Leitfaden

für den

Unterricht in der Maschinenkunde

an der Kaiserlichen Marineschule.

Herausgegeben

von der

Inspektion des Bildungswesens der Marine.

Mit 122 Abbildungen im Text und auf Steindrucktafeln.

Berlin 1902.

Ernst Siegfried Mittler und Sohn

Königliche Hofbuchhandlung

Kochstraße 68—71.

Vorwort.

Der vorliegende Leitfaden dient als Hülfsmittel für den Unterricht der Fähnriche zur See auf der Marineschule und soll vor Allem das bisher übliche Diktiren oder Nachschreiben überflüssig machen. Bei seiner Abfassung war nicht nur auf das Bedürfniß eines angehenden Seeoffiziers, sondern auch auf den Grad seiner mathematischen, physikalischen und technischen Vorbildung Rücksicht zu nehmen.

Es mußte daher einerseits das Buch auf die wichtigsten Konstruktionen und deren Haupttheile beschränkt bleiben, um es nicht zu umfangreich und für einen Nichtfachmann unübersichtlich zu machen; andererseits konnte die Behandlung des umfangreichen Gebietes im Allgemeinen nur auf eine Beschreibung der fertigen Anlagen und eine Erklärung der prinzipiellen Wirkungsweise hinauslaufen, während der konstruktive und berechnende Standpunkt von vornherein ausgeschaltet werden mußte. Auch mußte Vieles genau erklärt werden, was bei einem Techniker als bekannt vorausgesetzt werden kann und daher in einem nur für Fachmänner bestimmten Buche entbehrt oder wenigstens gekürzt werden könnte.

Die wichtigsten Theile sind durch Abbildungen erläutert, welche hauptsächlich unseren neuesten Kriegsschiffen entnommen sind. Es ist aber mit diesen Abbildungen nicht beabsichtigt, das bisher auf der Marineschule übliche Skizziren einzuschränken, sondern nur ein vollkommeneres Bild zu geben, als es durch die Handskizzen möglich ist. Die Zahl der Abbildungen ist im Verhältniß zum Text möglichst beschränkt worden, um das Buch nicht zu sehr zu vertheuern.

Der Text ist aber so gehalten, daß auch diejenigen Konstruktionen, deren Form und Zusammensetzung nicht durch Figuren erläutert sind, in ihrer allgemeinen Wirkungsweise verstanden werden können, so daß das Buch auch für Personen, welche die Vorträge an der Marineschule nicht hören, also für Offiziere, für Studirende, für praktische Techniker u. s. w., zur allgemeinen Orientirung über die maschinellen Einrichtungen an Bord verwendbar sein dürfte.

G. Klamroth,

Marine-Ober-Baurath und Maschinenbau-Betriebsdirektor,
Lehrer an der Marine-Akademie und Schule.

Inhaltsverzeichniß.

Achter Abschnitt. Hauptmaschinentheile.

Seite

Neunter Abschnitt. Propeller.

Zehnter Abschnitt. Steuerung.

Seite

Elfter Abschnitt. Kondensatoren.

Zwölfter Abschnitt. Pumpen.

Dreizehnter Abschnitt. Rohrleitungen.

Vierzehnter Abschnitt. Allgemeine Anordnung von Maschinen, Propeller, Kessel und Brennmaterial.

Fünfzehnter Abschnitt. Hülfsmaschinen.

Sechzehnter Abschnitt. Elektrische Anlagen.

Erster Abschnitt.

Wärme und Arbeit.

A. Zusammenhang zwischen Wärme und Arbeit.

1. Wärme.

a) Wesen der Wärme. Dasselbe ist mit Sicherheit nicht festgestellt, man erklärt aber die Wärme allgemein als schwingende Bewegung der kleinsten Theile, der Moleküle, eines Körpers, ähnlich den Licht- und Schallschwingungen. Die Wärmeschwingungen pflanzen sich fort, und zwar nicht nur bei direkter Berührung fester Körper, sondern auch durch die Luft und den Aether. Den ersteren Vorgang nennt man Wärmeleitung, den letzteren Wärmestrahlung.

b) Messung der Wärme. Wie beim Licht oder bei der Elektricität, so unterscheidet man auch bei der Wärme zwischen Wärmemenge und Wärmeintensität. Erstere mißt man nach Wärmeeinheiten, letztere nach Temperaturgraden. Eine Wärmeeinheit oder Calorie (WE oder Cal) ist die Wärmemenge, welche nöthig ist, um 1 kg Wasser um 1° Cels. zu erwärmen. Bei der Erwärmung von Wasser ist demnach die Zahl der zugeführten WE = dem Produkt aus Wassermenge in kg und Temperaturerhöhung in Graden Cels., und es wird z. B. dieselbe Wärmemenge verbraucht, wenn man 1 kg Wasser um 10° oder 10 kg Wasser um 1° oder 2 kg Wasser um 5° erwärmt.

Die Wärmeintensität oder Temperatur wird bekanntlich immer noch in den verschiedenen Ländern nach verschiedenen Temperaturgraden oder Thermometerskalen gemessen (Celsius, Réaumur und Fahrenheit). In der Wissenschaft und Technik rechnet man jedoch ausschließlich nach Celsius, bei welchem der Nullpunkt der Skala dem Gefrierpunkt und die Temperatur von 100° dem Siedepunkt von reinem Wasser bei 760 mm Barometerstand entspricht. Sehr hohe Temperaturen, z. B. die Temperatur der Heizgase im Schornstein, mißt man durch sogenannte Pyrometer.

c) Spezifische Wärme. Werden verschiedenen Körpern von gleichem Gewicht gleiche Wärmemengen zugeführt, so erfahren diese Körper eine verschiedene Temperaturerhöhung. Die verschiedenen Körper gebrauchen also für eine gleiche

Temperaturerhöhung verschiedene Wärmemengen. Spezifische Wärme nennt man diejenige Anzahl WE, welche nöthig ist, um 1 kg eines Körpers um 1° Cels. zu erwärmen. Je größer die spezifische Wärme eines Körpers, desto langsamer geht sowohl seine Erwärmung als auch sein Erkalten vor sich. Die spezifische Wärme des Wassers ist = 1. Wasser hat von allen festen und flüssigen Körpern die größte spezifische Wärme. Beispielsweise ist die spezifische Wärme für Eisen = 0,1138, für Kupfer = 0,0952, für Zink = 0,0955, für Zinn = 0,0548, für Holz = 0,57 bis 0,65 je nach der Holzart. Bei gasförmigen Körpern, z. B. Luft, muß man unterscheiden zwischen der spezifischen Wärme bei konstantem äußeren Druck und bei konstantem Volumen. Erstere ist größer, weil die bei konstantem äußeren Druck durch die Erwärmung eintretende Volumenzunahme des Gases einen gewissen Wärmeaufwand bedingt. Die spezifische Wärme für überhitzten Wasserdampf ist etwa = 0,47 bei konstantem Druck und 0,33 bei konstantem Volumen.

d) **Wirkungen der Wärme.** Dieselben sind Aenderung des Volumens und Aenderung des Aggregatzustandes. Jede Erwärmung eines Körpers bewirkt eine Vergrößerung der Ausdehnung, jede Abkühlung eine Verkleinerung oder Zusammenziehung. Diese Volumenänderungen sind bei gasförmigen Körpern am größten, bei flüssigen kleiner und bei festen am kleinsten. Das Verhältniß, in welchem die verschiedenen Stoffe ihre Volumen ändern, drückt man durch den Ausdehnungskoeffizienten aus. Derselbe giebt an, um den wievielten Theil seines ursprünglichen Volumens, seiner ursprünglichen Fläche oder seiner ursprünglichen Länge ein Stoff bei der Erwärmung um 1° Cels. sich ausdehnt. Man muß also unterscheiden zwischen Volumen-, Flächen- und Längen-Ausdehnungskoeffizient. Ist der Längen-Ausdehnungskoeffizient $= \alpha$, dann ist der Flächen-Ausdehnungskoeffizient $= 2\,\alpha$ und der Volumen-Ausdehnungskoeffizient $= 3\,\alpha$, denn bei einer Fläche erfolgt die Ausdehnung nach 2, bei einem Volumen nach 3 Richtungen, also $L_1 = L\,(1 + \alpha\,t)$, $F_1 = F\,(1 + 2\,\alpha\,t)$ und $V_1 = V\,(1 + 3\,\alpha\,t)$. Die Volumenvergrößerung bei 100° Erwärmung ($3\,\alpha \cdot 100$) beträgt für Oel etwa $^1/_{12}$, für Wasser etwa $^1/_{25}$, für Kupfer etwa $^1/_{200}$, für Stahl etwa $^1/_{300}$ und für Holz und Glas etwa $^1/_{400}$. Wasser bildet eine Ausnahme von der Regel. Es hat sein kleinstes Volumen bei + 4° Cels. und dehnt sich aus sowohl bei Erwärmung über + 4° als auch bei Abkühlung bis zu 0°. Beim Erstarren zu Eis erfährt es eine weitere Ausdehnung um etwa 10 % seines Volumens.

Beispiel 1. Welche Länge hat eine Stahlstange bei 710° Cels., wenn sie bei 10° Cels. 5 m lang ist?

$$L_1 = 5 \cdot (1 + \frac{1}{90\,000} \cdot 700)$$
$$= 5 \cdot (1 + \frac{7}{900}) = 5{,}039 \text{ m.}$$

Die Verlängerung beträgt also 39 mm.

Beispiel 2. Welchen Flächeninhalt hat eine Kupferplatte bei 800° Cels., wenn sie bei 200° Cels. 1 qm Flächeninhalt hat?

$$F_1 = 1 \cdot (1 + 2 \cdot \frac{1}{60\,000} \cdot 600)$$
$$= 1 + \frac{2}{100} = 1{,}02 \text{ qm}$$

Die Flächenzunahme beträgt also 200 qcm.

Beispiel 3. Welches Volumen hat ein Quantum Oel bei 100° Cels., wenn es bei 20° Cels. ein Volumen von 2 cbm hat?

$$V_1 = 2 \cdot (1 + 3 \cdot \frac{1}{3600} \cdot 80)$$
$$= 2 \cdot (1 + \frac{8}{120}) = 2{,}133 \text{ cbm.}$$

Die Volumenzunahme beträgt also 133 Liter.

Die verschiedenen Gase werden durch Erwärmung gleich stark ausgedehnt, und zwar für jeden Grad Temperaturerhöhung um $^1/_{273}$ ihres Volumens bei 0° (Gesetz von Gay-Lussac). Demnach würde ein Gas, wenn es von 0° bis — 273° Cels. abgekühlt wird, theoretisch das Volumen 0 haben müssen. Die Temperatur von — 273° Cels. bezeichnet man als absoluten Nullpunkt der Temperatur, und die Temperatur eines Körpers, von diesem Nullpunkt ab gerechnet, als absolute Temperatur. Die absolute Temperatur eines Körpers ist also = Thermometertemperatur + 273°. Den absoluten Nullpunkt der Temperatur kann man auch als die Temperatur bezeichnen, bei welcher die Wärmeschwingungen = 0 sind. Auf der Ausdehnung der Körper (Quecksilber) durch die Wärme beruht die Temperaturmessung durch Thermometer.

Die zweite Wirkung der Wärme ist die Aenderung des Aggregatzustandes. Erwärmung bewirkt Schmelzen und Verdampfen, Abkühlung bewirkt Kondensiren und Erstarren. Die Temperatur, bei welcher ein Körper schmilzt oder gefriert, nennt man Schmelz- oder Gefrierpunkt. Die Temperatur, bei welcher ein Körper verdampft oder kondensirt, nennt man Siede- oder Kondensationspunkt. Der Schmelz- oder Gefrierpunkt liegt für Gußeisen bei 1200°, für Zink bei 420°, für Blei bei 330°, für Zinn bei 230°, für Wasser bei 0°. Der Siede- oder Kondensationspunkt liegt für Quecksilber bei 360° Cels., für Leinöl bei 316°, für Wasser bei 100°. Alle diese Angaben beziehen sich auf 760 mm Barometerstand. Bei höherem äußeren Druck (z. B. Kesseldruck) liegt der Siedepunkt höher. Dasselbe gilt für den Schmelzpunkt, wenn auch in geringerem Maße. Beim Uebergang vom festen in den flüssigen und vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand wird eine bestimmte Wärmemenge verbraucht (oder Kälte erzeugt), im ersten Falle die Schmelzwärme, im zweiten die Verdampfungswärme. Bei der umgekehrten Aenderung des Aggregatzustandes wird dieselbe Wärme erzeugt (oder Kälte verbraucht), welche vorher verbraucht wurde. Die verbrauchte Wärmemenge wird der Umgebung entzogen, die erzeugte wird ihr mitgetheilt.

e) Heizkraft und Verbrennung. Diejenige Zahl von WE, welche beim vollständigen Verbrennen von 1 kg eines Körpers entwickelt wird, nennt man die absolute Heizkraft eines Körpers. Dieselbe ist für die verschiedenen Körper durch Versuche festgestellt. Bei der Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff zu Kohlensäure (CO_2) werden 8080 WE, bei der Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff zu Kohlenoxyd (CO) 2473 WE erzeugt. Durch die vollständige Verbrennung von 1 kg guter Steinkohle werden im Ganzen etwa 7500 WE entwickelt. Hiervon werden aber in Schiffskesseln nur 4500 bis höchstens 5500 WE nutzbar gemacht, d. h. auf das Kesselwasser übertragen. Gute Steinkohle besteht aus etwa 80 pCt. Kohlenstoff, 5 pCt. Wasserstoff, 10 pCt. Sauerstoff und 5 pCt. erdigen Bestandtheilen. Bei der Verbrennung lassen sich zwei Vorgänge unterscheiden, die Entgasung und Verbrennung. Bei der Entgasung entweichen aus der Kohle infolge der entwickelten Wärme hauptsächlich der freie Wasserstoff und der Wasserstoff des chemisch gebundenen Wassers. Die Wasserstoffmengen verbinden sich mit entweichendem Kohlenstoff zu leichten und schweren Kohlenwasserstoffen, welche entweder vollständig zu Kohlensäure und Wasserdanpf oder nur unvollständig verbrennen. Im letzteren Falle verbrennt nur der leichter brennbare Wasserstoff zu Wasserdampf, während der Kohlenstoff sich zum Theil als Ruß ausscheidet und mit den anderen entweichenden Gasen den Rauch bildet. — Bei der Verbrennung der entgasten Kohle verbindet sich der Kohlenstoff mit Sauerstoff zu Kohlensäure oder Kohlenoxyd.

Vollkommen nennt man eine Verbrennung, wenn der ganze Kohlenstoff des Brennmaterials in den Heizgasen als Kohlensäure enthalten ist, unvollkommen, wenn der Kohlenstoff zum Theil gar nicht, zum Theil nur zu Kohlenoxyd verbrennt. Die Vollständigkeit der Verbrennung hängt ab von der Mischung der Heizgase mit Luft, denn der zur Verbrennung erforderliche Sauerstoff wird der Luft entnommen. Man muß demnach zur möglichsten Vermeidung von Wärmeverlusten einerseits so viel Luft zuführen, wie zur vollständigen Verbrennung nöthig ist, andererseits aber nicht übermäßig viel, denn die zu viel zugeführte Luft wird auf die Temperatur der Heizgase erwärmt, bedeutet also einen Wärmeverlust. Da die Innigkeit der Mischung der Heizgase mit Luft in einem Kessel stets unvollkommen ist, so muß man in der Praxis etwa doppelt so viel Luft zuführen, wie theoretisch für die vollständige Verbrennung nöthig wäre, nämlich etwa 16 anstatt 8 cbm pro 1 kg Kohle.

2. Arbeit.

a) Kraft ist die Ursache einer Bewegung oder Bewegungsänderung. Die bekannteste aller Kräfte ist die gegenseitige Anziehungskraft zwischen der Erde und einem anderen Körper, d. h. die Schwere oder das Gewicht des Körpers. Man mißt die Größe einer Kraft allgemein durch Vergleich mit der Schwerkraft und nimmt in der Technik als Einheit das Gewicht von 1 kg an.

b) Widerstand. Jede auf einen Körper einwirkende Kraft ruft in demselben eine ihr gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft, den Widerstand, hervor, also Kraft = Widerstand, Aktion = Reaktion.

c) **Bewegung.** Dieselbe ist entweder gleichförmig oder ungleichförmig. Bei gleichförmiger Bewegung legt der Körper in gleichen Zeiten gleiche Wege zurück, bei ungleichförmiger Bewegung verschiedene Wege. Im letzteren Falle ist die Bewegung beschleunigt oder verzögert, je nachdem der Weg pro Zeiteinheit zu- oder abnimmt.

d) **Geschwindigkeit.** Dieselbe ist das Verhältniß $\frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$. In der Technik drückt man den Weg in m, die Zeit in sec. aus. Folglich ist bei der gleichförmigen Bewegung der pro sec. zurückgelegte Weg in m die Geschwindigkeit. Bei der beschleunigten oder verzögerten Bewegung ändert sich fortwährend das vorstehende Verhältniß. Man kann also in diesem Falle nur von einer augenblicklichen Geschwindigkeit oder von einer mittleren Geschwindigkeit während eines bestimmten Weges sprechen.

e) **Arbeit.** Dieselbe ist das Produkt aus Kraft und Weg. Setzt ein Körper einer Bewegung oder Bewegungsänderung keinen Widerstand entgegen, dann ist Kraft = Widerstand = 0, also auch Arbeit = 0. Ist andererseits der Widerstand gegen eine Bewegung so groß, daß die auf einen Körper einwirkende Kraft keine Bewegung erzeugt, dann ist der Weg, also auch die Arbeit = 0. Eine auf einen Körper einwirkende Kraft leistet demnach nur dann Arbeit, wenn der Körper sich bewegt und dabei der Bewegung Widerstand entgegensetzt. Wird durch ein niedersinkendes Gewicht Arbeit geleistet, dann muß eine genau ebenso große Arbeit aufgewendet werden, um das Gewicht wieder auf die ursprüngliche Höhe zu heben, was sich ohne Weiteres aus dem Begriff Arbeit ergiebt.

Man mißt die Arbeit in der Technik nach der Einheit „Meterkilogramm" (mkg) und versteht unter 1 mkg diejenige Arbeit, welche nöthig ist, um 1 kg 1 m hoch zu heben, oder welche durch 1 kg geleistet wird, wenn es um 1 m sinkt. Hat man mit großen Arbeiten zu rechnen, dann mißt man sie nach der Einheit „Metertonne" (mt). 1 mt = 1000 mkg. In England rechnet man nach Fußpfunden (foot-pounds) und Fußtonnen (foot-tons).

f) **Effekt.** Wird durch eine Maschine Arbeit geleistet, dann ist es nicht gleichgültig, in welcher Zeit eine bestimmte Arbeit geleistet wird, sondern man muß zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit einer Maschine die für die bestimmte Arbeit aufgewendete Zeit mit in Rechnung ziehen, denn je kleiner die zur Verfügung stehende Zeit ist, desto größer muß die Maschine sein. Man mißt deshalb die Leistungsfähigkeit einer Maschine durch den Begriff $\frac{\text{Kraft} \cdot \text{Weg}}{\text{Zeit}}$ oder Kraft · Geschwindigkeit und nennt denselben Effekt.

Als Einheit rechnet man in der Technik den Effekt von 1 mkg pro sec., also Zahl der Effekteinheiten $= \frac{\text{Weg in m} \cdot \text{Kraft in kg}}{\text{Zeit in sec.}}$

Für die Bestimmung der Leistung von Maschinen benutzt man jedoch allgemein eine größere Effekteinheit, nämlich 75 mkg pro sec. = 1 Pferdestärke, also:

$$\text{Zahl der Pferdestärken} = \frac{\text{Weg in m} \cdot \text{Kraft in kg}}{\text{Zeit in sec.} \cdot 75.}$$

In Worten ausgedrückt: 1 Pferdestärke ist ein Effekt, welcher nöthig ist, um in 1 sec. 75 kg 1 m hoch zu heben
oder „ 1 „ 1 „ 75 „ „ „ „
oder „ 75 „ 1 „ 1 „ „ „ „

Der Begriff „Pferdestärke" (horse-power) rührt von James Watt her, welcher durch Versuche feststellte, daß ein Pferd im Durchschnitt pro sec. 550 Fußpfund leisten kann. Da 75 mkg = 542,5 Fußpfund sind, so ist

$$\frac{\text{englische Pferdestärke}}{\text{deutsche Pferdestärke}} = \frac{1000}{986.}$$

Beispiel. Wieviel Pferdestärken muß eine Bootsheißmaschine auf das Boot übertragen, wenn dasselbe 5000 kg schwer ist und in 40 sec. 8 m hoch geheißt werden soll?

$$\text{Arbeit in 40 sec.} = 8 \cdot 5000 = 40\,000 \text{ mkg}$$

$$\text{„ „ 1 „} = \frac{40\,000}{40} = 1000 \text{ mkg}$$

$$1000 \text{ mkg pro sec.} = \frac{1000}{75} = 13{,}3 \text{ Pferdestärken.}$$

3. Gleichwerthigkeit von Wärme und Arbeit.

Zwei aneinander geriebene Körper erwärmen sich bekanntlich. Die für die Reibung aufgewendete Arbeit wird also in Wärme umgesetzt. Umgekehrt läßt sich auch Wärme in Arbeit umsetzen. Erwärmt man z. B. einen mit Luft gefüllten und durch einen Kolben dicht abgeschlossenen Cylinder, so dehnt sich die Luft aus und bewegt den Kolben. Die erzeugte Arbeit ist das Produkt aus Kolbendruck und Kolbenweg. Durch wissenschaftliche Versuche ist festgestellt, daß die Erwärmung von 1 kg Wasser um 1°, d. h. 1 WE, gleichwerthig ist mit 426 mkg. Man sagt deshalb allgemein: Wärme und Arbeit sind gleichwerthig oder äquivalent und nennt 426 mkg das Arbeitsäquivalent von 1 WE und umgekehrt $\frac{1}{426}$ WE das Wärmeäquivalent von 1 mkg.

Beispiel. Wieviel Pferdestärken sind erforderlich, um 1 cbm Wasser in 5 Stunden von 10° Cels. auf 100° Cels. zu erwärmen (z. B. durch Rührzeug)?

Es sind im Ganzen erforderlich $1000 \cdot 90$ WE $= 1000 \cdot 90 \cdot 426$
$= 38\,340\,000$ mkg.

Da diese Arbeit sich auf 5 Stunden vertheilt, so entfallen auf 1 sec.

$$\frac{38\,340\,000}{5 \cdot 3600} = 2130 \text{ mkg}$$

$$= \frac{2130}{75} = 28{,}4 \text{ Pferdestärken.}$$

B. Wasserdampf.

1. Verdampfung und Kondensation.

a) Vorgänge bei der Verdampfung. Bei der Wirkung der Wärme war erklärt, daß der Siedepunkt des Wassers, welcher die Grenze zwischen dem flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand bildet, bei 100° Cels. liegt unter einem Luftdruck von 760 mm Quecksilbersäule (Barometerstand). Daraus folgt, daß das Wasser zu verdampfen beginnt entweder durch Erwärmung über 100° Cels. hinaus bei 760 mm Barometerstand, oder durch Fallen des Barometerstandes unter 760 mm bei 100° Cels. Temperatur, oder durch gleichzeitige Wirkung beider Aenderungen. Wird gleichzeitig die Temperatur des Wassers und der auf dem Wasser lastende Druck erhöht, dann tritt Verdampfung ein, wenn die Wirkung der Temperaturerhöhung größer ist als die Wirkung der Druckerhöhung. Geht die Dampfbildung bei gleichbleibendem äußeren Druck, z. B. Atm. Druck von 760 mm vor sich, dann kann durch vermehrte Wärmezuführung die Wassertemperatur nicht über 100° erhöht werden, weil bei gleichbleibendem Druck der Siedepunkt unveränderlich ist, und es wird alle weiter zugeführte Wärme sofort zur Dampfbildung verwendet. Geht die Dampfbildung in einem geschlossenen Gefäß, z. B. in einem Dampfkessel vor sich, und sorgt man durch regelmäßige Dampfentnahme dafür, daß der Druck konstant, aber höher ist als der Atmosphärendruck, dann gilt im Prinzip dasselbe wie vorher, nur ist die Temperatur des Dampfes und Wassers eine höhere, dem höheren Druck entsprechende, d. h. der Siedepunkt des Wassers liegt jetzt höher. Führt man dem geschlossenen Gefäß kein frisches Wasser zu, dann dauert die Dampfbildung unter gleichzeitiger Druckerhöhung so lange, bis alles Wasser in Dampf verwandelt ist. Die Drucksteigerung beruht natürlich auf dem Volumenunterschied zwischen Wasser und Dampf. In allen Fällen besitzt der Dampf unmittelbar nach der Verdampfung dieselbe Temperatur wie das Wasser, aus welchem er entstanden ist.

b) Menge der zur Verdampfung aufgewendeten Wärme. Den Vorgang der Verdampfung kann man als mechanische Arbeit auffassen, denn Dampf unterscheidet sich von Wasser nur durch die andere Anordnung der Moleküle, und bei verschiedener Temperatur außerdem durch den anderen Bewegungszustand (Wärmeschwingungen) der Moleküle. Es ist demnach wegen der Gleichwerthigkeit von Wärme und Arbeit eine bestimmte Wärmemenge erforderlich, um eine bestimmte Wassermenge von einer bestimmten Temperatur in Dampf von einer bestimmten Spannung zu verwandeln. Die zur Verdampfung von Wasser erforderliche Gesammtwärme kann man in drei Theile zerlegen:

1. Flüssigkeitswärme, welche das Wasser auf die Dampftemperatur erhitzt, ohne den flüssigen Aggregatzustand zu ändern. Die Flüssigkeitswärme wäre = 0, wenn das Wasser die gleiche Temperatur hätte wie der Dampf, wenn man z. B. das Speisewasser eines Kessels bis auf die Kesselwassertemperatur vorwärmen würde;

2. innere latente oder innere Verdampfungswärme, welche den Aggregatzustand ändert ohne Aenderung der Temperatur;
3. äußere latente oder äußere Verdampfungswärme, welche die Volumenvergrößerung bewirkt und dabei den äußeren Druck überwindet. Die äußere Verdampfungswärme wäre = 0, wenn kein äußerer Druck vorhanden, also auch nicht zu überwinden wäre, wenn z. B. die Verdampfung in einem vollkommen luftleeren Raume erfolgen würde.

Die Wärme 2 und 3 nennt man latent, weil sie bei der Verdampfung gleichsam verschwindet, denn eine meßbare Temperaturerhöhung wird durch sie nicht erzeugt. Von den 3 Wärmemengen ist die innere latente Wärme bei Weitem die größte. Die Wärme 2 und 3 zusammen bezeichnet man kurz als Verdampfungswärme oder latente Wärme, so daß man die Gesammtwärme des Dampfes zusammenfassen kann:

Gesammtwärme = Flüssigkeitswärme + Verdampfungswärme.

Ferner bezeichnet man die Wärme 1 und 2 auch zusammen als Dampfwärme, so daß man auch schreiben kann:

Gesammtwärme = Dampfwärme + äußere Verdampfungswärme.

Eine Zusammenstellung über die Temperaturen und Wärmemengen bei verschiedenen Dampfspannungen enthält die folgende Tabelle über gesättigte Wasserdämpfe (vergl. 2a), und zwar beziehen sich die Wärmemengen auf 1 kg Wasser bezw. Dampf. Die Tabelle ergiebt, daß zur Verwandlung von 1 kg Wasser von 0° Cels. in Dampf von 100° Cels. 100 + 497 + 40 = 637 WE erforderlich sind. Die Tabelle ergiebt ferner, daß mit zunehmendem Dampfdruck unter sonst gleichen Verhältnissen die innere latente Wärme ab-, die Flüssigkeits- und äußere latente Wärme zunimmt, daß ferner diese Ab- und Zunahme um so langsamer erfolgt, je höher der Dampfdruck ist, und daß schließlich die Zunahme der Gesammtwärme für 1 kg Drucksteigerung um so kleiner ist, je höher der Dampfdruck. Aus der letzteren Thatsache folgt, daß verhältnißmäßig wenig Brennmaterial aufgewendet werden muß, um Dampf von geringerer Spannung auf höhere zu bringen. Die Tabelle giebt auch eine Erklärung für die auffallend großen Wärmeverluste (etwa 89 pCt.) bei der Verwandlung der Kohlenwärme in Pferdestärken, denn die innere Verdampfungswärme, welche den größten Theil der Gesammtwärme bildet, wird nicht zur Arbeit verwendet, da im Kondensator der Dampf in den flüssigen Aggregatzustand zurückkehrt und die dabei wieder frei werdende innere Verdampfungswärme durch das Kühlwasser verloren geht. — Hat man keine Dampftabelle zur Verfügung, so berechnet man die zur Verwandlung von 1 kg Wasser von 0° in Dampf von t° erforderliche Gesammtwärme W nach der angenäherten Formel von Regnault

$$W = 606{,}5 + 0{,}305\ t\ \text{WE}.$$

c) **Kondensation.** Dieselbe ist die Umkehrung der Verdampfung. Wie letztere durch Wärmezuführung oder Druckverminderung entsteht, so entsteht die Kondensation durch Wärmeentziehung oder Kompression. Erfolgt die Kondensation in einem luftdicht abgeschlossenen Behälter durch Abkühlung, so entsteht

gleichzeitig eine Druckverminderung, denn Wasser nimmt einen erheblich geringeren Raum ein als Dampf. Hierauf beruht zum größten Theil das Vakuum der Kondensatoren. Bei 100° Cels., d. h. unter Atmosphärendruck, nimmt 1 kg Dampf 1700 l, also einen 1700 mal größeren Raum ein als Wasser. Hiernach müßte in einem mit Dampf von geringer Spannung angefüllten geschlossenen Raum, z. B. in einem Kondensator, durch Kondensiren des Dampfes eine fast absolute Luftleere entstehen. In Wirklichkeit aber übersteigt die Luftleere der Kondensatoren nicht 95 pCt., weil im Dampf stets etwas Luft enthalten ist, welche natürlich nicht kondensirt. Die Menge der bei der Kondensation frei werdenden Wärme ist ebenso groß wie die für die Verdampfung aufgewendete. Man kann sie also für jede beliebige Umwandlung von Dampf in Wasser aus der Dampftabelle entnehmen oder nach der Annäherungsformel von Regnault berechnen.

2. Eigenschaften und Zustandsänderungen des Wasserdampfes.

a) **Gesättigter und überhitzter Dampf.** Zwängt man in ein geschlossenes Gefäß, welches theils mit Wasser, theils mit Dampf gefüllt ist, neuen Dampf von derselben Spannung hinein, dann schlägt sich ebenso viel Dampf als Wasser nieder. Das Gefäß ist mit Dampf gesättigt, und man nennt den Dampf gesättigten Dampf. Derselbe befindet sich an der Grenze der Kondensation, hat also für die betreffende Spannung die geringste Temperatur und die größte Dichtigkeit. Durch jede Abkühlung oder Kompression muß demnach ein Theil des Dampfes kondensiren. Daher erklären sich die Spannungsverluste zwischen Kessel und Maschine und innerhalb der Maschine. Gesättigter Dampf findet sich praktisch nur in direkter Berührung mit Wasser, und jeder Dampf, welcher in direkter Berührung mit Wasser steht, ist gesättigt, denn durch eine weitere Wärmezufuhr würde nicht der Dampf über die Sättigungstemperatur hinaus erwärmt, sondern es würde mehr Wasser verdampft werden. Hieraus folgt, daß alle Schiffskessel gesättigten Dampf enthalten. Demselben ist stets noch etwas mitgerissenes Wasser mechanisch beigemengt (nasser oder feuchter Dampf). Der Dampf wird um so nasser, je lebhafter die Verdampfung und je kleiner die Wasseroberfläche, aus welcher der Dampf entweicht, ist. — Das spezifische Volumen des gesättigten Wasserdampfes (Volumen eines kg Dampf in cbm) und das spezifische Gewicht desselben (Gewicht eines cbm Dampf in kg) ist für die verschiedenen Dampfspannungen in der Tabelle angegeben.

Erwärmt man das erwähnte Gefäß so weit, daß alles Wasser verdampft, und führt dann noch mehr Wärme zu, so verwandelt sich der gesättigte Dampf in überhitzten. Ueberhitzter Dampf hat eine höhere Temperatur und ein größeres Volumen als gesättigter Dampf von derselben Spannung. Er entsteht also auch durch Expansion von gesättigtem Dampf, wenn während der Expansion durch Wärmezufuhr dafür gesorgt wird, daß die Temperatur nach der Expansion höher ist, als die Temperatur von gleich gespanntem, gesättigtem Dampf. Ueberhitzter Dampf kann bis zur Sättigungstemperatur abkühlen, ohne gleichzeitig an

Spannung zu verlieren. Auf dieser Eigenschaft beruht zum größten Theil der Nutzen der Anwendung von überhitztem Dampf bei den älteren Schiffsmaschinen mit niedrigem Kesseldruck, denn erfahrungsmäßig verliert bei Schiffsmaschinen nicht überhitzter Dampf etwa $^1/_4$ bis $^1/_2$ kg pro qcm Spannung auf dem Wege vom Kessel zur Maschine, also bei Ndr.-Maschinen mit 2 kg Kesseldruck etwa 12,5 bis 25 pCt. vom Kesseldruck. Dieser Verlust kann durch Ueberhitzung ganz oder zum größten Theil vermieden werden. Ein weiterer Vortheil der Ueberhitzung des Dampfes liegt darin, daß die durchschnittliche Cylindertemperatur eine höhere wird, die Kondensationsverluste im Cylinder also kleiner ausfallen. Schließlich nimmt durch Ueberhitzung das Dampfvolumen zu, so daß für jede Cylinderfüllung weniger Dampfgewicht verbraucht wird. Die bei älteren Maschinen durch Ueberhitzung erzielte Kohlenersparniß beläuft sich auf etwa 5 bis 10 pCt.

Je höher der Kesseldruck ist, desto mehr verschwinden die Vortheile des überhitzten Dampfes. Da außerdem die Ueberhitzung hochgespannten Dampfes praktische Betriebsschwierigkeiten (Zerstörung der Stopfbuchsenpackung, Verflüchtigung der Schmiermaterialien und infolgedessen starke Reibung zwischen den gleitenden Flächen) mit sich bringt, und da bei modernen stehenden Maschinen eine gewisse Dampffeuchtigkeit im Hdr.-Cylinder unter Umständen die innere Cylinderschmierung entbehrlich macht und somit das Eindringen von Oel in den Kessel und seine schädliche Wirkung auf die Kesselwandungen vermeidet, so wird bei modernen Maschinen überhitzter Dampf nicht mehr verwendet. Die bei einigen Wasserrohrkesseln (z. B. Dürr) in den Rauchfang eingebauten und zuweilen als Ueberhitzer bezeichneten Rohrsysteme sind thatsächlich keine Ueberhitzer, sondern nur Dampftrockner, und dienen bei den betreffenden Kesseln nur als Gegenmittel gegen übermäßig nassen Dampf.

Eine andere bei modernen Wasserrohrkesseln stellenweise angewendete Methode zum Trocknen des Dampfes ist die, daß man den Druck im Kessel um mehrere kg pro qcm höher hält, als der Anfangsdruck in der Maschine beträgt. Letzterer wird dann durch Drosseln des Kesseldampfes hergestellt, wobei der Dampf, da er einen engen Querschnitt passirt, eine höhere Geschwindigkeit annimmt, also eine gewisse Arbeit (Beschleunigungsarbeit) verrichtet. Gelangt der Dampf nach der Drosselung wieder in einen größeren Querschnitt, dann nimmt die Geschwindigkeit wieder ab, und durch diese Verzögerung wird die vorher aufgewendete Arbeit in Wärme umgesetzt, der Dampf also getrocknet.

b) Expansion und Kompression. Befindet sich Dampf in einem Cylinder, welcher an einem Ende durch einen dicht schließenden, aber beweglichen Kolben abgeschlossen ist, dann wird der Kolben den mit Dampf gefüllten Theil des Cylinders vergrößern oder verkleinern, je nachdem der innere oder äußere Druck überwiegt. Im ersteren Falle haben wir eine Volumenvergrößerung, eine Expansion des Dampfes, im letzteren eine Volumenverkleinerung, eine Kompression. Die Bewegung des Kolbens würde, wenn sie keinen Widerstand fände (Kolbengewicht, Reibung), so weit gehen, bis innerhalb und außerhalb des

Cylinders der gleiche Druck herrscht. Diese beiden Zustandsänderungen des Dampfes treten in den Dampfcylindern jeder größeren Dampfmaschine auf, wie später erklärt wird. Es fragt sich, wie wird die Dampfspannung durch diese Volumenänderung beeinflußt? Aufschluß hierüber giebt untenstehende Dampftabelle, in welcher das Volumen von 1 kg Dampf für die verschiedenen Spannungen angegeben ist. Hiernach ist das Volumen ungefähr umgekehrt proportional der

Tabelle für gesättigte Wasserdämpfe.

Dampfspannung in kg auf 1 qcm p	Dampfspannung in mm Quecksilbersäule	Temperatur in Graden Cels. t	Flüssigkeitswärme q	Innere latente Wärme ϱ	Aeußere latente Wärme Apu	Dampfwärme J	Verdampfungswärme r	Gesammtwärme λ	1 kg Dampf nimmt ein: cbm s	1 cbm Dampf wiegt kg γ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,1	75,2	46	46,1	539,3	35,2	585,4	574,5	620,6	14,59	0,068
0,2	148,8	60	60,1	528,1	36,5	588,2	564,6	624,7	7,653	0,130
0,3	223,2	69	69,2	521,0	37,4	590,2	558,4	627,6	5,224	0,191
0,4	300,8	76	76,2	515,4	38,0	591,6	553,4	629,6	3,945	0,253
0,5	369,3	81	81,3	511,4	38,5	592,7	549,9	631,2	3,253	0,307
0,6	441,0	85	85,8	507,8	38,9	593,6	546,7	632,5	2,751	0,364
0,7	514,7	89	89,8	504,7	39,3	594,5	544,0	633,8	2,376	0,420
0,8	588,4	93	93,4	501,9	39,6	595,3	541,5	634,9	2,099	0,476
0,9	657,5	96	96,4	499,5	39,8	595,9	539,3	635,7	1,890	0,528
1,0	735,5	99	99,6	497,0	40,1	596,6	537,1	636,7	1,701	0,587
2,0	1 471,0	119	120,4	480,8	41,8	601,2	522,6	643,0	0,887	1,126
3,0	2 206,5	132	133,8	470,3	42,8	604,1	513,1	646,9	0,606	1,648
4,0	2 942,0	142	144,1	462,4	43,6	606,5	506,0	650,1	0,463	2,16
5,0	3 677,5	151	152,5	456,0	44,1	608,5	500,1	652,6	0,375	2,66
6,0	4 413,1	158	159,6	450,4	44,6	610,0	495,0	654,6	0,316	3,16
7,0	5 148,6	164	165,9	445,6	45,0	611,5	490,6	656,5	0,273	3,65
8,0	5 884,1	169	171,5	441,3	45,4	612,8	486,7	658,2	0,241	4,14
9,0	6 619,6	174	176,6	437,4	45,7	614,0	483,1	659,7	0,216	4,62
10,0	7 355,1	179	181,2	433,9	45,9	615,1	479,8	661,0	0,195	5,11
11,0	8 090,6	183	185,6	430,6	46,2	616,2	476,8	662,4	0,179	5,58
12,0	8 826,1	186	189,6	427,5	46,4	617,1	473,9	663,5	0,165	6,06
13,0	9 561,6	190	193,4	424,6	46,6	618,0	471,2	664,6	0,153	6,53
14,0	10 297,1	194	196,9	421,9	46,8	618,8	468,7	665,6	0,142	7,00
15,0	11 032,6	197	200,3	419,3	47,0	619,6	466,3	666,6	0,133	7,47
16,0	11 768,1	200	203,5	416,9	47,1	620,4	464,0	667,5	0,129	7,72
17,0	12 503,7	203	206,6	414,6	47,3	621,2	461,9	668,5	0,122	8,18
18,0	13 239,9	206	209,5	412,4	47,4	621,9	459,8	669,3	0,115	8,63
19,0	13 974,7	209	212,3	410,3	47,6	622,6	457,9	670,2	0,110	9,08
20,0	14 710,2	211	215,1	408,2	47,7	623,3	455,9	671,0	0,104	9,53
21,0	15 445,7	214	217,7	406,3	47,8	624,0	454,1	671,8	0,100	9,97
22,0	16 181,2	216	220,2	404,4	47,9	624,6	452,3	672,5	0,096	10,42
23,0	16 916,7	219	222,6	402,5	48,0	625,1	450,5	673,1	0,092	10,86
24,0	17 652,2	220	225,0	400,8	48,1	625,8	448,9	673,9	0,088	11,31
25,0	18 387,7	223	227,3	399,0	48,2	626,3	447,2	674,5	0,085	11,74
26,0	19 123,3	225	229,5	397,4	48,3	626,9	445,7	675,2	0,082	12,18
27,0	19 858,8	227	231,7	395,7	48,3	627,4	444,0	675,7	0,079	12,62
28,0	20 594,3	229	233,8	394,2	48,4	628,0	442,6	676,4	0,076	13,06
29,0	21 329,8	231	235,8	392,6	48,5	628,4	441,1	676,9	0,074	13,50
30,0	22 065,3	233	237,8	391,1	48,6	628,9	439,7	677,5	0,071	13,94

absoluten Spannung, d. h. der Druck verringert sich ungefähr in demselben Maße, wie sich das Volumen vergrößert. Die Zahlen der Tabelle sind aber nicht ohne Weiteres für die Expansion und Kompression des Dampfes in einem Dampfcylinder maßgebend, weil sie sich ausschließlich auf gesättigten Dampf beziehen, also voraussetzen, daß weder durch Wärmezuführung eine Ueberhitzung, noch durch Wärmeentziehung eine theilweise Kondensation stattfindet, während thatsächlich in jedem Dampfcylinder Wärmebewegungen stattfinden, welche von dieser Voraussetzung abweichen.

Ist die Temperatur konstant und nicht wie bei gesättigtem Wasserdampf, mit dem Druck abnehmend, dann befolgen alle vollkommenen Gase das Gesetz von Mariotte, welches lautet: Bei konstanter Temperatur ist das Volumen aller vollkommenen Gase umgekehrt proportional dem absoluten Druck. Auch dieses Gesetz entspricht nicht genau dem thatsächlichen Verhalten des Dampfes im Dampfcylinder bei der Expansion und Kompression, jedoch ist bei gut bekleidetem und geheiztem Cylinder die Abweichung gering. Man legt deshalb der Einfachheit halber in der Praxis sowohl der Expansion als auch der Kompression allgemein das Mariottesche Gesetz zu Grunde. Bezeichnet man die verschiedenen absoluten Dampfspannungen mit p_1, p_2, p_3 u. s. w. und die zugehörigen Volumina eines bestimmten Dampfquantums mit v_1, v_2, v_3 u. s. w., so ist das Mariottesche Gesetz durch die Gleichung ausgedrückt: $p_1 : p_2 : p_3 = v_3 : v_2 : v_1$ oder wenn man die inneren und äußeren Glieder der Proportion miteinander multiplizirt: $p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2 = p_3 \cdot v_3$.

Stellt man die Zustandsänderung des Dampfes graphisch dar, indem man die Volumina als Abscissen, die Spannungen als Ordinaten aufzeichnet, dann besagt das Mariottesche Gesetz: Bei konstanter Temperatur sind die Rechtecke aus Druck und Volumen sämmtlich flächengleich.

3. Arbeit des Wasserdampfes.

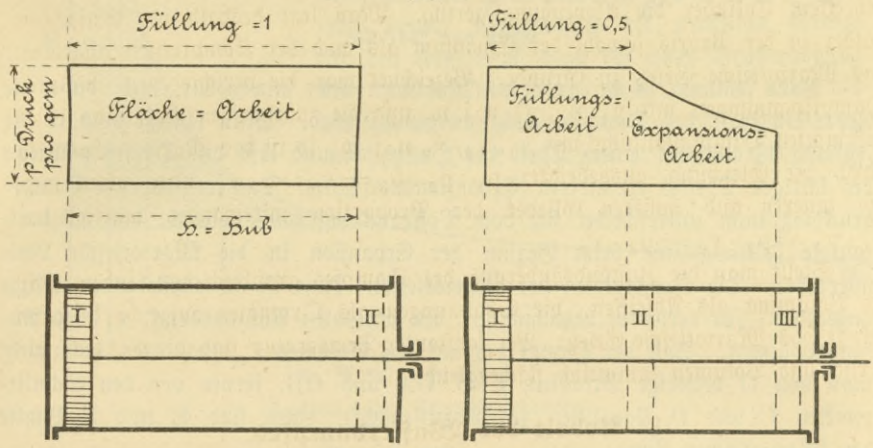
a) Arbeitsweisen. Wasserdampf von einer gewissen Spannung kann Arbeit verrichten, indem er entweder mit großer Geschwindigkeit direkt gegen die Schaufeln eines Rades strömt und dadurch dieses in Drehung versetzt, oder vermöge seines Ueberdruckes einen Dampfkolben in einem geschlossenen Cylinder vor sich her schiebt. In beiden Fällen wächst natürlich die Wirkung des Dampfes mit seiner Spannung, während die Ausnutzung des Dampfes, d. h. der Dampf- oder Kohlenverbrauch für eine bestimmte Arbeitsleistung außerdem von verschiedenen anderen Umständen abhängt, welche später erklärt werden.

Von den vorstehenden beiden Arbeitsweisen des Dampfes kommt die erstere nur für Dampfturbinen in Betracht, welche bis jetzt in unserer Marine keine größere Verwendung gefunden haben. Es wird deshalb hier nur auf die zweite Arbeitsweise des Dampfes eingegangen, auf die Bewegung eines Dampfkolbens in einem Dampfcylinder. Diese Arbeit ergiebt sich aus Dampfdruck und Kolbenweg und läßt sich einerseits rechnerisch behandeln, andererseits graphisch in einem Dampfdruckdiagramm darstellen.

In jedem Falle rechnet man den Dampfdruck nach kg pro qcm Druckfläche (in England nach Pfund pro Quadratzoll) und unterscheidet Ueberdruck (Kesseldruck, Arbeitsdruck) und absoluten Druck, je nachdem man von 1 Atmosphäre oder vom absoluten Vakuum ab rechnet. Der mittlere Druck der Atmosphäre auf die Erdoberfläche, d. h. das Gewicht der Luftsäule, beträgt 10 334 kg pro qm oder 1,0334 kg pro qcm und entspricht einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe, ist also etwas größer als der Druck von 1 kg pro qcm. Der Unterschied ist aber so gering, daß man im praktischen Maschinenbau der Einfachheit halber allgemein den Atmosphärendruck zu 1 kg pro qcm rechnet.

b) Dampfdruckdiagramm. Dasselbe ergiebt sich nach Vorstehendem aus dem Kolbenweg als Abscisse und dem Dampfdruck als Ordinate. Der einfachste Fall ist der, daß während des ganzen Kolbenhubes der Dampfeintrittskanal nach dem Cylinder geöffnet ist, der Cylinder also mit voller Füllung arbeitet (Voll-

Fig. 1.

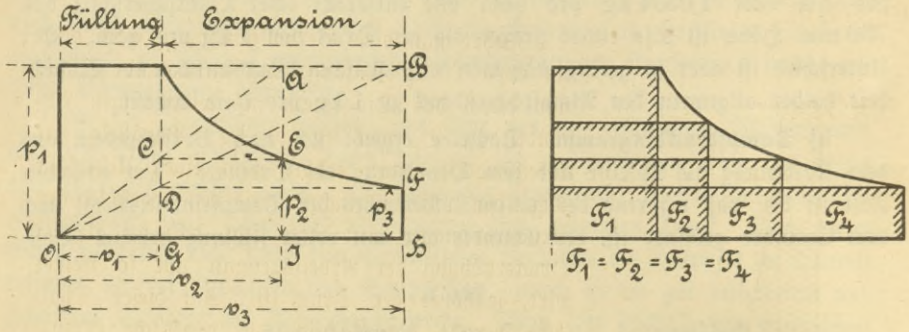


Dampfdruckdiagramm.

druckmaschine). In diesem Falle ist das Diagramm ein Rechteck, dessen Länge dem Kolbenhub und dessen Höhe dem während des ganzen Hubes konstanten Dampfdruck entspricht. Da Arbeit das Produkt aus Kraft und Weg und der Inhalt eines Rechtecks das Produkt aus Länge und Höhe ist, so entspricht der Flächeninhalt des Rechteckes der Größe der während des Hubes geleisteten Arbeit. Ist beispielsweise ein solches Volldruckdiagramm 100 mm lang und 40 mm hoch und bedeutet 1 mm Abscissenlänge 1 cm Kolbenhub und 1 mm Ordinatenhöhe $^1/_{10}$ kg pro qcm Ueberdruck, dann ist der Weg = 1 m, die Kraft pro qcm Kolbenfläche = 4 kg, folglich die Arbeit = 4 mkg pro qcm Kolbenfläche. Vorausgesetzt ist dabei, daß auf der anderen Kolbenseite der Druck von 1 Atmosphäre herrscht. Bei absolutem Vakuum auf der anderen Kolbenseite würde die den Kolben treibende Kraft 5 kg pro qcm betragen. Mit anderen Worten: Um die wirkliche Arbeit eines Dampfkolbens während eines Hubes zu erhalten, muß man entweder ein Dampfdruckdiagramm

zeichnen, dessen Ordinaten die Druckdifferenzen auf beiden Kolbenseiten darstellen, oder man muß für jede Kolbenseite ein Diagramm für einen und denselben Hub zeichnen und die Differenz beider Diagramme bilden (Druckarbeit—Gegendruckarbeit).

Fig. 2.



Gesetz von Mariotte.

Volle Füllung ist bei größeren Maschinen nicht anwendbar, weil dabei die Expansionskraft des Dampfes nicht ausgenutzt wird. Man schließt deshalb die Füllung bereits auf einem Theil des Hubes ab und läßt den Dampf während des übrigen Theiles expandiren (Expansionsmaschine). Das entsprechende Dampfdruckdiagramm unterscheidet sich vom Volldruckdiagramm dadurch, daß die horizontale Füllungslinie beim Beginn der Expansion in die Mariottesche Linie übergeht. Die Konstruktion der Mariotteschen Linie ist in vorstehender Skizze angegeben. In derselben bezeichnet p_1 den absoluten Anfangsdruck, v_1 das Anfangsvolumen. Soll der Dampf bis auf das Volumen v_3 expandiren, dann zieht man von O beliebige Strahlen, z. B. OA und OB, ferner von den Schnittpunkten C und D Parallelen zur Abscissenachse, dann sind E und F Punkte der Mariotteschen Linie.

Beweis: $BH : DG = OH : OG$. $AI : CG = OI : OG$

$$p_1 : p_3 = v_3 : v_1. \quad p_1 : p_2 = v_2 : v_1.$$

Das beim Volldruckdiagramm über die Arbeit Gesagte gilt auch für das Expansionsdiagramm, wie überhaupt bei jedem beliebig gestalteten Diagramm, in welchem Abscisse = Weg und Ordinate = Kraft ist, der Flächeninhalt der Größe der Arbeit entspricht.

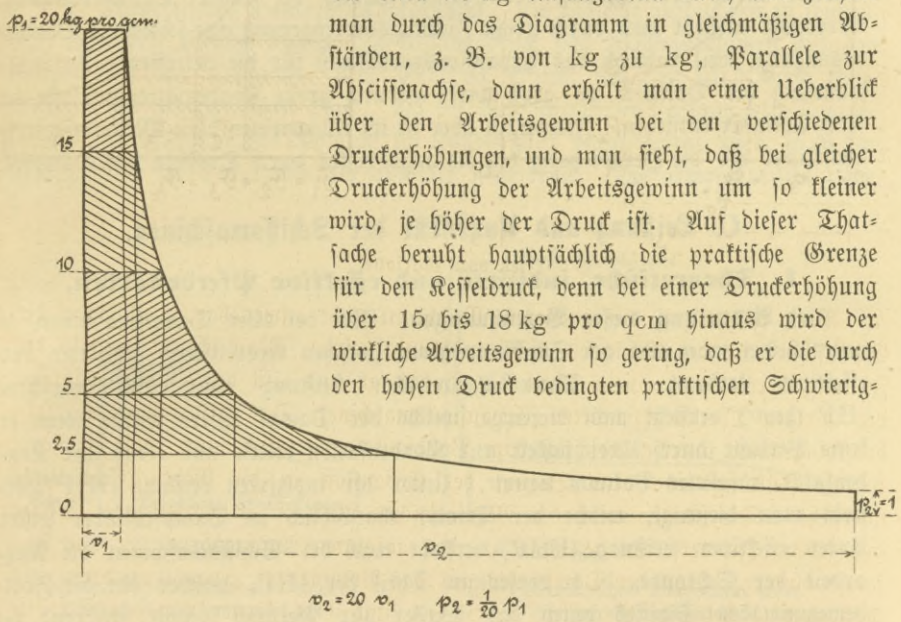
4. Wirthschaftlicher Vortheil hoher Dampfspannung.

Zur Erzielung einer besseren Ausnutzung der Kohlen, d. h. zur Verringerung des Kohlenverbrauches pro IHP und Stunde, ist im Laufe der Jahre der Kesseldruck von etwa 2 bis auf etwa 15 kg pro qcm Ueberdruck gesteigert worden. Der Vortheil der höheren Dampfspannung beruht auf der größeren Expansionsarbeit des Dampfes und der Thatsache, daß verhältnißmäßig wenig Wärme nöthig ist, um Dampf von geringerer auf höhere Spannung zu bringen. Die

Füllungsarbeit ändert sich nicht mit Aenderung des Dampfdruckes, denn nach dem Mariotteschen Gesetz ist $p_1 v_1 = p_2 v_2$, d. h. was an Druck gewonnen wird, geht an Volumen oder an Weg verloren. Der durch Erhöhung des Dampfdruckes erzielte Arbeitsgewinn stellt sich im Diagramm durch entsprechende Vervollständigung nach oben dar, wobei die Mariottesche Linie nach oben zu verlängern ist.

Führt man diese Vervollständigung nach oben bis etwa 20 kg Anfangsdruck durch und zeichnet man durch das Diagramm in gleichmäßigen Abständen, z. B. von kg zu kg, Parallele zur Abscissenachse, dann erhält man einen Ueberblick über den Arbeitsgewinn bei den verschiedenen Druckerhöhungen, und man sieht, daß bei gleicher Druckerhöhung der Arbeitsgewinn um so kleiner wird, je höher der Druck ist. Auf dieser Thatsache beruht hauptsächlich die praktische Grenze für den Kesseldruck, denn bei einer Druckerhöhung über 15 bis 18 kg pro qcm hinaus wird der wirkliche Arbeitsgewinn so gering, daß er die durch den hohen Druck bedingten praktischen Schwierig-

Fig. 3.



Vortheil hoher Dampfspannungen.

keiten für den Bau und Betrieb im Allgemeinen nicht mehr aufwiegt. Es ist daher anzunehmen, daß wir auf unseren modernen Schiffen ungefähr an der praktischen Grenze des Kesseldrucks angelangt sind.

Andererseits kann man aus dem Diagramm schließen, daß auch der Arbeitsgewinn, welcher durch weitere Fortsetzung der Expansion erzielt wird, immer kleiner wird. Da nun der letzte Theil der Expansion im Ndr.-Cylinder stattfindet, so ist das Endvolumen des Dampfes gleichbedeutend mit dem ganzen Volumen des Ndr.-Cylinders. Eine weitere Fortsetzung der Expansion des Dampfes bedingt also eine entsprechende Vergrößerung des Ndr.-Cylinders, und die praktische Grenze der Expansion liegt darin, daß die Nachtheile des größeren Ndr.-Cylinders durch den Arbeitsgewinn nicht mehr aufgewogen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß wegen der unvermeidlichen Kondensationsverluste der praktische Arbeitsgewinn stets geringer ist als der theoretische.

Das Diagramm in der beschriebenen Form giebt ein Bild über den Arbeitsgewinn pro kg Dampf, berücksichtigt aber nicht das Mehr an Wärme, welches

zur Erhöhung der Dampfspannung aufgewendet werden muß. Der durch höheren Kesseldruck bedingte Arbeitsgewinn ist also in Wirklichkeit etwas kleiner als das Diagramm angiebt, der Unterschied ist aber sehr gering, wie aus der Dampftabelle hervorgeht.

Will man bei langsamem Gange der Maschine den wirthschaftlichen Vortheil der hohen Dampfspannung möglichst beibehalten, dann muß man den langsamen Gang nicht durch Drosseln des Dampfes mit dem Absperrventil bewirken, sondern durch Verkleinerung der Cylinderfüllung bei voller Dampfspannung. Allerdings entsteht auch durch große Füllungsverringerung eine schlechtere Dampfausnutzung, weil dadurch das Expansionsverhältniß für die betreffende Anfangsspannung des Dampfes zu groß wird, wodurch große Kondensationsverluste im Ndr.-Cylinder entstehen. Immerhin aber ist im Allgemeinen diese Methode wirthschaftlicher als die Herabsetzung des Anfangsdruckes durch Drosseln des Dampfes.

C. Leistung und Nutzeffekt der Schiffsmaschinen.

1. Theoretische, indizirte und effektive Pferdestärken.

a) Bedeutung dieser Bezeichnungen. Wie bei allen Dampfmaschinen, so unterscheidet man auch bei Schiffsmaschinen zwischen theoretischer, indizirter und effektiver Leistung. — Unter theoretischer Leistung einer Schiffsmaschine (HP theor.) versteht man diejenige, welche der Dampf liefern würde, wenn er keine Verluste durch Undichtigkeit und Kondensation erlitte und wenn der Kondensator absolutes Vakuum lieferte. Unter der indizirten Leistung (IHP) versteht man diejenige, welche der Dampf thatsächlich im Dampfcylinder leistet. Unter effektiver Leistung (EHP) versteht man bei Schiffsmaschinen die Nutzarbeit der Schraube, d. h. denjenigen Theil der IHP, welcher für die Fortbewegung des Schiffes durch das Wasser zur Geltung kommt, während bei Landmaschinen die auf die Welle übertragene Leistung als EHP gerechnet wird.

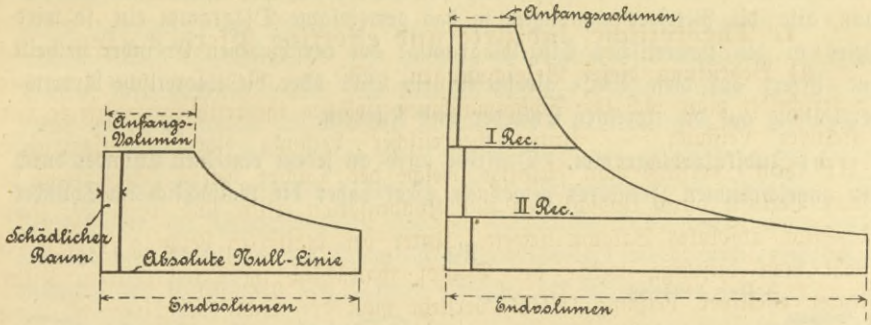
b) Messung der Leistung. Die theoretischen Pferdestärken können, da sie in Wirklichkeit nicht vorhanden sind, auch nicht an der Maschine gemessen, sondern nur berechnet oder durch ein Diagramm dargestellt werden. Die indizirten Pferdestärken ergiebt der Indikator an der laufenden Maschine durch das Indikatordiagramm. Die effektiven Pferdestärken bei kleinen Landmaschinen, d. h. die auf die Kurbelwelle übertragene Leistung, kann man messen, indem man ein Bremsdynamometer auf die Welle setzt (Pronyscher Zaum). Bei Schiffsmaschinen schätzt man die EHP nach den IHP auf Grund von Erfahrungskoeffizienten. Eine genaue Bestimmung der EHP für ein vorhandenes Schiff ist nur durch Messung des Schiffswiderstandes möglich. Da hiernach die Leistung am einfachsten und billigsten in IHP sich bestimmen läßt, so wird in der Praxis bei vorhandenen Schiffsmaschinen stets nach IHP gerechnet. Bei der Konstruktion einer neuen Maschine dagegen muß man stets von den theoretischen Pferdestärken ausgehen und auf Grund von Erfahrungskoeffizienten auf die IHP schließen.

2. Arbeitsdiagramme.

Die Darstellung der Arbeit der Schiffsmaschinen durch Diagramme bezieht sich auf die theoretischen und indizirten Pferdestärken. Beide werden durch das unter B. 3. im Prinzip erklärte Dampfdruckdiagramm dargestellt. Eine Darstellung der EHP durch ein Diagramm wäre an und für sich zwar möglich (z. B. Abscisse = Weg des Schiffes, Ordinate = Propellerschub), hat aber praktisch keinen Werth.

a) Theoretisches Dampfdruckdiagramm. Um dasselbe aufzeichnen zu können, muß man drei Werthe kennen, den Anfangsdruck, das Anfangsvolumen und das Endvolumen des Dampfes. Der Enddruck ergiebt sich von selbst durch Konstruktion der Mariotteschen Linie. Da bei der theoretischen Leistung kein Dampfverlust und vollkommenes Vakuum im Kondensator vorausgesetzt wird, so ist der Anfangsdruck im Diagramm der absolute Kesseldruck. Die atmosphärische Linie

Fig. 4.



Theoretisches Diagramm einer Einfach-Expansionsmaschine.

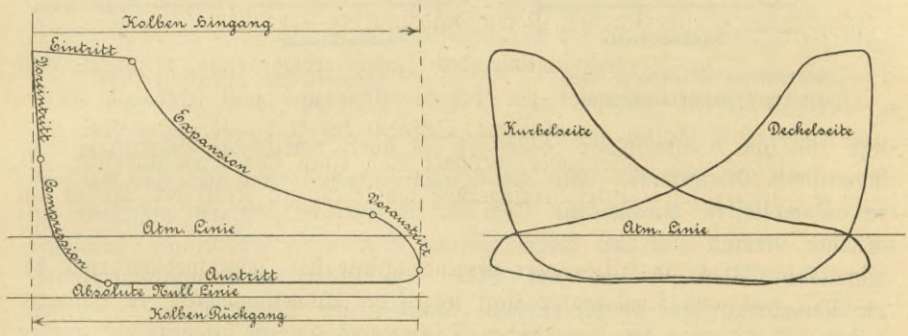
Theoretisches Diagramm einer Dreifach-Expansionsmaschine.

liegt also um 1 Atmosphäre höher als die untere horizontale Begrenzung des theoretischen Diagramms. Für das Dampfvolumen kommt nicht nur das von dem Dampfkolben durchlaufene Volumen in Betracht, sondern außerdem der schädliche Raum, d. h. der Raum zwischen dem in der Endstellung (Todtlage) befindlichen Kolben und dem Ende (Boden oder Deckel) des Dampfcylinders und der Rauminhalt der Kanäle zwischen Cylinder und Schieberfläche, denn dieser Raum muß bei jedem Hube mit Dampf gefüllt werden. Schädlich ist der Raum, weil der zu seiner Füllung verwendete Dampf nicht sofort, sondern erst bei seiner Expansion Arbeit verrichtet, weil somit ein Mehrverbrauch an Dampf und Kohlen entsteht. Bis zu einem gewissen Grade wird dieser Nachtheil durch die Kompression des Dampfes am Ende der Austrittsperiode wieder ausgeglichen. Der schädliche Raum ist praktisch nöthig, um ein Anstoßen des Dampfkolbens in den Todtlagen zu vermeiden und die Gefahr der Wasserschläge zu verringern. Nach Vorstehendem ist im theoretischen Dampfdruckdiagramm das Anfangsvolumen des Dampfes = Füllungsvolumen des Cylinders + schädlichem Raum, das Endvolumen = ganzem Volumen des Cylinders + schädlichem Raum.

Bei Mehrfach-Expansionsmaschinen arbeitet der Dampf hintereinander in mehreren Cylindern (Expansionsstufen). Bei jedem Hube tritt ebenso viel Dampf in den ersten (Hdr.-)Cylinder ein, wie aus dem letzten (Ndr.-)Cylinder austritt. Der Dampf expandirt also vom Füllungsvolumen des Hdr.-Cylinders + schädlichem Raum des Hdr.-Cylinders bis auf das ganze Volumen des Ndr.-Cylinders + schädlichem Raum des Ndr.-Cylinders. Nimmt man nun an, daß die Expansion gleichmäßig durch die ganze Maschine nach dem Mariotteschen Gesetz erfolgt, dann kann man die Dampfarbeit aller Cylinder durch ein gemeinschaftliches Diagramm mit vorstehendem Anfangs- und Endvolumen und mit dem absoluten Kesseldruck als Anfangsdruck darstellen. Das gleiche Diagramm würde sich theoretisch ergeben, wenn der Dampf seine ganze Arbeit allein im Ndr.-Cylinder verrichtete. Praktisch ist dies unmöglich aus Gründen, welche im 2. Abschnitt des Buches erörtert werden. In dem Uebergangsraum (Receiver) von einem Cylinder zum anderen bildet die Dampfspannung gleichzeitig den Gegendruck für den vorangehenden und den Anfangsdruck für den folgenden Cylinder. Trägt man also die Receiverspannungen in das gemeinsame Diagramm ein, so wird dieses in die theoretischen Einzeldiagramme der verschiedenen Cylinder getheilt und liefert auf diese Weise gleichzeitig ein Bild über die theoretische Arbeitsvertheilung auf die einzelnen Cylinder und Kurbeln.

b) Indikatordiagramm. Dasselbe wird an jedem einzelnen Cylinder durch den angeschraubten Indikator gewonnen, giebt daher die thatsächlich im Cylinder

Fig. 5.



Indikatordiagramm.

herrschenden Druckschwankungen des Dampfes wieder. Da während des einmaligen Andrückens des Indikatorschreibstiftes der Indikator mit einer und derselben Seite des Dampfcylinders in Verbindung steht, so ist das Indikatordiagramm die in sich geschlossene Spannungskurve während eines Kolben-Hin- und Rückganges. Das Indikatordiagramm unterscheidet sich vom theoretischen dadurch, daß es einerseits alle durch Kondensation und Undichtigkeiten entstehenden Druckverluste wiedergiebt, andererseits auch alle Einflüsse der Dampfvertheilungs-Steuerung. Die Druckverluste zeigen sich in einer Verkürzung der Ordinaten

des theoretischen Diagramms, die Einflüsse der Steuerung in einer Veränderung der Form.

Bei normaler Dampfvertheilung in Schiffsmaschinen oder größeren Hülfsmaschinen zerfällt das Indikatordiagramm in folgende 6 Perioden:

Kolbenhingang	1. Eintritt, 2. Expansion, 3. Voraustritt,	Kolbenrückgang	4. Austritt, 5. Kompression, 6. Voreintritt.

Zu 1. Die Eintritts- oder Einströmungslinie des Indikatordiagramms liegt infolge der Druckverluste tiefer als diejenige des theoretischen Diagramms und ist im Allgemeinen eine horizontale Gerade. Ein starkes Fallen der Einströmungslinie deutet auf einen zu kleinen Querschnitt der in den Cylinder führenden Kanäle hin.

Zu 2. Die Expansionslinie des Indikatordiagramms liegt infolge der Druckverluste tiefer als die theoretische Mariottesche Linie, nähert sich aber derselben gewöhnlich am Ende der Expansion infolge des Nachdampfens, d. h. des nachträglichen Verdampfens des vorher im Cylinder kondensirten Wassers. Dieses Nachdampfen erklärt sich dadurch, daß der Dampfcylinder eine Temperatur annimmt, welche zwischen der Temperatur des eintretenden und expandirten Dampfes liegt, daß infolgedessen die Cylindertemperatur am Anfang des Hubes niedriger, am Ende desselben höher ist als die Temperatur des Dampfes. Ein Ueberschießen der Expansionslinie über die theoretische Mariottesche Linie deutet auf undichtes Abschließen des Dampfvertheilungsschiebers und dadurch ermöglichtes nachträgliches Einströmen von Dampf während der Expansion.

Zu 3. Die Voraustrittslinie des Indikatordiagramms entspricht dem Oeffnen des Austrittskanales vor der Todtlage und fällt steiler ab als die Expansionslinie. Durch das frühere Oeffnen des Austrittskanales (bei etwa 80 bis 85 pCt. des Kolbenhubes) bezweckt man einen schnelleren Ausgleich mit dem Gegendruck sowie eine Verringerung der lebendigen Kraft der Massen am Ende des Hubes.

Zu 4. Die Austritts- oder Gegendrucklinie des Indikatordiagramms bei Austritt nach dem Kondensator liegt wegen der Unvollständigkeit des Vakuums höher als diejenige des theoretischen Diagramms und ist bei genügend großen Austrittskanälen im Allgemeinen eine horizontale Gerade. Bei Austritt in die freie Luft entspricht die Austrittslinie dem Atmosphärendruck, liegt aber etwas über der atmosphärischen Linie wegen des Widerstandes beim Austritt des Dampfes durch die Austrittskanäle. Beim Hdr.- und Mdr.-Cylinder einer Mehrfach-Expansionsmaschine entspricht die Austrittslinie dem im folgenden Receiver herrschenden Dampfdruck, liegt aber ebenfalls wegen des Austrittswiderstandes etwas höher, als das Manometer am Receiver angiebt.

Zu 5. Eine gute Dampfvertheilung ist so eingerichtet, daß der Austrittskanal nicht während des ganzen Hubes geöffnet bleibt, sondern schon früher (etwa

bei 80 bis 85 pCt. des Hubes) geschlossen wird. Hierdurch wird ein Theil des auf der Austrittsseite des Kolbens befindlichen Dampfes im Cylinder zurückgehalten und, da der Dampfkolben sich weiterbewegt, bis auf das Volumen des schädlichen Raumes komprimirt, abgesehen von der Wirkung des Voreintritts (siehe zu 6). Der praktische Zweck der Kompression ist ein sanfterer und stoßfreierer Hubwechsel, indem durch den Gegendruck des komprimirten Dampfes (Dampfkissen oder Dampfpuffer) die lebendige Kraft der Massen allmählich aufgehoben oder doch verringert wird. Die Kompression hat aber außerdem einen wirthschaftlichen Nutzen, denn es wird der schädliche Raum mit höher gespanntem Dampf gefüllt und somit der Verbrauch an frischem Dampf beim nächsten Hub verringert. Selbstverständlich bedeutet die Kompression stets einen Arbeitsverlust, denn der Flächeninhalt des Indikatordiagramms wird durch sie verkleinert.

Zu 6. Der Voreintritt entsteht durch Oeffnen des Eintrittskanales vor der Todtlage und bedeutet für den Kolbenrückgang dasselbe, wie der Voraustritt für den Kolbenhingang. Er bewirkt also eine schnellere Herstellung des vollen Druckes für den Beginn des nächsten Hubes und unterstützt außerdem den erwähnten praktischen Zweck der Kompression. Die Voreinströmungslinie im Indikatordiagramm schließt sich an die Kompressionslinie an, steigt aber etwas steiler an.

Bei einer Mehrfach-Expansionsmaschine kann von einem für alle Cylinder gemeinschaftlichen Diagramm beim Indikatordiagramm natürlich nicht die Rede sein (vergl. theoretisches Diagramm). Für die Indikatordiagramme der einzelnen Cylinder einer Mehrfach-Expansionsmaschine gilt im Prinzip das allgemein über das Indikatordiagramm Gesagte, nur die Lage der einzelnen Diagramme in Bezug auf die atmosphärische Linie ist eine verschiedene. Bei der vollen Leistung einer modernen Dreifach-Expansionsmaschine geht die atmosphärische Linie durch das Ndr.-Diagramm, denn bei 12 bis 15 kg pro qcm Kesseldruck beträgt bei voller Leistung der Druck im II. Receiver etwa 1,5 bis 2 kg pro qcm, im I. Receiver etwa 5 bis 6 kg pro qcm. Bei verringerter Maschinenleistung (bei langsamer Fahrt) sinkt der Dampfdruck im II. Receiver unter Umständen unter den Atmosphärendruck. In diesem Falle geht die atmosphärische Linie durch das Mdr.-Diagramm, und der auf den Ndr.-Kolben wirkende Druck besteht lediglich in der Wirkung des Vakuums.

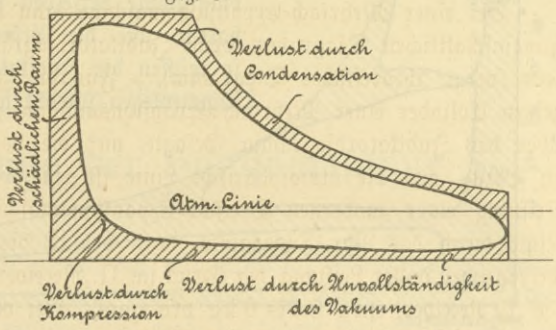
Allgemein ist noch für sämmtliche Indikatordiagramme zu bemerken, daß die Uebergänge von einer Dampfperiode zu der anderen allmählich, d. h. abgerundet und nicht mit scharfen Richtungswechseln der Spannungskurve erfolgen, was sich dadurch erklärt, daß bei der gleitenden Bewegung der Dampfvertheilungsschieber die Kanäle nicht plötzlich geöffnet und geschlossen, sondern allmählich vergrößert und verkleinert werden. Auch sonst, namentlich bei schnell laufenden Maschinen, zeigen die Indikatorkurven häufig Unregelmäßigkeiten, welche nicht immer auf fehlerhafte Dampfvertheilung zurückzuführen und daher nicht zu vermeiden sind.

3. Wirkungsgrad oder Nutzeffekt der Schiffsmaschinen.

a) Allgemeines. Entsprechend den drei Leistungen einer Schiffsmaschine (theoretisch, indicirt und effektiv) muß man in Betracht ziehen den Wirkungsgrad zwischen theoretischen und indicirten, den Wirkungsgrad zwischen indicirten und effektiven und den Gesammtwirkungsgrad zwischen theoretischen und effektiven Pferdestärken. Alle diese Wirkungsgrade betreffen nur die Maschinenanlage, d. h. die Ausnutzung des Dampfes. Für die Beurtheilung des Gesammtwirkungsgrades einer Maschinen- und Kesselanlage muß man außerdem den Wirkungsgrad der Kessel, d. h. das Verhältniß der an das Kesselwasser abgegebenen Wärme zu der von den Kohlen erzeugten in Rechnung ziehen (vergl. Schiffskessel). Der Wirkungsgrad der Kessel ist nicht gleichbedeutend mit dem Verhältniß der in Arbeit umgesetzten Kohlenwärme zu den theoretischen Pferdestärken, denn die Verdampfungswärme (Aenderung des Aggregatzustandes) ist in der an das Kesselwasser abgegebenen Wärme mit enthalten, aber nicht in der theoretischen Leistung der Maschine.

b) Verhältniß zwischen theoretischen und indicirten Pferdestärken. Der Unterschied zwischen den theoretischen und indicirten Pferdestärken beruht auf den Dampfverlusten infolge von Kondensation und Undichtigkeiten, auf der Unvollständigkeit des Vakuums und auf dem Einfluß des schädlichen Raumes und der Dampfvertheilungs-Steuerung. Ein theilweises Kondensiren von Dampf findet statt in der Rohrleitung zwischen Kessel und Maschine, im Schieberkasten und im Dampfcylinder infolge der unvermeidlichen Wärmestrahlung der den Dampf einschließenden Wandungen nach außen. Undichtigkeiten kommen vor zwischen Schieber und Schieberkasten, sowie zwischen Dampfkolben und Dampfcylinder. Die Unvollständigkeit des Vakuums beruht hauptsächlich auf der im Dampf enthaltenen Luft.

Fig. 6.



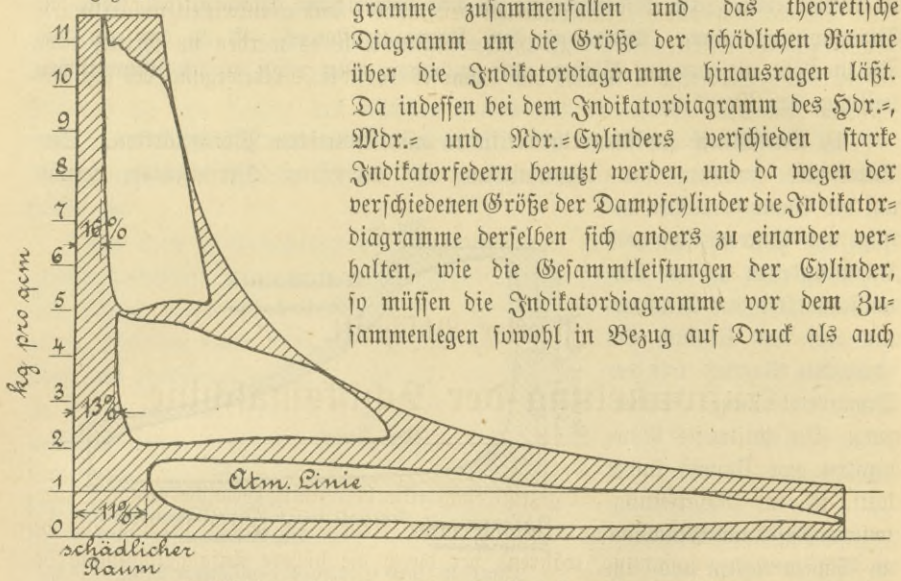
Nutzeffekt einer Einfach-Expansionsmaschine.

Die Größe der Arbeitsverluste und der Wirkungsgrad der Maschine $\left(\frac{\text{IHP}}{\text{HP theor.}}\right)$ ergiebt sich für eine vorhandene Maschine durch Berechnung der theoretischen Leistung oder Messung des theoretischen Diagramms und durch Messung des Indikatordiagramms bezw. der Indikatordiagramme. Will man nicht nur feststellen, wie viel Prozent von der theoretischen Leistung in indicirte umgesetzt wird, sondern auch untersuchen, an welcher Stelle und durch welche Ursachen die Arbeitsverluste entstehen, so schlägt man eine graphische Methode ein. Man

zeichnet das theoretische und indicirte Diagramm in gleichem Maßstab so zusammen, daß die atmosphärischen Linien beider Diagramme zusammenfallen, und daß das obere Ende der Voreinströmungslinie des Indikatordiagramms zusammenfällt mit der Ordinate des theoretischen Diagramms, welche den schädlichen Raum vom Cylindervolumen trennt. Der Flächenüberschuß des theoretischen Diagramms über das indicirte stellt dann die Arbeitsverluste, und das Verhältniß der Fläche des Indikatordiagramms zur Fläche des theoretischen den Wirkungsgrad oder Nutzeffekt der Maschine dar. Derselbe liegt bei modernen Schiffsmaschinen im Allgemeinen zwischen 0,6 und 0,7.

Die vorstehende graphische Untersuchung des Wirkungsgrades läßt sich in entsprechender Weise für eine Mehrfach-Expansionsmaschine durchführen, indem man die atmosphärischen Linien sämmtlicher Diagramme zusammenfallen und das theoretische Diagramm um die Größe der schädlichen Räume über die Indikatordiagramme hinausragen läßt. Da indessen bei dem Indikatordiagramm des Hdr.-, Mdr.- und Ndr.-Cylinders verschieden starke Indikatorfedern benutzt werden, und da wegen der verschiedenen Größe der Dampfcylinder die Indikatordiagramme derselben sich anders zu einander verhalten, wie die Gesammtleistungen der Cylinder, so müssen die Indikatordiagramme vor dem Zusammenlegen sowohl in Bezug auf Druck als auch

Fig. 7.



Rankinisirtes Diagramm einer Dreifach-Expansionsmaschine.

auf Cylindervolumen auf den gleichen Maßstab gebracht werden. Nach dem Erfinder Rankine nennt man dieses Verfahren Rankinisiren. Ein solches zusammengelegtes Diagramm einer Mehrfach-Expansionsmaschine läßt auch die Verluste in den Receivern erkennen.

c) Verhältniß zwischen indicirten und effektiven Pferdestärken. Diese beiden Leistungen vergleicht man nur rechnerisch nicht graphisch. Zwischen IHP und EHP liegen folgende Arbeitsverluste: Reibungsarbeit der Maschine und Wellenleitung, welche sich aus der Leergangsarbeit der Maschine und der bei belasteter Maschine hinzutretenden zusätzlichen Reibungsarbeit zusammensetzt, Arbeit zum Betriebe von angehängten Pumpen, Reibungsarbeit der Schraube im Wasser, Arbeitsverlust durch den Rücklauf (Slip) der Schraube infolge des Ausweichens

des Wassers nach hinten und Arbeitsverlust infolge der Verminderung des hydrostatischen Druckes auf das Hinterschiff, hervorgerufen durch die saugende Wirkung der Schraube.

Eine genaue Feststellung der EHP für vorhandene Schiffe wird im Allgemeinen nicht vorgenommen wegen der Schwierigkeit der Ausführung (Messung des Propellerschubes durch Dynamometer). Auf Grund von einzelnen Versuchen und von Rechnungen kann man für moderne Schiffe die vorstehenden Arbeitsverluste zusammen zu etwa 30 bis 40 pCt. der IHP annehmen, so daß etwa 60 bis 70, im Mittel 65 pCt. der IHP in EHP umgesetzt, d. h. zur Fortbewegung des Schiffes verwendet werden. Von wesentlichem Einfluß auf diesen Wirkungsgrad ist die Konstruktion und Anordnung der Propeller.

d) Verhältniß zwischen theoretischen und effektiven Pferdestärken. Derselbe ergiebt sich durch Multiplikation der unter b und c entwickelten Wirkungsgrade zu im Mittel etwa $0{,}6 \cdot 0{,}65 = 0{,}39$, d. h. es werden im Mittel etwa 39 pCt. der theoretischen Arbeit des Dampfes für die Fortbewegung des Schiffes nutzbar gemacht.

Zweiter Abschnitt.

Entwickelung der Schiffsmaschine.

Im ersten Abschnitt war gezeigt, daß eine bestimmte Gewichtsmenge Dampf bei hoher Anfangsspannung erheblich mehr Arbeit zu leisten vermag, als bei niedriger Anfangsspannung, während der durch die höhere Anfangsspannung bedingte Mehrbedarf an Wärme verhältnißmäßig klein ist. Auf dieser Thatsache beruht im Wesentlichen die Entwickelung der Dampfmaschine im Allgemeinen und der Schiffsmaschine im Besonderen, denn einerseits war eine Steigerung des Kesseldruckes durch die Forderung einer möglichst guten Ausnutzung der Kohlenwärme geboten, andererseits ist eine gute Ausnutzung des höher gespannten Dampfes nur dadurch möglich, daß man ihn hintereinander in mehreren Cylindern (Expansionsstufen) wirken läßt. So entstand gleichzeitig mit der Erhöhung des Kesseldruckes aus der ursprünglichen Einfach-Expansionsmaschine hintereinander die Zweifach-, Dreifach- und Vierfach-Expansionsmaschine.

Die im Folgenden für die einzelnen Maschinensysteme angegebenen Kohlenverbräuche pro IHP und Stunde beziehen sich auf eine wirthschaftliche Betriebsweise, also bei Kriegsschiffen auf eine mittlere Leistung. Für langsame Fahrt und niedrige Maschinenleistung sind diese Angaben nicht mehr zutreffend aus den im

ersten Abschnitt (Vortheil hoher Dampfspannung) angegebenen Gründen, und für stärkere Forcirungen wird der Kohlenverbrauch deshalb größer, weil auf Kriegsschiffen die gesammte Heizfläche der Kessel nicht groß genug ist, um die schneller durchstreichenden Heizgase genügend auszunutzen. Aeußeres Kennzeichen hierfür ist die höhere Schornsteintemperatur bei forcirten Fahrten.

A. Einfach-Expansionsmaschine.

1. Ausnutzung des Dampfes und Kohlenverbrauch.

Der Dampf wirkt nur in einer Expansionsstufe, wobei es für das System der Maschine gleichgültig ist, ob sie nur einen oder mehrere parallel nebeneinander geschaltete Cylinder hat.

a) **Niederdruck-Maschine.** Die ältesten Schiffsmaschinen waren Ndr.-Maschinen mit $1^1/_3$ bis 2 kg Kesseldruck und verbrauchten etwa 2 bis 2,5 kg Kohlen pro IHP und Stunde. Die ersten wirthschaftlichen Fortschritte bestanden in der Einführung von Dampfmänteln, Ueberhitzern und Oberflächenkondensatoren an Stelle von Einspritzkondensatoren. Ndr.-Maschinen mit diesen Verbesserungen finden sich noch auf unseren älteren Kriegsschiffen und verbrauchen etwa 1,6 kg Kohlen pro IHP und Stunde. Durch den Dampfmantel wurde die durchschnittliche Cylindertemperatur erhöht und somit die Kondensation im Cylinder verringert. Durch den Ueberhitzer wurde der Druckverlust zwischen Kessel und Maschine verringert. Durch den Oberflächenkondensator wurden die Wärmeverluste vermieden, welche bei Einspritzkondensatoren durch das häufige Ausblasen von warmem Kesselwasser entstehen.

Die Einführung des Oberflächenkondensators hat aber eine weitere, viel wichtigere Bedeutung für die Entwickelung der Schiffsmaschine. Die Erfahrung zeigt nämlich, daß bei einer Kesselwassertemperatur von 144° Cels. und darüber die kohlensauren und schwefelsauren Kalksalze, auch wenn sie nur wenige Prozent vom Kesselwasser betragen, sich aus dem Wasser ausscheiden und den Kessel im Innern mit einer festen Kesselsteinkruste überziehen, wodurch ein Erglühen der Kesselbleche und Havariegefahr entstehen kann, während bei einer niedrigeren Temperatur des Kesselwassers der Salzgehalt ohne Gefahr bis etwa 7 pCt., im Nothfall sogar bis 9 pCt. steigen kann, weil er im Wasser größtentheils aufgelöst bleibt. Da nun bei Einspritzkondensatoren für jedes zu kondensirende kg Dampf etwa 20 bis 30 kg Seewasser eingespritzt werden müssen, so ist das Speisewasser vom Seewasser wenig verschieden, und der Kessel enthält, auch wenn er am Anfang der Reise mit Süßwasser aufgefüllt war, nach kurzer Betriebszeit fast nur Seewasser, und trotz Ausblasens kann der Salzgehalt im Kesselwasser niemals kleiner werden als im Seewasser. Daraus folgt, daß Schiffsmaschinen mit Einspritzkondensatoren höchstens mit einem Anfangsdruck arbeiten dürfen, welcher einer Dampftemperatur von 144° Cels. entspricht, d. h. höchstens mit 3 kg pro qcm Ueberdruck. Da man wegen der unvermeidlichen

Druckschwankungen im Kessel mit einer gewissen Sicherheit rechnen muß, so bildeten, solange Einspritzkondensatoren in Gebrauch waren, d. h. bis etwa 1860, 2 kg Ueberdruck die übliche Grenze für den Kesseldruck (entsprechend 135° Cels.).

b) Mitteldruck- und Hochdruck-Maschinen. Durch Einführung von Oberflächenkondensatoren an Bord der Schiffe kam die erwähnte Grenze in Fortfall, weil bei Oberflächenkondensatoren eine vollständige Trennung zwischen Kondensations- und Kühlwasser besteht, also im Allgemeinen auch kein Salzwasser in den Kessel gelangt. Man begann deshalb bald nach Einführung des Oberflächenkondensators den Kesseldruck zu steigern, zunächst bis auf 4 kg pro qcm (Einfach-Expansions-Mdr.-Maschinen), dann weiter auf 5 bis 6 kg (Einfach-Expansions-Hdr.-Maschinen).

Die bei der Drucksteigerung auf 6 kg und darüber erzielte Kohlenersparniß fiel jedoch in der Praxis erheblich geringer aus, als theoretisch zu erwarten war. Sie betrug nämlich nur etwa 12 pCt. gegenüber den besten Mdr.-Maschinen, d. h. der Kohlenverbrauch sank nur auf etwa 1,4 kg pro IHP und Stunde. Der Grund für diesen verhältnißmäßig geringen Erfolg lag theils in dem für 1 Expansionsstufe zu großen Temperaturgefälle, theils in dem zu großen Druckunterschied auf beiden Kolbenseiten, theils in dem mit abnehmender Füllung wachsenden Einfluß des schädlichen Raumes.

Je größer das Temperaturgefälle, d. h. die Temperaturdifferenz zwischen dem ein- und austretenden Dampf ist, desto größer ist auch die Differenz zwischen der mittleren Cylindertemperatur und der Temperatur des eintretenden Dampfes, desto größer also auch die Kondensation während des ersten Theiles des Kolbenhubes, denn der Cylinder nimmt etwa eine mittlere Temperatur zwischen der Ein- und Austrittstemperatur des Dampfes an. Beträgt beispielsweise der Ueberdruck im Kessel 5 kg pro qcm, der Druckverlust zwischen Kessel und Maschine 0,5 kg und die Temperatur des nach dem Kondensator abgehenden Dampfes 75° Cels., dann ist das Temperaturgefälle $= 155 - 75 = 80°$ (155° entspricht 5,5 kg absolutem Kesseldruck). Der frisch eintretende Dampf trifft also auf Wandungen, welche etwa 40° kälter sind als er selbst und erleidet dementsprechend Kondensationsverluste. Dieselben lassen sich durch einen Dampfmantel bis zu einem gewissen Grade, aber niemals ganz vermeiden.

Je größer ferner der Druckunterschied auf beiden Kolbenseiten ist, desto größer sind die Dampfverluste, welche durch die unvermeidlichen Undichtheiten der Kolbenliderung und den dadurch hervorgerufenen Uebertritt von Dampf von der Druckseite nach der Gegendruckseite des Kolbens entstehen.

Durch die genannten Umstände erklärt es sich, daß die durch den Uebergang von 2 auf 5 kg Kesseldruck erzielte Kohlenersparniß, welche theoretisch zu etwa 30 pCt. angenommen werden konnte, in Wirklichkeit auf etwa 12 pCt. zusammenschrumpfte. Diese Erfahrung führte zur Theilung der Arbeit des Dampfes in zwei Expansionsstufen, zu der Zweifach-Expansionsmaschine.

2. Zahl und Anordnung der Cylinder, Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit.

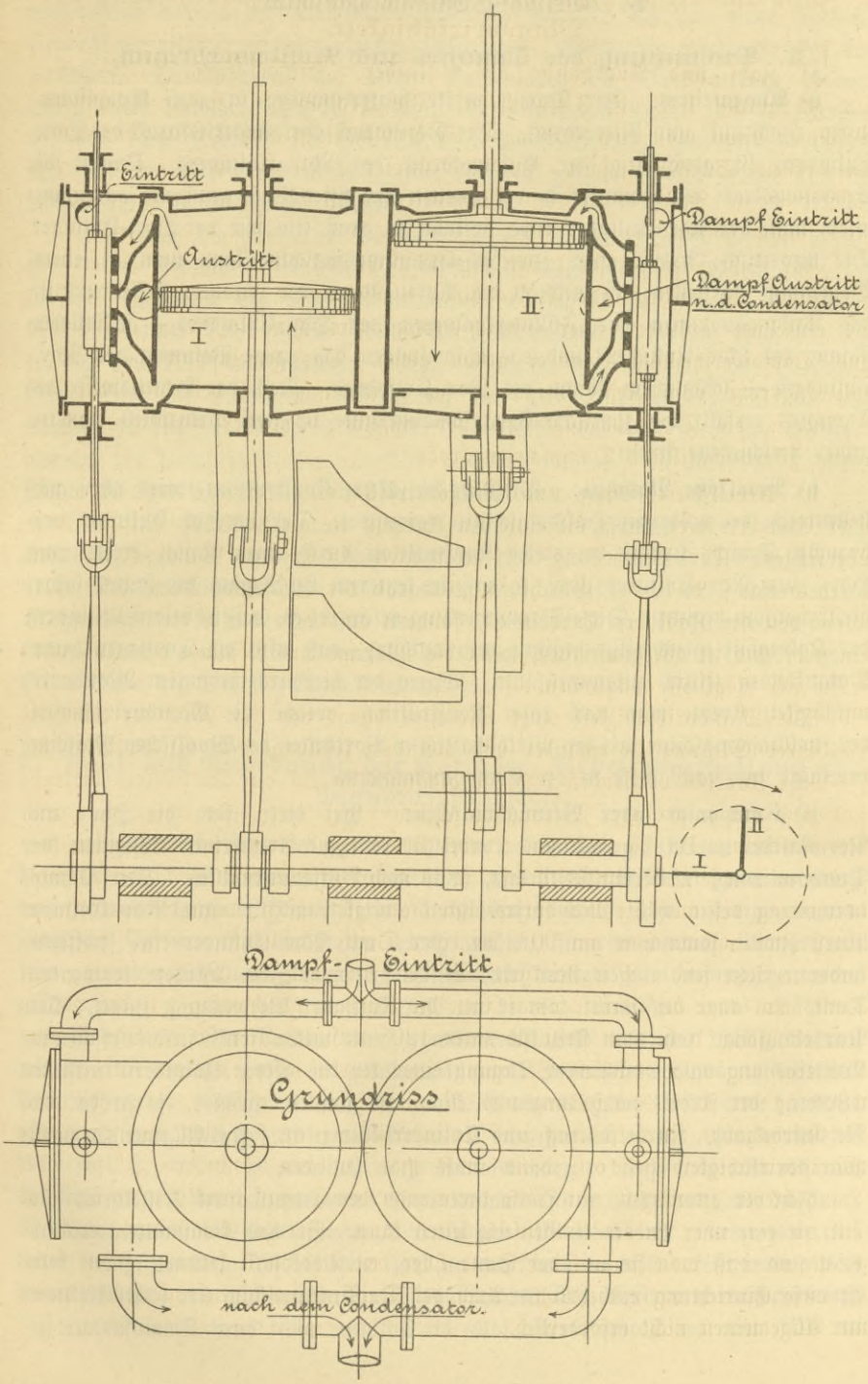
a) Zahl und Anordnung der Cylinder. Einfach-Expansionsmaschinen sind gebaut mit 1, 2 und 3 Cylindern. Die 2 cylindrigen Einfach-Expansionsmaschinen nennt man auch Zwillings-, die 3 cylindrigen auch Drillingsmaschinen. Die ersten Schiffsmaschinen, für Raddampfer bestimmt, waren 1 cylindrig. Später baute man der besseren Manövrirfähigkeit halber nur mehrcylindrige Raddampfmaschinen.

Für Schraubendampfer kamen mit Rücksicht auf die Manövrirfähigkeit von vornherein nur mehrcylindrige Maschinen in Betracht. In allen Fällen sind die einzelnen Cylinder einer Einfach-Expansionsmaschine in Bezug auf Größe und Dampfvertheilung einander genau gleich. Das gemeinschaftliche Dampfzuleitungsrohr vom Kessel verzweigt sich gleichmäßig nach den zwei oder drei Cylindern, die Dampfabgangsrohre der einzelnen Cylinder vereinigen sich zu einem gemeinschaftlichen Dampfabgangsrohr.

b) Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit. Infolge der Gleichheit aller Cylinder wird durch die einzelnen Kurbeln die gleiche Arbeit auf die Welle übertragen. Die Vertheilung der gesammten Arbeit der Maschine auf den Kurbelumfang, d. h. der Gleichförmigkeitsgrad der Maschine, hängt aber nicht allein von der Zahl der Kurbeln ab, sondern außerdem von ihrer Stellung zu einander und ist am günstigsten, wenn die Maxima und Minima der Umfangskräfte sich möglichst ausgleichen.

Die Manövrirfähigkeit einer Maschine hängt von der Zahl der Kurbeln, von ihrer Stellung zu einander und von dem Füllungsgrad der Cylinder ab. Je mehr Kurbeln vorhanden sind, je günstiger sie auf den Kurbelkreis vertheilt sind, und mit je größerer Füllung die Cylinder arbeiten, desto besser manövrirt die Maschine. Da die auf jede Kurbel übertragene Arbeit sich in gleichmäßige Perioden von je 180° eintheilen läßt, so ist nach Vorstehendem sowohl die Arbeitsvertheilung als auch die Manövrirfähigkeit am günstigsten, wenn die Kurbeln bei einer Zwillingsmaschine um 90°, bei einer Drillingsmaschine um 60° gegeneinander versetzt sind. Mit Rücksicht auf den Ausgleich der Massenwirkung vertheilt man aber bei Drillingsmaschinen die Kurbeln gleichmäßig auf den ganzen Kurbelumfang, d. h. man stellt sie unter 120° anstatt unter 60°. Dies ist ohne Weiteres angängig, da eine Verlegung einer Kurbel oder einzelner Kurbeln um 180° an der Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit nichts ändert. Ist durch die Kurbelzahl, Kurbelstellung und Cylinderfüllung an sich nicht eine genügende Manövrirfähigkeit gesichert, dann muß man an den Cylindern Hülfs- oder Handschieber anbringen, mit Hülfe derer man den Dampf direkt in den Cylinder auf die eine oder andere Kolbenseite leiten kann. Bei Hülfsmaschinen, welche so klein sind, daß man sie mit der Hand über den Todtpunkt hinweg drehen kann, ist diese Einrichtung entbehrlich. Auch bei Drillingsmaschinen sind Hülfsschieber im Allgemeinen nicht erforderlich.

Fig. 8.



Einfache Expansionsmaschine (Zwillingsmaschine).

B. Zweifach-Expansionsmaschine.

1. Ausnutzung des Dampfes und Kohlenverbrauch.

a) **Allgemeines.** Der Dampf wirkt hintereinander in zwei Expansionsstufen, Hochdruck und Niederdruck. Der Gegendruck oder Austrittsdruck des Hdr.-Cylinders ist gleichzeitig der Anfangsdruck des Ndr.-Cylinders. Damit die Expansionskraft des Dampfes in der zweiten Expansionsstufe genügend ausgenutzt wird, muß der Ndr.-Cylinder etwa dreimal so groß sein wie der Hdr.-Cylinder. Die theoretische Arbeit einer Zweifach-Expansionsmaschine kann man in einem Diagramm darstellen, in welchem der Anfangsdruck der absolute Kesseldruck ist, das Anfangsvolumen das Füllungsvolumen des Hdr.-Cylinders + schädlichem Raum des Hdr.-Cylinders und das Endvolumen das ganze Volumen des Ndr.-Cylinders + schädlichem Raum des Ndr.-Cylinders. Nach der Arbeitsweise des Dampfes zerfällt die Zweifach-Expansionsmaschine in zwei prinzipiell voneinander verschiedene Arten:

b) **Woolfsche Maschine.** Diese ist die ältere Konstruktion, wird aber auch stellenweise bei modernen Hülfsmaschinen verwendet. Der im Hdr.-Cylinder verbrauchte Dampf strömt bei dieser Konstruktion durch einen Kanal direkt vom Hdr.- zum Ndr.-Cylinder über, so daß in letzterem bei Beginn des Hubes sofort die Expansion beginnt. Diese Dampfwirkung erfordert es, daß in beiden Cylindern der Kolbenhub gleichzeitig beginnt und aufhört, daß also die Todtlagen beider Dampfkolben zeitlich zusammenfallen. Wegen der hierdurch bedingten Manövrirunfähigkeit strebte man nach einer Konstruktion, welche die Manövrirfähigkeit der Zwillingsmaschine mit den wirthschaftlichen Vortheilen der Woolfschen Maschine vereinigt, und fand diese in der Compoundmaschine.

c) **Compound- oder Verbundmaschine.** Bei dieser sind die Hdr.- und Ndr.-Kurbel um 90° gegeneinander versetzt, so daß die einzelnen Abschnitte der Dampfwirkung in beiden Cylindern nicht mehr zusammenfallen. Der Dampf kann infolgedessen nicht durch einfache Kanäle direkt vom Hdr.- zum Ndr.-Cylinder überströmen, sondern es muß zwischen Hdr.- und Ndr.-Cylinder eine Zwischenkammer (Receiver) eingeschaltet sein, welche den vom Hdr.-Cylinder kommenden Dampf so lange aufnimmt, bis er im Ndr.-Cylinder Verwendung findet. Der Receiver gleicht somit die Druckschwankungen aus, welche sonst durch verschiedene Kurbelstellung und verschiedene Dampfvertheilung in beiden Cylindern entstehen würden, und diese ausgleichende Wirkung ist um so größer, je größer das Receivervolumen im Verhältniß zum Cylindervolumen ist. Im Allgemeinen macht man den Receiver etwa so groß wie den Hdr.-Cylinder.

Für alle Zweifach-Expansionsmaschinen ist der vortheilhafteste Kesseldruck 5 bis 7 kg pro qcm. Bei 5 kg ist, wie unter A gezeigt, das Gesammttemperaturgefälle etwa 80°. Nimmt man nun an, daß dasselbe sich gleichmäßig auf beide Expansionsstufen vertheilt, so beträgt das Temperaturgefälle für jeden Cylinder nur 40°, und der Dampf trifft, falls die Cylinder nicht durch Dampfmäntel ge-

heizt sind, auf Wandungen, welche nur etwa 20° kälter sind als er selbst. Dementsprechend werden die Kondensationsverluste geringer als bei einer Einfach-Expansionsmaschine mit dem gleichen Kesseldruck. Gleichzeitig werden infolge der geringeren Druckdifferenz auf beiden Kolbenseiten die Dampfverluste kleiner, welche durch Undichtigkeiten der Kolbenliderung entstehen, wobei noch zu beachten ist, daß diese Verluste im Hdr.-Cylinder überhaupt nicht als voll zu rechnen sind, weil der hier durch Undichtigkeiten verloren gehende Dampf immer noch im Ndr.-Cylinder zur Geltung kommt.

Die durch die genannten Vortheile erzielte Kohlenersparniß beträgt gegenüber einer Einfach-Expansions-Hdr.-Maschine mit gleichem Kesseldruck etwa 20 pCt., gegenüber den besten Ndr.-Maschinen etwa 33 pCt., und der wirkliche Kohlenverbrauch einer guten Zweifach-Expansionsmaschine beträgt etwa 1,0 bis 1,1 kg pro IHP und Stunde. Diese erhebliche Verringerung der Betriebskosten hatte die allgemeine Einführung der Zweifach-Expansionsmaschine auf Schiffen in den Jahren 1870 bis 1875 zur Folge, und dies hatte für den Aufschwung der Dampfschifffahrt ungefähr dieselbe Bedeutung wie die etwa 10 Jahre früher erfolgte Einführung des Oberflächenkondensators.

Es sind stellenweise auch Zweifach-Expansionsmaschinen mit 8 bis 9 kg Kesseldruck gebaut worden, jedoch ergeben diese schon wieder verhältnißmäßig große Temperaturunterschiede und Kondensationsverluste, so daß eine weitere Steigerung des Kesseldruckes nur dann eine nennenswerthe Kohlenersparniß einbringt, wenn sie mit einer Vermehrung der Expansionsstufen Hand in Hand geht. So entstand die Dreifach-Expansionsmaschine.

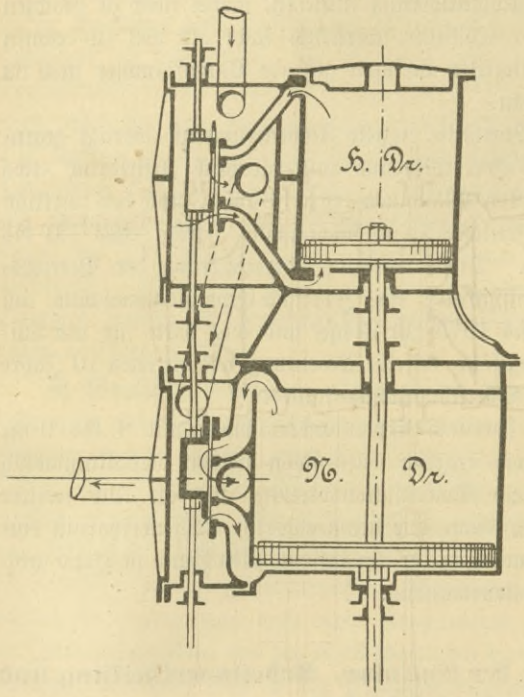
2. Zahl und Anordnung der Cylinder, Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit.

a) Zahl und Anordnung der Cylinder. Woolfsche Maschinen sind nur mit 2 Cylindern, 1 Hdr.- und 1 Ndr.-Cylinder, gebaut. Die Cylinder haben entweder eine gemeinschaftliche Mittelachse und Kolbenstange, wirken also auf eine gemeinschaftliche Kurbel, oder sie liegen nebeneinander und wirken dann auf zwei um 180° gegeneinander versetzte oder gleichgerichtete Kurbeln (Kolben entgegen- oder gleichlaufend).

Compound- oder Verbundmaschinen sind mit zwei und mit drei Cylindern gebaut, im letzteren Falle mit einem Hdr.- und zwei nebeneinander geschalteten Ndr.-Cylindern. Die Anordnung mit zwei Cylindern ist bei Weitem die häufigste und wird auch noch jetzt viel für kleinere Maschinen verwendet, für welche die dreistufige Expansion zu komplizirt werden würde, z. B. für Bootsmaschinen, Schiffshülfsmaschinen, Hafendampfer und dergl. Der Receiver umgiebt bei diesen Maschinen gewöhnlich mantelförmig den Hdr.-Cylinder und ist mit demselben in einem Stück gegossen. Stellenweise wird er auch durch ein besonderes zwischen dem Austrittsraum des Hdr.- und Eintrittsraum des Ndr.-Cylinders eingeschaltetes Rohr gebildet.

Die Anordnung mit drei Cylindern ist nur bei großen Maschinen verwendet und bezweckt hauptsächlich eine Vermeidung zu großer Cylindergußstücke und Uebertragungstheile, also eine Erleichterung der Fabrikation und Montage.

Fig. 9.



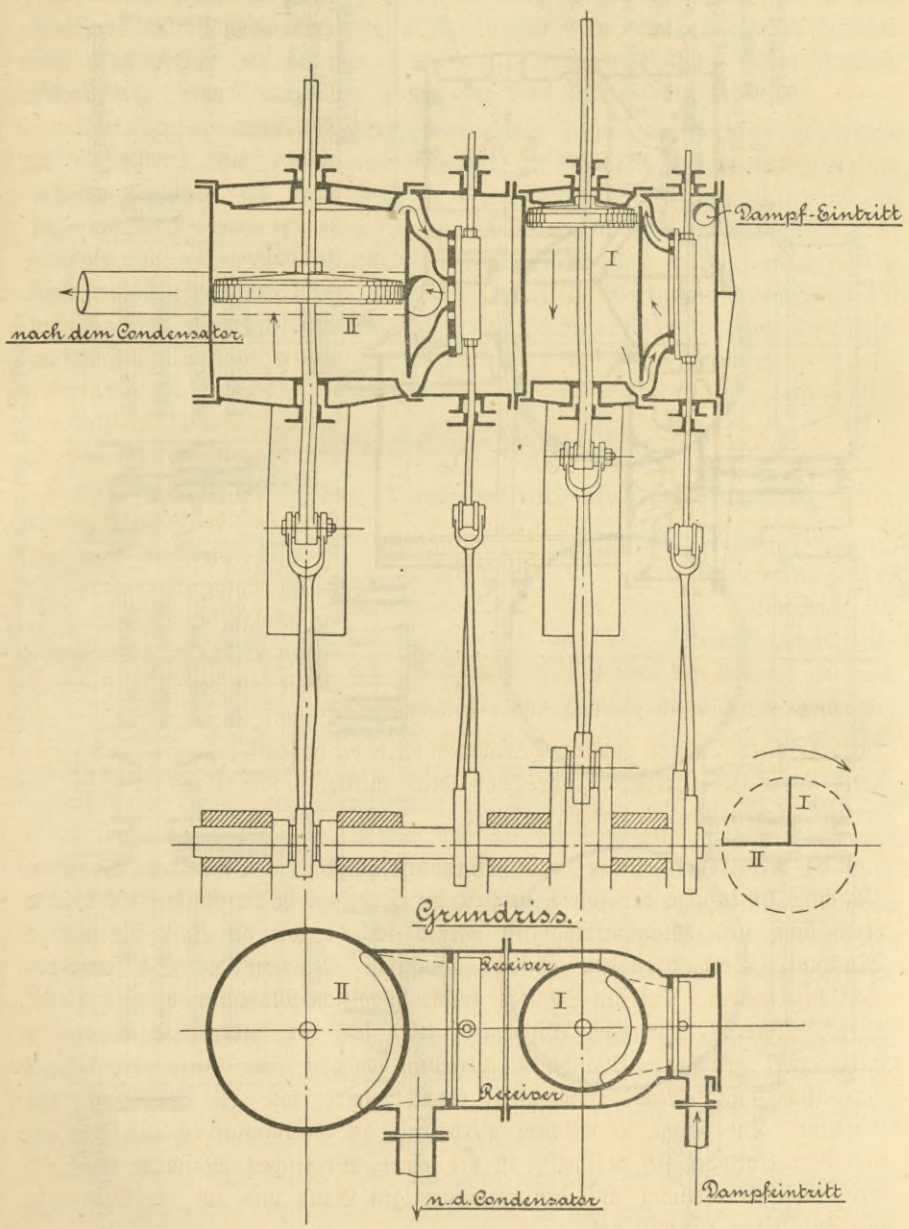
Woolfsche Maschine mit gemeinschaftlicher Kolbenstange.

Stellenweise sind Drei-Cylinder-Compoundmaschinen auch durch Umbau von Drillingsmaschinen entstanden. Die in unserer Marine noch vorhandenen Maschinen dieser Art können sowohl als Compound- wie auch als Drillingsmaschinen benutzt werden. Zur Umstellung von der einen Betriebsweise auf die andere dienen Wechselschieber oder Wechselventile zwischen dem Hdr.- und den beiden Ndr.-Cylindern sowie Dampfeintrittsventile vom Hauptdampfrohr nach den beiden Ndr.-Schieberkasten. Der für beide Ndr.-Cylinder gemeinschaftliche Receiver kann verhältnißmäßig klein sein, weil er infolge der Versetzung der beiden Ndr.-Kurbeln doppelt so oft nach den Ndr.-Cylindern Dampf abgiebt, als er vom Hdr.-Cylinder Dampf erhält. Gewöhnlich wird bei diesen Maschinen der Receiver durch kurze Ueberströmungsrohre von dem mittleren Hdr.-Cylinder nach den beiden äußeren Ndr.-Cylindern gebildet.

b) Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit. Bei einer Woolfschen Maschine ist infolge der Gleichzeitigkeit der Todtlage beider Kolben die Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit ebenso schlecht wie bei einer 1cylindrigen Maschine. Deshalb ist eine einfache Woolfsche Maschine als Schiffsmaschine nicht verwendbar. Auf den Schiffen, welche Woolfsche Maschinen haben („Oldenburg", „Irene", „Prinzeß Wilhelm"), wird jede der beiden Schraubenwellen durch zwei gekuppelte Maschinen getrieben, wodurch eine ebenso gute Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit erreicht wird wie bei einer Zwillingsmaschine. Die Frage, in welchem Verhältniß die Gesammtarbeit auf den Hdr.- und Ndr.-Cylinder sich vertheilt, ist bei einer Woolfschen Maschine unwichtig, weil diese Vertheilung auf den gleichförmigen Gang und auf die Manövrirfähigkeit keinen Einfluß hat.

Bei einer Zwei-Cylinder-Compoundmaschine muß, da die beiden Cylinder auf zwei verschieden gerichtete Kurbeln wirken, die Dampfarbeit in der ersten Expansionsstufe etwa ebenso groß sein wie in der zweiten. Man erreicht dies

Fig. 10.



Compound-Hammermaschine.

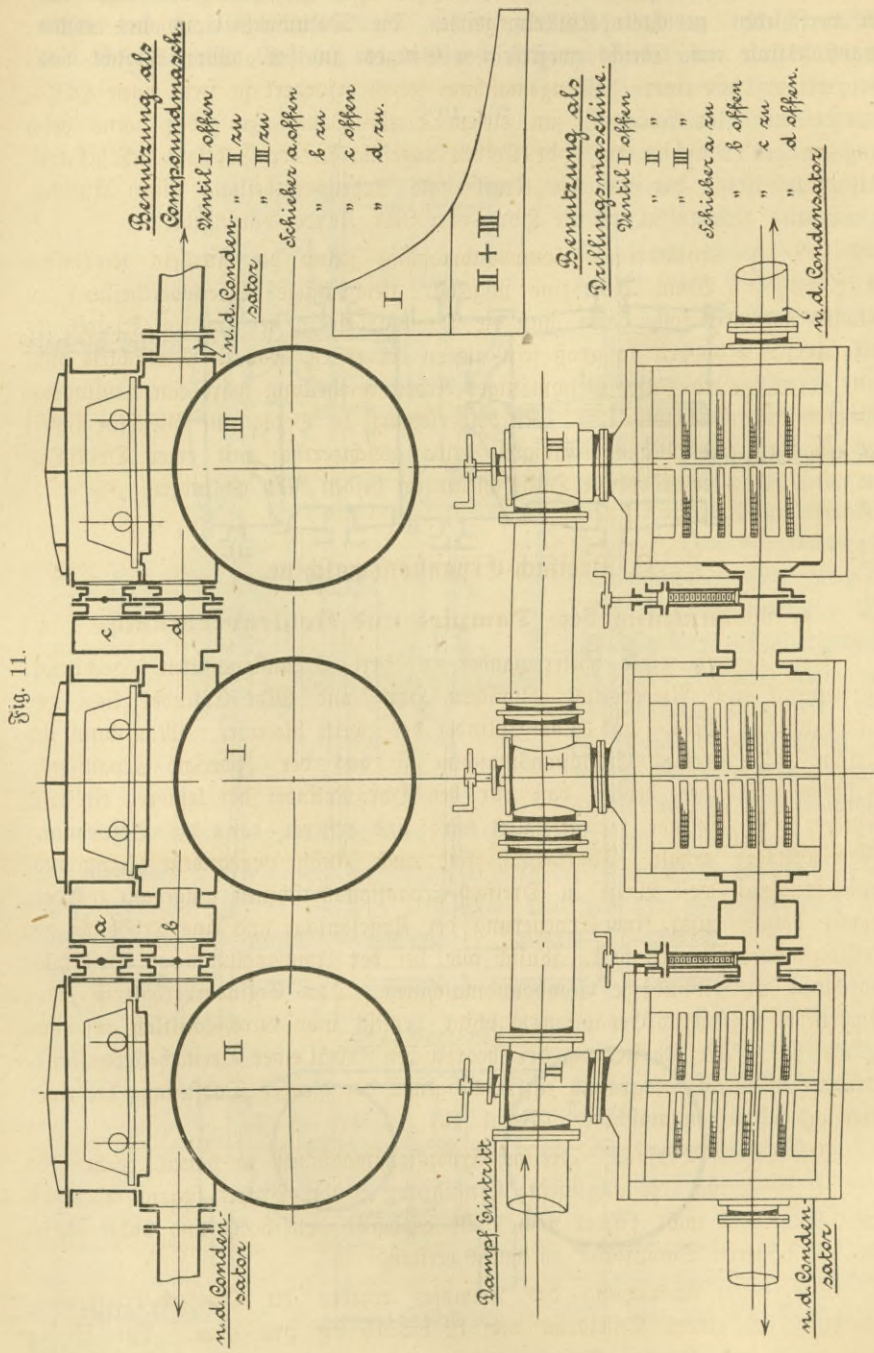


Fig. 11.

Drei-Cylinder-Compoundmaschine mit Wechselschieber.

durch passende Bemessung des Größenverhältnisses zwischen Hdr.- und Ndr.-Cylinder und der Cylinderfüllungsgrade. Die 2cylindrige Compoundmaschine ist in Bezug auf Gleichförmigkeit des Ganges und Manövrirfähigkeit etwa gleichwerthig mit einer Zwillingsmaschine, jedoch erfordert sie stets einen Hülfsschieber am Ndr.-Cylinder, um diesem direkt Dampf zu geben, wenn beim Angehen der Maschine der Hdr.-Kolben ungefähr in der Todtlage sich befindet. Die Kurbelfolge hat auf die Kraft- und Arbeitsvertheilung keinen Einfluß. Es ist also gleichgültig, ob die Hdr.- oder Ndr.-Kurbel vorangeht.

Bei der 3cylindrigen Compoundmaschine stehen die Kurbeln gewöhnlich unter 120°. Wenn hier eine ungefähr gleichmäßige Arbeitsvertheilung zu Stande kommen soll, dann muß die Dampfarbeit in der zweiten Expansionsstufe möglichst doppelt so groß sein als in der ersten, was in Wirklichkeit nicht ganz erreicht wird. Bei gleichmäßiger Arbeitsvertheilung wäre eine 3cylindrige Compoundmaschine mit 120° Kurbelversetzung in Bezug auf Gleichförmigkeit des Ganges und Manövrirfähigkeit etwa gleichwerthig mit einer Drillingsmaschine, jedoch erfordert sie Hülfsschieber an beiden Ndr.-Cylindern.

C. Dreifach-Expansionsmaschine.

1. Ausnutzung des Dampfes und Kohlenverbrauch.

Der Dampf wirkt hintereinander in drei Expansionsstufen, Hochdruck, Mitteldruck und Niederdruck. Zwischen Hdr.- und Mdr.-Cylinder liegt der erste, zwischen Mdr.- und Ndr.-Cylinder der zweite Receiver. Man kann sich demnach die Dreifach-Expansionsmaschine so aus der Zweifach-Expansionsmaschine entstanden denken, daß vor den Hdr.-Cylinder der letzteren ein noch kleinerer Hdr.-Cylinder vorgeschaltet wird und ersterer dann die Bezeichnung Mdr.-Cylinder erhält. Thatsächlich sind auch häufig vorhandene Compoundmaschinen auf diese Weise in Dreifach-Expansionsmaschinen umgebaut worden, womit dann häufig eine Erneuerung der Kesselanlage und eine Erhöhung des Kesseldruckes verbunden war, ähnlich wie bei der Umwandlung von Drillingsmaschinen in 3cylindrige Compoundmaschinen. Das Cylinderverhältniß einer gewöhnlichen Dreifach-Expansionsmaschine bemißt man durchschnittlich auf etwa 1 : 2,5 : 6,5. Die Darstellung der theoretischen Arbeit einer Dreifach-Expansionsmaschine in einem Diagramm entspricht genau der gleichen Darstellung bei einer Zweifach-Expansionsmaschine. (Vergl. B.)

Die ersten Versuche, Dreifach-Expansionsmaschinen zu bauen, reichen bis etwa 1870 zurück, die allgemeine Einführung in die Praxis begann aber erst seit 1882, weil man früher noch nicht genügend dauerhafte und dichte Kessel für den höheren Dampfdruck zu bauen verstand.

Die beste Ausnutzung des Dampfes ergeben die Dreifach-Expansionsmaschinen bei einem Kesseldruck von 12 bis 15 kg pro qcm. Bei 15 kg Ueberdruck und bei der Annahme eines kleinen Druckverlustes zwischen Kessel

und Maschine beträgt die Anfangstemperatur des Dampfes im Hdr.-Cylinder etwa 200°, das Gesammttemperaturgefälle also 200 — 75 = 125°. Würde sich dieses gleichmäßig auf alle drei Expansionsstufen vertheilen, so ergiebt sich für jede Expansionsstufe ein Temperaturgefälle von etwa 42°. Dieser Werth ist reichlich hoch, so daß 15 kg Kesseldruck etwa als obere Grenze für dreifache Expansion anzusehen ist und sich auch schon für vierfache Expansion eignet. Die meisten Schiffe mit Dreifach-Expansionsmaschinen haben daher 12 bis 13 kg Kesseldruck, während ein Kesseldruck von 15 kg bei den neueren Torpedobooten angewendet ist, wo es in höherem Maße auf Gewichtsersparniß ankommt. Bei 0,5 Füllung im Hdr.- und Mdr.-Cylinder und bei 12 kg Kesseldruck, also 13 kg absolutem Anfangsdruck würde der theoretische absolute Druck im I. Receiver $= \frac{13}{2} = 6{,}5$, im II. Receiver $= \frac{6{,}5}{2} = 3{,}25$ kg, der Ueberdruck also 5,5 und 2,25 kg betragen. In Wirklichkeit sind diese Drucke geringer wegen der Kondensationsverluste.

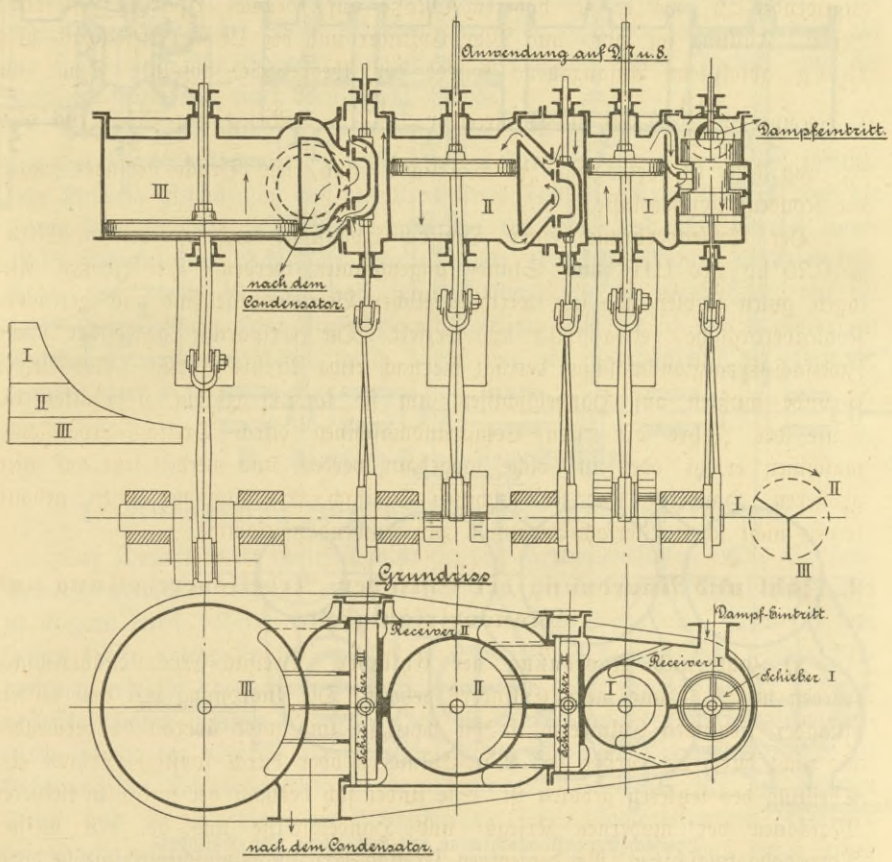
Der Kohlenverbrauch einer Dreifach-Expansionsmaschine kann im Mittel zu 0,75 kg pro IHP und Stunde angenommen werden. Bei großen Anlagen, guten Kohlen und sehr wirthschaftlicher Betriebsweise sind auch geringere Kohlenverbräuche (etwa 0,65 kg) erzielt. Die Ersparniß gegenüber einer Zweifach-Expansionsmaschine beträgt hiernach etwa 25 bis 30 pCt. Aus diesem Grunde mußten auf Handelsschiffen, um sie konkurrenzfähig zu erhalten, im Laufe der Jahre die alten Compoundmaschinen durch Dreifach-Expansionsmaschinen ersetzt oder in solche umgebaut werden, und werden jetzt auf allen größeren Handels- und Kriegsschiffen Dreifach-Expansionsmaschinen gebaut, soweit nicht schon Vierfach-Expansion zur Anwendung kommt.

2. Zahl und Anordnung der Cylinder, Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit.

a) Zahl und Anordnung der Cylinder. Dreifach-Expansionsmaschinen werden mit 3, 4 und mehr Cylindern gebaut. Die Anordnung mit drei hintereinander liegenden Cylindern ist die häufigste und wird überall da verwendet, wo nicht durch die Größe des Ndr.-Cylinders oder durch sonstige Gründe eine Theilung des letzteren geboten ist. Sie findet sich deshalb bei fast allen kleineren Maschinen der modernen Kriegs- und Handelsschiffe und bei den meisten Torpedobootmaschinen. Bei denjenigen Dreifach-Expansionsmaschinen, welche durch Umbau vorhandener Compoundmaschinen entstanden sind, steht der hinzugefügte Hdr.-Cylinder über dem Ndr.-Cylinder und hat mit diesem eine gemeinschaftliche Kolbenstange. Für Neubauten ist diese Anordnung selten verwendet, weil sie eine schlechtere Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit ergiebt als die erstgenannte Anordnung. Wegen der verschiedenen Cylinderdurchmesser haben Hdr.- und Ndr.-Schieber bei aufgesetztem Hdr.-Cylinder gewöhnlich keine gemeinschaftliche Schieberstange, sondern es ist eine Hebelübertragung zwischen Hdr.- und Ndr.-Schieberstange eingeschaltet.

Die Anordnung mit 4 Cylindern, d. h. mit zwei nebeneinander geschalteten Ndr.-Cylindern, dient zur Vermeidung eines zu großen Ndr.-Cylinders und zu schwerer Maschinentheile, wird deshalb nur bei größeren Maschinen verwendet. Sie entspricht im Prinzip der 3cylindrigen Compoundmaschine. Verwendet wird sie auf den meisten neueren Kriegsschiffen, auf den größeren Handelsschiffen und stellenweise auch auf Torpedobooten. Die vier Cylinder stehen gewöhnlich hintereinander, treiben also vier Kurbeln.

Fig. 12.

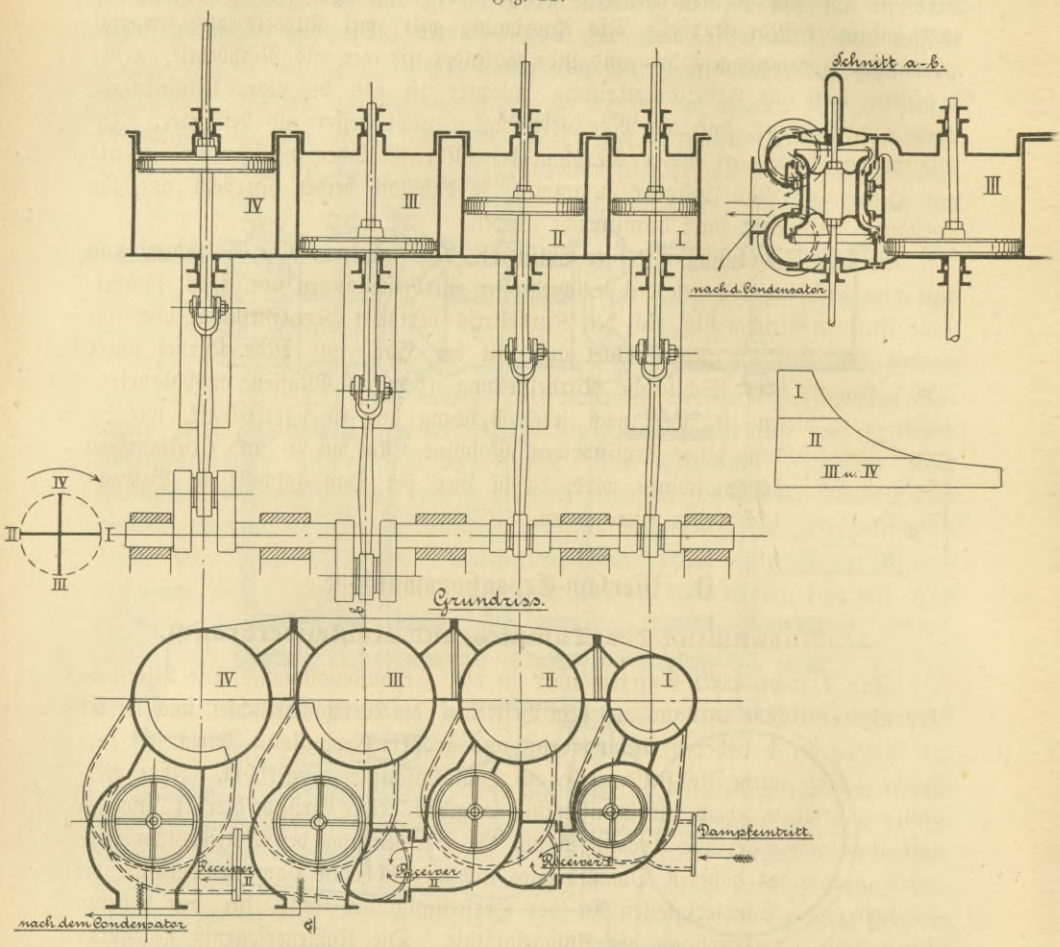


Dreifach-Expansions-Hammermaschine.

Mehr als vier Cylinder entstehen bei Dreifach-Expansionsmaschinen dadurch, daß nicht nur der Ndr.-, sondern auch der Hdr.- oder Mdr.-Cylinder in zwei Cylinder getheilt wird. Eine solche Theilung bezweckt weniger eine Verkleinerung der Cylinder oder Maschinentheile, sondern hauptsächlich eine bestimmte Vertheilung der Kräfte oder Gruppirung der Dampfarbeit. Da man mehr als vier Kurbeln nicht anwendet, so sind bei allen Anordnungen mit mehr als vier Cylindern stellenweise zwei Cylinder übereinander gebaut und arbeiten an

gemeinschaftlicher Kolbenstange. Die großen Handelsschnelldampfer haben häufig derartige Cylinderanordnungen. Für Kriegsschiffe kommen sie nicht in Betracht, weil sie wegen ihrer größeren Höhe sich nicht unter Panzerdeck unterbringen lassen.

Fig. 13.



Dreifach-Expansionsmaschine mit getheiltem Mdr.-Cylinder.

b) Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit. Von den vorerwähnten Bauarten der Dreifach-Expansionsmaschine liefert diejenige mit drei hintereinander liegenden Cylindern und mit einer Kurbelversetzung um 120° den gleichförmigsten Gang und die beste Manövrirfähigkeit. Selbstverständlich sind am Mdr.- und Ndr.-Cylinder Hülfsschieber nöthig. Bezüglich des Einflusses des Cylinderverhältnisses und der Cylinderfüllungen auf die Arbeitsvertheilung gilt hier im Prinzip dasselbe wie bei der Zweifach-Expansionsmaschine, nur liegen hier die Verhältnisse entsprechend komplizirter. Auch ist hier die Reihenfolge

der Kurbeln nicht ohne Einfluß auf die Kraft- und Arbeitsvertheilung und auf den Dampfverbrauch. Es sind zwei verschiedene Kurbelfolgen möglich: Hdr. Mdr., Ndr. und Hdr., Ndr., Mdr. Im ersteren Falle bezeichnet man die Hdr.-Kurbel, im letzteren die Ndr.-Kurbel als die führende. Maschinen mit führender Hdr.-Kurbel arbeiten in der Regel etwas wirthschaftlicher als Maschinen mit führender Ndr.-Kurbel. Die Anordnung mit zwei Kurbeln und konaxial übereinander stehendem Hdr.- und Ndr.-Cylinder ist nur als Nothbehelf zu betrachten, weil die Arbeitsvertheilung schlechter ist als bei einer 2cylindrigen Compoundmaschine, und die Manövrirfähigkeit nicht besser als bei jener. Im Allgemeinen leistet bei dieser Maschine der Mdr.-Cylinder weniger Arbeit, als der Hdr.- und Ndr.-Cylinder zusammen, so daß die beiden Kurbeln und ihr Gestänge verschieden stark beansprucht werden.

Bei der Anordnung mit vier Cylindern, d. h. mit zwei Ndr.-Cylindern und mit vier Kurbeln, kommen die verschiedensten Kurbelstellungen vor, z. B. sämmtliche Kurbeln gleichmäßig auf den Kurbelkreis vertheilt (Kreuzstellung) oder die beiden Ndr.-Kurbeln gleichgerichtet und mit der Hdr.- und Mdr.-Kurbel unter 120° stehend oder Schlicksche Kurbelstellung (bewegte Massen ausbalancirt). Keine von diesen ist aber nach jeder Richtung hin so vortheilhaft wie die 120° Kurbelstellung einer 3cylindrigen Maschine. Auf die 5- und 6cylindrigen Dreifach-Expansionsmaschinen wird, da sie nur für Handelsschiffe in Betracht kommen, hier nicht weiter eingegangen.

D. Vierfach-Expansionsmaschine.

1. Ausnutzung des Dampfes und Kohlenverbrauch.

Der Dampf wirkt hintereinander in vier Expansionsstufen. Die Vierfach-Expansionsmaschine entstand aus dem Bestreben, die Wirthschaftlichkeit noch weiter zu steigern durch höheren Anfangsdruck und größere Expansion. Etwa seit dem Jahre 1886 wurde sie stellenweise auf Handelsschiffen eingeführt. Ihre Verbreitung erfolgte jedoch verhältnißmäßig langsam. Die Gründe hierfür sind der verhältnißmäßig geringe Arbeitsgewinn, die Vermehrung der Betriebsschwierigkeiten infolge des höheren Dampfdruckes und der höheren Dampftemperatur, die Erhöhung der Schwierigkeiten in der Herstellung der Kessel für den höheren Druck und die Erhöhung des Anlagekapitals. Die Kohlenersparniß gegenüber der Dreifach-Expansionsmaschine beträgt etwa 5 bis 10 pCt. und wiegt unter Umständen die erwähnten Nachtheile nicht auf. In unserer Marine ist die Vierfach-Expansionsmaschine bis jetzt nicht vertreten, wenn auch ihre künftige Verwendung auf Kriegsschiffen nicht als ausgeschlossen zu betrachten ist. Jedenfalls aber bildet die Vierfach-Expansionsmaschine die Grenze für die Entwickelung der Schiffsmaschine mit Kurbelantrieb, und ist mit fünf Expansionsstufen niemals zu rechnen.

Der vortheilhafteste Kesseldruck für Vierfach-Expansionsmaschinen beträgt etwa 18 kg. Bei 18 kg ergiebt sich das Gesammt-Temperaturgefälle zu etwa

208 — 75 = 133 ° Cels. Dasselbe gleichmäßig auf vier Expansionsstufen vertheilt, ergiebt pro Cylinder etwa 33 ° Temperaturgefälle. Das Cylinderverhältniß einer gewöhnlichen Vierfach-Expansionsmaschine bemißt man durchschnittlich auf etwa 1 : 2,2 : 4,3 : 9. Die Darstellung der theoretischen Arbeit in einem Diagramm ist im Prinzip dieselbe wie bei einer Zweifach- und Dreifach-Expansionsmaschine.

2. Zahl und Anordnung der Cylinder, Arbeitsvertheilung und Manövrirfähigkeit.

Vierfach-Expansionsmaschinen werden mit vier und mehr Cylindern gebaut. Im letzteren Falle gilt für die Theilung einzelner Cylinder im Prinzip dasselbe wie bei einer Dreifach-Expansionsmaschine. Hat die Maschine vier Cylinder, so wirken dieselben entweder an vier, oder an drei, oder an zwei Kurbeln. Bei vier Kurbeln sind ebenso wie bei der vierkurbeligen Dreifach-Expansionsmaschine verschiedene Kurbelstellungen möglich. Bei drei Kurbeln setzt man am besten den Cylinder I auf den Cylinder IV und stellt die Kurbeln unter 120 °. Bei zwei Kurbeln stellt man den Cylinder I auf den Cylinder IV und den Cylinder II auf den Cylinder III. Die letztere Anordnung ist auch stellenweise durch direkten Umbau von Compound- in Vierfach-Expansionsmaschinen entstanden, mit welchem natürlich eine Erhöhung des Kesseldruckes verbunden sein mußte. Von den erwähnten Anordnungen ergiebt diejenige mit drei Kurbeln den gleichmäßigsten Gang und die beste Manövrirfähigkeit, wenn durch richtige Bemessung der Cylinder und Cylinderfüllungen dafür gesorgt ist, daß die Arbeit von Cylinder I + IV nicht zu groß ausfällt. — Die Theilung der Cylinder beschränkt sich auch hier, ebenso wie bei der Dreifach-Expansionsmaschine, häufig nicht auf den Ndr.-Cylinder, sondern erstreckt sich der gleichmäßigen Arbeitsvertheilung wegen auch auf andere Cylinder. So hat z. B. der Schnelldampfer „Deutschland" der Hamburg—Amerika-Linie ein Vierfach-Expansionsmaschine mit zwei Hdr.- und zwei Ndr.-Cylindern. Die beiden Hdr.-Cylinder stehen über den beiden Ndr.-Cylindern, und die beiden Mdr.-Cylinder liegen an den beiden Enden der Maschine.

Dritter Abschnitt.

Der Indikator und Verwendung der Indikatordiagramme.

A. Der Indikator.

1. Wirkungsweise und Bauart.

Während ein Manometer nur durch Zeigerstellung den herrschenden Druck angiebt, so dient der Indikator zum Aufzeichnen des bei verschiedenen Kolbenstellungen im Dampfcylinder herrschenden Dampfdruckes, d. h. zum Aufzeichnen der Spannungskurve des Dampfes oder des Indikatordiagramms an der laufenden Maschine. Es müssen also im Indikator zwei voneinander unabhängige Bewegungen stattfinden, von welchen die eine den Ordinaten (Dampfdruck), die andere den Abscissen (Kolbenweg) des Indikatordiagramms entspricht. Dementsprechend kann man an jedem Indikator unterscheiden:

a) die Theile, welche die Ordinaten,

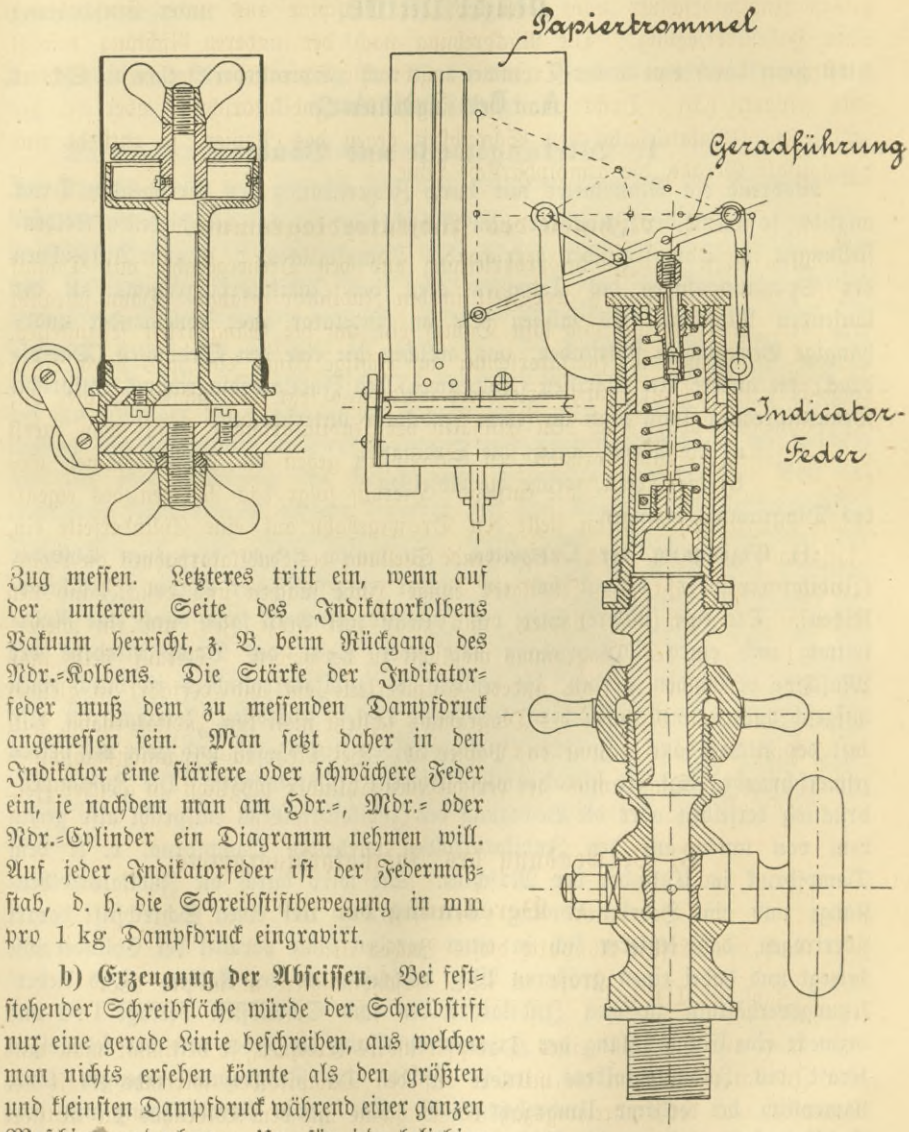
b) die Theile, welche die Abscissen

des Diagramms erzeugen.

a) Erzeugung der Ordinaten. In einem kleinen bronzenen Cylinder (Indikatorcylinder) bewegt sich ein sauber eingeschliffener Kolben (Indikatorkolben). Die eine (untere) Seite des Indikatorcylinders kann durch eine Rohrleitung und einen Dreiwegehahn mit jeder Seite des Dampfcylinders der Maschine verbunden werden, die andere des Indikatorcylinders ist durch einen aufgeschraubten, mit Luftlöchern versehenen Deckel geschlossen, kommunizirt also mit der Atmosphäre. Zwischen Indikatorkolben und Deckel, und zwar mit beiden festverschraubt, liegt die spiralförmige stählerne Indikatorfeder. Die Zusammendrückung derselben oder die Bewegung des Indikatorkolbens entspricht also genau dem von unten auf den Indikatorkolben wirkenden Dampfdruck, d. h. dem Dampfdruck im Cylinder der Maschine. Sie wird durch die Indikatorkolbenstange und eine Hebelanordnung (Geradführung) auf einen Schreibstift derart übertragen, daß letzterer sich in einer geraden Linie parallel der Cylinderachse bewegt und dabei einen größeren Weg beschreibt als der Kolben. Das Uebersetzungsverhältniß zwischen Indikatorkolben und Schreibstift beträgt 1 : 4 und bezweckt eine Einschränkung der Zusammenpressung der Feder und der lebendigen Kraft des Indikatorkolbens, welche Fehler im Diagramm erzeugen kann, namentlich bei höherer Umdrehungszahl. Die ganze Geradführung mit dem Indikatorkolben ist um die Achse des Indikatorcylinders drehbar, um nach Belieben den Schreibstift auf die Schreibfläche drücken oder ihn von derselben entfernen zu können.

Die verschiedenen in unserer Marine gebräuchlichen Indikatoren unterscheiden sich im Wesentlichen nur durch die Art der Geradführung und sind theils für geringere (Richards), theils für größere (Thompson, Crosby) Umdrehungszahlen mehr geeignet. Die Indikatorfeder kann nicht nur auf Druck, sondern auch auf

Fig. 14.



Indikator.

Zug messen. Letzteres tritt ein, wenn auf der unteren Seite des Indikatorkolbens Vakuum herrscht, z. B. beim Rückgang des Ndr.-Kolbens. Die Stärke der Indikatorfeder muß dem zu messenden Dampfdruck angemessen sein. Man setzt daher in den Indikator eine stärkere oder schwächere Feder ein, je nachdem man am Hdr.-, Mdr.- oder Ndr.-Cylinder ein Diagramm nehmen will. Auf jeder Indikatorfeder ist der Federmaßstab, d. h. die Schreibstiftbewegung in mm pro 1 kg Dampfdruck eingravirt.

b) Erzeugung der Abscissen. Bei feststehender Schreibfläche würde der Schreibstift nur eine gerade Linie beschreiben, aus welcher man nichts ersehen könnte als den größten und kleinsten Dampfdruck während einer ganzen Maschinenumdrehung. Um für jede beliebige Kolbenstellung den zugehörigen Dampfdruck aus dem Diagramm entnehmen zu können, muß man die Abscissen erzeugen, d. h. man muß die Schreibfläche senkrecht zur Bewegung des Schreibstiftes und

proportional der Bewegung des Dampfkolbens der Maschine verschieben. Dies geschieht durch Drehung der Papiertrommel, auf welcher das Indikatorpapier aufgespannt ist. Der Drehzapfen der Papiertrommel ist parallel der Achse des Indikatorcylinders und mit diesem durch einen angegossenen Arm fest verbunden. Die Drehung der Papiertrommel nach der einen Richtung erfolgt durch die umgelegte Indikatorschnur vom Kreuzkopf der Maschine aus unter Einschaltung einer Hebelübersetzung. Die Rückdrehung nach der anderen Richtung erfolgt selbstthätig durch eine in der Trommel angebrachte Spiralfeder, welche die Schnur stets gespannt hält. Drückt man bei eingehakter Indikatorschnur, aber bei geschlossenem Indikatorhahn den Schreibstift gegen das Papier, so entsteht eine horizontale Gerade, die atmosphärische Linie.

