

XI. Abschnitt.

Die Dampferzeugung.

184. Heizfläche der Kessel und Speisewasservorwärmer.

Der Prozeß der Übertragung der in einem Brennstoff aufgespeicherten Energie auf den Dampf läßt sich im allgemeinen in zwei Vorgänge trennen: in die Wärmeentwicklung, wobei unter Erhöhung der Temperatur der Heizgase die potentielle Energie in Wärme umgesetzt wird, und in die Übertragung der von den Heizgasen aufgenommenen Wärme durch die Heizfläche des Kessels, als Wärmeleiter, auf das Wasser. Die Heizgase selbst dienen somit als Wärmeträger, indem sie die Wärme von dem Erzeugungsorte derselben nach den verschiedenen Partien der Heizfläche, welche von dem Sitze der Verbrennung mehr oder minder weit entfernt sein können, fortschaffen. Unter Heizfläche versteht man hierbei allgemein jene Oberfläche des Kessels, welche von den brennenden Feuergasen bestrichen wird.

Unter sonst gleichen Umständen ist das Verdampfungsvermögen eines Kessels der Heizfläche desselben proportional. Als Leistung einer Heizfläche bezeichnet man gewöhnlich jene Wassermenge in kg, welche 1 qm derselben pro Stunde in Dampf verwandelt. Diese Leistung ist jedoch den verschiedensten Einflüssen unterworfen, schwankt daher ungemein und kann somit nur unter bestimmten Voraussetzungen als sichere Grundlage für die Beurteilung eines Kessels angesehen werden.

Die Leistungsfähigkeit irgend einer Partie der Heizfläche ist in erster Linie bedingt durch die Differenz der Temperatur der Gase einerseits und jener des Wassers andererseits, sowie durch die Schnelligkeit oder Leichtigkeit, mit welcher der an der Oberfläche der Kesselwand entwickelte Dampf sich von derselben entfernt. Unterschiede in der spezifischen Leitungsfähigkeit, sowie der Dicke der Kesselwand sind von viel geringerem Einflusse auf die Leistungsfähigkeit der Heizfläche, als man erwarten könnte; hingegen ist die Oberflächenbeschaffenheit derselben für die Leichtigkeit der Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe vom wesentlichem Einflusse. Die Ober-

flächen der Kesselwand überziehen sich mit solchen Substanzen, welche die Wärme mehr oder minder schlechter leiten als das Kesselmaterial selbst. Die vom Feuer und den Heizgasen bestrichene Oberfläche kommt ununterbrochen mit Ruß, Flugasche, Teerdämpfen etc., also mit Stoffen in Berührung, welche schlechte Wärmeleiter sind, und indem sie sich an der Kesselwand ablagern, die Wärmeaufnahme derselben sehr nachteilig beeinflussen. Aus diesem Grunde soll man bei der Anlage eines Kessels sorgfältig darauf achten, daß solche Ablagerungen einerseits von Haus aus möglichst hintangehalten, andererseits durch bequeme Zugänglichkeit des Kessels leicht entfernt werden können.

Die vom Wasser bedeckte Oberfläche des Kessels überzieht sich andererseits mit jenen Stoffen, welche im Wasser enthalten sind und bei dessen Verdampfung als Niederschlag zurückbleiben, dessen Menge mit jener des verdampften Wassers wächst. Diese Niederschläge (Kesselstein und Schlamm) sind gleichfalls sehr schlechte Wärmeleiter und vermindern daher in hohem Maße die Wärmeabgabe seitens der Kesselwand an das Wasser. Dieser schädigende Einfluß kann nur durch möglichste Verhinderung der Bildung von Niederschlägen, also durch Reinigung des Speisewassers vor seinem Eintritte in den Kessel, sowie durch fortwährende Beseitigung der gebildeten Niederschläge vermindert werden.

Wie vorhin bemerkt, wird die Leistungsfähigkeit der Heizfläche auch durch die Leichtigkeit, mit welcher sich der an der Kesselwand bildende Dampf von derselben entfernen kann, bedingt, da der Dampf selbst die Wärme schlecht leitet. Am ungünstigsten ist daher die Wärmeabgabe an solchen Partien der Heizfläche, welche stets nur mit Dampf in Berührung stehen; in diesen Partien vermag die Kesselwand die aufgenommene Wärme nicht genügend rasch abzugeben, es findet eine Wärmearaufspeicherung, also ein Erglühen derselben statt, welches zur Zerstörung des Materiales und unter Umständen zu einer Explosion des Kessels führen kann. Aus diesem Grunde pflegt man, wie bemerkt, die höchsten Stellen der Feuerzüge um mindestens 10 cm unter den festgesetzten tiefsten Wasserspiegel zu legen.

Günstig wirkt in diesem Sinne somit die möglichst schnelle Entfernung der unmittelbar an der Wand entstandenen Dampfblasen durch eine entsprechende Zirkulation des Wassers, welche den natürlichen Auftrieb der Dampfblasen fördert; diese Bewegung des Wassers in Verbindung mit dem raschen Auftreiben der Blasen ruft eine Strömung hervor, welche die heißen Dampfblasen durch kälteres Wasser ersetzt und dadurch den Wärmeaustausch beschleunigt. Diese Strömung wird naturgemäß um so lebhafter sein, je größer die Wärmezufuhr in der Zeiteinheit ist; sie wird daher in der Nähe der Feuerstelle am stärksten und am Ende

der Züge am schwächsten sein; in Folge dieser großen Verschiedenheit der Temperatur an einzelnen Partien der Heizfläche wird eine selbsttätige Bewegung des Wassers hervorgerufen, indem die kälteren Wasserpationen das Bestreben haben, die wärmeren zu verdrängen; dieser Kreislauf erhöht und regelt das Verdampfungsvermögen des Kessels, gleicht die Temperaturen aus und vermindert das Ansetzen fester Niederschläge. Man hat in Erkenntnis der Vorteile einer lebhaften Wasserzirkulation auch künstliche Vorrichtungen (Wassersteig- und -fallröhren, Bewegungsorgane etc.) verwendet, um die Bewegung des Wassers zu steigern; doch werden im allgemeinen Kesselkonstruktionen bevorzugt, welche an und für sich, ohne mechanische Hilfsmittel, eine genügend energische Strömung des Wassers sichern.

In gleicher Weise wie durch die Wasserzirkulation dafür gesorgt wird, daß die von der Kesselwand aufgenommene Wärme immer wieder durch neu hinzutretende Wasserpationen abgeführt wird, müssen jene Heizgase, welche ihre Wärme an die Kesselwand abgegeben haben, neuen heißen Gasen Platz machen, damit die Wärmeübertragung seitens der Heizgase an den Kessel ununterbrochen stattfinde.

