, geöffnet sind, doch in genügendem Maße aus dem Zylinder austreten kann.

Durch den langen Kolben, der nahezu — etwa bis zu  $\frac{4}{10}$  — den halben Zylinder ausfüllt, wird dessen Auflagefläche sehr groß und dessen Druck auf die Zylinderfläche sehr klein, so daß die Verlängerung der Kolbenstange durch den hinteren Zylinderdeckel zumeist weggelassen wird. Der Kolben erhält zwei Ringreihen mit je zwei oder drei Kolbenringen.

Die Einlaßventile werden auf einfache Weise durch eine wagerecht oberhalb des Zylinders verlaufende Stange gesteuert, die mit einem Schwinghebel verbunden ist. Letzterer erhält seine Bewegung von einem Drehexzenter auf der Hauptwelle, das von einem Flachregler beeinflusst wird, wodurch die Füllung des Zylinders entsprechend der jeweiligen Belastung der Maschine in derselben Weise wie bei anderen Dampfmaschinen selbsttätig eingestellt wird. Da bei großen Dampfmaschinen die wagerechte Stange zu schwer werden und einen sehr kräftigen Regulator erfordern würde, werden die Einlaßventile auch durch die sonst übliche rotierende Steuerwelle mit Exzentern bewegt (siehe Fig. 59, Bauart Sulzer).



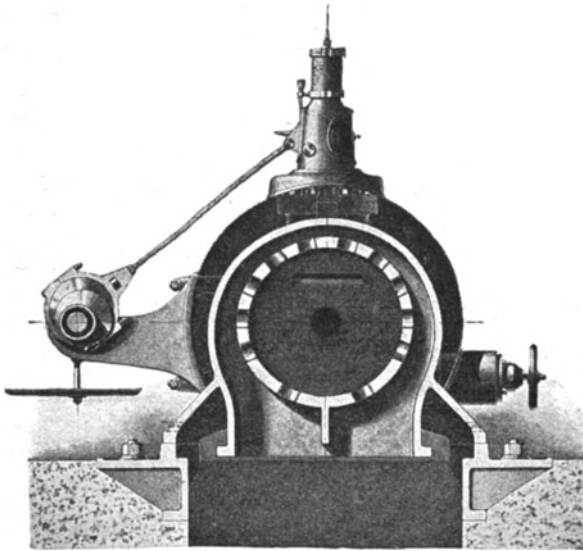
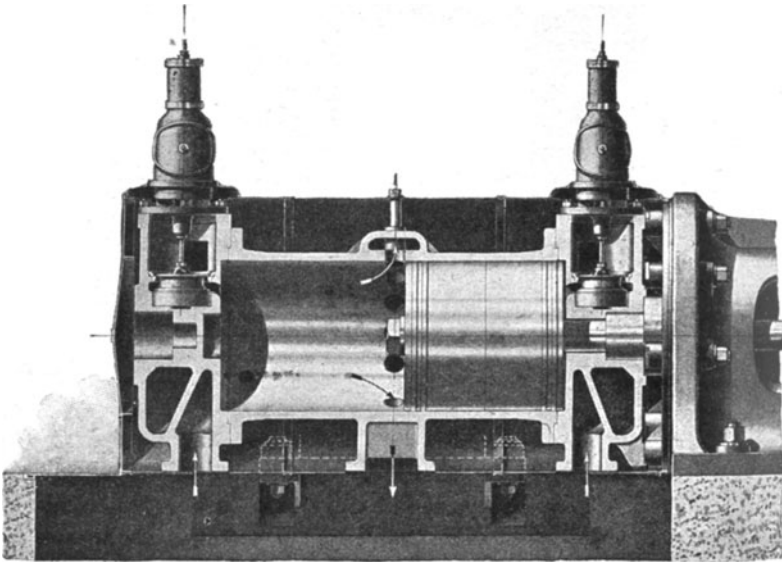


Fig. 58 und 59. Schnitt durch den Zylinder einer Gleichstromdampfmaschine  
Gebr. Sulzer, Winterthur.

Die Auslaßschlitze münden in einen ringförmig an den Zylinder angelegten Kanal, der durch ein meist sehr kurzes Rohr mit dem Kondensator verbunden ist. Die Gleichstromdampfmaschinen werden hauptsächlich nur für Kondensation gebaut. Da diese Maschinen bei Betriebsstörungen in der Kondensation auch zeitweilig mit Auspuff arbeiten müssen, in solchen Fällen jedoch der Dampfaustritt aus dem Zylinder ungenügend wird und eine zu hohe und schädliche Kompression des Dampfes entstehen würde, bringt man in den Zylinderdeckeln zusätzliche schädliche Räume an. Die Zylinderdeckel haben bei solchen Maschinen zwei Hohlräume. Der eine wird vom Frischdampf auf dessen Weg nach dem Einlaßventil durchströmt und heizt den Deckel, der zweite dient im Falle des Versagens der Kondensation zur Vergrößerung des schädlichen Raumes. Diese Zuschalträume

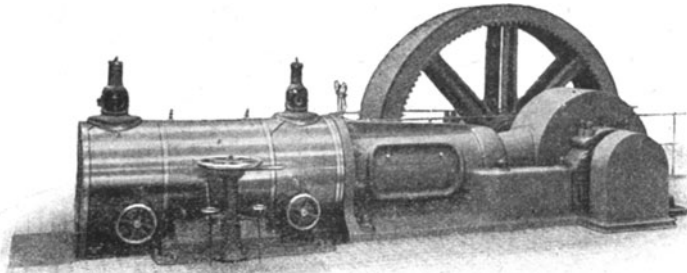


Fig. 60. Ansicht einer Gleichstromdampfmaschine von Gebr. Sulzer. Die Handräder an den Zylinderenden gehören zu den Ventilen der Zuschalträume.

sind durch kleine Ventile von dem Zylinderraum abgesperrt; versagt die Kondensation, so treten dieselben entweder automatisch oder nach Umlegen eines Hebels von Hand oder nach dem Herausdraußen einer Ventilschraube in Tätigkeit. Fig. 60 läßt die Handräder dieser Zuschaltventile deutlich erkennen. Fig. 61 zeigt ein solches, automatisch arbeitendes Zuschaltventil der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.-G., D.R.P. 226316. Solange die Kondensation arbeitet, wird das Ventil durch den auf die Außenseite des Kolbens a wirkenden Luftdruck geschlossen, da auf der anderen Seite des Kolbens infolge eines nach dem Kondensator oder der Auslaßwulst am Zylinder führenden Rohres ein Vakuum erzeugt wird. Versagt die Kondensation, so fällt das Vakuum weg, und der auf das Ventil b wirkende Dampfdruck vermag das Zuschaltventil zu öffnen. Das Entlüftungrohr wird hierbei durch den Kolben c verschlossen.

Bei der Gleichstromdampfmaschine Fig. 62 erfolgt beim Übergang vom Kondensations- zum Auspuffbetrieb die Zuschaltung der schädlichen Räume in den Zylinderdeckeln durch Umlegen von Hebeln an den Zuschaltventilen, wodurch deren Federn entlastet werden. Beim Kondensationsbetrieb dienen diese Ventile als Sicherheitsventile.

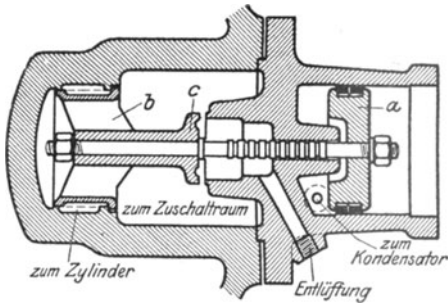


Fig. 61. Automatisches Zuschaltventil der M. A. N. beim Versagen des Kondensationsbetriebes.

Gleichstromdampfmaschinen, die regelmäßig und längere Zeit mit Auspuffbetrieb arbeiten, etwa während des Winters, wenn der Abdampf zum Beheizen von Arbeitsräumen verwendet wird, erhalten außer den

Auspuffschlitzen und den zusätzlichen schädlichen Räumen noch zwei Hilfsauslassventile, die etwa auf 50 v. H. des Kolbenhubes unten am Zylinder angeordnet sind und durch eine besondere Steuerung gesteuert werden. Bei

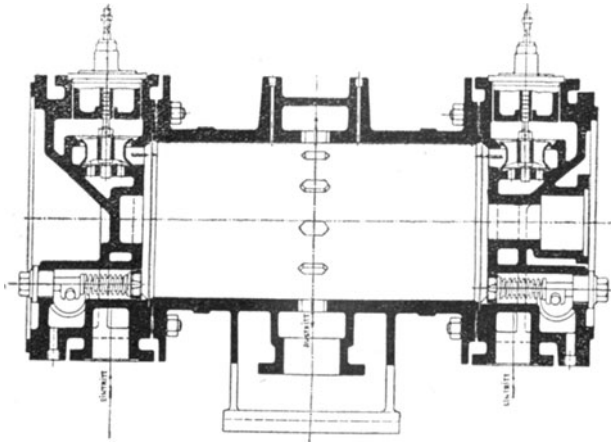


Fig. 62. Gleichstromzylinder der Cottbusser Maschinenfabrik A.-G. mit Zuschaltventilen für Auspuffbetrieb.

Kondensationsbetrieb arbeitet die Maschine ohne diesen Hilfsauslaß, dessen Steuerung dann einfach ausgekuppelt wird. (Ausführung der Linke-Hoffmann-Werke, Breslau.)

Die Gleichstromdampfmaschine ist u. a. auch für Leistungen von 2000 bis 2600 PS, in einem Falle sogar für 6300 PS gebaut worden. Im allgemeinen hat sie sich jedoch nicht in dem anfänglich erwarteten Maße eingeführt; indes ist nicht abzustreiten, daß sie auf den Dampfmaschinenbau sehr anregend eingewirkt hat. Zur Klärung über den vielumstrittenen

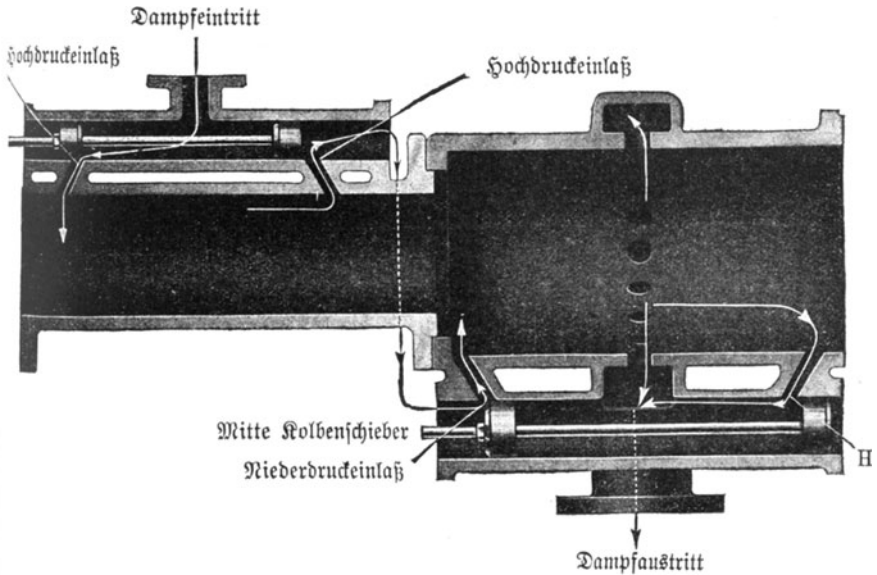


Fig. 63. Zylinderanordnung einer Verbundlokomobile von R. Wolf, Magdeburg-Buckau. — Diese Zylinder- und Steuerungsanordnung, die wesentlich zu dem geringem Dampfverbrauch der Lokomobile beiträgt, ist insofern vorteilhaft, als sie die Vorzüge der Zweifachexpansionsmaschinen (Zerlegung des Druck- und Temperaturgefälles des Arbeitsdampfes in zwei Stufen) und der Gleichstromdampfmaschine vereinigt. Namentlich ermöglicht hierbei die Kolbenschiebersteuerung, daß der Dampfauslaß im Gleichstromzylinder nicht nur durch die Schlitze im Kolbenlauf erfolgt, sondern auch durch den Einlaßschieber gesteuert wird, wodurch eine zu hohe Kompression in diesem Zylinder vermieden wird. Dieser doppelte Dampfauslaß wird auch als Zweistrom bezeichnet. H = Hilfsauslaß.

Einfluß der Strömungsrichtung auf den Dampfverbrauch in den Gleich- und Wechselstromdampfmaschinen sind von Prof. Graßmann, Karlsruhe, eingehende Versuche an zwei 50 PS-Dampfmaschinen von gleichem Hub, gleichem Zylinderdurchmesser und gleicher Umlaufzahl angestellt worden, wobei sich völlige Gleichheit des Dampf- und Wärmeverbrauches erwies. (Doppel, Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen, 4. Aufl. Seite 171.)

Dies schließt indes nicht aus, daß bei anderen Maschinen, z. B. bei der Verbundlokomobile von Wolf, Magdeburg-Budau (Fig. 63), zu der Einfachheit der Bauart noch eine gute Ausnutzung der Dampfwärme und eine Verminderung des Dampfverbrauches hinzutritt.

## B. Die Dampfturbinen.

### X. Die Dampfarbeit in der Turbine.

Bei den Kolbendampfmaschinen besteht die vom Dampf unmittelbar erzeugte Wirkung in dem Hin- und Hergang des Kolbens im Zylinder. Zur Umwandlung dieser geradlinigen Bewegung in die rotierende bedarf

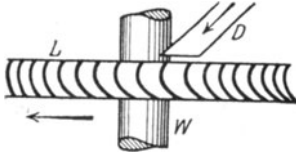


Fig. 64 Schematische Darstellung des Dampfturbinenprinzips.

es bei derselben des Kurbelmechanismus und der Steuerung. Bei der Dampfturbine wird die rotierende Bewegung direkt durch die Wirkung des strömenden Dampfes erzeugt. Ihr Prinzip ist daher, nach dem ersten Anschein zu urteilen, sehr einfach: der Kesseldampf strömt in schräger Richtung aus der feststehenden Düse D gegen das auf dem äußeren schmalen Kranze mit Schaufeln besetzte, auf der Welle W aufgekeilte Laufrad L und versetzt letzteres hierbei in Umdrehung (Fig. 64). Der Dampf wird, nachdem er durch das Laufrad hindurchgegangen ist, ins Freie abgeleitet oder in einer Kondensationsanlage niedergeschlagen, so daß in letzterem Falle auf der Ausströmseite des Turbinenrades ein Vakuum entsteht.

Nach vorstehendem erscheint die Konstruktion der Dampfturbinen sehr einfach. In Wirklichkeit ist dies jedoch nicht der Fall, denn der Dampf besitzt die unangenehme Eigenschaft, bei der Ausströmung ins Freie eine außerordentliche hohe Geschwindigkeit anzunehmen. Bei einem Druck von 12 Atm. beträgt die Geschwindigkeit des in das Vakuum ausströmenden Dampfes rund 1200 m in der Sekunde. Wenn ein solches Laufrad theoretisch am günstigsten arbeiten soll, müßte seine Umfangsgeschwindigkeit die Hälfte dieser Dampfgeschwindigkeit, also 600 m in der Sekunde betragen. In Wirklichkeit liegt der günstige Effekt infolge des Widerstandes, den ein so rasch laufendes Rad findet, ungefähr bei einem Drittel der Dampfgeschwindigkeit, und man erhält für ein einfaches Rad die immer

noch außerordentlich hohe Umfangsgeschwindigkeit von 400 m in der Sekunde. Trotzdem ist versucht worden, und zwar mit Erfolg, diese einfachste Dampfturbine zu konstruieren. Der erste, der dies getan hat, war der schwedische Ingenieur de Laval. Die von ihm konstruierte Dampfturbine, die er anfänglich wohl hauptsächlich für den Antrieb des von ihm stammenden, weit verbreiteten Laval'schen Milchseparators bestimmt hatte, bestand aus mehreren Düsen, durch welche der Dampf in schräger Richtung auf kleine Schaufelräder getrieben wurde. Infolge ihrer hohen Umdrehungszahl, die sich auf 10–30 000 in der Minute belief und welche, um eine einigermaßen praktisch verwertbare Umlaufzahl der Antriebswelle zu erhalten, die Anwendung einer Zahnradübersetzung erforderlich machte, hat sie keine große Verbreitung gefunden; auch war sie nur für kleine Leistungen, etwa bis zu 300 PS ausführbar. Auch die praktische Verwertung anderer Dampfturbinenkonstruktionen scheiterten an der hohen Umdrehungszahl derselben.

Die Wege nun, die zu einer Herabminderung der Umlaufzahl der Dampfturbine auf ein für die Praxis brauchbares Maß führten und welche die weite Verbreitung der Turbine und ihre Überlegenheit bei großen Leistungen gegenüber der Kolbendampfmaschine ermöglicht haben, bestehen in der stufenweisen Ausnutzung des Dampfdruckes und der Dampfgeschwindigkeit innerhalb der Turbine.

**Die Druckabstufung.** Bei derselben geht man von dem Grundsatz aus, daß die Geschwindigkeit des ausströmenden Dampfes von dessen Druck vor und nach der Einströmung abhängt. Infolgedessen ist es naheliegend, eine Dampfturbine mit geringer Umfangsgeschwindigkeit auf die Weise zu bauen, daß mehrere Turbinen hintereinander gesetzt werden, in welchen der Dampfdruck stufenweise fällt und ausgenutzt wird.

Durch eine solche Unterteilung der Dampfturbine in einzelne Druckstufen (Fig. 65) erzielt man eine vollständige Übertragung der im Dampf von vornherein enthaltenen Kraft auf die Turbinenwelle, wobei gleichzeitig

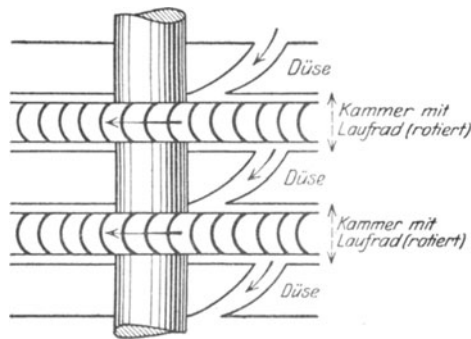


Fig. 65. Schematische Darstellung der Turbine mit Druckabstufung.

die Geschwindigkeit des Dampfes und die Umlaufzahl der Turbine herabgesetzt werden. In einer solchen Turbine mit Druckstufen expandiert der Dampf in geeigneten Düsen der ersten Stufe teilweise und gibt den auf diese Weise in Bewegung umgesetzten Teil seiner Kraft vollständig an das Laufrad der ersten Stufe ab. Er verläßt letztere, theoretisch betrachtet, mit der Geschwindigkeit Null und gelangt in die Düsen der zweiten Stufe, wo infolge der eintretenden Expansion ein weiterer Teil seines Druckes in Geschwindigkeit umgesetzt und von dem in dieser Stufe befindlichen Laufrad aufgenommen wird, so daß seine Geschwindigkeit wieder auf Null zurückgeht. Der Dampf strömt also aus Räumen mit höherem Druck in solche mit niedrigerem Druck, bis er völlig entspannt und seine Energie beim Austritt aus dem letzten Raume stufenweise aufgebraucht ist.

Man darf sich nun nicht vorstellen, daß die Dampfgeschwindigkeit hierbei gleichmäßig mit der Anzahl der Druckstufen abnimmt, so daß man, wenn man von einer Geschwindigkeit von 1200 m in der Sekunde ausgeht, bei zehn Stufen nun den zehnten Teil dieser Dampfgeschwindigkeit erhalten würde. Die lebendige Kraft ist ausgedrückt durch die Formel  $\frac{m \times V^2}{2}$

d. h. durch das halbe Produkt aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit. Infolgedessen muß bei einer Druckstufenturbine die Summe der Quadrate der einzelnen Geschwindigkeiten gleich sein dem Quadrate der Geschwindigkeit, die dem gesamten Druckgefälle entspricht. Daraus ergibt sich, daß, wenn bei nur einer Druckstufe die Geschwindigkeit des Dampfes 1200 m ist, sie bei zweien 850 m, bei dreien 690 m, bei vierten 600 m beträgt; demgemäß ist die ungefähre Umfangsgeschwindigkeit der Turbine bei einer Druckstufe 400 m, bei zweien 280 m, bei vierten 200 m und bei 10 Rädern 130 m in der Sekunde.

Ebenso darf man sich nicht vorstellen, daß der Dampfdruck gleichmäßig, also bei 10 Stufen und bei 10 Atmosphären Anfangsdruck stufenweise um je eine Atmosphäre abnimmt. Wenn in jeder einzelnen Kammer die gleiche Arbeit geleistet werden soll, so wird vielmehr die Druckabflutung in einer Weise vor sich gehen, die dem Expansionsdiagramm des Dampfes entspricht, und der Druck in den 10 Kammern wird daher bei 90% Vakuum ungefähr: 6,4; 4,0; 2,5; 1,6; 1,0; 0,65; 0,4; 0,26; 0,16; 0,1 Atm. Man ersieht hieraus also, daß die Druckdifferenzen in den ersten Kammern ziemlich bedeutende sind, bis zu  $2\frac{1}{2}$  Atm., während sie am Ende geringer werden, nämlich 0,1 und 0,06 Atm. Die erste Dampfturbine dieser Art wurde von dem Engländer Parsons ausgeführt; sie ist aber nicht unter seinem Namen bekannt, da er sie nicht weiter zur Anwendung gebracht hat. In die Öffentlichkeit

sind derartige Konstruktionen durch die Radeau-, die Niedler-Stumpf- und die Zoelly-Turbine gekommen.

Ein zweiter Weg zur Herabminderung der Tourenzahl der Turbine besteht in der Anwendung von **Geschwindigkeitsstufen**. Verhindert man das Rad einer Dampfturbine vollständig an seiner Umdrehung, so strömt der Dampf durch die Schaufelzellen hindurch und tritt, wenn man die Reibungsverluste außer acht läßt, mit voller Geschwindigkeit auf der Rückseite des Rades wieder aus. Man gewinnt keine Arbeit an der Turbinenwelle und der Dampfstrahl besitzt noch seine volle Bewegungsenergie. Läßt man dagegen das Rad ungehindert und so schnell sich umdrehen, wie dies der vollen Ausnützung des Dampfstrahles entspricht, so hat der aus den Schaufelzellen austretende Dampf seine Geschwindigkeit verloren und seine Arbeitskraft vollständig an die Turbine abgegeben. Läßt man das Turbinenrad mit einer geringeren Umdrehungszahl umlaufen, als der vollen Dampfgeschwindigkeit entspricht, so wird in dem austretenden Dampf noch eine gewisse Geschwindigkeit und Arbeitskraft verbleiben, die ihm in einem zweiten Turbinenrade entzogen werden kann. Die Geschwindigkeitsabstufung kann natürlich statt mit nur zwei, auch mit mehreren Laufkrädern ausgeführt und hierdurch die Umdrehungszahl der Turbine noch mehr herabgesetzt werden. Zur Erzielung dieser Wirkungsweise bedarf es in der Turbine mit Geschwindigkeitsabstufung noch besonderer Leitschaufelkränze S (bei den Turbinen mit Druckabstufung sind an ihrer Stelle Düsen vorhanden), welche den Dampf den Lauffchaufeln zuführen, den Druckabfall des Dampfes vollziehen und ihm die erforderliche Strömungsrichtung erteilen (Fig. 69).

**Bereinigung von Geschwindigkeits- und Druckstufen.** Beide Turbinenarten, also solche mit reiner Geschwindigkeits- und mit reiner Druckabstufung sind nicht zur praktischen Ausführung gekommen. Mit Rücksicht auf die in der Dampfturbine auftretenden Dampferluste und zur Verringerung ihrer Baulänge sind in den neueren Turbinen Druck- und Geschwindigkeitsabstufungen vereinigt angewendet. Diese Verbindung von Geschwindigkeits- und Druckabstufung entsteht dadurch, daß man in jeder Druckstufe an Stelle nur eines Laufrades deren mehrere anordnet; in denen unter Zwischenschaltung geeigneter Leitschaufeln und bei gleichbleibendem Dampfdruck die Dampfgeschwindigkeit in Abstufungen ausgenützt wird. Mehrere auf diese Weise entstehende Gruppen von Geschwindigkeitsstufen sind als Druckstufen aneinander gereiht.



### Die Wirkungsweise des Dampfes in den Schaufeln. Aktions- und Reaktionswirkung.

Nachdem im vorstehenden die Mittel zur Verminderung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Turbinen behandelt worden sind, soll in nachstehendem die Arbeitsweise des Dampfes in der Turbinenbeschaufelung beschrieben werden.

Die Aufgabe der Leitschaufeln besteht, wie aus der vorhergehenden Beschreibung bereits ersichtlich ist, darin, dem Dampfstrahl erstens eine

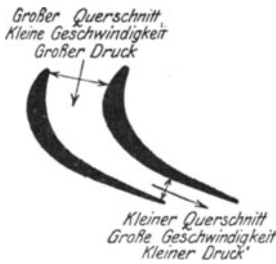


Fig. 66. Leitschaufelform.

gewisse, schräg zur Turbinenachse verlaufende Richtung und zweitens eine bestimmte Geschwindigkeit zu erteilen, womit er auf das nachfolgende Laufrad trifft. Zu diesem Zwecke erhalten die Leitschaufeln die in Fig. 66 dargestellte Form und Anordnung. Dadurch, daß der zwischen zwei solchen Schaufeln gebildete Kanal auf der Dampfaustrittsseite **enger** als auf dessen Eintrittsseite ist, muß die Dampfgeschwindigkeit an jener Stelle notgedrungenenerweise zunehmen;

diese Zunahme an Strömungsgeschwindigkeit kann aber nur dadurch erfolgen, daß der Dampfdruck in derselben Richtung abnimmt. Was für das eine Schaufelpaar gilt, ist auch für den gesamten Leitschaufelkranz zutreffend. Es wird also bei dieser Bauart der Beschaufelung auf der Dampfaustrittsseite eine größere Dampfgeschwindigkeit und ein kleinerer Dampfdruck als auf der Eintrittsseite bestehen. Außerdem erhält der Dampfstrom in Folge der gebogenen Form der Schaufeln die erforderliche schräge Richtung gegen das nächstfolgende Laufrad.



Fig. 67. Laufschaufelform.

Die Aufgabe der Laufschaufeln besteht darin, die Geschwindigkeit bzw. die Energie des dem Leitschaufelkranz entströmenden Dampfes aufzunehmen und durch Drehung der Turbinenachse fortzuleiten. Dies geschieht dadurch, daß der Dampfstrahl der gekrümmten Fläche der Leitschaufel entlang geführt wird, wobei er, wie jeder andere Körper, der gezwungen ist, sich an einer gekrümmten Bahn entlang zu bewegen, einen Druck ausübt, den Schaufeldruck, der das Laufrad in Bewegung setzt. Dieser Schaufeldruck wird also nicht unmittelbar durch die Dampfspannung erzeugt, sondern er ist die Wirkung der Strömungsgeschwindigkeit des

die Schaufelkurven bestreichenden Dampfstrahles. Erhalten die Schaufeln des Laufrades die aus nebenstehender Fig. 67 ersichtliche Anordnung, bei welcher der Dampfkanal zwischen den Schaufeln des Laufrades gleichbleibenden Querschnitt hat, die Schaufeln also **parallel** zueinander verlaufen, so wird nur die Geschwindigkeit des durchströmenden Dampfes in Arbeit umgesetzt und verwertet, während der Druck, den der Dampf bei seinem Eintritt in das Laufrad hatte, in dessen Schaufelkanälen unverändert bleibt. Zu beiden Seiten des Laufrades herrscht demnach der gleiche Druck, wobei die etwaigen Verluste, die die Dampfreibung an den Schaufeln verursacht, außer acht gelassen seien. Die nach diesem Gesichtspunkt gebauten Turbinen erhielten seitens ihrer Konstrukteure den Namen **Aktionsturbinen**, weil bei ihnen der Dampf in seiner Strömungsrichtung wirkt.

Werden die Schaufeln in den Turbinen so angeordnet, wie die in Fig. 66 dargestellte Beschaufelung des Leitrades, d. h. sind die Dampfkanäle des Laufrades auf der Dampfaustrittsseite gleichfalls **enger** als auf dessen Eintrittsseite, so treten in ihnen dieselben Veränderungen des Druckes und der Geschwindigkeit des Dampfstrahles auf wie in den Leit-schaufeln. Es ergibt sich dann auf der hinteren Seite jedes einzelnen Laufrades ein kleinerer Druck und eine größere Geschwindigkeit als auf der vorderen (der Dampfeintritt) Seite. Die Folge dieser Bauart ist, daß der Dampfstrahl bei seinem Austritt aus dem Laufrad einen Rückstoß auf letzteres ausübt und dessen Drehbewegung hierbei unterstützt. Man nennt daher diese Art von Dampfturbinen auch **Reaktionsturbinen** im Gegensatz zu den bereits erwähnten Aktionsturbinen. Die Reaktionswirkung des Dampfes wird noch besser verständlich, wenn man von dem sogenannten Segnerschen Wasserrad ausgeht. Dasselbe besteht aus einem wagerechten Rohrsystem, das um seine senkrechte Achse drehbar ist. Das von der Mitte aus hindurchfließende Wasser, das durch kleine, vor den Rohrenden angebrachten Düsen auströmt, übt einen Rückstoß auf die der Düse gegenüberliegenden Rohrwand aus, so daß das ganze Rohrsystem eine zur Richtung des austretenden Wasserstrahles entgegengesetzte Drehrichtung erhält. Diese nach rückwärts gerichtete Wirkung des Wasserstrahles bezeichnet man als Reaktionswirkung. Dieselbe Reaktionswirkung ergibt auch der Dampfstrahl beim Austritt aus dem Schaufelkranz der Laufräder, **vorausgesetzt, daß sich deren Dampfkanäle in der Richtung der Durchströmung verengen.**

Während manche Bauarten der Dampfturbinen reine Aktionsturbinen sind, bei denen die durch die Verengung der Dampfkanäle in den Laufschaufeln erzeugte Reaktionswirkung des Dampfes nicht vorhanden ist, gibt es reine Reaktionsturbinen nicht, es wird bei ihnen vielmehr die im Dampf

tenhaltene Energie auch zugleich als Aktionswirkung durch Stoß auf die Lauffchaufeln ausgenützt.

Die weite Verbreitung, welche die Dampfturbinen gefunden haben, ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß die Elektrotechnik Generatoren von sehr hohen Umdrehungen, bis zu 3000 in der Minute, herstellte, während vorher schon Umdrehungszahlen derselben von 1000 als hoch bezeichnet wurden.