2. Nehmen des Indikatordiagramms.

Man bläst die Indikatorrohrleitung und den Dreiwegehahn mit Dampf durch, damit kein Schmutz oder Fett in den Indikator gelangt. Dann schraubt man den Indikator auf und läßt Dampf ein, um die Gangbarkeit festzustellen. Darauf stellt man die Indikatorschnur auf richtige Länge ein, was durch einen eingeschalteten Schnurspanner erleichtert wird, und setzt das Indikatorpapier auf die Papiertrommel. Nach dem Einhaken der Indikatorschnur drückt man zuerst bei geschlossenem Indikatorhahn den Schreibstift gegen die Papiertrommel, wodurch die atmosphärische Linie entsteht. Hierauf folgt das Nehmen des eigentlichen Diagramms. Man stellt den Dreiwegehahn auf eine Cylinderseite ein, bläst dann nochmals durch entsprechende Stellung des Indikatorhahnes die Rohrleitung durch, läßt den Indikator einige Hübe machen und drückt dann den Schreibstift gegen das Papier, und zwar nur kurze Zeit, um ein wiederholtes Umfahren des Diagramms möglichst zu vermeiden. Darauf stellt man den Dreiwegehahn auf die andere Cylinderseite ein und verfährt in gleicher Weise. Nach dem Nehmen des Diagramms schließt man den Indikatorhahn, hakt die Schnur aus und nimmt das Papier ab. Bei Mehrfach-Expansionsmaschinen nimmt man die Diagramme der verschiedenen Cylinder möglichst zu gleicher Zeit.

B. Verwendung des Indikatordiagramms.

1. Berechnung der IHP.

Nach dem Ersten Abschnitt dieses Buches ist:

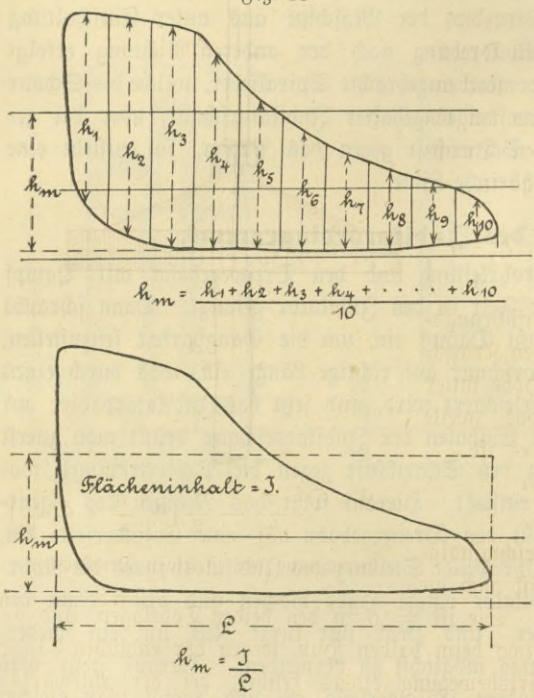
$$\text{Zahl der HP} = \frac{\text{Kraft in kg} \cdot \text{Geschwindigkeit in m pro sec.}}{75}.$$

Will man also die IHP eines Dampfcylinders berechnen, so bestimmt man nach dem Indikatordiagramm die mittlere auf den Dampfkolben wirkende Kraft des Dampfes, nach der Umdrehungszahl der Maschine und dem Kolbenhub die mittlere Kolbengeschwindigkeit und dividirt das Produkt durch 75.

a) Bestimmung der Kraft. Die Kraft, welche der Dampf auf den Dampfkolben ausübt, ist nicht konstant während des ganzen Hubes, sondern sie wechselt

infolge der verschiedenen Arbeitsweise des Dampfes (Expansion, Kompression u. s. w.), wie das Indikatordiagramm auf den ersten Blick zeigt. Für die Berechnung der IHP kommt natürlich nur der mittlere Kolbendruck P_m in Betracht. Die Gesammtkraft, mit welcher der Kolben in jedem Moment thatsächlich bewegt wird, ist die Differenz der Dampfdrucke auf beiden Kolbenseiten. Da nun jedes der beiden Indikatordiagramme sich nur auf eine Kolbenseite bezieht, so kann man aus einem einzigen Diagramm die thatsächliche Gesammtkraft überhaupt nicht ermitteln, sondern man müßte die Differenz bilden zwischen der Druckkurve des einen und der Gegendrucklinie des anderen Diagramms. Praktisch ist dies jedoch nicht nöthig, da es nicht auf die thatsächlichen Kräfte in den einzelnen Kolbenstellungen, sondern nur auf die mittlere Kraft P_m ankommt, und es auf dasselbe hinausläuft, ob man diese aus den thatsächlichen Kolbendrucken bestimmt, oder aus den Höhen der Einzeldiagramme. Auf alle Fälle aber muß man bei der Bestimmung des mittleren Kolbendruckes beide Diagramme benutzen, weil die Flächen beider Diagramme in der Praxis niemals genau gleich groß sind.

Fig. 15.



Bestimmung der mittleren Höhe des Diagramms.

Die Bestimmung der Kraft P_m zerfällt in die Bestimmung des mittleren Dampfdruckes in kg pro qcm (p_m) und in die Berechnung der effektiven Druckfläche des Kolbens in qcm (F). Es ist dann $P_m = p_m \cdot F$.

Bestimmung von p_m aus dem Indikatordiagramm: Man bestimmt zuerst die mittlere Höhe beider Diagramme (h_m).

Erste Methode: Man theilt mit Hülfe des jedem Indikator beigegebenen Rostrats die Diagramme in etwa 10 gleich breite Vertikalstreifen, mißt die mittleren Höhen der Streifen und bildet aus den Höhen das arithmetische Mittel h_m.

Zweite Methode: Man umfährt hintereinander beide Diagramme mit dem Planimeter (Flächenmesser) und dividirt die gemessene Fläche durch die doppelte Diagrammlänge, dann ist der Quotient $= h_m$.

Um aus h_m den mittleren Dampfdruck p_m zu finden, muß man die Stärke

der Indikatorfeder oder den Federmaßstab kennen, d. h. das Verhältniß der Vertikalbewegung des Schreibstiftes zu dem Druck des Dampfes.

Entspricht z. B. 1 kg Dampfdruck 15 mm Schreibstiftbewegung, dann ist

$$p_m = \frac{h_m \text{ in mm}}{15}.$$

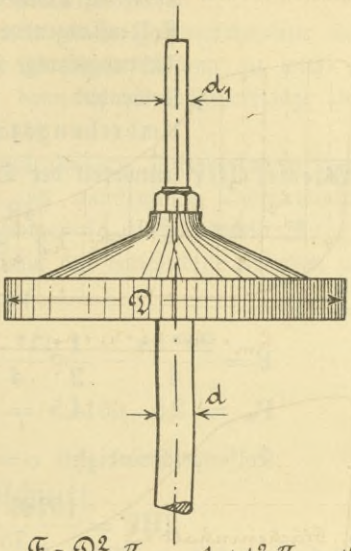
Bestimmung der effektiven Druckfläche F. Bezeichnet D den Kolbendurchmesser in cm, d den Kolbenstangendurchmesser in cm und d^1 den Durchmesser der Kolbenführungsstange in cm, so ist die effektive Druckfläche

$$F = \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{1}{2}\left(\frac{d^2 \pi}{4} + \frac{d_1{}^2 \pi}{4}\right)$$

Hat der Kolben keine Kolbenführungsstange, wie bei fast allen modernen Kriegsschiffen wegen der zu geringen Höhe unter dem Panzerdeck, dann wird das zweite Glied der Klammer = 0 und es ist

$$F = \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{1}{2}\,\frac{d^2 \pi}{4}.$$

Fig. 16.



$$\mathcal{F} = \mathcal{D}^2 \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}\left(d^2 \frac{\pi}{4} + d_1^2 \frac{\pi}{4}\right)$$

Berechnung der effektiven Druckfläche.

b) Bestimmung der Geschwindigkeit. Wie die Kolbenkraft, so ist auch die Kolbengeschwindigkeit wechselnd. Sie ist = o in den beiden Todtlagen, und sie erreicht ihren größten Werth etwa beim halben Hub, wegen der endlichen Länge der Pleuelstange bei der Abwärtsbewegung etwas früher, bei der Aufwärtsbewegung etwas später. Für die Berechnung der Pferdestärken kommt natürlich nur die mittlere Kolbengeschwindigkeit in Betracht, welche man erhält, wenn man den gesammten Kolbenweg pro Minute durch 60 dividirt. Bezeichnet H den Kolbenhub in m, n die minutlichen Umdrehungen der Maschine, dann ist die Kolbengeschwindigkeit

$$c = \frac{2 \cdot H \cdot n}{60}.$$

c) Berechnung der IHP. Nach Vorstehendem ist:

$$\text{Mittlere Kraft} = p_m \cdot F$$

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{2 \cdot H \cdot n}{60}$$

$$\text{folglich IHP} = \frac{p_m \cdot F \cdot 2\,H \cdot n}{60 \cdot 75}.$$

Zur Erleichterung der Rechnung und schnelleren Bestimmung der IHP bei Probefahrten vereinfacht man vorstehenden Werth dadurch, daß man alle konstanten Faktoren in einen gemeinschaftlichen Faktor vereinigt, also:

$$\text{IHP} = \text{const. } p_m \cdot n$$

d) Beispiel: Fläche des Doppeldiagramms = 48 qcm
Länge jedes Diagramms = 8 cm
Federmaßstab 1 kg = 12 mm
Kolbendurchmesser = 900 mm
Kolbenstangendurchmesser = 110 mm
Führungsstange sei nicht vorhanden.
Kolbenhub = 700 mm.
Umdrehungszahl pro Minute = 150.

Wieviel IHP entwickelt der Dampfcylinder?

Berechnung: $h_m = \frac{48}{2 \cdot 8} = 3 \text{ cm} = 30 \text{ mm}$

$$p_m = \frac{30}{12} = 2{,}5 \text{ kg}$$

$$F = \frac{90^2 \cdot \pi}{4} - \frac{1}{2} \frac{11^2 \cdot \pi}{4} = 6362 - \frac{1}{2} \cdot 95 = 6314{,}5 \text{ qcm}$$

$$P_m = 2{,}5 \cdot 6314{,}5 = 15786 \text{ kg}$$

Kolbengeschwindigkeit $c = \frac{2 \cdot 0{,}7 \cdot 150}{60} = 3{,}5 \text{ m}$

$$IHP = \frac{15786 \cdot 3{,}5}{75} = 737.$$

2. Sonstige Verwendung der Indikatordiagramme.

a) Allgemeines. Da das Indikatordiagramm ein vollständiges Bild über die thatsächlichen Druckschwankungen giebt, so kann es auch zum Auffinden von Fehlern in der Dampfvertheilung und Dampfwirkung benutzt werden, und zwar häufig von solchen Fehlern, welche auf andere Weise überhaupt nicht erkannt werden können. Dies gilt nicht nur vom Dampfcylinder, sondern allgemein von allen Ueberdruck oder Vakuum enthaltenden Räumen, in welchen der Druck regelmäßig, d. h. mit dem Gange der Maschine (Haupt- oder Hülfsmaschine) wechselt und welche zum Anschrauben eines Indikators eingerichtet sind (Schieberkasten, Receiver, Hauptdampfrohr, Pumpencylinder u. s. w.). Natürlich muß man die normale, fehlerfreie Form der verschiedenen Diagramme annähernd kennen, wenn man über das wirklich gewonnene Diagramm ein Urtheil abgeben will.

b) Praktische Beispiele. Zur Erläuterung dienen folgende praktische Beispiele am Diagramm eines Dampfcylinders:

Beispiel 1. Fällt die Expansionslinie zu schnell und hebt sich die Gegendrucklinie vor Beginn der Kompression, dann ist gewöhnlich die Ursache undichte Kolbenliderung, welche von der Druckseite Dampf durchläßt nach der Gegendruckseite.

Beispiel 2. Ist die Expansionslinie nicht nach unten, sondern nach oben gekrümmt, dann ist entweder der Schieber undicht, so daß noch während der

Expansionsperiode Dampf in den Cylinder nachströmt, oder es ist der Dampfmantel undicht, so daß der höhergespannte Heizdampf in den Cylinder dringt.

Beispiel 3. Treten sämmtliche Dampfperioden im Diagramm zu früh ein, dann ist der Voreilungswinkel des Excenters zu groß.

Beispiel 4. Tritt beim Muschelschieber einer Hammermaschine auf der unteren Seite des Kolbens Expansion und Voraussträmmung zu früh, Kompression und Voreinströmung zu spät ein, dann ist die Schieberstange zu kurz oder der Schieber sitzt auf der Stange zu tief.

In ähnlicher Weise lassen sich bei Dampfcylindern, Schieberkasten, Pumpencylindern u. s. w. viele andere Schlüsse aus unnormalen Diagrammformen ziehen, jedoch sind die Verhältnisse nicht immer so einfach, weil häufig eine Wirkung und Erscheinungsform am Diagramm auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden kann.

Vierter Abschnitt.

Zusammenhang zwischen Schiffsgeschwindigkeit, Pferdestärke, Kohlenverbrauch, Propellerwirkung und Aktionsradius.

A. Rechnerischer Zusammenhang.

1. Ableitung der Hauptgesetze.

a) Schiffswiderstand, Maschinenleistung und Geschwindigkeit. Wie bei jedem durch das Wasser bewegten Körper, so ist auch beim Schiff bei gleichmäßiger Geschwindigkeit V der Widerstand W und die demselben gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete treibende Kraft P proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit. Der Gesammtwiderstand eines Schiffes kann durch eine einzige, von vorn gegen das Schiff drückende Kraft W dargestellt werden, welche als Resultante oder Summe aller Einzelwiderstände (Reibung, Wellenbildung u. s. w.) aufzufassen ist. Die treibende Kraft beim Schiff ist der Druck des Propellers auf das Drucklager, der Propellerschub P. Für den Beharrungszustand, d. h. für jede gleichförmige Geschwindigkeit, gilt also die Gleichgewichtsbedingung:

$$P = -W \text{ und } P \text{ proportional } V^2$$
$$W \quad = \quad V^2$$

Multiplizirt man die Kräfte W und P mit dem Weg des Schiffes, so stellen die Produkte die Widerstandsarbeit oder die ihr gleiche Fortbewegungs-

arbeit vor, und multiplizirt man P mit der Geschwindigkeit V, so ist das Produkt $P \cdot V$ ein Effekt oder eine Arbeit pro Zeiteinheit, und zwar die Nutzarbeit der Schraube oder die effektive Maschinenleistung EHP. Folglich ist EHP proportional V^3.

Da ferner EHP etwa 60 bis 65 pCt. von IHP beträgt, also in einem einfachen Verhältniß zu IHP steht, so folgt:

Gesetz I. IHP proportional V^3

oder $IHP_1 : IHP_2 = V_1^3 : V_2^3$.

Bei nicht gleichmäßiger Geschwindigkeit wird P größer oder kleiner als W, je nachdem die Geschwindigkeit zu- oder abnimmt. Der Ueberschuß der einen Kraft über die andere wird zur Vergrößerung oder Verkleinerung der lebendigen Kraft des Schiffskörpers gebraucht.

Aus dem Gesetz erklärt es sich, daß einerseits eine wesentliche Steigerung der Schiffsgeschwindigkeit nicht mehr möglich ist, weil die erforderliche Maschinenleistung zu hoch steigt, und daß andererseits bei einer Verringerung der Geschwindigkeit die erforderliche Maschinenleistung sehr schnell fällt. In extremen Fällen, also bei sehr hohen und sehr niedrigen Geschwindigkeiten, sind thatsächlich etwas mehr IHP nöthig, als das Gesetz ergiebt, weil in diesen Fällen der Propellernutzeffekt etwas schlechter wird.

b) Kohlenverbrauch pro Zeiteinheit bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Nimmt man an, daß bei ein und demselben Schiff der Kohlenverbrauch K proportional der Maschinenleistung, also K pro IHP und Stunde konstant ist, eine Annahme, welche innerhalb der Grenzen eines rationellen Maschinen- und Kesselbetriebes ungefähr zutrifft, so folgt, abgesehen von der bei Gesetz I bezeichneten Beschränkung,

Gesetz II. K pro Zeiteinheit proportional V^3

oder K_1 pro $h : K_2$ pro $h = V_1^3 : V_2^3$.

Bei sehr langsamen Fahrten und bei hohen Forcirungen stimmt das Gesetz mit der Praxis nicht mehr überein, weil gewöhnlich im ersten Falle die Dampfausnutzung in der Maschine oder bei Ausschaltung eines Propellers die Propellerwirkung, im letzten die Ausnutzung der Wärme in den Kesseln eine schlechtere ist.

c) Kohlenverbrauch pro Wegeinheit bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Angenommen, ein Schiff legt eine Strecke von s Seemeilen zweimal zurück, und zwar:

1. Mal in h_1 Std. mit V_1 sm Geschwindigkeit und ΣK_1 Gesammtkohlenverbrauch,
2. „ „ h_2 „ „ V_2 sm „ „ ΣK_2 „

dann ist

$$\text{beim 1. Mal K pro h} = \frac{\Sigma K_1}{h_1} \quad v_1 = \frac{s}{h_1}$$

$$\text{„ 2. „ K „ h} = \frac{\Sigma K_2}{h_2} \quad v_2 = \frac{s}{h_2}$$

Nun ist nach Gesetz II:

$$\frac{\Sigma K_1}{h_1} : \frac{\Sigma K_2}{h_2} = \left(\frac{s}{h_1}\right)^3 : \left(\frac{s}{h_2}\right)^3 = \left(\frac{s}{h_1} \cdot V_1^2\right) : \left(\frac{s}{h_2} \cdot V_2^2\right)$$

Durch Kürzen folgt:

Gesetz III. $\Sigma K_1 : \Sigma K_2 = V_1^2 ; V_2^2$

oder K pro Wegeinheit proportional V^2.

Das Gesetz besagt, daß man für eine bestimmte Wegstrecke um so weniger Kohlen gebraucht, je langsamer man fährt. Man hat also ein Mittel an der Hand, mit den zur Neige gehenden Kohlen noch den Bestimmungshafen zu erreichen, wobei man natürlich mit einer gewissen Sicherheit rechnen muß. Auch für dieses Gesetz gelten die gleichen Beschränkungen wie für Gesetz II.

d) Aktionsradius bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Der Aktionsradius ist umgekehrt proportional dem Kohlenverbrauch pro Wegeinheit, denn wenn z. B. der Kohlenverbrauch pro sm infolge größerer Geschwindigkeit auf das Doppelte steigt, kann das Schiff mit dem gleichen Kohlenvorrath nur halb so weit fahren. Andererseits aber ist nach Gesetz III der Kohlenverbrauch pro sm proportional V^2, folglich ist:

Gesetz IV. Aktionsradius A umgekehrt proportional V^2

oder $A_1 : A_2 = V_2^2 : V_1^2$.

Das Gesetz besagt, daß man mit einem bestimmten Kohlenvorrath eine um so größere Strecke zurücklegen kann, je langsamer man fährt. Es gelten aber natürlich auch hier die für Gesetz II und III angegebenen Beschränkungen, und daraus erklärt es sich, daß der größte Aktionsradius der Kriegsschiffe nicht etwa bei 1, sondern bei etwa 5 bis 8 sm Geschwindigkeit liegt.

2. Praktische Beispiele.

a) Gesetz I. Beispiel. Ein Schiff erhält eine neue Maschine von 3000 IHP. Wie groß wird voraussichtlich die Fahrgeschwindigkeit, wenn das Schiff mit der alten Maschine von 2400 IHP 12 sm in der Stunde lief?

$$3000 : 2400 = x^3 : 12^3$$

$$x = 12 \cdot \sqrt[3]{\frac{3000}{2400}} = 13 \text{ sm}$$

Beispiel. Ein Schiff läuft mit 1600 IHP 15 sm in der Stunde. Wie hoch muß die Maschinenleistung gesteigert werden, wenn es 18 sm pro h laufen soll?

$$1600 : x = 15^3 : 18^3$$

$$x = \frac{1600 \cdot 18^3}{15^3} = 2765 \text{ IHP.}$$

b) Gesetz II. Beispiel: Bei 18 sm Fahrgeschwindigkeit gebraucht ein Schiff pro Tag 42 Tonnen Kohlen. Wie groß wird der ungefähre tägliche Kohlenverbrauch, wenn die Geschwindigkeit auf 15 sm verringert wird?

$$42 : x = 18^3 : 15^3$$

$$x = \frac{42 \cdot 15^3}{18^3} = 24 \text{ Tonnen.}$$

Beispiel: Bei 18 sm Fahrgeschwindigkeit gebraucht ein Schiff pro Tag 42 Tonnen Kohlen. Wie groß wird die ungefähre Geschwindigkeit bei einem täglichen Kohlenverbrauch von 24 Tonnen?

$$42 : 24 = 18^3 : x^3$$

$$x = \sqrt[3]{\frac{24 \cdot 18^3}{42}} = 15 \text{ sm.}$$

c) Gesetz III. Beispiel: Auf einer bestimmten Reise verbrennt ein Dampfer 400 Tonnen Kohlen bei 14 sm Geschwindigkeit. Wie schnell darf das Schiff fahren, wenn es dieselbe Reise mit 300 Tonnen Kohlen ausführen soll?

$$400 : 300 = 14^2 : x^2$$

$$x = \sqrt{\frac{300 \cdot 14^2}{400}} = 14 \cdot \sqrt{0{,}75} = 12{,}1 \text{ sm Geschwindigkeit.}$$

Beispiel: Auf einer bestimmten Reise verbrennt ein Dampfer 400 Tonnen Kohlen bei 14 sm Geschwindigkeit. Wie viel Kohlen verbrennt er auf derselben Reise bei 12,1 sm Geschwindigkeit?

$$400 : x = 14^2 : 12{,}1^2$$

$$x = \frac{400 \cdot 12{,}1^2}{14^2} = 300 \text{ Tonnen.}$$

d) Gesetz IV. Beispiel: Ein Schiff hat bei 14 sm Geschwindigkeit einen Aktionsradius von 4000 sm. Wie groß ist sein Aktionsradius bei 12 sm Geschwindigkeit?

$$4000 : x = 12^2 : 14^2$$

$$x = \frac{4000 \cdot 14^2}{12^2} = 5444 \text{ sm.}$$

Beispiel: Ein Schiff hat bei 14 sm Geschwindigkeit einen Aktionsradius von 4000 sm. Wie schnell darf es fahren, wenn es mit demselben Kohlenvorrath 5444 sm zurücklegen soll?

$$4000 : 5444 = x^2 : 14^2$$

$$x = \sqrt{\frac{4000 \cdot 14^2}{5444}} = 12 \text{ sm Geschwindigkeit.}$$

B. Graphische Darstellung des Zusammenhanges.

1. Graphische Darstellung der 4 Hauptgesetze.

Ist bei einem Schiff für irgend eine Geschwindigkeit die Maschinenleistung, der Kohlenverbrauch pro Stunde und der Aktionsradius bekannt, so kann man die unter A entwickelten Gesetze auch graphisch in einem Diagramm darstellen, indem man in einem rechtwinkligen Koordinatensystem verschiedene Schiffsgeschwindigkeiten als Abscissen, die errechneten zugehörigen Werthe der drei ge-

nannten Größen und des aus V und K pro h sich ergebenden Kohlenverbrauches pro sm als Ordinaten einträgt und durch die Endpunkte der Ordinaten Kurven legt. In einem solchen Diagramm kann man, ohne zu rechnen, für alle beliebigen Schiffsgeschwindigkeiten die zugehörigen Maschinenleistungen, Kohlenverbräuche und Aktionsradien durch Messung der Ordinaten bestimmen.

2. Graphische Darstellung des wirklichen Zusammenhanges.

Diese Darstellung hat besonders deswegen praktischen Werth, weil die Ordinaten, durch deren Endpunkte die Kurven gezeichnet sind, nicht errechnet, sondern durch Probefahrten ermittelt sind, weil somit die Kurven in ihrem ganzen Verlaufe der Wirklichkeit entsprechen und die unter A erwähnten Einschränkungen der entwickelten Gesetze berücksichtigen. Da man neue Kriegsschiffe mit Rücksicht auf ihre vielseitige Verwendung meistens mit mehreren verschiedenen Geschwindigkeiten probirt, also genügend Punkte für die Kurven gewinnt, so stellt man bei Kriegsschiffen allgemein die Probefahrtsergebnisse nicht nur tabellarisch, sondern auch in der beschriebenen Weise graphisch zusammen und gewinnt dadurch eine bessere Uebersicht und die Möglichkeit des Interpolirens.

C. Praktische Erprobungen.

1. Zweck und Art der Erprobungen.

Alle Probefahrten und Erprobungen verfolgen entweder den Zweck, die Leistungsfähigkeit und Verwendungsfähigkeit des Schiffes selbst nach den verschiedenen Richtungen festzustellen, oder praktische Grundlagen oder Erfahrungs-Koeffizienten für Neukonstruktionen zu gewinnen, gewöhnlich aber beide Zwecke gleichzeitig. Der Verwendung entsprechend, werden mit neuen Handelsschiffen gewöhnlich nur eine oder wenige, mit neuen Kriegsschiffen aber mehrere Probefahrten mit drei oder mehr verschiedenen Geschwindigkeiten ausgeführt.

Hauptbedingung für die Gewinnung einwandfreier Resultate und Vergleichswerthe ist es, daß alle Probefahrten unter möglichst gleichen Verhältnissen, d. h. mit gleich gutem Bedienungspersonal, bei gleicher Witterung und gleichem Zustand der See, mit gleich gutem Brennmaterial und schließlich mit gleichartiger Betriebsweise der Maschinen- und Kesselanlage ausgeführt werden. In unserer Marine sind alle diese Punkte durch Bestimmungen genau geregelt.

2. Eintheilung der Erprobungen.

Die in unserer Marine mit neuen oder alten umgebauten Schiffen üblichen Erprobungen kann man nach ihrer Art eintheilen in:

a) Erprobungen zur Feststellung der allgemeinen Gangbarkeit und Betriebssicherheit. Hierzu gehören die Kaltwasser-Druckproben, die Dampfprobe bei vertäutem Schiff und die Vorprobe in Fahrt. Bei den beiden letzteren Erprobungen kommt es weniger auf genaue Messung an, als auf Beobachtung des Funktionirens aller Theile und Einübung des Personals.

b) Erprobung zur Feststellung der Maximalleistungen. Hierzu gehören die in freier See ausgeführten forcirten Dauerfahrten, bei Schiffen gewöhnlich von 4- bis 6 stündiger, bei Torpedobooten gewöhnlich von 3 stündiger Dauer, und die forcirten Meilenfahrten an der abgesteckten Meile. Die ersteren dienen hauptsächlich zur Feststellung der größten Maschinenleistung in IHP und der größten Umdrehungszahl, die letzteren zur Feststellung der größten Geschwindigkeit und des Propellerslips, welche sich aus der bekannten Schraubensteigung (oder dem mittleren Schaufelraddurchmesser) und der beobachteten Schiffsgeschwindigkeit und Umdrehungszahl errechnet.

c) Erprobungen in wirthschaftlicher Beziehung. Hierzu gehören die Kohlenmeßfahrten (Oelmeßfahrten) mit geringeren, in unserer Marine gewöhnlich mit mindestens zwei verschiedenen Geschwindigkeiten (Marschfahrten) zur Feststellung des Kohlenverbrauches (Oelverbrauches) pro IHP und h und pro sm und des Aktionsradius. Letzterer ist $= \frac{\text{Kohlenvorrath}}{\text{Kohlenverbrauch pro sm}}$. Damit die bei den Kohlenmessungen unvermeidlichen Ungenauigkeiten (z. B. Feuer reinigen, Schätzung der auf dem Rost liegenden Kohlen u. s. w.) möglichst gering werden, dehnt man diese Fahrten mindestens auf 8, gewöhnlich aber auf 12 bis 24 Stunden und darüber aus.

d) Erprobungen zur Ermittelung der günstigsten Schraubensteigung und zur genauen Feststellung der Umdrehungszahl, des Slips und der Pferdestärke bei geringeren und mittleren Geschwindigkeiten. Hierzu dienen Meilenfahrten mit verschiedenen Geschwindigkeiten oder Progressivfahrten, d. h. eine direkte Aufeinanderfolge der verschiedenen Meilenfahrten. Die Beobachtungen sind dieselben wie bei jeder Meilenfahrt.

e) Besondere Erprobungen. Außer den unter a bis d aufgeführten wichtigsten Erprobungen macht man noch verschiedene andere, welche zum Theil nur einzelne Theile der maschinellen Anlage, zum Theil auch das Verhalten des Schiffskörpers betreffen. Hierzu gehören die Rudermanöver und Kreisläufe zur Feststellung der Leistungsfähigkeit und Festigkeit der Rudermaschinen und Rudereinrichtungen und der Drehfähigkeit des Schiffes, die Sturmfahrten der Torpedoboote zur Feststellung des Verhaltens von Boot und Maschinenanlage in bewegter See, die Maschinenmanöver zur Feststellung der Manövrirfähigkeit der Maschine und Beobachtung der Zeit vom Geben des Befehls bis zum Anspringen der Maschine auf die neue Gangart, die Erprobung der verschiedenen Lenz- und Speisevorrichtungen u. s. w. Lenzversuche und verschiedene andere hier nicht näher benannte führt man bei still liegendem Schiff aus.

Fünfter Abschnitt.

Kraftübertragung des Kurbelgetriebes.

Einleitung.

Endzweck jeder Schiffsmaschine ist die Drehung der Maschinenwelle, und da es bisher, wenigstens für große Maschinen, noch nicht gelungen ist, den Dampfdruck direkt in der Richtung der Drehung, also kreisförmig wirken zu lassen, so wird bei allen Schiffsmaschinen, abgesehen von den mit Dampfturbinen ausgerüsteten Booten (Turbinia, Viper u. s. w.), durch ein Kurbelgetriebe (Geradführung und Pleuelstange) die geradlinige Bewegung des Dampfkolbens in die kreisförmige des Kurbelzapfens umgesetzt. Bei dieser Umsetzung geht theoretisch keine Arbeit verloren, während praktisch natürlich kleine Arbeitsverluste durch Reibung eintreten. Die theoretische Untersuchung der Kraftübertragung vom Dampfkolben auf den Kurbelzapfen hat daher für die Bestimmung der Größe der auf die Welle übertragenen Arbeit keinen Werth, weil man, abgesehen von der Reibung, die gleich große Arbeit des Dampfkolbens aus dem Indikatordiagramm kennt.

Sehr wichtig aber ist die Untersuchung der Kraftübertragung für die Beurtheilung des Gleichförmigkeitsgrades der Umfangskräfte (Maschinendrehmomente) und des Gleichförmigkeitsgrades der Umfangsgeschwindigkeit, denn von diesem Gleichförmigkeitsgrade hängt in hohem Maße die Beanspruchung der Wellenleitung und Schraube, also überhaupt die Betriebssicherheit ab. Zur Gewinnung eines richtigen Bildes über die Schwankungen der Umfangskräfte während einer vollen Umdrehung genügt aber nicht lediglich die Berücksichtigung des aus dem Indikatordiagramm bekannten Dampfdruckes, sondern man muß auch die lebendige Kraft der abwechselnd beschleunigten und verzögerten Massen hinzurechnen.

Schließlich ist die Untersuchung der Kraftübertragung wichtig für die Beurtheilung der Ursachen von Schiffserschütterungen, denn die hauptsächlichen Ursachen derselben sind die durch Beschleunigung oder Verzögerung der Massen auf das Maschinenfundament und somit auch auf den Schiffskörper ausgeübten Vertikalkräfte und die durch ungleichmäßige Drehung der Welle erzeugten Schwankungen des Propellerschubes. Nach Vorstehendem läßt sich dieser Abschnitt eintheilen in:

A. Zusammenhang zwischen Kolbenkraft und Umfangskraft.

B. Wirkung der hin- und hergehenden Massen auf die Umfangskraft.

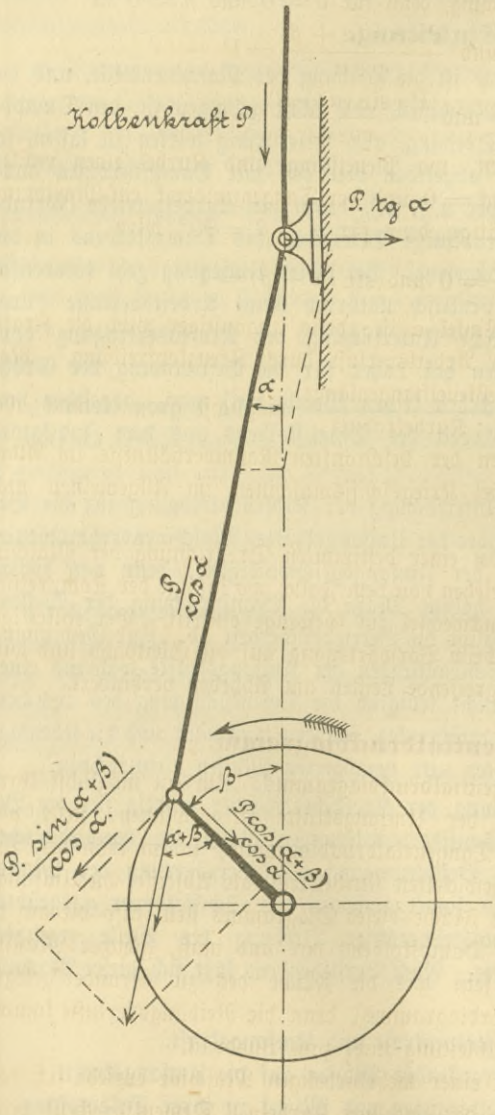
C. Ursachen der Schiffserschütterungen und Mittel zu ihrer Bekämpfung.

A. Zusammenhang zwischen Kolbenkraft und Umfangskraft.

1. Mathematische Ableitung der Umfangskraft aus der Kolbenkraft.

Bezeichnet man die Kolbenkraft oder den Gesammtdampfdruck auf den Kolben mit P, den Winkel zwischen Kolbenstange und Pleuelstange mit α und den Winkel zwischen Kolbenstange und Kurbel mit β und zerlegt man den Kolbendruck in den Pleuelstangendruck und in den senkrecht zur Kolbenstange gerichteten Druck des Kreuzkopfes auf die Gleitbahn, dann ist für jede beliebige Stellung des Kolbens und der Kurbel der Pleuelstangendruck $= \frac{P}{\cos \alpha}$ und der Kreuzkopfdruck $= P \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Der Pleuelstangendruck $\frac{P}{\cos \alpha}$ wird hiernach größer als der Kolbendruck P, was sich ohne Weiteres dadurch erklärt, daß $\frac{P}{\cos \alpha}$ die Hypotenuse des rechtwinkligen Kräftedreiecks bildet.

Fig. 17.



Zusammenhang zwischen Kolbenkraft und Umfangskraft.

Zerlegt man ferner den Pleuelstangendruck in den vom Kurbelzapfen durch die Wellenachse gehenden Radialdruck und in den gesuchten Tangentialdruck (Umfangskraft), dann ist der Radialdruck $= \frac{P \cdot \cos(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}$ und der Tangentialdruck $= \frac{P \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}$.

Da man für jede beliebige Kolbenstellung P aus dem Indikatordiagramm bestimmen und die Winkel α und β messen kann, so kann man auch den zugehörigen Tangentialdruck berechnen. Man kann auch die Rechnung umgehen, indem man vorstehende Zerlegung der Kräfte rein graphisch mach-

Von den aus P abgeleiteten vier Kraftkomponenten kommen für die Drehung der Maschine nur der Pleuelstangen- und der Tangentialdruck in Betracht. Kreuzkopf- und Radialdruck werden durch feste Widerlager, nämlich durch die Gleitbahn und Wellenlager, aufgenommen und erzeugen nur Reibung, sind aber durch die Natur des Kurbelgetriebes bedingt.

In den Todtlagen ist natürlich Kolbendruck = Pleuelstangendruck = Radialdruck und Kreuzkopfdruck = Tangentialdruck = 0.

Dies bestätigt auch die Rechnung, denn für $\alpha = 0$ und $\beta = 0$ ist

$$\frac{P}{\cos\alpha} = P \text{ und } \frac{P \cdot \cos(\alpha + \beta)}{\cos\alpha} = P$$

$$P \cdot \operatorname{tg}\alpha = 0 \text{ und } \frac{P \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\cos\alpha} = 0.$$

Ferner ist in den Stellungen, wo Pleuelstange und Kurbel einen rechten Winkel einschließen, der Radialdruck = 0 und der Tangentialdruck ein Maximum, was gleichfalls die Rechnung bestätigt, denn für $\alpha + \beta = 90°$ wird

$$P \cdot \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos\alpha} = 0 \text{ und } \sin(\alpha + \beta) = 1.$$

Je größer durchschnittlich Winkel α ist, desto ungünstiger wird die Kraftvertheilung und desto größer der Arbeitsverlust durch Kreuzkopfreibung. Man macht deshalb das Verhältniß $\frac{\text{Pleuelstangenlänge}}{\text{Kurbelradius}}$ möglichst groß, kommt aber damit bei Schiffsmaschinen wegen der beschränkten Raumverhältnisse im Allgemeinen nicht über 4 bis 4,5, bei Kriegsschiffsmaschinen im Allgemeinen nicht über 4.

Der Kreuzkopfdruck wirkt bei einer bestimmten Drehrichtung der Maschine immer nach derselben Seite, abgesehen von dem Falle, wo infolge der Kompression schon vor der Todtlage ein Druckwechsel im Gestänge eintritt. Bei einseitiger Gleitbahn drückt der Kreuzkopf beim Vorwärtsgang auf die Gleitbahn und wird beim Rückwärtsgang durch übergreifende Leisten am Abheben verhindert.

2. Tangentialdruckdiagramm.

a) Konstruktion des Tangentialdruckdiagramms. Um ein möglichst klares Bild über die Schwankungen der Umfangskräfte zu gewinnen, stellt man sie graphisch zusammen in dem Tangentialdruckdiagramm, indem man den Weg des Kurbelzapfens, also den abgewickelten Kurbelkreis, als Abscisse, die Umfangskraft als Ordinate benutzt. Die Fläche dieses Diagramms stellt also die auf den Kurbelkreis verlegte Arbeit des Dampfkolbens vor und muß, gleicher Maßstab vorausgesetzt, genau so groß sein wie die Fläche des zu Grunde gelegten Kolbendruckdiagramms (Indikatordiagramms), denn die Reibungsverluste kommen bei der unter 1. beschriebenen Ableitung nicht zum Ausdruck.

Die Gesammtumfangskraft einer mehrkurbeligen Maschine ergiebt sich durch Summirung der Umfangskräfte der einzelnen Kurbeln. Dementsprechend erhält man das Gesammt-Tangentialdruckdiagramm einer Maschine, indem man die

Diagramme der einzelnen Kurbeln unter Berücksichtigung der Versetzung der einzelnen Kurbeln übereinander zeichnet und durch Summirung der Ordinaten die Summenkurve bildet.

b) Gleichförmigkeitsgrad. Derselbe wird ausgedrückt durch das Verhältniß $\frac{\text{Mittlere Umfangsgeschwindigkeit}}{\text{Größte Umfangsgeschwindigkeit}}$, ist daher bei Kurbelmaschinen stets kleiner als 1. Eine vollkommene Gleichförmigkeit würde unendlich viele, gleichmäßig auf den Kurbelumfang vertheilte Kurbeln erfordern. Sie wird annähernd erreicht bei Turbinenmaschinen.

Der Gleichförmigkeitsgrad ergiebt sich einerseits aus den Schwankungen des Tangentialdruckes, andererseits aus der ausgleichenden Wirkung der Masse des Schiffskörpers, welcher bei Schiffsmaschinen ähnlich wirkt wie das Schwungrad bei Landmaschinen, in dem er vermöge seiner Trägheit sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch das Wasser bewegt und daher bei zunehmender Drehgeschwindigkeit auf eine Vergrößerung, bei abnehmender auf eine Verkleinerung des Wasserdruckes gegen die Propellerdruckflächen wirkt. Die rotirenden Massen einer Schiffsmaschine (Wellen, Kurbeln, Schraube) sind im Verhältniß zur Maschinenleistung sehr klein, so daß sie als Ausgleich für Schwankungen in der Umfangsgeschwindigkeit wenig in Betracht kommen.

B. Wirkung der hin- und hergehenden Massen auf die Umfangskraft.

1. Art der Wirkung.

Die unter A beschriebene Ableitung des Tangentialdruckes und Konstruktion des Tangentialdruckdiagramms hat nur dann praktischen Werth, wenn nicht nur der Dampfdruck nach dem Indikatordiagramm berücksichtigt wird, sondern auch die Kraft, welche durch die Beschleunigung und Verzögerung der Massen entsteht (Massenbeschleunigungsdruck). Zu diesen Massen gehören Kolben, Kolbenstange, Kreuzkopf, Balancier, Pleuelstange und bis zu einem gewissen Grade die Kurbel selbst.

Die Massen werden während der ersten Hubhälfte (abgesehen von der endlichen Länge der Pleuelstange) beschleunigt von der Geschwindigkeit 0 (Todtlage 0°) bis zur Maximalgeschwindigkeit, während der zweiten Hubhälfte wieder verzögert bis zur Geschwindigkeit 0 (Todtlage 180°). Während der ersten Hubhälfte geht somit für die Drehung der Welle der Theil der Dampfarbeit verloren, welcher zur Beschleunigung der Massen aufgewendet wird, während der zweiten Hubhälfte geben die durch den Zwang der Kurbel verzögerten Massen infolge ihrer lebendigen Kraft die vorher angesammelte Arbeit wieder an die Kurbel ab. Die Massen bewirken daher keine Aenderung der Gesammtarbeit, sondern nur eine andere Vertheilung derselben auf den Kurbelumfang, indem sie den Tangentialdruck während der ersten Hubhälfte verkleinern, während der zweiten vergrößern. Die Massenwirkung hängt natürlich ab von der Größe der Massen und von der Kolbengeschwindigkeit. Während man den Dampfdruck mit dem Indikator mißt, kann man den Massenbeschleunigungsdruck nur berechnen.

2. Praktische Berücksichtigung der Massenbeschleunigung.

Dieselbe erfolgt in der Weise, daß man den Beschleunigungsdruck (positiv oder negativ) sämmtlicher hin- und herbewegten Massen auf den Dampfkolben vereinigt denkt, aus Kolbenweg als Abscisse und Beschleunigungsdruck als Ordinate das Beschleunigungsdruckdiagramm konstruirt und dieses mit dem Dampfdruckdiagramm kombinirt. Die Ordinaten des kombinirten Diagramms stellen dann die geradlinigen Kräfte vor, welche, wenn man sie gemäß Theil A zerlegt, die wirklichen Umfangskräfte für die verschiedenen Stellungen des Kolbens und der Kurbel ergeben, also für den Gleichförmigkeitsgrad der Maschine maßgebend sind. Die nähere Ausführung unterbleibt, weil sie über den Zweck des Buches hinausgeht.

C. Ursachen der Schiffserschütterungen und Mittel zu ihrer Bekämpfung.

Bei älteren Schiffen mit geringeren Geschwindigkeiten und langsamer laufenden Maschinen haben die Schiffserschütterungen keine praktische Bedeutung, weil sie sehr gering sind. Bei modernen Bauten mit starken, schnell laufenden Maschinen, namentlich bei modernen Torpedobooten, sind diese Erschütterungen aber häufig so heftig, daß der Aufenthalt an Bord unerträglich wird und der Schiffsverband leidet. Aus diesem Grunde sind seit einigen Jahren alle größeren Schiffbaufirmen und Rhedereien bemüht, diesem Uebel zu steuern.

1. Schiffserschütterungen durch die vertikal bewegten Massen.

Während der Druck des von allen Seiten eingeschlossenen Dampfes sich stets innerhalb der Maschine aufhebt (abgesehen von dem durch den Kreuzkopfdruck erzeugten Drehmoment querschiffs), also beispielsweise der Dampf mit derselben Kraft den Dampfkolben nach unten und den Cylinderdeckel nach oben drückt, so entstehen durch die Massenbeschleunigung oder Verzögerung freie Kräfte, welche sich durch das Maschinenfundament auf den Schiffskörper übertragen und denselben in Schwingungen versetzen, sobald derselbe an der betreffenden Stelle für eine Durchbiegung empfänglich ist, und sobald die Trägheitsschwingungsdauer des als elastische Linie gedachten Schiffskörpers mit dem Zeitintervall der freien Vertikalkräfte übereinstimmt. Starke Bauart des Schiffskörpers kann die Schwingungen nicht hindern, während andererseits leicht gebaute Schiffe, z. B. Torpedoboote, ruhig liegen, sobald die genannten Voraussetzungen nicht zutreffen.

Jeder Schiffskörper hat, annähernd so wie eine elastische Linie, beim Schwingen zwei feststehende Knotenpunkte und zwischen denselben den Schwingungsbauch. Einfache Vertikalkräfte sind in den Knotenpunkten wirkungslos, in der Mitte des Schwingungsbauches am schädlichsten. Für Drehmomente in der vertikalen Längsschiffs-Mittelebene gilt das Umgekehrte.

Bei mehrkurbeligen Hammermaschinen treten durch die Massenbeschleunigung im Allgemeinen sowohl einfache Vertikalkräfte, als auch Drehmomente ein,

letztere z. B. in dem Falle, daß die Massenbeschleunigung am vorderen Cylinder einen Stoß nach oben, am hinteren einen Stoß nach unten ausübt. Es giebt also im Allgemeinen keinen Platz im Schiff, an welchem dasselbe gegen sämmtliche auftretenden freien Kräfte einer mehrkurbeligen Hammermaschine gänzlich unempfänglich wäre.

Aus diesem Grunde hat der Ingenieur Schlick in Hamburg zum Theil mit Erfolg vierkurbelige Maschinen konstruirt, bei welchen durch zweckentsprechende Bemessung der Kurbelstellung, der Cylinderentfernungen voneinander und der Größe der vertikal bewegten Massen die letzteren so ausbalancirt sind, daß sowohl die freien Vertikalkräfte als auch die Drehmomente sich stets innerhalb der Maschine aufheben, mithin keine Schiffsschwingungen erzeugen können, gleichgültig an welcher Stelle im Schiff die Maschine steht. Daß trotzdem einzelne mit Schlickschen Maschinen ausgerüstete Schiffe stark vibriren, findet darin seine Erklärung, daß auch andere Ursachen, z. B. ein schlechter Gleichförmigkeitsgrad, Schiffsschwingungen erzeugen können, und daß der Gleichförmigkeitsgrad bei den Schlickschen Maschinen im Allgemeinen schlechter ist als bei anderen.

2. Schiffserschütterungen infolge eines schlechten Gleichförmigkeitsgrades.

Je schlechter der Gleichförmigkeitsgrad, desto ungleichmäßiger ist auch der Druck des Propellers auf das Drucklager, der Propellerschub. Würde nun die Richtung des letzteren mit der etwa horizontalen Schwingungsmittellinie des Schiffes zusammenfallen, so könnte seine Ungleichmäßigkeit niemals Schiffsschwingungen erzeugen. Liegt aber, wie es stets der Fall ist, das Drucklager erheblich unter der Schwingungsmittellinie, dann entstehen in der Längsschiffsrichtung Drehmomente, deren Wirkung auf Durchbiegen des Schiffskörpers um so stärker wird, je näher das Drucklager an den hinteren Schwingungsknotenpunkt rückt. Durch ungleichmäßige Stärke des Propellerschubes entstehen auch ungleichmäßige Biegungsmomente, also unter Umständen auch Schiffsschwingungen.

3. Mittel zur Bekämpfung der Schiffserschütterungen.

Bisher ist es nicht gelungen, beim Neubau eines Schiffes mit Sicherheit den Schiffsschwingungen vorzubeugen, einmal weil die praktischen Untersuchungen über die Ursachen der Schiffsschwingungen noch nicht nach jeder Richtung abgeschlossen sind, und dann, weil es bei der komplizirten Zusammensetzung eines Schiffskörpers nicht möglich ist, die Lage der Knotenpunkte im voraus genau zu bestimmen. Auch zeigt die Erfahrung, daß die letzteren bei verschiedenen Geschwindigkeiten ihre Lage verändern.

Eine Hauptrolle spielt stets der Aufstellungsort der Maschine und des Drucklagers. Zur Gewinnung von weiteren Erfahrungen werden deshalb auf den Torpedobooten S 90 bis 101 die Maschinen und Kessel auf den einzelnen Booten verschieden angeordnet. (1, 2 oder alle 3 Kessel vor Maschine.) Die Drehmomente der freien Vertikalkräfte werden am geringsten, wenn die größten

Massen etwa in der Maschine liegen, also Ndr.-Cylinder zwischen den andern. Bei vorhandenen Schiffen kann man häufig durch geringe Veränderung der Umdrehungszahl die Schiffsschwingungen mildern, eventuell unter gleichzeitiger Veränderung der Schraubensteigung, häufig auch nur dadurch, daß man eine Wellenkuppelung im Tunnel um ein Bolzenloch versetzt.

Sechster Abschnitt.

Formen und Arten der Schiffskessel.

Einleitung.

Hauptanforderungen an alle Dampfkessel sind: Gute Ausnutzung der durch das Heizmaterial entwickelten Wärme, einfacher sicherer Betrieb und gute Zugänglichkeit für Revision, Reinigung und Reparatur. Für Schiffskessel tritt als besondere Forderung hinzu, daß die Kessel bei möglichst großer Dampferzeugung möglichst wenig Raum im Schiff beanspruchen und möglichst wenig wiegen. Auf dieser Forderung beruht einerseits die abweichende Bauart der Schiffskessel von derjenigen der Landkessel, andererseits die ganze allgemeine Entwickelung der Schiffskessel, denn je höher im Laufe der Jahre die Schiffsgeschwindigkeit gesteigert wurde, desto mehr mußte das Kesselgewicht pro Pferdestärke verringert werden, um das Deplacement des Schiffes in zulässigen Grenzen zu halten und die übrigen Einrichtungen des Schiffes nicht zu beeinträchtigen. Es gilt also in dieser Beziehung hier dasselbe wie bei der Entwickelung der Schiffsmaschinen, nur mit dem Unterschiede, daß bei letzteren die Kohlenersparniß der leitende Gesichtspunkt war und die Gewichtsersparniß pro Pferdestärke an zweiter Stelle stand und sich zum Theil aus dem Maschinensystem von selbst ergab, während bei der Entwickelung der Schiffskessel eine Erhöhung der Wärmeausnutzung überhaupt nicht eintrat, sondern außer der Gewichtsersparniß nur die Steigerung des Dampfdruckes und Betriebseigenschaften maßgebend waren.

Nach vorstehenden Gesichtspunkten wurden auf Kriegsschiffen hintereinander flachwandige Kessel, Cylinderkessel, Lokomotivkessel und Wasserrohrkessel verwendet, jedoch werden neben den Wasserrohrkesseln vorläufig auch weiterhin Cylinderkessel gebaut, während die flachwandigen Kessel längst veraltet sind und die Lokomotivkessel als Schiffskessel allmählich aussterben.

Der Wirkungsgrad, d. h. das Verhältniß der an das Kesselwasser abgegebenen Wärme zu der durch die Verbrennung erzeugten, beträgt bei wirthschaftlichem Betriebe bei den Federrohrkesseln etwa 0,6 bis 0,65, bei den Wasserrohrkesseln etwas weniger, bei den hohen Forcirungen der Lokomotiv- und Wasserrohrkessel erheblich weniger (0,5 und darunter).

A. Feuerrohrkessel.

1. Flachwandige oder Kofferkessel.

Dieselben werden hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt, weil sie auf einzelnen älteren Kriegsschiffen noch vorhanden sind. Für Neubauten kommen sie bereits seit der allgemeinen Einführung der Hdr.-Maschinen nicht mehr in Betracht, weil sie wegen ihrer flachen Wände nach allen drei Richtungen, Länge, Breite und Höhe, verankert werden müssen, und weil bei höherem Druck entweder die Stärke der flachen Bleche zu groß oder die Verankerung zu dicht ausfällt, der Kessel also zu schwer oder für innere Revision und Reinigung unzugänglich wird.

Rein konstruktiv, d. h. abgesehen von dieser praktischen Unverwendbarkeit bei hohem Druck, ist der flachwandige Kessel von allen Schiffskesseln der vortheilhafteste, weil er infolge seiner großen flachwandigen Verbrennungsräume die Heizgase am meisten ausnutzt. Bei gleichem Kesseldruck beträgt die Kohlenersparniß gegenüber den Cylinderkesseln etwa 5 bis 6 pCt. Auch ermöglicht der Kofferkessel infolge seiner Form eine bessere Raumausnutzung im Schiff. Nach der Bauart zerfallen die flachwandigen Kessel in zwei Hauptarten:

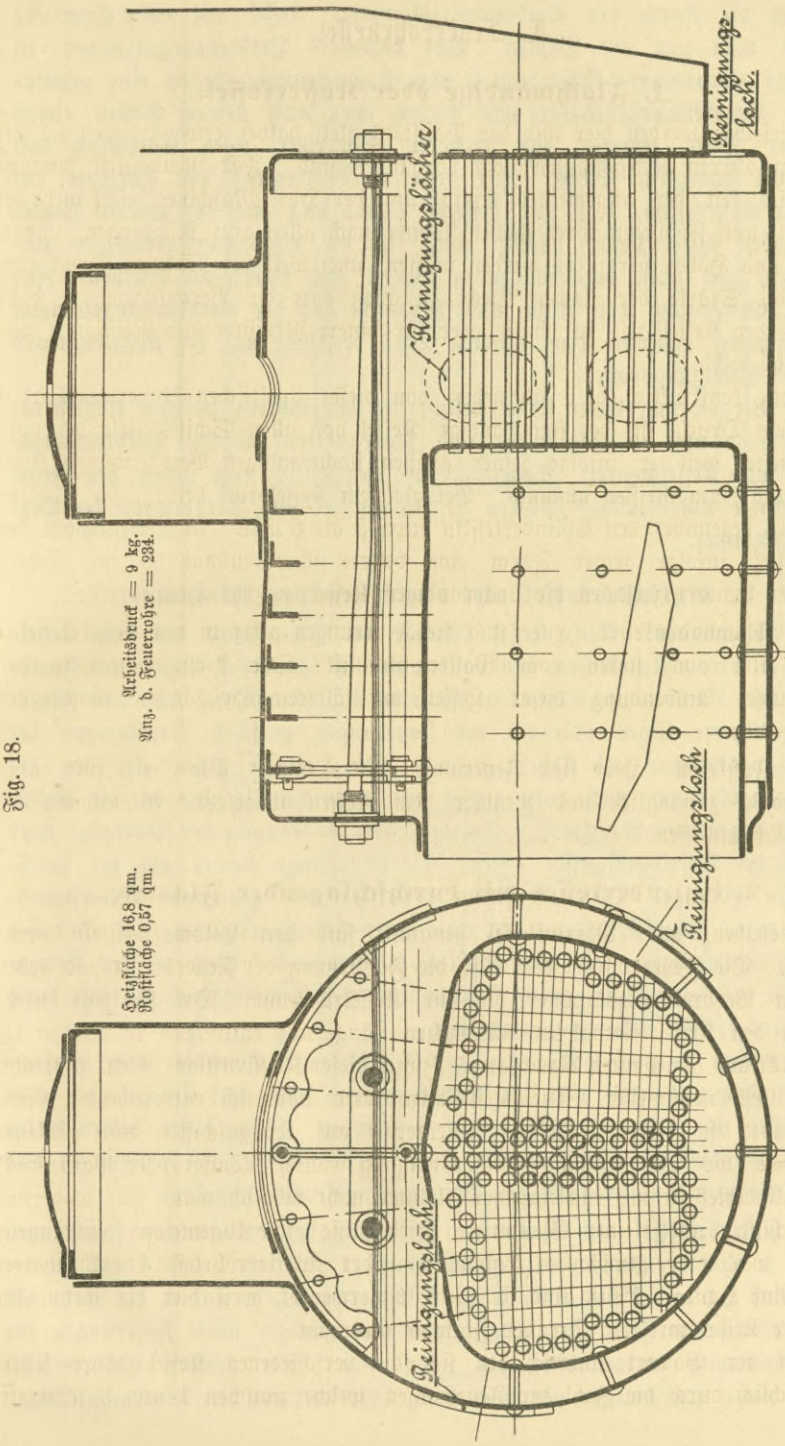
a) **Flachbodenkessel.** Hier sind die Feuerungen ganz in den Kessel hineingebaut, also auch unten vom Wasser umspült. Der Aschfall liegt in der Feuerbuchse. Anwendung dieser Kessel auf älteren Holzschiffen wegen der Feuersgefahr.

b) **Fußkessel.** Hier sind Feuerungen unten offen. Die Kessel sind daher unten besser zugänglich und weniger dem Rosten ausgesetzt. Anwendung auf älteren Eisenschiffen.

2. Cylinderkessel mit durchschlagender Flamme.

Dieselben, auch Marinekessel genannt, sind den Lokomotivkesseln nachgebildet. Die Feuerrohre bilden also die Fortsetzung der Feuerungen und gehen von der Verbrennungskammer bis zur Kesselrückwand. Die Heizgase durchstreichen den Kessel einmal in der ganzen Länge und entweichen in den an die Kesselrückwand angebauten Rauchfang. Zweck dieser Konstruktion ist ein möglichst kleiner Kesseldurchmesser. Die Kessellänge wird natürlich entsprechend größer. Angewendet ist dieser Kesseltyp stellenweise auf Kriegsschiffen mit geringer Raumtiefe, wo eine geschützte Unterbringung (unter Wasser oder Panzerdeck) von Cylinderkesseln mit rückkehrender Flamme nicht möglich war. Auf modernen Kriegsschiffen mit kleiner Raumtiefe werden sie im Allgemeinen nicht mehr gebaut, weil hier gewöhnlich Lokomotiv- oder Wasserrohrkessel vortheilhafter sind. Auf Handelsschiffen sind sie niemals verwendet, weil hier die Raumhöhe stets für Kessel mit rückkehrender Flamme ausreicht.

In der Bauart unterscheiden sich die verschiedenen Kessel dieses Typs hauptsächlich durch die Zahl der Feuerungen, welche zwischen 1 und 3 schwankt,



Cylinderkessel mit durchschlagender Flamme und 1 Feuerung für Dampfseeboote 1. Kl.

und durch die Form der Verbrennungskammer. Kessel mit einer Feuerung verwendet man nur auf Booten. Eine besondere Verbrennungskammer ist dann nicht vorhanden. Kessel mit 2 oder 3 Feuerungen haben eine gemeinschaftliche Verbrennungskammer mit flacher oder nach beiden Seiten etwas abfallender Decke, letzteres zur größeren Sicherheit gegen Entblößen von Wasser bei geneigtem Schiff. Zur besseren Vertheilung der Heizgase auf das ganze Rohrsystem, d. h. zur besseren Ausnutzung auch der unteren Feuerrohre, haben diese Kessel häufig einen in die Verbrennungskammer eingemauerten, von oben herabhängenden Bogen aus feuerfesten Steinen. Zur leichteren Entfernung der Asche und Flugasche aus der Verbrennungskammer liegt gewöhnlich zwischen dem unteren Theil derselben und der Kesselrückwand ein weites Reinigungsrohr.

Die Verankerung dieser Kessel besteht in Längsankern zwischen Kesselstirn- und Rückwand und in Stehbolzen und Deckenankern zwischen Verbrennungskammern und Kesselmantel. Außerdem sind gewöhnlich noch neben den Feuerungen einige Anker nöthig zwischen Kesselstirnwand und Vorderwand der Verbrennungskammer.

3. Cylinderkessel mit rückkehrender Flamme.

a) Allgemeines. Diese Kessel bestehen im Wesentlichen aus dem Kesselmantel, den beiden Kesselböden, den vollkommen in den Kessel eingebauten Feuerbuchsen und Verbrennungskammern (hinteren Rauchkammern) und den Feuerrohren. Letztere liegen oberhalb der Feuerungen zwischen Vorderwand der Verbrennungskammer und Kesselstirnwand. Die Heizgase gehen also von der Verbrennungskammer nach vorn zurück und entweichen in den an die Kesselstirnwand angebauten Rauchfang. Infolge dieser Anordnung der Feuerzüge wird natürlich der Kesseldurchmesser größer, die Kessellänge kleiner als bei durchschlagender Flamme. Dieser Kesseltyp verbindet eine genügende Widerstandsfähigkeit gegen hohen Kesseldruck mit einer guten Wärmeausnutzung und ist daher in der Handelsmarine fast ausschließlich in Gebrauch. Auch in der Kriegsmarine ist er wegen seiner guten Eigenschaften für Dauerfahrten bis jetzt durch die Wasserrohrkessel nicht ganz verdrängt.

Er kommt in zwei Hauptarten zur Ausführung: Einender- oder Einfachkessel mit Feuerung nur von der Kesselstirnwand aus, und Doppelender oder Doppelkessel mit Feuerung von beiden Kesselenden. Jede dieser beiden Arten wird in verschiedenen Größen, mit einer verschiedenen Zahl Feuerungen und mit verschiedenen Anordnungen der Verbrennungskammern gebaut.

b) Cylinderkessel als Einender. Die Zahl der cylindrischen Feuerungen schwankt je nach der Größe des Kesseldurchmessers zwischen 1 und 4 und beträgt 1 bis etwa 2,5 m, 2 bis etwa 4 m, 3 bis etwa 4,5 m und 4 bei mehr als 4,5 m Kesseldurchmesser. Im Allgemeinen sind weniger weite Feuerungen für die Verbrennung vortheilhafter als mehr enge. Die größten Cylinderkessel erreichen einen Durchmesser von über 5 m. Bei drei und vier Feuerungen liegen

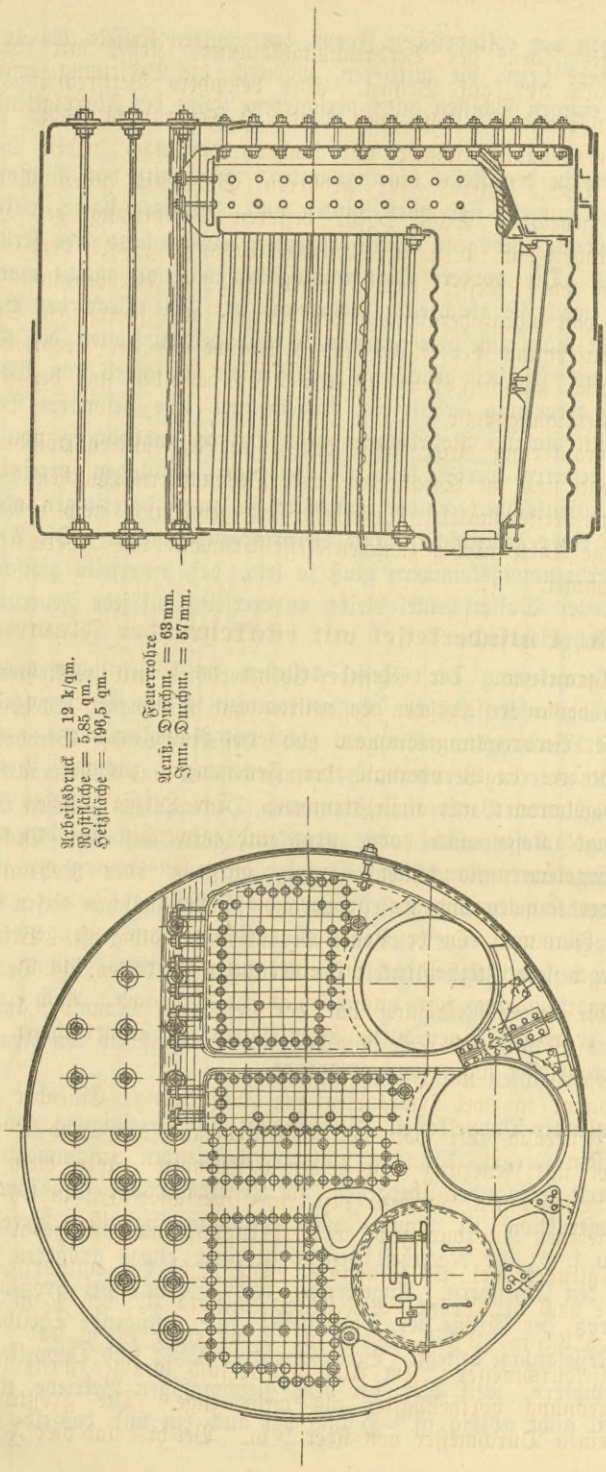


Fig. 19

Cylinderkessel mit rückkehrender Flamme und 3 Feuerungen für S. M. S. „Wörth".

natürlich wegen der cylindrischen Form des ganzen Kessels die äußeren höher als die mittlere bezw. die mittleren, wodurch die Bedienung erschwert wird. Dies ist bei einigen Schiffen durch verschiedene Höhe des Flurplattenbelags etwas ausgeglichen.

Die ganz in den Kessel hineingebauten, also ganz von Wasser umgebenen Verbrennungskammern sind vorn, hinten und oben durch flache, seitlich und unten durch kreisförmig gebogene Bleche begrenzt, entsprechend der Krümmung des Kesselmantels. Die vordere Verbrennungskammerwand macht man stärker als die übrigen, weil sie gleichzeitig Rohrwand ist. Die Decke der Verbrennungskammern läßt man auch hier gewöhnlich nach beiden Seiten des Kessels schräg abfallen, damit sie bei geneigtem Schiff nicht so schnell von Wasser entblößt wird. Jede Feuerung erhält im Allgemeinen eine besondere Verbrennungskammer, damit etwaige Rohrleckagen oder Brüche unabhängig von den übrigen Feuerungen reparirt werden können. Bei vier Feuerungen vereinigt man auch der größeren Einfachheit halber entweder je zwei Feuerungen oder die beiden mittleren zu einer gemeinschaftlichen Verbrennungskammer. Die Anordnung der einzelnen Verbrennungskammern muß so sein, daß einerseits zwischen ihnen ein genügend breiter Wasserschenkel bleibt, andererseits auf jede Feuerung die gleiche Zahl Feuerrohre entfällt.

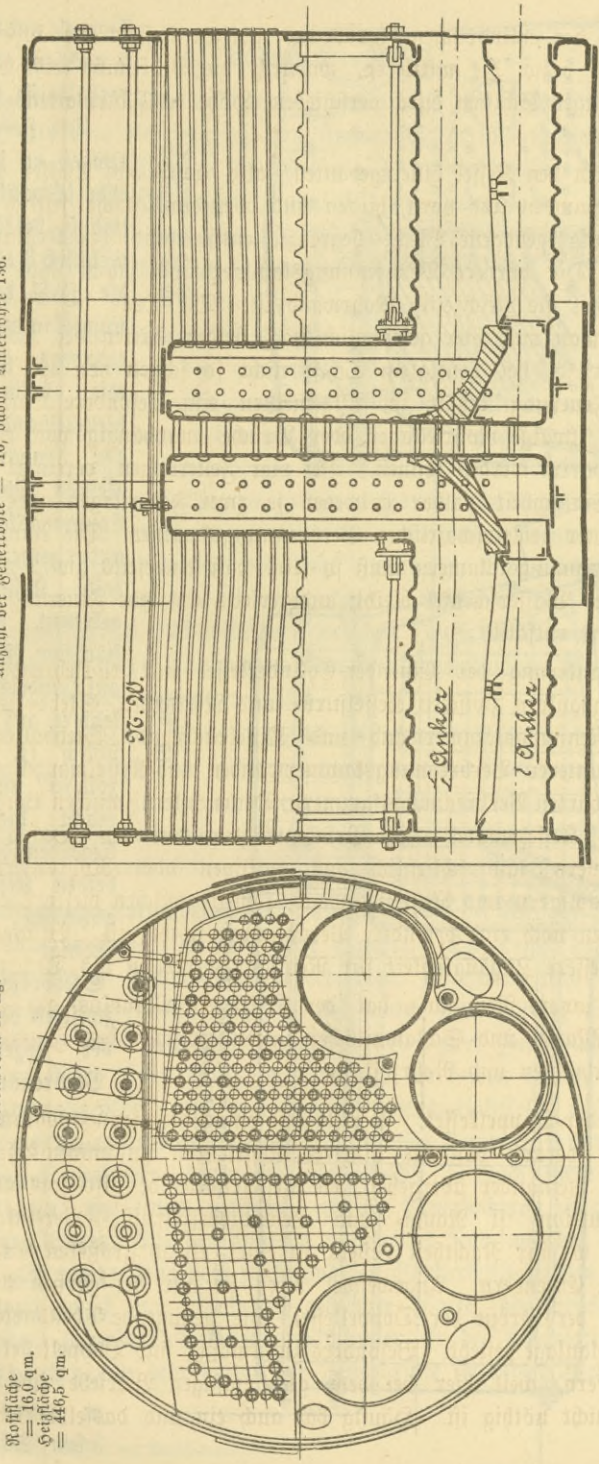
Die Verankerung der Einender-Cylinderkessel mit rückkehrender Flamme besteht in Längsankern zwischen Kesselstirn- und Rückwand, Stehbolzen zwischen hinterer Verbrennungskammerwand und Kesselrückwand, Stehbolzen zwischen seitlichen und unteren Verbrennungskammerwänden und Kesselmantel, Stehbolzen zwischen benachbarten Verbrennungskammern, Deckenankern zwischen Verbrennungskammern und Kesselmantel oder Brückenträgern auf den Decken der Verbrennungskammern und schließlich aus massiven oder Rohrankern zwischen Verbrennungskammern und Kesselstirnwand, soweit zwischen diesen Wänden außer den Feuerrohren noch eine besondere Verankerung nöthig ist. Brückenträger gewähren eine bessere Zugänglichkeit für Reinigungsarbeiten als Deckenanker.

Für die innere Reinigung hat der Kessel ein Mannloch am Dampfraum und mehrere Mann- und Schlammlöcher unten zwischen den Feuerbuchsen und zwischen Feuerbuchsen und Rohrsystem.

c) Cylinder-Doppelkessel. Derselbe ist eine Vereinigung von zwei einfachen Cylinderkesseln derart, daß die hinteren Kesselenden zusammenstoßen und die Mäntel direkt ineinander übergehen, die Kesselrückwände also fortfallen. Zweck dieser Konstruktion ist Raum- und Gewichtsersparniß, Vereinfachung der Armatur u. s. w., ihr Nachtheil besteht in einer etwas größeren Empfindlichkeit gegenüber den Einendern. Angewendet wird sie nur bei großen Anlagen, bei welchen trotz der Größe der Doppelkessel eine genügende Theilbarkeit der gesammten Kesselanlage besteht. Besonders zweckmäßig sind Doppelkessel auf großen Handelsdampfern, weil hier bei dem gleichmäßigen Betriebe eine weitgehende Theilbarkeit nicht nöthig ist. Häufig hat auch ein und dasselbe Schiff mehrere

Fig. 20.

Anzahl der Feuerrohre = 716, davon Ankerrohre 136.



Arbeitsdruck 12 kg.

Rostfläche = 16,0 qm.
Heizfläche = 446,5 qm.

Doppelcylinderkessel mit 4 Feuerungen für S. M. Yacht „Hohenzollern".

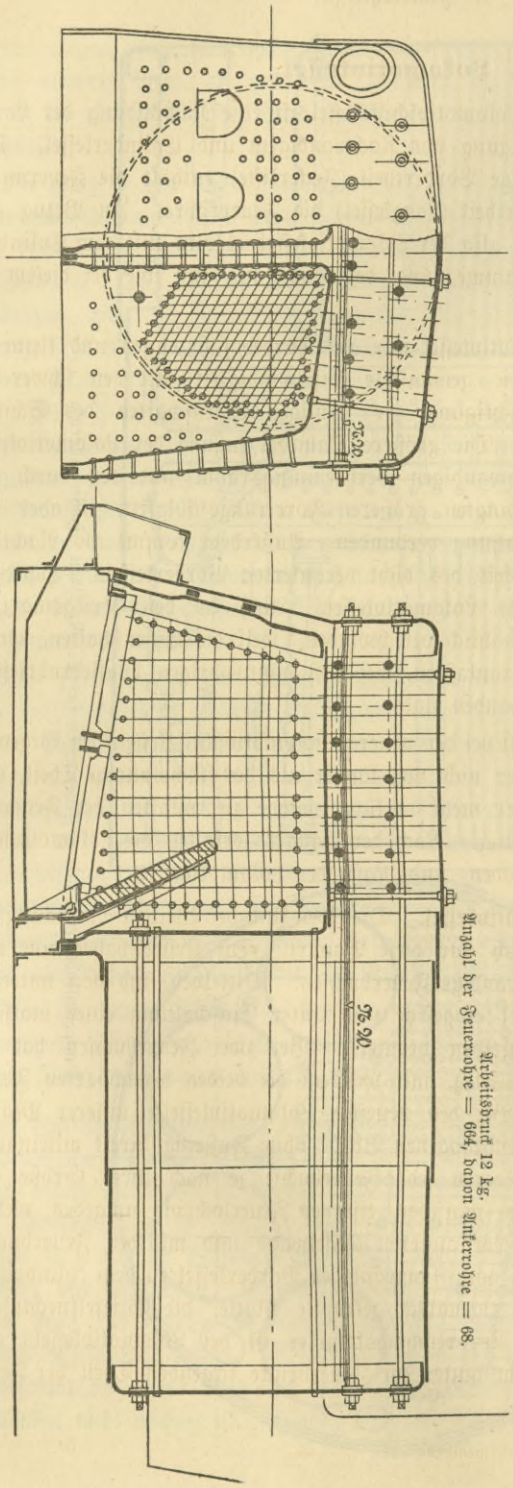


Fig. 21.

Lokomotivkessel mit 2 Feuerbüchsen S. M. S. „Siegfried".

Doppel- und Einfachkessel, je nachdem es die Raumverhältnisse bedingen.

Die Zahl der Feuerungen an jedem Kesselende schwankt zwischen 2 und 5, beträgt aber gewöhnlich 3 oder 4. Ueber die Zahl der Verbrennungskammern nebeneinander gilt dasselbe wie beim Einender, hintereinander, d. h. in der Längsrichtung des Kessels sind die Verbrennungskammern entweder gemeinschaftlich für beide Kesselenden oder getrennt. Erstere Konstruktion ist leichter und auf Handelsschiffen üblich, letztere, auf Kriegsschiffen üblich (z. B. „Hohenzollern" und „Gefion"), macht die gegenüberliegenden Feuerungen der beiden Kesselenden unabhängig voneinander, bedingt aber eine Stehbolzenverankerung zwischen den Rückwänden der gegenüberliegenden Verbrennungskammern. Die sonstige Verankerung sowie die Zugänglichkeit für innere Reinigung ist beim Doppelkessel ebenso wie beim Einfachkessel. Die an beide Kesselenden angebauten Rauchfänge vereinigen sich in der Regel über dem Kessel zu einem gemeinschaftlichen Schornstein.

4. Lokomotivkessel.

a) Allgemeines. Der Lokomotivschiffskessel ist eine Nachbildung der Landlokomotiven, also eine Vereinigung von flachwandigem und Cylinderkessel. Der flachwandige oder kistenförmige Vordertheil (Feuerkiste) enthält die Feuerungsanlage, der cylindrische Hintertheil (Langkessel) die Feuerrohre. In Bezug auf den Weg der Heizgase stimmt also der Lokomotivkessel überein mit dem Cylinderkessel mit durchschlagender Flamme, und der Rauchfang sitzt wie bei diesem an der Kesselrückwand.

Verwendet ist der Lokomotivkessel nur auf Torpedofahrzeugen und kleineren Kriegsschiffen, bei welchen die gewünschte Geschwindigkeit mit den schwereren Cylinderkesseln ohne Beeinträchtigung der sonstigen Eigenschaften des Schiffes nicht mehr zu erreichen war. Die größere Dampferzeugung der Lokomotivkessel beruht auf dem großen flachwandigen Verbrennungsraum und der durch den kleineren Kesseldurchmesser bedingten größeren Forcirungsfähigkeit, ist aber mit einer schlechteren Wärmeausnutzung verbunden. Außerdem kommt als Nachtheil hinzu die schlechte Zugänglichkeit des dicht verankerten Vorderkessels. Handelsschiffe haben deshalb niemals Lokomotivkessel. Auch in den Kriegsmarinen werden sie voraussichtlich allmählich verschwinden, weil die Eigenschaften, welche ihre Einführung an Bord veranlaßten, bei den dünnrohrigen Wasserrohrkesseln in noch höherem Grade vorhanden sind.

Der cylindrische Theil ist bei den neueren Lokomotivschiffskesseln im Gegensatz zu den Lokomotiven nicht oder nicht viel länger als der flachwandige Theil, weil er im Laufe der Jahre immer mehr verkürzt wurde zu Gunsten der Feuerkiste und einer größeren Verbrennung. Nach der Bauart zerfallen die Lokomotivkessel in zwei Bauarten: Trockenboden- und Naßboden-Lokomotivkessel.

b) Trockenboden-Lokomotivkessel. Dieselben sind bei Weitem die häufigsten. In unserer Marine findet sich nur diese Bauart. Die Kessel haben eine oder zwei nach allen Seiten flachwandige Feuerbuchsen. Dieselben sind von unten in den kistenförmigen Vorderkessel eingesetzt und unter Einschaltung eines massiven eisernen Fußringes mit demselben vernietet. Bei zwei Feuerbuchsen hat der Fußring in der Mitte einen Steg, mit welchem die beiden benachbarten Feuerbuchswände vernietet sind. Bei den neuesten Lokomotivkesseln unserer Marine sind die entsprechend zusammengebogenen Bleche ohne Fußring direkt miteinander vernietet. Die Feuerlöcher, deren jede Feuerbuchse je nach ihrer Größe eins oder zwei hat, sind von einem massiven, eisernen Feuerlochring umgeben, welcher ebenso wie der Fußring mit der äußeren Kesselwand und mit den Feuerbuchsen vernietet ist. Der Uebergang vom flachwandigen Vorderkessel zu dem cylindrischen Hinterkessel wird durch eine eigenartig gekröpfte Platte, die Stiefelknechtplatte, vermittelt. Eine besondere Verbrennungskammer ist bei Lokomotivkesseln nicht vorhanden, abgesehen von dem hinter der Feuerbrücke liegenden Theil der Feuerbuchsen.

Die Verankerung des Trockenboden-Lokomotivkessels besteht in Längsankern zwischen den Kesselenden, oberhalb der Feuerbuchsen und eventuell zwischen denselben, Deckenankern zwischen Feuerbuchsdecke und oberer Kesselwand, Querankern zwischen den Seitenwänden des Vorderkessels oberhalb der Feuerbuchsen, Stehbolzen zwischen den Seiten- und Vorderwänden der Feuerbuchsen und dem äußeren Kessel und zwischen benachbarten Feuerbuchswänden und schließlich in Längsankern unten zwischen Kesselrückwand und Hinterwand der Feuerbuchse, soweit hier noch Verankerung nöthig. Besondere Ankerrohre zwischen den eisernen oder stählernen Feuerröhren wendet man nicht an.

Zur inneren Reinigung haben die Lokomotivkessel nur ein einziges Mannloch am Dampfraum und einige Schlammlöcher unten am Kessel. Wegen der schlechten Zugänglichkeit des dicht verankerten Vorderkessels für innere Reinigung müssen Lokomotivkessel stets mit reinem Süßwasser gespeist werden.

c) Naßboden-Lokomotivkessel. Bei denselben sind die Feuerbuchsen ganz in den Kessel eingebaut, also auch von unten von Wasser umspült. Dadurch wird der Kessel schwerer an Gewicht, schwieriger und theurer in der Herstellung und unbequemer für den Betrieb und die Reinigung. Trotzdem sind diese Kessel stellenweise in fremden Marinen, z. B. auf englischen Torpedofahrzeugen, gebaut, weil sie eine wesentlich bessere Wassercirkulation ergeben sollen. Bezüglich der Zahl der Feuerbuchsen und Verankerung gilt für die Naßboden-Lokomotivkessel im Allgemeinen dasselbe wie für Trockenboden-Lokomotivkessel.

5. Ovalkessel.

Derselbe ist eine Abart der Cylinderkessel und hat einen länglichen, aufrecht stehenden Querschnitt, welcher dadurch entsteht, daß man zwischen die obere und untere Hälfte eines Cylinders vertikale gerade Wände einschaltet. Der Kessel eignet sich daher für große Raumhöhe bei knapper Grundfläche. Er ist sowohl auf Kriegs- als auch auf Handelsschiffen als Einender und Doppelender verwendet und hat den Vortheil eines hohen Dampfraumes, liefert also trockenen Dampf. Auf neuen Schiffen wird er jedoch nicht mehr gebaut, weil bei dem jetzigen hohen Dampfdruck die horizontale Verankerung zwischen den flachen Theilen der Seitenwände zu schwer wird.

B. Wasserrohrkessel.

1. Allgemeines.

Bei größeren Cylinderkesseln ist man mit etwa 15 kg pro Quadratcentimeter Kesseldruck und mit einer Forcirung von etwa 20 bis 30 mm Wassersäule ungefähr an der Grenze der Widerstandsfähigkeit und Leistungsfähigkeit angekommen. Bei weiterer Drucksteigerung werden die Bleche und Verankerungen zu schwer und erstere kaum in der wünschenswerthen Größe herstellbar, bei stärkerer Forcirung ist eine genügende Sicherheit gegen Leckagen kaum zu erreichen. Bei Lokomotivkesseln fällt wegen ihres kleineren Durchmessers erstere Schwierigkeit

fort. Auch vertragen sie eine Forcirung bis etwa 60 mm Wassersäule und liefern deshalb erheblich mehr Dampf als Cylinderkessel von gleichem Gewicht. Trotzdem aber reicht ihre Leistung nicht für alle Fälle, z. B. für moderne Torpedoboote, aus, und für große Schiffe eignen sie sich deshalb weniger, weil sie viel Grundfläche erfordern und die Raumhöhe wenig ausnutzen.

Aus diesen Gründen strebte man nach Kesselkonstruktionen, welche, ohne Gewichtsvermehrung und ohne mehr Raum zu beanspruchen, die Möglichkeit bieten, den Dampfdruck und die Schnelligkeit der Wärmeübertragung weiter zu steigern. So entstanden die Wasserrohrkessel. Ihre Anwendung beschränkt sich hauptsächlich auf Kriegsschiffe, weil für Handelsschiffe Raum- und Gewichtsersparniß eine geringere Rolle spielen und weil die Hauptanforderungen an Handelsschiffskessel, gute Wärmeausnutzung und gleichmäßig sicherer Betrieb, von Wasserrohrkesseln weniger erfüllt werden als von Cylinderkesseln.

Die Gewichtsersparniß der Wasserrohrkessel beruht theils auf dem Fortfall der schweren Kesselmäntel, theils auf dem Fortfall oder der Verringerung der Verankerung, theils auf der Verkleinerung des Wasserinhalts und theils auf der Erhöhung der Forcirungsfähigkeit. Bei allen Wasserrohrkesseln bilden den Hauptbestandtheil die das Wasser enthaltenden Wasserrohre. Dieselben haben im Verhältniß zu ihrer Oberfläche einen kleinen Wasserinhalt, und auf dieser Thatsache beruht die schnelle Wärmeübertragung. Letztere ist aber ohne schnelle Zerstörung der Rohre nur dann möglich, wenn das Wasser in den Rohren lebhaft cirkulirt. Alle Wasserrohrkessel sind deshalb im Gegensatz zu den Feuerrohrkesseln so gebaut, daß durch die Wärme eine ganz bestimmte, durch die Konstruktion des Kessels bedingte Wassercirkulation entsteht.

Dementsprechend kann man bei jedem Wasserrohrkessel unterscheiden:

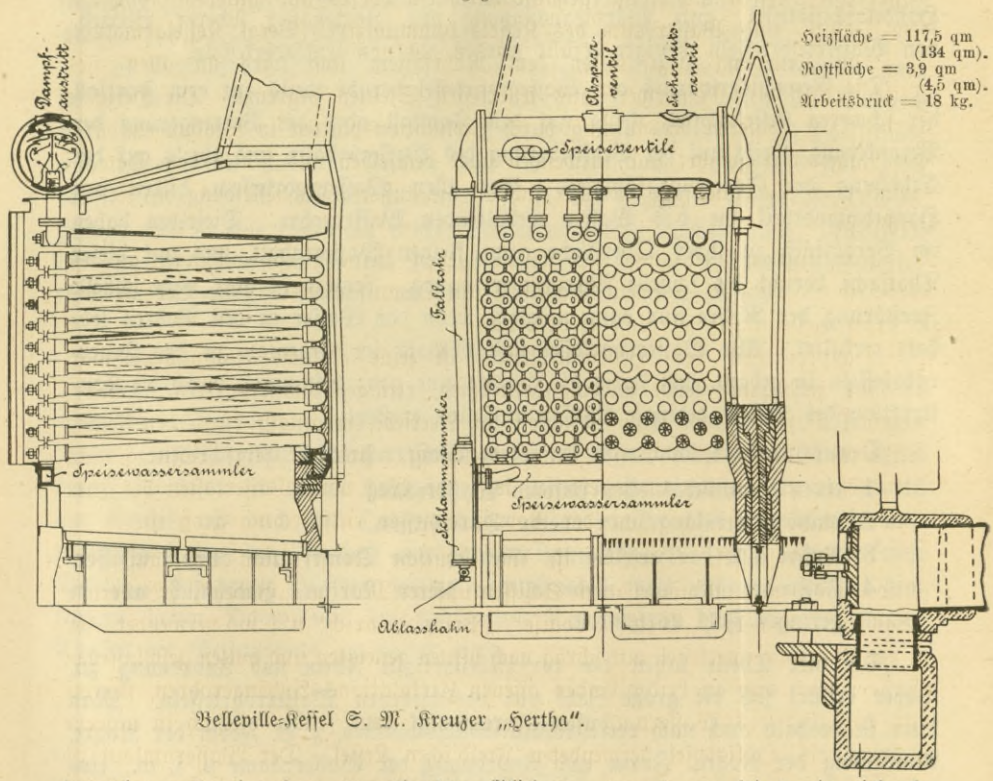
1. einen gemeinschaftlichen unteren Wasserraum,
2. einen gemeinschaftlichen oberen Dampfraum,
3. Rohre für das aufsteigende Gemisch von Dampf und heißem Wasser,
4. Fallrohre für das niederfallende kältere Wasser, gewöhnlich nur in geringer Zahl vorhanden.

Die vier Theile lassen die verschiedenartigste Form und Anordnung zu. Daher erklärt sich die große Zahl von verschiedenen Wasserrohrkesseln. Man kann sie deshalb auch nach verschiedenen Gesichtspunkten, z. B. Form der Rohre, Anordnung der Rohre, Form und Anordnung der Wasserräume u. s. w., eintheilen. Die einfachste Eintheilung ist die in geradrohrige und krummrohrige oder in weitrohrige und engrohrige Wasserrohrkessel. Letztere Eintheilung ist für die in unserer Marine vorhandenen Wasserrohrkessel streng durchführbar und hat den Vorzug, daß sie nicht nur die Form der Rohre, sondern auch die Leistung der Kessel berücksichtigt, denn die engrohrigen Kessel liefern bei gleichem Gewicht etwa doppelt so viel Dampf wie die weitrohrigen. Im Folgenden werden nur die in unserer Marine vorhandenen Wasserrohrkessel beschrieben.

2. Weitrohrige Wasserrohrkessel.

a) **Belleville-Kessel.** Derselbe ist eine französische Konstruktion und namentlich in der französischen und englischen Marine, bei uns versuchsweise auf „Hertha" und „Hansa" verwendet. Nach seiner Bauart kann man ihn als Gliederkessel bezeichnen. Der untere Wasserkasten ist ein gegossenes, quer vor dem Kessel liegendes Rohr von rechteckigem Querschnitt, der obere Dampfsammler ein aus Blechen zusammengenieteter, ebenfalls quer vor dem Kessel liegender cylindrischer Behälter. Das System der Wasserrohre für den aufsteigenden Strom besteht aus mehreren zwischen Wasserkasten und Dampf-

Fig. 22.



Belleville-Kessel S. M. Kreuzer „Hertha".

sammler nebeneinander angeordneten Gliedern, von denen jedes ein zickzackförmig schräg emporsteigendes Rohr bildet und aus einzelnen geraden Rohrenden von etwa 75 mm Durchmesser zusammengesetzt ist. Je zwei aufeinander folgende Rohrenden sind in eine gegossene stählerne Muffe (Rohrkopf) so eingeschraubt, daß das Ende des einen und der Anfang des nächsten Rohres nebeneinander in gleicher Höhe liegen, jedes Glied also zwei Rohrreihen nebeneinander enthält. Die Verbindung der unteren Rohrköpfe mit dem Wasserkasten und der oberen mit dem Dampfsammler besteht in einem kurzen vertikalen Rohr-

stutzen. Die hinteren, untersten Rohrköpfe ruhen auf Rollen zur leichteren Verschiebung bei Ausdehnung durch die Wärme. Der niedersteigende Strom des kälteren Wassers vom Dampfsammler nach dem Wasserkasten geht durch je ein Fallrohr an jeder Kesselseite. In jedes Fallrohr ist unten ein Schlammsammler eingeschaltet. Der normale Wasserstand liegt etwa in der Mitte des Rohrsystems.

Im Dampfsammler befindet sich vor dem oben angebrachten Hauptabsperrventil ein System von Prallplatten zur Abscheidung des mitgerissenen Wassers. Das Speisewasser mündet in den Dampfsammler, macht also die Abwärtsbewegung durch die Fallrohre mit. Zur Regelung des Wasserstandes dient ein vor dem Kessel in das Speiserohr eingeschalteter selbstthätiger Speisewasserregler, dessen Schwimmergehäuse durch ein oberes und unteres Rohr mit dem Dampf- und Wasserraum des Kessels kommunizirt. (Vergl. Kesselarmatur.)

Die Feuerung liegt unter dem Rohrsystem und wird an allen vier Seiten durch ein Mauerwerk aus feuerfesten Steinen begrenzt. Die Heizgase werden zur besseren Ausnutzung durch Cirkulationsplatten in Windungen durch das Rohrsystem geführt und entweichen über demselben und hinter dem Dampfsammler in den Rauchfang, welcher sich an die äußere Blechbekleidung des Kessels anschließt.

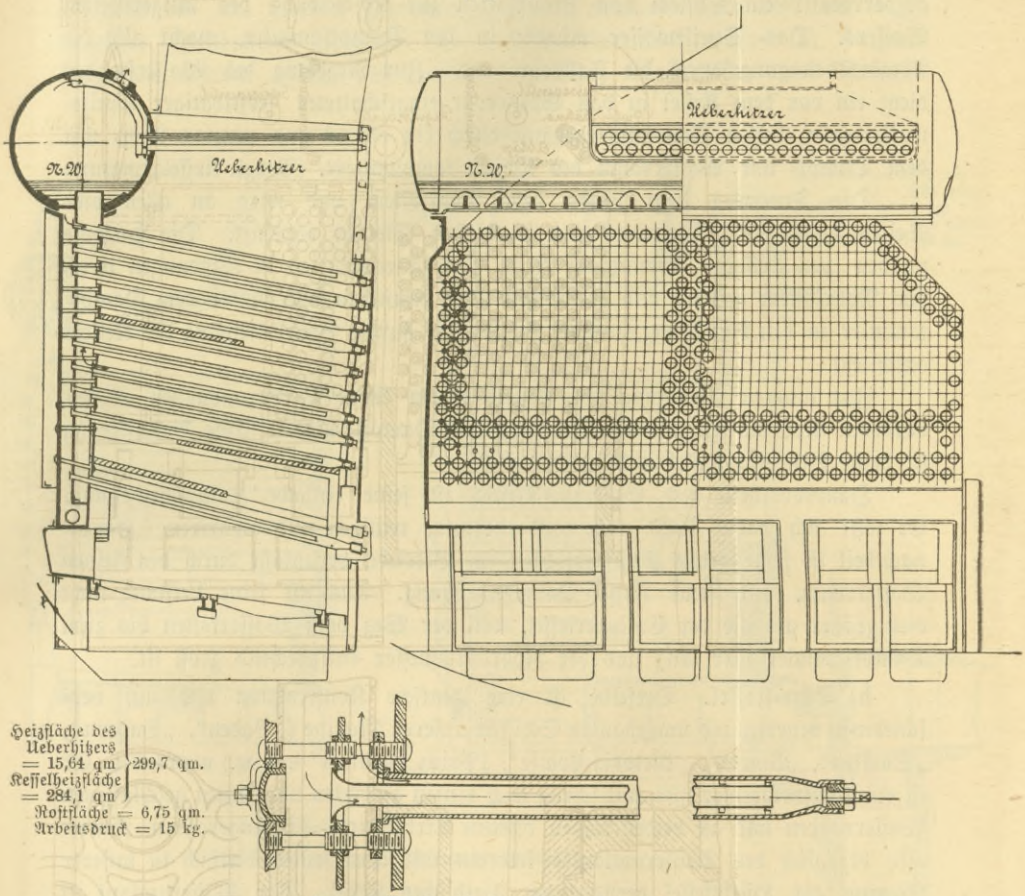
Zur inneren Reinigung des Kessels dienen kleine Verschraubungen an den vorderen Rohrmuffen und ein Mannloch am Dampfsammler. Eine Verankerung ist beim Belleville-Kessel nicht erforderlich.

Hauptvortheil des Belleville-Kessels ist seine einfache Zusammensetzung. Er läßt sich daher leicht auseinandernehmen, reinigen und repariren. Hauptnachtheil ist seine große Empfindlichkeit im Betriebe, veranlaßt durch den kleinen Wasserraum, und seine nasse Dampferzeugung. Auch ist seine Leistung nicht viel größer als die der Cylinderkessel, weil der Weg vom Wasserkasten bis zum Dampfsammler sehr lang und der Rohrdurchmesser entsprechend groß ist.

b) Dürr-Kessel. Derselbe ist eine deutsche Konstruktion und auf verschiedenen neueren und umgebauten Schiffen unserer Marine („Baden", „Bayern", „Sachsen", „Vineta", „Victoria Louise", „Prinz Heinrich" u. s. w.) verwendet. Er ist ein Wasserkammerkessel mit schräg nach hinten geneigten und hinten geschlossenen Wasserrohren und an beiden Enden offenen Cirkulations-Einhängerohren, stimmt also bezüglich des Wasserumlaufes überein mit dem früher vielfach in unserer Marine als Hülfskessel verwendeten Field'schen Kessel. Der Wasserumlauf ist also in jedem einzelnen Rohr ausgebildet derart, daß in dem direkt den Heizgasen ausgesetzten ringförmigen Querschnitt zwischen äußerem Wasserrohr und innerem Cirkulationsrohr der Dampf und das wärmere Wasser aufsteigt, während in dem inneren Cirkulationsrohr ebenso viel kälteres Wasser abfällt. Ein gemeinschaftlicher unterer Wasserraum ist also nicht vorhanden, sondern derselbe wird hier ersetzt durch die geschlossenen Enden der Wasserrohre. Die Wasserkammer bildet den vorderen Abschluß des Kessels und reicht über seine ganze Breite. Sie ist aus flachen Blechen zusammengeschweißt und durch eine

Scheidewand in eine vordere und hintere Hälfte getheilt. In die hintere Wasserkammerwand sind die Wasserrohre konisch eingesetzt derart, daß der Dampfdruck auf Festpressen des Rohres wirkt. In der Scheidewand sind die vorn trompetenartig erweiterten Cirkulationsrohre befestigt. Folglich bildet die hintere Hälfte der Wasserkammer die Fortsetzung der ringförmigen Rohrquerschnitte für den aufsteigenden Strom, während die vordere Hälfte den ab-

Fig. 23.

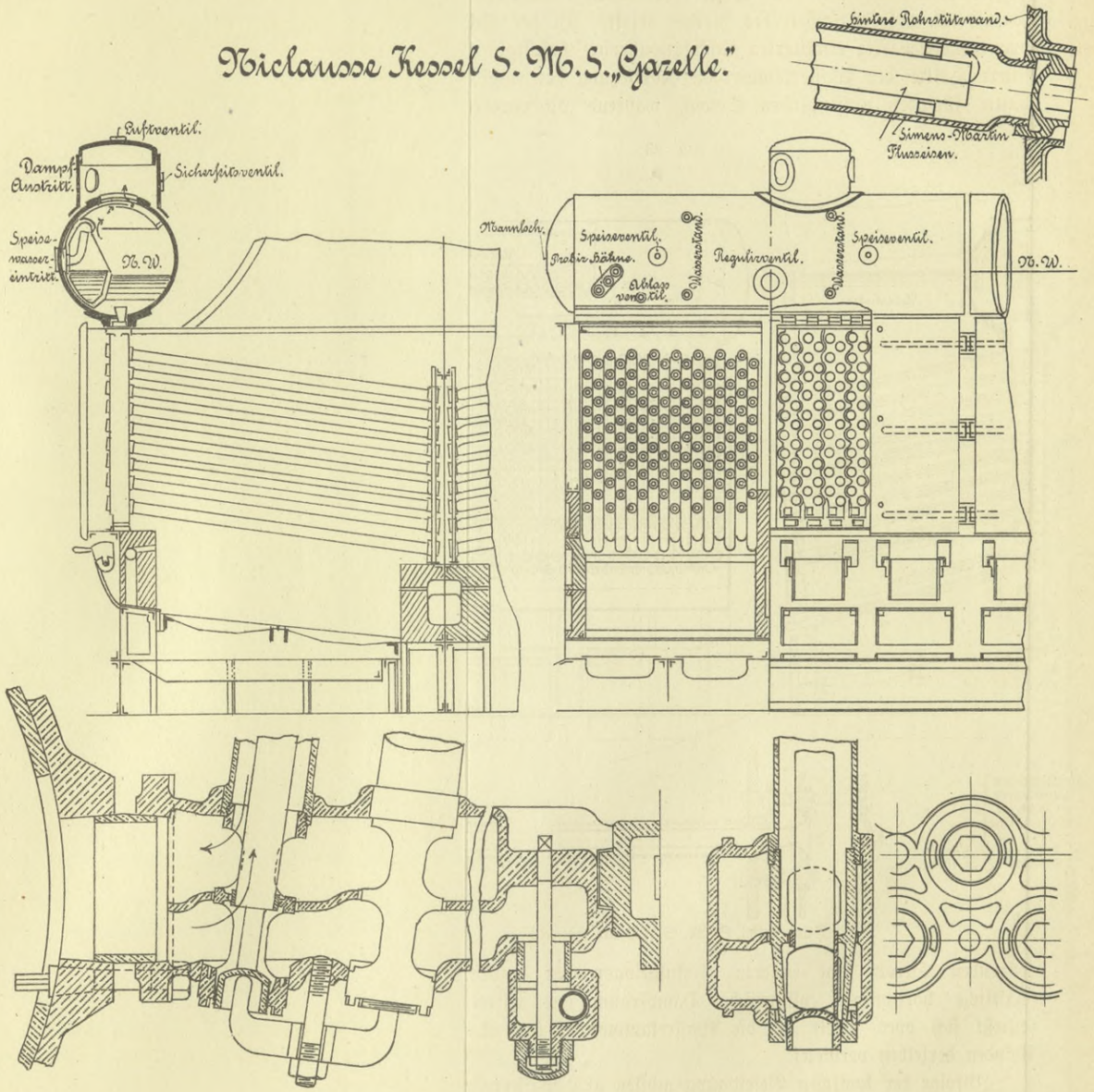


Dürr-Kessel S. M. S. „Prinz Heinrich".

steigenden Strom den inneren Cirkulationsrohren zuführt. Der gemeinschaftliche horizontale cylindrische Dampfraum aus Eisen- oder Stahlblech schließt sich oben direkt an die Wasserkammer an und ist mit den vertikalen Wänden derselben vernietet.

Infolge der konischen Befestigung müssen alle Wasserrohre von vorn durch die Wasserkammer durchgesteckt werden. Deswegen hat die vordere Wasserkammerwand vor jedem Wasserrohr ein entsprechend großes, rundes Loch,

Niclausse Kessel S. M. S. „Gazelle."



welches durch einen von innen konisch eingepaßten runden Deckel verschlossen wird. Diese Verschlußdeckel werden vom Dampfsammler aus oder von vorn durch einzelne größere Löcher in die Wasserkammer eingeführt und durch Bügel mit Bolzen und Mutter fest in das Loch gepreßt. Nach Abnahme der Deckel und Herausziehen der Cirkulationsrohre lassen sich die Wasserrohre von der Stirnwand des Kessels aus mechanisch reinigen.

Die flachen Wasserkammerwände bedürfen natürlich einer Verankerung. Dieselbe besteht in Stehbolzen, welche zwischen die einzelnen Wasserrohre vertheilt sind und gleichzeitig zur Anbringung einer Befestigung für die mittlere Scheidewand, die Wasserrohre und die Cirkulationsrohre dienen.

Der normale Wasserstand liegt im Dampfsammler auf etwa $^1/_4$ seines Durchmessers von unten. Das Speisewasser mündet in den Dampfsammler in den absteigenden Strom. Selbstthätige Regelung des Wasserstandes ist im Prinzip wie bei Belleville. Dasselbe gilt für die Anordnung der Feuerung und Leitung der Heizgase. Außer der mechanischen Wasserabscheidung durch Prallplatten hat aber der Dürr-Kessel einen Dampftrockner, auch Ueberhitzer genannt, welcher aus mehreren vom Dampfraum in den Rauchfang hineinragenden Rohren von der Konstruktion der Wasserrohre, also mit inneren Cirkulationsrohren, besteht und welchen der Dampf passiren muß, bevor er an das Hauptabsperrventil gelangt. Zur inneren Reinigung des Kessels dient außer den bereits erwähnten Verschlußdeckeln ein Mannloch im Dampfsammler.

Die Hauptvortheile des Dürr-Kessels bestehen in der guten Wassercirkulation und in der vollkommenen Zugänglichkeit von der Stirnwand aus, die Hauptnachtheile in der komplizirten Zusammensetzung und in der dadurch bedingten Häufigkeit der Reparaturen und Langwierigkeit der Reinigung. Bei gleichem Gewicht liefert der Dürr-Kessel etwas mehr Dampf als der Belleville-Kessel.

c) **Niclausse-Kessel** (Tafel I. Fig. 24). Derselbe ist eine französische Konstruktion und namentlich auf französischen, aber auch auf russischen und englischen Kriegsschiffen und bei uns auf „Gazelle" und „Freya" verwendet. Er ist wie der Dürr-Kessel ein Wasserkammerkessel mit schräg nach hinten geneigten und hinten geschlossenen Wasserrohren und an beiden Enden offenen Cirkulations-Einhängerohren. Er hat aber nicht wie jener eine gemeinschaftliche, über die ganze Kesselbreite reichende geschweißte Wasserkammer, sondern mehrere nebeneinander, aus schmiedbarem Guß hergestellt und so schmal, daß eine Verankerung durch Stehbolzen nicht nöthig ist. Jede Wasserkammer enthält nämlich nur zwei Vertikalreihen von Wasserrohren. Damit die diagonal angeordneten Rohre in horizontaler Richtung möglichst nahe zusammen liegen, haben die Wasserkammern, von vorn gesehen, eine wellenförmige Form. Die vertikalen Scheidewände sind mit den Wasserkammern zusammengegossen. Jede Wasserkammer ist mit einem kleinen Rohrstutzen in den horizontalen, cylindrischen Dampfsammler eingesetzt. Unten sind die Wasserkammern durch ein Rohr verbunden, um den Kessel ausblasen zu können.

Die Befestigung der Rohre in den Wasserkammern erfolgt durch gegossene sogenannte Laternen, welche konisch in entsprechende Löcher der drei Wasserkammerwände eingepaßt sind. Der mittlere Konus der Laternen nimmt das Cirkulationsrohr auf. Je zwei übereinander liegende Laternen werden durch einen vorn an die Wasserkammer geschraubten Bügel festgehalten.

Der normale Wasserstand liegt in der unteren Hälfte des Dampfsammlers. Selbstthätige Speisewasserregelung, Anordnung der Feuerung und Leitung der Heizgase ist im Prinzip wie bei Belleville und Dürr. Die Abscheidung des Wassers aus dem Dampf erfolgt mechanisch durch Prallplatten im Dampfsammler, ähnlich wie bei Belleville. Der Dampfsammler ist durch ein Mannloch zugänglich.

In Bezug auf Leistung pro Tonne Kesselgewicht steht der Niclausse-Kessel etwa auf gleicher Höhe wie der Dürr-Kessel. Seine Zugänglichkeit für innere Revision und Reinigung ist etwas besser als beim Dürr-Kessel wegen der einfacheren Rohrbefestigung. Dagegen neigen die gegossenen Wasserkammern und Laternen zu Rißbildungen, so daß Betriebsstörungen beim Niclausse-Kessel im Allgemeinen leichter vorkommen als beim Dürr-Kessel. Die Laternen werden deshalb neuerdings auch aus gezogenen Rohren hergestellt.

3. Engrohrige Wasserrohrkessel.

a) Yarrow-Kessel. Derselbe ist eine englische Konstruktion und hauptsächlich auf englischen Torpedofahrzeugen, vielfach aber auch auf Schiffen der holländischen, schwedischen und norwegischen Marine und bei uns versuchsweise auf „S 32“ verwendet. Der gemeinschaftliche untere Wasserraum besteht aus zwei parallelen, horizontalen Kästen, welche den Rost von beiden Seiten begrenzen und gewöhnlich aus zwei gewölbten Hälften zusammengeschraubt sind. Die obere Hälfte dient als Rohrwand. Der gemeinschaftliche obere Dampfraum ist ein horizontaler, in der Mittelebene des Kessels parallel zu den Wasserkasten liegender, aus Blech zusammengenieteter cylindrischer Behälter. Derselbe war bei den älteren Yarrow-Kesseln aus zwei Halbcylindern mit Flansch zusammengeschraubt, bei den neueren ist er aus einem Stück gefertigt zur Vermeidung der großen Dichtungsflächen. Das Rohrsystem für den aufsteigenden Strom besteht aus zwei symmetrischen, schräg nach oben konvergirenden Gruppen von geraden, dünnen Wasserrohren, welche die obere Hälfte der unteren Wasserkasten mit dem cylindrischen Dampfsammler verbinden und an beiden Enden fest eingedrillt sind. Für den abfallenden Strom hatten die älteren Yarrow-Kessel an einem Ende zwei weite, gerade Fallrohre von dem Dampfsammler nach den beiden Wasserkasten. Bei den neueren Yarrow-Kesseln sind diese Fallrohre zur Gewichtsersparniß fortgelassen, weil auch ohne dieselben eine genügende Wassercirkulation stattfindet. Es wirken dann die äußeren kälteren Wasserrohre als Fallrohre.

Der normale Wasserstand liegt in der unteren Hälfte des Dampfsammlers über den Mündungen der äußersten Wasserrohre, so daß sämmtliche Rohre ganz

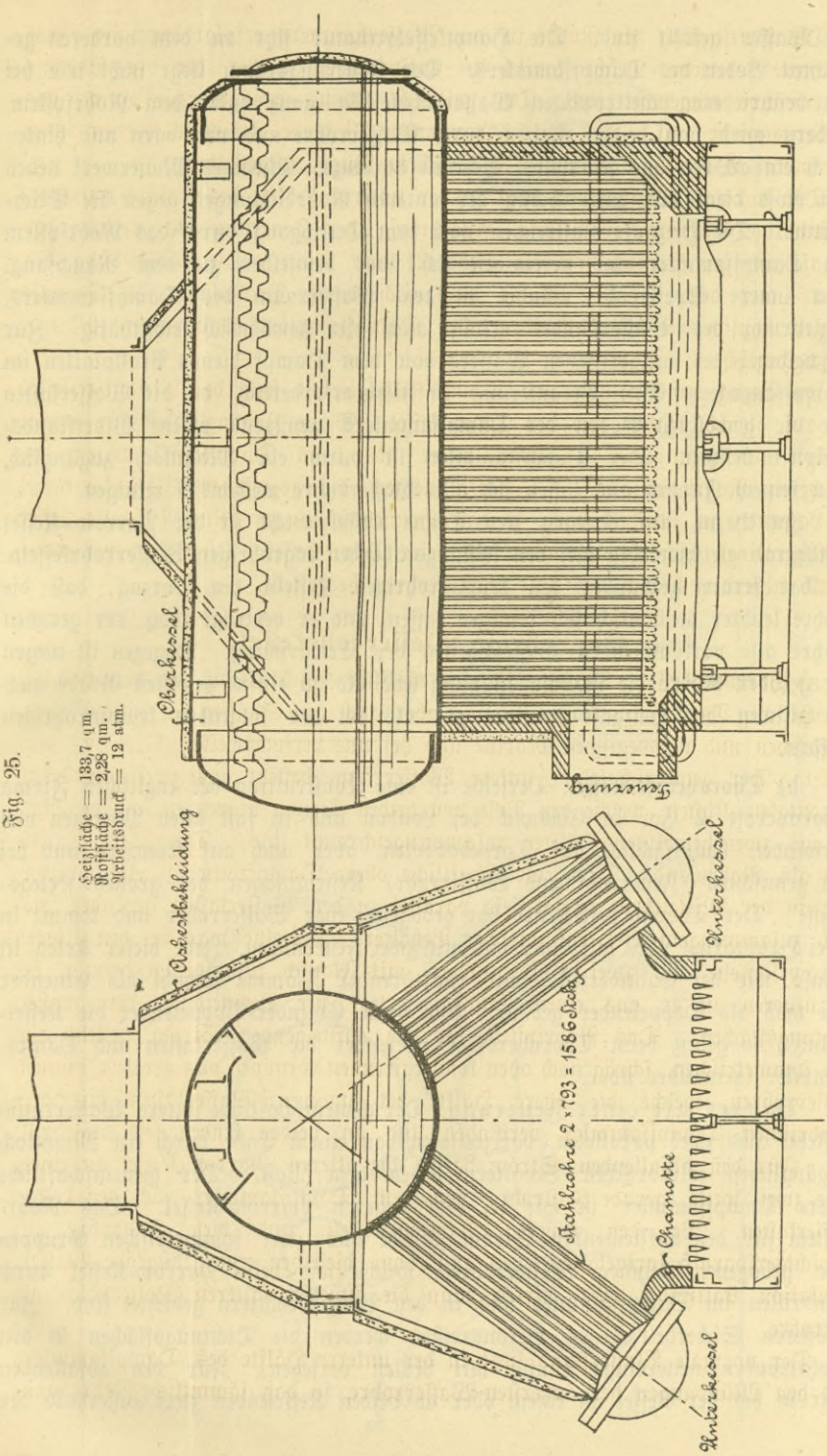


Fig. 25.

Heizfläche = 133,7 qm.
Rostfläche = 2,28 qm.
Arbeitsdruck = 12 atm.

Yarrow-Kessel S. M. Torpedoboot „S. 32".

mit Wasser gefüllt sind. Die Hauptkesselarmatur sitzt an dem vorderen gewölbten Boden des Dampfsammlers. Der Feuerungsraum liegt nicht wie bei den beschriebenen weitrohrigen Wasserrohrkesseln ganz unter dem Rohrsystem, sondern wird von beiden Seiten durch Wasserrohre und nur vorn und hinten durch eine Wand aus feuerfesten Steinen begrenzt. Etwaiges Mauerwerk neben dem Rost dient nur zum Schutz der unteren Rohrdichtungen gegen die Stichflamme. Die Heizgase umstreichen nach dem Durchgang durch das Rohrsystem den Dampfsammler und vereinigen sich über demselben zu dem Rauchfang. Das innere Speiserohr mündet in den Wasserraum des Dampfsammlers. Regulirung des Wasserstandes erfolgt auch hier gewöhnlich selbstthätig. Zur Abscheidung des mitgerissenen Wassers von dem Dampf dienen Prallplatten im Dampfsammler. Eine Verankerung ist nicht erforderlich, da die Wasserkasten und die gewölbten Böden des Dampfsammlers genügend eigene Widerstandsfähigkeit besitzen. Der Dampfsammler ist durch ein Mannloch zugänglich. Von seinem Innern aus lassen sich alle Wasserrohre mechanisch reinigen.

In Bezug auf Leistung pro Tonne Kesselgewicht ist der Yarrow-Kessel annähernd gleichwerthig mit den leistungsfähigsten engrohrigen Wasserrohrkesseln. Er hat ferner gegenüber den krummrohrigen Kesseln den Vorzug, daß die Rohre leichter mechanisch sich reinigen lassen, und er verträgt trotz der geraden Rohre alle vorkommenden Ungleichheiten der Erwärmung. Dagegen ist wegen der geraden Rohre die Raumausnutzung und bis zu einem gewissen Grade auch die Leitung der Heizgase weniger gut als bei den folgenden krummrohrigen Kesseln.

b) Thornycroft-Kessel. Derselbe ist eine Konstruktion der englischen Firma Thornycroft & Co. in Chiswick bei London und in fast allen Marinen viel verwendet, hauptsächlich auf Torpedobooten, aber auch auf Kreuzern und bei den gemischten (Feuerrohr und Wasserrohr) Kesselanlagen der großen Kriegsschiffe. Der Thornycroft-Kessel hat gebogene, enge Wasserrohre und kommt in zwei Hauptarten vor, mit einer und mit zwei Feuerungen. Jede dieser Arten ist ebenso wie der Cylinderkessel mit rückkehrender Flamme sowohl als Einender wie auch als Doppelender gebaut. Wie beim Cylinder-Doppelender die Kesselmäntel, so gehen beim Thornycroft-Doppelender die Wasserkasten und Dampfsammler ineinander über.

Bauart mit einer Feuerung. Der gemeinschaftliche untere Wasserraum besteht aus zwei parallelen, horizontalen, an einem Ende durch ein Mannloch zugänglichen cylindrischen Behältern neben dem Rost. Der gemeinschaftliche obere Dampfsammler ist wie bei dem neueren Yarrow-Kessel. Das Rohrsystem für den aufsteigenden Strom besteht aus zwei symmetrischen Gruppen von gebogenen, dünnen Wasserrohren, welche wie beim Yarrow-Kessel durch Eindrillen im Dampfsammler und in den Wasserbehältern gedichtet sind. Zur größeren Sicherheit gegen Herausreißen werden die Dichtungsflächen in den Rohrwänden neuerdings häufig mit Rillen versehen. Für den abfallenden Strom hat der Kessel an einem oder an beiden Kesselenden zwei außerhalb der

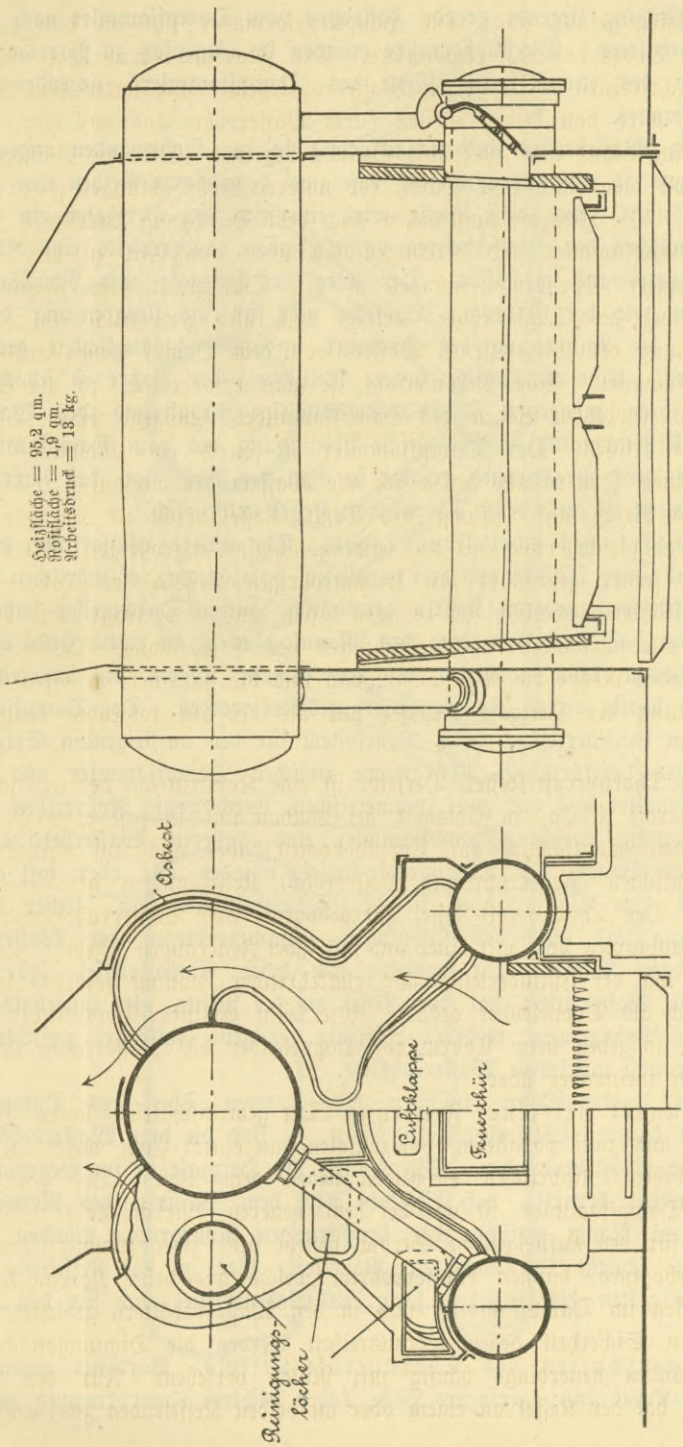


Fig. 26. Thornycroft-Kessel mit einer Feuerung für S. M. S. „Iltis“ und „Jaguar“.

Kesselbekleidung liegende gerade Fallrohre vom Dampfsammler nach den beiden Wasserbehältern. Die Wasserrohre münden im Gegensatz zu Yarrow sämmtlich oberhalb des etwas unter Mitte des Dampfsammlers liegenden normalen Wasserstandes.

Die Wasserrohre sind zickzackförmig in den Rohrwänden angeordnet und stellenweise so zusammengebogen, daß zwei benachbarte Reihen eine geschlossene Wand bilden. Auf diese Weise wird einerseits den Heizgasen ein bestimmter Weg zwischen den Wasserrohren vorgeschrieben, andererseits eine dichte äußere Begrenzungswand geschaffen. Der Weg der Heizgase zum Rauchfang ist im Uebrigen wie bei Yarrow. Dasselbe gilt für die Umgrenzung des Feuerraumes, die Anordnung der Armatur und die Zugänglichkeit des Dampfsammlers. Eine mechanische innere Reinigung der Rohre ist jedoch schwierig wegen ihrer gebogenen Form. Selbstthätige Regulirung des Wasserstandes (vergl. Kesselarmatur). Mechanische Abscheidung des vom Dampf mitgerissenen Wassers durch Prallplatten erfolgt in ähnlicher Weise wie bei Yarrow. Eine Verankerung ist auch beim Thornycroft-Kessel entbehrlich.

Bauart mit zwei Feuerungen. Der untere Wasserraum besteht hier nicht aus zwei, sondern aus drei parallelen, horizontalen, cylindrischen Behältern, welche bei den neueren Kesseln gewöhnlich gleichen Durchmesser haben und so groß sind, daß nach Losnahme des Mannlochdeckels an einem Ende ein Mensch hineinkriechen kann, während bei den älteren Kesseln die äußeren Wasserbehälter häufig durch dünnere Rohre gebildet werden. Der Dampfsammler ist wie beim Einfeuerkessel. Das Rohrsystem für den aufsteigenden Strom besteht aus einer herzförmigen Rohrgruppe zwischen Dampfsammler und mittlerem Wasserbehälter und aus zwei symmetrischen, durch wenig Rohrreihen gebildeten Rohrgruppen zwischen Dampfsammler und äußeren Wasserbehältern. Auch bei dieser Bauart des Thornycroft-Kessels münden alle oder fast alle Rohre oberhalb des Wasserstandes in den Dampfsammler ein. Ueber die Rohrbefestigung und über das stellenweise Zusammenbiegen der Wasserrohre zu geschlossenen Wänden gilt dasselbe wie beim Einfeuerkessel. Für den abfallenden Wasserstrom hat der Kessel in der Mitte, also innerhalb der herzförmigen Rohrgruppe, mehrere Sförmig gebogene Fallrohre zwischen Dampfsammler und mittlerem Wasserbehälter.

Da direkte Rohre zwischen dem unteren Theil des Dampfsammlers und den äußeren Wasserbehältern fehlen, so sind die drei Wasserbehälter direkt durch ein Rohr verbunden. Die Leitung der Heizgase ist im Gegensatz zu dem Einfeuerkessel derartig, daß dieselben nach dem Passiren des Rohrsystems in den freien Raum zwischen der herzförmigen Rohrgruppe münden. Dementsprechend schließt sich auch der Rauchfang hier an das Kesselende an. Im Uebrigen gelten die Angaben über den Einfeuerkessel auch für den Zweifeuerkessel.

Eigenschaften des Thornycroft-Kessels. Vortheile gegenüber dem Yarrow-Kessel sind: geringere Höhe, daher leichtere Unterbringung in niedrigen

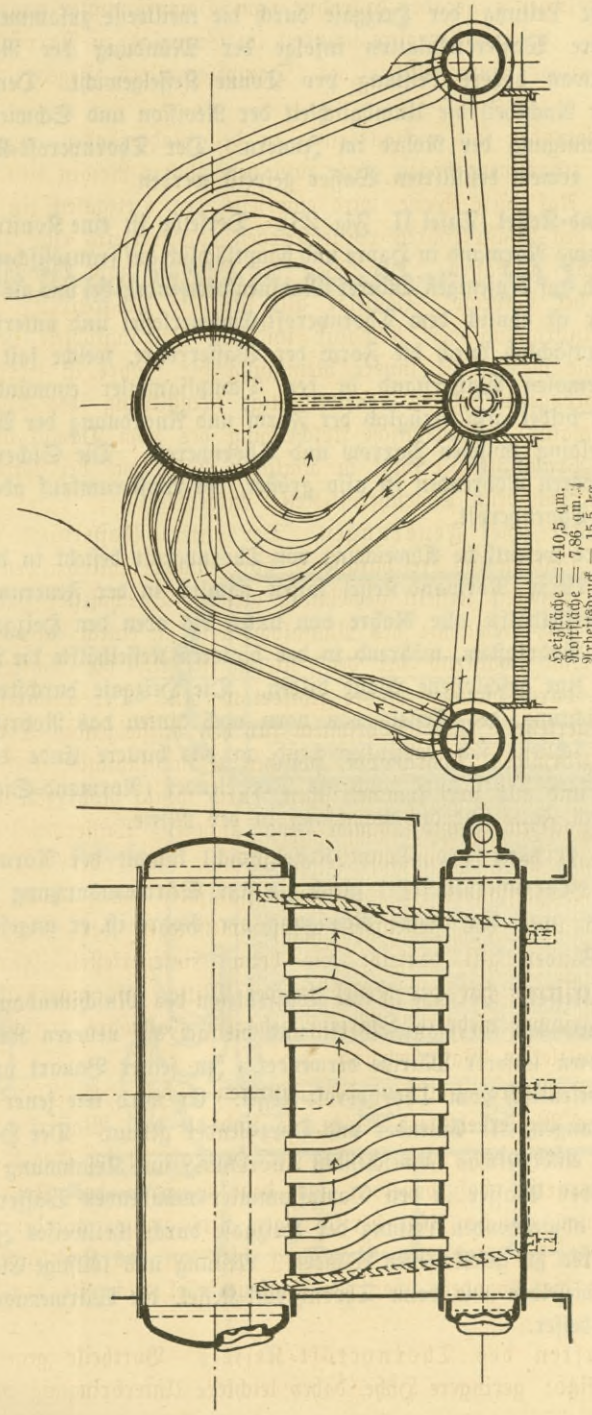


Fig. 27.

Thornycroft-Kessel mit 2 Feuerungen für S. M. Torpedoboot „S. 90".

Räumen, bessere Leitung der Heizgase durch die theilweise zusammengebogenen Rohre, lebhaftere Wassercirkulation infolge der Mündung der Rohre über Wasser und etwas höhere Leistung pro Tonne Kesselgewicht. Demgegenüber steht als großer Nachtheil die Unmöglichkeit der Revision und Schwierigkeit der mechanischen Reinigung der Rohre im Innern. Der Thornycroft-Kessel muß daher stets mit reinem destillirten Wasser gespeist werden.

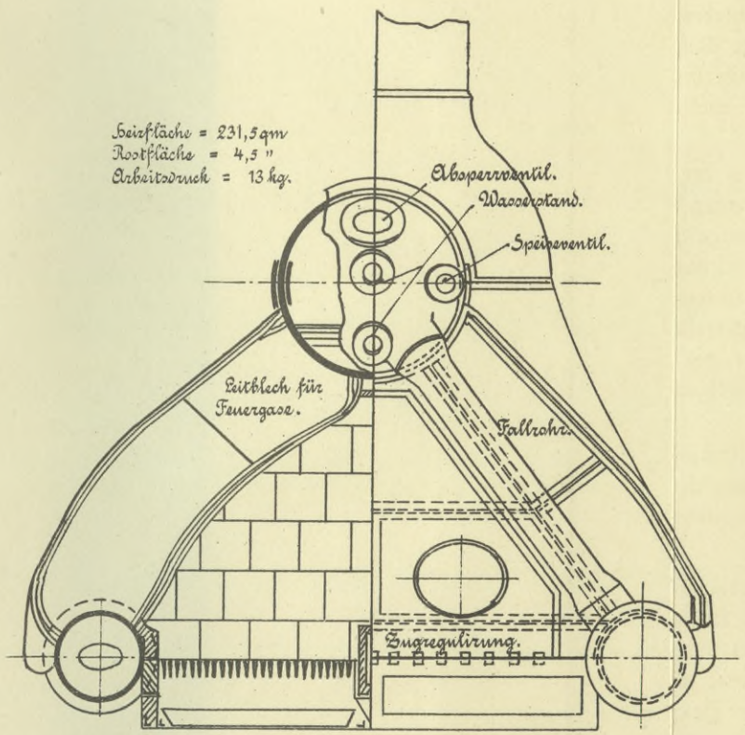
c) **Normand-Kessel** (Tafel II. Fig. 28). Derselbe ist eine Konstruktion der französischen Firma Normand in Havre und hauptsächlich auf französischen Torpedobooten, aber auch auf denjenigen anderer Marinen verwendet, bei uns als Ersatzkessel auf „D 3". Er ist ähnlich dem Thornycroft-Einfeuerkessel und unterscheidet sich von diesem hauptsächlich durch die Form der Wasserrohre, welche fast sämmtlich unter dem normalen Wasserstand in den Dampfsammler einmünden. Der Normand-Kessel bildet also bezüglich der Form und Anordnung der Wasserrohre etwa ein Mittelding zwischen Yarrow und Thornycroft. Die Sicherheit gegen Erglühen der oberen Rohrenden ist also größer, der Wasserumlauf aber weniger lebhaft als bei Thornycroft.

Eine weitere wesentliche Abweichung von Thornycroft besteht in der Leitung der Heizgase. Beim Normand-Kessel lassen nämlich in der Feuerung etwa in der vorderen Kesselhälfte alle Rohre von unten bis oben den Heizgasen freien Eintritt in das Rohrsystem, während in der hinteren Kesselhälfte die Rohre von unten bis oben eine geschlossene Wand bilden. Die Heizgase durchstreichen also in der Längsrichtung des Kessels von vorn nach hinten das Rohrsystem, und der Rauchfang schließt sich dementsprechend an das hintere Ende des Kessels an. Der Normand-Kessel wird auch als Doppelender (Normand-Sigaudy) gebaut. In diesem Falle sitzt der Rauchfang in der Mitte.

In seiner Leistung pro Tonne Kesselgewicht kommt der Normand-Kessel annähernd dem Thornycroft-Kessel gleich, in der Wärmeausnutzung ist er ihm etwas überlegen, und für innere Reinigung der Rohre ist er ungefähr ebenso schwer zugänglich.

d) **Schulz-Kessel.** Derselbe ist eine Konstruktion des Maschinenbau-Direktors Schulz der Kruppschen Germania-Werft und vielfach auf neueren Kriegsschiffen und Torpedobooten unserer Marine verwendet. In seiner Bauart unterscheidet er sich nur unwesentlich vom Thornycroft-Kessel. Er wird wie jener mit einer und zwei Feuerungen, als Einender und Doppelender gebaut. Der Hauptunterschied besteht in einer etwas abweichenden Anordnung und Krümmung der theils unter, theils über Wasser in den Dampfsammler mündenden Wasserrohre und in einer etwas abweichenden Leitung der Heizgase durch theilweises Zusammenbiegen von Rohren zu geschlossenen Wänden. Leistung und sonstige Eigenschaften sind ungefähr dieselben wie beim Thornycroft-Kessel, die Wärmeausnutzung ist vielleicht etwas besser.

Normand-Kessel für S. M. Torpedodivisionsboot „D 3."



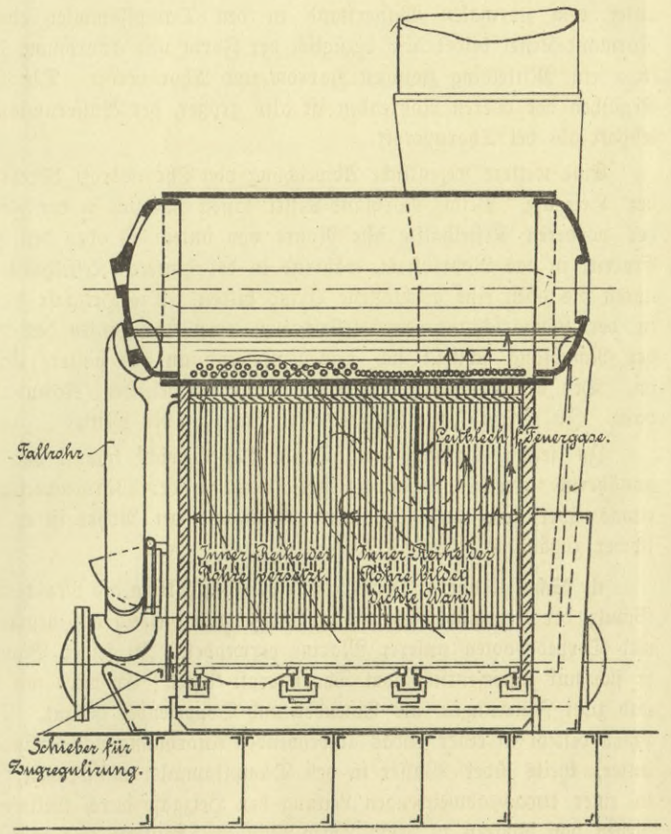
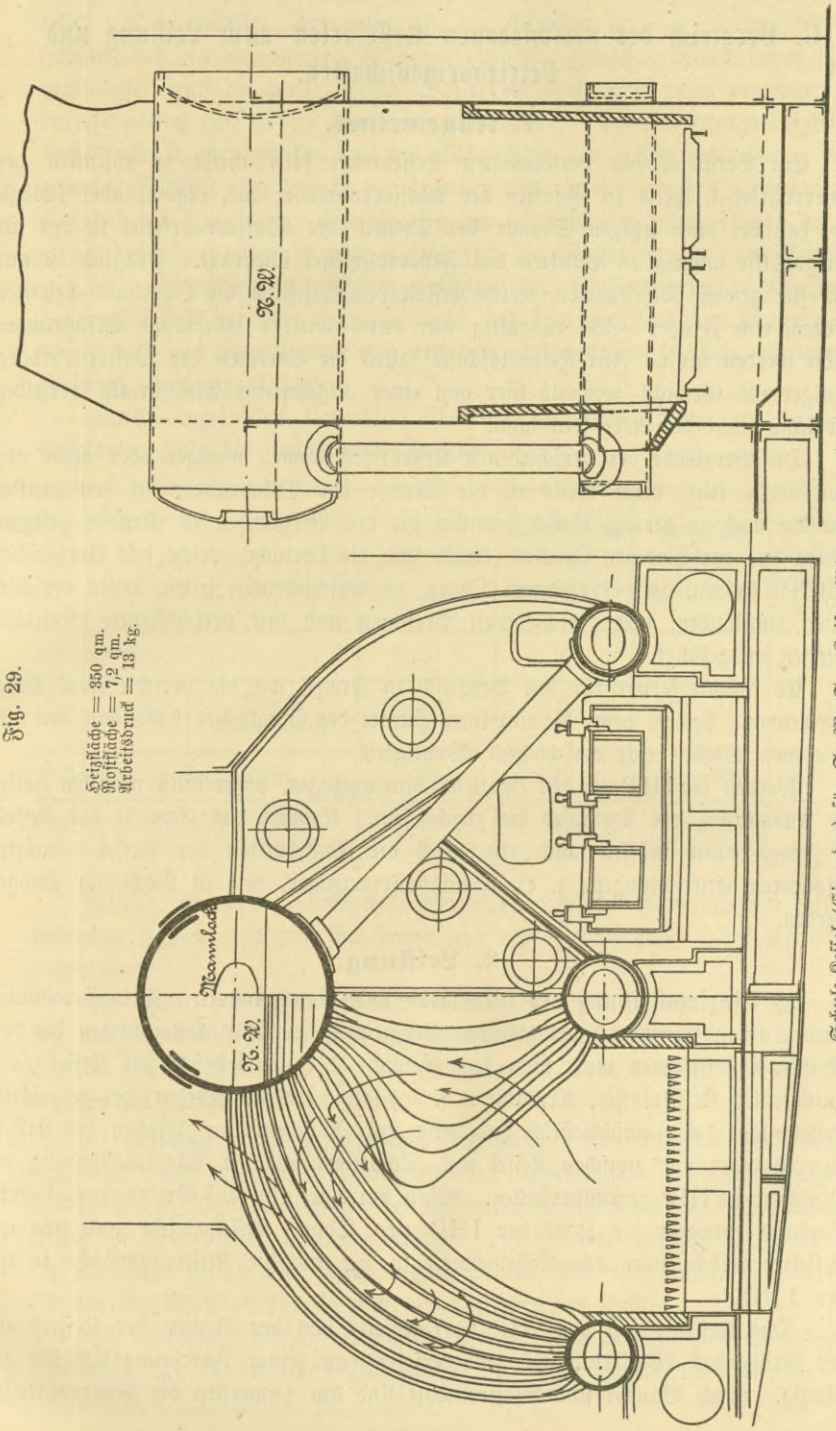


Fig. 29.

Heizfläche = 350 qm.
Rostfläche = 7,2 qm.
Arbeitsdruck = 13 kg.



Schulz-Kessel (Einender) für S. M. S. „Kaiser Wilhelm der Große".

C. Vergleich der verschiedenen Kesselarten nach Leistung und Betriebseigenschaften.

1. Allgemeines.

Ein Vergleich der verschiedenen Kesselarten fällt theils zu Gunsten der Feuerrohrkessel, theils zu Gunsten der Wasserrohrkessel aus, ergiebt aber schließlich, daß bei dem jetzigen Stande der Technik der Wasserrohrkessel in den für Kriegsschiffe wichtigsten Punkten den Feuerrohrkessel überragt. Fraglich ist nur noch für gewisse Schiffsarten, welche Kesseltypen schließlich die Oberhand behalten werden, eine Frage, welche endgültig nur durch weitere jahrelange Erfahrungen gelöst werden kann. Für Handelsschiffe fallen die Vortheile der Wasserrohrkessel weniger ins Gewicht, weshalb hier von einer allgemeinen Einführung derselben vorläufig nicht die Rede sein kann.

Die Vergleiche der verschiedenen Kesselarten können weniger oder mehr nur annähernde sein, denn theils ist die Menge der Erfahrungen in den meisten Punkten noch zu gering, theils stammen die den Vergleichen zu Grunde gelegten Daten aus verschiedenen Quellen, theils sind die Versuche, welche das Vergleichsmaterial liefern, an verschiedenen Orten, zu verschiedenen Zeiten, unter verschiedenen Umständen, von verschiedenen Personen und mit verschiedenen Versuchsobjekten ausgeführt.

Es kommt ferner für den Vergleich in Frage, wo die verschiedenen Kessel Verwendung finden, denn die einzelnen Punkte des Vergleiches haben an den verschiedenen Stellen eine verschiedene Wichtigkeit.

Werden die IHP in den Vergleich hineingezogen, dann muß in allen Fällen die Ausnutzung des Dampfes die gleiche sein. Kommt das Gewicht des Kessels in Frage, dann müssen auch alle durch die Konstruktion der Kessel bedingten besonderen Einrichtungen, z. B. Frischwassererzeuger, mit in Rechnung gezogen werden.

2. Leistung.

a) Maximalleistung pro Gewichts- und Raumeinheit. Zur Gewinnung eines einwandfreien und brauchbaren Vergleiches der Maximalleistungen der verschiedenen Kesselarten muß man das Gewicht der betriebsfertigen Kessel (also einschließlich Kesselwasser, Armatur u. s. w.) sowie den Raumbedarf der gesammten Kesselanlage (also einschließlich Heizraum und Zwischenraum zwischen den Kesseln untereinander und zwischen Kessel und Schottwänden) der Maximalleistung der Maschine in IHP gegenüberstellen. Man berechnet also auf Grund ausgeführter Versuche entweder die Zahl der IHP pro Tonne Kesselgewicht und pro qm Kesselraumfläche oder das Kesselgewicht in kg und die Kesselraumfläche in qm pro 1 IHP.

Das Kesselgewicht pro IHP ist einerseits von der Bauart des Kessels und der Größe des Wasserinhaltes, andererseits von seiner Forcirungsfähigkeit abhängig. Nach Bauart und Wasserinhalt sind am schwersten die Feuerrohrkessel,

etwas leichter die weitrohrigen und am leichtesten die engrohrigen Wasserrohrkessel. Die zulässige Forcirung ist am kleinsten bei den Cylinderkesseln, am größten bei den engrohrigen Wasserrohrkesseln. Zwischen beiden stehen die Lokomotivkessel und die weitrohrigen Wasserrohrkessel, und zwar vertragen erstere durchschnittlich eine höhere Forcirung als letztere. Die Forcirungsfähigkeit eines Kessels hängt ab einerseits von der Möglichkeit der freien Ausdehnung der einzelnen Kesseltheile unabhängig voneinander, andererseits von der Wärmeaufnahmefähigkeit der Heizfläche. Sie ist also um so größer, je weniger starr der Kesselkörper zusammengesetzt ist und je lebhafter die Wasserbewegung im Kessel ist.

Die durchschnittlich größere Leistung der Wasserrohrkessel gegenüber den Feuerrohrkesseln beruht demnach theils auf dem Fortfall der schweren Kesselmäntel und der Verankerung und auf dem geringen Wasserinhalt, theils auf der größeren Forcirungsfähigkeit.

Einen ungefähren Ueberblick über die Maximalleistung der verschiedenen Kesselarten giebt die nachfolgende Tabelle:

Kesselart		IHP pro Tonne Kesselgewicht	Kesselgewicht in kg pro IHP	Forcirung in mm Wassersäule	Verbrannte Kohlen in kg pro qm Rost und Stunde
Cylinderkessel		20	50	15	150
Lokomotivkessel	Schiffe	30	33	40—50	230
	Torpedoboote	50	20	60	300
Weitrohrige Wasserrohrkessel . .		30	33	20—30	170
Engrohrige Wasserrohrkessel	Schiffe	40	25	50	250
	Torpedoboote	80	12,5	80—100	350

Häufig zeigen die praktischen Versuche erhebliche Abweichungen von vorstehenden Zahlen. Letztere sind daher nur als Annäherungs- oder Mittelwerthe aufzufassen.

Die Zahl der IHP pro qm Grundfläche des Kesselraumes schwankt bei den verschiedenen Kesselkonstruktionen etwa zwischen 20 und 50, wobei die kleineren Werthe für die Cylinderkessel, die größeren für die Lokomotivkessel und für die engrohrigen Wasserrohrkessel gelten.

b) Leistung in wirthschaftlicher Beziehung. Ein Maßstab für die Wirthschaftlichkeit der gesammten Maschinen- und Kesselanlage ist der Kohlenverbrauch pro IHP und Stunde, welcher bei modernen Schiffen bei wirthschaftlichem Betriebe im Mittel etwa 0,75 kg beträgt. Ist die Verwendung des Dampfes in der Maschine genau die gleiche, dann ist der Kohlenverbrauch pro IHP und Stunde ein Maßstab für die Wirthschaftlichkeit des Kessels.

Die Wirthschaftlichkeit des Kesselbetriebes hängt ab einerseits von der Vollständigkeit der Verbrennung (Mischung mit Luft), andererseits von der Voll-

ständigkeit der Wärmeabgabe an das Kesselwasser (Größe der Heizfläche, Leitung der Heizgase).

Die Erfahrung hat bisher gezeigt, daß der Kohlenverbrauch pro IHP und Stunde im praktischen Betriebe durchschnittlich bei Wasserrohrkesseln etwas höher ist als bei Feuerrohrkesseln. Hauptgrund hierfür ist die vollständigere Verbrennung der Heizgase in Feuerrohrkesseln, bedingt durch die besser abgeschlossenen Verbrennungsräume und durch den längeren Weg der Heizgase vom Rost bis zu den Feuerzügen (Feuerbrücke, Verbrennungskammer). Ein weiterer Grund ist aber auch die bei vielen Wasserrohrkesseln schlechtere Wärmeabgabe an den Kessel, bedingt durch die Form der Feuerzüge (Rohrzwischenräume), welche den Heizgasen einen leichteren Durchgang zum Schornstein als bei Feuerrohrkesseln gestatten. Die Bedienung der Feuer ist bei Wasserrohrkesseln von viel größerem Einfluß auf die Wirthschaftlichkeit als bei Feuerrohrkesseln.

3. Betriebseigenschaften.

a) Bedienung der Feuer. Bei Feuerrohrkesseln hält man im Allgemeinen die Feuer um so höher, je stärker die Forcirung, und ist hierbei im Allgemeinen an keine bestimmte Grenze gebunden.

Bei Wasserrohrkesseln müssen zur Vermeidung großer Wärmeverluste auch bei forcirtem Betriebe niedrige Feuer, etwa 12 bis 20 cm, gehalten werden. Bei stärkerer Forcirung werden die Feuer entsprechend häufiger beschickt, und zwar zur Verwendung großer Betriebsschwankungen in ganz gleichmäßigen Zeitintervallen (Signale durch Heizraumuhren). Hierin liegt eine stärkere Beanspruchung des Heizerpersonals.

Das Feuerreinigen ist bei Wasserrohrkesseln leichter als bei Feuerrohrkesseln. Das Aufbänken der Feuer verlohnt sich wegen des schnellen Anheizens bei engrohrigen Wasserrohrkesseln überhaupt nicht, bei weitrohrigen selten. Wasserrohrkessel neigen mehr als Feuerrohrkessel zum Rauchen und zur Flammenbildung.

b) Regulirung von Dampfdruck und Wasserstand. Der Wasserinhalt des Kessels ist ein ausgleichendes Wärmereservoir für die unvermeidlichen Schwankungen der Wärmezuführung und der Dampfentnahme. Demnach liefern die Feuerrohrkessel (Großwasserraumkessel) den stabilsten Betrieb, während die engrohrigen Wasserrohrkessel wegen ihres kleinen Wasserinhaltes in Bezug auf Druck und Wasserstand am empfindlichsten sind. Die Schwankungen des Wasserstandes gleicht man bei Wasserrohrkesseln gewöhnlich durch selbstthätige Speisewasserregler aus, die Schwankungen des Dampfdruckes durch sorgfältige Regulirung der Verbrennung. Die genannte größere Empfindlichkeit der Wasserrohrkessel ist gewöhnlich störend, hat aber bei geschickter Bedienung den Vortheil einer größeren Anpassungsfähigkeit an wechselnden Dampfbedarf.

c) Widerstandsfähigkeit gegen Betriebswechsel. Dieselbe hat hauptsächlich für Kriegsschiffe Bedeutung und hängt einerseits von der Möglichkeit der freien Ausdehnung der einzelnen Kesseltheile unabhängig voneinander ab, andererseits

von der Schnelligkeit des Temperaturausgleichs im Kessel (Wasserumlauf). Ein Maßstab für diese Widerstandsfähigkeit ist die geringste, für genügende Schonung der Kessel erforderliche Zeit des Dampfaufmachens. Dieselbe beträgt bei Feuerrohrkesseln etwa 4 bis 8 Stunden, je nach der Größe des Kessels, bei weitrohrigen Wasserrohrkesseln mit geschlossenen Wasserrohren etwa $^1/_2$ bis 1 Stunde und bei engrohrigen Wasserrohrkesseln etwa $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde. Ein zu schnelles Anheizen erzeugt bei Feuerrohrkesseln Spannungen und Leckagen, jedoch läßt sich durch Wasserumlaufapparate die Zeit des Dampfaufmachens ohne Schaden um einige Stunden abkürzen.

d) Ueberkochen und nasser Dampf. Wegen der schnelleren Dampfentwickelung und kleineren Wasseroberfläche sind die Wasserrohrkessel in dieser Beziehung empfindlicher als die Feuerrohrkessel. Sie bedürfen daher umfangreicherer Vorrichtungen zur Wasserabscheidung (Prallplatten, Dampftrockner).

e) Betriebsstörungen. Für die Werthschätzung der Kessel in dieser Beziehung kommt in Betracht die Häufigkeit von Betriebsstörungen, ihre Wirkung auf die Umgebung und auf das Personal, die Schnelligkeit und Leichtigkeit ihrer Beseitigung und die Möglichkeit ihrer Beseitigung mit Bordmitteln. Allgemein kann man sagen, daß bei Wasserrohrkesseln durchschnittlich Betriebsstörungen zwar häufiger (wegen der komplizirteren Konstruktion), aber von geringerer Wirkung und leichter zu beseitigen sind.