Diese Doppelpzirkulation zu beiden Seiten der Kesselwand ist für die Wärmeüberführung durch dieselbe von höherer Bedeutung, als die Leitungsfähigkeit des Kesselbleches selbst.

Während die Feuergase die Feuerzüge durchziehen, findet eine allmähliche Abkühlung derselben statt, bis sie schließlich mit einer Temperatur entweichen, welche notwendigerweise etwas höher ist als die Temperatur des Wassers, an welches dieselben ihre Wärme abgegeben haben. Diese Abgangstemperatur der Gase ist jedoch nicht notwendigerweise höher oder gleich hoch wie die Temperatur des Dampfes, da die Gase, nachdem sie den Kessel verlassen haben, ihre Wärme noch an einen Speisewasservorwärmer, durch welchen das verhältnismäßig kalte Speisewasser auf seinem Wege nach dem Kessel zirkuliert, abgeben können.

Der Vorwärmer bildet ja tatsächlich eine Erweiterung der Heizfläche, welche jedoch hinsichtlich des Wärmeaustausches größer ist, als eine gleich große Vergrößerung der Kesseloberfläche, da die Temperatur des Vorwärmerinhaltes niedriger ist wie jene des Kesselinhaltes. Es bildet daher in diesem Falle die Anfangstemperatur des Speisewassers und nicht die Temperatur des Dampfes die untere Grenze, bis zu welcher die Temperatur der Heizgase denkbarerweise erniedrigt werden könnte. Nachdem jedoch die Wärmeübertragung, falls die Temperatur der Heizgase sich dieser untersten Grenze nähern würde, nur äußerst langsam erfolgen könnte, läßt man die Heizgase stets mit wesentlich höherer Temperatur entweichen. Selbst bei Anwendung eines Vorwärmers haben die abziehen-

den Gase selten eine Temperatur niedriger als 200° C. Wird der Zug durch eine Esse erzeugt, dann müssen die Gase mit einer verhältnismäßig hohen Temperatur abziehen, weil die Wirkung der Esse darauf beruht, daß der Inhalt derselben leichter ist als die äußere Luft.

185. Zugerzeugung. Der natürliche oder Essenzug. Bei Feuerungsanlagen wird unter „Verbrennung“ stets der unter Entwicklung von Wärme und Licht vor sich gehende Prozeß der Vereinigung eines Brennstoffes mit dem Sauerstoff der Luft verstanden. Die Verbrennung bedingt daher das Vorhandensein einer genügenden Luftmenge, sowie der erforderlichen Entzündungstemperatur, welche auch während des Prozesses erhalten bleiben muß. Nachdem die hier in Betracht kommenden Brennstoffe als eigentlich brennbare Substanzen nur Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, werden die Verbrennungsbedingungen vor allem durch diese beiden Stoffe bestimmt; dieselben verwandeln sich bei ausreichender Luftzufuhr und entsprechend hoher Temperatur in Kohlensäure und Wasser. Diese beiden Substanzen bilden daher bei vollkommener Verbrennung die alleinigen Verbrennungsprodukte. Nachdem die Brennstoffe vor ihrer Verbrennung jedoch einem Destillationsprozesse unterliegen, werden sie zunächst entgast; es bilden sich zum Teil flüchtige Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxydgas; erstere begründen die Flammbarkeit, die somit um so intensiver ist, je mehr Kohlenwasserstoffe vorhanden sind.

Zum Verbrennen von 1 kg Kohlenstoff benötigt man theoretisch 11,7 kg, zum Verbrennen von 1 kg Wasserstoff 35 kg Luft; diese theoretische Luftmenge genügt jedoch nicht, nachdem die Voraussetzungen der vollständigen Verbrennung, d. i. die vollkommene Vermischung der Gase und die vollständige Berührung der festen Brennstoffe mit dem Sauerstoffe der Luft, nicht zutreffen. In Wirklichkeit schwankt die für die vollständige Verbrennung erforderliche Luft je nach der Art der Anlage zwischen der $1\frac{1}{2}$ - bis 3-fachen theoretischen Menge.

Eine zu kleine als auch eine zu große Luftzufuhr hat eine unvollständige Verbrennung zur Folge; erstere wegen Mangel an Sauerstoff, letztere wegen Luftüberschuß, also Abkühlung des Brennstoffes; in beiden Fällen sinkt die Ökonomie der Verbrennung. Die unvollständige Verbrennung ist durch das Vorhandensein brennbarer Gase in den Verbrennungsprodukten oder durch die Bildung von Rauch und Ruß gekennzeichnet.

Die Abkühlung des Brennstoffes unter die Entzündungstemperatur kann auch auf andere Ursachen zurückgeführt werden. Die plötzliche Beschickung des Feuerraumes mit einer größeren Brennstoffmenge hat eine plötzliche Abkühlung zur Folge, weil diese eine bedeutende Wärme-

menge aufnehmen muß, die dem übrigen Brennstoff hierdurch entzogen wird; auch gelangt in der Regel mit dem Brennstoffe eine größere Wassermenge in den Feuerraum, welche zu verdampfen ist, also momentan Wärme in größerer Menge entzieht. Beim Öffnen der Heitzüren gelangen zumeist größere kalte Luftmengen in den Heizraum und bringen eine plötzliche Abkühlung der Heizgase hervor. Dann kommen namentlich beim Anheizen die Gase mit verhältnismäßig kalten Oberflächen in Berührung u. s. f.

Die Verbrennung wird im allgemeinen wesentlich durch die Zuführung warmer Luft gefördert, weil hierdurch die Lebhaftigkeit derselben gesteigert und der Abkühlung vorgebeugt wird; die Verwendung warmer Luft wird also namentlich dann zu empfehlen sein, wenn es sich um die Erzeugung hoher Temperaturen handelt.

Die Mittel der Rauchverhütung und Rauchverbrennung liegen daher einerseits in der richtigen Behandlung des Feuers, andererseits in baulichen und anderwärtigen Einrichtungen der Feuerungsanlage; die Anwendung derselben ist zumeist von einer Erhöhung der Brennstoffökonomie begleitet, daher sie die größte Aufmerksamkeit verdienen.

Die ununterbrochene Zuführung frischer Luft, sowie die gleichzeitige Abführung der Verbrennungsprodukte ist die wichtigste Bedingung für die Unterhaltung des Verbrennungsprozesses; die Luft muß daher unter einem solchen Überdrucke in den Feuerraum eintreten, daß unter der Wirkung desselben die Heizgase hinausgedrängt werden. Diese Bedingung kann erreicht werden, entweder durch Einpressen der Luft mittels Überdruck, oder durch Wegsaugen derselben mittels Unterdruck. Der letztere Weg ist der fast allgemein betretene, weil er der einfachste ist und manche Vorteile gegenüber dem Einpreßverfahren bietet.