## XI. Die hauptsächlichsten Turbinensysteme.

### Die Parsons-Dampfturbine.

Das Verdienst, als erster die Dampfturbine in den technischen Großbetrieb eingeführt zu haben, gebührt dem Engländer Parsons, der, wie Graf Zeppelin an seinem Luftschiff, viele Jahre hindurch unermüdlich daran gearbeitet hat, eine brauchbare Dampfturbine herzustellen.

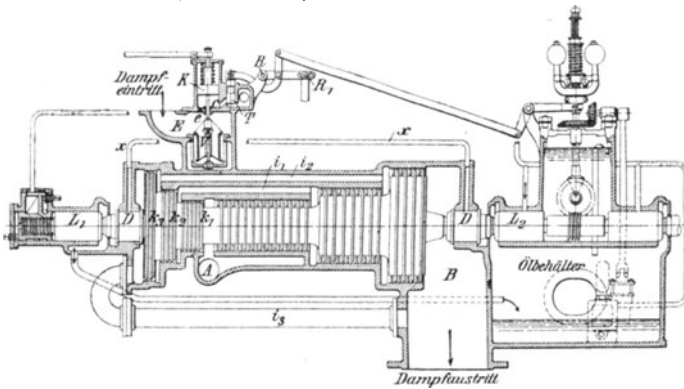


Fig. 68. Die Parsonsturbine von Brown, Boveri & Co. A.-G., Mannheim. (Nach Frehtag.)

Die reine Parsonsturbine (Fig. 68) hat eine große Anzahl abwechselungsweise hintereinander gesetzter Leit- und Lauffchaufelkränze. Charakteristisch und grundlegend für ihre Konstruktion ist die Anordnung der Schaufeln in den Leit- und in den Laufkränzen, woraus sich weitere Eigentümlichkeiten dieser Turbinenart ergeben. Die Leitschaufeln sind an der inneren Wandung des Turbinengehäuses befestigt, während die Lauffchaufeln auf einer mit der Turbinenachse fest verbundenen Trommel angebracht sind. Man nennt diese Turbinen daher auch **Trommelradturbinen** im Gegensatz zu den

später zu besprechenden **Stammradturbinen**. Der Dampf tritt, nachdem er durch das Dampfeinlaß- und das Regulierventil hindurchgegangen ist, an der Stelle A in die Turbine ein und beaufschlagt hier in vollem Umfange den ersten Leitschaufelkranz. In letzterem erhält er zunächst die für die Beaufschlagung des ersten Laufrades erforderliche Richtung. Da nun außerdem die Kanäle des Leitrades nach der Dampfaustrittsseite zu enger werden, wie dies aus der unten stehenden schematischen Schaufelrad-darstellung Fig. 69 hervorgeht, so expandiert er an dieser Stelle und er-

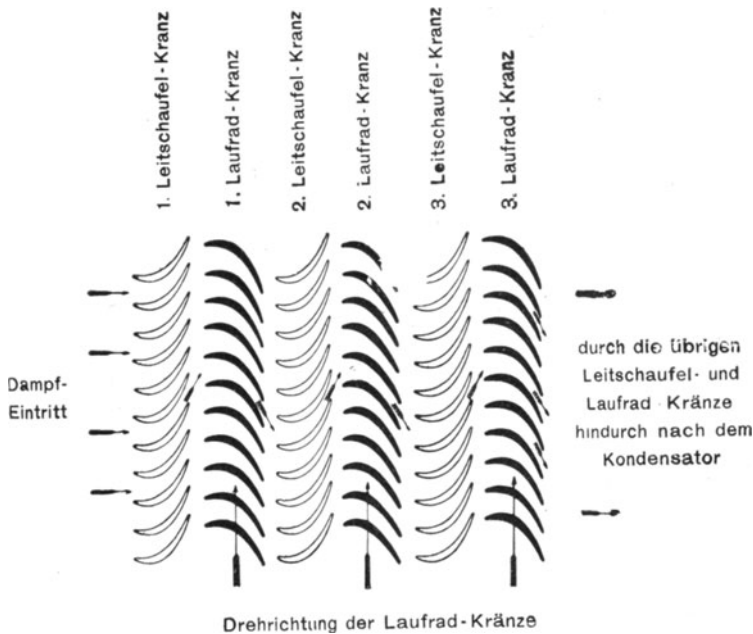


Fig. 69. Schematische Darstellung der Schaufelanordnung in der Parsons-Turbine.

hält hierdurch eine gewisse Geschwindigkeit. Mit dieser Geschwindigkeit und der ihm erteilten Richtung trifft er auf das erste Laufrad, an welches er durch Beaufschlagung, also durch Aktionswirkung, einen Teil seiner Energie abgibt, und hierbei an Geschwindigkeit verliert. Aber auch das nunmehr in Rotation versetzte Laufrad hat eine gleiche Schaufelstellung, wie die Leiträder, d. h. die Dampfkanäle sind nach der Dampfaustrittsseite zu verengt. Infolgedessen tritt auch an dieser verengten Stelle eine Expansions- und Geschwindigkeitszunahme des ausströmenden Dampfes

ein. Diese Expansionswirkung hat zur Folge, daß der Dampf beim Verlassen des Laufrades einen Rückstoß (Reaktionswirkung) auf dieses ausübt, ähnlich wie dies bei dem besprochenen Segnerschen Wasserrad der Fall ist. Die Dampfwirkung auf das Laufrad ist demnach zweifacher Art: einmal ist sie eine Aktionswirkung (Beaufschlagung, Stoß) beim Dampfeintritt und zweitens ist sie eine Reaktionswirkung (Rückstoß) beim Dampfaustritt aus demselben. Die der Parsonsturbine mitunter beigelegte Bezeichnung, sie sei eine Reaktionsturbine, ist daher nur soweit zutreffend, als dies nur auf den einen Teil ihrer Dampfwirkung Bezug nimmt, während sie die andere Dampfarbeit, die aber ebenso wesentlich wie jene ist, außer acht läßt. Auf dem weiteren Dampfwege wiederholen sich die im ersten Teil- und ersten Lauffchaufelkranz geschilderten Vorgänge. Der Dampfdruck nimmt also von einem Schaufelkranz zum andern allmählich ab, während die Dampfgeschwindigkeit an den Expansionsstellen zunimmt, hierauf in den Lauffchaufelkränzen jedesmal wieder nahezu aufgebraucht wird und somit nach einer jedesmaligen Zunahme wieder beträchtlich zurückgeht. Wir ersehen hieraus, daß die Turbine in der von Parsons anfänglich angegebenen Bauart eine Turbine mit allmählicher Druckabstufung ist. Da sich nun bei dieser Abstufung der Dampf stetig ausdehnt, sein Volumen beim Durchströmen der Turbine also größer wird, müssen auch die Durchströmungskanäle innerhalb der Turbine eine Vergrößerung in der Richtung der Dampfströmung erfahren. Dies wird bei der Parsonsturbine dadurch erreicht, daß der mit den Schaufeln besetzte Teil der Turbinenachse von A bis B in drei Stufen unterteilt wird, deren Durchmesser in der ersten Stufe am kleinsten und in der dritten Stufe, entsprechend dem größeren Dampfvolumen, am größten ist. Die gesamte Expansion des Dampfes ist hierdurch in drei Hauptstufen zusammengefaßt, und man spricht demgemäß bei dieser Turbine von einem Hochdruck-, einem Mitteldruck- und einem Niederdruckteil der Turbine. Hinter dem Niederdruckteil der Turbine wird der Dampf in den noch zu besprechenden Kondensator geleitet.

Eine weitere Eigentümlichkeit der Parsonsturbine ist noch die große Anzahl von Lauf- und Leiträdern, deren Notwendigkeit sich aus folgenden Betrachtungen ergibt. Da die rotierenden Teile der Dampfturbine an den ruhenden Teilen nicht dicht anliegen können, vielmehr zwischen dem äußeren Umfang der Laufräder und der inneren Wandung des Turbinengehäuses, sowie zwischen den Leitschaufelrädern und der Turbinenwelle ein schmaler Spalt freibleiben muß, so tritt an diesen Stellen ein unvermeidbarer Dampfdurchschluß ein. Der durch diese Spalten hindurchtretende Dampf

hat weder die für die Beaufschlagung der Leit- und Laufräder erforderliche Richtung, noch ist er der zwangsläufig einsetzenden Expansion des strömenden Dampfes in den Schaufelkanälen unterworfen; er verursacht daher Wirbelbildungen und Störungen des beabsichtigten geordneten Arbeitsvorganges in der Dampfturbine. Die Bauart der Turbine ist demnach so zu wählen, daß der Dampfdurchschlupf, den man auch als Spaltverlust bezeichnet, möglichst klein wird. Bei der Parsonsturbine wird dies zunächst dadurch erreicht, daß die Auflösung des anfänglichen Dampfdruckes ganz allmählich erfolgt. Aus diesem Grunde erklärt sich die große Anzahl von Druckstufen, die bei manchen Turbinen bis zu 160 beträgt, d. h. es sind in einer Turbine 80 Leit- und 80 Laufschaufräder vorhanden. Bei der dem Wasserdampfe eigentümlichen Expansion erfolgt, wie wir bei der allgemeinen Besprechung der Dampfturbine ersehen, die Abnahme des Druckes bei hohem Druck viel schneller als bei niedrigem Druck. Es muß daher zur Vermeidung von zu großen Druckunterschieden zu beiden Seiten der Laufräder der Hochdruckteil der Parsonsturbine in weitgehendem Maße unterteilt werden und eine größere Anzahl von Lauf- und Leit- schaufelkränzen erhalten als sein Mittel- und sein Niederdruckteil, woraus sich auch seine größere Baulänge erklärt. Der Herabminderung des Spaltverlustes dient ferner die Wahl eines möglichst kleinen Trommeldurchmessers und hoher Schaufeln, wodurch der durch die Turbinenbeschaufrung hindurchströmende Dampf einen kleinen Durchmesser und eine größere Dike erhält. Letzteres ist insofern von Vorteil, als in dem dicken Dampf ring der störende Einfluß des Spaltdampfes weniger zur Geltung kommt als in einem schmalen Dampf ring, der bei der Anwendung von kurzen Schaufeln entsteht.

**Ausgleichung des axialen Druckes.** Da, wie wir sahen, auf der Dampfeintrittsseite der einzelnen Laufräder ein größerer Dampfdruck vorhanden ist als auf der Dampfaustrittsseite, erhält die Turbinentrommel einen axialen Druck in der Richtung der Dampfströmung. Um diesen Druck aufzuheben, sind auf dem linken Teile der Turbinenwelle drei Gruppen von Ringen  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  angebracht, die mit geringem Spielraum in nutzförmigen Ausparungen des Turbinengehäuses laufen und den gleichen äußeren Durchmesser wie die Beschaufrungen der Hoch-, Mittel- und Niederdruckstufen haben. Diese Ringgruppen (oder Kolben, wie sie auch genannt werden) stehen mit den Abstufungsstellen zwischen den Hoch-, Mittel- und Niederdruckteilen der Beschaufrung und mit dem Vakuumraum  $B$  durch die Kanäle  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  in Verbindung und sind daher denselben Drücken wie die Beschaufrungen der Turbine ausgesetzt. Die Druckricht-

tion in den Kolben ist jedoch der Druckrichtung in der Beschaukelung entgegengesetzt, so daß ein vollständiger Druckausgleich stattfindet und die axiale Verschiebung der Turbinenwelle aufgehoben wird.

**Die Regulierung des Dampfverbrauches.** Je nach der Belastung der Turbine müssen die einzulassenden Dampfmen gen reguliert werden. Dies geschieht dadurch, daß ein Doppelventil in gleichmäßiger und sehr schneller Aufeinanderfolge fortwährend geöffnet und geschlossen wird und bei einer Veränderung der Belastung die Hubzahl dieses Ventils in der Minute zwar unverändert bleibt, die Dampfeinströmung jedoch insofern den Betriebserfordernissen angepaßt wird, als zur Erreichung eines verstärkten Dampfeinlasses das Ventil einen größeren Hubteil geöffnet und einen kürzeren Hubteil geschlossen bleibt, während bei verminderten Dampfeinlaß das umgekehrte Verhältnis zwischen dem Öffnen und dem Abschluß des Ventils eintritt. Die Regulierung wird durch den Regulator bewirkt und von letzterem auf einen Dampfkolben übertragen, der durch eine Ventilstange mit dem Einlaßventile verbunden ist. (Näheres siehe Seite 99, die Regulierung der Umdrehungszahl der Turbine.)

Außer dem erwähnten Doppelventil für den Dampfeinlaß erhält die Parsonsturbine noch ein Umlaufventil, durch welches Dampf von vollem Druck unter Umgehung des Hochdruckteiles der Turbine unmittelbar nach dem Mitteldruckteil geleitet werden kann. Der mit vollem Druck auf die vergrößerte Druckfläche des Mitteldruckteiles wirkende Dampf bewirkt sofort eine bedeutende Steigerung der Turbinenleistung, und es wird von dieser Einrichtung Gebrauch gemacht, wenn der Kraftbedarf unerwartet rasch steigt und eine weitere Maschine nicht sogleich in Betrieb genommen werden kann, oder aber wenn infolge plötzlichen Versagens des Kondensators die Turbinenleistung gesunken ist.

Die reine Parsonsturbine ist in Deutschland durch die Firma Brown, Boveri & Co., A.-G., eingeführt worden und zu weiter Verbreitung gelangt. Sie wird aber auch von derselben Firma in gemischter Bauart mit einem in nachstehendem beschriebenen Aktionsrad als Hochdruckteil ausgeführt.

### **Die Curtistradturbine der Allgemeinen Elektrizitäts- gesellschaft, Berlin.**

Das Curtisrad ist mit der Turbinenwelle fest verbunden und trägt an seinem äußeren Kranz ein, zwei oder drei Schaufelkränze. Zwischen seinem ersten und zweiten, sowie zwischen seinem zweiten und dritten Schaufel-

kranz ist je ein Leitschaufelkranz angeordnet, der an der inneren Wandung des Turbinengehäuses angebracht ist und die Umkehrung der Strömungsrichtung des Dampfes bewirkt, also feststeht und an der Rotation nicht teilnimmt. Die Beaufschlagung des Curtistrades erfolgt nur auf einem Teile seines Umfanges durch mehrere Düsen, die in der Mitte eine Verengung haben und sich vor dem ersten Lauffchaufelkranz erweitern. Der Dampf erfährt daher in den Düsen eine weitgehende Expansion, so daß er mit großer Geschwindigkeit auf den ersten Lauffchaufelkranz trifft. Er gibt in letzterem einen Teil seiner Geschwindigkeit ab, erfährt hierauf in dem dahinterliegenden Leitschaufeln eine Umkehrung seiner Strömungsrichtung, so daß im zweiten Lauffchaufelkranz ein weiterer Teil seiner Geschwindigkeit umgesetzt werden kann. In den folgenden Leit- und Lauffchaufeln wiederholen sich diese Arbeitsvorgänge, bis der Dampf schließlich tot abströmt.

Die Abnahme des Dampfdruckes findet demnach nur in den Düsen statt, während in dem Curtistrad selbst nur eine Geschwindigkeitsabstufung

eintritt. Man nennt das Curtistrad deshalb auch ein Geschwindigkeitsrad. Soll die Turbine eine geringe Umdrehungszahl haben, so erhält das Rad entweder einen größeren Durchmesser, oder es erfolgt eine größere Unterteilung der Geschwindigkeit durch die Anwendung von drei statt zwei Schaufelkränzen. Charakteristisch für diese Turbinenart ist ihre sehr kurze Bauart und die geringe Zahl der Schaufelkränze.

Ist nur ein Curtistrad vorhanden, so erfolgt demnach nur eine Druckabstufung, man nennt die Turbine dann einstufig. Eine weitere Druckabstufung kann durch Anwendung eines zweiten Curtistrades erreicht werden (Fig. 70). Das erste Rad läuft dann in einer Kammer, aus welcher

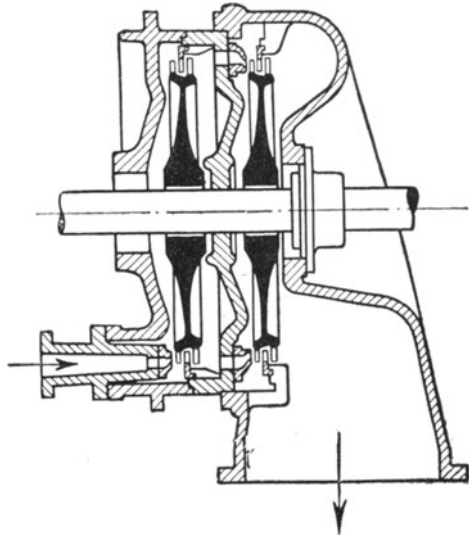


Fig. 70. Zweistufige Curtisturbine der Allgem. Elektrizitätsgesellschaft Berlin.



der Dampf wieder durch eine Anzahl Düsen auf das zweite Rad geleitet wird. In der ersten Kammer besteht dann ein mittlerer Dampfdruck von beispielsweise 3 Atm., der in den Düsen vor dem zweiten Laufrad in Geschwindigkeit umgewandelt wird, worauf die Umsetzung der Dampfgeschwindigkeit in Arbeit in den Schaufelkränzen des zweiten Laufrades in derselben Weise wie im ersten Laufrad erfolgt.

Eine schematische Darstellung der Schaufelanordnung einer zwei-

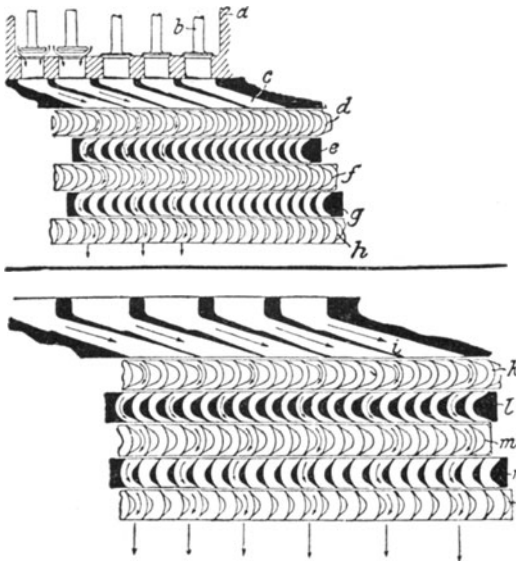


Fig. 71. Schematische Darstellung der Schaufel- und Düsenanordnung einer zwei-stufigen Curtisturbine. (Nach Freytag.)

stufigen Druckturbinen zeigt nebenstehende Fig. 71. Der Dampf geht von dem Dampfverteilungskasten a durch die Ventile b und die Düsen c hindurch auf das erste Curtisrad mit Laufränzen d, f, h und Leitschaufelkränzen e und g. Auf dem Wege von der ersten nach der zweiten Kammer, deren Trennwand in der schematischen Figur durch den wagerechten Strich unterhalb von h gekennzeichnet ist, strömt der Dampf durch die Düsen-

gruppe i nach dem zweiten Curtisrad mit den Laufschaufelkränzen k, m, o und den Leitschaufelkränzen l, n.

Die Dampfkanäle zwischen den Schaufeln sowohl der Lauf- wie der Leitkränze sind parallel gerichtet, so daß der Dampfstrom lediglich durch Beaufschlagung (Aktion) der Laufschaufeln wirkt; insolgedessen herrscht auch zu beiden Seiten der einzelnen Schaufelkränze der gleiche Druck. Man nennt deshalb diese Turbinen auch Aktionsturbinen oder Gleichdruckturbinen. Hieraus erklärt sich auch die charakteristische Eigenschaft dieser Beschauflung, daß bei dieser Turbinenart ein axialer Druck auf die Turbinenwelle nicht erfolgt und Vorrichtungen zur Ausgleichung eines

azialen Druckes fehlen. Die Dampfkanäle in der Beschauelung müssen in der Richtung der Dampfströmung eine Erweiterung erfahren, da die Dampfgeschwindigkeit beim Dampfdurchgang durch die Schaufelkränze abnimmt, während das Dampfvolument gleich bleibt. Diese Erweiterung der Dampfkanäle wird dadurch erreicht, daß in den aufeinanderfolgenden Schaufelkränzen die Schaufeldicke ab- und die Schaufelhöhe zunimmt. Die richtige Bemessung der Schaufeln ist auch die Voraussetzung dafür, daß der Dampfstrahl trotz der mehrfachen Umkehr seiner Strömungsrichtung in den mehrkränzigen Rädern nicht zersplittert, vielmehr seine geschlossene Form behält. Die Schaufelköpfe werden aus diesem Grunde auch gruppenweise durch eine leichte, angenietete Bandage miteinander verbunden, die außer dem Zusammenhalten des Dampfstrahles noch den Zweck erfüllt, die Schaufeln gegenseitig zu versteifen. Wegen der Wirkungsweise des Dampfes in einem geschlossenen Strahl bezeichnet man diese Turbinen auch als Freistrahlturbinen.

**Die Regulierung des Dampfverbrauches** entsprechend der jeweiligen Belastung der Turbine ergibt sich bei dieser Turbinenart in Anpassung an ihre Bauart von selbst auf zweierlei Art. Zunächst wird eine Regelung des Dampfeinlasses durch die Veränderung der Öffnung des Dampfeinlaßventiles bewirkt, wobei nach der Art der Drosselventile die Höhenlage des Ventiltellers über dem Ventilsitz geändert wird. Die zweite Art der Regulierung des Dampfeinlasses liegt deshalb nahe, weil die Turbinenräder nicht voll, sondern nur teilweise (partiell) beaufschlagt sind. Sie besteht darin und wird mit bestem Erfolge dadurch erreicht, daß die partielle Beaufschlagung des ersten Turbinenrades nach Bedarf eingeschränkt wird, indem die im Dampfverteilungskasten a befindlichen Düsenventile — zu vergl. Fig. 71 — entweder sämtlich geöffnet oder einzelne von ihnen geschlossen werden und hierdurch die Zahl der vom Dampf durchströmten Düsen verringert wird. Die erste Art der Regelung, also diejenige am Einlaßventil, erfolgt in allen Fällen automatisch durch den Regulator; die zweite Art derselben kann ebenfalls durch den Regulator, aber auch durch Schließen der Düsenventile von Hand bewirkt werden. (Näheres siehe im Abschnitt über Regulierung Seite 102.)

Die zweistufige Curtisturbine ist durch die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft Berlin mit Leistungen bis zu 3000 SP in vielen hundert in Deutschland zur Ausführung gekommen. Infolge des mit höheren Stufenzahlen erreichbaren geringeren Dampfverbrauches ist ihre Anwendung gegenwärtig auf kleinere Leistungen beschränkt; bei mittleren Leistungen, also etwa von 1000—3000 PS, wird sie wegen der

geringen Anschaffungskosten als Reservestrommaschine für Wasserkraftanlagen benutzt.

Das Curtissrad, das sich nach seiner Nutzbarmachung der im Dampf enthaltenen Energie als ein Aktionsrad mit Geschwindigkeitsstufen darstellt, hat im Laufe der letzten Jahre infolge der Vorzüge des großen Druckgefälles und der ökonomischen Dampfregulierung durch die Düsenverstellung bei vielen Turbinenarten als Hochdruckteil Anwendung gefunden. Im nachstehenden sei auf die mit ihm ausgerüsteten Dampfturbinen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin und die kombinierte Parsonsturbine der Firma Brown, Boveri & Co., A. G., Mannheim eingegangen.

### **Die mehrstufige Dampfturbine der Allgemeinen Elektrizitäts A. G., Berlin.**

Diese Turbine (Fig. 72) besteht aus dem Hochdruckteil mit dem Curtissrad, einem Mittel- und einem Niederdruckteil, die durch je einen Zwischenboden voneinander getrennt sind. Der Mitteldruckteil enthält bei der abgebildeten Turbine drei einkränzige Laufräder, die durch Zwischenböden voneinander getrennt sind und demnach in je einer besonderen Kammer laufen. Der Niederdruckteil ist in zwei gleichgroße Teile mit je einem Laufrad zerlegt. Die Zwischenböden sind in das Turbinengehäuse fest eingesetzt, stehen also während des Ganges der Turbine still und tragen an ihrem äußeren Umfang einen herausnehmbaren Kranz mit genau eingegossenen Leitschaufeln der aus der Fig. 66 ersichtlichen Form, so daß die Dampfkanäle dieser Zwischenböden auf der Dampfeintrittsseite weit, an der Dampfaustrittsseite hingegen infolge der umgebogenen Schaufelform erheblich verengt sind. Die Arbeitsvorgänge und der Weg des Dampfes vollziehen sich in dieser Turbine folgendermaßen. Der Dampf tritt aus dem Hochdruckteil, wo sein Druck, wie wir bereits bei der Besprechung des Curtissrades erfahren, schon bedeutend vermindert ist, in die Leitkanäle des ersten Zwischenbodens. In letzterem erhält er die für die Beaufschlagung des ersten Laufrades im Niederdruckteil erforderliche Strömungsrichtung, außerdem findet an der Verengung der Dampfkanäle des Zwischenbodens eine Druckabnahme und eine Geschwindigkeitszunahme des Dampfstrahles statt. Die Geschwindigkeit des Dampfes wird durch die Beaufschlagung des folgenden Laufrades in Arbeit umgesetzt und ist beim Austritt aus demselben erheblich verringert. Dieselben Arbeitsvorgänge wiederholen sich nun in den Beschauelungen der folgenden Zwischenböden und Laufräder,

bis der Dampf schließlich völlig expandiert ist und hinter dem letzten Lauf-  
rad in den Kondensator gelangt. Da sich der Dampf auf seinem Arbeits-  
wege von einem Zwischenboden zum anderen stetig ausdehnt, so müssen

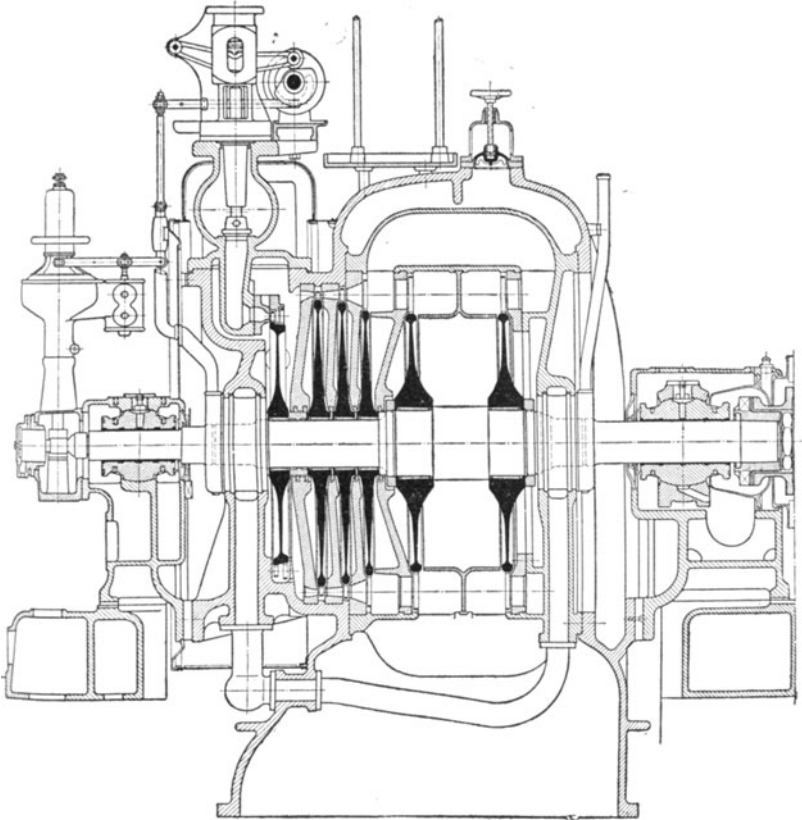


Fig. 72. Dreistufige Dampfturbine der Allgemeinen Elektrizitäts A. G., Berlin mit einem zweitränzigen Curtistrad im Hochdruckteil, drei einränzigen Lauf-  
rädern für Druckabstufung im Mitteldruckteil und zwei gleichgroßen einränzigen Lauf-  
rädern im Niederdruckteil. Die Verstellung der Dampfeinlaßdüsen ist automatisch.

die Durchgangskanäle in den Schaufelkränzen dem zunehmenden Dampf-  
volumen entsprechend allmählich größer werden; aus diesem Grunde er-  
halten die einzelnen hintereinanderliegenden Schaufelkränze in der Reihen-  
folge nach dem Kondensator zu eine größere Schaufelhöhe.

Der Dampfdruck nimmt, wie die vorstehenden Schilderungen erkennen lassen, in dem Niederdruckteil von Stufe zu Stufe in den Leiträdern ab; nur ist die Druckabnahme in den einzelnen Stufen nicht sehr groß, da das größte Druckgefälle bereits im Hochdruckteil erfolgt. Immerhin bestehen zwischen den einzelnen nebeneinander liegenden Kammern des Niederdruckteiles, wie auch zwischen letzterem und dem Hochdruckteil der Turbine Druckunterschiede. Um den Übertritt des Dampfes in den Spalten zwischen den Zwischenböden und der Turbinenwelle zu verhüten, werden erstere bis dicht an die Turbinenwelle bezw. an die Naben der rotierenden Laufäder herangeführt, so daß der schädliche Spalt einen sehr kleinen Durchmesser erhält und somit überhaupt auf das kleinste Maß beschränkt wird, durch welches der Dampf nur schwer hindurchtreten kann.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Hochdruckteil mit dem Curtistrad und dem Niederdruckteil mit den einträzigen Laufkränzen besteht insofern, als beim Curtistrad, wie wir bereits sahen, die Dampfeintrittsdüsen sich nur an einem Teile von dessen Umfang befinden und nur eine partielle Beaufschlagung des Curtistrades durch den Dampfstrahl bewirken, während beim Niederdruckteil der Dampf auf dem vollen Umfang der Zwischenböden eintritt und hier somit auch eine totale Beaufschlagung der Laufäder erfolgt. Hieraus ergibt sich auch das große Druckgefälle im Hochdruckteil und die geringe Druckabstufung in den einzelnen Stufen des Niederdruckteiles. Da mit letzterem auch stets eine viel geringere Geschwindigkeitszunahme des Dampfes verbunden ist, als in den Düsen des Hochdruckteiles, genügen in den Niederdruckteilen auch die Laufäder mit nur einer Geschwindigkeitsabstufung, also mit nur einem Schaufelkranze.