Die am häufigsten vorkommenden leichteren Betriebsstörungen sind Leckagen an Nieten, Nähten, Verankerungen und Rohrdichtungen, Rißbildungen, Durchbrennen und Durchrosten von Feuer- oder Wasserrohren und dergleichen.

Die Beseitigung von Leckagen besteht in Nachstemmen, Nachdrillen, Nachziehen von Muttern u. s. w. Ein zerstörtes Feuerrohr wird unter Umständen während des Betriebes durch einen Rohrdichtungsapparat ausgeschaltet. Ein zerstörtes Wasserrohr wird bei weitrohrigen Wasserrohrkesseln durch ein neues ersetzt, was nur bei abgestelltem und entleertem Kessel möglich ist. Bei engrohrigen Wasserrohrkesseln wird das zerstörte Rohr ausgeschaltet durch Zupfropfen der Löcher in den Rohrwänden mittelst eiserner Pfropfen, selbstverständlich ebenfalls bei abgestelltem und entleertem Kessel.

Größere Betriebsstörungen bestehen bei Feuerrohrkesseln in Rißbildungen und Durchbeulungen in Feuerbuchsen und Verbrennungskammern, Brechen von Ankern und Stehbolzen u. s. w., bei Wasserrohrkesseln im Durchbrennen oder Herausreißen einer größeren Zahl von Wasserrohren, Losspringen von Verschlüssen in Wasserkammern u. s. w.

Die Beseitigung der genannten Betriebsstörungen erfordert bei Feuerrohrkesseln fast immer die Mitwirkung einer Kesselschmiede und häufig ein Herausnehmen der Kessel aus dem Schiff. Bei Wasserrohrkesseln lassen sich auch grobe Betriebsstörungen im Schiff und häufig mit Bordmitteln repariren. Kesselexplosionen sind bei Wasserrohrkesseln wegen des geringeren Wasserinhalts und des meist geringeren Querschnitts für den ausströmenden Dampf weniger

gefährlich für das Personal und weniger zerstörend für die Umgebung als bei Feuerrohrkesseln.

f) Untersuchung und Reinigung. Durch die Untersuchung (gesetzlich geregelt) soll die Abnutzung und somit die Betriebssicherheit des Kessels festgestellt werden. Sie ist am gründlichsten durchführbar bei den überall zugänglichen weitrohrigen Wasserrohrkesseln, weniger gründlich bei den Feuerrohrkesseln, namentlich bei den Lokomotivkesseln, weil hier manche Stellen schwer zugänglich sind, unmöglich in dem Rohrsystem der engrohrigen Wasserrohrkessel.

Bei der Reinigung kommt in Frage die Möglichkeit, Häufigkeit, Dauer und Personalbeanspruchung. Es ist zu unterscheiden die äußere (Entfernung von Ruß und Flugasche) und die innere Reinigung (Entfernung der Niederschläge aus dem Kesselwasser). Es ist ferner zu unterscheiden die Reinigung während des Betriebes und diejenige außer Betrieb.

Während des Betriebes besteht die äußere Reinigung bei Feuerrohrkesseln in dem Fegen der Feuerrohre, bei Wasserrohrkesseln wegen der schlechteren Zugänglichkeit des Rohrsystems in der Entfernung von Ruß und Flugasche durch starkes Ventiliren (Dampfstrahl weniger vortheilhaft), die innere Reinigung bei allen Kesseln in dem Zusetzen von Soda zur Neutralisirung der im Kesselwasser enthaltenen oder durch Schmieröl in den Kessel gelangenden Säuren und in dem Aus- und Abblasen der Kessel.

Außer Betrieb ist auch bei Wasserrohrkesseln eine genügende äußere Reinigung mechanisch durch Bürsten u. dergl. möglich. Die innere Reinigung außer Betrieb gestaltet sich bei den verschiedenen Kesseln sehr verschieden. Sie ist am gründlichsten durchführbar bei den weitrohrigen Wasserrohrkesseln, weniger bei den Feuerrohrkesseln, da die Außenseiten der Rohre und einzelne Ecken in den Kesseln schwer zugänglich sind, und schwierig auch bei den engrohrigen Wasserrohrkesseln mit krummen Rohren, wo man gezwungen ist, Bürsten mit biegsamen Stielen (Stahldrahttau) zu verwenden. Die Häufigkeit der inneren Reinigung hängt wesentlich von der Reinheit des Speisewassers ab und ist bei den verschiedenen Kesseln nicht erheblich verschieden. Die Zeitdauer und Personalbeanspruchung ist aber am größten bei den weitrohrigen Wasserrohrkesseln wegen des Losnehmens der vielen Verschraubungen.

g) Reparaturen. Die durch Betriebsstörungen und Havarien verursachten Reparaturen sind unter e) besprochen. Die durch gleichmäßige Abnutzung bedingten laufenden Reparaturen bestehen bei den Feuerrohrkesseln in der Beseitigung von Leckagen, Erneuerung abgenutzter Verankerungen, Auswechseln der Rohre (etwa alle 3 bis 6 Jahre) und Auswechseln der Feuerbuchsen (etwa alle 10 Jahre), bei Wasserrohrkesseln in der Erneuerung des Rohrsystems, der Rohrverschlüsse u. s. w. Die laufenden Reparaturen sind bei Wasserrohrkesseln durchschnittlich zwar leichter ausführbar als bei Feuerrohrkesseln, dafür aber häufiger und erfahrungsmäßig deshalb im Ganzen theurer.

4. Verwendung der verschiedenen Kesselarten.

Bei dem jetzigen Stande der Technik muß man Folgendes sagen: Für Handelsschiffe, bei welchen es in erster Linie auf Kohlenersparniß und Einfachheit des Betriebes, weniger auf Gewichtsersparniß an der Kesselanlage ankommt, wird vorläufig der Cylinderkessel der beste bleiben. Für Torpedoboote, bei welchen Haupterforderniß große Geschwindigkeit ist, kann nur der leistungsfähigste Kessel, d. h. der engrohrige Wasserrohrkessel, in Betracht kommen. Für Kriegsschiffe (Linienschiffe und Kreuzer) ist die Bekesselungsfrage noch nicht endgültig entschieden. In unserer Marine verwendet man bis jetzt für Linienschiffe und zum Theil auch für große Kreuzer das gemischte System, die Cylinderkessel für ökonomische Marschfahrten, die engrohrigen Wasserrohrkessel für schnelle und starke Dampferzeugung. Für kleine Kreuzer, für welche wegen der Kleinheit der Kesselanlage das gemischte System zu komplizirt ist, verwendet man in unserer Marine entweder weitrohrige oder engrohrige Wasserrohrkessel. Lokomotivkessel werden auf neuen Kriegsschiffen nicht mehr gebaut.

Siebenter Abschnitt.

Kesselkörper mit Verankerung, Feuerungsanlage und Armatur.

A. Kesselkörper mit Verankerung.

1. Kesselbleche und ihre Verbindung.

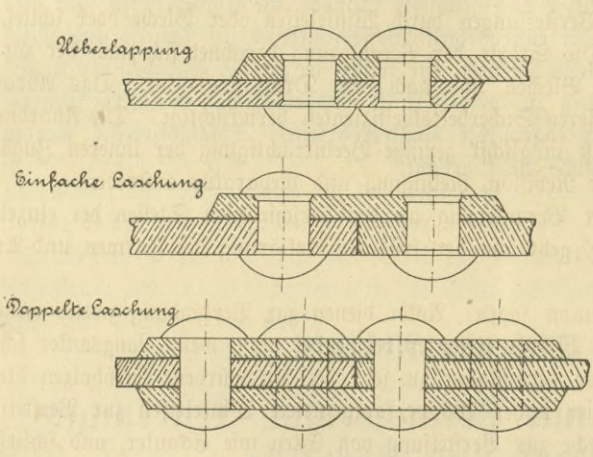
Bei allen Kesselwandungen sind die Blechverbindungen die schwächsten Stellen, sowohl in Bezug auf Festigkeit als auch auf Dichtigkeit. Deswegen beschränkt man die Zahl und Ausdehnung der Blechverbindungen auf das geringste mögliche Maß, indem man überall möglichst große Bleche verwendet und sogar stellenweise (bei den Wasserkammern der Dürr-Kessel) die Bleche zusammenschweißt. Auf den größeren Eisenwalzwerken kann man jetzt starke Bleche von 15 m Länge und darüber herstellen, so daß auf den Umfang der größten Cylinderkessel nur eine Längsnaht kommt, dagegen überschreitet die herstellbare Breite der schweren Walzbleche im Allgemeinen nicht 3 m. Man muß also den Mantel großer Cylinderkessel in der Längsrichtung aus 2 bis 3 Enden (Schüssen) zusammenbauen. Ebenso muß man bei größeren Cylinderkesseln die beiden Endflächen aus zwei Blechen zusammensetzen.

Die Stärke der verschiedenen Bleche eines Kessels hängt ab von der Kesselgröße und vom Arbeitsdruck. Eine Berechnung der Blechstärke macht man aber

nur bei runden, unverankerten Blechen, deren Zugbeanspruchung durch inneren Druck man genau kennt. Die Stärke flacher, verankerter Bleche bestimmt man nach praktischen Erfahrungen und empirischen Formeln.

Die Verbindung der Bleche untereinander erfolgt durch Ueberlappungs- oder durch Laschennietung. Bei ersterer legt man die Enden der Bleche übereinander, bei letzterer läßt man sie stumpf gegeneinander stoßen und vernietet sie mit einem übergelegten Blechstreifen, dem Lasch. Bei der Doppellaschennietung wird an beiden Seiten ein Blechstreifen über die Berührungsstelle gelegt.

Fig. 30.



Vernietungen.

Welche von diesen drei Blechverbindungen man anwendet, wie und in wie viel Reihen man die Niete anordnet, hängt von der Beanspruchung der Nietnaht ab, wobei zu unterscheiden ist, ob dieselbe vorzugsweise auf Festigkeit, oder vorzugsweise auf Dichtigkeit beansprucht wird. Eine Festigkeitsnietung ist im Allgemeinen dann richtig konstruirt, wenn die Abscheerfestigkeit der Niete etwa ebenso groß ist wie die Zugfestigkeit des durch die Nietlöcher geschwächten Bleches. Selbstverständlich kann eine Nietnaht niemals die Festigkeit des vollen Bleches erreichen, wenn die Blechstärke überall gleich ist. Eine Dichtigkeitsnietung ist um so besser, je näher die Niete aneinander liegen.

Die Längsnähte cylindrischer Kessel baut man allgemein als Doppellaschennietung, die Quernähte oder Stöße der Kesselmäntel (Dichtigkeitsnietung) und alle sonstigen Blechverbindungen als Ueberlappungsnietung. Stoßen zwei Bleche unter einem Winkel zusammen, dann stellt man die Ueberlappung durch Umbörteln eines der Bleche her.

Bei den jetzigen Hochdruckkesseln und starken Forcirungen stellt man die Nietverbindungen viel sorgfältiger und besser her als früher. Die Blechkanten werden behobelt, die sich berührenden Flächen sauber geglättet und bei runden Blechen (Feuerbuchsen) sogar auf einer Drehbank abgedreht. Ferner wird, soweit irgend ausführbar, die Nietung hydraulisch hergestellt, wodurch die beiden Bleche stärker zusammengepreßt werden. Stellenweise (z. B. Boden am Cylinderkessel) wird auch die Blechverbindung anders geformt wie früher, nur um hydraulische Nietung zu ermöglichen. Die Nietlöcher werden bei vorläufig zusammengehefteten Blechen sauber gebohrt, nicht gestanzt und häufig an den

Enden erweitert, um die Festigkeit der Nietköpfe zu vermehren. Nach dem Nieten werden alle Nähte und Nietköpfe verstemmt.

2. Verankerung.

Dieselbe ist nur dann entbehrlich, wenn vollkommen cylindrische Wandungen (Kesselmantel) auf inneren, oder wenn cylindrische Wandungen von nicht zu großem Durchmesser (Feuerbuchse) auf äußeren Druck beansprucht werden. Alle übrigen Wandungen, namentlich die flachen, bedürfen einer Verankerung gegen den Dampfdruck.

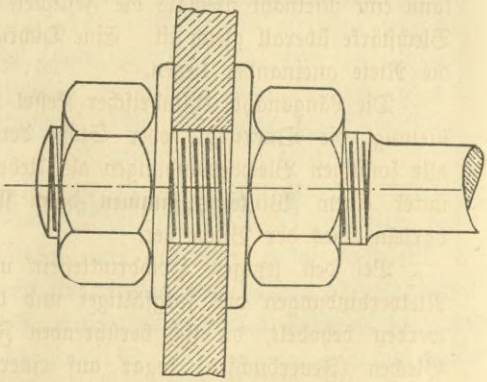
Die Verankerung besteht in Ankern (massiven oder Rohrankern) oder in Stehbolzen oder in Versteifungen durch Winkeleisen oder Bleche oder schließlich in Brückenträgern. Die Stärke der Verankerung berechnet sich nach der Größe des zu verankernden Bleches und nach dem Druck pro qcm. Das Abrosten wird durch einen größeren Sicherheitskoeffizienten berücksichtigt. Die Anordnung der Verankerung muß möglichst geringe Beeinträchtigung der inneren Zugänglichkeit des Kessels für Revision, Reinigung und Reparatur anstreben.

Welche Arten der Verankerung an den verschiedenen Stellen der einzelnen Kessel zweckmäßig sind, geht aus der früheren Erklärung der Formen und Arten der Kessel hervor.

Allgemein kann man sagen: Anker dienen zur Verbindung zweier entfernt voneinander liegenden Wände, Eckanker verwendet man, wenn Längsanker schwer anzubringen sind oder den Raum zu sehr beengen würden, Stehbolzen dienen zur Verbindung zweier naher Wände, aufgenietete Winkeleisen zur Versteifung größerer Flächen, Bleche zur Versteifung von Ecken wie Eckanker, und schließlich Brückenträger zur Versteifung der flachen Decken der Verbrennungskammern.

Die Anker gehen gewöhnlich durch beide zu verankernden Wände hindurch und haben innen und außen Muttern mit Unterlegscheiben. Bei den neueren Hdr.-Kesseln sind sie gewöhnlich außerdem mit Gewinde durch die Kesselwand geschraubt. Stellenweise sind die Anker an einem Ende mit der Kesselwand durch aufgenietete Winkeleisen charnierartig verbunden. Eckanker sind natürlich stets an einem Ende in dieser Weise mit der Kesselwand verbunden. Stehbolzen sind stets durch beide Wände mit Gewinde geschraubt. Die vorstehenden Enden werden entweder mit Mutter und Unterlegscheibe versehen oder zu einem Nietkopf umgenietet. Letzteres ist da besser, wo die Stichflamme hintrifft, weil

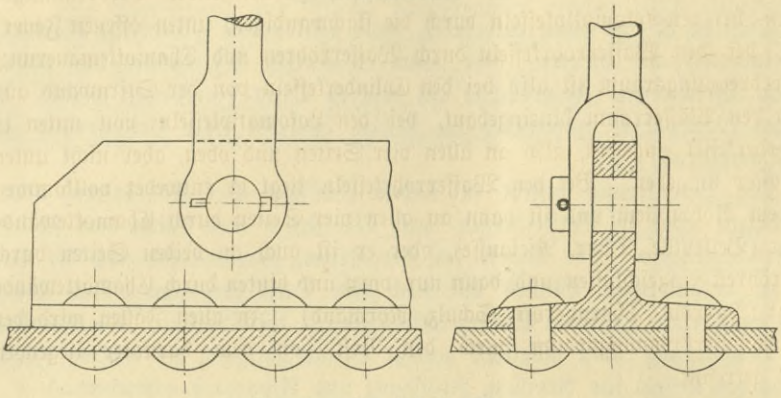
Fig. 31.



Ankerbefestigung mit innerer und äußerer Mutter.

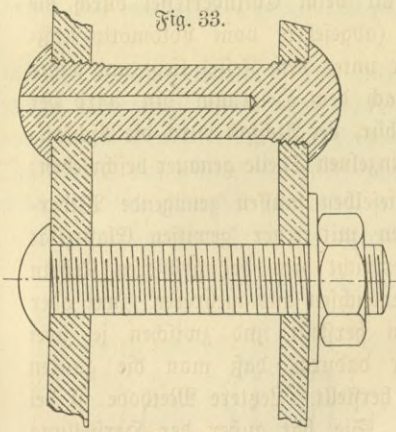
erfahrungsmäßig Nietköpfe weniger schnell abbrennen als Muttern. Häufig sind die Stehbolzen von außen bis heran zur Innenwand hohl gebohrt, um einen

Fig. 32.



Charnierartige Ankerbefestigung.

Fig. 33.



Stehbolzen.

etwa eintretenden Stehbolzenbruch an dem austretenden Wasserstrahl sofort zu erkennen. Rohranker, zwischen die Feuerrohre einzelner Feuerrohrkessel vertheilt, unterscheiden sich von den übrigen Feuerrohren durch kleineren inneren Durchmesser, also größeren Querschnitt. Brückenträger ruhen mit den Enden auf den widerstandsfähigen vertikalen Wänden der Verbrennungskammer, bestehen im Wesentlichen aus zwei bügelförmigen Blechen und sind durch zwei kurze Anker mit der nach obenhin zu stützenden Decke der Verbrennungskammer verbunden.

B. Feuerungsanlagen der Schiffskessel.

Dieselben sollen einerseits eine möglichst vollständige Verbrennung des Brennmaterials ermöglichen, andererseits die entwickelten Heizgase möglichst ausnutzen und schließlich in die freie Luft leiten. Dementsprechend besteht jede Feuerungsanlage aus

1. dem Verbrennungsraum mit Aschfall,
2. den Feuerzügen mit Rauchkammer und Schornstein.

Als besondere Einrichtungen gehören außerdem zu diesem Theil

3. künstliche Zuführung der Verbrennungsluft,
4. Oelfeuerung.

1. Verbrennungsraum mit Aschfall.

a) Allgemeines. Derselbe wird gebildet bei den Cylinderkesseln durch die runden Feuerbuchsen und die an dieselben sich anschließenden Verbrennungskammern, bei den Lokomotivkesseln durch die flachwandigen, unten offenen Feuerbuchsen, bei den Wasserrohrkesseln durch Wasserröhren und Chamottemauerung. Der Verbrennungsraum ist also bei den Cylinderkesseln von der Stirnwand aus ganz in den Wasserraum hineingebaut, bei den Lokomotivkesseln von unten in den Vorderkessel eingesetzt, also an allen vier Seiten und oben, aber nicht unten von Wasser umgeben. Bei den Wasserrohrkesseln liegt er entweder vollkommen unter dem Rohrsystem und ist dann an allen vier Seiten durch Chamottewände begrenzt (Belleville, Dürr, Niclausse), oder er ist auch an beiden Seiten durch Wasserröhren eingeschlossen und dann nur vorn und hinten durch Chamottewände begrenzt (Yarrow, Thornycroft, Schulz, Normand). In allen Fällen wird der eigentliche Verbrennungsraum durch den Rost von dem darunter liegenden Aschfall getrennt.

Aus dem Vorstehenden und aus den früheren Angaben über die Bauart der verschiedenen Kessel folgt, daß der Aschfall beim Cylinderkessel durch die Feuerbuchse gebildet wird, beim Lokomotiv- (abgesehen vom Lokomotiv-Naßbodenkessel) und bei den Wasserrohrkesseln aber unter dem Kessel liegt und daher besonders unten angebaut werden muß. Nach dem Heizraum hin wird der eigentliche Verbrennungsraum durch die Feuerthür, der Aschfall durch die Aschfallklappe abgeschlossen. Im Folgenden sind die einzelnen Theile genauer beschrieben:

b) Feuerbuchsen der Cylinderkessel. Dieselben müssen genügende Widerstandsfähigkeit gegen äußeren Druck verbinden mit einer gewissen Elastizität gegen Ausdehnung durch die Wärme. Man erreicht dies bei größeren Kesseln entweder dadurch, daß man die glatten Feuerbuchsen aus mehreren (zwei oder drei) Rohrenden mit umgebogenen Flanschen herstellt und zwischen je zwei Flanschen einen Versteifungsring nietet, oder dadurch, daß man die ganzen Feuerbuchsen aus Wellblech oder Rippenblech herstellt. Letztere Methode ist bei modernen Cylinderkesseln die gebräuchlichere. Sie hat außer der Herstellung aus einem Stück den Vorzug, daß sie etwas größere direkte Heizfläche liefert. In allen Fällen schweißt man die Feuerbuchsen in der Längsrichtung, vermeidet also jede Längsnietung. Im Allgemeinen macht man den Durchmesser der Feuerbuchsen nicht größer als 1,25 m.

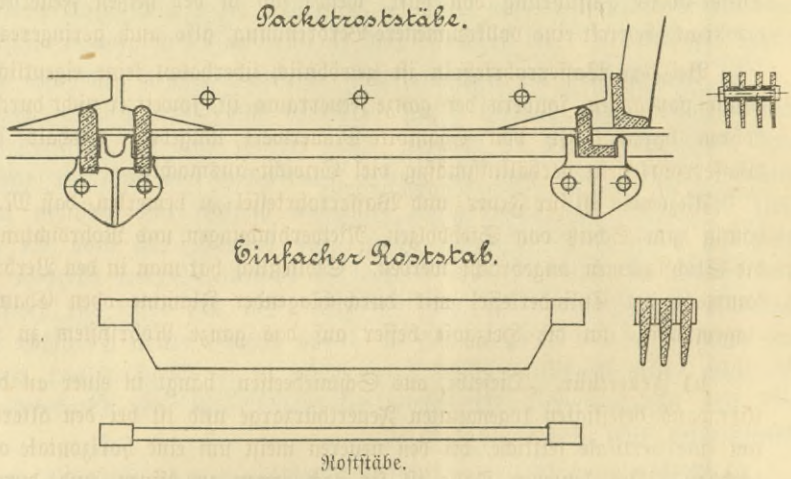
c) Verbrennungskammern (hintere Rauchkammern). Dieselben sind nur bei Cylinderkesseln vorhanden, weil die obere Hälfte der runden Feuerbuchsen für eine vollständige Verbrennung nicht groß genug ist. Sie gehören also als Ergänzung der Feuerbuchsen zum Verbrennungsraum. Die hintere Verbrennungskammerwand stellt man meist etwas schräg, weil dann erfahrungsmäßig die Dampfblasen an der andern Seite sich leichter ablösen, die Heizfläche also wirksamer wird. Die Vernietung der Verbrennungskammern, ihre Zahl, Form und Verankerung ist unter Bauart der Feuerrohrkessel erklärt.

d) Feuerbuchsen der Lokomotivkessel. Dieselben bestehen durchweg aus flachen, zusammengenieteten Blechen, bedürfen daher einer dichten Verankerung mit dem Vorderkessel, sind dafür aber in ihrer Größe durch keine Festigkeitsrücksichten beschränkt. Man muß diese Feuerbuchsen so groß machen, daß sie zur vollkommenen Verbrennung ausreichen, weil eine besondere Verbrennungskammer hier fehlt. Vernietung der Feuerbuchsen, Zahl, Form und Verankerung ist ebenfalls unter Bauart der Feuerrohrkessel erklärt.

e) Verbrennungsräume der Wasserrohrkessel sind meistens unvortheilhafter als die der Feuerrohrkessel, weil sie in der Nähe des Rostes nicht überall durch dichte Wände begrenzt sind, sondern schon hier zum Theil in die Feuerzüge übergehen. Infolgedessen entweichen leichter als bei Feuerrohrkesseln unverbrannte Heizgase in die Feuerzüge, d. h. zwischen die Wasserröhren, namentlich bei hohen Feuern und großer Forcirung. Auf dieser Thatsache beruht die durchschnittlich schlechtere Kohlenausnutzung bei den Wasserrohrkesseln.

f) Rost. Derselbe dient zur Aufnahme des Feuerungsmaterials und ist zur leichteren Bearbeitung des Feuers gewöhnlich nach hinten etwas geneigt. Er besteht entweder aus einzelnen schmiedeeisernen Roststäben von trapezförmigem Querschnitt mit angestauchten Köpfen oder aus sogenannten Packetrosten, d. h. aus Bündeln von je 4 bis 5 zusammengenieteten Roststäben von

Fig. 34.



Roststäbe.

etwa 10 mm Dicke und mit etwa 10 mm Zwischenraum. Die durch die angestauchten Köpfe der einzelnen Roststäbe oder durch die Art der Zusammennietung der Packetroste entstehenden Zwischenräume dienen einerseits zur Zuführung von Luft aus dem Aschfall, andererseits zum Durchlassen der Asche nach dem Aschfall und bilden zusammen die „freie Rostfläche" im Gegensatz zu der „totalen". Das Verhältniß der freien Rostfläche zur totalen muß der Qualität der Kohlen angepaßt sein und schwankt in den Grenzen $^1/_{2,5}$ bis $^1/_4$.

Je nach der Länge der Feuerbuchse und des Kessels besteht der ganze Rost aus 1 bis 3 Roftlagen. Die einzelnen Roftstäbe ruhen mit ihren Enden auf Roftbalken oder Roftstabträgern oder auch vorn auf der Schürplatte oder Rostenvorlage und hinten auf dem Fuß der Feuerbrücke. In allen Fällen müssen die Roftstäbe in kaltem Zustand mit einem gewissen Spielraum eingelegt werden, damit sie sich bei der Erwärmung in der Länge und Breite frei ausdehnen können.

g) **Feuerbrücke.** Die Feuerbrücke der Feuerrohrkessel bildet die hintere Begrenzung des Roftes, hindert also das Zuweitwerfen der Kohlen und schützt die hintere Wand der Verbrennungskammer (Cylinderkessel) oder der Feuerbuchse (Lokomotivkessel) gegen die Stichflamme. Auch erschwert sie den Heizgasen den Durchgang nach den Feuerzügen und bewirkt dadurch eine bessere Vermischung derselben mit Luft und somit eine vollständigere Verbrennung. Sie besteht aus einer gußeisernen oder schmiedeeisernen Unterlage und aus einem Aufbau von feuerfesten Steinen. Letzterer ist entweder aufgemauert oder aus 2 bis 3 mit Feder und Nuthe ineinandergreifenden Formsteinen zusammengesetzt (Lokomotivkessel).

Eine bei Cylinderkesseln vielfach mit Erfolg getroffene Einrichtung besteht darin, daß die Feuerbrücke hohl gemauert ist und daß durch diese Höhlung Verbrennungsluft vom Aschfall direkt in die Verbrennungskammer geleitet wird. Diese zweite Zuführung von Luft, welche sich in der heißen Feuerbrücke stark erwärmt, bewirkt eine vollkommenere Verbrennung, also auch geringeres Rauchen.

Bei den Wasserrohrkesseln ist gewöhnlich überhaupt keine eigentliche Feuerbrücke vorhanden, sondern der ganze Feuerraum ist, soweit er nicht durch Wasserröhren begrenzt ist, von Chamotte-Mauerwerk umgeben, weshalb dieses bei Wasserrohrkesseln verhältnißmäßig viel Gewicht ausmacht.

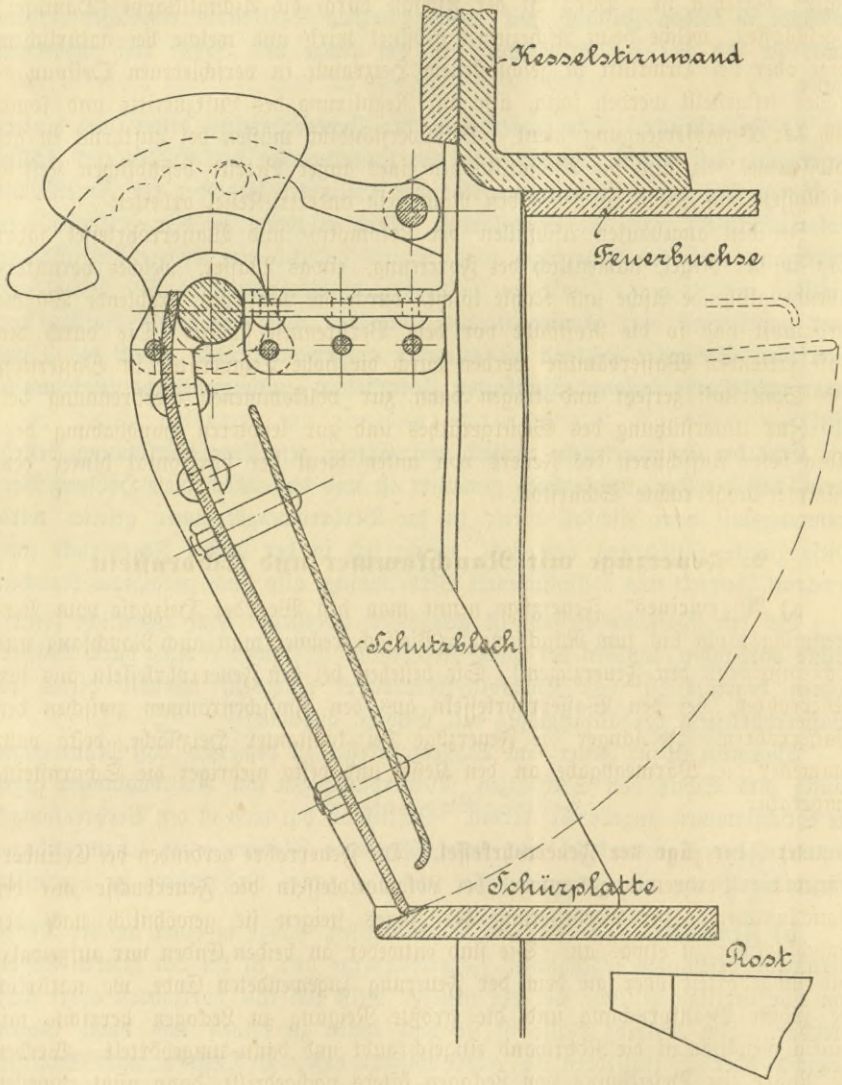
Allgemein ist für Feuer- und Wasserrohrkessel zu bemerken, daß Mauerungen häufig zum Schutz von Stehbolzen, Nietverbindungen und Rohrdichtungen gegen die Stichflammen angebracht werden. Schließlich hat man in den Verbrennungskammern der Cylinderkessel mit durchschlagender Flamme oben Chamottebogen eingemauert, um die Heizgase besser auf das ganze Rohrsystem zu vertheilen.

h) **Feuerthür.** Dieselbe, aus Schmiedeeisen, hängt in einer an der Kesselstirnwand befestigten sogenannten Feuerthürzarge und ist bei den älteren Kesseln um eine vertikale seitliche, bei den neueren meist um eine horizontale obere Achse drehbar. Im letzteren Falle ist sie nach innen zu öffnen und durch Gegengewichte oder Spiralfedern so ausbalancirt, daß das Oeffnen und Schließen schnell und leicht geht.

In allen Fällen giebt man den Feuerthüren einfache oder doppelte innere Schutzbleche. Bei natürlichem Zuge oder bei Luftdruck in geschlossenen Heizräumen versieht man die äußere Thür mit größeren, die Schutzbleche mit kleineren Luftlöchern und erreicht dadurch einerseits eine Kühlung der Schutzbleche, andererseits eine Zuführung von Verbrennungsluft oberhalb des Rostes.

Bei Unterwindgebläse ist dies natürlich nicht zulässig. Bei Lokomotivkesseln setzt man zum Schutz der Feuerlöcher noch besondere sogenannte Brandringe aus Schmiedeeisen ein.

Fig. 35.



Feuerthür, nach innen sich öffnend.

i) Aschfall. Derselbe wird bei Cylinderkesseln durch die untere Hälfte der Feuerbuchse gebildet, bei den Lokomotivkesseln mit offenen Feuerkisten und bei den Wasserrohrkesseln durch einen unten angeschraubten oder angenieteten Kasten aus Eisenblech.

Bei Cylinderkesseln wird der Aschfall hinten entweder durch die hintere Verbrennungskammerwand begrenzt oder durch ein von Unterkante Feuerbrücke bis zum Boden des Aschfalls reichendes Blech, welches im Falle der sekundären Luftzuführung durch die hohle Feuerbrücke als Klappe verstellbar oder mit Luftlöchern versehen ist. Vorn ist der Aschfall durch die Aschfallklappe (Dämpfer) abgeschlossen, welche beim Ascheziehen geöffnet wird und welche bei natürlichem Zuge oder bei Druckluft in geschlossenem Heizraum in verschiedenen Oeffnungsgraden festgestellt werden kann, also zur Regulirung des Luftzutritts und somit auch der Dampferzeugung dient. Selbstverständlich müssen bei Luftdruck in geschlossenem Heizraum die Aschfallklappen eines außer Betrieb befindlichen Kessels geschlossen sein, wenn in demselben Raum ein anderer Kessel arbeitet.

In den angebauten Aschfällen der Lokomotiv- und Wasserrohrkessel fährt man in der Regel, namentlich bei Forcirung, etwas Wasser, welches herunterfallende glühende Asche und Kohle löscht, durch die von oben strahlende Wärme verdampft und so die Roststäbe vor dem Verbrennen schützt. Die durch den Rost tretenden Wasserdämpfe werden durch die hohe Temperatur in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt und tragen dann zur vollkommenen Verbrennung bei.

Zur Unterstützung des Schürgeräthes und zur leichteren Handhabung desselben beim Aufschüren des Feuers von unten dient der horizontal hinter dem Dämpfer angebrachte Schürstock.

2. Feuerzüge mit Rauchkammer und Schornstein.

a) Allgemeines. Feuerzüge nennt man den Weg der Heizgase vom Verbrennungsraum bis zum Rauchfang. (Vielfach rechnet man auch Rauchfang und Schornstein zu den Feuerzügen.) Sie bestehen bei den Feuerrohrkesseln aus den Feuerrohren, bei den Wasserrohrkesseln aus den Zwischenräumen zwischen den Wasserrohren. Je länger die Feuerzüge bei konstanter Heizfläche, desto vollkommener die Wärmeabgabe an den Kessel und desto niedriger die Schornsteintemperatur.

b) Feuerzüge der Feuerrohrkessel. Die Feuerrohre verbinden bei Cylinderkesseln die Verbrennungskammer, bei Lokomotivkesseln die Feuerbuchse mit der Rauchkammer. Zur Verbesserung des Zuges steigen sie gewöhnlich nach der Rauchkammer zu etwas an. Sie sind entweder an beiden Enden nur aufgewalzt und umgebörtelt oder an dem der Feuerung zugewendeten Ende, wo natürlich die größte Beanspruchung und die größte Neigung zu Leckagen herrscht, mit feinem Gewinde in die Rohrwand eingeschraubt und dann umgebörtelt. Werden die Rohre zur Beseitigung von Leckagen öfters nachgedrillt, dann nützt zuweilen das Nachdrillen nichts mehr. Wenn dann die Rohre im Ganzen noch nicht verbraucht sind, hilft man sich durch eingetriebene eiserne oder stählerne Rohrdichtungsringe. Die Feuerrohre an sich bilden eine sehr starke Verankerung zwischen beiden Rohrwänden, trotzdem vertheilt man häufig besondere Ankerrohre zwischen die übrigen Rohre.

Das Verhältniß $\frac{\text{Aeußerer Rohr } \varnothing}{\text{Rohrlänge}}$ muß um so kleiner sein, je schneller die Heizgase durchstreichen, d. h. je stärker der Kessel forcirt werden soll. Es schwankt etwa in den Grenzen $^1/_{30}$ bis $^1/_{100}$. Zur Verzögerung der Heizgase in den Feuerrohren legt man in letztere häufig spiralförmig gewundene Flacheisenschienen (Retarder) ein, welche den Heizgasen eine kreisende Bewegung ertheilen.

Die Feuerrohre sind bei Cylinderkesseln quadratisch, d. h. in vertikalen und horizontalen Reihen, bei Lokomotivkesseln der besseren Raumausnutzung halber meist zickzackförmig unter 60° angeordnet. Das Aufsteigen der Dampfblasen wird durch letztere Anordnung erschwert, die Wassercirkulation also verschlechtert.

c) Feuerzüge der Wasserrohrkessel. Dieselben ergeben sich durch die Anordnung der Wasserrohre und haben von vornherein einen größeren Gesammtquerschnitt als bei den Feuerrohrkesseln, weshalb man bei den Wasserrohrkesseln ein zu schnelles Entweichen der Heizgase nach dem Schornstein durch besondere Mittel verhindern muß. Diese Mittel bestehen, wie bei den einzelnen Arten der Wasserrohrkessel angegeben, theils in zickzackförmiger Rohranordnung, theils in dem Zusammenbiegen einzelner Röhren zu geschlossenen Wänden, theils in eingelegten Cirkulationsplatten, welche entweder aus Eisenblech oder aus Chamottesteinen bestehen.

d) Rauchkammer mit Rauchfang oder Schornsteinhals. Dieselbe bildet bei allen Feuer- und Wasserrohrkesseln den Uebergang von den Feuerzügen zum Schornstein und ist doppelwandig, um die Wärmeausstrahlung möglichst einzuschränken. Bei den Feuerrohrkesseln ist sie an eine Endfläche des Kessels angesetzt und zum Reinigen der Feuerrohre mit Rauchkammerthüren, meist aus drei Blechen bestehend, versehen. Bei den Wasserrohrkesseln schließen sich die Rauchkammerwände an die äußere Blechbekleidung des Kessels an. Der Rauchfang oder Schornsteinhals bildet einen allmählichen Uebergang vom Querschnitt der Rauchkammer zu dem des Schornsteins.

e) Schornstein. Derselbe ist auf größeren Schiffen gemeinschaftlich für mehrere Kessel, dann aber häufig durch Scheidewände derart getheilt, daß jeder Kessel seinen eigenen Schornstein erhält. Außer diesen Scheidewänden erhalten die Schornsteine häufig in der Mitte oder an einer Seite einen bis in den Kesselraum hinuntergeführten Luftschacht. Neuerdings wird auf unsern Kriegsschiffen die Theilung des Schornsteins weggelassen, weil sie bei ungleicher Erwärmung zu große Formveränderungen erzeugt und weil Versuche gezeigt haben, daß ein Zurückschlagen der Heizgase eines stark forcirten Kessels in einen anderen weniger forcirten nicht zu befürchten ist.

Zur Regelung des Zuges und zur Absperrung einzelner nicht in Betrieb befindlicher Kessel dienen im Schornsteinhals angebrachte, vom Heizraum aus zu bewegende Klappen oder Schieber, welche entweder so eingerichtet sind, daß man nur den ganzen Kessel, oder so, daß man auch die Feuerungen für sich vom

Schornstein absperren kann. Letzteres ist für eine genaue Regelung des Betriebes vortheilhafter. Die hierdurch bedingte Theilung der Rauchkammer geht dann nur bis zum Schornstein. Durch die Klappen oder Schieber kann man bei geöffneter Feuerthür die schädliche Wirkung der in den Kessel eindringenden kalten Luft vermindern.

Den Schornsteinquerschnitt macht man etwa gleich 1/8 Rostfläche und gestaltet ihn bei großen Schornsteinen länglich, um das Gesichtsfeld in der Längsschiffsrichtung möglichst wenig einzuengen, den Luftwiderstand zu verringern und in der Breite Platz zu sparen.

Die Schornsteinhöhe ist von Wichtigkeit für seine saugende Wirkung auf die Heizgase, denn je größer die Höhe, desto größer der Gewichtsunterschied der Heizgase im Schornstein gegenüber einer gleichen Luftsäule, desto besser also der Zug. Aus Gewichtsrücksichten macht man aber Schiffsschornsteine verhältnißmäßig niedriger als Landschornsteine, namentlich dann, wenn die Schiffskessel mit forcirtem Zuge arbeiten, weil gegenüber der Wirkung der Forcirung durch Ventilationsmaschinen die Schornsteinhöhe weniger in Betracht kommt. Die natürliche Zugwirkung des Schornsteins wird erhöht durch eine Neigung nach hinten, weil dann der während der Fahrt über die Mündung hinstreichende Luftzug saugend wirkt.

Je weniger Wärme durch die Schornsteinwände verloren geht, desto besser ist nach Vorstehendem seine natürliche Zugwirkung. Außerdem muß man bis zu einer gewissen Höhe über Deck oder über den Aufbauten die strahlende Wärme möglichst einschränken. Beides erreicht man durch den Schornsteinmantel, d. h. einen mit gewissem Luftzwischenraum den Schornstein umgebenden Blechmantel. Außerdem umgiebt man die Schornsteine da, wo sie die Decks durchdringen, mit einer zweiten Blechwand in größerer Entfernung, dem Schornsteinumbau, und erreicht dadurch eine weitere Einschränkung der Wärmestrahlung und eine Luftzuführung nach dem Heizraum. Letztere wird durch ausbalancirte Klappen abgeschlossen, wenn zur künstlichen Luftzuführung Druckluft im Heizraum hergestellt werden soll.

Zum Stützen des Schornsteins dienen die Schornsteinstage, d. h. vom Schornstein schräg nach unten geführte Ketten oder Drahtseile mit Spannvorrichtungen, welche letztere wegen der Erwärmung und Ausdehnung des Schornsteins erst dann gespannt werden dürfen, wenn die Kessel in vollem Betriebe sind.

Außer den festen Schornsteinen verwendet man bei Booten und kleinen Fahrzeugen umlegbare, um leichter unter Brücken durchzufahren. Einschiebbare oder Teleskopschornsteine werden auf modernen Schiffen nicht mehr gebaut.

3. Künstliche Zuführung der Verbrennungsluft.

a) Allgemeines. Dieselbe bezweckt eine schnellere Verbrennung der Kohlen, also einen größeren Kohlenverbrauch pro qm Rost und Stunde und somit eine massenhaftere Dampferzeugung ohne Vergrößerung des Kessels. Sie findet allgemein auf Kriegsschiffen Verwendung, weil hier die Forderung einer möglichsten

Verringerung des Kesselgewichtes am dringendsten ist und weil hier im Gegensatz zu Handelsschiffen zuweilen auf kurze Zeit möglichst hohe Leistungen nöthig werden. In mäßigen Grenzen gehalten, bewirkt die künstliche Luftzufuhr auch eine vollkommenere Verbrennung und eine größere Wirthschaftlichkeit, und in diesen Grenzen verwendet man sie stellenweise auch auf Handelsschiffen.

Die künstliche Zuführung der Verbrennungsluft wird erreicht entweder durch Saugewirkung im Schornstein (künstlicher Zug) oder durch Ueberdruck im Aschfall (Unterwindgebläse) oder durch gleichzeitige Luftzuführung über und unter dem Rost (Oberwindgebläse).

b) Künstlicher Zug. Derselbe entsteht entweder durch eine Schornstein-Durchblasevorrichtung mit Dampf oder durch ein im Schornstein angebrachtes Flügelradgebläse. In unserer Marine ist nur die erste Methode vertreten, und zwar auf einigen älteren Schiffen und auf allen Dampfbeibooten, auf letzteren gewöhnlich unter Benutzung des Abdampfes der Maschine. Für moderne Schiffe ist sie wegen der Dampfverluste unbrauchbar. Die Saugewirkung auf die Feuer entsteht dadurch, daß der im Schornstein noch oben ausströmende Dampf die umgebenden Heizgase mit sich reißt. Verstärkung der Saugewirkung durch den Körtingschen Saugeapparat. Das Flügelradgebläse im Schornstein, durch eine besondere kleine Dampfmaschine betrieben, vermeidet zwar die Dampfverluste, hat aber den Nachtheil, daß es wegen des größeren Volumens der erwärmten Luft größer sein muß als ein gleich wirksames Druckgebläse vor den Feuern, und daß es leidet durch die hohe Schornsteintemperatur.

c) Unterwindgebläse. Eine Ventilationsmaschine (Centrifugalventilator mit besonderer Betriebsdampfmaschine) saugt die Luft durch einen Saugeschacht von außenbords und drückt sie durch einen möglichst luftdicht geschlossenen Kanal aus Eisenblech in die geschlossenen Aschfälle. Um zu verhindern, daß beim Oeffnen der Feuerthür die Flammen in den unter geringerem Druck stehenden Heizraum schlagen und das Personal gefährden, sind die Feuerthüren mit einer Verblockung versehen, derart, daß sie erst geöffnet werden können, nachdem durch eine Druckschachtklappe die Luft im Druckschacht abgesperrt ist. Durch Oeffnen einer Klappe am Druckraum des Ventilators kann man eine Ventilation des Heizraumes bewirken. Man läßt deshalb häufig die Ventilationsmaschine auch dann mitlaufen, wenn nicht mit Unterwind gefahren wird.

In unserer Marine haben alle Torpedoboote mit Lokomotivkesseln Unterwindgebläse. Für Wasserrohrkessel eignet sich dasselbe nicht wegen der nicht genügend dicht nach außen abgeschlossenen Feuerungen und Feuerzüge.

d) Oberwindgebläse. Der ganze Heizraum wird möglichst luftdicht abgesperrt und durch eine von außen saugende Ventilationsmaschine unter Luftdruck gesetzt. Folglich wird durch jede vorhandene Oeffnung Verbrennungsluft in den Kessel gepreßt. Wegen des Ueberdruckes im Heizraum ist ein Herausschlagen der Flamme bei geöffneter Feuerthür ausgeschlossen.

Die Luftzuführung unter den Rost erfolgt durch die Aschfallklappe, über denselben durch Löcher in der Feuerthür und stellenweise außerdem von hinten

von der Feuerbrücke aus. Der unter Luftdruck stehende Heizraum wird häufig durch den Einbau leichter Schotte verkleinert, um den Luftdruck schneller verändern zu können. Die Zugänge zu den Heizräumen werden durch Luftschleusen mit zwei Thüren gebildet, welche niemals gleichzeitig offen sein dürfen, wenn der Luftdruck nicht verloren gehen soll. Selbstverständlich müssen bei Oberwindgebläse etwa vorhandene Reserve-Ventilationsrohre absperrbar und Aschheißrohre oben und unten verschließbar sein.

Oberwindgebläse hat gegenüber Unterwindgebläse den Vortheil der besseren Ventilation des Heizraumes und des Fortfalls der komplizirten Verblockung der Feuerthür, dagegen den Nachtheil der größeren Abkühlung der Kessel bei geöffneter Feuerthür. Vermeidung dieses Nachtheils durch Schornsteinklappen, für die einzelnen Feuerungen getrennt. Oberwindgebläse erhalten alle neueren Kriegsschiffe und Torpedoboote.

e) Messung und Grenzen des Luftdruckes. Man mißt den Luftdruck durch eine Uförmig gebogene, zum Theil mit Wasser gefüllte Glasröhre, deren einer Schenkel mit der Druckluft, deren anderer Schenkel mit der Atmosphäre in Verbindung steht. Der durch den einseitigen Luftdruck in den beiden Glasschenkeln entstehende Unterschied im Wasserstand (Wassersäule in mm) dient als Maß für den Luftdruck und wird an einer hinter der Glasröhre angebrachten Skala abgelesen.

Die zulässige Grenze des Luftdruckes richtet sich nach der Empfindlichkeit des Kessels und liegt bei Cylinderkesseln zwischen 15 und 30, bei Lokomotivkesseln zwischen 50 und 65, bei Wasserrohrkesseln zwischen 30 und etwa 100 mm. Bei der letzten Angabe gelten die unteren Werthe für die weitrohrigen, die oberen für die engrohrigen Wasserrohrkessel. 100 mm Wassersäule ist nur $^1/_{100}$ Atmosphäre Ueberdruck, denn 1 Atmosphäre = 1 kg pro qcm = 10 m Wassersäule.

f) Ergebnisse der künstlichen Zuführung von Verbrennungsluft. Während bei natürlichem Zuge etwa 80 kg Kohlen pro qm Rost und Stunde verbrannt werden, so steigt die Verbrennung bei Forcirung mit etwa 50 mm Wassersäule auf 200 bis 300 kg. Dementsprechend und unter Berücksichtigung der schlechteren Wärmeausnutzung bei hoher Forcirung verringert sich das Kesselgewicht pro IHP gegenüber dem natürlichen Zuge um etwa 50 pCt.

Die Wirthschaftlichkeit, d. h. die durch 1 kg Kohle erzeugte Menge Dampf, ist bei mäßiger künstlicher Luftzuführung häufig größer als bei natürlichem Zuge, weil infolge der innigeren Mischung mit Luft die Verbrennung eine vollkommenere ist. Durch höhere Forcirung wird indessen die Wirthschaftlichkeit stets verschlechtert, weil die Heizgase zu schnell den Kessel durchstreichen und deshalb nicht Zeit haben, ihre Wärme genügend abzugeben. Leicht erkennbar ist dies an der häufig um mehrere hundert Grad erhöhten Schornsteintemperatur, welche bei natürlichem Zuge im Mittel etwa 350° C. beträgt. Die Erfahrung zeigt, daß hohe Forcirung in Feuerrohrkesseln die

Verdampfung häufig von etwa 8 auf etwa 6,5 herunterdrückt. Bei Wasserrohrkesseln geht die Verschlechterung häufig noch weiter. In allen Fällen spielt dabei die Bedienung des Feuers eine wesentliche Rolle.

Trotz des schlechten Nutzeffektes ist bei Kriegsschiffen die höhere Forcirung vom wirthschaftlichen Standpunkt aus gerechtfertigt, weil sie nur selten vorkommt, und weil es vortheilhafter ist, für kurze Zeit verhältnißmäßig viel Kohlen zu verbrennen, als bei allen langsamen Fahrten ein beträchtlich größeres Kesselgewicht mitzuschleppen. Bis zu einem gewissen Grade trägt man beim Bau der Kessel durch ein größeres Verhältniß $\frac{\text{Heizfläche}}{\text{Rostfläche}}$ der beabsichtigten Forcirung Rechnung.

Schließlich kommt der Einfluß der künstlichen Luftzuführung auf die Dichtigkeit, Haltbarkeit und Lebensdauer der Kessel in Betracht. Bei höheren Forcirungen (Torpedobooten) und bei weniger sorgfältig zusammengebauten Kesseln ist dieser Einfluß sehr ungünstig. Bei mäßiger Luftzuführung und bei der jetzigen Vollkommenheit der Kesselfabrikation werden indessen die Kessel nicht schneller verbraucht, und sind die Reparaturen nicht wesentlich häufiger als bei natürlichem Zug.

4. Oelfeuerung.

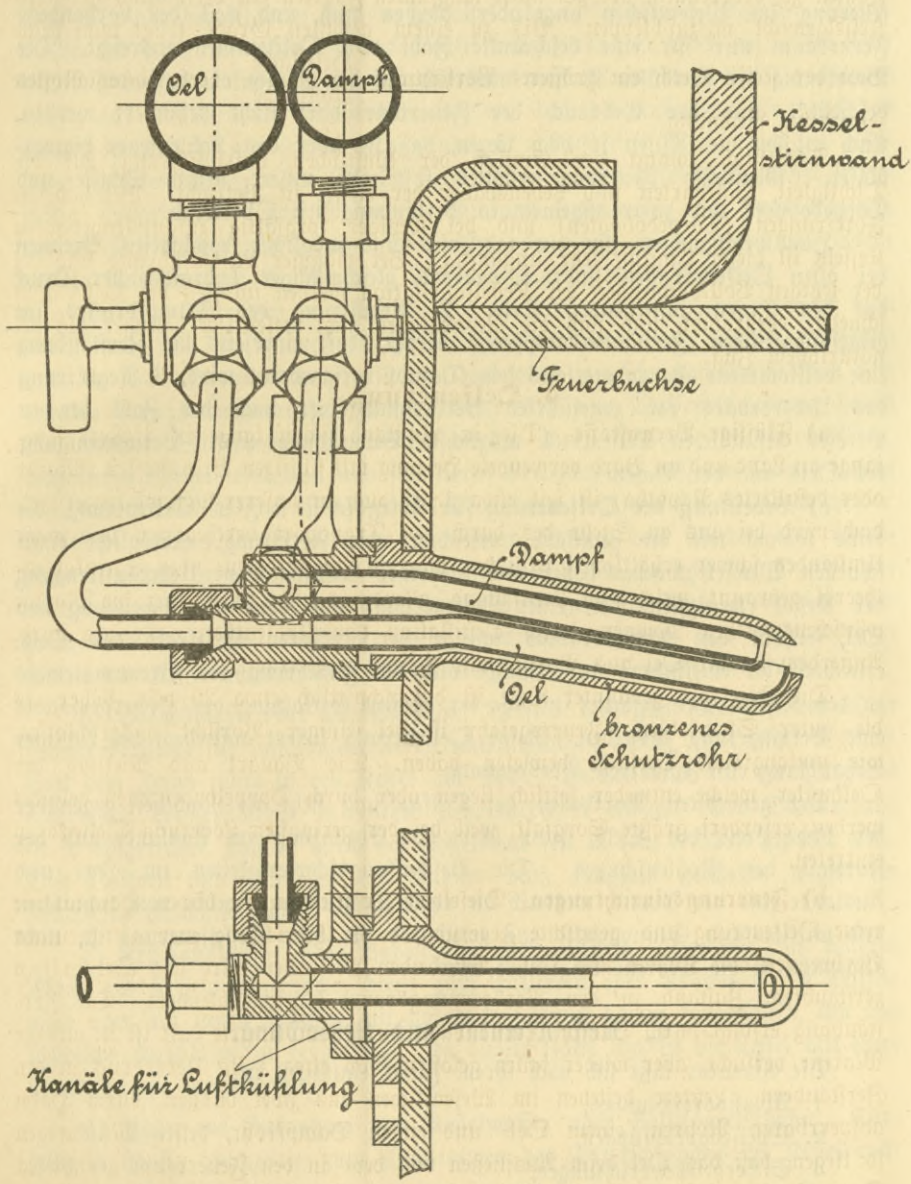
a) Flüssige Brennstoffe. Die in Rußland schon lange in großem Umfange an Land und an Bord verwendete Heizung mit flüssigen Brennstoffen (Masut oder destillirtes Naphtha) ist seit etwa 1892 auch in unserer Marine eingeführt, doch wird bei uns an Stelle des durch den Transport vertheuerten und unter Umständen schwer erhältlichen russischen Masuts Braunkohlen- oder Steinkohlentheeröl gebrannt, welches in Deutschland, allerdings nicht in den für die Marine wünschenswerthen Mengen, durch Destillation von Kohlentheer gewonnen wird. Außerdem kommt Oel aus Borneo und Texas in Betracht.

Die Heizkraft genannter Oele ist durchschnittlich etwa 25 pCt. höher als die guter Steinkohlen. Feuersgefahr ist bei einiger Vorsicht ausgeschlossen, wie umfangreiche Versuche bewiesen haben. Die Bauart und Nietung der Oelbunker, welche entweder seitlich liegen oder durch Doppelbodenzellen gebildet werden, erfordert größte Sorgfalt, weil bei der geringsten Lockerung Oelleckagen eintreten.

b) Feuerungseinrichtungen. Dieselben zerfallen in die beiden Hauptarten: reine Oelfeuerung und gemischte Feuerung, d. h. Einrichtung zum gleichzeitigen Verbrennen von Kohlen und Oel. Bei beiden Methoden wird das Oel in fein zerstäubtem Zustand in den Verbrennungsraum hineingeschleudert. Die Zerstäubung erfolgt durch Dampf (Zerstäubung durch komprimirte Luft ist in unserer Marine versucht, aber wieder fallen gelassen) von etwa 1 kg Ueberdruck in den Zerstäubern. Letztere bestehen im Wesentlichen aus zwei dünnen, durch Hahn absperrbaren Rohren, einem Oel- und einem Dampfrohr, dessen Mündungen so liegen, daß das Oel beim Ausfließen von dem in den Feuerraum gerichteten Dampfstrahl erfaßt und zerstäubt wird.

Reine Oelfeuerung erfordert einen langen Feuerraum und ist bei uns nur bei den Lokomotivkesseln auf „Siegfried“ und „S 50“ bis „S 57“ verwendet, wo die erforderliche Länge des Feuerraums durch einen aus Eisenblech und feuerfesten Steinen zusammengesetzten Vorbau am Fuße des Lokomotivkessels erzielt wird. Eine Rostanlage ist bei reiner Oelfeuerung nicht vorhanden. Die Druckschacht-

Fig. 36.



Oeldüse. Anordnung für gemischte Feuerung.

klappe des Unterwindgebläses wird gleichfalls überflüssig, da die Feuerthür beim Betriebe niemals geöffnet wird und der Grad der Luftzuführung durch den Gang der Ventilationsmaschine genügend regulirt werden kann.

Bei gemischter Feuerung dient die Oelfeuerung nur als Unterstützung des Kohlenfeuers. Ohne gleichzeitige Verbrennung von Kohlen reicht hier die Oelfeuerung nur für mäßige Fahrt aus, weil die Einrichtung für Kohlenfeuerung im Wesentlichen ungeändert bleiben muß, und weil der vorhandene Feuerraum nur für eine beschränkte Zahl von Oelflammen ausreicht. Die Anordnung der Oeldüsen ist hier natürlich auf den Raum oberhalb des Rostes beschränkt, und der Gebrauch der Feuerthür darf nicht behindert werden. Auch müssen die Düsen so hoch liegen, daß sie über das Kohlenfeuer hinwegblasen. Gemischte Feuerung erhalten fast alle unsere neuen Schiffe und Torpedoboote, und zwar allgemein in Verbindung mit Oberwind.

Hauptbedingungen für ein tadelloses und möglichst rauchfreies Brennen bei allen Oelfeuerungen sind: 1. dauernd gleichmäßiger hydrostatischer Druck des den Düsen zufließenden Oels, 2. Regulirung des Dampfdruckes im gemeinschaftlichen Zerstäuberdampfrohr derart, daß einerseits die Zerstäubung eine vollkommene ist, andererseits kein Dampf verschwendet wird, 3. Regulirung des Ueberdruckes der zugeführten Verbrennungsluft nach der Zahl der in Betrieb befindlichen Düsen, 4. möglichste Vermeidung einer Verunreinigung des Oels und der Düsen.

c) Bedeutung der Oelfeuerung für Kriegsschiffe. Jede Oelfeuerung, die reine sowohl wie die gemischte, erleichtert die Forcirung, ermöglicht einen schnellen Wechsel zwischen hoher und niedriger Leistung ohne Ueberanstrengung der Kessel (wenigstens bei reiner Oelfeuerung) und ohne Verschwendung von Oel, erhöht den Aktionsradius infolge der größeren Heizkraft des Oels, erleichtert die Auffüllung der Bunker und die Zuführung des Brennmaterials zu den Kesseln und gestattet infolge der großen Entlastung des Heizerpersonals eine Verringerung desselben. Reine Oelfeuerung liefert außerdem bei richtiger Behandlung eine rauchfreie Verbrennung.

Den genannten Vortheilen der Oelfeuerung steht als Nachtheil gegenüber der hohe Preis des Oels, seine schwierige Ergänzung im Auslande und der Fortfall des Kohlenschutzes. Die Beschaffungsschwierigkeiten im In- und Auslande sind der Grund, weshalb die reine Oelfeuerung, welche vom technischen und militärischen Standpunkte aus zweifellos die beste Kesselfeuerung ist, nicht allgemein in die Marine eingeführt wird.

C. Kesselarmatur und Bekleidung.

Die Armatur läßt sich nach ihrem Zweck eintheilen in:

1. Ablaßvorrichtungen,
2. Speisevorrichtungen,
3. Sicherheitsvorrichtungen,
4. Reinigungsvorrichtungen,
5. Vorrichtungen für Temperaturausgleich und Wasserumlauf.

1. Ablaßvorrichtungen.

a) Dampfentnahme. Dieselbe erfolgt für den Betrieb der Hauptmaschinen durch das Haupt-, für Hülfsmaschinen und Nebenzwecke durch das Hülfsabsperrventil. Die Dampfabsperrventile sind gewöhnlich bronzene Kegelventile, möglichst hoch am Dampfraum des Kessels angebracht und so gebaut, daß der Kesseldruck auf Oeffnen wirkt. Das Ventil ist drehbar mit der Ventilspindel verbunden. Das Gewinde der letzteren liegt außerhalb der im Ventildeckel liegenden Stopfbuchse und greift in einen auf das Ventil aufgeschraubten Bock ein. Bei Vereinigung mehrerer Kessel zu einem gemeinschaftlichen Dampfrohr sind die Ventile häufig auf der Spindel verschiebbar, derart, daß bei äußerem Ueberdruck das Ventil selbstthätig auf seinen Sitz zurückgeht. Auf diese Weise wird bei plötzlicher Druckentlastung eines Kessels durch Havarie der beschädigte Kessel selbstthätig ausgeschaltet. Zur Sicherheit hat man stellenweise auch Vorrichtungen, um die Kesselabsperrventile von Deck oder von einer andern entfernten Stelle aus zu schließen (auf S. M. S. „Fürst Bismarck" durch Luftdruck).

Um das Mitreißen von Kesselwasser möglichst zu verhindern, versieht man das Haupt- und häufig auch das Hülfsabsperrventil mit einem inneren, möglichst hoch im Dampfraum entlang geführten und oben mit schmalen Einschnitten versehenen Dampfentnahmerohr. Außer dieser Art von Wasserabscheidung haben die meisten Wasserrohrkessel, welche infolge ihrer kleineren Wasseroberfläche, lebhafteren Wassercirkulation und schnelleren Verdampfung nasseren Dampf liefern als Feuerrohrkessel, noch besondere im Dampfraum angebrachte Wasserabscheider. Dieselben bestehen im Wesentlichen aus einem System von Blechen oder Prallplatten, welche in verschiedener Weise ineinandergreifen, so daß der Dampf nur in Windungen zum inneren Dampfentnahmerohr gelangen kann, wobei das mitgerissene Wasser sich ausscheidet und zurückfließt. Haupt- und Hülfsabsperrventile am Kessel unterscheiden sich im Allgemeinen nur durch die Größe.

b) Salzabblase- oder Schaumhahn. Derselbe dient zum Ausblasen der an der Wasseroberfläche sich ansammelnden Verunreinigungen (Salz, Fett, Kalk u. s. w.). Von dem Hahn führt in den Kessel ein Rohr, welches etwa in der Höhe des niedrigsten Wasserstandes in einem Schaumtrichter endigt. Der Schaumhahn ist so eingerichtet, daß er durch den Kesseldruck fest in sein Gehäuse gepreßt wird. Das Oeffnen und Schließen des Hahnes muß langsam geschehen wegen der schädlichen Erschütterungen des Kessels.

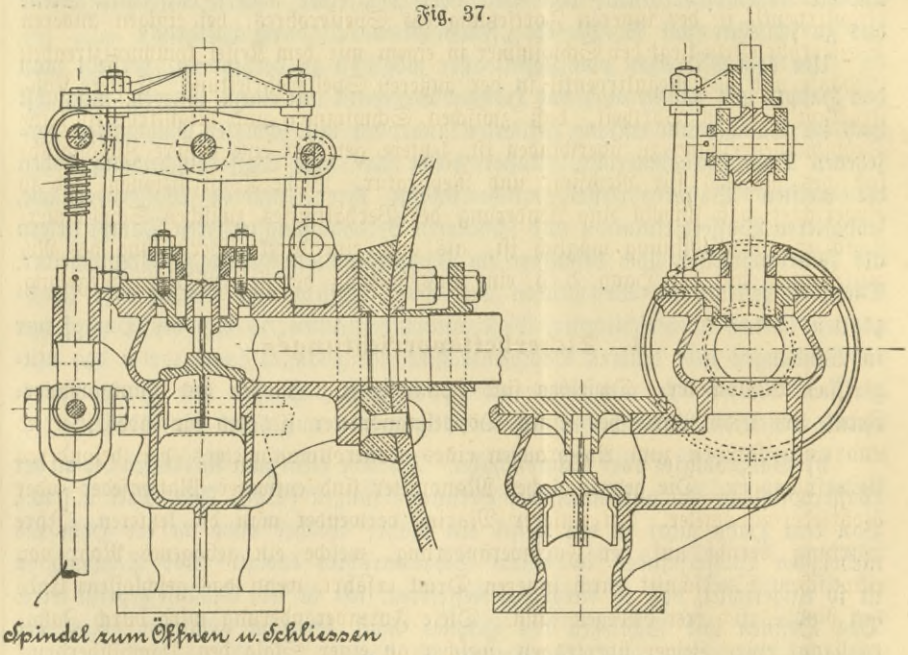
c) Kesselausblase- oder Bodenhahn oder -Ventil. Derselbe, am unteren Theile des Kessels angebracht, dient zum Entleeren oder Ausblasen des Kessels, wird aber auf neuen Schiffen mit hohem Kesseldruck häufig fortgelassen, um das schädliche Ausblasen zu verhindern. In diesem Falle werden die Kessel mit einer Dampfpumpe leergepumpt.

d) Hahn zur Entnahme von Kesselwasser oder Salinometerhahn. Derselbe ist häufig gleichzeitig zum Anschrauben des Druckschlauches bei Kesseldruckproben eingerichtet.

2. Speisevorrichtungen.

a) Speiseventile. Nach gesetzlicher Vorschrift muß jeder Kessel mindestens zwei voneinander unabhängige Speisevorrichtungen haben. Als letztere dienen bei Schiffskesseln allgemein Pumpen, nicht Injektoren. Die Schiffskessel haben für jede der beiden Pumpen ein besonderes bronzenes Speiseventil (Kegelventil). Dasselbe ist dem Kesselgesetz entsprechend so eingerichtet, daß es sich durch den Kesseldruck schließt und durch den Pumpendruck öffnet. Es ist also ein selbstthätiges Rückschlagventil, d. h. die Ventilspindel ist nicht mit dem Ventil verbunden, sondern dient nur zur Regelung des Ventilhubes, also auch der Speisewassermenge. Gewöhnlich ist zwischen Speiseventil und Kessel eine zweite Absperrvorrichtung, Ventil oder Hahn, eingeschaltet, welche es ermöglicht, an dem in Betrieb befindlichen Kessel ein schadhaftes Ventil zu untersuchen und zu repariren.

Fig. 37.



Doppelspeiseventil.

Sehr wichtig für die Haltbarkeit des Kessels ist die richtige Lage des Speisewassereintrittes in das Kesselwasser. Das Speisewasser darf nämlich einerseits nicht direkt gegen Kesselwandungen geleitet werden, weil sonst diese durch etwa mitgeführte Fettsäuren schnell zerstört werden, andererseits muß das kältere Speisewasser da eintreten, wo möglichst viel Wasser ist, damit die Temperatur-Verschiedenheiten und -Spannungen zwischen einzelnen Kesseltheilen möglichst gering werden. Die Leitung des Speisewassers von den Speiseventilen nach den geeignetsten Stellen des Wasserraumes bewirkt man durch innere Speiserohre. Bei

den Wasserrohrkesseln leitet man das Speisewasser in den abfallenden Wasserstrom und verstärkt hierdurch den Wasserumlauf.

b) **Speisewasserregler.** Bei den Feuerrohrkesseln mit großem Wasserinhalt erfolgen die durch ungleichmäßigen Betrieb entstehenden Schwankungen im Wasserstand so allmählich, daß eine Regelung der Speisung durch das Bedienungspersonal genügt. Bei den wegen ihres kleineren Wasserinhaltes empfindlicheren Wasserrohrkesseln aber würde eine fortgesetzte Regelung durch das Personal zu viel Arbeit erfordern. Man rüstet deshalb die Wasserrohrkessel gewöhnlich mit selbstthätigen Speisewasserreglern aus, welche alle darin übereinstimmen, daß ein Schwimmer auf dem Wasserspiegel des Kessels die Oeffnung eines in die Speiserohrleitung eingeschalteten Regulirventils vergrößert oder verkleinert, je nachdem der Wasserstand im Kessel fällt oder steigt.

Beim Thornycroft-Kessel liegt der Schwimmer im Dampfsammler und das Regulirventil in der inneren Fortsetzung des Speiserohres, bei einigen anderen Wasserrohrkesseln liegt der Schwimmer in einem mit dem Kessel kommunizirenden Gehäuse und das Regulirventil in der äußeren Speiserohrleitung. Erstere Konstruktion hat den Vortheil, daß zwischen Schwimmer und Regulirventil keine Stopfbuchsenreibung zu überwinden ist, letztere gewährt eine bessere Zugänglichkeit des Reglers für Revision und Reparatur. Beide Konstruktionen sind so eingerichtet, daß sowohl eine Aenderung des Verhältnisses zwischen Schwimmerstand und Ventilöffnung möglich ist, als auch eine direkte Verstellung des Regulirventils mit der Hand, d. h. eine Ausschaltung der selbstthätigen Regelung.

3. Sicherheitsvorrichtungen.

a) **Manometer.** Dieselben sind Apparate zum Messen des Dampfdruckes. Jeder Kessel an Bord hat einen Doppelmanometer für den laufenden Betrieb und einen Stutzen zum Anschrauben eines Kontrollmanometers bei besonderen Untersuchungen. Die gebräuchlichen Manometer sind entweder Plattenfeder- oder Rohrfedermanometer. In unserer Marine verwendet man die letzteren. Ihre Wirkung beruht auf der Formveränderung, welche ein gebogenes Rohr von elliptischem Querschnitt durch inneren Druck erfährt, wenn das geschlossene Ende des Rohres sich frei bewegen kann. Diese Formveränderung wird durch Zahntrieb auf einen Zeiger übertragen, welcher an einer Skala den Dampfüberdruck in kg pro qcm anzeigt. Ein Doppelmanometer hat zwei solche Rohrfedern und zwei Zeiger mit gemeinschaftlicher Skala. Er ist durch zwei Rohre, deren jedes durch Hahn absperrbar ist, mit dem Dampfraum des Kessels verbunden. Diese Rohre bilden kurz vor dem Manometer einen Wassersack, um das Eindringen von heißem Dampf in das Manometer zu verhindern.

Der zulässige Kesseldruck ist auf der Manometerskala durch einen rothen Strich gekennzeichnet. Die Manometer sollen so angebracht sein, daß sie möglichst nur handwarm werden, denn hohe Temperatur macht die Manometer schadhaft und beeinflußt ihre Federkraft.

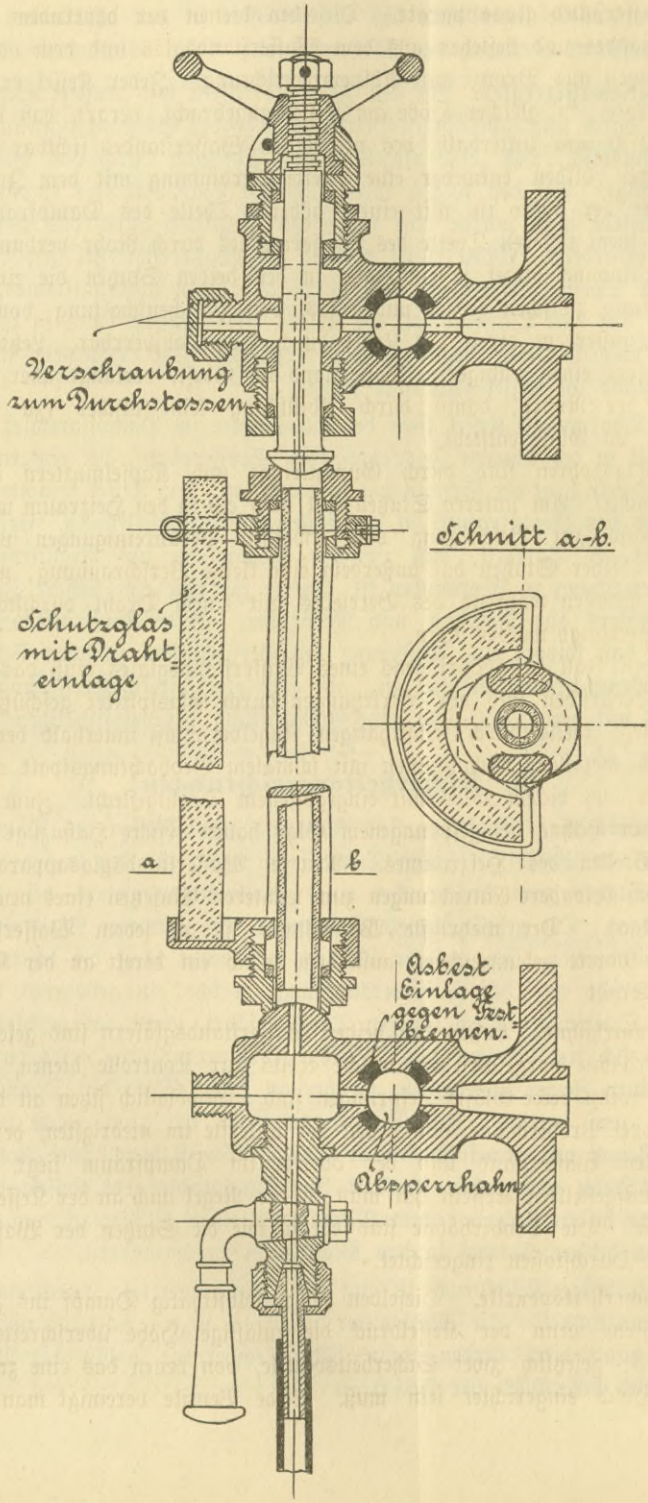


Fig. 38. Wasserstandsapparat (Patent Maag).

b) Wasserstandsglasapparate. Dieselben dienen zur dauernden Kontrolle des Wasserstandes und bestehen aus dem Wasserstandsglas und dem oberen und unteren Stutzen aus Bronze mit Absperrvorrichtung. Jeder Kessel erhält zwei solche Apparate, in gleicher Höhe am Kessel angebracht, derart, daß das Glas mindestens 100 mm unterhalb des niedrigsten Wasserstandes sichtbar ist. Die beiden Stutzen bilden entweder eine direkte Verbindung mit dem Innern des Kessels, oder der obere ist mit einem höheren Theile des Dampfraumes, der untere mit einem tieferen Theile des Wasserraumes durch Rohr verbunden. Bei direkter Verbindung bildet je ein Hahn in den beiden Stutzen die einzige Absperrvorrichtung zwischen Kessel und Glas, bei Zwischenschaltung von Rohren sind letztere außerdem direkt am Kessel durch Hahn absperrbar. Letztere Konstruktion liefert einen ruhigeren Wasserstand im Glase, verlangt aber eine gute Bekleidung der Rohre, damit durch Abkühlung kein falscher (zu niedriger) Wasserstand im Glase entsteht.

Die Glasröhren sind durch Gummiringe und Kapselmuttern in beiden Stutzen gedichtet. Am unteren Stutzen sitzt noch ein in den Heizraum mündender Durchblasehahn zur Beseitigung von etwaigen Verunreinigungen und Verstopfungen. Jeder Stutzen hat außerdem eine kleine Verschraubung, nach deren Lösung der Stutzen während des Betriebes mit einem Draht durchstoßen, also mechanisch gereinigt werden kann.

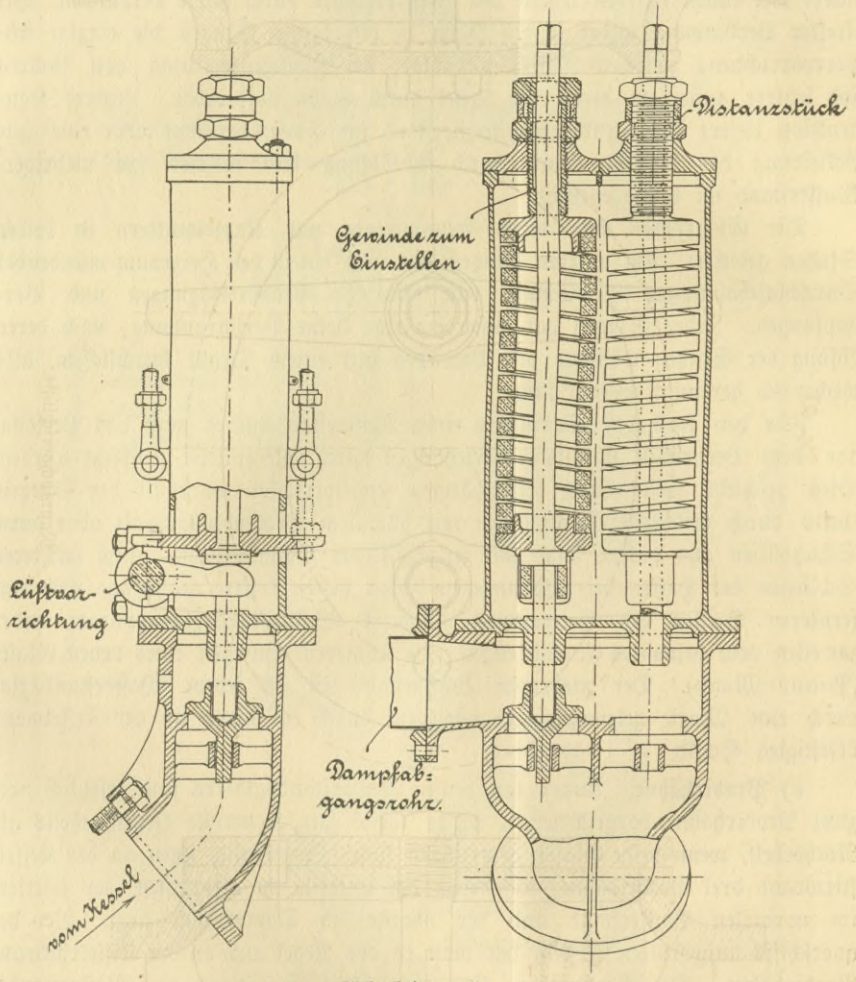
Für den Fall des Springens eines Wasserstandsglases muß das Personal vor dem Verbrühen und vor Verletzungen durch Glassplitter geschützt werden. Dies geschieht theils durch selbstthätigen Kugelverschluß innerhalb der Stutzen, theils durch metallene Schutzhüllen mit schmalem Beobachtungsspalt oder durch Schutzhülsen aus dickem Glas mit eingegossenem Drahtgeflecht. Zum leichteren Schließen der Hähne bei gesprungenem Glas haben erstere Hahnzüge nach entfernteren Stellen des Heizraumes. Neuere Wasserstandsglasapparate haben zuweilen noch besondere Einrichtungen zum leichteren Einsetzen eines neuen Glases (Patent Maaß). Der niedrigste Wasserstand ist an jedem Wasserstandsglas durch eine Marke gekennzeichnet, außerdem durch ein direkt an der Kesselwand befestigtes Schild.

c) Probirhähne. Außer den beiden Wasserstandsgläsern sind gesetzlich noch zwei Probirhähne vorgeschrieben, welche theils zur Kontrolle dienen, theils als Nothbehelf, wenn beide Gläser gesprungen sind. Gewöhnlich sitzen an der Kesselstirnwand drei Probirhähne, von denen der unterste im niedrigsten, der mittlere im normalen Wasserstand und der oberste im Dampfraum liegt. Bei den querschiffs aufgestellten Kesseln hat man in der Regel auch an der Kesselrückwand Probirhähne. Die Probirhähne sind ebenso wie die Stutzen der Wasserstandsgläser zum Durchstoßen eingerichtet.

d) Sicherheitsventile. Dieselben sollen selbstthätig Dampf ins Freie entweichen lassen, wenn der Kesseldruck die zulässige Höhe überschreitet. Jeder Kessel erhält gesetzlich zwei Sicherheitsventile, von denen das eine zum Lüften mit der Hand eingerichtet sein muß. Beide Ventile vereinigt man in einem

gemeinschaftlichen Gehäuse. Die Ventile sind bronzene Kegelventile mit direkter Federbelastung. Indirekte Federbelastung, d. h. Feder an einem Hebel wirkend, verwendet man nur bei Bootskesseln. Die Lüftvorrichtung bei den Sicherheitsventilen der Schiffskessel ist so eingerichtet, daß sie im Falle der Gefahr von einer entfernten Stelle aus (z. B. von Deck oder vom Maschinenraum) bewegt werden kann.

Fig. 39.



Sicherheitsventil.

Zum Ableiten des ausströmenden Dampfes dient ein am Schornstein oder geführtes Rohr. Auf langen Reisen verlieren die Federn, welche bei der Kaltwasserdruckprobe richtig eingestellt werden, häufig an Spannkraft und müssen dann nachgespannt werden, damit die Ventile sich nicht zu früh lüften.

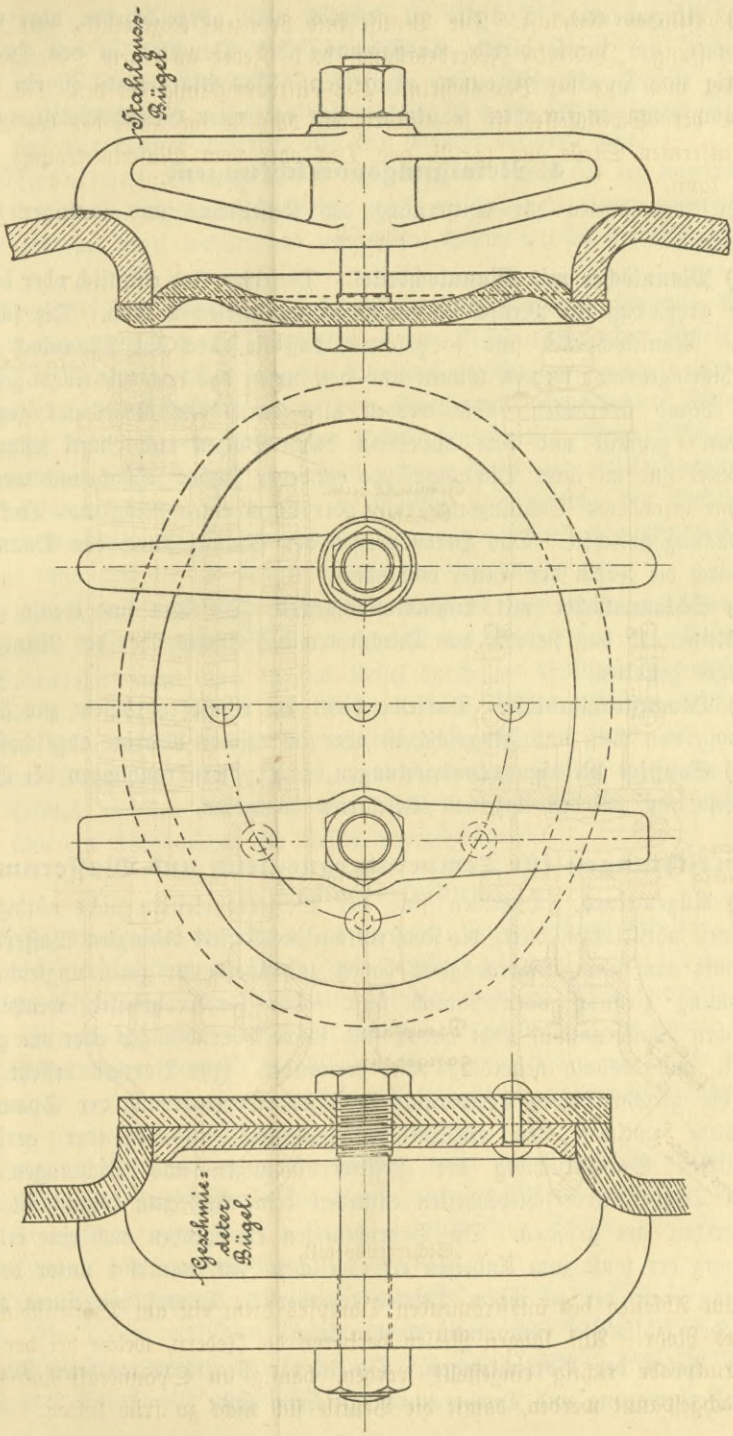


Fig. 40. Mannlochverschlüsse.

e) **Alarmventil.** Dasselbe ist gesetzlich nicht vorgeschrieben, aber vielfach angewendet, um durch direkte Ausströmung des Dampfes in den Heizraum rechtzeitig eine Drucküberschreitung anzuzeigen. Das Alarmventil ist ein kleines, am Dampfraum angebrachtes Kegelventil mit indirekter Gewichtsbelastung.

4. Reinigungsvorrichtungen.

Dieselben dienen zur Entfernung des Kesselsteins und sonstiger Verunreinigungen.

a) **Mannlöcher mit Mannlochdeckel.** Dieselben sind elliptisch oder dreieckig und so groß, daß ein Mensch in den Kessel hineinkriechen kann. Die schmiedeeisernen Mannlochdeckel sind so geformt, daß sie durch das Mannloch in den Kessel hineingebracht werden können und von innen das Loch mit einem genügend breiten Rand überdecken. Sie werden also durch den Kesseldruck gegen die Kesselwand gepreßt und sind außerdem durch Bolzen und Bügel festgehalten. Die Deckel sind an ihrer Dichtungsfläche entweder sauber geschabt und metallisch, also ohne besonderes Dichtungsmaterial, oder durch einen Ring aus Tucks oder Asbestpackung gedichtet. Das Herauspressen der Packung durch den Dampfdruck wird durch die Form der Deckel verhindert.

b) **Schlammlöcher mit Schlammlochdeckel.** Dieselben sind ebenso gebaut, jedoch kleiner, so daß sie nur das Durchstecken des Armes oder des Reinigungswerkzeuges gestatten.

c) **Dampfstrahlgebläse.** Dasselbe dient bei Wasserrohrkesseln zur äußeren Reinigung von Ruß und Flugasche, ist aber in unserer Marine abgeschafft.

d) **Sonstige Reinigungsvorrichtungen,** z. B. Verschraubungen bei Wasserrohrkesseln, sind bei den einzelnen Kesselarten angegeben.

5. Vorrichtungen für Temperaturausgleich und Wasserumlauf.

a) **Allgemeines.** Dieselben sind bei Wasserrohrkesseln nicht nöthig, weil diese einen natürlichen, durch die Konstruktion des Kessels bedingten Wasserumlauf und somit auch Temperaturausgleich haben und überhaupt gegen ungleichmäßige Erwärmung ziemlich unempfindlich sind. Für Feuerrohrkessel, welche einen natürlichen Wasserumlauf nicht haben, sind solche Vorrichtungen aber von großem Vortheil und deshalb neuerdings viel verwendet. Ihr Vortheil besteht in der durch die gleichmäßigere Temperatur bedingten Verringerung der Spannungsunterschiede zwischen den einzelnen Kesseltheilen, also in der geringeren mechanischen Beanspruchung der Kesselverbindungen und Dichtungen. Die größten Temperaturverschiedenheiten entstehen beim Anheizen, folglich ist hierbei der Vortheil am größten. Die Vorrichtungen ermöglichen auch eine erhebliche Abkürzung der sonst zum Anheizen erforderlichen Zeit, natürlich unter der Voraussetzung, daß der zu ihrem Betrieb erforderliche Dampf von einem anderen Kessel oder Hülfskessel entnommen werden kann.

b) **Arten der Vorrichtungen.** Die in der Praxis verwendeten Methoden der Wasserbewegung und Temperaturausgleichung sind:

Heizen der kälteren, tiefer liegenden Wasserschichten durch kupferne Heizschlangen (Howaldtscher Temperaturausgleicher). Die erwärmten Wassertheilchen steigen infolge ihrer Volumenvergrößerung nach oben und bewirken so einen lebhaften Wasserumlauf. Die Entwässerungsventile der Heizschlangen stellt man so ein, daß nur Wasser austritt, also kein Dampf verloren geht.

Mechanisches Bewegen des Kesselwassers durch ein im unteren Theil des Kessels befindliches Düsensystem, durch welches von einem anderen Kessel Dampf geblasen wird, welcher das umgebende Wasser mit sich fortreißt. (Hydrokineter.)

Mechanisches Bewegen des Kesselwassers durch die saugende Wirkung des mit einer gewissen Geschwindigkeit in den Kessel eintretenden Speisewassers (Craigscher Apparat). Die saugende Wirkung entsteht durch eine in das innere Kesselspeiserohr unmittelbar hinter dem Speiseventil eingeschaltete Düse, deren Saugerohr bis auf den Boden des Kessels hinabreicht. Beim Anheizen leitet man durch die Düse Dampf von einem anderen Kessel und erzielt hierdurch eine gleiche Saugewirkung. Die dabei entstehende Vermehrung des Kesselwassers muß anderweitig ausgeglichen werden. Der wie ein Ejektor wirkende Craigsche Apparat kann auch in das äußere Speiserohr eingeschaltet sein.

Umpumpen des Kesselwassers während des Anheizens durch eine Centrifugal- oder Dampfspeisepumpe, welche das Wasser aus dem Kessel durch den Bodenhahn saugt und in den Kessel durch das Speiseventil drückt. Die Apparate a, b und c können dem Kessel so viel Wärme zuführen, daß bereits vor dem Feueranzünden die Dampfentwickelung beginnt, und daß bei still liegendem Schiff mit Hülfe eines stärker geheizten Kessels die übrigen Kessel unter Dampf gehalten werden können, wodurch ein Aufbänken der Feuer überflüssig und ein Verschmutzen der Kessel vermieden wird.

6. Kesselbekleidung.

Kessel, welche mit weniger als 4 kg pro qcm Ueberdruck arbeiten, bekleidet man mit gewöhnlichem Kesselfilz und darüber gelegtem 1 bis 1,5 mm dicken verzinkten Eisenblech. Die Filzplatten befestigt man am besten durch Klammern an den Eisenblechplatten. Kessel mit höherem Druck werden in unserer Marine mit Asbestmatratzen von 40 bis 50 mm Dicke und etwa 1 m Breite bekleidet, unter welche zur Erzielung einer dünnen Luftschicht in gewissen Abständen schmale Streifen aus verzinktem Eisenblech gelegt werden.

Bei Rundkesseln läßt man den unteren, leicht mit Bilgewasser in Berührung kommenden Theil unbekleidet. Die Befestigung der Matratzen erfolgt am besten durch übergelegte Ziehbänder. Etwa eingeschnittene Löcher für Armaturen, Mannlöcher u. s. w. werden sorgfältig abgenäht.

Die Dampfbeiboots- und Wasserrohrkessel werden in ähnlicher Weise bekleidet. Die hohlen vertikalen Wände, welche die Wasserrohrkessel gegen den Heizraum abschließen, werden mit Kieselgur oder Schlackenwolle oder Pouplierscher Masse oder Asbestwolle ausgefüllt.

Achter Abschnitt.

Hauptmaschinentheile.

A. Dampfcylinder.

(Tafel III. Fig. 41.)

1. Cylinderkörper mit Schieberkasten.

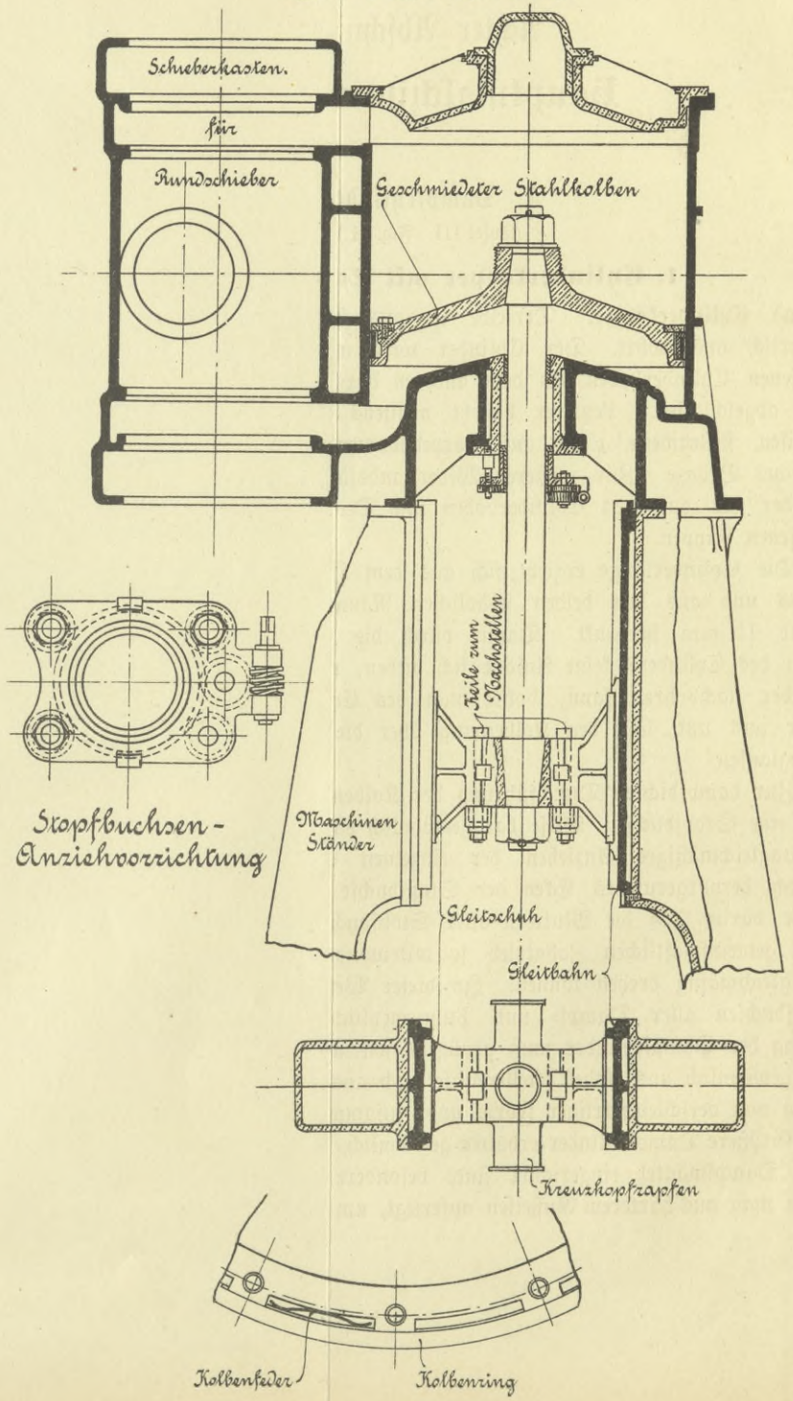
a) Cylinderkörper. Derselbe ist aus Gußeisen gegossen und genau cylindrisch ausgebohrt. Der Cylinder wird an einem Ende durch den angegossenen Cylinderboden, an dem anderen durch den aufgeschraubten Cylinderdeckel abgeschlossen. Letzterer besteht meistens ebenso wie der Cylinder aus Gußeisen, stellenweise, z. B. auf Torpedobooten, der Gewichtsersparniß wegen auch aus Bronze. Zur größeren Widerstandsfähigkeit versieht man sowohl den Cylinder als auch den Cylinderboden und Deckel in geeigneter Weise mit angegossenen Rippen.

Die Cylinderlänge ergiebt sich aus dem Hub, aus der Höhe des Dampfkolbens und aus den beiden schädlichen Räumen, deren Höhe etwa zwischen 5 und 15 mm schwankt. Damit durch die Reibung des Kolbens an den Enden des Cylinders keine Ansätze sich bilden, und damit man den abgenutzten Cylinder nachbohren kann, bohrt man den Cylinder an beiden Enden etwas weiter aus und läßt den Kolbenring über die so entstehenden Ansätze etwas hinweglaufen.

Zur dampfdichten Durchführung der Kolbenstange durch den Cylinderboden dient eine Stopfbuchse. Diese hat gewöhnlich eine besondere Einrichtung, welche ein ungleichmäßiges Anziehen der einzelnen Stopfbuchsenschrauben und ein dadurch hervorgerufenes Ecken der Stopfbuchse ausschließt. Diese Einrichtung besteht darin, daß die Muttern aller Stopfbuchsenschrauben gezahnt und durch einen gemeinschaftlichen Zahntrieb so miteinander verbunden sind, daß sie sich nur gleichmäßig drehen können. In dieser Weise sind gewöhnlich die größeren Stopfbuchsen aller Dampf- und Pumpencylinder gebaut. Die Stopfbuchsenpackung der Dampfcylinder muß genügend wärmebeständig sein und besteht deshalb gewöhnlich aus Asbest, stellenweise auch aus Drahtgeflecht oder aus Metallringen von verschiedenartiger Form und Zusammensetzung (Patentpackungen).

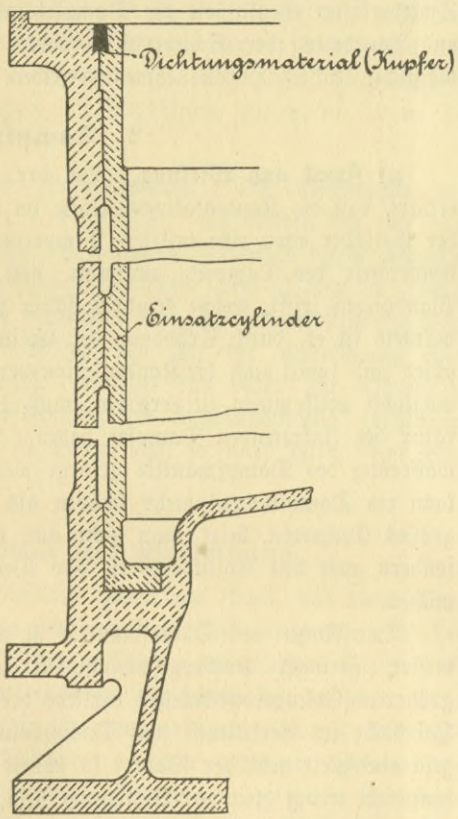
Größere Dampfcylinder erhalten gewöhnlich, auch wenn sie nicht für Heizung durch Dampfmäntel eingerichtet sind, besondere Einsatz- oder Arbeitscylinder, welche man aus härterem Gußeisen anfertigt, um die Abnutzung durch die Kolben-

Mitteldruck-Cylinder mit Deckeln u. Stopfbuchse, Kolben mit Stange Kreuzkopf mit Geradführung S. M. S. Wörth.



reibung einzuschränken. Auch läßt sich ein Einsatzcylinder leichter und billiger erneuern, als ein ganzer einfacher Cylinder. Die Befestigung des Einsatzcylinders macht man meistens so, daß er sich in der Längsrichtung unabhängig vom äußeren Cylindergußstück ausdehnen kann, wodurch starke Beanspruchungen durch ungleiche Erwärmung vermieden werden. Man erreicht dies durch stopfbuchsenartige Führung des Einsatzcylinders an seinem oberen Ende. Als Dichtung für diese Führung verwendet man Asbest oder eingestemmte Kupferringe oder auch beides gleichzeitig. Unten ist der Arbeitscylinder gewöhnlich mit Flansch genau eingepaßt und im Boden des äußeren Cylinders festgeschraubt. Wird der zwischen dem äußeren und dem Arbeitscylinder entstehende ringförmige Zwischenraum nicht als Dampfmantel benutzt, dann ist ein absolutes Dichthalten unten und oben nicht erforderlich, und es genügt auch ein strammes Eintreiben des Arbeitscylinders in den erwärmten äußeren Cylinder und ein Festhalten durch Schrumpfen des letzteren.

Fig. 42.



Befestigung eines Einsatzcylinders.

b) Schieberkasten. Dieselben bestehen wie die Dampfcylinder aus Gußeisen und sind gewöhnlich mit denselben zusammengegossen. Die Schieberkastenwände sind durch angegossene Rippen, stellenweise auch durch eingeschraubte Anker versteift. Die Schieberkasten haben verschiedene Form, je nachdem die Schieber Flach- oder Rundschieber sind. In allen Fällen wird der Schieberkasten durch den Schieber in zwei Räume getheilt, von welchen der eine frischen Dampf vom Kessel oder Dampf vom vorhergehenden Receiver erhält, der andere den im Cylinder verbrauchten Dampf nach dem folgenden Receiver oder nach dem Kondensator weiterleitet. Dementsprechend sind die Dampf-Ein- und Austrittsstutzen am Schieberkasten angebracht.

Die Schieberspiegel bei Flachschiebern und die cylindrische Bohrung des Schieberkastens bei Rundschiebern ist durch je einen eingegossenen Kanal mit den

beiden Enden des Dampfcylinders verbunden. Diese Kanäle leiten den Dampf vom Eintrittsraum des Schieberkastens in den Cylinder oder vom Cylinder in den Austrittsraum des Schieberkastens, je nachdem sie durch den Dampfvertheilungsschieber mit dem Ein- oder Austrittsraum des Schieberkastens in Verbindung gesetzt werden.

Die Schieberkasten liegen entweder in der Mittelebene der Maschine, also am Ende der Maschine bezw. zwischen den Cylindern, oder sie werden seitlich von den Cylindern angeordnet, um an der Länge der Maschine zu sparen. Bei den großen Kolbenschiebern der neueren Schiffsmaschinen versieht man die Schieberkasten ebenso wie die Dampfcylinder mit Einsatzcylindern. Die Form und Anordnung der Schieberkasten richtet sich nach den Schiebern und muß ein möglichst leichtes Herausnehmen derselben gestatten.

2. Dampfmantel.

a) Zweck und Wirkung. Bei der Entwickelung der Schiffsmaschine war erklärt, daß die Kondensationsverluste im Dampfcylinder dadurch entstehen, daß der Cylinder etwa eine mittlere Temperatur zwischen der Ein- und Austrittstemperatur des Dampfes annimmt, daß mithin der eintretende Dampf auf Wandungen trifft, welche erheblich kälter sind als er selbst. Zweck des Dampfmantels ist es, durch Erhöhung der Cylindertemperatur diesen Temperaturunterschied und somit auch die Kondensationsverluste zu verringern. Um diesen Zweck möglichst vollkommen zu erreichen, muß der Heizdampf mindestens die Temperatur des eintretenden Dampfes haben. Auch muß für eine regelmäßige Entwässerung des Dampfmantels gesorgt werden, denn bei schlechter Entwässerung kann ein Dampfmantel mehr schaden als nützen. Stellenweise, namentlich bei großen Cylindern, heizt man nicht nur den cylindrischen Theil des Cylinders, sondern auch den Cylinderboden und Deckel, welche in diesem Falle hohl sein müssen.

Der Nutzen des Dampfmantels ist am größten bei kleinem Cylinderdurchmesser, geringer Kolbengeschwindigkeit und großem Temperaturgefälle. Bei größerem Cylinderdurchmesser verliert der Dampfmantel an Wirkung, weil die Heizfläche im Verhältniß zum Dampfvolumen kleiner ist. Bei großer Kolbengeschwindigkeit geht der Dampf so schnell durch den Cylinder, daß für die Kondensation wenig Zeit zur Verfügung steht, also auch ohne Dampfmantel verhältnißmäßig wenig Dampf kondensirt. Bei kleinem Temperaturgefälle ist die Temperaturdifferenz von vornherein gering, also auch der Dampfmantel weniger wichtig. Daher kommt es, daß der Dampfmantel, welcher bei den älteren Einfach-Expansions-Hdr.-Maschinen eine Ersparniß bis zu 10 pCt. des ganzen Dampfverbrauches einbrachte, bei modernen Schiffsmaschinen mit kleinerem Temperaturgefälle pro Cylinder und mit hohen Kolbengeschwindigkeiten erheblich geringeren Nutzen bringt. Man verzichtet deshalb bei modernen Schiffsmaschinen vielfach auf die Cylinderheizung, selbst wenn Einsatzcylinder vorhanden sind.

Bei Torpedobootsmaschinen läßt man schon der Gewichtsersparniß halber den Einsatzcylinder fort. Die Hdr.-Cylinder moderner Schiffsmaschinen heizt man auch deshalb nicht, weil man dem Dampf eine gewisse Feuchtigkeit erhalten und hierdurch die Möglichkeit schaffen will, die innere Cylinderschmierung ganz zu unterlassen. Mdr.-Cylinder baut man mit und auch ohne Dampfmantel. Am häufigsten erhalten trotz ihrer Größe die Ndr.-Cylinder Dampfmäntel, einerseits, weil hier das Temperaturgefälle gewöhnlich am größten ist, andererseits, weil von den hier entstehenden Kondensationsverlusten wenig durch Nachdampfen zurückgewonnen werden kann. Aus Festigkeitsrücksichten heizt man aber den Ndr.-Cylinder nicht mit frischem, sondern mit reduzirtem Kesseldampf oder mit Receiverdampf. Andere auf Dampfersparniß hinzielende Heizmethoden, z. B. Heizen mit Abdampf oder sogar mit abziehenden Heizgasen, haben sich nicht bewährt.

b) Praktische Ausführung der Dampfmäntel. Die Befestigung und Dichtung der Einsatzcylinder ist unter 1. beschrieben. Es handelt sich nur noch um die Entwässerung. Dieselbe erfolgt bei liegenden Maschinen durch zeitweises Oeffnen der Entwässerungshähne vom Maschinistenstande aus, ist aber hier wenig kontrollirbar. Bei Hammermaschinen verwendet man vielfach selbstthätige Kondenswasserableiter, deren Wirkung im Allgemeinen auf der Ausdehnung eines Messingrohres durch die Wärme beruht. Kommt das Rohr mit Dampf in Berührung, so wird durch seine Ausdehnung die Abschlußöffnung geschlossen. Kommt es mit kondensirtem Wasser in Berührung, so wird durch seine Verkürzung die Oeffnung freigegeben.

3. Cylinder-Armatur und Bekleidung.

a) Cylinder-Ausblasehähne. Dieselben haben den Zweck, das durch Kondensation des Dampfes entstehende oder aus dem Dampfkessel mitgerissene Wasser aus dem Cylinder zu entfernen, und sind daher an den tiefsten Stellen des Cylinders angebracht. Bei den älteren liegenden Maschinen sitzt an jedem Ende des Cylinders ein Ausblasehahn, bei den Hammermaschinen sitzt ein Ausblasehahn am Cylinderboden. Die Ndr.-Cylinder größerer Hammermaschinen erhalten gewöhnlich mehrere gleichmäßig am Cylinderboden vertheilte Ausblasehähne, einerseits, weil die Kondensation und die Gefahr der Wasserschläge im Ndr.-Cylinder am größten ist, andererseits, weil wegen des geringen Druckes im Ndr.-Cylinder die Entwässerung hier weniger wirksam ist.

Die Ausblasehähne werden durch Hahnzüge oder Hebel vom Maschinistenstande aus bewegt. Durch die an die Ausblasehähne sich anschließende Rohrleitung fließt das ausgeblasene Wasser in den Kondensator oder auch nach Umstellung von entsprechenden Hähnen in die Bilge. Die gemeinschaftliche Abflußleitung ist so eingerichtet, daß das Wasser nicht von einem Cylinder in den anderen übertreten kann. Die Ausblaserohre der Ndr.-Cylinder erhalten ge-

wöhnlich Rücklaufventile oder Rücklaufklappen, um ein Eindringen von Luft in die Cylinder zu verhindern. Bei den Hammermaschinen erhalten auch die Schieberkasten an den tiefsten Stellen Ausblasehähne.

b) Cylinder-Sicherheitsventile. Jeder größere Dampfcylinder erhält an beiden Enden ein direkt federbelastetes, selbstthätig wirkendes Sicherheitsventil, welches das mitgerissene oder kondensirte Wasser bei starken Wasserschlägen und dadurch erzeugter starker Druckerhöhung in die Bilge entweichen läßt und so den Cylinder vor dem Zersprengen bewahrt. Um ein Verbrühen des Personals durch ausspritzendes heißes Wasser zu verhüten, sind die Sicherheitsventile von Gehäusen aus Kupfer oder Bronze umgeben, an welche sich nach der Bilge führende Rohre anschließen. Gewöhnlich erhält auch der Mdr.- und Ndr.-Schieberkasten ein Sicherheitsventil nach Art der Cylindersicherheitsventile.

c) Hand- oder Hülfsschieber. Dieselben sind kleine Flach- oder Rundschieber, welche vom Maschinistenstande aus durch Handhebel sich bewegen und Dampf direkt in den Cylinder auf die eine oder andere Kolbenseite eintreten lassen, je nachdem sie nach der einen oder nach der anderen Seite aus ihrer Mittelstellung ausgelenkt werden. Zur Erleichterung einer schnellen und sicheren Bedienung macht man in unserer Marine die Bewegungsrichtung der Handhebel stets übereinstimmend mit der beabsichtigten Bewegungsrichtung des betreffenden Dampfkolbens. Handschieber sind erforderlich an den Mdr.- und Ndr.-Cylindern der Mehrfach-Expansionsmaschinen, um ein Anspringen zu bewirken, wenn der Hdr.-Kolben in der Todtlage oder in einer Stellung sich befindet, bei welcher der Dampfeintrittskanal geschlossen ist.

d) Indikatoreinrichtung. Dieselbe wird an jedem größeren Cylinder angebracht und dient dazu, von beiden Seiten des Cylinders ein Indikatordiagramm zu nehmen. Zu dem Zweck führt von beiden Cylinderseiten ein Rohr zu einem Dreiwegehahn, auf welchen der Indikator sich aufschrauben läßt. Dieser Hahn ermöglicht sowohl einen Abschluß beider Rohre als auch eine Verbindung jedes Rohres mit dem Indikator. Bei der Anordnung des Indikatorhahnes und der Antriebvorrichtung für die Indikatorschnur kommt es auf möglichst bequeme Bedienung an.

e) Schmiervorrichtungen der Cylinder und Schieberkasten. Dieselben dienen zur Schmierung der Cylinderwandungen und der Schiebergleitflächen und unterscheiden sich von den Schmiervorrichtungen der äußeren Maschinentheile insofern, als das Schmiermaterial in einen unter Druck stehenden Raum eingeführt werden muß. Man erreicht dies entweder durch Schmiergefäße mit doppeltem Abschluß, derart, daß beim Füllen des Gefäßes nur der obere, beim Einlassen des Oels in den unter Druck stehenden Raum nur der untere Hahn geöffnet wird, oder durch Patent-Dampfschmiergefäße (System Möllerup), bei welchen das Oel durch einen in einem Oelcylinder dicht schließenden Kolben durch ein Rohr in den unter Druck stehenden Raum hineingepreßt wird. Der Vorschub

des Kolbens erfolgt selbstthätig durch den Gang der Maschine vermittelst eines kleinen Gestänges mit Sperrrad und Schneckenübertragung.

Bei Hammermaschinen kommt man häufig ganz ohne innere Cylinderschmierung aus, indem die Feuchtigkeit des Dampfes in ausreichendem Maße die Reibung der gleitenden Flächen mildert. Man hat hierdurch den großen Vortheil, daß wenig Fett in die Kondensatoren und Kessel gelangt und somit ein Ueberhitzen der feuerberührten Kesselwände durch eine dünne Fettschicht verhindert wird.

f) Bekleidung der Cylinder und Schieberkasten. Die Bekleidung soll die Wärmestrahlung in den Maschinenraum nach Möglichkeit einschränken, muß daher aus möglichst schlechten Wärmeleitern bestehen. Bei den Ndr.-Maschinen verwendet man allgemein Filz mit darübergelegter Holz- oder Blechbekleidung. Wegen der höheren Temperatur des höher gespannten Dampfes ist bei modernen Maschinen reine Filzbekleidung auf die Ndr.-Cylinder beschränkt. Mdr.-Cylinder bekleidet man zuerst mit Asbest und legt darüber Filzplatten. Hdr.-Cylinder bekleidet man entweder ebenso oder mit lehmartigen Wärmeschutzmitteln (z. B. Pouplierſche Masse). Bei allen Cylindern legt man um die erwähnten Wärmeschutzmittel eine Blechbekleidung.

B. Kraftübertragende Maschinentheile.

1. Dampfkolben mit Kolbenstange.

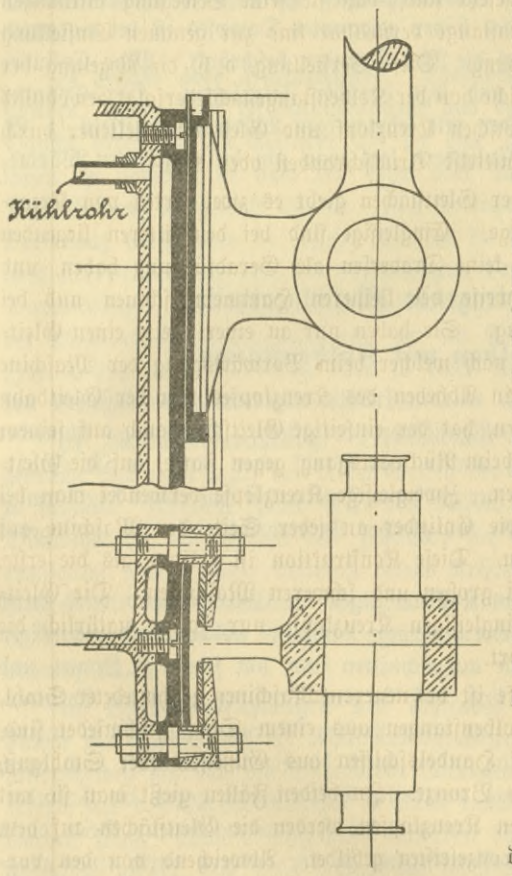
a) Dampfkolben. Dieselben wurden früher allgemein aus Gußeisen und bei größeren Abmessungen als Hohlgußkörper hergestellt. Neuerdings schmiedet man die Kolbenkörper gewöhnlich massiv aus Stahl oder gießt sie als Stahlfaçonguß und giebt ihnen häufig zur größeren Haltbarkeit eine etwas kegelförmige Gestalt. Diese Stahlkolben haben bei gleicher Betriebssicherheit ein geringeres Gewicht als gußeiserne.

Der dampfdichte Abschluß des Kolbens gegen die Cylinderwand wird durch einen oder mehrere gußeiserne Liderungsringe bewirkt, welche einen rechteckigen Querschnitt haben, an einer Stelle aufgeschnitten sind, um federn zu können, und von vornherein so groß gemacht sind, daß sie eine Pressung gegen die Cylinderwand ausüben. Hat der Kolben nur einen breiten Liderungsring, wie in unserer Marine üblich, dann wird derselbe außer durch die eigene Federkraft noch durch gleichmäßig auf den Kolbenumfang vertheilte Kolbenfedern gegen die Cylinderwand gedrückt und an der einen (unteren bei Hammermaschinen) Seite durch einen vorspringenden Rand des Kolbenkörpers, an der anderen durch einen ringförmigen, auf den Kolbenkörper aufgeschraubten, sogenannten Kolbendeckel auf dem Kolbenkörper festgehalten. Zwischen dem genannten Rand und dem Kolbendeckel ist der Kolbenring sauber eingeschliffen. Die Deckelschrauben des Kolbens werden nicht direkt in den Kolbenkörper, sondern in besonders eingelegte bronzene

Muttern eingeschraubt, um ein Festrosten zu vermeiden. Ein Durchtreten des Dampfes durch die aufgeschnittene Stelle des Kolbenringes wird durch das sogenannte Schloß verhindert.

Hat ein Kolben mehrere Liderungsringe, wie gewöhnlich bei den Ndr.-Cylindern der Handelsschiffe, dann haben diese Ringe etwa quadratischen Querschnitt und dichten lediglich durch ihre eigene Federkraft. Sie sind entweder direkt in entsprechende Rillen des Kolbenkörpers eingelegt, oder zur Erleichterung der Montage in einen besonders um den Kolbenkörper gelegten Ring. Anstatt des Kolbenschlosses haben diese Liderungsringe an der aufgeschnittenen Stelle eine einfache Ueberlappung.

Fig. 43.



Kreuzkopf mit Geradführung. „S 90".

b) Kolbenstange. Dieselbe fertigte man früher allgemein aus Schmiedeeisen, jetzt der größeren Festigkeit wegen gewöhnlich aus geschmiedetem Tiegelstahl. Sie wird in den zu diesem Zweck in der Mitte verstärkten Kolben gewöhnlich konisch, dampfdicht eingesetzt und durch eine aufgeschraubte Mutter, die Kolbenstangenmutter, im Kolben festgehalten. An dem anderen Ende ist die Kolbenstange entweder ebenfalls durch Konus und Mutter mit dem Kreuzkopf verbunden, oder sie ist mit demselben aus einem Stück geschmiedet. Ein Hohlbohren der Kolbenstangen ist in unserer Marine auf Torpedobooten versucht worden, hat sich aber nicht bewährt, indem beim Warmlaufen die etwaigen Formveränderungen größer waren als bei massiven Kolbenstangen.

2. Geradführung.

Dieselbe dient zur Aufnahme der durch die schräge Stellung der Pleuelstange entstehenden, senkrecht zur Kolbenstange gerichteten Kraftkomponente (Kreuzkopfdruck) und besteht aus dem Kreuzkopf und der denselben gerade führenden Gleitbahn.

a) Kreuzkopf. Derselbe stellt einerseits die Verbindung zwischen Kolbenstange und Pleuelstange her, andererseits besitzt er Gleitflächen, mit welchen er auf den Gleitbahnen gleitet. Die Verbindung des fest an der Kolbenstange sitzenden Kreuzkopfes mit der Pleuelstange besteht in Zapfen und Lager. Gewöhnlich sitzen zwei Zapfen fest am Kreuzkopf, und um die Zapfen fassen die beiden Lager der gegabelten Pleuelstange. Bei kleinen Maschinen dagegen ist gewöhnlich der Kreuzkopf selbst als Lager mit Bronzeschalen ausgebildet und umfaßt einen in die gegabelte Pleuelstange fest eingesetzten Zapfen. In diesem Falle muß natürlich der Kreuzkopf mit der Kolbenstange aus einem Stück geschmiedet sein. — Die Kreuzkopfzapfen der Hammermaschinen tragen häufig als Verlängerung kleinere Zapfen für den Antrieb der Pumpenbalanciers.

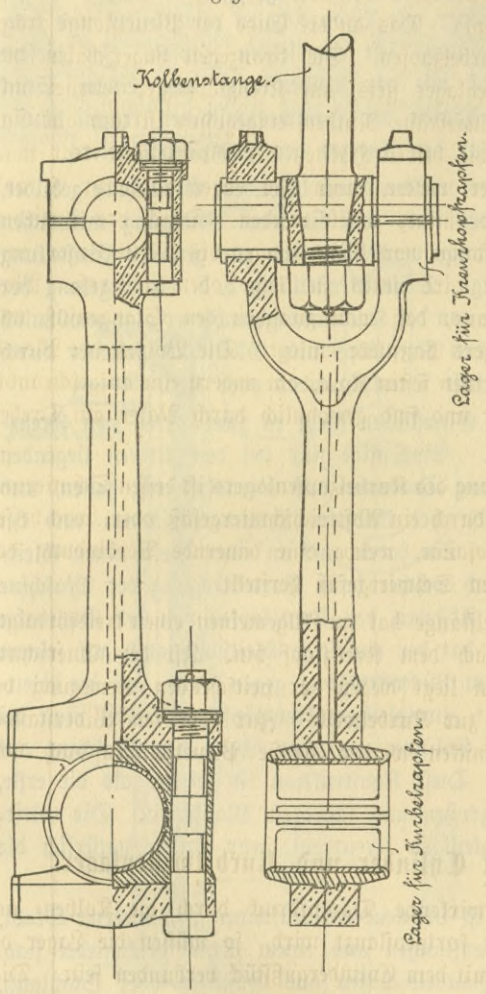
Die Gleitflächen des Kreuzkopfes werden durch besondere Gleitschuhe gebildet, welche so an den Kreuzkopf angesetzt sind, daß sie seine Bewegung mitmachen müssen, aber senkrecht zur Kolbenstange verstellbar sind zur genauen Einstellung und zur Ausgleichung der Abnutzung. Diese Verstellung, d. h. die Regelung der Entfernung der Kreuzkopf-Gleitfläche von der Kolbenstangenachse erfolgt gewöhnlich durch eingelegte dünne Bleche zwischen Kreuzkopf und Gleitschuh, seltener durch besondere Nachstellvorrichtungen mittelst Druckschrauben oder Keil.

Bezüglich der Anordnung der Gleitflächen giebt es zwei Arten von Kreuzköpfen, eingleisige und zweigleisige. Eingleisige sind bei den älteren liegenden Maschinen verwendet, soweit sie keine Traversen als Geradführung haben, und finden im Allgemeinen vorzugsweise bei kleineren Hammermaschinen und bei Kriegsschiffsmaschinen Verwendung. Sie haben nur an einer Seite einen Gleitschuh, und zwar an derjenigen, nach welcher beim Vorwärtsgang der Maschine der Kreuzkopfdruck wirkt. Um ein Abheben des Kreuzkopfes von der Gleitbahn beim Rückwärtsgang zu verhindern, hat der einseitige Gleitschuh auch auf seinem Rücken zwei Gleitflächen, welche beim Rückwärtsgang gegen starke, auf die Gleitbahn aufgeschraubte Leisten drücken. Zweigleisige Kreuzköpfe verwendet man bei Hammermaschinen, bei welchen die Cylinder an jeder Seite der Maschine auf gegossenen Cylinderständern ruhen. Diese Konstruktion ist solider als die erste, findet sich daher vorzugsweise bei großen und schweren Maschinen. Die Gleitschuhe sind ebenso wie beim eingleisigen Kreuzkopf, nur fallen natürlich die Gleitflächen auf ihrem Rücken fort.

Das Material der Kreuzköpfe ist bei neueren Maschinen geschmiedeter Stahl, auch wenn sie nicht mit den Kolbenstangen aus einem Stück geschmiedet sind. Die Gleitschuhe macht man auf Handelsschiffen aus Gußeisen oder Stahlguß, auf Kriegsschiffen gewöhnlich aus Bronze. In beiden Fällen gießt man sie mit Weißmetall aus. Bei eingleisigen Kreuzköpfen werden die Gleitflächen auf dem Rücken der Gleitschuhe durch Bronzeleisten gebildet. Abweichend von den vorstehend beschriebenen Kreuzköpfen sind die stellenweise bei liegenden Maschinen verwendeten Traversen, welche mit beiden Enden zwischen je zwei Gleitbahnen in den benachbarten Lagerböcken laufen.

b) Gleitbahn. Dieselbe bildet das Widerlager für den Kreuzkopfdruck und wird bei den verschiedenen Maschinenanordnungen auf verschiedene Weise hergestellt. Liegende Maschinen mit Kreuzköpfen haben eine als besonderes Stück gegossene Gleitbahn unter dem Kreuzkopf, also zwischen den Lagerböcken. Liegende Maschinen mit Traversen haben, wie schon unter a) erwähnt, die Gleitbahnen in den Lagerböcken. Hammermaschinen, bei welchen die Cylinder an beiden Seiten auf geschmiedeten Säulen ruhen, haben dieselben Gleitbahnen wie liegende Maschinen mit Kreuzköpfen, und Hammermaschinen, bei welchen die Cylinder an einer oder an beiden Seiten auf gegossenen Cylinderständern ruhen, haben einseitige bezw. zweiseitige Gleitbahnen an den Cylinderständern.

Fig. 44.



In allen Fällen stellt man die Gleitbahnen aus feinkörnigem Gußeisen her, welches durch den Betrieb besonders glatt und hart wird. Zur Ableitung der durch die Reibung des Kreuzkopfes entstehenden Wärme macht man bei größeren Maschinen die Vorwärtsgleitbahn hohl und pumpt Kühlwasser hindurch (durch Cirkulationspumpe oder durch besondere Kühlpumpe). Bei gegossenen Cylinderständern erzielt man den Hohlraum für Wasserkühlung dadurch, daß man die Gleitbahn als gußeiserne Platte auf den Cylinderständer aufschraubt.

Aeußerlich müssen natürlich die Gleitbahnen geschmiert werden. Zum besseren Halten und Vertheilen des Oels dienen Schmiernuthen an den Gleitschuhen und Gleitbahnen. Das Oel sammelt sich in einem Gefäß am Ende der Gleitbahn, von wo es durch den eintauchenden Gleitschuh immer wieder von Neuem auf die Gleitbahn mitgenommen wird.

3. Pleuelstange.

Dieselbe soll die geradlinige Bewegung des Dampfkolbens und des Kreuzkopfes in die kreisförmige Bewegung des Kurbelzapfens umsetzen. Sie besteht bei den älteren Schiffsmaschinen aus Schmiedeeisen, bei den neueren fast ausnahmslos aus Stahl. Sie ist bei Schiffsmaschinen stets gegabelt. Das gegabelte Ende enthält entweder zwei Lager für die beiden Kreuzkopfzapfen oder einen fest eingesetzten Zapfen (vergl. Kreuzkopf). Das andere Ende der Pleuelstange trägt ein größeres Lager für den Kurbelzapfen. Die bronzenen Lagerschalen der Pleuelstangen sind am Kurbelzapfenlager stets, am Kreuzkopflager seltener mit Weißmetall garnirt, welches in eingefräste Nuthen eingegossen ist und gut eingehämmert sein muß. Zwischen die beiden Hälften der Bronzelager legt man Paßstücke aus Bronze oder Kupfer, welche, wenn das Lager abgenutzt ist und angezogen werden soll, entsprechend dünner gefeilt werden. Durch das Anziehen der Lager verkürzt sich die Pleuelstange von Mitte Lager bis Mitte Lager, und der schädliche Raum im Cylinder wird unten zu klein, oben zu groß. Man gleicht diese Verkürzung dadurch aus, daß man zwischen den Stangenfuß und die Lagerschale des Kurbelzapfenlagers Paßstücke einlegt. Die Bolzen der Pleuelstangenlager haben an einem Ende einen festen Kopf, am andern eine aufgeschraubte und gegen Lösen gesicherte Mutter und sind gewöhnlich durch Nasen am Drehen verhindert.

Wegen der starken Beanspruchung des Kurbelzapfenlagers ist dessen Schmierung besonders wichtig. Diese erfolgt durch ein Abstreichschmiergefäß oder, was besser und sparsamer ist, durch eine Posaune, welche eine dauernde Verbindung des Kurbelzapfenlagers mit dem oberen Schmiergefäß herstellt.

Der mittlere Theil der Pleuelstange hat im Allgemeinen einen kreisförmigen Querschnitt und verjüngt sich nach dem Kreuzkopf hin. Ist der Querschnitt nicht rund, sondern länglich, dann liegt wegen der peitschenden Bewegung der Pleuelstange die große Achse quer zur Kurbelwelle. Zur größeren Widerstandsfähigkeit gegen Biegen und Zerknicken werden große Pleuelstangen auch hohl gebohrt.

C. Verbindung zwischen Cylinder und Kurbelwellenlager.

Da der auf den Kolben wirkende Dampfdruck durch die Kolben- und Pleuelstange auf die Kurbelwelle fortgepflanzt wird, so müssen die Lager der letzteren möglichst fest und starr mit dem Cylindergußstück verbunden sein. Dies geschieht bei den liegenden Maschinen durch die Lagerböcke, bei den stehenden durch die Grundplatte und die Cylinderständer.

1. Lagerböcke der liegenden Maschinen.

Dieselben bestehen aus Gußeisen und sind meistens als Rippenguß, seltener als Hohlguß hergestellt. Sie sind unten und oben mittelst Flansch mit ent-

sprechenden Angüssen des Cylinderbodens und außerdem unten mit dem Maschinenfundament verschraubt und enthalten an ihrem freien Ende ein senkrecht getheiltes Kurbelwellenlager, welches im Allgemeinen ebenso gebaut ist, wie das Kurbelzapfenlager der Pleuelstange (vergl. D.). Da die Kurbelwelle zu beiden Seiten jeder Kurbel gelagert sein muß, so gehören im Allgemeinen zu jedem Cylinder zwei symmetrisch zur Kolbenstange angeordnete Lagerböcke. Maschinen mit nahe nebeneinander liegenden Cylindern haben aber auch häufig zwischen zwei Kurbeln nur 1 Kurbelwellenlager und dementsprechend hier nur 1 für beide Cylinder gemeinschaftlichen Lagerbock.

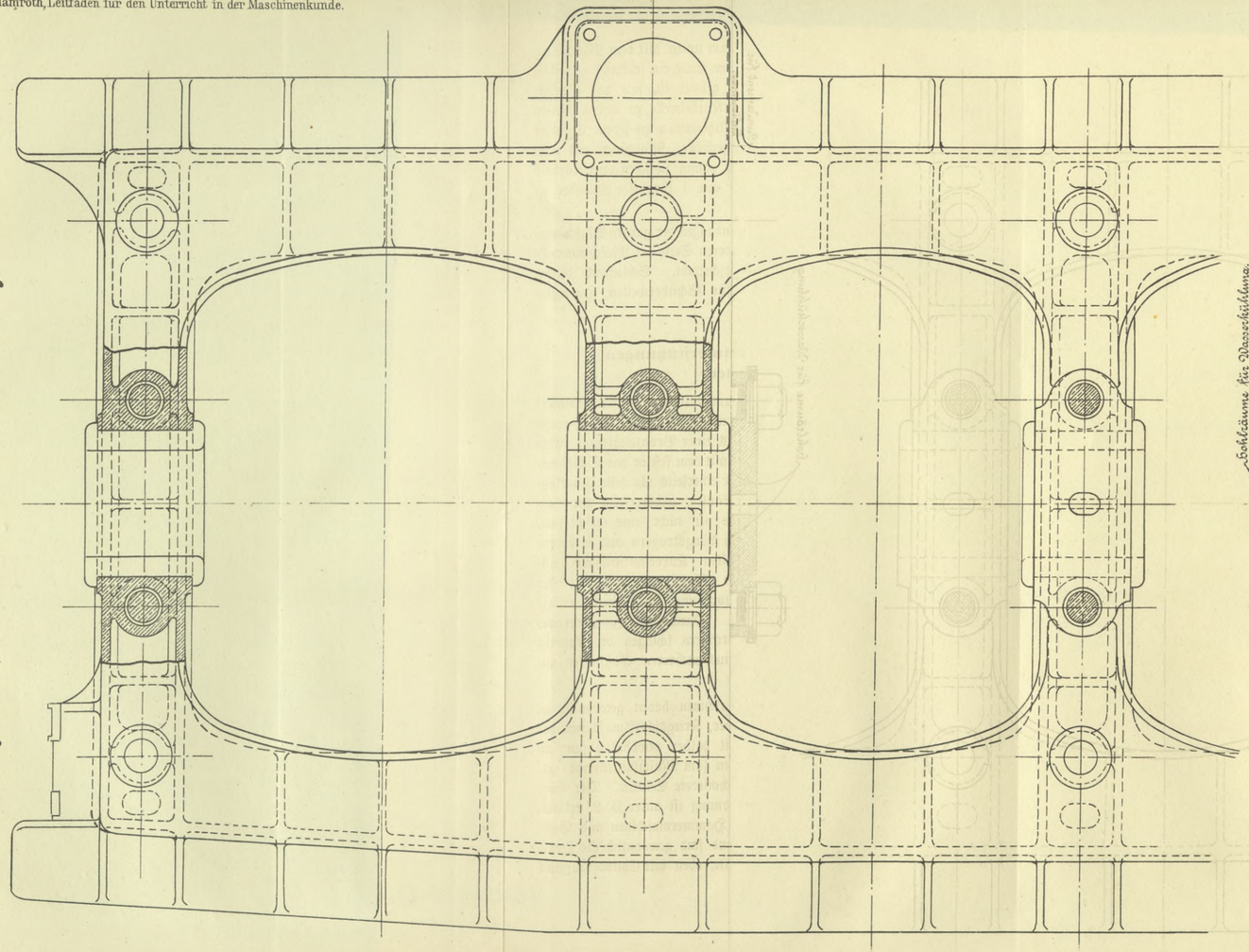
Zur Erzielung eines möglichst starren Zusammenhanges der ganzen Maschinenanlage sind die Lagerböcke auch mit den auf der anderen Seite der Maschinenwelle liegenden Kondensatoren und Luftpumpenkasten verschraubt. Schließlich dienen die Lagerböcke zur Anbringung der Lagerungen für Schieberwellen, Hahnzüge und dergl.

2. Grundplatten und Cylinderunterstützungen der Hammermaschinen.

a) Grundplatten (Tafel IV. Fig. 45). Die Grundplatten der älteren Hammermaschinen bestehen aus Gußeisen, diejenigen der neueren gewöhnlich aus Stahlfaçonguß, ausnahmsweise (z. B. S. 90 bis 107) auch aus einer Bronzelegirung. Eine Grundplatte ist ebenso wie ein Lagerbock (vergl. 1.) mit dem fest in das Schiff eingebauten Maschinenfundament verschraubt und dient einerseits als feste Unterlage für die aufrecht stehenden Maschinenständer oder Säulen, andererseits zur Aufnahme der Kurbelwellenlager. Die Grundplatte ist nicht eine geschlossene Platte, sondern ein Rahmen und besteht aus zwei Längsträgern und mehreren diese verbindenden und die horizontal getheilten Kurbelwellenlager enthaltenden Querträgern. Die Zahl der letzteren stimmt überein mit der Zahl der Kurbelwellenlager, deren Zahl und Anordnung im Prinzip ebenso bemessen wird wie bei den liegenden Maschinen. Durch den Zwischenraum zwischen den Längs- und zwischen je zwei Querträgern schlagen die Kurbeln nach unten durch. Große Grundplatten werden aus mehreren Gußstücken zusammengesetzt.

b) Cylinderunterstützungen. Handelsschiffsmaschinen haben gewöhnlich zu beiden Seiten der Maschine gegossene Cylinderständer, Kriegsschiffsmaschinen der Gewichtsersparniß und der besseren Uebersichtlichkeit halber gewöhnlich nur an einer Seite gegossene Cylinderständer, an der anderen (am Maschinistenstand) geschmiedete Säulen, oder auch an beiden Seiten geschmiedete Säulen. Der Einfluß dieser Verschiedenheiten auf die Gleitbahnanordnung ist unter B. 2. erklärt. Gegossene Cylinderständer bestehen bei den älteren Hammermaschinen aus Gußeisen, bei den neueren häufig aus Stahlfaçonguß und sind gewöhnlich als Hohlguß hergestellt. Sie sind unten mit der Grundplatte, oben mit Cylindergußstück

Grundplatte mit Kurbelwellenlager.



verschraubt und neben der Cylindermitte angeordnet. Jeder Cylinder hat also zwei gegossene Cylinderständer, soweit nicht Säulen zur Unterstützung verwendet sind. Bei sehr großen Maschinen sind die Cylinderständer unten häufig gegabelt, um eine größere Stabilität und mehr Platz für das Durchschlagen der Kurbel und des Pleuelstangenkopfes zu schaffen.

Bei Handelsschiffen, wo gewöhnlich ein gußeiserner Kondensator mit der Maschine zusammengebaut ist, sind die Cylinderständer an der betreffenden Seite mit dem Kondensatorkasten zusammengegossen oder mit demselben verschraubt. Der Ndr.-Cylinderständer ist dann häufig als Haupt-Dampfabgangsrohr ausgebildet.

Besteht die Cylinderunterstützung ganz oder an einer Seite aus geschmiedeten Säulen (Kriegsschiffe, Torpedoboote), dann sind dieselben in Bezug auf die Cylinderachse diagonal angeordnet, d. h. jeder Cylinder steht an einer Seite der Maschine auf zwei Säulen. Die Säulen sind unten mit Flansch auf die Grundplatte aufgeschraubt, oben durch entsprechende Angüsse der Cylinder gesteckt und mit Muttern versehen. Zur größeren Widerstandsfähigkeit gegen Biegen und Zerknicken bohrt man bei großen Maschinen die Säulen zuweilen hohl. Um eine horizontale Bewegung der nur auf Säulen ruhenden Cylinder zu verhindern, verbindet man die Säulen in der Längs- und Querrichtung der Maschine durch Diagonalstreben.

D. Wellenleitung und Wellenlager.

1. Wellenleitung.

a) Wellen. Die Wellen, welche die Arbeit der Dampfkolben auf die Schiffsschraube übertragen, sind, von vorn nach hinten gerechnet, die Kurbelwelle, Drucklagerwelle, Uebertragungs- oder Zwischenwellen und Schraubenwelle oder Schraubenschaft. Die Zahl der Zwischenwellen hängt ab von der Gesammtlänge der Wellenleitung. Bei kurzen Wellenleitungen schließt sich die Schraubenwelle unmittelbar an die Drucklagerwelle an. Sämmtliche Wellen bestehen bei den älteren Maschinen aus Schmiedeeisen, bei den neueren in der Regel aus geschmiedetem Stahl.

Alle Wellen werden auf Torsion beansprucht. Bei der Kurbelwelle tritt Biegungsbeanspruchung hinzu. Auch die Schraubenwelle wird stärker beansprucht wegen der seitlichen Stöße der Schraube. Beide Wellen bemißt man deswegen stärker als die Zwischenwellen. Auch die Drucklagerwelle macht man da, wo die Ringe sitzen, etwas stärker, weil durch unregelmäßige Form die Bruchgefahr wächst. Selbstverständlich können die Druckringe der Drucklagerwelle nicht aufgesetzt, sondern müssen aus dem vollen Material herausgearbeitet werden. Da die Widerstandsfähigkeit des Wellenmaterials gegen Torsion vom Umfange nach der Achse der Welle zu abnimmt, so bohrt man große Wellen jetzt

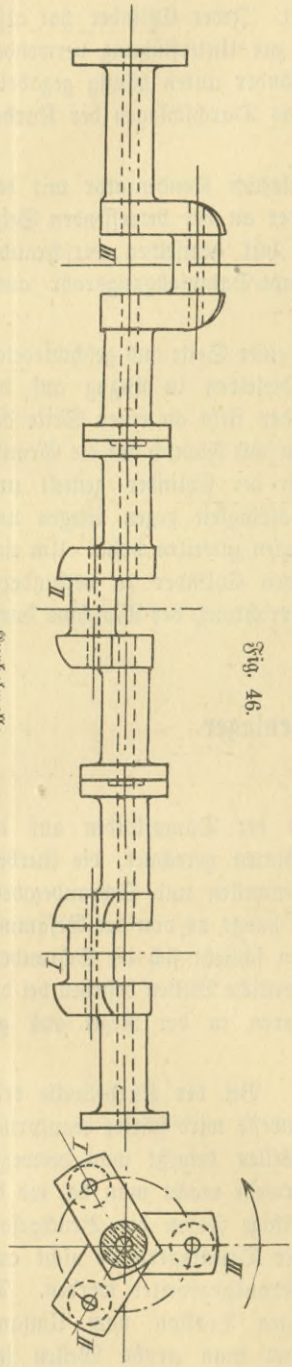


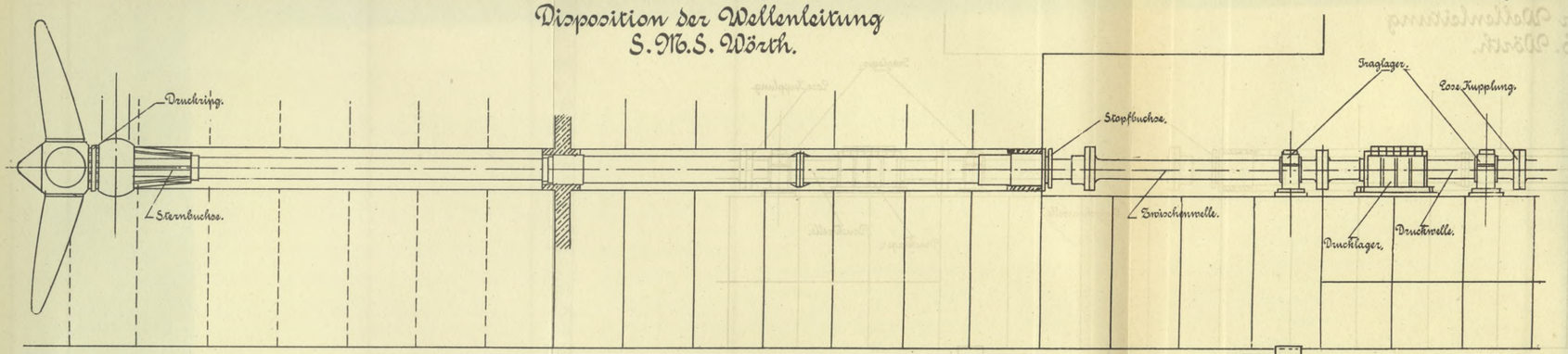
Fig. 46. Kurbelwelle.

häufig hohl, wenigstens auf Kriegsschiffen. Hierdurch erreicht man nicht nur eine Gewichtsersparniß bei gleicher Betriebssicherheit, sondern auch die Möglichkeit, mit Hülfe von Spiegeln die Welle im Innern auf Materialfehler zu untersuchen.

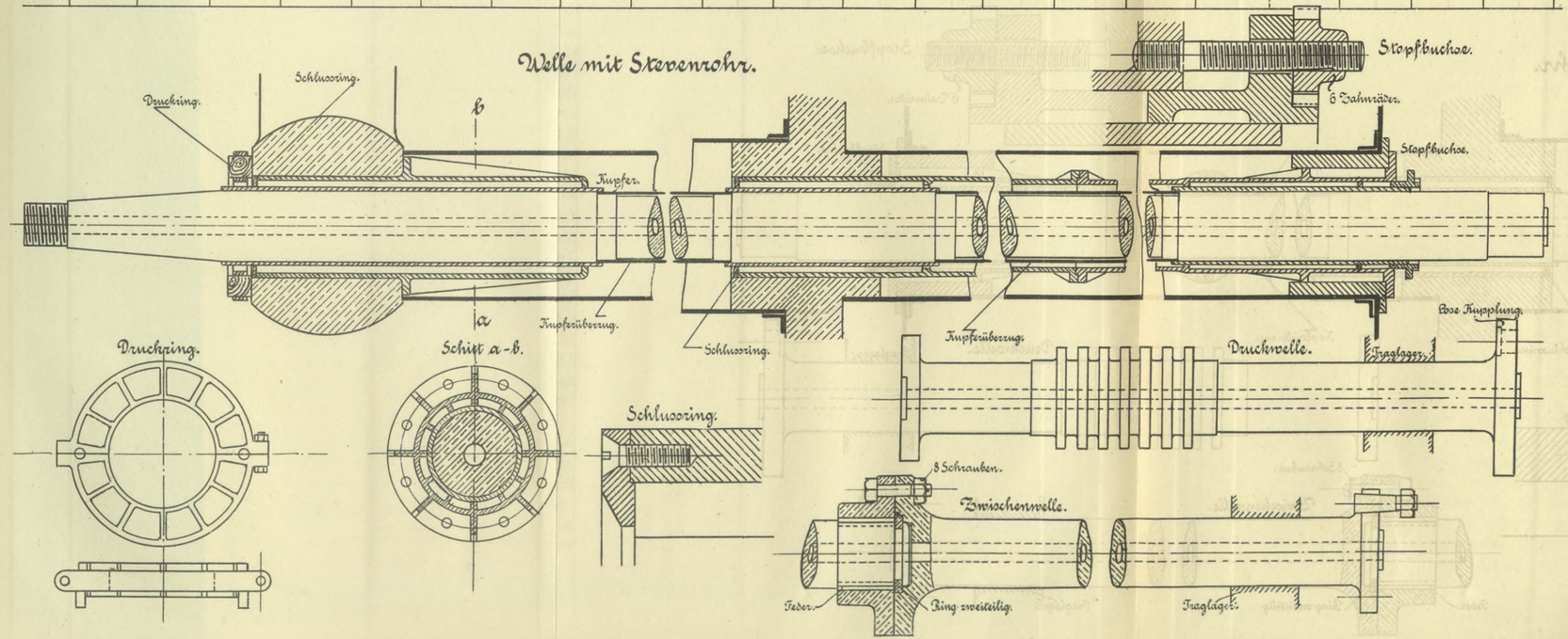
Einer genaueren Beschreibung bedürfen noch die Kurbel- und die Schraubenwelle. Erstere ist bei kleinen und mittelgroßen Maschinen aus einem Stück geschmiedet, bei sehr großen Maschinen aber wegen der Herstellungsschwierigkeiten gewöhnlich aus mehreren Stücken zusammengesetzt. In letzterem Falle ist die Welle entweder nur zwischen je zwei Cylindern getheilt und mittelst Flanschen zusammengeschraubt, so daß jeder Cylinder eine besondere, aus einem Stück geschmiedete Kurbel erhält, oder es sind (bei sehr großen Wellen) außerdem die einzelnen Kurbelarme auf die Wellenstücke aufgesetzt und die Kurbelzapfen in die Arme eingesetzt. Die Verbindung zwischen Welle, Kurbelarm und Kurbelzapfen bewirkt man durch warmes Aufziehen der Kurbelarme, welche beim Erkalten schrumpfen und sich fest um Welle und Zapfen pressen. Zwischen Welle und Kurbelarm legt man außerdem einen Längskeil (Feder und Nuth) zur Sicherheit gegen Drehen. Hohlgebohrte Kurbelwellen haben auch hohle Kurbelzapfen. Bei mehrkurbeligen Maschinen nimmt die Beanspruchung der Kurbelwelle von Cylinder zu Cylinder nach hinten zu. Trotzdem macht man die Kurbelwelle überall gleich stark, theils zur Erzielung von gleichen Lagern und Lagerschalen, theils um bei zusammengesetzten Wellen nur eine Reservekurbel mitführen zu müssen. Zu dem letzteren Zweck müssen außerdem die Kuppelungsbolzen so angeordnet sein, daß für jede Verwendung der Reservekurbel die richtigen Kurbelwinkel innegehalten werden können.

Die Schraubenwelle endigt hinten in einem Konus zur Aufnahme der Schraubennabe und hat hinter dem Konus ein Gewinde für die Schraubenbefestigungsmutter. Da das Stevenrohr, in welchem die Schraubenwelle gelagert ist, hinten dem Seewasser freien Eintritt gewährt, so bedarf die Schraubenwelle eines besonderen Schutzes. Der-

Disposition der Wellenleitung S. M. S. Wörth.