So enorme Fortschritte die Feuerungstechnik im Laufe des letzten Jahrhunderts auch gemacht hat, so ist sie doch in der Lösung einer der wichtigsten einschlägigen Fragen nahezu auf demselben Standpunkte stehen geblieben, denn die Absaugung der Verbrennungsprodukte, sowie das Nachsaugen frischer Verbrennungsluft erfolgt nach wie vor in der weitaus größten Anzahl von ortsfesten Betrieben durch den natürlichen Zug einer aufsteigenden warmen Luftsäule, also durch den **Essenzug**.

Die Schornsteine der Dampfkesselanlagen waren stets eine Quelle von Schwierigkeiten aller Art. Abgesehen von mancherlei Gefahren, denen die Schornsteine ausgesetzt sind, als Selbstentzündungen und Brände, Blitzschläge, Erderschütterungen etc., muß ihnen vor allem die arge Rauchbelästigung zur Last gelegt werden, und so viele Anstrengungen auch gemacht wurden, diese Plage zu beseitigen, so konnten doch bis heute Erfolge nach dieser Richtung von durchschlagender Bedeutung nicht erzielt werden.

Bei einer vorhandenen Feuerungsanlage hängt die Zugstärke nach wie vor von der Art des Betriebes, von der Temperatur der Essengase, dem Verständnisse und guten Willen des Heizers, sowie von den Witterungsverhältnissen ab, und weder ein erfahrener Feuerungstechniker, noch ein bewährter Schornsteinbauer ist imstande, eine Garantie für die Höhe der Zugstärke einer Anlage zu übernehmen. Und wenn auch die durch einen Schornstein erzielte Zugstärke anfänglich genügt, so wird sie bei Erhöhung der an die Feuerungsanlage zu stellenden Forderung bald nicht mehr genügen, um die erforderliche Luftmenge zuzuführen und den nötigen Zug zu erzeugen, und dies wird nun zu einer der Hauptursachen des Qualmens.

Die Zugstärke ist von der Temperatur der Essengase und jener der Außenluft ungemein abhängig. Über den Einfluß der Essengastemperatur auf die Leistung des Schornsteines veröffentlichte F. Krauß in der *Zeitschrift der Dampfkesseluntersuchungs-Gesellschaft in Wien* 1896 instructive Werte, indem er die Beziehungen obiger Temperatur, der theoretischen Zugstärke und der geförderten Gasmenge feststellte. Diese Beziehungen bestätigen die Erfahrung, daß die Erhöhung der Essengastemperatur eine Erhöhung der Zugstärke, jedoch keine Vermehrung des geförderten Gasgewichtes zur Folge hat. So ergeben sich z. B. für eine Schornsteinhöhe von 30 m folgende Werte:

Temperatur der Essengase in C°	250	300	350	400	500
Gasgeschwindigkeit in m/Sek.	21,5	23,7	25,7	27,7	31,1
Zugstärke am Schornstein in mm Wassersäule	16,0	17,8	19,2	20,5	22,6
Gasmenge in kg/Sek.	14,6	14,7	14,7	14,6	14,0

Ein Schornstein von gegebenen Dimensionen kann daher nur eine innerhalb sehr enger Grenzen veränderliche Gasmenge befördern, somit nur ein bestimmtes, nicht überschreitbares Gewicht an Kohle zur Verbrennung auf dem zugehörigen Roste gelangen lassen; seine Leistungsfähigkeit ist, durch seine starren Dimensionsverhältnisse bedingt, einer Ausdehnung nicht fähig. Die Temperatur der Essengase darf ja überhaupt nicht wesentlich unter 200° bis 180° C sinken, wenn darunter die Leistungsfähigkeit des Schornsteines nicht leiden soll, und jeder Versuch, die Wärme besser auszunützen, bedeutet ja nur eine Herabminderung seiner Zugkraft. Man muß dabei im allgemeinen mit einer Zugstärke von 12 bis 15 mm Wassersäule am Fuße des Schornsteines zufrieden sein; in vielen Fällen beträgt dieselbe nur 6 bis 10 mm. während des Betriebes.

Die Wirksamkeit eines Schornsteines beruht auf dem Gesetze des Auftriebes, indem die warme Luftsäule das Bestreben hat, sich innerhalb der

kälteren Umgebung aufwärts zu bewegen; nachdem die Dichte eines Gases im umgekehrten Verhältnisse zur Temperatur desselben steht, so nimmt dieses Bestreben mit wachsender Temperatur zu. Bezeichne t die Temperatur der Außenluft, t_1 die Temperatur der Gase, h die Höhe des Schornsteines über dem Roste als Eintrittsstelle der Luft in Metern, v die sekundliche Geschwindigkeit der Gase in Metern, g die Fallbeschleunigung, endlich d und d_1 die Dichte der äußeren, beziehungsweise der erhitzten Luft.

Die Druckdifferenz p der äußeren und inneren Luft pro Flächeneinheit beträgt

$$p = hd - hd_1 = h(d - d_1).$$

Die Höhe H jener Luftsäule von der Dichte der äußeren Luft, welche vermöge ihres Gewichtes diesen Druck hervorbringen würde, findet man, indem man den Druck p durch die Dichte d_1 dividiert; somit ist

$$H = \frac{p}{d_1} = h \frac{d - d_1}{d_1}.$$

Die theoretische Geschwindigkeit, mit welcher die äußere Luft in den Schornstein eintreten würde, wenn keine Widerstände zu überwinden wären, ergibt somit der Ausdruck

$$v = \sqrt{2gH}$$

oder

$$v = \sqrt{2gh \left(\frac{d - d_1}{d_1} \right)}.$$

Unter Einführung der Temperatur t_1 und t wird

$$d_1 = \frac{d_0}{1 + \alpha t_1} \quad \text{und} \quad d = \frac{d_0}{1 + \alpha t},$$

wobei d_0 die Dichte der Luft bei 0° unter demselben Drucke und α der Ausdehnungskoeffizient der Luft sei.