Zur gelegentlichen Besichtigung des Turbineninnern, besonders der Düsen und der Schaufeln, bedarf es einer Auseinandernahme des zweiteiligen Turbinengehäuses nicht. Bei der Hochdruckstufe kann diese Untersuchung nach dem Lösen einiger Schraubenmuttern durch Entfernen eines der Düsenkästen vorgenommen werden, während am Niederdruckgehäuse auf beiden Seiten durch angeschraubte Deckel verschlossene Öffnungen vorgesehen sind, die eine bequeme Übersicht über die Schaufeln gestatten.

Die vorstehend geschilderten Bauarten sind für Turbinen bis zu den größten Abmessungen mit vielen tausenden von Pferdestärken ausgeführt worden.

### Die kombinierte Parsonsturbine von Brown, Boveri & Co., H. G., Mannheim.

Vom rein physikalischen Standpunkte aus betrachtet, läßt sich die Anwendung der Reaktionsbeschaufelung bei der Parsonsturbine unter allen Umständen aufrecht erhalten. Diesen Vorzug besitzt sie, solange die Schaufellänge und damit die Dicke des für diese Turbinenart charakteristischen ringförmigen Dampfstromes ein bestimmtes Maß nicht unterschreiten, es kann dies durch die Wahl genügend kleiner Trommeldurchmesser erreicht werden. Durch allzu kurze Schaufeln wird der Wirkungsgrad ungünstig beeinflusst; und zwar nicht so sehr durch die Spaltverluste, als dadurch, daß sich bei kurzen Schaufeln der störende Einfluß der Wandungen und Schaufelenden auf die Randpartien des ringförmigen Dampfstromes naturgemäß viel stärker fühlbar macht als bei hohen Schaufeln und verhältnismäßig dickem Dampfstrom. Je geringer daher das Volumen der die Turbine in der Zeiteinheit durchströmenden Dampfmenge ist, umso kleiner muß mit Rücksicht auf eine ausreichende Schaufelhöhe der Trommeldurchmesser gehalten werden. Dadurch wird aber, eine bestimmte Tourenzahl der Turbine vorausgesetzt, die Umfangsgeschwindigkeit der Schaufelkränze und somit die Arbeitsleistung jedes einzelnen derselben geringer, so daß eine größere Anzahl von Stufen und Schaufelkränzen erforderlich werden. Sobald diese Stufenzahl so groß wird, daß der dafür notwendige Aufwand an technischen Mitteln mit dem erzielten Gewinn im Mißverhältnis steht, wird die reine Parsonsturbine mit einem Aktionsrad ausgerüstet.

Dieser Fall tritt jedoch bei normalen Verhältnissen nur im Hochdruckteil der Parsonsturbine ein, und zwar am ehesten, wenn Dampf von höherer Spannung in Maschinen für kleine Leistungen ausgenutzt werden soll, ferner bei größeren Maschinen, wenn von denselben ungewöhnlich niedrige Umdrehungszahlen verlangt werden. Im Mittel- und Niederdruckteil ist der Dampf jedoch bereits auf ein so großes Volumen expandiert, daß sich von selbst ausreichende Schaufellängen ergeben, die die Verwendung der Parsonsbeschaufelung mit gutem Erfolge gestatten.

Fig. 73 und 74 stellen eine solche kombinierte Parsonsturbine mit zweifränkigem Curtistrad im Hochdruckteil dar, woraus ersichtlich ist, wie erheblich die Baulänge der Turbine durch die Anwendung des Curtistrades verkürzt wird. Hinter dem Curtistrad befinden sich auf der Trommelwelle die Abstufungen mit der Parsonsbeschaufelung. Der in letzterer auftretende axiale Druck wird, wie bei der reinen Parsonsturbine, durch Gegendruck-

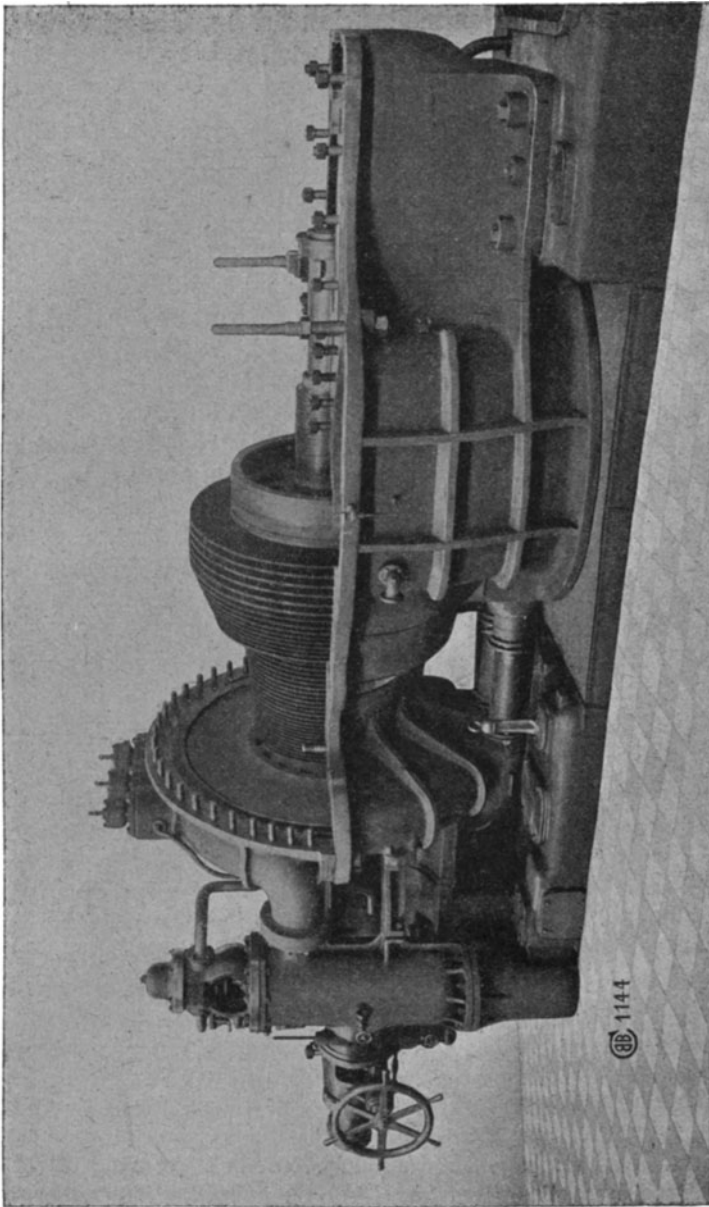


Fig. 73. Kombinierte Parsonsturbinen von Brown, Boveri & Co. Der obere Gehäuseeteil über dem Mittel- und Niederdruckteil der Turbine ist abgenommen.

folgen aufgehoben. Die Trommel ist so konstruiert, daß der Dampf auch zu ihren Innenseiten Zutritt hat, wodurch ihre gleichmäßige und schnelle Erwärmung bei der Inbetriebnahme gewährleistet wird und auch ein schnelles Anlassen der Turbine aus dem kalten Zustande möglich ist.

Der **Schiffsantrieb** stellt nach zwei Richtungen besondere Anforderungen an die Dampfturbinen. Zunächst laufen die Schiffswellen mit etwa 80 bis 130 Umdrehungen in der Minute, während die Umdrehungszahl der Dampfturbine etwa 1500 bis 3000 beträgt. Von diesen Konstruktionsbedingungen abzuweichen und schnelllaufende Schiffswellen und langsam laufende Dampfturbinen zu verwenden, hat sich als unwirtschaftlich erwiesen und in der Praxis nicht bewährt, so daß die direkte Kupplung der Schiffswelle mit der Dampfturbine keine günstige und praktisch verwertbare Bauart

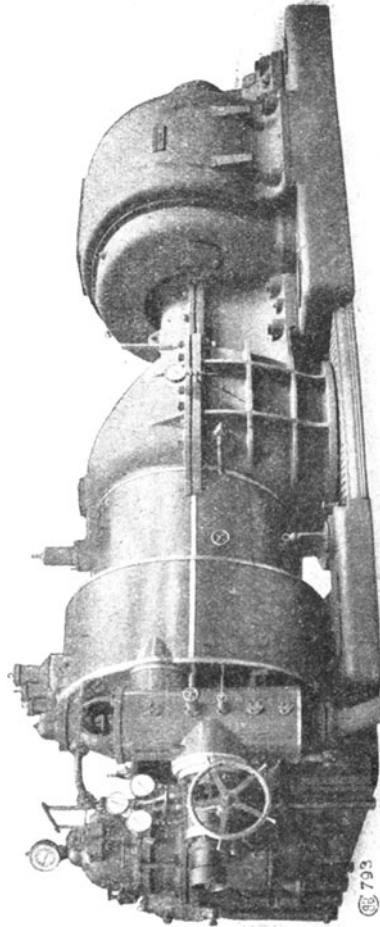


Fig. 74. Ansicht einer kombinierten Parionsturbine von Brown, Robert & Co. mit automatischer Düseregierung für den Dampfzutritt zum Hochdruckteil und mit direkt gekuppelter Dynamomaschine.

darstellt. Viel eingeführt hat sich hingegen der Antrieb der Schiffswellen mittels eines **Zahnradgetriebes**, wobei das Zahnrad auf der Schiffswelle bis zu 26mal kleiner als das Zahnrad auf der Dampfturbinen-



welle ist. Untenstehende Abbildung<sup>1)</sup>, Fig. 75, stellt ein solches Zahnradvorgelege für eine Dampfturbine von 3000 PS dar. Die Nitzel, das sind die kleinen Zahnräder, werden aus einem niedrigprozentigen Nickelstahl, die großen Zahnräder aus Siemens-Martin-Stahl hergestellt. Zur Vermeidung eines axialen Druckes auf die Turbinenwelle sind letztere mit den Nitzeln durch besondere, in der Längsrichtung bewegliche Kupplungen verbunden. Neuerdings werden die Zahnradgetriebe, entgegen der Ab-

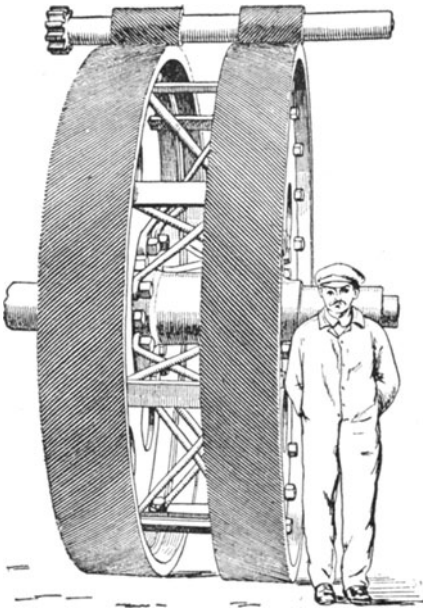


Fig. 75. Zahnradgetriebe zwischen Dampfturbine und Schiffswelle.

bildung, mit keilförmigen Verzahnungen hergestellt. Sie werden in einem dichten Gußeisengehäuse untergebracht und erhalten Druckölschmierung, indem das Schmieröl in die Eingriffsstelle der Zahnräder eingespritzt wird, so daß die Zahnräder jahrelang laufen, ohne eine merkbliche Abnutzung zu zeigen. Auch ist es gelungen, durch genaues Bearbeiten der Zähne das beim Arbeiten des Zahnradgetriebes auftretende Geräusch, das anfänglich recht erheblich war und störend empfunden wurde, beträchtlich zu mindern. Der Wirkungsgrad dieser Zahnradgetriebe ist außerordentlich hoch und beträgt bei sorgfältigster Herstellung der Verzahnung etwa 98 Prozent.

Von anderen Zwischengetrieben sind der nach Art der Kreiselpumpen und der Wasserturbinen gebaute hydraulische Transformator von Ingenieur Föttinger (Zeitschrift des Vereins Deutscher Ing. 1909, Seite 2020 und 1912, Seite 2079), sowie die Übertragung der Antriebskraft von der Dampfturbine auf die Schiffswelle mittels Dynamomaschine und Elektromotor bekannt geworden.

<sup>1)</sup> Die Abbildung 75 ist mit Genehmigung der Redaktion aus der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ing., Jahrgang 1914, Seite 1125 entnommen.

Das Umsteuern der Schiffswelle machte beim Dampfturbinenantrieb gleichfalls andere Einrichtungen als beim Antrieb durch Kolbendampfmaschinen erforderlich. Die Umdrehungsrichtung einer Dampfturbine ist, wie wir aus den Abbildungen 69 u. 71 ersehen können, von der Schaufelstellung in den Leit- und Laufträdern bestimmt und daher unveränderlich. Umsteuerungsborrichtungen, die bei den Kolbendampfmaschinen in Form der Kullissen- oder Lenkersteuerung (siehe Abschnitt V) ein leichtes und bequemes Wechseln der Umdrehungseinrichtung ermöglichen, sind bei den Dampfturbinen nicht anbringbar. Die leichte Manövrierfähigkeit, die der Dampfmaschinenantrieb gewährt und die für die Schiffe von größtem Wert ist, war daher eine der schwierigsten technischen Anforderungen an den Schiffsturbinenantrieb. Das Umsteuern der Schiffswellen macht besondere Dampfturbinen erforderlich, die die entgegengesetzten Schaufelstellungen wie die Haupt-

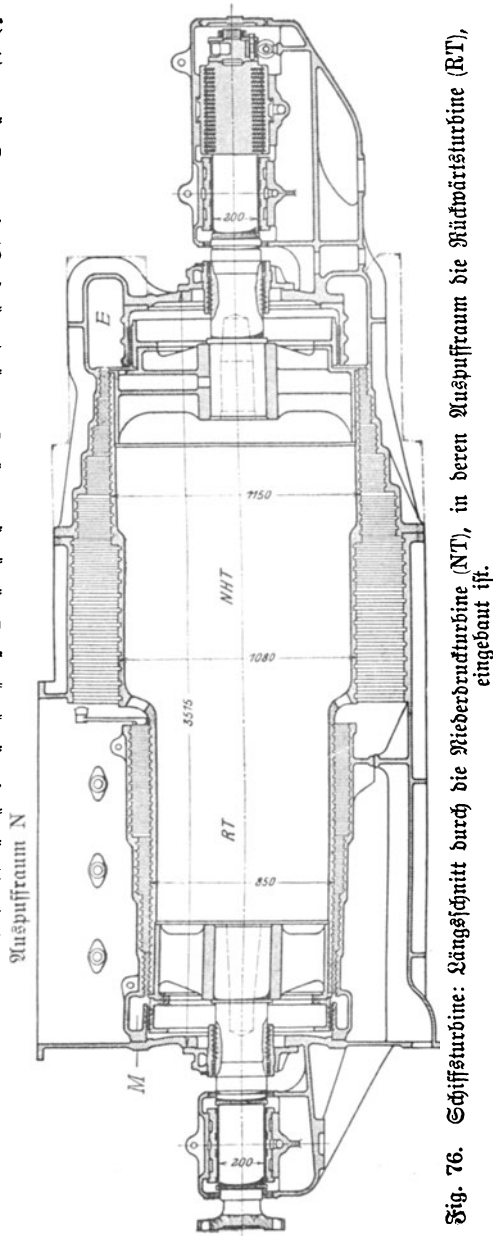


Fig. 76. Schiffsturbine: Längsschnitt durch die Niederdruckturbine (NT), in deren Auspuffraum die Rückwärtsturbine (RT), eingebaut ist.

turbinen haben und infolgedessen auch mit entgegengesetzter Umdrehungsrichtung wie diese umlaufen. Man unterscheidet daher auf Schiffen Vorwärts- und Rückwärtsturbinen. Letztere werden in den gewöhnlichen Fällen in das Gehäuse der Niederdruckturbinen eingebaut und laufen beim Vorwärtsgang der Turbinenanlage leer mit, während umgekehrt, beim Rückwärtsgang der Schiffswelle, die Vorwärtsturbinen leer laufen und die Rückwärtsturbinen arbeiten. Untenstehende Fig. 76 zeigt die Anordnung einer Rückwärtsturbine im Gehäuse der Niederdruckvorwärtsturbine in der Ausführung der „Turbinia“, Deutsche Parsons Marine A. G., Berlin. Sie ist meist als Hochdruckturbine gebaut und befindet sich im hinteren Teile des Niederdruckgehäuses, dem Auspuffraum N. Der Zylinder der Rückwärtsturbine ist jedoch ein vollständig unabhängiger Teil für sich. Die Zuführung des Frischdampfes erfolgt durch eine besondere, an den Ringkanal M angeschlossene Leitung. Der Abdampf strömt direkt durch den Auspuffraum N der Niederdruckturbine in den Kondensator. Beim Manövrieren des Schiffes wird in der Weise verfahren, daß das Hauptventil für den Dampfeinlaß an der längs der Mitte des Schiffes gelegenen Hochdruckturbine geschlossen und letztere hierdurch abgestellt wird. Alsdann werden die beiden Dampfeinlaßventile an den Manöverierturbinen geöffnet. Durch Umstellen eines Manöverierschiebers, der vom Maschinenstand aus einstellbar ist, kann alsdann der Frischdampf nach den Vorwärts- oder Rückwärtsturbinen geleitet werden. Die Hochdruckvorwärtsturbine, welche die mittlere Schiffswelle antreibt, bleibt hierbei gestoppt.

### Die Kleindampfturbinen.

#### **Dampfturbinen mit wiederholter Beaufschlagung des Laufrades.**

Bei Dampfturbinen für mittlere und kleine Leistungen (etwa bis zu 500 PS) wird eine mehrfache Geschwindigkeitsabstufung auch dadurch erzielt, daß der Dampf durch geeignete Umleitkanäle zur wiederholten Beaufschlagung ein und desselben Laufrades gezwungen wird. In nachstehendem ist eine derartige Dampfturbine aus der Maschinenfabrik von C. Mace in Coswig bei Dresden beschrieben.

Die Wirkung des Dampfes ist aus der schematischen Darstellung Fig. 77 zu ersehen. In der schematischen Darstellung hat die Turbine nur ein Laufrad. Während sich bei den größeren Dampfturbinen und insbesondere bei den besprochenen Gleichdruck- oder Aktionsturbinen der Druckabfall des Dampfes in mehreren aufeinander folgenden Stufen in der Turbine

vollzieht, findet der gesamte Druckabfall des Dampfes in der Kleindampfturbine schon in den Düsen vor dem Laufrade statt. Der Dampf trifft daher bei seinem Austritt aus den Düsen zwar nur mit dem Druck auf das Laufrad auf, mit dem er die Turbine schließlich verläßt, doch hat er an der Düsenmündung dafür eine sehr hohe Strömungsgeschwindigkeit erlangt, die, wie bei den anderen Gleichdruckturbinen, zur Vermeidung einer zu großen, für praktische Zwecke ungeeigneten Drehgeschwindigkeit der Turbine ihm in Abstufungen entzogen wird, was in folgender Weise geschieht. Der aus der Düse *D* mit sehr hoher Geschwindigkeit austretende Dampf strömt auf das Laufrad *L*, verfehlt dieses in Drehung, gibt hierbei einen Teil seiner Strömungsenergie an das Rad ab und erfährt beim Durchgang durch die Schaufelzellen eine Umänderung seiner anfänglichen Strömungsrichtung. Zur weiteren Nutzbarmachung seiner noch verbliebenen Energie wird er

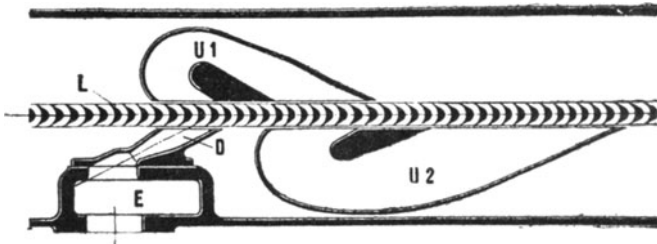


Fig. 77. Schematische Darstellung der Dampfturbine mit wiederholter Beaufschlagung des Laufrades von E. Nade, Goswig i. Sa. — E = Dampfzylinder, D = Dampfbohrung, L = Laufrad, U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub> = Umführungen, A = Dampfaustritt.

durch den Umleitkanal *U*<sub>1</sub> dem Laufrad aufs neue zugeführt und hierdurch zur Abgabe eines weiteren Teiles seiner Geschwindigkeit gezwungen. Dieser Vorgang wird in weiteren Umleitkanälen wiederholt, bis schließlich der Dampf ohne Strömungsenergie die Turbine verläßt und entweder als Auspuffdampf ins Freie tritt oder in einer Kondensationsanlage durch Abkühlung zu Wasser verdichtet wird.

Die Umführungskanäle werden zur Herabminderung der Strömungsverluste durch die Dampfreibung sehr exakt bearbeitet und mit Rücksicht auf die allmählich sich verringernde Dampfgeschwindigkeit in der Richtung der Dampfströmung erweitert, so daß die Zahl der Laufradschaufeln, die sie in jeder Stufe beaufschlagen, von Stufe zu Stufe größer wird.

Da die Kleindampfturbinen Gleichdruckturbinen sind, d. h. da bei ihnen der Dampfdruck zu beiden Seiten des Laufrades gleich ist, so sind auch die Dampfmen gen, welche außerhalb der arbeit leistenden Teile durch die Tur-

bine hindurchtreten, und die man als Spaltverluste bezeichnet, gering, und es können die Turbinen aus Rücksichten auf die Betriebssicherheit innen einen verhältnismäßig reichlich bemessenen Spielraum zwischen dem rotierenden Schaufelrad und dem feststehenden Umkehrapparat und den Düsen erhalten.

Die Umlaufzahlen der Kleinturbinen betragen 1000—3000 in der Minute, so daß sie zur direkten Kupplung mit Ventilatoren, Gebläsen, Zentrifugalpumpen und anderen schnelllaufenden Maschinen geeignet sind. Drehzahlen unter 1000 minutlich werden unter Anwendung eines geräuschlos im Elbad arbeitenden Zahnradvorgeleges erreicht.

Die Abdichtung der Dampfräume nach außen an den Stellen, wo die Turbinenwelle durch das Gehäuse hindurchtritt, erfolgt durch hintereinander geschaltete Kohlendichtungsringe, deren Zahl sich je nach der Höhe des im Gehäuse bestehenden Gegendruckes richtet. Die Ringe sind dreiteilig und werden mit einer Schlauchfeder zusammengehalten, so daß sich die Welle und die Ringe ungehindert ausdehnen können und ein zu festes Schleifen der letzteren nicht stattfinden kann. Die Bohrung und die Teilflächen der Ringe sind sorgfältig geschliffen und genau zusammengepaßt und tuschiert, infolgedessen den Stopfbüchsen bei hohem Gegendruck ein kaum merklicher, durch Tropfeln entstandener Dampfhauch entweicht. Die Stopfbüchsen bedürfen keinerlei Schmierung, so daß der Abdampf, wie bei den Großturbinen, völlig ölfrei ist und seine weitere Verwendung als Heizdampf oder die Verwendung seines Kondensates als Kesselspeisewasser ohne Bedenken und ohne weitere Vorbereitung stattfinden kann.

Das Laufrad erhält nur einen Schaufelkranz, bei mehr als 250 PS Leistung sind die Turbinen mit Hoch- und Niederdruckteil versehen. Im übrigen sind die Kleindampfturbinen in ähnlicher Weise wie andere Turbinen mit einem Regulator zur Regelung der Umdrehungszahl, mit einem bei Tourenüberschreitung automatisch wirkenden Schnellschlußventil und mit Düsenverstellung von Hand und Zusatzdüse ausgerüstet, die bei dauernder Teilbelastung oder bei Überlastung der Turbine zu gebrauchen sind.

## XII. Konstruktive Einzelheiten der Dampfturbinen.

Die Firmen des Dampfturbinenbaues bringen zwar bei den Einzelheiten der Dampfturbinen ihre eigenen Konstruktionen in Anwendung, dieselben weichen aber verhältnismäßig wenig voneinander ab, so daß sie hier gemeinsam besprochen werden können.

**Die Abdichtung der Welle im Turbinengehäuse.** Die Welle muß an den Stellen, an denen sie durch das Turbinengehäuse hindurchtritt, abgedichtet werden, um auf der Hochdruckseite das Herausblasen von Dampf und auf der Kondensatorseite das Einströmen von Luft zu verhüten. Bei den großen Umfangsgeschwindigkeiten der Turbinenwelle ist die Verwendung von Stopfbüchsen mit Packungen der bei den Kolbendampfmaschinen üblichen Art ausgeschlossen.

Auch sorgfältig aufgepaßte Metalldichtungsringe sind nicht anwendbar, weil sie eine Schmierung mit Öl oder anderen Fetten erforderlich machen, wodurch der Dampf und das aus ihm gewonnene Kondensat ölhaltig werden würden, was bei den Dampfturbinen aufs sorgsamste vermieden wird, da das Kondensat wieder in den Kessel gespeist wird. Als Dichtungsmittel dient der Dampf selbst, der in der sogenannten **Labyrinthdichtung** (Fig. 78) gezwungen wird, eine Reihe enger Ringspalten zu durchströmen und hierbei allmählich gedrosselt wird; zwischen den Ringspalten befinden sich erweiterte Räume, in denen die Dampfgeschwindigkeit durch Wirbelung vernichtet wird. Gebildet werden die Ringspalten durch schmale Nuten und Ringe auf der Welle und in dem Ge-

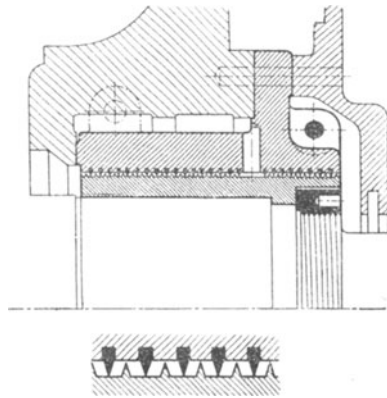


Fig. 78. Querschnitt der Labyrinthdichtung einer Dampfturbinenwelle.

häuse längs der Durchtrittsstellen der Turbinenwelle durch die Gehäusedeckel (siehe Fig. 72 Seite 87). Die Labyrinthdichtung verhindert das Austreten von Dampf in den Maschinenraum in nahezu vollkommener Weise. An den Durchtrittsstellen, an denen infolge des in der Turbine herrschenden Unterdrucks die Möglichkeit des Eindringens von Außenluft durch die Labyrinthdichtung besteht, muß letztere mit einer besonderen Dampfzuleitung versehen werden, so daß alsdann keine Luft, sondern der Dichtungsdampf in die Turbine eingesaugt wird. Die Menge des zuzuführenden Dichtungsdampfes muß der Maschinist mittelst kleiner Dampfventile unter Beobachtung der an der Turbine angebrachten Manometer regulieren; wobei zu beachten ist, daß den an den Labyrinthdichtungen außen angebrachten Dünstrohren nur ein feiner Dampfsschleier entströmen darf.

Die Stopfbüchsen oder Labyrinthdichtungen sind also keineswegs mit den Lagern für die Turbinenwelle zu vertauschen, da in ihnen die Turbinenwelle, wenn auch mit sehr schmalen Zwischenraum, so doch immerhin vollkommen frei und ohne Auflagerung auf das Turbinengehäuse läuft.

**Die Lager und die Drühdölschmierung.** Die Schmierung der Lager erfolgt mittels einer Ölpumpe, die das Öl mit einem Druck von etwa  $1\frac{1}{2}$  Atm. in die Lager treibt. Die Druckölleitung geht durch die Lagerböcke hindurch und ist bis an die unteren Lagerschalen geführt. In letzteren befinden sich Kanäle, welche das Öl zum Zwecke der Lagerkühlung durchfließt (D.R.P. der A.E.G.); dann gelangt es an die Welle, von der es mitgerissen und auf die ganze Tragfläche verteilt wird. (Bei älteren Maschinen sind die Lagerschalen doppelwandig ausgeführt und durch Wasser gekühlt.)

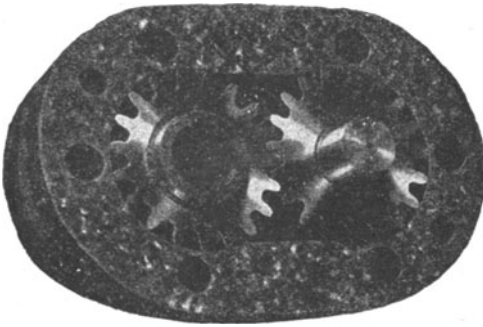


Fig. 79. Ölpumpe für die Drühdölschmierung der Dampfturbinenlager.

Das von der Maschine abfließende warme Öl wird zunächst in einem Ölbehälter gesammelt, in welchem die mitgeführten Verunreinigungen Zeit zum Absetzen finden und zeitweilig abgelassen werden können. Das Öl fließt dann durch ein feines Messingsieb nach einem Röhrenkühler, in welchem es durch Wasser gekühlt wird. Aus dem Kühlapparat wird es von der Pumpe wieder angesaugt, um seinen Kreislauf von neuem zu beginnen. Der Schmierölverbrauch der Turbinen ist infolge dieser mechanischen Schmiereinrichtung sehr gering, trotzdem die Schmierung der Lager sehr reichlich erfolgt. Ölverluste treten allmählich durch Verdunstung ein, auch läßt die Schmierfähigkeit des Oles bei längerer Benutzungsdauer nach, so daß das Öl zeitweilig zu erneuern ist. Der Wasserzufluß zum Ölkühler ist erst anzustellen, wenn die an den Lagerstellen gemessene Öltemperatur auf eine bestimmte Temperatur (etwa  $40^\circ$ ) gestiegen ist.

Die Ölpumpe besteht aus zwei ineinanderkämpfenden Zahnrädern, welche in ein Gehäuse dicht eingepaßt sind und keinerlei Federn, Ventile oder Kolben haben (Fig. 79). Ihr Antrieb erfolgt von der Regulatorwelle aus, auf welche eines der Räder aufgefellt ist. Da die Regulatorwelle im

Verhältnis zur Turbinenwelle sehr langsam läuft, was sich namentlich beim Anfahren der Turbine sehr bemerkbar macht, so vermag die Ölpumpe bei der Ingangsetzung der Turbine den Lagern das Öl nicht in genügender Menge und unter genügendem Druck zuzuführen, und es erhält aus diesem Grunde jede Turbine eine kleine Hilfsölpumpe für Handbetrieb oder, bei größeren Leistungen, eine kleine Dampfpumpe zur Unterstützung der Ölversorgung der Lager, namentlich wenn nach längerem Stillstand das Öl aus den Lagern durch die schwere Turbinenwelle herausgepreßt worden ist.