Welle mit Steuerrohr.



selbe besteht an den Lagerstellen aus einem gewöhnlich warm aufgetriebenen und durch Sicherungsschrauben gegen Losdrehen gesicherten Bronzebezug, zwischen denselben aus einem Schutzmantel von Kupfer oder Hartgummi oder auch nur aus einem dauerhaften Anstrich oder einer Umwickelung von Garn, welches in Bleimennige getränkt ist. Liegen bei Seitenschrauben die hinteren Wellenenden frei außerhalb des Wellenrohrs, dann versieht man diesen Theil der Wellen außer mit einer Isolirung (Gummi) auch noch mit einem Schutz gegen äußere Beschädigung, z. B. mit Drahtumwickelung. — (Tafel V. Fig. 47.)

b) Wellenkuppelungen. Zwischen Drucklager und Maschine befindet sich eine sogenannte lose Kuppelung. Im Uebrigen sind die einzelnen Wellenenden fest miteinander verkuppelt. Die festen Kuppelungen sind entweder Flanschen-(Scheiben-)kuppelungen oder Muffenkuppelungen. Bei den Flanschenkuppelungen sind die runden Flanschen gewöhnlich mit der Welle aus 1 Stück geschmiedet, nur die Schraubenwelle versieht man mit einem abnehmbaren schmiedeeisernen oder stählernen Flansch, um die Welle von hinten in das Wellenrohr einsetzen und zu Reparaturen nach hinten herausziehen zu können.

Die zwei Wellenflanschen verbindenden Kuppelungsbolzen werden auf Abscheerung beansprucht. Ihre Zahl und Stärke richtet sich nach dem Drehmoment und nach dem Durchmesser der Wellen. Die Bolzen haben an einem Ende entweder einen Kopf oder einen Konus, am andern Ende eine aufgeschraubte Mutter.

Muffenkuppelungen haben denselben Zweck wie abnehmbare Flanschen, die Möglichkeit des Durchschiebens der Schraubenwelle durch das Stevenrohr. Sie sind namentlich bei kleineren Schraubenwellen (Torpedobooten) verwendet, wo abnehmbare Flanschen verhältnißmäßig groß ausfallen würden. Die Muffen sind entweder zweitheilig, d. h. sie sind aus zwei Halbschalen mit Flansch zusammengeschraubt, oder sie bestehen aus einem Stück, in welches die zu verbindenden Wellen von beiden Enden konisch hineingeschoben sind. In beiden Fällen wird die Drehung der Wellen in der Muffe durch Feder und Nuthe verhindert.

Die lose Kuppelung zwischen Drucklager und Maschine unterscheidet sich von einer festen Flanschenkuppelung dadurch, daß zwischen den Flanschen ein Spielraum von etwa 20 mm ist und daß die hier besonders starken Kuppelungsbolzen nur in einem Flansch ganz fest sind, in den Löchern des anderen Flansches jedoch sich verschieben können. Außerdem kann jeder Kuppelungsbolzen mittelst einer Schraubenspindel so weit in den ersten Flansch zurückgezogen werden, daß er mit dem anderen Flansch außer Eingriff kommt. Durch die lose Kuppelung wird zweierlei erreicht. Erstens wird verhindert, daß die durch den Druck der Schraube und die Abnutzung des Drucklagers hervorgerufene kleine Verschiebung der Welle nach vorn auf die Kurbelwelle übertragen wird und ein Ecken und Warmlaufen der Pleuelstangenlager bewirkt. Zweitens kann man die hintere Wellenleitung leicht ganz loskuppeln und die Schraube frei sich

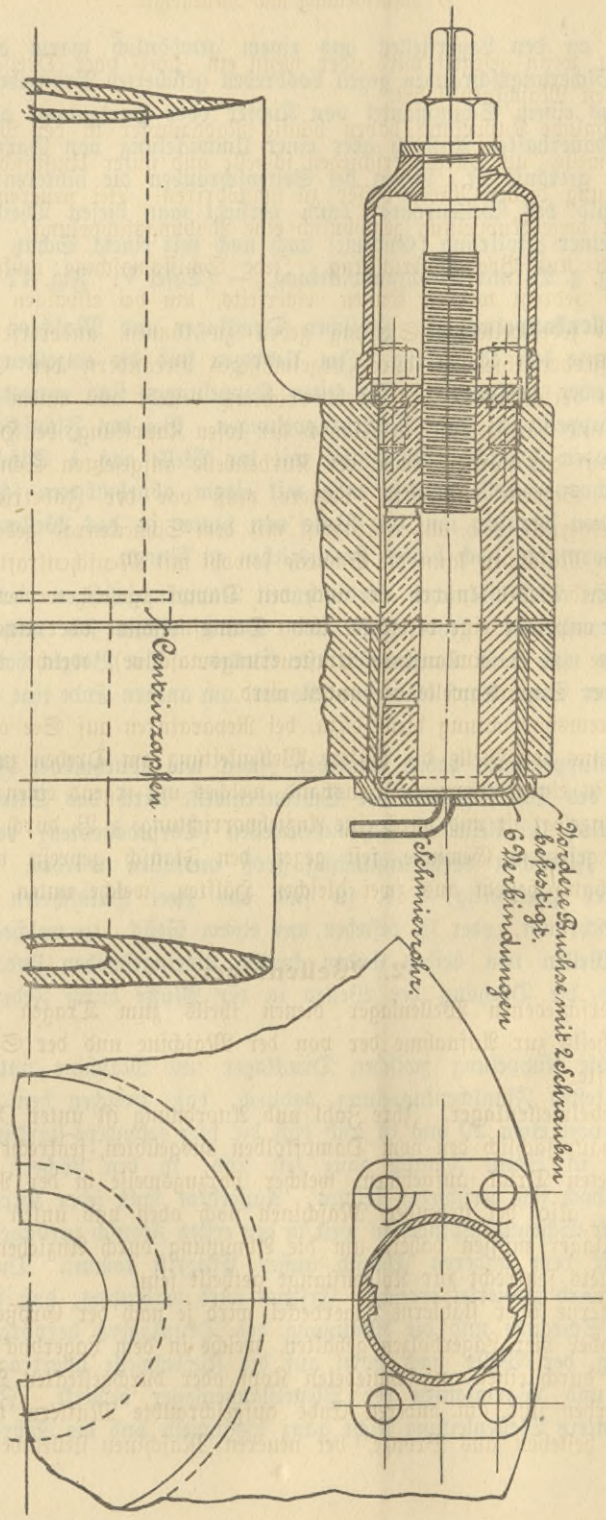

Vordere Buchse mit Schrauben befestigt.
6 Verbindungen
Schmierrohr.
Centrirzapfen
Lose Kupplung.

Fig. 48.

drehen lassen, wenn gesegelt wird oder wenn ein Zwei- oder Dreischraubenschiff nicht mit allen Maschinen fährt.

Eine ähnliche Kuppelung haben häufig Raddampfer in der Mitte der getheilten Radwelle, um durch verschieden schnelle und unter Umständen entgegengesetzte Drehung beider Räder besser zu manövriren. Bei neueren Raddampfmaschinen ist diese Kuppelung gewöhnlich eine Reibungskuppelung.

c) Dreh- und Bremsvorrichtung. Jede Schiffsmaschine muß im Hafen ohne Dampf gedreht werden können, einerseits, um bei etwaigen Reparaturen der Maschine jede beliebige Stellung geben zu können, andererseits, um bei längerer Außerbetriebsetzung durch regelmäßiges Verändern der Stellung ein Festrosten zu verhindern. Die Drehvorrichtung besteht aus einem fest auf die Kurbelwelle und häufig auf den Flansch der losen Kuppelung, bei Handelsschiffen regelmäßig auf das vordere Ende der Kurbelwelle aufgesetzten Schneckenrad, in welches eine Schnecke eingreift. Letztere muß vor der Inbetriebnahme der Maschine ausgerückt, d. h. außer Eingriff mit dem Schneckenrad gebracht werden. Bei größeren Maschinen kann die Schnecke sowohl mit Menschenkraft durch einen aufgesetzten Hebel mit Knarre als auch mit Dampf gedreht werden. Letzterem Zwecke dient entweder eine besondere kleine Dampfmaschine oder eine vorhandene Hülfsmaschine (z. B. umlaufende Umsteuerungsmaschine), welche in geeigneter Weise mit der Schneckenwelle verbunden wird.

Die Bremsvorrichtung dient dazu, bei Reparaturen auf See oder während des Loskuppelns der Welle die hintere Wellenleitung am Drehen zu verhindern. Sie besteht in einem eisernen Bremsband, welches um irgend einen Kuppelungsflansch herumgelegt ist und durch eine Anziehvorrichtung, z. B. durch eine Spindel mit entgegengesetztem Gewinde, fest gegen den Flansch gepreßt werden kann. Das Bremsband besteht aus zwei gleichen Hälften, welche unten charnierartig befestigt sind.

2. Wellenlager.

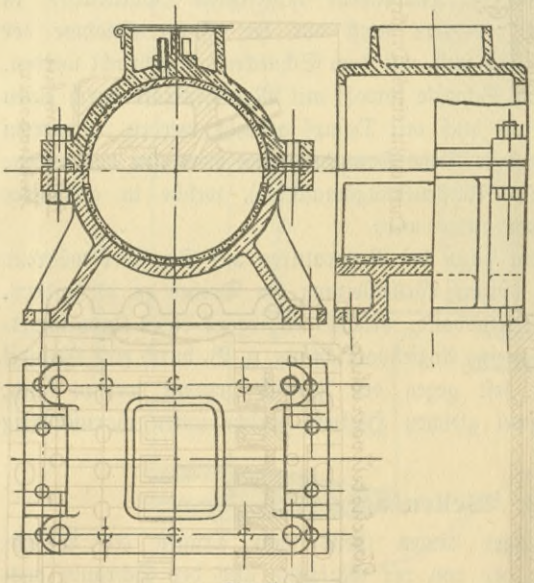
Die verschiedenen Wellenlager dienen theils zum Tragen des Wellengewichtes, theils zur Aufnahme der von der Maschine und der Schraube ausgeübten Kräfte.

a) Kurbelwellenlager. Ihre Zahl und Anordnung ist unter C. beschrieben. Sie sollen hauptsächlich den vom Dampfkolben ausgeübten, senkrecht zur Wellenachse gerichteten Druck aufnehmen, welcher vorzugsweise in der Richtung der Kolbenstange, also bei stehenden Maschinen nach oben und unten wirkt. Die Kurbelwellenlager müssen daher, um die Abnutzung durch Anziehen ausgleichen zu können, stets senkrecht zur Kolbenstange getheilt sein.

Der eiserne oder stählerne Lagerdeckel wird je nach der Größe des Lagers durch zwei oder vier Lagerbolzen gehalten, welche in dem Lagerbock oder in der Grundplatte durch einen angeschmiedeten Kopf oder durchgesteckten Querkeil festgehalten werden und am anderen Ende aufgeschraubte Muttern tragen. Die Lagerschalen bestehen aus Bronze, bei neueren Maschinen stellenweise auch aus

Stahlguß und sind stets mit Weißmetall ausgegossen. Die Halbschalen zwischen Welle und Lagerbock oder Grundplatte macht man stets rund, um sie zur Revision oder Reparatur herausdrehen zu können ohne Entfernung der Kurbelwelle. Ein Drehen dieser Halbschalen beim Gange der Maschine wird durch besonders angeschraubte Sicherungen verhindert. Die äußeren oder oberen Halbschalen haben gewöhnlich eine ebene Anlagefläche für den Lagerdeckel und werden neuerdings gewöhnlich hohl ausgeführt und für Kühlwassercirkulation eingerichtet. Bei stehenden Maschinen versieht man die obere Halbschale und den Lagerdeckel häufig mit einer Aussparung, um beginnendes Warmlaufen mit der Hand besser fühlen zu können. Zur Regulirung des Nachstellens dienen Paßstücke zwischen beiden Halbschalen und zwischen Lagerkörper und Deckel.

Fig. 49.



Traglager.

b) Drucklager. Dasselbe dient dazu, den horizontalen Druck der Schraube, den Propellerschub, aufzunehmen und auf den Schiffskörper zu übertragen. Dementsprechend muß das Drucklager ringförmige Widerlager für die Druckringe der Drucklagerwelle besitzen und auf eine möglichst große Länge fest mit dem Schiffskörper verbunden sein, um den Propellerschub auf möglichst viele Verbandtheile des Schiffes zu vertheilen.

Die älteren Drucklager haben einen fest mit dem Lagerkörper verbundenen Lagerdeckel. Die unteren Hälften der ringförmigen bronzenen Widerlager liegen im Lagerkörper, die oberen im Lagerdeckel. Läuft bei einem solchen Drucklager ein Ring warm und läßt sich durch Kühlen oder Schmieren die Störung nicht beseitigen, so muß man langsam fahren oder stoppen.

Die neueren Drucklager, welche jetzt bei großen Maschinen allgemein gebaut werden, haben überhaupt keinen Lagerdeckel. Den oben offenen Lagerkörper fertigt man aus Stahlfaçonguß. In dem Lagerkörper befestigt man die aus 1 Stück bestehenden, unten offenen, hufeisenförmigen Widerlager. Dieselben lassen sich von oben zwischen je zwei Wellenringen über die Welle hinüberschieben, also auch einzeln herausnehmen. Sie sind entweder in vertikale Nuthen des Lagerkörpers eingeschoben, also fest im Lagerkörper, oder sie sind an jeder Lagerseite auf eine über die ganze Lagerlänge reichende, für alle Widerlager gemeinschaftliche kräftige

Schraubenspindel geschoben und werden durch je zwei Muttern auf dieser festgehalten. Letztere Methode ermöglicht ein bequemes Nachstellen jedes einzelnen

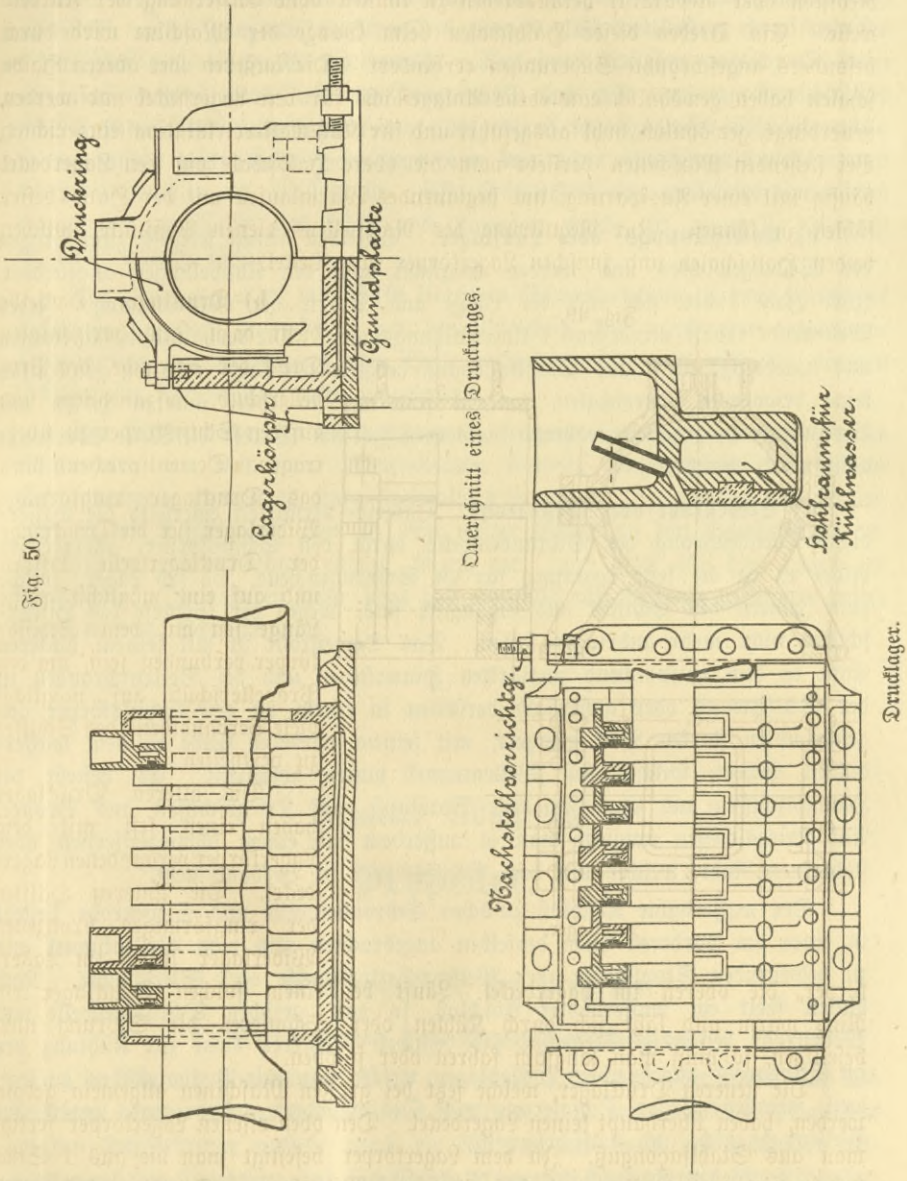


Fig. 50.

Widerlagers. Die Widerlager bestehen aus Bronze oder Stahl und sind an der beim Vorwärtsgange zur Wirkung kommenden Seite mit Weißmetall ausgegossen. Jedes Widerlager trägt ein Schmiergefäß und läßt sich durch ein Kühlrohr kühlen. Bei großen Drucklagern cirkulirt das Kühlwasser im Innern der hohlen Widerlager.

Zur Erzielung einer genauen Einstellung macht man gewöhnlich das ganze Drucklager in der Längsrichtung verschiebbar, indem man die Löcher für die Befestigungsschrauben länglich macht und die Grundplatte des Lagers vorn und hinten durch verstellbare Keile begrenzt. Der Beaufsichtigung halber ordnet man das Drucklager möglichst unmittelbar hinter der Maschine und möglichst im Maschinenraum an. Da das Drucklager nur den Propellerschub aufnehmen, aber nicht das Wellengewicht tragen soll, so verbindet man mit demselben häufig zwei Unterstützungslager, das eine vor, das andere hinter dem Drucklager und beide mit demselben aus 1 Stück gegossen.

c) **Unterstützungs- oder Laufslager.** Dieselben dienen lediglich zum Tragen des Wellengewichtes und werden möglichst nahe den Kuppelungen angeordnet. Ihre Zahl richtet sich nach der Länge und Stärke der Wellenleitung. Jedes Wellenende erhält mindestens 1 Unterstützungslager. Die verhältnißmäßig leichten und neuerdings meist aus Stahlfaçonguß hergestellten Lager erhalten gewöhnlich keine besonderen Lagerschalen, sondern sind nur in ihrer unteren Hälfte mit Weißmetall ausgegossen, während die oberen Hälften (Deckel) die Welle überhaupt nicht direkt berühren.

d) **Stevenrohr oder Wellenrohr.** Dasselbe vermittelt einerseits die wasserdichte Durchführung der Schraubenwelle durch den Schiffskörper, andererseits bildet es da die feste Lagerung für die Schraubenwelle, wo sich Lager, welche vom Innern des Schiffes aus zugänglich sind, wegen der Schärfe des Hinterschiffes nicht mehr anbringen lassen. Das Stevenrohr ist mit seinem hinteren Ende in dem entsprechend verstärkten Hintersteven und bei Seitenschrauben in der Schiffswand oder außerhalb derselben in einem an den Schiffskörper angeschraubten starken Bock gelagert, mit seinem vorderen Ende in dem wasserdichten Schott, welches den Wellentunnel hinten abschließt. Es besteht bei Handelsschiffen aus Gußeisen oder Stahlguß, auf Kriegsschiffen aus Bronze. Auf Kriegsschiffen umgiebt man es außerdem mit einem schmiedeeisernen oder stählernen Rohr, welches mit dem Schiffskörper in Verband steht.

Der wasserdichte Abschluß zwischen Schraubenwelle und Stevenrohr besteht in einer am vorderen Ende desselben angebrachten und vom Wellentunnel aus zu bedienenden Stopfbuchse, der Wellenrohrstopfbuchse oder Sternbuchse. Nach hinten fehlt ein wasserdichter Abschluß, so daß zwischen Schraubenwelle und Wellenrohr beständig Seewasser sich befindet. Letzteres dient zur Kühlung der im Stevenrohr angebrachten Wellenlager, welche man mit Pockholzstäben auslegt, weil metallene Lager Schmierung mit Oel erfordern würde und letztere im Wellenrohr nicht gut ausführbar ist.

Das Wellenrohr enthält zwei Pockholzlager, von welchen das hintere etwas länger ist wegen der größeren Beanspruchung durch seitliche Stöße der Schraube. Besonders lange Wellenrohre erhalten auch ein drittes Lager in der Mitte. Die Pockholzfütterung der Wellenrohre besteht in einzelnen Pockholzstäben, welche schwalbenschwanzförmig zwischen entsprechende Leisten des Wellenrohres ein-

geschoben oder auch dicht nebeneinander gelegt und genau ausgebohrt sind, wobei auf das Quellen des Holzes im Wasser Rücksicht zu nehmen ist. Am Verschieben in der Längsrichtung werden die Pockholzstäbe durch bronzene Begrenzungsringe gehindert. Zwischenräume zwischen den einzelnen Pockholzstäben vermitteln den freien Wassereintritt in das Wellenrohr. Das durch die Lagerreibung erwärmte Wasser kann durch einen Hahn am Tunnelschott abgelassen werden. Sandhaltiges Wasser greift Pockholzlager stark an, ebenso die Bronzehülsen der Schraubenwelle. Man versieht daher Schiffe, welche viel in derartigen Gewässern verkehren, mit Weißmetallbuchsen im Wellenrohr. Die Schraubenwelle erhält dann an den Lagerstellen gewöhnlich eine Hülse aus Gußeisen, welche sich, wenn sie abgenutzt ist, leicht ersetzen läßt.

Die Lagerung einer mittschiffs liegenden Schraubenwelle in dem hinter der Schraube liegenden Rudersteven hat den Nachtheil, daß durch eine gewaltsame Deformation des Ruderstevens die Welle gefährdet wird, und wird bei neueren Schiffen im Allgemeinen nicht angewendet.

Die Wellenrohre der Seitenschrauben stimmen in ihrer Konstruktion im Allgemeinen mit dem einer Mittelschraube überein, jedoch bedarf die seitliche Schraubenwelle mindestens einer dreimaligen Lagerung. Je nachdem das Wellenrohr in der Schiffswand oder in dem weiter hinten an den Schiffskörper angeschraubten Schraubenbock endigt, liegen nur zwei oder alle drei Lager im Wellenrohr. Im ersteren Falle liegt das ebenfalls mit Pockholz gefütterte dritte Lager in dem Schraubenbock.

Neunter Abschnitt.

Propeller.

A. Wirkungsweise der Propeller.

1. Entstehung des Propellerschubes.

Die Wirkung sämmtlicher Arten von Schiffspropellern (Schraube, Rad und Reaktion) beruht auf der hydraulischen Reaktion, d. h. der Druck des Propellers auf den Schiffskörper entsteht durch die Reaktion des durch den Propeller entgegengesetzt der Bewegung des Schiffes fortbewegten Wassers auf den Propeller. Diese Reaktion findet nur statt, wenn das durch den Propeller hindurchtretende Wasser eine Beschleunigung erfährt. Man kann deshalb auch sagen: Die Fortbewegung des Schiffes entsteht durch die Beschleunigungsarbeit des im Bereiche des Propellers liegenden Wassers und wächst einerseits mit der Menge des be-

schleunigten Wassers (Kraft), andererseits mit der Größe der Beschleunigung (Weg). Die Eintrittsgeschwindigkeit des Propellers in das Wasser oder, was dasselbe besagt, des Wassers in den Propeller, ist im Allgemeinen etwa so groß wie die Schiffsgeschwindigkeit. Die Austrittsgeschwindigkeit ist gleichbedeutend mit der aus Umdrehungszahl und Propellerform (Radumfang, Schraubensteigung) sich ergebenden Propellergeschwindigkeit.

Fängt bei stillliegendem Schiff die Maschine an sich zu drehen, so ist die Eintrittsgeschwindigkeit zunächst = 0 und wächst bis zur Propellergeschwindigkeit. Es wird anfänglich die ganze Beschleunigungsarbeit des Wassers zur Ueberwindung der Trägheit des Schiffskörpers verwendet. Setzt sich das Schiff in Bewegung, und wächst die Schiffsgeschwindigkeit und die ihr gleiche Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers in den Propeller, dann wächst auch gleichzeitig die Austrittsgeschwindigkeit, denn die Umdrehungszahl ist bei voller Fahrt größer als beim Beginn der Bewegung. Die Austrittsgeschwindigkeit wächst aber bei zunehmender Schiffsgeschwindigkeit in kleinerem Maße als die Eintrittsgeschwindigkeit. Folglich nimmt die Beschleunigung des Wassers bei dem Uebergang des Schiffes von der Ruhelage in die Fahrt ab. Der scheinbare Widerspruch, welcher darin liegt, daß die Maschinenleistung beim Angehen nahezu ebenso groß sein kann wie bei voller Fahrt, die Beschleunigung des zurückgeworfenen Wassers aber beim Angehen erheblich größer ist, erklärt sich dadurch, daß beim Angehen die Menge des durch den Propeller durchtretenden Wassers kleiner ist, indem das Wasser nicht als geschlossene Masse nach hinten befördert, sondern zum Theil aufgewirbelt wird. Ist die Trägheit des Schiffskörpers vollkommen überwunden, dann hat für die betreffende Dampfwirkung in der Maschine gleichzeitig die Schiffsgeschwindigkeit und die Umdrehungszahl ihren größten Werth erreicht, und die jetzt konstante Reaktion des durch den Propeller beschleunigten Wassers wird lediglich zur Ueberwindung des Schiffswiderstandes verwendet, d. h. die Reaktion oder der Propellerschub ist dem Schiffswiderstand gleich und entgegengesetzt gerichtet.

Läßt man bei vertäutem Schiff die Maschine angehen, dann ist die Propellerwirkung im Prinzip ebenso wie vorstehend beschrieben, nur wird jetzt nicht die Trägheit des Schiffes, sondern diejenige der das Schiff umgebenden Wassermasse überwunden, welche, wenn der Beharrungszustand erreicht ist, gleichmäßig dem Propeller zuströmt.

Betrachtet man schließlich den Uebergang von einer schnelleren Fahrt in eine langsamere oder in die Ruhelage des Schiffes, so wird je nach dem Grade, in welchem man die Zahl der Maschinenumdrehungen verringert, der Ueberschuß der Austrittsgeschwindigkeit des durch den Propeller gehenden Wassers über die Eintrittsgeschwindigkeit entweder nur verkleinert, oder = 0, oder negativ. Beim plötzlichen Stoppen der Maschine wird die Austrittsgeschwindigkeit theoretisch = 0.

2. Slip oder Rücklauf des Propellers.

a) Entstehung und Berechnung des Slips. Würde die Schraube in einer festen Mutter arbeiten oder das Schaufelrad auf einer festen Bahn sich abrollen, so würde das Schiff bei jeder Maschinenumdrehung im ersteren Falle einen Weg von der Größe der Schraubensteigung, im letzteren einen Weg von der Größe des Radumfanges zurücklegen. In beiden Fällen weicht jedoch das Wasser dem Drucke der Schraubenflügel bezw. der Radschaufeln aus, und dieses Ausweichen ist gleichbedeutend mit der unter 1 als Ursache des Propellerschubes bezeichneten Beschleunigung des Wassers. Der wirkliche Weg des Schiffes muß nach Vorstehendem kleiner ausfallen als der nach Schraubensteigung oder Radumfang berechnete Weg des Propellers, und diesen Geschwindigkeitsverlust nennt man Slip oder Rücklauf.

Die Erfahrung zeigt nun, daß bei Schraubenschiffen der Slip unter Umständen negativ werden kann, d. h. der Weg des Schiffes wird größer, als der aus Umdrehungszahl und Steigung berechnete Weg der Schraube. Dieser scheinbare Widerspruch zwischen den Erfahrungen und den vorstehenden Angaben über den Slip erklärt sich durch die Thatsache, daß die Wassermasse, welche durch die Schraube hindurchgeht, vor ihrem Eintritt in die Schraube in eine dem Schiffe nachströmende Bewegung versetzt ist, daß also die Schraube in einer Wassermasse arbeitet, welche sich mit einer gewissen Geschwindigkeit in der Fahrtrichtung des Schiffes bewegt. Man muß deshalb unterscheiden zwischen dem wirklichen und scheinbaren Slip.

Der wirkliche Slip ist der Unterschied zwischen der berechneten Geschwindigkeit der Schraube und ihrer wirklichen Geschwindigkeit durch das Wasser (welche sich nicht genau feststellen laßt). Scheinbarer Slip ist der Unterschied zwischen der berechneten Geschwindigkeit der Schraube und der wirklichen Geschwindigkeit des Schiffes. Der wirkliche und scheinbare Slip wären einander gleich, wenn das Wasser bis zum Eintritt in die Schraube im Verhältniß zu der gesammten Wasserfläche still stände, d. h. wenn die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers in die Schraube = der Schiffsgeschwindigkeit wäre. Den wirklichen Slip kann man auch bezeichnen als den Geschwindigkeitsunterschied des Wassers beim Eintritt in die Schraube und beim Austritt, denn die Austrittsgeschwindigkeit ist gleichwerthig mit der berechneten Geschwindigkeit der Schraube.

Der wirkliche Slip ist stets positiv, d. h. in Wirklichkeit weicht das Wasser stets aus, weil ohne dieses Ausweichen kein Druck der Schraube auf den Schiffskörper entstehen könnte, also die zur Ueberwindung des Schiffswiderstandes erforderliche Kraft fehlen würde. Der scheinbare Slip dagegen kann bis auf 0 sinken oder sogar negativ werden, wenn das durch den Schiffskörper bewirkte Nachströmen des Wassers ebenso viel oder mehr ausmacht, als der wirkliche Slip. Da sich dieses Nachströmen nicht genau messen oder berechnen läßt, so ist es auch nicht möglich, den wirklichen Slip genau zu bestimmen. Man rechnet daher sowohl bei der Konstruktion eines neuen, als auch bei den Probefahrten eines vorhandenen Schiffes nur mit dem scheinbaren Slip und bestimmt die

theoretische Geschwindigkeit des Propellers aus Form und Umdrehungszahl, die wirkliche Geschwindigkeit des Schiffes durch Loggen oder Abfahren einer gemessenen Strecke.

Die Größe des scheinbaren Slips drückt man in der Praxis nicht in absolutem Längenmaß aus, sondern in Prozenten von der theoretischen Bewegung des Propellers. Legt beispielsweise in der gleichen Zeit der Propeller theoretisch u^m, das Schiff wirklich v^m zurück, dann ist der Slip in Prozenten $= \frac{100\,(u-v)}{u}$.

Der Berechnung von u legt man die mittlere Schraubensteigung auf 0,7 Radius, von der Wellenachse aus gemessen, bezw. den Raddurchmesser von Mitte Schaufel bis Mitte Schaufel zu Grunde.

Beispiel: Schraubensteigung auf 0,7 Radius = 6 m. Schiffsgeschwindigkeit bei 90 Umdrehungen = 16 sm. Wieviel Prozent Slip?

$$\begin{aligned} u \text{ pro Stunde} &= 6 \cdot 90 \cdot 60 = 32\,400 \text{ m} \\ v \text{ "} \quad \text{"} &= 16 \cdot 1852 = 29\,632 \text{ "} \\ \hline \text{folglich } u - v &= 2768 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Slip} = \frac{100 \cdot 2768}{32\,400} = 8{,}5 \text{ pCt.}$$

Beispiel: Schaufelraddurchmesser von Mitte Schaufel bis Mitte Schaufel = 5 m. Schiffsgeschwindigkeit bei 40 Umdrehungen = 15 sm. Wieviel Prozent Slip?

$$\begin{aligned} u \text{ pro Stunde} &= 5 \cdot 3{,}14 \cdot 40 \cdot 60 = 37\,680 \text{ m} \\ v \text{ "} \quad \text{"} &= 15 \cdot 1852 = 27\,780 \text{ "} \\ \hline \text{folglich } u - v &= 9900 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Slip} = \frac{100 \cdot 9900}{37\,680} = 26{,}3 \text{ pCt.}$$

b) Größe des Slips. Der Slip ist einerseits bei verschiedenen Schiffen verschieden, andererseits ändert er sich auch bei einem und demselben Schiff mit wechselnder Geschwindigkeit. Als brauchbaren Werth für den scheinbaren Slip einer Schiffsschraube kann man etwa 7 bis 15 pCt., für denjenigen eines Schaufelrades etwa 20 bis 30 pCt. bezeichnen. Liegt der Slip außerhalb dieser Grenzen, dann ist der Nutzeffekt des Propellers im Allgemeinen kein guter. Man konstruirt deshalb im Allgemeinen so, daß bei den häufigsten Gangarten der Maschine der Slip in diesen Grenzen liegt. Bei den wechselnden Geschwindigkeiten der Kriegsschiffe ist aber ein zeitweises Ueberschreiten dieser Grenzen unvermeidlich. Beispielsweise ist zuweilen bei einem und demselben Torpedoboot der Slip bei forcirter Fahrt etwa 15 pCt. größer als bei der Marschfahrt mit 12 sm.

Der Slip ist im Allgemeinen bei langsamer und mittlerer Fahrt eines Schiffes am kleinsten und steigt sowohl bei weiterer Verringerung als auch bei weiterer Erhöhung der Fahrt. Ferner, je größer der Schraubendurchmesser und je kleiner die Schraubensteigung ist, desto kleiner ist der Slip. Man darf jedoch mit der Vergrößerung des Durchmessers und mit der Verkleinerung der

Steigung nicht zu weit gehen, weil alsdann durch die Reibung der Schraube im Wasser zu viel Arbeitsverlust entsteht. Besonders groß wird der Slip, und dementsprechend ungünstig der Propeller-Nutzeffekt, wenn Kriegsschiffe mit mehreren Schrauben auf langsamen Fahrten nur mit einem Theil der Schrauben arbeiten, einerseits weil in diesem Falle die Größe des bezw. der arbeitenden Propeller für die Größe des Schiffskörpers nicht ausreicht, andererseits wegen des Wasserwiderstandes, welchen die nicht arbeitenden, frei rotirenden Schrauben erzeugen. Dreischraubenschiffe haben, wenn sie mit der Mittelschraube allein arbeiten, häufig über 30 pCt. Slip. Bei einem schleppenden Schiff ist selbstverständlich der Slip größer als bei einem frei fahrenden.

3. Arbeitsverluste.

Würde die gesammte, auf die Propellerwelle übertragene Arbeit der Schiffsmaschine zur Fortbewegung des Schiffes verwendet, dann wären an dem Propeller keine Arbeitsverluste vorhanden, und der Nutzeffekt des Propellers wäre = 1. In Wirklichkeit geht aber ein Theil der auf die Propellerwelle übertragenen Arbeit für die Fortbewegung des Schiffes verloren.

Bei einer Schraube entstehen diese Arbeitsverluste durch den Slip, durch Reibung der Schraube im Wasser, durch Centrifugalbewegung des Wassers und durch Wirbelbildungen im Wasser. Der Slip ist jedoch insofern nicht als reiner Verlust aufzufassen, als, wenn das Wasser nicht auswiche, das Schiff also um die Größe des Slips schneller führe, auch eine entsprechend größere Maschinenleistung erforderlich wäre. Die Reibung wächst mit dem Radius und mit der Flügelfläche, weshalb man die Flügel nach dem Umfang hin schmaler macht. Die Centrifugalbewegung des Wassers würde sich nur dadurch vermeiden lassen, daß man die Schraube in einem Rohr arbeiten ließe nach Art eines Turbinen-Propellers, was aus anderen Gründen unvortheilhaft ist. Durch besondere Flügelformen läßt sich die Centrifugalbewegung wohl einschränken, aber das Ideal, Bewegung des Wassers in einem cylindrischen Strom nach hinten, läßt sich durch eine gewöhnliche Schraube nicht erreichen. Die Wasserwirbel sind am stärksten an der Nabe, daher vorzugsweise von der Form der Nabe abhängig.

Bei einem Schaufelrad treten ähnliche Arbeitsverluste ein, nur haben wir hier keine Centrifugalbewegung, dafür aber Arbeitsverluste durch ungleichförmige und verschiedene Geschwindigkeit der verschiedenen Punkte der Radschaufeln in horizontaler Richtung durch das Wasser.

B. Schrauben.

1. Form der Schrauben.

a) Mathematische Schraubenform. Denkt man sich um einen geraden Cylinder ein rechtwinkeliges Dreieck, dessen eine Kathete = dem Umfang des Cylinders ist, so herumgelegt, daß die andere Kathete der Cylinderachse parallel ist, so bildet die Hypotenuse eine Schraubenlinie. Das herumgelegte Dreieck

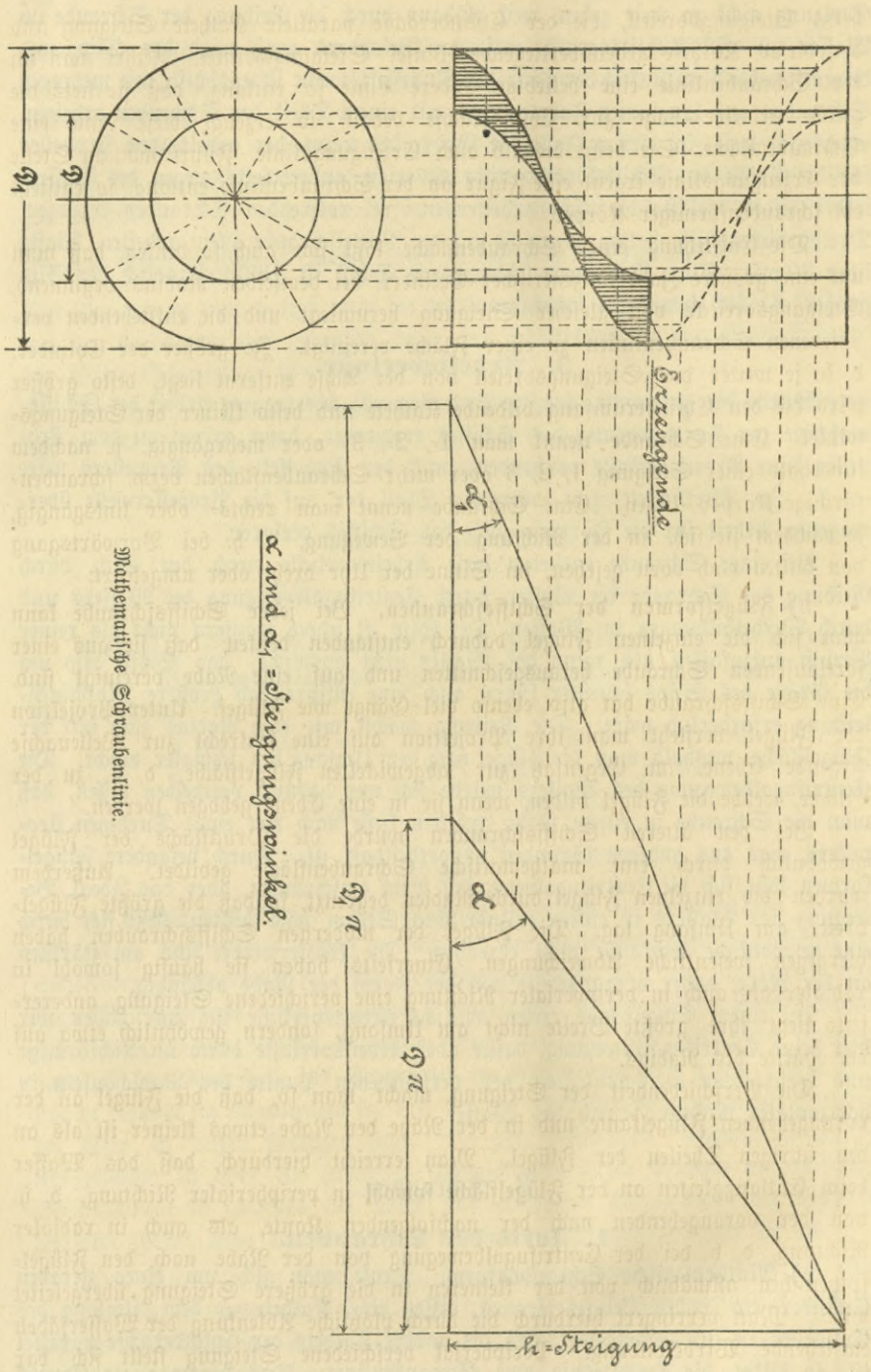


Fig. 51.

Mathematische Schraubenlinie.

α und α_1 = Steigungswinkel.

heißt Steigungsdreieck, die der Cylinderachse parallele Kathete Steigung und der dieser Kathete gegenüberliegende Winkel Steigungswinkel. Führt man an der Schraubenlinie eine beliebige andere Linie so entlang, daß sie stets die gleiche relative Lage zur Cylinderachse behält, so erzeugt diese Linie eine Schraubenfläche. Sie heißt deshalb auch Erzeugungslinie. Führt man an Stelle der Erzeugungslinie irgend eine Figur an der Schraubenlinie entlang, so entsteht ein schraubenförmiger Körper.

Die Entstehung einer Schraubenfläche läßt sich auch so denken, daß man um eine größere Zahl konzentrischer Cylinder, bei demselben Radius beginnend, Steigungsdreiecke von gleicher Steigung herumlegt und die entstehenden verschiedenen Schraubenlinien zu einer Fläche vereinigt. Je größer der Cylinder, d. h. je weiter das Steigungsdreieck von der Achse entfernt liegt, desto größer wird die den Cylinderumfang bildende Kathete und desto kleiner der Steigungswinkel. Eine Schraube nennt man 1-, 2-, 3- oder mehrgängig, je nachdem innerhalb einer Steigung 1, 2, 3 oder mehr Schraubenflächen bezw. schraubenförmige Körper liegen. Eine Schraube nennt man rechts- oder linksgängig, je nachdem sie sich, in der Richtung der Bewegung, d. h. bei Vorwärtsgang von hinten nach vorn gesehen, im Sinne der Uhr dreht oder umgekehrt.

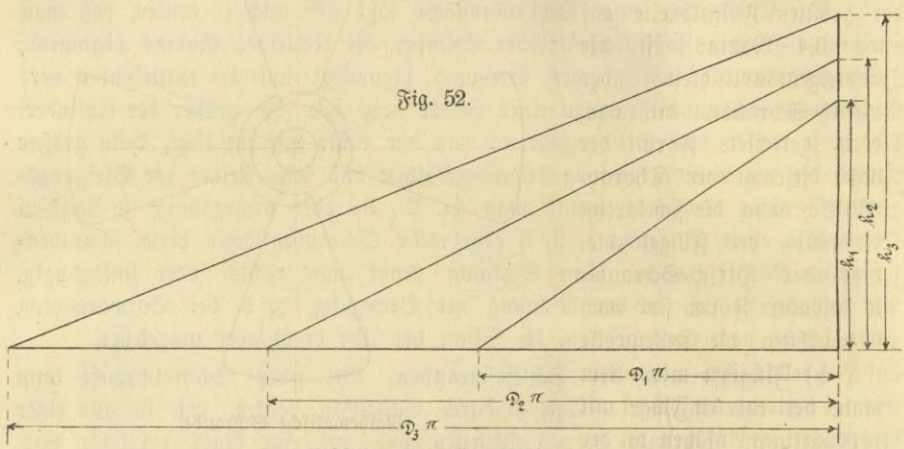
b) Flügelformen der Schiffsschrauben. Bei jeder Schiffsschraube kann man sich die einzelnen Flügel dadurch entstanden denken, daß sie aus einer fortlaufenden Schraube herausgeschnitten und auf eine Nabe vereinigt sind. Eine Schiffsschraube hat also ebenso viel Gänge wie Flügel. Unter Projektion der Flügel versteht man ihre Projektion auf eine senkrecht zur Wellenachse liegende Ebene, im Gegensatz zur abgewickelten Flügelfläche, d. h. zu der Fläche, welche die Flügel bilden, wenn sie in eine Ebene gebogen werden.

Bei den älteren Schiffsschrauben wurde die Druckfläche der Flügel gewöhnlich durch eine mathematische Schraubenfläche gebildet. Außerdem wurden die einzelnen Flügel durch Radien begrenzt, so daß die größte Flügelbreite am Umfang lag. Die Flügel der modernen Schiffsschrauben haben hiergegen wesentliche Abweichungen. Einerseits haben sie häufig sowohl in radialer als auch in peripherialer Richtung eine verschiedene Steigung, andererseits liegt ihre größte Breite nicht am Umfang, sondern gewöhnlich etwa auf der Hälfte des Radius.

Die Verschiedenheit der Steigung macht man so, daß die Flügel an der vorangehenden Flügelkante und in der Nähe der Nabe etwas kleiner ist als an den übrigen Theilen der Flügel. Man erreicht hierdurch, daß das Wasser beim Entlanggleiten an der Flügelfläche sowohl in peripherialer Richtung, d. h. von der vorangehenden nach der nachfolgenden Kante, als auch in radialer Richtung, d. h. bei der Centrifugalbewegung von der Nabe nach den Flügelspitzen hin, allmählich von der kleineren in die größere Steigung übergeleitet wird. Man verringert hierdurch die durch plötzliche Ablenkung der Wasserfäden entstehende Wirbelbildung. Peripherial verschiedene Steigung stellt sich dar durch eine gekrümmte oder gebrochene Form der Hypotenuse des Steigungs-

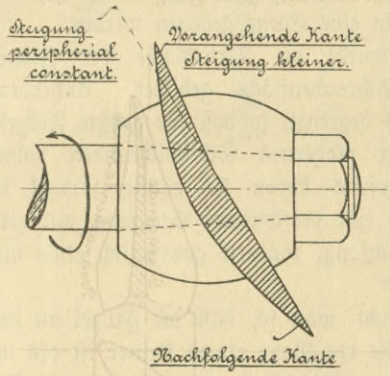
dreiecks, radial verschiedene durch verschiedene Höhe der Steigungsdreiecke. Die wirksame Schraubensteigung (mittlere Steigung auf 0,7 Radius) muß passen zu der Umlaufszahl der Maschine und zu der Schiffsgeschwindigkeit, unter Berücksichtigung des Slips. Zur Verringerung der Wirbelbildung beim Austritt des Wassers am Umfang der Schraube biegt man die Flügelspitzen häufig nach vorn, jedoch nur wenig, weil sonst die Wirkung der Schraube abnimmt.

Fig. 52.



Radial veränderliche Steigung.

Fig. 53.



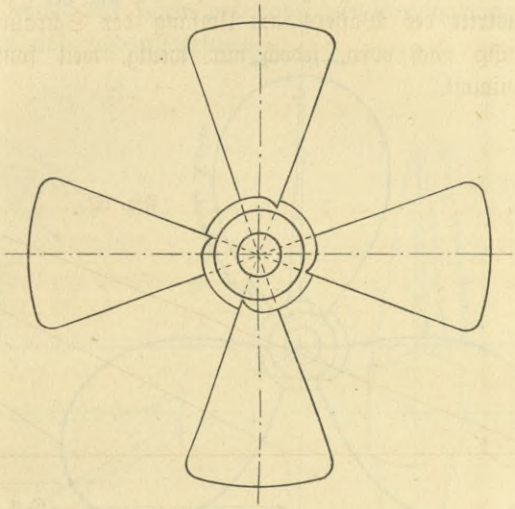
Peripherial veränderliche Steigung.

Die Verlegung der größten Flügelbreite vom Umfange nach etwa 0,4 bis 0,5 Radius von innen bezweckt vor Allem eine Verringerung des Reibungswiderstandes gegen die Drehung; andererseits aber ergiebt sie auch bessere Festigkeitsverhältnisse, indem gleichzeitig das Bruchmoment verringert und der Flügelquerschnitt nach der Nabe zu verstärkt wird.

Außer den vorstehenden Abweichungen einer modernen Schiffsschraube von der rein mathematischen Schraubenform kommen noch andere Flügelformen vor, z. B. schräg nach hinten gerichtete Flügel zur Erzielung einer größeren Entfernung vom Schiffskörper und somit eines besseren Wasserzuflusses, spiralförmig oder sichelförmig in der Richtung der Vorwärtsdrehung gekrümmte Flügel zum besseren Zusammenhalten des Wassers, d. h. zur Verringerung der Centrifugalbewegung u. s. w. Die letztere Form hat für Einschraubenschiffe oder für die Mittelschraube eines Dreischraubenschiffes noch den Vorzug, daß das Wasser energischer gegen das Ruder geworfen, die Ruderwirkung also

erhöht wird. Für den Rückwärtsgang ist der Nutzeffekt dieser Flügelform natürlich sehr schlecht, weil die Centrifugalbewegung des Wassers sehr groß wird. Die erwähnten verschiedenen Schraubenformen benennt man theilweise nach dem Konstrukteur, welcher sie zuerst angewendet hat. Die Verlegung der größten Flügelbreite auf etwa 0,4 Radius ist die Haupteigenthümlichkeit der Griffith-Schraube, die nach hinten gerichtete Form der Flügel diejenige der Thornycroft-Schraube, die sichelartige Krümmung der Flügel diejenige der Hirsch-Schraube. Als besondere Form sind noch zu erwähnen die stellenweise auf Handelsschiffen mit gutem Erfolge verwendeten Flügel mit treppenartigen Ansätzen an der Druckseite zur Verringerung der Centrifugalbewegung des Wassers.

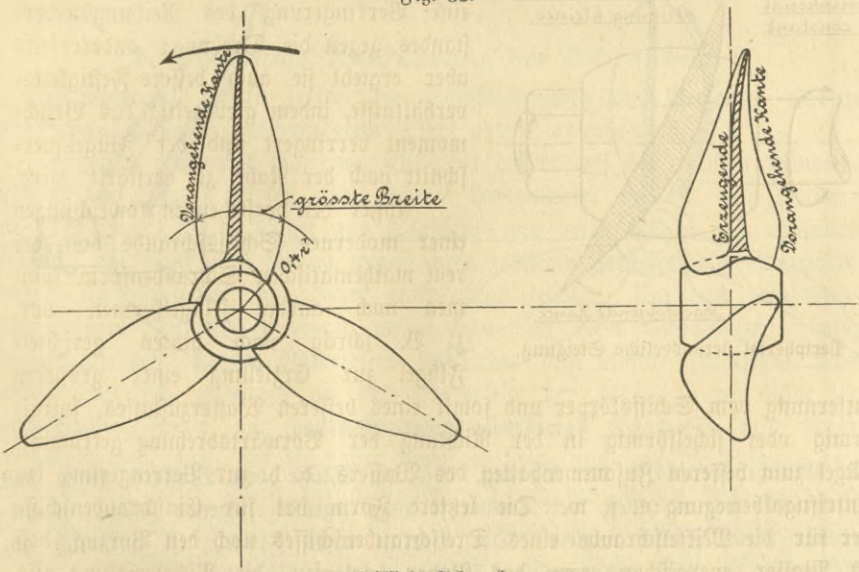
Fig. 54.



Mathematische Schraube.

c) Anzahl der Schraubenflügel. Schiffsschrauben erhalten 2, 3 oder 4 Flügel. In ruhigem Wasser liefert die Schraube mit zwei Flügeln den besten

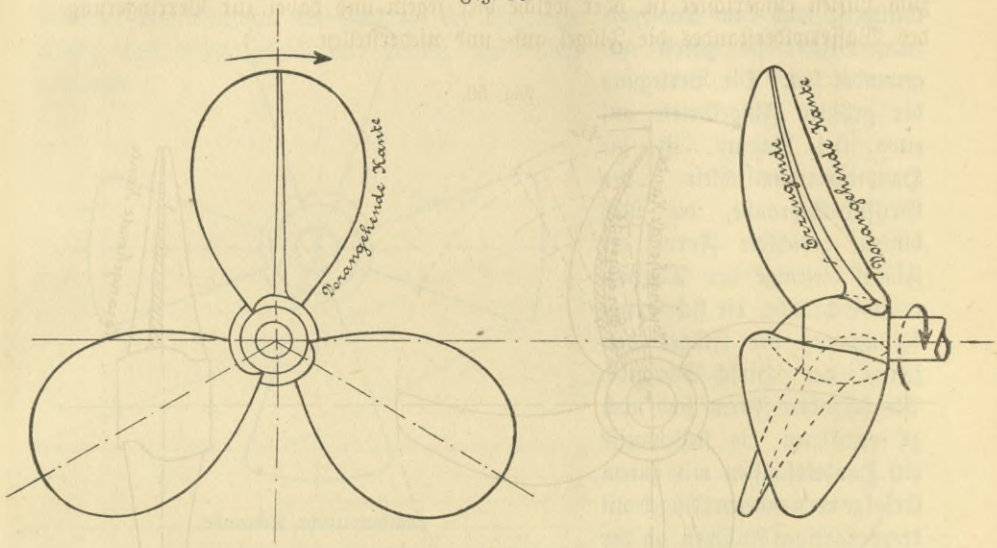
Fig. 55.



Griffiths-Schraube.

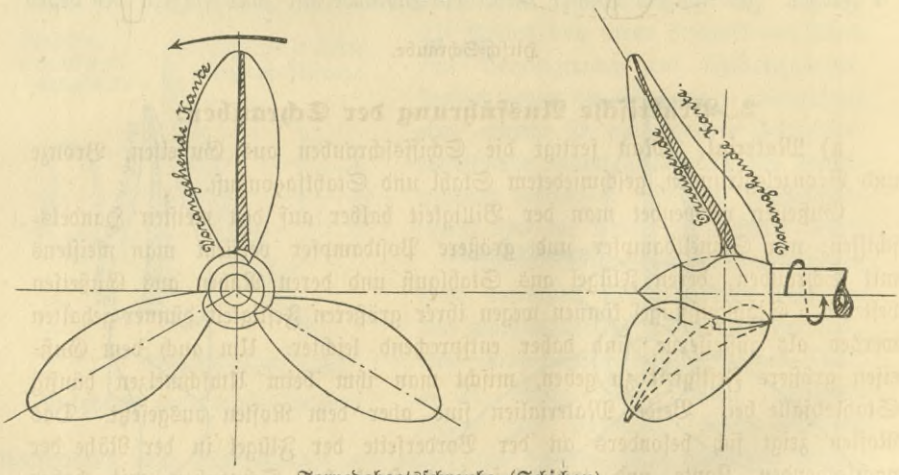
Nutzeffekt. In bewegtem Wasser ist aber eine Schraube mit drei Flügeln vortheilhafter, weil sie gleichmäßiger arbeitet. Schrauben mit vier Flügeln stehen denjenigen mit drei Flügeln im Nutzeffekt ein wenig nach, haben aber

Fig. 56.



Thornycroft-Schraube.

Fig. 57.

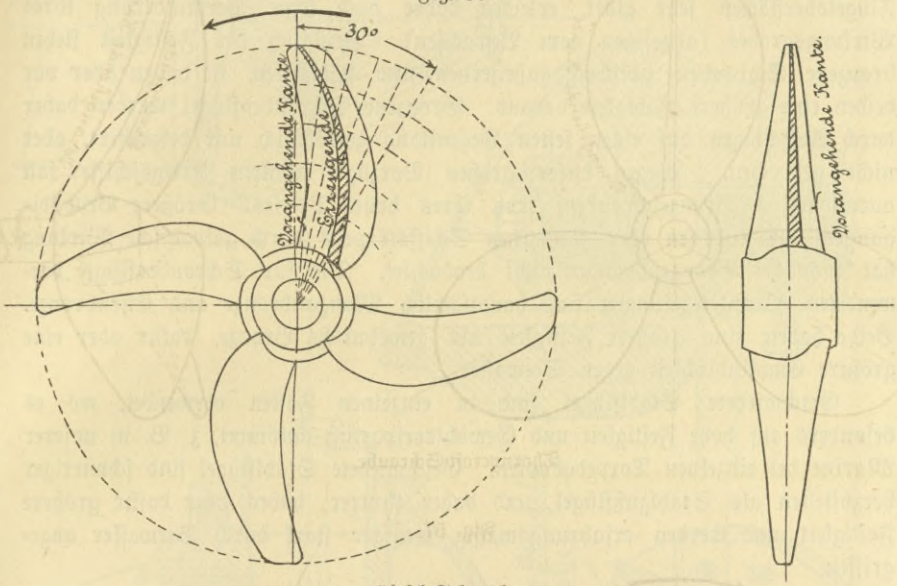


Torpedobootsschraube (Schichau).

für Einschraubenschiffe den Vorzug, daß die Stöße des Wassers gegen das Hinterschiff sich aufheben, weil immer je zwei gegenüberliegende Flügel in entgegengesetztem Sinne wirken. Der Verlust eines Flügels ist natürlich am fühlbarsten bei zwei, am wenigsten fühlbar bei vier Flügeln.

Aus den vorstehenden Gründen versieht man seitlich angeordnete Schrauben allgemein mit drei, mittschiffs angeordnete aber häufig mit vier Flügeln. Schrauben mit zwei Flügeln verwendet man jetzt überhaupt nicht mehr. Sie finden sich nur noch auf einigen älteren Kriegsschiffen, bei welchen die Schraube zum Lüften eingerichtet ist, oder welche viel segeln und dabei zur Verringerung des Wasserwiderstandes die Flügel auf- und niederstellen.

Fig. 58.



Hirsch-Schraube.

2. Praktische Ausführung der Schrauben.

a) Material. Man fertigt die Schiffsschrauben aus Gußeisen, Bronze und Bronzelegirungen, geschmiedetem Stahl und Stahlfaçonguß.

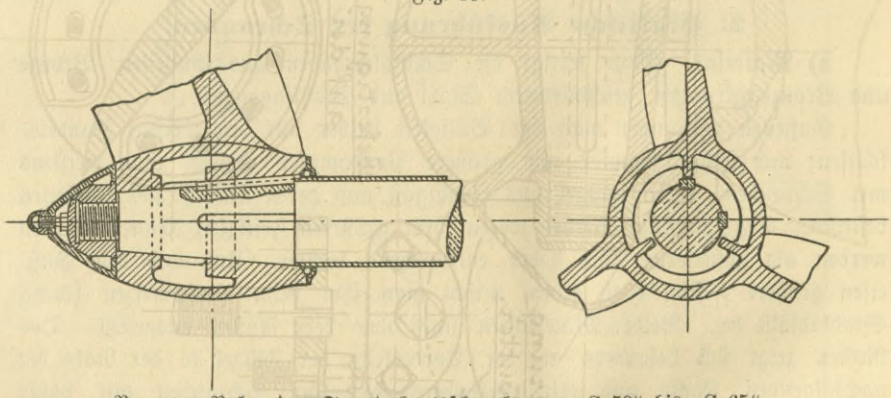
Gußeisen verwendet man der Billigkeit halber auf den meisten Handelsschiffen; nur Schnelldampfer und größere Postdampfer versieht man meistens mit Schrauben, deren Flügel aus Stahlguß und deren Naben aus Gußeisen bestehen. Stahlgußflügel können wegen ihrer größeren Festigkeit dünner gehalten werden als gußeiserne, sind daher entsprechend leichter. Um auch dem Gußeisen größere Festigkeit zu geben, mischt man ihm beim Umschmelzen häufig Stahlabfälle bei. Beide Materialien sind aber dem Rosten ausgesetzt. Das Rosten zeigt sich besonders an der Vorderseite der Flügel in der Nähe der nachfolgenden Kante und tritt besonders stark bei Schrauben mit hoher Umdrehungszahl auf. Es ist daher höchst wahrscheinlich auf die Bildung von Luftblasen an dieser Stelle zurückzuführen. Durch das Rosten wird einerseits die Oberfläche der Flügel rauh, so daß durch vermehrte Reibung Arbeitsverluste entstehen, andererseits nimmt die Bruchgefahr zu. Man sucht deshalb nach

Möglichkeit das Rosten zu verhindern, und zwar gewöhnlich durch einen dauerhaften Anstrich, bei Stahlguß häufig auch durch Verzinnen, durch Plattiren mit Nickelblech oder durch Ueberzüge aus Muntzmetall (Bronzelegirung). Das Ueberziehen der Stahlschrauben mit Gummi ist versucht, hat sich aber nicht bewährt.

Schrauben aus Bronze oder Bronzelegirungen haben vor gußeisernen und stählernen den großen Vorzug, daß sie nicht rosten. Sie laufen sich an den Flügeloberflächen sehr glatt, erleiden daher auch keine Verminderung ihres Wirkungsgrades (abgesehen vom Bewachsen). Bezüglich der Festigkeit stehen bronzene Schrauben zwischen gußeisernen und stählernen, sie haben aber vor beiden eine größere Zähigkeit voraus. Bronzene Schraubenflügel werden daher durch Aufschlagen auf einen festen Gegenstand gewöhnlich nur deformirt, aber nicht gebrochen. Wegen dieser großen Vorzüge erhalten Kriegsschiffe fast ausnahmslos Bronzeschrauben, trotz ihres hohen Preises. Größere Beschädigungen des eisernen oder stählernen Schiffskörpers durch galvanische Wirkung hat man bei Bronzeschrauben nicht beobachtet. Die für Schraubenflügel verwendeten Bronzelegirungen sind hauptsächlich Manganbronze und Eisenbronze. Beide haben eine größere Festigkeit als gewöhnliche Bronze, dafür aber eine größere Empfindlichkeit gegen Seewasser.

Geschmiedete Stahlflügel sind in einzelnen Fällen verwendet, wo es besonders auf hohe Festigkeit und Gewichtsersparniß ankommt, z. B. in unserer Marine bei einzelnen Torpedobooten. Geschmiedete Stahlflügel sind schwieriger herzustellen als Stahlgußflügel, und daher theurer, haben aber dafür größere Festigkeit und werden erfahrungsmäßig weniger stark durch Seewasser angegriffen.

Fig. 59.



Bronzene Nabe einer Torpedobootsschraube von „S 58" bis „S 65".

b) Schraubennabe und Befestigung der Flügel. Die Schraubennabe hat als Grundform die Form einer Kugel oder eines länglichen Rotationskörpers mit einer Abflachung vorn und hinten. Sie ist konisch durchbohrt für das

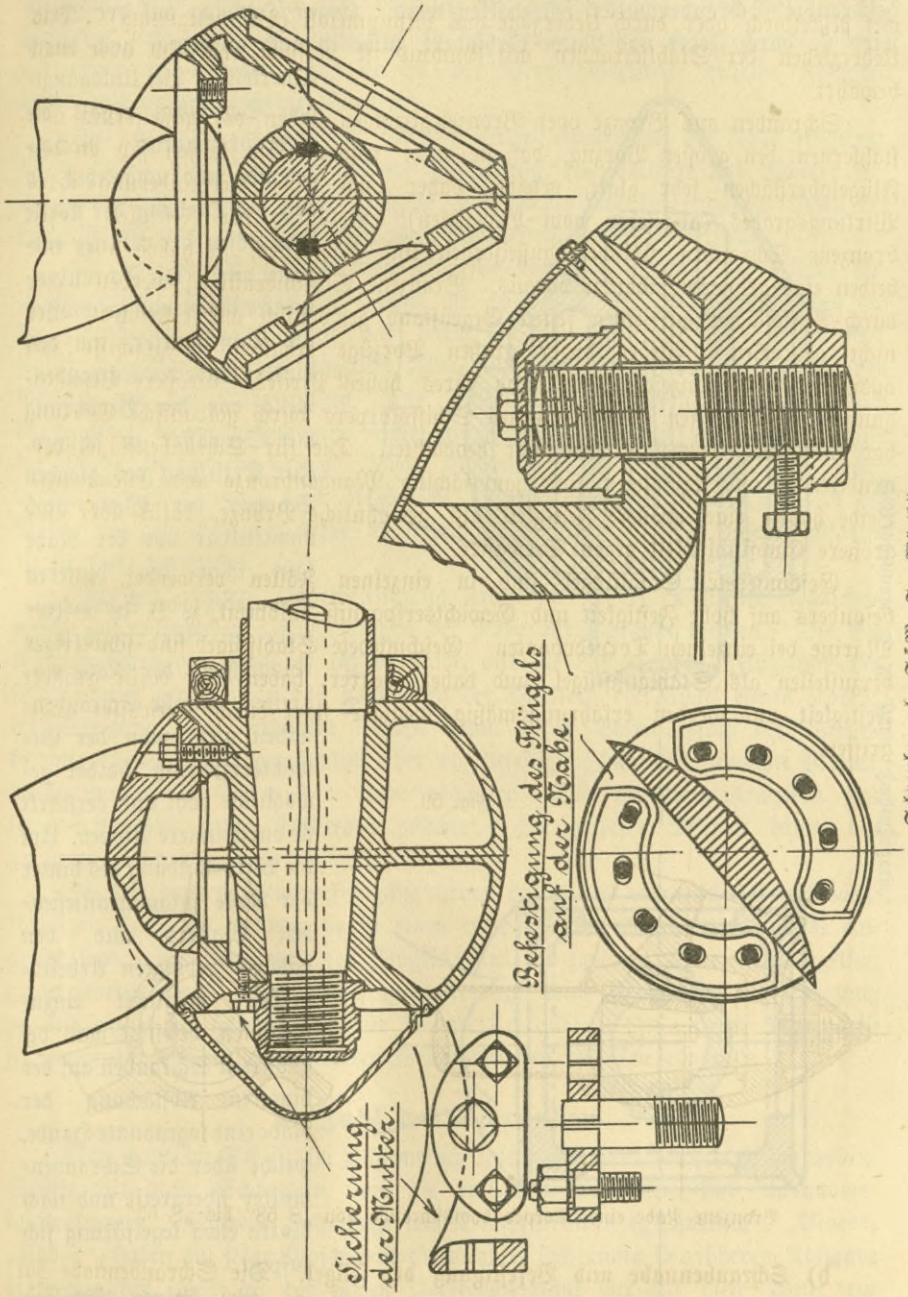


Fig. 60. Schraubennabe S. M. S. „Wörth".

konische Ende der Schraubenwelle, auf welcher sie durch die von hinten vorgeschraubte Schraubenmutter festgehalten wird. Gegen Drehung auf der Welle wird sie durch Feder und Nuthe verhindert, zuweilen auch außerdem noch durch Querkeile. Bei linksgängigen Schrauben erhält die Schraubenmutter Rechtsgewinde und umgekehrt, so daß die Drehung der Welle dem Lösen der Mutter entgegen wirkt. Die Schraubenmutter macht man geschlossen als Kapselmutter, um das hintere Ende der Schraubenwelle vor der Berührung mit Seewasser zu schützen. Zur Erzielung des gleichen Schutzes der Welle auch unmittelbar vor der Nabe läßt man den hinteren Bronzebezug der Schraubenwelle in eine ringförmige Ausdrehung der Nabe eingreifen. Große Schraubennaben gießt man der Gewichtsersparniß halber gewöhnlich hohl und verstärkt sie durch innere Rippen. Um die Wirbelbildung des hinter der Nabe zusammenfließenden Wassers und den dadurch bedingten Arbeitsverlust möglichst einzuschränken, befestigt man bei größeren Schrauben auf der hinteren Abflachung der Nabe eine sogenannte Haube, welche über die Schraubenmutter übergreift und nach hinten etwa kegelförmig sich zuspitzt.

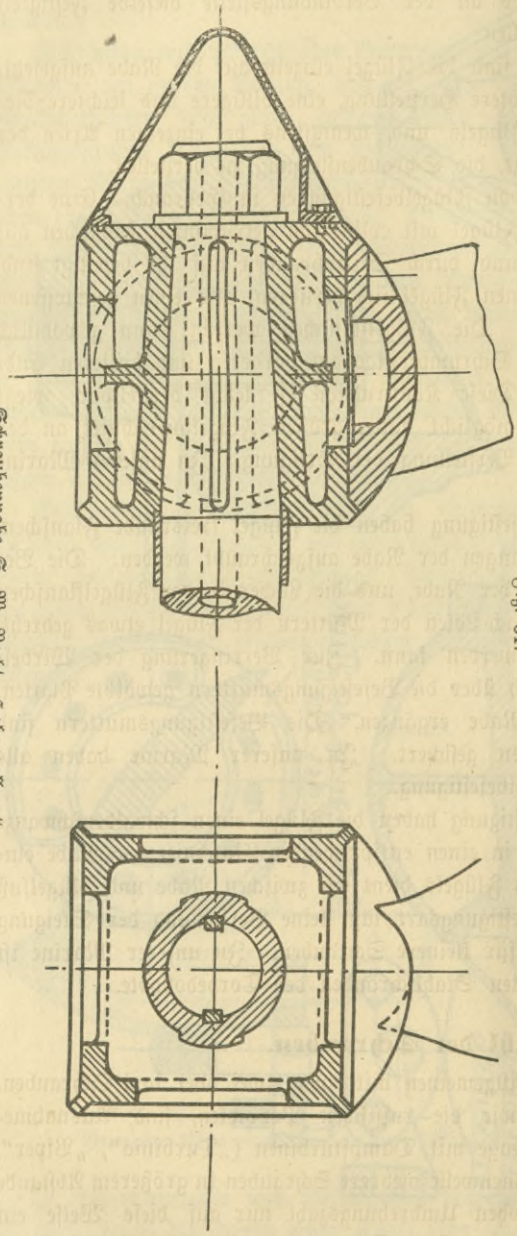


Fig. 61. Schraubennabe S. M. Yacht „Hohenzollern".

Bei kleinen Schiffen und bei Booten sind die Schraubenflügel mit der Nabe aus einem Stück gegossen. Diese Konstruktion fällt am billigsten und leichtesten aus, hat aber

den Nachtheil, daß durch den Verlust eines Flügels die ganze Schraube unbrauchbar wird, wenn sie aus Gußeisen oder Stahl besteht. Nur bei Bronzeschrauben läßt sich unter Umständen an den Stumpf eines abgebrochenen Flügels ein neuer so angießen, daß er an der Verbindungsstelle dieselbe Festigkeit erhält wie an den anderen Stellen.

Bei größeren Schrauben sind die Flügel einzeln auf die Nabe aufgesetzt. Man erzielt hierdurch eine leichtere Herstellung, eine billigere und leichtere Reparatur beim Verlust eines Flügels und, wenigstens bei einzelnen Arten der Flügelbefestigung, die Möglichkeit, die Schraubensteigung zu verstellen.

Es sind drei Hauptarten von Flügelbefestigungen in Gebrauch. Eine derselben besteht darin, daß die Flügel mit cylindrisch gekrümmten Flanschen auf die cylindrische Nabe passen und durch Stiftschrauben auf ihr befestigt sind, wobei die Flanschen der einzelnen Flügel sich berühren, also einen geschlossenen Mantel um die Nabe bilden. Die Flügelflanschen werden dann gewöhnlich durch zwei warm aufgezogene Schrumpfringe am vorderen und hinteren Ende der Nabe zusammengehalten. Diese Konstruktion ist leicht herstellbar, wiegt verhältnißmäßig wenig und ermöglicht einen großen Flügelquerschnitt an der Nabe, sie gestattet aber keine Verstellung der Steigung. In unserer Marine ist sie nicht verwendet.

Bei der zweiten Flügelbefestigung haben die Flügel kreisrunde Flanschen, welche auf entsprechende Abflachungen der Nabe aufgeschraubt werden. Die Befestigungsschrauben sitzen fest in der Nabe, und die Löcher in den Flügelflanschen sind länglich gehalten, so daß nach Lösen der Muttern der Flügel etwas gedreht, die Steigung also verändert werden kann. Zur Verringerung der Wirbelbildung schraubt man gewöhnlich über die Befestigungsmuttern gewölbte Platten, welche die runde Form der Nabe ergänzen. Die Befestigungsmuttern sind selbstverständlich gegen Losdrehen gesichert. In unserer Marine haben alle größeren Schrauben diese Flügelbefestigung.

Bei der dritten Flügelbefestigung haben die Flügel einen schwalbenschwanzförmigen Fuß, mit welchem sie in einen entsprechenden Einschnitt der Nabe eingesetzt sind. Zum Festsetzen des Flügels dient ein zwischen Nabe und Flügelfuß eingetriebener Keil. Diese Befestigungsart läßt keine Verstellung der Steigung zu und eignet sich hauptsächlich für kleinere Schrauben. In unserer Marine ist sie verwendet bei den geschmiedeten Stahlschrauben der Torpedoboote.

3. Zahl der Schrauben.

Man baut die Schiffe im Allgemeinen mit einer, zwei oder drei Schrauben. Schiffe mit mehr Schrauben, wie die russischen Popowken, sind Ausnahmekonstruktionen. Schnelle Fahrzeuge mit Dampfturbinen („Turbinia", „Viper", „Cobra") haben auf jeder Maschinenwelle mehrere Schrauben in größerem Abstande hintereinander, weil bei der hohen Umdrehungszahl nur auf diese Weise ein genügender Wasserzufluß zu den einzelnen Schrauben zu erreichen ist. Bei den gewöhnlichen Maschinenanlagen stimmt die Zahl der Schrauben überein mit der

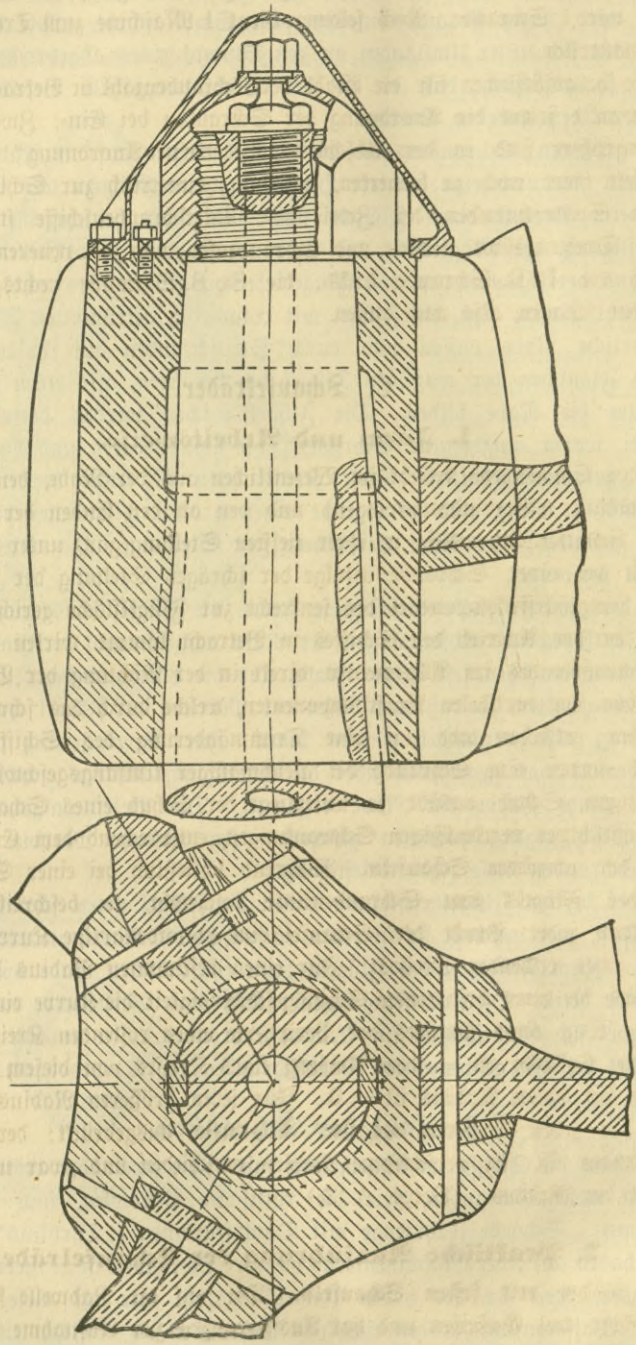


Fig. 62.

Schraubennabe mit schwalbenschwanzförmig eingesetzten Flügeln.
Torpedoboote „S 75" bis „S 81".

Zahl der Maschinen. Seltener dienen zwei zusammengekuppelte Maschinen zum Treiben von 1 Schraube. Noch seltener dient 1 Maschine zum Treiben von zwei Schraubenwellen.

Die hauptsächlichen für die Wahl der Schraubenzahl in Betracht kommenden Gesichtspunkte sowie die Anordnung der Schrauben bei Ein-, Zwei- und Dreischraubenschiffen sind in dem Abschnitt „Allgemeine Anordnung" erwähnt. Es bleibt hier nur noch zu bemerken, daß die symmetrisch zur Schiffsmitte angeordneten Seitenschrauben der Zwei- und Dreischraubenschiffe stets entgegengesetzten Drehungssinn haben, und zwar macht man bei neueren Schiffen gewöhnlich die B. B.-Schraube links-, die St. B.-Schraube rechtsgängig. Die Schrauben schlagen also nach außen.

C. Schaufelräder.

1. Form und Arbeitsweise.

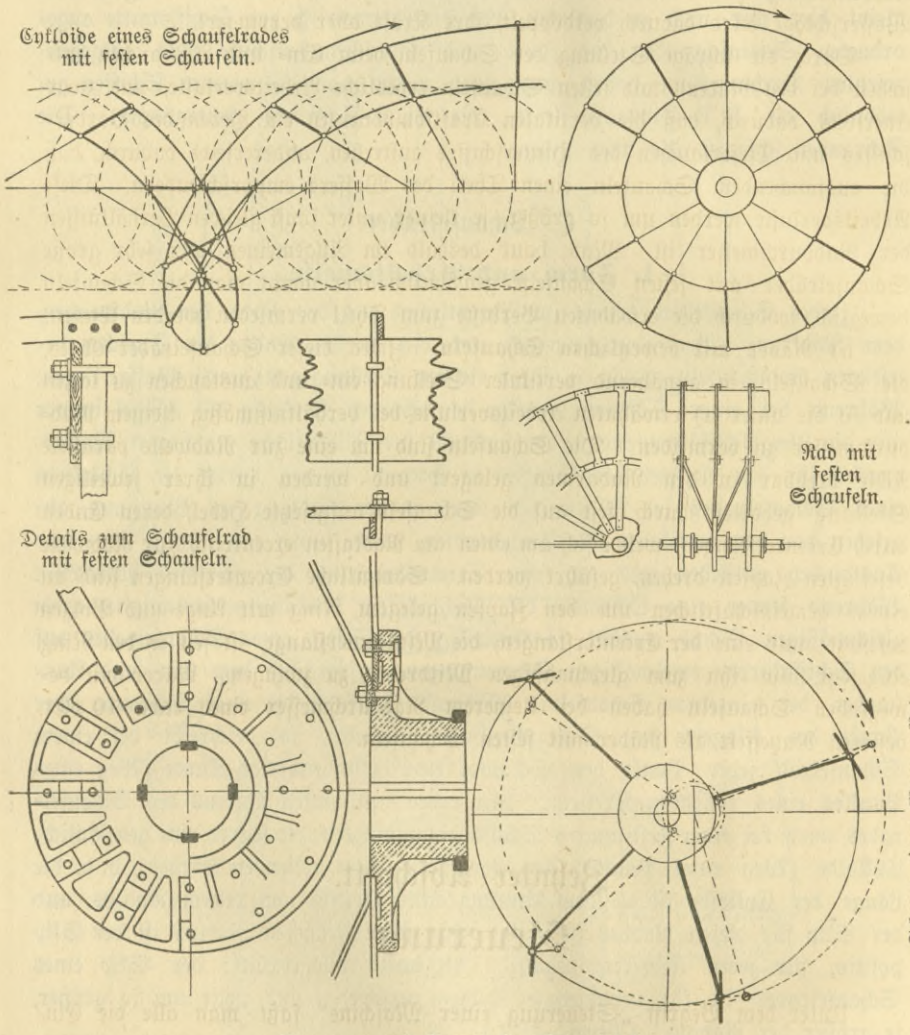
Jedes Schaufelrad besteht im Wesentlichen aus der Nabe, den Radspeichen, dem Radkranz (Verbindungsringen) und den an den Enden der Speichen befestigten Radschaufeln, welche in ihrer tiefsten Stellung ganz unter Wasser liegen. Während bei einer Schraube infolge der schrägen Stellung der Flügel immer nur die Längsschiffskomponente des senkrecht zur Flügelfläche gerichteten Wasserdruckes für den Antrieb des Schiffes in Betracht kommt, wirken die Schaufeln eines Schaufelrades im Allgemeinen direkt in der Richtung der Bewegung, abgesehen von den vertikalen Kraftkomponenten, welche durch das schräge Ein- und Austauchen entstehen und auf eine Trimmänderung des Schiffes hinwirken. Während ferner eine Schraube bei gleichmäßiger Umfangsgeschwindigkeit einen gleichmäßigen Schub ausübt, so unterliegt der Schub eines Schaufelrades auf den Schiffskörper regelmäßigen Schwankungen, entsprechend dem Ein- und Austauchen der einzelnen Schaufeln. Während schließlich bei einer Schraube jeder Punkt des Flügels eine Schraubenlinie beschreibt, so beschreibt bei einem Schaufelrad jeder Punkt der Schaufel eine cykloidenartige Kurve (Weg eines Punktes eines rollenden Kreises). Für einen bestimmten Radius des Schaufelrades wird bei einer bestimmten Schiffsgeschwindigkeit die Kurve eine gewöhnliche Cykloide (Weg eines Punktes der Peripherie eines rollenden Kreises), d. h. die Länge der Cykloide ist = dem Umfang eines Kreises von diesem Radius, und der Slip für diesen Radius ist = 0. Für jeden größeren Radius ist der Slip positiv, für jeden kleineren negativ. Allgemein ausgedrückt: der Slip eines Schaufelrades ist für verschiedene Radien verschieden und zwar um so größer, je größer der Radius. (Vergl. A. 2.)

2. Praktische Ausführung der Schaufelräder.

a) Räder mit festen Schaufeln. Die auf die Radwelle fest aufgekeilte Nabe besteht aus Gußeisen und hat Aussparungen zur Aufnahme der Radarme oder Radspeichen. Letztere, aus Flacheisen hergestellt, sind mit der Nabe ver-

schraubt und häufig zur Erzielung einer kürzeren Nabe nach beiden Seiten gespreizt und untereinander durch Diagonalverbindungen versteift. Je nach der Breite und Größe des Schaufelrades ist jede Schaufel an zwei oder drei oder vier nebeneinander liegenden Radarmen befestigt. An der Innen- und Außen-

Fig. 63.



Bewegung und Bauart der Schaufelräder.

kante der Radschaufeln sind die Radarme durch die ebenfalls aus Flacheisen hergestellten Verbindungsringe oder Radkränze verbunden. Auf diese Weise wird der auf einen Radarm kommende Wasserdruck auch auf die übrigen übertragen, und werden die zwischen den äußeren und inneren Verbindungsringen liegenden

Radschaufeln vor Beschädigung geschützt. Die aus zähem Holz (meist Ulmenholz) oder aus Eisenblech hergestellten Radschaufeln von rechteckigem Querschnitt mit abgerundeten Ecken stehen mit ihrer Fläche radial und sind gewöhnlich durch Hakenschrauben an den Radarmen befestigt. Zur Verringerung des Stoßes beim Aufschlagen auf das Wasser ordnet man jede Schaufel auch in zwei Hälften treppenförmig an beiden Seiten des betreffenden Radarmes an. Die Zahl der Wasserschläge wird dadurch verdoppelt, ihre Kraft aber verringert.

Durch die schräge Stellung der Schaufeln beim Ein- und Austauchen entstehen bei den Rädern mit festen Schaufeln erhebliche Arbeitsverluste, und zwar einerseits dadurch, daß die vertikalen Kraftkomponenten ein Heben des Vorderschiffes und Tiefertauchen des Hinterschiffes anstreben, andererseits dadurch, daß die austauchenden Schaufeln einen Theil des Wassers emporschleudern. Diese Arbeitsverluste werden um so größer, je kleiner unter sonst gleichen Verhältnissen der Raddurchmesser ist. Man baut deshalb im Allgemeinen nur sehr große Schaufelräder mit festen Schaufeln, gewöhnlich aber macht man die Schaufeln beweglich, wodurch die erwähnten Verluste zum Theil vermieden werden können.

b) Räder mit beweglichen Schaufeln. Zweck dieser Schaufelräder ist es, die Schaufeln in annähernd vertikaler Stellung ein- und austauchen zu lassen und so die unter a) erwähnten Arbeitsverluste bei verhältnißmäßig kleinem Raddurchmesser zu vermeiden. Die Schaufeln sind um eine zur Radwelle parallele Achse drehbar in den Radarmen gelagert und werden in ihrer jeweiligen Stellung gehalten durch fest auf die Schaufeln aufgesetzte Hebel, deren Enden durch Excenterstangen, welche sich um einen am Radkasten excentrisch zur Radwelle befestigten Zapfen drehen, geführt werden. Sämmtliche Excenterstangen sind an einem gemeinschaftlichen um den Zapfen gelegten Ring mit Auge und Bolzen befestigt; nur eine der Excenterstangen, die Mitnehmerstange, ist fest in den Ring eingesetzt, um ihn zum gleichmäßigen Mitdrehen zu zwingen. Räder mit beweglichen Schaufeln haben bei kleinerem Raddurchmesser einen etwa 10 pCt. besseren Nutzeffekt als Räder mit festen Schaufeln.

Zehnter Abschnitt.

Steuerung.

Unter dem Begriff „Steuerung einer Maschine" faßt man alle die Einrichtungen zusammen, welche dazu dienen, den Dampf in der beabsichtigten Weise abwechselnd auf die beiden Cylinderseiten zu vertheilen. Diese Einrichtungen liegen theils innerhalb, theils außerhalb der Schieberkasten (innere und äußere Steuerung). Die innere Steuerung besteht bei Landmaschinen häufig aus Hähnen oder Ventilen (Präzisionssteuerungen), bei Schiffsmaschinen stets aus Schiebern. Es werden deshalb hier nur die Schiebersteuerungen erklärt.

A. Wirkungsweise der Schiebersteuerung mit Excenterantrieb.

1. Einfacher Muschelschieber.

a) Allgemeines. Von dem Schieberspiegel gehen 3 Kanäle ab, die beiden äußeren nach den beiden Enden des Cylinders, der mittlere nach dem Kondensator bezw. nach dem folgenden Receiver. Der mittlere Kanal kommunizirt stets mit der inneren Höhlung des Muschelschiebers, ist also durch den letzteren stets von dem Eintrittsraum des Schieberkastens getrennt. Die äußeren Kanäle verbinden die Enden des Cylinders je nach der Stellung des Schiebers mit dem Eintrittsraum des Schieberkastens oder mit der inneren Höhlung des Muschelschiebers. Im ersteren Falle tritt durch den betreffenden Kanal frischer Dampf vom Schieberkasten in den Cylinder, im letzteren Falle tritt durch denselben verbrauchter Dampf aus dem Cylinder durch die Schiebermuschel in den Kondensator bezw. in den folgenden Receiver. In der Mittelstellung des Schiebers sind die beiden äußeren Kanäle durch die Schieberlappen, d. h. durch die flachen Enden des Muschelschiebers, bedeckt. In jedem Falle wird also der Schieberkasten durch den Schieber in zwei getrennte Räume, den Dampf-Ein- und Austrittsraum, getheilt und durch die hin- und hergehende Bewegung des Schiebers jeder der beiden äußeren Kanäle abwechselnd mit dem einen oder anderen Raum in Verbindung gesetzt.

b) Grundform der Schiebersteuerung. Dieselbe, gewöhnlich Normalsteuerung genannt, besteht aus einem Muschelschieber, dessen äußere und innere Ueberdeckungen $= 0$ sind und dessen Antriebsexcenter einen Voreilungswinkel $\delta = 0$ hat, d. h. in der Mittelstellung des Schiebers decken die beiden Schieberlappen die äußeren Kanäle im Schieberspiegel gerade zu, und die Excentrizität geht der Kurbel genau um 90° voran. Voreilungswinkel δ ist derjenige Winkel, um welchen die Excentrizität der Kurbel mehr vorangeht als 90°.

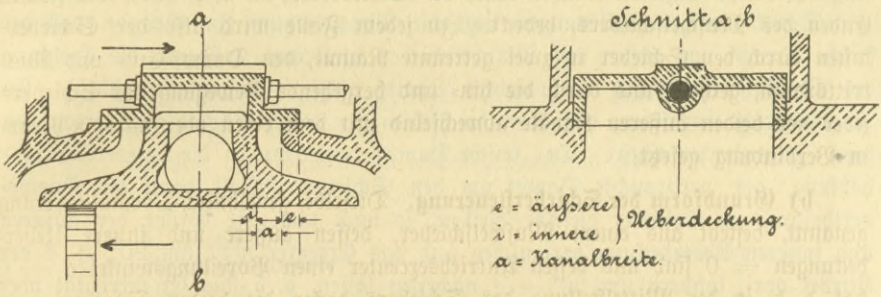
Aus Vorstehendem folgt, daß während eines ganzen Kolbenhubes der Schieber zwei halbe Hübe in verschiedener Richtung und während eines ganzen Schieberhubes der Kolben zwei halbe Hübe in verschiedener Richtung zurücklegt, daß der Kolben in der Mitte steht, wenn der Schieber an einem Ende steht, und umgekehrt, daß der Schieber sich schnell bewegt, wenn der Kolben sich langsam bewegt, und umgekehrt, und schließlich, daß während der größten Geschwindigkeit des Kolbens der Ein- und Austrittskanal am weitesten geöffnet ist. Der Einfachheit halber ist hierbei sowohl die Pleuel- als auch die Excenterstange als unendlich lang angenommen, d. h. der Einfluß der schrägen Stellungen vernachlässigt.

Es ist klar, daß bei dieser Normalsteuerung nur Dampf-Ein- und Austritt abwechselt, denn bei der geringsten Auslenkung des Muschelschiebers aus der Mittelstellung wird auf der einen Cylinderseite der Eintritt, auf der anderen der Austritt geöffnet. Es findet also weder auf dem Kolbenhingange Expansion und Voraustritt, noch auf dem Kolbenrückgange Kompression und Voreintritt

statt, und das Dampfdruckdiagramm ist ein Rechteck. Eine solche Dampfvertheilung eignet sich nicht für Schiffsmaschinen, weil sie einerseits die Expansionskraft des Dampfes nicht ausnutzt, andererseits keinen ruhigen Gang liefert. Aus diesem Grunde muß man die Form und Bewegung des Normalschiebers so abändern, daß die Dampfvertheilung den wirthschaftlichen und praktischen Anforderungen genügt.

c) Schieber mit Voreilung und Ueberdeckung. Wie früher bei der Arbeit des Dampfes beschrieben, muß der Ein- und Austrittskanal vor dem Ende des Kolbenhubes geschlossen werden, ersterer, um die Expansionskraft des Dampfes auszunutzen, letzterer, um durch Kompression des im Cylinder verbleibenden Dampfes den wirthschaftlichen Nachtheil des schädlichen Raumes zu verringern und den Hubwechsel zu mildern. Das frühere Schließen beider Kanäle läßt sich durch zwei verschiedene Mittel erreichen, entweder durch Verbreiterung der Schieberlappen nach beiden Seiten, d. h. durch Einführung einer äußeren und

Fig. 64.



Einfacher Muschelschieber.

inneren Ueberdeckung ohne Aenderung der Schieberbewegung, oder durch gleichzeitige Vergrößerung des Voreilungswinkels ($\delta > 0$), d. h. durch Aenderung der Schieberbewegung. Die Einführung einer äußeren Ueberdeckung bewirkt einen früheren Schluß des Eintrittskanales, die Einführung einer inneren Ueberdeckung einen früheren Schluß des Austrittskanales, die Einführung eines positiven Voreilungswinkels (Vorwärtsstellen der Excentrizität oder Schieberkurbel) beides gleichzeitig, oder allgemein ausgedrückt, eine Verfrühung sämmtlicher Abschnitte der Dampfvertheilung.

Eine einfache Ueberlegung zeigt, daß durch Verbreiterung der Schieberlappen allein eine brauchbare Dampfvertheilung nicht erzielt wird, sondern daß beide Mittel gleichzeitig angewendet werden müssen. Würde man nämlich ohne Aenderung der Schieberbewegung nur eine äußere und innere Ueberdeckung einführen, so könnte man zwar ohne Weiteres die gewünschten Expansions- und Kompressionsverhältnisse erzielen, jedoch würde sowohl der Eintritts- als auch der Austrittskanal erst geöffnet werden, nachdem der Kolben einen Theil des Hubes zurückgelegt hat, nämlich ebenso viel später, wie er früher geschlossen wird, während für eine gute Dampfausnutzung und einen ruhigen Gang im Gegentheil

Voreintritt und Voraustritt erforderlich ist (äußere und innere lineare Voreilung). Vereinigt man aber mit der Einführung einer äußeren und inneren Ueberdeckung die Einführung eines positiven Voreilungswinkels, so kann man vorstehenden Uebelstand vermeiden. Da die Vergrößerung des Voreilungswinkels den Beginn der Expansion und Kompression in gleichem Sinne beeinflußt wie die Einführung einer äußeren und inneren Ueberdeckung, die Expansion aber stets bei einem kleineren Theile des Kolbenhubes beginnen muß als die Kompression, so muß die innere Ueberdeckung kleiner sein als die äußere. Häufig ist sie = 0 oder bei großem Voreilungswinkel sogar negativ.

Die Veränderung des Voreilungswinkels allein ohne Aenderung der Form des Normalschiebers kann natürlich zwar den Beginn des Dampf-Ein- und Austritts beeinflussen, aber niemals Expansion oder Kompression erzeugen, weil die nach den Cylinderenden führenden Kanäle bei einem Normalschieber in demselben Moment, in welchem ihre Verbindung mit dem Eintrittsraum des Schieberkastens aufhört, mit dem Austrittsraum desselben in Verbindung treten und umgekehrt.

Den bisherigen Erklärungen liegt die Voraussetzung zu Grunde, daß der frische Dampf von außen den Muschelschieber umströmt, während die Höhlung des Muschelschiebers den verbrauchten Dampf ableitet (Außenkantenschluß). Es ist aber leicht einzusehen, daß man die Rollen der beiden Räume auch vertauschen kann (Innenkantenschluß). Der frische Dampf tritt dann in die innere Schieberhöhlung, der verbrauchte Dampf um den Schieber. Soll dann die Dampfvertheilung im Cylinder dieselbe bleiben, so muß man die Größe der äußeren und inneren Ueberdeckung vertauschen und das Excenter nicht um $90° + \delta$ der Kurbel vor-, sondern um $90° - \delta$ nacheilen lassen, d. h. die Excentrizität oder Schieberkurbel um 180° versetzen. Ob man Außen- oder Innenkantenschluß verwendet, hängt von den äußeren Verhältnissen (Form und Lage der Receiver, Anordnung der Dampfrohre u. s. w.) ab. Bei Innenkantenschluß muß der Schieber ein Rundschieber sein, weil ein Flachschieber abklappen würde, oder der Schieber muß, wenn er Flachschieber ist, gegen Abklappen besonders gesichert sein.

Häufig kommt man auch in die Lage, den Schieberkasten nicht über die Kurbelwelle, sondern seitlich vom Cylinder anordnen zu müssen, so daß zwischen Excenterstange und Schieberstange ein Hebel eingeschaltet werden muß. Ist dieser Hebel zweiarmig und gleicharmig, so muß man, wenn an der Dampfvertheilung nichts geändert werden soll, das Excenter ebenso wie beim Innenkantenschluß um 180° versetzen.

Die vier Größen: Schieberhub, Voreilungswinkel, äußere Ueberdeckung und innere Ueberdeckung nennt man auch die Elemente der Schiebersteuerung, weil durch sie die Dampfvertheilung im Cylinder bestimmt ist.

Eine genaue Untersuchung der Dampfvertheilung für eine zu bauende Maschine, d. h. Feststellung der für eine bestimmte Kanalweite und bestimmte Dampfvertheilung erforderlichen Größen der Schieberelemente, ist nur mit Hülfe

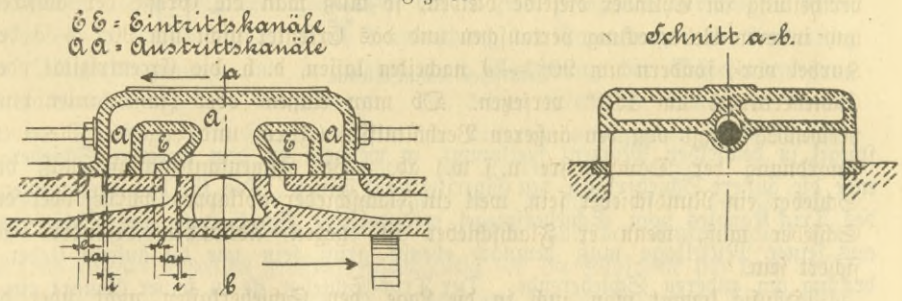
von Schieberdiagrammen möglich, auf welche hier nicht eingegangen wird, weil es der Zweck des Buches nicht erfordert. Es sei nur noch bemerkt, daß die endliche Länge (Ausschlagwinkel) der Pleuelstange einen erheblichen Einfluß auf die Dampfvertheilung ausübt und daher bei der Konstruktion der Steuerung und beim Justiren des Schiebers berücksichtigt werden muß, während der Einfluß der endlichen Länge der Excenterstangen gering ist und daher im Allgemeinen vernachlässigt werden kann. Der Unterschied der beiden Einflüsse beruht auf der Verschiedenheit der Verhältnisse $\frac{\text{Pleuelstangenlänge}}{\text{Kurbelradius}}$ und $\frac{\text{Excenterstangenlänge}}{\text{Excentrizität}}$.

2. Schieber für größere Maschinen.

Der unter 1. in seiner Wirkung beschriebene einfache Muschelschieber wird nur für kleinere Maschinen verwendet. Für größere eignet er sich weniger, weil bei einer einzigen Kanalöffnung für jede Cylinderseite der Schieberhub verhältnißmäßig groß sein müßte, um einen genügenden Querschnitt für den Dampfdurchgang herzustellen. Man verwendet deshalb zur Verringerung des Schieberhubes bei großen Maschinen Schieber, welche für den Dampf-Ein- oder Austritt gleichzeitig mehrere Kanäle öffnen.

a) Muschelschieber mit doppeltem Ein- und Austritt. Derselbe, nach seinem Erfinder Penn'scher Schieber genannt, gleitet auf einem Schieberspiegel mit fünf Kanälen, von welchen die beiden äußeren an jeder Seite sich zu einem

Fig. 65.

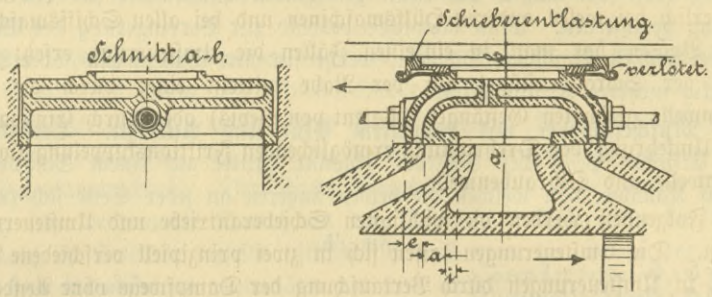


Penn'scher Muschelschieber.

gemeinschaftlichen nach dem Cylinderende führenden Kanal vereinigen, während der mittlere ebenso wie beim einfachen Muschelschieber nach dem Kondensator oder folgenden Receiver führt. Entsprechend den doppelten Kanälen, hat der Schieber an jedem Ende zwei Lappen mit gleicher äußerer und gleicher innerer Ueberdeckung. An den inneren Lappen muß der Schieber so geformt sein, daß der frische Dampf für die inneren Kanäle von der Höhlung des Muschelschiebers getrennt bleibt. Dies ist erreicht durch eingegossene, an den Seiten des Schiebers offene Kammern, welche mit dem Eintrittsraum des Schieberkastens dauernd kommuniziren. Aus diesem Grunde kann der Penn'sche Schieber nur als Flach-, nicht als Rundschieber gebaut werden.

b) Schieber mit Hülfskanal. Derselbe, nach seinem Erfinder Trick'scher Schieber genannt, unterscheidet sich im Prinzip von dem Penn-Schieber dadurch, daß er nur für den Eintritt, aber nicht für den Austritt zwei Oeffnungen freigiebt, und daß die zweite Oeffnung für den Eintritt nicht durch einfache Verdoppelung der Kanäle und Schieberlappen erfolgt, sondern durch einen durch die Muschelform des Schiebers von einem Ende bis zum anderen durchgehenden Hülfskanal, welcher während des Dampfeintritts an der Eintrittsseite direkt in den Eintrittskanal des Schieberspiegels mündet und an dem anderen Schieberende mit dem Eintrittsraum des Schieberkastens kommunizirt. Diese Kommunikation beginnt und endigt gleichzeitig mit dem Oeffnen und Schließen der äußeren Schieberkante am anderen Schieberende, was dadurch erreicht wird, daß der Trick'sche Hülfskanal von dem an beiden Enden scharf abfallenden Schieber-

Fig. 66.



Trick'scher Kanalschieber.

spiegel in demselben Moment freikommt, in welchem an dem anderen Schieberende die äußere Schieberkante den Eintrittskanal öffnet. Die für das Freikommen des Trick-Kanales vom Schieberspiegel erforderliche Verschiebung des Schiebers aus seiner Mittellage muß demnach ebenso groß sein wie die äußere Ueberdeckung am anderen Schieberende. Der Trick-Schieber ist in seiner Bauart einfach und leicht, wirkt besonders vortheilhaft bei schnell laufenden Maschinen und ist bei modernen Schiffsmaschinen sehr viel verwendet, und zwar sowohl als Flach- wie als Rundschieber.

c) Sonstige Schieberformen. Außer den vorstehend beschriebenen Schiebern für größere Maschinen giebt es noch verschiedene andere Konstruktionen, welche alle denselben Zweck verfolgen. Diese Konstruktionen laufen im Prinzip im Allgemeinen auf den Penn- und Trick-Schieber hinaus und sind zum Theil eine Vereinigung beider (Penn-Trick-Schieber). Für moderne Schiffsmaschinen kommen sie weniger in Betracht, weshalb eine genauere Beschreibung ihrer Wirkungsweise hier unterbleibt.

B. Wirkungsweise der verschiedenen Umsteuerungen.

1. Allgemeines.

Im Prinzip muß man unterscheiden zwischen einfachem Schieberantrieb und solchem mit Umsteuerwirkung, d. h. mit einer Einrichtung, mittelst welcher man die Maschinenwelle nach Belieben in der einen oder anderen Richtung umlaufen lassen kann. Letzteres ist natürlich nur möglich durch Umkehrung der Dampfwirkung im Cylinder. Bei mehrcylindrigen Maschinen muß die Dampfwirkung aller Cylinder umgekehrt werden, was man auf einfache und schnelle Weise dadurch erreicht, daß man die Umsteuerungseinrichtungen der einzelnen Cylinder durch einen gemeinschaftlichen Maschinentheil miteinander vereinigt oder zwangläufig verbindet (Umsteuerungswelle).

Eine Umsteuerung ist entbehrlich bei einzelnen Hülfsmaschinen, z. B. Ventilationsmaschinen, Centrifugalpumpen, Dampfdynamomaschinen und dergl., sie ist erforderlich bei vielen anderen Hülfsmaschinen und bei allen Schiffsmaschinen. Nur bei Booten hat man in einzelnen Fällen die Umsteuerung ersetzt durch Umstellen der Schraubenflügel auf der Nabe mittelst eines durch die hohle Schraubenwelle geführten Gestänges (Patent von Bevis) oder durch Einschaltung einer die Umkehrung der Drehrichtung ermöglichenden Friktionskuppelung zwischen Maschinenwelle und Schraubenwelle.

Im Folgenden werden die wichtigsten Schieberantriebe und Umsteuerungen beschrieben. Die Umsteuerungen lassen sich in zwei prinzipiell verschiedene Arten eintheilen, in Umsteuerungen durch Vertauschung der Dampfwege ohne Aenderung der Schieberbewegung und in solche durch Aenderung der Schieberbewegung unter Beibehaltung der Dampfwege. Bei beiden Methoden kommt es darauf an, die Druckseite und Gegendruckseite des Kolbens miteinander zu vertauschen und so eine entgegengesetzte Bewegung des Kolbens zu erzeugen. Selbstverständlich gilt dies nicht für die Todtlagen, denn in diesen ist die der Cylindermitte abgewendete Kolbenseite stets die Druckseite, und der Eintrittskanal stets um das lineare Voreilen geöffnet, gleichgültig, ob die Maschine sich nach rechts oder links dreht. Die Wirkung der Umsteuerung für die Todtlagen des Kolbens besteht nur darin, daß der um das lineare Voreilen geöffnete Eintrittskanal bei richtiger Drehung der Kurbelwelle sich weiter öffnet, bei falscher Drehung sich schließt. Hat die Maschine mehrere gegeneinander versetzte Kurbeln, dann sorgen die nicht in der Todtlage befindlichen Kolben dafür, daß die Maschine sich richtig, d. h. der Einstellung der Umsteuerung entsprechend, dreht.

Jede Umsteuerung hat drei Haupteinstellungen: Größte Kraft voraus, Stopp und Größte Kraft zurück. Zwischen diesen Einstellungen sind andere möglich, bei welchen die Maschine langsamer läuft. Wird durch theilweises Einlegen der Umsteuerung, d. h. durch Einstellen auf eine Zwischenstellung, die Cylinderfüllung verkleinert, was bei Umsteuerungen durch Aenderung der Schieberbewegung stets der Fall ist, dann kann die Umsteuerung gleichzeitig als Expan-

sionssteuerung benutzt werden. Dies ist aber nur in engen Grenzen zweckmäßig, weil bei zu weitem Einlegen der Umsteuerung die übrigen Abschnitte der Dampfvertheilung im Cylinder ungünstige Größen annehmen.

2. Umsteuerung durch Vertauschung der Dampfwege.

Diese Umsteuerung besteht darin, daß durch einen in das Dampf-Ein- und Austrittsrohr eingeschalteten Wechselschieber oder Wechselhahn der Ein- und Austrittsraum des Schieberkastens vertauscht wird. Da hierdurch die augenblickliche Schieberstellung nicht geändert wird, so werden auch die mit den genannten Räumen des Schieberkastens kommunizirenden Räume des Cylinders in demselben Sinne vertauscht, d. h. die Druckseite wird Gegendruckseite, und umgekehrt. Hiernach ist diese Art der Umsteuerung sehr einfach, namentlich wenn man bedenkt, daß man mit einem Wechselschieber oder Wechselhahn mehrere Cylinder zugleich umsteuern kann, ihre Verwendung ist aber sehr beschränkt, wie aus Folgendem hervorgeht.

Bei einem Normalschieber, welcher, wie früher erklärt, in der Todtlage des Kolbens Ein- und Austritt wechselt, ist es ohne Weiteres klar, daß die Dampfwirkung im Cylinder nach erfolgter Umsteuerung genau gleich und entgegengesetzt sein muß wie vorher. Bei einem Schieber mit Voreilung und Ueberdeckung zeigt es sich aber, daß durch diese Art der Umsteuerung eine ungünstige oder unmögliche Dampfvertheilung beim Rückwärtsgange entstehen würde. Denn da dieselbe Schieberkante, welche beim Vorwärtsgange den Eintritt regelt, nach dem Vertauschen der Dampfwege den Austritt regeln würde, so würde, wenn man eine Kolbenseite an der Hand eines Modells oder einer Zeichnung verfolgt, sich umwandeln:

Kolbenhingang	Eintritt in Austritt, Expansion in Kompression, Voraustritt in Nacheintritt,
Kolbenrückgang	Austritt in Eintritt, Kompression in Expansion, Voreintritt in Nachaustritt.

Da ferner die Drehungsrichtung sich umkehrt, so würden aufeinander folgen:

Kolbenhingang: Nachaustritt, Expansion, Eintritt,

Kolbenrückgang: Nacheintritt, Kompression, Austritt,

was selbstverständlich eine unmögliche Dampfvertheilung ist.

Aus Vorstehendem folgt, daß die Umsteuerung durch Vertauschung der Dampfwege auf Normalschieber oder auf Schieber beschränkt ist, welche vom Normalschieber wenig abweichen, d. h. auf einzelne Hülfsmaschinen, welche ungefähr mit voller Füllung und ohne Kompression arbeiten, und bei welchen es auf Dampfersparniß weniger ankommt, als auf sofortiges Anspringen und hohe Kraftäußerung. Die häufigste Anwendung findet die Umsteuerung durch Wechselschieber bei Rudermaschinen, Umsteuerungsmaschinen, Ankerlichtmaschinen, Bootswinden und dergl.

3. Umsteuerung durch Aenderung der Schieberbewegung.

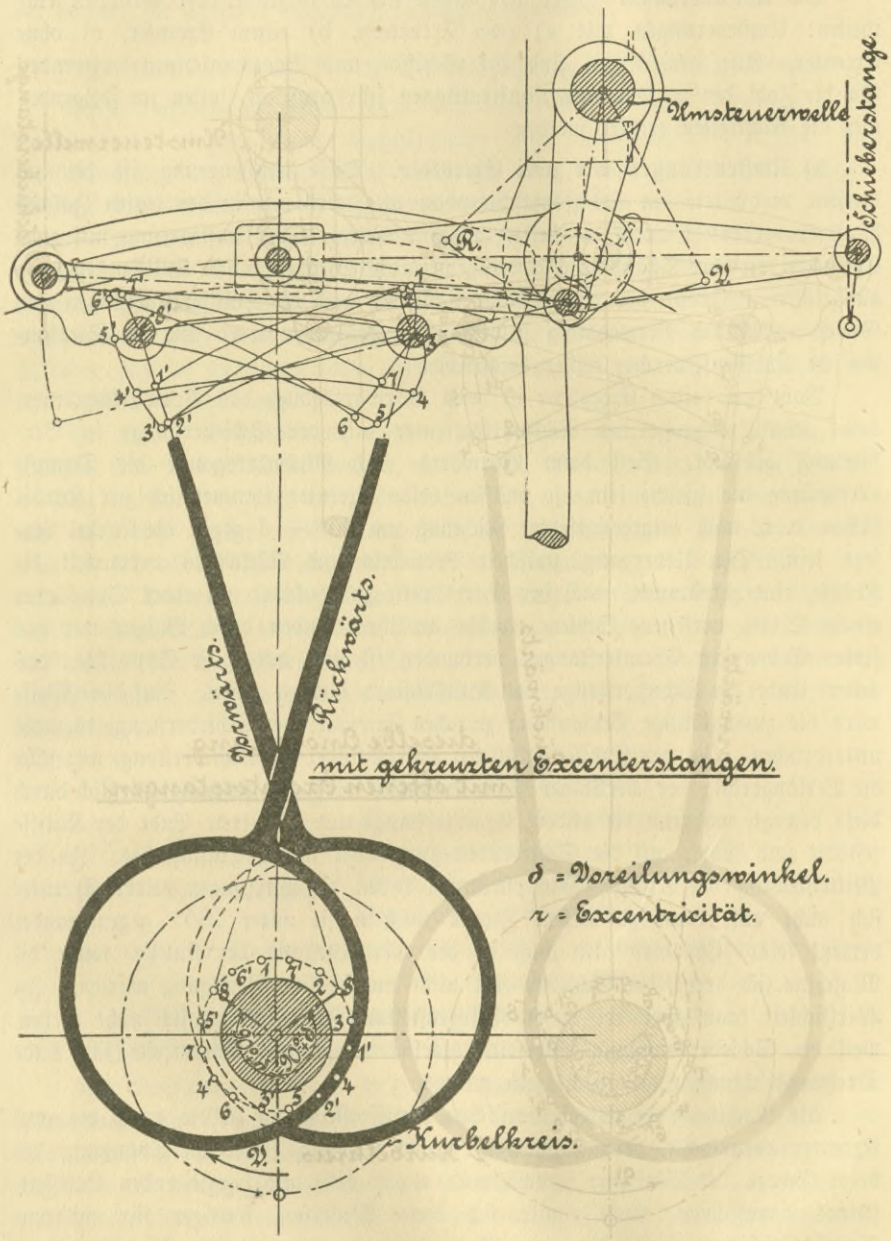
Die Umsteuerungen dieser Art lassen sich in folgende drei Gruppen eintheilen: Umsteuerungen mit a) zwei Excentern, b) einem Excenter, c) ohne Excenter. Alle drei Arten sind bei Schiffs- und Bootsmaschinen verwendet. Da die Zahl der verschiedenen Konstruktionen sehr groß ist, sollen im Folgenden nur die wichtigsten erklärt werden.

a) Umsteuerungen mit zwei Excentern. Diese Umsteuerung ist die am meisten verbreitete im Schiffsmaschinenbau und wird erst in den letzten Jahren häufiger verdrängt durch die beiden anderen Arten. Die Umsteuerung mit zwei Excentern wird bei Schiffsmaschinen allgemein als Stephenson'sche Kulissensteuerung ausgeführt, während bei Landmaschinen vielfach auch die Kulissensteuerungen von Gooch und Allan Verwendung finden. Im Folgenden wird nur die Stephenson'sche Kulissensteuerung näher beschrieben.

Von den beiden Excentern ist beim Vorwärtsgange das Vorwärtsexcenter, beim Rückwärtsgange das Rückwärtsexcenter mit der Schieberstange in Verbindung gebracht. Soll beim Vorwärts- und Rückwärtsgange die Dampfvertheilung die gleiche sein, so müssen beide Excenter symmetrisch zur Kurbel stehen, d. h. nach entgegengesetzter Richtung um $90° + \delta$ gegen die Kurbel versetzt sein. Den Uebergang zwischen Vorwärts und Rückwärts vermittelt die Kulisse, eine gekrümmte, nach der Kurbelwelle zu konkave, mit einer Spur oder einem Schlitz versehene Schiene, welche an ihren Enden durch Bolzen mit den freien Enden der Excenterstangen verbunden ist und mit ihrer Spur über das untere Ende der Schieberstange, den Kulissenstein, hinweg gleitet. Auf diese Weise wird die zwangläufige Verbindung zwischen Excenter und Schieberstange niemals unterbrochen. In den Endstellungen der Kulisse bildet die Schieberstange ungefähr die Verlängerung der wirksamen Excenterstange, wird also fast ausschließlich durch diese bewegt, während die andere Excenterstange nur das freie Ende der Kulisse festhält und führt, auf die Schieberbewegung aber wenig Einfluß hat. In der Mittelstellung der Kulisse (Stoppstellung) heben die Wirkungen beider Excenter sich nicht auf, denn zu diesem Zwecke müßten sie unter 180° gegeneinander versetzt sein. Es wird also auch in der Mittelstellung der Kulisse, wenn die Maschine sich dreht, der Schieber eine nicht unerhebliche Bewegung machen. In Wirklichkeit kann aber bei dieser Kulissenstellung die Maschine sich nicht drehen, weil die Schieberbewegung einerseits hierfür zu gering, andererseits für beide Drehungsrichtungen die gleiche sein würde.

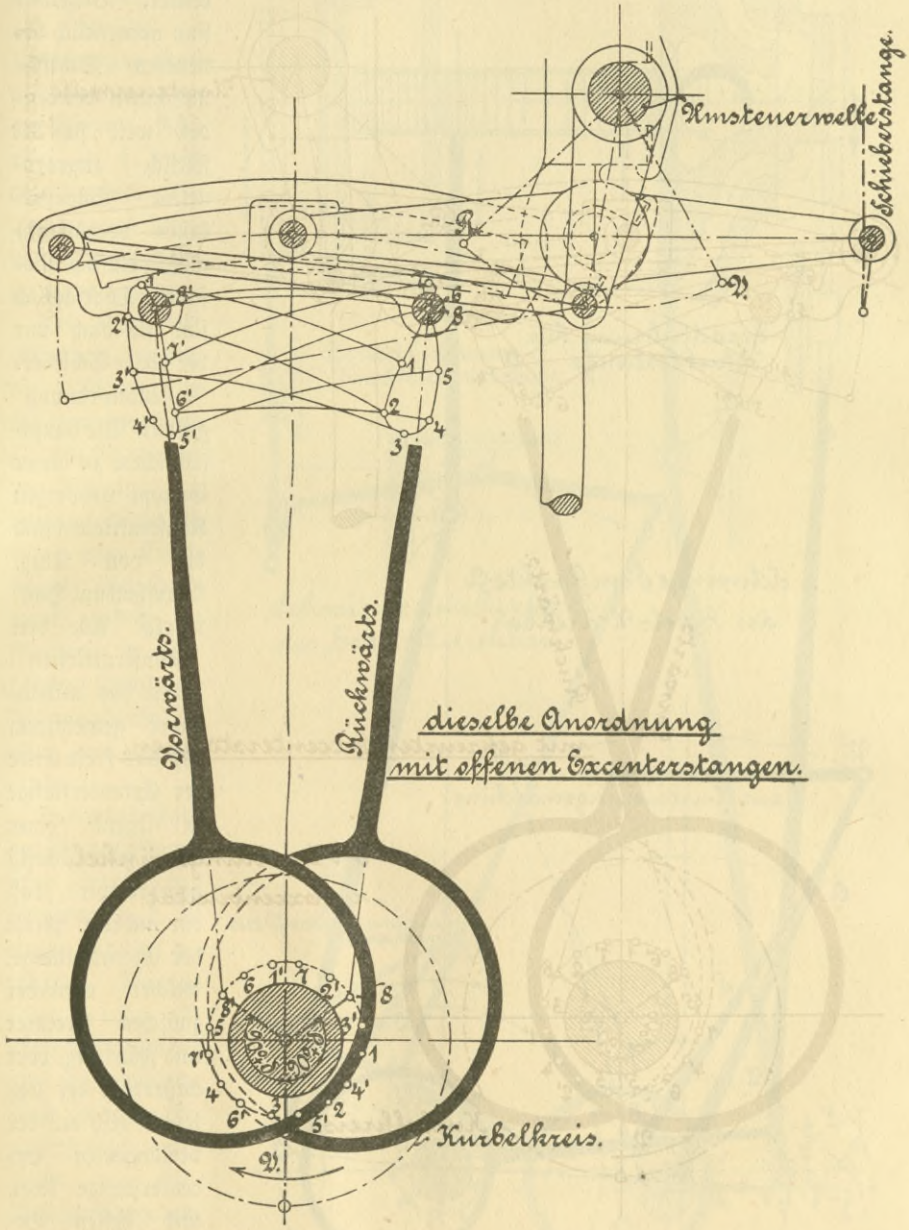
Als Nachtheil der Stephenson'schen Kulissensteuerung ist die durch die zwei Excenter verursachte, verhältnißmäßig große Reibung, sowie die Abnutzung des beim Gange der Maschine fortwährend etwas hin- und hergleitenden Kulissensteines anzuführen. Auch eignet sich diese Steuerung weniger für moderne Schiffsmaschinen, bei welchen zur Vermeidung einer zu großen Maschinenlänge die Schieberkasten seitlich angeordnet sind, weil in diesem Falle Hebelübersetzungen zwischen Kulissenstein und Schieberstange nöthig werden.

Fig. 67 (a).



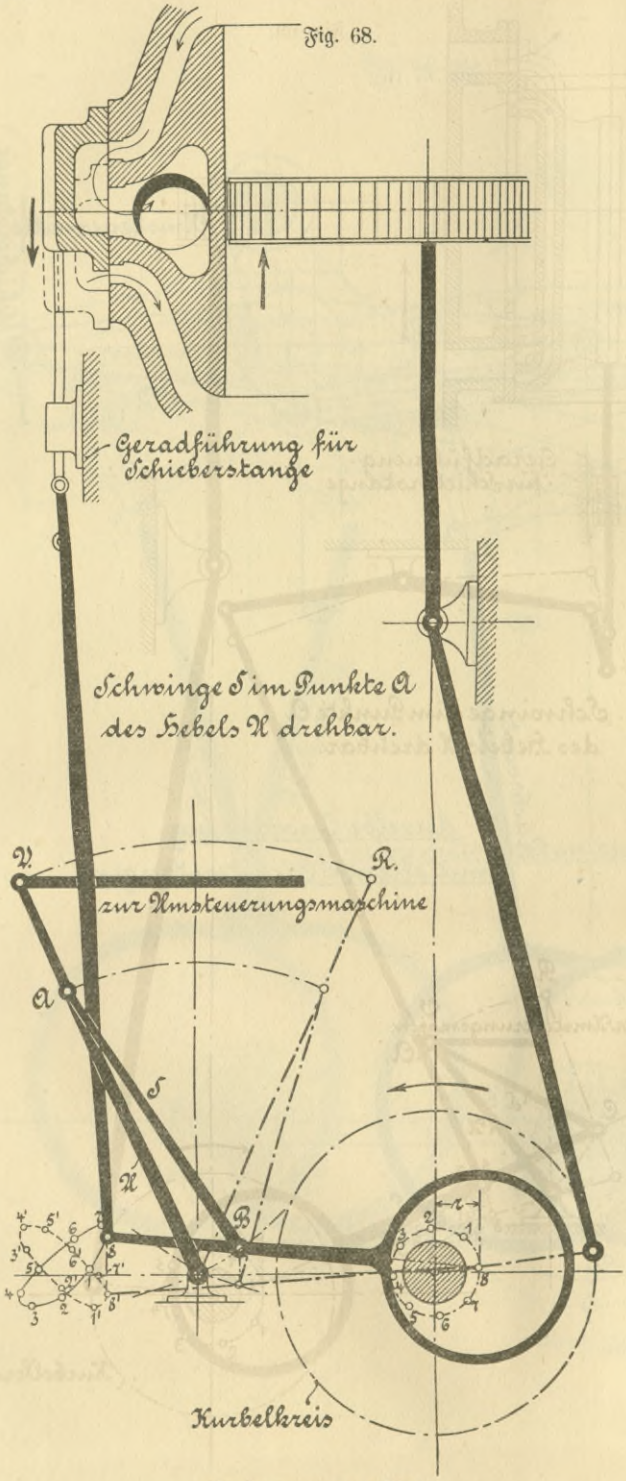
Stephenson'sche Kulissensteuerung

Fig. 67 (b).



mit seitlichem Schieberkasten.

Fig. 68.



Umsteuerung von Klug.

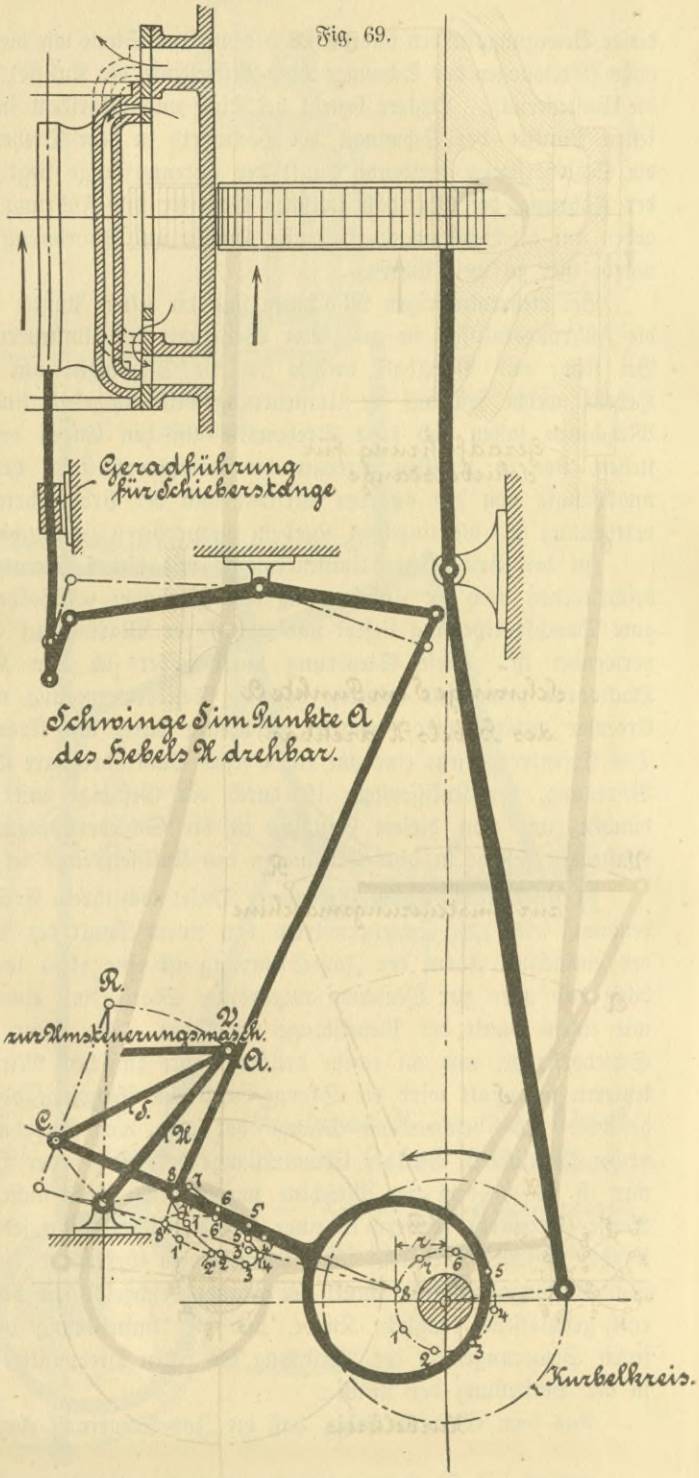
b) Umsteuerung mit einem Excenter. Dieselben sind namentlich bei neueren Schiffsmaschinen verwendet, weil sie bei seitlich angeordnetem Schieberkasten verhältnißmäßig einfach ausfallen. Thatsächlich sind sie auch nur bei dieser Schieberkastenanordnung gebaut. Die hauptsächlichen, zu dieser Gruppe gehörigen Konstruktionen sind die von Klug, Marshall und Hackworth. Alle drei Konstruktionen haben das miteinander gemeinsam, daß das freie Ende der Excenterstange in irgend einer Weise zwangläufig geführt wird, daß ein anderer Punkt der Excenterstange, welcher entweder zwischen Excenter und Führung, oder außerhalb der letzteren, also auf der verlängerten Excenterstange liegt, und dessen Bewegungskurve ein Ergebniß der Excenterbewegung und der Führung

ist, zum Antrieb der Schieberstange benutzt wird, und daß schließlich die Umsteuerung durch Veränderung der erwähnten Führung, d. h. durch eine andere Bewegung des freien Endes der Excenterstange bewirkt wird.

Bei Klug und Marshall besteht die Führung in einer um einen festen Zapfen sich drehenden Schwinge, die Führungsbahn ist also ein Kreisbogen. Bei Hackworth besteht die Führung in einer geraden Kulisse, die Führungsbahn ist also eine gerade Linie.

Das andere Ende der Excenterstange wird durch das Excenter, d. h. in einem Kreise geführt. Daraus folgt, daß alle übrigen Punkte der als mathematische Linie gedachten Excenterstange, also auch der die Schieberstange antreibende Punkt, sich in länglichen, geschlossenen Kurven bewegen. Die Lage

Fig. 69.



Umsteuerung Marshall-Bremme.

dieser Bewegungskurven ändert sich in demselben Sinne wie die Lage der Führungsbahn (Kreisbogen der Schwinge oder Mittellinie der Kulisse), und hierauf beruht die Umsteuerung. Letztere besteht bei Klug und Marshall in der Verlegung des festen Punktes der Schwinge, bei Hackworth in dem Drehen der Kulisse. Der die Schieberstange treibende Punkt der Excenterstange liegt bei Klug außerhalb der Führung, bei Marshall zwischen Excenter und Führung. Ein näheres Eingehen auf die Bewegungsverhältnisse, Größe und Anordnung der Excentrizität ꝛc. würde hier zu weit führen.

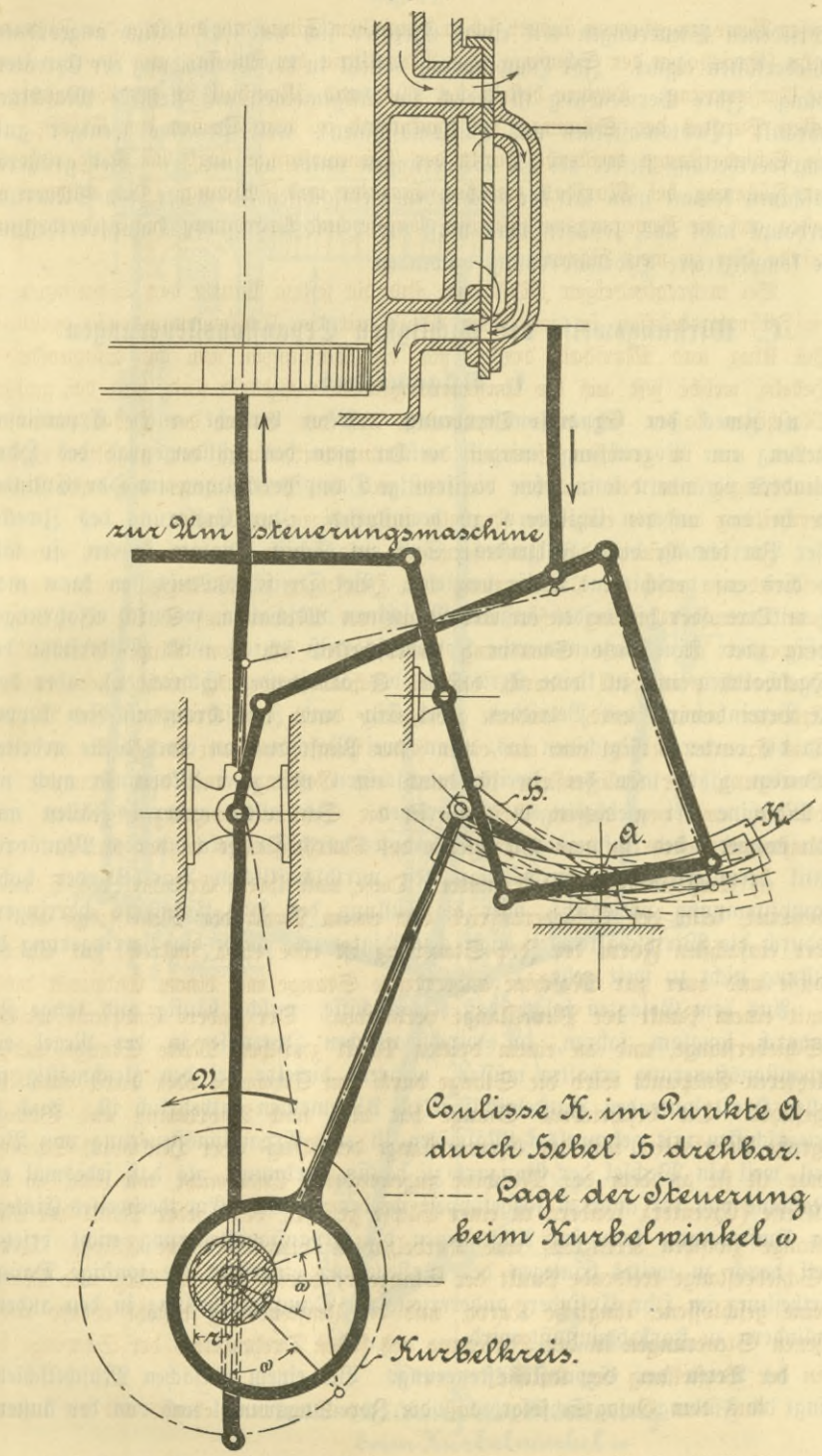
Bei mehrcylindrigen Maschinen sind die festen Punkte der Schwingen oder die Führungskulissen in geeigneter Weise mit der Umsteuerungswelle verbunden. Bei Klug und Marshall drehen sich die Schwingen um die Endpunkte von Hebeln, welche fest auf die Umsteuerungswelle aufgekeilt sind, und bei größeren Maschinen lassen sich diese Drehpunkte auf den Enden der Hebel etwas verstellen, um in gewissen Grenzen die Dampfvertheilung der einzelnen Cylinder unabhängig von den anderen variiren und bei Probefahrten die beste Arbeitsvertheilung auf die einzelnen Kurbeln ausprobiren zu können.

Zu der Gruppe der Umsteuerungen mit einem Excenter gehört außer den beschriebenen noch die Umsteuerung von Heusinger v. Waldegg, welche eine sehr gute Dampfvertheilung liefert und in unserer Marine auf S. M. S. „Pelikan" verwendet ist. Diese Steuerung unterscheidet sich von Klug, Marshall und Hackworth prinzipiell dadurch, daß die Schieberbewegung nicht allein durch ein Excenter bewirkt wird, sondern gleichzeitig durch den Kreuzkopf der Maschine. Das Excenter versetzt eine um einen festen Punkt drehbare Kulisse in oscillirende Bewegung, der Kulissenstein ist durch ein Gestänge mit dem Kreuzkopf verbunden, und von diesem Gestänge ist die Schieberbewegung abgeleitet. Das Umsteuern besteht in dem Verschieben des Kulissensteines in der Kulisse.

c) Umsteuerung ohne Excenter. Diese, nach ihrem Erfinder Joy-Steuerung benannt, leitet den Schieberantrieb von einem Punkt der Pleuelstange ab. Bei der einfachsten Form der Joy-Steuerung ist eine etwa senkrecht zur Cylinderachse und quer zur Maschine angeordnete Stange mit einem Endpunkt drehbar mit einem Punkt der Pleuelstange verbunden. Der andere Endpunkt treibt die Schieberstange, und an einem dritten Punkt zwischen Mitte Stange und dem letzteren Endpunkt wird die Stange durch eine Schwinge oder durch eine Kulisse geführt. Die beschriebene Stange hat also nach Anordnung und Bewegung große Aehnlichkeit mit der Excenterstange der Klug- oder Hackworth-Steuerung, nur ist sie an dem der Maschine zugewendeten Ende nicht, wie jene, in einem Kreise (Excenter), sondern in einer Ellipse geführt, denn jeder Punkt der Pleuelstange zwischen Kreuzkopf und Kurbelzapfen beschreibt eine Ellipse. Der die Schieberstange treibende Punkt der Stange beschreibt wie bei Klug und Marshall eine geschlossene, längliche Kurve, und die Umsteuerung besteht ebenso wie bei jenen Steuerungen in der Verlegung des festen Drehpunktes der Schwinge bezw. in der Verstellung der Kulisse.

Aus dem Gesagten folgt, daß die Joy-Steuerung ebenso wie die unter b)

Fig. 70.



Umsteuerung von Heusinger v. Waldegg, ausgeführt auf S. M. S. „Pelikan".

Ueberdeckung ab. Durch Aenderung jeder dieser drei Größen wird auch die Füllung nach der einen oder anderen Seite geändert. Eine Aenderung des Schieberhubes und des Voreilungswinkels beeinflußt nicht nur die Füllung, sondern gleichzeitig auch alle übrigen Abschnitte der Dampfvertheilung, kann daher als Expansionssteuerung nicht genügen. Eine Aenderung der Ueberdeckung beeinflußt nur das Voröffnen und die Füllung und genügt als Expansionssteuerung bei geringen Grenzen der Füllungsveränderung. Größere Aenderungen der Füllung lassen sich in sachgemäßer Weise nur durch einen besonderen Expansionsschieber erreichen, welcher sich unabhängig von dem Dampfvertheilungsschieber bewegt und nur den Füllungsabschluß beeinflußt. Bei allen neueren Schiffsmaschinen mit besonderem Expansionsschieber gleitet derselbe direkt auf dem für den Dampfeintritt durchbrochenen Dampfvertheilungsschieber (Grundschieber), und zwar bei Flachschiebern auf dem Schieberrücken, bei Rundschiebern im Innern des Vertheilungsschiebers, und die verschiedenen Füllungen entstehen dadurch, daß der Expansionsschieber den Kanal auf dem flachen Rücken bezw. in der inneren cylindrischen Wand des Vertheilungsschiebers früher oder später abschließt.

Für den äußeren Antrieb des Expansionsschiebers genügt ein einfaches Excenter. Dieses muß, damit der Expansionsschieber den Kanal im Grundschieber früher abschließt als der Grundschieber den Kanal im Schieberspiegel, dem Excenter des Grundschiebers voreilen. Soll der Expansionsschieber für Vorwärts und Rückwärts die gleiche Wirkung haben, dann muß das Expansionsexcenter in der Mitte zwischen den beiden Grundschieberexcentern, d. h. um 180° gegen die Kurbel versetzt stehen. Aus dem Voreilen des Expansionsexcenters folgt auch, daß der Expansionsschieber den Kanal im Grundschieber früher öffnet als der Grundschieber den Kanal im Schieberspiegel, mithin der Voreintritt durch den Expansionsschieber nicht beeinflußt wird. Allgemein ergiebt sich die Wirkung jedes Expansionsschiebers aus der relativen Bewegung von Grund- und Expansionsschieber.

2. Bauart der wichtigsten Expansionssteuerungen.

a) Einfacher Schieber mit veränderlicher äußerer Ueberdeckung. Derselbe gestattet, wie unter 1. begründet, nur geringe Füllungsveränderungen. Er wird nur als Rundschieber gebaut und heißt nach seinem Erfinder Rider-Schieber. Die äußeren, den Füllungsabschluß bewirkenden Kanten desselben sind nicht senkrecht zur Schieberstange, sondern schräg, und die Kanäle im Schieberspiegel haben außen dieselbe Schrägheit. Durch Drehen des Schiebers werden seine schrägen Kanten und die entsprechenden schrägen Kanten der Kanäle genähert oder entfernt, wodurch die Füllung verkleinert oder vergrößert wird. Die lineare Voreilung wird im ersteren Falle verkleinert, im letzteren vergrößert. Die Abschrägung des Schiebers und des Kanals im Schieberspiegel ist nicht eine fortlaufende für den ganzen Schieberumfang, sondern mehrfach abgesetzt, so daß der Schieber ausgezackt erscheint. Man erzielt hierdurch kleinere Abmessungen in der Richtung der Schieberstange.

b) Besondere Expansionsschieber mit veränderlicher Ueberdeckung. Diese Konstruktion ist die gebräuchlichste für Schiffsmaschinen, und zwar für moderne

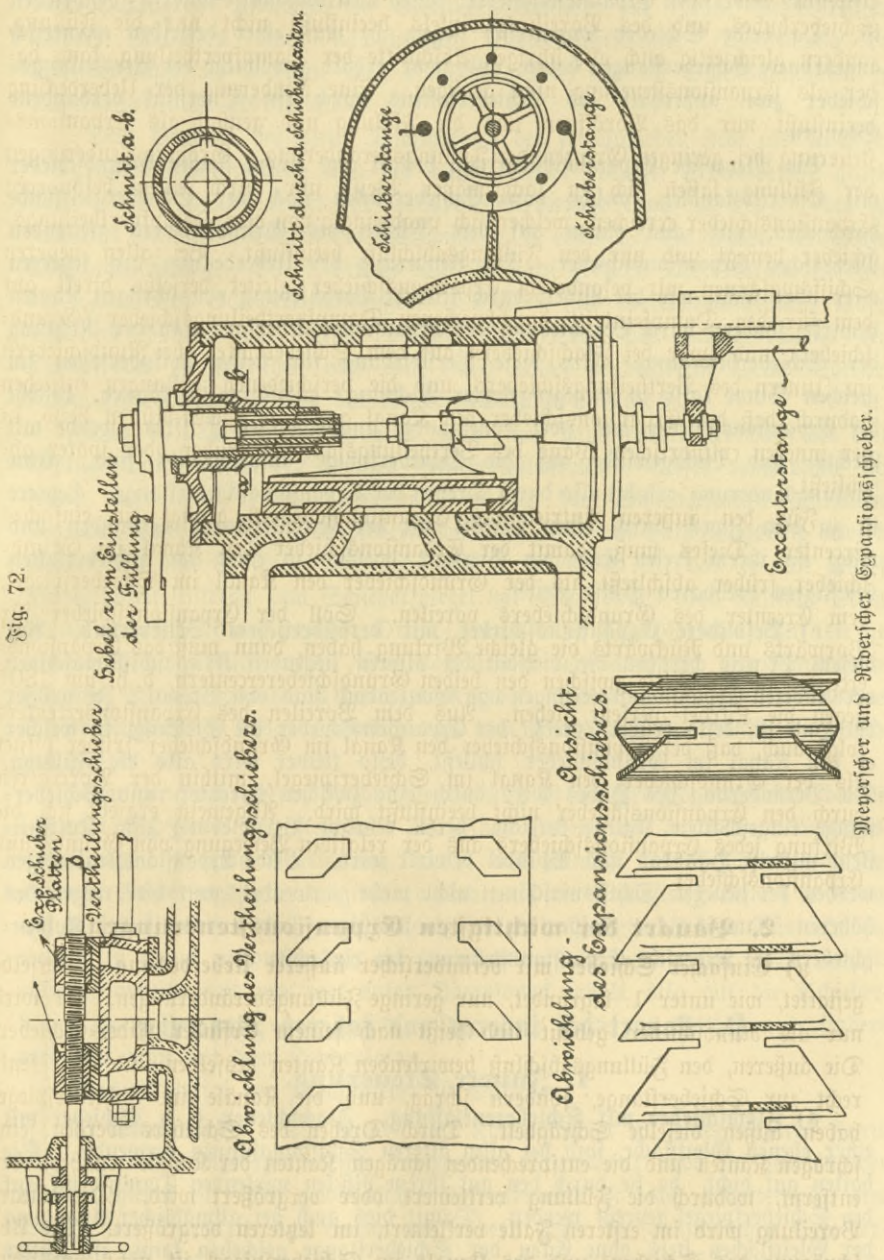


Fig. 72. Meyerscher und Riderscher Expansionsschieber.

Schiffsmaschinen mit hohem Kesseldruck und Rundschiebern als Ridersche, für ältere Maschinen mit niedrigerem Kesseldruck und Flachschiebern als Meyersche Expansionssteuerung.

Die Ridersche Expansionssteuerung besteht nach dem unter 1. Gesagten aus dem runden Grund- oder Vertheilungsschieber und aus dem in demselben gleitenden Riderschen Expansionsschieber, dessen Wirkungsweise unter a) beschrieben ist. Da beide Schieber konzentrisch liegen, so muß einer derselben excentrisch angeordnete Schieberstangen haben, und zwar erhält gewöhnlich der Vertheilungsschieber zwei außerhalb des Schieberkastens durch ein Querstück verbundene Stangen.

Die Meyersche Expansionssteuerung besteht aus einem flachen Grundschieber mit Eintrittskanälen, welche vom Schieberrücken nach der Schiebergleitfläche durchgehen, und aus einem auf dem Rücken des Grundschiebers gleitenden Meyerschen Expansionsschieber. Die Aenderung der Ueberdeckung des letzteren wird aber nicht, wie bei Rider, durch seitliche Verschiebung von schrägen Kanten bewirkt, sondern durch Verschiebung der Expansionsschieberkanten in der Richtung der Schieberbewegung. Um diese Verschiebung für beide Cylinderseiten im gleichen Sinne (also in entgegengesetzter Richtung) ausführen zu können, besteht der Expansionsschieber aus zwei voneinander unabhängigen Hälften, welche mit Rechts- und Linksgewinde auf die Schieberstange aufgeschraubt sind. Eine Füllungsänderung erfolgt also durch Drehen der Expansionsschieberstange. Letztere ist zu dem Zweck durch einen Wirbel mit der Excenterstange verbunden und trägt an ihrem freien Ende ein Vierkant, welches in einer am Schieberkasten befestigten drehbaren Hülse gleitet.

c) **Besondere Expansionsschieber mit veränderlichem Schieberhub.** Auf diesem Prinzip beruhen die vielfach bei älteren liegenden Kriegsschiffsmaschinen verwendeten Expansionssteuerungen von Gonzenbach und von Bréval. Je größer der Hub ist, desto früher erreicht der Expansionsschieber die Stellung, in welcher er den Kanal im Grundschieber schließt, desto kleiner wird also die Füllung. Die Veränderung des Hubes wird durch eine zwischen Excenter- und Schieberstange eingeschaltete Kulisse erreicht, deren relative Verschiebung zum Kulissenstein mittelst Handrad und Spindel bewirkt wird. Beide Expansionssteuerungen werden bei neueren Schiffsmaschinen nicht mehr verwendet, weil hier wegen des höheren Dampfdruckes Kolbenschieber zweckmäßiger sind und weil bei Kolbenschiebern die Ridersche Expansionssteuerung die einfachste ist.

D. Bauart der inneren und äußeren Steuerung.

1. Innere Steuerung.

a) **Flachschieber mit Schieberentlastung.** Flachschieber, d. h. Schieber mit einer ebenen Gleitfläche, sind bei allen älteren Schiffsmaschinen verwendet. Sie halten gut dicht, da sie durch den auf ihrem Rücken wirkenden Dampfdruck auf den Schieberspiegel gepreßt werden. Damit dies auch bei allmählicher Abnutzung der Gleitflächen stets ohne Ecken der Schieberstange geschehen kann, ist letztere nicht starr mit dem Schieber verbunden, sondern so, daß sie sich in dem Schieber senkrecht zur Gleitfläche bewegen, aber nicht in der Längsrichtung verschieben

kann. Die auf die Schieberstange geschraubte Befestigungsmutter darf daher den Schieber nicht fest einklemmen. Bei größeren Schiebern setzt man ein Stehrohr oder Distanzrohr zwischen die Befestigungsmuttern an beiden Schieberenden. Andere Methoden einer nachgiebigen Schieberbefestigung (Ausbildung der Schieberstange als Rahmen oder als Einlegestück) sind bei Schiffsmaschinen im Allgemeinen nicht gebräuchlich.