Diese Werte von d_1 und d in die Gleichung für v eingesetzt gibt

$$v = \sqrt{2gh} \sqrt{\alpha} \sqrt{\frac{t_1 - t}{1 + \alpha t}}.$$

Daraus berechnet sich die pro Zeiteinheit geförderte theoretische Luftmenge, die sogenannte Zug- oder Saugkraft der Esse, dem Gewichte nach

$$Q = f \cdot d_1 v,$$

wenn f den Querschnitt der Esse bedeutet; unter Einführung des Wertes von v und d_1 wird

$$Q = f \cdot \frac{d_0}{1 + \alpha t_1} \cdot \sqrt{2gh} \sqrt{\alpha} \sqrt{\frac{t_1 - t}{1 + \alpha t}},$$

oder wenn man der Kürzung wegen, nachdem für ein und dieselbe Esse f , d_0 , $\sqrt{2g}$ und $\sqrt{\alpha}$ konstante Größen sind, $f \cdot d_0 \sqrt{2g\alpha} = k$ setzt, und berücksichtigt, daß für die Temperatur t der Außenluft in Anbetracht des kleinen Wertes von α ($\alpha = 0,003665$) das Produkt αt gegen 1 vernachlässigt werden kann, so wird

$$Q = k \sqrt{h} \left(\frac{\sqrt{t_1 - t}}{1 + \alpha t_1} \right).$$

Aus dieser Gleichung ist zu ersehen, daß die Zugkraft einer Esse nur im Verhältnisse der Quadratwurzel der Höhe zunimmt; es wird daher unter sonst gleichen Verhältnissen die Zugkraft einer Esse bei Erhöhung derselben um das zwei- bis dreifache ihrer ursprünglichen Höhe nur um das $\sqrt{2} = 1,41$ - bis $\sqrt{3} = 1,73$ -fache zunehmen; man müßte daher bei Erreichung der doppelten Zugkraft die Schornsteinhöhe viermal so groß machen.

Die wirkliche Pressungshöhe, welche in einem gegebenen Falle erforderlich ist, um einerseits die nötige Luftmenge zu fördern, andererseits die Bewegungswiderstände der Luft auf ihrem Wege durch das Brennmaterial, die Feuerzüge und andere Partien des Kessels zu überwinden, wird wesentlich größer sein müssen, als die durch obige Gleichung ausgedrückte theoretische Pressungshöhe, oder mit anderen Worten, ein Schornstein von gegebenen Dimensionen wird unter sonst gleichen Verhältnissen effektiv eine viel geringere Luftmenge pro Zeiteinheit zu fördern vermögen, als theoretisch nachweisbar ist.

Berücksichtigt man ferner, daß die Reibung proportional mit der Essenhöhe wächst, so ist wohl klar, daß von einer bestimmten Höhe der Esse an die Zunahme des Essenzuges durch die Zunahme der Reibung im Gleichgewichte erhalten werden wird, so daß über diese Höhe hinaus eine Steigerung der Leistung der Esse kaum mehr erwartet werden kann; diese Grenze liegt ungefähr bei 50 m Essenhöhe. Nachdem man jedoch einen Schornstein von gegebenen Dimensionen aus baulichen Gründen in den seltensten Fällen betreffs Erhöhung seiner Leistungsfähigkeit wesentlich aufhöhen kann, so wird die oberste Grenze der Leistungsfähigkeit desselben gar bald erreicht; es wird daher in einem solchen Falle geradezu unmöglich sein, an eine voll belastete Dampfanlage noch weitere Dampferzeuger anzufügen, ohne einen neuen Schornstein zu bauen oder den bestehenden Schornstein durch künstlichen Zug leistungsfähiger zu gestalten.

Die Saugkraft einer Esse hängt jedoch, wie die vorhin aufgestellte Gleichung besagt, nicht nur von der Höhe h derselben, sondern auch von der Temperatur t_1 und zwar in dem Verhältnisse $\frac{\sqrt{t_1 - t}}{1 + \alpha t_1}$ ab. Dieser Aus-

druck kann nicht unendlich werden, weil der Nenner rascher wächst wie der Zähler. Dieser Ausdruck wird ein Maximum für

$$1 + \alpha t_1 = 2\alpha(t_1 - t) \quad \text{oder} \quad t_1 = 2t + \frac{1}{\alpha};$$

dieser Temperatur würde daher ein theoretisches Maximum der Zugkraft entsprechen.

Für $\alpha = 0,003665$, $\frac{1}{\alpha} = 273$, und die Temperatur der äußeren Luft $t = 0$ wird $t_{1\text{max.}} = 273^\circ \text{C}$.

Berechnet man für verschiedene Werte von t_1 den Wert des Ausdrucks $\frac{\sqrt{t_1 - t}}{1 + \alpha t_1}$, dann findet man:

für $t_1 = 100^\circ \dots$	$\frac{\sqrt{t_1 - t}}{1 + \alpha t_1} = 7,4$
„ $t_1 = 200^\circ \dots$	„ = 8,16
„ $t_1 = 273^\circ \dots$	„ = 8,255
„ $t_1 = 300^\circ \dots$	„ = 8,251
„ $t_1 = 400^\circ \dots$	„ = 8,11
„ $t_1 = 500^\circ \dots$	„ = 7,89.

Daraus ersieht man, daß der Essenzug ohne Berücksichtigung der Bewegungswiderstände bereits bei einer Temperatur von 100°C einen Wert annimmt, welcher dem theoretischen Maximum nahe liegt und daß es daher keine wesentlichen Vorteile bietet, wenn man mit der Temperatur der Essengase über 200°C hinausgeht.

In Wirklichkeit wird man bei natürlichem Zuge in anbeacht der in den zumeist vorkommenden Fällen zu überwindenden verhältnismäßig großen Bewegungswiderstände mit diesen Temperaturen nicht ökonomisch arbeiten können. Bei künstlich gesteigertem Zuge und niedriger Esse ist der Widerstand des Rostes der hauptsächlichste Bewegungswiderstand der Luft; bei einer hohen Esse und natürlichem Zuge hingegen ist der Reibungswiderstand der Esse selbst so bedeutend, daß eine Vergrößerung der Höhe, wie bereits früher bemerkt, fast keine Zunahme des Zuges und in Fällen, wo der Querschnitt der Esse in der Aufhöhung auch noch abnimmt, sogar eine Verminderung desselben zur Folge hat. Unter solchen Bedingungen wird die Zugkraft durch Erhöhung der Schornsteintemperatur nur bis zu einer gewissen Grenze gefördert, bei welcher die Zunahme der Zugkraft und folglich auch der Geschwindigkeit der Essengase mehr als ausgeglichen wird durch die Abnahme der Dichte derselben; wird dieser Grenzwert überschritten, d. h. sind die Gase noch heißer, dann wird das Gewicht der in einer gegebenen Zeit die Esse passierenden Gase tatsächlich abnehmen.