Auf das gute Funktionieren der Ölschmierung ist während des Turbinenganges die peinlichste Aufmerksamkeit zu verwenden, da bei einem Heißlaufen oder Ausschmelzen der Lagerschalen die ganze Turbine gefährdet ist. Der von der Ölpumpe erzeugte Öldruck, der an den einzelnen Schmierstellen mittels Drosselhähne oder Ventile eingestellt wird, ist an den in die Druckleitungen eingesetzten Manometern gut zu beobachten. Sollte die Ölpumpe an der Regulatormulle einmal versagen, so sind die Hilfsölpumpen zur Aushilfe zu benutzen. Die Öltemperatur ist im Sammelbehälter und an den Lagerstellen zu kontrollieren, welche letztere zu diesem Zwecke in die oberen Lagerstellen besondere, bis nahe an die Welle reichende Thermometerbohrungen besitzen. Gegen etwaige Drucküberschreitungen ist in der Druckölleitung ein Sicherheitsventil vorhanden. Die Saugleitungen der Ölpumpen sind namentlich an den Anschlußstellen an den Ölbehälter öfter auf gutes Abdichten zu untersuchen, da das Versagen der Pumpen meistens auf Undichtheiten in den Rohrleitungen zurückzuführen ist.

**Die Regulierung der Umdrehungszahl.** Die Dampfturbinen erfordern mit Rücksicht darauf, daß sie, was zumeist der Fall ist, unmittelbar mit elektrischen Dynamomaschinen gekuppelt sind, eine genaue Regulierung ihrer Umdrehungszahl, da die elektrische Spannung steigt und fällt, je nachdem die Umdrehungszahl zu hoch oder zu niedrig wird.

Die Reguliervorrichtung, die aus nebenstehender Abbildung ersichtlich ist, ist mit der Druckölleitung verbunden und so eingerichtet, daß sie die Turbine beim Versagen der Druckölschmierung abstellt (Fig. 80). Sie besteht aus dem Federregulator, der mittels Schnecke und Schneckenrad von der Turbinenwelle aus angetrieben wird und beim Auf- und Niedergehen der Regulatormulle durch einen wagerechten Hebel einen holzenartigen Regulierschieber verstellt. Letzterer gibt beim Heben und Senken in einem Gehäuse die Zuführungsröhre für das Drucköl nach dem kurzen Zylinder mit dem eigentlichen Druckkolben frei, welcher auf einem Gestänge sitzt, das am unteren Ende ein Doppelschiebventil, das Dampfeinlaßventil der Turbine trägt. Wird der Regulierschieber gehoben, geht also die Turbine zu schnell, so läßt



der Regulierschieber das Drucköl auf die untere Seite des Druckkolbens treten, letzterer wird gleichfalls gehoben und öffnet hierbei das Doppelsitz-

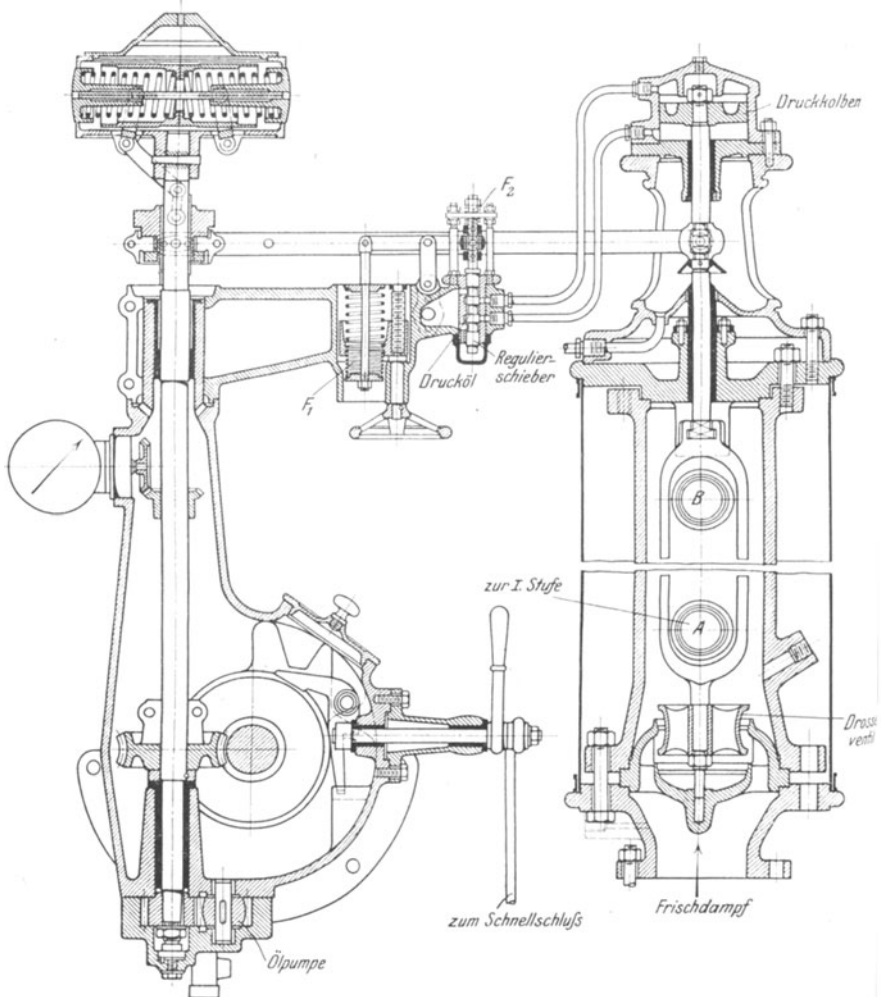


Fig. 80. Regulator mit Druckölsteuerung für den Dampfeinlaß in die Turbine.  
Bauart der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft Berlin.

ventil für die Einströmung einer größeren Dampfmenge. Beim Senken des Regulierschiebers tritt eine entsprechende Abwärtsbewegung der Druck-

kolben und ein Abdroffeln des Arbeitsdampfes ein. Der Regulator arbeitet sehr genau, so daß sich die Umdrehungszahl der Turbine sehr wenig verändert. Neben dem Regulierschieber befindet sich eine mittels Handrades

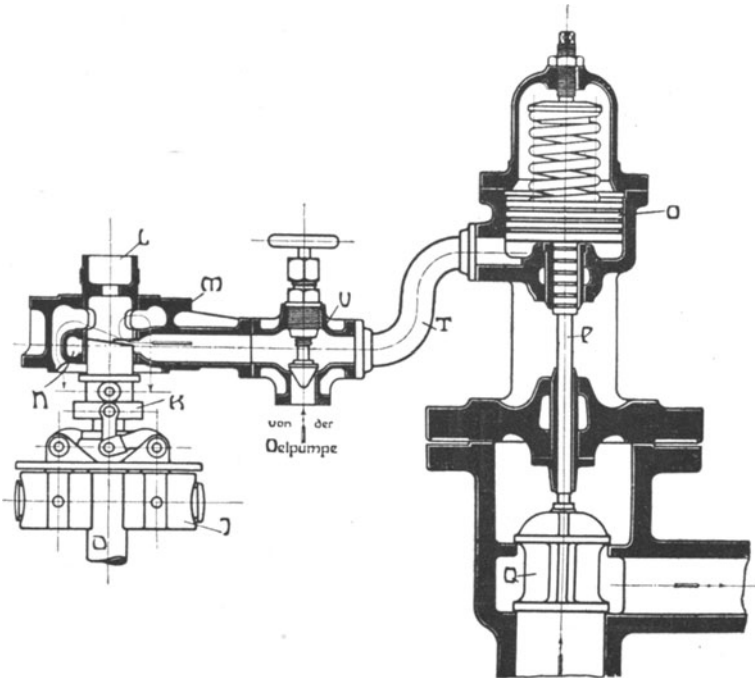


Fig. 81. Tourenregler von Brown, Boveri & Co. Das Drucköl tritt durch das Ventil U ein und hebt den Kolben O mit dem Einlaßventil Q. Außerdem tritt es im Gehäuse N oberhalb des Regulators in ganz kurzen Schwankungen, und zwar je einer bei jeder Regulatorumdrehungen hindurch. Diese Schwankungen werden durch die schräg abgeschnittene Regulatorhülse erzeugt und übertragen sich auf den Kolben O, der infolgedessen immer in Bewegung bleibt und hierdurch sehr empfindlich gemacht ist. Das ablaufende Öl ergießt sich über den Regulator, der in einer (nicht gezeichneten) Kapsel läuft, von der aus es wieder der Ölpumpe zuläuft.

verstellbare Einrichtung zur Veränderung der Federbelastung des Regulators, um während des vollen Betriebes die normale Umlaufzahl der Turbine um 5% erhöhen oder vermindern zu können. Diese Vorrichtung ist beim Parallelschalten von ungleich belasteten Wechselstrommaschinen

unentbehrlich und wird außer der Handbetätigung auch für Fernbetätigung von der Schalttafel aus eingerichtet.

Fig. 81 zeigt den Regler der Firma Brown, Boveri & Co., A. G., Mannheim.

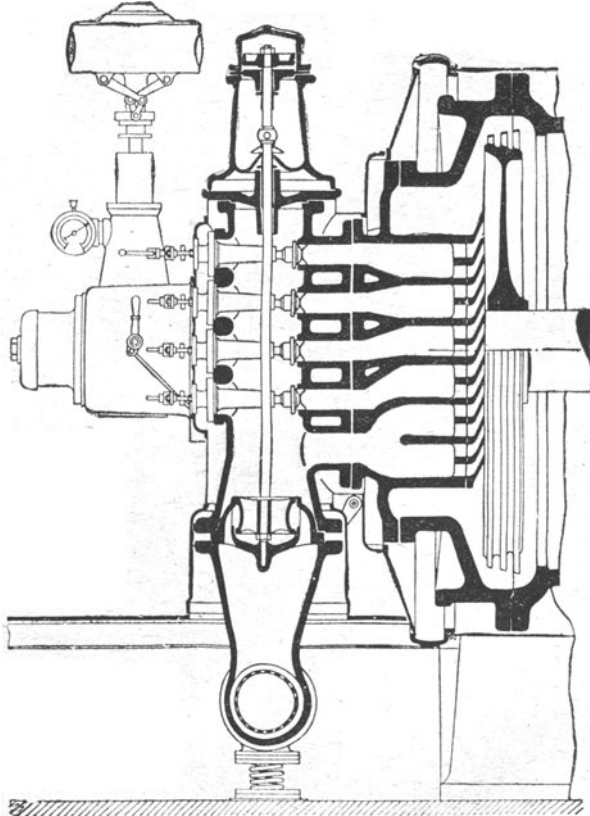


Fig. 82. Düsenkasten einer Dampfturbine der A. E. G. Berlin mit 4 Düsen mit je einem von Hand bedienbaren Absperrventil.

**Regulierung mittels der Düsen an den Curtiskrädern.** Bei der Regulierung des Dampfzutrittes mittels des Doppelsitzventiles tritt bei geringer Turbinenbelastung eine starke Drosselung und ein Spannungsabfall des Frischdampfes von den Düsen ein, wodurch der Dampfverbrauch für die einzelne Pferdestärke oder das Kilowatt steigt. Da die A. E. G.-Dampfturbinen mit mehreren Einströmungsdüsen versehen sind, kann

eine Regulierung des Dampfzutrittes auch durch Ab- oder Zuschalten einzelner Düsengruppen erfolgen. Letztere erhalten deshalb besondere kleine Absperrventile (siehe Fig. 82), von denen einzelne entsprechend den jeweili-

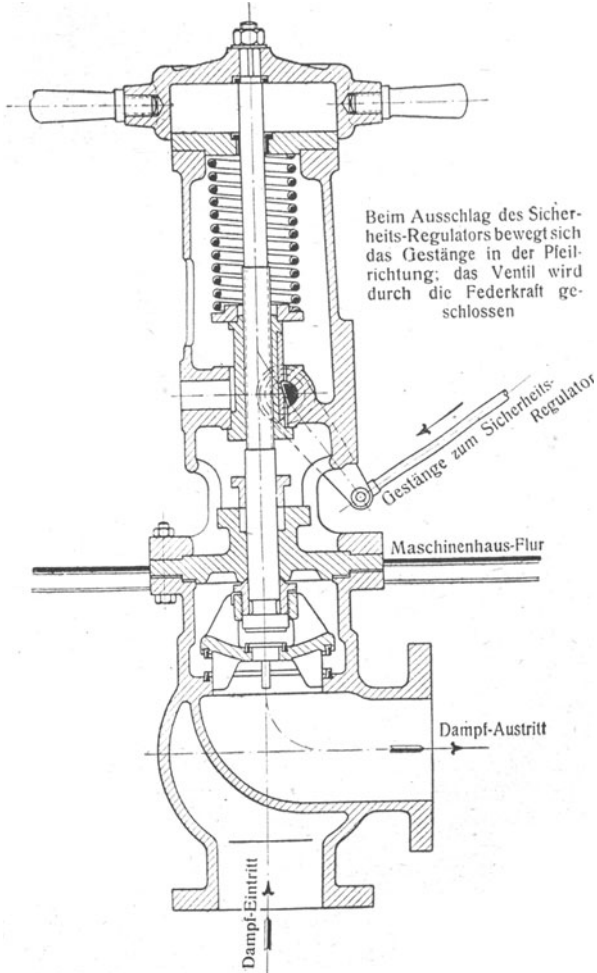


Fig. 83. Selbstschlußvorrichtung der A. C. G. Turbine.

ligen Anforderungen an den Dampfverbrauch der Turbinen geöffnet und geschlossen werden, so daß sich hierdurch die Dampfzufuhr nach der Turbine und deren Umlaufzahl vergrößern bzw. verringern läßt.

In Betrieben, in denen große Belastungsänderungen nicht stoßweise eintreten, sondern die Belastung der Turbine sich mit einer gewissen allmählichen Regelmäßigkeit ändert, wie dies in den Elektrizitätswerken und den meisten Fabrikbetrieben der Fall ist, wird die Regulierung der Düsen oder der Düsengruppen von Hand vorgenommen. Der Maschinenwärter hat bei diesen Turbinen die vor und hinter dem vom Regulator gesteuerten Doppelsitzventile angebrachten Manometer zu beobachten und bei zu starkem Spannungsabfall am zweiten Manometer einzelne Absperrventile für die Düsen zu schließen oder wieder zu öffnen, falls die Umdrehungszahl der Turbine trotz hochgehobenem Doppelsitzventil nicht auf genügender Höhe gehalten werden kann.

In Betrieben, z. B. in Hütten- und Walzwerken, bei Förderanlagen usw., in denen große unregelmäßige und häufige Belastungsschwankungen der Turbine auftreten, wird die Düsenregulierung automatisch wirkend eingerichtet, indem der Regulator bei zunehmender Umdrehungszahl die Düsenventile schließt und bei abnehmender Umdrehungszahl wieder selbsttätig öffnet. Das bei anderen Turbinen vorhandene, vom Regulator gesteuerte Doppelsitzventil für den Dampf einlaß kommt in diesem Falle in Wegfall. Das für die automatische Düsenregulierung vom Regulator zu betätigende Kurbelgestänge ist, um ein Festsetzen der Ventile zu vermeiden, wöchentlich einige Male den ganzen Hub auf- und abzubewegen.

**Schnellschlußvorrichtung oder Sicherheitsregler.** (Fig. 83). Außer den Vorrichtungen zur Regelung der Umdrehungszahl erhält jede Turbine stets eine Schnellschlußvorrichtung, die ausschließlich dazu dient, das Durchgehen der Turbine zu verhindern, falls die Hauptregulierung einmal ihren Dienst versagen sollte. Die Schnellschlußvorrichtung, die in Fig. 83 und 103 teilweise erkennbar ist, besteht aus einem Klinkrad und Gestänge, das bei einer bestimmten Überschreitung der normalen Umdrehungszahl, um etwa 10—12%, ausgelöst wird, so daß sich das Haupteinlaßventil für den Dampf durch die Spannung einer Feder automatisch schließt und die weitere Dampfzufuhr zur Turbine aufhört. Die Auslösung des Sicherheitsreglers wird durch einen auf der Turbinenwelle sitzenden Schwungrad bewirkt (Fig. 84). Derselbe ist so hergestellt, daß sein Schwerpunkt außerhalb seines Mittelpunktes liegt, durch eine Feder wird er aber während der normalen Umdrehungszahl der Turbine im Gleichgewicht gehalten. Steigt die Umdrehungszahl zu hoch an, so vermag die Federkraft den Schwungrad nicht mehr im Gleichgewicht zu halten, derselbe schlägt infolge der Zentrifugalkraft einseitig aus, drängt hierbei einen Hebel zurück, wobei durch das Gestänge in Fig. 83 die Arretiervorrichtung für das Dampf-

einlaßventil ausgelöst wird, so daß sich letzteres augenblicklich schließt. Durch Handgriffe an dem Gestänge und einen Druckknopf auf dem Hebel über dem Schwungring kann der Sicherheitsregler auch von Hand auf seine Wirksamkeit untersucht werden, was bei jedem Anlassen oder bei Dauerbetrieb mindestens wöchentlich einmal zu geschehen hat. Bei der Wichtigkeit, welche dem Sicherheitsregler zukommt, ist auf dessen Kontrolle unbedingt großer Wert zu legen. Auch ist hierbei öfter nachzusehen, ob der Schwungring noch gangbar und nicht etwa durch dickgewordenes Öl unverschiebbar geworden ist, da er beim Auslösen des Sicherheitsreglers von Hand nicht mit in Bewegung gesetzt wird. Untenstehende Fig. 84 zeigt den Schwungring, der bei kleinen Turbinen durch ein Schwinggewicht erregt wird.

**Zur Verhütung des Eindringens von festen, etwa vom Dampfe fortgerissenen Bestandteilen** in die Turbine, ist dicht vor dem Haupteinströmungsventil ein Sieb in die Dampfzuleitung eingebaut.

**Überlastung der Turbine.** Die höchste Belastung einer Turbine hängt von der Leistungsfähigkeit der elektrischen Dynamomaschine (Generator) ab; obgleich die Turbine auch über diese Grenze hinaus eine Überlastung verträgt, empfiehlt es sich eine Überlastung zu vermeiden, da die Kupferwindungen und Isolierungen der Dynamomaschinen für deren Höchstleistung berechnet und gebaut sind und bei einer übermäßigen Beanspruchung zu heiß werden und schwere Schädigungen erfahren können. Für den Fall, daß zeitweilig eine Überlastung der Turbine stattfinden muß, ist die Dampfzufuhr durch Öffnen einer für diese Zwecke vorgesehenen Zusatzdüsen zu vermehren. Dies kann erforderlich werden, wenn die Dampfüberhitzer abgestellt worden sind oder die Kondensation versagt und infolgedessen mit Sattdampf oder mit Auspuff gearbeitet werden muß. Bei großen Turbinen ist eine Einrichtung zum Arbeiten mit Auspuff an Stelle mit Kondensation nicht vorgesehen, da in derartigen Betrieben Reserveturbinen vorhanden sind und die Kesselanlage die erforderliche große Dampfmenge wohl kaum liefern könnte.

**Abnutzung der Schaufeln.** Die vielfach vor Einführung der Dampfturbinen gehegte Befürchtung, die hohe Dampfgeschwindigkeit würde eine schnelle Abnutzung der Schaufeln bewirken, hat sich nach jahrelangen Er-

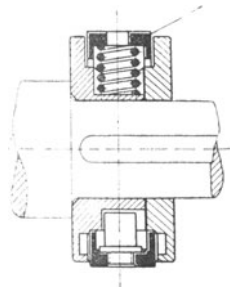


Fig. 84. Schwungring zur Auslösung d. Selbstschlußvorrichtung.

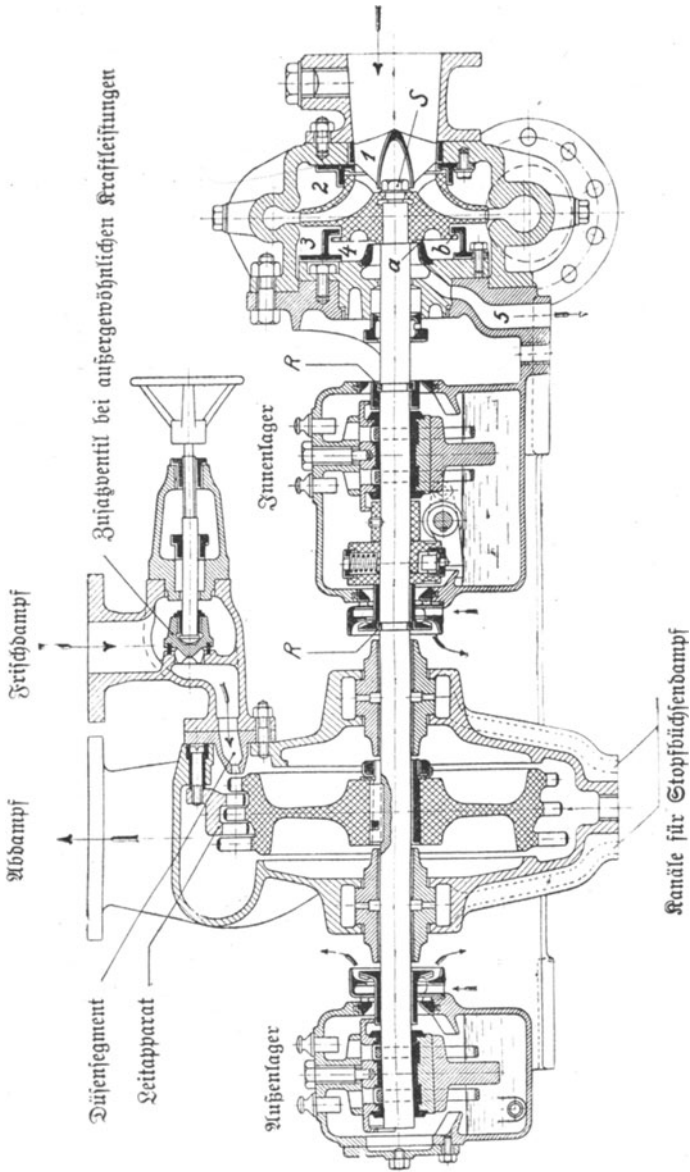


Fig. 85. Längsschnitt durch die Turbopfelepumpe.

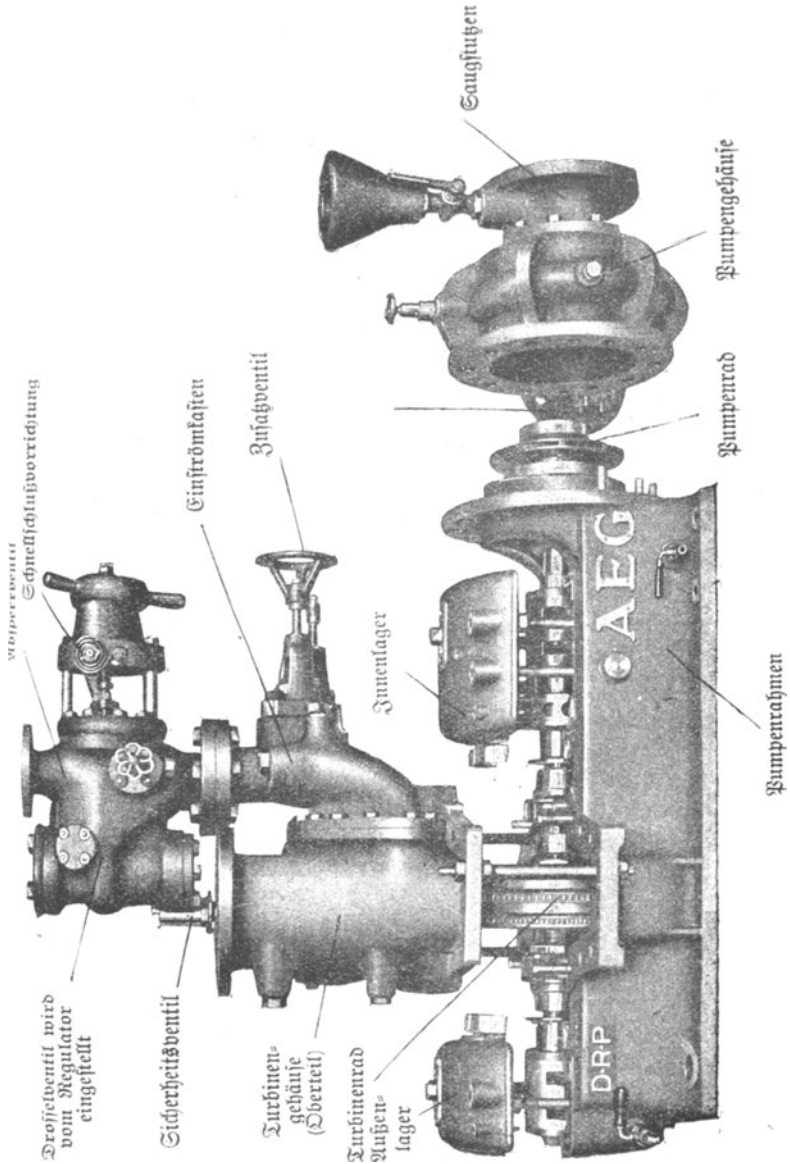


Fig. 86. Turbospießpumpe der A. E. G. Berlin.



fahrungen nicht bestätigt. In den Ausnahmefällen, in denen eine Abnutzung der Schaufeln eingetreten war, handelte es sich um deren Zerstörung durch den hohen Chlorgehalt des Kesselspeisewassers, wie er bei undichten Kondensatoren infolge des Eindringens des salzhaltigen Seewassers in Schiffskessel beobachtet wurde, oder um ein Abschleifen der Schaufeln durch unreinen Dampf aus hartem, schmutzigem Kesselspeisewasser. Durch genaue Kesselkontrolle und die Verwendung reinen Kesselspeisewassers können derartige Schäden wirksam verhindert werden.

Bei Kolbendampfmaschinen treten die nachteiligen Wirkungen des unreinen Dampfes weniger ein, da das Öl im Zylinder einen Schutz gegen die schleifende Wirkung der Unreinigkeiten des Dampfes bietet. Bei Dampfanlagen mit Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen ist es durchaus geboten, die Kessel für die Turbinen von den anderen gesondert zu betreiben und ihnen ausschließlich das im Kondensator der Dampfturbine gewonnenen Kondensat, welches völlig ölfrei ist und auch keine sonstigen Verunreinigungen enthält, zuzuführen. Dann steht auch für die Turbine einwandfreier Dampf zur Verfügung.

### XIII. Die Oberflächenkondensation.

**Das Anwendungsgebiet derselben.** Die Oberflächenkondensation wird durchgehends bei Schiffsanlagen, bei Dampfturbinen über 200 bis 300 PS, sowie bei großen Kolbendampfmaschinen angewendet. Bei derselben wird der aus der Dampfmaschine oder Dampfturbine austretende Abdampf, der eine Temperatur von etwa  $105^{\circ}$  Celsius besitzt, durch das Kühlwasser, das nach den jeweiligen Verhältnissen eine Temperatur bis zu etwa  $15^{\circ}$  Celsius hat, zu Wasser, dem Kondensat, verdichtet (kondensiert), wobei, wie bei der Einspritzkondensation, in dem gesamten Abdampfraum eine Luftleere (Vakuum) entsteht. Das Wesentliche und Vorteilhafte der Oberflächenkondensation ist, daß hierbei das Kühlwasser nicht in den Dampf gelangt und Kühlwasser und Kondensat getrennt voneinander abfließen. Da letzteres sehr reines Wasser ist, und bei den Dampfturbinen auch kein Öl enthält, wird es selbstverständlich wieder in den Dampfkessel gespeist. Das Kesselwasser bedarf dann nur noch insoweit eines Zusatzes von Frischwasser, als dies durch die unermüdlichen Dampfverluste in den Stopfbüchsen, den Kondensstöpfen, Ausblähhähnen, Wasserabscheidern usw. erforderlich ist. Ein weiterer Vorzug der Oberflächenkondensation ist, daß bei ihr das höchstmögliche Vakuum erreichbar ist und somit die Wirtschaftlichkeit der Dampfanlage günstig wird.

In nachstehendem ist eine Oberflächenkondensationsanlage der von der Firma Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (A.E.G.) Berlin ausgeführten Bauart beschrieben. Dieselbe besteht, wie aus der schematischen Darstellung Fig. 87 ersichtlich ist, aus dem Kondensator, das ist ein von vielen engen Rohren durchzogener Kessel, und drei Pumpen, der Kühlwasser-, der Kondensat- und der Luftpumpe, die sämtlich Zentrifugalpumpen sind (siehe Abschnitt über Zentrifugalpumpen in der Heizerschule).

**Der Kondensator** enthält an seinen Stirnböden, die mittels Schrauben befestigt und daher für die Abdichtung oder Erneuerung der Kühlrohre in den Rohrwänden abnehmbar sind, sowie an seinem Mantel die nötigen Stutzen zum Anschließen der Rohrleitungen für die Pumpen und mehrere abnehmbare Deckel auf Schaulöchern zum zeitweiligen Nachsehen und Reinigen der Kühlrohre, falls letztere durch schlammhaltiges Wasser ver-

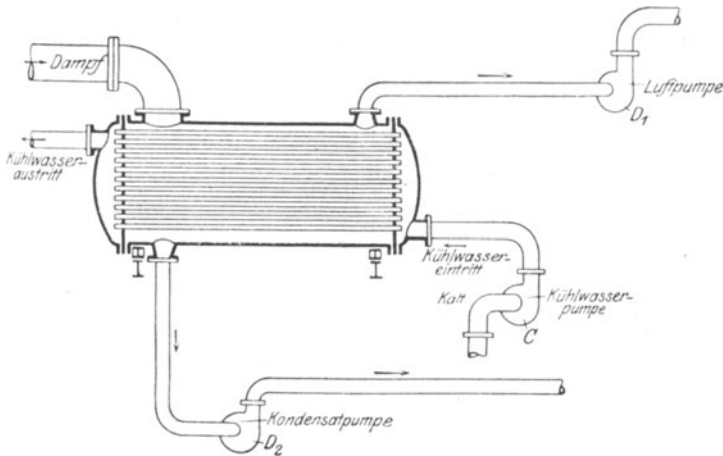


Fig. 87. Schematische Darstellung der Oberflächenkondensation.

schmutzt worden sind. Bei der Untersuchung des Kondensators ist insbesondere auf etwaige Beschädigungen der Kühlrohre durch Anfrassungen zu achten, die namentlich bei ungeeignetem, chlorhaltigem Kühlwasser eintreten können, obgleich neuerdings die Kühlrohre aus widerstandsfähigen Legierungen hergestellt werden, die auch unter schwierigen Verhältnissen eine große Dauerhaftigkeit der Rohre gewährleisten. Undichtigkeiten an den Kühlrohren bewirken das Eindringen des Kühlwassers in den Vakuumraum und sind während des Betriebes an der vermehrten, von der Kondensatpumpe beförderten Wassermenge sowie an dessen fallen-

den Temperatur zu erkennen. Die Kühlrohre werden der ungehinderten Ausdehnung halber zumeist nicht eingewalzt, sondern mittels Gummidichtung, Baumwollzöpfen oder ähnlichem abgedichtet.