Dem Vortheil des guten Dichthaltens der Flachschieber steht als Nachtheil die große Schieberreibung und der durch dieselbe bedingte Arbeitsverlust gegenüber. Die Reibungsarbeit der Flachschieber beträgt etwa $^1/_4$ bis $^1/_3$ der gesammten Reibungsarbeit in der Maschine, d. h. etwa 1,5 bis 2 pCt. der ganzen Maschinenleistung. Dieser Verlust läßt sich zum größten Theil vermeiden durch die sogenannten Schieberentlastungen. Dieselben sind verschieden gebaut, laufen aber im Prinzip alle darauf hinaus, einen Theil des Schieberrückens dem Dampfdruck zu entziehen und mit einem unter niedrigerem Druck stehenden Raum (gewöhnlich Vakuum des Kondensators) zu verbinden.

Dies ist natürlich nur möglich durch einen dampfdichten Abschluß des Entlastungsraumes gegen den übrigen Schieberkastenraum. Dieser dampfdichte Abschluß wird durch einen dampfdicht an der dem Schieberspiegel gegenüberliegenden Wand (gewöhnlich Schieberkastendeckel) gleitenden Entlastungsring bewirkt, welcher mit dem Schieber dampfdicht und so verbunden ist, daß er eine gewisse Beweglichkeit senkrecht zum Schieberspiegel hat (Stopfbuchse oder elastische Membrane) und mit einem gewissen Druck (Federn oder Dampfdruck) gegen die genannte Wand gedrückt wird. Das vom Entlastungsraum nach dem Kondensator führende Entlastungsrohr ist durch einen Hahn absperrbar. Die Wirkung einer Schieberentlastung hängt natürlich von dem Verhältniß der entlasteten Fläche zur ganzen ab.

Von der beschriebenen Reibungsentlastung ist im Prinzip verschieden die bei schweren Schiebern und stehenden Maschinen stellenweise verwendete Gewichtsentlastung, d. h. eine Vorrichtung, welche das Gewicht des Schiebers und der äußeren Steuerungstheile möglichst aufhebt. Diese Entlastung besteht in einem auf der nach oben verlängerten Schieberstange aufgesetzten kleinen Dampfkolben, welcher in einem entsprechenden, auf der Schieberkastendecke angebrachten Dampfcylinder arbeitet und nur von unten Dampfdruck erhält, also auf die Schieberstange einen Zug nach oben ausübt. Die obere Seite des Entlastungscylinders verbindet man mit dem Kondensator.

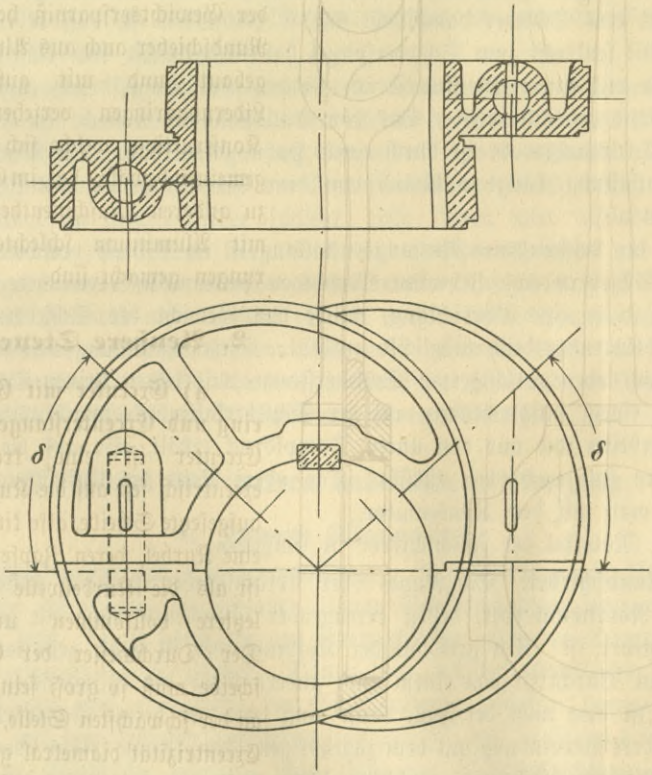
Das Material der Flachschieber ist Gußeisen.

b) Rundschieber. Ein Rund- oder Kolbenschieber ist seiner äußeren Form nach ein Rotationskörper, dessen erzeugender Querschnitt etwa ein gewöhnlicher Muschelschieber ist. Ein gewöhnlicher Kolbenschieber ist hohl, gestattet also dem Dampf den Durchtritt von einem zum andern Ende des cylindrischen Schieberkastens. Ist dies nicht der Fall, dann muß jedes der beiden Schieberkastenenden eine besondere Verbindung mit dem zugehörigen Dampfraum (Rohr oder Receiver) haben. Die muschelförmige Höhlung läuft rings um die Mitte des Schiebers

herum. Zur Verbindung des Schiebers mit der Schieberstange dienen ein oder zwei nabenartige Verstärkungen, welche durch Rippen mit den äußeren Schieberwänden oder Schieberlappen verbunden sind und in welche die Schieberstange fest eingesetzt ist. Zum Festhalten des Schiebers auf der Stange dient auch hier eine auf die Stange aufgeschraubte Mutter, letztere kann aber hier im Gegensatz zu den Flachschiebern fest an dem Schiebergußstück anliegen, weil mit einem seitlichen Verschieben beim Rundschieber nicht zu rechnen ist.

Der Hauptvortheil eines Rundschiebers vor einem Flachschieber ist der, daß er durch seine runde Form vollkommen entlastet ist, also keine nennenswerthe Schieberreibung verursacht, ein Vortheil, welcher um so mehr ins Gewicht fällt, je höher der Dampfdruck ist. Aus diesem Grunde erhalten alle modernen Schiffsmaschinen Rundschieber, und zwar allgemein an den Hdr.- und Mdr.-Cylindern, während an den Ndr.-Cylindern stellenweise des besseren Dichthaltens wegen auch Flachschieber Verwendung finden. Man kann aber auch bei Rundschiebern ein gutes Dichthalten dadurch erzielen, daß man sie mit gußeisernen oder bronzenen Liderungsringen versieht, in derselben Weise wie die Dampfkolben. Die Rundschieber unserer neueren Kriegsschiffsmaschinen sind durchweg in dieser Weise gebaut.

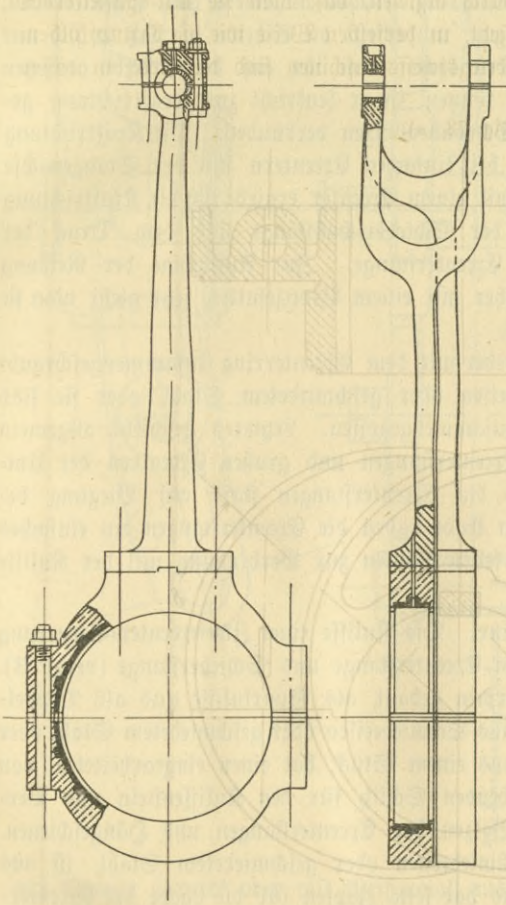
Fig. 73 (a).



Excenterscheiben.

Bei großen Rundschiebern wird häufig auch das eigentliche Schiebergußstück aus mehreren Theilen zusammengesetzt, wodurch eine leichtere Montage und Demontage erzielt wird, namentlich bei beschränkten Maschinenräumen. Kleine Rundschieber, z. B. diejenigen der Hülfsmaschinen, bestehen der Einfachheit halber aus einem Stück und haben keine Dichtungsringe. Rundschieber können ebenso wie Flachschieber als Tricksche Schieber gebaut werden. Sie können ferner entweder Innen- oder Außenkantenschluß haben, woraus sich bei Mehrfach-Expansionsmaschinen manche Vereinfachungen an Rohrleitungen und Receivern ergeben. Bei großen Cylindern, z. B. bei den Ndr.-Cylindern größerer Schiffsmaschinen, verwendet man auch zwei parallel nebeneinander geschaltete Rundschieber und erzielt hierdurch einerseits eine Verkleinerung der schädlichen Räume und bessere Form des Schieberkastens, andererseits eine Erleichterung der Montage und der späteren Revisionsarbeiten.

Fig. 73 (b).



Excenterringe nebst Stangen.

Bezüglich des Materials gilt für Rundschieber im Allgemeinen dasselbe wie für Flachschieber. Bei sehr schnell laufenden Maschinen, z. B. bei verschiedenen Torpedobooten unserer Marine, hat man der Gewichtsersparniß halber die Rundschieber auch aus Aluminium gebaut und mit gußeisernen Liderungsringen versehen, eine Konstruktion, welche sich im Allgemeinen bewährt hat, im Gegensatz zu anderen Maschinentheilen, wo mit Aluminium schlechte Erfahrungen gemacht sind.

2. Aeußere Steuerung.

a) Excenter mit Excenterring und Excenterstangen. Das Excenter ist eine kreisrunde, excentrisch fest auf die Kurbelwelle aufgesetzte Scheibe, also kinematisch eine Kurbel, deren Zapfen stärker ist als die Kurbelwelle und die letztere vollkommen umschließt. Der Durchmesser der Excenterscheibe muß so groß sein, daß sie an der schwächsten Stelle, d. h. der Excentrizität diametral gegenüber, noch eine genügende Material-

stärke besitzt. Die Entfernung des Mittelpunktes der Excenterscheibe von der Achse der Kurbelwelle ist die Excentrizität (Schieberkurbelradius). Dieselbe ist gewöhnlich kleiner als der Radius der Kurbelwelle, so daß der Mittelpunkt der Excenterscheibe innerhalb des Querschnittes der Kurbelwelle liegt.

Die Excenterscheiben bestanden früher allgemein aus Gußeisen, werden aber jetzt gewöhnlich aus Stahl gegossen. Sie müssen in einer durch die Achse der Kurbelwelle gelegten Ebene getheilt sein, um auf die Kurbelwelle aufgesetzt werden zu können. Die Verbindung beider Theile erfolgt durch Schraubenbolzen oder durch Zapfen mit Querkeil. Sitzt ein Excenter nicht zwischen zwei Kurbeln, sondern am Ende der Welle, dann kann es auch ungetheilt als 1 Stück aufgeschoben werden. Gegen Drehen auf der Kurbelwelle sind die Excenterscheiben durch Feder und Nuth gesichert. Die beiden zusammengehörigen Excenter einer Kulissensteuerung gießt man gewöhnlich zusammen und theilt sie in einer gemeinschaftlichen Theilebene.

Der Excenterbügel oder Excenterring, früher allgemein aus Schmiedeeisen, neuerdings häufig aus Stahlfaçonguß, umschließt die Scheibe so, daß er sich nur drehen, aber nicht seitlich verschieben kann. Um ihn auf die Scheibe aufsetzen und nach Abnutzung nachstellen zu können, ist er senkrecht zur Kraftrichtung getheilt. Beide Theile sind durch Schraubenbolzen verbunden. Die Kraftrichtung fällt bei Kulissensteuerungen und bei einfachen Excentern mit der Stangenachse zusammen. Bei Umsteuerungen mit einem Excenter ergiebt sich die Kraftrichtung als Resultante aus dem Druck der Schieberschubstange und dem Druck der Führung des freien Endes der Excenterstange. Zur Aufnahme der Reibung versah man die Excenterbügel früher mit einem Bronzefutter, jetzt gießt man sie in der Regel mit Weißmetall aus.

Die Excenterstangen sind entweder mit dem Excenterring zusammengeschraubt und bestehen dann aus Schmiedeeisen oder geschmiedetem Stahl, oder sie sind mit dem Stahlguß-Excenterring zusammengegossen. Letzteres geschieht allgemein bei den verhältnißmäßig kurzen Excenterstangen und großen Excentern der Umsteuerungen mit 1 Excenter, wo die Excenterstangen stark auf Biegung beansprucht werden. An dem freien Ende haben die Excenterstangen ein einfaches oder gegabeltes Lager oder einen festen Zapfen zur Verbindung mit der Kulisse oder Schwinge.

b) Kulissen und Kulissensteine. Die Kulisse einer Zweiexcenter-Steuerung vermittelt die Verbindung zwischen Excenterstange und Schieberstange (vergl. B). Sie wird in zwei Ausführungsformen gebaut, als Spurkulisse und als Doppelstangenkulisse. Die Spurkulisse, aus Schmiedeeisen oder geschmiedetem Stahl oder Stahlfaçonguß gefertigt, besteht aus einem Stück, hat einen eingearbeiteten, von einer Seite zur anderen durchgehenden Schlitz für den Kulissenstein und Verstärkungen mit Löchern für die Bolzen der Excenterstangen und Hängeschienen. Die Doppelstangenkulisse, aus Schmiedeeisen oder geschmiedetem Stahl, ist aus zwei Stangen zusammengesetzt und hat feste Zapfen für die Lager der Excenterstangen und Hängeschienen.

Der Kulissenstein gleitet in der Kulisse und ist drehbar mit der Schieberstange verbunden. Er besteht aus Bronze oder Stahl und ist bei größeren Maschinen zum Nachstellen eingerichtet. An den Reibungsflächen ist der Stein

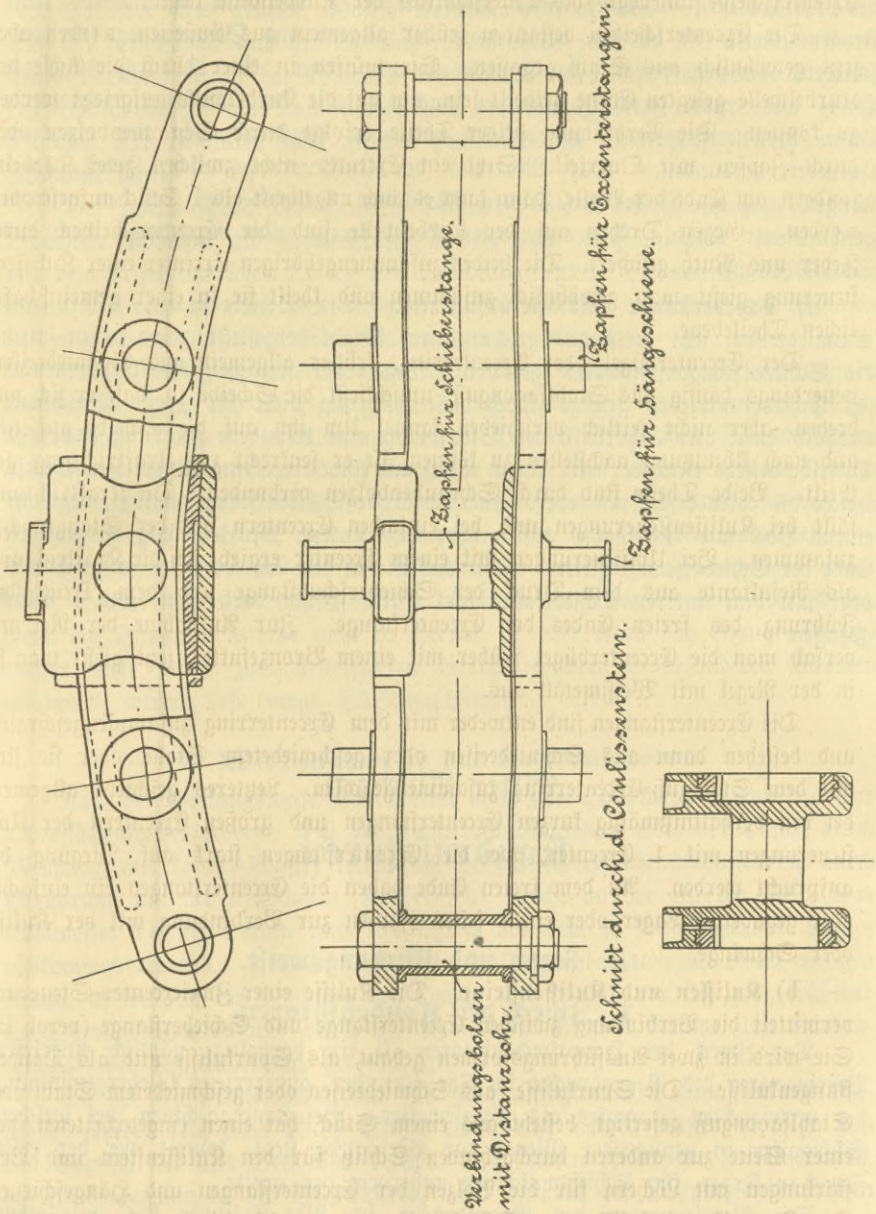


Fig. 74. Doppelstangen-Kulisse mit Stein.

mit Bronze garnirt oder mit Weißmetall ausgegossen. Bei Doppelstangenkulissen liegt der Kulissenstein entweder zwischen den Stangen oder er umfaßt sie von

außen. Im ersteren Falle sind die Enden der Excenterstangen gegabelt, im letzteren liegen sie zwischen den Stangen.

c) Umsteuerungswellen mit Hebeln und Zugstangen. Die die Umsteuerungen der verschiedenen Cylinder einer mehrcylindrigen Maschine verbindende Umsteuerungswelle ist bei den verschiedenen Maschinen und Steuerungen sehr verschieden, aber stets parallel der Kurbelwelle angeordnet. Sie ist durch aufgesetzte Hebel und event. durch Zugstangen einerseits mit der Umsteuerungsmaschine bezw. Handumsteuerung, andererseits mit den Umsteuerungen der einzelnen Cylinder verbunden. Das Material der Umsteuerungswellen, Hebel, Zugstangen u. s. w. ist bei den älteren Maschinen Schmiedeeisen, bei den neueren geschmiedeter Stahl. Die aufgesetzten Hebel fertigt man neuerdings auch aus Stahlfaçonguß.

d) Schieberstange mit Geradführung. Die Schieberstange, früher aus Schmiedeeisen, jetzt meist aus geschmiedetem Stahl hergestellt, wird unten durch die Schieberstangenstopfbuchse geführt. Wegen der seitlichen Kraftkomponenten des Schieberantriebes genügt jedoch diese Führung nicht für große Maschinen, weshalb man hier außerhalb der Stopfbuchse eine besondere Führung anbringt. Dieselbe besteht entweder aus einem Bock mit einer einfachen cylindrischen Buchse, welche die cylindrische und event. hier verstärkte Schieberstange umfaßt, oder aus einem Bock mit Gleitbahn, auf welcher das untere, kreuzkopfartig ausgebildete Ende der Schieberstange gleitet. Der Bock ist auf den Schieberkasten aufgeschraubt oder mit dem unteren Schiebekastendeckel (falls solcher vorhanden) aus 1 Stück gegossen.

Elfter Abschnitt.

Kondensatoren.

A. Zweck und Wirkungsweise.

1. Zweck der Kondensatoren.

Der Zweck der Hauptkondensatoren ist ein doppelter, nämlich einerseits Verringerung des Gegendruckes im Ndr.-Cylinder, andererseits Wiedergewinnung des verbrauchten Dampfes als Speisewasser. Bei Landmaschinen, bei welchen Süßwasser in genügender Menge zur Verfügung steht, kommt nur der erste Zweck in Frage, für Schiffsmaschinen außerdem der zweite.

Die Verringerung des Gegendruckes im Ndr.-Cylinder hat, wie ohne Weiteres aus dem Dampfdruckdiagramm ersichtlich ist, einen weit größeren Einfluß auf die Gesammtleistung der Maschine als die gleiche Erhöhung des An-

fangsdruckes. Dies gilt in um so höherem Maße, je höher der Anfangsdruck ist, und erklärt sich durch die Verschiedenheit des Anfangs- und Endvolumens (Kolbenfläche) des Dampfes. In Wirklichkeit ist allerdings der Gegendruck im Ndr.-Cylinder stets größer als der Kondensatordruck, weil der Abdampf beim Passiren der Kanäle und des Abdampfrohres einen gewissen Widerstand erfährt. Diese Verschlechterung der Wirkung des Kondensators läßt sich durch Vergleich des Vakuummeters am Kondensator und des Ndr.-Indikatordiagramms genau feststellen und ist unter sonst gleichen Umständen um so größer, je schneller die Maschine läuft.

Der zweite Zweck des Hauptkondensators, die Wiedergewinnung des verbrauchten Dampfes als Speisewasser, wurde eine Nothwendigkeit, sobald man mit dem Kesseldruck über 2,5 kg pro Quadratcentimeter hinausging, weil es von diesem Moment an nicht mehr möglich war, den Kessel durch häufiges Abblasen in genügendem Maße vor Salzablagerungen zu schützen.

Außer den Hauptkondensatoren, welche den Abdampf der Hauptmaschinen kondensiren, findet sich an Bord großer Schiffe stellenweise ein besonderer Hülfskondensator, welcher den Abdampf der in Betrieb befindlichen Hülfsmaschinen kondensiren soll, wenn das Schiff im Hafen liegt. Auf unseren neueren Kriegsschiffen baut man der Einfachheit halber keine besonderen Hülfskondensatoren ein, sondern benutzt auch für den Hafenbetrieb einen der Hauptkondensatoren. — Als Hülfskondensator ist auch der Kondensator der Frischwassererzeuger anzusehen, welcher den aus dem Seewasser erzeugten salzfreien Dampf niederschlägt, wenn ein Hauptkondensator nicht in Betrieb ist oder wenn das erzeugte Frischwasser nicht direkt zum Kesselspeisen benutzt, sondern in besonderen Räumen gesammelt werden soll (vergl. Hülfsmaschinen).

2. Wirkungsweise der Kondensatoren.

Nach der Wirkungsweise unterscheidet man zwei Hauptarten: Einspritz- und Oberflächenkondensatoren. Bei den Einspritzkondensatoren wird der Dampf durch Mischung mit kaltem Wasser kondensirt, bei den Oberflächenkondensatoren durch Berührung mit kalten Wänden (Kühlrohren), welche an der anderen Seite vom Kühlwasser bespült werden und das letztere von dem zu kondensirenden Dampf vollkommen trennen. Hiernach besteht ein Einspritzkondensator aus einem einzigen Raum, in welchem die Mischung von Dampf und Wasser vor sich geht, während ein Oberflächenkondensator durch die Kühlflächen in zwei Räume, den Kondensations- und den Kühlraum, getrennt ist.

Da bei Einspritzkondensatoren für jedes Kilogramm Dampf, welches kondensirt werden soll, etwa 20 kg Wasser eingespritzt werden müssen, so folgt, daß das Gemisch fast aus Seewasser besteht. Der zweite Zweck der Kondensatoren, die Wiedergewinnung des Süßwassers, wird demnach bei Einspritzkondensatoren nicht erreicht, weshalb über 2,5 kg Kesseldruck hinaus Einspritzkondensatoren auf Seeschiffen nicht mehr verwendbar sind. Auf die Einspritzkondensatoren wird deshalb im Folgenden nicht weiter eingegangen.

Dem Vortheil der Oberflächenkondensatoren, daß sie Süßwasser für die Kesselspeisung gewinnen, steht als Nachtheil gegenüber, daß sie infolge der vielen Kühlrohrdichtungen leicht zu Betriebsstörungen Veranlassung geben, daß ihre Reparatur sehr zeitraubend ist, und vor Allem, daß durch sie Oel von der Maschine nach den Kesseln gelangen und ein Verfetten derselben verursachen kann.

In der Wirkungsweise der Oberflächenkondensatoren giebt es noch einige Verschiedenheiten. Man unterscheidet nämlich Kondensatoren mit Außen- und Innenseitenkondensation, je nachdem die die Kühlfläche bildenden Rohre vom Dampf umströmt oder durchströmt werden, Kondensatoren mit Gleichstrom oder Gegenstrom, je nachdem das Kühlwasser sogleich nach dem Eintritt, also kälter, oder kurz vor dem Austritt, also wärmer auf den eintretenden (heißeren) Dampf zur Wirkung kommt, Kondensatoren mit ein- oder zweimaligem Kühlwasserdurchgang, je nachdem das Kühlwasser einmal das ganze Rohrsystem durchströmt oder zuerst die eine, darauf die andere Hälfte der Kühlrohre.

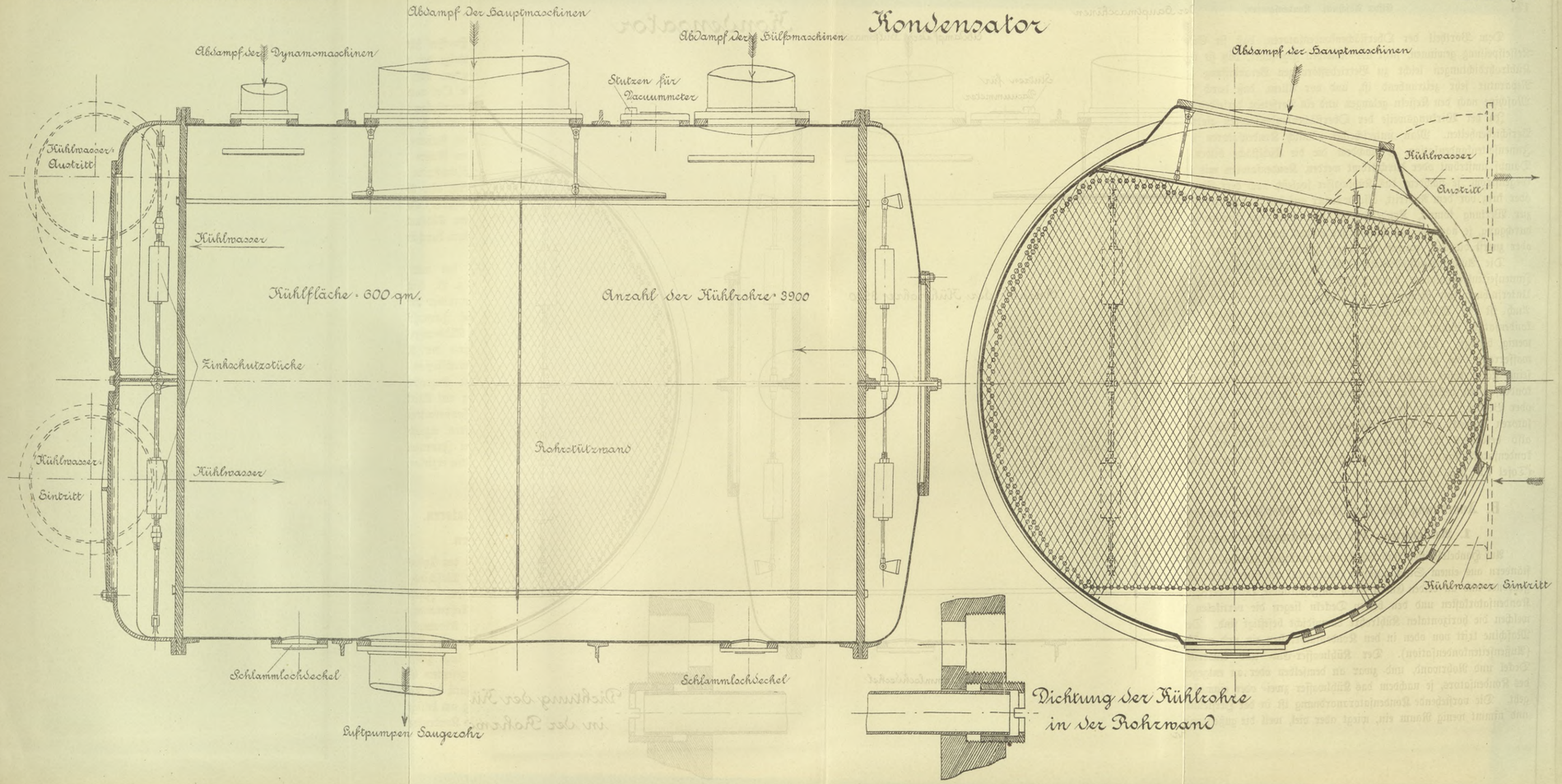
Die Außenseitenkondensation ist die gebräuchlichere. Sie hat vor der Innenseitenkondensation hauptsächlich einige praktische Vorzüge, z. B. leichtere Untersuchung und Reinigung und leichteres Auswechseln leck gewordener Rohre. Auch ist der Wasserdurchfluß ein gleichmäßigerer, während bei Innenseitenkondensation immer einige todte Ecken entstehen, in welchen das Kühlwasser sich wenig bewegt. Dafür ist allerdings bei Innenseitenkondensation der Kühlwasserraum ein größerer, so daß das Kühlwasser langsamer durchfließen und seine Kälte besser abgeben kann. — Zwischen Gleichstrom- und Gegenstromkondensatoren besteht kein bemerkenswerther Unterschied in Bezug auf Wirkung oder Betrieb. — Ein mehrmaliger Kühlwasserdurchgang bei Außenseitenkondensatoren bezweckt eine bessere Ausnutzung der Kälte des Kühlwassers, eignet sich also besonders für Kondensatoren mit kurzen Kühlrohren. Bei Innenseitenkondensatoren kann man eine gleiche Wirkung durch Cirkulationsplatten erzielen. — (Tafel VI. Fig. 75.)

B. Anordnung und Bauart der Oberflächenkondensatoren.

1. Anordnung der Oberflächenkondensatoren.

Auf Handelsschiffen sind die Kondensatorkasten gewöhnlich mit den Cylinderständern aus einem Stück gegossen, horizontal an einer Seite der Maschine angeordnet und an beiden Enden durch aufgeschraubte Deckel verschlossen. Zwischen Kondensatorkasten und den beiden Deckeln liegen die vertikalen Rohrwände, in welchen die horizontalen Kühlrohre dampfdicht befestigt sind. Der Abdampf der Maschine tritt von oben in den Kondensatorkasten ein und umströmt die Rohre (Außenseitenkondensation). Der Kühlwasser-Ein- und Austritt liegt zwischen Deckel und Rohrwand, und zwar an demselben oder an entgegengesetztem Ende des Kondensators, je nachdem das Kühlwasser zwei- oder einmal durch die Rohre geht. Die vorstehende Kondensatoranordnung ist in der Herstellung am billigsten und nimmt wenig Raum ein, wiegt aber viel, weil die gußeisernen Kondensator-

Kondensator



wände ziemlich stark gehalten werden müssen, und hat den großen Nachtheil, daß das Gußeisen mit der Zeit stark angefressen wird, und daß beim Durchrosten des Kondensatorkastens gleichzeitig auch die Cylinderunterstützung unbrauchbar wird. Auf modernen Handelsschnelldampfern ordnet man deshalb die Kondensatoren auch unabhängig von der Hauptmaschine an und baut sie dann ähnlich wie auf modernen Kriegsschiffen (siehe weiter unten).

Kriegsschiffe haben allgemein Kondensatoren, welche von der Hauptmaschine vollständig getrennt und theils vertikal, theils horizontal, theils schräg angeordnet sind. Aeltere Kriegsschiffe mit liegenden Maschinen haben vorwiegend stehende Kondensatoren mit Innenseitenkondensation. Neuere Kriegsschiffe und Torpedoboote erhalten allgemein liegende Kondensatoren mit Außenseitenkondensation und meistens mit zweimaligem Wasserdurchgang. Gewöhnlich liegen diese Kondensatoren an einer Seite oder an einem Ende des Maschinenraumes, bei besonders engen Maschinenräumen auch in einem besonderen, durch ein Querschott vom Maschinenraum getrennten Raum.

In allen Fällen muß die Anordnung derart sein, daß nach Abnahme der Kondensatordeckel die Kühlrohre sich herausziehen lassen. In einzelnen Fällen muß man in dem benachbarten Schott eine Verschraubung anbringen, durch deren Losnahme Platz für das Herausziehen der Rohre geschaffen wird.

2. Bauart der Oberflächenkondensatoren.

a) Kondensatorkasten mit Rohren. Ein Oberflächenkondensator besteht im Wesentlichen aus dem Kondensatorkasten oder Gehäuse, aus den Kondensatorböden oder Deckeln, aus den Rohrwänden und aus den Kühlrohren. Die Länge und der Querschnitt des Gehäuses richten sich nach dem Platz im Maschinenraum. Ist das Kondensatorgehäuse mit den gußeisernen Cylinderständern in einem Stück gegossen, wie auf Handelsschiffen üblich, dann hat es etwa die Länge der Maschine und einen etwa rechteckigen, aufrecht stehenden Querschnitt. Es besteht dann, je nach der Größe der Maschine, aus ein oder mehreren zusammengeschraubten Gußstücken. Bei den älteren Kriegsschiffen sind die Kondensatorgehäuse aus Bronze, seltener aus Gußeisen, in ein oder zwei Stücken gegossen. Sie haben einen rechteckigen oder rundlichen Querschnitt. Bei den neueren Kriegsschiffen sind die Kondensatorgehäuse der Gewichtsersparniß halber gewöhnlich nicht gegossen, sondern sie bestehen aus einem zusammengenieteten Kupferblech und haben einen cylindrischen Querschnitt. Auf Handelsschnelldampfern baut man die Kondensatoren zuweilen in ähnlicher Weise, verwendet aber der Billigkeit halber gewöhnlich verzinktes Stahlblech an Stelle von Kupferblech.

Die Kondensatorgehäuse haben an beiden Enden einen ringsum laufenden Flansch, welcher bei gegossenen Gehäusen mit diesen zusammengegossen, bei den aus Blech hergestellten aufgenietet ist. Auf diese Endflanschen legt man die Rohrwände und auf diese die Kondensatordeckel. Flanschen, Rohrwände und Deckel werden durch gemeinschaftliche Schrauben zusammengehalten. Die Rohr-

wände bestehen stets aus Bronze, auch bei gußeisernen Kondensatoren. Die gewölbten Kondensatordeckel fertigt man bei gußeisernem Gehäuse gewöhnlich aus Gußeisen, sonst aus Bronze, bei kupfernem Gehäuse auch wohl aus getriebenem Kupferblech. Bei Außenseitenkondensatoren mit zweimaligem Wasserdurchlauf muß an dem betreffenden Kondensatorende der Raum zwischen Rohrplatte und Deckel in den Ein- und Austrittsraum getheilt werden. Dies geschieht durch eine mit dem Kondensatordeckel aus einem Stück bestehende und die Rohrwand berührende Scheidewand.

Zur besseren Ausnutzung der Kühlfläche ordnet man bei Außenseiten Kondensatoren zuweilen zwischen den Rohren und parallel zu denselben Cirkulationsplatten für den Dampf an, bei Innenseitenkondensatoren senkrecht zu den Rohren Cirkulationsplatten für das Wasser. Die letzteren Cirkulationsplatten müssen natürlich für die Rohre durchbohrt sein.

Die Kühlrohre sind sowohl auf Handels- als auch auf Kriegsschiffen verzinnte Messingrohre von etwa 16 bis 20 mm äußerem Durchmesser und etwa 1 mm Wandstärke. Mit den Enden sind die Kühlrohre in den beiden parallelen Rohrwänden gelagert und gedichtet. Die Dichtung besteht in unserer Marine in stopfbuchsenartigen Verschraubungen mit Werg- oder Baumwollenpackung, auf Handelsschiffen vielfach auch aus Manschetten von Gummi oder Holz. Um möglichst viele Kühlrohre pro qm unterbringen zu können, ordnet man sie diagonal an. Die Kühlrohre bilden keine genügende Verankerung für die Rohrwände, deshalb sind zwischen denselben noch einzelne massive Anker aus Bronze angeordnet. Auch das Kondensatorgehäuse bedarf einer Verankerung, wenn es größere flache Wände enthält. Bei Außenseitenkondensation schützt man die dem Dampfeintritt zunächst liegenden Rohre häufig durch Schutzplatten gegen die direkte Einwirkung des Dampfes. Beträgt bei horizontalen Kondensatoren die Rohrlänge etwa 2 m oder mehr, so baut man zur Unterstützung der Rohre gegen Durchbiegen in der Mitte zwischen den Rohrwänden noch eine bronzene Querwand ein, welche vor dem Zusammenbau mit den Rohrwänden zusammen gebohrt wird.

b) Bekleidung und Armaturen. Zur Verringerung der Wärmeausstrahlung in den Maschinenraum bekleidet man die Kondensatoren mit Filz und glattem oder verzinktem Eisenblech. Die Bekleidung wird an einzelnen Stellen ausgespart, um den Kondensator mit der Hand anfühlen zu können.

Zur inneren Reinigung erhalten die Kondensatoren an dem Kühl- oder Kondensationsraum Mann- und Reinigungslöcher. Die innere Reinigung der Kühlrohre und Besichtigung der Rohrbefestigungen erfolgt entweder nach Abnahme des ganzen Kondensatordeckels oder nach Aufnahme einiger größerer Verschraubungen in dem Deckel. Das durch den Abdampf in den Kondensationsraum gelangende Fett entfernt man durch Auskochen mit Soda, indem man den Kondensationsraum zum Theil mit Wasser füllt, Soda zusetzt und in das Wasser durch ein besonders hierfür vorgesehenes Rohr Dampf einläßt. Zum vollständigen Entleeren von Wasser hat der Kondensator an seinen tiefsten

Stellen Ablaßhähne oder Ventile. Zur Verhinderung galvanischer Wirkungen dienen Zinkschutzkugeln im Kühlwasserraum.

Als Armaturtheile sind ferner zu erwähnen: Vakuummeter am Kondensationsraum, im Prinzip ebenso gebaut wie die Manometer, Hähne an den Kühlräumen, um Wasser für Temperaturmessungen zu entnehmen, Schieber für Hülfseinspritzung am Kondensationsraum, um in Nothfällen (Versagen der Cirkulationspumpe, Verstopfen der Rohre) den Dampf niederschlagen zu können, Ueberproduzirventil am Kondensationsraum, um bei plötzlichem Stoppen der Maschinen den überschüssigen Dampf nicht durch die Kesselsicherheitsventile verloren gehen zu lassen, sondern im Kondensator niederzuschlagen, nachdem er durch ein in das Ueberproduktionsrohr eingeschaltetes Reduzirventil auf die für den Kondensator zulässige Spannung (etwa 1 kg pro qcm) gedrosselt ist, Zusatzrohr mit Zusatzhahn, um bei knapp werdendem Speisewasser durch das Vakuum des Kondensators Zusatzwasser aus dem Kühlraum des Kondensators oder aus einem Speisewasserbehälter anzusaugen, schließlich ein Sodahahn am Kondensationsraum, um während des Betriebes dem Kesselspeisewasser eine Sodalösung zur Reinigung zuzusetzen. Die wichtigsten Rohranschlüsse des Kondensators ergeben sich größtentheils aus den vorstehenden Angaben über Wirkungsweise, Bauart und Armaturen und sind unter Rohrleitung besonders aufgeführt.

Zwölfter Abschnitt.

Pumpen.

A. Wirkungsweise und Arten der Pumpen.

1. Allgemeine Wirkungsweise.

a) Pumpenwiderstand, Sauge- und Druckwirkung, Gesammtleistung. Pumpen und Dampfstrahlapparate dienen im Allgemeinen dazu, Flüssigkeiten von einem Behälter, dem Saugebehälter, in einen anderen, den Druckbehälter, zu befördern unter gleichzeitiger Ueberwindung eines Widerstandes. Hat die Flüssigkeit in dem Sauge- und Druckbehälter die gleiche Höhe (gleiches Niveau) bei offenen Behältern (Atmosphärendruck) oder lastet auf der Flüssigkeit im Sauge- und Druckbehälter der gleiche Druck bei geschlossenen Behältern und bei gleichem Niveau, dann besteht der zu überwindende Widerstand lediglich in der Reibung der Flüssigkeit an den Rohrwänden. Bei offenen Behältern kommt zu dem Reibungswiderstand das Gewicht der Flüssigkeitssäule hinzu, wenn das Niveau verschieden ist. Bei geschlossenen Behältern kommt als dritter

Widerstand der Ueberdruck hinzu, wenn im Druckbehälter ein höherer Druck herrscht als im Saugebehälter. Das für geschlossene Behälter Gesagte behält im Prinzip seine Gültigkeit, wenn nur einer der beiden Behälter geschlossen ist.

Für die Wirkung einer Pumpe oder eines Dampfstrahlapparates ist es gleichgültig, worin der Widerstand besteht, es kommt nur auf die Größe desselben an. Man mißt den von einer Pumpe zu überwindenden Druck entweder in kg pro qcm oder in m Wassersäule, wobei 1 kg pro qcm etwa = 10 m Wassersäule. Bei jeder Pumpe unterscheidet man zwischen Sauge- und Druckwirkung. Die Gesammtwirkung ist = Sauge- + Druckwirkung. Dementsprechend kann man den gesammten Widerstand einer Pumpe in den Sauge- und Druckwiderstand eintheilen, oder, wenn man den Widerstand in m Wassersäule ausdrückt, in Sauge- und Druckhöhe. Die Summe beider nennt man Förderhöhe.

Die Saugewirkung beruht stets auf der Ausnutzung des Atmosphärendruckes auf einen luftverdünnten Raum, ist also um so stärker, je größer die durch die Pumpe hervorgebrachte Luftverdünnung ist. Da keine Pumpe absolute Luftleere erzeugen kann, und da der Druck der Atmosphäre etwa 10 m Wassersäule entspricht, so ist die Saugehöhe stets kleiner als 10 m Wassersäule. Die Druckwirkung beruht entweder auf der Kraft des Pumpkolbens oder auf der Geschwindigkeit des bewegten Theiles der Pumpe (Kreiselrad, Dampfstrahl), ist daher theoretisch unbeschränkt. Beispielsweise ist bei einem Kesselüberdruck von 15 kg pro qcm die Druckhöhe der Speisepumpe etwa 150 m Wassersäule, abgesehen von den Reibungswiderständen.

Die Gesammtleistung einer Pumpe oder eines Dampfstrahlapparates in mkg ist das Produkt aus Fördermenge in kg und Förderhöhe in m. Die Pumpen werden verschieden gebaut, je nachdem sie große Mengen bei geringer Förderhöhe schaffen (z. B. Cirkulationspumpen) oder geringe Mengen bei großer Förderhöhe (z. B. Speisepumpen). Der Wirkungsgrad einer Pumpe ist das Verhältniß der wirklichen Fördermenge zur theoretischen.

b) Einfluß der Temperatur und der Trägheit des Wassers. Saugt eine Pumpe warmes Wasser, dann wird im Allgemeinen die Saugewirkung um so geringer, je höher die Wassertemperatur. Ist die letztere so hoch, daß die durch die Saugewirkung der Pumpe erzeugte Luftverdünnung ein Verdampfen bewirkt, dann versagt die Pumpe unter Umständen überhaupt. Diese Verhältnisse sind zu berücksichtigen bei der Anlage von Speisewasser-Vorwärmern in der Speisepumpen-Saugeleitung. Man muß dann die Anordnung so treffen, daß das Saugewasser der Pumpe von selbst zufließt.

Bei einer Pumpe mit gleichförmiger Wirkung (Centrifugalpumpe, Dampfstrahlapparat) strömt auch das Wasser mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch die Rohrleitung. Bei ungleichförmiger Wirkung (Kolbenpumpe) entstehen aber infolge der abwechselnden Beschleunigung und Verzögerung des Wassers einerseits Arbeitsverluste (in der Saugeleitung auch Abreißen der Wassersäule), andererseits starke, für den Betrieb gefährliche Stöße. Die auf Trägheit der geförderten Wassermasse beruhenden Mängel beseitigt man durch Einschaltung

von Windkesseln, deren Wirkung auf der Elastizität der eingeschlossenen Luft beruht. Windkessel sind am nöthigsten in der Druckleitung, werden aber auch bei langen Saugeleitungen angewendet, denn die Stärke der Wasserstöße wächst mit der Wassermenge, d. h. mit der Länge der Rohre.

2. Kolbenpumpen.

a) Wirkungsweise der Kolbenpumpen. Bei allen Kolbenpumpen wird durch einen dicht schließenden, hin- und hergehenden Kolben der Rauminhalt eines Cylinders abwechselnd vergrößert und verkleinert. Durch die Raumvergrößerung entsteht die für das Ansaugen erforderliche Luftverdünnung, durch die Raumverkleinerung der für das Weiterschaffen des Wassers erforderliche Druck. Damit das Wasser bei der Raumverkleinerung nicht aus dem Pumpencylinder in das Saugerohr und bei der Raumvergrößerung nicht aus dem Druckrohr in den Pumpencylinder zurückfließt, ist zwischen dem Pumpencylinder und den beiden Rohren je eine Abschlußvorrichtung nöthig. Bei der Raumvergrößerung (Saugewirkung) muß die Saugeabschlußvorrichtung sich öffnen, die Druckabschlußvorrichtung sich schließen, bei der Raumverkleinerung (Druckwirkung) umgekehrt.

Die beiden Abschlußvorrichtungen sitzen häufig nicht direkt am Pumpencylinder, sondern in einem mit demselben verbundenen besonderen Ventilgehäuse. Der Rauminhalt des letzteren ist für den Wirkungsgrad und für die Saugehöhe der Pumpe von keinem oder doch geringem Einfluß, wenn er während des Betriebes mit Wasser gefüllt bleibt, er wirkt aber schädlich, wenn die Pumpe auch Luft mitsaugt, und heißt deswegen auch schädlicher Raum.

b) Einfach und doppelt wirkende Kolbenpumpen. Man nennt eine Kolbenpumpe einfach wirkend oder doppelt wirkend, je nachdem die Fördermenge für ein Kolbenspiel (Kolben-Hin- und Rückgang) theoretisch = dem einfachen oder = dem doppelten Volumen des Pumpencylinders ist.

Einfach wirkende Pumpen haben für 1 Kolbenspiel 1 Sauge- und 1 Druckhub und haben nur 1 Sauge- und 1 Druckabschlußvorrichtung nöthig. Sauge- und Druckhub wechseln entweder miteinander ab oder fallen zeitlich zusammen. Im ersteren Falle ist der Kolben massiv (geschlossen), und es kommt nur eine Kolbenseite für die Pumpenwirkung in Betracht, während die andere Kolbenseite unter Atmosphärendruck steht. Sauge- und Druckabschlußvorrichtung liegen auf der wirksamen Seite des Kolbens. Im letzteren Falle ist der Kolben durchbrochen und mit Ventilen oder Klappen versehen, und es kommt für die Saugewirkung die eine, für die Druckwirkung die andere Seite des Kolbens in Betracht. Sauge- und Druckabschlußvorrichtung liegen also auf entgegengesetzter Kolbenseite. Bei dem unwirksamen Hub tritt das angesaugte Wasser durch die Ventile des Kolbens von der Saugeseite zur Druckseite über.

Doppelt wirkende Pumpen haben für 1 Kolbenspiel 2 Sauge- und 2 Druckhübe, indem der Kolben bei jedem Hube gleichzeitig mit einer Seite saugt und mit der anderen drückt. Sie haben also an jeder Kolbenseite eine Sauge- und

eine Druckabschlußvorrichtung nöthig und können als 2 einfach wirkende Pumpen mit gemeinschaftlichem Kolben angesehen werden. Letzterer ist stets geschlossen.

c) Abschlußvorrichtungen. Dieselben sind Schieber oder Klappen oder Ventile. Schieber werden ebenso wie die Dampfvertheilungsschieber an Dampfcylindern zwangläufig durch die Pumpe bewegt, sie müssen aber, da Wasser nicht wie Dampf sein Volumen ändern kann, sondern vollkommen unelastisch ist, theoretisch genau in den Todtlagen des Pumpenkolbens die Sauge- und Druckkanäle öffnen und schließen. In der Praxis genügt dies noch nicht, weil das angesaugte Wasser infolge seiner Trägheit beim Hubwechsel zu stark gegen den Pumpenkolben stößt. Man giebt deshalb dem Schieber am Saugekanal negative Ueberdeckung, so daß beim Hubwechsel etwas Wasser aus der Pumpe in das Saugerohr zurücktreten kann. Im Uebrigen haben Schieber den Vortheil der Einfachheit, des geräuschlosen Arbeitens und der Unabhängigkeit von der Aufstellung der Pumpe (vertikal oder horizontal), dagegen den Nachtheil des Reibungsverlustes und des schlechteren Dichthaltens. Aus dem letzten Grunde sind sie für Pumpen, welche gegen hohen Druck arbeiten, nicht geeignet.

Klappen sind stets selbstthätig. Die Saugeklappe öffnet sich infolge der Luftverdünnung in der Pumpe, die Druckklappe infolge des Ueberdruckes. Gewöhnlich sind die Klappen runde, in der Mitte befestigte Scheiben aus Gummi oder Vulkanfiber, welche in geschlossenem Zustande flach auf einem durchbrochenen Sitz liegen, in geöffnetem Zustand aufgebogen sind und sich gegen einen als Hubbegrenzung dienenden Klappenfänger legen. Außer diesen biegsamen Klappen verwendet man auch feste Metallscheiben, welche an einer Seite charnierartig befestigt und an der Anlagefläche zuweilen mit Leder oder Gummi gefüttert sind. Auch diese drehbaren Klappen verlangen eine Hubbegrenzung.

Ventile sind die bei weitem häufigsten Abschlußvorrichtungen der Pumpen. Sie sind ebenso wie Klappen selbstthätig und verlangen wie jene eine Hubbegrenzung. Letztere macht man in einzelnen Fällen verstellbar, um durch einen größeren oder kleineren Hub die Fördermenge beliebig zu reguliren. Nach der Form der Dichtungsfläche unterscheidet man Kegelventile, Flachventile (Scheiben- oder Tellerventile) und Kugelventile. Bei den beiden ersteren ist der Ventilkörper eine flache Scheibe mit ringförmiger Dichtungsfläche (kegelförmig oder eben). Bei dem letzteren ist der Ventilkörper eine volle Kugel. Kugelventile sind selten und nur für kleine Querschnitte verwendet. Kegel- und Flachventile bedürfen einer Führung, durch welche sie in Bezug auf den Ventilsitz centrirt werden. Bei neueren Pumpen benutzt man als Ventile auch häufig dünne Scheiben aus Kupfer oder Bronze, welche eine gewisse Elastizität haben und sich infolgedessen dichter auf den Sitz auflegen. Zur Erzielung eines schnelleren Schließens belastet man die Ventile häufig durch Spiralfedern. Der Wirkungsgrad der Pumpe wird hierdurch erhöht. Pumpen, welche gegen hohen Druck arbeiten, erhalten stets Metallventile als Abschlußvorrichtungen. Vor den Gummiklappen haben die Metallventile den großen Vorzug, daß sie nicht der Zerstörung durch Oel oder Säuren unterliegen.

3. Centrifugalpumpen.

Die Wirkung der Centrifugalpumpen beruht auf der Centrifugalkraft, welche durch die schnelle Drehung eines Schaufelrades in einem geschlossenen Gehäuse entsteht. Daraus folgt, daß das zu fördernde Wasser in der Mitte des Gehäuses eingeführt und am Umfange desselben tangential weiter geleitet werden muß. Die für die Saugewirkung erforderliche Luftverdünnung entsteht in der Mitte des Kreiselrades, der für die Druckwirkung erforderliche Ueberdruck am Umfang desselben. Es ist aber sowohl die Luftverdünnung als auch der Ueberdruck im Allgemeinen erheblich geringer als bei Kolbenpumpen. Im Allgemeinen saugen Centrifugalpumpen nur an, wenn das anzusaugende Wasser ungefähr bis an das Kreiselrad heranreicht. Im anderen Falle muß man, um die Pumpe zum Ansaugen zu bringen, entweder zuerst das Gehäuse mit Wasser füllen oder künstlich, z. B. durch einen am Gehäuse angebrachten Luftsaugeapparat, die Pumpe zum Ansaugen bringen.

Centrifugalpumpen eignen sich daher wohl zur Förderung großer Wassermengen, aber nicht zur Ueberwindung einer großen Saugehöhe oder eines großen Gegendrucks. Dagegen haben die Centrifugalpumpen vor den Kolbenpumpen den Vorzug, daß sie das Wasser mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch die Rohre fördern und daß sie weniger Betriebsstörungen ausgesetzt sind und seltener Reparaturen nöthig haben, weil sie weniger bewegte Theile, nämlich keine Abschlußvorrichtungen besitzen. Letztere sind deswegen überflüssig, weil Centrifugalpumpen im Gegensatz zu den Kolbenpumpen nicht in einem und demselben Raum abwechselnd Luftleere und Ueberdruck herstellen, sondern dauernd in der Mitte des Rades Luftleere, am Umfang Ueberdruck.

4. Dampfstrahlpumpen.

Die Wirkung der Dampfstrahlpumpen beruht auf der Thatsache, daß ein aus einer düsenförmigen Oeffnung mit großer Geschwindigkeit ausströmender Dampfstrahl auf die Umgebung (Luft oder Wasser) eine mitreißende Wirkung ausübt. Liegt die Düse in einem geschlossenen Rohr oder Gehäuse, dann bewegt sich der Inhalt des letzteren in der Richtung des ausströmenden Dampfes. Die Triebkraft für eine Dampfstrahlpumpe ist demnach die lebendige Kraft des ausströmenden Dampfes.

Eine Dampfstrahlpumpe kann wie jede andere Pumpe gleichzeitig saugen und drücken, hat aber im Allgemeinen eine geringere Sauge- und Druckhöhe als eine Kolbenpumpe. Man unterscheidet nichtsaugende und saugende Dampfstrahlpumpen, je nachdem ihnen das Wasser von selbst zufließt oder nicht. Die Dampfstrahlpumpen haben allen andern Pumpen gegenüber den Vortheil großer Einfachheit, dagegen den großen Nachtheil, daß sie erheblich mehr Dampf verbrauchen. Ihr Verwendung ist hierdurch sehr beschränkt.

B. Zweck und Bauart der an Bord vorhandenen Pumpen.

1. Luftpumpen.

a) Zweck der Luftpumpen. Die Luftleere im Kondensator entsteht zunächst durch die große Volumenverringerung des Dampfes bei der Rückkehr in den flüssigen Aggregatzustand. Wenn daher der Kondensationsraum des Kondensators nur von Wasserdampf und kondensirtem Wasser durchströmt würde, dann würde es für die Erhaltung der Luftleere genügen, das kondensirte Wasser direkt mit den Speisepumpen herauszupumpen. In Wirklichkeit ist aber dem Kesselwasser und somit auch dem Abdampf der Maschine stets etwas Luft beigemengt, welche im Kondensator nicht nur nicht kondensirt, sondern im Gegentheil infolge der Luftleere ihr Volumen vergrößert und hierdurch die Luftleere verschlechtert. Auch gelangt auf andere Weise, z. B. durch Undichtigkeiten an Hähnen, Ndr.-Stopfbuchsen ꝛc., Luft in den Kondensator. Es ist infolgedessen nicht möglich, durch direktes Saugen der verhältnißmäßig kleinen Speisepumpen aus dem Kondensator Luftleere in demselben zu erhalten, sondern man muß zwischen Kondensator und Speisepumpen eine größere Pumpe einschalten, welche genügt, außer dem kondensirten Dampf auch die mitgeführte Luft wegzupumpen, und deshalb Luftpumpe heißt. Die Luftpumpe schafft das Kondensationswasser in den Luftpumpendruckraum (Speisewassercisterne), von wo es die Speisepumpen heraussaugen.

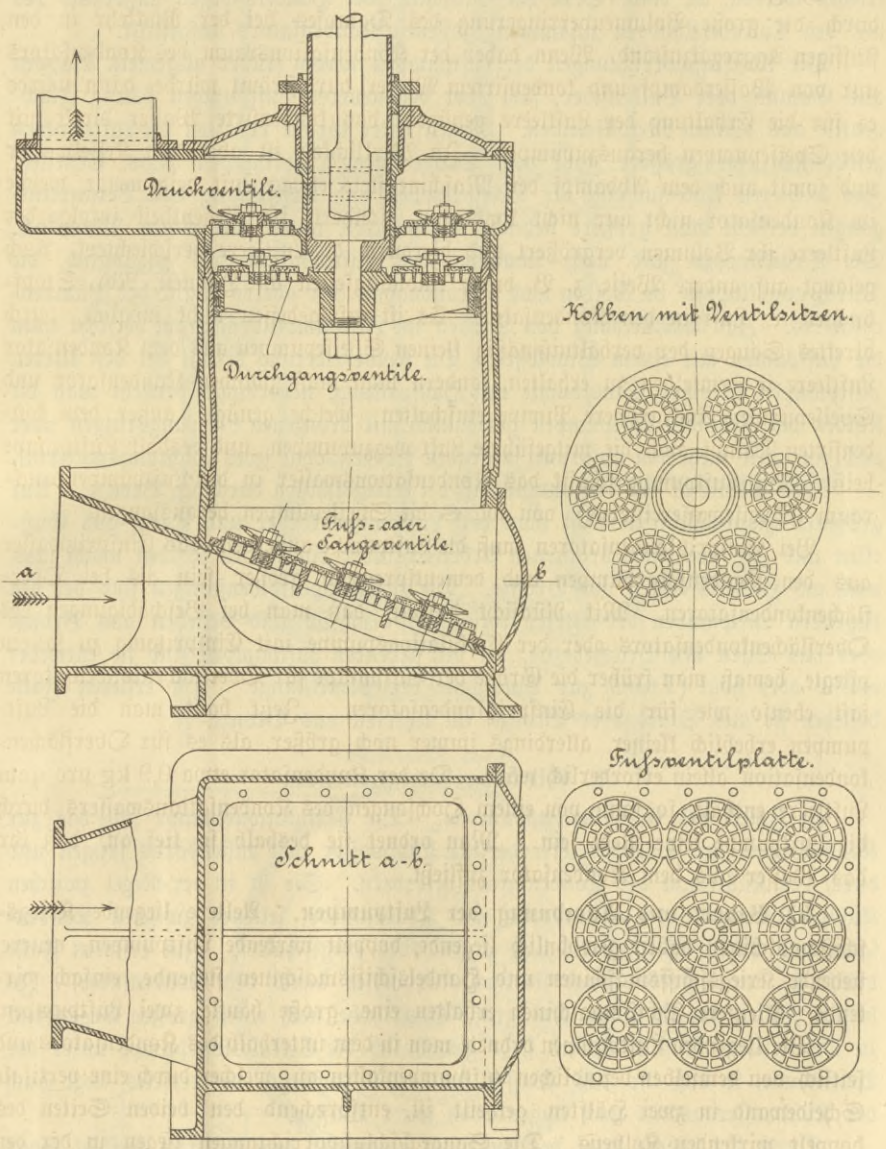
Bei Einspritzkondensatoren muß die Luftpumpe außerdem das Einspritzwasser aus den Kondensatorpumpen und dementsprechend größer sein als bei Oberflächenkondensatoren. Mit Rücksicht darauf, daß man bei Beschädigungen des Oberflächenkondensators oder der Cirkulationspumpe mit Einspritzung zu fahren pflegte, bemaß man früher die Größe der Luftpumpe für Oberflächenkondensatoren fast ebenso wie für die Einspritzkondensatoren. Jetzt baut man die Luftpumpen erheblich kleiner, allerdings immer noch größer, als es für Oberflächenkondensation allein erforderlich wäre. Da der Kondensator etwa 0,9 kg pro qcm Luftleere enthält, so kann von einem Hochsaugen des Kondensationswassers durch die Luftpumpe keine Rede sein. Man ordnet sie deshalb so tief an, daß ihr das Wasser aus dem Kondensator zufließt.

b) Bauart und Anordnung der Luftpumpen. Aeltere liegende Kriegsschiffsmaschinen haben gewöhnlich liegende, doppelt wirkende Luftpumpen, neuere, stehende Kriegsschiffsmaschinen und Handelsschiffsmaschinen stehende, einfach wirkende. Kleinere Schiffsmaschinen erhalten eine, große häufig zwei Luftpumpen.

Die liegenden Luftpumpen ordnete man in dem unterhalb des Kondensators und seitlich von demselben befindlichen Luftpumpenkasten an, welcher durch eine vertikale Scheidewand in zwei Hälften getheilt ist, entsprechend den beiden Seiten des doppelt wirkenden Kolbens. Die Saugeabschlußvorrichtungen liegen in der den Kondensationsraum des Kondensators begrenzenden, gewöhnlich geneigten Seitenwand des Luftpumpenkastens, die Druckabschlußvorrichtungen in der horizontalen Oberwand des Luftpumpenkastens. Zur Erkennung des Wasserstandes im Luftpumpendruckraum dient bei den älteren Kriegsschiffsmaschinen ein Schwimmer.

Die stehenden einfach wirkenden Luftpumpen haben Ventilkolben. Bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens saugen sie demnach gleichzeitig durch die im Boden

Fig. 76.



Luftpumpe S. M. S. „Wörth".

der Pumpe angebrachten Saugeabschlußvorrichtungen und drücken das über dem Kolben befindliche Wasser durch die in der oberen Wand des Pumpencylinders angebrachten Druckabschlußvorrichtungen. Bei der Abwärtsbewegung des Kolbens

findet weder Sauge- noch Druckwirkung statt, sondern es tritt nur das Wasser von der unteren auf die obere Seite des Ventilkolbens. Die stehenden Luftpumpen der Hammermaschinen werden, wenn sie durch die Schiffsmaschinen betrieben werden, an einer Seite der Maschine, bei Handelsschiffen außerhalb des mit den Cylinderständern zusammengegossenen Kondensators aufgestellt.

Die Abschlußvorrichtungen der Luftpumpen waren früher allgemein Klappen aus Gummi oder Vulkanfiber, sind aber bei neueren Luftpumpen häufig Flachventile aus dünnen Metallscheiben. Wegen ihrer Größe erhalten die Luftpumpen gewöhnlich eine größere Zahl von Sauge- oder Druckklappen bezw. Ventilen. Zur leichteren Untersuchung der Saugeklappen und Beseitigung von Verunreinigungen versieht man größere stehende Luftpumpen unten mit einem Mannloch. Die Druckklappen sind nach Abnahme des Luftpumpendeckels zugänglich, die Durchgangsklappen im Kolben nach Herausnahme der oberen Wand des Pumpencylinders. Zur Vermeidung von Stößen im Luftpumpendruckraum versieht man die Luftpumpe mit einem Windkessel. Die Kolbenliderung besteht bei den älteren Luftpumpen in einer Stopfbuchse mit Hanfpackung, neuerdings versieht man die Kolben der stehenden Luftpumpen gewöhnlich mit bronzenen Liderungsringen oder auch nur mit mehreren ringsum laufenden Nuthen ohne jedes Dichtungsmaterial.

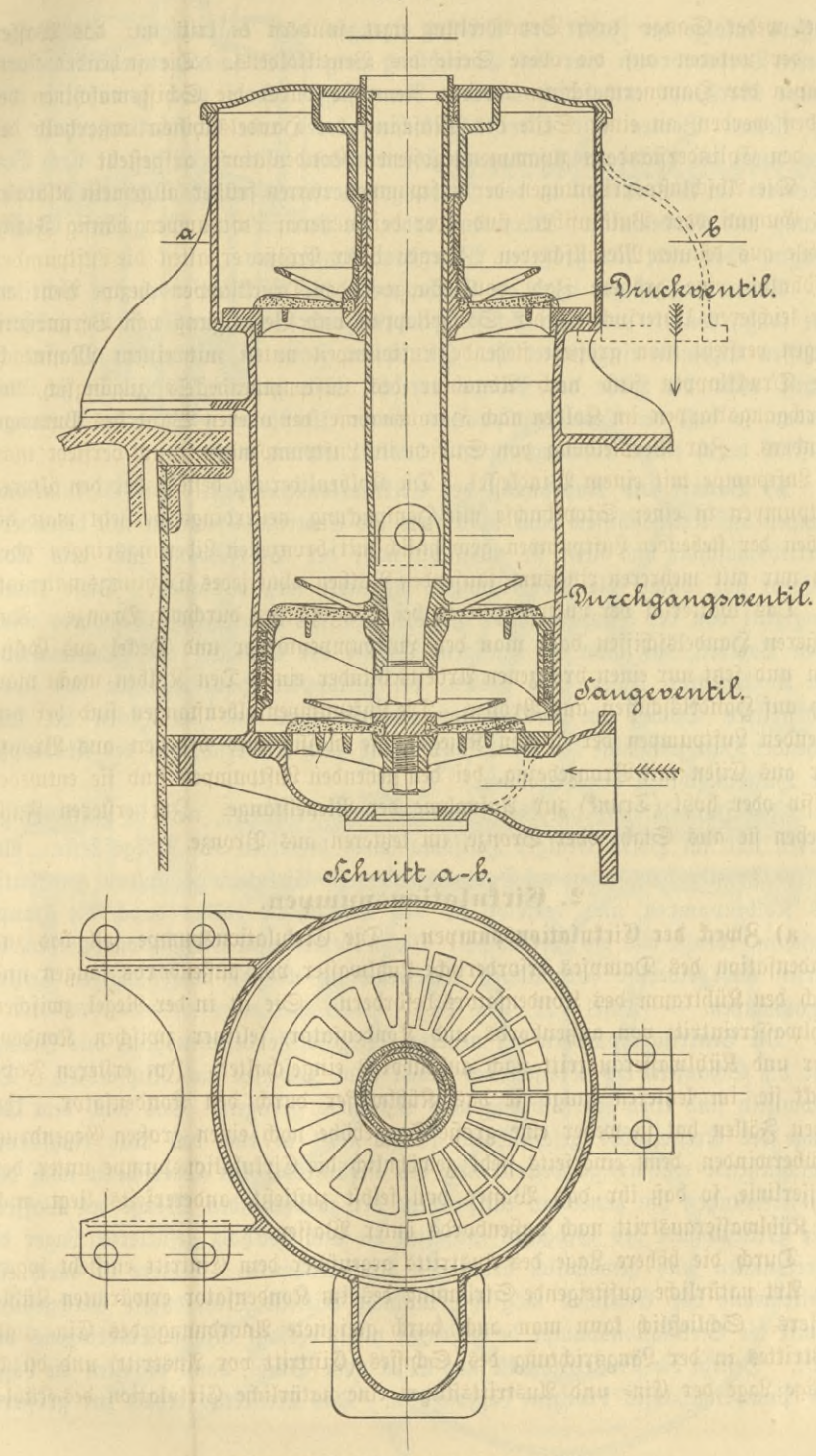
Das Material der Luftpumpen ist bei Kriegsschiffen durchweg Bronze. Auf größeren Handelsschiffen baut man den Luftpumpenkörper und Deckel aus Gußeisen und setzt nur einen bronzenen Arbeitscylinder ein. Den Kolben macht man auch auf Handelsschiffen aus Bronze. Die Luftpumpenkolbenstangen sind bei den liegenden Luftpumpen der älteren Kriegsschiffe massiv und bestehen aus Bronze oder aus Eisen mit Bronzebezug, bei den stehenden Luftpumpen sind sie entweder massiv oder hohl (Trunk) zur Aufnahme der Pleuelstange. Im ersteren Falle bestehen sie aus Stahl oder Bronze, im letzteren aus Bronze.

2. Cirkulationspumpen.

a) Zweck der Cirkulationspumpen. Die Cirkulationspumpe soll das zur Kondensation des Dampfes erforderliche Kühlwasser von außenbords saugen und durch den Kühlraum des Kondensators befördern. Sie ist in der Regel zwischen Kühlwassereintritt von außenbords und Kondensator, seltener zwischen Kondensator und Kühlwasseraustritt nach außenbords eingeschaltet. Im ersteren Falle drückt sie, im letzteren saugt sie das Kühlwasser durch den Kondensator. In beiden Fällen hat sie weder eine große Saugehöhe noch einen großen Gegendruck zu überwinden, denn einerseits steht gewöhnlich die Cirkulationspumpe unter der Wasserlinie, so daß ihr das Wasser von selbst zufließt, andererseits liegt auch der Kühlwasseraustritt nach außenbords unter Wasser.

Durch die höhere Lage des Austritts gegenüber dem Eintritt entsteht sogar eine Art natürliche aufsteigende Strömung des im Kondensator erwärmten Kühlwassers. Schließlich kann man auch durch geeignete Anordnung des Ein- und Austrittes in der Längsrichtung des Schiffes (Eintritt vor Austritt) und durch schräge Lage der Ein- und Austrittsstützen eine natürliche Cirkulation des Kühl-

Fig. 77.



Luftpumpe S. M. Torpedoboot „S 90".

wassers infolge der Fahrt des Schiffes erzeugen oder begünstigen. Bei einigen älteren Torpedobooten war diese Einrichtung ausgebildet, so daß eine Cirkulationspumpe überhaupt entbehrlich wurde. Neuerdings ordnet man gewöhnlich auch auf kleinen Booten mit Oberflächenkondensatoren eine Cirkulationspumpe an. Der durch die Cirkulationspumpe zu überwindende Widerstand besteht nach Vorstehendem im Wesentlichen in dem Reibungswiderstand des Kühlwassers in Rohrleitung und Kondensator. Man muß daher die Pumpe wohl für größere Wassermengen, aber nicht für größeren Widerstand konstruiren.

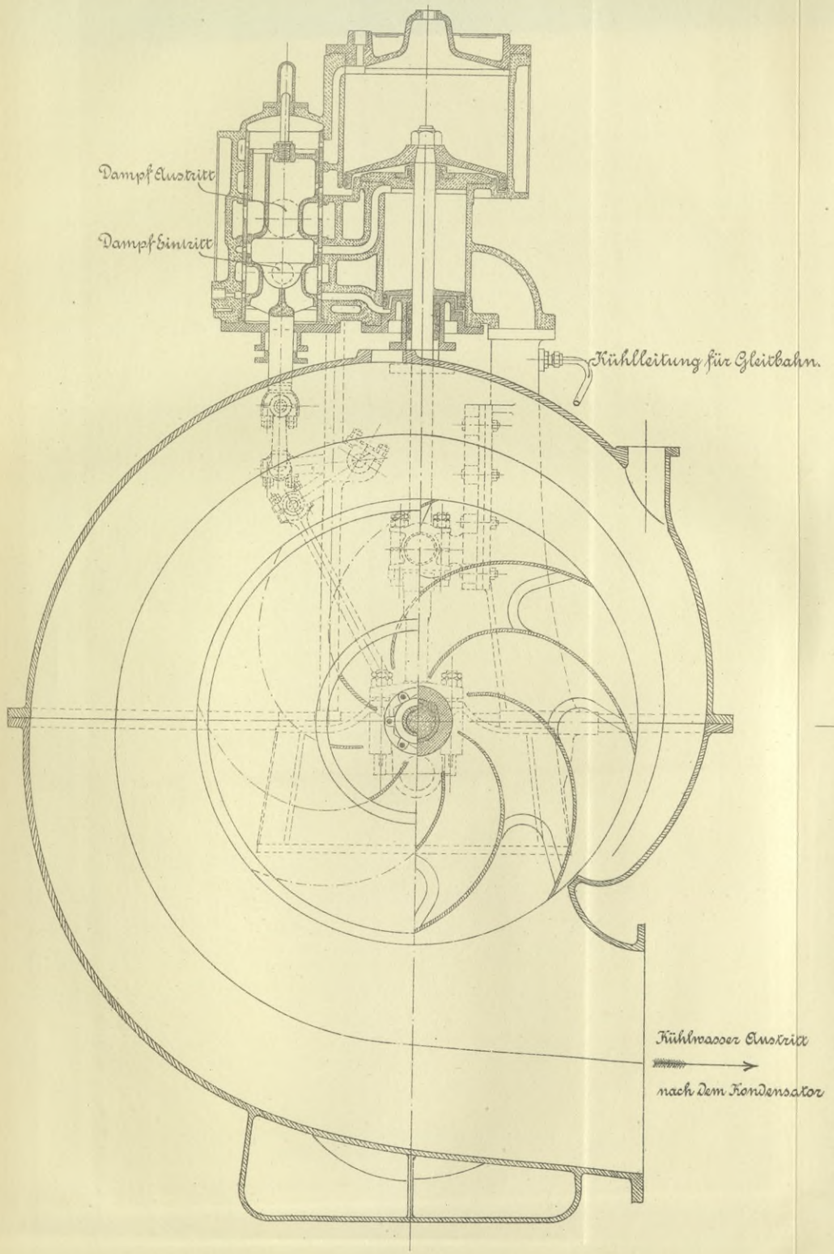
Etwas ungünstiger wird die Sache, wenn die Cirkulationspumpe nicht aus See saugt, sondern aus dem Schiff (Hauptlenzrohr) lenzt, wofür sie auf größeren Schiffen allgemein eingerichtet ist. In diesem Falle ist, wenn das Wasser im Schiff nicht die Höhe der Pumpe erreicht, eine gewisse Saugehöhe zu überwinden, so daß bei Centrifugalpumpen unter Umständen das erste Aufsaugen künstlich durch einen Luftsaugeapparat bewirkt werden muß.

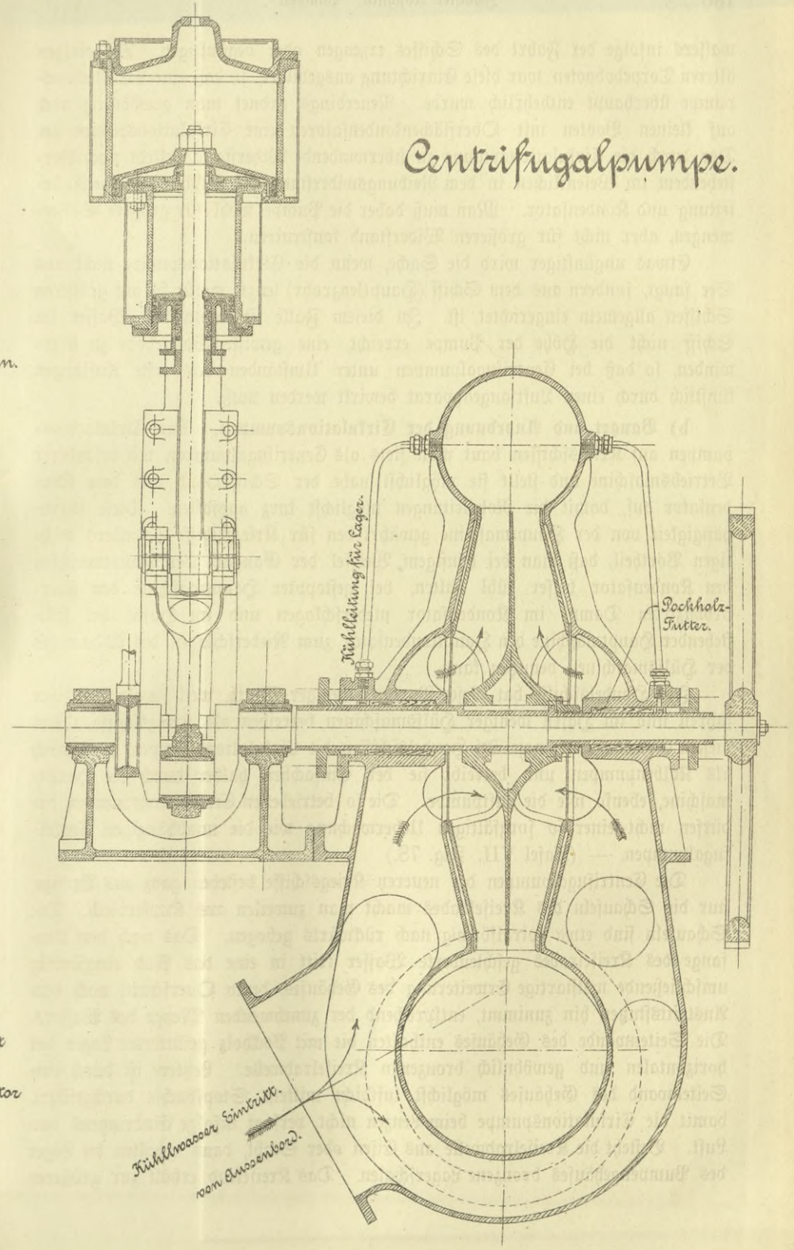
b) Bauart und Anordnung der Cirkulationspumpen. Die Cirkulationspumpen auf Kriegsschiffen baut man stets als Centrifugalpumpen mit besonderer Betriebsmaschine und stellt sie möglichst nahe der Schiffswand und dem Kondensator auf, damit die Rohrleitungen möglichst kurz ausfallen. Diese Unabhängigkeit von der Hauptmaschine gewährt den für Kriegsschiffe besonders wichtigen Vortheil, daß man bei häufigem Wechsel der Gangart der Hauptmaschine den Kondensator besser kühl halten, bei gestoppter Hauptmaschine den überproduzirten Dampf im Kondensator niederschlagen und im Hafen bei stillstehender Hauptmaschine den Hauptkondensator zum Niederschlagen des Abdampfes der Hülfsmaschinen benutzen kann.

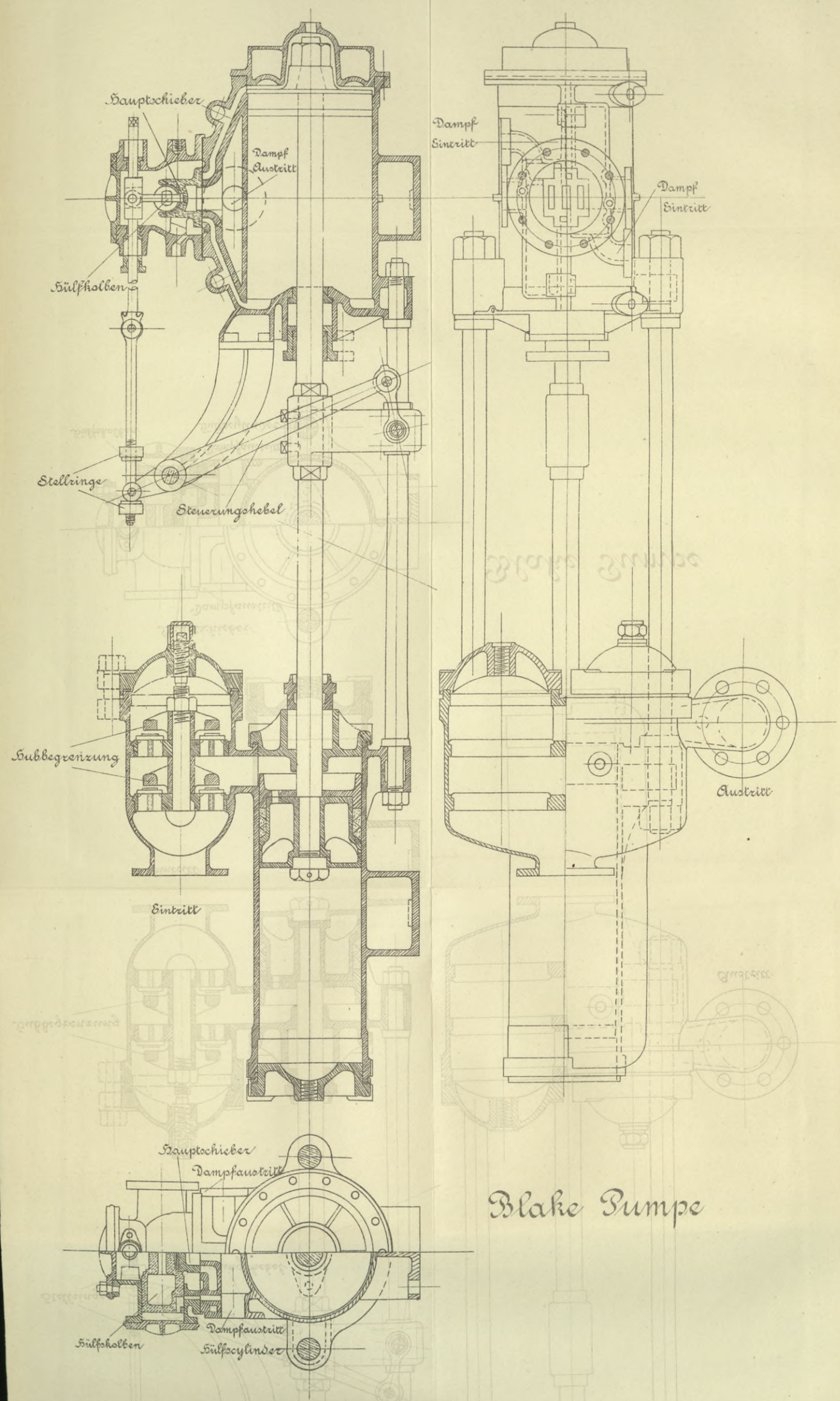
Für Handelsschiffe hat dieser Vortheil weniger Werth, weil sie gleichmäßiger fahren und im Hafen weniger Hülfsmaschinen betreiben als Kriegsschiffe. Aus diesem Grunde baut man auf Handelsschiffen die Cirkulationspumpen gewöhnlich als Kolbenpumpen und betreibt sie der Einfachheit halber durch die Hauptmaschine, ebenso wie die Luftpumpe. Die so betriebenen Cirkulationspumpen bedürfen nicht einer so sorgfältigen Ueberwachung wie die unabhängigen Centrifugalpumpen. — (Tafel VII. Fig. 78.)

Die Centrifugalpumpen der neueren Kriegsschiffe bestehen ganz aus Bronze, nur die Schaufeln des Kreiselrades macht man zuweilen aus Kupferblech. Die Schaufeln sind etwa spiralförmig nach rückwärts gebogen. Das nach dem Umfange des Kreiselrades geschleuderte Wasser tritt in eine das Rad ringförmig umschließende wulstartige Erweiterung des Gehäuses, deren Querschnitt nach dem Austrittsstutzen hin zunimmt, entsprechend der zunehmenden Menge des Wassers. Die Seitenwände des Gehäuses enthalten die mit Pockholz gefütterten Lager der horizontalen und gewöhnlich bronzenen Kreiselradwelle. Letztere ist durch eine Seitenwand des Gehäuses möglichst luftdicht mittelst Stopfbuchse durchgeführt, damit die Cirkulationspumpe beim Lenzen nicht versagt infolge Eindringens von Luft. Besteht die Kreiselradwelle aus Eisen oder Stahl, dann erhalten die Lager des Pumpengehäuses bronzene Lagerschalen. Das Kreiselrad erhält zur größeren

Centrifugalpumpe.






Hauptschieber
Dampf Austritt
Dampf Eintritt
Dampf Eintritt
Hülfskolben
Stellringe
Steuerungshebel
Hubbegrenzung
Austritt
Eintritt
Hauptschieber
Dampfaustritt
Hülfskolben
Dampfaustritt
Hülfscylinder

Blake Pumpe

Haltbarkeit der Schaufeln zwei geschlossene Seitenwände, welche nur in der Mitte für den Wassereintritt offen sind. Gewöhnlich tritt das Kühlwasser von beiden Seiten in die Mitte des Rades ein.

Stellenweise sind auch auf großen Handelsdampfern die Cirkulationspumpen Centrifugalpumpen. Sie bestehen dann gewöhnlich aus Gußeisen, stimmen aber sonst mit den Cirkulationspumpen der Kriegsschiffe überein. Große Schiffsmaschinen erhalten zuweilen zwei Centrifugal-Cirkulationspumpen, deren Rohrleitung so angeordnet ist, daß gleichzeitig die eine lenzen, die andere Kühlwasser für den Kondensator schaffen kann.

Die vertikalen Kolben-Cirkulationspumpen der Handelsschiffe stimmen bezüglich der Anordnung, des Materials und der Abschlußvorrichtungen mit den Luftpumpen überein, sind aber zur Erzielung eines gleichmäßigeren Wasserdurchganges durch den Kondensator doppelt wirkend, wie die horizontalen Luftpumpen der alten Kriegsschiffsmaschinen.

3. Speisepumpen.

a) Zweck der Speisepumpen. Die Speisepumpen sollen den Kesseln das erforderliche Speisewasser zuführen. Sie müssen, damit der Wasserstand im Kessel gleichmäßig die richtige Höhe behält, ebenso viel Wasser in den Kessel hineindrücken, wie in dem Kessel verdampft wird. Sehr empfindliche Kessel erhalten besondere Vorkehrungen, um die Speisung stets in genauer Uebereinstimmung mit der Dampferzeugung zu halten (vergl. Kesselarmatur).

Die Sicherheit des Kesselbetriebes hängt in erster Linie von einer zuverlässigen und stets ausreichenden Speisung ab. Das Kesselgesetz schreibt deshalb vor, daß jeder Kessel zwei vollständig voneinander unabhängige Speisevorrichtungen erhält, von welchen jede für den vollen Betrieb genügt. Dieser Vorschrift ist bei den älteren Kriegsschiffen und bei den meisten Handelsschiffen dadurch entsprochen, daß für den gewöhnlichen Betrieb eine oder mehrere Maschinenspeisepumpen, d. h. von der Schiffsmaschine betriebene Speisepumpen, die Kessel mit Wasser versorgen, während die zweite Speisevorrichtung in besonderen Dampfspeisepumpen besteht. Neuere Kriegsschiffe, namentlich solche mit Wasserrohrkesseln (stellenweise auch Handelsschiffe) erhalten gewöhnlich nur Dampfspeisepumpen (Tafel VIII. Fig. 79), welche unabhängig von der Schiffsmaschine in der Regel im Heizraum Aufstellung finden, so daß sie durch das Kesselpersonal bedient und überwacht werden können. Der Vortheil dieser Methode besteht in der Möglichkeit, die Speisung genauer der Dampferzeugung anzupassen. Zur größeren Sicherheit bemißt man die Größe der Speisepumpen auf Schiffen im Allgemeinen so, daß jede der beiden gesetzlich vorgeschriebenen Speisevorrichtungen mindestens das Doppelte des Speisewasserbedarfes bei voller Fahrt liefern kann. Trotzdem sind die Speisepumpen erheblich kleiner als die Luftpumpen, weil sie nicht wie jene aus einem luftleeren Raum, sondern aus der Cisterne (Luftpumpendruckraum) oder aus einem Speisewasserbehälter saugen und weil hier die im Wasser enthaltene Luft zum Theil entweicht. Die Speisepumpen haben auf neueren Schiffen gewöhnlich

geringe oder gar keine Saugehöhe, weil sie im Allgemeinen tiefer liegen als die Luftpumpenräume, dagegen müssen sie einen um so größeren Gegendruck, nämlich den Kesseldruck, überwinden.

Auf großen Handelsschiffen mit hohem Kesseldruck und Speisewasservorwärmern sind häufig zwei Speisepumpen hintereinander geschaltet. Die erste schafft das Kondenswasser vom Luftpumpendruckraum in den hochgelegenen Vorwärmer, die zweite (eigentliche Speisepumpe) vom Vorwärmer in die Kessel. Bei solcher Anordnung hält man den Wasserstand im Luftpumpendruckraum und, wenn erforderlich, auch im Vorwärmer durch Schwimmer konstant, welche selbstthätig den Gang der Speisepumpen regeln. Auf unsern neueren Kriegsschiffen mit selbständigen Dampfspeisepumpen dient ein Theil derselben als Haupt-, der andere als Reservespeisevorrichtung. Man richtet die Rohrleitung gewöhnlich so ein, daß die Hauptspeisepumpen nur aus dem Luftpumpendruckraum (Warmwasserkasten) saugen und nur in die Kessel drücken können, die Reservespeisepumpen dagegen außerdem aus dem Kondensator, aus der Speisewasserlast, aus See und aus dem Hauptlenzrohr saugen, und außerdem nach dem Aschejektor, nach dem Hauptfluthrohr, nach See und nach dem Feuerlöschrohr drücken können. Eine der Reservespeisepumpen dient gewöhnlich außerdem als Reservedampfspülpumpe und hat deshalb Anschluß an die Spülrohrleitung.

b) Bauart und Anordnung der Speisepumpen. Die Speisepumpen sind stets Kolbenpumpen. Die Maschinenspeisepumpen sind einfach wirkend und haben Plungerkolben, d. h. der Kolben ist in seiner ganzen Stärke durch die Stopfbuchse des Pumpencylinders durchgeführt, ohne den Pumpencylinder selbst zu berühren. Bei den älteren liegenden Kriegsschiffsmaschinen sind die Maschinenspeisepumpen liegend, bei stehenden Schiffsmaschinen sind sie stehend. Im ersteren Falle ist die Antriebsstange starr mit dem Plungerkolben verbunden, im letzteren Falle ist der Plungerkolben häufig hohl und charnierartig mit der Speisepumpenpleuelstange verbunden, deren oberes Ende am Pumpenbalancier hängt. Das Material der Maschinenspeisepumpen ist auf Kriegsschiffen durchweg Bronze. Auf Handelsschiffen macht man die Pumpencylinder auch aus Gußeisen und versieht sie nur mit bronzenen Buchsen. Die Plungerkolben bestehen auch auf Handelsschiffen gewöhnlich aus Bronze.

Die Abschlußvorrichtungen einer Maschinenspeisepumpe bestehen in einem bronzenen Sauge- und Druckventil und sind in einem besonderen bronzenen oder gußeisernen Ventilkasten (im letzteren Falle bronzene Ventilsitze) neben dem Pumpencylinder untergebracht. Bei größeren Maschinenspeisepumpen macht man den Hub des Saugeventils verstellbar, um die Menge des Speisewassers nicht allein durch die Speiseventile am Kessel, sondern auch an der Pumpe selbst reguliren zu können. Unmittelbar hinter dem Druckventil, also am Anfang der Druckleitung, erhalten die Maschinenspeisepumpen einen Windkessel und ein direkt federbelastetes Ueberdruckventil. Durch letzteres und durch ein sich an-

schließendes Rücklaufrohr tritt selbstthätig Wasser in die Cisterne zurück, wenn die Pumpe mehr Wasser schafft, als der Kessel gebraucht.

Die selbständigen Dampfspeisepumpen unterscheiden sich außer durch den Antrieb (vergl. C.) dadurch von den Maschinenpumpen, daß sie gewöhnlich doppelt wirkend sind. Dementsprechend haben sie gewöhnlich keinen Plungerkolben, sondern einen gewöhnlichen flachen Kolben mit Liderungsring oder Packung und Kolbenstange. Bezüglich des Materials der Pumpen, der Art der Ventile und des Ueberdruckventils gilt für diese Pumpen dasselbe wie für die Maschinenspeisepumpen, jedoch verwendet man neuerdings zur Erzielung eines präziseren Abschlusses gewöhnlich federbelastete Sauge- und Druckventile. Die neueren Dampfspeisepumpen sind gewöhnlich stehend, die älteren gewöhnlich liegend angeordnet. Letztere hatten zuweilen auch Schieber als Abschlußvorrichtungen, was bei neueren Speisepumpen wegen des hohen Kesseldruckes nicht angängig ist.

Eine besondere Art von Speisepumpe ist der Speise-Injektor. Bezüglich seiner allgemeinen Wirkungsweise gilt das unter A. Gesagte. Das Eigenartige ist jedoch das, daß er durch den Dampf desselben Kessels, welchen er speist, betrieben werden kann. Durch den Dampfdruck allein ist diese Wirkungsweise nicht erklärlich, denn der Druck in dem Dampfrohr des Injektors kann niemals größer sein als im Kessel. In Wirklichkeit fängt auch ein Injektor nicht an zu arbeiten, wenn er direkt nach dem Kessel angestellt wird. Sobald man aber das dem Injektor zufließende Wasser kurze Zeit bei geöffneter Dampfdüse ins Freie abfließen läßt und, wenn das Wasser in einem vollen, kräftigen Strahl austritt, gleichzeitig die Abflußöffnung schließt und den Speisewassereintritt nach dem Kessel öffnet, arbeitet der Injektor weiter und speist den Kessel. Es kommt dann zu dem Dampfdruck hinzu die lebendige Kraft des einmal in Bewegung gesetzten Wassers. Um ein richtiges Anstellen zu sichern, baut man die Injektoren so, daß durch einen einzigen Hebel alles Erforderliche bewirkt wird. Theilweises Legen dieses Hebels bewirkt den Zutritt des Dampfes und den Austritt des geförderten Wassers ins Freie. Ganzes Legen des Hebels schließt den Austritt ins Freie und öffnet den Eintritt in den Kessel. Beim Anstellen öffnet man zuerst das Dampfventil zum Injektor und legt dann langsam den Hebel. Beim Abstellen legt man den Hebel schnell zurück und schließt dann das Dampfventil. Das Material der Injektoren ist entweder ausschließlich Bronze, oder bei den beweglichen Theilen Bronze und beim Gehäuse Gußeisen. Die in der Praxis am meisten verbreiteten Konstruktionen sind: Nichtsaugender Injektor von Schau, saugender Injektor von Blanke, Universal-Injektor von Körting und Injektoren von Neuhaus.

Hauptvorzüge der Speise-Injektoren sind ihre einfache Handhabung und die Mischung des Speisewassers mit dem heißen Dampf, wodurch das Wasser stark vorgewärmt (häufig über 100°) in den Kessel gelangt. Hauptnachtheile sind ihre große Empfindlichkeit und das dadurch bedingte leichte Vorkommen von Betriebsstörungen. Sie versagen leicht infolge von Verunreinigungen und unter

Umständen sogar infolge starker Schiffsbewegungen. Auch ist der Dampfverbrauch ein höherer als bei Speisepumpen, was durch die höhere Speisewassertemperatur nur zum Theil ausgeglichen wird. Wegen dieser Nachtheile verwendet man die Speise-Injektoren trotz ihrer Einfachheit nicht für Schiffskessel. In unserer Marine beschränkt sich ihre Verwendung auf Dampfbeiboote, wo sie stellenweise als Reservespeisevorrichtung dienen.

4. Lenzpumpen.

a) Zweck der Lenzpumpen. Die Lenzpumpen sollen das Wasser über Bord schaffen, welches sich infolge von feuchten Niederschlägen, Undichtigkeiten an Dampf- und Wasserrohren, Leckagen am Schiffskörper und Havarien in den verschiedenen Räumen des Schiffes ansammelt. Da man nicht jeden Schiffsraum für sich mit ausreichenden Lenzpumpen versehen kann, so muß man eine ausgedehnte Lenzrohrleitung (Drainagerohrleitung) einbauen, welche es ermöglicht, mit einzelnen Pumpen aus verschiedenen Räumen zu saugen. Das gilt besonders für die leistungsfähigeren Pumpen, während die Wirkung der weniger leistungsfähigen sich häufig auf einen Raum beschränkt. Auf modernen Kriegsschiffen ergiebt sich der Zweck und die Anordnung der Lenzpumpen und der Lenzrohrleitung nach Gesichtspunkten.

1. Die Hauptlenzeinrichtung dient zur Entfernung größerer Wassermassen aus den größeren wasserdichten Abtheilungen des Schiffes hinter, über und vor dem Doppelboden. Das die verschiedenen Abtheilungen mit der zugehörigen Lenzpumpe (Cirkulationspumpe des Kondensators) verbindende Saugrohr ist das im Doppelboden angeordnete Hauptlenzrohr, bezw. sind die zwei Hauptlenzrohre (ein Rohr zu jeder Seite der Mittelkielplatte).
2. Die Hülfslenzeinrichtung dient zur Entfernung der im laufenden Betriebe sich ansammelnden kleineren Wassermengen aus allen Räumen des Schiffes (ausgenommen die Zellen des Doppelbodens) hinter, über und vor dem Doppelboden. Das diese Räume mit den zugehörigen Lenzpumpen (Dampflenzpumpen in Maschinen- und Kesselräumen und Stones-Pumpen) verbindende Saugerohr ist das oberhalb des Doppelbodens entlang geführte Hülfslenzrohr. Letzteres hat außerdem eine Verbindung mit dem tiefsten Punkt (Sammelkasten) des Hauptlenzrohres, um bei großen Wassermengen auch die Hülfslenzeinrichtung mit heranziehen zu können.
3. Die Doppelbodenlenzeinrichtung dient zum Füllen und Lenzen der Doppelbodenzellen und ist, da letztere nicht verschmutzt werden dürfen, von der Haupt- und Hülfslenzeinrichtung vollkommen getrennt. Das die Doppelbodenzellen mit den betreffenden Pumpen (Reservedampfspeisepumpen, Spülpumpe und Stones-Pumpen) verbindende Saugerohr ist das oberhalb des Doppelbodens entlang geführte Doppelbodenlenzrohr.

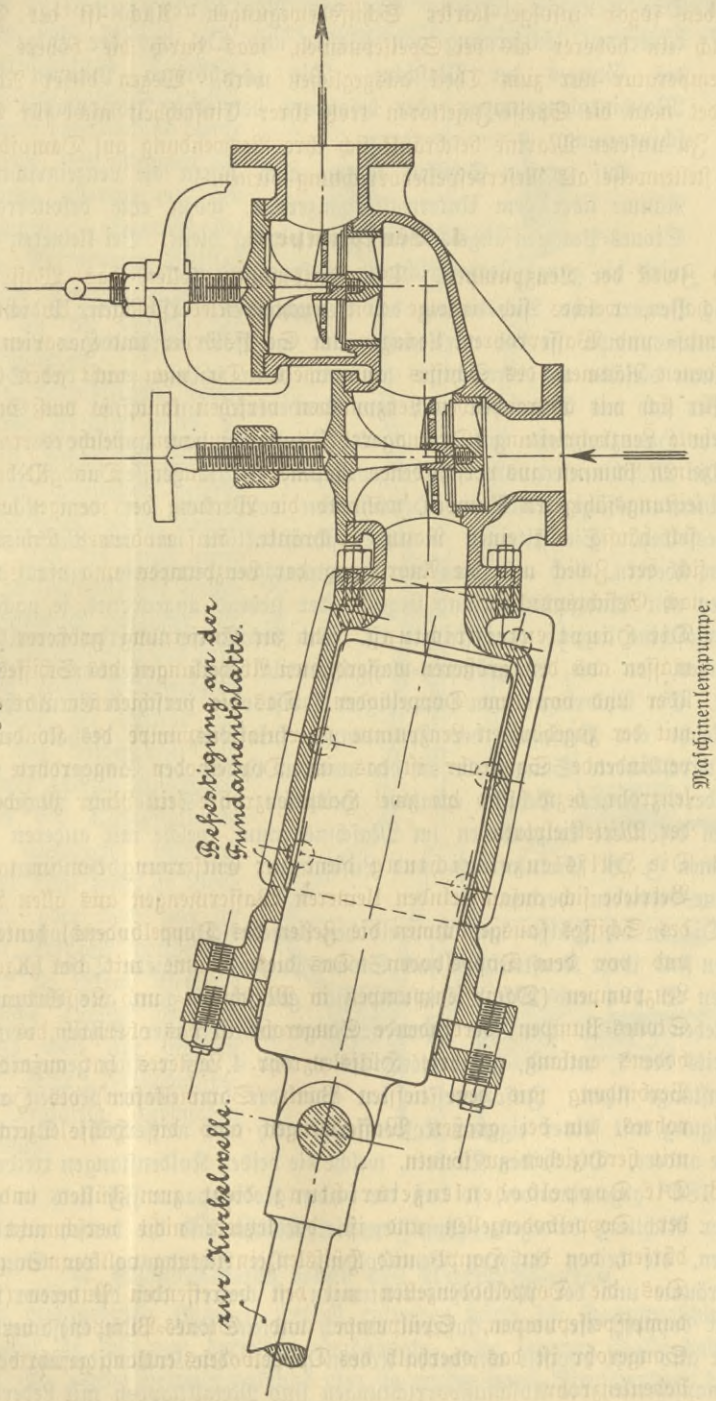


Fig. 80. Maschinenlenzpumpe.

4. Die Lenzeinrichtung für die Maschinenraumbilge dient zur dauernden Entfernung von Wasser und Oel aus der Bilge während des Ganges der Maschine. Die zugehörigen Pumpen sind die Maschinenlenzpumpen oder besonders betriebene Lenzpumpen im Maschinenraum.

Auf großen Schiffen kommt noch hinzu die Lenzeinrichtung der Räume über dem Unterwasserpanzerdeck, wozu eine besondere an die Stones-Pumpen angeschlossene Rohrleitung dient. Bei kleineren Schiffen wird die ganze Lenzeinrichtung entsprechend einfacher.

b) Bauart und Anordnung der Lenzpumpen. Die unter 2. beschriebene Cirkulationspumpe ist die wirksamste aller an Bord vorhandenen Lenzpumpen. Will man dieselbe als Lenzpumpe benutzen, dann schließt man das Saugerohr aus See und das Druckrohr nach dem Kondensator und öffnet das Saugerohr aus dem Hauptlenzrohr und das direkte Druckrohr nach außenbords.

Die Maschinenlenzpumpen (Bilgepumpen) lenzen Wasser und Oel aus der Maschinenraumbilge, falls ein Doppelboden vorhanden, aus dem Raum oberhalb desselben. Sie stimmen in ihrer Konstruktion mit den Maschinenspeisepumpen überein, sind also von der Hauptmaschine betriebene, einfach wirkende Pumpen mit Plungerkolben und liegend oder stehend angeordnet, je nachdem die Hauptmaschine liegend oder stehend ist. Ein besonderes Ueberdruckventil ist nicht vorhanden, da die Lenzpumpen-Ausgußventile nach außenbords selbstthätig wirken. Ein Eindringen von schmutzigem Twist oder sonstigen Verunreinigungen kann leicht ein Versagen der Lenzpumpen bewirken, wird deshalb durch siebartig durchlöcherte Saugekörbe an den unteren Enden der Saugerohre möglichst verhindert. Neuere Schiffe erhalten theilweise an Stelle der Maschinenlenzpumpen besondere Lenzpumpen im Maschinenraum, welche mit anderen Pumpen zusammen (z. B. Cirkulations- und Luftpumpe) von einer besonderen Dampfmaschine betrieben werden.

Die an die Hülfs- und Doppelboden-Lenzeinrichtung angeschlossenen Handpumpen sind ihrer Konstruktion nach Stones-Pumpen. (Siehe Tafel IX. Fig. 82 zwischen S. 194 und 195.) Dieselben sind gewöhnlich ganz aus Bronze gebaut und stehen vertikal. In dem Pumpencylinder arbeiten vier Kolben, von welchen einerseits der 1. und 3., andererseits der 2. und 4. auf je einer gemeinschaftlichen Kolbenstange sitzen. Infolgedessen hat jeder der drei oberen Kolben außer der Befestigung mit seiner eigenen Kolbenstange noch eine wasserdichte Durchführung für die andere. Die beiden Kurbeln, welche die beiden Kolbenstangen treiben, stehen unter 180° gegeneinander, so daß die beiden Kolbenpaare sich stets in entgegengesetzter Richtung bewegen. Von den vier Kolben sind die beiden mittleren geschlossen, die beiden äußeren Ventilkolben. Die Anordnung der Sauge- und Druckräume und der Abschlußvorrichtungen ist derart, daß die beiden mittleren Kolben doppelt, die beiden äußeren einfach wirkend sind. Die Gesammtwirkung kommt also drei doppelt wirkenden Kolben gleich. Die Kolbenliderung besteht aus Ledermanschetten, die Abschlußvorrichtungen sind Metallklappen mit Lederdichtung.

Die an die Hülfslenzeinrichtung angeschlossenen Dampflenzpumpen sind horizontal oder vertikal, ein- oder zweicylindrig, einfach oder doppelt wirkend. Die verschiedenen Pumpenkonstruktionen unterscheiden sich voneinander hauptsächlich durch den Antrieb und stimmen im Allgemeinen überein mit den selbständigen Dampfspeisepumpen. Auf neueren Schiffen treten die Dampflenzpumpen vielfach an die Stelle der Stones-Pumpen.

Die Lenzejektoren, deren allgemeines Prinzip unter A. erklärt ist, haben den Speise-Injektoren gegenüber gewisse Vereinfachungen, welche darauf beruhen, daß die durch einen Ejektor zu überwindende Druckhöhe wesentlich geringer ist, und daß infolgedessen das erste Ansaugen keine Schwierigkeit bietet, wenn der Ejektor genügend tief angeordnet ist. Trotz ihrer großen Einfachheit gegenüber den Dampfpumpen werden Ejektoren entweder überhaupt nicht mehr an Bord eingebaut, oder doch nur im äußersten Nothfall verwendet, weil der zu ihrem Betriebe erforderliche Dampf verloren geht, und weil auf neueren Schiffen jeder Frischwasserverlust sorgfältig vermieden werden muß.

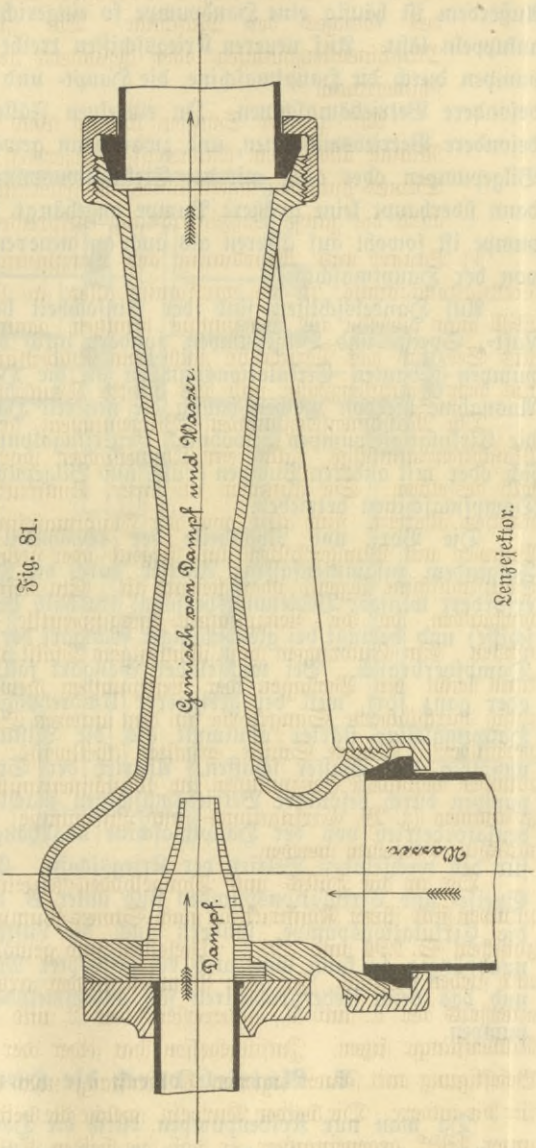


Fig. 81.

C. Antrieb der Pumpen.

1. Allgemeines über die Antriebsarten.

Die verschiedenen Pumpen werden entweder durch die Hauptmaschine betrieben oder sie sind von derselben unabhängig. Im letzteren Falle haben sie entweder ihre eigene Betriebsmaschine oder sie werden durch Menschenkraft bewegt.

Auf älteren Kriegsschiffen werden die Hauptspeisepumpen, die Luftpumpen und die Maschinenlenzpumpen (Bilgepumpen) durch die Hauptmaschine betrieben. Außerdem ist häufig eine Handpumpe so eingerichtet, daß sie sich an die Maschine ankuppeln läßt. Auf neueren Kriegsschiffen treibt man nur die Luft- und Bilgepumpen durch die Hauptmaschine, die Haupt- und Reservespeisepumpen aber durch besondere Betriebsmaschinen. In einzelnen Fällen haben auch die Luftpumpen besondere Betriebsmaschinen, und zwar dann gewöhnlich gemeinschaftlich mit den Bilgepumpen oder auch mit der Cirkulationspumpe. An die Hauptmaschine ist dann überhaupt keine größere Pumpe angehängt. Die Cirkulations-Centrifugalpumpe ist sowohl auf älteren als auch auf neueren Kriegsschiffen stets unabhängig von der Hauptmaschine.

Auf Handelsschiffen sind der Einfachheit halber gewöhnlich nicht nur die Luft-, Speise- und Bilgepumpen, sondern auch die in diesem Falle als Kolbenpumpen gebauten Cirkulationspumpen an die Hauptmaschine angehängt. Eine Ausnahme hiervon machen häufig die neueren Handelsschnelldampfer. Hier sind die Cirkulationspumpen gewöhnlich Centrifugalpumpen und werden entweder für sich oder mit anderen Pumpen (Luft- und Bilgepumpen) zusammen durch besondere Dampfmaschinen betrieben.

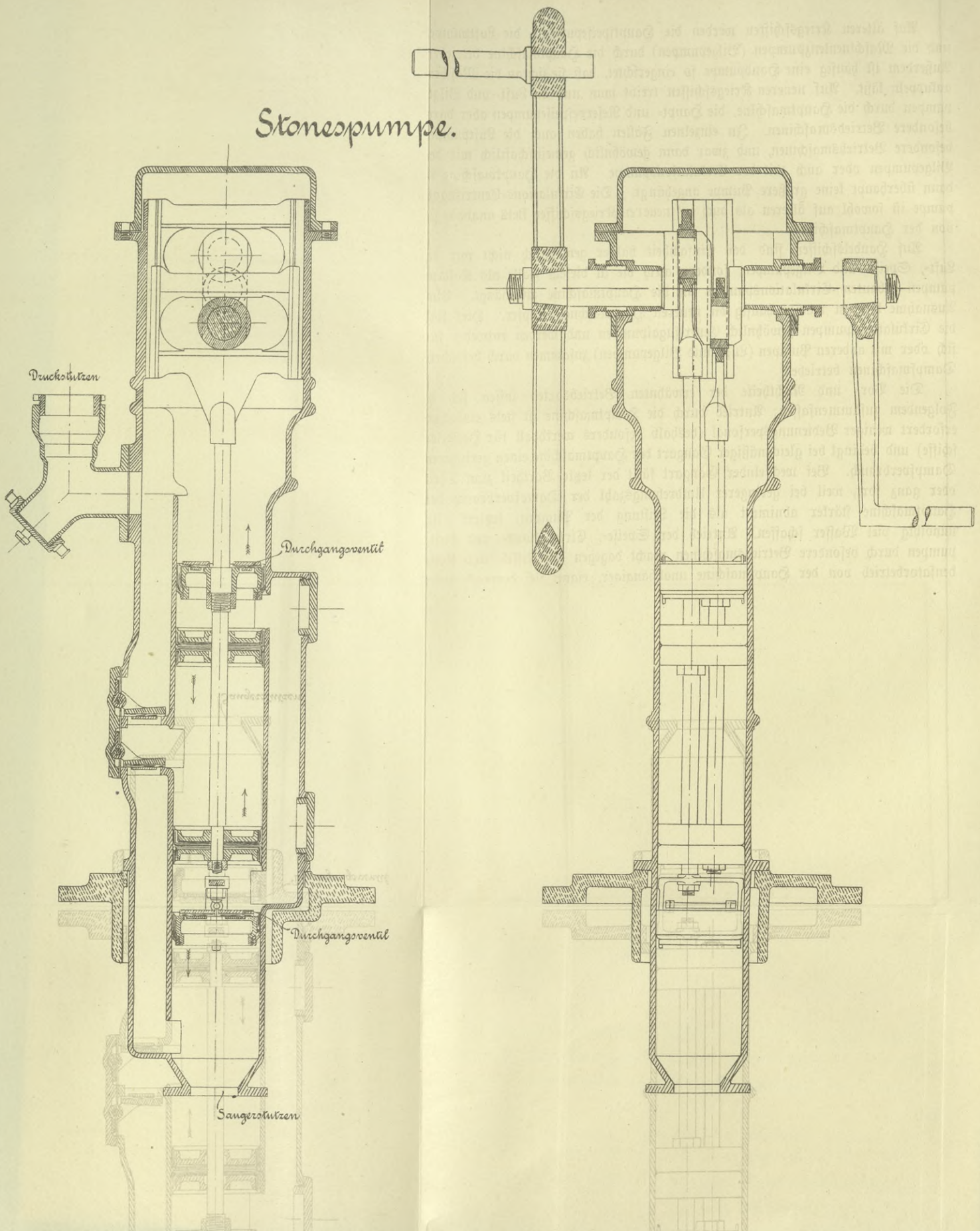
Die Vor- und Nachtheile der erwähnten Betriebsarten lassen sich in Folgendem zusammenfassen: Antrieb durch die Hauptmaschine ist stets einfacher, erfordert weniger Bedienungspersonal (deshalb besonders werthvoll für Handelsschiffe) und bedingt bei gleichmäßiger Gangart der Hauptmaschine einen geringeren Dampfverbrauch. Bei wechselnder Gangart fällt der letzte Vortheil zum Theil oder ganz fort, weil bei geringerer Umdrehungszahl der Dampfverbrauch der Hauptmaschine stärker abnimmt als die Leistung der Pumpen, letztere also unnöthig viel Wasser schaffen. Antrieb der Speise-, Cirkulations- und Luftpumpen durch besondere Betriebsmaschinen macht dagegen den Kessel- und Kondensatorbetrieb von der Hauptmaschine unabhängiger, eignet sich demnach mehr für den wechselnden Betrieb der Kriegsschiffe. Die Vortheile der unabhängigen Speise- und Cirkulationspumpen sind unter B. näher angegeben. Ist nicht nur die Cirkulationspumpe, sondern auch die Luftpumpe von der Hauptmaschine unabhängig, so kann man auch bei gestoppter Maschine dauernd Vakuum halten und das beim Ueberproduziren sich ansammelnde Wasser aus dem Kondensator pumpen.

2. Antrieb durch die Hauptmaschine.

Da man nur Kolbenpumpen durch die Hauptmaschine betreibt, so handelt es sich nur darum, die hin- und hergehende Bewegung des Pumpenkolbens zu erzeugen. Es giebt hierfür drei Methoden:

a) Direkte Kuppelung der Pumpenstange mit einem Dampfkolben oder Kreuzkopf der Hauptmaschine. In diesem Falle haben Pumpen und Schiffsmaschine gleichen Hub. Dieser Antrieb ist verwendet bei den Luft-, Speise- und Lenz-(Bilge-)pumpen der älteren liegenden Kriegsschiffsmaschinen.

Stonespumpe.



b) Uebertragung der Kreuzkopfbewegung auf die Pumpenstangen vermittelst eines zweiarmigen Balanciers. Diese Methode ist angewendet bei den Hammermaschinen der Kriegs- und Handelsschiffe und gestattet ein beliebiges Uebersetzungsverhältniß, welches man im Allgemeinen so wählt, daß der Pumpenhub kleiner wird als der Cylinderhub. Das Lager für den festen Drehpunkt (Drehzapfen) des Balanciers ist bei Handelsschiffsmaschinen auf dem Kondensator oder an den mit demselben aus einem Stück gegossenen Cylinderständern angebracht, bei Kriegsschiffsmaschinen an den gegossenen Cylinderständern, oder, wenn die Cylinder auf geschmiedeten Säulen ruhen, an den letzteren. Die in einem Kreisbogen sich bewegenden Enden der Balanciers sind durch Lenkerstangen mit dem geradlinig sich bewegenden Kreuzkopf und mit der Pumpenstange bezw. Pumpenkolben verbunden. Um ein Ecken zu vermeiden, verwendet man stets zwei zu einem System vereinigte Balanciers, entsprechend den beiden Kreuzkopfzapfen.

c) Antrieb der Pumpen von der Kurbelwelle aus. Derselbe ist insofern komplizirter als der unter a) und b) beschriebene Antrieb, als die drehende Bewegung der Kurbelwelle in die hin- und hergehende des Pumpenkolbens umgewandelt werden muß, gewährt aber andererseits den Vortheil, daß bei dieser Umwandelung ein beliebiges Uebersetzungsverhältniß eingeführt werden kann, daß man also die Pumpe weniger Hübe pro Minute machen lassen kann als die Hauptmaschine. Man verwendet deshalb diesen Antrieb bei Maschinen mit hoher Umdreßungszahl (Torpedoboote, Dampfbeiboote) und bei Pumpen, deren Wirkung durch zu schnellen Hubwechsel geschädigt wird (Speisepumpen). Die von der Kurbelwelle betriebenen Maschinenspeisepumpen machen gewöhnlich etwa viermal weniger Hübe als die Hauptmaschine. Die Uebersetzung von der Kurbelwelle auf die Pumpen besteht gewöhnlich in einer auf die Kurbelwelle aufgesetzten Schnecke, welche eine quer zur Maschinenwelle gelagerte Schneckenradwelle treibt. Letztere hat Kurbeln oder excentrische Zapfen, welche die Pumpen treiben.

3. Antrieb durch eine besondere Dampfmaschine.

a) Antrieb der Centrifugalpumpen. Da die Betriebsmaschine hier eine drehende Bewegung erzeugen soll, so versieht man sie mit einer Kurbelwelle, welche gewöhnlich direkt mit der Kreiselradwelle zusammengekuppelt ist. Die Betriebsmaschine hat eine oder zwei Kurbeln und ist auf älteren Schiffen eine Einfach-, auf neueren gewöhnlich eine Zweifach-Expansionsmaschine. Im letzteren Falle verwendet man vielfach eine Woolfsche Maschine mit gemeinschaftlicher Kolbenstange und vereinigt auf diese Weise die Einfachheit einer Einkurbelmaschine mit der Wirthschaftlichkeit einer Zweifach-Expansionsmaschine. Zum Umsteuern ist die Betriebsmaschine nicht eingerichtet, da die Centrifugalpumpen stets in der gleichen Richtung umlaufen.

b) Antrieb der Kolbenpumpen. Hier soll die geradlinige Bewegung der Dampfkolben auf die geradlinige Bewegung der Pumpenkolben übertragen werden. Infolgedessen werden bei allen diesen Pumpen die Dampfkolbenstangen mit den

Pumpenkolbenstangen direkt verkuppelt, so daß Dampf- und Pumpencylinder den gleichen Hub haben. Eine drehende Bewegung ist an und für sich entbehrlich, sie ist aber trotzdem bei den älteren Dampfpumpen allgemein verwendet, um in einer absolut sicher wirkenden Weise den Hub genau zu begrenzen. Die in diesem Falle zwischen Dampf- und Pumpencylinder eingeschaltete Kurbelwelle ist demnach nur als Hülfsrotation anzusehen. Die Verbindung zwischen Dampf- und Pumpenkolbenstange besteht gewöhnlich in einer Kurbelschleife oder auch in einem schräg angeordneten herzförmigen Verbindungsstück, welches genügend Raum giebt für Kurbel und Pleuelstange. Die Kurbelwelle trägt gewöhnlich ein Schwungrad zur Erzielung eines gleichmäßigeren Ganges.

Die neueren Dampfpumpen, namentlich die gegen hohen Druck arbeitenden weichen wesentlich von den beschriebenen ab. Sie haben nämlich keine Hülfsrotation, sondern die sichere Begrenzung des Hubes beruht einzig und allein auf der Dampfvertheilung, und zwar auf einer starken Kompression am Ende des Hubes. Außerdem haben diese neueren Dampfpumpen den Vorzug, daß der Dampf mit fast gleichmäßiger Stärke den Kolben auf dem ganzen Hube bewegt, indem die Dampfcylinder mit fast voller Füllung arbeiten. Diese Dampfwirkung, hohe Kompression und fast volle Füllung, ist mit einem gewöhnlichen Dampfschieber mit Excenterantrieb nicht erreichbar. Die Dampfvertheilungsschieber dieser Pumpen sind deshalb so eingerichtet, daß sie während des größten Theiles des Kolbenhubes stillstehen und dann plötzlich in die entgegengesetzte Stellung gebracht werden. Man bewirkt diese Bewegungsweise entweder rein mechanisch (ohne Dampf), indem ein die Bewegung des Kolbens mitmachender Knappen oder Anschlag theilweise todten Gang hat und theilweise den Schieber mitnimmt, oder durch einen zweiten von einer Kolbenstange aus bewegten Schieber, welcher gewöhnlich auf dem eigentlichen Dampfvertheilungsschieber gleitet und ihn dadurch von der einen in die andere Stellung bringt, daß er Dampf auf die eine oder andere Seite des Vertheilungsschiebers leitet. Letzterer muß zu diesem Zwecke sich in einem dicht schließenden Gehäuse bewegen. Wegen der Komplizirtheit dieser Zweischiebersteuerungen wird hier auf dieselben nicht näher eingegangen. Die auf neueren Schiffen am häufigsten verwendeten Dampfpumpen ohne Hülfsrotation sind:

1. Die Worthington- oder Duplex-Pumpe: 2 Dampfcylinder, 2 Pumpencylinder und 2 Dampfvertheilungsschieber (für jeden Cylinder einer), von welchen jeder durch die Kolbenstange des anderen Cylinders bewegt wird.

2. Die Patterson-Pumpe: 1 Dampfcylinder, 1 Pumpencylinder und 2 Dampfvertheilungsschieber, deren einer zwangläufig durch die Pumpe bewegt wird und den anderen stellenweise mitnimmt.

3. Die Weir-Pumpe: 1 Dampfcylinder, 1 Pumpencylinder und 2 Dampfvertheilungsschieber, deren einer zwangläufig durch die Pumpe bewegt wird und den anderen durch Dampf steuert.

4. Die Blake-Pumpe: im Prinzip wie die Weir-Pumpe.

Von den vorgenannten Konstruktionen ist die Blake-Pumpe am meisten verbreitet.

4. Antrieb durch Menschenkraft.

Bei kleinen Kolbenpumpen erzeugt man die hin- und hergehende Bewegung des Pumpenkolbens durch einen Handhebel, bei größeren (Stones-Pumpen) durch eine mittelst Pleuelstangen oder Kurbelschleifen mit den Pumpenkolbenstangen verbundene Kurbelwelle, welche so lang ist bezw. durch aufgesetzte Handkurbeln so verlängert werden kann, daß eine größere Zahl von Menschen zum Betriebe angestellt werden kann. Kleine Rotationspumpen, z. B. Pumpen zum Ueberpumpen von Theeröl, haben zum Antrieb eine einfache Handkurbel.

Dreizehnter Abschnitt.

Rohrleitungen.

A. Praktische Ausführung der Rohrleitungen.

1. Rohre und Rohrverbindungen.

a) **Material und Herstellung der Rohre.** Die zur Maschinen- und Kesselanlage eines Schiffes gehörigen Rohre bestehen zum größten Theile aus Kupfer. Ihre Güte wird durch Zerreiß-, Biege-, Börtel- und Wasserdruckproben festgestellt. Für starke Beanspruchungen (Dampfzuleitungsrohre, Speiserohre) verwendet man auf Kriegsschiffen nur gezogene, auf Handelsschiffen der Billigkeit halber auch hart gelöthete Kupferrohre. Nach dem Mannesmannschen Verfahren hergestellte Kupferrohre haben sich an Bord von Schiffen wenig eingeführt. Die Flanschen der Kupferrohre bestehen aus Bronze oder Kupfer oder Stahlguß.

Rohrkrümmungen werden durch Biegen der Kupferrohre hergestellt. Vor dem Biegen gießt man sie mit einer Harzmasse aus, damit sie ihren Querschnitt an der Biegungsstelle ungefähr beibehalten. Starke Rohrkrümmungen lassen sich bei großem Rohrdurchmesser durch Biegen nicht gut herstellen und werden deshalb, vorausgesetzt, daß sie keinen großen Druck auszuhalten haben, aus zwei Halbschalen zusammengelöthet. Sind solche Rohrkrümmungen hohem Dampfdruck ausgesetzt, dann fertigt man sie nicht aus Kupfer, sondern gießt sie aus Bronze. Da jedoch Bronzerohre schwerer ausfallen als kupferne, so beschränkt man ihre Verwendung nach Möglichkeit.

Die im Bilgewasser liegenden Enden der Lenzsaugerohre und deren Saugeköpfe stellt man aus verzinktem Eisenblech her und versieht sie mit verzinkten schmiedeeisernen Flanschen und Befestigungsschrauben. Zweck dieser Maßnahme ist die Vermeidung galvanischer Wirkungen, welche zwischen kupfernen Rohren und eisernem oder stählernem Schiffskörper entstehen würden. Alle sonstigen

dem Zutritt von Wasser ausgesetzten Flanschenschrauben fertigt man aus Kupfer oder Bronze, die zugehörigen Muttern aus Bronze. Um für Speisepumpen-Druckrohre und ähnliche hohem Druck und starken Erschütterungen ausgesetzte Rohre Flanschenschrauben und Muttern aus Schmiedeeisen anwenden zu können, ordnet man diese Rohre, wenn sie unter den Flurplatten liegen, möglichst hoch an. Soweit Kupferrohre mit Bilgewasser in Berührung kommen, schützt man sie durch einen Lackanstrich.

Kesseldampf führende Kupferrohre werden ohne Naht hergestellt und vor der Bearbeitung sorgfältig ausgeglüht. Haben sie einen Durchmesser von 120 mm und darüber und leiten sie Dampf von 7 kg Druck und darüber, so werden sie in unserer Marine mit verzinktem Stahldrahttau umwickelt, dessen Umfang 7,5 bis 20 mm beträgt je nach der Weite des Rohres. Die Umwickelung wird so aufgebracht, daß bei lokaler Zerstörung derselben kein weiteres Lösen eintritt. Zu erwähnen bleibt noch, daß auf neueren Kriegsschiffen die Hauptdampfrohre und die Hauptstränge der Hülfsdampfrohre nebst ihren Flanschen auch aus weichem Siemens-Martin-Flußeisen hergestellt werden und zwar soweit als möglich nahtlos. Etwa geschweißte Stahlrohre werden durch ein auf die Schweißung aufgesetztes Lasch gegen Aufreißen gesichert. Die Materialbeanspruchung der flußeisernen Rohre darf in unserer Marine 250 kg, diejenige der Kupferrohre 200 kg pro qcm nicht überschreiten. Für die mit Stahldrahttau umwickelten Kupferrohre ist eine etwas größere Beanspruchung (geringere Wandstärke) zulässig.

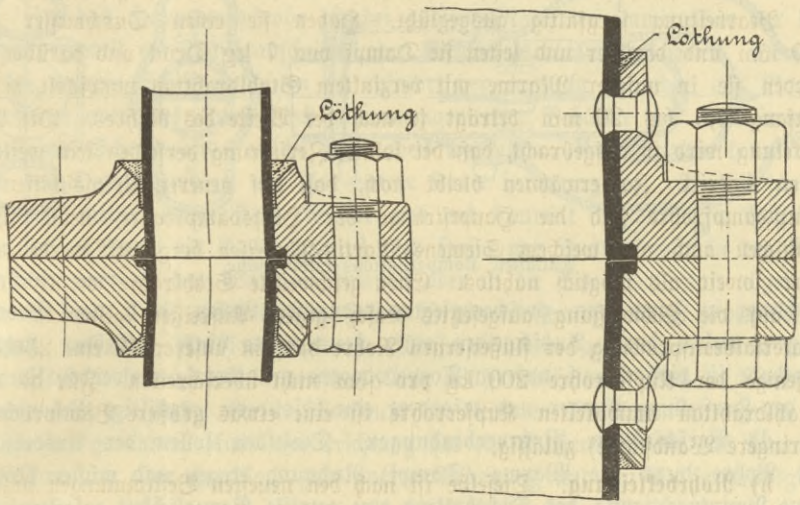
b) Rohrbekleidung. Dieselbe ist nach den neuesten Bestimmungen unserer Marine etwa folgende: Dampfzuleitungsrohre für hohen Dampfdruck werden bis zu 15 mm Rohrdurchmesser mit 3 mm dickem Asbesttuch bekleidet, bei größerem Durchmesser mit zwei Lagen Asbestseilen von 10 bis 30 mm Dicke (je nach dem Durchmesser des Rohres) umwickelt und darüber mit Filz und Segeltuch bekleidet. Große Dampfrohre bestreicht man auch mit Pouplierscher Masse und bekleidet sie dann mit imprägnirtem Filz oder Korkstein und mit Segeltuch. In der Nähe von Rauchfängen vermeidet man Bekleidungen von Filz und Segeltuch. Dampfzuleitungsrohre für Niederdruck und Dampfabgangsrohre bekleidet man mit gewöhnlichem Kesselfilz und Segeltuch. Die Dicke dieser Bekleidung beträgt etwa 20 bis 60 mm je nach der Größe der Rohre.

Die Flanschen der Hochdruckdampfrohre werden mit abnehmbaren Asbestmatratzen von mindestens 30 mm Dicke bekleidet. Wassersammler, Ventile, Stutzen und Schieber in großen Hdr.-Dampfleitungen werden 40 mm dick mit Pouplierscher Masse bedeckt und darüber mit Filz und Segeltuch oder mit Asbesttuch bekleidet. Ventile, Stutzen und Schieber in großen Dampfabgangsrohren werden 30 mm dick mit Pouplierscher Masse bekleidet und nach dem Trocknen derselben mit Theer gestrichen.

c) Feste Rohrverbindungen. Dieselben bestehen in Flanschen oder Muffen. Für die Dampf- und Wasserrohre der Maschinen- und Kesselanlage verwendet man nur Flanschverbindungen. Die Flanschen werden sauber auf das Rohr

aufgepaßt und mit demselben verlöthet. Bei höherem Dampfdruck werden die Flanschen hart gelöthet, bei größerem Rohrdurchmesser außerdem mit dem Rohr vernietet und zu diesem Zweck mit einem Hals versehen (Halsflanschen). Ueber die Art der Flanschen und ihrer Befestigung hat man Tabellen, welche den Rohrdurchmesser und den Druck berücksichtigen. Die Zahl der zur Verbindung zweier Flanschen dienenden Schrauben richtet sich ebenfalls nach dem Rohrdurchmesser und Druck.

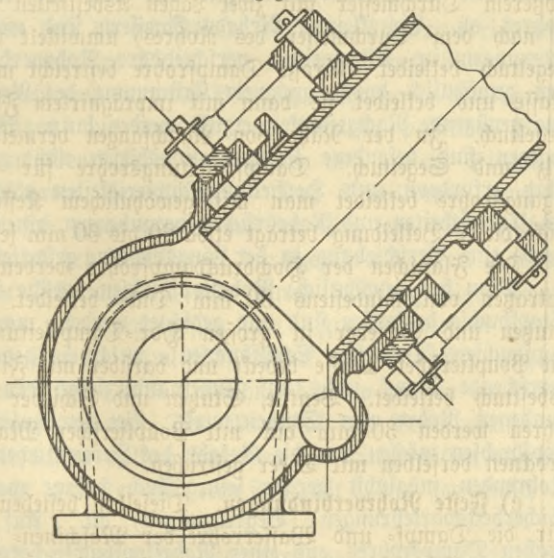
Fig. 83.



Feste Rohrverbindungen mit Flansch.

Zur Dichtung legt man zwischen zwei Flanschen gewöhnlich eine Packung, deren Art sich nach dem Druck und der Temperatur richtet. Für Wasser- und Abdampfrohre genügt unter Umständen eine Gummipackung. Für Dampfzuleitungsrohre verwendet man Asbestpappe oder Asbest mit Drahteinlage oder besondere Patentpackungen (Lechlersche Ringe und dergl.). Wo ein Herausdrücken der Packung zu befürchten

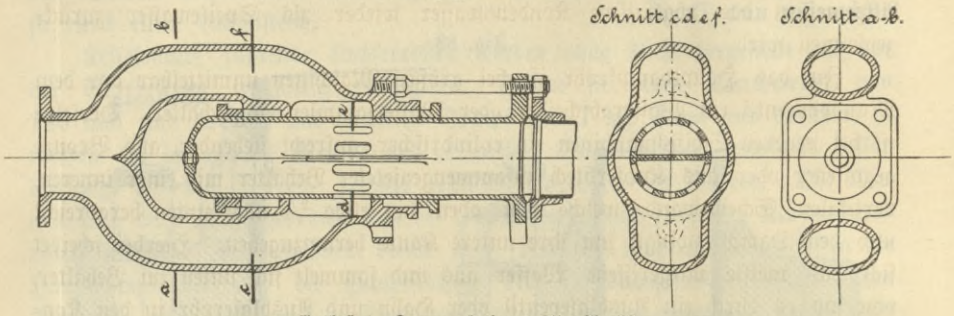
Fig. 84.



Rohrstopfbuchse.

ist, werden häufig die Flanschen übereinandergreifend hergestellt, d. h. der eine größere wird so ausgedreht, daß der andere hineinpaßt. Auf neueren Schiffen fehlt auch häufig jede Packung, und die Flanschen sind nur sauber aufeinander geschliffen und nach leichtem Bestreichen mit Mennige zusammengeschraubt. Außerdem verwendet man für hohen Dampfdruck auch rein metallische

Fig. 85.



Entlastete Kompensations-Stopfbuchse.

Dichtung in Form von zwischengelegten bronzenen Linsen, d. h. von Bronzeringen, welche durch Ausschneiden einer kreisrunden Linse entstehen. Letztere Methode ist vielfach auf unseren Torpedobooten mit Erfolg verwendet, ist aber in der Herstellung theurer und erfordert eine besonders sorgfältige Behandlung.

d) Verschiebbare Rohrverbindungen. Dieselben sollen der Ausdehnung der Rohre durch die Wärme (Dampf) Rechnung tragen und müssen deshalb ohne Beeinträchtigung des Dichthaltens eine gewisse Beweglichkeit zulassen. Ob eine verschiebbare Verbindung nöthig ist oder nicht, hängt von den vorkommenden Temperaturänderungen und von der Anordnung des betreffenden Rohres ab. Bei kleinen Rohrdurchmessern sind auch bei großen Temperaturänderungen im Allgemeinen verschiebbare Rohrverbindungen entbehrlich, weil hier gewöhnlich durch geeignete Krümmung des Rohres (Kompensationsbogen) eine genügende Nachgiebigkeit erzielt werden kann. Bei großen Rohrdurchmessern dagegen sind besondere Kompensationsbögen nicht zweckmäßig, weil sie zu viel Platz erfordern und Herstellungsschwierigkeiten machen. Hier muß man also, um Undichtheiten und Rohrbrüchen vorzubeugen, eine Rohrverbindung anwenden, welche eine Verschiebung in der Längsrichtung gestattet, d. h. eine Rohrstopfbuchse.

Man hat gewöhnliche Rohrstopfbuchsen, welche im Prinzip wie jede andere Stopfbuchse beschaffen sind und gedichtet werden, man hat auch entlastete Rohrstopfbuchsen (Dehnesche Stopfbuchsen), welche so gebaut sind, daß der im Rohr herrschende Druck nicht auf Auseinanderziehen der durch die Stopfbuchse verbundenen Rohre oder Stutzen wirkt. Bei gewöhnlichen, nicht entlasteten Rohrstopfbuchsen müssen, um die Gefahr des Herausziehens auszuschließen, die beiden Rohrenden möglichst gerade sein. Auch bringt man außerdem noch besondere Sicherheitsvorkehrungen (Begrenzungen) an. Auf dem Herausziehen eines großen Dampfrohres aus einer Rohrstopfbuchse beruht die schwere Havarie auf S. M. S. „Brandenburg" im Jahre 1893.

e) Entwässerung und Wasserabscheidung in Rohren. Wie die Cylinder, Schieberkasten, Kondensatoren u. s. w., so müssen auch die Rohre sich entwässern lassen, theils der Konservirung halber, theils um einem Zerfrieren vorzubeugen. Die Dampf oder Wasser führenden Rohre sowie ihre Absperrvorrichtungen haben deshalb, soweit erforderlich, an ihren tiefsten Stellen Hähne oder Ventile oder Verschraubungen, welche ein vollständiges Entleeren gestatten, wobei im Allgemeinen das abgelassene Kondenswasser wieder als Speisewasser zurückgewonnen wird.

In das Hauptdampfrohr ist bei großen Maschinen unmittelbar vor dem Manöverventil ein Wasserabscheider oder Wassersammler eingeschaltet. Derselbe ist bei neueren Schiffsmaschinen ein cylindrischer, aufrecht stehender, aus Bronze gegossener oder aus Kupferblech zusammengenieteter Behälter mit einer inneren, vertikalen Scheidewand, welche von oben bis etwa $^2/_3$ nach unten herabreicht und den Dampf zwingt, um ihre untere Kante herumzugehen. Hierbei scheidet sich das meiste mitgerissene Wasser aus und sammelt sich unten im Behälter, von wo es durch ein Ausblaseventil oder Hahn und Ausblaserohr in den Kondensator oder in den Warmwasserkasten oder in die Speisewasserlast abgelassen werden kann. Bei gleichmäßiger Fahrt ist die Wasserabscheidung gewöhnlich so gering, daß das Ausblaseventil am Wasserabscheider geschlossen bleiben kann. Handelsschiffe haben deshalb meistens keine Wasserabscheider. Auch bei Torpedobooten fehlt er häufig, wie er überhaupt bei kleineren Maschinen entbehrlich ist. Außer der genannten Ausblasevorrichtung hat ein Wasserabscheider als Armatur ein Mannloch oder Handloch zur inneren Reinigung und ein Wasserstandsglasapparat.

2. Absperrvorrichtungen in Rohren.

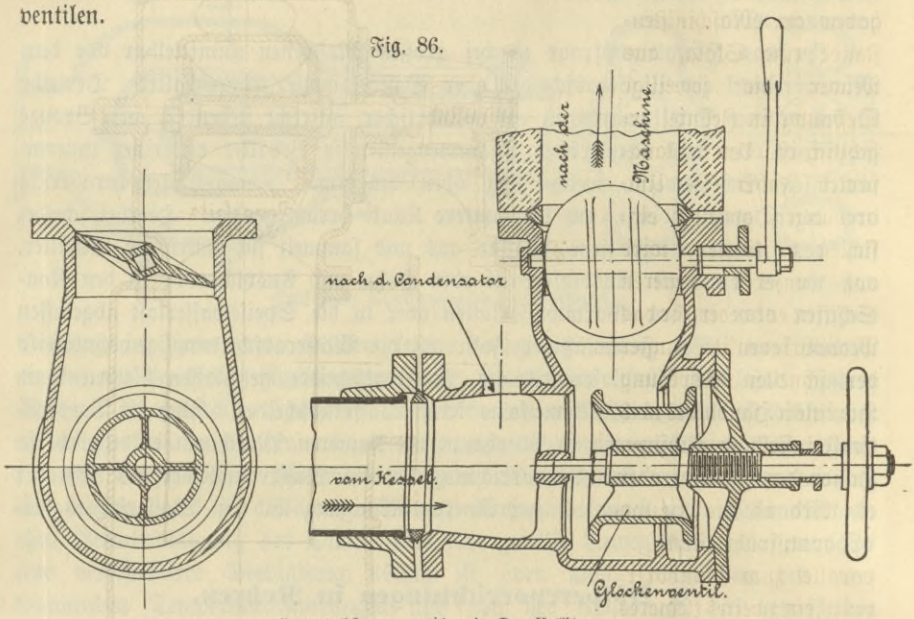
a) Ventile. Dieselben sind die bei Weitem häufigsten Absperrvorrichtungen, weil sie sich für hohen und niedrigen Druck, für weite und enge Rohre eignen. Ein gewöhnliches Ventil besteht aus dem den Ventilsitz enthaltenden Ventilgehäuse mit Deckel und Anschlußstutzen, aus dem auf den Ventilsitz passenden Ventilkörper und aus der mit dem Ventilkörper verbundenen und mittelst Stopfbuchse durch den Deckel durchgeführten Ventilspindel. Der Ventilkörper muß gut geführt werden, damit er sich genau central auf den Sitz legt. Die Führung wird entweder durch die durch den Ventilkörper durchgeführte Spindel oder durch einen besonderen centralen Führungsstift oder durch Führungsflügel besorgt, welche mit dem Ventilkörper zusammengegossen sind. Im Allgemeinen sind die Ventile so gebaut, daß der Dampf- bezw. Wasserdruck dem Schließen entgegenwirkt und das Oeffnen unterstützt. Eine Ausnahme hiervon machen die Bodenventile der Schiffe und einige andere. Das Material der Ventilgehäuse und Ventilkörper ist auf Handelsschiffen vielfach Gußeisen, auf Kriegsschiffen allgemein Bronze. Die Spindel macht man der größeren Festigkeit halber gewöhnlich aus Eisen.

Man unterscheidet nach der Form der ringförmigen Dichtungsfläche Kegel-

und Tellerventile (Kugelventile nur für besondere Zwecke verwendet), nach der Form und Anordnung des Ventilkörpers und Sitzes einfache und entlastete Ventile, nach der Durchgangsrichtung Eckventile und Durchgangsventile, nach der Art der Bewegung zwangläufige und selbstthätige Ventile.

Tellerventile haben eine ebene Dichtungsfläche und liefern im Allgemeinen einen weniger dichten Abschluß als Kegelventile. Sie sind deshalb an Bord nur vereinzelt verwendet, z. B. bei Kesselspeiseventilen und bei manchen Manövrirventilen.

Fig. 86.



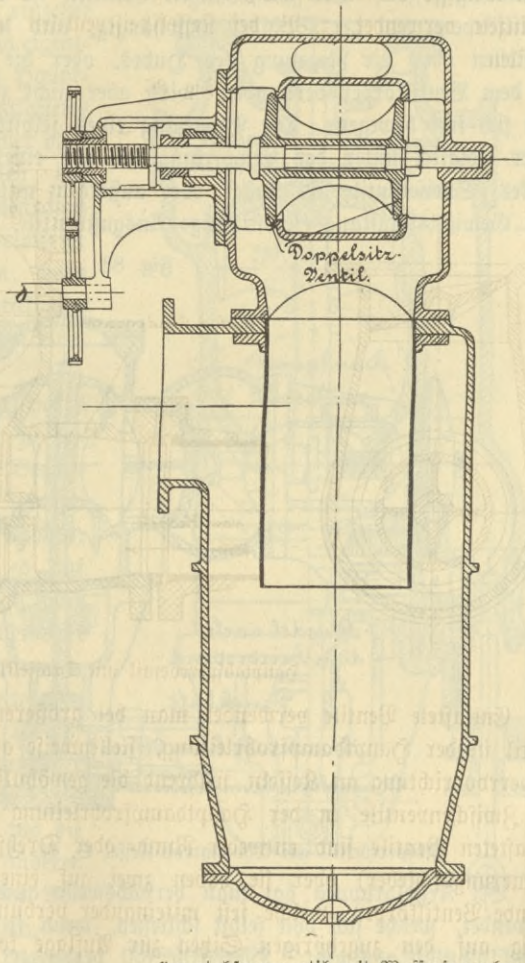
Hauptabsperrventil mit Drosselklappe.

Entlastete Ventile verwendet man bei größeren Maschinen als Manövrirventil in der Hauptdampfrohrleitung, stellenweise auch als selbstthätige Reserveabsperrvorrichtung an Kesseln, während die gewöhnlichen Kesselabsperrventile und die Zwischenventile in der Hauptdampfrohrleitung einfache Ventile sind. Die entlasteten Ventile sind entweder Rund- oder Drehschieber (im Prinzip wie die Steuerungsschieber) oder sie haben zwei auf einer gemeinschaftlichen Spindel sitzende Ventilkörper, welche fest miteinander verbunden sind und demnach gleichzeitig auf den zugehörigen Sitzen zur Auflage kommen. Nach der Art und Weise, wie die beiden Ventile miteinander verbunden sind, unterscheidet man Doppelsitz- und Glockenventile. Die Entlastung besteht darin, daß der Dampf beim Doppelsitzventil von verschiedenen Seiten auf die beiden Ventile drückt, beim Glockenventil den cylindrischen Ventilkörper, an dessen beiden Enden die Dichtungsflächen sitzen, durchströmt oder umströmt, also überhaupt keinen Druck in der Richtung der Ventilspindel ausübt. Dem Vortheil der Entlastung der Glocken- und Doppelsitzventile steht als Nachtheil gegenüber, daß bei Erwärmung durch ungleichmäßige Ausdehnung von Ventilkörper und Gehäuse leicht Undichtigkeiten

eintreten, indem in geschlossenem Zustand beide Ventile nicht gleich stark auf ihren Sitz gepreßt werden. Aus diesem Grunde baut man die Kesselabsperrventile stets als einfache Ventile.

Die vom Maschinistenstande aus durch ein Gestänge zu handhabenden Manövrirventile sind in unserer Marine Glocken- oder Doppelsitzventile und haben am Maschinistenstande eine Skala, aus welcher die jeweilige Oeffnung in Zehntel ersichtlich ist. Um bei langsamer Fahrt die Umdrehungen genauer einstellen zu können, wird auf unseren neueren Schiffen entweder für das Manövrirventil außer der schnellen Bewegung mit einem Handhebel noch eine Feinstellung mit einem Handrad vorgesehen, oder es wird in die Hauptdampfrohrleitung parallel zum Manövrirventil ein zweites kleineres Ventil eingeschaltet, welches als Ersatz für das geschlossene Manövrirventil in Thätigkeit tritt. Sind die Manövrirventile sehr groß, so daß ihre Bewegung große Kraft erfordert, so werden sie nicht direkt durch Menschenkraft bewegt, sondern durch eine zwischengeschaltete kleine Dampfmaschine oder durch einen auf die Ventilspindel aufgesetzten, in einem Cylinder dicht schließenden Dampfkolben.

Fig. 87.