In jenen Fällen, wo ein effektiver Widerstand erst nach erfolgter Erhitzung der Gase zu überwinden oder mit anderen Worten, der Widerstand des Rostes verhältnismäßig sehr klein ist, wird das Maximum des Zuges dann erreicht, wenn die Dichte der Essengase ungefähr halb so groß ist, wie jene der Außenluft. Es geht dies aus der Beziehung der Dichte

$$d_1 = d_0 \frac{1}{1 + \alpha t_1}$$

hervor, indem man in diese Gleichung für t_1 den vorhin gefundenen Wert $t_1 = 273^0$ für das Maximum der Zugkraft einführt:

$$d_1 = d_0 \frac{1}{1 + \frac{1}{273} \times 273} = \frac{1}{2} d_0.$$

Wenn jedoch der Widerstand des Rostes einen wesentlichen Betrag des Gesamtwiderstandes bildet, und dies ist fast durchgehends der Fall, dann tritt das Maximum der Saugwirkung erst bei einer entsprechend höheren Temperatur ein. Eine weitere Erhöhung der Temperatur über diesen Grenzwert bringt, wie schon erwähnt, keinen Vorteil; hinsichtlich des thermischen Wirkungsgrades ist es sogar günstiger, mit niedrigerer Temperatur zu arbeiten, weil infolgedessen auch weniger Wärme mit den Essengasen abzieht.

Wie durch die Kesselpraxis und zahlreiche einschlägige Messungen und Beobachtungen festgestellt, ist der größte zu überwindende Widerstand jener, welchen der beschickte Rost sowie bei Röhrenkesseln die Röhren selbst hervorrufen, während die Hervorbringung der Geschwindigkeit nur einen verhältnismäßig geringen Teil der Zugkraft beansprucht.

Prof. Gale*) hat bei einem gewöhnlichen stationären Röhrenkessel folgende Pressungen in mm Wassersäule gefunden:

Zur Hervorbringung der Eintrittsgeschwindigkeit von ca. 1 m/Sek.	0,066 mm
Überwindung des Rostwiderstandes	4,605 „
Überwindung des Widerstandes des Heizraumes und der Kesselröhren.	6,244 „
Überwindung des Widerstandes in den Zügen	0,304 „
Zur Hervorbringung der Austrittsgeschwindigkeit aus den Feuerzügen von ca. 3,4 m/Sek.	0,430 „
Totale effektive Pressung	11,629 mm

Bei stationären Kesseln ohne Feuerröhren kann angenommen werden, daß die Drosselwirkung des Rostes ungefähr drei Viertel des totalen Essenzuges beansprucht; von dem restlichen Viertel entfallen ca. 75% auf die Widerstände in den Zügen und dem Kamine, während somit nur

*) Horace Gale, *Theory and Design of Chimneys*. Transactions American Society of Mechanical Engineers, Vol. XI.

$\frac{1}{16}$ der totalen Zugkraft zur Hervorbringung der Geschwindigkeit erforderlich ist. Prof. Gale führt die Untersuchung eines Falles an, in welchem 60% der totalen Zugstärke durch die Drosselwirkung des Rostes verloren gingen und nur 4% derselben zur Beschleunigung der Gase verzehrt wurden. Der betreffende Schornstein hatte eine Höhe von 32 m und die Temperatur der Essengase betrug im Mittel 320° C. Würde die ganze Zugstärke zur Erzeugung der Geschwindigkeit verwendet worden sein, dann hätte diese den Betrag von ca 24 m erreichen müssen, während dieselbe in Wirklichkeit nur ca. 4,9 m betrug.

Obwohl der schließliche Zweck jeder Art der Zugerzeugung darin gipfelt, die Verbrennungsprodukte fortzuschaffen und die zur Verbrennung erforderliche Luftmenge zuzuführen, so ist doch, wie schon aus obigem hervorgeht, dieser Anteil der Gesamtarbeit verschwindend klein im Vergleiche mit jener Arbeit, welche die Überwindung der Bewegungswiderstände seitens des Brennmaterials und des Kessels erfordert; oder mit anderen Worten, um eine gegebene Menge eines Brennstoffes zu verbrennen, ist die Fähigkeit, eine genügende Druckdifferenz zu erzeugen, die erste Forderung; die Fähigkeit, eine bestimmte Luftmenge zu bewegen, kommt erst in zweiter Linie in Betracht. Zugerzeugungsapparate sind daher nicht bloß nach der pro Zeiteinheit zu bewegenden Luftmenge, welche man durch Multiplikation des Brennstoffverbrauches mit der pro Gewichtseinheit derselben erforderlichen Luftmenge erhält, zu beurteilen, denn wäre dies der Fall, dann würde eine Esse von geringer Höhe oder ein großer, langsam laufender Ventilator vollkommen genügen. Ein Schornstein oder ein Ventilator muß in erster Linie so bemessen sein, daß er durch hinreichende Zugstärke die verhältnismäßig sehr großen Widerstände seitens des Brennstoffes und Kessels überwindet und die erforderliche Zuggeschwindigkeit erzeugt. Die Zuggeschwindigkeit muß so groß sein, daß das Produkt aus derselben und dem vollen Querschnitte an der Messungsstelle jenes Luftvolumen ergibt, welches zur Verbrennung der geforderten Brennstoffmenge notwendig ist. Ist diesen Anforderungen entsprechend die Höhe der Esse oder Durchmesser und Geschwindigkeit eines Ventilators bestimmt, dann hat man nur das Fassungsvermögen des Zugerzeugungsorganes der gegebenen Luftmenge anzupassen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft sowie die Heizgase sich vom Aschenfall bis zum Ende der Feuerzüge (Fuchs) bewegen, ändert sich ungemein unter dem Einflusse der Veränderlichkeit des Querschnittes und der Temperatur und beeinträchtigen die zur Erreichung eines bestimmten Resultates erforderliche Zugstärke. Die Zugstärke wird aber andererseits auch von der Beschaffenheit des Brennmaterials, der Art der Feuerung und der Bedienung derselben, sowie von der Bauart des Kessels

abhängig, daher von einer Summe von Faktoren beeinflusst sein, welchen der durch eine Esse erzeugte natürliche Zug niemals auch nur annähernd Rechnung tragen kann.

Diese Tatsachen führen zu der Erkenntnis, daß es von vornherein vorteilhafter sein wird, einen Zugerzeuger zu benützen, der von diesen äußeren Umständen unabhängiger ist als ein Schornstein.

Zugunsten des natürlichen Zuges muß allerdings ein Vorteil hervorgehoben werden, welcher dem künstlichen oder mechanischen Zuge nicht zukommt: es ist dies die volle Unabhängigkeit des natürlichen Zuges, da derselbe zu seiner Erzeugung nur die Erwärmung der im Schornsteine eingeschlossenen Luftsäule als Kraftquelle bedarf, während der mechanische Zug entweder einen direkten oder indirekten Kraftantrieb erfordert. Die Kosten des natürlichen Zuges werden infolgedessen gewöhnlich als sehr gering angesehen, da zur Erzeugung desselben nur die von den Feuerzügen abziehenden Gase benützt werden, deren Wärme ohnedies verloren geht. Dieser Wärmeverlust beträgt jedoch durchschnittlich 18 bis 22% der auf dem Roste entwickelten Wärme und kann nur unter den günstigsten Umständen, bei einer Temperatur der Abgase von ca. 180°, mit dem Minimalwerte von ca. 12% angenommen werden.