Das Kühlwasser wird mittels der **Kühlwasserpumpe C** durch die Rohre des Kondensators gepumpt, während letztere auf der Außenseite vom Abdampf der Dampfmaschine umspült werden. Das Kühlwasser bewirkt infolge der dünnen Kondensatorrohre eine sehr intensive Abkühlung des Kondensators, so daß der darin befindliche Abdampf sofort zu Wasser verdichtet (kondensiert) wird. In die Rohrleitung zwischen der Kühlwasserpumpe und dem Kondensator ist ein Absperrschieber eingebaut, der auch zum Regulieren der Kühlwassermenge dient, falls die Veränderung der Umdrehungszahl nicht möglich ist. Das niedergeschlagene Wasser (das Kondensat) sammelt sich im unteren Teile des Kondensators an und wird von der **Kondensatpumpe D<sub>2</sub>** abgeleitet. Bei den Dampfturbinen kann es sofort in den Kessel gespeist werden, da es in diesem Falle völlig ölfrei ist. Enthält es Öl, wie dies bei Kolbendampfmaschinen der erforderlichen Zylinder Schmierung halber unvermeidbar ist, so muß es erst durch einen Entölungsapparat laufen, da, wie bereits bei der Besprechung des Kesselspeisewassers in der Heizerschule gesagt ist, ölhaltiges Speisewasser für den Kesselbetrieb gefährlich ist. Zur Kontrolle über die Arbeitsweise der Kondensatpumpe wird am Kondensator ein Wasserstandszeiger angebracht, aus welchem ersichtlich ist, wie hoch das Kondensatwasser in demselben steht.

Die **Luftpumpe D<sub>1</sub>** hat die Aufgabe, die Luft aus dem Kondensator abzusaugen. Diese Luft, die entfernt werden muß, um ein ordentliches Vakuum zu erhalten, rührt vom Speisewasser her und tritt auch an undichten Rohrleitungen und sonstigen Dichtungsstellen unbemerkt ein. Gleichzeitig saugt die Luftpumpe den im Kondensator verbliebenen, nicht völlig kondensierten Dampf und Wasserdunst mit ab.

Da im Kondensator eine Temperatur von etwa 40° Celsius herrscht, so befindet sich auch ein dieser Temperatur entsprechender Wasserdunst darin, der immer noch einen Druck ausübt. Letzterer würde, wenn die Luftpumpe nicht vorhanden wäre, rund 55 mm Quecksilbersäule = 0,07 Atm. betragen und wird durch das Arbeiten der Luftpumpe wesentlich verringert. Die Luftpumpe wird in verschiedenen Bauarten ausgeführt. Fig. 88 und 89 zeigen eine geöffnete Schleudermasserluftpumpe in der Ausführung der Allgemeinen Elektrizitäts-Aktiengesellschaft Berlin. Dieselbe arbeitet in der Weise, daß ein kleines voll beaufschlagtes Laufrad das Wasser in einzelnen Strahlen in einen feststehenden Leitring schleudert (Schleuder-

wasser, daher auch der Name Schleuderluftpumpe), in welchem das Wasser in Tropfen zerteilt wird, zwischen denen die abzusaugende Luft eingeschlossen ist. Die Wassertropfen wirken wie Kolben und treiben die eingeschlossene Luft nach außen bis auf den äußeren Umfang des Leitrades, wobei die anfänglich stark verdünnte Luft von Kondensatorspannung allmählich bis auf den äußeren Luftdruck verdichtet wird. Das hohe Vakuum, welches durch die Oberflächenkondensationen erreicht wird, ist in hauptsächlichster Beziehung der Entfernung der Luft und des Wasserdampfes aus dem Kondensator durch die Luftpumpe zuzuschreiben, auf deren ordentliches Arbeiten daher großer Wert zu legen ist.

Das Schleuderwasser muß sehr rein sein, damit die Kanäle des Leitrades nicht etwa durch Schmutz verstopft werden können, und fließt zur

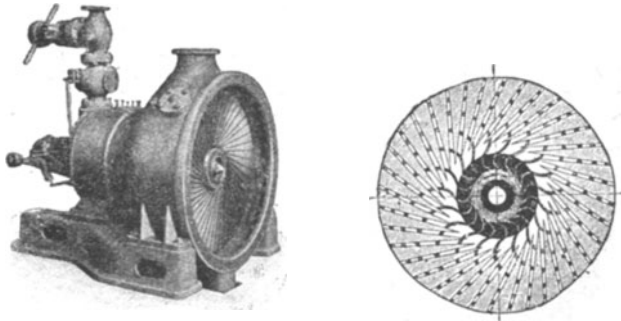


Fig. 88 und 89. Luftpumpe am Oberflächenkondensator der A. G. Berlin arbeitet mit Schleuderwasser.

Fernhaltung von Unreinigkeiten zunächst durch ein Sieb, bevor es in die Pumpe eintritt. Ein Verstopfen der Kanäle wird ferner dadurch unmöglich gemacht, daß das Schleuderwasser in einem steten Kreislauf nach einem kleinen Sammelbehälter fließt, aus welchem es von der Schleuderluftpumpe wieder herausgesaugt wird. Da sich das Schleuderwasser beim Durchgang durch die Pumpe erwärmt, bedarf es eines kleinen Oberflächenkühlers, durch welchen es beim Ansaugen hindurchfließt. Das Schleuderwasser erhält eine Vermehrung durch das Niederschlagen des von der Luftpumpe aus dem Kondensator herausgesaugten Dampfes, so daß der Wasserspiegel in dem kleinen Sammelbehälter steigt. Hierbei wird durch einen Schwimmer ein kleines nach der Kondensatpumpe führendes Saugrohr geöffnet, der Wasserzuwachs von der Kondensatpumpe stetig abgesaugt und der Wasserstand in dem Behälter auf gleichmäßiger Höhe gehalten.

Beim Anstellen der Kondensationsanlage sind die Saugleitungen der Kühlwasser- und der Luftpumpe zunächst mit Wasser zu füllen. Der Füllhahn an letzterer ist hierbei erst zu schließen, nachdem im Kondensator das richtige Vakuum vorhanden oder dasselbe mindestens eben so groß ist wie der Unterdruck am Schleudervassereinlauf.

Nebenstehende Fig. 90 und 91 zeigen eine Oberflächenkondensation in praktischer Ausführung. C ist die Kühlwasserpumpe, D<sub>1</sub> und D<sub>2</sub> die

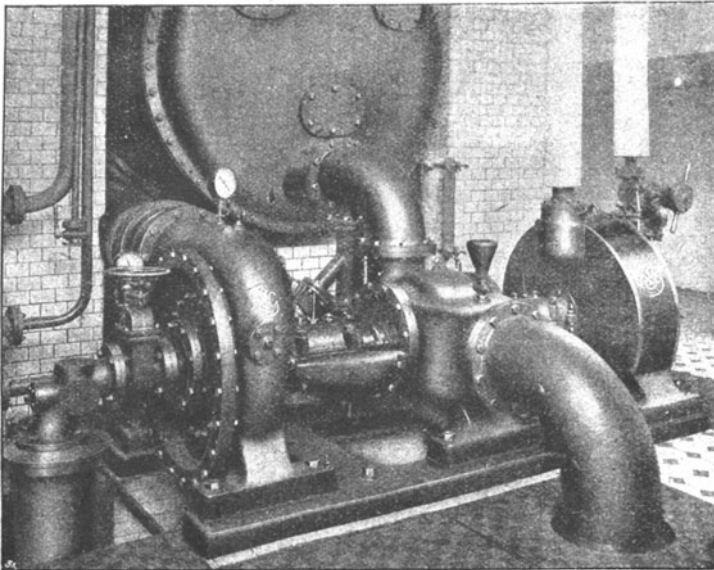


Fig. 90. Ansicht eines Oberflächenkondensators mit Turbinenantrieb.  
Bauart der A. E. G. Berlin.

Schleuderluft- und die Kondensatpumpe. Die Pumpen haben eine gemeinsame Welle und sind auf einer gemeinsamen Fundamentplatte befestigt. Die Schleuderluft- und die Kondensatpumpe sind in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Rechts befindet sich für den Antrieb der Pumpen die kleine Dampfturbine A, deren Abdampfleitung ebenfalls in den Kondensator mündet. An Stelle der Dampfturbine A kann auch ein Elektromotor zum Antrieb der Pumpen verwendet werden, doch wird erstere vielfach vorgezogen, da sie unmittelbar vom Dampfkessel aus, also unabhängiger als ein Elektromotor, betrieben werden kann. Die Dampfturbine wird in

der üblichen Weise mit einer Regelvorrichtung für ihre Umlaufzahl und mit einem Sicherheitsregulator ausgerüstet, der bei einer etwaigen unvorhergesehenen Überschreitung ihrer zulässigen größeren Umlaufzahl das Dampfzuführungsventil selbsttätig schließt und die Turbine samt den Pumpen abstellt.

**Betriebsvorschriften für die Oberflächenkondensationsanlagen.** Die Welle ist an den Stellen, wo sie durch die Pumpengehäuse hindurchtritt, mit Stopfbüchsen abgedichtet. Als Dichtungsmaterial sind hierbei weiche, in Talg und Öl getränkte Baumwollzöpfe zu verwenden; die Stopfbüchsen sollen stets etwas Wasser durchlassen, damit ein zu festes Anziehen der Packungen und eine Abnutzung der Welle vermieden werden. Da es sich nicht ganz vermeiden läßt, daß etwas Wasser in die Lager dringt, ist das in deren Ölkammern sich absetzende Wasser täglich abzulassen. Im übrigen sind die Ölkammern der Lagerstellen regelmäßig — etwa monatlich — zu reinigen und mit frischem Öl zu füllen.

Zur Erzielung eines hohen Vakuums ist auf das Dichthalten der Vakuum- und Saugleitungen sowie der Dichtungsstellen an den Pumpen sorgfältig zu achten. Das Abdampfrohr der Hauptturbine oder der Kolbendampfmaschine erhält, um eine ungehinderte Ausdehnung desselben zu ermög-

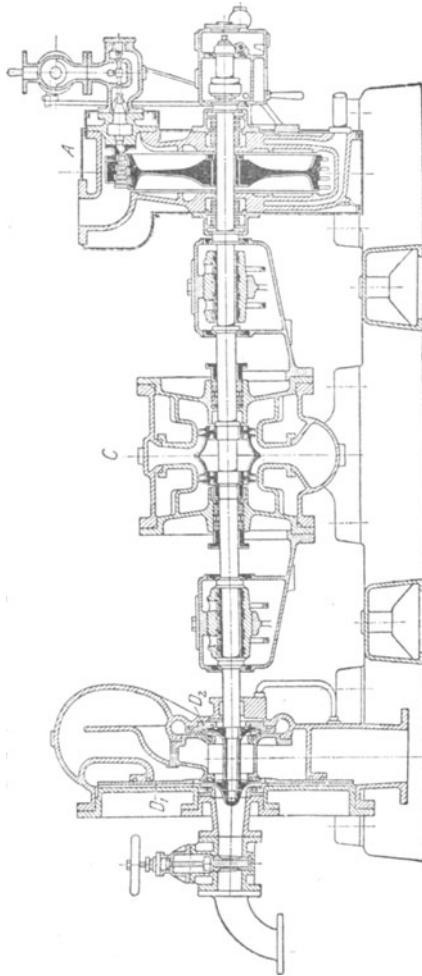


Fig. 91. Schnitt durch die Pumpen eines Oberflächenkondensators mit Turbinenantrieb. Bauart der H. G. Berlin.

lichen, mitunter vor dem Eintritt in den Kondensator eine Stopfbüchse mit Wasserabschluß, wobei darauf zu sehen ist, daß letzterer stets Wasser enthält.

Damit der Kondensator stets mit Wasser gefüllt bleibt und die Kondensationsanlage rasch in Gang gesetzt werden kann, sind während der Betriebsstillstände die Absperrschieber in den Saugleitungen für das Kühl- und das Schleudewasser geschlossen zu halten, da die Fußventile in den Saugkörben nicht immer dicht schließen. Auch der in der Druckleitung der Kondensatpumpe eingebaute Absperrschieber ist, falls ein solcher vorhanden, beim Abstellen der Kondensation zu schließen, damit nicht etwa Wasser rückwärts in den Vakuumraum des Kondensators eindringen kann.

Der Wasserstand an der Kondensatpumpe, der Unterdruckmesser am Schleudewassereinlauf, die Thermometer zum Messen der Temperaturen des Kühlwassers, des Kondensates und der Lagerstellen sowie die Umdrehungszahlen der Pumpen sind stündlich zu kontrollieren. Die Lagertemperaturen können 70—80° Celsius betragen. Sinkt das Vakuum, so dringt bei der **Hauptturbine** entweder Luft durch die Stopfbüchsen und es muß mehr Stopfbüchsendampf angestellt werden. Auch ist zu kontrollieren, ob genügend Wasser im Schleudewasserbassin vorhanden ist und ob die Luftpumpe ordentlich arbeitet.

Beim Anhalten der Kondensationsanlage ist zunächst der Regulierschieber am Schleudewassereinlauf völlig zu schließen und erst dann die Turbine A abzustellen. Ist nach dem Anlassen am Abdampfstutzen der Hauptturbine das erreichbare Vakuum erzielt, so ist jener Regulierschieber so weit zu drosseln, bis der Zeiger am Vakuummeter anfängt zurückzugehen. Dann ist er wieder um 1—2 Umdrehungen an seinem Handrade zu öffnen.

Die Turbine A ist beim Anlassen langsam in Betrieb zu setzen und hierbei auf sorgfältige Entwässerung ihres Gehäuses und der Dampfleitungen durch Öffnen der Abwässerhähne zu achten.

## XIV. Betriebsvorschriften der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft Berlin für Dampfturbinen mit direkt gekuppelter Dynamomaschine (Turbodynamos).

Außer den bereits bei der Beschreibung der Dampfturbine gegebenen Anweisungen über die Bedienung der Dampfturbinen ist noch im wesentlichen nachstehendes zu beachten.

### I. Allgemeines.

Der Schnellschluß muß beim Anstellen probiert werden, bei Dauerbetrieb jede Woche mindestens einmal. Die Dynamomaschine ist mindestens aller 4 Wochen zu reinigen; sind Luftfilter eingebaut, so erfolgt die Reinigung nach Bedarf, etwa halbjährlich. Hierbei sind die Dynamoschilder abzunehmen, die Gehäusewicklung und die Ventilationskanäle des Induktors, die Isolation der Schleifringe und der Bürstenträger mittels der mitgelieferten besonderen Bürsten zu reinigen bzw. auszublasen. Die Federn der Bürstenhalter sind entsprechend der allmählichen Abnutzung der Bürsten nachzuspannen. Raue Stellen auf den Schleifringen ist durch Abschmirgeln zu beseitigen. Der Ölbehälter mit dem Ölsieb sind gut in Ordnung zu halten; das sich ansammelnde Wasser ist täglich, nach Bedarf auch öfter abzulassen.

Das Tachometer, das ist das Instrument zum Anzeigen der Umdrehungszahl, darf nur mit leichtflüssigem Knochenöl geschmiert werden. Das Eindringen dickflüssigen Öles macht das Instrument unbeweglicher und unempfindlicher.

Die automatische Düsenregulierung ist wöchentlich einigemal über den ganzen Hub auf- und abzubewegen, damit sich die Ventile, welche mitunter längere Zeit still stehen, nicht festsetzen können.

### II. Vor der Inbetriebnahme.

Ein Anwärmen der Dampfturbine im Stillstand, wie dies bei den Kolbendampfmaschinen stattfindet, unterbleibt, da sich hierbei gefährliche Wasseransammlungen in der Turbine bilden können. Auf die Vermeidung von Wassererschlägen ist die größte Sorgfalt zu verwenden. Es ist nachzusehen, ob im Ölbehälter genug Öl vorhanden ist. Die Kühlwasserleitung zum Ölkühler ist erst anzustellen, nachdem die Eintrittstemperatur in die Lager 45° Celsius beträgt. Nach Abheben des Schaulochdeckels am Regulator ist nachzusehen, ob der Hebel des Schnellschlusses richtig eingeklinkt ist. Sämtliche Entwässerungshähne an der Turbine, am Dampf-sieb, am Wasserabscheider und an den Kondenstöpfen usw. sind aufzudrehen. Etwaige Verschlussklappen oder -türen an den Frisch- und Abluftkanälen der Dynamo sind zu öffnen.

### III. Beim Anlaufen.

Die Hilfsölpumpe ist schon vor der Inbetriebsetzung der Turbine in Gang zu setzen und muß solange laufen, bis aus allen Lagern ein starker



Ölstrom zurückfließt. Sie darf erst stillgesetzt werden, wenn die Hauptölpumpe genügend Öl schafft.

Das Hauptdampfventil ist **ganz langsam** zu öffnen, bis die Turbine anspringt. Dann ist das Ventil soweit zu schließen, daß die Turbine bei **sehr kleiner** Umdrehungszahl mindestens 10 Minuten lang durchwärmt wird. Innerhalb der **nächsten** 15 Minuten ist die Turbine auf die volle Umdrehungszahl zu bringen. Das Einlaßventil ist allmählich ganz zu öffnen, dann um eine halbe Spindelumdrehung zurückzudrehen. Beim Anfahren ist darauf zu achten, daß der Öldruck genügend hoch gehalten wird, damit die mit dem Drucköl betriebene Steuerung sämtliche Ventile öffnet.

Der Stopfbüchsendampf wird erst angestellt, nachdem die Turbine läuft und zwar ist beim Anfahren für beide Stopfbüchsen Frischdampf zu geben. Letzterer ist wieder abzustellen, sobald das Mitteldruckmanometer der Turbine Überdruck anzeigt und aus der vorderen Stopfbüchse genügend Dampf austritt. Die hintere Stopfbüchse bekommt dann ihren Dampf von der anderen Stopfbüchse.

Bei automatischer Stopfbüchsenregulierung wird der Stopfbüchsendampf selbsttätig eingestellt; doch ist die automatische Vorrichtung öfter auf gutes Arbeiten zu kontrollieren. Die Entwässerungshähne am Turbinengehäuse, Dampfsieb usw. sind ungefähr  $\frac{1}{2}$  Stunde nach der Belastung der Turbine zu schließen.

Die Schleifringe der Dynamomaschine sind beim jedesmaligen Anfahren leicht mit feinem Schmirgelleinen zu überschleifen.

#### IV. Im Betrieb.

Der Stopfbüchsendampf ist so zu regulieren, daß den Stopfbüchsen nur ein ganz leichter Dampfhauch entströmt. Der Ölbehälter muß genügend gefüllt sein. Die Kühlwassermenge für die Ölkühlung ist so zu regulieren, daß das Öl mit einer Temperatur von 45 bis 55° Celsius in die Lager eintritt.

Beim Versagen der Kondensation schaltet das automatische Auspuffventil die Turbine auf Auspuff. **Es ist dann der Hilfsauspuff** zu öffnen und der Absperrschieber zum Kondensator zu öffnen.

#### V. Das Anhalten.

Die Dynamomaschine ist zuerst von den Sammelschienen abzuschalten. (Über die Behandlung der elektrischen Einrichtung bestehen besondere Vorschriften.) Das Hauptventil ist alsdann zu schließen und

hierauf die Kondensation stillzusetzen. Die Turbine ist in warmem Zustande sauber abzuwischen. Die Schleifringe und Bürsten der Dynamomaschine müssen, sofern sie stark mit Öl oder Staub verschmutzt sind, beim jedesmaligen Abstellen mit einem benzingetränkten Lappen gründlich gereinigt werden.

Bei mehrstündigem Stillstand ist das Belüftungsventil auf dem Gehäuse zu öffnen. Die hierdurch entstehende Luftzirkulation im Turbinengehäuse trocknet dasselbe aus und verhindert das Ansetzen von Rost durch zurückbleibende Feuchtigkeit. Ferner ist außer dem Schnellschlußventil das am Wasserabscheider sitzende Absperrventil zu schließen und die Dampfleitung zwischen den Ventilen unter Vermeidung eines Kondensstopfes dauernd zu entwässern, damit etwaiger Sickerdampf nicht in die Turbine strömt. Sickerdampf darf nicht in die Turbine treten.

## XV. Die Rückführung des Kondensationswassers.

**Die Kaminkühler.** Wie bei der Besprechung der Kondensationsanlagen gezeigt wurde, erfolgt das Kondensieren des Abdampfes im Kondensator durch das Kühlwasser, das eine möglichst tiefe Temperatur haben soll. Da bei großen Dampfanlagen sehr beträchtliche Kühlwassermengen erforderlich sind und deren Beschaffung aus Brunnen, Teichen usw. in den wenigsten Fällen möglich ist, werden in solchen Fällen sogenannte Rückkühlanlagen verwendet. Dieselben haben den Zweck, dem Kühlwasser nach dem Verlassen des Kondensators, wobei es eine Temperatur von etwa 38 bis 45° Celsius erreicht hat, die ihm beim Kondensieren des Abdampfes zugeführte Wärmemenge wieder zu entziehen, so daß es im Kondensator im steten Kreislauf verwendet werden kann. Frischwasser ist dann nur insoweit nötig, als in den Kühlanlagen ein Teil des Kühlwassers verdunstet, welcher natürlich ersetzt werden muß. Die Menge des zuzusetzenden Frischwassers hängt auch von der Wirkung der Kühlanlagen ab; wird das Kühlwasser nicht genügend abgekühlt, so muß seine weitere Abkühlung durch das Frischwasser bewirkt werden.

Die gebräuchlichsten Kühler für Kondensationen sind die seit etwa 20 Jahren eingeführten Kaminkühler. (Fig. 92.) Dieselben sind entweder ganz aus Holz oder aus Mauerwerk mit einem hölzernen Dunstschlot. Im unteren Teile des Kaminkühlers befindet sich die Wasserrieselungsvorrichtung, die aus einer großen Anzahl übereinander liegender Rinnen mit Spritztellern besteht. Das Wasser wird von einer Pumpe in die oberste

Rinne befördert und fällt in Tropfen herunter in einen unter dem Kaminkühler befindlichen Sammelbehälter, wobei es durch den im Kaminkühler aufsteigenden Luftstrom gekühlt wird. Die Abkühlung des Wassers erfolgt zunächst dadurch, daß der Luftstrom bei seinem Eintritt in den Kühlturm kälter als das Wasser ist, sich an letzterem erwärmt und diesem dadurch Wärme entzieht. Der Hauptantrieb der Kühlwirkung entfällt jedoch auf die Verdunstung des Wassers, wobei sich der Luftstrom mit Wasserdampf sättigt. (Daß beim Verdunsten von Flüssigkeiten letzteren Wärme entzogen

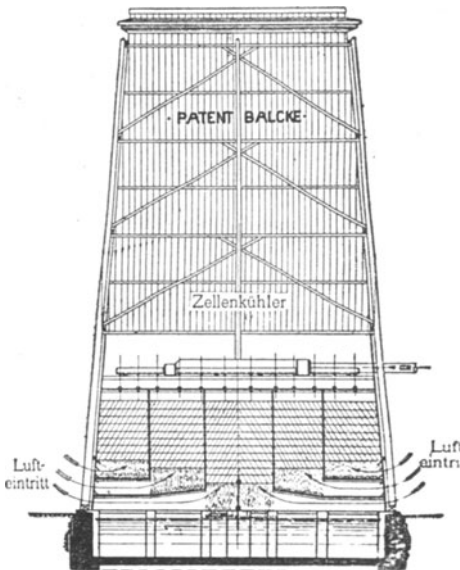


Fig. 92. Kaminkühler von Balcke, Bochum.

hier ist, erstens je kälter und trockener die Luft bei ihrem Eintritt in den Kaminkühler und zweitens je höher ihre Temperatur und ihr Sättigungsgrad (Feuchtigkeitsgehalt) bei ihrem Austritt aus der Wasserrieselvorrichtung des Kaminkühlers ist. Die Kühlfähigkeit der Luft ist daher von der Witterung abhängig; ist sie am Anfang schon feucht, so nimmt sie ab. Zur Feststellung, inwieweit eine Wasserkühlung bei einer bestimmten Beschaffenheit der Luft möglich ist, dient das sogenannte feuchte Thermometer, das ist ein gewöhnliches Quecksilberthermometer, dessen Kugel mit Leinwand oder Gaze unwickelt ist und durch Beträufelung dauernd feucht gehalten wird. Setzt man dieses Thermometer einem Luftzuge aus (indem man es be-

wird, ist bei rasch verdunstenden Flüssigkeiten, z. B. bei Äther, Benzin, Spiritus sehr deutlich an dem Kältegefühl bemerkbar, wenn man die Hand damit benetzt hatte). Die Kühlfähigkeit der Luft ist ferner davon abhängig, in welchem Maße sie sich im jeweiligen Falle mit Wasserdampf zu sättigen vermag. Während die Luft bei 0° Celsius in 1 kg (etwa  $\frac{3}{4}$  Kubikmeter) nur 3,78 Gramm Wasser aufzunehmen vermag, beträgt dieser Wassergehalt bei 30° Celsius bereits 26,3 Gramm.

Hieraus ergibt sich, daß die Kühlwirkung um so grö-

fächelt), so beginnt das Thermometer bald bis unter die Lufttemperatur zu sinken. Der erreichbare tiefste Punkt heißt die Kühlgrenze, unterhalb welche die Kühlwassertemperatur im Kaminkühler theoretisch nicht sinken kann. (Zu der Praxis wird sie tatsächlich jedoch nicht erreicht.) Die Kaminkühler der Aktiengesellschaft Balcke, Bochum, bestanden anfänglich nur aus den äußeren Umfassungswandungen mit der Wasserrieselvorrichtung. Die Luft trat an dem gesamten Querschnitt der unteren Kaminöffnung ein, was jedoch den Nachteil hatte, daß die größte Luftmenge gleich in der Nähe der Wandung in die Höhe stieg, während der Luftzug in der Mitte des Kühlers sehr schwach blieb. Infolgedessen war auch die Kühlung des Wassers in der Nähe der Kaminränder stark, im Innern aber gering. Bei einer neueren patentierten Ausföhrung erhalten die Kaminkühler dieser Firma unten eine Treppenroßzuföhrung, bei welcher die Luft auf der ganzen unteren Öffnung des Kühlers ohne vorherige Beröhrung mit dem ablaufenden geköhlten Wasser eintreten kann. Bei dieser Luftzuföhrung ergibt sich der Vorteil, daß der Sammelbehälter unterhalb des Kühlers sehr klein ausgeföhrt und ein etwa erforderlicher großer Behälter an eine passendere Stelle verlegt werden kann.

Die Wasserbeföderung in den Kaminkühler erfolgt durch eine besondere Pumpe, nicht durch die Kondensatorpumpe. Bei den Balckeschen Kaminkühlern ist durch die Anwendung einer besonderen Rieselvorrichtung die Föerderhöhe der Pumpe beschränkt, so daß der Kraftverbrauch der letzteren sehr gering ist (sogenannter gefällverlustfreier Kaminkühler).

## XVI. Die Zwischen- und Abdampfverwertung.

Unter der Zwischen- und Abdampfverwertung versteht man die Vereinigung des Kraftbetriebes mit dem Heizungsbetrieb. Sie ist anwendbar in industriellen Anlagen, wie Zuckerrfabriken, Papier- und Zellstofffabriken, Brauereien usw., in denen außer für Kräfteerzeugung bedeutende Dampfmen gen für Heiz- und Noehzwecke gebraucht werden, und kann an Stelle der üblichen Beschaffung von Heizdampf durch Niederdruckkessel oder durch die Reduzierung von hochgespanntem Dampf in Reduzierventilen zu wesentlichen Ersparnissen föhren, wie folgende Betrachtung zeigen möge.

Zur Erzeugung von 1 kg Dampf von 13 Atm. Überdruck aus 1 kg Wasser von 0° Celsius sind folgende Wärmemengen erforderlich: 1. zur Erwärmung des Wassers auf dessen Siedepunkt, der bei 13 Atm. wesentlich höher als bei dem atmosphären Druck und zwar bei 191° Celsius liegt,

sind 193,4 Wärmeeinheiten, 2. zur Umwandlung von 1 kg Wasser von 191° Celsius in Dampf von derselben Temperatur sind 471,3 Wärmeeinheiten erforderlich; die gesamte, in 1 kg Dampf von 13 Atm. Druck enthaltene Wärme beträgt demnach 664,63 Wärmeeinheiten. Die erste Wärmemenge nennt man die Flüssigkeitswärme, die zweite die Verdampfungswärme.

Arbeitet eine Dampfmaschine mit Auspuff, so sinkt der Dampfdruck beim Verlassen der Maschine auf etwa 1,2 Atm.; der Dampf hat alsdann eine Temperatur von 104,2° Celsius und enthält noch 638,3 Wärmeeinheiten (102,28 W.E. als Flüssigkeits- und 535,02 W.E. als Verdampfungswärme), die unausgenutzt in die Luft abziehen und als verloren anzusehen sind.

Bei Kondensationsbetrieb arbeitet die Dampfmaschine dem Auspuffbetrieb gegenüber insoweit vorteilhafter, als der Gegendruck in der Maschine um 1 Atm. niedriger und dementsprechend die nutzbar gemachte Wärmemenge größer ist. Immerhin sind in dem Dampf von einer Kondensatorspannung von 0,1 Atm. (=  $\frac{9}{10}$  Vakuum) noch 620,40 W.E. (45,7 W.E. als Flüssigkeits- und 574,7 W.E. als Verdampfungswärme) enthalten, die bei der Einspritzkondensation vollständig, bei Oberflächenkondensation zum großen Teil in das Kühlwasser übergehen und mit letzterem unbenutzt ablaufen. Eine bessere Ausnutzung der anfänglichen Dampfwärme ist in diesen Fällen nur möglich, wenn das ablaufende Kühlwasser und bei Oberflächenkondensation das Kondenswasser zur Kesselspeisung verwendet werden.

Eine wesentlich bessere Wärmeausbeute sucht man durch die Zwischen- oder Abdampfverwertung zu erreichen, wobei der Dampf, nachdem er in einer Dampfmaschine Arbeit geleistet hat, in eine Heizanlage geleitet wird, wo er seine noch verbliebene Wärme, und zwar namentlich die Verdampfungswärme (im obigen Falle 535,0 W.E.), abgeben muß, indem er kondensiert. Zu berücksichtigen ist allerdings, daß hierbei infolge des Anwachsens des Gegendruckes an der Maschine deren Dampfverbrauch steigt, so daß letztere entweder mit größerer Füllung oder mit höherem Dampfdruck arbeiten muß, um dieselbe Arbeitsleistung wie bei reinem Kondensationsbetrieb zu erzielen.