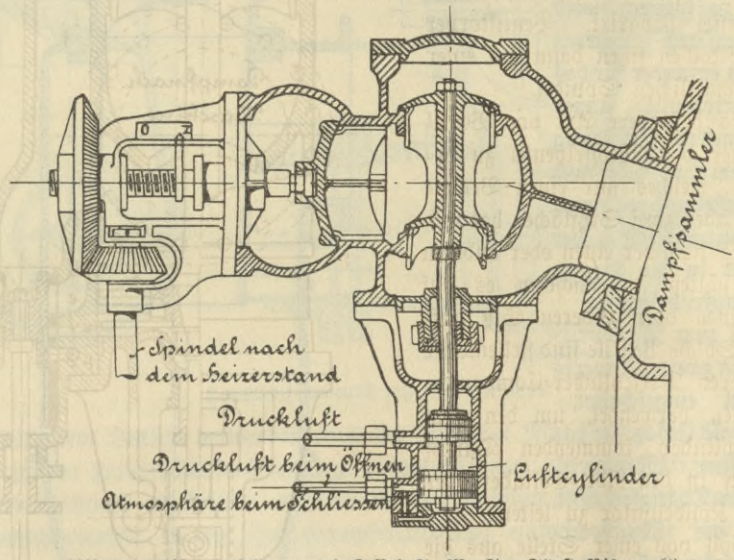
Hauptabsperrventil mit Wassersammler
S. M. S. „Wörth".

Eck- und Durchgangsventile unterscheiden sich voneinander nur durch die Form des Ventilgehäuses, und zwar sind Eckventile einfacher. Ob man die eine oder andere Form anwendet, hängt lediglich von der Rohranordnung ab.

Unter zwangläufigen Ventilen versteht man solche, bei welchen die Spindel

fest mit dem Ventilkörper verbunden ist und außen zwangläufig durch (Gewinde) bewegt wird. Gewöhnlich ist die Ventilspindel mit einem Bund in eine entsprechende Aushöhlung am Ventilkörper eingesetzt. Bei Glocken- und Doppelsitzventilen geht die Spindel durch den ganzen Ventilkörper durch, und bei großen, einfachen Ventilen ist zuweilen die Spindel mit dem bronzenen Ventilkörper zusammengegossen. Bei selbstthätigen Ventilen ist entweder die Bewegung des Ventilkörpers von der Spindel unabhängig, und letztere dient dann nur zum Feststellen oder zur Regelung des Hubes, oder die Ventilspindel ist zwar fest mit dem Ventilkörper verbunden, wird aber nicht zwangläufig bewegt, sondern kann sich frei bewegen. Die Bewegung eines selbstthätigen Ventils erfolgt entweder lediglich unter der Einwirkung des auf einer Seite herrschenden Ueberdruckes (Speiseventile am Kessel) oder außerdem unter Einwirkung einer Feder- oder Gewichtsbelastung (selbstthätige Ausgußventile, Druckreduzirventile u. s. w.).

Fig. 88.



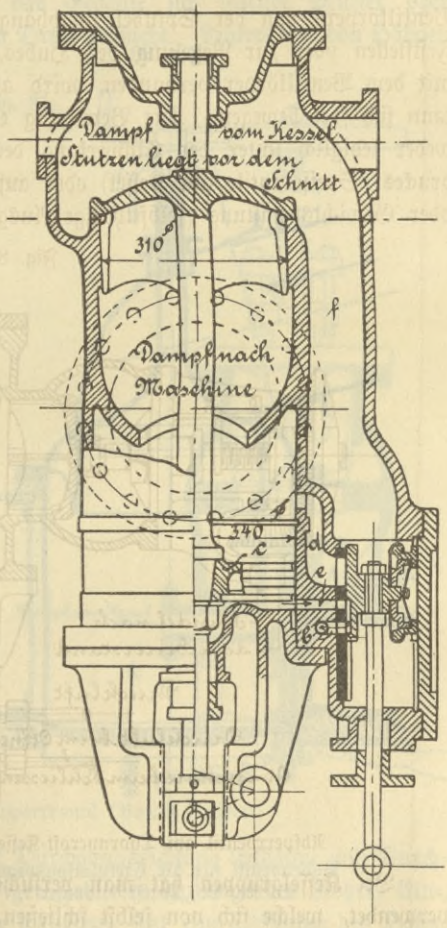
Absperrventil am Thornycroft-Kessel S. M. S. „Fürst Bismarck".

Bei Kesselgruppen hat man versuchsweise auch selbstthätige Absperrventile verwendet, welche sich von selbst schließen, wenn in dem betreffenden Kessel der Druck plötzlich abnimmt. Hierdurch soll verhindert werden, daß im Falle der Havarie eines Kessels (Aufreißen von Rohren oder Blechen) auch von den anderen Kesseln Dampf durch den havarirten Kessel ausströmt. Die Ventilkörper dieser Absperrventile sind derartig mit der Spindel verbunden, daß sie in den Endstellungen der Spindel fest auf bezw. fest zu, in der Mittelstellung selbstthätig sind. (Vergl. VII. C.)

Im Prinzip den gleichen Zweck verfolgen die Rohrbruchventile, von welchen das Ventil Patent Richter sich durch Zweckmäßigkeit auszeichnet. Den Vertrieb desselben für Deutschland hat die Firma A. L. G. Dehne in Halle a. d. Saale.

Durch diese Ventile soll im Falle eines Rohrbruches das havarirte Rohr von den Kesseln abgesperrt werden, um das Ausströmen einer größeren Dampfmenge zu verhüten. In unserer Marine haben bisher selbstthätige Kesselabsperrventile nur vereinzelt und Rohrbruchventile überhaupt keine Verwendung gefunden, weil sie verhältnißmäßig komplizirt sind und naturgemäß leichter zu Betriebsstörungen führen können als zwangläufige Ventile. Dagegen haben einzelne neuere Kriegsschiffe außer dem eigentlichen Kesselabsperrventil im Hauptdampfrohr ein zweites entlastetes Absperrventil, welches von einer oder mehreren entfernten Stellen des Schiffes, z. B. vom Maschinenraum aus, durch den Druck komprimirter Luft geschlossen werden kann, wenn der Kessel havarirt. Ventilkörper und Luftkolben sitzen dann auf einer gemeinschaftlichen Spindel.

Fig. 89.



Manövrirventil S. M. S. „Prinz Heinrich".

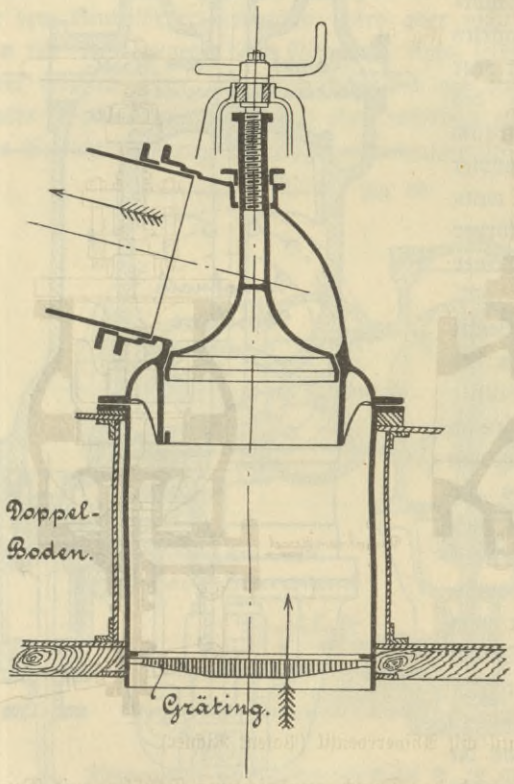
Als besondere Art von Ventil ist ferner das Wechselventil zu erwähnen, welches nur einen Ventilkörper, aber zwei Sitzflächen hat und den Weg nach der einen oder anderen Seite schließt, je nachdem es auf dem einen oder anderen Sitz aufliegt. Solche Ventile sind stellenweise bei älteren Dreicylinder-Compoundmaschinen verwendet, um den vom Hdr.-Cylinder kommenden Dampf entweder in den Ndr.-Cylinder oder in den Kondensator zu leiten.

Soll von einer Stelle aus die Leitung nach verschiedenen anderen Stellen weitergehen und jeder Abzweig einzeln absperrbar sein, so vereinigt man häufig mehrere Ventile in einem gemeinschaftlichen Gehäuse (z. B. Ventilkasten in der Speiserohrleitung).

Eine in mancher Beziehung eigenartige Konstruktion haben schließlich die Bodenventile, von welchen die Cirkulationspumpen- und die Kesselausblase-Bodenventile die wichtigsten sind. Da bei schwimmendem Schiff das Aufnehmen eines Bodenventils unmöglich ist, so ist der kegelförmige Ventilkörper von außenbords in das Gehäuse eingesetzt, so daß der äußere Wasserdruck auf Schließen

wirkt. Eine in dem durch die Schiffswand gehenden Stutzen angebrachte Begrenzung hindert das Herausfallen des Ventils und ein zu weites Aufdrehen der Spindel. Mit Ausnahme der Kesselausblase-Bodenventile haben die Bodenventile Grätings aus Bronze oder Schmiedeeisen oder Stahlfaçonguß (in beiden letzten Fällen verzinnt), um ein Verschmutzen und Verstopfen des Ventils zu verhindern. Die Bodenventile bestehen ganz aus Bronze. Das Gehäuse besteht bei größeren Bodenventilen aus einem fest in die Schiffswand eingesetzten Untertheil und einem aufgeschraubten Obertheil. Die Ventile haben angegossene, hohle, durch die Stopfbuchse durchgeführte Stangen mit Muttergewinde, in welches die Ventilspindel eingeschraubt ist. Bei Schiffen mit Doppelboden sind die Stutzen der Bodenventile in ein schmiedeeisernes oder stählernes Rohr eingesetzt, welches den äußeren und inneren Boden des Schiffes verbindet und gegen Zerstörung durch galvanische Aktion möglichst geschützt sein muß. Zum Oeffnen und Schließen der Kesselausblase-Bodenventile dienen besondere Aufsteckschlüssel, welche nur bei geschlossenem Ventil aufgesetzt und abgenommen werden können. Hierdurch wird ein versehentliches Offenlassen dieser Ventile verhindert.

Fig. 90.

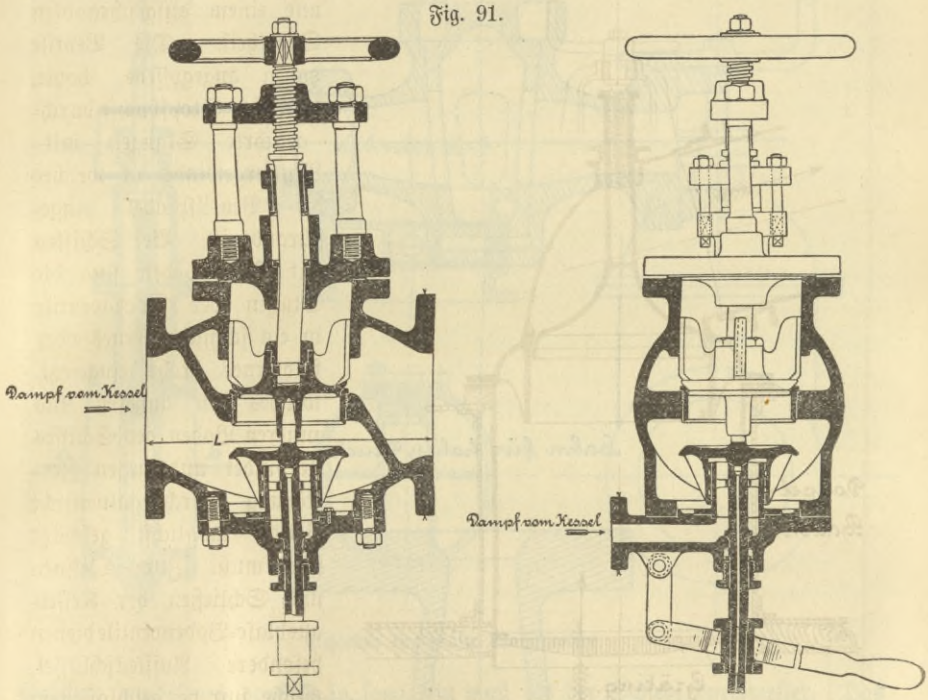


Bodenventil für die Cirkulationspumpe
S. M. S. „Fürst Bismarck".

b) Hähne. Ein Hahn besteht aus dem konisch ausgebohrten Hahngehäuse mit Anschlußstutzen und dem genau in die Ausbohrung passenden, kegelförmigen Hahnküken mit Durchgangsöffnungen und mit Vierkant zum Aufsetzen eines Schlüssels. Deckt sich die Durchgangsöffnung des Hahnkükens mit den Oeffnungen der Stutzen, dann ist der Hahn geöffnet. Das Gehäuse muß an einer Seite offen sein, um das Küken einsetzen zu können. Der dichte Abschluß an dieser Stelle besteht gewöhnlich in einer Stopfbuchse. Ein besonderer Deckel, wie

beim Ventil, ist natürlich nicht erforderlich. Bei kleinen Hähnen geht das Hahnküken ganz durch, und eine Stopfbuchse ist nicht vorhanden. Eine Stopfbuchse am Hahn dient überhaupt nur als Reservedichtung, die eigentliche Dichtung soll eine rein metallische zwischen Gehäuse und Küken sein. Letzteres muß daher mit einem gewissen Druck in die konische Bohrung hineingepreßt werden, was entweder durch den Druck der Stopfbuchse oder durch eine auf das durchgehende Hahnküken aufgeschraubte und gegen das Gehäuse sich legende Mutter oder schließlich selbstthätig durch den inneren Druck geschieht. Letztere Art von Hähnen nennt man auch Hdr.-Hähne.

Fig. 91.



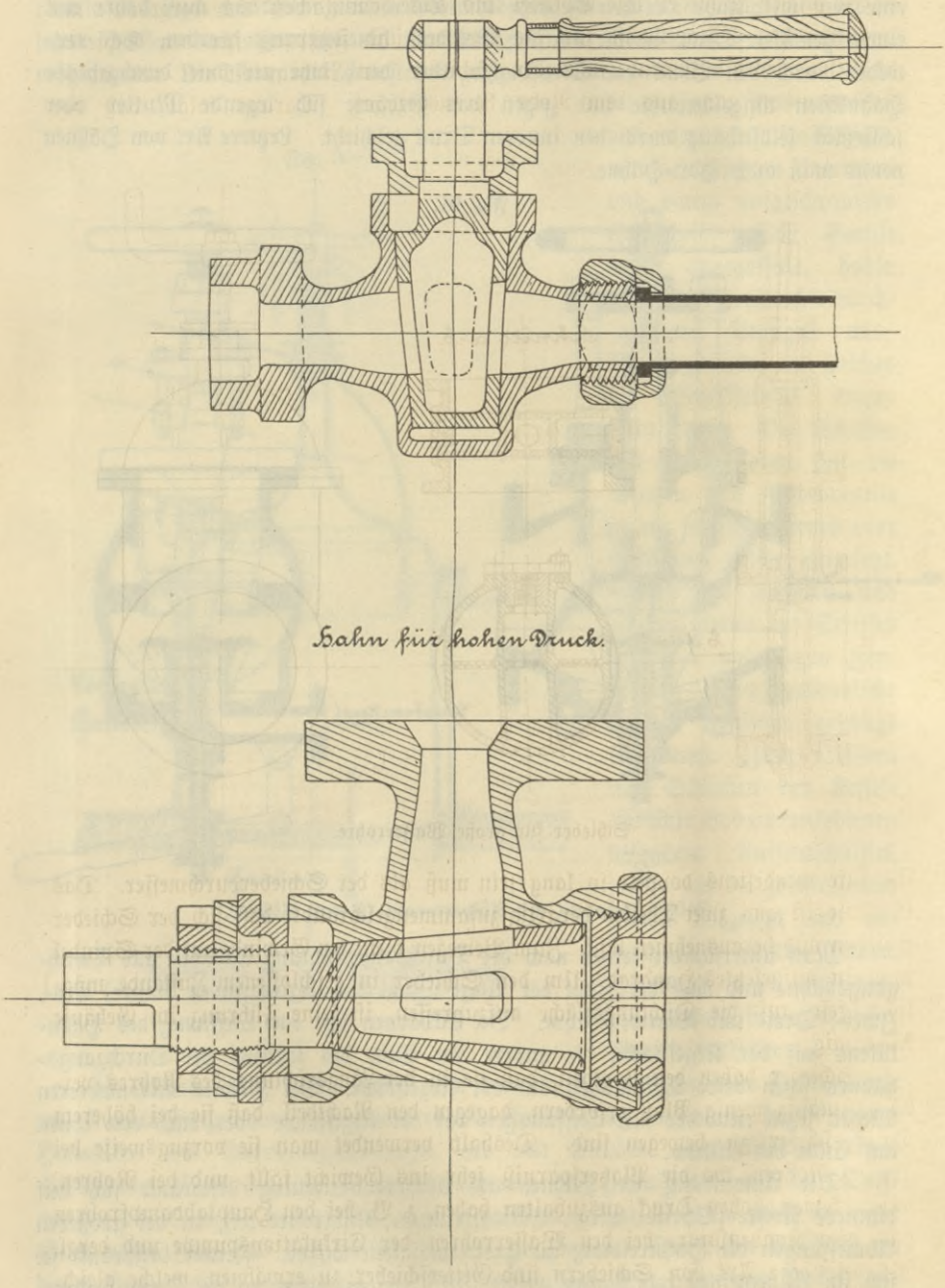
Selbstschlußventil mit Absperrventil (Patent Richter).

Man unterscheidet ferner nach der Durchgangsrichtung Eckhähne und Durchgangshähne und nach der Zahl der Wege (Zahl der abzweigenden Rohre) Ein-, Zwei-, Drei- und Vierwegehähne. Bei Eckhähnen sitzt eine Oeffnung des Hahnkükens auf der Kegelfläche, die andere am Ende des Kükens, bei Durchgangshähnen sitzen beide Oeffnungen auf der Kegelfläche. Bei Hähnen mit mehreren Wegen sitzen entweder alle Oeffnungen auf der Kegelfläche oder eine von ihnen am Ende des Kükens.

Die Anwendung von Hähnen als Absperrvorrichtung beschränkt sich auf dünnere Rohre (Speise-, Lenz-, Entwässerungs-, Kühlrohre ꝛc.), da bei größeren Abmessungen die Hahnreibung zu groß ausfallen würde. Ferner beschränkt sie sich im Allgemeinen auf Rohre, welche Flüssigkeiten leiten, da bei Dampfrohren,

Fig. 92.

Hahn für niedrigen Druck.

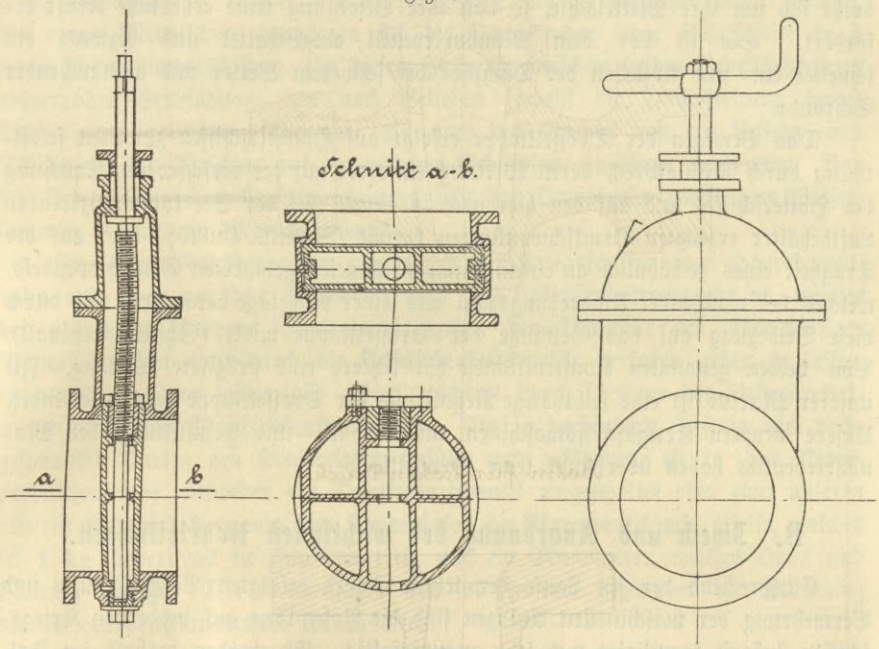


Hahn für hohen Druck.

abgesehen von ganz dünnen, die Dichtung nicht genügt. Das Material der Hähne ist auf Kriegsschiffen durchweg Bronze.

c) **Schieber.** Ein gewöhnlicher Absperrschieber besteht aus dem etwa kreisrunden flachen Schieber mit Spindel und aus dem flachen Schiebergehäuse mit Anschlußstutzen, Stopfbuchse für die Spindel und Führung für den Schieber. In geschlossenem Zustand füllt der Schieber den Rohrquerschnitt aus, in geöffnetem ist er ganz aus dem Rohr herausgezogen. Daraus folgt, daß das

Fig. 93.



Schieber für große Wasserrohre.

Gehäuse mindestens doppelt so lang sein muß als der Schieberdurchmesser. Das Gehäuse ist aus zwei Theilen derartig zusammengeschraubt, daß sich der Schieber einsetzen und herausnehmen läßt. Zum Bewegen dient ein Gewinde auf der Spindel und ein aufgesetztes Handrad. Um den Schieber in geschlossenem Zustande möglichst fest auf die Dichtungsfläche aufzupressen, ist seine Führung im Gehäuse keilförmig.

Schieber haben den Vortheil, daß sie in der Längsrichtung des Rohres verhältnißmäßig wenig Platz erfordern, dagegen den Nachtheil, daß sie bei höherem Druck schwer zu bewegen sind. Deshalb verwendet man sie vorzugsweise bei großen Rohren, wo die Platzersparniß sehr ins Gewicht fällt, und bei Rohren, welche keinen hohen Druck auszuhalten haben, z. B. bei den Hauptabdampfrohren nach dem Kondensator, bei den Wasserrohren der Cirkulationspumpe und dergl. Als besondere Art von Schiebern sind Gitterschieber zu erwähnen, welche gleich-

zeitig mehrere Oeffnungen frei geben und daher einen kleineren Hub haben. Sie finden sich auf unseren älteren Schiffen als Hülfseinspritzschieber am Kondensator. Das Material der Schieber ist auf Kriegsschiffen Bronze, das der Schieberspindeln zuweilen auch Schmiedeeisen oder Stahl.

d) **Klappen.** Dieselben sind um eine Achse in ihrer Mitte oder an einer Seite drehbar und finden sich in der Rohrleitung der Maschinen- und Kesselanlagen von Schiffen als Drosselklappe im Hauptdampfrohr und als selbstthätige Rückschlagklappen in Lenz- und Entwässerungsrohrleitungen. Eine Drosselklappe dreht sich um ihre Mittelachse, so daß ihre Bewegung keine erhebliche Kraft erfordert. Sie ist vor dem Manövrirventil eingeschaltet und bezweckt ein schnelles An- und Abstellen des Dampfes bei schwerem Wetter und austauchender Schraube.

Das Bewegen der Drosselklappe erfolgt auf Handelsschiffen zuweilen selbstthätig durch Regulatoren, deren Wirkung entweder auf der verschiedenen Tauchung des Hinterschiffes und auf den hierdurch in einem mit der See kommunizirenden Luftbehälter erzeugten Druckschwankungen beruht (System Dunlop) oder auf der Trägheit eines gewöhnlich an einem Pumpenbalancier gelagerten Gewichtspendels, welches bei wachsender Umdrehungszahl aus seiner Ruhelage heraustritt und durch diese Bewegung auf das Gestänge der Drosselklappe wirkt (System Aspinall). Von beiden genannten Konstruktionen hat letztere eine präzisere Wirkung. In unserer Marine ist eine selbthätige Regulirung der Drosselklappe nicht angewendet. Unsere neueren Kriegsschiffsmaschinen mit Schnell- und Feinstellung des Manövrirventils haben überhaupt keine Drosselklappe.

B. Zweck und Anordnung der wichtigsten Rohrleitungen.

Entsprechend der im Laufe der letzten Jahre erfolgten Vergrößerung und Vermehrung der maschinellen Anlagen sind die Rohrpläne auf modernen Kriegsschiffen äußerst komplizirt und sehr mannigfaltig. Es werden deshalb im Folgenden nur die wichtigeren Rohrverbindungen erklärt, soweit dies nicht schon in dem Abschnitt „Pumpen" geschehen ist.

1. Dampfzuleitungsrohre.

a) **Hauptdampfrohrleitung.** Dieselbe verbindet sämmtliche Kessel mit sämmtlichen Hauptmaschinen und besitzt bei größeren Anlagen außer den Absperrventilen an den Kesseln und Maschinen noch eingeschaltete Zwischenventile, um einzelne Rohrstränge oder Gruppen von Kesseln ausschalten zu können (Gruppenventile). Grundsätzlich wird die Hauptdampfrohrleitung so angeordnet, daß jeder Kessel nach jeder Maschine hin Dampf liefern kann. Aeltere Kriegsschiffe und Handelsschiffe haben gewöhnlich nur ein Hauptdampfrohr, welches sich in den Kesselräumen nach den einzelnen Kesseln und vor den Maschinen nach diesen verzweigt. Neuere Kriegsschiffe haben zur größeren Sicherheit gegen Betriebsunfähigkeit zwischen den Kessel- und Maschinenräumen gewöhnlich zwei bis sechs

Hauptdampfrohre, welche sich von den verschiedenen hintereinander liegenden Kesselgruppen abzweigen und sich auf beide Seiten des etwa vorhandenen Mittelschotts gleichmäßig vertheilen. Kriegsschiffe mit gemischtem Kesselsystem (Feuerrohr- und Wasserrohrkessel) erhalten stets für die verschiedenen Kesselarten getrennte Hauptdampfrohre, um die Dampfrohre der auf längeren Marschfahrten außer Betrieb befindlichen Wasserrohrkessel ganz ausschalten zu können.

Die nach den Maschinen führenden Hauptdampfrohre vereinigen sich auf unseren neueren Schiffen in einem am vorderen Maschinenraumschott befestigten Gruppenventilkasten, welcher die Absperrventile für die einzelnen Rohre enthält. Bei einem Mittelschott vereinigen sich die Dampfrohre jeder Schiffsseite in je einem Gruppenventilkasten. In diesem Falle ist zwischen beiden Ventilkasten eine absperrbare Verbindung, um nach Belieben sowohl die Dampfleitung beider Schiffsseiten vollständig trennen, als auch den Dampf von den Kesseln einer Schiffsseite der Maschine auf der anderen Schiffsseite zuführen zu können. Von dem Ventilkasten jedes Maschinenraumes geht das Dampfrohr zuerst zum Wassersammler, dann zum Manövrirventil.

In jedem Maschinenraum zweigt sich auf Kriegsschiffen vom Hauptdampfrohr, und zwar vor dem Manövrirventil, das Ueberproduktionsrohr ab, welches bei plötzlichem Stoppen oder Langsamgehen der Maschine den überschüssigen Dampf, um ihn nicht durch die Kesselsicherheitsventile verloren gehen zu lassen, in den Kondensator leiten soll. Dies geschieht durch Oeffnen des Ueberproduktionsventils vom Maschinistenstande aus. Um zu verhindern, daß zu viel hochgespannter Dampf den Kondensator anfüllt und gefährdet, ist in das Ueberproduktionsrohr entweder ein Druckreduzirventil eingeschaltet oder (auf unseren neueren Schiffen) kurz vor dem Kondensator ein Alarmventil mit Pfeife, welches bei 1 kg Ueberdruck in Funktion tritt, und ein Manometer, welches Druck und Vakuum anzeigt. Der Kondensator hat im Innern gegenüber der Mündung des Ueberproduktionsrohres Prallplatten.

b) Hülfsdampfrohrleitung. Dieselbe leitet den Dampf von den Kesseln zu den Hülfsmaschinen und ist bei den älteren Kriegsschiffen entsprechend der Hauptdampfrohrleitung angeordnet, d. h. sie vereinigt sich von den verschiedenen Kesseln zu dem gemeinschaftlichen Hülfsdampfrohr und verzweigt sich nach den im Maschinenraum oder an anderen Stellen des Schiffes befindlichen Hülfsmaschinen. Das von den Kesseln kommende Hülfsdampfrohr ist gewöhnlich derart mit dem Wassersammler im Maschinenraum verbunden, daß der Dampf für die Hülfsmaschinen sowohl direkt durch die Hülfsdampfrohrleitung aus den Kesseln, als auch bei Abschluß der Hülfsdampfrohrleitung aus dem Wassersammler entnommen werden kann.

Auf unseren neueren Kriegsschiffen mit mehreren Hauptdampfrohren zwischen den Kessel- und Maschinenräumen fehlt eine besondere Hülfsdampfrohrleitung in den Kesselräumen. Die Hülfsdampfrohrleitung in den Maschinenräumen besteht dann aus einem vom Gruppenventilkasten sich abzweigenden, gewöhnlich als Ringleitung ausgebildeten Hauptstrang und aus den zum Theil in Gruppen ver-

einigten Abzweigungen nach den verschiedenen Hülfsmaschinen, so daß jeder der Kessel die Hülfsmaschinen mit Dampf versorgen kann. Jedes längere Hülfsdampfrohr versieht man außer dem Absperrventil an der Hülfsmaschine noch vorher, z. B. an der Abzweigung vom Hauptstrang, mit einem Absperrventil. Um im Hafen wegen des Betriebes der Hülfsmaschinen nicht stets den Gruppenventilkasten unter Dampf halten zu müssen, ist zuweilen das Hauptdampfrohr eines der Kessel oder Kesselgruppen als Hülfsdampfrohr ausgebildet, d. h. so eingerichtet, daß es die Hülfsmaschinen mit Dampf versorgen kann, ohne den Gruppenventilkasten mit Dampf zu füllen. Das Dampfrohr für die Rudermaschine schließt man wegen der ungleichmäßigen Dampfentnahme nicht an den Hauptstrang der Hülfsdampfrohrleitung an, sondern direkt an die Hauptdampfrohrleitung. Das Dampfrohr nach den Torpedoluftpumpen vereinigt man nicht mit anderen Hülfsmaschinen, sondern zweigt es direkt vom Hauptstrang der Hülfsdampfrohrleitung ab. Grundsätzlich werden Dampfrohre für die an entfernten Stellen des Schiffes befindlichen Hülfsmaschinen möglichst unter Panzerschutz oder unter Wasser angeordnet.

2. Dampfabgangsrohre.

a) Hauptdampfabgangsrohre. Hat die Maschine nur 1 Ndr.-Cylinder, dann ist auch nur 1 Hauptdampfabgangsrohr vorhanden. Bei zwei Ndr.-Cylindern gehen die beiden Dampfabgangsrohre entweder getrennt nach dem Kondensator, oder sie vereinigen sich zu einem gemeinschaftlichen Dampfabgangsrohr. Dementsprechend erhält der Kondensator zwei oder ein Dampfeintrittsstutzen. Die Hauptdampfabgangsrohre erhalten Absperrschieber, um im Hafen den Kondensator für die Hülfsmaschinen benutzen zu können, ohne daß Dampf in die Ndr.-Cylinder und Schieberkasten dringt. Bei den Hammermaschinen der Handelsschiffe ist häufig ein hohler Cylinderständer als Dampfabgangsrohr ausgebildet.

b) Hülfsdampfabgangsrohre. Dieselben sind grundsätzlich so angeordnet, daß der Abdampf der Hülfsmaschinen sowohl in den Kondensator als auch in die freie Luft abgelassen werden kann. Zu dem Zwecke vereinigen sich die einzelnen Abdampfrohre der Hülfsmaschinen zu Gruppen, entsprechend ihrer Lage im Schiff, und schließlich zu einem gemeinschaftlichen, auf neueren Kriegsschiffen zuweilen als Ringleitung ausgebildeten Hülfsdampfabgangsrohr, welches durch Ventile einerseits mit den Kondensatoren, andererseits mit den Dampfabgangsrohren der Kesselsicherheitsventile in Verbindung gebracht werden kann. Außer den genannten Absperrventilen und den Dampfabgangsventilen der einzelnen Hülfsmaschinen besitzt die Hülfsdampfabgangsrohrleitung verschiedene Zwischenventile, um ganze Rohrstränge oder Gruppen von Hülfsmaschinen abtrennen zu können. Die Dampfabgangsrohre der Dynamomaschinen leitet man möglichst direkt, also nicht mit anderen Abdampfrohren vereinigt, in den Kondensator und in die Dampfabgangsrohre der Kesselsicherheitsventile, damit die Dynamomaschinen nicht durch andere Hülfsmaschinen in ihrem gleichmäßigen Gang ge-

stört werden. Das über die geschützte Anordnung der Hülfsdampfrohre für die nicht in den Maschinen- und Kesselräumen untergebrachten Hülfsmaschinen Gesagte gilt auch für die Hülfsdampfabgangsrohre.

c) Dampfabgangsrohre der Kesselsicherheitsventile. Dieselben sollen den Dampf in die freie Luft entweichen lassen, wenn durch irgend eine Veranlassung, z. B. durch Unachtsamkeit des Kesselbedienungspersonals oder durch plötzliche Verringerung des Dampfverbrauches ohne genügendes Abblasen nach dem Kondensator, der Kesseldruck die zulässige Grenze überschreitet. Die Dampfabgangsrohre der Sicherheitsventile jeder Kesselgruppe vereinigen sich gewöhnlich zu einem gemeinschaftlichen Rohr, welches innerhalb der Lukumschottung des betreffenden Schornsteins neben letzterem nach oben geführt ist.

3. Wasserrohre.

a) Luftpumpenrohre. Das Luftpumpensaugerohr führt vom tiefsten Punkte des Kondensationsraumes des Kondensators unter die Saugeklappen der Luftpumpe. Es kommt in Fortfall, wenn die Luftpumpe direkt an den Kondensator angebaut ist, wie bei den liegenden Maschinen der älteren Kriegsschiffe und bei den Hammermaschinen der Handelsschiffe. Das Luftpumpendruckrohr führt von der Pumpe in den Luftpumpendruckraum (Cisterne oder Warmwasserkasten) und kann vor demselben bei unseren neueren Schiffen durch ein Ventil abgesperrt werden. Die älteren Schiffsmaschinen haben außerdem ein Luftpumpendruckrohr nach See, welches in das direkt an der Bordwand oder an einem für Luft- und Cirkulationspumpe gemeinschaftlichen Stutzen befestigte selbstthätige Luftpumpen-Ausgußventil mündet. Letzteres tritt nur dann in Thätigkeit, wenn die Speisepumpen das von der Luftpumpe geförderte Wasser nicht fortschaffen, was eintreten kann, wenn durch lecke oder durchgefressene Kondensatorrohre oder durch Anwendung der Hülfseinspritzung viel Seewasser in den Kondensationsraum des Kondensators gelangt.

Auf unseren neueren Kriegsschiffen fehlt sowohl die Hülfseinspritzung am Kondensator, als auch das Luftpumpen-Ausgußventil. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit ist jedoch hier der Luftpumpendruckraum mit dem Saugeraum durch ein Rücklaufrohr mit Ueberdruckventil verbunden. Ferner sind auf unseren neueren Schiffen die Druckrohre der Luftpumpen der verschiedenen Maschinen derart miteinander verbunden,. daß jede Luftpumpe auch nach den Warmwasserkasten der anderen Maschinen drücken kann. Hierdurch wird, da die Warmwasserkasten als Reiniger (Kokes- und Schwammfilter) ausgebildet sind, erreicht, daß auch bei Ausschaltung eines Warmwasserkastens behufs Reinigung die Speisepumpen nur gereinigtes Wasser erhalten. Die Verbindung der Luftpumpendruckrohre fehlt für den Fall, daß die Warmwasserkasten doppelseitig gebaut sind, so daß während der Reinigung der einen Seite die andere in Betrieb gehalten werden kann.

b) Cirkulationspumpenrohre. Wie in Abschnitt „Pumpen" erklärt, ist der Kondensator gewöhnlich in die Druckrohrleitung der Cirkulationspumpe ein-

geschaltet. Das Saugerohr geht also vom Bodenventil (Kingston) direkt nach der Pumpe. Zwischen Bodenventil und der Pumpe ist zur Sicherheit noch ein Absperrschieber eingeschaltet. Das Druckrohr der Cirkulationspumpe führt in den Kühlraum des Kondensators, das Austrittsrohr von diesem Raum nach dem an der Schiffswand unterhalb der Wasserlinie sitzenden Cirkulationspumpen-Ausgußventil.

Von dem Saugerohr zweigt sich das durch einen Schieber absperrbare Lenzsaugerohr ab, welches vom Hauptlenzrohr kommt (vergl. Lenzpumpen) und an diesem ein als Rückschlagventil konstruirtes Absperrventil hat. Letzteres läßt sich auch von einem der benachbarten Räume aus bedienen. Um beim Lenzen der Cirkulationspumpe das Wasser direkt ohne Passiren des Kondensators über Bord werfen zu können, ist das Druckrohr durch ein mit einem Absperrschieber versehenes Zwischenrohr direkt mit dem Kühlwasserauswurf verbunden, und ist sowohl das Druck- als auch das Austrittsrohr durch Schieber oder Ventil vom Kondensator absperrbar.

Die an der Bordwand sitzenden eisernen Ausgußstutzen der Cirkulationspumpen werden vor dem Einbau stark verzinkt. Diejenigen kupfernen Cirkulationspumpenrohre, welche kein angewärmtes, d. h. aus dem Kondensator kommendes Wasser führen, werden im Innern asphaltirt, die übrigen stark verzinnt, um die galvanischen Wirkungen möglichst zu verringern.

c) Speisepumpenrohre. Die prinzipielle Anordnung der Speisepumpenrohre geht aus dem Abschnitt „Pumpen" hervor. Es bleibt nur noch zu erwähnen, daß auf neueren Schiffen, wo die einzelnen Dampfspeisepumpen von verschiedenen Stellen saugen und nach verschiedenen Stellen drücken sollen, stellenweise Ventilkasten in die Rohre eingeschaltet sind, welche in einfacher und übersichtlicher Weise die verschiedenen Umstellungen ermöglichen. Bei den Reservespeisepumpen, welche auch zum Pumpen von Seewasser dienen, trennt man gewöhnlich direkt an der Pumpe die Rohre für Süß- und Salzwasser, um ein Versalzen der Süßwasserrohre und Ventilkasten nach Möglichkeit zu verhindern. Es gehen also hier von der Pumpe zwei Sauge- und zwei Druckrohre aus, und jedes dieser vier Rohre verzweigt sich (event. unter Einschaltung eines Ventilkastens) nach den verschiedenen Sauge- und Druckräumen. Ferner haben die Reserve-Dampfspeisepumpen am Pumpenkörper, an den Ventilkasten, Rohren u. s. w. besondere Vorrichtungen, um das Salzwasser möglichst zu entfernen. Bei den Umschaltungsventilkasten ist an jedem Ventil der Zweck und seine jeweilige Stellung deutlich sichtbar gemacht.

d) Lenzpumpenrohre. Die allgemeine Anordnung derselben geht aus dem Abschnitt „Pumpen" hervor.

e) Kesselausblaserohre. Die Ausblaserohre der Kessel jedes Kesselraumes vereinigen sich zu einem gemeinschaftlichen Rohre, welches zu dem Kesselausblase-Bodenventil des betreffenden Kesselraumes führt. Zwischen der Hülfsdampf- und der Kesselausblaserohrleitung stellt man gewöhnlich eine Verbindung her, um beim Auskochen eines Kessels den erforderlichen Dampf von einem anderen Kessel

entnehmen und durch das Kesselausblaseventil (oder Hahn) in den Kessel leiten zu können. Bei Wasserrohrkesseln, welche im Allgemeinen ohne Nachtheil für den Kessel durch das Ausblaseventil entleert werden können, zweigt man außerdem von der Kesselausblaserohrleitung ein Rohr nach dem Speisewasser-Verbrauchsraum ab.

f) Rohre der Spül-, Trinkwasser-, Waschwasser- und Hafendienstpumpe. Auf unseren neueren Kriegsschiffen sind diese Rohrverbindungen gewöhnlich folgende: Die Spülpumpe saugt durch ein Bodenventil aus See oder aus dem Doppelbodenlenzrohr und drückt nach der gemeinsamen Feuerlösch- und Spülleitung oder nach See oder nach der Hauptfluthrohrleitung oder nach den Frischwassererzeugern.

Die Trinkwasserpumpe saugt aus der Trinkwasserlast oder von außenbords (bei der Uebernahme von Trinkwasser) und drückt in die Trinkwasserleitung (Trinkwasserkasten) oder in die Trinkwasserlast (bei Uebernahme von Trinkwasser).

Die Waschwasserpumpe saugt von außenbords (bei Uebernahme von Waschwasser) oder aus der Waschwasserlast und drückt in einen Waschwasserbehälter, aus welchem das Waschwasser entnommen wird, oder in die Waschwasserlast (bei Uebernahme von Waschwasser). Die Rohrleitungen zur Uebernahme von Trink- und Waschwasser ordnet man so an, daß die Uebernahme an beiden Seiten erfolgen kann.

Die Hafendienstpumpe saugt aus den Luftpumpen-Saugeräumen oder aus der Speisewasserlast und drückt nach den Warmwasserkasten. Die vorstehend genannten vier Pumpenarten sind in dem Abschnitt „Pumpen" nicht näher aufgeführt, ihr Zweck geht aber ohne Weiteres aus den beschriebenen Rohrverbindungen hervor.

Vierzehnter Abschnitt.

Allgemeine Anordnung von Maschinen, Propeller, Kessel und Brennmaterial.

A. Allgemeine Gesichtspunkte für die Anordnung.

1. Gewichts- und Raumvertheilung.

a) Längsschiffs. Die Gewichte müssen so vertheilt sein, daß sowohl bei vollen als auch bei leeren Bunkern die Tauchung des Schiffes in zulässigen Grenzen bleibt. Bei Handelsdampfern, wo Maschinen und Kessel häufig weit zurückliegen zur Erzielung großer, zusammenhängender Laderäume (Tankdampfer), wird das Gewicht der Maschinen, Kessel und Kohlen durch Ladung oder durch Wasserballast ausgeglichen.

Räumlich liegt in der Regel die Maschinenanlage hinter der Kesselanlage, damit die Wellenleitung möglichst kurz wird. Ausnahmen bilden einzelne neuere Bauten, wo ein Theil der Kessel hinter der Maschine liegt. Zweck dieser Abweichung ist entweder bessere Raumausnutzung oder Einschränkung der Schiffsschwingungen, welche in hohem Maße vom Aufstellungsort der Maschine abhängen.

b) Querschiffs. Die Gewichte müssen in Bezug auf die Mittelebene des Schiffes ungefähr ausbalancirt sein, was bei den Kesselanlagen und bei den Maschinen der Zweischraubenschiffe sich von selbst ergiebt durch die Symmetrie der Anordnung. Bei den liegenden Einschraubenschiffsmaschinen ist die eigentliche Schiffsmaschine durch die Kondensator- und Pumpenanlage ausbalancirt, und bei den mittschiffs stehenden Hammermaschinen gleicht man das einseitige Kondensator- und Pumpengewicht durch die Steuerung, durch Hülfsmaschinen und dergl. aus.

Räumlich steht bei Handelsschiffen die ganze Schiffsbreite zur Verfügung, während bei Kriegsschiffen in der Regel eine Beschränkung besteht durch seitlichen Kohlenschutz, Panzerung, Kofferdämme u. s. w.

c) In der Höhe. Für die Stabilität des Schiffes kommt der mehr oder weniger hohe Aufbau der Maschine wenig in Betracht. Entscheidend für die Anordnung in der Höhe sind also im Wesentlichen nur die Raumverhältnisse, und hier liegt der Hauptunterschied zwischen den Maschinenanlagen der Kriegs- und Handelsschiffe. Auf ersteren ist die Höhe begrenzt durch die Forderung einer geschützten Lage, d. h. unter Wasser oder unter Panzerdeck, auf letzteren führt man über der Maschine einen Luft- und Lichtschacht bis oben durch, ist also in der Höhe der Maschine unbeschränkt. Bei gleicher Leistung haben daher die Hammermaschinen der Handelsschiffe ohne Ausnahme größeren Hub und größere Gesammthöhe als diejenigen der Kriegsschiffe. Als Ausgleich haben die letzteren höhere Umdrehungszahl.

2. Zahl der Maschinen, Art und Zahl der Propeller.

a) Einschraubenschiffe. Dieselben sind in Bau und Betrieb die einfachsten und billigsten und wurden deshalb früher auf Handelsschiffen allgemein und gewöhnlich auch auf Kriegsschiffen gebaut, soweit nicht die Größe der Maschinenanlage oder sonstige Gründe zwei Schrauben verlangten. Zur Erhöhung der Wirthschaftlichkeit bei langsamer Fahrt wird auf einzelnen älteren Kriegsschiffen die Welle durch zwei gekuppelte Maschinen getrieben. Das Ausschalten der vorderen Maschine erfolgt durch Lösen einer zwischen beiden Maschinen angeordneten Wellenkuppelung.

Bei den neueren Kriegsschiffsbauten ist das Einschraubensystem auf kleinere und untergeordneten Zwecken dienende Fahrzeuge beschränkt, und auch die Handelsmarine wendet sich mit Rücksicht auf die größere Beanspruchung der modernen Maschinen im Allgemeinen und auf die häufigen Wellenbrüche der letzten Jahre

immer mehr dem Zweischraubensystem zu trotz der höheren Bau- und Betriebskosten.

b) Zweischraubenschiffe. Sämmtliche größeren Passagierdampfer und auch die meisten größeren Frachtdampfer erhalten jetzt zwei Schrauben, ebenso alle neueren Kriegsschiffe, soweit sie nicht wegen ihrer Größe als Dreischraubenschiffe gebaut sind. Der Hauptgrund für die Einführung des Zweischraubensystems an Stelle des Einschraubensystems ist die größere Sicherheit. Im Falle eines Wellenbruches oder einer Havarie an einer Maschine kann ein Zweischraubenschiff mit der unversehrten Maschine immer noch mit etwa $^3/_4$ der vollen Geschwindigkeit seine Reise fortsetzen. Bei den großen Maschinenanlagen der modernen Handelsschnelldampfer und der großen Kriegsschiffe würde auch allein schon die Größe der Maschine zur Theilung zwingen. Bei allen modernen Kriegsschiffen schließlich ist die Anwendung des Einschraubensystems in Verbindung mit der Hammermaschine allein schon durch die mangelnde Raumhöhe ausgeschlossen.

Als besondere, namentlich für Kriegsschiffe wichtige Gründe für den Uebergang vom Ein- zum Zweischraubensystem kommen noch in Betracht die bessere Manövrirfähigkeit, der höhere Nutzeffekt der Propeller infolge des freieren Wasserzuflusses und die Kohlenersparniß auf Marschfahrten beim Fahren mit nur einer Maschine.

c) Dreischraubenschiffe. Da die Sicherheit bei Zweischraubenschiffen als ausreichend gelten kann, der Propellernutzeffekt beim Dreischraubenschiff aber etwas schlechter und der Bau und Betrieb der Maschinenanlage komplizirter und theurer ist als beim Zweischraubenschiff, da schließlich auch bei den größten vorhandenen Handelsschnelldampfern die ganze Maschinenleistung in zwei Maschinen untergebracht werden kann, so kommt das Dreischraubensystem für Handelsschiffe bis jetzt nicht in Betracht. Auf großen Kriegsschiffen ist es neuerdings fast allgemein eingeführt, weil bei der vorhandenen Höhe unter Panzerdeck wohl drei kleinere, aber gewöhnlich nicht zwei größere Maschinen von der gleichen Gesammtleistung Platz haben. Auch hat bei Kriegsschiffen die durch die Dreitheilung gegebene größere Theilbarkeit bei Marschfahrten und größere Sicherheit im Gefecht einen gewissen Werth.

d) Radschiffe. Wegen der ungeschützten Lage der Schaufelräder kommen Raddampfer als Kriegsschiffe nicht in Betracht. Auch als transatlantische Handelsdampfer sind sie nicht geeignet wegen der ungleichen Eintauchung beider Räder bei bewegter See. Ihre Verwendung beschränkt sich daher im Allgemeinen auf die wegen mangelnder Wassertiefe flach gebauten Fahrzeuge, bei welchen genügend große Schrauben sich nicht unterbringen lassen, d. h. auf Fluß- und Kanalschifffahrt. Bezüglich des Nutzeffektes bei glattem Wasser sind Schraube und Schaufelrad etwa gleichwerthig. In unserer Marine sind „Kaiseradler“ (die frühere Yacht „Hohenzollern“) und die Schleppdampfer „Boreas“, „Notus“ und „Rival“ als Raddampfer gebaut.

B. Arten der Anordnung.

1. Anordnung der Maschinen.

a) Einschraubenschiffe. Die Einschraubenschiffsmaschinen der Handelsdampfer und Torpedoboote sind stets stehende oder Hammermaschinen. Aeltere Einschraubenkriegsschiffe haben gewöhnlich horizontale, ausnahmsweise schrägliegende Maschinen. Neuere Kriegsschiffe erhalten auch bei kleinen Abmessungen meistens zwei Schrauben, kommen also hier nicht in Frage.

Die Hammermaschinen haben allen übrigen Maschinenaufstellungen gegenüber wesentliche Vortheile. Sie sind übersichtlicher und zugänglicher, also bequemer für den Betrieb, sie erfordern weniger Reparaturen, weil die Cylinder nicht einseitig abgenutzt werden, und sie beanspruchen eine verhältnißmäßig kleine Grundfläche, gestatten also eine bequeme Unterbringung der Hülfsmaschinen, Tanks u. s. w.

Die in unserer Marine noch vorhandenen horizontalen oder fast horizontalen Einschraubenschiffsmaschinen sind bei genügender Schiffsbreite als direkt wirkende, bei unzureichender Breite als rückwirkende oder Trunkmaschinen gebaut. Den horizontalen Schiffsmaschinen fehlen die erwähnten Vortheile der Hammermaschinen. Die rückwirkenden sind besonders unvortheilhaft wegen ihrer komplizirten Bauart. Trunkmaschinen sind für moderne Schiffe überhaupt unverwendbar, weil bei dem hohen Dampfdruck eine sachgemäße Dichtung der großen Trunkstopfbuchse unmöglich ist.

Schrägliegende Maschinen sind ausnahmsweise auf älteren Einschraubenkriegsschiffen gebaut, wo weder die Höhe für Hammermaschinen, noch die Breite oder Spantform für horizontale Maschinen ausreichte. Ein Beispiel hierfür in unserer Marine ist S. M. S. „Brummer", wo auf jeder Schiffsseite eine schräge Compoundmaschine liegt und wo die beiden Hdr.- und die beiden Ndr.-Kolben je eine gemeinschaftliche Kurbel treiben, so daß eine Todtlage bei keiner Kurbel eintreten kann.

b) Zweischraubenschiffe. Die Maschinen sämmtlicher neueren Zweischraubenschiffe der Kriegs- und Handelsmarinen sind Hammermaschinen, welche mit wenigen Ausnahmen nebeneinander stehen. Sie sind bei großen Schiffen, z. B. „Brandenburg"-Klasse, durch ein Mittelschott getrennt. Bei kleineren Schiffen, z. B. „Gazelle", stehen sie in einem Raum und haben dann gewöhnlich einen gemeinschaftlichen Maschinistenstand in der Mitte. In einzelnen Fällen, z. B. bei „S 90" bis „S 101", sind die Maschinen zusammengeschraubt, so daß auf jeder Schiffsseite ein Maschinistenstand liegt. Horizontale Maschinen sind nur auf älteren Zweischraubenkriegsschiffen gebaut und dann gewöhnlich so angeordnet, daß die St. B.-Maschine die B. B.-Schraube treibt und umgekehrt. Schrägliegende Maschinen mit einer Neigung der Cylinder nach der Schiffsmitte hin sind in unserer Marine auf den alten Panzerkanonenbooten der „Wespe"-Klasse gebaut.

c) Dreischraubenschiffe. Die Maschinen der Dreischraubenkriegsschiffe (Handelsschiffe mit drei Schrauben baut man nicht) sind stets Hammermaschinen, da durch die Dreitheilung und die dadurch bedingte Kleinheit der Maschinen stets eine Unterbringung unter Panzerdeck möglich ist. Die beiden Außenmaschinen ordnet man stets nebeneinander an, meist durch ein Mittelschott getrennt, die Mittelmaschine weiter hinten, durch ein Querschott von den beiden Außenmaschinen getrennt. Diese Anordnung entspricht der Verjüngung des Schiffskörpers nach hinten.

d) Radschiffe. Die Maschinen sind hier entweder oscillirend oder schrägliegend oder Balanciermaschinen. Die oscillirenden Maschinen, früher mit Vorliebe auf Avisos und Yachten verwendet, sind sehr einfach wegen des Fehlens der Pleuelstange, haben aber den großen Nachtheil, daß der Dampf durch die hohlen Schildzapfen geleitet werden muß, weshalb diese leicht warm laufen. Für hohe Dampfspannung sind oscillirende Maschinen deshalb nicht geeignet. Schrägliegende Radschiffsmaschinen haben Geradführung und Pleuelstangen und sind daher im Betriebe solider. Sie sind aber auch entsprechend schwerer und beanspruchen mehr Platz. Balanciermaschinen übertragen die Kolbenbewegung durch zwei Pleuelstangen und Balancier auf die Kurbelwelle. Der Balancier liegt entweder unten (z. B. Schleppdampfer „Boreas") oder oben (z. B. amerikanische Raddampfer). Die Balanciermaschinen ermöglichen einen großen Cylinderhub und ein Uebersetzungsverhältniß zwischen Hub und Kurbelkreisdurchmesser, sind aber noch schwerer als die schrägliegenden Radschiffsmaschinen.

2. Anordnung der Wellen und Propeller.

a) Einschraubenschiffe. Hier kommt nur die Höhenlage in Frage. Natürlich legt man die Welle vorn so tief wie möglich. Hinten ist für die Höhe der Wellenachse die Größe und Eintauchung der Schraube maßgebend. Bei den Einschraubentorpedobooten, bei welchen der Hintersteven zur Erzielung einer genügend großen Schraube eine ausgebaute Hacke hat, ist die Welle nach hinten geneigt.

b) Zweischraubenschiffe. Hier kommt sowohl die horizontale als auch die vertikale Lage der Wellen in Frage. Horizontal liegen die Wellen gewöhnlich parallel, vertikal wie bei den Einschraubenschiffen, also vorn möglichst tief, hinten so, daß die Schrauben genügend tief unter Wasser liegen.

c) Dreischraubenschiffe. Da die beiden Außenmaschinen nebeneinander stehen, wie bei Zweischraubenschiffen, die Außenschrauben aber Platz lassen müssen für die Mittelschraube, so folgt, daß die Außenwellen in der Regel nach vorn konvergiren, was für die Manövrirfähigkeit des Schiffes natürlich nachtheilig, aber häufig nicht zu vermeiden ist. In vertikaler Richtung liegen die Wellen vorn ungefähr gleich hoch, hinten liegt die Mittelwelle gewöhnlich tiefer, weil hierdurch eine vortheilhaftere Anordnung der drei Schrauben möglich wird.

d) Radschiffe. Die gewöhnlichen Raddampfer haben hinter der Schiffsmitte zwei seitliche Schaufelräder mit gemeinschaftlicher Radwelle, deren Höhenlage sich aus den Größenverhältnissen des Schiffes und der Radkonstruktion ergiebt (feste und bewegliche Schaufeln). Bei manchen Raddampfern können die beiden Räder in entgegengesetztem Sinne arbeiten. Die Welle besteht dann aus zwei voneinander loskuppelbaren Hälften. Bei Heckraddampfern, welche für schmale Flüsse und Kanäle Verwendung finden, liegt Rad und Radwelle hinter dem Schiffskörper innerhalb der größten Schiffsbreite.

3. Anordnung der Kessel, Kohlenbunker und Oelbunker.

a) Kessel und Kohlenbunker. Die Kessel sind mit ihrer Achse entweder längsschiffs oder querschiffs aufgestellt. Im Allgemeinen ist die Aufstellung längsschiffs vortheilhafter, weil die Neigungen des Schiffes dann weniger störend sind für den Wasserstand im Kessel und für den Betrieb überhaupt. Die Kohlen ordnet man dann am besten in Querbunkern an, weil dann der Transport vor die Feuer am bequemsten wird. Auf Handelsschiffen ist diese Anordnung allgemein gebräuchlich. Auf Kriegsschiffen baut man wegen des seitlichen Kohlenschutzes vorzugsweise Seitenbunker. Dadurch geht der bequeme Kohlentransport vor die längsschiffs aufgestellten Kessel zum Theil verloren. Aus diesem Grunde ordnet man bei genügend breiten Kriegsschiffen die Kessel häufig auch querschiffs mit der Rückwand nach der Schiffsmitte hin an. Diese Anordnung ist besonders dann vortheilhaft, wenn die Kesselräume durch ein Längsschott getheilt sind. Die Aufstellung der Kessel querschiffs mit gemeinschaftlichem Heizraum in der Mitte ist weniger gut und findet sich nur auf älteren Kriegsschiffen. Die Anzahl der Kesselräume und ihre Trennung durch Längs- und Querschotte richtet sich nach der Größe des Schiffes und nach der Zahl der Kessel.

b) Oelbunker. Das Theeröl wird in Seitenbunkern und in Doppelbodenzellen untergebracht. Oel gewährt selbst keinen Schutz gegen feindliche Geschosse, folglich müssen seitliche Oelbunker möglichst unter Panzerschutz liegen. Der Oeltransport spielt bei der Anordnung der Oelbunker keine Rolle, da er nur in dem Durchpumpen oder Durchfließen durch Rohre besteht.

Fünfzehnter Abschnitt.

Hülfsmaschinen.

Einleitung.

Hülfsmaschinen sollen entweder rein mechanische Arbeit leisten, welche unter Umständen auch durch Menschenkraft geleistet werden könnte und auf älteren oder kleineren Dampfschiffen sowie auf Segelschiffen auch thatsächlich durch Menschenkraft geleistet wird, dienen also zur Ersparniß von Personal und Zeit, oder sie dienen zu besonderen, nicht rein mechanischen Leistungen. Zu der ersteren Gruppe von Hülfsmaschinen gehören die Umsteuerungsmaschinen, Ventilationsmaschinen, Maschinen zum Drehen der Hauptmaschine, Aschheißmaschinen und Aschejektoren, Rudermaschinen, Spillmaschinen, Bootsheißmaschinen, Kohlenwinden, Geschützschwenkwerke und Munitionsheißmaschinen, zu der letzteren Gruppe gehören die Speisewassererzeuger, Speisewasserreiniger, Trinkwassererzeuger, Eis- und Kühlmaschinen.

Nach ihren Zwecken kann man die Hülfsmaschinen in solche für maschinelle, seemännische, militärische und gesundheitliche Zwecke sowie in Bootsmaschinen eintheilen. Diese Eintheilung ist der folgenden Beschreibung zu Grunde gelegt. Die Dampfpumpen sind ihrer Natur nach zwar auch Hülfsmaschinen, werden aber hier, abgesehen von der Torpedoluftpumpe, nicht weiter erwähnt, weil sie in dem Abschnitt „Pumpen" beschrieben sind.

Als Betriebskraft dient bei Hülfsmaschinen entweder Dampf oder hydraulischer Druck oder Elektrizität. In einzelnen Fällen (auf einzelnen Segelschiffen) werden auch Petroleummotoren verwendet. Dampf verwendet man vorzugsweise bei Hülfsmaschinen, welche große Kraft entwickeln sollen (Rudermaschinen, Spillmaschinen u. s. w.), oder welche in der Nähe der Kessel sich befinden (Heizraumventilatoren). Hydraulischen Druck verwendet man vorzugsweise bei Hülfsmaschinen, welche genaue Regulirung erfordern, oder bei welchen die Hitze des Dampfes besonders lästig oder etwa ausströmender Dampf besonders nachtheilig ist (Geschützschwenkwerke). Elektrizität verwendet man vorzugsweise für Hülfsmaschinen, welche keine große Kraft ausüben sollen und weit von den Kesseln entfernt sind (Schiffsventilatoren). Nähere Angaben über die Betriebskraft folgen bei den einzelnen Hülfsmaschinen.

A. Hülfsmaschinen für maschinelle Zwecke.

1. Umsteuerungsmaschinen.

a) Allgemeines. Allgemeine Anforderung an die Manövrirfähigkeit der Schiffsmaschine ist es, daß das Umsteuern von Stopp auf jede der beiden Endstellungen nicht länger als 20 Sekunden und von einer Endstellung in die

andere nicht länger als 30 Sekunden dauert. Bei kleineren Schiffsmaschinen, Torpedobootsmaschinen u. s. w. soll das Umsteuern in noch erheblich kürzerer Zeit möglich sein. Diese Anforderung ist durch eine durch Menschenkraft zu bewegende Vorrichtung nicht erfüllbar, wenn die Maschine eine gewisse Größe (etwa 500 IHP) überschreitet. Man ist demnach bei größeren Schiffsmaschinen gezwungen, Umsteuerungsmaschinen zu verwenden.

Jede Umsteuerungsmaschine hat den Zweck, die Umsteuerungswelle, welche die Umsteuerungen der einzelnen Cylinder verbindet, um einen gewissen Winkel (durchschnittlich etwa 60°) hin und zurück zu drehen, und greift deshalb mittelst Zugstange an einem fest auf die Umsteuerungswelle aufgesetzten Hebel an. Sie muß möglichst einfach zu bedienen sein und schnell, sicher und stoßfrei wirken. Sie muß schließlich auch die Möglichkeit bieten, ohne Dampf durch einen Mann die Maschine umzusteuern, was natürlich langsamer geht.

Die verschiedenen auf Schiffen angewendeten Umsteuerungsmaschinen zerfallen in zwei Hauptarten. Bei der ersten Art entspricht 1 Hub der Umsteuerungsmaschine der ganzen Umsteuerung von Vorwärts auf Rückwärts, und eine Kurbelwelle ist an der Umsteuerungsmaschine nicht vorhanden. Bei der zweiten Art muß die mit Kurbelwelle versehene Umsteuerungsmaschine mehrere Umdrehungen machen, um die Maschine umzusteuern. Daraus folgt einerseits, daß bei den Umsteuerungsmaschinen der ersten Art die Kolbenstange direkt mit der erwähnten Zugstange verkuppelt sein kann, bei der Umsteuerung der zweiten Art eine Uebersetzung vom Schnellen ins Langsame vorhanden sein muß, andererseits, daß die Umsteuerungsmaschinen der ersten Art groß und schwer, die der zweiten Art klein und leicht sind.

Für den Betrieb jeder Umsteuerungsmaschine gilt als Regel, daß sie, wenn die Hauptmaschine im Gange ist, jederzeit sofort gebrauchsfähig sein muß. Die Absperrventile in der Dampf-Zu- und Ableitung müssen also geöffnet sein. Auch muß dauernd dafür gesorgt werden, daß die Umsteuerungsmaschine angewärmt bleibt, und daß sich nicht zu viel Kondensationswasser in derselben ansammelt. Um Irrthümer in der Bedienung möglichst auszuschließen, besteht in unserer Marine die Vorschrift, daß bei einem Handrad ein Drehen im Sinne des Uhrzeigers, bei einem Handhebel ein Wegdrücken vom Standpunkt der umsteuernden Person erforderlich ist, um den Vorwärtsgang der Maschine einzuleiten.

b) Umsteuerungsmaschinen, welche mit 1 Hub umsteuern. Die älteren Umsteuerungsmaschinen dieser Art, welche sich noch auf einigen älteren Schiffen unserer Marine finden, haben nur einen Dampfcylinder. Die Bewegung der Kolbenstange wird durch Zugstange und eventuell durch zwischengeschaltete Hebel auf den Hebel der Umsteuerungswelle übertragen. Die Bewegung des Kolbens der Umsteuerungsmaschine nach der einen oder anderen Seite wird durch Auslenken des Dampfvertheilungsschiebers bewirkt, welcher zu diesem Zwecke mit dem Umsteuerungshandhebel verbunden ist. Zwischen der Kolben- und Schieberstange der Umsteuerungsmaschine ist eine Verbindung derart hergestellt, daß der Schieber selbstthätig wieder auf Deckung gestellt wird, bevor

der Kolben die Endstellung erreicht. Auf diese Weise wird der Dampf komprimirt, und es wird verhindert, daß beim Umsteuern der Kolben gegen den Boden oder Deckel des Cylinders stößt. Wegen der Elastizität des Dampfes wirkt jedoch diese selbstthätige Hubbegrenzung nicht sicher. Es ist deshalb bei diesen Umsteuerungsmaschinen eine besonders vorsichtige Bedienung erforderlich, um Havarien vorzubeugen, und dieses ist der Hauptmangel dieser älteren Umsteuerungsmaschinen.

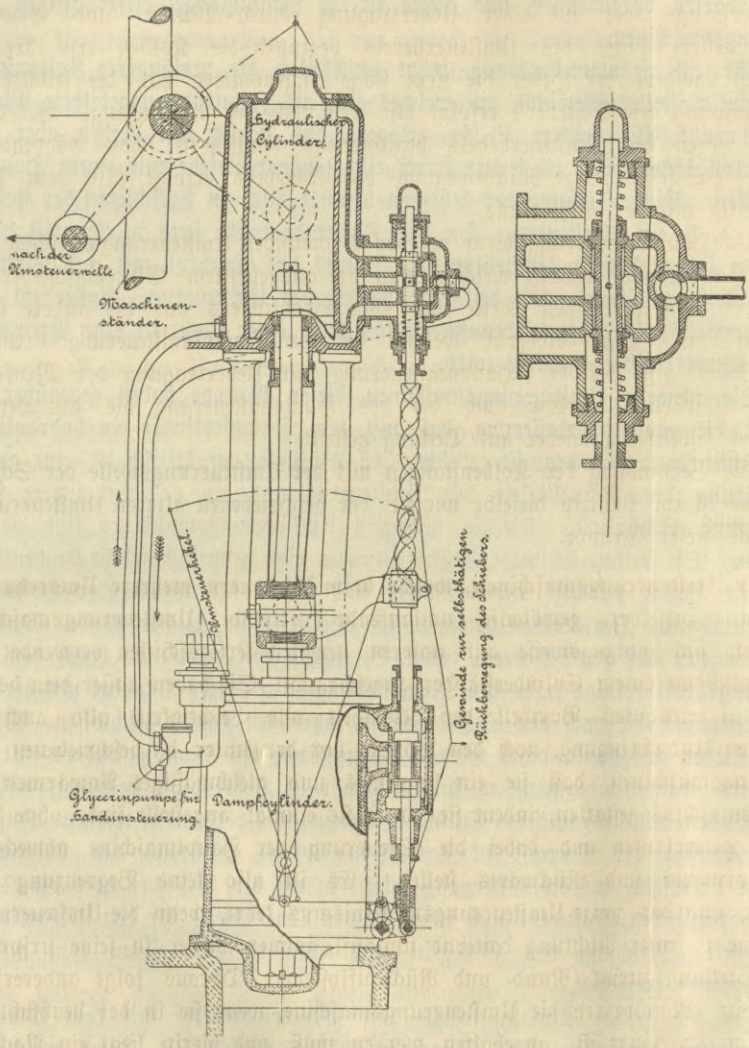
Für die Handumsteuerung trägt gewöhnlich die verlängerte Kolbenstange ein ziemlich steiles Gewinde, auf welches eine als Zahnrad ausgebildete Mutter aufgeschraubt ist. Letztere ist so gelagert, daß sie sich nur drehen, aber nicht verschieben kann. Sie ist ferner durch ein Zahnradgetriebe mit einem Handrad verbunden. Eine Drehung des letzteren bewirkt also ein Verschieben der Kolbenstange, d. h. ein Umsteuern. Da das Zahnradgetriebe stets in Eingriff bleibt, so dreht sich auch beim Umsteuern mit Dampf das Handrad mit und wirkt auf diese Weise mäßigend auf die Schnelligkeit des Umsteuerns. Außerdem wird das Handrad als Bremse benutzt, indem durch einen Fußtritt eine Bremsbacke gegen seinen Umfang gepreßt wird.

Die neueren Umsteuerungsmaschinen dieser Gruppe haben gegenüber den älteren die große Verbesserung, daß mit dem Dampfcylinder ein hydraulischer Sperrcylinder verbunden ist, welcher, da Flüssigkeit unelastisch ist, eine genaue Regulirung der Schnelligkeit des Umsteuerns und eine absolut sichere Hubbegrenzung ermöglicht. Die so gebauten Umsteuerungsmaschinen sind die von Brown. Die beiden Cylinder haben entweder eine gemeinschaftliche Kolbenstange oder sie liegen parallel nebeneinander und haben fest miteinander verbundene Kolbenstangen. Die Kolben bewegen sich also stets in gleicher Weise. Dasselbe gilt von den beiden Schiebern, deren Bewegung mit der Hand durch den Umsteuerungshebel erfolgt. In der Mittelstellung halten beide Schieber mit geringen Ueberdeckungen die nach den Cylinderenden führenden Kanäle geschlossen. Werden die Schieber ausgelenkt, dann wird das eine Ende des Dampfcylinders mit dem Eintritts-, das andere mit dem Austrittsrohr in Verbindung gebracht, während beide Enden des hydraulischen Cylinders miteinander verbunden werden. Infolgedessen bewegt der Dampfdruck den Dampfkolben, während der hydraulische Kolben bremsend auf die Bewegung wirkt, indem der Schieber oder die Kanäle des hydraulischen Cylinders nur einen kleinen Querschnitt für den Uebertritt der Flüssigkeit (Mischung von Glycerin und Wasser) von einem zum anderen Cylinderende freigeben.

In die beiden Kanäle, welche den Glycerincylinder mit dem Glycerinschieberkasten verbinden, sind Durchgangshähne eingeschaltet, durch welche der Durchgangsquerschnitt für die Flüssigkeit beliebig verengt und auch ganz abgesperrt werden kann. Hierdurch läßt sich einerseits der Grad der Bremsung beliebig reguliren, andererseits die Umsteuerungsmaschine ganz feststellen, so daß durch Erschütterungen oder unbeabsichtigtes Bewegen des Umsteuerungshebels keine Veränderung im Gange der Maschine eintreten kann.

Nach dem bisher Gesagten bewegten sich die beiden Kolben der Umsteuerungsmaschine so lange, wie der Dampf-Ein- und Austritt durch den Dampfschieber geöffnet bleibt. Es muß aber verlangt werden, daß die Kolben in der Mittelstellung (Stopp) oder in den Endstellungen (Aeußerste Kraft vorwärts

Fig. 94.



Brown'sche Umsteuerungsmaschine.

oder rückwärts) oder in den Zwischenstellungen (langsame, halbe Fahrt u. s. w.) stehen bleibt, je nachdem man den Umsteuerungshebel in die Mittelstellung oder in eine Endstellung oder in eine Zwischenstellung bringt. Dies erreicht man durch eine Verbindung zwischen Kolbenstange und Schieberstange, derart, daß

die Schieber durch die Bewegung der Kolben selbstthätig, und zwar ohne Bewegung des Umsteuerhebels, wieder auf die Deckung (Mittelstellung) zurückgeschoben sind, wenn die Kolben die der Lage des Umsteuerhebels entsprechende Stellung erreicht haben (Katarakt-Umsteuerung). Die Wirkung der erwähnten Verbindung beruht entweder auf einer Hebelanordnung zwischen Kolben- und Schieberstange oder auf einer Uebertragung durch Mutter und Gewinde. Bei schnellem Legen des Umsteuerhebels beginnen die Kolben erst ihre Bewegung, nachdem der Hebel die neue Lage eingenommen hat, die selbstthätige Rückbewegung des Schiebers erfolgt also erst nach der Auslenkung. Bei langsamem Legen des Umsteuerhebels beginnt das Umsteuern schon während des Legens, die selbstthätige Rückbewegung des Schiebers erfolgt also zum Theil gleichzeitig mit der Auslenkung.

Als Handumsteuerung dient bei der Brownschen Umsteuerungsmaschine eine kleine Handpumpe, mittelst welcher man bei ausgelenktem Glycerinschieber das Glycerin von der einen Seite des Glycerincylinders auf die andere überpumpen kann. Das Glycerin, welches bei der Dampfumsteuerung bremsend wirkt, dient also bei der Handumsteuerung zur Uebertragung der Menschenkraft. Natürlich werden auch bei der Handumsteuerung die ausgelenkten Schieber selbstthätig wieder auf Deckung gestellt.

Die Verbindung der Kolbenstangen mit der Umsteuerungswelle der Schiffsmaschine ist im Prinzip dieselbe wie bei der beschriebenen älteren Umsteuerungsmaschine dieser Gruppe.

c) **Umsteuerungsmaschinen, welche beim Umsteuern mehrere Umdrehungen machen.** Dieselben, gewöhnlich umlaufende (rotirende) Umsteuerungsmaschinen genannt, sind vorzugsweise auf unseren neuesten Kriegsschiffen verwendet und gewöhnlich an einem Cylinderständer angeschraubt. Sie haben außer dem bereits unter a) erwähnten Vortheil der Kleinheit und Leichtigkeit, also auch der leichteren Unterbringung, noch den Vorzug vor den unter b) beschriebenen Umsteuerungsmaschinen, daß sie ein bequemes und gleichmäßiges Anwärmen der Schiffsmaschine gestatten, indem sie, wenn sie einmal angestellt sind, ohne Aufhören weiterlaufen und dabei die Steuerung der Hauptmaschine abwechselnd auf Vorwärts und Rückwärts stellen. Es ist also keine Begrenzung vorhanden, und der ganze Umsteuerungsmechanismus kehrt, wenn die Umsteuerungsmaschine in einer Richtung dauernd umläuft, immer wieder in seine ursprüngliche Stellung zurück (Rund- und Rücklaufsystem). Daraus folgt andererseits, daß beim Manövriren die Umsteuerungsmaschine, wenn sie in der beabsichtigten Stellung angelangt ist, angehalten werden muß, und hierin liegt ein Nachtheil gegenüber den unter b) beschriebenen Umsteuerungsmaschinen, indem an die Aufmerksamkeit und Thätigkeit der umsteuernden Person beim Manövriren höhere Anforderungen gestellt werden. Auch dauert wegen der Uebersetzung zwischen Umsteuerungsmaschine und Umsteuerungswelle das Umsteuern durchschnittlich länger als bei den unter b) beschriebenen Umsteuerungsmaschinen.

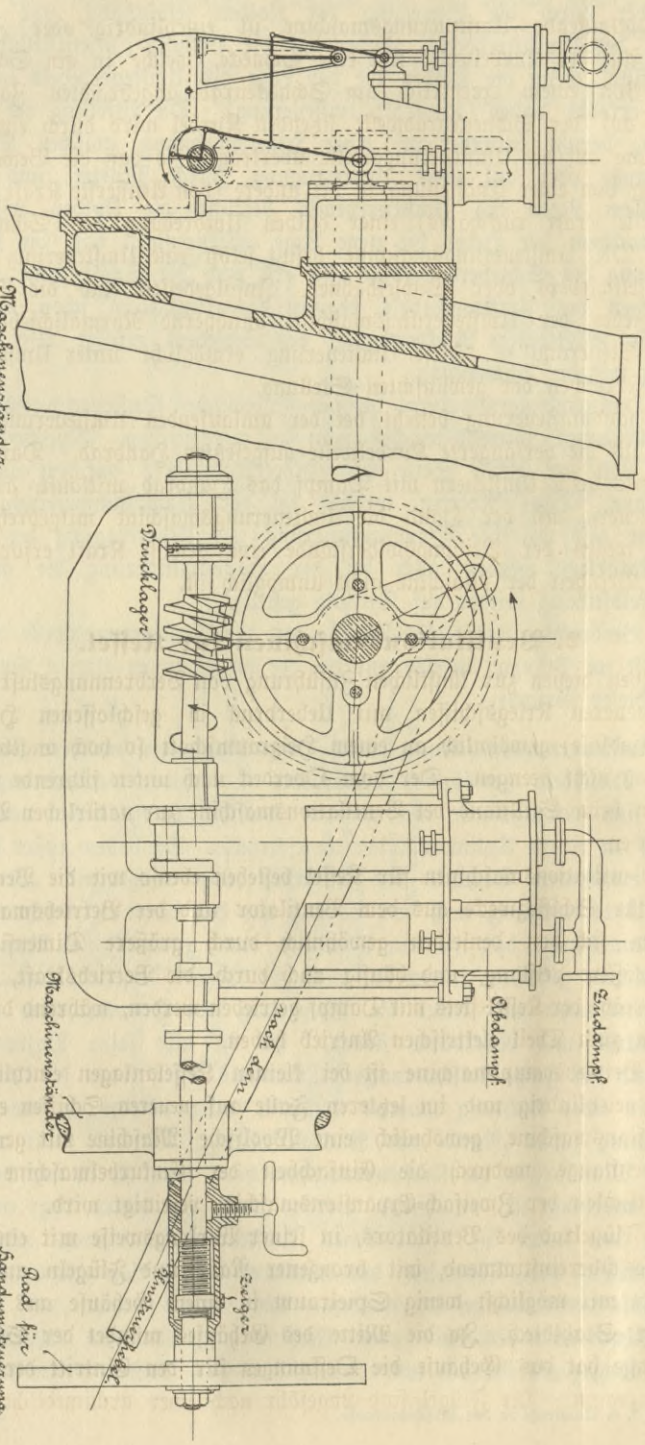


Fig. 95.

Rundlauf-Umsteuerungsmaschine.

Die umlaufende Umsteuerungsmaschine ist eincylindrig oder Zwillingsmaschine. Auf der Kurbelwelle sitzt eine Schnecke, welche in ein Schneckenrad eingreift. Von einem excentrisch am Schneckenrad angebrachten Zapfen oder von einer auf der Schneckenradwelle sitzenden Kurbel wird durch eine Stange die Bewegung auf die Umsteuerungswelle übertragen, so daß die Bewegung der Umsteuerung von einer Endstellung in die andere (von Aeußerste Kraft vorwärts bis Aeußerste Kraft rückwärts) einer halben Umdrehung des Schneckenrades entspricht. Die Umsteuerungsmaschine besitzt selbst eine Umsteuerung in Form eines Wechselschiebers oder Wechselhahnes. Infolgedessen sind die Dampfvertheilungsschieber der Umsteuerungsmaschine annähernd Normalschieber (vergl. Abschnitt „Steuerung"). Diese Umsteuerung ermöglicht unter Umständen ein schnelleres Erreichen der gewünschten Stellung.

Die Handumsteuerung besteht bei der umlaufenden Umsteuerungsmaschine in einem auf die verlängerte Kurbelwelle aufgesetzten Handrad. Daraus folgt, daß einerseits beim Umsteuern mit Dampf das Handrad mitläuft, andererseits beim Umsteuern mit der Hand die Umsteuerungsmaschine mitgedreht werden muß, was wegen der Reibungswiderstände eine gewisse Kraft erfordert, aber wegen der Kleinheit der Maschine nicht unmöglich ist.

2. Ventilationsmaschinen für Kessel.

Dieselben dienen zur künstlichen Zuführung von Verbrennungsluft und sind auf den neueren Kriegsschiffen mit Ueberdruck in geschlossenen Heizräumen (Oberwindgebläse) gewöhnlich an einem Heizraumschott so hoch angebracht, daß sie den Platz nicht beengen. Der vom Oberdeck nach unten führende Luftsaugeschacht kann beim Stillstand der Ventilationsmaschine zur natürlichen Ventilation benutzt werden.

Die Ventilationsmaschinen für Kessel bestehen ebenso wie die Ventilationsmaschinen für Schiffszwecke aus dem Ventilator und der Betriebsmaschine, sie unterscheiden sich von denselben gewöhnlich durch größere Dimensionen und demnach größere Leistung, und häufig auch durch die Betriebskraft, indem sie wegen der Nähe der Kessel stets mit Dampf getrieben werden, während die Schiffsventilatoren zum Theil elektrischen Antrieb haben.

Die Betriebsdampfmaschine ist bei kleinen Kesselanlagen eincylindrig, bei größeren zweicylindrig und im letzteren Falle auf neueren Schiffen eine Zweifach-Expansionsmaschine, gewöhnlich eine Woolfsche Maschine mit gemeinschaftlicher Kolbenstange, wodurch die Einfachheit der Einkurbelmaschine mit der Wirthschaftlichkeit der Zweifach-Expansionsmaschine vereinigt wird.

Das Flügelrad des Ventilators, in seiner Wirkungsweise mit einer Centrifugalpumpe übereinstimmend, mit bronzener Nabe und Flügeln aus Kupferblech, rotirt mit möglichst wenig Spielraum in einem Gehäuse aus verzinktem Eisen- oder Stahlblech. In die Mitte des Gehäuses mündet der Saugeschacht. Am Umfange hat das Gehäuse die Oeffnungen für den Eintritt der Druckluft in den Heizraum. Die Flügel sind ungefähr nach einer archimedischen Spirale

rückwärts gebogen, was für die Centrifugalwirkung besonders vortheilhaft ist. Die Flügelradwelle ist mit der Kurbelwelle der Betriebsmaschine direkt gekuppelt.

Um die Betriebsmaschine der Heizraumventilatoren möglichst gegen Kohlenstaub zu schützen, umgiebt man sie mit einer möglichst dicht schließenden, losnehmbaren Blechbekleidung. Außerdem bringt man, soweit erforderlich, am Umfange des Ventilatorgehäuses eine Blechbekleidung an, um das Heizpersonal vor der direkten Einwirkung der kalten Luft zu schützen. Den Gang der Ventilationsmaschine, also auch den Ueberdruck im Heizraum, regelt man mit dem Dampfabsperrventil.

3. Maschine zum Drehen der Hauptmaschine.

(Tafel X. Fig. 96.)

Dieselbe wird bei größeren Schiffsmaschinen angewendet, um die für Revisions- und Reparaturarbeiten erforderlichen Drehungen der Hauptmaschine schnell und leicht ausführen zu können. Sie ist mit der früher beschriebenen Handdrehvorrichtung vereinigt, und zwar gewöhnlich so, daß eine auf der Kurbelwelle der Drehmaschine befestigte Schnecke in ein auf der Schneckenwelle der Handdrehvorrichtung aufgesetztes Schneckenrad eingreift. Demnach hat die Handdrehvorrichtung eine einmalige, die Drehmaschine eine zweimalige Schneckenübersetzung auf die Kurbelwelle der Hauptmaschine. Die Drehmaschine steht still, wenn mit der Hand gedreht wird (beim Konserviren der Maschine außer Dienst), und die Schnecke der Drehmaschine muß in diesem Falle ausgerückt werden, damit sie nicht sperrend wirkt. Die Ausrückbarkeit der zweiten, in das Schneckenrad der Hauptmaschinenwelle eingreifenden Schnecke ist früher erwähnt.

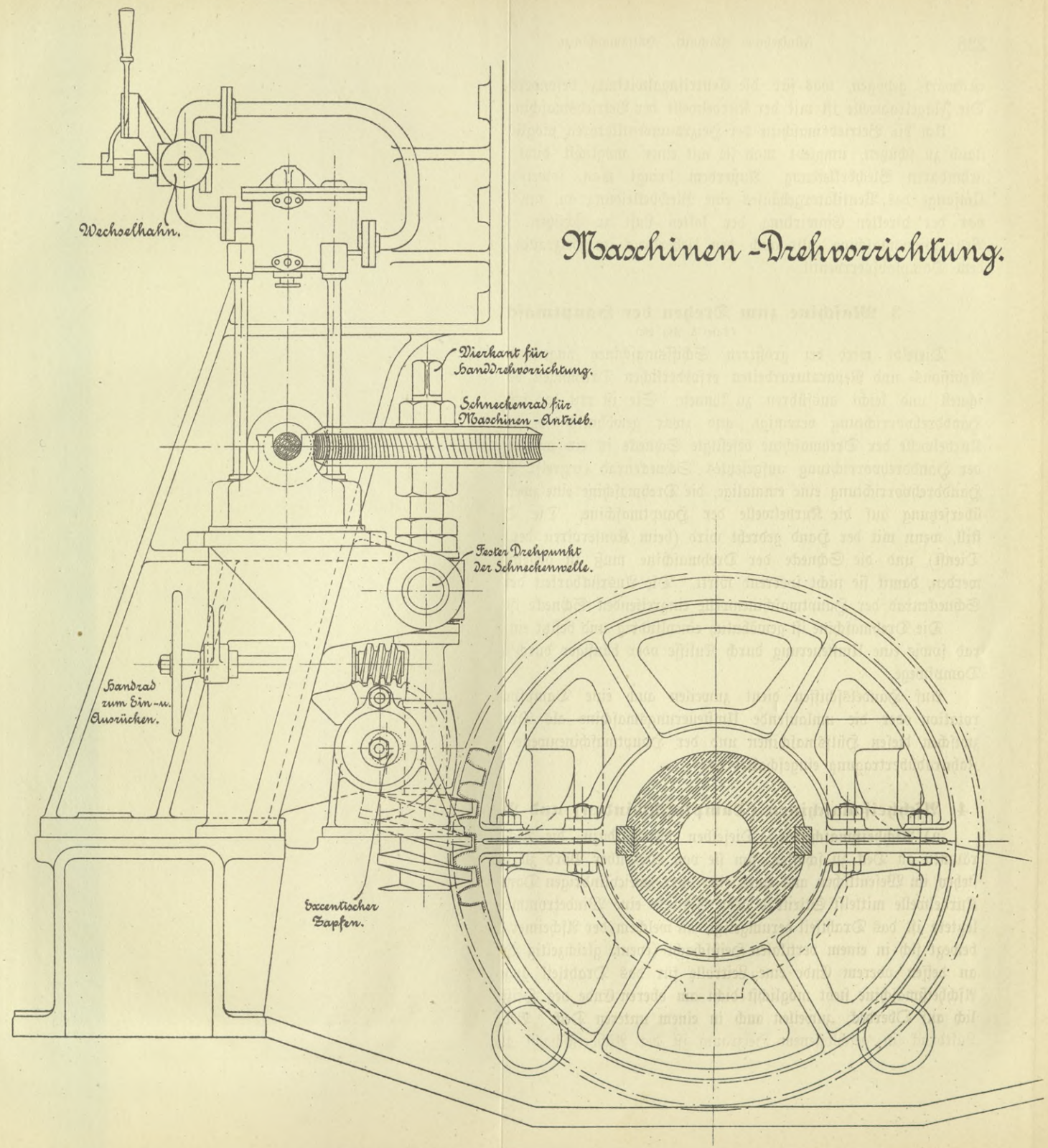
Die Drehmaschine ist gewöhnlich eincylindrig und besitzt ein kleines Schwungrad sowie eine Umsteuerung durch Kulisse oder häufiger durch Vertauschung der Dampfwege.

Auf Handelsschiffen dient zuweilen auch eine Dampfpumpe mit Hülfsrotation oder die umlaufende Umsteuerungsmaschine als Drehmaschine, indem zwischen diesen Hülfsmaschinen und der Hauptmaschinenwelle eine Ketten- oder Zahnradübertragung eingeschaltet wird.

4. Aschheißmaschinen (Dampfaschwinden) und Aschejektoren.

a) **Aschheißmaschinen.** Dieselben dienen dazu, die Asche aus den Heizräumen an Deck zu schaffen, um sie von dort über Bord zu schütten. Sie bestehen im Wesentlichen aus einer ein- oder zweicylindrigen Dampfmaschine, deren Kurbelwelle mittelst Stirnrad oder Schnecke eine Windetrommel dreht. Um die letztere ist das Drahtseil herumgelegt, an welchem der Ascheimer hängt. Derselbe bewegt sich in einem vertikalen Heißschacht (event. gleichzeitig Ventilationsschacht), an dessen oberem Ende eine Leitrolle für das Drahtseil angebracht ist. Die Aschheißmaschine steht möglichst dicht am oberen Ende des Heißschachtes gewöhnlich auf Oberdeck, zuweilen auch in einem unteren Deck. Bei Anwendung von Luftdruck in geschlossenem Heizraum ist der Aschheißschacht als Schleuse aus-

Maschinen-Drehvorrichtung.



gebildet, also mit zwei Verschlußklappen versehen (oben und unten), von welchen immer nur eine geöffnet sein darf. Die Aschheißmaschinen haben, um die Windetrommel sowohl zum Heißen als auch zum Niederlassen des Ascheimers benutzen zu können, eine Umsteuerung von möglichst einfacher Art, gewöhnlich Joy.

Um einerseits ein hartes Aufstoßen des nach unten gehenden Ascheimers im Heizraum, andererseits ein zu weites Heißen und event. Zerreißen des Drahtseiles zu verhüten, bedarf eine Aschheißmaschine von der beschriebenen Art einer Vorrichtung, welche selbstthätig ein Stoppen bewirkt, wenn der Ascheimer eine Endstellung erreicht hat. Diese Vorrichtung besteht im Prinzip in einer selbstthätigen Rückbewegung des Umsteuerhebels in seine Stoppstellung und wird praktisch am besten in Form einer auf der Welle der Windetrommel sitzenden Schnecke ausgeführt, welche ein Schneckenrad dreht und hierdurch einen Anschlag gegen den Steuerhebel bewegt.

Zur Vereinfachung baut man die Aschheißmaschinen auch oscillirend mit einem oder zwei Cylindern, im letzten Falle mit gemeinschaftlicher Kurbel. Diese Maschinen haben aber den Nachtheil aller oscillirenden Maschinen, die schnelle Abnutzung und das Undichtwerden der als Dampfzuleitung und -Ableitung dienenden Schwungzapfen. Auch arbeiten diese Maschinen sehr geräuschvoll.

Eine gut bewährte und auf vielen Handelsdampfern verwendete Aschheißmaschine ist die von Blohm und Voß. Sie unterscheidet sich von den vorher beschriebenen prinzipiell dadurch, daß ein einziger Hub der ganzen Bewegung des Ascheimers entspricht, und daß sie wie die Brownsche Umsteuerungsmaschine einen Dampf- und einen hydraulischen Cylinder mit gemeinschaftlicher Kolbenstange hat und keine Kurbelwelle.

Der hydraulische Cylinder wirkt während des Hubes bremsend, indem die Flüssigkeit (Oel) durch ein Rohr mit Regulirventil von einem Ende des Cylinders zum anderen übertritt, und am Ende des Hubes stoppend, indem ein von der Maschine bewegter Schieber selbstthätig den Uebertrittskanal für das Oel absperrt. Durch Verstellung des Antriebes für diesen Schieber läßt sich der Hub des Ascheimers reguliren.

Zur besseren Ausnutzung dieser Maschine wird an jedes Ende des um die Windetrommel gelegten Drahtseiles ein Ascheimer gehängt, so daß stets ein Eimer sich hebt, während der andere sich senkt.

Zur Uebertragung der Bewegung der Kolbenstange auf die Windetrommel hat erstere ein steiles Gewinde, durch dessen Verschieben ein mit entsprechendem Muttergewinde versehenes und mit der Windetrommel in Eingriff stehendes Zahnrad gedreht wird. Die Kolbenstange ist durch einen fest aufgesetzten und am Ende geführten Arm am Mitdrehen verhindert.

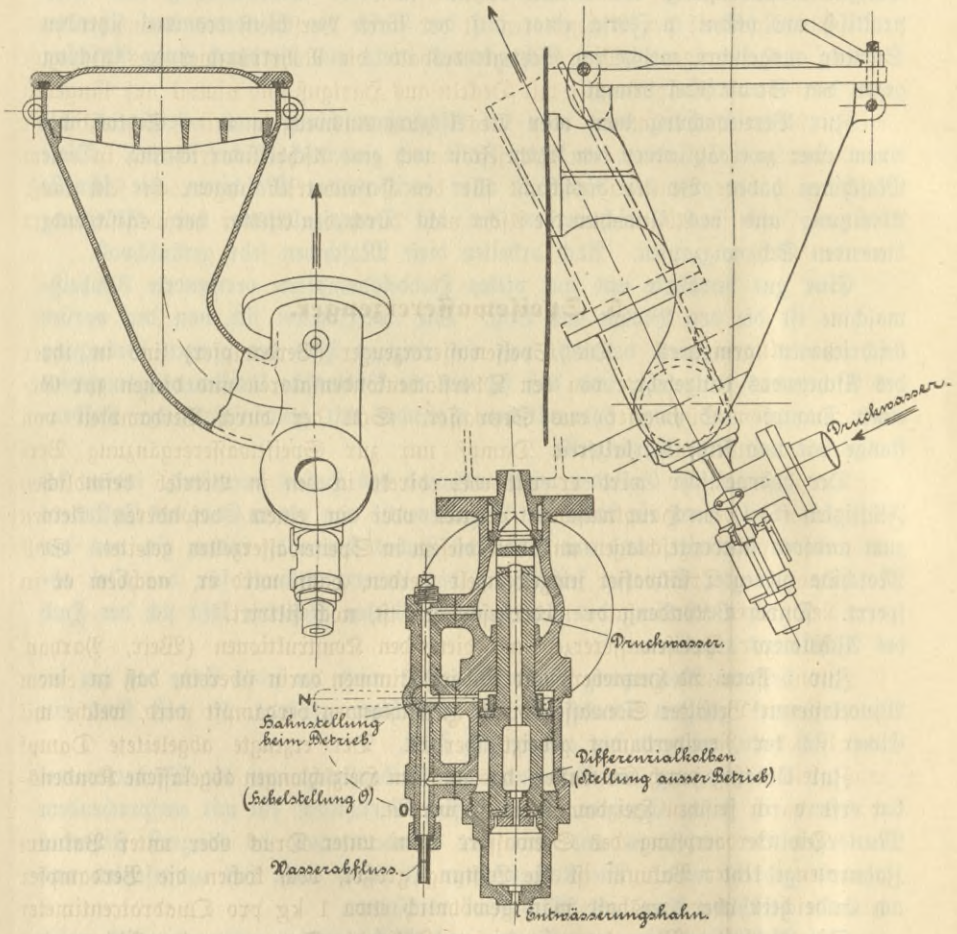
Die Aschheißmaschine von Blohm und Voß arbeitet außerordentlich ruhig und sicher, ist aber schwerer und größer als die anderen, theils wegen des Hinzukommens des hydraulischen Cylinders, theils wegen der durch die Uebersetzung vom Langsamen ins Schnelle bedingten größeren Kraft und Kolbenfläche des Dampfcylinders. Im Prinzip hiermit übereinstimmend sind

die Aschheißmaschinen auf einigen unserer Kriegsschiffe, nur ist zur Bewegungsübertragung hier ein umgekehrter Flaschenzug verwendet. (Vergl. „Munitionsheißmaschinen".)

Bei allen Aschheißmaschinen ist von Zeit zu Zeit ein Reguliren der Hubhöhe erforderlich, weil das Drahtseil sich allmählich reckt. Auch ist das Drahtseil öfters einzufetten.

b) Aschejektoren. Wegen der Umständlichkeit und Schmutzerei, welche mit dem unter a) beschriebenen Aschtransport verbunden ist, sind diese Einrichtungen

Fig. 97.



Aschejektor von Howaldt.

auf neueren Schiffen durch hydraulische Aschejektoren verdrängt. Dieselben bestehen aus einem im Heizraum angeordneten, gußeisernen, oben offenen und durch Deckel wasserdicht verschließbaren, trichterförmigen Gefäß, in welches die

Asche und zerkleinerte Schlacke hineingeschüttet wird. Unten schließt sich an das Gefäß ein gußeisernes Auswurfrohr an, welches schräg nach oben und oberhalb der Wasserlinie durch die Bordwand geht. Nach dem Einschütten der Asche wird der Deckel geschlossen und durch eine Dampfpumpe (gewöhnlich Reservedampfspeisepumpe) unter starkem Druck (etwa 12 kg pro Quadratcentimeter) Wasser von unten durch eine Düse in das Auswurfrohr gepumpt. Durch den heftigen Wasserstrahl wird der Inhalt des Trichters mitgerissen und durch das Auswurfrohr über Bord gespült. Letzteres hat, um ein Eindringen von Seewasser bei bewegter See zu verhindern, in der Bordwand gewöhnlich eine Klappe, welche sich durch den inneren Druck nach außen öffnet.

Ein Nachtheil der Aschejektoren ist der starke Verschleiß des Auswurfrohres in den Krümmungen. Man fertigt deshalb die Rohrkrümmer aus Hartguß oder versieht die Rohrkrümmer mit Deckeln aus Hartguß und nimmt auf längeren Reisen Reserverohrkrümmer oder Deckel zum Auswechseln mit. Schließlich ist zu bemerken, daß außer dem Aschejektor noch eine Aschheißvorrichtung in einem Niedergang oder Ventilationsschacht für den Hafenbetrieb angebracht sein muß, weil im Hafen im Allgemeinen die Asche nicht durch den Ejektor herausgeschleudert werden darf.

5. Speisewassererzeuger.

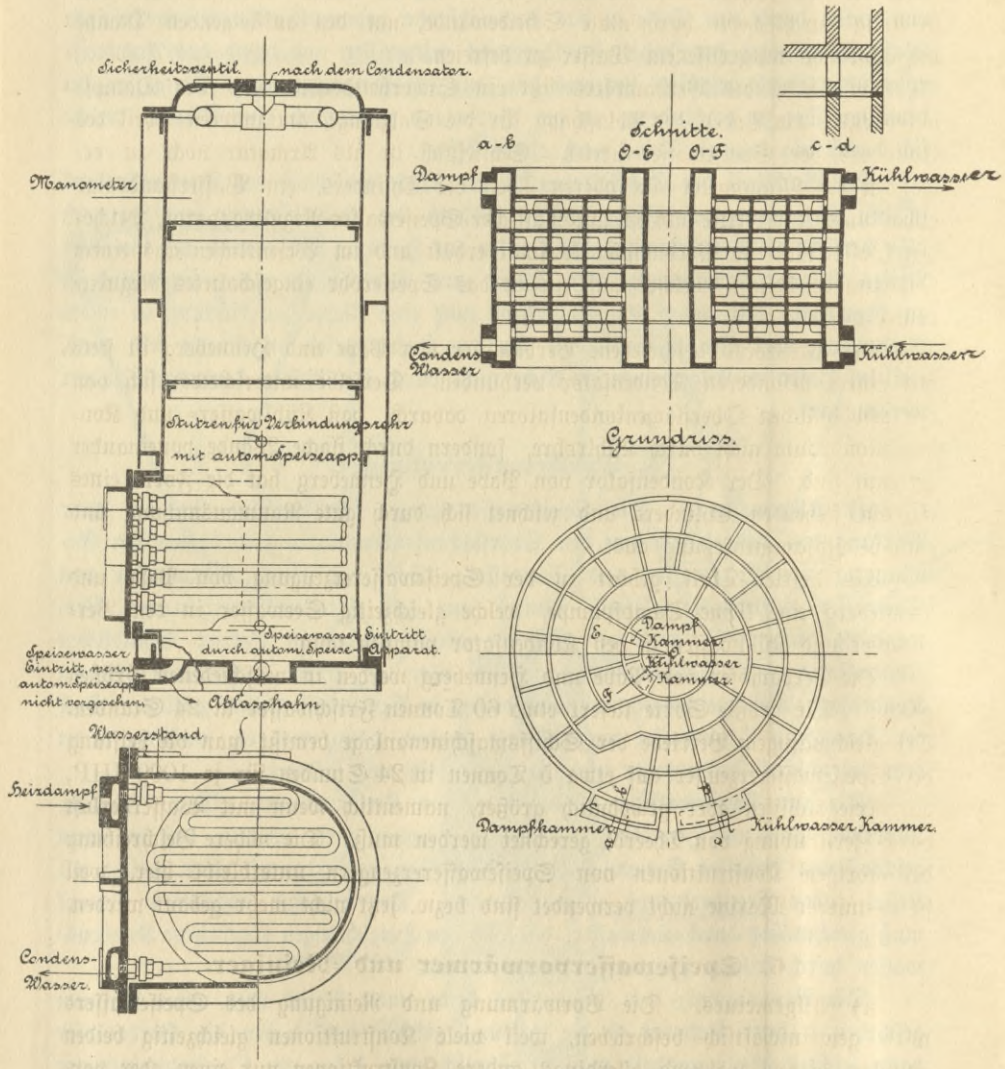
a) Allgemeines. Die Speisewassererzeuger (Verdampfer) sind in ihrer Wirkung das Umgekehrte von den Oberflächenkondensatoren und dienen zur Gewinnung von Süßwasser aus Seewasser. Soll der durch Verdampfen von Seewasser entstehende salzfreie Dampf nur zur Speisewasserergänzung Verwendung finden, so wird er entweder direkt in den in Betrieb befindlichen Kondensator der Hauptmaschine geleitet oder in einem besonderen kleinen Kondensator niedergeschlagen und von diesem in Speisewasserzellen geleitet. Soll der Dampf in Trinkwasser umgewandelt werden, dann wird er, nachdem er in dem besonderen Kondensator niedergeschlagen ist, noch filtrirt.

Alle zur Speisewassererzeugung dienenden Konstruktionen (Weir, Yaryan, Morison, Pape und Henneberg und Andere) stimmen darin überein, daß in einem geschlossenen Behälter Seewasser durch Heizschlangen verdampft wird, welche mit Kessel- oder Receiverdampf geheizt werden. Der erzeugte abgeleitete Dampf muß gleichmäßig durch Seewasser, das aus den Heizschlangen abgelassene Kondenswasser durch frischen Heizdampf ersetzt werden.

Die Verdampfung des Seewassers kann unter Druck oder unter Vakuum geschehen. Unter Vakuum ist die Leistung größer, doch kochen die Verdampfer dann leichter über, weshalb man gewöhnlich etwa 1 kg pro Quadratcentimeter Ueberdruck hält. Man kann in diesem Falle die Spannung oder Wärme des erzeugten Dampfes dadurch ausnutzen, daß man ihn in den Ndr.-Receiver oder in einen Vorwärmer leitet. Das Verdampfen unter Druck hat außerdem den Vortheil, daß man die Salzlauge ohne Anwendung einer Pumpe gleichmäßig ablaufen lassen kann.

b) Speisewassererzeuger von Pape und Henneberg. Derselbe wird auf unseren neueren Kriegsschiffen verwendet. Er besteht aus einem vertikalen Cylinder aus Kupferblech mit festgenietetem bronzenen Boden und aufgeschraubtem

Fig. 98.



Frischwassererzeuger von Pape und Henneberg.

bronzenen Deckel. In dem unteren Drittel des Cylinders befindet sich ein System von kupfernen Heizrohren. Dieselben haben schlangenförmige Form und länglichen Querschnitt, so daß durch ihre Formveränderung bei der Erwärmung etwa abgelagerte Salzkruste von selbst losspringt. Die Heizrohre sind mit beiden

Enden in einem bronzenen, seitlich an den Verdampfer angeschraubten Deckel befestigt, können also nach Losschrauben des Deckels mit diesem zusammen herausgenommen und dann leicht gereinigt werden. Der Deckel enthält die beiden Stutzen für den eintretenden Heizdampf und für das abfließende Kondenswasser. Oberhalb der Heizrohre ist der Verdampfer leer und enthält nur eine oder zwei siebartig durchlöcherte horizontale Scheidewände, um den aufsteigenden Dampf möglichst von mitgerissenem Wasser zu befreien.

Am Deckel des Verdampfers sitzt ein Sicherheitsventil und das Dampfablaßventil, am Boden der Ablaßhahn für die Salzlauge, am unteren Theil des Cylinders der Speisewassereintritt. Schließlich ist als Armatur noch zu erwähnen ein Manometer am oberen Theil des Cylinders, ein Wasserstandsglas etwas unter der Mitte und ein automatischer Speisewasser-Regulirapparat, welcher den Wasserstand im Verdampfer konstant erhält und im Wesentlichen aus einem Schwimmer besteht, welcher auf ein in das Speiserohr eingeschaltetes Regulirventil wirkt.

Der vorstehend beschriebene Verdampfer von Pape und Henneberg ist stets mit einem besonderen Kondensator verbunden. Derselbe unterscheidet sich von den gewöhnlichen Oberflächenkondensatoren dadurch, daß Kühlwasser- und Kondensationsraum nicht durch Kühlrohre, sondern durch flache Wände voneinander getrennt sind. Der Kondensator von Pape und Henneberg hat die Form eines aufrecht stehenden Cylinders und zeichnet sich durch gute Raumausnutzung und einfache Zusammensetzung aus.

Als dritter Theil gehört zu der Speisewassererzeugung von Pape und Henneberg eine kleine Dampfpumpe, welche gleichzeitig Seewasser in den Verdampfer und Kühlwasser in den Kondensator pumpen kann.

Die Verdampfer von Pape und Henneberg werden in verschiedenen Größen gebaut. Die größte Sorte liefert etwa 60 Tonnen Frischwasser in 24 Stunden. Bei gleichmäßigem Betriebe der Schiffsmaschinenanlage bemißt man die Leistung der Speisewassererzeuger auf etwa 5 Tonnen in 24 Stunden für je 1000 IHP, auf Kriegsschiffen aber gewöhnlich größer, namentlich wenn mit Wasserverlust durch Zerstäubung von Theeröl gerechnet werden muß. Die nähere Beschreibung der übrigen Konstruktionen von Speisewassererzeugern unterbleibt hier, weil sie in unserer Marine nicht verwendet sind bezw. jetzt nicht mehr gebaut werden.

6. Speisewasservorwärmer und -Reiniger.

a) Allgemeines. Die Vorwärmung und Reinigung des Speisewassers wird gemeinschaftlich beschrieben, weil viele Konstruktionen gleichzeitig beiden Zwecken dienen, während allerdings andere Konstruktionen nur einen oder vorzugsweise einen der beiden Zwecke verfolgen.

Der Werth der Vorwärmung des Speisewassers besteht hauptsächlich in dem Schutz der Kessel gegen Leckagen. Da nämlich das aus dem Kondensator kommende Speisewasser nur etwa 40° C., das Wasser in modernen Schiffskesseln aber etwa 200° Temperatur hat, so werden durch das eintretende kältere

Speisewasser die in der Nähe des inneren Speiserohres liegenden Kesseltheile abgekühlt. Dieselben ziehen sich zusammen, erzeugen Spannungen gegenüber den wärmeren Kesseltheilen und schließlich Leckagen. Durch höhere Erwärmung des Speisewassers wird dieser Nachtheil verringert und zwar um so mehr, je näher die Temperatur des Speisewassers derjenigen des Kesselwassers kommt. Dazu kommt der Vortheil, daß bei starker Erwärmung des Speisewassers die in demselben enthaltene Luft, sowie der durch Cylinderschmierung und eingedrungenes Seewasser entstehende Fett- und Salzgehalt sich leichter ausscheidet, also eine fast luft-, fett- und salzfreie Speisung erzielt werden kann.

Als zweiter Zweck der Speisewasservorwärmung gilt stellenweise auch eine Kohlenersparniß. Dieselbe wird aber in nennenswerthem Grade nur dann erreicht, wenn durch Heizung der Vorwärmer kein direkter Kohlenverbrauch entsteht, d. h. wenn zur Heizung Abdampf oder abziehende Heizgase benutzt werden, was bei einzelnen Konstruktionen der Fall ist.

Der Zweck der Speisewasserreinigung ist ein möglichster Schutz der Kessel vor inneren Niederschlägen und vor den hierdurch entstehenden Nachtheilen bezüglich der Dauerhaftigkeit und Sicherheit der Kessel. Durch die Konstruktion der Kessel und ihre verschiedene Empfindlichkeit gegen Temperaturunterschiede und Verunreinigungen ist es bedingt, daß die Vorwärmung des Speisewassers hauptsächlich für Feuerrohrkessel, die Reinigung desselben hauptsächlich für Wasserrohrkessel, und zwar namentlich für engrohrige und krummrohrige Wasserrohrkessel Werth hat. Speisewasserreiniger finden daher die größte Verwendung auf modernen Kriegsschiffen mit Wasserrohrkesseln.

b) Anordnung, Wirkungsweise und Bauart der Speisewasservorwärmer und -Reiniger. Die Apparate sind gewöhnlich in die Sauge-, seltener in die Druckleitung der Speisepumpen eingeschaltet, wobei zu beachten ist, daß bei hoher Vorwärmung das Wasser von selbst den Speisepumpen zufließen muß, wenn ihre Wirkung nicht beeinträchtigt werden soll. Neuere Schiffe haben auch zuweilen außer der als Speisewasservorwärmer und -Reiniger ausgebildeten Cisterne (Warmwasserkasten) einen zweiten Reiniger in der Speisepumpendruckleitung.

Die Wirkung der Speisewasservorwärmer beruht entweder auf der Mischung des Speisewassers mit Dampf, oder auf der Berührung des Speisewassers mit Dampfheizrohren, oder auf der Berührung des Speisewassers mit einem durch abziehende Kesselheizgase erwärmten Rohrsystem (z. B. Belleville-Kessel mit économiseur).

Die Wirkung der Speisewasserreiniger beruht entweder auf der nur durch Erwärmung und durch Ruhe selbstthätig erfolgenden Ausscheidung von Luft, Ansammlung von Oel an der Oberfläche und Niederschlagen von spezifisch schwerem Schmutz am Boden, oder auf der Reinigung durch Filter. Im ersteren Falle sind Speisewasservorwärmer und -Reiniger zu einem Apparat vereinigt, im letzteren ist der Reiniger ein besonderer Apparat für sich.

Wegen der Wichtigkeit der Apparate für moderne Hdr.-Kessel giebt es eine große Zahl von Konstruktionen, von welchen im Folgenden die wichtigsten kurz beschrieben werden.

Speisewasservorwärmer von Weir. In einem Gehäuse wird das Speisewasser mit Receiverdampf oder mit Dampf vom Speisewassererzeuger gemischt. Damit die Mischung möglichst vollkommen wird, tritt sowohl der Dampf als auch das Speisewasser durch ein Sieb in den Mischungsraum. Die Temperatur des Gemisches erreicht 100 bis 110° C.

Der Dampf tritt durch seine eigene Spannung in den Mischungsraum, das Speisewasser wird durch Maschinenspeisepumpen aus der Cisterne in den Mischungsraum gedrückt. Das im unteren Theile des möglichst hoch angeordneten Vorwärmers sich sammelnde vorgewärmte Wasser wird durch Weir-Pumpen in die Kessel gespeist. Der Vorwärmer von Weir enthält keine besonderen Vorrichtungen für die Speisewasserreinigung, sondern nur eine Ableitung der sich ausscheidenden Luft.

Speisewasservorwärmer von Morison. Derselbe ist im Prinzip wie vorstehend, jedoch etwas einfacher. Das Speisewasser wird gemischt mit dem vom Vordampfer kommenden Dampf. Der Apparat ist direkt zwischen Luft- und Kesselspeisepumpe eingeschaltet.

Eine andere Konstruktion von Morison besteht darin, daß der Windkessel der Speisepumpe durch ein dünnes Rohr mit dem Dampfraum des Kessels in Verbindung gesetzt wird. Beim Saugen der Pumpe wird der Druck im Windkessel kleiner als im Kessel, so daß Kesseldampf in den Windkessel tritt und sich mit dem Speisewasser mischt. Eine Rückwärtsbewegung vom Windkessel in den Kessel beim Drücken der Pumpe wird durch Rückschlagklappen verhindert. Durch diese Einrichtung kann man eine Vorwärmung bis 100° C. und darüber erreichen.

Speisewasservorwärmer auf einzelnen Torpedobooten. Ein oberhalb des Kondensators angebrachter cylindrischer Behälter enthält ein Rohrsystem, welches vom Speisewasser durchströmt, vom Abdampf der Maschine umströmt wird und in die Speisepumpendruckleitung eingeschaltet ist.

Speisewasservorwärmer und -Reiniger von Pape und Henneberg. Das Speisewasser umspült in einem cylindrischen, vertikalen Behälter ein System von gewundenen Dampfheizrohren und wird dabei stark erwärmt. Durch plötzliche Berührung des Wassers mit den heißesten Stellen der Heizrohre und durch gleichzeitigen Richtungswechsel wird Oel und Luft zum Theil abgeschieden und oben durch ein Rohr entfernt, während etwa sich ansammelnder Schlamm unten abgelassen wird. Der Apparat ist direkt zwischen Luft- und Kesselspeisepumpe eingeschaltet.

Speisewasservorwärmer und -Reiniger von Howaldt. Das Speisewasser wird in einem Kasten zuerst durch Dampfheizschlangen erwärmt und umströmt dann zickzackförmig auf- und niedersteigend eine Anzahl vertikale Scheidewände, wobei Luft und Oel oben, Niederschläge unten sich ansammeln

und durch Hähne oder Ventile ausgeblasen werden können. Der Apparat ist in die Speisepumpendruckleitung eingeschaltet.

Speisewasserreiniger mit Filtern. Diese Apparate liefern, wenn die Filtrirmasse gut und in Ordnung ist, eine gründlichere Reinigung als die vorher beschriebenen, und finden deshalb vorzugsweise auf neueren Schiffen Verwendung. Als Filtrirmasse dienen Kokes oder Schwämme oder Sägemehl oder Tuch.

Reiniger dieser Art können sowohl in die Sauge- als auch in die Druckleitung der Speisepumpen eingeschaltet werden. Die Filtrirmasse muß sich leicht auswechseln lassen. Auch muß die Wirkung des Filters während des Betriebes kontrollirbar sein. Tuchfilter werden auf siebartig durchlöcherte Platten gelegt. Die Durchlöcherungen müssen derart bemessen sein, daß durch den Wasserdruck das Filtertuch nicht zerstört wird.

Verwendung der verschiedenen Konstruktionen. Die Speisewasservorwärmer von Weir, Morison, Pape-Henneberg und Howaldt finden hauptsächlich auf Handelsschiffen Verwendung. Außerdem haben Handelsschiffe häufig besondere Reiniger mit Filter von der verschiedensten Konstruktion, und zwar gewöhnlich in der Druckleitung der Speisepumpen.

Auf unseren neueren Kriegsschiffen ist in der Regel der Warmwasserkasten (Cisterne) als Vorwärmer und Reiniger ausgebildet. Die Vorwärmung erfolgt durch Dampfheizschlangen, die Reinigung durch Kokes- oder Schwammfilter. Der Heizdampf für die Vorwärmung wird gewöhnlich aus dem unteren Theile der Wassersammler der Haupt- und Hülfsdampfrohrleitung entnommen, oder aus dem Frischwassererzeuger. Die Dampfheizschlangen münden, nachdem sie zur besseren Vertheilung der Wärme eine Anzahl Windungen gemacht haben, in das zu erwärmende Wasser, so daß sich der Heizdampf mit demselben mischt.

Der Warmwasserkasten erhält ein Entlüftungsrohr zum Ableiten der ausgeschiedenen Luft, ein Ueberlaufrohr für das Ueberlaufen des überschüssigen Speisewassers in die Speisewasserzellen im Doppelboden, eine Vorrichtung zum Zusetzen von Soda, einen Wasserstandsglasapparat an dem Theil, welcher das gereinigte Wasser enthält, und ein Wasserstandsglas (gewöhnlich flach in die Wand eingesetzt) an dem Raum für unreines Wasser zur Beobachtung des Wasserstandes und der Beschaffenheit des Wassers.

Neuerdings werden die Warmwasserkasten in unserer Marine gewöhnlich doppelseitig (zweitheilig) gebaut, um die eine Hälfte reinigen und repariren zu können, während die andere in Betrieb ist.

Auf unseren neueren Kriegsschiffen ist gewöhnlich, namentlich bei engrohrigen Wasserrohrkesseln, außerdem in die Speisepumpendruckleitung ein Reiniger mit Tuchfilter eingebaut, welcher auch mit Filterplatten aus präparirter Holzstofffaser (Pape-Henneberg) versehen werden kann. Die Anordnung dieser Reiniger macht man so, daß sie ganz ausgeschaltet werden können, und daß auch die Reservespeisepumpen durch sie drücken können.

B. Hülfsmaschinen für seemännische Zwecke.

1. Rudermaschinen.

a) Allgemeines. Dampfrudermaschinen oder Dampfsteuerapparate baut man auf allen größeren Dampfschiffen theils zur Ersparniß an Personal, theils zur Erzielung einer genügenden Manövrirfähigkeit, d. h. einer genügenden Schnelligkeit des Ruderlegens. Außer der Dampfsteuereinrichtung ist stets eine Reserve-Handsteuereinrichtung vorhanden. Die Anforderungen, welche man an Rudermaschinen stellt, sind etwa folgende:

1. Das Ruder soll sich in höchstens etwa 30 Sekunden von Hartbord zu Hartbord (40° St. B. zu 40° B. B.) legen lassen. Aus dieser Bedingung berechnet sich bei gegebener Rudergröße und gegebener Schiffsgeschwindigkeit die Größe der Maschine und das Uebersetzungsverhältniß auf die Ruderpinne.
2. Die Bedienung der Rudermaschine soll stets durch einen Mann möglich sein und soll im Prinzip mit der Bedienung eines Handruders übereinstimmen. Es muß also entsprechend den herrschenden Bestimmungen bei Rechtsdrehung des Handrades der Anlaßvorrichtung für die Rudermaschine das Ruder sich nach St. B., bei Linksdrehung nach B. B. legen.
3. Die Anlaßvorrichtung muß derart beschaffen und mit der Rudermaschine verbunden sein, daß letztere sofort beim Beginn des Drehens des Handrades anspringt und beim Aufhören des Drehens stillsteht, daß mithin jeder Stellung des Handrades eine bestimmte Ruderlage entspricht. Ein Zuweitdrehen des Handrades und Zuweitlegen des Ruders muß unmöglich sein.
4. Die Rudermaschine muß so mit der Reserve-Handsteuervorrichtung verkuppelt sein, daß jederzeit schnell zu Handbetrieb übergegangen werden kann.
5. Auf Kriegsschiffen muß die Rudermaschine gegen feindliche Geschosse geschützt liegen, während ihre Bedienung nicht nur an der Maschine selbst, sondern auch von den verschiedenen Kommandostellen des Schiffes aus ausführbar sein muß.

Auf größeren Kriegsschiffen, z. B. auf unseren Linienschiffen und großen Kreuzern, baut man zwei ganz gleiche Rudermaschinen ein, von welchen die eine für den gewöhnlichen Betrieb, die andere als Reserve dient.

b) Wichtigste Bauarten der Rudermaschinen. Alle Rudermaschinen sind Zwillingsmaschinen mit fast voller Füllung, springen infolgedessen in jeder Lage sicher an. Ihre Anlaß- und Umsteuervorrichtung besteht bei allen modernen Ausführungen in einem Wechselschieber, welcher in seiner Mittelstellung den Dampfzugang nach und -Abgang von den Schieberkasten der Rudermaschine absperrt, in ausgelenkter Stellung den einen oder anderen Raum der Schieberkasten mit dem Dampfzugang in Verbindung bringt, je nachdem die Auslenkung

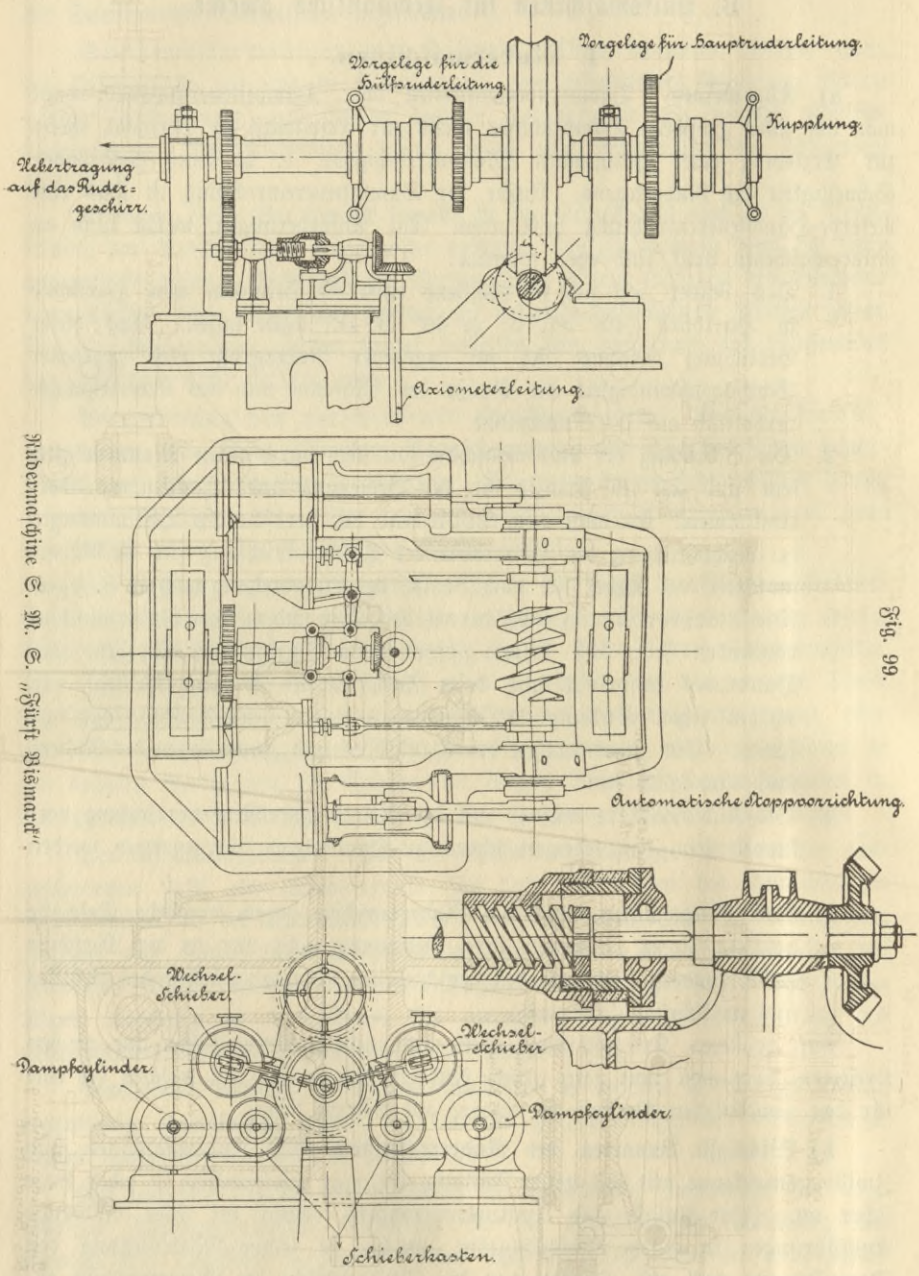


Fig. 99.

Rudermaschine S. M. S. „Fürst Bismarck".

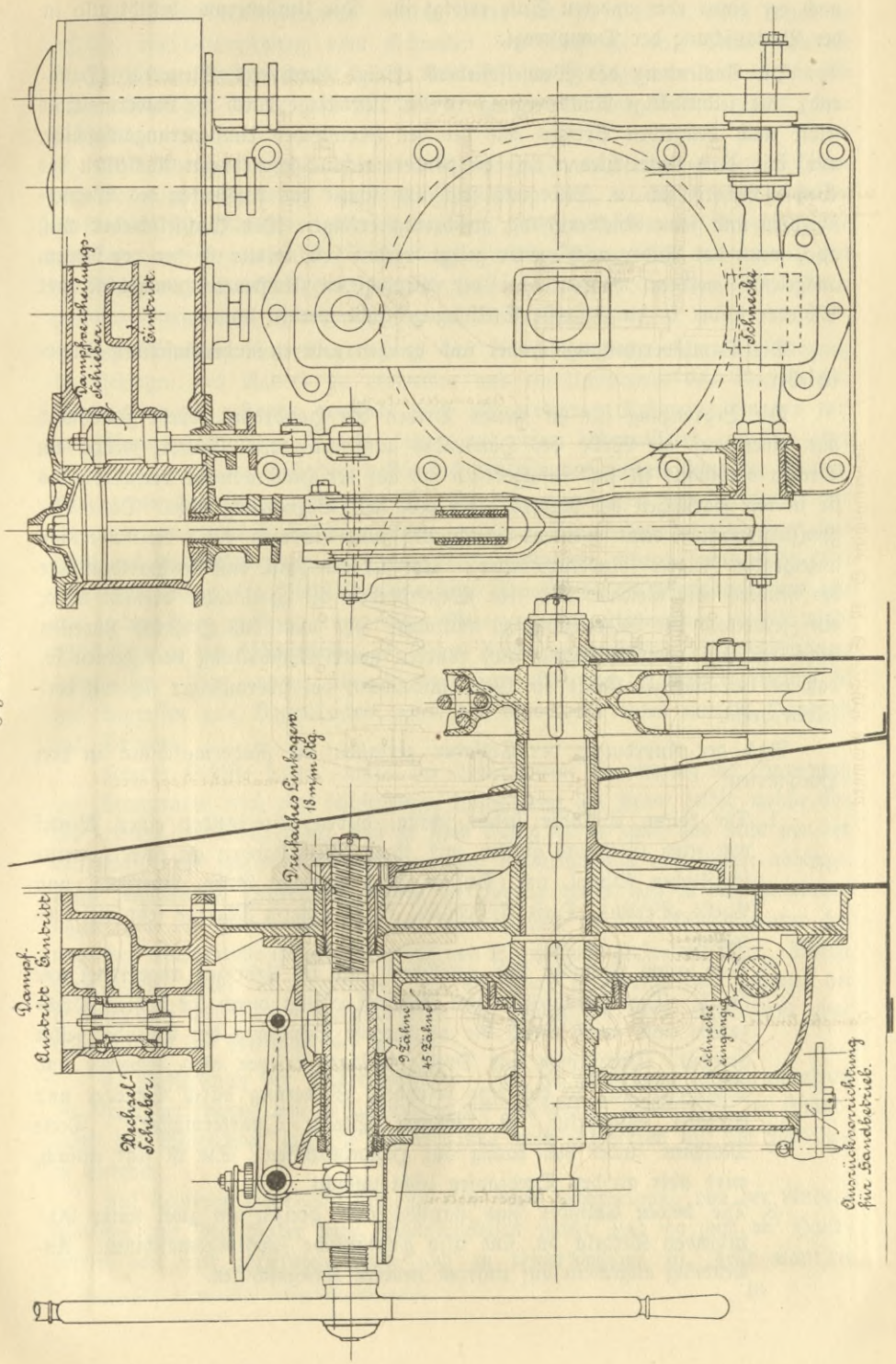


Fig. 100.

Rudermaschine S. M. Torpedoboot „S 90".

nach der einen oder anderen Seite erfolgt ist. Die Umsteuerung besteht also in der Vertauschung der Dampfwege.

Die Auslenkung des Wechselschiebers erfolgt durch das Steuerrad (Handrad), die selbstthätige Rückbewegung in die Mittellage durch die Rudermaschine selbst nach demselben Prinzip wie bei der Brownschen Umsteuerungsmaschine, nur mit dem Unterschiede, daß die Rudermaschine sofort beim Auslenken des Wechselschiebers sich in Bewegung setzt und somit das Auslenken des Wechselschiebers und seine Rückbewegung gleichzeitig erfolgt. Der Wechselschieber muß also, wenn das Ruder noch weiter gelegt werden soll, immer wieder von Neuem ausgelenkt werden, während bei der Brownschen Umsteuerungsmaschine der Schieber sofort in die äußerste Stellung gebracht werden kann.

Die Dampfvertheilungsschieber sind bei den neueren Rudermaschinen Rundschieber.

Die Begrenzung für zu weites Drehen des Handrades besteht gewöhnlich aus einer auf die Welle des Handrades aufgeschraubten Mutter, welche am Drehen verhindert ist und infolgedessen sich auf der Handradwelle verschiebt, bis sie in den Hartlagen des Ruders gegen eine feste Begrenzung stößt. Diese Begrenzungsmutter dient meistens gleichzeitig zum Bewegen eines die Ruderlage anzeigenden Zeigers (Ruderaxiometer). Um für den Fall, daß bei Hartbordlage des Ruders mit Gewalt noch ein Weiterdrehen des Handrades versucht wird, ein Zerbrechen der Begrenzung zu verhüten, setzt man das Handrad zuweilen nicht fest auf die Steuerwelle auf, sondern unter Einschaltung von Federn so, daß es bei mäßiger Kraft die Welle mitnimmt, bei übermäßiger sich auf derselben dreht.

Nach der Anordnung der Cylinder zerfallen die Rudermaschinen in drei Hauptarten:

1. Die beiden Cylinder stehen schräg, bilden miteinander einen Winkel von etwa 60° und greifen mit ihren Pleuelstangen an einer gemeinschaftlichen Kurbel an (System Mac Farlane Gray, Liverpool, und Egells, Berlin). Diese Anordnung ist in unserer Marine sehr viel verwendet.
2. Die beiden Cylinder sind oscillirend und im Uebrigen angeordnet wie bei 1. Der Dampf-Ein- und Austritt erfolgt durch die hohlen Drehzapfen und wird durch die oscillirende Bewegung der Cylinder selbst geregelt. Drehzapfen und Drehzapfenlager ersetzen also Schieber und Schieberspiegel, so daß eine besondere Steuerung durch Schieber und Excenter entbehrlich ist (System Steam-Quartermaster). Diese Maschine findet sich häufig auf Handelsschiffen. Sie ist sehr einfach, wird aber an den Drehzapfen leicht undicht.
3. Die beiden Cylinder sind parallel und greifen an zwei unter 90° stehenden Kurbeln an, sind also gewöhnliche Zwillingsmaschinen. Anwendung allgemein auf unseren neueren Kriegsschiffen.

Bei allen Rudermaschinen wendet man, um sie nicht zu groß bauen zu müssen, eine Uebersetzung vom Schnellen ins Langsame an, indem man die Drehung der Maschinenwelle durch Schnecke oder Zahngetriebe auf die nächste Welle überträgt. Die weitere Uebertragung auf das Ruder gehört zum Schiffbau.

Für den Handbetrieb dient ein großes Steuerrad, bei großen Schiffen mehrere große Steuerräder auf gemeinschaftlicher Welle, um mehr Leute anstellen zu können. Die Handsteuerwelle ist entweder unabhängig von der Rudermaschine und hat dann ihre besondere Verbindung mit dem Rudergeschirr, oder sie ist mit der Maschinenwelle verkuppelt. In jedem Falle muß durch eine Kuppelung schnell zwischen Dampf- und Handbetrieb gewechselt werden können.

c) Bremsung und Begrenzung der Ruderbewegung. Um bei Seegang ein Schlagen des Ruders zu vermeiden und ein Umkuppeln von Dampf- auf Handbetrieb zu gestatten, versieht man alle modernen Rudereinrichtungen mit einer Bremsvorrichtung. Dieselbe besteht aus einem hydraulischen, mit Oel oder Glycerin angefüllten Cylinder, dessen dicht schließender Kolben durch die Kolbenstangen mit der Pinne verbunden ist. Der Bremscylinder liegt horizontal und ist um zwei vertikale Schwungzapfen drehbar. Die Enden des Cylinders sind durch ein mit Absperrhahn versehenes Rohr verbunden. Durch dieses Rohr tritt beim Ruderlegen die Flüssigkeit von dem einen Ende des Bremscylinders auf das andere über, wodurch eine ruhige Bewegung der Ruderpinne erzielt wird. Schließt man den Absperrhahn, so ist das Ruder unverrückbar in seiner Stellung festgehalten. Eine andere, aber weniger gute Methode der Ruderbremsung ist das Anpressen von Bremsbacken gegen den Ruderquadranten mittelst Handrad und Spindel.

Neuere Schiffe haben außer der beschriebenen Begrenzung der Bewegung des Steuerrades noch eine selbstthätige Begrenzung am Ruder selbst, welche vor der ersteren den Vorzug hat, daß sie stets richtig wirken muß und nicht von der Genauigkeit des Zusammenkuppelns zwischen Rudermaschine und Ruder abhängt. Diese selbstthätige Begrenzung besteht im Prinzip darin, daß in den Hartbordlagen von der Ruderpinne aus ein Weiterdrehen der den Wechselschieber bewegenden Steuerwelle mittelst Sperrrad und Sperrklinke verhindert wird. Solche Begrenzung macht die Begrenzung am Steuerrad entbehrlich und gestattet bei Schiffen mit mehreren Kommandostellen ein Einkuppeln jeder Steuerstelle ohne Rücksicht auf die Stellung des Ruders.

d) Aufstellung der Rudermaschinen. Für die Aufstellung kommt einerseits die Kraftübertragung von der Maschine auf das Ruder, andererseits der Standpunkt des Steuernden und die Uebertragung vom Steuerrad auf die Maschine in Betracht.

Auf kleineren Handelsschiffen, wo eine weite Uebertragung von der Rudermaschine auf das Ruder keine Schwierigkeiten macht, und wo auch der Handbetrieb von einer entfernten Stelle aus zu bewerkstelligen ist, stellt man die

Rudermaschine nebst Handsteuervorrichtung auf oder unterhalb der Kommandobrücke oder auf dem Brückendeck auf und hat hierdurch den Vortheil, daß der Mann am Ruder gleichzeitig die Rudermaschine überwachen kann.

Bei Handelsschiffen mittlerer Größe, bei welchen einerseits die Handsteuervorrichtung von der Brücke aus die Kraft mehrerer Rudergänger erfordert, andererseits aber schon ein größeres Maschinenpersonal zur Verfügung steht, wird die Rudermaschine häufig in dem Maschinenoberraum aufgestellt und durch das Maschinenpersonal beaufsichtigt.

Bei großen Schiffen stellt man die Rudermaschine stets möglichst nahe dem Ruder auf wegen der Schwierigkeit und Unsicherheit der Uebertragung der großen Kraft auf große Entfernung. Die Rudermaschine verlangt also hier stets eine besondere Ueberwachung.

Bei Kriegsschiffen und bei solchen Handelsschiffen, welche im Kriege als Hülfskreuzer Verwendung finden sollen, muß die Rudermaschine unterhalb der Wasserlinie bezw. unter dem Panzerdeck stehen. Auf Kriegsschiffen mit zwei Rudermaschinen stellt man der größeren Sicherheit halber die für den gewöhnlichen Gebrauch bestimmte im hinteren Ruderraum unmittelbar vor dem Rudergeschirr, die Reserverudermaschine in dem durch ein wasserdichtes Schott vom hinteren Ruderraum getrennten vorderen Ruderraum auf.

e) Uebertragung vom Steuerrad auf den Wechselschieber. Dieselbe giebt auf großen Schiffen, wo das Steuerrad weit von der Rudermaschine entfernt steht, zu manchen Schwierigkeiten Veranlassung, indem die die Uebertragung vermittelnde Wellenleitung (Axiometerleitung) bei Richtungsänderungen und Schottdurchführungen so viel Reibung durch Gelenke, Zahnräder und Stopfbuchsen erfährt, daß das Steuerrad sich nicht mehr mit der erforderlichen Leichtigkeit drehen läßt. Besonders groß sind die Schwierigkeiten auf Kriegsschiffen, wo wegen der geschützten Lage der Axiometerleitung die Zahl der Richtungswechsel eine größere ist. Es ist deshalb auf einzelnen größeren Kriegsschiffen in der Nähe der Kommandostellen eine Ruderzwischenmaschine eingeschaltet, welche die Axiometerleitung dreht, und welche im Prinzip ebenso gebaut ist wie die Rudermaschine selbst, d. h. mit Wechselschieber mit selbstthätiger Rückbewegung. Der Steuernde hat also nur den Wechselschieber der kleinen Zwischenmaschine zu bewegen.

Durch besonders sorgfältige Bauart der Axiometerleitung, im Besonderen durch Anwendung von Kugellagern ist es in neuerer Zeit vielfach gelungen, auch ohne eine Ruderzwischenmaschine eine für die Praxis ausreichende Leichtigkeit der Drehung des Steuerrades zu erzielen.

Die auf der Reibung der Axiometerleitung beruhenden Schwierigkeiten vermeidet man, wenn man eine hydraulische oder elektrische Uebertragung vom Steuerrad auf den Wechselschieber der Rudermaschine anwendet. Die hydraulische Uebertragung hat sich gut bewährt in Form des Brownschen Telemotors, während die elektrische Uebertragung sich noch mehr im Versuchsstadium befindet.

Der Telemotor von Brown hat folgende Konstruktion und Wirkungsweise: zwei gleich große hydraulische Cylinder, der eine an der Steuerstelle, der andere an der Rudermaschine, enthalten einen dichtschließenden Kolben und sind an ihren Enden durch zwei Rohre miteinander verbunden. Folglich muß, wenn an der Steuerstelle der Kolben bewegt wird, der Kolben an der Rudermaschine infolge des Uebertretens der Flüssigkeit (Wasser mit Glycerin) eine genaue ebenso große Bewegung ausführen. Die Bewegung des Kolbens an der Steuerstelle erfolgt durch das Steuerrad mittelst Zahnrad und Zahnstangenübertragung, die Bewegung des Kolbens an der Rudermaschine wird durch Schubstange auf den Wechselschieber der Rudermaschine übertragen. Die beiden Verbindungsrohre zwischen den hydraulischen Cylindern ersetzen somit die Axiometer-Wellenleitung. Der Apparat an der Rudermaschine hat zwei mit der Kolbenstange verbundene Spiralfedern, welche bei jedem Ruderlegen gespannt werden und bestrebt sind, den Kolben und somit auch den Wechselschieber der Rudermaschine immer wieder auf Mitte zu stellen.

Für ein sicheres Funktioniren ist es nöthig, daß alle Rohre, Stopfbuchsen ꝛc. ganz dicht halten und daß die Cylinder und Rohrleitungen ganz mit Flüssigkeit gefüllt sind, wobei natürlich auf die Volumenänderung durch Temperaturschwankungen Rücksicht zu nehmen ist. Man erreicht die stets volle Füllung durch einen Flüssigkeitsbehälter, welcher mit dem oberen hydraulischen Cylinder durch Rohre und selbstthätige Ventile so kommunizirt, daß selbstthätig Flüssigkeit vom Behälter in den Cylinder oder vom Cylinder in den Behälter übertritt, je nachdem durch Abkühlung im Cylinder ein leerer Raum entsteht oder durch Erwärmung die Flüssigkeit an Volumen zunimmt.

Verändert sich infolge von Leckagen die gegenseitige Stellung der beiden Kolben zu einander, was man daran erkennt, daß bei geradeaus steuerndem Schiff der mit dem oberen Apparat verbundene Zeiger, also auch der hydraulische Kolben, nicht auf Mitte steht, so läßt sich die Uebereinstimmung zwischen beiden Apparaten dadurch wiederherstellen, daß man durch einen besonderen Hahn die beiden Enden des oberen Cylinders miteinander verbindet. Man kann dann durch Drehen des Steuerrades Kolben und Zeiger auf Mitte stellen, ohne den Wechselschieber der Rudermaschine zu bewegen.

2. Spillmaschinen oder Ankerlichtmaschinen.

a) Zweck und Anordnung. Die Spill- oder Ankerlichtmaschinen dienen zum Drehen der Ankerspille, und zwar die Bugspillmaschinen zum Drehen der beiden Bugspille und des Verholspills, die Heckspillmaschine zum Drehen des Heckspills bezw. der beiden Heckspille, welche häufig auch als Verholspille für die Achterleinen benutzt werden können.

Die beiden Bugspille haben entweder eine gemeinschaftliche Spillmaschine, oder jedes für sich hat eine besondere, während das Verholspill keine besondere Betriebsmaschine erhält, sondern durch eine Zwischenwelle von der Bugspillmaschine bezw. von einer Bugspillmaschine getrieben wird. Ist nur 1 Bug-

spillmaschine vorhanden, dann läßt sie sich nach Bedarf mit jedem Spill verkuppeln. Sind zwei Bugspillmaschinen vorhanden, dann kann man sowohl zwei Spille unabhängig voneinander treiben, indem man die Wellen der beiden Spillmaschinen voneinander loskuppelt, als auch beide Maschinen zusammen auf ein Spill wirken lassen. Die Bugspillmaschinen werden bei kleinen Kriegsschiffen gewöhnlich auf Oberdeck, bei größeren auch in der Batterie oder im Zwischendeck aufgestellt. Im letzteren Falle richtet man sie so ein, daß sie sich auch vom Oberdeck aus bedienen lassen.

Die Heckspillanlage erhält stets nur eine Maschine, auch wenn zwei Heckspille vorhanden sind. Heckspillmaschinen werden nur auf größeren Schiffen gebaut und gewöhnlich im Zwischendeck aufgestellt. Ihre Bedienung läßt sich aber auch vom Batterie- oder Oberdeck aus bewerkstelligen.

Die Größe der Spillmaschinen berechnet sich nach dem Gewichte der zu hebenden Anker und Ketten und nach der verlangten Geschwindigkeit. In unserer Marine ist für Bugspillmaschinen bei der größten Belastung gewöhnlich eine Geschwindigkeit von 12 m pro Minute vorgeschrieben. Andererseits wird gewöhnlich vorgeschrieben, daß bei reduzirtem Dampfdruck (auf etwa $^2/_3$ des vollen Kesseldruckes) zwei Bugspillmaschinen zusammen im Stande sind, den schwersten der vorhandenen Anker aus festem Grunde loszubrechen und mit langer Kette aufzuholen. Die Heckspillmaschine baut man in unserer Marine so stark, daß sie den Heckanker aus festem Grunde losbrechen und das doppelte Gewicht desselben mit 12 m Geschwindigkeit pro Minute einholen kann.

b) Bauart der Spillmaschinen. Da es bei den Spillmaschinen ebenso wie bei den Rudermaschinen vor Allem auf große Kraftäußerung und absolut sicheres Anspringen, aber nicht auf Kohlenersparniß ankommt, so werden sie stets als Zwillingsmaschinen mit fast voller Füllung gebaut. Sie werden je nach dem vorhandenen Platz stehend oder liegend ausgeführt und erhalten nach dem Spill eine Schneckenübersetzung vom Schnellen ins Langsame. Etwa sonst erforderliche Uebertragungen zwischen Spillmaschine und Spill bewirkt man durch Zahnräder.

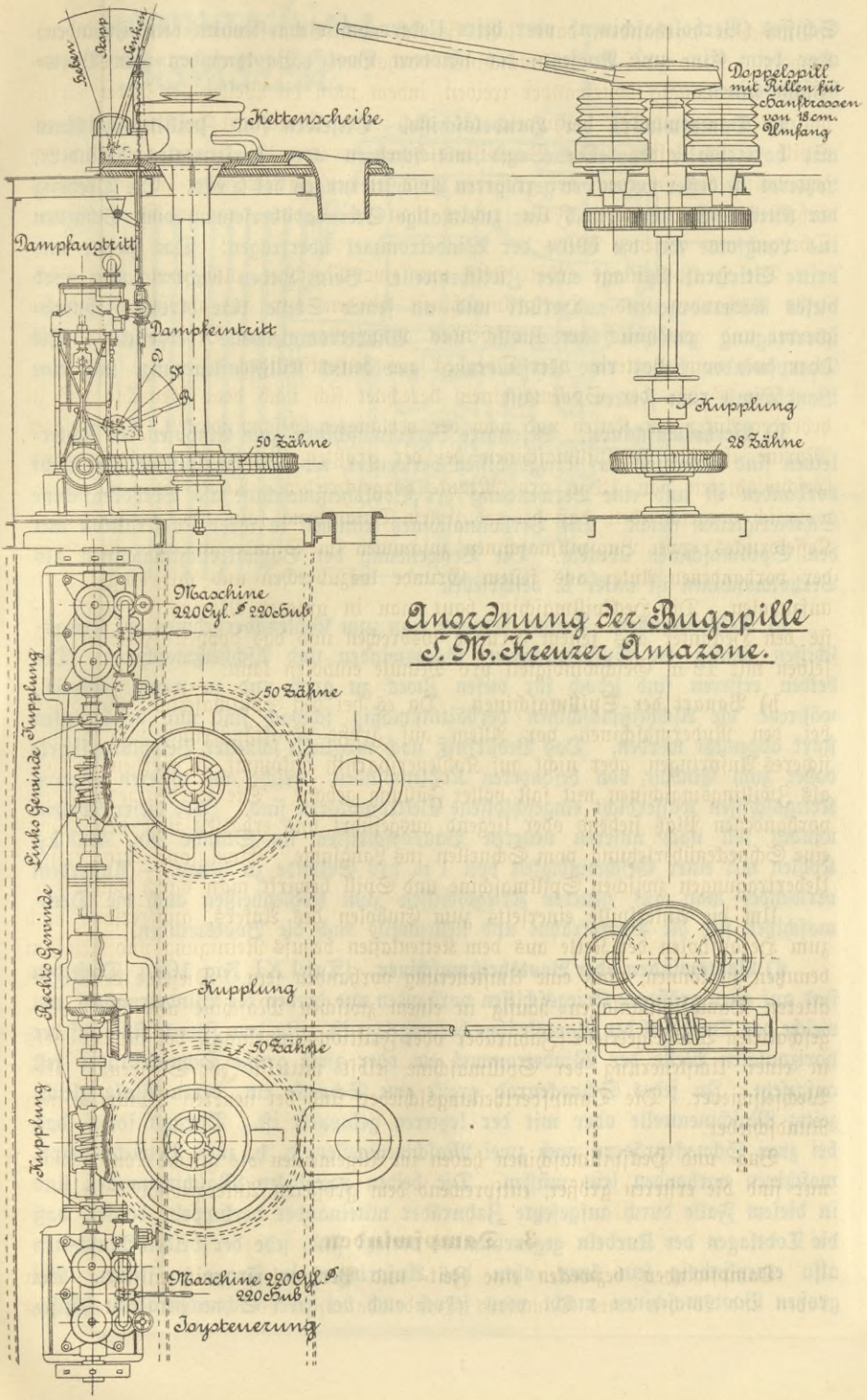
Um die Ankerspille einerseits zum Einholen des Ankers, andererseits auch zum Heraufholen der Kette aus dem Kettenkasten behufs Reinigung und Revision benutzen zu können, muß eine Umsteuerung vorhanden sein. Dieselbe besteht bei älteren Dampfspillanlagen häufig in einem zwischen Maschine und Spill eingeschalteten Wechselgetriebe (Zahnräder oder Friktionskuppelung), bei neueren stets in einer Umsteuerung der Spillmaschine selbst mittelst Joy-Steuerung oder Wechselschieber. Die Dampfvertheilungsschieber sind bei neueren Spillmaschinen Rundschieber.