Der diesem Wärmeverluste entsprechende Brennmaterialverbrauch stellt die Betriebskosten des Schornsteines dar, zu welchen noch ein für Verzinsung und Abschreibung des Anlagekapitales sowie für die Erhaltung des Schornsteines erforderlicher Betrag hinzugefügt werden muß.

Zu diesem durch die Wärme der abziehenden Gase hervorgerufenen Verluste an potentieller Energie des Brennstoffes kommen noch die unvermeidlichen, jedoch sehr geringen Verluste an Brennmaterial bei der Reinigung des Rostes, die Verluste infolge Wärmeleitung und Ausstrahlung, endlich die Verluste zufolge unvollkommener Verbrennung, sowie der Bildung von Dampfgas als eines der Verbrennungsprodukte, welches unkondensiert mit den Heizgasen abzieht. Die Summe aller Verluste an Wärme etc. hat zur Folge, daß im günstigsten Falle ungefähr 80%, gewöhnlich jedoch nur 70% der potentiellen Energie des Brennstoffes zur Dampfbildung gelangen.

Im Zusammenhange mit der Zugerzeugung sei hier noch eine Verlustquelle namhaft gemacht, welche eine Verminderung des Zuges beziehungsweise der Leistungsfähigkeit einer Anlage zur Folge hat, es ist dies die Undichtheit des Kesselmauerwerkes. Die durch die Undichtheiten des Mauerwerkes eingesogene Luftmenge ist häufig überraschend groß, vermehrt das Luftvolumen, welches abgesaugt werden muß und vermindert die Temperatur; hierdurch kann die Zugstärke einer Esse mitunter so nachteilig beeinflusst werden, daß dieselbe, obgleich scheinbar ausreichend

dimensioniert, in Wirklichkeit den Erwartungen nicht entspricht. Bei künstlichem Zuge durch Absaugen der Gase mittels Ventilator spielen diese Undichtheiten insofern keine nachteilige Rolle, als die Intensität des Zuges mit abnehmender Temperatur der Gase bei konstant bleibender Tourenzahl des Ventilators zunimmt. Hingegen wird bei unter dem Roste eingepreßter Luft durch die in Rede stehende Undichtheit ein mehr oder minder direkter Verlust an Wärme resultieren. Man muß daher trachten, durch solides, sorgfältig verfugtes Mauerwerk diesen sonst sehr erheblichen Wärmeverlust zu vermindern beziehungsweise zu verhindern*).

Aus dem vorhergehenden ist es klar, daß eine Esse so dimensioniert sein muß, daß durch dieselbe einerseits die zur Überwindung aller Widerstände erforderliche Druckdifferenz erzeugt und andererseits der pro Zeiteinheit zu fördernden Luftmenge die nötige Geschwindigkeit erteilt wird.

Die in einer bestimmten Zeit auf einem gegebenen Roste zur Verbrennung gelangende Kohlen- oder Brennstoffmenge ist gleich dem Gewichte der durch den Rost getriebenen Luftmenge, dividiert durch das Gewicht der zur Verbrennung der Gewichtseinheit Brennmaterial unter den gegebenen Umständen erforderlichen Luftmenge.

Wie bereits früher erwähnt, ist letztere sehr veränderlich und schwankt zwischen dem theoretisch erforderlichen und einem Betrage, welcher diese um 100 und mehr Prozent übersteigt.

Das Gewicht der in der Zeiteinheit die Feuerzüge passierenden Luft ist gleich dem Querschnitte multipliziert mit der Geschwindigkeit an der Messungstelle und der Dichte oder dem Gewichte pro Volumeneinheit. Diese Geschwindigkeit in den verschiedenen Partien der Feuerungsanlage kann nur durch eine Pressung erzeugt werden, welche näherungsweise auf Grund theoretischer Betrachtung durch Rechnung bestimmt werden kann. Die zusätzliche, zur Überwindung der Widerstände erforderliche Pressung kann jedoch nur im Wege des Experimentes oder durch die Erfahrung ermittelt werden. Diese Widerstände sind proportional dem Quadrate der wirklichen Geschwindigkeit und abhängig von dem Querschnitte und der Länge der Feuerzüge und der Esse, der Dicke der Brennstoffschicht und der Beschaffenheit des Brennmaterials. Die Dimensionen eines Essenzuges beziehungsweise eines Schornsteines können daher in verlässlicher Weise nur auf Grund solcher Versuche ermittelt werden, welche unter gleichen oder wenigstens ähnlichen Voraussetzungen ausgeführt wurden.

*) Eine Beobachtung über die verhältnismäßige Größe dieses Verlustes siehe: „*Mechanical Draft*“. *A practical Treatise*. B. F. Sturtevant, Engineering Co., London, S. 178.

Diese Tatsache erklärt die große Verschiedenheit der für die Bestimmung der Schornsteindimensionen aufgestellten Formeln und begründet die Notwendigkeit der Aufstellung von auf praktischem Wege ermittelten Konstanten.

Formeln für die Ermittlung der Schornsteindimensionen finden sich in allen einschlägigen Publikationen, auf welche hier verwiesen sei*).

186. Der künstliche oder mechanische Zug. Der Schornstein war lange Zeit hindurch das einzige praktisch brauchbare Mittel zur Erzeugung des Zuges, welcher daher gewöhnlich „natürlicher“ Zug genannt wurde. Würde der Schornstein allen Anforderungen der modernen Kesselpraxis genügen, dann würde man kaum nach einem Ersatz für denselben gesucht haben. Das täglich intensiver hervortretende Bestreben, anstelle des Schornsteines andere künstliche Mittel zu verwenden, ist daher der beste Beweis der Unzulänglichkeit des Schornsteines, einen befriedigenden und ökonomischen Zug zu erzeugen. Während man anfänglich den künstlichen Zug nur zur Unterstützung des Essenzuges in Fällen, wo eine vorhandene Esse nicht mehr ausreichte, verwendete, wird derselbe heutzutage auch unter gewöhnlichen Verhältnissen als geeigneter und wirksamer Ersatz des Schornsteines zur Hervorbringung jeder beliebigen Zugstärke verwendet.