Je nach dem Verhältnis, in welchem die Dampfmen gen für Heiz- und für Kraftzwecke zu einander stehen, lassen sich für den kombinierten Heiz- und Kraftdampfbetrieb zwei Fälle unterscheiden:

1. Der Bedarf an Heizdampf wird durch den Abdampf der Dampfmaschine vollständig oder annähernd gedeckt, oder die von letzterer zu

leistende Arbeit wird in annähernd gleichem Verhältnis verbraucht, wie die von ihr gelieferte Heizdampfmenge.

2. Die für Heizzwecke benötigte Dampfmenge schwankt innerhalb weiter Grenzen und steht in keinem bestimmten Verhältnis zu der für Kraftzwecke erforderlichen Dampfmenge.

Im ersten Fall empfiehlt sich die Anwendung von Gegendruckturbinen, im zweiten von Anzapf- oder Zwischendampfturbinen. An Stelle der Dampfturbinen können aber auch Kolbendampfmaschinen treten, bei letzteren werden zur Wiedergewinnung des Zylinderöles und auch deshalb Dampftöler eingebaut, weil der entölte Dampf eine bessere Heizwirkung erzielt und das ölfreie Kondensat zur Kesselspeisung verwendbar ist.

**Die Gegendruckturbinen.** Der Fall, daß in einer industriellen Anlage der Bedarf an Heiz- und Kraftdampf sich so gut ergänzen, daß mit einer Gegendruckturbine allein alle Ansprüche an die Beschaffung der nötigen Kraft und die Heizung befriedigt werden können, tritt nicht häufig auf. Es ist deshalb zumeist noch eine besondere Kraftmaschine, eine Niederdruckkesselanlage für Heizdampferzeugung oder eine direkte Rohrleitung zur Entnahme von Heizdampf aus der Hochdruckkesselanlage vorzusehen.

**Die Zwischendampfmaschine.** Steht die für Heizzwecke benötigte Dampfmenge nicht in einem bestimmten Verhältnis zum Kraftbedarf, oder kann die Abwärme der Dampfturbine nicht voll in der Heizanlage ausgenützt werden, so ist es wirtschaftlicher, die Kraftmaschine auf Kondensation arbeiten zu lassen und die zeitweilig gerade benötigte Menge an Heizdampf bei dem gewünschten Druck durch eine Anzapfung der Kraftmaschine zu entnehmen. Bei Kolbendampfmaschinen erfolgt diese Entnahme an dem Aufnehmer zwischen dem Hoch- und Mitteldruckzylinder, bei den Dampfturbinen zwischen ihren Hoch- und Niederdruckteilen, die durch eine Labyrinthdichtung voneinander getrennt sind.

Zur Konstanthaltung des Druckes in der Heizdampfleitung für den

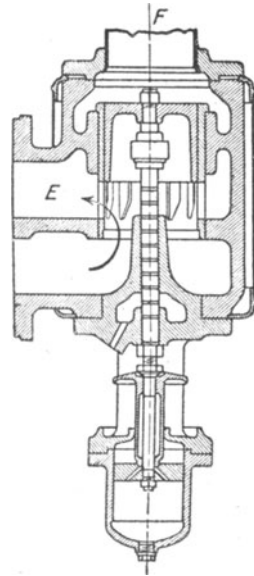


Fig. 93. Automatisches Überstromventil ist eingebaut hinter der Stelle für Heizdampfentnahme und hält den Druck in der Heizdampfleitung konstant, indem es die Dampfszufuhr zum Niederdruckteil der Turbine bei veränderter Heizdampfmenge vermehrt oder vermindert. Die Spindel hat Labyrinthdichtung.

Fall, daß sich die Belastung der Turbine und die entnommene Heizdampfmenge verändern, dient bei den Brown-Boveri-Turbinen das in Fig. 93 dargestellte Kolbenventil. Während von unten der Druck der Anzapfstelle auf den Kolben des Ventils wirkt, denselben nach oben drückt und den Weg des Dampfes nach dem Niederdruckteil freigibt, wirkt der Dampfdruck des Kessels durch das Rohr F auf die obere Seite des Kolbens. Wird mehr Heizdampf gebraucht, so wird der Kolben nach unten gedrückt und die Dampfschleife durch ihn mehr verdeckt, so daß weniger Dampf nach der Niederdruckseite der Turbine überströmen kann. Der Druck des durch das

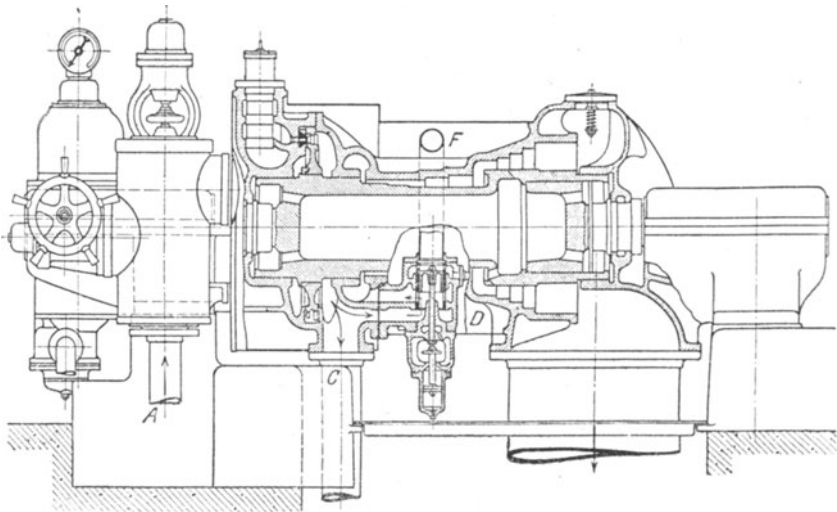


Fig. 94. Anzapfturbine von Brown, Boveri & Co. mit sichtbarem Überströmventil vor dem Niederdruckteil der Turbine.

Rohr F eintretenden Kesseldampfes ist durch ein Reduzierventil vermindert und kann an letzterem den Bedürfnissen der Fabrikation entsprechend von Hand verwendet werden, wodurch auch eine Regulierung des Anzapfdruckes in gewissen Grenzen möglich ist. Bei den Kolbendampfmaschinen wird für die Regulierung des Druckes des Heizdampfes ebenfalls ein Druckregler eingebaut.

Wird die Heizdampfentnahme verändert, wird sie beispielsweise vermindert, oder ändert sich die Belastung der Dampfmaschine, wobei sich die Füllung des Hochdruckzylinders etwa vergrößert, so vergrößert sich

auch die Spannung im Niederdruckzylinder; den Ausgleich der hiermit verbundenen Geschwindigkeitszunahme der Maschine besorgt dann in der gewöhnlichen Weise der Regulator.

## XVII. Das Schmieröl.

Das Schmieröl hat die Reibung zwischen zwei aufeinander gleitenden Flächen zu vermeiden, der schädlichen Erwärmung und der zu schnellen Abnutzung der Gleitflächen vorzubeugen und den Kraftverbrauch der betreffenden Maschine oder Welle einzuschränken. Bei der Schmierung überziehen sich die aufeinander reibenden Flächen mit einer dünnen Ölschicht, so daß sie eigentlich nicht miteinander in Berührung kommen und nicht Metall auf Metall, sondern Öl auf Öl läuft. Damit dieser Zustand wirklich erreicht wird und zugleich kein allzuhoher Ölverbrauch auftritt, müssen das Schmieröl und die Reibflächen bestimmten Anforderungen entsprechen.

**Die Mineralöle.** Die Schmiermittel sind entweder pflanzlichen, tierischen oder mineralischen Ursprungs. Die Pflanzenöle, Rüböl, Oliven- oder Baumöl, Baumwollsamensöl usw. und die tierischen Öle, Talg, Knochen- oder Knochenöl usw. werden im Dampfmaschinenbetriebe nicht mehr angewendet. Eine Ausnahme macht nur Talg, der früher viel zur Dampfzylinder-schmierung diente und auch gegenwärtig noch als Zusatz zum Mineralöl verwendet wird. Für den Dampfmaschinenbetrieb finden wegen ihres billigen Preises und ihrer großen Beständigkeit die Mineralöle fast ausschließliche Anwendung.

Die Mineralöle werden aus dem Rohpetroleum hergestellt, das eine Menge Bestandteile, wie Benzin, Leuchtpetroleum u. a. enthält. Durch Destillation, das ist durch langjames Erhitzen, werden diese Bestandteile aus dem Rohpetroleum in Dampfform ausgetrieben und durch Abkühlung in Retorten aufgefangen. Die Destillate, welche bei einer Temperatur von etwa 200—400° Celsius aus dem Rohpetroleum entweichen, sind die Mineralöle. Da bei jeder Temperatur ein anderes Mineralöl entsteht, welches sich von den bei höheren Temperaturen gewonnenen Mineralölen durch seinen Flammpunkt, seine Zähflüssigkeit und Schmierfähigkeit unterscheidet, so sind Mineralöle sehr verschiedenartig. Diese Verschiedenartigkeit hängt auch von der Zusammensetzung und Herkunft des Rohpetroleum ab; so haben z. B. das galizische und das deutsche Rohpetroleum oder Erdöl einen größeren Gehalt an Schmierölen und einen kleineren Gehalt an



Benzin und Leuchtpetroleum als das amerikanische, russische und rumänische Erdöl. Auch sind die daraus gewonnenen Schmieröle je nach ihrer Herkunft von verschiedener Beschaffenheit.

Das Schmieröl muß zunächst eine genügende **Schlipfrigkeit** haben, damit es sich auf die Schmierflächen gut verteilt, fest an denselben haftet und sich nicht so leicht von denselben abreiben läßt. Man nennt diese Zusammenhangs- oder Klebekraft, mit welcher das Schmieröl an den Laufflächen einer Lagerstelle mit eisernen Zapfen und Weißmetallbüchsen haftet, die Adhäsionskraft zwischen Öl und Eisen oder Weißmetall. Die Adhäsion des Schmieröles soll also möglichst groß sein.

Das Schmieröl muß ferner eine gewisse **Zähflüssigkeit** haben, d. h. es muß den jeweiligen Verhältnissen entsprechend dünn- oder dickflüssig sein. Würde man z. B. die mit sehr hoher Umdrehungszahl (etwa 4000 in der Minute) umlaufenden dünnen Spindeln der Spinnmaschinen (Selfaktor) mit einem schwerflüssigen Öl schmieren, so würde die Zähflüssigkeit des Öles einen viel zu hohen Kraftverbrauch erfordern und das verwendete Öl als nicht geeignet zu bezeichnen sein. Andererseits würde aber bei der Schmierung einer schweren Schwungradwelle einer Dampfmaschine mit einem dünnflüssigen Öl letzteres aus dem Lager zu leicht seitwärts herausgedrängt werden und ein Warmlaufen und Beschädigen der Lager sich nur durch einen überaus reichlichen Schmierölverbrauch verhüten lassen. Die Zähflüssigkeit des Öles ist demnach von großer Bedeutung für die Schmierung. Man nennt sie auch die Kohäsion oder die Viskosität des Öles.

Zur **Bestimmung der Zähflüssigkeit** eines Öles benutzt man die **Viskosimeter**. Dieselben bestehen in der Hauptsache aus einem mit einer Wärmevorrichtung versehenen Behälter, der am unteren Ende ein absperrbares Ausflußrohr von bestimmtem Durchmesser und bestimmter Länge hat. Aus diesem Rohr läßt man etwa 200 Kubikzentimeter Öl bei einer genau festgestellten Temperatur auslaufen und vergleicht die hierzu erforderliche Zeit mit der Auslaufzeit einer gleich großen Menge destillierten Wassers von 20° Celsius. Die Temperatur des Öles stellt man je nach dessen Verwendungszweck auf 20 oder 50° Celsius (Maschinenöl), oder bei 100, 180 und auch bei 220° Celsius (Zylinderöl) ein (Engler'sches Viskosimeter). Läuft die Ölmenge bei dieser Temperatur aus dem Viskosimeter 20 mal so langsam heraus wie Wasser von 20° Celsius, so sagt man, die Viskosität des Öles beträgt 20.

Die hessische Staatsbahn verlangt z. B. bei Zylinderöl eine Viskosität von mindestens 18 bezogen auf Wasser von 50° Celsius.

Für die Zylinder schmierung ist noch sehr wichtig, daß sich das Öl bei

der in Frage kommenden Dampftemperatur nicht zerfällt. Die Temperatur, bei welcher die leicht siedenden Bestandteile des Öles verdampfen und bei welcher sich bereits brennbare Gase entwickeln, muß bei Satttdampf mindestens 20, bei Heißdampf mindestens 5% höher als die Dampftemperatur sein. Bei ganz hoher Überhitzung müssen reine Mineralöle von hohem Flammpunkt, großer Zähflüssigkeit (Viskosität) und Schlüpfrigkeit (Adhäsion) verwendet werden, da die Öle durch Erwärmung dünnflüssig werden. Das Verhalten dieser Heißdampföle untersucht man mitunter derart, indem eine genau abgewogene Dlnenge (etwa 50 kg) eine Zeitlang gleichmäßig auf die Dampftemperatur erhitzt und nach dem Abkühlen ihren Gewichtsverlust festgestellt wird.

Bei weniger hoch erhitztem Dampf werden auch sogenannte **Compoundöle** verwendet, d. h. helle Mineralöle, die bis zu 5% mit tierischen Fetten (Talg oder Klauenfett) versetzt sind. Dieser Fettzusatz soll bewirken, daß die bei weniger geeigneten Mineralölen auftretenden Ökrusten an den Maschinenteilen wieder verschwinden oder deren Ansaß von vornherein verhütet wird. Er darf zur Verhütung von Anfrassungen der Metallteile durch Fettsäure nicht zu hoch bemessen werden.

Schmieröle für Maschinen, welche bei **hoher Kälte** arbeiten, z. B. Lokomotiven, Eisenbahnwagen und Kälteerzeugungsmaschinen müssen bei bestimmten Kältegraden noch flüssig bleiben und keine festen Auscheidungen absondern. Man überzeugt sich von der Kältebeständigkeit dieser Öle, indem sie in einer Kältemischung auf gewisse Temperaturen abgekühlt werden.

Die Schmieröle werden häufig durch billige Zusätze, wie Asphalt, Seife, Harze, teerhaltige Rückstände usw. dickflüssiger und dunkler gemacht. Da hierdurch ihre Schmierfähigkeit und zwar mitunter recht erheblich verschlechtert wird, sind diese Zusätze als Fälschungen zu bezeichnen.

Die Schmieröle müssen ferner zur Verhütung von Anfrassungen an den Reibflächen säurefrei sein und dürfen an der Luft nicht verharzen. Im allgemeinen sind die Mineralöle luftbeständiger als die Pflanzen- oder tierischen Öle, die leicht ranzig werden und zur Säurebildung neigen. Das Auftreten von Säuren in den Schmiermitteln macht sich bei Messing- und Bronzelagern häufig durch einen schmierigen, grünlichen Überzug auf den Außenseiten der Lagerschalen bemerkbar.

**Die Graphitschmierung.** Infolge der während der Kriegszeit eingetretenen Knappheit an Schmierölen hat die Graphitschmierung an Verbreitung zugenommen. Man unterscheidet natürlichen und künstlichen Graphit, der bei Dampfmaschinen nur als Zusatz zum Schmieröl verwendet wird. Die im Handel gebräuchlichsten Graphitölmischungen enthalten

etwa 10% Graphit und werden dem Schmieröl zugefetzt, wobei sich eine sparsamere Schmierung auch dann noch ergibt, wenn letzterem nur 1 bis 2% der Graphitölmischung zugefetzt werden. Da bei den Dampfmaschinen die Schmierkanäle sehr eng sind, muß durch Anwendung von Rührapparaten und durch Vermeidung von Säcken in den Kanälen dafür gesorgt werden, daß sich letztere nicht durch auscheidenden Graphit verstopfen. Die schmierende Wirkung des Graphits beruht darauf, daß er in den feinen Poren der Reibflächen haftet und das mit ihm vermischte Öl von letzteren nicht so leicht weggedrückt werden kann, wie reines Schmieröl.

### Die Schmierapparate.

**Das Schmieren.** Die schwer belasteten Lagerstellen, d. h. die Hauptwelle, der Kreuzkopfbolzen, der Kurbelzapfen und die Gleitschuhführung sind reichlich zu schmieren; mehr Öl kann beim Schmieren der weniger belasteten Lager in der Steuerwelle, den Laufbüchsen der Ventilschneideln, den Steuerungssteilen usw. gespart werden. Bei allen diesen Stellen kann das zu reichlich verwendete, abspritzende Öl durch geeignete Auffangbleche wieder aufgefangen und nach einer Filtration wieder an derselben Schmierstelle verwendet werden. Wesentlich ist hierbei, daß die Auffangbleche möglichst dicht schließen und das Öl vor Verunreinigung durch Staub geschützt wird. Schwieriger ist es für den Maschinisten, beim Schmieren des Zylinders das richtige Maß zu treffen und sowohl eine Übergeudung, wie durch eine zu knapp bemessene Ölmenge das Trockenlaufen des Kolbens und Stillstände und Reparaturen der Dampfmaschine zu verhüten.

**Die Zylinderschmierapparate.** Den Reibungsflächen im Innern der Dampfmaschine, also dem Schieber und dem Kolben, muß das Schmieröl durch den Dampf zugeführt werden. Das Schmieröl wird daher tropfenweise in den einströmenden Dampf gebracht, in welchem es Dampfform annimmt und beim Hindurchgehen durch die Maschine die Gleitflächen benetzt.

Der Zylinderschmierapparat (Fig. 95) wird an der Dampfeintrittsstelle vor dem Schieberkasten angebracht, nötigenfalls unter Anwendung eines Krümmers. Die Apparate sind für gesättigten Dampf bis zu etwa 5 Atm. Überdruck verwendbar und bei kleinen und älteren Dampfmaschinen im Gebrauch. Beim Füllen ist der untere Hahn durch eine Rechtsdrehung zu schließen und der obere Hahn zu öffnen. Letzterer ist nach beendeter Füllung zu schließen. Öffnet man alsdann den unteren Hahn wieder

durch eine Linksdrehung, so tritt der Dampf in den Apparat ein und verdichtet sich im oberen Teil des Apparates allmählich zu Wasser, welches auf den Boden des Gefäßes sinkt, so daß das hierbei verdrängte Öl durch das Dampfrohr abfließt und in den strömenden Dampf gelangt. Die Regulierung der Schmierung erfolgt durch Verstellen des unteren Hahnes. Letzterer hat noch eine Durchbohrung, mittels welcher das in dem Gefäß sich ansammelnde Kondenswasser vor dem Auffüllen mit Öl abzulassen ist. Fig. 96 stellt eine andere Form desselben Apparates dar. Fig. 98 und 99 stellen Zylinderschmierapparate derselben Firma dar, der sich dem vorher beschriebenen Apparate gegenüber durch eine bessere Regulierfähigkeit der Ölschmierung auszeichnet. Beim Füllen werden die unteren Ventile

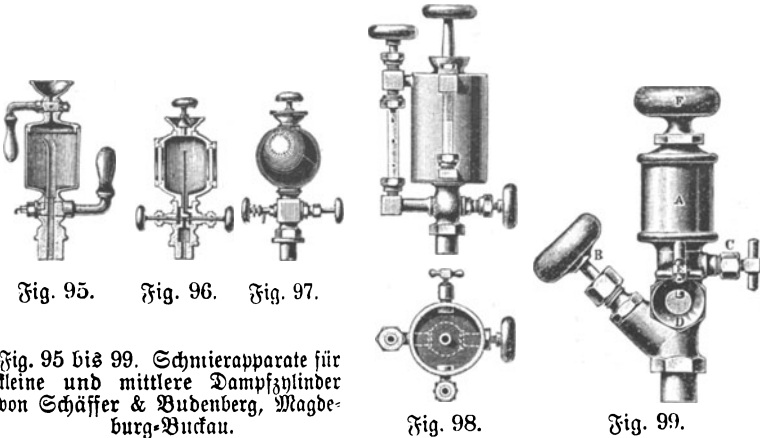


Fig. 95 bis 99. Schmierapparate für kleine und mittlere Dampfzylinder von Schäffer & Budenberg, Magdeburg-Buckau.

geschlossen, die obere Verschlusschraube wird gelöst und nach dem Füllen wieder geschlossen. Durch Öffnen des unten rechts befindlichen Ventiles wird der Apparat in Betrieb gesetzt und die Schmierung reguliert. Das andere untere Ventil dient zum Ablassen des Kondenswassers aus dem Apparat und erforderlichen Falles zum direkten Schmieren, wobei das Ventil zu schließen ist.

Häufig angewendet ist bei Dampfmaschinen bis zu etwa 10 Atm. Betriebsdruck der nebenstehend abgebildete Zylinderschmierapparat (Fig. 100) mit Tropfenschmierung, wobei der Vorteil besteht, daß die Öltropfen auf dem Wege vom Schmierapparat nach dem Dampfleitungsrohr in einem Schauglase sichtbar sind. Diese Apparate unterscheiden sich von den bereits besprochenen dadurch, daß der Dampfeintritt und der Austritt in dem

Apparat völlig voneinander getrennt sind. Ferner kondensiert sich der Dampf nicht im Ölbehälter des Apparates, sondern in der vom Dampfrohr

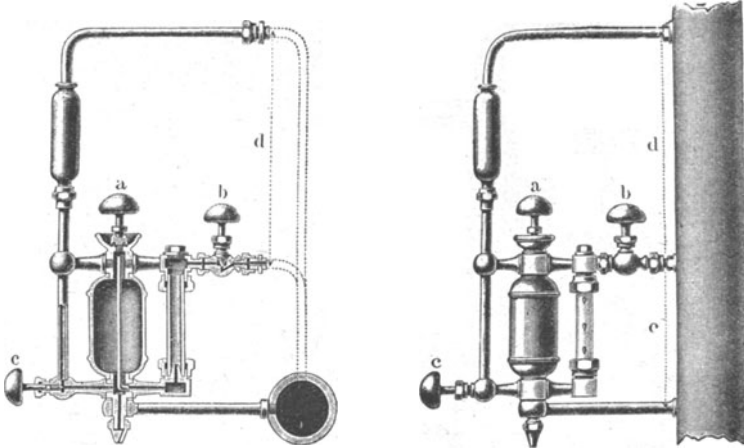


Fig. 100 und 101. Zylinderschmierapparat von Schäffer & Budenberg, Magdeburg-Buckau.

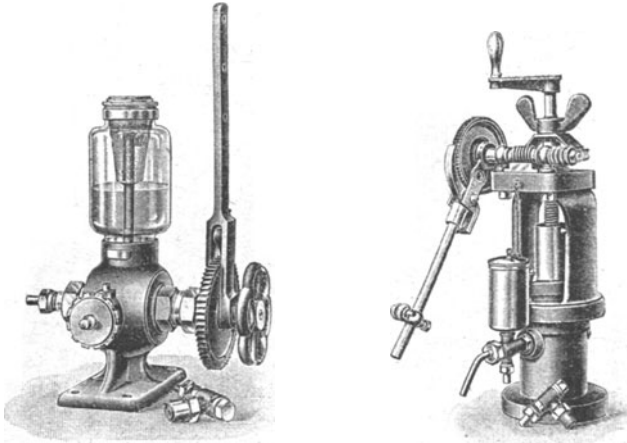


Fig. 102 und 103. Schmierpumpe und Schmierpresse für Dampfzylinder von Schäffer und Budenberg.

abzweigenden Rohrleitung, in welcher ein kleiner Wasserjacket eingebaut ist. Das sich darin ansammelnde Kondenswasser drückt von unten in das Ölgefäß und preßt infolge der Druckhöhe *d* das auf ihm schwimmende Öl

durch das in der Mitte der Ölgefäße befindliche dünne Rohr nach dem Schauglase, in welchem die Öltropfen aufsteigen, um schließlich durch das Ventil b hindurch in die Dampfleitung nach der Dampfmaschine zu gelangen. Beim Anstellen des Apparates öffnet man zunächst das Ventil b langsam und völlig und dann das Ventil c soweit, bis die Öltropfen im Schauglase aufsteigen. Die Regulierung der Schmierung erfolgt am Ventil c; wird letzteres mehr oder weniger geöffnet, so verändert sich die Menge des in den Apparat eintretenden Kondenswassers und hiermit zugleich die Zahl der im Schauglase aufsteigenden Öltropfen. Beim Abstellen des Apparates sind die Ventile b und c zu schließen und das im Ölbehälter befindliche Wasser durch die untere Verschlußschraube abzulassen. Das Schauglas und der Apparat müssen stets völlig gefüllt sein. Das Wasser in dem Schauglase erhält einen Zusatz von Salz, wodurch sein spezifisches Gewicht vergrößert und schnelleres Aufsteigen der Öltropfen bewirkt wird.

Die **Schmierpresse** (Fig. 103) ist wegen ihrer unbedingten, auch bei hohem Dampfdruck und bei überhitztem Dampf bewährten Zuverlässigkeit sehr häufig im Gebrauch. Der Hebel an dem Transportrad erhält eine hin- und hergehende Bewegung durch eine Verbindungsstange, welche an der Steuervelle oder einer Exzenterstange befestigt ist. Durch einen Schneckenradantrieb wird die Schraubenspindel in Umdrehung versetzt, wobei sie den Kolben in das mit Öl gefüllte Pumpengehäuse schiebt und das Öl aus letzterem heraus durch eine Rohrleitung nach der Schmierstelle im Zylinder oder im Schieberkasten preßt. Zur Verhütung von Beschädigungen der Pumpe wird der Kolben an seiner tiefsten Stelle selbsttätig abgeschaltet, was durch die mittels einer Flügelmutter angezogenen Federkuppelung erreicht wird. Das Füllen der Pumpe erfolgt durch Hochziehen des Kolbens. Das Öl wird hierbei in den links ersichtlichen Ölbehälter gefüllt, der durch einen kurzen Rohrstutzen mit einem Dreiweghahn mit dem Pumpengehäuse verbunden ist. Beim Zugangsetzen ist der Durchlaß des Dreiweghahnes nach der Pumpe zu schließen und die Federkuppelung wieder anzuziehen.

Eine Ersparnis an Schmieröl und zugleich eine gute Schmierung des Kolbens erzielt man durch Vermehrung der Schmierstellen am Zylinder. Während anfänglich nur der Dampf an der Eintrittsstelle in die Maschine geölt wurde, ging man später bei Anwendung der Schmierölpresen dazu über, bei den Ventilmaschinen an jedem Dampfeinlassventil eine Schmierölzuführung anzubringen; neuerdings erhält der Zylinder außerdem eine dritte Schmierölleitung, die in der Mitte seines Scheitels mündet.

**Die Dampfenföler** haben während des Krieges weite Verbreitung gefunden, waren aber bereits seit 15 Jahren vor dem Kriege in Anwendung und sind für große Dampfanlagen nahezu unerlässlich. Ihre Aufgabe besteht darin, das Öl aus dem Abdampf der Dampfmaschine herauszuziehen. Sie werden dicht hinter dem Dampfzylinder eingebaut und sind sowohl für Auspuff- wie für Kondensationsdampfmaschinen in Anwendung. Eingehende Versuche über den Wirkungsgrad der Dampfenföler, die in verschiedenen Bauarten ausgeführt werden, sind vom Bayerischen Dampfkesselüberwachungsverein angestellt worden. Hierbei wurde festgestellt, daß mit einzelnen Apparaten bis zu 90% des dem Dampfe zugesetzten Öles

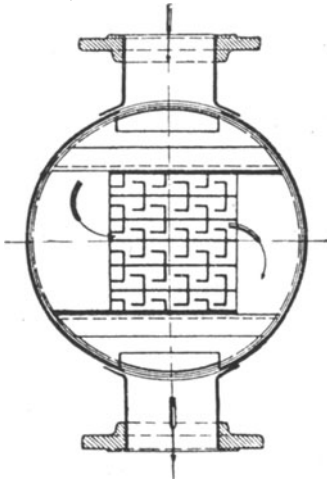


Fig. 104. Stoßkraftentöler von Seiffert & Co. A. G., Berlin.

wieder gewonnen werden. Eine vollständige Entölung des Abdampfes ist allerdings nicht erreichbar, so daß auch der durch den Entöler hindurchgegangene Dampf noch geringe Ölmenge enthält. Nach den Versuchsergebnissen des Bayerischen Dampfkesselüberwachungsvereins enthält bei gut wirkenden Entölern das aus dem entölten Dampf durch Abkühlung niedergeschlagene Wasser auf 1 Kubikmeter nur 10 bis 15 Gramm Öl. Dieser Ölgehalt ist so gering, daß das Wasser als Kesselspeisewasser wieder verwendbar ist; ist er größer, so empfiehlt sich, das Wasser vor dem Einspeisen in den Kessel nochmals durch einen Filter zu leiten.

Die Wirkung sämtlicher Dampfenfölerarten beruht darauf, daß die feinen Schmieröltropfen durch einen plötzlichen Richtungs- und Geschwindigkeitswechsel aus dem strömenden Dampfe ausgeschieden werden.

Die Stoßkraftentöler der Firma Franz Seiffert & Co., A. G., Berlin (Fig. 104), ist ein weites, entweder zylindrisch oder quadratisch ausgeführtes, mit einem aufgeschraubten Deckel verschlossenes Gefäß, in welchem eine große Anzahl von Winkel- oder U-Eisenstäben untergebracht ist, an denen der Dampf einen scharfen Richtungswechsel erfährt und durch die er in viele Einzelstrahlen zerlegt wird, so daß die feinen Öltropfen an den Eisenstäben abgestoßen werden. Das Öl läuft an letzteren herunter und tropft auf den Gefäßboden, von wo aus es durch ein Rohr nach einem Ölfäßgefaß abgeleitet wird.