Bug- und Heckspillmaschinen haben im Allgemeinen die gleiche Konstruktion, nur sind die ersteren größer, entsprechend dem größeren Ankergewicht.

3. Dampfwinden.

Dampfwinden bezwecken eine Zeit- und Personalersparniß entweder beim Laden und Löschen eines Dampfers (Handelsdampfer) oder beim Verholen eines

Fig. 101.



Anordnung der Bugspille S. M. Kreuzer Amazone.

Schiffes (Verholmaschinen) oder beim Uebernehmen von Kohlen (Kohlenwinden) oder beim Ein- und Aussetzen der schweren Boote (Bootswinden oder Bootsheißmaschinen).

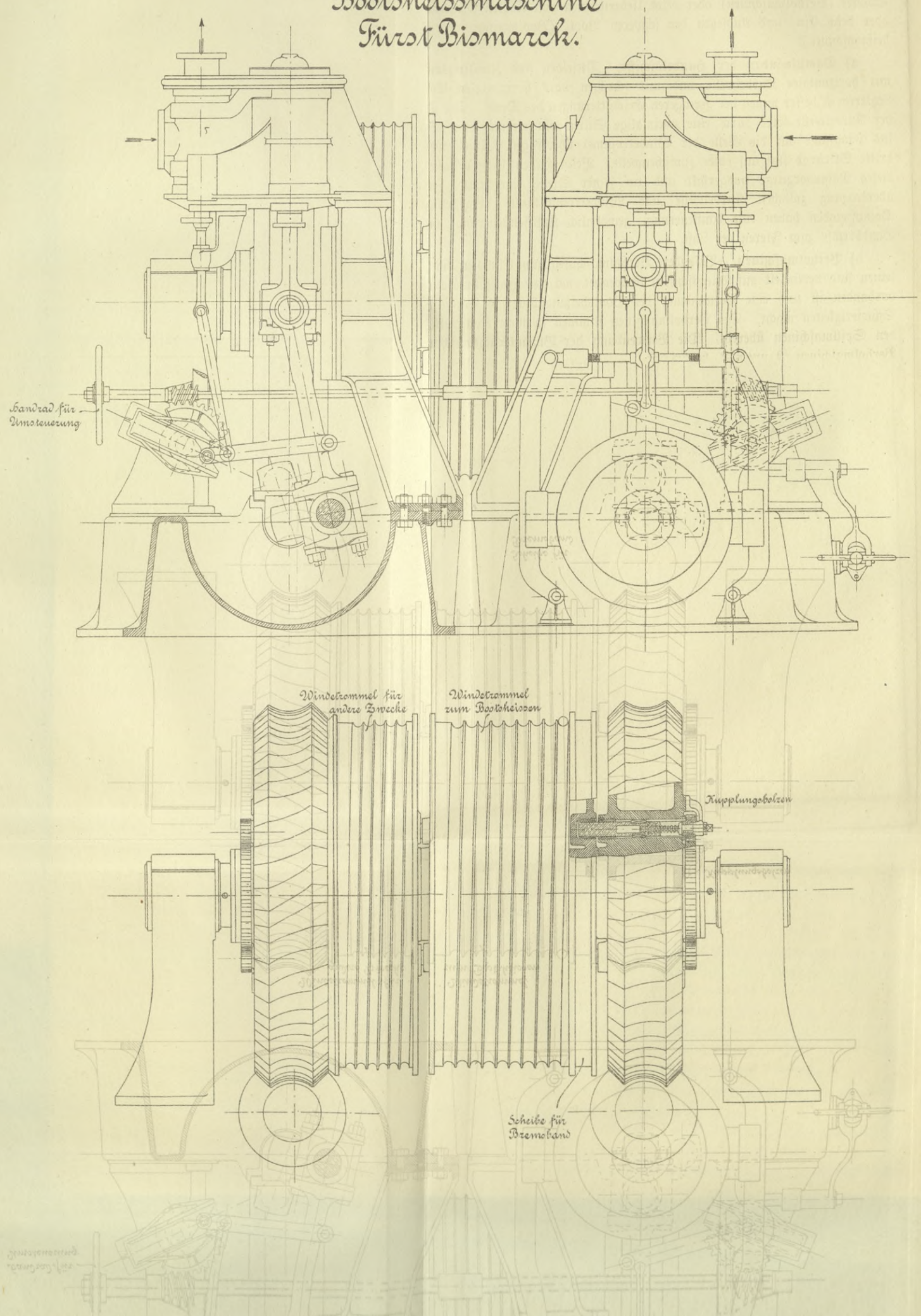
a) Dampfwinden der Handelsschiffe. Dieselben sind Zwillingsmaschinen mit horizontaler Kurbelwelle und mit schrägen oder horizontalen Cylindern. Letzteres ist besser wegen der geringeren Erschütterungen des Decks. Die Drehung der Kurbelwelle wird durch eine zweimalige Stirnradübersetzung vom Schnellen ins Langsame auf die Welle der Windetrommel übertragen. Das zweite und dritte Stirnrad sitzt auf einer Zwischenwelle. Beim Heben leichter Lasten wird dieses Rädervorgelege ausgerückt und an seiner Stelle eine direkte Zahnradübertragung zwischen Kurbelwelle und Windetrommelwelle hergestellt. Die Dampfwinden haben eine Umsteuerung, gewöhnlich Kulissensteuerung, und eine Bandbremse zum Fieren der Last.

b) Verholmaschinen. Besondere Verholmaschinen zum Einholen der Achterleinen sind vereinzelt auf Kriegsschiffen verwendet, wo eine Heckspillmaschine nicht vorhanden ist und eine Verwendung der Bootsheißmaschine als Verholmaschine Schwierigkeiten macht. Die Verholmaschinen stimmen in ihrer Konstruktion mit den Spillmaschinen überein. Die Verwendung der Bugankerlichtmaschinen als Verholmaschinen ist unter 2. beschrieben.

c) Kohlenwinden. Früher benutzte man zum Kohlenübernehmen auf Kriegsschiffen häufig die Spillmaschinen, Bootswinden und Aschheißmaschinen. Die beiden ersteren sind jedoch für diesen Zweck zu groß und zu wenig zahlreich, während die Aschheißmaschinen verhältnißmäßig schwach sind und infolgedessen stark abgenutzt werden. Das Bedürfniß nach möglichst schneller Bekohlung führte daher zum Einbau von besonderen Kohlenwinden, welche auf unseren neueren Kriegsschiffen wasserdicht eingeschlossene Elektromotoren sind. Jede dieser Kohlenwinden soll nach unseren neueren Bauvorschriften im Stande sein, 400 kg Kohlen mit einer Geschwindigkeit von 1 m pro Sekunde zu heben. — Außerdem verwendet man auf neueren Kriegsschiffen zum Kohlenheißen auch die Drehmaschinen für die Bootskrähne und stellenweise auch die Bootswinden.

d) Bootswinden oder Bootsheißmaschinen. (Tafel XI. Fig. 102.) Dieselben sind auf allen größeren Kriegsschiffen vorhanden und drehen die Windetrommel, um welche das Drahtseil der Bootskrähne herumgelegt ist. Zu dem Zwecke sind auf der horizontalen Welle der Windetrommel ein oder zwei große Schneckenräder fest aufgesetzt. In jedes Schneckenrad greift eine Schnecke ein, deren Welle gleichzeitig Maschinenwelle oder mit der letzteren gekuppelt ist. Daraus folgt, daß bei zwei Schneckenrädern auch zwei Maschinenwellen, d. h. zwei Betriebsdampfmaschinen vorhanden sein müssen. Die beiden parallelen Maschinenwellen sind in diesem Falle durch aufgesetzte Zahnräder miteinander verkuppelt, derart, daß die Todtlagen der Kurbeln gegeneinander versetzt sind, jede der beiden Maschinen also eincylindrig sein kann, ohne das Anspringen in Frage zu stellen. Bei großen Bootsmaschinen macht man jedoch auch bei zwei Schneckenrädern häufig

Bootsheissmaschine Fürst Bismarck.



beide Maschinen zweicylindrig. Hat die Welle der Windetrommel nur ein Schneckenrad, dann muß die Dampfmaschine natürlich zweicylindrig sein. Die Anwendung von zwei Schneckenrädern bezweckt eine Vertheilung der verhältnißmäßig großen Kraft (Zahndruck) auf zwei Stellen, eignet sich daher nur für große Bootswinden.

Soll die Bootswinde auch zum Kohlenheißen dienen, dann setzt man für diesen Zweck eine zweite Windetrommel auf die Welle und ordnet zwischen Schneckenrad und der Windetrommel zum Bootsheißen eine lösbare Bolzenkuppelung an, so daß diese Windetrommel beim Kohlenheißen nicht mitzulaufen braucht. Zum Feststellen der Windetrommel zum Bootsheißen dient eine Bandbremse. Auf die Welle der Windetrommel ist häufig an einem Ende oder auch an beiden Enden ein Spillkopf aufgesetzt für beliebige Zwecke (Verholen, Kohlenheißen und dergl.).

Die Bootsheißmaschinen bedürfen natürlich einer Umsteuerung, um mit der Dampfmaschine auch fieren zu können ohne Loskuppeln der Windetrommel. Die Umsteuerung besteht gewöhnlich in einer Joy- oder Kulissensteuerung, seltener in einem Wechselschieber.

Die neueren Bootswinden erhalten zuweilen zur genaueren Regulirung eine selbstthätige Stoppvorrichtung nach demselben Prinzip wie die Rudermaschinen. Man muß dann die Bootswinde fortgesetzt von Neuem anlassen, bis die beabsichtigte Stellung der Windetrommel erreicht ist.

Die Bootswinden stehen auf Oberdeck so, daß der Bedienende das Bootsmanöver möglichst übersehen kann. Als Heißgeschwindigkeit ist für unsere neueren Kriegsschiffe 20 m pro Minute vorgeschrieben.

Die Bootskrähne erhalten außer der Handschwenkvorrichtung noch besondere Schwenkmaschinen, welche am Krahnpivot montirt sind und ihre Drehung durch Schneckenübersetzung auf den Krahn übertragen. Die Schwenkmaschinen sollen bei 5° Schlagseite die vollbelasteten Krähne in etwa 20 Sekunden um 90° drehen können.

4. Hydraulische Winden für den Schiffsbetrieb.

Hydraulische Kraftanlagen verwendet man stellenweise auf großen Handelsschiffen zum Löschen und Laden. Auf Kriegsschiffen sind sie nicht in Gebrauch, abgesehen von den Hülfsmaschinen für militärische Zwecke, welche im nächsten Theile beschrieben werden. Die hydraulischen Kraftanlagen der Handelsschiffe ersetzen die geräuschvoll arbeitenden Dampfwinden und bestehen im Wesentlichen aus der Pumpe mit Akkumulator und den hydraulischen Krähnen.

Die Pumpe von irgend welcher Konstruktion pumpt das Wasser (event. mit Glycerinzusatz als Sicherheit gegen Einfrieren) in den Akkumulator, d. h. in einen langen Cylinder, aus welchem durch einen niedergehenden Plungerkolben das Wasser nach den Krähnen gepreßt wird. Der Druck des Plungerkolbens auf das Wasser wird gewöhnlich durch Dampf erzeugt, indem der Plungerkolben gleich-

zeitig die Kolbenstange eines Dampfcylinders ist, dessen Kolben an seiner oberen Fläche unter Kesseldruck steht.

Der hydraulische Druck ergiebt sich aus dem Kesseldruck und dem Verhältniß zwischen Dampfkolben und Plungerkolben. Ist z. B. der Kesseldruck = 10 kg pro qcm und der Querschnitt des Dampfcylinders = dem 10fachen Querschnitt des Plungerkolbens, dann beträgt der hydraulische Druck 100 kg pro qcm. Im Allgemeinen arbeiten die hydraulischen Kraftanlagen mit etwa 50 bis 80 kg pro qcm.

Um dauernd den für den gleichmäßigen Betrieb der Krähne erforderlichen konstanten Wasserdruck zu halten, muß der Dampfkolben und der Plungerkolben stets gewissermaßen in der Schwebe sein, der Dampfkolben darf weder oben noch unten im Dampfcylinder zur festen Anlage kommen, denn im ersteren Falle würde die weiterarbeitende Pumpe den Druck übermäßig erhöhen, im letzteren würde der Druck ganz aussetzen. Man erreicht dieses dauernde Schweben der Kolben durch eine selbstthätige Regulirung des Ganges der Pumpe, derart, daß der Dampfzutritt zur Pumpe abgesperrt, wenn der Dampfkolben fest am oberen, und wieder geöffnet wird, wenn der Dampfkolben fest am unteren Ende des Cylinders angelangt ist.

Die hydraulischen Krähne sind im Prinzip das Umgekehrte vom Akkumulator. Die Hebekraft entsteht durch Herauspressen eines Plungerkolbens aus einem hydraulischen Cylinder, und diese Bewegung wird dazu benutzt, um die beiden Blöcke eines Flaschenzuges weiter voneinander zu entfernen. Der Zutritt des Druckwassers zu dem hydraulischen Cylinder wird durch sogenannte Steuerhähne geregelt. Das im Krahn verbrauchte Wasser fließt wieder der Pumpe zu.

C. Hülfsmaschinen für militärische Zwecke.

1. Luftkompressionspumpe.

(Tafel XII. Fig. 103.)

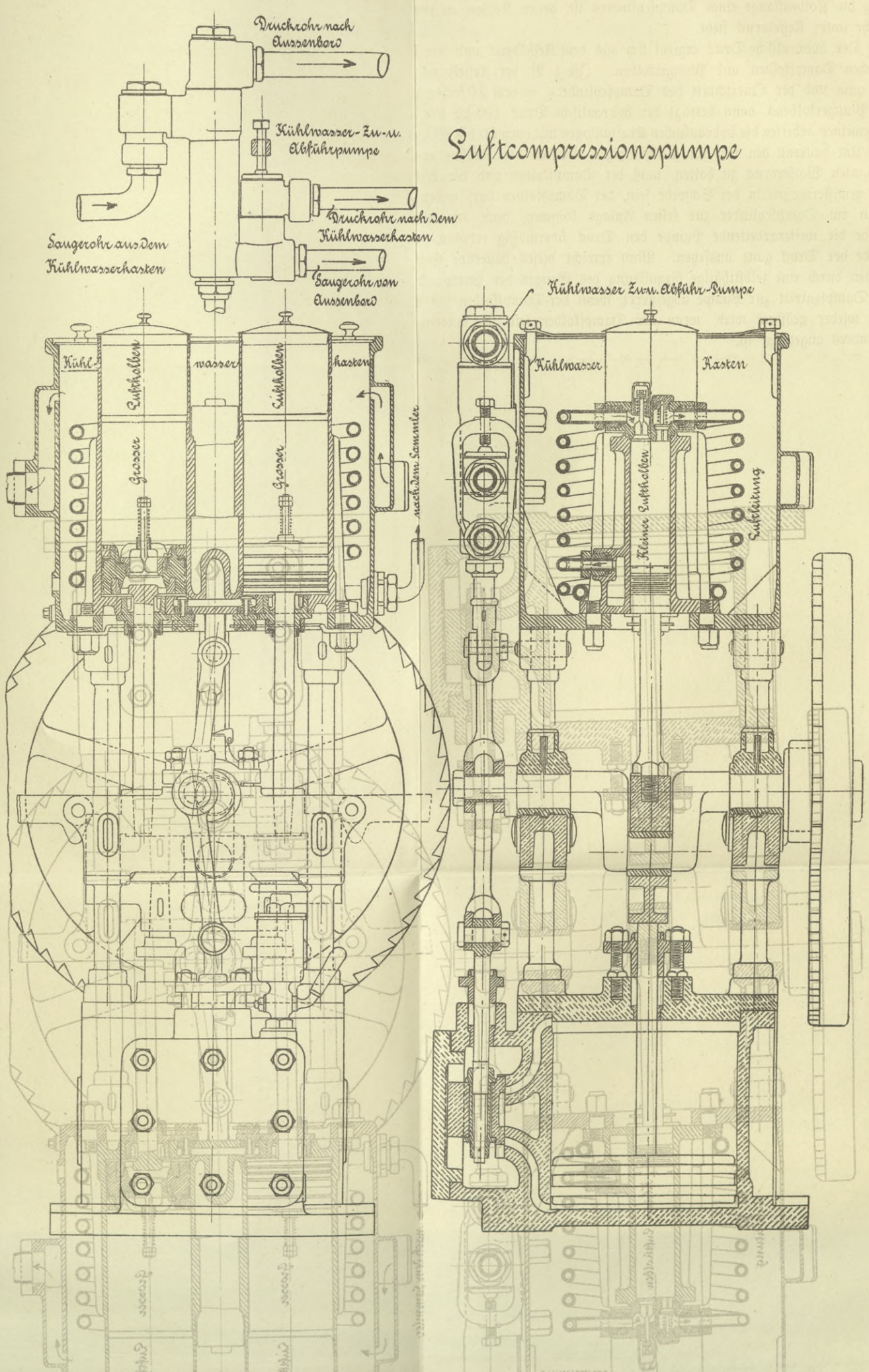
Dieselbe dient zur Erzeugung der für den Torpedobetrieb, d. h. für die Auffüllung der Sammler und Standrohre, erforderlichen Preßluft von 100 kg pro qcm und darüber. In unserer Marine ist die Luftkompressionspumpe von Kaselowsky in Gebrauch.

Die Verdichtung der Luft geschieht bei derselben in drei einfach wirkenden, vertikal angeordneten bronzenen Luftpumpen, von welchen die beiden größeren parallel geschaltet sind und die Luft auf einen mittleren Druck verdichten, während die dritte kleinere Luftpumpe die weitere Verdichtung bis auf den höchsten Druck besorgt. Die Pumpe arbeitet also in zwei Kompressionsstufen, und ihre Wirkung ist gewissermaßen die Umkehrung der Dampfwirkung einer Dreicylinder-Compoundmaschine.

Die kleine Pumpe steht in der Mitte zwischen den beiden großen. Die beiden großen Pumpen haben oben offene Cylinder. Sie saugen beim Kolbenaufgang durch ein im Pumpenkolben sitzendes, nach unten sich öffnendes, Saugeventil und drücken beim Kolbenniedergang die Luft durch ein unten am Pumpencylinder

muß ihr Gang sich möglichst genau reguliren lassen, um die Seitenrichtung der

Luftcompressionspumpe



drücken beim Kolbenniedergang die Luft durch ein unten am Pumpencylinder

sitzendes Druckventil in eine Kühlschlange. Die kleine Pumpe hat einen unten offenen Cylinder. Sie saugt beim Kolbenniedergang durch ein oben am Pumpencylinder sitzendes Saugeventil die schon bis etwa 30 kg pro qcm verdichtete Luft aus der Kühlschlange und drückt sie beim Kolbenaufgang durch ein ebenfalls oben am Pumpencylinder sitzendes Druckventil in eine zweite Kühlschlange, aus welcher sie weiter zum Sammler geleitet wird. Alle Ventile sind federbelastete stählerne Kegelventile. Die bronzenen Pumpenkolben sind durch Ledermanschetten gedichtet.

Die erwähnten Kühlschlangen sollen die durch die Verdichtung entstehende Erwärmung der Luft verringern. Sie sind in mehreren Windungen um die drei Pumpencylinder herumgeführt und werden von Kühlwasser umspült, zu welchem Zweck alle drei Pumpen von einem gemeinschaftlichen, oben offenen Kühlwasserkasten umgeben sind. Die ständige Erneuerung des Kühlwassers besorgt eine an die Betriebsmaschine angehängte doppelt wirkende Kühlpumpe, welche gleichzeitig Kühlwasser aus See in den Kühlkasten und das angewärmte Wasser aus dem Kühlkasten zurück nach See pumpt. Das Material des Kühlkastens ist Bronze.

Als Betriebsmaschine dient eine eincylindrige vertikale, unter den Pumpen angeordnete Dampfmaschine mit zwei Kolbenstangen, Hülfsrotation mit Kurbelschleife und Schwungrad. Letzteres trägt am Umfang Zähne und wird zum Drehen und Ingangsetzen mittelst Drehknarre benutzt. Die Kurbelschleife bildet eine starre Verbindung zwischen den zwei Dampf- und den drei Pumpenkolbenstangen. Die feste Verbindung zwischen Dampf- und Pumpencylinder vermitteln vier Säulen, an welchen die beiden Lager für die Kurbelwelle befestigt sind.

Beim Anstellen der Pumpe läßt man zuerst die Preßluft durch ein Entlastungsventil ins Freie. Arbeitet die Pumpe ruhig, dann schließt man das Entlastungsventil und öffnet gleichzeitig das Absperrventil nach dem Sammler.

2. Thurmdrehmaschinen und Geschützschwenkwerke.

a) Allgemeines. Maschinen zum Drehen der Geschütze werden für alle schweren Geschütze eingebaut. Sie dienen entweder zum Drehen des ganzen Panzerthurmes mitsammt den Geschützen (Thurmdrehmaschinen) oder zum Drehen der die Geschütze tragenden Plattform, event. mit den über den Geschützen befindlichen Kuppeln (Geschützschwenkwerke).

In allen Fällen ist die Betriebskraft entweder Dampf oder Hydraulik oder Elektrizität, und besteht die Kraftübertragung von der Drehmaschine auf den Zahnkranz des Thurmes oder der Plattform in einer Zahnrad- und Schneckenübersetzung. Bei neueren Anlagen wird die Drehung der Drehmaschine gleichzeitig an zwei diametral gegenüber liegenden Stellen des Zahnkranzes auf denselben übertragen, wodurch die Reibung auf ein Minimum beschränkt wird und die Drehung gleichmäßig erfolgt.

Selbstverständlich bedürfen die Drehmaschinen einer Umsteuerung. Auch muß ihr Gang sich möglichst genau reguliren lassen, um die Seitenrichtung der

Geschütze schnell und sicher einstellen zu können. Zum Festhalten des Geschützes in jeder beliebigen Stellung verwendet man bei hydraulischem und elektrischem Betriebe eine Umfangsbremse, bestehend aus zwei diametral einander gegenüber stehenden Bremsbacken. Zur Vermeidung von Beschädigungen erhalten die Geschützschwenkwerke selbstthätige Stoppvorrichtungen für die Hartlagen, bestehend in einem selbstthätigen Stoppen der Drehmaschine durch Legen des Steuerhebels auf Mittelstellung. Für den Fall des Versagens oder der Havarie des maschinellen Antriebes versieht man die Schwenkwerke mit einem Reservehandantrieb, mit welchem der vorher erwähnte Zahntrieb des Zahnkranzes gedreht werden kann, ohne die Drehmaschine mitzudrehen. Im Folgenden werden die wichtigsten Konstruktionen der Geschützschwenkwerke näher beschrieben.

b) Thurm- und Geschützdrehmaschinen mit Dampfbetrieb. Derartige Drehmaschinen sind auf älteren Kriegsschiffen verwendet und gewöhnlich in dem unterhalb des Thurmes liegenden Deck aufgestellt. Es sind Zwillingsmaschinen mit Umsteuerung durch Wechselschieber (Vertauschung der Dampfwege). Der Steuerhebel ist von dem drehbaren Geschützstand aus zu handhaben. Seine Verbindung mit dem Wechselschieber ist daher durch die Drehachse des Geschützstandes vertikal in das untere Deck geführt.

Auf neueren Schiffen sind Dampfdrehmaschinen nicht mehr verwendet, weil sie bei Beschädigungen das Personal durch ausströmenden Dampf gefährden und weil sie in ihrer Wirkung weniger präzise sind als hydraulische und elektrische Drehmaschinen.

c) Hydraulische Thurm- und Geschützdrehmaschinen. Derartige Anlagen sind in unserer Marine von der Firma Krupp geliefert. Sie bestehen im Wesentlichen aus den Dampfpumpen, welche Glycerin auf etwa 60 kg pro qcm komprimiren, aus den eigentlichen Drehmaschinen, welche durch das komprimirte Glycerin getrieben werden, und aus den Rohrleitungen mit Absperrvorrichtungen, Sicherheitsvorrichtungen u. s. w.

Die Pumpen sind Worthington-Pumpen ohne Rotation, mit zwei Dampf- und zwei Pumpencylindern. Der Dampfvertheilungsschieber jedes Cylinders wird durch die Kolbenstange des anderen Cylinders bewegt. Die Pumpenkolben mit Ledermanschetten sind einfach saugend und doppelt drückend. Letzteres wird dadurch erreicht, daß die dem Sauge- und Druckventil abgewendete Seite des Kolbens mit dem Druckraum der Pumpe kommunizirt und zwischen diesem und dem Druckrohr ein zweites Druckventil (Kompressionsventil) eingeschaltet ist.

Der Querschnitt des Pumpenkolbens muß so viel kleiner sein als der Querschnitt des Dampfkolbens, daß bei dem vorhandenen Betriebsdampfdruck der erforderliche Glycerindruck erreicht wird.

Für jede Drehvorrichtung wird gewöhnlich eine besondere Pumpe angeordnet, und zwar in ihrer Nähe und in einem unteren Deck, jedoch verbindet man die Rohrleitungen der Pumpen derart miteinander, daß jede Pumpe auch nach einer anderen Drehvorrichtung oder nach mehreren zugleich Glycerin liefern kann.

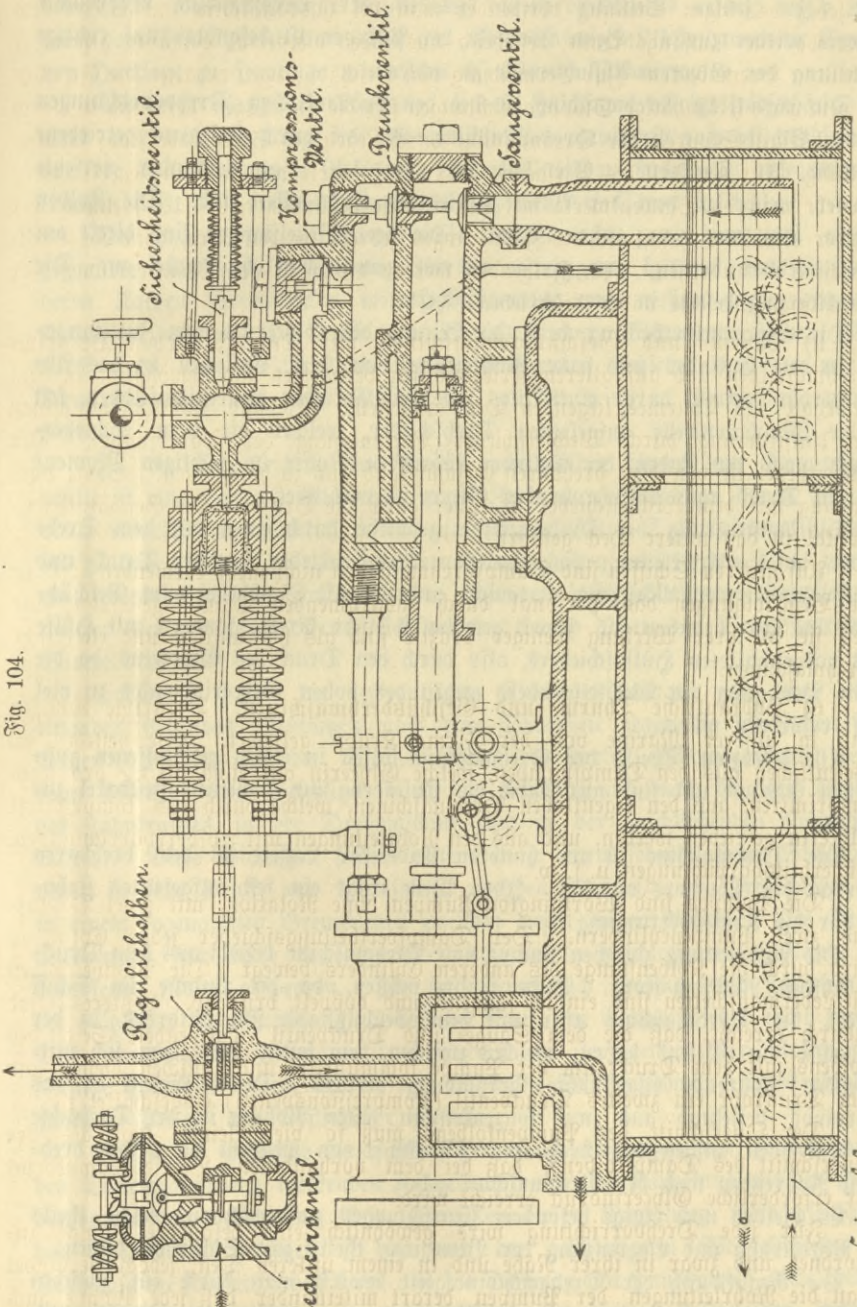


Fig. 104.

Hydraulische Pumpe für Geschützschwenkwerke und Munitionsaufzüge.

Jede Pumpe liegt unmittelbar auf dem Glycerinbehälter, aus welchem sie saugt. In diesen Behälter fließt das in der Drehmaschine verbrauchte Glycerin wieder zurück. Beim Wechseln der Pumpen ist besonders auf richtige Einstellung der Glycerin-Abflußventile zu achten.

Die eigentliche Drehmaschine ist bei den hydraulischen Drehvorrichtungen unserer Schiffe eine Brotherhood-Maschine, wie die durch Luftdruck getriebene Maschine der Torpedos. Sie hat drei um 120° gegeneinander versetzte Cylinder, welche an dem der Welle zugekehrten Ende offen sind. Die Kolben erhalten also nur von außen Druck. Die drei Pleuelstangen sind direkt am Kolben drehbar befestigt und greifen an eine gemeinschaftliche Kurbel an. Die Kolbenliderung besteht in einer Ledermanschette.

Die Glycerinvertheilung, d. h. die Leitung des Glycerins vom Zuleitungsrohr in den Cylinder und seine Rückleitung von dem Cylinder in das Ableitungsrohr erfolgt durch einen für alle drei Cylinder gemeinschaftlichen, fest auf die Maschinenwelle aufgesetzten Drehschieber, welcher die vom Schiebergehäuse nach den Enden der Cylinder führenden Rohre im richtigen Moment mit dem Druck- und Abflußrohr des Glycerins verbindet.

Die Umsteuerung der Drehmaschine geschieht durch einen vor dem Drehschieber in die Rohrleitung eingeschalteten Wechselschieber, welcher Druck- und Abflußrohr an der Maschine vertauscht und mittelst Handhebel vom Geschützstand aus zu bedienen ist, jedoch gewöhnlich nicht direkt, sondern mit Hülfe eines vorgeschalteten Hülfsschiebers, also durch den Druck des Glycerins, da die direkte Bewegung des Wechselschiebers wegen des hohen Glycerindruckes zu viel Kraft erfordern würde.

Alle bewegten Theile der Drehmaschine liegen in einem geschlossenen gußeisernen Gehäuse und sind nur durch die Cylinder- und Schieberkastendeckel zugänglich.

Die Drehmaschine ist am hinteren Ende der Laffete an dem drehbaren Oberbau des Thurmes montirt. Ihre Welle trägt ein fest aufgesetztes Zahnrad für die Kraftübertragung.

Die Rohrleitung zwischen Pumpe und Drehmaschine besteht aus dem Druck- und Abfluß-(Rückfluß-)rohr. Beide Rohre müssen, da die Pumpe im Schiff feststeht, die Drehmaschine aber mit dem Geschützstand sich mitdreht, in der Drehachse ein Gelenk haben, welches zwischen dem festen und dem sich mitdrehenden Rohrende eine dichte Verbindung herstellt. Dieses Gelenk ist das Rohrpivot, bestehend aus zwei konzentrischen, festen Rohren in der Drehachse und dem oben aufgesetzten, drehbaren Pivotkopf, von welchem die beiden drehbaren Rohrenden nach der Drehmaschine gehen.

Es bleiben noch einige besondere Einrichtungen zu erwähnen, welche theils zur Regulirung und Begrenzung der Bewegung, theils zur Sicherheit dienen.

Die Regulirung der Drehgeschwindigkeit bewirkt man durch ein zwischen Wechselventil und Rohrpivot in die Abflußleitung eingeschaltetes Drosselventil, welches je nach dem Grade der Rohrverengung den Gegendruck mehr oder

weniger erhöht und den Gang der Drehmaschine mehr oder weniger verlangsamt. Die verschiedene Einstellung des Drosselventils erfolgt durch Handhebel vom Geschützstand aus. Auf der „Brandenburg"-Klasse dauert die Drehung von Hartlage zu Hartlage mindestens 55 bis 60 Sekunden.

Die Begrenzung der Drehung in den Hartlagen erfolgt selbstthätig durch einen mit dem Gestänge des Wechselschiebers verbundenen Hebel, welcher kurz vor der Hartlage gegen einen im festen Unterbau befestigten Begrenzungsknappen stößt und hierdurch den Wechselschieber auf Stopp stellt.

Die hydraulische Umfangsbremse besteht aus zwei diametral einander gegenüber auf dem drehbaren Oberbau befestigten hydraulischen Cylindern, deren Kolben Bremsbacken mit Holzfütterung von außen gegen den festen Unterbau drücken. Die nach den Bremscylindern führenden Rohre können durch einen vom Geschützstand aus zu bewegenden Schieber entweder mit dem Druckrohr oder mit dem Abflußrohr des Glycerins in Verbindung gebracht werden.

In die Druckleitung der Pumpe unmittelbar hinter dem Kompressionsventil ist eine doppelte Sicherheit gegen Zersprengen durch zu hohen Glycerindruck eingeschaltet, nämlich erstens ein federbelastetes Sicherheitsventil, welches bei zu hohem Druck Glycerin in den Saugebehälter zurücktreten läßt, zweitens ein federbelasteter in einem kleinen Cylinder dicht schließender Regulirkolben, welcher bei zu hohem Druck sich verschiebt und dabei den Dampfzutritt zur Pumpe drosselt.

Schließlich haben die hydraulischen Drehvorrichtungen mit zwei nebeneinander stehenden Geschützen noch eine Sicherheit gegen die schädlichen Wirkungen (besonders auf den Wechselschieber) des starken Glycerindruckes, welcher beim Abfeuern eines Geschützes durch den Rückstoß und durch die kurze Drehung des Zahnkranzes in der Drehmaschine und in der anschließenden Rohrleitung entsteht. Diese Sicherheit besteht erstens in je einem federbelasteten Sicherheitsventil in dem Druck- und Abflußrohr zwischen Wechsel- und Drehschieber und in einem sogenannten Bremsventil zwischen diesen beiden Rohren. Die Sicherheitsventile sind beide so eingerichtet, daß sie in geschlossenem Zustande das betreffende Rohr absperren. Sie sind gewöhnlich geöffnet und schließen sich bei plötzlicher Druckerhöhung, so daß der Stoß den Wechselschieber nicht erreicht. Das federbelastete Bremsventil verhindert ein Zersprengen der Rohre, oder sonstige Havarie, indem es bei der plötzlichen Druckerhöhung eine Verbindung zwischen Sauge- und Abflußrohr herstellt.

Sollen die Geschütze durch Menschenkraft geschwenkt werden, so werden die den Thurmzahnkranz treibenden Zahnräder durch eine Kuppelung mit der Handdrehvorrichtung gekuppelt. Beim Einrücken dieser Kuppelung wird gleichzeitig das Bremsventil geöffnet, so daß auch bei geschlossenem Wechselschieber die Drehmaschine sich mitdrehen kann, also die Drehung mit Handbetrieb nicht hindert.

d) Elektrische Thurm- und Geschützdrehmaschinen. Dieselben sind im Prinzip in dem Abschnitt „Elektrische Anlagen" beschrieben.

3. Munitionsheißmaschinen (Munitionsaufzüge).

a) Allgemeines. Die Munitionsheißmaschinen dienen dazu, die Munition aus den tief im Schiff liegenden Munitionsräumen bis auf die Höhe des Geschützstandes zu heben. Sie bestehen aus den eigentlichen Heißmaschinen und aus der in dem Aufzugsschacht befindlichen Heißvorrichtung.

Die eigentlichen Heißmaschinen sind entweder reine Dampfmaschinen oder Dampfmaschinen mit hydraulischem Sperrcylinder oder rein hydraulische Maschinen oder elektrische Motoren. Reiner Dampfbetrieb wird nicht mehr verwendet, weil die Genauigkeit der Regulirung keine vollkommene ist. Dampfmaschinen mit hydraulischem Sperrcylinder oder rein hydraulische Maschinen verwendet man bei schweren Geschützen, bei welchen auch die Schwenkwerke hydraulisch sind. Elektromotoren verwendet man bei leichteren und mittleren Geschützen im Verein mit elektrischen Schwenkwerken.

Die Heißvorrichtung besteht entweder aus einem Fahrstuhl mit selbstthätiger Stoppvorrichtung in den Endstellungen oder aus einem Paternosterwerk. In unserer Marine haben die Munitionsaufzüge mit Fahrstuhl Dampf- oder hydraulischen Betrieb, diejenigen mit Paternosterwerk elektrischen oder Handantrieb.

b) Munitionsaufzüge mit reinem Dampfbetrieb. Dieselben stimmen im Prinzip mit den Dampfaschheißmaschinen überein, drehen also eine Seiltrommel, um welche das Seil, an dem der Fahrstuhl hängt, herumgelegt ist, und haben eine Vorrichtung, welche in den Endstellungen des Fahrstuhls den Umsteuerhebel selbstthätig auf Stopp stellt.

c) Munitionsaufzüge mit Dampfbetrieb und hydraulischem Sperrcylinder. Die in unserer Marine (z. B. auf „Brandenburg" und „Weißenburg") verwendeten Munitionsaufzüge dieser Art haben zwei gleiche Dampfcylinder und einen mitten zwischen ihnen liegenden hydraulischen Cylinder. Die drei Kolbenstangen sind durch ein Querstück verbunden. Ein Hub der Maschine entspricht der ganzen Bewegung des Fahrstuhls. Infolgedessen ist eine Uebersetzung vom Langsamen ins Schnelle nöthig. Diese Uebersetzung besteht in einem umgekehrten Flaschenzug, dessen Seilscheiben theils in dem sich verschiebenden Querstück der Kolbenstangen, theils an einem festen Punkt, dem Boden des hydraulischen Cylinders angebracht sind, und dessen Seil mit dem Fahrstuhl verbunden ist.

Die treibende Kraft beim Heben ist der Dampfdruck auf die beiden Dampfkolben, das Senken geschieht durch das Gewicht des Fahrstuhls. Beim Heben sowohl wie beim Senken wirkt der mit Glycerin gefüllte hydraulische Cylinder bremsend, indem das Glycerin durch den Glycerinschieberkasten von einem Ende des Cylinders auf das andere überströmt. Demnach sind bei der Wirkung der Maschine beide Seiten des Glycerincylinders, aber nur eine Seite der Dampfcylinder betheiligt. Die unbetheiligte Seite der Dampfcylinder ist dauernd mit dem Dampfabgang in Verbindung, um den durch etwaige Kolbenundichtigkeiten durchdringenden Dampf abzuleiten.

Die Bewegung der Maschine wird durch einen Dampf- und einen Glycerinschieber geregelt. Beide sitzen auf einer gemeinschaftlichen Schieberstange und werden durch einen Handhebel ausgelenkt. Der Dampfschieber läßt beim Heben Dampf in den Cylinder und verbindet beim Senken den Cylinder mit dem Dampfabgangsrohr. In jeder beliebigen Stellung kann man den Fahrstuhl festhalten, indem man die Schieber auf Deckung stellt und hierdurch den Glycerinübergang absperrt. Ferner kann man die Bewegung des Fahrstuhls beliebig verlangsamen, indem man mit dem Schieber den Glycerindurchgang mehr oder weniger verengt.

In den Endstellungen des Fahrstuhls werden die Schieber selbstthätig auf Deckung gestellt, so daß dann nur eine Auslenkung nach der anderen Seite möglich ist. Durch entsprechende Anordnung von Hebel und Gestänge kann man die Bedienung der Aufzüge von verschiedenen Stellen aus ermöglichen.

d) Rein hydraulische Munitionsaufzüge. Auch hier entspricht ein Hub der Maschine der ganzen Bewegung des Fahrstuhls, die Konstruktion der Maschine ist aber einfacher als die unter c) beschriebene, da sie nur 1 Cylinder und dementsprechend auch nur 1 Schieber hat.

Der hydraulische Kolben ist ein Plungerkolben. Die Bewegung der Maschine wird, ebenso wie unter c) beschrieben, durch den Schieber geregelt, und zwar ist das vom Schieberkasten nach dem hydraulischen Cylinder führende Rohr beim Heben mit dem Glycerindruckrohr, beim Senken mit dem Abflußrohr in Verbindung. Der Flüssigkeitsdruck wird durch dieselben Pumpen erzeugt, welche den Druck für das hydraulische Geschützschwenkwerk liefern.

Die Seilscheiben des umgekehrten Flaschenzuges sitzen theils am äußeren Ende des Plungerkolbens, theils am Boden des Cylinders. Das Heben des Fahrstuhls entspricht einer Entfernung der Seilscheiben voneinander und geschieht durch den Druck des Glycerins, das Senken des Fahrstuhls erfolgt durch sein Gewicht. In den Endstellungen des Fahrstuhls wird der Schieber selbstthätig auf Deckung gestellt. Selbstverständlich läßt sich auch hier durch entsprechende Anordnung von Hebeln und Uebertragungen die Bedienung von verschiedenen Stellen aus ermöglichen.

e) Munitionsaufzüge mit elektrischem Antrieb. Dieselben sind im Prinzip in dem Abschnitt „Elektrische Anlagen" beschrieben. Die elektrischen Munitionsheißmaschinen betreiben auf unseren neueren Kriegsschiffen stets ein Paternosterwerk, bestehend aus zwei Galleschen Ketten ohne Ende, welche unten und oben über je zwei Kettenräder mit gemeinschaftlicher Welle laufen und zwischen welchen die Behälter zur Aufnahme der Munition angebracht sind. Die Abstände der Behälter sind so bemessen, daß an der unteren und oberen Oeffnung des Munitionsheißschachtes gleichzeitig ein Füllen bezw. Entleeren stattfinden kann. Durch Umsteuern des Elektromotors kann man das Paternosterwerk zum Uebernehmen von Munition benutzen. Die Paternosterwerke erhalten auch eine Vorrichtung für den Handbetrieb.

D. Hülfsmaschinen für gesundheitliche Zwecke.

1. Trinkwassererzeugung.

Die Erzeugung von Trinkwasser und Waschwasser unterscheidet sich im Prinzip von der Speisewassererzeugung nur dadurch, daß das in einem besonderen Kondensator niedergeschlagene Wasser noch durch einen mit präparirter Kohle oder mit Kokes gefüllten Filter geleitet wird.

Unsere älteren Kriegsschiffe erhielten durchweg die verhältnißmäßig komplizirten Destillirapparate von Normandy, welche nur zur Erzeugung von Trinkwasser und Waschwasser, jedoch nicht als Speisewassererzeuger dienen. Da diese Apparate allmählich aus unserer Marine verschwinden, so wird auf ihre Konstruktion nicht weiter eingegangen.

Auf allen unseren neueren Schiffen ist die Trinkwassererzeugung mit der Speisewassererzeugung vereinigt, indem die Frischwassererzeuger von Pape und Henneberg stets mit einem Filter versehen sind. Das Wasser, welches in dem früher beschriebenen Kondensator von Pape und Henneberg niedergeschlagen ist, wird also, wenn es als Trinkwasser Verwendung finden soll, durch diesen Filter in die Trinkwasserbehälter geleitet. Die größten Apparate von Pape und Henneberg liefern in 24 Stunden etwa 5 Tonnen Trinkwasser. Das so gewonnene Trinkwasser ist klar, geruchlos und farblos und enthält genügend Kohlensäure, schmeckt also frisch. Das Filtrirmaterial muß öfters gereinigt werden. Dies geschieht durch Ausspülen mit reinem Süßwasser oder durch Ausglühen des ganzen Kohleninhalts. Letztere Methode ist die wirkungsvollste, jedoch muß bei derselben beachtet werden, daß die Kohle nicht verbrennt, weshalb man das Ausglühen auch in einem Sandbad vornimmt.

2. Eis- und Kühlmaschinen.

a) Allgemeines. Die älteren Eismaschinen dienen nur zur Erzeugung von Eis. Die Eismaschinen auf neueren Schiffen sind gewöhnlich zu einer Kühlanlage erweitert und dienen dann außerdem zur Kühlung der Luft in den Proviantraumen und zur Kühlung von Trinkwasser. Neuerdings wird geplant, die Kühlanlage auch auf die Munitionsräume auszudehnen, und zwar in Form von Kühlrohren, durch welche gekühlte Salzsoole (etwa + 5° C.) gepumpt wird. Hierdurch soll die Temperatur der Munitionsräume stets unter 40° C. gehalten werden, da bei höherer Dauertemperatur das rauchlose Pulver an Wirkung verliert.

Es giebt verschiedene Konstruktionen von Eis- und Kühlmaschinen. Dieselben stimmen aber im Prinzip darin überein, daß durch Verdunstung einer Flüssigkeit oder durch Expansion von komprimirter Luft den umgebenden Wandungen Wärme entzogen wird. Befindet sich auf der anderen Seite dieser Wandungen ruhendes Wasser, dann wird dasselbe in Eis verwandelt, während cirkulirendes Wasser oder cirkulirende Luft gekühlt wird.

Die zu Eis- und Kühlmaschinen verwendeten Flüssigkeiten sind hauptsächlich Ammoniak und Kohlensäure. Auch schweflige Säure hat man benutzt, doch hat diese den Nachtheil, daß sich durch Zutritt von Sauerstoff Schwefelsäure bilden kann, welche auf das Innere der Maschinen zerstörend wirkt. Im Folgenden werden die wichtigsten Konstruktionen von Eismaschinen im Prinzip beschrieben.

b) Ammoniak-Eismaschinen von Kropff und Kolb. Diese beiden Systeme sind zuerst in unserer Marine verwendet. Beide dienen nur zur Eiserzeugung. Eine Ammoniaklösung umspült in einem Behälter (Evaporator) ein Rohrsystem und wird dadurch verdampft, daß durch das Rohrsystem Dampf geleitet wird. Die Ammoniakgase steigen nach oben in die Hohlräume der beiden Gefrierer, welche von außen durch beständig fließendes Seewasser gekühlt werden. Hierdurch werden die Ammoniakgase in den Gefrierern niedergeschlagen.

Jetzt wird durch das Rohrsystem des Evaporators Kühlwasser durchgepumpt. Durch die hierdurch entstehende Abkühlung werden die Ammoniakdämpfe im Evaporator wieder niedergeschlagen, und es entsteht ein Vakuum, welches das flüssige Ammoniak in den Gefrierern zum größten Theil zum Verdunsten bringt und die Ammoniakgase in den Evaporator zurückströmen läßt, wo sie sich wieder zu flüssigem Ammoniak verdichten. Durch nochmaliges mäßiges Anheizen des Evaporators wird der durch die Verdunstungskälte im Gefrierer entstandene Eisblock abgethaut, so daß er sich herausnehmen läßt.

Nach Vorstehendem findet ein vollständiger Kreisprozeß ohne direkten Verbrauch von Ammoniak statt.

Die Eismaschine „System Hohenzollern" der Firma Kolb hat gegenüber den älteren Ausführungen einige praktische Verbesserungen, welche die Bedienung vereinfachen.

c) Ammoniak-Eis- und Kühlmaschine von Linde. Dieselbe unterscheidet sich im Prinzip von den unter b) beschriebenen dadurch, daß sie keine Heizung durch Dampf nöthig hat. Ein Kompressor, bestehend entweder aus einer einfachen Pumpe oder aus zwei hintereinander geschalteten Pumpen (Hdr. und Ndr.), saugt aus dem Verdampfer und drückt gleichzeitig in einen Oberflächenkondensator. Sowohl der Verdampfer als auch der Kondensator ist zur Erzielung einer möglichst großen Oberfläche eine Spirale aus eisernen, gezogenen Rohren und enthält Ammoniak. Die Kondensatorspirale ist von dem gußeisernen Kondensatorkasten umgeben.

Die Wirkung ist nun folgende: Durch das Saugen des Kompressors entsteht im Verdampfer ein Vakuum, so daß das in denselben in genau geregelten kleinen Mengen eintretende flüssige Ammoniak verdunstet und Kälte erzeugt. Der Kompressor drückt die angesaugten Ammoniakgase in den Kondensator und komprimirt sie dort auf einen Druck von etwa 4 bis 5 kg pro Quadratcentimeter, während gleichzeitig eine Kühlpumpe durch den Kondensatorkasten Kühlwasser pumpt und so die Kondensatorspirale von außen kühlt. Durch die gleichzeitige Kompression und Kühlung werden die Ammoniakgase wieder flüssig. Das flüssige Ammoniak

wird vom Ende der Kondensatorspirale durch ein Rohr mit Regulirventil zu dem Anfang der Verdampferspirale übergeleitet, so daß auch hier ein Kreisprozeß ohne direkten Verbrauch von Ammoniak besteht. Statt des Regulirventils verwendet man auch eine besondere Speisepumpe mit regulirbarer Fördermenge pro Hub.

Zum Betriebe des Kompressors, der Kühlpumpe und der Speisepumpe dient eine auf oder an dem Kondensator montirte eincylindrige Dampfmaschine mit Schwungrad oder ein Elektromotor.

Die durch die Verdampferspirale erzeugte Kälte wird bei der Kühlmaschine von Linde entweder zur Eiserzeugung oder zur Kühlung von Trinkwasser oder zur Luftkühlung in den Proviantträumen verwendet. Da sich jedoch alle Zwecke praktisch nicht gut in einer einzigen Verdampfungsspirale vereinigen lassen, so ordnet man mehrere Verdampfungsspiralen an, welche sowohl gleichzeitig als auch einzeln betrieben werden können.

Zur Eisbildung dient der sogenannte Generator oder Eiserzeuger, bestehend aus einem Kasten, welcher mit einer erst bei etwa — 15° C. gefrierenden Salzlösung gefüllt ist. In diese Salzlösung wird einerseits eine Anzahl Blechgefäße, welche das zum Gefrieren bestimmte Süßwasser enthalten, eingesetzt, andererseits liegt in ihr die Generatorspirale. Die Salzlösung im Generator wird durch ein kleines, gewöhnlich durch einen Elektromotor getriebenes Flügelrad, das Rührwerk, in Bewegung gehalten, so daß die Kälte sich gleichmäßig im Generator vertheilt.

Zur Luftkühlung dient eine besondere Luftkühlspirale in einem gut bekleideten Holzkasten, welcher durch einen Sauge- und einen Druckkanal mit den Proviantträumen verbunden ist. Ein gewöhnlich elektrisch betriebener Ventilator bewirkt einen Luftkreislauf in der Weise, daß die kalte Luft aus dem Holzkasten durch den Druckkanal in die Proviantträume und die wärmere Luft aus den Proviantträumen durch den Saugekanal zurück zum Holzkasten geht.

Die Kühlung des Trinkwassers geschieht dadurch, daß dasselbe durch eine „Kaltwasserpumpe" durch einen Behälter gepumpt wird, dessen Wände gekühlt werden. Dieser Behälter ist gewöhnlich ein an den Eiserzeuger angenieteter Kasten, so daß die Zwischenwand zwischen Eiserzeuger und Kasten die Kühlfläche bildet.

Die Kaltwasserpumpe wird gemeinschaftlich mit dem Kompressor, der Kühlpumpe und der Speisepumpe betrieben. Die Eis- und Kühlmaschinen von Linde sind sowohl auf Kriegs- als auch auf Handelsschiffen viel verwendet.

d) Kohlensäure-Eismaschinen. Von dieser Art Eismaschinen kommen für unsere Marine zwei Konstruktionen in Betracht, diejenige von Riedinger und diejenige von Haubold. Bei beiden ist die Wirkungsweise im Prinzip dieselbe wie bei Linde, jedoch ist der zum Flüssigmachen erforderliche Druck bei Kohlensäure erheblich höher als bei Ammoniak. Der Kompressor saugt die gasförmige Kohlensäure aus den Kühlbehältern und drückt sie unter hohem Druck in ein entsprechend stark gebautes Kondensatorrohrsystem, wo sie unter gleichzeitiger,

durch eine Kühlpumpe bewirkter äußerer Wasserkühlung verflüssigt wird, und von wo sie durch ein Regulirventil wieder nach den Kühlbehältern geleitet wird, um von Neuem zu verdampfen und dadurch Kälte zu erzeugen. Das Verdampfen der flüssigen Kohlensäure in den Kühlbehältern erfolgt bei etwa — 20° Cels. Natürlich kann sowohl die Eismaschine von Riedinger als auch diejenige von Haubold nach demselben Prinzip wie die Kühlanlage von Linde zu einer Kühlanlage erweitert werden.

Die Kohlensäure-Eismaschinen haben vor den Ammoniak-Eismaschinen den Vorzug, daß bei Undichtigkeiten keine stechenden Gerüche entweichen, dagegen den Nachtheil, daß sich wegen der Geruchlosigkeit Undichtheiten schwer entdecken lassen.

e) Lufteismaschine von Allen. Neuerdings ist in unserer Marine auch die auf amerikanischen Kriegsschiffen gebräuchliche Allensche Lufteismaschine, erfunden von Leicester Allen in New York, verwendet.

Die Wirkungsweise dieser Maschine ist folgende: Eine Pumpe (Luftkompressor) komprimirt Luft, welche ihr aus den Kühlschlangen mit etwa $4^1/_2$ kg pro qcm Ueberdruck zuströmt, auf etwa 16 kg pro qcm Ueberdruck. Hierbei erhitzt sich die Luft, da bei der Kompression so viel Wärme entwickelt wird, wie der Kompressionsarbeit entspricht. Die erhitzte Luft wird durch eine Kühlschlange geleitet, welche außen von cirkulirendem Kühlwasser umspült wird. Hierbei erreicht die Luft annähernd die Temperatur des Kühlwassers. Die abgekühlte Luft expandirt darauf in einem Expansionscylinder auf das dreifache Volumen, wodurch ihr Druck auf etwa $4^1/_2$ kg pro qcm Ueberdruck sinkt. Durch diese Expansion verliert die Luft so viel Wärme, wie der Expansionsarbeit entspricht, und kommt dabei auf sehr niedrige Temperatur, nämlich auf etwa — 30 bis — 45° Cels., je nach der Temperatur des Kühlwassers und je nach den Verlusten durch Reibung der Luft und durch Undichtheiten.

Die so abgekühlte Luft wird durch gut isolirte Rohre nach den zu kühlenden Stellen geleitet, nämlich in die Kühlkammern des Eiserzeugers, in das Kühlrohrsystem des Proviantraumes und in die Kühlschlange des Trinkwasserkühlers. Dabei behält die Luft einen Ueberdruck von etwa $4^1/_2$ kg pro qcm. Nach dem Durchströmen der genannten Kühlräume wird die Luft mit etwa $4^1/_2$ kg pro qcm Ueberdruck von Neuem vom Kompressor angesaugt und komprimirt.

Durch eine besondere kleine Luftpreßpumpe wird die Luft in dem Rohrsystem anfangs auf die höhere Spannung gebracht und später auf derselben erhalten. Beim Ueberschreiten des zulässigen Druckes entweicht die Luft durch ein Sicherheitsventil.

Im Folgenden sind noch einige Angaben über die Bauart der Haupttheile hinzugefügt: Der Kompressor ist eine doppelt wirkende Pumpe und hat einen Kolben mit ölgetränkter Lederdichtung und als Abschlußvorrichtungen zwei aufeinander gleitende Schieber nach dem Prinzip der Meyerschen Expansionssteuerung.

Die kupferne Kühlschlange zwischen Kompressor und Expansionscylinder liegt in einem geschlossenen, ganz mit Kühlwasser gefüllten Gefäß. Die dauernde

Erneuerung des Kühlwassers geschieht durch eine Kühlwasserpumpe, welche das Kühlwasser in den Kühlwasserbehälter drückt. Das aus demselben austretende

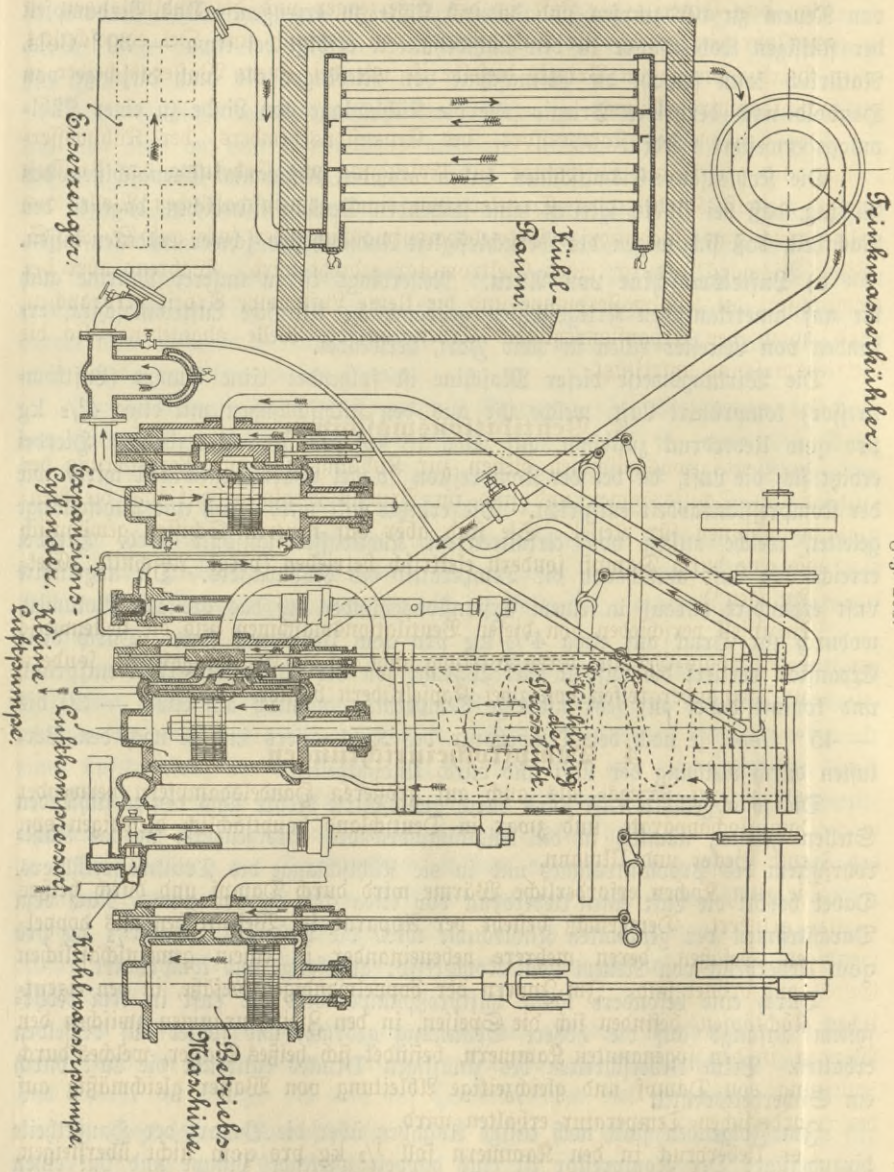


Fig. 105.

Lufteismaschine von „Allen".

Kühlwasser wird noch zum Kühlen des Kompressors verwendet, weshalb der Cylinder desselben doppelwandig ausgeführt ist.

Der Expansionscylinder mit Kolben und Schieber ist ebenso gebaut wie der Kompressor, nur mit etwas kleinerem Durchmesser und ohne Mantel. Durch die Schieber wird die Expansion der Luft so geregelt, daß sie genau die Spannung

der in den Kühlschlangen enthaltenen Luft annimmt, also möglichst wenig Erwärmung durch Reibung und Geschwindigkeitsänderung entsteht.

Vor dem Eintritt der Luft in den Eiserzeuger und die Kühlschlangen ist in das Rohr ein Gefäß zur Ausscheidung von Schmutz und Oel eingeschaltet, dessen Wirkungsweise im Prinzip dieselbe ist wie bei einem Wasserabscheider in der Hauptdampfrohrleitung.

Der Antrieb des Kompressors, des Expansionscylinders, der Kühlwasserpumpe und der kleinen Luftpumpe zur Erzeugung und Erhaltung der Preßluft erfolgt mittelst Kurbel oder Excenter von einer gemeinschaftlichen Welle aus, welche durch eine eincylindrige Betriebsdampfmaschine oder (wie auf S. M. S. „Fürst Bismarck") durch einen Elektromotor gedreht wird. Während aber der Kompressor, die Kühlwasserpumpe und die kleine Luftpumpe Arbeit verbrauchen, wird durch den Expansionscylinder Arbeit an die Welle abgegeben, also die Betriebsmaschine unterstützt.

3. Ventilationsmaschinen.

Die Ventilationsmaschinen dienen zur Kühlung und zur Verbesserung der Luft in den Schiffsräumen und sind im Prinzip ebenso gebaut wie die Ventilationsmaschinen für Kessel. Sie sind aber auf neueren Schiffen gewöhnlich nicht wie jene durch Dampf, sondern elektrisch betrieben (vergl. Abschnitt „Elektrische Anlagen").

Prinzipiell verschieden von diesen Ventilationsmaschinen sind die stellenweise verwendeten Roots-Gebläse, deren Wirkung nicht auf der Centrifugalkraft, sondern auf dem Ineinandergreifen von zwei Kapselrädern beruht.

4. Dampfkocheinrichtungen.

Sowohl auf Kriegs- als auch auf größeren Handelsdampfern verwendet man Dampfkochapparate, und zwar in Deutschland hauptsächlich diejenigen von der Firma Becker und Ulmann.

Die zum Kochen erforderliche Wärme wird durch Dampf und durch heißes Wasser geliefert. Demgemäß besteht der Apparat im Wesentlichen aus doppelwandigen Gefäßen, deren mehrere nebeneinander in einem gemeinschaftlichen Gestell angeordnet sind. Im Innern der doppelwandigen Gefäße, in den eigentlichen Kochtöpfen, befinden sich die Speisen, in den Zwischenräumen zwischen den Wänden, in den sogenannten Kammern, befindet sich heißes Wasser, welches durch Zuleitung von Dampf und gleichzeitige Ableitung von Wasser gleichmäßig auf der erforderlichen Temperatur erhalten wird.

Der Ueberdruck in den Kammern soll $^1/_2$ kg pro qcm nicht übersteigen, weshalb in die Dampfzuleitung ein Reduzirventil eingeschaltet ist. Das durch die Kondenswasserleitung abgeleitete Wasser wird wieder zur Kesselspeisung verwendet. Die Kochtöpfe sind von oben in die äußeren Gefäße eingesetzt und mittelst Flansch dampfdicht mit ihnen verschraubt. Der obere Abschluß der Kochtöpfe besteht in charnierartig befestigten und durch ein Gewicht ausbalancirten

Deckeln. Jeder Deckel hat einen rings um den Kochtopf herumgehenden, nach unten vorstehenden Rand, welcher in eine mit Wasser gefüllte Rinne eintaucht und hierdurch einen luftdichten Abschluß des Kochtopfes nach oben bewirkt. Zum Ablassen von flüssigen Speisen aus den Kochtöpfen dienen Hähne am Boden derselben.

Bei Inbetriebnahme müssen im Allgemeinen vor dem Anstellen des Dampfes die Kammern mit Wasser gefüllt sein. Ist das nicht der Fall, dann kann man nach Füllen der Kochtöpfe mit kaltem Wasser auch langsam direkt Dampf anstellen.

Die beschriebenen Dampfkochapparate haben vor den Kochherden mit direkter Feuerung den Vortheil, daß die Speisen schmackhafter werden, da nichts verloren geht, daß die Speisen nicht anbrennen können, und daß die Bedienung sehr einfach und reinlich ist.

5. Dampfheizung.

a) Allgemeine Anordnung und Grad der Erwärmung. Die Dampfheizung, welche sich auf alle Wohnräume, das Lazareth, die Torpedoräume, die Aufenthaltsräume der Mannschaft u. s. w. erstreckt, ist so angeordnet, daß nicht nur die einzelnen Heizkörper, sondern auch ganze Gruppen von Heizkörpern unabhängig von den übrigen an- und abgestellt werden können.

Unsere Kriegsschiffe erhalten auf jeder Schiffsseite eine besondere Dampfzu- und Wasserableitung. Jede Gruppe von Heizkörpern erhält außer dem Absperrventil in der Wasserableitung einen selbstthätig wirkenden Kondenswasserableiter (Kondenstopf). Das etwa mit 90° Cels. abfließende Kondenswasser wird in eine möglichst hoch angebrachte Cisterne geleitet, von wo es durch eine Speisepumpe wieder in die Kessel befördert wird.

Die Rohrverbindungen legt man möglichst gut zugänglich. Durchführungen durch Munitionsräume vermeidet man stets, durch Proviantträume nach Möglichkeit. Ebenso vermeidet man möglichst Durchbrechungen von wasserdichten Schotten oder Panzerdecks.

Die in kaltem Winter zu erzielende Temperatur beträgt nach den Bestimmungen unserer Marine 5, 10 und 15° Cels., je nach dem Zweck des zu heizenden Raumes. Der Druck darf dabei 2 kg pro qcm nicht überschreiten, weshalb in die Hauptleitung der Dampfheizung ein Reduzirventil eingebaut wird. Der Druck soll aber auch nicht unter 1 kg pro qcm sinken, weil sonst die entfernter liegenden Theile nicht mehr genügend erwärmt werden.

b) Einzeltheile der Dampfheizung. Die Heizkörper bestehen in unserer Marine entweder ganz aus gezogenen Kupferrohren ohne Löthnaht, oder theils aus solchen, theils aus Bronzeguß. Ihre Größe richtet sich nach der Größe des zu heizenden Raumes, nach der Wärmedurchlässigkeit der einschließenden Wände und nach dem Grade des Luftwechsels, ihre Form richtet sich nach dem vorhandenen Platz.

Sämmtliche Heizkörper erhalten zu ihrem eigenen Schutze und zum Verhüten des Verbrennens von Personen eine Ummantelung. In den besseren Wohn-

räumen versieht man die Ummantelungen mit Regulirschiebern für die Luftcirkulation. Jeder Heizkörper erhält ein leicht zugängliches und gegen Beschädigung möglichst geschütztes Dampfzulaßventil oben und Wasserablaßventil unten. Diese Ventile sind in Mannschaftsräumen, Lazareths, Korridoren u. s. w. durch besondere Ventilschlüssel gegen unbefugtes Verstellen gesichert.

Die gesammte Dampf- und Kondenswasser-Rohrleitung besteht aus gezogenen Kupferrohren ohne Löthnaht. Abzweigungen bewirkt man durch schräge Rohrstutzen, entsprechend der Richtung des Dampf- oder Wasserstromes. Die Verbindung dünner Rohre bewirkt man durch Löthung oder Verschraubung, diejenige stärkerer durch Flanschen. Die Ausdehnung durch die Wärme gleicht man durch Kompensationsbögen oder sonstige Vorrichtungen aus. Ein wechselndes Steigen und Fallen der Rohre vermeidet man nach Möglichkeit wegen der Wasseransammlungen. Da wo ein Wassersack unvermeidlich ist, schließt man ein Entwässerungsrohr mit Kondenstopf an.

Die Wirkung der auf unseren Schiffen verwendeten selbstthätigen Kondenstöpfe beruht auf der Spannung von Spiritusdämpfen, welche sich entwickeln, sobald nicht mehr das kältere Kondenswasser, sondern der heißere Dampf in den Kondenstopf gelangt. Der Druck der Spiritusdämpfe biegt eine elastische Scheibe aus dünnem Neusilberblech durch und schließt hierdurch das von den Heizkörpern kommende Wasserableitungsrohr so lange ab, bis der Wasserdampf kondensirt und durch die Abkühlung und Kodensation der Spiritusdämpfe die elastische Scheibe sich wieder zurückbiegt und den Durchgang freigiebt. Die Wirkung der Durchbiegung läßt sich durch eine Spindel reguliren.

E. Bootsmaschinen.

1. Aeltere Dampfbeiboote.

Die älteren Dampfbeiboote unserer Marine wurden in vier verschiedenen Größen gebaut, Klasse I bis Klasse IV. Demnach haben auch ihre Kessel- und Maschinenanlagen vier verschiedene Größen.

Die Kessel sind bei allen vier Klassen Cylinderkessel mit durchschlagender Flamme, Dampfdom und 5 kg pro qcm Ueberdruck. Die Sicherheitsventile haben indirekte Federbelastung. Zur Verstärkung des Zuges im Bedarfsfalle dient eine Schornstein-Durchblasevorrichtung mit Dampf.

Die Maschinen sind Einfach-Expansions-Zwillingsmaschinen mit Ausnahme der Maschine IV. Klasse, welche eincylindrig ist und zum Manövriren eine Handdrehvorrichtung besitzt, welche gleichzeitig als Schwungrad dient. Die Steuerung ist bei allen vier Klassen eine Stephensonsche Kulissensteuerung mit Flachschiebern. Die Maschinen sind Auspuffmaschinen. Der Abdampf wird zunächst in einen an der Bordwand befindlichen Kasten, welcher den kondensirten Dampf aufnimmt, und von dort weiter in den Schornstein geleitet.

Zwei horizontale, einfach wirkende Speisepumpen mit Plungerkolben werden vom vorderen Ende der Maschinenwelle mittelst Excenter getrieben und können

sowohl aus einem Frischwasserkasten, in welchem Frischwasser mitgenommen wird, als auch aus See saugen. Als Reservespeisepumpe dient eine Handpumpe, welche auch als Lenzpumpe benutzt werden kann. Als zweite Lenzvorrichtung dient ein Ejektor. Die bronzenen Schrauben haben meist vier Flügel. Die vier Klassen der älteren Dampfbeibootsmaschinen leisten etwa 18, 12, 9 und 6 IHP.

2. Neuere Dampfbeiboote, Klasse I bis III.

(Tafel XIII. Fig. 106.)

Dieselben unterscheiden sich von den älteren vor Allem durch das Maschinensystem. Sie haben nämlich Kessel mit 9 kg pro qcm Ueberdruck und zweicylindrige Compoundmaschinen mit Oberflächenkondensation. Außerdem haben sie erheblich stärkere Maschinen, nämlich 40, 30 und 20 IHP.

Der Kessel ist ebenso wie bei den älteren Dampfbeibooten ein Cylinderkessel mit durchschlagender Flamme. Eine Schornstein-Durchblasevorrichtung mit Kesseldampf ist auch hier vorhanden.

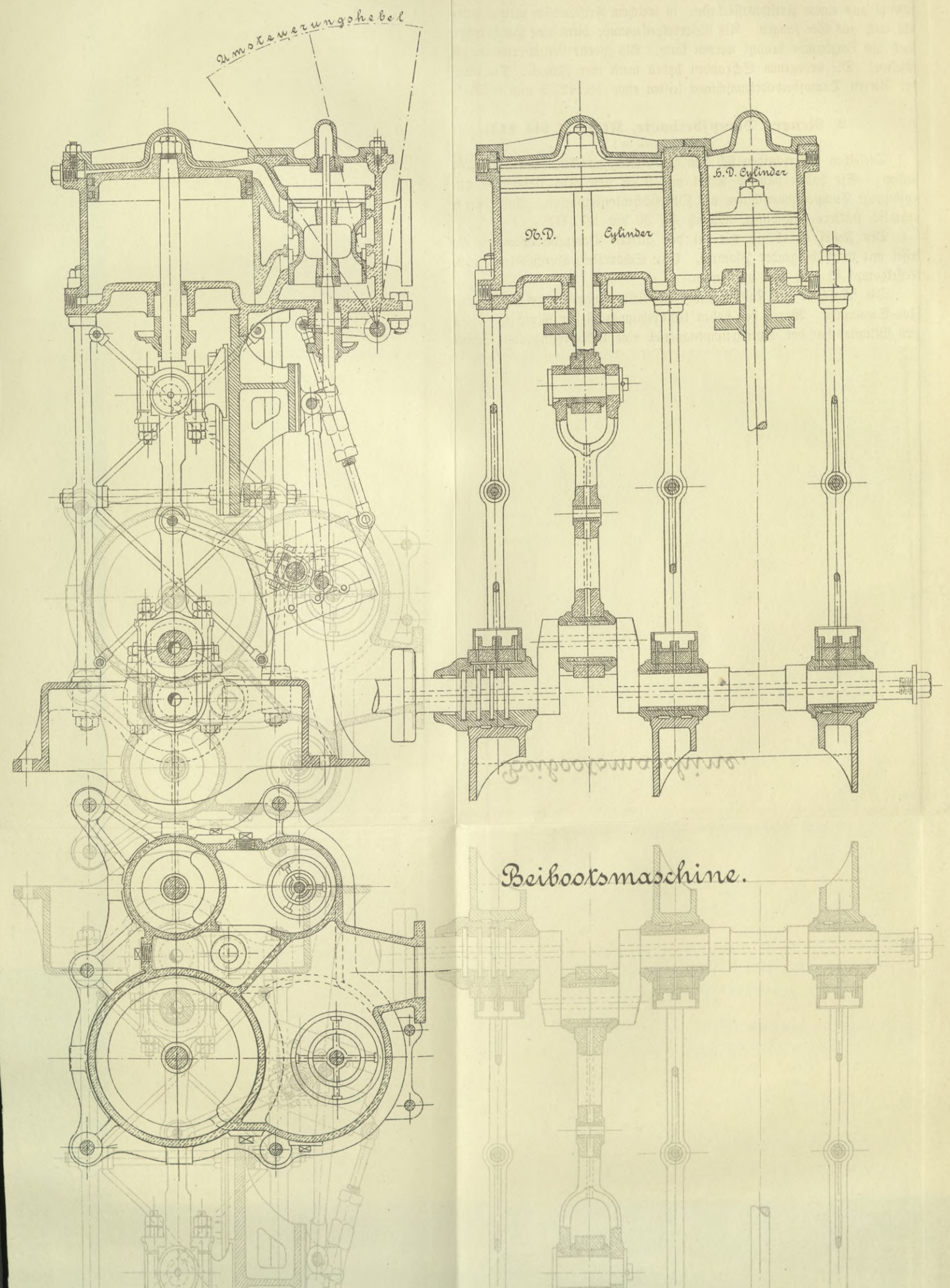
Die Maschine hat Kolbenschieber in seitlich angeordneten Schieberkasten und Joy-Steuerung. Wegen der hohen Umdrehungszahl der Maschine (350 bis 450 pro Minute) hat der Speisepumpenantrieb eine Uebersetzung vom Schnellen ins Langsame, bestehend aus Schnecke und Schneckenrad zwischen Kurbelwelle und Antriebswelle der Pumpen. Der Handschieber am Ndr.-Cylinder fehlt und wird durch ein Rohr mit Absperrhahn zwischen Hdr.- und Ndr.-Schieberkasten ersetzt. Der Abdampf der Maschine wird in einem Oberflächenkondensator kondensirt. Letzterer ist bei Klasse I und II ein cylindrischer, liegender, kupferner Oberflächenkondensator mit besonderer Cirkulations-Centrifugalpumpe, bei Klasse III besteht er aus zwei unter dem Boot zu beiden Seiten des Kiels angeordneten Metallrohren, welche durch das Außenbordswasser gekühlt werden.

Die Luftpumpe liegt unter der Maschinenwelle und wird von dieser durch ein Excenter getrieben. Sie befördert das im Kondensator niedergeschlagene Wasser in die Cisterne, einen cylindrischen, vertikalen Behälter, aus welchem die Speisepumpen saugen. Letztere können auch direkt aus einem Frischwasserkasten saugen. Für den Fall der Betriebsunfähigkeit der Kondensatoranlage kann man den Abdampf der Maschine direkt in den Schornstein leiten.

3. Neueres Dampfbeiboot, Klasse A.

Dasselbe hat 12 kg pro qcm Kesseldruck und eine Dreifach-Expansionsmaschine mit Oberflächenkondensation und einer Leistung von etwa 200 IHP bei etwa 450 Umdrehungen pro Minute.

Der Kessel ist ein Wasserrohrkessel System Schulz mit einer Feuerung und seitlich liegendem Dampfsammler. Arbeitsdruck = 12 kg, Rostfläche = 1,1 qm, Heizfläche = 40 qm. Durch die seitliche Lage des Dampfsammlers ist eine einfache Anordnung des Rauchfanges erreicht. Als Fallrohre dienen die äußeren Rohrreihen zwischen Dampfsammler und dem unter ihm liegenden Wasserkasten. Die älteren Boote, Klasse A, hatten Lokomotivkessel.



Beibootsmaschine.

Druck), theils zur Verbrennung im großen Brenner.

älteren Boote, Klasse A, hatten Lokomotivkessel.

Für die forcirte Fahrt liefert eine kleine Ventilationsmaschine Unterwind. Damit die Flamme beim Oeffnen der Feuerthür nicht herausschlägt, ist letztere mit dem Ventilator verblockt.

Die Dreifach-Expansionsmaschine hat drei hintereinander angeordnete Cylinder mit 120° Kurbelversetzung. Sie hat etwa die Bauart einer dreicylindrigen Torpedobootsmaschine. Die drei Dampfvertheilungsschieber sind Rundschieber. Die Schieberkasten liegen seitlich. Die äußere Steuerung ist die von Marshall.

Die Lager sind wie bei den großen Maschinen für Wasserkühlung eingerichtet. Das Wasser wird durch eine besondere Kühlpumpe geliefert. Die Luftpumpe wird vom Mdr.-Kreuzkopf durch Balancier getrieben, die Speise-, Lenz- und Kühlpumpen erhalten ihren Antrieb von der Kurbelwelle durch Schnecke und Schneckenrad. Zwischen Luft- und Speisepumpe ist ein Speisewasservorwärmer eingeschaltet, durch welchen der Abdampf der Maschine geht. Als Reservespeisevorrichtung dient eine besondere Dampfpumpe. Das Drucklager (ohne verstellbare Druckringe) ist mit der Grundplatte aus einem Stück gegossen. — Ein Hauptvorzug dieser Maschinen- und Kesselanlage ist ihre große Leichtigkeit.

4. Naphtha-Motorboote.

Dieselben werden für unsere Marine von der Firma Escher-Wyß in Zürich geliefert und häufig den Schiffen als Beiboote mitgegeben. Hauptbestandtheile der Maschinenanlage sind der Naphthabehälter, der Naphthakessel mit Naphthafeuerung und die unterhalb des Kessels angeordnete, durch Naphthadampf getriebene dreicylindrige Maschine mit Wellenleitung und Schraube.

Der Naphthabehälter aus starkem Kupferblech ist in dem durch ein wasserdichtes Schott abgeschlossenen Vorderraum des Bootes untergebracht und wird von außen durch Seewasser gekühlt, zu welchem Zweck die Seitenwände des Bootes vorn zwei Durchbohrungen haben.

Der Naphthakessel besteht aus einer starken, auf 20 kg pro qcm erprobten Kupferspirale, in welche flüssiges Naphtha hineingespeist wird, während die erzeugten Naphthadämpfe in den gemeinschaftlichen Schieberkasten der Maschine geleitet werden.

Die Feuerung des Kessels liegt unter der Kupferspirale, also zwischen Kessel und Schieberkasten, und besteht aus einem großen und einem kleinen Brenner. Der große Brenner ist ein ringförmiges Rohr, der kleine ein kurzes gebogenes Rohrende von kleinerem Durchmesser. Beide Brenner haben an ihrer oberen Seite kleine Löcher für die ausströmenden Naphthadämpfe.

Der kleine Brenner dient zum Anheizen des Kessels und verbrennt Naphthagas, welches ihm direkt vom Behälter zugeführt wird. Der große Brenner dient zum dauernden Betrieb des Kessels und verbrennt Naphthadämpfe, welche im Kessel erzeugt sind, kann demnach erst nach Beginn der Dampfentwickelung im Kessel in Betrieb gesetzt werden. Die im Kessel erzeugten Naphthadämpfe dienen demnach theils zum Betriebe der Maschine (mit mindestens 3 kg pro qcm Druck), theils zur Verbrennung im großen Brenner.

Zur Erzielung einer besseren Verbrennung mischt man den im großen Brenner zur Verwendung kommenden Naphthadampf vorher mit Luft, indem man ihn auf dem Wege vom Kessel zum Brenner durch eine Düse treten und hierbei Luft mitreißen läßt. Diese Düse liegt außerhalb der Kesselumhüllung und läßt eine Regulirung sowohl der Naphthadampfmenge als auch der Luftmenge zu.

Die Versorgung des kleinen Brenners mit Naphthagas geschieht durch eine Handluftpumpe, deren Druckrohr in den vollkommen geschlossenen Naphthabehälter mündet. Man kann also einen Luftdruck über der Oberfläche des flüssigen Naphtha ausüben und so durch ein oben vom Behälter abzweigendes Rohr Naphthagas nach dem kleinen Brenner hindrücken. Dies ist natürlich nur beim Ingangsetzen der Maschine nöthig, bis genügend Kesseldruck für den Betrieb des großen Brenners vorhanden ist, was nur wenige Minuten dauert. Das Naphtharohr nach dem kleinen Brenner hat keinen Abschluß, so daß niemals Ueberdruck in dem Naphtha-Behälter entstehen kann.

Die neueren Naphthaboote haben außer den beiden beschriebenen Brennern noch einen sogenannten kontinuirlichen Brenner, welcher zum leichteren Anzünden des kleinen Brenners dient und deshalb unmittelbar unter demselben liegt. Der kontinuirliche Brenner ist durch ein dünnes Rohr mit einem besonderen kleinen Naphthabehälter verbunden, welcher oben im großen Behälter liegt. Das flüssige Naphtha fließt also dauernd dem kontinuirlichen Brenner zu, wenn man dessen Hahn öffnet, und zwar so lange, bis der kleine Naphthabehälter leer ist.

Die Flammen des großen und kleinen Brenners umstreichen die Kupferspirale des Kessels, müssen also nach außen hin eingeschlossen werden. Dies geschieht durch einen vertikalen, aus doppeltem Blech bestehenden Cylinder, welcher den Kessel, d. h. die Kupferspirale umschließt, oberhalb derselben sich zum Schornstein verjüngt und unten auf das Gehäuse der Maschine aufgesetzt ist.

Die Naphthamaschine hat drei vertikale, unten offene Cylinder. Die in den Kolben drehbar befestigten, nach unten gehenden Pleuelstangen greifen an drei um 120° gegeneinander versetzten Kurbeln der Maschinenwelle an. Die oberen Kolbenseiten werden wie bei einer gewöhnlichen Dampfmaschine durch die Schieber abwechselnd mit dem Kessel und mit dem Dampfaustrittsraum in Verbindung gesetzt, während die unteren Kolbenseiten stets mit dem Dampfaustrittsraum in Verbindung stehen. Die Maschine stimmt also in ihrer Wirkung mit der früher beschriebenen Brotherhood-Maschine überein.

Die drei Dampfvertheilungsschieber liegen über den Cylindern in einem gemeinschaftlichen Schieberkasten und werden durch eine gemeinschaftliche Welle getrieben, welche mit der Kurbelwelle durch Zahnräder gekuppelt ist. Die Umsteuerung besteht in einer Drehung der Schieberkurbelwelle um 180 — 2 und läßt sich durch ein auf dieselbe aufgesetztes Handrad bewirken. Mit dem letzteren kann man gleichzeitig die ganze Maschine drehen, da die Zahnräder zwischen Schieberkurbelwelle und Maschinenwelle stets in Eingriff bleiben.

An dem Schieberkasten sitzt ein Manometer und ein selbstthätiges und auch von Hand zu bewegendes Sicherheitsventil, welches bei zu hohem Druck Naphthadampf in den Austrittsraum treten läßt.

Der gemeinschaftliche Dampfaustrittsraum wird durch ein geschlossenes Gehäuse gebildet, welches die Cylinder mit Pleuelstangen und Kurbelwelle vollkommen umgiebt. Von diesem Gehäuse gehen zwei Dampfabgangsrohre unterhalb des Bootes zu beiden Seiten des Kiels in den oberen Theil des großen Naphthabehälters. Die Kondensation des Naphthadampfes erfolgt also in derselben Weise wie die Kondensation des Wasserdampfes bei den neuen Dampfbeibooten Klasse III.

Die Speisung des Kessels mit flüssigem Naphtha geschieht durch eine an die Maschinenwelle angehängte Speisepumpe, deren Saugerohr sich vom unteren Theile des Naphthabehälters abzweigt. An dieselbe Saugeleitung ist eine Handspeisepumpe angeschlossen, welche man beim Ingangsetzen der Maschine benutzt. Durch ein vor den beiden Speisepumpen in das Saugerohr eingeschaltetes Absperrventil („Naphthaventil") kann man den Zutritt des Naphtha reguliren und ganz absperren. Bei sachgemäßer Behandlung und äußerster Sauberkeit liegt eine Explosionsgefahr nicht vor.

Sechzehnter Abschnitt.

Elektrische Anlagen.

A. Grundbegriffe der Elektrotechnik.

1. Wesen der Elektrizität und des elektrischen Stromes.

a) Wesen der Elektrizität. Die Elektrizität oder der elektrische Strom, d. h. die in Bewegung begriffene Elektrizität, ist an sich weder sichtbar noch greifbar, sondern sie ist, wie andere Naturkräfte, z. B. die Schwerkraft, nur an ihren Wirkungen erkennbar. Ueber ihr Wesen lassen sich daher nur Annahmen machen, welche die auftretenden Wirkungen und Erscheinungen verständlich machen sollen und von denen die wahrscheinlichste die ist, daß das, was wir Elektrizität oder elektrischen Strom nennen, im Grunde ein mechanischer Zustand oder eine mechanische Bewegung der Moleküle eines Körpers oder des Aethers ist, ähnlich wie Wärme und Licht, also kein besonderer Stoff. Die Bezeichnungen Elektrizitätsmenge und elektrischer Strom sind also nur bildlich aufzufassen und dienen nur zur Erleichterung der wissenschaftlichen und praktischen Behandlung der Elektrotechnik.

b) Entstehung des elektrischen Stromes. Das beste Bild über die Entstehung und das Verhalten des elektrischen Stromes liefert der Vergleich mit einem Wasser-, Dampf- oder Wärmestrom. Soll in einem Rohr ein Wasser-

oder Dampfstrom oder in einem Draht ein Wärmestrom entstehen, so muß an einem Ende des Rohres der Wasser- oder Dampfdruck, bezw. an einem Ende des Drahtes die Temperatur höher sein als am anderen. Dabei ist die absolute Höhe des Wasser- oder Dampfdruckes oder der Temperatur gleichgültig, es kommt nur auf den Druck- bezw. Temperaturunterschied an. Die Stärke des Wasser- oder Dampfstromes, d. h. die Menge des durchfließenden Wassers oder Dampfes hängt ab von dem Druckunterschied an beiden Rohrenden und von dem Widerstand, d. h. der Länge und Form des Rohres. Die Stärke des Wärmestromes hängt ab von dem Temperaturunterschied an beiden Drahtenden und von der Wärmeleitungsfähigkeit des Drahtes. Den Druckunterschied bestimmt man durch Manometer, den Temperaturunterschied durch Thermometer, die durchfließende Wassermenge durch Wassermesser, die durchfließende Wärmemenge durch Kalorimeter.

Die für Wasser, Dampf und Wärme entwickelten Regeln gelten in analoger Weise auch für den elektrischen Strom. Dem Druck beim Wasser- oder Dampfstrom oder der Temperatur beim Wärmestrom an beiden Enden der Leitung entspricht die elektrische Spannung (Potential) beim elektrischen Strom, und dem Druck- oder Temperaturunterschied der elektrische Spannungsunterschied (Potentialdifferenz). Die Stärke des elektrischen Stromes, d. h. die Menge der in der Zeiteinheit durch eine Leitung durchfließenden Elektrizität hängt also ab von dem Spannungsunterschied an beiden Enden der Leitung und von der Länge und Leitungsfähigkeit derselben.

c) Dauernde Erhaltung eines elektrischen Stromes. Der Vergleich läßt sich noch weiter durchführen: Wenn beim Wasser-, Dampf- oder Wärmestrom nicht von außen her (Pumpe, Dampfkessel, Wärmequelle) Druck oder Wärme hinzugefügt wird, dann wird der Strom allmählich schwächer, bis schließlich Druck oder Temperatur an beiden Enden der Leitung vollständig ausgeglichen ist. Zur Erhaltung eines konstanten Wasser-, Dampf- oder Wärmestromes muß also bei konstantem Leitungswiderstand auch der Druck- oder Temperaturunterschied konstant erhalten werden, und hierzu muß eine bestimmte Arbeit aufgewendet werden. Dasselbe gilt vom elektrischen Strom. Das Werkzeug zur Erhaltung eines bestimmten Spannungsunterschiedes ist in der Praxis gewöhnlich die Dynamomaschine (Stromerzeuger), und die hierzu erforderliche Arbeit leistet die mit ihr gekuppelte Dampfmaschine. Der Dampf- und Kohlenverbrauch der letzteren wird um so geringerer, je schwächer der Strom, d. h. je größer der Leitungswiderstand bei konstantem Spannungsunterschied, oder je kleiner der Spannungsunterschied bei konstantem Leitungswiderstand, oder je mehr gleichzeitig der Spannungsunterschied verkleinert und der Leitungswiderstand vergrößert wird.

d) Arbeit des elektrischen Stromes. Dieselbe Arbeit, welche zur Erzeugung des elektrischen Stromes aufgewendet wurde, wird auch wieder durch den elektrischen Strom geleistet, sei es in Gestalt von mechanischer, Erwärmungs- oder chemischer Arbeit, denn nach dem Prinzip der Erhaltung der Arbeit geht in der Natur niemals Arbeit verloren. Die Arbeit des elektrischen Stromes

wächst proportional der Stromstärke und dem Spannungsunterschied, was ohne Weiteres einleuchtet, wenn man zum Vergleich wieder einen Wasserstrom heranzieht, welcher von einem höheren Niveau in ein tieferes fließt. Auch hier wächst die Arbeit, welche das herunterfließende Wasser leistet, oder die Arbeit, welche nöthig ist, um den Niveauunterschied zu erhalten, d. h. das herunterfließende Wasser wieder in den oberen Behälter zurückzupumpen, proportional der Wassermenge und proportional dem Niveauunterschied.

Der Effekt des elektrischen Stromes ergiebt sich wie der mechanische Effekt (Pferdestärke), wenn man die Arbeit durch die Zahl der Sekunden dividirt.

e) **Widerstand, Leiter und Nichtleiter.** Wie beim Wasser- oder Dampfstrom der Widerstand von Länge, Form, Querschnitt und Oberfläche des Rohres abhängt, und wie beim Wärmestrom der Leitungswiderstand durch das Material der Leitung sehr beeinflußt wird (gute und schlechte Wärmeleiter), so gilt dies in noch höherem Grade vom elektrischen Strom. Der gesammte elektrische Leitungswiderstand ist natürlich auch von der Länge und vom Querschnitt des Drahtes abhängig, viel mehr aber vom Material des Drahtes, indem manche Stoffe den elektrischen Strom sehr schnell weiterleiten, andere dagegen fast gar nicht. Man unterscheidet deshalb zwischen Leiter und Nichtleiter oder Isolator, eine Unterscheidung, welche prinzipiell zwar nicht ganz richtig ist, da es absolute Isolatoren nicht giebt, welche sich aber für die Praxis eignet.

Erzeugt man auf einem Isolator eine elektrische Spannung, so beschränkt sie sich auf den Theil des Isolators, an welchem sie erzeugt wurde. Erzeugt man sie auf einem Leiter, so verbreitet sie sich auf den ganzen Leiter. Daraus folgt, daß auf einem Leiter nur dann eine elektrische Spannung erhalten bleiben kann, wenn derselbe von der Erde isolirt, d. h. durch einen Isolator getrennt ist. (Isolirung von der Luft ist nicht nöthig, da die Luft selbst ein Nichtleiter ist.) Daraus folgt ferner die für die Praxis höchst wichtige Thatsache, daß die an einer beliebigen Stelle in einen Leiter eingeführte elektrische Spannung an jeder beliebigen anderen Stelle wieder abgeleitet werden kann, indem sofort ein elektrischer Strom nach der Ableitungsstelle entsteht. An Bord ist dies praktisch nur möglich, wenn man den ganzen Leitungsdraht isolirt.

Die wichtigsten Leiter sind Metalle, Kohle, Graphit und Säuren. Darunter ist Kupfer der beste Leiter. Die wichtigsten Isolatoren sind Kautschuk, Glas, Porzellan, Glimmer und Wolle. Halbleiter sind trockenes Holz, Horn, Papier und feuchte Luft.

Eine besondere Eigenschaft der Leiter ist es, daß die elektrische Spannung im elektrostatischen Gleichgewichtszustand nur auf der Oberfläche vertheilt ist, daß jedoch das Innere eines Leiters unelektrisch bleibt. Für die Leitung des elektrischen Stromes durch einen Draht hat dies keine praktische Bedeutung.

f) **Plötzliche Entladung.** Bisher war nur die Rede von einem gleichmäßig fließenden Strom in einem Leiter, welcher zwei Körper von verschiedener elektrischer Spannung (Potential) verbindet. Ist die leitende Ver-

bindung durch einen Nichtleiter unterbrochen, dann kann trotzdem ein Spannungsausgleich stattfinden, wenn der Spannungsunterschied so groß wird, daß die Elektrizität den Nichtleiter durchbricht, wie der Dampfdruck die Kesselwandungen bei Kesselexplosionen. Der elektrische Spannungsausgleich oder die Entladung findet dann plötzlich und unter Knallerscheinungen statt und wiederholt sich, wenn von Neuem der erforderliche Spannungsunterschied hergestellt wird. Praktische Anwendung findet dies in der Funkentelegraphie. Auch beim Bogenlicht findet solche plötzliche Entladung statt, wenn beim Beginn des Stromes die Kohlen etwas voneinander entfernt sind. Sobald jedoch der Lichtbogen hergestellt ist, geht der Strom gleichmäßig zwischen den Kohlenspitzen über.

g) Kapazität eines Leiters. Je größer ein Gasbehälter ist, eine desto größere Gasmenge kann er aufnehmen bei einem bestimmten Gasdruck, und desto geringer ist der Gasdruck bei einer bestimmten Gasmenge. Je größer ein elektrischer Leiter ist, desto größer die Elektrizitätsmenge bei gleicher Spannung und desto kleiner die Spannung bei gleicher Elektrizitätsmenge. Das Verhältniß $\frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Spannung}}$ nennt man Kapazität (Größe, Aufnahmefähigkeit)

also $\text{Kapazität} = \frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Spannung}}$.

$\text{Spannung} = \frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Kapazität}}$.

h) Positive und negative Elektrizität. Die Erfahrung zeigt, daß die Elektrizität oder elektrische Spannung in zwei verschiedenen Arten auftritt, welche in gewisser Beziehung entgegengesetzte Eigenschaften haben. Man nennt diese beiden Arten positive und negative Elektrizität und versteht unter positiver diejenige, welche eine mit Pelz geriebene Glasstange, unter negativer diejenige, welche eine mit Pelz geriebene Siegellackstange annimmt. Die Verschiedenheit beider ist durch das Gesetz ausgedrückt: Gleiche Elektrizitäten stoßen sich ab, ungleiche ziehen sich an.

Ein positiv elektrischer Körper wird demnach durch die geriebene Glasstange abgestoßen, durch die geriebene Siegellackstange angezogen. Nimmt der Körper jedoch von der letzteren bei der Berührung so viel negative Elektrizität auf, daß er selbst negativ elektrisch wird, dann wird er wieder abgestoßen. Dieser Versuch läßt sich leicht ausführen, da Glas und Siegellack schlechte Leiter sind, also die durch Reibung mit Pelz erzeugte elektrische Spannung ohne Isolation längere Zeit behalten. Ein gleicher Versuch mit zwei leitenden Körpern setzt eine Isolirung voraus, weil sonst die elektrische Spannung sofort in die Erde abgeleitet wird. Bei der Berührung zweier isolirter leitender Körper von elektrischer Spannung verschiedenen Vorzeichens findet ein sofortiger Spannungsausgleich statt in dem Sinne, daß gleiche Mengen positiver und negativer Elektrizität sich infolge ihrer gegenseitigen Anziehung binden und in ihren Wirkungen aufheben, und daß der Ueberschuß an positiver oder negativer Elektrizität sich so vertheilt, daß beide Körper die gleiche elektrische Spannung

erhalten. Berührt man zwei leitende isolirte Körper von gleichartiger, aber verschieden starker elektrischer Spannung, so besteht der Spannungsausgleich in einem Uebergang von Elektrizität von dem Körper mit höherer zu dem mit geringerer Spannung, bis beide Körper gleiche Spannung haben. Nach Vorstehendem ist ein Körper unelektrisch, wenn er gleiche Mengen positiver und negativer Elektrizität enthält, er ist elektrisch, wenn ein Ueberschuß von positiver oder negativer Elektrizität vorhanden ist.

i) Positiver und negativer elektrischer Strom. Der unter h) erwähnte Spannungsausgleich ist nichts weiter als ein elektrischer Strom. Folglich unterscheidet man auch positiven und negativen elektrischen Strom, je nachdem die fließende oder übergehende Elektrizität positiv oder negativ ist. Ist jedoch an dem einen Ende einer Leitung positive, an dem anderen negative Elektrizität im Ueberschuß vorhanden, so fließt gleichzeitig positive Elektrizität in der einen, negative in der anderen Richtung durch die Leitung, d. h. es findet in der ganzen Leitung ein Spannungsausgleich zwischen positiver nnd negativer Elektrizität statt. Dies ist der Vorgang bei allen Dynamomaschinen. Ihre Wirkung besteht also in der Trennung der in den Eisenmassen und Drähten gewissermaßen aufgespeicherten gebundenen Elektrizität in einen positiven und negativen Theil und in der Entsendung dieser Theile nach dem positiven und negativen Ausgangspunkt (Pol) der Leitung. Der Ausgangspunkt des positiven Stromes ist also gleichzeitig der Endpunkt des negativen und umgekehrt.

Für die praktische Elektrotechnik ist es ausreichend und gebräuchlich, den ganzen Strom nur in der Richtung des positiven Stromes zu denken. Ein Quantitätsfehler entsteht dadurch nicht, da auch in dem Falle, daß die elektrische Spannung an beiden Enden der Leitung ein verschiedenes Vorzeichen hat, die Gesammtwirkung nur durch den Spannungsunterschied bedingt ist, indem die Wirkungen des entgegengesetzt fließenden positiven und negativen Stromes sich addiren.

2. Erzeugung der Elektrizität und des elektrischen Stromes.

Für die Praxis kommen hauptsächlich drei Mittel zur Erzeugung der Elektrizität in Betracht:

a) Reibung (Reibungselektrizität).
b) Berührung (Berührungselektrizität, Galvanismus),
c) Magnetismus (Magnetoelektrizität).

Die Elektrizitätserzeugung durch Wärme (Erwärmung der Löthstelle zwischen zwei zusammengelötheten Stücken von verschiedenem Metall) hat für die Praxis keinen Werth, weil der entstehende Strom (Thermostrom) sehr schwach ist. — Wie auch die Elektrizität erzeugt sein mag, ihrem Wesen nach bleibt sie immer dieselbe.

a) Reibungselektrizität. Dieselbe entsteht durch Reibung von Bernstein (griechisch: Elektron), Glas, Siegellack, Kautschuk und anderen Stoffen mit Tuch oder Pelz, und zwar wird von den beiden geriebenen Körpern der eine positiv,

der andere negativ elektrisch. In der folgenden Spannungsreihe wird von zwei beliebig ausgewählten und gegeneinander geriebenen Stoffen immer der vorstehende positiv, der nachfolgende negativ elektrisch. + Haare, Glas, Wolle, Baumwolle, Seide, Holz, Metalle, Siegellack, Schwefel —.

In größeren Mengen erzeugt man Reibungselektrizität durch Elektrisirmaschinen und sammelt sie in Kondensatoren (Leydener Flaschen), d. h. auf isolirten Flächen.

b) Berührungs- oder galvanische Elektrizität. Dieselbe ist entdeckt durch Galvani und weiter untersucht durch Volta. Sie entsteht durch Berührung zweier chemisch verschiedener Leiter, wobei der eine positiv, der andere negativ elektrisch wird. In der folgenden Voltaschen Spannungsreihe der Metalle wird jedes derselben bei Berührung mit einem folgenden positiv, mit einem vorhergehenden negativ elektrisch: + Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Platin, Gold —.

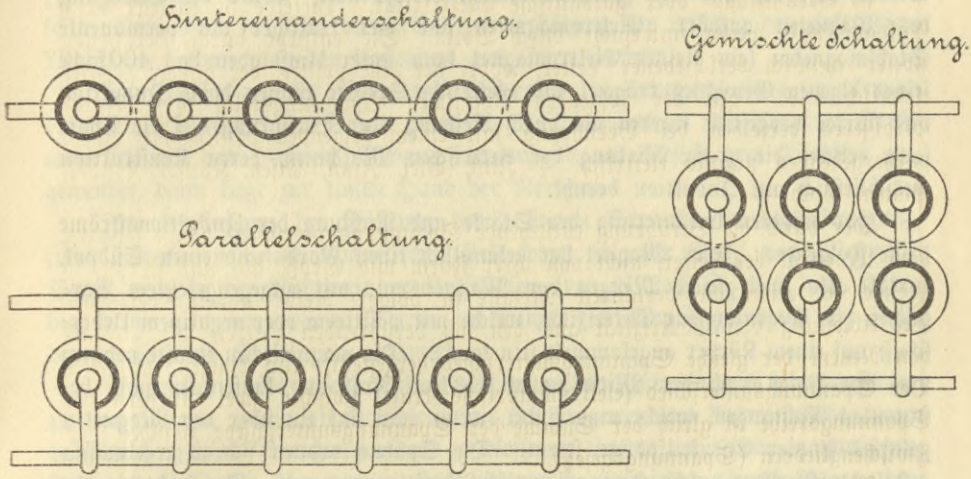
Der durch die Berührung entstehende Spannungsunterschied hängt lediglich vom Material der Leiter, nicht von ihrer Form und Größe ab, und ist um so größer, je weiter die berührten Metalle in obiger Reihe auseinanderstehen. Bei Ableitung von Elektrizität aus den sich berührenden Leitern wird immer von Neuem der gleiche Spannungsunterschied hergestellt, also dauernd erhalten. Der Spannungsunterschied (elektromotorische Kraft) zwischen zwei Gliedern der Spannungsreihe ist gleich der Summe der Spannungsunterschiede zwischen den Zwischengliedern (Spannungsgesetz).

Bei der direkten Berührung zweier verschiedenen Metalle ist der elektrische Spannungsunterschied sehr klein. Er wird wesentlich größer, wenn die Metalle, ohne sich zu berühren, in eine leitende Flüssigkeit getaucht sind, und auf dieser Thatsache beruht die Zusammensetzung sämmtlicher galvanischen Elemente. Man nennt die Metalle und außer ihnen Kohle und Braunstein (welche dem Spannungsgesetz folgen) Leiter erster Klasse, die Flüssigkeiten, welche bei der Berührung mit Leitern erster Klasse große Spannungsunterschiede ergeben, Leiter zweiter Klasse. Der Spannungsunterschied eines galvanischen Elements hängt lediglich von dem Material der Metalle und von der Art der Flüssigkeit ab, die Stärke des durch ein Element erzeugten Stromes hängt von der Größe des Elementes ab. Die beiden in die Flüssigkeit getauchten Körper, von denen stets der eine positiv, der andere negativ elektrisch wird, nennt man Elektroden, ihre aus der Flüssigkeit herausragenden Enden Pole. Letztere dienen zur Befestigung des Leitungsdrahtes, durch welchen der fortgesetzte Spannungsausgleich stattfindet, d. h. der elektrische oder galvanische Strom fließt, ohne daß der Spannungsunterschied an den Polen sich ändert.

Die galvanischen Elemente werden in verschiedenen Zusammensetzungen gebaut und zerfallen in die beiden Hauptarten: Naßelemente und Trockenelemente. Genauere Angaben über die in der Marine gebräuchlichen Arten folgen unter F. Allgemein sei hier nur noch bemerkt, daß man eine Vereinigung mehrerer Elemente zu einer Stromquelle Batterie nennt, und daß

hierbei zwei grundsätzlich verschiedene Methoden möglich sind, Parallel- und Hintereinanderschaltung. Bei ersterer ist die Stärke des gesammten Stromes proportional der Zahl der Elemente und die Spannung konstant, d. h. ebenso groß wie bei einem einzigen Element, bei letzterer ist die Spannung des gesammten Stromes proportional der Zahl der Elemente und die Stromstärke konstant, d. h. ebenso groß wie bei einem einzigen Element.

Fig. 107.



Schaltungsarten.

Daß dies thatsächlich zutrifft, ergeben die Skizzen, denn bei Parallelschaltung vereinigen sich die Strommengen der einzelnen Elemente von gleicher Spannung zu einer gemeinschaftlichen Leitung, bei Hintereinanderschaltung wird von Element zu Element der Spannungsunterschied stufenweise größer, da zwischen je zwei zusammengehörigen Elektroden der gleiche Spannungsunterschied herrscht.

Schließlich bleibt die Frage zu beantworten, wo die Arbeit herkommt, welche erforderlich ist, um in dem die beiden Pole eines Elementes verbindenden Leitungsdraht einen dauernden elektrischen (galvanischen) Strom zu erzeugen. Die Antwort ergiebt die längere Beobachtung des Elementes. Es findet nämlich zwischen beiden Elektroden eine fortdauernde chemische Wechselwirkung statt, und zwar stets in dem Sinne, daß die negative Elektrode allmählich aufgelöst wird (Lösungselektrode).

Hierauf beruht die Konstruktion der Akkumulatoren und die Ausnutzung des elektrischen Stromes zu chemischen Zwecken.

c) Magnetoelektrizität. Dieselbe ist bei Weitem die wichtigste für die elektrischen Anlagen an Bord. Sie wird durch Magnete in einem Leiter erzeugt, wobei im Gegensatz zu der Reibungs- und Berührungselektrizität eine direkte Berührung zwischen Leiter und Magnet nicht erforderlich ist. Man nennt deshalb diese Art der Elektrizitätserzeugung magnetische Induktion und die in einem

geschlossenen Leiter entstehenden elektrischen Ströme Induktionsströme. Die Wechselwirkung zwischen Magnetismus und Elektrizität läßt sich kurz dahin zusammenfassen, daß ein Stab aus weichem Eisen, wenn er von einem elektrischen Strom umflossen wird oder auch nur in seine Nähe kommt, magnetisch wird (Elektromagnet), und daß ein Magnet, wenn er in der Nähe eines geschlossenen Leiters bewegt wird, in letzterem einen elektrischen Strom (Induktionsstrom) erzeugt (induzirt). Der Magnetismus in dem Eisenstab verschwindet, sobald der Strom aufhört, und der Induktionsstrom verschwindet, sobald die Bewegung des Magneten aufhört. Elektromagneten sind viel kräftiger als permanente Stahlmagneten (ein kleiner Elektromagnet kann unter Umständen das 400fache seines eigenen Gewichtes tragen), und elektrische Ströme können durch Induktion viel stärker hergestellt werden als durch Reibung oder Berührung. Diese Thatsache erklärt die große Wirkung der elektrischen Maschinen, deren Konstruktion ausschließlich auf Induktion beruht.

Zur näheren Erläuterung der Stärke und Richtung der Induktionsströme diene Folgendes: Jeder Magnet hat bekanntlich einen Nord- und einen Südpol, enthält also zwei gleiche Mengen von Magnetismus mit entgegengesetztem Vorzeichen (im Gegensatz zur Elektrizität, welche mit positivem oder negativem Ueberschuß auf einem Körper angesammelt sein kann). Die magnetischen Kräfte nehmen von den Polen nach der Mitte zu ab bis auf Null und laufen in ganz bestimmten Richtungen, welche man findet, wenn man auf ein über den Magneten gelegtes Papier Eisenfeilspähne streut. Die Spähne ordnen sich zu regelmäßig gestalteten Kurven, welche man magnetische Kraftlinien nennt. Die Richtung der Kraftlinien rechnet man allgemein vom Nord- zum Südpol gehend und durch den Magnet vom Süd- zum Nordpol zurück, so daß also jede Kraftlinie eine geschlossene Kurve bildet. Den um einen Magneten liegenden, von Kraftlinien durchzogenen Raum nennt man Kraftlinienfeld. Die Stärke oder Intensität desselben kann man ausdrücken durch die Anzahl der durch 1 qcm durchgehenden Kraftlinien, also durch die Dichtigkeit der Kraftlinien, eine willkürliche, aber für die Praxis sehr brauchbare Methode.

Wenn nun durch die Bewegung, d. h. durch die Veränderung der gegenseitigen Lage von Magnet und geschlossenem Leiter ein Induktionsstrom entstehen soll, dann muß die Zahl der Kraftlinien, welche den Leiter, d. h. die vom Leiter umschlossene Fläche, schneiden, sich ändern. Je schneller die Zahl sich ändert und aus je mehr Windungen der Leiter besteht, desto stärker wird der Induktionsstrom. Hieraus folgt, daß auch ohne Bewegung ein Induktionsstrom entsteht, wenn das magnetische Feld seine Stärke ändert, denn auch in diesem Falle ändert sich die Zahl der schneidenden Kraftlinien.

Wird umgekehrt durch einen elektrischen Strom ein weicher Eisenkörper erregt, d. h. in einen Elektromagneten verwandelt, dann ist eine Veränderung der gegenseitigen Lage von Magnet und Leiter nicht erforderlich, und der Magnetismus ist um so stärker, je weiter der Eisenkern in die Windungen des Leiters hineingeschoben ist und aus je mehr Windungen der Leiter besteht.

Die Stärke des Induktionsstromes im ersten und des Magnetismus im zweiten Falle ist unter sonst gleichen Verhältnissen proportional der Anzahl der Windungen. Ferner ist im ersten Falle der Induktionsstrom um so stärker, je stärker das magnetische Feld, denn je dichter die Kraftlinien, desto schneller ändert sich unter sonst gleichen Verhältnissen die Zahl der den Leiter schneidenden.

Liegt im Kraftlinienfeld ein Stück weiches Eisen, dann werden durch magnetische Anziehung die Kraftlinien zum Theil abgelenkt und gehen in größerer Zahl durch das Eisen. Wir haben also ein stellenweise verdichtetes Kraftlinienfeld. Dies wird praktisch verwerthet zur Erhöhung der Leistung der elektrischen Maschinen, indem man den Ankerkern aus Eisen herstellt.

Zur Auffindung des Nord- und Südpoles bei Erregung eines Eisenkernes durch einen umfließenden Strom dient die Schwimmerregel von Ampère: Denkt man sich mit dem positiven Strome schwimmend das Gesicht dem Eisenstab zugewendet, dann liegt zur linken Hand der Nordpol.

Zur Auffindung der Richtung des positiven Stromes bei der Bewegung eines Leiters in einem magnetischen Feld dient folgende Regel von Maxwell: Sieht man in der Richtung der Kraftlinien (von N nach S) nach dem Leiter hin, dann geht der positive Strom im Sinne des Uhrzeigers, wenn die Zahl der schneidenden Kraftlinien abnimmt.

Schließlich bleibt, wie bei der Berührungselektrizität, so auch hier die Frage zu beantworten, worin die Verschiedenheit der aufgewendeten Arbeit besteht, wenn bei gleich großer Bewegung eines geschlossenen Leiters in einem magnetischen Feld die Zahl der schneidenden Kraftlinien sich verschieden schnell ändert, der erzeugte Induktionsstrom also verschiedene Stärke besitzt. Die Antwort ist die, daß, wie zwischen zwei Magneten, so auch zwischen Magnet und elektrischem Strom magnetische Anziehungs- oder Abstoßungskräfte bestehen, welche stets der Bewegung entgegenwirken, und zwar um so mehr, je kräftiger der erzeugte Induktionsstrom (Lenzsches Gesetz). Die Arbeit besteht also in der Ueberwindung dieser magnetischen Kräfte. Wird der Stromkreis unterbrochen, dann fallen diese Kräfte und fällt auch die Arbeit fort, die gleiche Bewegung läßt sich dann leicht ausführen und erfordert höchstens die Ueberwindung von Reibung und Gewicht. Auf dieser Thatsache beruht der verschiedene Arbeits- und Dampfverbrauch der mit den Dynamomaschinen gekuppelten Dampfmaschinen, wenn bei gleicher Umdrehungszahl mehr oder weniger Strom verbraucht wird.

3. Wirkungen des elektrischen Stromes.

Einleitung. Dieselben sind:

a) Wärme- und Lichtwirkung (Thermoelektrizität);

b) Chemische Wirkung;

c) Magnetische und Induktionswirkung.

a) und b) kann man bezeichnen als Nahwirkung oder Wirkung im Stromkreise selbst, c) als Fernwirkung. Allgemein läßt sich über Erzeugung und Wirkung des elektrischen Stromes sagen, daß beide in einem ähnlichen Ver-

hältniß zu einander stehen, wie Wärme und Arbeit, d. h. jede der genannten Wirkungen kann auch Ursache des Stromes sein (vergl. Nr. 2), derart, daß jede Erzeugungsmethode mit jeder Wirkung zusammengesetzt werden kann. Also kann z. B. ein chemisch (galvanisch) erzeugter Strom entweder wieder eine chemische Wirkung oder Wärme oder eine magnetische oder Induktionswirkung hervorbringen, selbstverständlich mit einem gewissen Verlust (Nutzeffekt).

Hiernach wäre es eigentlich logischer, Erzeugung und Wirkung überhaupt gemeinschaftlich zu erörtern, wie es zum Theil unter Nr. 2. c) geschehen ist. Es wird aber einfacher und übersichtlicher, wenn man die Wirkungen als besonderen Punkt erklärt, weil bei den elektrischen Anlagen an Bord im Allgemeinen nur der Magnetismus gleichzeitig für die Stromerzeugung (Dynamomaschine) und als Stromwirkung (Elektromotor, Kommandoelemente), die übrigen Vorgänge aber entweder nur als Erzeugung (chemische Zersetzung in galvanischen Elementen) oder nur als Wirkung (Wärme und Licht beim Glühlicht und Bogenlicht) in Betracht kommen.

a) Wärme- und Lichtwirkung. Fließt ein elektrischer Strom durch einen geschlossenen Leiter, so wird dieser erwärmt. Die Erwärmung ist um so stärker, je mehr Widerstand der Leiter dem Stromdurchgang entgegensetzt, d. h. je geringeren Querschnitt er hat und aus je schlechter leitendem Material er besteht. Wird ein Theil des Stromes anderweitig verbraucht, z. B. zum Betrieb eines Elektromotors oder zu chemischen Zwecken, dann ist die Erwärmung geringer, als wenn kein Stromverbrauch stattfindet. Im letzteren Falle wird nach dem Prinzip der Erhaltung der Arbeit der ganze Strom zur Erwärmung der Leitung verwendet, abgesehen von den unvermeidlichen Verlusten.

Die Erwärmung ist theils störend und muß dann durch genügenden Querschnitt der Leitung in zulässigen Grenzen gehalten werden, theils ist sie gerade der Zweck des Stromes (Glühlicht, Minenentzündung, Bogenlicht), und in diesem Falle wird an den Stellen, wo die Erwärmung stattfinden soll, der Leitungswiderstand durch kleineren Leitungsquerschnitt erhöht.

b) Chemische Wirkung. Fließt ein elektrischer Strom durch eine zersetzbare Flüssigkeit, so wird diese in ihre Bestandtheile zerlegt, z. B. Wasser in H und O. Fließt er durch eine wässerige Lösung von Metallsalzen, so werden die Metalle ausgeschieden (elektrolytische Zersetzung). Um den Strom durch die Flüssigkeit gehen zu lassen, muß man in dieselbe zwei Metallstücke (Platten oder Drähte) eintauchen und das eine mit dem +, das andere mit dem — Pol der Elektrizitätsquelle verbinden. Man nennt diese Metallstücke Elektroden, wie beim galvanischen Element, und zur Unterscheidung voneinander die mit dem + Pol verbundene Anode, die mit dem — Pol verbundene Kathode. Bei jeder elektrolytischen Zersetzung schlägt sich das Metall an der Kathode nieder. Praktisch wird diese chemische Wirkung verwerthet zur Gewinnung von Metallen und in der Galvanoplastik. An Bord keine Verwendung.

c) Magnetische und Induktionswirkung (Fernwirkung). Die Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem stromdurchflossenen Leiter, d. h.

die Umwandlung eines Stückes weichen Eisens in einen Elektromagneten durch einen elektrischen Strom einerseits und die Erzeugung (Induktion) eines elektrischen Stromes durch Bewegung eines geschlossenen Leiters in einem Kraftlinienfeld andererseits ist unter 2. c) erklärt.

Wird nun der Strom nicht erst durch die Bewegung des Leiters in dem magnetischen Feld erzeugt, sondern anders woher genommen und durch den Leiter durchgeschickt, dann entstehen offenbar die gleichen magnetischen Kräfte zwischen Magnet und Leiter, welche bei der Stromerzeugung durch Bewegung zu überwinden waren, und wenn dann die Befestigung oder Aufstellung von Stromleiter und Magnet eine gegenseitige Bewegung, z. B. Drehung des einen um den anderen, zuläßt, dann muß diese Bewegung oder Drehung durch den hineingeschickten Strom erzeugt werden, und zwar in entgegengesetztem Sinne, als die Bewegung stattfinden müßte, um den Strom zu erzeugen. Anders ausgedrückt: Wenn der hineingeschickte Strom dieselbe gegenseitige Bewegung (Drehung) zwischen Magnet und Leiter erzeugen soll, welche zur Erzeugung eines Induktionsstromes ausgeführt wurde, dann muß der hineingeschickte Strom in entgegengesetzter Richtung fließen wie der erzeugte Induktionsstrom. Auf Vorstehendem beruht die Wirkungsweise sämmtlicher Elektromotoren.

Im Kleinen läßt sich diese Wechselwirkung erklären durch ein Solenoid, d. h. einen schraubenförmig gewundenen geschlossenen Leiter und einen Magneten, wobei entweder das Solenoid feststeht und der Magnet frei aufgehängt ist oder umgekehrt. Nimmt man das erstere an, dann wird durch die Bewegung des Magneten ein Induktionsstrom im Solenoid erzeugt, und schickt man ebensolchen Strom in das Solenoid hinein, dann bewegt sich der Magnet im umgekehrten Sinne.

Diese magnetische Wirkung tritt auch ein, wenn das bewegliche Eisenstück nicht ein permanenter Magnet ist, sondern aus unmagnetischem weichen Eisen besteht, weil, wie unter Magnetoelektrizität erklärt, das Eisen durch die Nähe des elektrischen Stromes in einen Elektromagnet umgewandelt wird. Die Sache ändert sich nur insofern, als jetzt stets Anziehung, niemals Abstoßung eintritt, weil in demselben Moment, in welchem der Strom seine Richtung wechselt, das weiche Eisen seine Polarität wechselt.

Auf der magnetischen Wirkung des elektrischen Stromes beruht auch die Telegraphie und die elektrische Klingel.

Eine weitere magnetische Wirkung des Stromes besteht in der Ablenkung einer frei schwebenden Magnetnadel aus ihrer normalen magnetischen Nord-Südrichtung, und hierauf beruht die Messung von elektrischen Strömen durch Galvanometer. Die Art der Ablenkung folgt aus der unter 2. c) erwähnten Ampèreschen Schwimmerregel. Es wird also, wenn man in der Richtung des positiven Stromes schwimmend, das Gesicht der Magnetnadel zuwendet, der Nordpol derselben stets nach links abgelenkt. Die ablenkende Wirkung wird dadurch vervielfacht, daß man den Strom in mehreren Windungen an der

Magnetnadel vorbeiführt. Hierauf beruht die Messung schwacher Ströme durch den Multiplikator.

Magnetische Wirkungen entstehen auch zwischen zwei elektrischen Strömen ohne Beisein eines Magneten (Elektrodynamik). Diese Wirkungen lassen sich kurz dahin zusammenfassen, daß ein stromdurchflossener Leiter sich ebenso verhält wie ein Magnet, d. h. er stellt sich, wenn er frei aufgehängt ist, in die magnetische Nord-Südrichtung ein, wobei der Südpol diejenige Windung des Leiters ist, bei deren Anblick der positive Strom im Sinne des Uhrzeigers fließt, und er wirkt auf einen zweiten stromdurchflossenen Leiter anziehend oder abstoßend, wobei die Regel gilt, daß zwei parallele gleichgerichtete Ströme einander anziehen, zwei parallele entgegengesetzt gerichtete einander abstoßen. Daraus folgt die weitere Regel, daß zwei sich kreuzende stromdurchflossene Leiter sich parallel zu stellen suchen, derart, daß der Strom in ihnen in gleicher Richtung fließt.

Auf der magnetischen Wirkung zweier elektrischer Ströme aufeinander beruht die Messung der Stromstärke durch Elektrodynamometer, welche sich im Prinzip nur dadurch von den Galvanometern unterscheiden, daß die drehbare Magnetnadel durch einen drehbaren Leiter ersetzt ist, vor den Galvanometern aber den Vorzug haben, daß sie auch für Wechselströme verwendbar sind, da in dem drehbaren Leiter und in dem herumfließenden Stromkreis gleichzeitig die Stromrichtung wechselt, während bei der Nadel des Galvanometers Nord- und Südpol derselbe bleibt.

Schließlich gehört zu den Fernwirkungen die Induktionswirkung eines elektrischen Stromes auf einen zweiten geschlossenen Leiter. Diese Wirkung erklärt sich ohne Weiteres, wenn man sich vergegenwärtigt, daß jeder stromdurchflossene Leiter als Magnet aufgefaßt werden kann, daß er, wie vorstehend erklärt, magnetische Kräfte auf ein Stück Eisen oder einen Magneten oder einen zweiten elektrischen Strom ausübt, daß er demgemäß auch ein magnetisches Kraftlinienfeld um sich erzeugt. Die Wirkung eines stromdurchflossenen Leiters auf einen zweiten geschlossenen Leiter muß also genau dieselbe sein wie die Wirkung eines Magneten, d. h. jede Aenderung der Zahl der den zweiten Leiter schneidenden Kraftlinien des stromdurchflossenen Leiters erzeugt oder induzirt in dem zweiten Leiter einen Strom, gleichgültig, ob die Zahl der schneidenden Kraftlinien durch Aenderung der Stromstärke in dem stromdurchflossenen Leiter oder durch Verschiebung seiner Lage zum zweiten Leiter geändert wird. Ist in dem zweiten Leiter bereits ein Strom vorhanden, dann wird letzterer durch Aenderung der Zahl der schneidenden Kraftlinien vergrößert oder verkleinert.

Man nennt diese Erzeugung von Induktionsströmen durch einen vorhandenen Strom Elektroinduktion im Gegensatz zur Magnetoinduktion (Erzeugung durch Magneten). Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen beiden besteht nicht, da, wie vorstehend gezeigt, die Entstehungsursache des induzirten oder Induktionsstromes in beiden Fällen die gleiche ist.

Zur Erzielung kräftiger Wirkungen stellt man beide Leiter nicht als einfache Ringe her, sondern als spiralförmige Wickelung aus vielen Windungen, und legt

beide Spiralen oder Spulen konzentrisch ineinander. Die erste Spule, welche anders woher den Strom erhält, nennt man Primär- oder induzirende Spule, ihren Strom Primär- oder induzirenden Strom, die zweite Spule, in welcher Strom erzeugt wird, nennt man Sekundär- oder Induktionsspule, ihren Strom Sekundär- oder Induktionsstrom. Der Induktionsstrom hat beim Schließen oder Verstärken des induzirenden Stromes (Vermehrung der schneidenden Kraftlinien) die entgegengesetzte, beim Oeffnen oder Schwächen die gleiche Richtung wie der induzirende Strom. Schnell aufeinander folgendes und gleichmäßig abwechselndes Oeffnen und Schließen des Primärstromes erzeugt demnach abwechselnd verschiedene Richtung des Sekundärstromes, d. h. Wechselstrom. Die vorstehende Regel über die Richtung des Induktionsstromes läßt sich auch aus der unter Magnetoelektrizität angegebenen Regel von Maxwell ableiten. Selbstverständlich ist es nach dem bisher Gesagten, daß der Sekundärstrom um so stärker ist, je stärker der Primärstrom, je größer die Zahl der Windungen beider Spulen und je schneller die Aenderung der Zahl der schneidenden Kraftlinien.

Auf der Elektroinduktion beruht die Umformung von Wechselströmen in andere Wechselströme von höherer oder geringerer Spannung durch Transformatoren.

4. Elektrische Maßeinheiten.

Bei der unter 1. bis 3. gegebenen Erklärung des Wesens des elektrischen Stromes, seiner Erzeugung und seiner Wirkung sind die verschiedenen Vorgänge und Veränderungen nur qualitativ, aber nicht quantitativ beschrieben. Letzteres ist nur möglich mit Hülfe genauer elektrischer Maßeinheiten. Wie man in der wissenschaftlichen Mechanik allgemein das absolute Maßsystem (C. G. S.-System) angenommen hat, d. h. cm gramm und sec. als Einheiten zu Grunde legt, und wie man in der Praxis die passenderen Größen m, kg und sec. als Einheiten benutzt, so rechnet man auch bei magnetischen und elektrischen Größen mit bestimmten Einheiten, welche aus dem mechanischen C. G. S.-System abgeleitet sind. Da die Ableitung zu weit führt, so sind die praktischen Einheiten der Elektrotechnik hier nur nach ihren Bezeichnungen, welche den Namen wissenschaftlich verdienter Männer entlehnt sind, und nach ihren Bedeutungen aufgeführt:

Ampère ist die Maßeinheit für die Stromstärke oder Menge der pro Zeiteinheit (sec.) durch einen Leiter durchfließenden Elektrizität.

Volt ist die Maßeinheit für die Spannung oder elektromotorische Kraft (Potential).

Ohm ist die Maßeinheit für den Leitungswiderstand. Beträgt der Gesammtwiderstand einer Leitung 1 Ohm, dann ist die durch 1 Volt Spannungsunterschied erzeugte Stromstärke = 1 Amp.

Watt ist die Maßeinheit für den Effekt (nicht Arbeit) des elektrischen Stromes und wird dargestellt durch das Produkt aus Spannung und Stromstärke (Elektrizitätsmenge pro sec.):

also Zahl der Watt = Zahl der Volt · Zahl der Amp.

Die Größe von 1 Watt ist $\frac{1 \text{ mkg pro sec.}}{9{,}81}$

also 1 mkg pro sec. = 9,81 Watt.

75 mkg pro sec. sind 1 Pferdekraft,

folglich 1 Pferdekraft = 75 · 9,81 Watt = 736 Watt.

Coulomb ist die Maßeinheit für die Elektrizitätsmenge, gleichgültig, ob in Ruhe oder in Bewegung, im letzteren Falle also ohne Rücksicht auf Durchströmungszeit (Geschwindigkeit). Der Größe nach ist 1 Coulomb gleich 1 Ampère. Wenn also durch einen Leiter pro sec. die Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb fließt, dann hat der Strom die Stärke von 1 Amp. Fließt 1 Coulomb in $^1/_{10}$ sec. durch den Leiter, dann hat der Strom die Stärke von 10 Amp. Hieraus folgt, daß das Produkt Volt · Coulomb die Maßeinheit für die Arbeit (nicht Effekt) ist.

Farad ist die Maßeinheit für die Kapazität eines Leiters und wird dargestellt durch die Gleichung:

$$\text{Zahl der Farad} = \frac{\text{Zahl der Coulomb}}{\text{Zahl der Volt}}.$$

Die Kapazität eines Leiters ist also = 1 Farad, wenn derselbe mit 1 Coulomb geladen die Spannung von 1 Volt hat. Sie ist = 0,1 Farad, wenn der Leiter mit 1 Coulomb geladen 10 Volt oder mit 0,1 Coulomb geladen 1 Volt Spannung hat.

5. Gesetze des elektrischen Stromes.

a) Ohmsches Gesetz. $\text{Stromstärke in Amp.} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft in Volt}}{\text{Gesammtwiderstand in Ohm}}$.

In dieser Gleichung ergiebt sich der Gesammtwiderstand aus dem spezifischen Widerstand (Material) aus der Länge und aus dem Querschnitt des Leiters, und zwar ist $\text{Gesammtwiderstand} = \frac{\text{Spezifischer Widerstand} \cdot \text{Länge}}{\text{Querschnitt}}$. Die Richtigkeit vorstehender Beziehungen läßt sich experimentell nachweisen, indem man eine verschiedene Zahl galvanischer Elemente in verschiedenen Schaltungen (parallel und hintereinander) vereinigt mit Leitern von verschiedener Länge und verschiedenem Querschnitt. Sind in dem Ohmschen Gesetz zwei Größen bekannt, dann läßt sich ohne Weiteres die dritte berechnen.

Erweiterung des Gesetzes. Bei einem verzweigten Leiter vertheilt sich der Gesammtstrom auf die einzelnen Zweige umgekehrt proportional den Widerständen der Zweige.

b) Kirchhoffsche Gesetze. Gesetz I. Bei verzweigten Leitern ist an jedem Verzweigungspunkt die Summe der zufließenden Ströme = der Summe der wegfließenden, d. h. es kann sich nirgends Elektrizität anhäufen. Daraus folgt, daß in einem einfachen Stromkreise die Stromstärke überall die gleiche ist.

Gesetz II. In jedem geschlossenen, verzweigten Stromkreis ist die Summe der elektromotorischen Kräfte = der Summe der Produkte aus den Stromstärken und Widerständen der einzelnen Zweige unter Berücksichtigung des Vorzeichens der einzelnen Ströme.

c) **Joulesches Gesetz** bestimmt den zahlenmäßigen Zusammenhang zwischen Elektrizität und Wärme.

1 WE = 426 · 9,81 Volt · Coulomb.

Beweis: 1 EW = 426 mkg

1 mkg = 9,81 Volt · Coulomb (vergl. Nr. 4).

6. Meßmethoden und Meßinstrumente.

Einleitung.

Die elektrischen Messungen betreffen hauptsächlich die Stromstärke, die Spannung, den Widerstand und die Arbeit bezw. den Effekt. Die hierzu benutzten Meßinstrumente werden durch eine der Wirkungen des elektrischen Stromes bethätigt oder auch durch die magnetische Kraft in Ruhe befindlicher Elektrizität. Die Bethätigung der Meßinstrumente besteht in der Bewegung eines beweglichen Theiles derselben. Handelt es sich um sehr genaue Messungen, dann wird die Bewegung nicht direkt, sondern mit Spiegel, Fernrohr und Skala abgelesen. Zur Vermeidung eines zu langen Oscillirens des Zeigers verwendet man stellenweise besondere Dämpfer, mit Flüssigkeits-, Luft- oder magnetischer Dämpfung. Die Meßinstrumente müssen verschieden gebaut sein für starke und schwache Ströme.

a) **Messung der Stromstärke** erfolgt durch Galvanometer oder Dynamometer. Bei den Galvanometern erkennt man die Stromstärke an der von dem Strom ausgeübten Ablenkung einer freischwebenden Magnetnadel oder an der magnetischen Wirkung des Stromes auf ein Stück weichen Eisens. Dient ein Galvanometer nur dazu, das Vorhandensein eines Stromes nachzuweisen, ohne gleichzeitig seine Größe genau zu bestimmen, so nennt man es Galvanoskop. Dasselbe muß sehr empfindlich sein. Die Empfindlichkeit eines Galvanometers kann man verstärken, indem man den zu messenden Strom in vielen Windungen um die Magnetnadel oder um das Stück weiche Eisen herumführt (Multiplikator).

Die auf eine freischwebende Magnetnadel wirkenden Galvanometer werden in verschiedener Art gebaut (Tangentenbussole, Sinusbussole, Torsions-, Spiegel-, Präzisions-, Differentialgalvanometer), sind aber als technische Strommesser wenig geeignet, weil sie häufig in den Bereich elektrischer Maschinen kommen, deren Elektromagnete die Nadel störend beeinflussen. Die technischen Strommesser (Ampèremeter) beruhen deshalb im Allgemeinen auf der Anziehung eines Stückes weichen Eisens durch den zu messenden Strom, wobei entweder das Gewicht des Eisenstückes oder die Zugkraft einer mit demselben verbundenen Feder überwunden werden muß.

Die ebenfalls zur Strommessung dienenden Dynamometer beruhen auf der magnetischen Wirkung zwischen zwei mit den Achsen senkrecht zu einander stehenden stromdurchflossenen Spulen, von denen die eine fest, die andere drehbar ist. Letztere sucht sich bei Stromdurchgang so zu stellen, daß die Ströme in beiden Spulen gleichgerichtet sind.

Da der Strom in einem geschlossenen Leiter überall die gleiche Stärke hat, so kann der Strommesser an einer beliebigen Stelle in die Leitung eingeschaltet werden. Man leitet also den ganzen Strom durch den Strommesser, ebenso wie man beim Wassermesser die ganze Wassermenge durchleitet. Will man jedoch starke Ströme messen, für welche der Strommesser nicht ausreicht, so zweigt man von der Hauptleitung eine Nebenschlußleitung ab und mißt nur in der letzteren den Strom. Nach dem Gesetz über Stromverzweigungen kann man aus dem Verhältniß der Leitungswiderstände und dem gemessenen Nebenschlußstrom den Hauptstrom berechnen.

Da die Strommesser nur die Stärke, aber nicht die Spannung des Stromes messen sollen, so läßt man den Strom möglichst ungehindert durchgehen und macht den Widerstand der Drahtspule möglichst gering. Letztere erhält also wenig Windungen von großem Querschnitt.

b) Messung der Spannung. Die Spannungsmesser (Voltmeter) haben im Prinzip dieselbe Konstruktion wie die Strommesser. Die beiden Drahtenden des Spannungsmessers müssen mit den beiden Stellen verbunden werden, deren Spannungsunterschied gemessen werden soll, bei elektrischen Maschinen also mit den beiden Polklemmen. Die Voltmeter liegen also in einer Nebenschlußleitung, und es fließt nur ein kleiner Theil des Stromes durch dieselben, ebenso wie man bei einem Wasserstrom den Wasserdruck in einem kleinen Rohrzweig messen kann. Da die Voltmeter nur die Spannung, aber nicht die Stärke des Stromes messen sollen, so läßt man möglichst wenig Strom durchgehen, d. h. man macht den Widerstand der Drahtspule möglichst groß. Letztere erhält also viele Windungen von kleinem Querschnitt.

Eine prinzipiell andere Konstruktion haben die Hitzdrahtvoltmeter. Bei diesen wird durch den Strom ein Platindraht erwärmt und die dadurch entstehende Verlängerung des Drahtes als Maß für die Spannung benutzt.

Ist der Leitungswiderstand bekannt, und hat man die Stromstärke gemessen, dann kann man die Spannung ohne Messung, nämlich durch Rechnung nach dem Ohmschen Gesetz bestimmen.

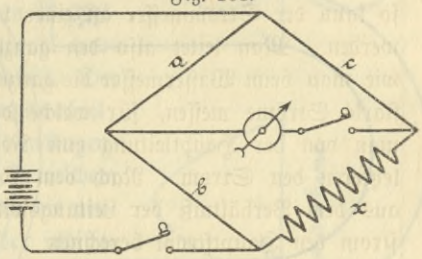
c) Messung des Widerstandes. Wenn es nicht auf sehr genaue Werthe ankommt, kann man den Widerstand eines Leiters aus dem bekannten spezifischen Widerstand des Materials und aus den Dimensionen (Querschnitt und Länge) berechnen. Genaue Widerstandsmessungen macht man durch Vergleich mit genau bekannten Widerständen. Die hierzu dienenden Instrumente heißen Rheostate und enthalten eine größere Zahl von Widerständen, von denen eine beliebige Zahl durch Stöpselung (Stöpselrheostat) oder durch Drehung einer Kurbel (Kurbelrheostat) eingeschaltet werden kann. Die Messungen sehr hoher

Widerstände (Isolationswiderstände) nennt man auch Isolationsmessungen. Sie bestehen in dem Vergleich der Ausschläge eines empfindlichen Galvanometers beim Durchgang eines bestimmten Stromes durch einen bekannten größeren Widerstand und beim Durchgang durch die zu messende Isolation.

Sehr gebräuchlich ist die Widerstandsmessung mit der Wheatestoneschen Brücke, welche aus 4 Widerständen, 3 bekannten a, b und c und einem zu messenden x zusammengesetzt ist. Ist der Galvanometerzeiger in Mittelstellung, die Diagonale also stromlos, dann gilt nach den Gesetzen über die Stromverzweigung für die Widerstände a, b, c und x die Gleichung:

$$a : b = c : x, \text{ also } x = \frac{c \cdot b}{a}.$$

Fig. 108.



Wheatestone'sche Brücke.

d) Messung des elektrischen Effektes (Watt). Hierzu benutzt Siemens und Halske ein Elektrodynamometer, welches im Prinzip mit dem unter Strommessung erwähnten übereinstimmt, jedoch dahin abweicht, daß die feste Spule aus dickem Draht und wenig Windungen, die bewegliche aus dünnem Draht und vielen Windungen besteht. Die feste Spule wird in den Hauptstrom geschaltet, die bewegliche in eine Nebenschlußleitung. Die Ablenkung ist proportional dem Produkt beider Stromstärken. Andererseits aber ist in der Nebenschlußleitung, welche zwischen Anfang und Ende der zu messenden Leitung eingeschaltet ist, die Stromstärke proportional dem Spannungsunterschied. Folglich ist die Ablenkung auch proportional dem Produkt aus Hauptstromstärke und Spannung, d. h. dem Effekt. Der Wattmesser ist also eine Vereinigung von Strom- und Spannungsmesser. Verbindet man den Wattmesser mit einem Uhrwerk, welches in bestimmten Zwischenräumen die Ablenkung aufzeichnet und addirt, so erhält man einen Arbeitsmesser oder Elektrizitätszähler.

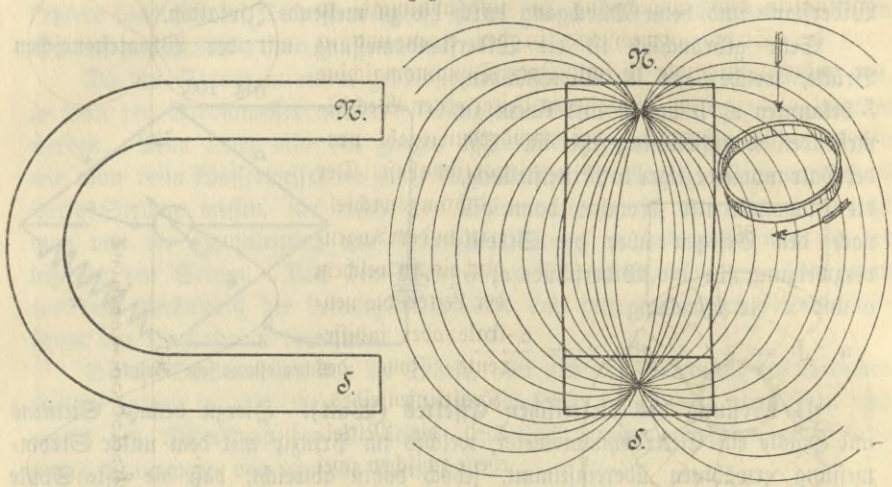
B. Stromerzeugende Maschinen.

1. Wirkungsweise.

Nach Theil A. Nr. 2 beruht die Wirkung einer Dynamomaschine auf der hin- und hergehenden Bewegung eines geschlossenen Leiters in einem Kraftlinienfeld. Zur Erzeugung dieser Bewegung dient irgend eine Kraftmaschine, an Bord allgemein eine Compound- oder Dreifach-Expansions-Dampfmaschine, auf S. M. S. „Aegir" auch Dampfturbine. Dieselbe muß einerseits die zwischen dem erzeugten Strom und den Magnetpolen bestehenden magnetischen Kräfte überwinden, andererseits die in Reibung, Magnetisirung und Luftwiderstand bestehenden Widerstände. Diese Widerstände bilden die unvermeidlichen Verluste. Das Verhältniß des in EHP umgerechneten erzeugten Stromes zu der von der Kraftmaschine an die Dynamomaschine abgegebene Zahl von EHP nennt man den

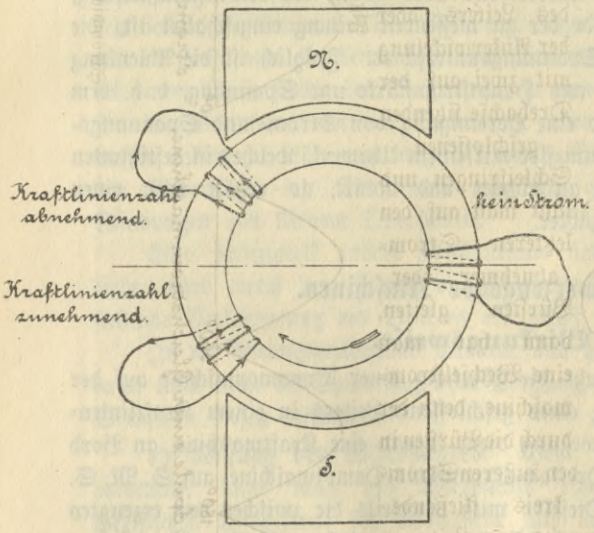
Wirkungsgrad der Dynamomaschine. Derselbe fällt im Allgemeinen um so höher aus, je größer die Maschine.

Fig. 109.



Richtung des induzirten Stromes (Maxwell).

Fig. 110.

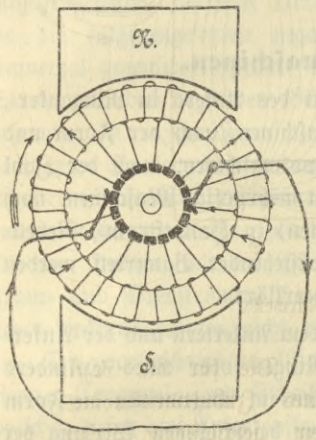


Prinzip der Dynamomaschine.

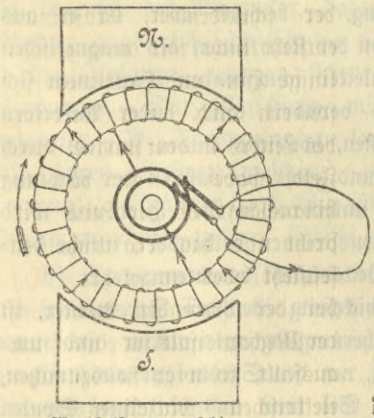
Die für die Erzeugung eines Induktionsstromes in dem geschlossenen Leiter erforderliche Aenderung der Zahl der schneidenden Kraftlinien entsteht nicht nur durch geradlinige Hin- und Herbewegung, sondern auch durch Drehung des Leiters in dem magnetischen Feld, wobei es auf dasselbe hinausläuft, ob der Leiter sich dreht und das Kraftlinienfeld feststeht oder umgekehrt. Da bei der drehenden Bewegung der Mechanismus am einfachsten ausfällt, so wird sie bei allen elektrischen Maschinen verwendet. Es werden dementsprechend sowohl die Magnete als auch die Stromleiter (Anker) kreisförmig angeordnet bezw. gebaut. Bei allen neueren Maschinen an Bord wird die Achse des sich drehenden Theiles direkt mit der Welle der Kraftmaschine verkuppelt.

Da bei der Drehung die einzelnen Windungen des geschlossenen Leiters abwechselnd an einem Nord- und Südpol vorbeigehen, die Zahl der schneidenden Kraftlinien also abwechselnd zu- und abnimmt, so muß der Strom abwechselnd in der einen und in der anderen Richtung fließen. Jede Dynamomaschine erzeugt also in dem geschlossenen Leiter einen Wechselstrom, dessen Frequenz der Umdrehungszahl proportional ist. Der Richtungswechsel tritt in dem Augenblick ein, in welchem der Leiter die neutrale oder indifferente Zone des Kraftlinienfeldes, d. h. die Mittelebene zwischen zwei aufeinderfolgenden Magnetpolen passirt. Verbindet man die beiden Enden des Leiters oder der Ankerwickelung mit zwei auf der Drehachse sitzenden geschlossenen Schleifringen und läßt man auf den letzteren Stromabnehmer oder Bürsten gleiten, dann hat man eine Wechselstrommaschine, denn der durch die Bürsten in den äußeren Stromkreis fließende Strom ist derselbe wie der Strom in dem Leiter.

Fig. 111.