Der mechanische Zug ist also keine Neuheit mehr; wir besitzen seit Jahren die verschiedensten Einrichtungen, welche entweder die Verbrennungsluft durch den Rost ansaugen oder dem Brennstoffe gepreßte Luft durch den Aschenfall beziehungsweise den Feuerraum zuführen.

Die Benützung des mechanischen Zuges mittels Ventilatoren hat bei den Kesselfeuerungen der Marine große Fortschritte gemacht und ersetzt dort vollkommen den natürlichen Zug, während sich derselbe bei den Kesselanlagen des Festlandes noch nicht einzubürgern vermochte. Man brachte dem künstlichen Zuge lange Zeit hindurch nur Mißtrauen entgegen und fürchtete vor allem, daß der gesteigerte Zug und die Erhöhung des Betriebes den Kesseln nachteilig werden könnte; auch war man stets geneigt, die Mängel, welche den einzelnen Einrichtungen zur Erzeugung künstlichen Zuges anhafteten, diesem selbst in die Schuhe zu schieben.

Die Engländer und Amerikaner haben jedoch frühzeitig erkannt, daß die Grundlagen der ortsfesten Betriebe von jenen des Schiffsbetriebes nur scheinbar verschieden sind und daß daher dieselben Prinzipien, jedoch mit entsprechend geänderten Hilfsmitteln, hier wie dort zur Erreichung

*) *Mechanical Draft*, B. F. Sturtevant, Engineering Co., London, S. 182—190.
Anlage und Betrieb der Dampfkessel, H. v. Reiche, 3. Aufl., Leipzig 1888. *Bau und Betrieb der Dampfkessel*, H. Haeder, 3. Aufl., Duisburg u. a.

gesteigerter Leistungsfähigkeit einer Feuerungsanlage verwendet werden können. Es stehen uns auch heute bereits an zahlreichen stationären Kesselanlagen gesammelte Erfahrungen zu Gebote und es läßt sich daraus der Schluß ziehen, daß die Vorteile des mechanischen Zuges bei richtiger Anlage desselben den natürlichen Zug, wenn auch nicht in der breiten Allgemeinheit, so doch in einer überwiegenden Anzahl von Dampfbetrieben verdrängen dürften.

Die Vorteile des künstlichen Zuges sind durch die im vorstehenden erörterten Nachteile des natürlichen Zuges genügend begründet, bedürfen daher an dieser Stelle keiner weiteren Darlegung.

Künstlicher Zug kann durch Dampfstrahlen, durch Gebläse und Kompressoren, durch sogenannte Blower oder durch Ventilatoren beziehungsweise Exhaustoren erzeugt werden.

Obleich der große praktische Erfolg der Lokomotive größtenteils auf die durch Stephenson erfolgte Einführung der Zugerzeugung durch den Auspuffdampf zurückzuführen ist, folgt nicht notwendigerweise, daß dieselbe Methode der Zugerzeugung dort empfehlenswert und ökonomisch ist, wo der austretende Dampf besser ausgenützt werden kann. Gebläse, Kompressoren und Blower besitzen andererseits derartige Nachteile für den in Rede stehenden Zweck, daß deren Anwendung nicht empfehlenswert erscheint.

Der Ventilator hat sich jedoch in seiner Verwendung unter den verschiedensten Verhältnissen so bewährt, daß er als das Symbol des künstlichen Zuges angesehen werden kann.

187. Zugerzeugung durch Dampfstrahlapparate. Die zur Zugerzeugung dienenden Dampfstrahlapparate sind gewöhnlich nach dem Injektorprinzip gebaut und werden entweder in der Esse angebracht und saugen somit die Luft durch das Brennmaterial ab, oder man legt sie in den Aschenfall und treibt die Luft von unten nach oben durch den Brennstoff. In letzterem Falle führte man auch häufig feinzerteilte Luftstrahlen über dem Roste ein, um eine innige Mischung der Luft mit den von der Rostbeschickung aufsteigenden Heizgasen zu erzielen.

Die Einführung von Dampf im Vereine mit Luft, welche aus dem Gebrauche eines Dampfstrahlapparates resultiert, wird oft als ein Vorteil hinsichtlich der Freihaltung des Feuers, namentlich bei der Verwendung von Steinkohlenklein bezeichnet; soweit jedoch hierbei nur der Dampf in Betracht kommt, kann derselbe auch ebenso gut mit der Luft bei Benützung eines Ventilators eingeführt werden. Der Vorteil eines Dampfapparates verglichen mit einem Ventilator könnte daher nur in der größeren Leistungsfähigkeit desselben bei gleichem Dampfverbrauche oder

mit anderen Worten darin liegen, daß der Dampfstrahlapparat zu seinem Betriebe behufs Förderung einer bestimmten Luftmenge eine geringere Dampfmenge, ausgedrückt in Prozenten der von dem betreffenden Kessel erzeugten Dampfmenge benötigt, als ein Ventilator. Dieses prozentuelle Verhältnis hängt im allgemeinen sehr von der Größe der Anlage ab und ist für die kleinste Anlage am größten.

Sorgfältige Versuche, welche namentlich seitens der amerikanischen Marine zur Bestimmung der besten Form von Dampfstrahlapparaten zur Erzeugung forcierten Zuges bei Schiffskesseln durchgeführt wurden*), ergaben jedoch zugleich, daß der Dampfverbrauch der Strahlapparate ein so bedeutender ist, daß sich die Anwendung dieser Apparate nur dann empfiehlt, wenn auf keine andere Weise die erforderliche Zugerzeugung erreicht werden kann. Die für den Betrieb eines Ventilators unter gleichen Umständen erforderliche Dampfmenge ist bedeutend kleiner und beträgt, selbst unter gewöhnlichen Verhältnissen, bei kleinen Kesselanlagen nicht mehr als 3 bis 4% der vom Kessel erzeugten Dampfmenge, während die Versuche mit Dampfstrahlapparaten einen 8- bis 20-prozentigen Dampfverbrauch derselben ergaben. Zudem kann der zum Betriebe des Ventilators verwendete Dampf noch als Auspuffdampf für Heizzwecke etc. ausgenützt werden, während der dem Strahlapparate entströmende Dampf tatsächlich verloren geht. Dies ist auch mit ein Grund, daß man bei Schiffskesselanlagen die Schornstein-Durchblasevorrichtung für die dauernde Herstellung künstlichen Zuges nicht benützt, da der von dem Apparate verbrauchte Dampf für die Kesselspeisung verloren geht und durch Seewasser ersetzt werden muß. Man verwendet daher auch bei Schiffskesseln mit Saugzug ein im Rauchfange aufgestelltes Flügelrad, welches durch eine eigene kleine Dampfmaschine betrieben, aus den Rauchfängen der Kessel saugt.