Arbeitet die Dampfmaschine mit Auspuff, so genügt für die Regulierung des Ölabflusses die Einschaltung eines Hahnes oder eines Kondensstopfes in die Rohrleitung nach dem Ölkürlargefäß (siehe Fig. 105). In letzterem trennt sich das Öl vom Wasser. Vor seiner weiteren Verwendung ist es durch einen Filter zu leiten und kann alsdann unter Zusatz von frischem

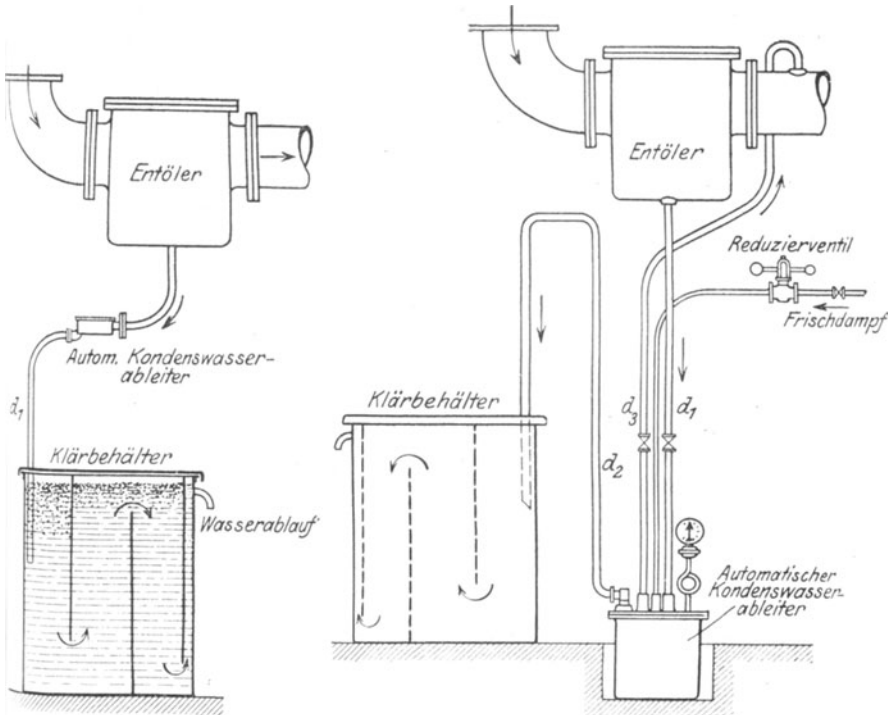


Fig. 105 und 106. Abdampfentölungsanlagen von Gebr. Weisbach, Chemnitz. Links für Auspuff, rechts für Kondensationsbetrieb.

Öl wieder zum Schmieren des Zylinders oder auch für sich allein zum Schmieren von Lagerstellen verwendet werden.

Arbeitet die Dampfmaschine mit Kondensation (Fig. 106), so läuft das aus dem Entöler ablaufende Ölwassergemisch zunächst durch das Rohr  $d_1$  in einen automatischen Ableiter, der durch die Rohrleitung  $d_3$  mit der Abdampfleitung nach dem Kondensator verbunden ist, so daß auch in ihm ein Vakuum herrscht. Hat sich der automatische Ableiter allmählich mit dem Ölwassergemisch gefüllt, so öffnet ein in seinem Innern untergebrachter



Schwimmer ein Dampfventil von der Frischdampfleitung. Der Ableiter wird unter Dampfdruck gesetzt und von letzterem das Ölwassergemisch durch die Rohrleitung  $d_2$  in den Klärbehälter gedrückt. Ist der Ableiter entleert worden, so senkt sich der Schwimmer wieder und schließt die Dampfableitung ab. Damit der Dampfdruck in dem Ableiter nicht zu hoch wird, wird in die Frischdampfleitung ein Reduzierventil eingeschaltet. Die Rohrleitung  $d_2$  muß, wie auch aus der Zeichnung ersichtlich ist, ein Rückschlagventil haben, welches das Eindringen von Luft in den Ableiter verhütet.

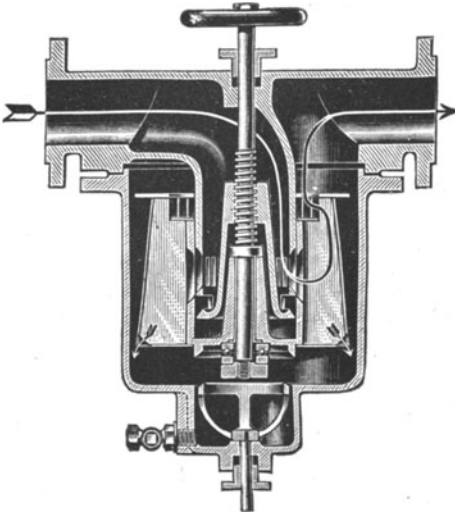


Fig. 107. Schleuderentöler von Scheibe & Söhne, Leipzig.

ches der Dampf in der Richtung des eingezeichneten Pfeiles durchströmt. Hierbei setzt er eine im Innern des Gefäßes befindliche Zentrifuge in Bewegung, durch welche die im Dampfe enthaltenen Öltropfen gegen eine schnell rotierende Trommel geschleudert werden. Da sich die Trommel nach unten konisch erweitert, gleitet das Öl nach dem unteren Trommelrand zu, wo es durch Löcher (siehe die kleinen Pfeile in der Abbildung) gegen die Innenwand des Apparates gespritzt wird. Das auf dem Gefäßboden sich ansammelnde Öl und Wasser werden in eine Rohrleitung nach dem Klärbehälter geleitet.

Die Dampfentöler sind auf ihre Wirkungsweise ständig zu kontrollieren, indem man die verbrauchten Ölmenigen mit den wiedergewonnenen ver-

Dieses Rückschlagventil muß gut dicht halten, da andernfalls das im Ableiter und im Kondensator bestehende Vakuum (Luftleere) gestört werden würde.

Der erwähnte automatische Ölwasserableiter wird bei großen Dampfanlagen durch eine Transmissionspumpe ersetzt, welche ununterbrochen läuft und das aus dem Entöler ablaufende Ölwassergemisch nach dem Klärbehälter befördert.

Fig. 107 zeigt einen Schleuderentöler der Firma Scheibe Söhne, Leipzig. Derselbe besteht aus einem gußeisernen Gehäuse, wel-

gleich. Ergibt sich ein Nachlassen ihrer Wirkung, so ist der Dampftöler zu öffnen und innen zu reinigen, da die innere Verschmutzung des Entölers den Abfluß des ausgeschiedenen Oles erschwert, so daß letzteres wieder vom Dampf fortgerissen wird und der Entöler schlecht arbeitet. Das aus dem Entöler wiedergewonnene Öl verliert natürlich durch die hohe Dampftemperatur an Güte, so daß es viel dicker und dunkler als Frischöl ist.

## XVIII. Zubehörteile zu Dampfmaschinen.

**Die Kondenswasserableiter.** Dieselben dienen dazu, das sich sammelnde Kondenswasser aus Dampfsammlern, Dampfleitungen, Heizapparaten, Dampftrockenzylindern usw. selbsttätig zu entfernen. Kleine Dampfsammler und kurze Rohrleitungen brauchen keine Kondenswasserableiter, da das wenig sich darin bildende Wasser von der Dampfströmung mit fortgerissen wird. Sie müssen aber wenigstens mit einem Wasserablaßventil ausgerüstet sein, womit bei der täglichen Betriebsaufnahme das aus dem Dampfe ausgeschiedene Wasser abgelassen werden kann. Dampftrockenzylinder (z. B. an Papiermaschinen), Dampfheizungsrohre und alle Dampfapparate, in denen der Dampf stillsteht oder nur eine geringe Bewegung hat, sind hingegen unbedingt mit einem Kondenswasserableiter zu versehen, da das zeitweilige Ablassen des Wassers durch ein Handventil unzuverlässig wäre und auch Dampfverluste verursachen würde.

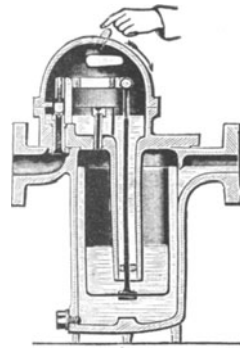


Fig. 108. Kondensstopf v. E. Naake, Coswig i. Sa.

Die gebräuchlichsten Kondenswasserableiter sind die sogenannten Kondensstöpfe. Sie bestehen aus einem gußeisernen, topfförmigen Gehäuse, welchem das kondensierte Wasser aus dem zu entwässernden Dampfgefäß in einer Rohrleitung zufließt, und die durch einen im Innern angebrachten offenen Schwimmer aus Kupfer in Tätigkeit gehalten werden. Der Kondensstopf ist mit einem Absperrventil und einer Umgehung für den Dampf zu versehen, so daß er im Falle des Versagens auch während des Betriebes geöffnet und nachgesehen werden kann. Die Größe und Wanddicken des Kondensstopfes richten sich nach der abzuführenden Wassermenge und nach der Dampfspannung. Es sind daher bei der Bestellung die Betriebsbedingungen des Kondensstopfes anzugeben. Der Heizer hat

die Kondenstöpfe sorgsam zu beaufsichtigen, da ein undichter Kondenstopf viel Dampfverlust verursacht, oder bei etwaigen Verstopfungen Wasser schläge entstehen. Fig. 108 stellt den Kondenstopf „Columbus“ aus der Maschinenfabrik E. Mache in Coswig bei Dresden dar. Wasser und Dampf treten auf der rechten Seite, wie die Pfeile angeben, ein; das Wasser läuft in den Kupfertopf, hierdurch wird dieser beschwert und zieht vermittels des wagerechten Hebels im oberen Teile des Kondenstopfes das daselbst befindliche Ventil an der Wasseraustrittsstelle auf. Das Wasser entweicht dann so lange, bis der Wasserspiegel im Kupfertopf so weit gesunken ist, daß der Topf schwimmt, wobei derselbe vermittels des Hebels das Ventil wieder schließt, bis sich wieder eine genügende Menge Wasser im Kupfertopf angesammelt hat und das beschriebene Spiel von neuem beginnt.

Wenn man den Hebel, welcher außerhalb an der Haube angebracht ist, mit der Hand nach abwärts bewegt, so bewegt sich gleichzeitig ein innerhalb des Apparates sitzender Hebel, bis er auf einen Hebel am Schwimmergestänge trifft, diesen niederdrückt und somit das Ventil öffnet. Es bläst dann, wenn der Kondenstopf unter Dampfdruck steht, ein kräftiger Dampfstrahl durch das weit geöffnete Ventil und reinigt daselbe von etwa angesammelten Unreinigkeiten. Dreht man den Hebel wieder in seine alte Stellung zurück, so arbeitet der Kondenstopf wieder automatisch weiter. Der Ventilteller ist vermittels einer Schraube nachstellbar eingerichtet, damit eine etwaige Abnutzung der Ventilflächen, die mit der Zeit durch die Wirkung des ausströmenden Wassers und durch Nachschleifen eintritt, ausgeglichen werden können. Der innere Mechanismus des Kondenstopfes ist durch einfaches Abnehmen der Haube leicht zugänglich.

In Betrieben wie Zuckfabriken, Konservenfabriken, Spiritusdestillationen leitet man die entstehenden großen Kondenswassermengen in einen gemeinsamen Sammelbehälter und speist das Wasser mit einem Heißwasserinjektor oder mittels eines Rückspeiseapparates wieder in den Dampfkessel.

Bei der Aufstellung der Kondenstöpfe ist insbesondere darauf zu achten, daß sie auf einer genau wagerechten Unterlage stehen; ist letzteres nicht der Fall, steht also der Kondenstopf schief, so bleibt das Ventilgestänge im Innern leicht hängen und der Kondenstopf verfaßt. Die Mündungen der Ausstoßrohre der Kondenstöpfe sind an bequem zugänglicher Stelle unterzubringen, damit der Kondenstopf auf sein regelmäßiges Funktionieren hin ohne Schwierigkeiten beobachtet werden kann.

**Das Dampfdruck-Reduzierventil.** Dasselbe hat den Zweck, den Druck von hochgespanntem Dampf zu vermindern. Soll beispielsweise ein Dampfkessel seinen Dampf an zwei Dampfmaschinen abgeben, von denen die eine

mit 12, die andere aber nur mit 8 Atm. Überdruck betrieben wird, so ist in die Dampfrohrleitung für letztere Dampfmaschine eine Vorrichtung einzubauen, welche die Dampfspannung von 12 Atm. auf 8 Atm. vermindert (reduziert). Diese Vorrichtung ist das Dampfdruck-Reduzierventil. Es gibt viele verschiedene Bauarten des Reduzierventiles. Bei dem Reduzierventil — Fig. 109, Knappe, Meerane — wird der Dampfdruck vermittels eines hohlen, beweglichen Kolbens, der mit Löchern versehen und oben ver-

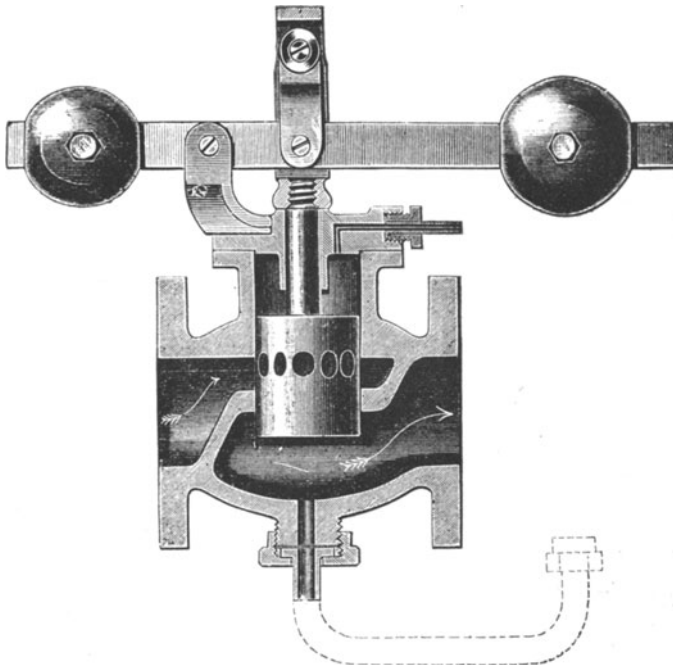


Fig. 109. Reduzierventil von Knappe, Meerane.

schlossen ist, reduziert. Durch ein Gewicht, welches auf einem Hebel verschiebbar ist, wird der Kolben nach unten gedrückt, so daß die Löcher des Kolbens dem Dampfe freien Durchgang durch das Ventil gewähren. Wird der Dampfdruck hinter dem Ventil größer als der auf dem Kolben lastende Gewichtsdruck, so wird der Kolben so weit in den oberen Teil des Ventilgehäuses hineingeschoben, bis die Löcher verdeckt sind und keinen Dampf mehr durch das Ventil hindurchlassen. Fällt der Dampfdruck wieder, so bewegt sich der Kolben nach unten, und die Löcher geben dem Dampfe

den Durchgang wieder frei. Durch Verschieben des Gewichts auf dem Hebel kann man die Spannung des durchgelassenen Dampfes nach Belieben erhöhen oder vermindern. Das kleine Gewicht auf dem kurzen Hebelarm hat den Zweck, den Hebel auszubalancieren, damit das Reduzierventil, auch für ganz geringen Druck eingestellt werden kann. Das Reduzierventil

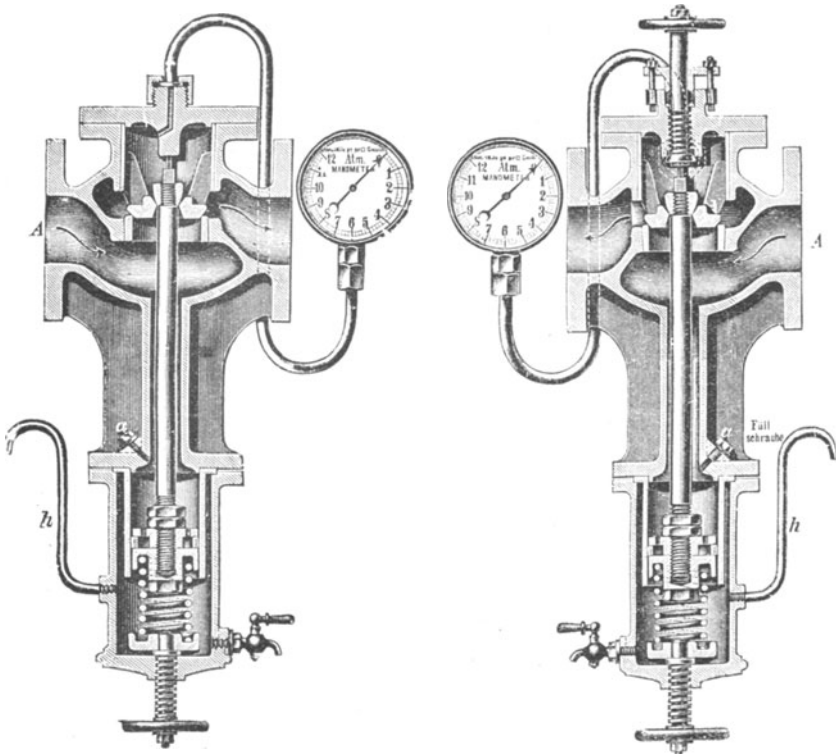


Fig. 110 und 111. Reduzierventile der Strube A. G. in Magdeburg-Budau.

wird mit einem Manometer versehen, welches den verminderten Druck anzeigt. Da der Kolben der leichten Beweglichkeit halber nicht mit federnden Ringen versehen werden darf und infolgedessen nicht ganz dicht hält, ist darauf zu sehen, daß das Kondenswasser in dem Raume über dem Kolben immer einen freien Ausweg hat. Das zu diesem Zwecke im Ventildedel angebrachte Röhrchen darf daher nicht verschlossen werden, auch wenn es etwas Dampf ausströmen läßt.

Fig. 110 stellt ein Reduzierventil der Aktiengesellschaft Strube in Magdeburg-Buckau dar. Der Dampf tritt bei A ein und drückt einerseits gegen den oben befindlichen Ventilkegel, andererseits gegen den Kolben im unteren Teile des Ventilgehäuses, der sich während des Betriebes mit Kondenswasser füllt und einen Wasserfack bildet. Der Ventilkegel und der Kolben sind durch eine Stange fest miteinander verbunden. Schraubt man die untere Ventilschindel in das Ventil hinein, so wird der Ventilkegel abgehoben, und es strömt der Dampf durch das Ventil hindurch, bis sich hinter dem Ventil eine Dampfspannung gebildet hat, die den Federdruck überwindet und das Ventil schließt. Durch einfaches Herein- und Herausdrehen der unteren Schindel kann man die Feder mehr oder wenig anspannen und den reduzierten Dampfdruck beliebig einstellen. Der Kolben in dem unteren Teile des Ventilgehäuses wird durch einen Gummiring abgedichtet, der durch das Wasser im Wasserfack vor der Zerstörung durch den Dampf geschützt wird. Die Schraube a dient zum Füllen des Wasserfacks bei der ersten Inbetriebnahme des Ventiles. Das Röhrchen h muß offen bleiben, damit sich hinter dem Kolben kein Druck bilden kann. Bei Ventilen, welche nicht dauernd im Betriebe sind und der Gefahr des Einfrierens ausgesetzt sind, wird am Wasserfack ein kleiner Abflaßhahn angebracht.

Die Reduzierventile werden auch mit Absperrvorrichtung ausgerüstet, damit etwaige Reparaturen an der Rohrleitung für den reduzierten Dampf auch während des Betriebes ausgeführt werden können. Diese Anordnung empfiehlt sich jedoch nur bei kleinen Reduzierventilen. Bei weiten Rohrleitungen ist es besser, vor dem Reduzierventil ein besonderes Dampfabsperrentil einzubauen, weil sich letzteres leichter handhaben läßt als die Absperrvorrichtung am Reduzierventil. In der Fig. 111 befindet sich die Absperrschindel oben, doch wird sie auch je nach den örtlichen Verhältnissen und der leichteren Zugänglichkeit halber auch unten angebracht. Beim Dampfmaschinenbetrieb sind die Reduzierventile möglichst entfernt von der Dampfmaschine, also möglichst nahe am Dampfkessel anzuordnen, damit das Funktionieren des Reduzierventiles nicht durch das stoßweise Arbeiten des Dampfes beeinflusst wird. Bei Kesselanlagen mit überhitztem Dampf sind die Reduzierventile möglichst vor dem Überhitzer einzuschalten. Wo dies nicht zugänglich ist, müssen, besonders bei starker Überhitzung, die inneren Ventiltile aus Nickel hergestellt werden, wodurch sich der Preis natürlich wesentlich erhöht. Da es nicht ausgeschlossen ist, daß das Reduzierventil aus irgendeinem Grunde, wie z. B. durch Eindringen von Schmutz, versagt, muß in allen Fällen hinter dem Reduzierventil ein Sicherheitsventil angebracht werden.

**Die Rohrleitungen.** Dieselben werden für überhitzten Dampf und für hohen Druck ausnahmslos aus schmiedeeisernen, zumeist aus nahtlos gewalzten Mannesmannrohren oder patentgeschweißten Rohren hergestellt. Für Temperaturen über 249° Celsius ist die Verwendung von Kupferrohren gesetzlich verboten, weil Kupfer bei höheren Temperaturen leicht brüchig

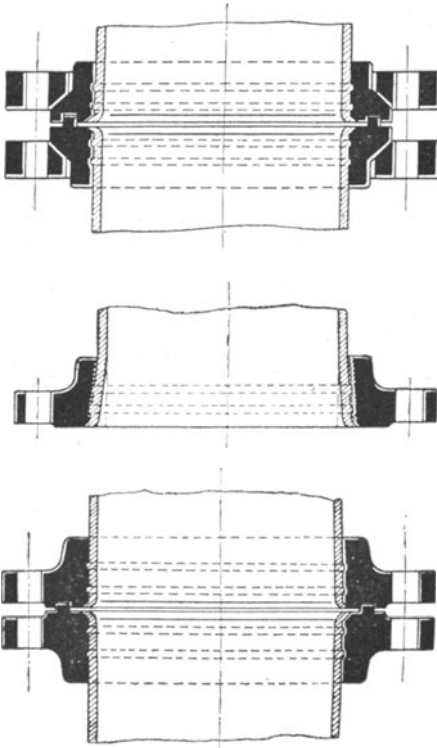


Fig. 112 bis 114. Rohrverbindungen von Seiffert & Co. A. G., Berlin.

wird. Nur bei Dampfkesseln für niedrigen Druck, etwa bis zu 8 Atm., und für sehr enge Rohre, wie Manometerrohre, stellt man die ganze Rohrleitung oder die Bögen (Krümmer) aus Kupfer her. Damit die Rohre bei der Ausdehnung durch die Erwärmung keine gefährlichen Spannungen in den Abperrventilen verursachen, müssen sie elastisch sein.

Für nicht zu lange Rohrleitungen reichen hierzu schon die Bögen in den Rohrleitungen aus, die deshalb möglichst schlank zu machen sind. Lange Rohrleitungen versteht man mit besonderen Ausdehnungsbogen oder Kompensationsrohren, die sich entsprechend den Längenveränderungen der Rohrleitung zusammen- oder aufbiegen. Die Rohrverbindungen werden auf verschiedene Art ausgeführt. Entweder sind die Flanschen auf den Rohren befestigt oder man befestigt auf den Rohrenden Bunde, hinter denen lose Flanschen sitzen (Fig. 112). Der Ausführung der Rohrleitungen wird neuerdings große Beachtung geschenkt. Für die Befestigung der Flanschen oder Bunde auf den Rohren kommt nur Aufschweißen oder Aufwalzen in Betracht. Das Auflöten scheidet bei Verwendung von überhitztem Dampf ohne weiteres aus. Es hat namentlich den Nachteil,

wird. Nur bei Dampfkesseln für niedrigen Druck, etwa bis zu 8 Atm., und für sehr enge Rohre, wie Manometerrohre, stellt man die ganze Rohrleitung oder die Bögen (Krümmer) aus Kupfer her. Damit die Rohre bei der Ausdehnung durch die Erwärmung keine gefährlichen Spannungen in den Abperrventilen verursachen, müssen sie elastisch sein.

Für nicht zu lange Rohrleitungen reichen hierzu schon die Bögen in den Rohrleitungen aus, die deshalb möglichst schlank zu machen sind. Lange Rohrleitungen versteht man mit besonderen Ausdehnungsbogen oder Kompensationsrohren, die sich entsprechend den Längenveränderungen der Rohrleitung zusammen- oder aufbiegen. Die Rohr-

daß die Dichtungsfläche durch das Auflöten rauh wird und nachgearbeitet werden muß. Aus letzterem Grunde wird auch das Aufschweißen wenig angewendet, auch kann diese Befestigungsart meist nur in der Werkstatt, nicht im Kesselhause vorgenommen werden, was insbesondere bei der Herstellung von Paßstücken umständlich ist. Es werden daher die Flanschen zurzeit durch Aufwalzen befestigt, und zwar schon bei einem lichten Rohrdurchmesser von 30 Millimeter an. Diese Befestigungsart ist durchaus sicher und hat den Vorteil, daß die Dichtungsfläche in dem ursprünglichen sauber gedrehten Zustande bestehen bleibt. Bei dem Ausbohren des Flansches wird dem Drehstahl ein so großer Vorschub gegeben, daß die Aufwalzfläche ein feingängiges Gewinde aufweist; ferner wird die Walzfläche nach der Dichtfläche zu konisch erweitert ausgebohrt, und schließlich werden noch in die Walzflächen des Flansches Nuten eingedreht, so daß die aufgewalzten Flanschen oder Bunde außerordentlich fest auf dem Rohre sitzen. Das Aufwalzen der Flanschen und Bunde wird mit einem Einwalzapparat vorgenommen und kann auch bei der Montage der Rohre im Kesselhause ausgeführt werden. Die Flanschen und Bunde macht man gewöhnlich aus Stahl, weil dann die eingedrehten Vertiefungen der Walzflächen beim Einwalzen des weicheren schmiedeeisernen Rohres besser standhalten, und die Befestigung der Flanschen auf dem Rohre haltbarer wird.

Vielfach erhalten die Flanschen oder Bunde Nute und Feder (Fig. 112), zwischen die die Dichtungsscheibe aus Gummi, Asbest usw. gelegt wird. Bei dieser Befestigungsart sitzt die Dichtung außerordentlich fest und kann durch den Dampfdruck nicht herausgeschleudert werden. Einzelne Firmen empfehlen sie jedoch nicht, weil die Rohre beim Erneuern der Dichtung auseinandergezogen werden müssen, was mitunter schwierig ist, und weil sich die Dichtungsflächen zur Erreichung der unbedingt erforderlichen parallelen Lage der Flanschen nicht nacharbeiten lassen. Diese Firmen lassen deshalb die Dichtflächen der Flanschen oder Bunde an jedem Rohre einige Millimeter vorstehen, so daß sich die Dichtung beim Erwärmen leicht einschieben läßt. Damit nun letztere genügend fest sitzt, werden eine größere Anzahl und stärkere Schrauben angewendet. Welcher von beiden Verbindungsarten der Vorzug zu geben ist, kann nicht ohne weiteres entschieden werden; jedenfalls sind beide in der Praxis viel angewendet und haben sich bei sorgfältiger Ausführung auch gut bewährt. Die Firma Criffert wendet beide Ausführungen an.

Bei der **Montage der Rohrleitungen** ist darauf zu achten, daß dieselben ein gleichmäßig verlaufendes Gefälle in der Richtung der Dampfströmung erhalten. Wasserjacke und entgegengesetzte Neigung der Rohr-



leitung sind zu vermeiden, da hierdurch die Entwässerung des Dampfes und der Rohrleitung erschwert und die Entstehung von Wasserschlagen begünstigt wird. Das Gefälle kann etwa 3 bis 4 Millimeter auf 1 Meter Rohrlänge betragen. Wesentlich ist die Rohraufgabe, welche der Rohrleitung bei ihrer Wärmeausdehnung freien Spielraum lassen muß.

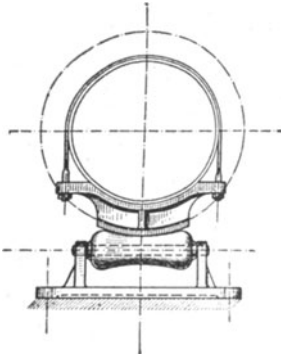


Fig. 115. Rohrleitung von Seiffert & Co. N. G., Berlin.

Beim Zusammenpassen der Rohre ist sorgfältig auf genaue parallele Lage der Dichtungsflächen an den Flanschen und auf genaues Zusammenpassen der Schraubenlöcher zu achten. Als Dichtung genügt bei Dampf Asbest, bei Wasser ist Gummidichtung vorzuziehen. Doch gibt es für beide Fälle noch eine große Zahl anderer Dichtungsmittel, wie Metaldichtungen aus Blei, Bleilegierungen, Kupferblech usw., die sich gleich-

falls gut bewährt haben und häufig in Anwendung sind.

Zum Schutze gegen Verluste durch Wärmeausstrahlung ist das Einhüllen der Dampfleitungen mit Isoliermasse (Korkziegel, Seidenzöpfe usw.) unerlässlich. Vielfach wird hierbei der Fehler gemacht, die Flanschen, die

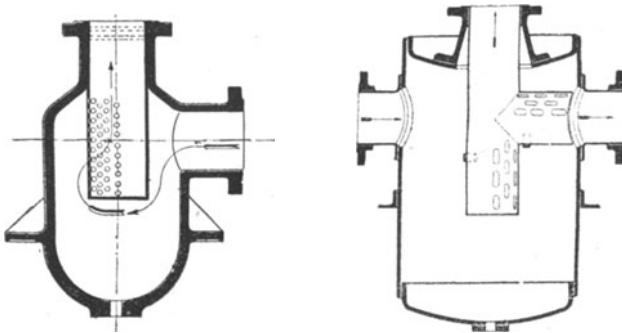


Fig. 116 und 117. Gußeiserner und schmiedeeiserner Wasserabscheider von Seiffert & Co. N. G., Berlin.

natürlich zugänglich bleiben müssen und daher nicht verpackt werden dürfen, gänzlich unverhüllt zu lassen. Durch genaue Messungen ist indes nachgewiesen, daß hierbei immer noch erhebliche Wärmeverluste entstehen, so daß niemals versäumt werden sollte, die Flanschen mit blechernen zwei-

teiligen Isolationskappen zu verwahren. Ist die Wärmeschutzmasse auf die Rohrleitung aufgetragen, was immer unter Dampf vorzunehmen ist, so empfiehlt sich noch das Umwickeln der Rohrleitung mit Leinwand, die mit feuerfestem Anstrich (etwa Wasserglas) zu versehen ist. Hierdurch bewirkt man eine größere Haltbarkeit der Isoliermasse gegen Beschädigung bei Stoß. Sind mehrere weitverzweigte Rohrleitungen vorhanden, so erhalten dieselben zur besseren Unterscheidung durch das Bedienungspersonal farbige Anstriche.

**Wasserabscheider.** Zur Ausscheidung des Wassers aus dem Dampfe werden an das Ende langer Rohrleitungen Wasserabscheider (Fig. 116 und 117) eingebaut, deren Wirkung auf dem scharfen Richtungswechsel und der Querschnittserweiterung des Dampfstromes beruht. Das ausgeschiedene Wasser wird durch ein am Gefäßboden mündendes Rohr nach einem Kondensatopf geleitet und von letzterem abgeleitet.