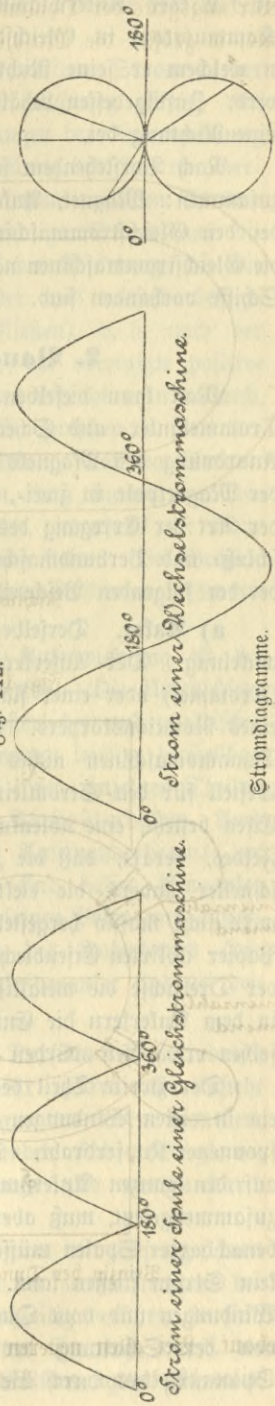


Gleichstrommaschine.



Wechselstrommaschine.

Fig. 112.



Stromdiagramme.

An Bord unserer Schiffe verwenden wir aber ausschließlich Gleichstrommaschinen, hauptsächlich deshalb, weil Wechselstrom für den Betrieb der Scheinwerfer sich nicht eignet. Bei den Gleichstrommaschinen wird

der in der Ankerwickelung erzeugte Wechselstrom durch den Stromwender (Kommutator) in Gleichstrom umgewandelt, indem er in demselben Augenblick, in welchem er seine Richtung wechselt, auf die entgegengesetzte Bürste geleitet wird. Infolgedessen behält der Strom im äußeren Leitungskreis stets unverändert seine Richtung bei.

Nach Vorstehendem setzen sich alle Dynamomaschinen aus drei Haupttheilen zusammen: Magnet, Anker und Stromabgeber mit den Bürsten. Letzterer ist bei den Gleichstrommaschinen ein Stromwender. Im Folgenden wird nur auf die Gleichstrommaschinen näher eingegangen, da bis jetzt nur diese an Bord unserer Schiffe vorhanden sind.

2. Bauart der Gleichstrommaschinen.

Man kann dieselben eintheilen nach der Form des Ankers in Ringanker-, Trommelanker- und Scheibenanker- (Flachring-) Maschinen, nach der Form und Anordnung des Magnets in Außenpol- und Innenpolmaschinen, nach der Zahl der Magnetpole in zwei-, vier-, sechs- und allgemein mehrpolige Maschinen, nach der Art der Erregung des Magneten (Elektromagneten) in Hauptstrom-, Nebenschluß- und Verbundmaschinen. Die Unterschiede vorstehender Bauarten werden bei der folgenden Beschreibung der drei Haupttheile erklärt:

a) Anker. Derselbe setzt sich zusammen aus dem Ankerkern und der Ankerwickelung. Der Ankerkern hat die Form eines Ringes oder eines Cylinders (Trommel) oder einer flachen Scheibe, in allen Fällen im Allgemeinen die Form eines Rotationskörpers. Er hat im Prinzip mit der beschriebenen Wirkung der Dynamomaschinen nichts zu thun, dient also zunächst nur als Gerippe oder Gestell für den Stromleiter, die Ankerwickelung, er bewirkt aber, da er aus Eisen besteht, eine Ablenkung oder Konzentration der Kraftlinien des magnetischen Feldes, derart, daß die Zahl der den Stromleiter schneidenden Kraftlinien sich schneller ändert, die elektrische Wirkung also verstärkt wird. Der Ankerkern wird nicht massiv hergestellt, sondern aus dünnen, höchstens 1 mm starken, durch Papier isolirten Eisenblechen zusammengesetzt, und zwar so, daß in der Richtung der Drehachse die metallische Leitung sehr oft unterbrochen ist. Hierdurch wird in dem Ankerkern die Entstehung von Induktionsströmen verhindert, welche denselben erwärmen würden und daher einen Arbeitsverlust bedeuten.

Der zweite Theil des Ankers, die Ankerwickelung oder der Stromleiter, ist ein in vielen Windungen um den Ankerkern herumgelegter, isolirter und umsponnener Kupferdraht. Diese Wickelung muß, um den Strom gut auszunutzen, auf den ganzen Ankerumfang vertheilt sein. Sie kann aus einzelnen Spulen zusammengesetzt, muß aber in sich geschlossen sein, d. h. Anfang und Ende zweier benachbarter Spulen müssen leitend verbunden (zusammengelöthet) sein, weil sonst kein Strom fließen kann. Von der Art der Wickelung, d. h. von der Zahl der Windungen und vom Querschnitt des Drahtes, und bei mehrpoligen Maschinen von der Schaltung der Wickelung hängt die Stärke (Intensität) und die Spannung des durch die Maschine erzeugten Stromes ab. Selbstverständlich

hängen dieselben außerdem ab von der Umdrehungszahl und von der Stärke des magnetischen Feldes.

In der einen Hälfte der Ankerwickelung fließt der positive Strom in der einen, in der anderen Hälfte in der entgegengesetzten Richtung (Regel von Maxwell). Will man daher dauernd sämmtliche Windungen der Ankerwickelung ausnutzen, so muß man dafür sorgen, daß in jeder Stellung des Ankers einerseits von der Stelle der Wickelung, wo die entgegengesetzten positiven Ströme zusammenfließen, d. h. in der neutralen Zone, der vereinigte Strom auf die positive Bürste abgeleitet, andererseits nach der Stelle der Wickelung, wo die entgegengesetzten positiven Ströme auseinanderfließen (oder was dasselbe besagt: wo die entgegengesetzten negativen Ströme zusammenfließen), d. h. nach der diametral gegenüberliegenden Stelle der neutralen Zone, der vereinigte positive Strom von der negativen Bürste hingeleitet wird. Dies erreicht man dadurch, daß man in regelmäßigen kleinen Zwischenräumen (z. B. zwischen je zwei benachbarten Spulen) Verbindungsdrähte von der Ankerwickelung nach dem Stromabgeber (Stromwender) führt und letzteren so einrichtet, daß immer nur die beiden in der neutralen Zone liegenden Verbindungsdrähte, jedenfalls nie mehr als vier Drähte, mit den Bürsten in leitender Verbindung stehen. Bei Wechselstrom- und Drehstrommaschinen ist eine derartige dauernde Ausnutzung sämmtlicher Ankerwindungen nicht möglich.

Die vorbeschriebene Wirkung und Schaltung der Ankerwickelung ist bei Ring-, Trommel- und Scheibenankern im Prinzip dieselbe. Die Unterschiede zwischen diesen drei Ankerkonstruktionen sind daher mehr äußerlicher und praktischer Natur. Die Wickelung der Trommelanker ist im Allgemeinen leichter herstellbar als diejenige der Ringanker, dagegen ist sie später in ihren einzelnen Theilen schlechter zugänglich, da sich die einzelnen Spulen zum Theil überdecken. Auch ist die Isolation weniger sicher wegen des direkten Aufeinanderliegens der Windungen. Für Maschinen mit hoher Spannung sind daher Ringanker geeigneter. Bei Trommelankern kann der Magnet mit seinen Polen nur außerhalb liegen (Außenpolmaschine), weil die Stirnenden des Ankerkernes (der Trommel) vollständig durch Windungen bedeckt sind. Scheibenanker sind bei den Dynamomaschinen unserer Schiffe nicht verwendet.

b) Stromwender (Kommutator) mit Bürsten. Derselbe ist cylindrisch und fest auf der Drehachse aufgekeilt, jedoch gut von ihr isolirt. Er besteht aus ebenso vielen voneinander isolirten bronzenen Segmenten oder Lamellen, wie Verbindungsdrähte nach der Ankerwickelung vorhanden sind. (Vergl. a.) Die einzelnen Lamellen sind sehr sauber zusammengepaßt und werden durch eiserne Ringe, natürlich auch isolirt, zusammengehalten.

Infolge der Isolirung der Lamellen voneinander können nur diejenigen mit den Bürsten in Berührung stehen, welche sich gerade in der neutralen Zone befinden, und da jede Bürste höchstens zwei Lamellen gleichzeitig berührt, so sind bei der Ableitung des in der Ankerwickelung induzirten Stromes durch die positive Bürste in den äußeren Stromkreis und bei der Rückleitung des Stromes

durch die negative Bürste in die Ankerwickelung in jedem Moment höchstens je zwei Lamellen und je zwei Verbindungsdrähte betheiligt. (Vergl. a.) Der Stromwender ist daher seiner Wirkung nach thatsächlich stets nur zweitheilig, es wechselt nur die Lage der isolirenden Theilebene. Je größer die Zahl der Lamellen und der Verbindungsdrähte ist, desto gleichmäßiger wird der durch die Maschine erzeugte Gleichstrom.

Die Bürsten bestehen aus Kupferdrahtgewebe oder aus abwechselnden Lagen von Kupferblech und Kupferdraht, bei den Motoren auch aus Kohle. Kupferbürsten gestatten die Abnahme stärkerer Ströme, Kohlenbürsten dagegen nutzen den Stromwender weniger ab. Die Bürsten sind in dem fest am Maschinengestell konzentrisch zur Stromwenderachse angeordneten Bürstenhalter derart befestigt, daß ihre Enden leicht federnd auf die Lamellen des Stromwenders drücken. Der Bürstenträger ist einerseits im Ganzen drehbar, um die Stellung der Bürsten in Bezug auf die neutrale Ebene genau reguliren zu können, andererseits sind an jedem Arm des Bürstenhalters die Bürsten um den Zapfen des Armes drehbar, um den Druck auf die Lamellen reguliren zu können, schließlich sind die Bürsten in ihren Klemmen verschiebbar, um eine Abnutzung durch Vorschieben auszugleichen. Jeder Bürstenhalterarm trägt in der Regel mehrere Bürsten, um nöthigenfalls während des Ganges die Bürsten einzeln abstellen, nachsehen und wiederanstellen zu können. Die Bürsten stehen gewöhnlich schräg zum Stromwender und haben dementsprechend an ihren Enden abgeschrägte Schleifflächen. Die Breite der letzteren in der Längsrichtung der Lamellen macht man möglichst groß und jedenfalls passend zur Stromstärke.

c) **Magnet oder Feldmagnet.** Form und Anordnung des Magnets: Bei den Außenpolmaschinen sind die Magnetpole kreisförmig um den rotirenden Anker angeordnet. Bei den Innenpolmaschinen rotirt entweder der innere Magnet in dem feststehenden, ringförmigen Anker, oder der letztere rotirt um den Magnet und ist dann durch seitliche Arme mit der Drehwelle verbunden. Im ersteren Falle wird der in der feststehenden Ankerwickelung induzirte Strom (einfacher Wechselstrom oder Drehstrom) durch feste Klemmen in den äußeren Stromkreis geleitet, und Bürsten sind nur nöthig, um eine vom Hauptstrom abgezweigte Nebenschlußleitung um die Magnetschenkel herumzuführen zur Erregung derselben, im letzteren Falle ist die Leitung des Stromes in den äußeren Stromkreis im Prinzip wie bei den Außenpolmaschinen. Innenpolmaschinen werden im Allgemeinen nur bei sehr großen Leistungen verwendet und kommen daher für Bordzwecke nicht in Betracht.

Der leichteren Herstellung halber sind die Polschuhe gewöhnlich als besondere Stücke gefertigt und an das Magnetgestell angeschraubt. Der Luftzwischenraum zwischen Magnetpol und Ankerwickelung muß möglichst klein (wenige Millimeter) sein, damit die magnetische Induktionswirkung möglichst stark wird. Ferner muß der Widerstand im Magnet selbst möglichst klein sein, damit beim Rückweg der Kraftlinien durch den Magnet vom Süd- zum Nordpol möglichst wenig Verlust durch Erwärmung eintritt.

Zahl der Magnetpole. Bei größeren Dynamomaschinen wäre die Raum- und Gewichtsausnutzung gering, wenn der Magnet nur zwei Pole hätte. Man verwendet daher je nach der Größe der Maschine 2-, 4-, 6-, 8- u. s. w. polige Magnete. Die an Bord unserer Schiffe vorhandenen Dynamomaschinen sind gewöhnlich 4- oder 6polig. In der Aufeinanderfolge wechseln stets Nord- und Südpol. Mehrpolige Maschinen können gewissermaßen als Vereinigung von mehreren Dynamomaschinen mit gemeinschaftlichem Anker aufgefaßt werden. Sie haben ebenso viele neutrale Zonen wie Polpaare, müssen demnach auch ebenso viele Bürstenpaare haben. Wie in der Reihenfolge der Pole die Polarität, so wechselt in der Reihenfolge der Bürsten das Vorzeichen des Stromes.

Zur Herstellung eines einfachen äußeren Stromkreises müssen alle positiven Bürsten zu der gemeinschaftlichen Hinleitung, alle negativen zu der gemeinschaftlichen Rückleitung vereinigt werden. Man kann aber auch stets die Zahl der Bürsten oder Bürstengruppen auf zwei reduziren, indem man die gleichartigen Stromsegmente miteinander leitend verbindet. Diese beiden Bürsten würden bei einer 4poligen Maschine unter 90°, bei einer 6poligen unter 60° oder 180° zu einander stehen.

Art der Erregung des Magneten: Die ältesten stromerzeugenden Maschinen waren magnetoelektrische, d. h. das magnetische Kraftlinienfeld wurde gebildet durch Stahlmagnete mit permanentem, unveränderlichem Magnetismus. Diese Maschinen haben keine besondere praktische Bedeutung erlangt, weil Stahlmagnete nicht annähernd so stark sein können wie Elektromagnete. Sie sind aber sehr einfach und finden deshalb an Bord in einigen Apparaten, z. B. in den Minenzündungsapparaten, Verwendung.

Alle größeren stromerzeugenden Maschinen sind dynamoelektrische und beruhen auf dem von Siemens im Jahre 1866 erfundenen dynamoelektrischen Prinzip, welches darin besteht, daß derselbe Strom, den die Maschine erzeugt, oder ein Theil dieses Stromes zur Herstellung des magnetischen Feldes benutzt wird. Zu dem Zweck wird der Magnet aus weichem Eisen hergestellt und durch den herumgeführten Strom in einen starken Elektromagneten umgewandelt. Umkreist der Strom zwei Pole in entgegengesetztem Sinne, dann wird der eine zum Nord-, der andere zum Südpol.

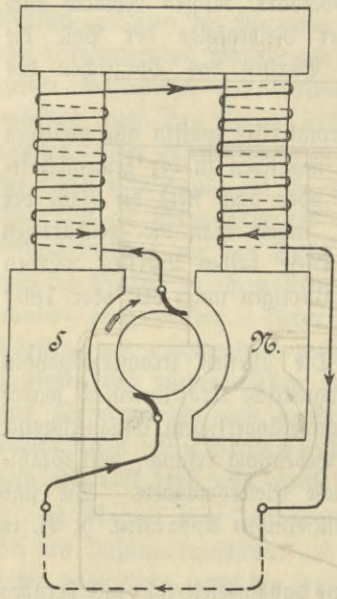
Beim Ingangsetzen einer dynamoelektrischen Maschine ist zunächst das weiche Eisen des Magnets unmagnetisch. Es fehlt also das magnetische Feld und somit die Voraussetzung für die Induktion eines Stromes in der Ankerwickelung. Die Erfahrung zeigt aber, daß die in jedem Eisen vorhandene Spur von Magnetismus genügt, um beim Drehen einer Dynamomaschine in der Ankerwickelung ganz schwache Induktionsströme zu erzeugen. Dieselben verstärken den geringen Magnetismus des Eisens, und das stärkere magnetische Feld erzeugt nun wieder stärkere Induktionsströme. So verstärken magnetisches Feld und Induktionsstrom sich gegenseitig, bis nach kurzer Zeit die Induktion ein den vorhandenen Kupfer- und Eisenmassen und der Umdrehungszahl entsprechendes

Maximum erreicht hat, also Feldstärke, Stromstärke und Spannung konstant bleibt.

Nach der Art und Weise, wie der Strom der Maschine zur Erregung des Feldmagneten benutzt wird, unterscheidet man: Hauptstrom-, Nebenschluß- und Verbund- oder Compoundmaschinen.

Hauptstrommaschinen. Hier umfließt der ganze Strom die Magnetschenkel und zwar, eine zweipolige Maschine vorausgesetzt, entweder unmittelbar nach der positiven Bürste beide Magnetschenkel, oder zunächst nur einen Magnetschenkel und den anderen hinter dem äußeren Stromkreis kurz vor dem Eintritt in die negative Bürste. Es sind also stets Anker, Magnet und äußerer Stromkreis hintereinander geschaltet. Die Erregung des Magneten ist proportional der Stärke des Gesammtstromes und ändert sich, wenn durch wechselnden Gesammtwiderstand, z. B. durch Ein- und Ausschalten von Lampen, die Stromstärke sich ändert. Eine Aenderung des Gesammtwiderstandes beeinflußt daher die Stromstärke in doppelter Beziehung, einerseits direkt, andererseits durch Veränderung der Stärke des Kraftlinienfeldes, und zwar immer in dem Sinne, daß mit wachsendem Widerstand Stromstärke und Spannungsunterschied an den Klemmen (Abzweigungsstellen des äußeren Stromkreises) abnimmt.

Fig. 113.



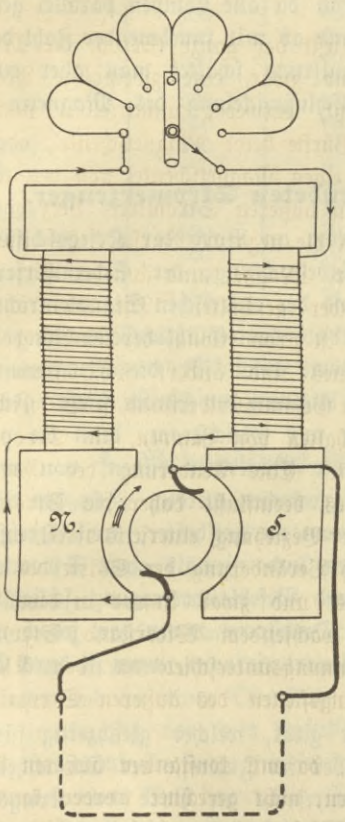
Hauptstrommaschine.

Hauptstrommaschinen werden deshalb, da mit konstantem äußeren Widerstand, abgesehen vielleicht von Scheinwerfern, nicht gerechnet werden kann, und da ein praktisch brauchbarer Ausgleich der Wirkung des wechselnden Widerstandes nicht möglich ist, auf modernen Schiffen nicht verwendet.

Nebenschlußmaschinen. Hier geht die Hauptleitung von den beiden Bürsten direkt in den äußeren Stromkreis. Gleichzeitig aber zweigt von den Bürsten eine Nebenschlußleitung ab, welche um die Magnetschenkel herumgeführt ist. Der größte Theil des Stromes geht demnach durch den äußeren Stromkreis, ein kleiner Theil um die Magnetschenkel. Infolge dieser Theilung wird einerseits der Einfluß des wechselnden Widerstandes auf die Klemmenspannung geringer, andererseits wirkt ein Widerstandswechsel im äußeren Stromkreis in umgekehrtem Sinne auf die Klemmenspannung, wie bei Hauptstrommaschinen, denn je größer der Widerstand im äußeren Stromkreis, desto mehr Strom geht durch die Nebenschlußleitung, desto größer wird also die Erregung des Magneten und die Klemmenspannung. Die durch wechselnden äußeren Widerstand erzeugten Spannungsschwankungen gleicht man bei Nebenschlußmaschinen durch einen in

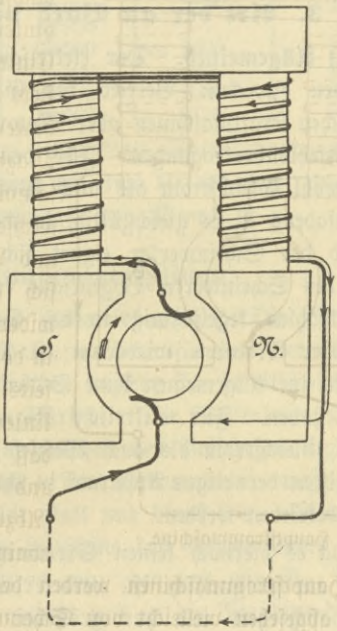
die Nebenschlußleitung eingeschalteten Regulirwiderstand aus. Bei kurz geschlossenem äußeren Stromkreis ist die Nebenschlußmaschine stromlos, weil dann eine nennenswerthe Erregung des Magneten nicht stattfindet.

Fig. 114.



Nebenstrommaschine.

Fig. 115.



Verbundmaschine.

Verbund- oder Compoundmaschine. Wie vorstehend erklärt, wird durch zunehmenden Widerstand die Klemmenspannung bei Hauptstrommaschinen verkleinert, bei Nebenschlußmaschinen vergrößert. Erfolgt daher die Erregung des Magneten gleichzeitig durch den Hauptstrom und durch einen parallel zu demselben um die Magnetschenkel herumgeführten Nebenstrom (gemischte Schaltung), dann muß es ein Verhältniß zwischen Hauptstrom- und Nebenschlußerregung geben, bei welchem die genannten entgegengesetzten Wirkungen beider sich gegenseitig aufheben. Hierin besteht die Konstruktion der Verbund- oder Compound-Dynamomaschine. Bei dieser wird also bei zunehmendem äußeren Leitungswiderstand das magnetische Feld durch abnehmende Hauptstromstärke in gleichem Maße geschwächt, wie es durch zunehmende Nebenstromstärke verstärkt wird. Mit anderen Worten: Die Maschine bewahrt bei wechselnder Belastung selbst-

thätig konstante Klemmenspannung, vorausgesetzt konstante Umdrehungszahl der Maschine.

Wegen der konstanten Klemmenspannung ist die Stromstärke umgekehrt proportinal dem äußeren Leitungswiderstand. Dies entspricht dem praktischen Bedürfniß der Glühlichtanlagen an Bord, denn da alle Lampen parallel geschaltet sind, so nimmt der äußere Leitungswiderstand ab mit zunehmender Zahl der eingeschalteten Lampen. Zur genaueren Regulirung schaltet man aber auch bei Verbund-Dynamomaschinen in die Nebenschlußwickelung des Magneten einen Regulirwiderstand ein.

3. Art der an Bord verwendeten Stromerzeuger.

a) Allgemeines. Der elektrische Strom an Bord der Kriegsschiffe dient folgenden Zwecken: Betrieb der Glühlichtbeleuchtung, der Scheinwerfer, der elektrischen Kraftmaschinen oder Motoren und der elektrischen Signaleinrichtungen und Befehlsübertragungen. Für den Betrieb der Glühlichtbeleuchtung eignet sich sowohl Gleichstrom als auch Wechselstrom, denn für die Erwärmung des Kohlenfadens ist es gleichgültig, in welcher Richtung der Strom fließt. Für den Betrieb der Scheinwerfer eignet sich aber nur Gleichstrom, denn die positive Kohle des Scheinwerfer-Bogenlichts soll einen Lichtkrater bilden, von welchem die Strahlen kegelförmig in den Spiegel geworfen werden. Für den Betrieb elektrischer Motoren wiederum ist Drehstrom vortheilhafter, weil Drehstrommotoren im Allgemeinen keine Schleifbürsten und niemals einen Stromwender nöthig haben. Für elektrische Signale und Befehlsübertragung schließlich ist sowohl Gleichstrom als auch Wechsel- oder Drehstrom anwendbar, jedoch werden die meisten derartigen Apparate in ihrer Bauart einfacher, wenn sie durch Gleichstrom betrieben werden.

Da es hiernach keinen Stromerzeuger giebt, welcher gleichzeitig für alle Zwecke am geeignetsten ist, andererseits aber im Interesse der Einfachheit, der Betriebssicherheit und der größeren Stromreserve an Bord der Kriegsschiffe eine einheitliche Stromquelle gefordert werden muß, so verwendet man an Bord unserer Schiffe ausschließlich die für alle Zwecke verwendbare Gleichstrom-Dynamomaschine.

b) Arten der verwendeten Gleichstrom-Dynamomaschinen. Auf den neueren Schiffen sind eingebaut: Nach der Form des Ankers Ringanker- und Trommelankermaschinen, nach der Anordnung des Magnets Außen- und Innenpolmaschinen, nach der Zahl der Magnetpole zwei-, vier- und sechspolige Maschinen, nach der Art der Erregung des Magneten Nebenschluß- und Compoundmaschinen. Ueber Magnetwickelung, Stromstärke, Spannung, Effekt und Gewicht der verschiedenen an Bord unserer Schiffe hauptsächlich verwendeten Maschinen giebt folgende Tabelle Aufschluß:

Wickelung	Amp.	Volt	Watt	Gewicht kg	Watt pro kg
Verbund	75	65	4 875	640	7,6
=	150	65	9 750	1112	8,8
=	180	65	11 700	726	16
=	200	67	13 400	ca. 1200	11
=	220	65	14 300	—	—
=	220	110	24 200	—	—
=	300	67	20 100	—	—
=	350	65	22 750	1320	17
Nebenschluß . . .	360	67	24 120	1400	17
Verbund	370	67	24 790	1350	18
=	400	120	48 000	2600	18
Nebenschluß . . .	480	110	52 800	—	—
Verbund	550	110	60 500	ca 3000	20
=	650	110	71 500	3250	22
Nebenschluß . . .	810	74	60 000	2540	23
= . . .	1100	74	81 400	3130	26

Die kleinen Dynamomaschinen von etwa 1000 Watt (Torpedoboote) machen etwa 750, die kleineren Schiffsdynamomaschinen von etwa 10 000 Watt etwa 450 und die größeren Maschinen weniger Umdrehungen pro Minute.

4. Behandlung der Dynamomaschinen.

a) Arbeiten und Untersuchungen vor Inbetriebnahme. Die Betriebsdampfmaschine wird wie jede andere Hülfsdampfmaschine für den Betrieb hergerichtet. Die Untersuchung der Dynamomaschine bezieht sich hauptsächlich auf die Wellenlager, den Stromwender und die Bürsten. Die Wellenlager müssen so justirt sein, daß der Anker genau centrisch zwischen den Polschuhen liegt und sich mit dem Stromwender leicht drehen läßt. Der Stromwender muß genau rund laufen und an seiner Oberfläche absolut glatt und blank sein. Man läßt deshalb zweckmäßig vor dem Anstellen der Maschine den Stromwender unter Schmirgelleinwand so lange rundlaufen, bis er ganz eben und rein ist. Dabei benutzt man etwas Oel, damit kein Staub entsteht und in die Maschine dringt. Besonders nach längerer Betriebsunterbrechung ist ein Abschmirgeln nöthig, weil infolge von Feuchtigkeit häufig die Isolation zwischen den Lamellen hervortritt. Ist der Stromwender unrund, dann muß er mit einem Drehstahl oder mit einer möglichst unbeweglich angelegten Feile abgedreht werden, wobei vor Allem vermieden werden muß, daß durch Grat oder Spähne die Isolation zwischen den Lamellen unterbrochen wird, weil der Anker durch Kurzschluß in der Wickelung verdorben werden kann.

Die Bürsten müssen rein und trocken sein und an der ganzen Auflagerfläche anliegen, derart, daß sie höchstens zwei und mindestens eine Lamelle ganz berühren. Zusammengehörige Bürsten müssen mit ihren Spitzen genau in einer Linie liegen, und sämmtliche Bürsten müssen in axialer Richtung so gegeneinander versetzt sein, daß auf dem Stromwender keine unbenutzten Ringe entstehen. Die genaue Einstellung der Bürsten in peripherialer Richtung erfolgt beim Anstellen der Maschine.

Außer der vorstehenden Revision und Instandsetzung der Wellenlager, des Stromwenders und der Bürsten ist die ganze Dynamomaschine mit ihren Wickelungen vor dem Betrieb zu reinigen und namentlich von Metallstaub zu befreien, wozu man einen Blasebalg oder Pinsel benutzt. Zum Abwischen des Stromwenders benutzt man nicht Wischbaumwolle, sondern leinene oder baumwollene Lappen. Schließlich sind alle Kontaktstellen auf gute metallische Berührung und feste Verbindung, sowie die zugänglichen Isolationen auf gute Beschaffenheit zu untersuchen.

b) Anstellen und Betrieb. Man läßt zuerst bei abgehobenen Bürsten die Maschine laufen, bis sie die volle Umdrehungszahl erreicht und infolge des an der Betriebsmaschine angebrachten Regulators innehält. Bei nicht angestelltem Regulator regulirt man die Umdrehungszahl durch das Absperrventil. Eine konstante Umdrehungszahl der Betriebsmaschine ist die erste Vorbedingung für Innehaltung einer gleichmäßigen Spannung und daher namentlich für Glühlichtanlagen wichtig.

Man legt nun die Bürsten an und schaltet zunächst den kleinsten Stromkreis, die Raumlampen, ein. Sobald die Maschine die vorgeschriebene Umdrehungszahl macht, müssen die Kontrollampen gutes, weißes Licht geben und der Spannungsmesser die vorgeschriebene Spannung anzeigen. Der Regulirwiderstand der Nebenschlußwickelung wird zunächst ganz eingeschaltet und allmählich nach der Belastung der Maschine, d. h. nach dem Einschalten weiterer Stromkreise und mit zunehmender Erwärmung der Magnetspulen so weit ausgeschaltet, bis der Spannungsmesser richtig zeigt.

Man stellt nun den Bürstenträger so ein, daß das Feuer an den Bürsten möglichst verschwindet, denn durch Funkenbildung infolge falscher Einstellung wird der Stromwender am meisten abgenutzt. Bei der Einstellung darf man aber den Bürstenträger nicht zu weit in der Drehrichtung des Ankers vorstellen, d. h. die Voreilung der Bürsten darf nicht zu groß werden, weil dann zwar kein Feuer auftritt, aber auch der Strom schwach wird. Im Allgemeinen liegt die durch verschiedene Stromstärke bedingte Verstellung der Bürsten auf dem Umfang des Stromwenders bei den an Bord befindlichen Dynamomaschinen etwa zwischen 10 und 20 mm, wobei die Regel gilt, daß die Voreilung um so größer sein muß, je stärker der Strom ist. Die Voreilung der Bürsten ist bedingt durch die Verschiebung der neutralen Zone infolge Magnetisirung des Ankerkernes durch den herumfließenden Strom.

Beim Abstellen der Maschine verfährt man umgekehrt wie beim Anstellen. Man verringert also allmählich die Umdrehungszahl und hebt kurz vor dem Stillstand die Bürsten ab. Wird ein Dynamo ab- und ein anderer angestellt, wie an Bord nach 24stündigem Betriebe üblich, so wird zunächst der kleinste Stromkreis vom alten Dynamo auf den neuen umgeschaltet, und zu gleicher Zeit werden die Bürsten des letzteren angelegt. Dann werden hintereinander die anderen Stromkreise gewechselt. Entsprechend der ab- und zunehmenden Be-

lastung wird die Voreilung der Bürsten und der Dampfzutritt zur Betriebsmaschine beim alten Dynamo verringert, beim neuen vergrößert.

Während des Betriebes ist vor Allem darauf zu achten, daß die vorgeschriebene Spannung genau innegehalten und die größte Stromstärke nicht überschritten wird. Bei konstanter Umdrehungszahl bewirkt man die erforderlichen Spannungsänderungen bis etwa $1^1/_3$ Volt mit dem Regulirwiderstand, darüber hinaus muß man, wenn nöthig, die Umdrehungszahl ändern. Während des Betriebes muß der Stromwender stets eine glänzende, polirte Oberfläche zeigen. Deshalb überfährt man ihn alle zwei bis drei Stunden mit einem schwach ölbefeuchteten Lappen. Bei Kohlenbürsten fällt dieses Einfetten weg, weil diese Bürsten ein Schmiermittel enthalten. Bürsten aus Kupferdrahtgewebe werden wöchentlich ein- bis zweimal herausgenommen, in Benzin gewaschen und nach dem Trocknen an der Gleitfläche von etwaigem Grat befreit. Schließlich ist für einen sicheren Betrieb peinlichste Sauberkeit des Dynamomaschinenraumes erforderlich. Vor Allem sind bewegliche Gegenstände von Eisen oder Stahl von der Maschine fernzuhalten.

c) **Betriebsstörungen.** Dieselben beruhen entweder auf mangelhafter Isolirung der Anker- und Magnetspulen, wodurch Kurzschluß zwischen benachbarten Windungen oder zwischen Windung und Eisenkern (Eisenschluß) entstehen und die Isolirung verbrennen kann, oder auf mangelhaftem Kontakt zwischen zwei zusammengelötheten Spulen oder zwischen den einzelnen Ankerwindungen und den Lamellen des Stromwenders, wodurch eine Schwächung oder Unterbrechung des Stromes eintreten kann, oder auf schlechter Beschaffenheit oder unrichtiger Einstellung der Bürsten, wodurch starke Funkenbildung und Abnutzung des Stromwenders entsteht.

Außer diesen in der Maschine selbst liegenden Ursachen können Betriebsstörungen von außen her veranlaßt werden, und zwar entweder von der Betriebsmaschine aus durch ungleichmäßigen Gang, oder von der Leitung aus durch zu plötzliche Widerstandsänderungen. Letzteres tritt z. B. ein, wenn bei einer Hauptstrom- oder Verbundmaschine die Scheinwerferkohlen zusammenstoßen. Der Widerstand wird dann plötzlich sehr klein und demnach der Strom sehr stark, so daß die Dynamomaschine überlastet wird und die Ankerwickelung leidet. Bei Nebenschlußmaschinen fällt diese Gefahr fort, weil infolge des kleineren Widerstandes im Hauptstromkreis der Nebenstrom und somit das magnetische Feld stark geschwächt wird. Bemerkt man einen Fehler in den Isolationen und Kontakten der Dynamomaschine, so ist dieser möglichst sofort abzustellen.

d) **Instandhaltung außer Betrieb.** Bei längerer Betriebsunterbrechung ist eine Dynamomaschine, wie jede andere Maschine, vor Allem rein zu halten, wobei besondere Sorgfalt auf die Wellenlager und den Stromwender zu verwenden ist. Anker- und Magnetwickelung sind gegen Nässe, Fett und Staub zu schützen. Die Bürsten sind herauszunehmen, zu reinigen und trocken aufzubewahren. Der Stromwender ist, wenn er rauh oder ungleichmäßig abgenutzt ist, abzudrehen oder abzuschmirgeln und mit trockenen Lappen zu umwickeln.

C. Glühlichtbeleuchtung auf Kriegsschiffen.

1. Glühlampen.

a) Wirkungsweise und Bauart. Das Leuchten der Glühlampen beruht auf der starken Erwärmung eines in eine luftleere Glasbirne eingeschlossenen Kohlenfadens durch den elektrischen Strom. Man wählt einen Kohlenfaden, weil dieser nicht schmilzt, und man pumpt die Glasbirne luftleer, damit er nicht verbrennt. Bei einem bestimmten Spannungsunterschied ist die Erwärmung eines Leiters um so größer, je größer der Widerstand, d. h. je kleiner der Querschnitt und je größer die Länge. Der konstante Widerstand des Kohlenfadens der Glühlampen muß demnach so bemessen sein, daß er bei der an Bord vorhandenen Spannung gerade die richtige Weißgluth erzeugt. Da hiernach jede Glühlampe für eine bestimmte Spannung hergestellt ist, so ist erste Bedingung für ein gutes Leuchten der Lampen die genaue Innehaltung der richtigen Spannung. Ist dieselbe um nur wenige Volt zu niedrig, so verliert die Lampe stark an Leuchtkraft. Wird die Spannung zu hoch, so wird der Kohlenfaden zu stark beansprucht und die Lampe verliert an Lebensdauer. Die neueren Glühlampen sind gewöhnlich für etwa 100 bis 110 Volt Spannung gebaut.

Als Rohstoff zur Herstellung des Kohlenfadens dienen gewisse Pflanzenstoffe, wie Baumwolle, Cellulose und Lumpen, welche zu einer breiigen Masse verarbeitet werden. Hieraus werden Fäden von möglichst gleichförmigem Querschnitt hergestellt, in Kohlenpulver gebettet und in Retorten unter Luftabschluß bei etwa 2000° C. verkohlt. Die Enden des einfach oder schleifenförmig gebogenen Kohlenfadens sind an dünnen Platindrähten befestigt, welche im Glase eingeschmolzen und mit den am Lampenfuß sitzenden Kontakten verbunden sind. Die Glühlampen werden mit dem Fuß in die in die Leitung eingeschalteten Lampenfassungen derart eingesetzt, daß eine Verbindung zwischen Leitungsdraht und Lampenkontakten entsteht.

Ist die Luftleere in der Glasbirne unvollkommen, dann vermindert sich die Lebensdauer der Lampe erheblich, d. h. der Kohlenfaden verbrennt bald. Bei guter Luftleere besteht die Abnutzung des Kohlenfadens in allmählicher Zerstäubung. Die Lebensdauer einer Lampe beträgt bei sachgemäßem Betriebe etwa 800 bis 1000 Brennstunden, kann aber dadurch verlängert werden, daß man nach der halben Brenndauer die Lampe umgekehrt einsetzt, so daß der Strom in entgegengesetzter Richtung durchgeht. Der Nutzen dieser Maßnahme erklärt sich dadurch, daß beim Brennen nur das positive Ende des Kohlenfadens sich abnutzt. Beim Einsetzen und Herausnehmen muß man die Lampen stets am Fuß nicht an der Glasbirne anfassen. Das Einsetzen und Herausnehmen der Lampen darf nur bei abgestelltem Strom erfolgen, weshalb jede Lampe einen besonderen Ausschalter besitzt.

b) Leuchtkraft und Strombedarf. Die Leuchtkraft der Lampen bemißt man nach Normalkerzen. Die an Bord unserer Kriegsschiffe gebräuchlichen

Lampen haben eine Lichtstärke von 10, 16, 25 und 50 N.K. Auf der Birne jeder Lampe ist Spannung und Lichtstärke vermerkt. Da jede Lampe für eine bestimmte Spannung hergestellt und der Widerstand der Lampe konstant ist, so verbraucht jede Lampe auch eine bestimmte Strommenge und eine bestimmte Arbeit pro Zeiteinheit (Amp. Volt oder Watt). Man rechnet in der Praxis 3,5 Watt oder $^1/_{201}$ HP. pro N.K., also z. B. bei 110 Volt Spannung $^{3,5}/_{110} = 0{,}0318$ Amp. Die 16 kerzigen Lampen, welche am meisten an Bord verwendet sind, gebrauchen also $16 \cdot 3{,}5 = 56$ Watt und bei 110 Volt Spannung $^{56}/_{110}$ = etwa $^1/_2$ Amp.

c) Schaltung der Glühlampen. Glühlampen können ebenso wie Elemente oder Dynamomaschinen parallel oder hintereinander geschaltet sein. Sind x Lampen vorhanden, dann ist bei ersterer Schaltung die Gesammtstromstärke = x · Lampenstromstärke, bei letzterer die Gesammtspannung = x · Lampenspannung, denn der Widerstand ist bei Parallelschaltung umgekehrt, bei Hintereinanderschaltung direkt proportional der Zahl der Lampen. An Bord haben wir Parallelschaltung. Hintereinanderschaltung wird nicht angewendet, einerseits, weil im Falle des Erlöschens einer Lampe auch alle anderen in demselben Stromkreise liegenden Lampen erlöschen, andererseits, weil durch die Summirung der Widerstände eine zu hohe Gesammtspannung erforderlich wird.

Bei Parallelschaltung erhalten alle Lampen annähernd die gleiche Spannung, wenn der Leitungswiderstand des Hauptstromkreises sehr klein, d. h. der Drahtquerschnitt genügend groß ist. Eine gewisse Spannungsabnahme im äußeren Leitungskreis ist jedoch unvermeidlich, weshalb man Lampen, bei denen der Kohlenfaden etwas schwächer ausgefallen ist, für welche also geringere Spannung genügt, zweckmäßig an den Enden des Stromkreises einschaltet.

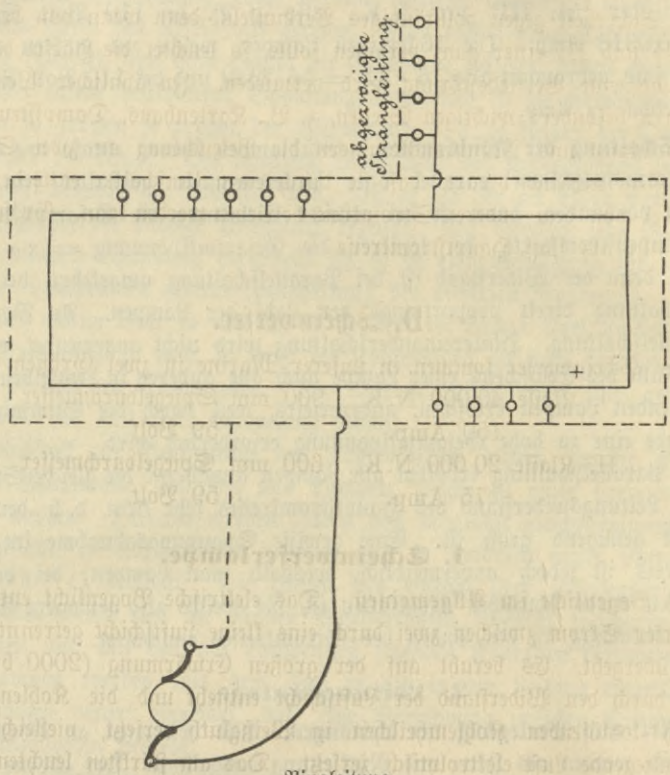
2. Leitungsanlage.

a) Art und Verlegung der Leitungen. Alle Leitungen an Bord unserer Kriegsschiffe werden als Hin- und Rückleitung ausgeführt. Der eiserne Schiffskörper wird also nicht als Rückleitung benutzt. Jeder Hauptstromkreis wird als Ringleitung ausgeführt, d. h. die von der Dynamomaschine kommenden Hauptkabel, sowohl das positive wie das negative, endigen in je einem geschlossenen Ringe. Zwischen den beiden dicht nebeneinander herlaufenden Ringen sind die Lampen eingeschaltet. Eine solche Ringleitung bildet also an jeder Seite der Lampe einen geschlossenen Stromkreis, und bei einer gewaltsamen Zerstörung der Ringleitung verlöschen nur die direkt durch die Zerstörung betroffenen Lampen, aber nicht die anderen Lampen des Stromkreises. Stellenweise schaltet man anstatt einzelner Lampen auch Lampengruppen in den Stromkreis ein. In solcher Gruppenabzweigung sind die Lampen ebenso wie im Hauptstromkreis parallel geschaltet. Bei Zerstörung der Abzweigung verlischt natürlich die ganze Gruppe, da man hier der Einfachheit halber keine Ringleitung anwendet.

Der Kupferquerschnitt der Leitung richtet sich nach der Stromstärke und wird bei Ringleitungen an jeder Seite der Lampen auf $^1/_3$, bei Lampen-

abzweigungen auf $^1/_2$ qmm pro Amp. bemessen. Eine größere Belastung der Leitung würde eine große Erwärmung und zu großen Spannungsverlust verursachen, so daß die Lampen am Ende der Leitung nur wenig Licht entwickeln, obwohl an der Maschine die normale Klemmenspannung herrscht.

Fig. 116.



Ringleitung.

Die Lampenabzweigungen sind entweder fest oder transportable Kabel (bei Handlampen, Stehleuchtern u. s. w.). In letzterem Falle werden sie mittelst Kontaktstöpsel und Anschlußdose mit der Stromkreisleitung verbunden. Die festen Leitungen für Glühlicht sind auf älteren Schiffen in Holzleisten oder Röhren, auf neueren frei verlegt. Letztere Methode hat den Vorzug, daß die Kabel leichter revidirt und gegen Zerstörung ihrer Isolation durch dauernde Feuchtigkeit sicher geschützt werden können, erfordert aber eine stärkere Umspinnung der Kabel. Auf unseren Kriegsschiffen sind die positiven Leitungen durch ausgezogene, die negativen durch punktirte Pfeile kenntlich gemacht. Die römischen Zahlen in der Nähe der Pfeile bedeuten die Stromkreise, die arabischen die Querschnitte der Leitungen.

b) Stromkreise. Die gesammte Glühlichtanlage besteht im Allgemeinen aus mindestens fünf Stromkreisen, welche durch verschiedenen Farbenanstrich

kenntlich gemacht sind, und zwar: I. Vorderschiff (blau), II. Maschinen- und Kesselräume, erste Hälfte der Lampen (roth), III. desgl. zweite Hälfte der Lampen (gelb), IV. Hinterschiff (braun), V. Oberdeck, einschließlich Positionslaternen, Nachtsignalapparat, Oberdecksarbeitslampe u. s. w. (grün). Die Vertheilung der Maschinen- und Kesselraumbeleuchtung auf zwei Stromkreise bezweckt eine größere Sicherheit gegen vollständiges Verdunkeln, denn wenn von den Stromkreisen II und III einer ganz versagen sollte, so leuchtet die Hälfte der Lampen weiter und eine Betriebsstörung wird vermieden. In ähnlicher Weise ist auch an anderen besonders wichtigen Stellen, z. B. Kartenhaus, Dampfsteuerapparat, Torpedoräumen und Munitionskammern die Beleuchtung an zwei Stromkreise angeschlossen, nämlich derart, daß sie durch einen Umschalter entweder von dem einen oder von dem anderen Stromkreis betrieben werden kann. Größere Schiffe haben mehr als fünf Hauptstromkreise.

D. Scheinwerfer.

Die Scheinwerfer kommen in unserer Marine in zwei Größen vor:

I. Klasse	40 000 N. K.	900 mm	Spiegeldurchmesser
	150 Amp.	59 Volt	
II. Klasse	20 000 N. K.	600 mm	Spiegeldurchmesser
	75 Amp.	59 Volt.	

1. Scheinwerferlampe.

a) Bogenlicht im Allgemeinen. Das elektrische Bogenlicht entsteht, wenn ein starker Strom zwischen zwei durch eine kleine Luftschicht getrennten Kohlenspitzen übergeht. Es beruht auf der großen Erwärmung (2000 bis 4000°), welche durch den Widerstand der Luftschicht entsteht und die Kohlenspitzen und die sich loslösenden Kohlentheilchen in Weißgluth versetzt, vielleicht auch die zwischenliegende Luft elektrolytisch zersetzt. Das am stärksten leuchtende ist aber nicht die Flammenbildung zwischen den Kohlen, sondern die Weißgluth der Kohlenspitzen selbst. Die Kohlenspitzen brennen allmählich ab, theils dadurch, daß durch die kolossale Hitze Kohlentheilchen direkt vergasen, theils dadurch, daß kleine glühende Kohlenkörperchen von einer Kohlenspitze zur anderen übergehen, oder sich seitlich in die Luft zerstreuen. Dabei ist die Abnutzung der positiven Kohle erheblich stärker als die der negativen. Wenn daher längere Zeit hindurch Bogenlicht durch Gleichstrom erzeugt wird, d. h. die Kohlen ihre Polarität unverändert beibehalten, dann höhlt sich die positive Kohle infolge des rapiden Abreißens der Kohlentheilchen aus und bildet einen weißglühenden Krater, während die negative Kohle sich zuspitzt. Man macht deshalb bei Gleichstrom die positive Kohle etwa doppelt so stark wie die negative.

Bei Wechselstrom ist die Abnutzung beider Kohlen natürlich gleichmäßig. An und für sich kann das Bogenlicht, da es auf Erwärmung beruht, in gleicher Weise von Wechsel- und Gleichstrom erzeugt werden, jedoch ist die Vertheilung

des Lichtes im Raum bei beiden Methoden eine verschiedene. Bei Wechselstrom gehen die Hauptlichtstrahlen senkrecht zur Achse der Kohlen, bei Gleichstrom gehen sie vom Krater der positiven Kohle aus kegelförmig nach der negativen Kohle hin. Bei Scheinwerfern soll das Licht in einem möglichst spitzen Kegel in einen Hohlspiegel fallen, von welchem es nach außen zurückgeworfen wird. Daraus folgt, daß für Scheinwerfer nur Gleichstrom geeignet ist, und daß die Achse der Kohlen mit der optischen Achse des Hohlspiegels zusammenfallen muß.

Die Helligkeit und Gleichmäßigkeit des elektrischen Bogenlichtes hängt ab von der Stärke des Stromes und von der Länge des Lichtbogens. Beide müssen in passendem Verhältniß zu einander stehen. Ist die Entfernung der Kohlenspitzen zu klein, dann wird auch der Widerstand zu klein und die Helligkeit sinkt. Ist die Entfernung zu groß, dann brennt das Licht unruhig oder geht aus. Alle Bogenlampen bedürfen deshalb einer genauen Regulirung, welche die Kohlenspitzen entsprechend dem Abbrand nachstellt, so daß ihre Entfernung voneinander immer die gleiche bleibt. Bei Scheinwerfern tritt als besondere Forderung hinzu, daß die Lichtquelle stets denselben Platz behält im Verhältniß zum Spiegel. Die Regulirung der Bogenlampen erfolgt selbstthätig, d. h. durch den elektrischen Strom, und zwar entweder durch den Hauptstrom oder durch eine abgezweigte Nebenschlußleitung oder durch beide gleichzeitig. Hiernach bezeichnet man die Bogenlampen als Hauptstrom-, Nebenschluß- und Differentiallampen. Bei allen drei Arten wird die durch das Abbrennen der Kohlen verursachte Schwächung des Stromes dazu benutzt, um die Kohlen immer wieder auf die richtige Entfernung zu stellen.

b) Scheinwerferlampe von Schuckert. Dieselbe ist eine horizontale Nebenschlußlampe und sowohl für selbstthätige als auch für Regulirung von Hand eingerichtet. Jede Regulirungsart kann sowohl vor dem Brennen eingestellt als auch während des Brennens auf die andere umgestellt werden. Die selbstthätige Regulirung besteht im Wesentlichen aus zwei Magnetsystemen (Elektromagneten), von welchen das eine beim Anstellen der Lampe die sich berührenden Kohlen auf richtige Entfernung auseinanderzieht und so den Lichtbogen herstellt und deshalb Bogenbildner heißt, das andere während des Betriebes die Kohlen entsprechend dem Abbrand nachstellt und deshalb Nachschubmagnet heißt.

Der im Hauptstrom liegende Bogenbildner erzeugt nur einmal, nämlich beim Anstellen der Lampe, eine Bewegung, und der Anker des Bogenbildners bleibt so lange fest an den Magneten angezogen, wie der Hauptstrom fließt, während der im Nebenschluß liegende Nachschubmagnet in kurzen Unterbrechungen wirkt, entsprechend den durch Abbrand erzeugten Widerstandsänderungen. Die Nebenschlußleitung erhält um so mehr Strom, d. h. der Nachschubmagnet wird um so stärker erregt, je größer der Widerstand im Hauptstrom wird. Die intermittirende Arbeit des Nachschubmagneten beruht darauf, daß je nach dem wechselnden Widerstand zwischen den Kohlen abwechselnd der Magnetismus des Nachschubmagneten und die Federkraft der den Nachschubanker festhaltenden Spiralfedern überwiegt.

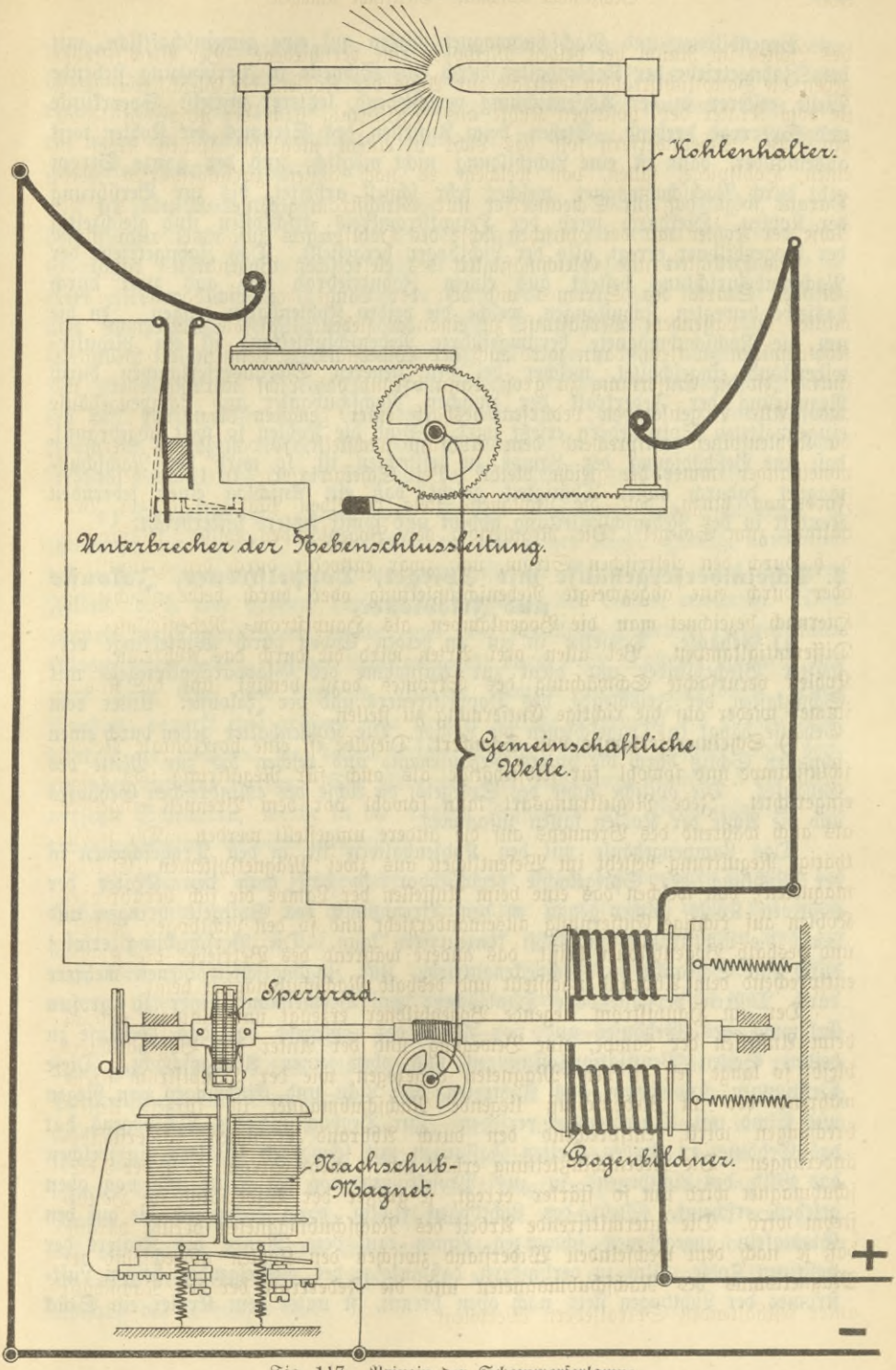


Fig. 117. Prinzip der Scheinwerferlampe.

Bogenbildner und Nachschubmagnet wirken auf eine gemeinschaftliche, mit dem Zahngetriebe der Kohlenhalter durch eine Schnecke in Verbindung stehende Welle, ersterer in der Achsenrichtung verschiebend, letzterer mittelst Sperrklinke und Sperrrad drehend. Stehen beim Anstellen des Stromes die Kohlen weit auseinander, dann ist eine Lichtbildung nicht möglich, und der ganze Strom geht durch Nachschubmagnet, welcher sehr schnell arbeitet, bis zur Berührung der Kohlen. Hierdurch wird der Hauptstromkreis geschlossen und gleichzeitig der Bogenbildner erregt, also der Lichtbogen hergestellt. Das Zahngetriebe der Nachschubeinrichtung besteht aus einem Zahntriebrad und aus zwei durch dasselbe bewegten Zahnstangen, welche die beiden Kohlenhalter tragen. In die um die Nachschubmagnete herumgeführte Nebenschlußleitung ist ein Regulirwiderstand eingeschaltet, welcher bei den neueren Scheinwerferlampen durch Regulirung der Federkraft der zwischen Nachschubanker und Lampengehäuse eingeschalteten Spiralfedern ersetzt wird. Sind die Kohlen so weit abgebrannt, daß eine Beschädigung der Lampe zu befürchten ist, so wird der Nachschubmagnet dadurch außer Thätigkeit gesetzt, daß ein Anschlag einen federnden Kontakt in der Nebenschlußleitung abhebt und somit letztere unterbricht.

2. Scheinwerfergehäuse mit Spiegel, Doppelstreuer, Jalousie und Irisblende.

a) Gehäuse. Dasselbe ist ein an beiden Enden durch Winkelringe versteifter Blechcylinder und dient zur Aufnahme des Glasparabolspiegels mit Schutzkasten, der Irisblende, des Doppelstreuers und der Jalousie. Unter dem Gehäuse hängt in Trageschienen die Lampe. Die Kohlenhalter gehen durch einen schmalen Schlitz durch die untere Gehäusewand und reichen bis zur Mitte des Gehäuses. Die optische Achse des Spiegels, die Achse des cylindrischen Gehäuses und die Achse der Kohlen fallen zusammen.

Das Lampengehäuse mit den Kohlenhaltern ist in den Trageschienen in der Richtung der Spiegelachse verschiebbar, so daß man den Krater der positiven Kohle immer genau in den Brennpunkt des Spiegels bringen und somit die Lichtstrahlen möglichst konzentriren kann. Die Verschiebung erfolgt durch eine Schraube mit Schneckenantrieb. Zur Zugänglichkeit dienen mehrere durch Thüren verschließbare Handlöcher; zur Vermeidung einer zu großen Erhitzung des Gehäuses und vor Allem des Spiegels hat das Gehäuse zu beiden Seiten Ventilationsöffnungen und oben einen Abzugsschacht. Diese Oeffnungen sind gegen das Austreten von Licht und Eindringen von Regen und Wind mit Querblenden versehen. Zur Beobachtung des Lichtbogens hat das Gehäuse an beiden Seiten Fassungen mit schwarzen Gläsern, in welchen das Bild des Lichtbogens in zwei Projektionen, von der Seite und von oben gesehen, erscheint. Steht der Lichtbogen richtig, dann decken sich die auf den Glastafeln angegebenen schwarzen Linien mit dem Rande des Kraters der positiven Kohle. Um zu verhindern, daß infolge des aufsteigenden heißen Luftstromes der Lichtbogen stets nach oben brennt, ist unter dem Krater ein Stück

weiches Eisen (Centrirmagnet) angebracht. Das ganze Gehäuse ist um eine horizontale Achse drehbar aufgehängt und hat zu dem Zweck an jeder Seite einen starken Schildzapfen. Zur Drehung des Gehäuses um diese Achse dient ein unten am Gehäuse befestigter Zahnbogen, in welchen ein auf dem Drehtisch gelagertes Zahnrad eingreift.

b) Glasparabolspiegel. Derselbe ist auf beiden Seiten geschliffen, überall von gleicher Dicke und hinten mit Silber belegt und mit einem schützenden Lack überzogen. Mit seinem Rande liegt er unter Zwischenlage von Asbestpappe in einer eisernen Fassung, in welcher er durch eine große Zahl federnder Winkel aus Messingblech festgehalten wird. Die Spiegelfassung wird auf Stiftschrauben, welche im hinteren Gehäusering fest eingesetzt sind, aufgeschoben und mit Messingmuttern festgehalten. Zum Schutze der hinteren Spiegelfläche dient ein mit Lüftungsöffnungen versehener Blechkasten. Infolge der parabolischen Form des Spiegels werden alle vom Brennpunkt in denselben fallenden Lichtstrahlen parallel und in der Richtung der Spiegelachse zurückgeworfen.

c) Doppelstreuer. Das vom Spiegel zurückgeworfene Lichtbündel ist theoretisch ein Cylinder, in Wirklichkeit ein sehr spitzer Kegel. Häufig, namentlich bei näher liegenden Beobachtungszonen, ist die Beleuchtung eines breiteren Feldes, d. h. eine größere horizontale Streuung des Lichtes, erwünscht. Dies bewirkt der Doppelstreuer, welcher aus zwei parallelen Systemen von vertikalen Glasprismen besteht. Jeder Lichtstrahl geht durch beide Systeme hindurch und wird beim Ein- und Austritt, also im Ganzen viermal gebrochen. Diese Brechung bewirkt eine größere oder kleinere seitliche Streuung des ganzen Lichtbündels, je nachdem die beiden Prismensysteme einander genähert oder voneinander entfernt werden. Die Näherung oder Entfernung bewirken 3 um 120° versetzte Schrauben, welche in die runden Fassungen der Prismensysteme mit entgegengesetztem Gewinde eingreifen.

d) Jalousie oder Zeichengeber. Dieselbe bildet den vorderen Abschluß des Gehäuses und besteht aus vertikalen, drehbaren Blechstreifen, welche mit einem gemeinschaftlichen Griff auf „zu" und „auf" gestellt werden können und auf diese Weise Lichtblicke geben. Bei geöffneter Jalousie stehen die Blechstreifen vor den Zwischenräumen der Glasprismen, nehmen also kein Licht weg.

e) Irisblende. Dieselbe ist eine neuere Konstruktion von Schuckert und dient zur absolut dichten Abblendung des Scheinwerfers. Sie liegt zwischen Parabolspiegel und Doppelstreuer und besteht aus einem System von sichelartig geformten, dünnen Blechen, welche fächerförmig übereinander liegen und je nach ihrer Stellung das Gehäuse lichtdicht abschließen oder offen lassen. In geöffneter Stellung liegen die Bleche in einer ringförmigen Erweiterung des Gehäuses. Die gemeinschaftliche Verschiebung aller Bleche wird dadurch ermöglicht, daß die letzteren mit einem Ende am Umfang des Gehäuses, mit dem anderen an einem drehbaren Ring befestigt sind, welcher in einem Stahlkugelkranz am Umfang des Gehäuses läuft.

3. Drehtisch und Untersatz.

a) **Drehtisch.** Der gußeiserne runde Drehtisch trägt mit zwei aufgeschraubten bronzenen Armen das Scheinwerfergehäuse an den Schildzapfen und dient zur Drehung des Scheinwerfers um seine Vertikalachse. Er ruht mit seiner unteren Fläche auf einem in einer Rille des Untersatzes liegenden Stahlkugelkranz und wird durch einen zweiten Stahlkugelkranz gegen den Untersatz centrirt, so daß ein Mittelzapfen entbehrlich ist. Auf dem Drehtisch befinden sich die Handräder für Vertikal- und Horizontaldrehung des Gehäuses und die Kuppelungen, welche sowohl freie Bewegung von Hand, als auch Feinstellung von Hand mit Hülfe der erwähnten Handräder, als auch elektromotorische Bewegung gestatten. Zur Drehung um die Horizontalachse dient der früher erwähnte Zahnbogen am Gehäuse, zur Drehung um die Vertikalachse ein im Innern des Drehtisches angebrachtes Zahnrad und Zahnkranz, letzterer fest am Untersatz. Im Drehtisch befinden sich ferner die Schleifbürsten, welche den Strom für die Lampe den beiden im Untersatz befestigten konzentrischen Schleifringen entnehmen.

b) **Untersatz.** Derselbe enthält die beiden erwähnten Stahlkugelkränze zum Tragen und Centriren des Drehtisches und die Elektromotoren für die Bewegung des Gehäuses. Er ist an Bord fest montirt oder bei den ausfahrbaren Scheinwerfern fahrbar.

4. Elektromotorische Bewegung des Scheinwerfergehäuses.

a) **Elektromotoren.** Die beiden im Untersatz fest montirten Gleichstrommotoren sind für Rechts- und Linkslauf eingerichtet und übertragen ihre Drehung mittelst Schnecke, Schneckenrad, Kettenrad und Gallescher Kette auf die Zahngetriebe für Horizontal- und Vertikaldrehung.

b) **Kontaktgeber und Leitung.** Der entfernt vom Scheinwerfer, z. B. auf der Kommandobrücke aufgestellte Kontaktgeber dient dazu, in die beiden Motoren für Horizontal- und Vertikaldrehung elektrischen Strom zu leiten, und zwar nach Bedarf in verschiedener Stärke und in der einen oder anderen Richtung. Dies wird erreicht durch eine Anzahl Kontakte, welche mit einem Kontakthebel in Verbindung gebracht werden und dadurch entweder mehr oder weniger Widerstände in den zu den Motoren fließenden Strom einschalten oder die Stromrichtung umkehren. Das Kabel vom Kontaktgeber zum Scheinwerfer enthält sechs isolirte Drähte, nämlich Hin- und Rückleitung für den Anker des Horizontalmotors, Hin- und Rückleitung für den Anker des Vertikalmotors, gemeinschaftliche Hin- und gemeinschaftliche Rückleitung für die Erregung der Magnete beider Motoren.

5. Zahl, Größe und Aufstellung der Scheinwerfer.

a) **Zahl und Größe.** Dieselben richten sich nach der Größe des Schiffes. Die kleinsten Schiffe, z. B. die Kanonenboote der „Iltis"-Klasse, haben einen Scheinwerfer II. Klasse, die neueren Linienschiffe und großen Kreuzer erhalten 4 bis

5 Scheinwerfer I. Klasse. Der Effektbedarf, an der Dynamomaschine gemessen, beträgt bei einem Scheinwerfer II. Klasse etwa 4875, bei einem Scheinwerfer I. Klasse etwa 10 000 Watt.

b) Aufstellung. Die Scheinwerfer sind entweder an Deck oder in den Marsen, oder unter Deck, im letzteren Falle ausfahrbar, aufgestellt. Letztere Anordnung findet sich vorzugsweise auf neueren Schiffen und hat den Vortheil, daß sie durch den blendenden Schein dicht über Wasser die Schätzung der Entfernung von einem angreifenden Torpedoboot aus sehr erschwert, dagegen den Nachtheil, daß bei etwas bewegter See der Scheinwerfer durch Wasser gefährdet oder sein Betrieb unmöglich wird.

E. Elektrische Kraftübertragung.

1. Elektromotoren.

a) Wirkungsweise im Allgemeinen. Das Prinzip der Elektromotoren ist unter A. 3. erklärt. Man bezeichnet hiernach eine Dynamomaschine als Generator (Primärmaschine) oder als Motor (Sekundärmaschine), je nachdem sie mechanische Arbeit in elektrische umsetzt oder umgekehrt. Bei der Verwendung als Motor ist aber bei gleicher Klemmenspannung die Umdrehungszahl niedriger als bei der Verwendung als Generator, denn im letzteren Falle entspricht die Größe der magnetischen Kräfte zwischen Anker und Magnet der Stärke und Spannung des erzeugten Stromes, im ersteren Falle aber muß der hineingeschickte Strom nicht nur die magnetische Wirkung, sondern auch die Leerlaufarbeit des Motors (Reibung in den Lagern und Wärme in der Wickelung) erzeugen. Bei einem Vergleich des in den Motor hineingeschickten Stromes mit der geleisteten mechanischen Arbeit ist ferner zu bedenken, daß durch die Drehung des Motors in den Ankerwindungen ein Strom induzirt wird, welcher dem hineingeschickten Strom entgegenfließt, ihn also schwächt. (Gegenstrom.) Der nach Klemmenspannung und Stromstärke eines Motors berechnete elektrische Effekt entspricht also der Differenz zwischen dem hineingeschickten Strom und dem Gegenstrom, und von der hineingeschickten elektrischen Arbeit wird nur der Theil als Nutzarbeit nach außen abgegeben, welcher nach Abzug der Leerlauf- und Gegenstromarbeit übrig bleibt. Die Bürsten, welche bei einem Generator mit Voreilung eingestellt sein müssen, erhalten bei einem Motor Nacheilung, weil hier die resultirende neutrale Zone sich in entgegengesetztem Sinne verschiebt.

Es bleibt hier noch zu erwähnen, daß sowohl Gleichstrom als auch Wechselstrom zum Treiben eines Motors sich eignet. Da wir aber auf unseren Kriegsschiffen keine Wechselstrom- oder Drehstromgeneratoren haben, so haben wir auch keine Wechselstrom- oder Drehstrommotoren. Es wird deshalb hier auf diese nicht eingegangen.

b) Wirkungsweise und Bauart der Gleichstrommotoren. Nach dem allgemeinen Prinzip der Elektromotoren kann jeder Gleichstromgenerator auch als Motor verwendet werden, und thatsächlich stimmen die Bauarten bei beiden

Verwendungen im Allgemeinen überein. Es giebt demnach entsprechend den Generatoren nach der Art der Magneterregung Hauptstrom-, Nebenschluß- und Verbundmotoren. Die letzteren werden selten verwendet. An Bord hat man nur Hauptstrom- und Nebenschlußmotoren.

Hauptstrommotoren (Reihenschlußmotoren) entwickeln bei langsamem Angehen eine große Zugkraft und laufen, von einem Strom mit konstanter Spannung gespeist, um so schneller, je kleiner die Belastung, denn je kleiner die Belastung oder der Widerstand, desto stärker wird der Strom und die Erregung des Magneten. Bei Leerlauf gehen die Hauptstrommotoren durch. Sie eignen sich daher wohl für elektrische Straßenbahnen, wo ein Leerlauf ausgeschlossen ist, als Ankerlichtmaschinen und dergl., aber nicht zum Betriebe von Maschinen, bei welchen es auf gleichmäßige Umdrehungszahl ankommt. Ein Anschluß der Hauptstrommotoren an Leitungen mit konstanter Spannung, z. B. an einen Lichtstromkreis an Bord, ist nach Vorstehendem nur angängig, wenn die Motoren stets unter gleicher Belastung laufen.

Nebenschlußmotoren liefern, von einem Strom mit konstanter Spannung gespeist, bei verschiedener Belastung eine fast gleichbleibende Geschwindigkeit., weil die Wirkung der zunehmenden Belastung durch die Verstärkung des magnetischen Feldes ungefähr ausgeglichen wird. Die Nebenschlußmotoren eignen sich daher besonders für Maschinen, bei welchen es auf gleichmäßige Umdrehungszahl ankommt, also für die meisten Schiffshülfsmaschinen.

c) Anlassen, Reguliren und Umsteuern der Gleichstrommotoren. Das Anlassen der Gleichstrommotoren besteht in dem Einlassen von Strom in die Ankerwickelung und wird bewirkt durch Anlaßwiderstände. Dieselben bestehen aus einer Anzahl von Widerständen, welche durch Umlegen des Anlaßhebels hintereinander ein- oder ausgeschaltet werden. Auf diese Weise erfolgt beim An- und Abstellen die Zu- und Abnahme des Stromes allmählich, und dies ist nothwendig, weil durch plötzliches Einlassen des ganzen Stromes in den stillstehenden Anker die Isolation der Ankerwickelung verbrennen würde. Ist der Anker in Bewegung, dann kann die Erwärmung nicht mehr in einer die Wickelung gefährdenden Weise anwachsen. In ihrer Wirkungsweise sind die Anlaßwiderstände ähnlich den Dampfzulaßventilen, welche bei langsamem Oeffnen ebenfalls allmählich das der Maschine zuströmende Dampfquantum vergrößern. Bei Nebenschlußmotoren wird durch den Anlaßwiderstand zuerst die Magnetentwickelung eingeschaltet und das magnetische Feld erregt. Hierauf erst erfolgt das allmähliche Einschalten der Ankerwickelung.

Das Reguliren der Umdrehungszahl der Gleichstrommotoren besteht in dem Ein- oder Ausschalten von Widerständen in den Hauptstromkreis oder in die Nebenschlußwickelung der Magnetschenkel. Letztere Methode ist besser und bei Nebenschlußmotoren allgemein üblich. Der zur Regulirung der Geschwindigkeit verwendete Regulirwiderstand ist in der Regel mit dem als Anlaßwiderstand dienenden zu einem Apparat vereinigt. Wie man den Anlaßwiderstand mit

dem Hauptabsperrventil einer Dampfmaschine, so kann man den Regulirwiderstand mit der Expansionssteuerung vergleichen.

Das Umsteuern der Gleichstrommotoren besteht in der Umkehrung der Stromrichtung entweder in der Anker- oder in der Magnetwickelung. Die gleichzeitige Umkehrung beider Ströme würde nichts ändern. Bei den Motoren, welche einer Umsteuerung bedürfen (Kohlenwinden, Geschützschwenkwerke u. s. w.), ist der Anlaßwiderstand als Umkehranlaßwiderstand ausgebildet, welcher, wie ein gewöhnlicher Anlaßwiderstand, beim An- und Abstellen allmählich die Stromzufuhr zum Motor vergrößert und verkleinert und außerdem eine Umkehrung der Stromrichtung ermöglicht, je nachdem man den Hebel nach rechts oder links legt. Stellenweise erfolgt das Umkehren des Ankerstromes auch direkt durch Umlegen der Bürsten, indem die Vorwärtsbürsten abgehoben und die Rückwärtsbürsten angelegt werden. Es sind also in diesem Falle zwei Satz Bürsten vorhanden, von welchen immer nur eine in Gebrauch ist. Der Strom wird zuerst so weit geschwächt, daß beim Abheben der Bürsten keine Funken entstehen. Darauf wird nach Anlegen der anderen Bürsten der Strom allmählich verstärkt. Die Umsteuerung der Elektromotoren durch Aenderung der Stromrichtung entspricht der Umsteuerung der Dampfmaschinen durch Vertauschung der Dampfwege.

2. Uebertragung vom Motor auf den zu treibenden Theil.

a) Allgemeines. Im Prinzip ist die Uebertragung von der Motorwelle auf den zu treibenden Theil (Ventilatorrad, Windetrommel, Zahntrieb u. s. w.) ebenso wie die Uebertragung von der Maschinenwelle einer Betriebsdampfmaschine, jedoch ist häufig ein größeres Uebersetzungsverhältniß vom Schnellen ins Langsame nöthig, weil die Umdrehungszahl der Elektromotoren durchschnittlich größer ist als diejenige gleich leistungsfähiger Dampfmaschinen.

b) Uebertragung bei den einzelnen Hülfsmaschinen. Bei den elektrischen Ventilatoren ist die Ventilatorachse mit der Motorachse direkt gekuppelt. Die Motoren sind wegen ihrer Kleinheit meist nur zweipolig und haben, da sie nur in einer Richtung laufen und da es auf genaue Umdrehungszahl nicht ankommt, nur einen einfachen Anlaßwiderstand, welcher beim An- und Abstellen langsam aus- und einzuschalten ist.

Bei den Geschützschwenkwerken ist ein großes Uebersetzungsverhältniß nöthig. Die Uebertragung von der Motorwelle auf den Zahnkranz des Schwenkwerkes besteht gewöhnlich in zwei hintereinander geschalteten Schneckengetrieben. Hier ist natürlich eine am Geschützstand zu handhabende Umsteuerung und genaue Regulirung des Motors erforderlich. Das absolute Festhalten des Geschützes in jeder beliebigen Stellung besorgt eine elektrische Friktionsbremse, d. h. ein Elektromagnet, welcher durch Anziehen seines Ankers eine Bremsbacke gegen den beweglichen Theil des Schwenkwerkes preßt. In den Hartrichtungen wird die Nebenschlußleitung des Motors selbstthätig unterbrochen.

Bei den Winden für Kohlen und Munition verwendet man im Allgemeinen Schneckenübertragung wegen der selbstsperrenden Wirkung. Dasselbe gilt für Bootswinden und Ankerspille, soweit hier überhaupt elektrischer Antrieb in Frage kommt.

Bei der elektrischen Rudermaschine auf „Aegir" (auf anderen Schiffen haben wir keine) besteht die Uebertragung von der Motorwelle auf die Ruderreeptrommel in hintereinander geschaltetem Zahnrad- und Schneckentrieb. Eine Umsteuerung von der unter 1. beschriebenen Art ist aber hier nicht vorhanden, sondern das Ruderlegen entsteht durch die Differentialwirkung zweier Motoren, welche auf dieselbe Welle wirken und dieselbe nach rechts oder links drehen, je nachdem der eine oder andere Motor schneller läuft. Beide Motoren laufen also dauernd und verbrauchen beim Leergang, d. h. bei Ruder mittschiffs, rund 10 Pferdestärken. Diese an sich unvortheilhafte Einrichtung beruht auf der Schwierigkeit, einen einzigen Motor so schnell umzusteuern, wie es für die Ruderwirkung nöthig ist.

3. Vor- und Nachtheile der elektrischen Kraftübertragung an Bord und Umfang ihrer praktischen Verwendung.

a) Unterbringung und Raumbedarf. Man muß unterscheiden zwischen den Maschinen selbst und den Leitungen. Im Allgemeinen, d. h. abgesehen von Ausnahmekonstruktionen, wie die Rudermaschine auf „Aegir", erfordern die Elektromotoren nicht oder wenig mehr Platz als Dampfmaschinen und lassen sich daher ebenso leicht an Bord unterbringen. Die elektrischen Leitungen dagegen nehmen erheblich geringeren Raum ein, als Dampfleitungen mit ihren Bekleidungen, und lassen sich viel besser unterbringen, da sie in beliebigen Krümmungen gelegt werden können, was bei Dampfrohren wegen der Entwässerung häufig Schwierigkeiten macht, und da bei Durchführungen durch Schotts und Panzerdecks diese weniger geschwächt werden. Dazu kommt der Fortfall der lästigen Wärmeausstrahlung der Dampfrohre.

b) Gewicht. Dasselbe ist bis jetzt bei elektrischen Maschinen durchschnittlich größer als bei Dampfmaschinen, namentlich bei größeren Leistungen. Die elektrischen Leitungen sind zwar erheblich leichter als die Dampfleitungen, doch wird durch diese Gewichtsersparniß das Mehrgewicht der Maschinen nicht ausgeglichen. Vorläufig also bringt die Einführung elektrischer Hülfsmaschinen keine Gewichtsersparniß mit sich.

c) Betrieb. Hier liegen die größten Vorzüge, aber auch die schwersten Bedenken. Die Vorzüge sind sofortige Betriebsfertigkeit, da das Anwärmen der Dampfmaschinen fortfällt, Gefahrlosigkeit, da die Zerstörung eines Kabels nicht die Gefahr für das Personal mit sich bringt wie die Zerstörung eines Dampfrohres, geringere Wärmeentwickelung an Motor und Leitung, einfachere Bedienung, genauere Regulirung und größere Sauberkeit. Die Bedenken liegen in der vorläufig noch geringeren Betriebssicherheit gegenüber den Dampfmaschinen,

und zwar beruht dieselbe hauptsächlich auf der größeren Empfindlichkeit der elektrischen Maschinen, Apparate und Leitungen gegen Nässe, welche sich trotz aller Vervollkommnungen an Bord nicht immer fernhalten läßt.

d) Verwendung der elektrischen Kraftübertragung an Bord. Nach den bisherigen Erfahrungen bringt der elektrische Antrieb die meisten Vortheile für solche Hülfsmaschinen, welche ständig in Betrieb sind, lange Leitungen haben und wenig Arbeit erfordern. Dagegen ist für Hülfsmaschinen mit größerer Leistung und kurzen Leitungen im Allgemeinen Dampfbetrieb vorzuziehen, namentlich dann, wenn die Maschinen sehr verschieden stark belastet werden und nur selten oder im Gefecht überhaupt nicht gebraucht werden, so daß die Wärmeausstrahlung der Leitung oder die Gefahr des Zerschießens und des Dampfausströmens im Gefecht nicht in Betracht kommt. Nach diesen Gesichtspunkten verwendet man auf modernen Kriegsschiffen elektrische Ventilatoren, Munitionswinden, Kohlenwinden und Geschützschwenkwerke, während Rudermaschinen, Bootswinden und Spillmaschinen in alter Weise mit Dampfbetrieb gebaut werden. Bei den Bootsheißmaschinen erscheint allerdings elektrischer Antrieb bei sachgemäßer Durchkonstruktion nicht ausgeschlossen, da sie gleichmäßig belastet sind und denselben Bedingungen unterliegen wie jede Krahnwinde.

F. Elektrische Signaleinrichtungen.

Dieselben dienen bei Nacht denselben Zwecken wie Flaggensignale oder Semaphore bei Tage, ermöglichen also eine Verständigung der verschiedenen Schiffe untereinander. Sie zerfallen in zwei Hauptarten, in die Laternen, welche die Stellung oder Bewegung eines Schiffes kennzeichnen, und in die Laternen, welche zum Signalisiren dienen.

1. Laternen zum Kennzeichnen der Stellung oder Bewegung eines Schiffes.

Die Seitenlaternen, auf St. B. grün und auf B. B. roth, sind zum Verdunkeln durch Vorsetzen von mehreren Glasscheiben eingerichtet, um das Licht nur innerhalb der eigenen Flotte erkennen zu lassen. Die Dampferlaterne ist weiß.

Die Hecklaterne, weiß, soll ein zu nahes Aufrücken der Schiffe beim Fahren in Kiellinie verhindern und besteht aus zwei hintereinander geschalteten 25kerzigen Lampen, von welchen die eine am Heck, die andere zur Kontrolle dienende im Kartenhaus sich befindet. Auch die Hecklaterne ist zum Verdunkeln eingerichtet.

Die Fahrtveränderungslaternen haben denselben Zweck wie die Hecklaterne und bestehen aus drei grünen 25kerzigen Lampen, welche in einem Abstand von 1 m übereinander an der Gaffel des hinteren Mastes geheißt werden und die größere oder geringere Fahrgeschwindigkeit anzeigen, je nachdem drei oder zwei oder eine Laterne brennen.

Die Ankermanöverlaterne zeigt das Zuankergehen eines Schiffes an und ist eine rothe Laterne im Großtopp.

2. Laternen zum Signalisiren.

a) Nachtsignalapparat. Derselbe, auf Schiffen nach System Conz, auf Torpedobooten auch häufig nach System Schwartzkopff gebaut, besteht im Wesentlichen aus dem Laternensystem, aus dem Kontaktgeber und aus der Kabelverbindung.

Das Laternensystem ist aus drei Doppellaternen zusammengesetzt, welche je zwei übereinander liegende Glühlampen enthalten und bei Schiffen in 3, bei Torpedobooten in 1,5 m Abstand an einem Stahldrahttau übereinander aufgehängt sind. Von je zwei zusammengehörigen Lampen ist die obere von einem Milchglas-, die untere von einem rothen Glascylinder umschlossen. Die verschiedenen Signale bestehen darin, daß von Deck aus die drei weißen und die drei rothen Lampen in verschiedenen Kombinationen zum Leuchten gebracht werden. Meistens kann man durch ausschaltbare Widerstände die Helligkeit der Lampen, somit auch die Sichtbarkeit der Signale verändern.

Der Kontaktgeber (Signalgeber, Monotaster) von Conz besteht aus einem cylindrischen, wasserdichten Gehäuse, in dessen Achse die drehbare Achse des Signalhebels liegt, und auf dessen Deckel die verschiedenen Lampenkombinationen angegeben sind. Mit dem Signalhebel dreht man die Signalhebelachse und stellt sie hierdurch auf eine bestimmte Lampenkombination ein. Durch Aufdrücken des Hebels schließt man dann den Strom, bringt also die betreffenden Lampen zum Leuchten. Die mit der Hebelachse verbundenen federnden Kontaktstifte innerhalb des Gehäuses schleifen auf konzentrischen Kontaktschienen. Von den letzteren geht der Strom zu den Lampen.

Das Verbindungskabel zwischen Kontaktgeber und Lampen enthält sieben voneinander isolirte Litzen, von welchen sechs als Hinleitung zu den sechs Lampen dienen, die siebente die gemeinschaftliche Rückleitung darstellt. Zur Unterscheidung sind die Litzen mit verschiedenfarbiger Baumwolle umsponnen. Zur besseren Haltbarkeit ist das Kabel mit einer Stahlseele versehen. Den Strom erhält der Nachtsignalapparat von der Glühlichtanlage durch eine nach dem Kontaktgeber geführte Abzweigung. Hauptbedingung für ein gutes Funktioniren des Nachtsignalapparates ist Vermeidung von Nässe und Reinhalten sämmtlicher Kontakte.

b) Nachtwinker und Führerlaterne. Der Gottwaldsche Nachtwinker ist für die Nacht dasselbe, wie das Semaphor oder das Flaggenschwenken für den Tag, dient also dazu, während der Nacht auf kleinere Entfernungen sich mit anderen Schiffen zu verständigen. Er besteht aus sechs innerhalb eines kreisförmigen Bügels radial angeordneten Lampensystemen, wird über der Kommandobrücke geheißt und von dort aus mittelst eines Zweihebelapparates bethätigt. Das Aufleuchten verschiedener Lampensysteme entspricht den verschiedenen Stellungen der Semaphorarme. Jedes der sechs radialen Lampensysteme enthält drei Lampen von 16 N.K. in weißem Glas. Durch einen ausschaltbaren Widerstand wird die Helligkeit der Lampen und somit auch die Sichtbarkeit der Signale verändert.

Die Führerlaterne, fest im Großtopp gefahren, ursprünglich nur als Kennzeichen des Führerschiffes dienend, soll die Verständigung der Führerschiffe untereinander über die anderen Signaleinrichtungen hinweg durch Blickfeuer herbeiführen. Sie ist von weißem Glas umgeben und wird durch einen Taster von der Kommandobrücke aus bethätigt.

c) Funkentelegraphie. Dieselbe überträgt elektrische Signale ohne Draht (drahtlose Telegraphie) und beruht auf der Fortpflanzung kurzer, aber intensiver elektrischer Schwingungen (Aetherwellen) durch den Raum. Die Uebertragung der Schwingungen vom Geberapparat auf den Empfängerapparat ist vergleichbar mit der Induktionswirkung einer von Wechselstrom durchflossenen Spirale auf eine zweite Spirale, der Unterschied besteht nur darin, daß die bei der Funkentelegraphie erzeugten elektrischen Schwingungen auf viel größere Entfernungen wirken, als einfache Wechselströme. Diese größere Wirkung erklärt sich einerseits durch die schnellere Aufeinanderfolge (Frequenz) der Schwingungen, andererseits durch die höhere Spannung. Die hohe Frequenz wird durch elektrische Funken, d. h. durch Ueberspringen des hochgespannten Gleichstromes, durch die Luft von einem Metallknopf zu einem anderen bewirkt und beträgt mehrere Millionen in der Sekunde, während der Strom einer Wechselstrommaschine im Allgemeinen weniger als 100 Perioden in der Sekunde hat. Die hohe Spannung wird durch einen gewöhnlichen Transformator erzeugt, welcher den an Bord vorhandenen Gleichstrom von höchstens 110 Volt auf mehrere Tausend Volt umformt. Da jedoch ein gewöhnlicher Gleichstrom sich nicht umformen läßt, so schaltet man in denselben einen Unterbrecher ein, am besten einen durch einen kleinen Elektromotor getriebenen Turbinen-Quecksilberunterbrecher.

Die auf vorstehende Weise durch den Geberapparat eines Schiffes erzeugten elektrischen Schwingungen von hoher Frequenz und hoher Spannung werden auf ein an einer Raa oder Gaffel aufgehängtes, von vertikalen Drähten umschlossenes Luftnetz geleitet und von hier in vorwiegend horizontaler Richtung in den Raum verbreitet. An der Empfängerstation werden die Schwingungen von einem ebenso aufgehängten und gebauten Luftnetz aufgenommen und durch einen Leitungsdraht auf einen besonders konstruirten, dem Mikrophon ähnlichen Widerstand, den sogenannten Fritter, übertragen, welcher den von einem kleinen galvanischen Element kommenden Strom durchfließen läßt, sobald die vom Luftnetz kommenden elektrischen Wellen den Kontakt der Fritterfüllung (Nickel- und Silberfeilspähne) verstärken und so den Widerstand des Fritters verringern. Der jetzt durch den Fritter fließende schwache Strom schließt den Stromkreis einer Starkstrombatterie (Relais), und dieser bethätigt einen gewöhnlichen Morse-Schreibapparat.

G. Elektrische Befehlsübertragung.

1. Werth der elektrischen Befehlsübertragung für Schiffe.

Die früher allgemein an Bord gebräuchliche mechanische Befehlsübertragung durch Drähte oder Ketten (Maschinentelegraphen) oder durch Wellen (Ruderaxiometer) oder durch den Schall (Sprachrohre) ist um so schwieriger, je größer

das Schiff, je komplizirter der Weg und je zahlreicher die Stationen, zwischen welchen Befehle und Rückantworten zu vermitteln sind. Der Einbau und sichere Betrieb dieser Art von Befehlsübertragung ist daher besonders schwierig auf modernen Kriegsschiffen mit mehreren Kommandostellen, mehreren Maschinen- und Heizräumen, mehreren Geschütz- und Torpedobedienungsstellen u. s. w. und mit Panzerdeck, unter dessen Schutz grundsätzlich die mechanischen Leitungen und Sprachrohre angeordnet werden sollen.

Diese Schwierigkeiten, welche hauptsächlich auf dem Platzbedarf der mechanischen oder Sprachrohrübertragung und bei mechanischen Leitungen auf dem durch Abweichung von der geradlinigen Richtung entstehenden Reibungswiderstand beruhen, sind zum größten Theil beseitigt, sobald man die elektrische Befehlsübertragung einführt. Infolgedessen hat die letztere sich mehr und mehr an Bord der neueren Kriegsschiffe eingebürgert, trotz der größeren Empfindlichkeit und Unsicherheit, welche den elektrischen Einrichtungen an Bord gegenüber den mechanischen zur Zeit noch in gewissem Grade anhaften, und welche hauptsächlich auf den schädlichen Einfluß von Feuchtigkeit und Kohlenstaub zurückzuführen sind.

2. Arten der elektrischen Befehlsübertragung.

Einleitung. Im Prinzip kann man vier verschiedene Systeme unterscheiden:

a) Bewegung eines Zeigers durch Erregung von Elektromagneten.
b) Bewegung eines Zeigers durch Aenderung der Spannung eines dauernd fließenden elektrischen Stromes.
c) Sichtbarmachen einzelner Kommandos durch Aufleuchten einer elektrischen Lampe.
d) Verständigung durch Telephone.

Die Systeme a, b und c haben das miteinander gemeinsam, daß sie nur eine beschränkte Zahl von Befehlen oder Rückantworten übermitteln können, weil die Größe der Kommandoscheiben begrenzt ist, während die Telephone ebenso wie die Sprachrohre jede Verständigung ermöglichen.

In unserer Marine sind bis jetzt alle Systeme vertreten, es ist aber ohne Weiteres klar, daß für die Uebertragung bestimmter Befehle jedes der drei ersten Systeme für sich genügt, und es ist auch zu erwarten, daß man sich im Interesse der Einfachheit und Einheitlichkeit für die ausschließliche Verwendung eines Systems entscheiden wird.

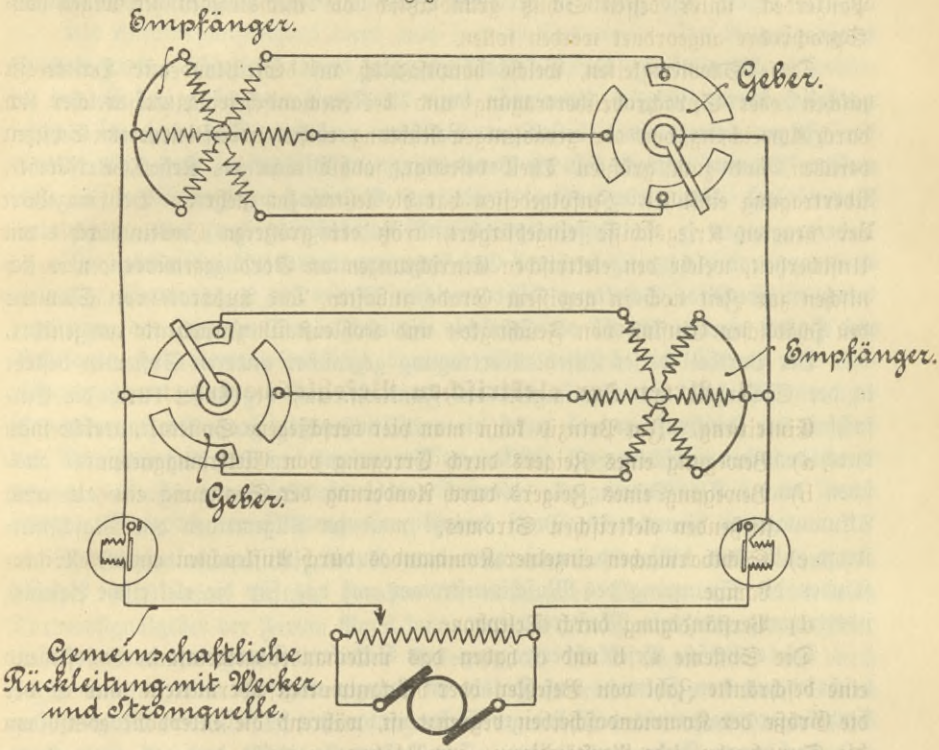
Alle Einrichtungen zur elektrischen Befehlsübertragung bestehen aus dem Geberapparat, dem Empfängerapparat und der beide Apparate verbindenden Leitung.

a) Bewegung eines Zeigers durch Erregung von Elektromagneten. Auf diesem Prinzip beruhen die Befehlsübertragungen der Firma Siemens und Halske, der Firma Schuckert und der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

Bei Siemens und Halske ist der Geberapparat ein durch einen Handgriff verstellbarer Kontaktgeber, durch welchen in die einzelnen Adern eines mehradrigen Kabels Strom geleitet werden kann, welcher gewöhnlich von einem Haupt-

stromkreis des Schiffes abgezweigt wird. Das andere Ende des Kabels steht mit sechs kreisförmig angeordneten Elektromagneten in Verbindung, und zwar derart, daß durch jede Ader des Kabels zwei diametral gegenüberstehende Elektromagneten erregt werden können und somit ein magnetisches Feld bilden. Ein in

Fig. 118.



Prinzip der Befehlsübertragung (Siemens u. Halske).

der Mitte der Elektromagnete drehbar angeordneter Anker muß sich demnach verschieden einstellen, je nachdem das eine oder andere Paar der Elektromagnete erregt wird. Mit dem Anker ist der auf einer Kommandoscheibe sich bewegende Zeiger verbunden, und zwar mit einer Uebersetzung vom Schnellen ins Langsame, wodurch das Geben einer größeren Zahl von Befehlen ermöglicht wird. Die Ankerwelle muß infolgedessen von einer Endstellung in die andere mehrere Umdrehungen machen. Die Rückleitung des Stromes vom Empfänger- zum Geberapparat geschieht durch eine für alle drei Elektromagnetenpaare gemeinschaftliche Ader, so daß das Verbindungskabel im Ganzen vier Adern enthalten muß.

Bei jedem Gebrauch ertönt als Ankündigungssignal am Empfängerapparat eine in die gemeinschaftliche Rückleitung eingeschaltete Klingel. Der Strom fließt nur während des Gebens eines Befehls, ist aber unterbrochen, sobald der neue Befehl eingestellt ist. Man kann also ohne Verschwendung einen starken Strom

anwenden. Als Sicherheit gegen zu stoßweises Bewegen des Geberapparates dient eine Luftbremse nach dem Prinzip einer hydraulischen Bremse. Ist eine Rückantwort auf den Befehl erforderlich (Maschinentelegraph), dann vereinigt man zwei vollständige elektrische Befehlsübertragungen derart, daß sowohl die Kommandostelle als auch die Ausführungsstelle einen Geber- und Empfängerapparat erhält, also genau in derselben Weise wie beim mechanischen Maschinentelegraphen.

Die Verwendung der Befehlsübertragung von Siemens und Halske ist natürlich überall möglich, denn man kann die Kommandoscheibe, auf welcher sich der Zeiger bewegt, mit beliebigen Befehlen versehen. Auf neueren Schiffen unserer Marine erstreckt sich die Verwendung auf Maschinen-, Kessel-, Artillerie-, Ruder- und Schotttelegraphen, sowie auf Ruderlageanzeiger. Bei einzelnen Uebertragungen (z. B. Kesseltelegraph und Ruderlageanzeiger) sollen durch einen Geberapparat gleichzeitig mehrere Empfängerapparate bethätigt werden, was sich durch entsprechende Schaltung leicht erreichen läßt. Die Apparate von Siemens und Halske werden sowohl als Säulen- wie auch als Wandapparate ausgeführt.

Der Vortheil dieser Befehlsübertragung gegenüber anderen Systemen besteht in der Sicherheit und Genauigkeit des Funktionirens, begründet durch die Einfachheit der Konstruktion und durch die verhältnißmäßig große Kraft, welche man durch den nur vorübergehend wirkenden Strom auf den Empfängerapparat ausüben kann. Als Stromquelle können sowohl die Dynamomaschinen als auch Akkumulatoren dienen. An Bord benutzt man im Allgemeinen den Maschinenstrom als den billigeren, muß aber dann durch Zwischenschalten von Widerständen die Spannung des Maschinenstromes auf das für die elektrische Befehlsübertragung geeignete Maß reduziren.

Die elektrische Befehlsübertragung von Schuckert stimmt mit der vorstehend beschriebenen von Siemens und Halske im Prinzip ungefähr überein, nur ist der Empfängerapparat als vollständiger Elektromotor mit feststehendem Magnetsystem und drehbarem Anker ausgebildet. Die Ankerwelle treibt den auf einer Kommandoscheibe sich bewegenden Zeiger.

Die elektrische Befehlsübertragung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin hat als Empfängerapparat drei unter 120° angeordnete Elektromagnete, zwischen welchen sich der den Zeiger tragende Anker dreht. Alle drei Elektromagnete werden gleichzeitig vom Strom umflossen und sind durch drei Leitungen mit dem Geberapparat verbunden. Letzterer besteht im Wesentlichen in einem auf einer Widerstandsspule entlang gleitenden Kontaktgeber, mittelst dessen man den Strom in verschiedenem Verhältniß auf die drei Drähte vertheilen kann. Hierdurch erhält das durch die drei Elektromagnete des Empfängerapparates gebildete magnetische Feld verschiedene Polarität, also der Zeiger verschiedene Stellung.

b) Bewegung eines Zeigers durch Aenderung der Spannung eines dauernd fließenden elektrischen Stromes. Auf diesem Prinzip beruht die Befehlsübertragung der Elektrizitäts-Gesellschaft Union. Der Geberapparat besteht im

Wesentlichen aus einer Anzahl von Widerständen, von welchen durch einen Kontakthebel mehr oder weniger in einen Stromkreis eingeschaltet werden. In denselben Stromkreis ist als Empfängerapparat ein Spannungsmesser eingeschaltet, dessen Zeigerausschlag sich ändert mit der Zahl der eingeschalteten Widerstände. Die Skala des Spannungsmessers enthält an Stelle der gewöhnlichen Eintheilung in Volt die verschiedenen Kommandos.

Als Ankündigungssignal dient auch hier ein Läutewerk. Der hierzu gehörige Kontakt wird geschlossen, indem beim Drehen des Hebels ein Rollenhalter, welcher in der Ruhelage in den Ausschnitt eines Segments eingreift, herausgedrängt wird. Durch diese Einrichtung erreicht man, daß der ununterbrochen fließende Strom nicht auch in den Ruhelagen des Kommandohebels das Läutewerk ertönen läßt. Eine Rückantwort bewirkt man ebenso wie bei Siemens und Halske durch Vereinigung von zwei vollständigen Befehlsübertragungen.

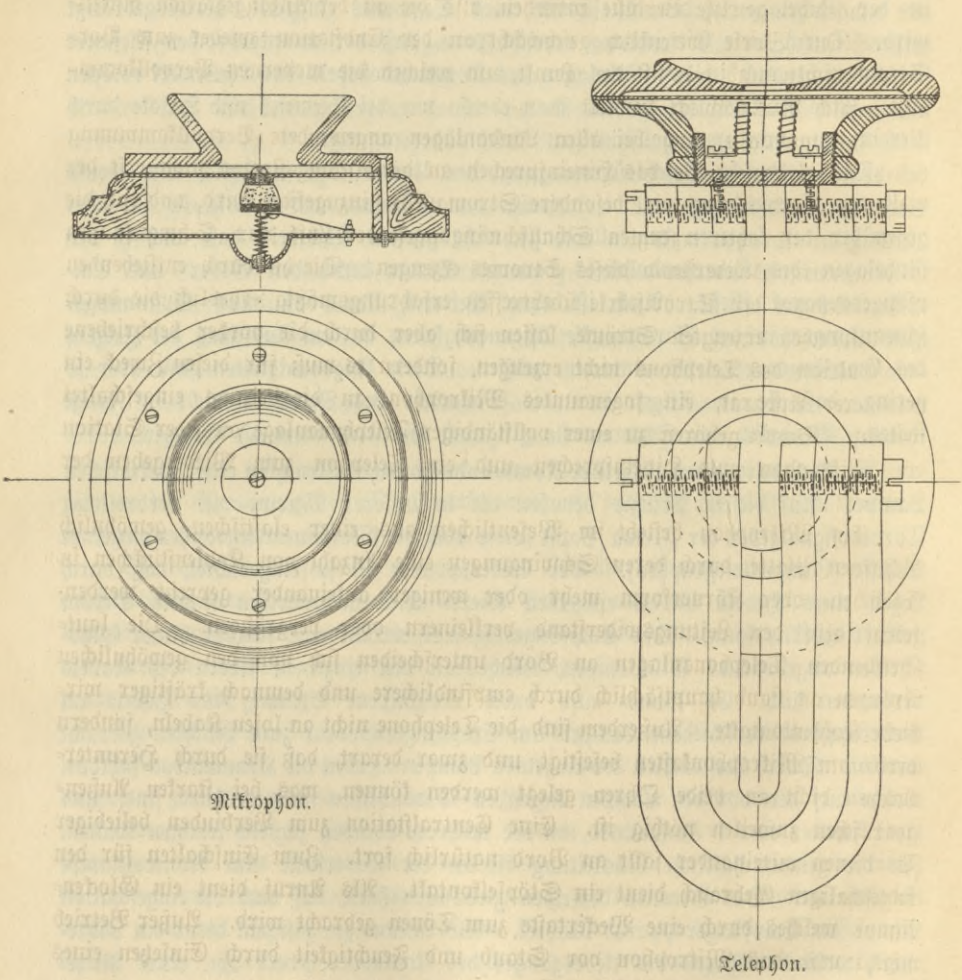
Die elektrische Befehlsübertragung der Union läßt natürlich eine ebenso vielseitige Verwendung zu, wie diejenige von Siemens und Halske, sie hat aber gegenüber der letzteren den allerdings nicht großen Nachtheil, daß auch in den Ruhelagen des Kommandohebels dauernd Strom durch den Geber- und Empfängerapparat fließt. Auch ist ohne Weiteres klar, daß durch Spannungsschwankungen in der Stromquelle Ungenauigkeiten in dem Ausschlag des Zeigers des Empfängerapparates eintreten müssen. Diese Ungenauigkeiten sind aber so gering, daß sie im Allgemeinen die Sicherheit des Betriebes nicht in Frage stellen. Bezüglich der Stromquelle gilt auch hier das unter a) Gesagte.

c) Sichtbarmachen einzelner Kommandos durch Aufleuchten einer elektrischen Lampe. Auf diesem Prinzip beruhen die in unserer Marine viel verbreiteten Torpedosignalgeber der Firma Papst sowie auch die Maschinentelegraphen einzelner Schiffe (Lampentelegraphen). Der Geberapparat ist so eingerichtet, daß durch Legen eines Hebels in die einzelnen Adern eines mehradrigen Kabels Strom geleitet werden kann. Der Empfängerapparat enthält eine Anzahl hinter Glasscheiben angebrachter Glühlampen, welche mit den einzelnen Adern des Kabels verbunden sind. Es können also durch verschiedene Stellung des Hebels am Geberapparat verschiedene Lampen am Empfängerapparat zum Leuchten gebracht werden. Durch Aufleuchten der einzelnen Lampen werden die Kommandos sichtbar, welche auf den vor den Lampen liegenden Glasscheiben aufgezeichnet sind, und zwar immer nur 1 Kommando, da nie mehrere Lampen zugleich leuchten können. In die gemeinschaftliche Rückleitung ist an der Geberstelle eine Kontrolllampe eingeschaltet. Das Brennen derselben giebt Gewißheit, daß auch die eingeschaltete Lampe am Empfängerapparat leuchtet. Als Ankündigungssignal dient ein Läutewerk, welches während des Ueberganges des Kommandohebels von einer Ruhelage in die andere eingeschaltet wird.

Der Lampentelegraph ist in seiner Konstruktion sehr einfach, bedarf aber einer größeren Zahl von Leitungen, als die unter a) und b) beschriebenen elektrischen Befehlsübertragungen, da jedes Kommando eine besondere Leitung beansprucht.

d) Verständigung durch Telephon. Das Prinzip jeder Fernsprech- oder Telephonanlage besteht darin, daß an der Anfangsstation die gesprochenen Worte durch die Schallschwingungen der Luft einen elastischen Körper in schwingende Bewegung versetzen, diese Bewegung in elektrischen Strom umgewandelt wird, und daß bei der Endstation der Strom wieder rückwärts einen elastischen Körper in gleichartige Schwingungen versetzt, also ihm gleichartige Töne entlockt, wie die gesprochenen Worte.

Fig. 119.



Mikrophon. Telephon.

Hieraus folgt, daß Geber- und Empfängerapparat die gleiche Konstruktion haben können, wie es bei den ersten Telephonanlagen auch der Fall war. Die Konstruktion besteht im Wesentlichen aus einer elastischen dünnen Eisenplatte und einem dicht vor derselben gelagerten Hufeisenmagneten, um welchen der einen geschlossenen Stromkreis bildende Leitungsdraht herumgewickelt ist. Beim Hinein-

sprechen in den Geberapparat erzeugen die Schwingungen der Platte Induktionsströme, welche abwechselnd eine Stärkung und Schwächung des Magneten im Empfängerapparat bewirken. Hierdurch wird die Platte des Empfängerapparates stärker oder schwächer angezogen und vollführt somit gleichartige Schwingungen wie die Platte am Geberapparat. Der an der Endstation durch diese Schwingungen erzeugte Ton muß mit dem gesprochenen Ton in Höhe und Klangfarbe übereinstimmen, denn beide Eigenschaften sind Schwingungserscheinungen. Es ist aber klar, daß durch die Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische und umgekehrt gewisse Verluste entstehen, also die an der Anfangsstation hineingesprochenen Worte wesentlich geschwächt an der Endstation wieder zum Vorschein kommen, und dies ist der Punkt, um welchen die modernen Vervollkommnungen sich hauptsächlich drehen.

Die wichtigste, auch bei allen Landanlagen angewendete Vervollkommnung besteht darin, daß durch das Hineinsprechen an der Anfangsstation nicht erst der Strom erzeugt, sondern eine besondere Stromquelle hinzugefügt wird, und daß die durch Hineinsprechen erzeugten Schallschwingungen der Luft nur Schwankungen in dem Leitungswiderstand dieses Stromes erzeugen. Die hierdurch entstehenden Schwankungen der Stromstärke übertreffen erfahrungsmäßig erheblich die durch Hineinsprechen erzeugten Ströme, lassen sich aber durch die vorher beschriebene Konstruktion des Telephons nicht erzeugen, sondern es muß für diesen Zweck ein besonderer Apparat, ein sogenanntes Mikrophon, in die Leitung eingeschaltet werden. Somit gehören zu einer vollständigen Telephonanlage an jeder Station ein Mikrophon zum Hineinsprechen uud ein Telephon zum Wiedergeben der Antwort.

Ein Mikrophon besteht im Wesentlichen aus einer elastischen, gewöhnlich hölzernen Platte, durch deren Schwingungen eine Anzahl von Kohlenstückchen in Stäbchen- oder Körnerform mehr oder weniger aufeinander gepreßt werden, somit also den Leitungswiderstand verkleinern oder vergrößern. Die lautsprechenden Telephonanlagen an Bord unterscheiden sich von den gewöhnlichen Anlagen an Land hauptsächlich durch empfindlichere und demnach kräftiger wirkende Kohlenkontakte. Außerdem sind die Telephone nicht an losen Kabeln, sondern direkt am Mikrophonkasten befestigt, und zwar derart, daß sie durch Herunterklappen dicht an beide Ohren gelegt werden können, was bei starken Außengeräuschen zuweilen nöthig ist. Eine Centralstation zum Verbinden beliebiger Stationen miteinander fällt an Bord natürlich fort. Zum Einschalten für den jedesmaligen Gebrauch dient ein Stöpselkontakt. Als Anruf dient ein Glockensignal, welches durch eine Weckertaste zum Tönen gebracht wird. Außer Betrieb schützt man das Mikrophon vor Staub und Feuchtigkeit durch Einsetzen eines Stöpselverschlusses in die Schallöffnung.

Die lautsprechenden Telephone an Bord unserer Schiffe sind zum Theil so eingerichtet, daß man von einer Geberstation gleichzeitig nach mehreren Empfängerstationen sprechen kann.

Die Pflege der Apparate bezieht sich hauptsächlich auf die Kohlenkontakte,

welche von Zeit zu Zeit auszuwechseln sind. Mangelhaftes Funktioniren beseitigt man auch zuweilen durch Reguliren der Entfernung zwischen Telephon-Schallplatte und Magnet.

H. Leitungsmaterial und elektrische Apparate.

1. Leitungsmaterial.

a) Leitungsdrähte. Wegen seiner guten Leitungsfähigkeit verwendet man als Material stets Kupfer zu den Leitungsdrähten. Dasselbe soll nach Marinevorschrift so rein sein, daß es 56 mal besser leitet als Quecksilber. Der Querschnitt der Leitungsdrähte richtet sich nach der Stärke der durchfließenden Ströme und muß so groß sein, daß der Kupferdraht sich nicht in unzulässig hohem Grade erhitzt. Man rechnet im Allgemeinen auf 1 Ampère Stromstärke mindestens $^1/_2$ qmm Kupferquerschnitt. Um zu vermeiden, daß durch zu starken Strom Beschädigungen eintreten, z. B. Feuersgefahr durch zu starke Erwärmung, schaltet man an geeigneten Stellen in die Kupferdrähte, und zwar sowohl in die positive als auch in die negative Leitung, Bleisicherungsstreifen ein, deren Querschnitt so bemessen ist, daß sie schmelzen, wenn die Stromstärke 4 Ampère pro qmm des zu sichernden Drahtes überschreitet. Ein Schmelzen der Sicherungsstreifen kann durch zu große Geschwindigkeit der Dynamos, noch leichter aber durch Kurzschluß eintreten, d. h. durch Verbindung eines + mit einem —Leiter durch einen Leiter von geringerem Widerstand. Wegen der erforderlichen Biegsamkeit verwendet man selten massive Leiter von mehr als 6 mm Durchmesser, sondern setzt bei größerem Querschnitt den Leiter aus mehreren Drähten zusammen.

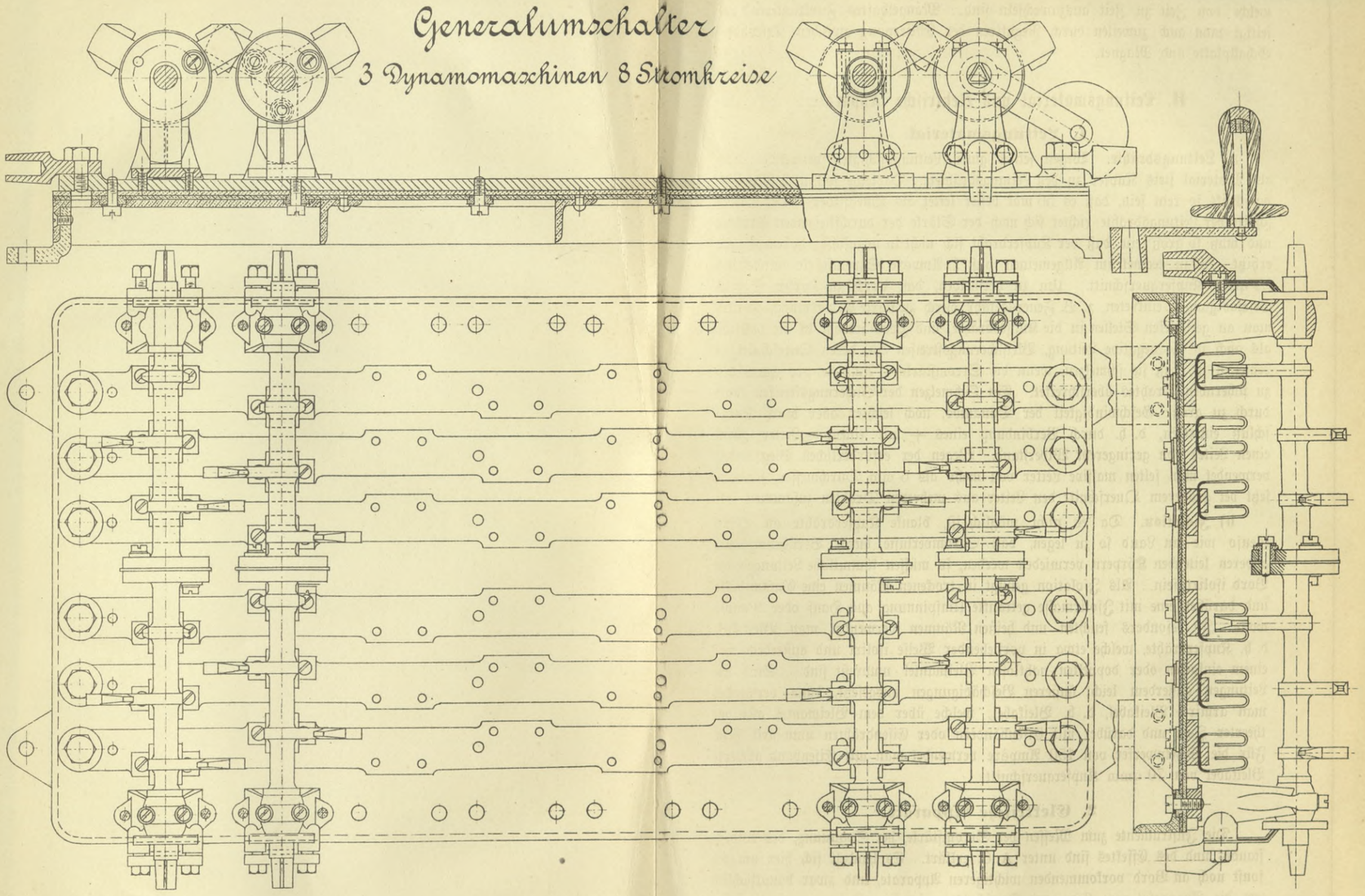
b) Isolation. Da es nicht möglich ist, blanke Kupferdrähte an Bord ebenso wie an Land so zu legen, daß Stromverluste durch Berührung mit anderen leitenden Körpern vermieden werden, so müssen sämmtliche Leitungen an Bord isolirt sein. Als Isolation genügt in trockenen Räumen eine Gummihülle und darüber eine mit Isolirmasse getränkte Umspinnung aus Hanf oder Baumwolle. In besonders feuchten und heißen Räumen verwendet man Bleikabel, d. h. Kupferdrähte, welche etwa in vorstehender Weise isolirt und außerdem mit einem einfachen oder doppelten nahtlosen Bleimantel umpreßt sind. Sind die Leitungen außerdem leicht äußeren Beschädigungen ausgesetzt, dann verwendet man armirte Bleikabel, d. h. Bleikabel, welche über dem Bleimantel mit getheerter Jute und darüber mit Eisenbändern oder Eisendrähten umwickelt sind. Für die Scheinwerfer von 150 Ampère verwendet man mit Eisenband armirte Bleikabel von 70 qmm Kupferquerschnitt.

2. Elektrische Apparate.

Die Instrumente zum Messen der Stromstärke, der Spannung, des Widerstandes und des Effektes sind unter A. 6. erklärt. Es handelt sich hier um die sonst noch an Bord vorkommenden wichtigeren Apparate, und zwar hauptsächlich um die Apparate zum Ein- und Ausschalten einzelner Leitungen oder ganzer

Generalumschalter

3 Dynamomaschinen 8 Stromkreise



Stromkreise, zum Vertheilen des Stromes auf die verschiedenen Verbrauchsstellen im Schiff, zur Untersuchung auf Schiffsschluß, zum Anschließen loser Kabel an feste u. s. w.

a) Ausschalter und Umschalter. Die Ausschalter haben zur möglichsten Verhinderung von Funkenbildung zwei Kontakte derart angeordnet, daß sie gleichzeitig und momentan in und außer Berührung kommen. In eingeschaltetem Zustande sind die Berührungsflächen durch starken Federdruck gegeneinander gepreßt. Beim Ein- und Ausschalten schleifen sie gegeneinander, wodurch die Bildung einer Oxydschicht verhindert wird. Die Gruppenausschalter sind im Prinzip ebenso wie die Einzelausschalter, damit sie aber nicht mißbräuchlich benutzt werden, sind sie so eingerichtet, daß sie nur mit Hülfe besonders geformter Schlüssel von den dazu berechtigten Personen bedient werden können. Die Umschalter haben den Zweck, eine Leitung entweder mit der einen oder mit der anderen Weiterleitung zu verbinden. Demnach hat der bewegliche Theil des Kontaktes nicht zwei (wie beim einfachen Ausschalter), sondern drei Stellungen. Im Prinzip sind die Umschalter sonst ebenso gebaut wie die Ausschalter.

b) Generalumschalter. (Tafel XIV. Fig. 120.) Derselbe hat den Zweck, mehrere stromerzeugende Maschinen in verschiedenen Kombinationen mit mehreren Stromkreisen zu verbinden, und zwar entweder den Strom jeder beliebigen Maschine auf sämmtliche Stromkreise zu vertheilen, oder die Ströme mehrerer Maschinen so zu vertheilen, daß einzelne Stromkreise von einer, andere von einer anderen Maschine gespeist werden. Dagegen gestattet ein Generalumschalter gewöhnlich nicht die Leitung der Ströme mehrerer Maschinen auf einen Stromkreis, nur auf einzelnen neueren Schiffen ist für gewisse Zwecke auch das Parallelschalten von Maschinen möglich.

Ein Generalumschalter besteht im Wesentlichen aus zwei sich kreuzenden Systemen von Metallschienen. Die Schienen des einen Systems nehmen den von den Maschinen kommenden Strom auf, sind also die Sammelschienen der verschiedenen Maschinen, und zwar gehört zu jeder Maschine eine positive und eine negative Sammelschiene. Jede Schiene des anderen Systems entspricht einem Stromkreis, leitet also auf den betreffenden Stromkreis den Strom der einen oder anderen Maschine, je nachdem sie mit dem einen oder anderen Sammelschienenpaar in leitende Berührung gebracht wird. Jede Stromkreisschiene oder Welle (Stöpsel- oder Kurbelumschalter) besteht, entsprechend der + oder — Sammelschiene, aus zwei isolirten Hälften, welche den Ausgangspunkt für den Stromkreis bilden.

Außer dem Generalumschalter ist in die Hin- und Rückleitung jedes Stromkreises noch ein Einzelausschalter eingeschaltet. Beim Einschalten eines Stromkreises wird zuerst der Generalumschalter richtig eingestellt und darauf erst mit dem Einzelausschalter (Momentausschalter) der Stromschluß hergestellt. Beim Ausschalten oder Wechsel der Betriebsmaschinen verfährt man umgekehrt.

c) Schaltbrett. Dasselbe dient zur Aufnahme des Generalumschalters, der Stromkreisausschalter, der Stromkreissicherungen (Bleistreifen) und der wich-

tigsten Instrumente, gewährt also eine leichte Uebersichtlichkeit der ganzen Stromvertheilung. Aeltere Schiffe mit wenig Lichtstromkreisen und mit nur ein bis zwei Scheinwerfern haben nur ein Schaltbrett, neuere Schiffe mit mehr Lichtstromkreisen, mehr Scheinwerfern und Kraftanlagen, mit Akkumulatoren und mit einer größeren Zahl von Primärmaschinen haben deren mehrere, theils weil ein einziges zu groß ausfallen würde, theils zur Erzielung einer größeren Sicherheit durch Unterbringung in getrennten Räumen. Das Material der Schaltbretter war früher gewöhnlich Holz, jetzt fertigt man sie zur Vermeidung jeder Feuersgefahr aus Marmor oder sonstiger Steinmasse.

d) **Schiffsschlußanzeiger.** Dieser Apparat ist gewöhnlich auf einem Schaltbrett angebracht und hat den Zweck, eine etwaige Berührung eines Leiters mit dem eisernen Schiffskörper, d. h. eine Störung der Isolation anzuzeigen. Er besteht aus einem Spannungsmesser, dessen eine Klemme mit der + und — Leitung der verschiedenen Stromkreise durch einen Umschalter verbunden werden kann, und dessen andere Klemme mit dem Schiffskörper in leitender Berührung steht. Hat an irgend einer anderen Stelle ein Stromkreis Schiffsschluß, so muß das Voltmeter ausschlagen, wenn man es mit diesem Stromkreis verbindet.

Eine andere Konstruktion des Schiffsschlußanzeigers besteht aus einer elektrischen Glocke und zwei Glühlampen. Das Schlagen der Glocke oder Leuchten der Lampen ist ein Zeichen von Schiffsschluß. Zur näheren Feststellung des Schiffsschlusses bei stillstehender, stromloser Dynamomaschine dient der Isolationsprüfer.

e) **Anschlußdosen.** Dieselben vermitteln die Verbindung von fest eingebauten Leitungen mit losen Kabeln. Letztere sitzen entweder fest in den Anschlußdosen, oder sie sind mit Doppeltkontaktstöpseln in dieselben eingesetzt. Liegen die Anschlußdosen an Deck, dann müssen sie wasserdicht, bezw. beim Nichtgebrauch durch eine wasserdichte Verschraubung geschlossen sein.

f) **Lichtspinde.** Dieselben dienen zur Beleuchtung von Räumen, in welchen Handlampen mit losen Kabeln unbequem oder feuergefährlich sind (Kohlenbunker, Munitionsräume). Sie bestehen aus geschlossenen Glaskästen, welche fest in die Wand des zu beleuchtenden Raumes eingebaut sind und feste Glühlampen enthalten.

J. Akkumulatoren.

1. Zweck.

Ein Akkumulator ist ein Apparat, in welchem man eine größere Menge von Elektrizität aufspeichern und welcher dieselbe nach Bedarf wieder abgeben kann. Ein Akkumulator ermöglicht demnach eine Verkleinerung und eine gleichmäßigere Beanspruchung der Primäranlage, denn bei großem Strombedarf kann er zur Unterstützung derselben herangezogen werden, während bei kleinem Strom-

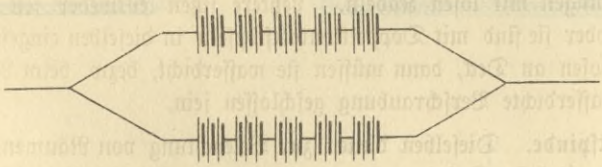
bedarf die Primäranlage dazu benutzt werden kann, von Neuem Elektrizität in dem Akkumulator aufzuspeichern.

Außerdem ermöglicht ein Akkumulator für kurze Zeiten die Anwendung des elektrischen Betriebes fern von der Primäranlage (elektrische Boote). Schließlich ist ein geladener Akkumulator eine jeden Augenblick betriebsfähige Elektrizitätsquelle, da ein Dampfverbrauch nicht stattfindet und das bei Dynamomaschinen erforderliche Anwärmen und Anstellen einer Betriebsmaschine fortfällt. Die auf unseren neueren Kriegsschiffen vorhandenen Akkumulatoren dienen als Momentreserve für den Betrieb der elektrischen Signale und Befehlsübertragungen für den Fall, daß der Maschinenstrom aus irgend einer Veranlassung plötzlich versagt. Sie sind mit dem für die genannten Zwecke dienenden und durch Widerstände auf die erforderliche geringere Spannung reduzirten Maschinenstrom parallel geschaltet, springen also beim Versagen des Maschinenstromes selbstthätig ein.

2. Bauart und Wirkungsweise.

Die Wirkung der Akkumulatoren beruht auf der Thatsache, daß ein Gleichstrom, welcher zwischen zwei in eine Flüssigkeit getauchten Metallstücken (Elektroden) übergeht, diese Flüssigkeit zersetzt und die Metallstücke in entgegengesetztem Sinne chemisch verändert (polarisirt), so daß sie elektromotorisch gegeneinander wirksam werden. Den Strom, welcher diese Veränderung hervorbringt, nennt man den polarisirenden Strom, und den ganzen Vorgang nennt man das Laden des Elements. Stellt man den polarisirenden Strom ab und verbindet man die

Fig. 121.



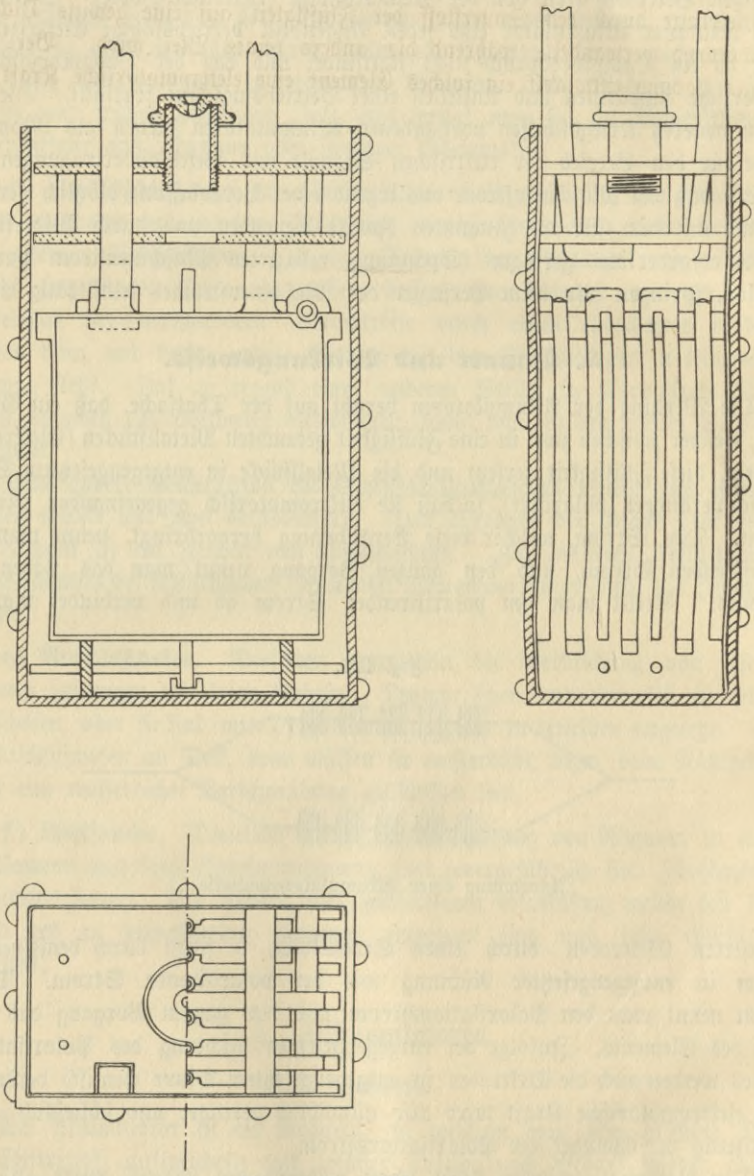
Anordnung einer Akkumulatorenbatterie.

polarisirten Elektroden durch einen Stromkreis, so fließt durch denselben ein Strom in entgegengesetzter Richtung wie der polarisirende Strom. Diesen Strom nennt man den Polarisationsstrom und den ganzen Vorgang das Entladen des Elements. Infolge der entgegengesetzten Richtung des Polarisationsstromes werden auch die Elektroden in entgegengesetztem Sinne chemisch verändert. Ihre elektromotorische Kraft wird also allmählich geringer und schließlich = 0. Gleichzeitig verschwindet der Polarisationsstrom.

Der Polarisationsstrom fließt schon während des Ladens, wirkt also dem polarisirenden Strom entgegen. Letzterer muß also, wenn das Element vollständig geladen werden soll, so stark sein, daß er den Polarisationsstrom bis zum Maximum der elektromotorischen Kraft der Elektroden überwindet.

Eine Vereinigung mehrerer solcher Elemente zu einer Batterie nennt man in der Technik Akkumulator. Ein Akkumulator liefert hohe Spannung bei

Fig. 122.



Element eines Akkumulators.

kleiner Stromstärke oder niedrige Spannung bei großer Stromstärke, je nachdem die Elemente hintereinander oder parallel geschaltet sind. Selbstverständlich

können die Elemente eines Akkumulators auch theilweise hintereinander, theilweise parallel geschaltet sein.

Die in der Praxis am besten bewährten Akkumulatoren haben als Elektroden Bleiplatten und als Flüssigkeit verdünnte Schwefelsäure. Beim Laden wird die eine Bleiplatte durch den Sauerstoff der Flüssigkeit auf eine gewisse Dicke in Bleisuperoxyd verwandelt, während die andere reines Blei wird. Bei vollständiger Ladung entwickelt ein solches Element eine elektromotorische Kraft von zwei Volt.

Name des Schiffes und Bezeichnung beim Bau	Erbauer	Schiff: Länge zw. den Ppd. in m	Breite in m	Depl. in t	⊠ qm	Maschine: Zahl und Art	Cylinder-Durchmesser mm	Hub mm	Zahl und Art	Kessel: Arbeitsdruck kg pro qcm	Rostfläche qm	Heizfläche qm	Propeller: Zahl	Ø m	Steigung m	⊠ Areal Propeller ⊙	Größte Leistung: IHP	n	v in sm	Kolb. geschw. m	IHP. pro qm Rostfläche	IHP. pro qm Heizfläche	Gewicht p. IHP.: Kesselanlage kg	Masch.-anlage kg
Brandenburg Pzsch. A	Vulkan	108	19,5	10 033	128	2 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	880. 1390. 2200 1 : 2,8 : 5,9	1000	12 Cylinder	12	70,2	2291	2	5,0	5,6	3,25	9 997	109	16,3	3,63	142	4,4	69,0	55,5
Weißenburg " C	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	70	"	"	"	"	"	9 387	106	16,5	3,55	134	4,1	74,5	59,0
Kurf. Fr. Wilh. " D	Whyn.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	70,2	2358	"	"	5,7	"	9 686	110	—	3,67	138	4,0	68,9	57,0
Wörth " B	Germania	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	2352	"	"	"	"	10 228	109	16,9	3,65	146	4,4	62,2	50,6
Baden " C	W. Kiel	91	18,4	7 367	104	2 dreif. Exp.M. 4 Cylinder	810. 1260. 2×1380 1 : 2,43 : 5,82	900	8 Dürr	13	48	1552	"	4,7	5,4	2,64	6 195	96	14,9	2,88	129	3,8	50,9	59,7
Bayern " A	"	"	18,3	7 487	104	2 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	760. 1270. 1960 1 : 2,8 : 6,67	"	"	12	42,2	2023	"	4,6	"	3,13	6 373	113	15,3	3,39	181	3,1	52,8	55,9
Sachsen " B	Vulkan	"	18,4	7 362	104	2 dreif. Exp.M. 4 Cylinder	810. 1260. 2×1380 1 : 2,8 : 5,9	"	"	13	40,6	1696	"	4,7	"	2,99	6 454	98	14,9	2,94	159	3,8	43,2	62,8
Württemberg " D	"	"	"	"	"	"	"	"	8 Schulz	"	38,2	2094	"	"	"	"	6 264	"	14,3	2,93	164	3,0	49,5	—
Kaiser Fried. III. Ers. Preuß.	Whyn.	115	20,4	11 373	137,1	3 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	880. 1380. 2180 1 : 2,46 : 6,15	950	8 Cylinder 4 Thornycroft	12	60,5 26	3390	3	4,5	Seite 6,5 Mitte 6,2	2,66	13 053	107	17,3	3,28	150	3,9	59,2	45,4
" Wilh. II. Ers. Fr. d. Gr.	"	"	"	11 152	"	3 dreif. Exp.M	850. 1380. 2×1540 1 : 2,62 : 6,55	"	"	"	60,8 27,4	2160 1400	"	"	"	2,87	13 622	108	17,6	3,41	155	3,8	58,4*	" *
Siegfried Pzfz. O	Germania	73	14,9	3 500	70	2 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	660. 1020. 1600 1 : 2,4 : 5,08	750	4 Lokomotiv	"	21,6	1009	2	3,5	3,6	3,65	4 789	141	—	3,54	236	4,7	42,5	35,4
Beowulf " P	Weser	"	"	"	70,6	"	"	"	"	"	20,4	1100	"	"	4,3	3,67	4 871	144	15,1	3,6	239	4,4	39,9	46,8
Frithjof " Q	"	"	"	3 525	71,1	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	3,69	4 968	142	"	3,55	244	4,5	45,2	37,2
Hildebrand " R	W. Kiel	"	"	3 570	70,6	"	"	"	"	"	20,6	914	"	"	"	3,67	5 334	141	—	3,58	265	5,8	37,5	40,6
Heimdall " U	Whyn.	"	"	3 500	"	"	"	"	"	"	19,8	985	"	"	"	"	4 393	133	14,6	3,32	221	4,5	46,2	59,4
Hagen " S	W. Kiel	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	3,69	6 516	136	14,8	3,40	329	6,6	37,5	32,4
Aegir " T	"	72	15,4	3 518	71,8	"	"	"	8 Thornycroft	"	25,4	1500	"	"	"	3,73	5 059	140	15,2	3,50	199	3,4	32,8	49,8
Fürst Bismarck Ers. Leipzig	"	120	20,4	10 300	135	3 dreif. Exp.M. 4 Cylinder	940. 1460. 2×1600 1 : 2,42 : 5,8	850	8 Cylinder 4 Thornycroft	"	91,2	3780	3	Seite 4,8 Mitte 4,4	6,8	2,62	12 992	103	18,6	2,91	142	"	39,1	28,5
Kaiserin Augusta Korv. H	Germania	118	15,6	6 056	87,8	3 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	850. 1340. 2850 1 : 2,48 : 6,4	950	Cylinder 8 doppel, 1 einf.	"	102	3527	"	Seite 4,5 Mitte 4,2	Seite 6,0 Mitte 5,8	1,92	14 093	127	21,5	4,02	138	4,0	60,2	43,4
Hertha Krz. K	Vulkan	105	17,4	5 518	88,2	3 dreif. Exp.M. 4 Cylinder	730. 1160. 2×1160 1 : 2,53 : 5,05	800	18 Belleville	18	73,8	2329	"	Seite 4,0 Mitte 3,8	Seite 4,8 Mitte 4,7	2,42	10 173	139	19,1	3,72	138	4,4	39,0	41,4
Hansa " N	"	"	17,6	5 885	90,0	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	2,46	10 057	140	18,8	3,73	136	4,3	42,0	41,8
Vineta " M	W. Danzig	"	"	"	"	"	800. 1230. 2×1330 1 : 2,4 : 5,51	750	12 Dürr	13	55,8	2508	"	3,9	Seite 5,3 Mitte 5,0	2,5	10 643	137	19	3,43	192	4,2	38,4	42,5
Vict. Louise " L	Weser	"	17,4	5 629	88,2	"	770. 1110. 2×1300 1 : 2,4 : 5,71	"	"	"	62,6	2777	"	3,84	Seite 4,6 Mitte 4,4	2,54	10 701	146	19,1	3,65	171	3,9	39,0	28,5
Freya Ers. Freya	W. Danzig	"	"	5 629	"	"	800. 1230. 2×1330 1 : 2,36 : 5,51	"	12 Niclausse	"	72	2400	"	3,9	4,7	2,46	10 000*	152*	18,5*	3,9*	139*	4,2*	41,8*	33,5*
Prinzeß Wilh. " Elisab.	Germania	94	14	4 200	69,9	2 horiz. Woolf M. 2 Cylinder	1120. 1810. 1 : 2,6	860	4 Cylinder	7	64	1900	2	4,7	6,0	4,50	7 919	94	17,9	2,89	144	4,9	66,6	51,7
Irene " Ariadne	Vulkan	74	"	"	69	"	1100. 1900. 1 : 3	"	"	"	60	1744	"	4,5	6,4	2,17	6 160	104	17,6	2,94	103	3,6	82,1	70,1
Gefion Korv. J	Schichau Danzig	105	13,2	3 815	58	2 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	900. 1440. 2160 1 : 2,6 : 5,8	880	6 dopp. Cylinder	12	66,4	2109	"	4,2	4,1	2,09	9 827	142	20,5	4,2	148	4,7	59,0	37,7
Geier Krz. F	Whyn.	76	10,6	1 615	34,6	"	480. 830. 1320 1 : 3 : 7,6	750	4 Cylinder	"	21	654	"	3,0	4,5	2,45	2 853	139	16,3	3,5	136	4,4	64,7	49,7
Seeadler Ers. Adler	W. Danzig	"	10,5	1 824	34,7	"	500. 840. 1320 1 : 2,8 : 7	"	"	"	20,8	700	"	"	4,8	"	2 887	132	16	3,3	139	4,1	63,0	58,0

Die mit * bezeichneten Werthe sind den Bauvorschriften entnommen.

Name des Schiffes und Bezeichnung beim Bau	Erbauer	Schiff: Länge zw. den Ppd. in m	Breite in m	Depl. in t	⌧ qm	Maschine: Zahl und Art	Cylinder-Durchmesser mm	Hub mm	Zahl und Art	Kessel: Arbeitsdruck kg pro qcm	Rostfläche qm	Heizfläche qm	Propeller: Zahl	Ø m	Steigung m	⌧ Areal Propeller ⊙	Größte Leistung: IHP.	n	v in sm	Kolb. geschw. m	IHP. qm Rostfläche	IHP. qm Heizfläche	Gewicht p. IHP.: Kesselanlage kg	Masch.-anlage kg
Condor Ers. Eber	Blohm u. Voß	76	10,5	1600	34,7	2 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	500. 840. 1320 1 : 2,8 : 7	750	4 Cylinder	12	21	654	2	3,0	4,8	2,45	2880	133	16,2	3,3	137	4,4	62,6	55,1
Cormoran Krz. E	W. Danzig	=	=	1615	=	=	480. 830. 1320 1 : 3 : 7,6	=	=	=	=	700	=	=	=	=	2888	131	16	=	138	4,1	62,8	59
Gazelle = G	Germania	100	11,8	2646	43,4	2 dreif. Exp.M. 4 Cylinder	770. 1180. 2×1280 1 : 2,3 : 5,5	700	8 Niclausse	13	42,2	2023	=	3,5	5,4	2,26	6366	145	—	3,4	151	3,0	35,6	44,6
Thetis Kl. Krz. C	W. Danzig	= *	= *	—	—	=	790. 1210. 2×1320 1 : 2,3 : 5,6	710*	9 Schulz*	15*	45,4*	2302*	=	= *	4,7*	—	8000*	165*	21,5*	3,9*	177*	3,5*	36,8*	31,6*
Nymphe = A	Germania	= *	= *	2607	—	=	790. 1200. 2×1320 1 : 2,3 : 5,6	=	Schulz 4 doppel, 1 einf.	=	45,3	2320	=	=	=	—	= *	170*	21*	4,0	= *	= *	= *	34,0*
Niobe = B	Weser	=	=	2645	—	=	780. 1130. 2×1300 1 : 2,1 : 5,6	720	8 Thornycroft	=	39*	2000*	=	= *	4,6*	—	= *	= *	21,5*	4,1*	205*	4,0*	28,8*	33,4*
Hela Av. K.	=	=	11	2036	34,4	2 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	680. 1100. 1710 1 : 2,6 : 6,9	600	6 Lokomotiv	12,5	26,1	1162	=	3,3	4,1	2,07	5797	176	20,4	3,5	221	5,0	37,5	36,5
Greif Ers. Loreley	Germania	97	9,7	2065	—	2 horiz. Comp. M. 2 Cylinder	1200. 2000. 1 : 2,8	860	6 dopp. Cylinder	8	44,2	1245	=	—	—	—	5431	105	—	3,0	123	4,4	—	—
Meteor Av. F	=	71	9,6	950	—	2 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	607. 906. 1472 1 : 2,3 : 5,9	500	4 Lokomotiv	13	21,6	855	=	2,8	3,2	—	4749	233	—	3,9	219	5,6	30,6	28,2
Iltis Ers. Iltis	Schichau Danzig	62	9,1	899	23,5	=	380. 600. 900 1 : 2,5 : 5,6	650	4 Thornycroft	=	7,6	381	=	2,6	3,4	2,21	1378	157	14,2	3,4	181	3,6	=	57,0
Luchs = Habicht	W. Danzig	=	8,8	=	=	=	410. 630. 970 1 : 2,4 : 5,6	550	=	=	=	=	=	=	3,3	=	1300	163	14	3,0	171	3,3	29*	40*
Tiger = Wolf	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	= *	= *
Jaguar = Hyäne	Schichau Danzig	=	9,1	881	=	=	380. 600. 900 1 : 2,5 : 5,6	650	=	=	=	=	=	=	3,4	=	1406	159	14,6	3,4	185	3,7	30,6	57,0
Hohenzollern	Vulkan	117	14,0	4187	65,2	=	910. 1470. 2350 1 : 2,6 : 6,7	950	8 Cylinder	12	96	2679	=	4,5	6,9	2,05	9456	111	21,5	3,5	99	3,5	44,1	39,1
Torpedoboote S 58—65	Schichau. Elbing	43	5	153	5,9	1 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	480. 760. 1080 1 : 2,5 : 5,1	460	1 Lokomotiv	13	4,6	238	1	2,0	2,8	1,9	1491	295	20,1 / 19,3	4,5	325	6,3	17,8	15,1
= S 66—73	=	46	5,3	167	6,3	=	500. 790. 1130 1 : 2,5 : 5,1	500	=	=	5,3	293	=	2,2	2,5	1,66	1717	301	21,2 / 20,2	5,0	324	5,7	19,5	14,4
= S 74	= Masch. German.	49	=	186	6,8	1 dreif. Exp.M. 4 Cylinder	610. 870. 2×910 1 : 2,1 : 4,6	480	2 Thornycroft	14	9,6	576	=	=	2,6	1,85	2442	311	23,6 / 23,7	=	255	4,3	12,9	15,1
= S 75—81	=	47	=	181	6,5	1 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	520. 790. 1130 1 : 2,3 : 4,7	500	2 Lokomotiv	=	6,8	342	=	=	2,5	1,7	2110	325	22,3 / 21,4	5,4	310	6,2	20,8	14,1
= S 82—87	=	46	5,1	170	5,9	=	548. 850. 1200 1 : 2,4 : 4,8	=	2 Thornycroft	15	9,8	566	=	2,1	2,9	1,69	2251	321	25,1 / 22,2	=	230	3,9	14,9	13,5
= G 88/89	Germania	47	5	163	5,6	1 dreif. Exp.M. 4 Cylinder	575. 810. 2×900 1 : 2 : 4,9	480	2 Schulz	=	9,5	534	=	2,2	2,8	1,46	2263	317	25,8 / 24,0	5,1	239	4,3	13,4	14,4
= D 1 u. 2	Schichau Elbing	55	6,2	301	8,9	1 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	550. 880. 1260 1 : 2,6 : 5,3	540	2 Lokomotiv	12	7,1	309	=	2,6	2,4	1,67	1604	244	19,6 / 17,2	4,4	226	5,2	25,4	21,3
= D 3 u. 4	=	56	6,5	299	9,2	=	=	=	=	13	8	407	=	2,5	=	1,82	1943	279	20,2 / 18,4	5,0	242	4,8	25,9	17,8
= D 5 u. 6	=	58	7,2	406	12,3	=	690. 1120. 1680 1 : 2,6 : 5,9	600	=	=	9,9	521	=	2,8	3,0	1,98	2445	230	22,5 / 19,2	4,6	247	4,7	27,6	24,3
= D 7 u. 8	=	=	7,4	489	12,4	=	690. 1120. 1650 1 : 2,6 : 5,7	=	=	=	9,1	561	=	=	5,0	2,01	2872	237	22,5 / 19,8	4,8	316	5,1	25,2	21,6
= D 9	=	60	7,7	492	14,1	=	740. 1200. 1800 1 : 2,6 : 5,9	700	=	=	14,9	807	=	3,1	3,9	1,75	4297	207	23,6 / 21,2	=	288	5,3	25,7	19
= D 10	Thornycroft	64	5,9	366	9,8	2 dreif. Exp.M. 4 Cylinder	508. 737. 2×762 1 : 2,1 : 4,5	457	3 Thornycroft	15,1	18,2	1006	2	2,1	2,5	1,36	5183	362	27,1 / 25,5	5,5	284	5,2	11,1	—
= S 90	Schichau Elbing	61	7	396	10,5	2 dreif. Exp.M. 3 Cylinder	560. 850. 1240 1 : 2,3 : 4,7	500	=	15,5	22	1186	=	2,2	2,8	[illegible]	5146	333	26,5 / 24,1	=	234	4,3	14,3	14,5

Die mit * bezeichneten Werthe sind der Bauvorschrift entnommen. — Die in Spalte v unterstrichenen Werthe bezeichnen die Geschwindigkeiten der Probefahrten. [illegible] Abnahmefahrten.

Gedruckt in der Königlichen Hofbuchdruckerei von E. S. Mittler & Sohn,
Berlin SW12, Kochstraße 68—71.