## XIX. Erläuterungen einiger technischer Fachausdrücke.

**Adhäsion** ist die Zusammenhangs- oder Klebekraft zwischen zwei verschiedenartigen Stoffen. Die Kraft, mit welcher z. B. das Schmieröl an den Laufflächen eines eisernen Transmissionslagers haftet, nennt man die Adhäsionskraft zwischen Öl und Eisen. Sie soll möglichst groß sein, damit das Öl nicht zu schnell aus dem Lager herausgepreßt wird (siehe auch Kohäsion).

**Aggregatzustand** ist der Zustand, in welchem uns ein Körper erscheint. Man unterscheidet drei Aggregat- oder Körperzustände: den festen, den flüssigen und den gasförmigen. Durch Wärmezufuhr — Erhitzen — oder durch Wärmeentziehung — Abkühlen — kann man einen Körper von einem Aggregatzustand in den anderen überführen (Eis, Wasser, Dampf).

**Analyse** heißt die Auflösung oder Zerlegung eines zusammengesetzten Stoffes in seine Grundstoffe. Unter Grundstoffen, die man für gewöhnlich Elemente nennt, versteht man solche Stoffe wie Blei, Kupfer, Silber usw., die wir mit den uns bekannten Hilfsmitteln nicht weiter zerlegen können. Bei der chemischen Analyse eines aus mehreren Bestandteilen zusammengesetzten Stoffes, z. B. der Kohle, wird unter Anwendung von Säuren, durch Erhitzen, durch genaues Wiegen usw. festgestellt, wieviel und was für Grundstoffe darin enthalten sind.

Das Gegenteil von der Analyse ist die Synthese, bei welcher man einen Stoff aus verschiedenen anderen Stoffen aufzubauen versucht. Um z. B. einen künstlichen Dichtungsgummi an Stelle des in der Natur gewonnenen Kautschuks herzustellen, müßte der Chemiker synthetisch versuchen, aus verschiedenen Stoffen einen künstlichen Kautschuk herzustellen, der dem natürlichen möglichst ähnlich ist.

**Anorganisch** heißt leblos, unbelebt. Als anorganische Stoffe bezeichnet man die Steine und Metalle im Gegensatz zu den organischen Stoffen, wie Kohle, Teer, die von Pflanzen und Tieren herrühren.

**Asbest**, auch Amiant, Stein- oder Bergflachs genannt, ist ein Gestein, das in zarten, fast haarartigen Fäden namentlich in Tirol sehr häufig auftritt. Da er unverbrennlich und dabei weich und schmieglam ist, wird er als Dichtungsmaterial für Dampfrohrleitungen, ferner zu feuerbeständigen Anzügen und zu Handschuhen (z. B. beim Angreifen von heißen Schürhaken) benutzt.

**Atmosphäre** ist die Lufthülle um die Erdoberfläche. Sie hat, wie jedes andere Gas und jeder Körper, ein gewisses Gewicht, womit sie auf der Erdoberfläche lastet. Diese Belastung nennt man den Atmosphärendruck. Derselbe hängt von der Höhe und Temperatur der Luftschicht ab; insgedessen ist er auf den Bergen kleiner als in den Tälern. Die Dampfspannung im Dampfessel berechnet man nach der Zahl der Atmosphärendrucke, denen sie das Gleichgewicht halten würde. Hierbei rechnet man den Druck einer Atmosphäre gleich dem Druck von einem Kilogramm auf ein Quadratcentimeter Fläche. Der normale Luftdruck ist jedoch etwas größer, und zwar beträgt er 1,03 Kilogramm auf 1 Quadratcentimeter Fläche.

**Barometer** heißt wörtlich Schweremesser. Das Barometer ist ein Instrument zum Messen des Luftdruckes. 1. Das Quecksilberbarometer besteht in der gebräuchlichsten Form aus einer senkrechten, mit Quecksilber gefüllten, etwa 1 Meter langen, oben zugeschmolzenen Glasröhre, deren unteres Ende umgebogen ist und in eine offene Kugel mündet. Über dem Quecksilber ist die Glasröhre luftleer. Die Luft drückt auf die Quecksilberoberfläche in der Kugel, so daß das Quecksilber nicht herauslaufen kann. Bei normalem Luftdruck steht das Quecksilber 760 Millimeter hoch; nimmt der Luftdruck ab, so fällt das Quecksilber, nimmt er zu, so steigt letzteres in der Glasröhre in die Höhe. 2. Das Aneroid- oder Kapfelbarometer besteht aus einer luftleeren Blechkapsel, deren Deckel durch den wechselnden Luftdruck mehr oder weniger zusammengedrückt werden. Die Bewegung der Deckel wird, ähnlich wie bei den Manometern für Dampfessel, auf einen Zeiger übertragen, der auf einer Skala hin- und herfährt.

**Bitumen** heißt Erdpech oder Erdharz. Man bezeichnet damit asphaltartige Stoffe, die ihren Ursprung in der Zersetzung untergegangener Pflanzen haben und in Kohlen- oder Gesteinschichten vorkommen. Derartige Kohle nennt man bituminöse Kohle. Beim Verbrennen der Kohle bilden die bituminösen Bestandteile brennbare Gase.

**Compoundmaschine** (englisch, sprich Kompaund) siehe Verbundmaschine.

**Elemente** sind die Ur- oder Grundstoffe, die wir mit den uns zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln (Säuren, durch Erhitzen, mittels Elektrizität usw.) nicht weiter zerlegen können. Solche Elemente treten in fester, flüssiger und gasförmiger Form auf, z. B. Eisen, Kupfer, Quecksilber, Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff.

**Eisen.** Das in der Praxis verwendete Eisen ist niemals reines Metall, sondern enthält stets Kohlenstoff. Der Kohlenstoffgehalt verändert die Eigenschaften des Eisens ganz bedeutend. Je höher er ist, um so mehr nimmt die Geschmeidigkeit, Schmiedbarkeit und Schweißbarkeit des Eisens ab; dagegen erhöht sich dessen Härte und Schmelzbarkeit. Enthält das Eisen mehr als  $\frac{1}{2}$  Prozent Kohlenstoff, so erlangt es die Eigenschaft, bei rascher Abkühlung aus dem rotwarmen Zustande sehr hart zu werden, d. h. es ist härtbar (Stahl). Der Kohlenstoffgehalt beträgt bei Schmiedeeisen höchstens  $\frac{1}{2}$  Prozent, bei Stahl  $\frac{1}{2}$  bis 2 Prozent und bei Gußeisen 2 bis 5 Prozent.

Das beim Dampfesselbau verwendete Siemens-Martin-Flußeisen wird gewonnen, indem man den ziemlich hohen Kohlenstoffgehalt des Roheisens in der

Schmelzglut durch Zusatz von kohlenstoffarmem Eisen (alte Eisenbahnschienen usw.) verringert (Martin-Verfahren). Das Siemens-Martin-Flußeißen zeichnet sich durch seine gleichmäßige Beschaffenheit aus.

**Expansion** heißt Ausdehnung. Unter Expansion des Dampfes versteht man die Ausdehnung des gespannten Dampfes im Dampfmaschinenzylinder. Sobald die Dampfleinlaßöffnungen des Zylinders geschlossen sind und kein weiterer Dampf mehr zuströmen kann, wird der Kolben vermöge der Expansionskraft des eingeschlossenen Dampfes fortgeschoben.

**Generator** (lateinisch), eigentlich Erzeuger. Bei Martin-, Glashütten- und sonstigen Ofenanlagen, die mit Gasfeuerung versehen sind, bezeichnet man den Apparat, in welchem das Gas erzeugt wird, als Generator. Bei elektrischen Licht- und Kraftanlagen wird auch der mit der Dampf- oder Wasserkraftmaschine gekuppelte Elektromotor Generator genannt.

**Graphit** ist reiner Kohlenstoff, der in Passau, Wunsiedel (Bayern), Sibirien usw. vorkommt. Wegen seines Abfärbens wird er zur Bleistiftfabrikation verwendet. Er ist sehr beständig und äußerst schwer verbrennlich. Man benutzt ihn deshalb als Zusatz zu Schmiermitteln, wie Talg und Öl, und schmiert damit Schrauben und Pähne, die, wie an den Dampfesseln, viel Hitze aushalten müssen. Der verwendete Graphit muß dann sehr rein und fein gemahlen sein. Graphit, in Wasser oder Milch angerührt, bildet einen guten Innenanstrich für Dampfessel. Der Graphit bleibt an den Kesselwänden haften und bildet eine dünne Trennschicht zwischen Kesselblech und Kesselstein, so daß letzterer beim Kesseltupfen leicht abspringt.

**Heizfläche** ist diejenige Fläche der Kesselwandungen, die innen vom Wasser und außen von den Heizgasen bespült wird. An der Heizfläche vollzieht sich also die Verdampfung des Wassers im Kessel. Nicht zur Heizfläche rechnet man diejenigen Kesselflächen, die außen von den Heizgasen, innen aber vom Dampf berührt werden.

**Hydraulischer Druck** heißt Wasserdruck. Um zu sehen, ob ein Gefäß dicht hält, füllt man es völlig mit Wasser und erzeugt darin durch Nachpumpen einen Wasserdruck. Undichte Stellen machen sich durch austretendes Wasser bemerkbar.

**Hydraulische Nietung** ist die Nietung, bei welcher die glühenden Nieten mittels Wasserdrucks umgestaucht werden.

**Hypothese** heißt eigentlich Wagesatz. Man versteht darunter eine wissenschaftliche Behauptung, für deren Richtigkeit keine vollständigen Beweise erbracht werden können. Eine derartige Hypothese ist z. B. die zurzeit von der Wissenschaft aufgestellte Erklärung über das Wesen der Wärme, wonach diese durch eine unmeßbare und unsichtbare, sehr schnelle hin- und hergehende Bewegung der kleinsten Teile eines Körpers (der Atome) hervorgerufen werden soll.

**Indikator** (Fig. 118) (lateinisch, Anzeiger) dient zur Feststellung des Verlaufes der Dampfspannung im Dampfzylinder während des Ganges der Maschine und war bereits von dem Erfinder der Dampfmaschine, Watt, angewendet. Er besteht aus einem Gehäuse mit einem kleinen Kolben von etwa 1 bis 2 Zentimeter Durchmesser, der durch eine starke Feder im Nullpunkte gehalten wird. Durch den Dampfdruck wird die Feder zusammengedrückt und der Kolben mehr oder weniger verschoben. Diese Verschiebungen werden durch eine Schreibvorrichtung auf eine Papierrolle, die, wie der Dampfmaschinenkolben, vor- und rückwärts läuft, in Form einer geschlossenen Kurve, genannt Schaulinie oder Indikatoridiagramm, aufgezeichnet. Aus letzterem kann man demnach die Ver-

teilung des Dampfes im Dampfmaschinenzylinder ersehen, auf etwaige Mängel der Steuerung schließen und nötigenfalls deren Verbesserung veranlassen. Aus dem Diagramm wird ferner der im Dampfzylinder wirksame mittlere Dampfdruck festgestellt, mittels dessen die Leistung der Dampfmaschine in Pferdestärken (s. b) berechnet wird.

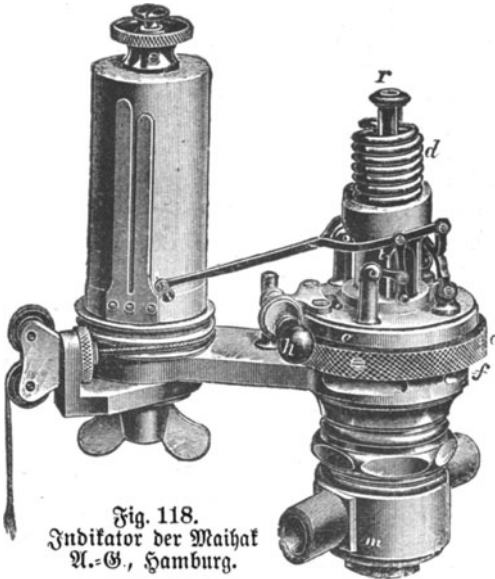


Fig. 118.  
Indikator der Maihaft  
N.-G., Hamburg.

Fig. 119 zeigt das normale Diagramm einer Einzylinder-Auspuffmaschine. Zu den angegebenen Abschnitten kommt die Vor-eintrittsperiode des Dampfes, die sich jedoch in den meisten Diagrammen nicht oder nur sehr wenig bemerkbar macht, weil sie kurz vor der Totlage erfolgt.

Kalorie ist die Wärmemenge, die man braucht, um 1 Kilogramm = 1 Liter Wasser um 1° Celsius zu erwärmen. Man bezeichnet sie als Wärmeinheit. Wenn man sagt: 1 Kilogramm Kohle enthält 6500 Wärmeinheiten, so heißt

das: mit 1 Kilogramm Kohle kann man 6500 Kilogramm =  $6\frac{1}{2}$  Kubikmeter Wasser von beispielsweise 20° Celsius auf 21° Celsius erwärmen.

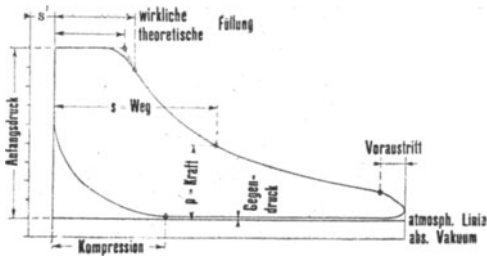


Fig. 119. Indikator-diagramm (aus Seufert.)

Kompression ist die Zusammendrückung oder die Verdichtung eines Stoffes durch Druck. Unter Kompression im Dampfmaschinenzylinder versteht man das Zusammendrücken des expandierten Dampfes am Hubende durch den Kolben auf die Spannung des eintretenden Dampfes.

Kohäsion. Man nimmt an, daß die Körper, Flüssigkeiten und Gase aus

unendlich kleinen Teilen — den Molekülen — zusammengesetzt sind, welche durch eine gewisse gegenseitige Anziehungskraft — die Kohäsionskraft — zusammengehalten werden. Sie ist am größten bei festen Körpern, da sie jederzeit ihre starre Form beibehalten. Geringer ist sie bei den Flüssigkeiten, da sie beim Ausgießen in einer dünnen Schicht breit laufen. Je dünnflüssiger ein Schmieröl

ist, um so kleiner ist daher seine Kohäsionskraft. Nicht vorhanden ist die Kohäsion bei Gasen, da ihr Ausdehnungsvermögen unbegrenzt ist. Schmieröle sollen hinreichend dünnflüssig sein, also keine zu große Kohäsionskraft besitzen, damit sie in die Poren und feinen Unebenheiten der Gleitflächen einbringen. Sie dürfen aber nicht zu leichtflüssig sein, weil dann die Adhäsion abnimmt.

**Kondensieren** heißt: durch Abkühlen verdichten. Wird Dampf von beispielsweise 6 Atmosphären Druck in einer Rohrleitung durch kalte Zugluft abgekühlt, so verdichtet sich ein Teil davon zu Wasser; gleichzeitig fällt die Dampfspannung. Das aus dem Dampfe ausgeschiedene Wasser nennt man Kondenswasser. Bei den Einspritzkondensationen an Dampfmaschinen wird der Abgangsdampf aus dem letzten Zylinder durch einspritzendes Wasser niedergechlagen (kondensiert). Das Einspritzwasser nennt man Kondensationswasser.

**Kokille** heißt eigentlich Muschel. Man versteht im Maschinenbau darunter eine eiserne Gießform zur Erzeugung von Hartguß. Damit die Keststäbe eine harte Oberfläche bekommen, gießt man sie nicht in Sandformen, sondern in eisernen Formen — Kokillen — ab, wo sich das flüssige Eisen schnell abkühlt und infolgedessen härter wird.

**Lineares Voreisen** ist die Länge, um welche bei den Schiebersteuerungen die Dampfeinlaßkanäle am Zylinder bei der Totlage der Kurbel gedffnet sind.

**Oxyde** nennt man die Verbindung der Körper mit dem Sauerstoff. Der Rost ist die Verbindung des Eisens mit dem Sauerstoff; er heißt deshalb auch Eisenoxyd. Die meisten Elemente können mehrere verschiedene Verbindungen mit dem Sauerstoff eingehen, also verschiedene Oxyde bilden. Kohlenstoff verbindet sich z. B. beim Verbrennen entweder mit einem oder zwei Teilen Sauerstoff; im ersteren Falle entsteht einfaches Kohlenoxydgas, im zweiten Falle Kohlenäure oder Kohlendioxyd.

**Pferdestärke**, abgekürzt PS. oder auch HP. (vom englischen horse-power, sprich hors paucr). Die Leistung der Dampfmaschine wird in Pferdestärken angegeben. Die Maßeinheit der mechanischen Arbeitsleistung ist das Sekundenskilogrammster. Letzteres bezeichnet die Arbeit, welche nötig ist, um in einer Sekunde 1 Kilogramm 1 Meter hoch zu heben. Eine Pferdestärke beträgt das 75fache dieser Leistung. Sie vermag also in einer Sekunde 75 Kilogramm 1 Meter oder 1 Kilogramm 75 Meter hoch zu heben.

Die Leistung einer Dampfmaschine wird bestimmt, indem man mit Hilfe des Indikators (siehe diesen) die im Dampfzylinder herrschende mittlere, wirkliche Dampfspannung bestimmt. Letztere multipliziert man mit der in Quadratcentimetern ausgerechneten Fläche des Kolbens und der Geschwindigkeit desselben in Metern pro Sekunde.

**Pneumatische Nietung** ist die Nietung, bei welcher die glühenden Nietens mittelst Druckluft zusammengestaucht werden.

**Pyrometer** heißt wörtlich Feuermesser. Die Pyrometer sind Instrumente zum Messen hoher Temperaturen. Da Quecksilber bei ungefähr 360° Celsius in Dampfform übergeht und sich in der Nähe dieser Temperatur ungleichmäßig ausdehnt, kann man die Temperatur im Kesselfeuer und in den Kesselzügen nicht mehr mit dem gewöhnlichen Quecksilberthermometer messen. Man benutzt hierzu Pyrometer, die auf verschiedene Art ausgeführt werden (Quecksilberpyrometer mit gespannter Kohlenäure, Luftpyrometer usw.).

**Receiver** (englisch, sprich Reziwer), siehe S. 64).

**Tachograph** (griechisch). Apparat mit Schreibvorrichtung, mittels dessen die Schwankungen der Umlaufzahl von Dampfmaschinen und Dampfturbinen auf einen Papierstreifen aufgezeichnet werden.

**Tachometer** (Geschwindigkeitsmesser) ist ein Apparat mit einer Zeigevorrichtung, welche die jeweilige Umdrehungszahl von Maschinen anzeigt und nicht nur an Dampfmaschinen und Dampfturbinen, sondern auch an Werkzeugmaschinen, Drehbänken, Bohrmaschinen usw. zur sofortigen Ableseung der Umdrehungszahl und der Schnittgeschwindigkeit benutzt wird.

**Thermometer** heißt wörtlich Wärmemesser, ist ein Instrument, mit dem wir messen, wie hoch die Wärme in einem Körper, in einer Flüssigkeit oder in einem Gase angestiegen ist (Temperatur). Es besteht aus einer engen, luftleeren, zum Teil mit Quecksilber angefüllten Glasröhre, die unten eine angeblasene Kugel hat. Besondere Punkte (Fundamentalepunkte) sind der Eispunkt und der Siedepunkt des Wassers. Die Strecke zwischen beiden ist beim Thermometer von Réaumur in 80, beim Thermometer von Celsius in 100 gleiche Teile — Grade — eingeteilt. Die Einstellung des Thermometers beruht auf der Ausdehnung des Quecksilbers durch Wärme. Die Grade über dem Null- oder Eispunkt bezeichnet man mit + (plus), diejenigen unter dem Nullpunkt mit — (minus). Bei  $-40^{\circ}$  Celsius wird das Quecksilber fest. Für sehr niedrige Temperaturen benutzt man daher Weingeistthermometer (siehe Pyrometer).

**Vakuum** heißt Luftleere. Die Vakuummeter sind Vorrichtungen zum Messen der Luftleere. Die zum Messen des Vakuums in den Kondensationsanlagen der Dampfmaschinen benutzten Vakuummeter sind entweder nach Art der Manometer gebaut, oder man benutzt auch Barometer mit einer Quecksilbersäule, wobei der luftleere oder luftverdünnte Raum der Kondensationsanlage der Dampfmaschine mit dem oberen Ende der Barometerröhre durch ein Rohr oder einen Gummischlauch verbunden ist.

**Viskosität** (lateinisch) bedeutet die Klebrigkeit oder Zähflüssigkeit des Schmieröles (s. d.).

**Volumen** bedeutet Rauminhalt. Ein Körper ist voluminös, d. h. er nimmt viel Platz ein.

**Wärme.** Wesen der Wärme siehe unter Hypothese. Die Wärme dehnt die Körper, Flüssigkeiten und Gase aus. Man unterscheidet lineare und kubische Ausdehnung. Die lineare Ausdehnung eines Körpers ist eine Ausdehnung nach nur einer Richtung, bei einer Transmissionswelle in der Längsrichtung. Die kubische Ausdehnung (von Kubus, d. i. der Würfel) ist die Ausdehnung nach allen drei Richtungen im Raume. (Die Transmissionswelle wird länger und dicker bei der Erwärmung, oder ein Würfel dehnt sich in der Länge, Breite und Höhe aus.) Die Ausdehnung der einzelnen Metalle usw. ist verschieden groß. Messing dehnt sich bei gleicher Erwärmung wesentlich mehr aus als Gußeisen. Ist bei einem Hahne das Gehäuse aus Gußeisen, der Hahnkegel aber aus Messing angefertigt, so würde sich letzterer, falls er zu fest in das Hahngehäuse eingesetzt wird, bei seiner Erwärmung infolge seiner größeren Ausdehnung sehr schwer oder gar nicht drehen lassen. In der nachstehenden Tabelle ist für einige Stoffe angegeben, wieviel Millimeter sich ein Stab von 1 Meter Länge verlängert, wenn er um  $100^{\circ}$  Celsius erwärmt wird. Die räumliche (kubische) Vergrößerung ist das Dreifache der angeführten Zahlen. Beim Erkalten ziehen sich die Stäbe um dasselbe Maß zusammen.

Stoffe	1 Meter Länge nimmt zu um Millimeter	Stoffe	1 Meter Länge nimmt zu um Millimeter
Aluminium . . . . .	2,34	Kupfer . . . . .	1,87
Blei . . . . .	2,85	Messing . . . . .	1,88
Guß Eisen . . . . .	1,08	Bronze . . . . .	1,80
Stahl . . . . .	1,12	Glas . . . . .	0,6—0,9
Schmiedeeisen . . . . .	1,21	Hartgummi . . . . .	8

**Spezifische Wärme** heißt die jedem Stoffe eigentümliche Wärme. Man versteht hierunter die Wärmemenge, die einem Kilogramm eines Körpers, einer Flüssigkeit oder eines Gases zugeführt werden muß, um die Temperatur desselben um 1° Celsius zu erhöhen. Bei Wasser beträgt sie 1 Wärmeeinheit, bei Eisen 0,115, bei Kupfer 0,094 Wärmeeinheiten.

Schmelzwärme, Flüssigkeitswärme, Verdampfungswärme siehe Abschnitt VIII der Heizerlehre.



Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

---

## Die Heizerschule

Vorträge über die Bedienung und die Einrichtung von  
Dampfkesselanlagen mit einem Anhang über Nieder-  
druckkessel für Heizungsanlagen

Von

**F. D. Morgner**

Gewerbeinspektor, Leiter der Heizerkurse in Chemnitz

**Dritte, umgearbeitete und vervollständigte Auflage**

Mit 158 Textfiguren

Gebunden Preis M. 6.—

Aus den zahlreichen Besprechungen:

Das außerordentlich leicht faßlich geschriebene Buch, das seine Entstehung den vor Dampf-  
kesselheizern gehaltenen Vorträgen des Verfassers verdankt, enthält alles für den Heizer Wissens-  
werte. . . . Der Text, der durch recht klare Abbildungen unterstützt ist, ist so gehalten, daß er  
jedem Heizer und Maschinenisten ohne weitere Erklärung verständlich ist; mit Rücksicht darauf und  
auf den bei dem reichen Inhalt sehr niedrig gestellten Preis verdient das Buch in Heizer- und  
Maschinenkreisen die weiteste Verbreitung. Aber auch dem Besitzer und Leiter kleinerer und  
mittlerer Betriebe wird es mühelos manche Kenntnisse vermitteln, die sich durch Ersparnisse im  
Betriebe bezahlt machen. Druck und Ausstattung sind sehr gut.

(Ang. Seufert in der „Feuerungstechnik.“)

---

## Die Dampfkessel

Lehr- und Handbuch für Studierende technischer Hochschulen,  
Schüler höherer Maschinenbauschulen und Techniken,  
sowie für Ingenieure und Techniker

Von

**Professor F. Letzner**

Oberlehrer an den Vereinigten Maschinenbauschulen zu Dortmund

**Sechste Auflage**

Bearbeitet von Dipl.-Ing. Otto Heinrich, Lehrer an der städtischen  
Reuth-Maschinenbauschule, Berlin

In Vorbereitung

---

## Die Dampfkessel und ihr Betrieb

Allgemeinverständlich dargestellt

Von

**A. E. Th. Schlippe**

Geheimem Regierungsrat

**Vierte, verbesserte und vermehrte Auflage**

Mit 114 Abbildungen

Gebunden Preis M. 5.—

---

**Hierzu Feuerungszuschläge**

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

---

**Handbuch  
der Feuerungstechnik und des Dampfkesselbetriebes**  
mit einem Anhang über allgemeine Wärmetechnik

Von Dr.-Ing. **Georg Herberg**

Beratendem Ingenieur, Stuttgart

**Zweite, verbesserte Auflage**

Mit 59 Abbildungen und Schaulinien, 90 Zahlentafeln  
sowie 47 Rechnungsbeispielen. — Gebunden Preis M. 18.—

---

**Anleitung zur  
Durchführung von Versuchen an Dampfmaschinen,  
Dampfkesseln, Dampfturbinen und Dieselmotoren**  
Zugleich Hilfsbuch für den Unterricht in Maschinenlaboratorien  
technischer Lehranstalten

Von **Franz Seufert**

Ingenieur, Oberlehrer an der Staatl. höheren Maschinenbauerschule zu Stettin

**Fünfte, verbesserte Auflage**

Mit 45 Abbildungen. — Gebunden Preis M. 6.—

---

**Technische Wärmelehre der Gase und Dämpfe**  
Eine Einführung für Ingenieure und Studierende

Von **Franz Seufert**

Ingenieur, Oberlehrer an der Staatl. höheren Maschinenbauerschule zu Stettin

Mit 25 Abbildungen und 5 Zahlentafeln. — Gebunden Preis M. 2.80

---

**Bau und Berechnung der Dampfturbinen**

Eine kurze Einführung

Von **Franz Seufert**

Ingenieur, Oberlehrer an der Staatl. höheren Maschinenbauerschule zu Stettin

Mit 54 Textabbildungen. — Preis M. 5.—

---

**Bau und Berechnung  
der Verbrennungskraftmaschinen**

Eine Einführung

Von **Franz Seufert**

Ingenieur, Oberlehrer an der Staatl. höheren Maschinenbauerschule zu Stettin

Mit 90 Abbildungen und 4 Tafeln. — Gebunden Preis M. 5.60

---

Hierzu Feuerungszuschläge

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

---

## **Hilfsbuch für den Maschinenbau**

Für Maschinentechniker sowie für den Unterricht an technischen Lehranstalten

Von

**Oberbaurat Fr. Frentag**

Professor i. N.

**Fünfte, erweiterte und verbesserte Auflage**

Mit 1218 Textabbildungen, 10 Tafeln und einer Beilage für Österreich  
Zweiter, berichtigter Neudruck. 1919. Gebunden Preis M. 24.—

---

## **Taschenbuch für den Maschinenbau**

Unter Mitarbeit hervorragender Fachleute herausgegeben von

**Professor Heinrich Dubbel**

Ingenieur, Berlin

**Zweite, erweiterte und verbesserte Auflage**

1546 Seiten mit 2510 Textfiguren und 4 Tafeln  
Zwei Teile. In Ganzleinwand gebunden

In einem Bande Preis M. 30.—; in zwei Bänden Preis M. 33.—

---

## **Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen**

Ein Lehr- und Handbuch für Studierende und Konstrukteure

Von

**Professor Heinrich Dubbel**

Ingenieur

**Vierte, umgearbeitete Auflage**

Mit 540 Textfiguren

Gebunden Preis M. 20.—

---

Hierzu Steuerzuschläge

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

---

## Maschinenelemente

Leitfaden zur Berechnung und Konstruktion für technische Mittelschulen,  
Gewerbe- und Werkmeister Schulen sowie zum Gebrauche in der Praxis

Von

Ingenieur **Hugo Krause**

Dritte, vermehrte Auflage. Mit 380 Textfiguren

Gebunden Preis M. 15.—

---

## Die Technologie des Maschinentechnikers

Von

Professor Ingenieur **Karl Meyer**

Oberlehrer an den staatlichen Vereinigten Maschinenbau Schulen in Köln

Vierte, verbesserte Auflage. Mit 408 Textfiguren

Gebunden Preis M. 14.—

---

## Einzelkonstruktionen aus dem Maschinenbau

Herausgegeben von

Ingenieur **C. Volf**

Berlin

- Erstes Heft: **Die Zylinder ortsfester Dampfmaschinen.** Von **H. Frey** (Berlin).  
Mit 109 Textfiguren . . . . . M. 2.40
- Zweites Heft: **Kolben.** I. Dampfmaschinen- und Gebläsekolben. Von **C. Volf**  
(Berlin). II. Gasmaschinen- und Pumpenkolben. Von **A. Cäardt** (Deutz).  
Mit 247 Textfiguren . . . . . M. 4.—
- Drittes Heft: **Zahnräder.** I. Teil. Stirn- und Regelräder mit geraden Zähnen.  
Von Prof. Dr. **A. Schiebel** (Prag). Mit 110 Textfiguren. . . M. 3.—
- Viertes Heft: **Agellager.** Von Ingenieur **W. Ahrens** (Winterthur). Mit  
134 Textfiguren . . . . . M. 4.40
- Fünftes Heft: **Zahnräder** II. Teil. Räder mit schrägen Zähnen. Von Prof.  
Dr. **A. Schiebel** (Prag). Mit 116 Textfiguren. . . . . M. 4.—
- Sechstes Heft: **Schubstangen und Kreuzköpfe.** Von Oberingenieur **H. Frey**.  
Mit 117 Figuren . . . . . M. 1.60
- 

Hierzu Teuerungszuschläge