Die Dampfdurchblasevorrichtungen haben den Vorteil geringer Gesteigungs- und Erhaltungskosten. Diesem Vorteile steht gegenüber der bereits erwähnte große Dampfverbrauch, die begrenzte Stärke des erzeugten Zuges und der oft unerträgliche Lärm, welchen ihr Betrieb verursacht. Außerdem muß die große eingeblasene Dampf- und Wassermenge erwärmt und aus dem Schornstein fortgeschafft werden; endlich entwickelt sich bei nicht sehr sorgfältiger Behandlung eine große Menge Kohlenoxyd, Wasserstoff und Sumpfgas infolge der Zerlegung des Wassers, welche die Tendenz haben, eine bedeutende Wärmemenge zu entführen.

*) *Annual Report of the Chief of the Bureau of Steam Engineering, U. S. Navy, 1890.*

188. Zugerzeugung durch Ventilation. Der Ventilator, als ein Apparat zur Hervorbringung künstlichen Luftzuges, war bereits im sechzehnten Jahrhundert bekannt, doch fand derselbe als Ersatz oder zu der Unterstützung eines Schornsteines erst vor etwa achtzig Jahren nachweisbare Anwendung. Im Jahre 1827 wendete E. Stevens in Bordentown einen Ventilator an, um Luft in den Aschenfall der Kessel des Dampfers Nord-America zu pressen. John Ericsson soll bereits 1824 den englischen Dampfer Victoria für Preßluft mit einem Ventilator ausgerüstet haben; sicher nachgewiesen ist jedoch nur, daß 1830 der Dampfer Corsair von ihm für künstlichen Zug eingerichtet wurde. Zu jener Zeit war jedoch die Maschinengeschwindigkeit und die Dampfspannung sehr gering; das Bedürfnis nach beschleunigter Verbrennung nicht vorhanden und die Erfahrung hinsichtlich der Verwendung künstlichen Zuges fehlte gänzlich. Es war daher natürlich, daß diese Frage wieder vollkommen in den Hintergrund trat.

Die Wiederaufnahme des künstlichen Zuges erfolgte gleichfalls für Schiffszwecke und zwar diesmal durch die Vereinigten Staaten Nordamerikas. Um diese Zeit begann B. F. Sturtevant die Ausführung von Ventilatoren verschiedener Größe und führte dieselben zur Erhöhung des Zuges bei stationären Kesselanlagen in vielen Fällen ein. Die Luftzufuhr erfolgte durch den Aschenfall und ermöglichte die Verwertung von minderem Brennmaterial, dessen Verbrennung durch den Essenzug nicht möglich war. In Amerika entwickelte sich nun die Anwendung mechanischen Zuges außerordentlich schnell. Von dem Unterwindsystem ging man allmählich auf das Saugsystem über, welches auch heute für stationäre Anlagen das anerkannt beste System ist. Auch in der Marine vollzog sich in verhältnismäßig kurzer Zeit eine ebenso rasche Umwälzung; im Jahre 1877 wurde in Frankreich, 1882 in England und bald darauf auf allen Schiffen der neuen Marine der Vereinigten Staaten der Ventilatorzug eingeführt. Dem Beispiele der Marine folgte die Handelsschiffahrt hinsichtlich ihrer See- und Ozeandampfer.

In konstruktiver Beziehung lassen sich zwei Ventilatorsysteme unterscheiden.

Bei dem einen System ist das Flügelrad nach Art der Schraubpropeller gebaut und bewegt die Luft in Schichten, welche zur Ventilatorachse parallel laufen, indem die Wirkung der Flügelflächen auf dem Prinzip der schiefen Ebene beruht.

Bei dem zweiten System sind die Flügel in ihrer einfachsten Form radial gestellt, parallel zur Achse verlaufende Flächen, welche während der Drehung die Luft axial einsaugen und tangential zum äußeren Schaufelelement auswerfen. Man nennt diese Ventilatoren **Zentrifugalventilatoren**.

Der Schraubenventilator ist nur dann mit Vorteil zu verwenden, wenn es sich um Ventilation im weiteren Sinne des Wortes handelt; für die Überwindung größerer Widerstände, also zur eigentlichen Zugerzeugung ist er nicht geeignet; in dieser Beziehung können befriedigende Resultate nur durch den Zentrifugalventilator erreicht werden. Das Flügelrad desselben ist in einem Gehäuse eingeschlossen, welches genügenden Raum für die Bewegung der aus den Flügeln austretenden Luft bietet und aus welchem dieselbe durch eine Öffnung entweicht. Der Antrieb kann entweder von einer Transmission abgeleitet oder durch einen eigenen kleinen Motor besorgt werden; die letztere Betriebsart, die sich namentlich für größere Anlagen empfiehlt, hat den Vorteil der vollen Unabhängigkeit für sich *).

Wie bereits früher bemerkt, kann der künstliche Zug entweder durch Einführung von Preßluft oder durch Absaugen der Verbrennungsprodukte, also durch Bildung eines Vakuums erzeugt werden. Obgleich von Stevens im Jahre 1827 und den folgenden Jahren Versuche nach beiden Methoden durchgeführt wurden, so blieb doch die Überdruckmethode für längere Zeit die einzige Art, nach welcher künstlicher Zug praktisch erzeugt wurde. Der Druck der Luft unter dem Feuer muß hierbei größer sein als der Druck der Atmosphäre. Man kann hierbei entweder den Aschenfall luftdicht abschließen und in denselben die erforderliche Luftmenge unter der nötigen Pressung eintreiben, welche gezwungenermaßen nur durch das Brennmaterial entweichen kann, also vollkommen für die Verbrennung allein ausgenützt wird, oder man bläst bei abgedichtetem Feuerraum Luft zum Teil in diesen und den Aschenfall oder nur in den vollständig abgeschlossenen Heizraum. Man kann demnach die **Preßluftanlagen** unterscheiden in solche mit geschlossenem Aschenfall, mit geschlossenen Heizräumen oder mit geschlossenen Aschenfällen und geschlossenen Feuerungen.

Die Preßluft- oder Unterwindfeuerungen haben nur auf Kriegsschiffen und Handelsdampfern Eingang gefunden; für ortsfeste Anlagen sind sie nicht geeignet. Man arbeitet in der Praxis entweder mit starkem Unterwind oder wie man gewöhnlich sagt: forciertem Zug, wobei die Spannung auf 30mm Wassersäule und darüber erhöht wird, oder mit schwachem Unterwind oder Hilfszug, bei welchem die Spannung nur gering, etwa 5 bis 15 mm ist. Mit starkem Unterwind arbeiten die Kessel schneller Kriegsschiffe, als Kreuzer, Torpedofahrzeuge, um mit möglichst leichten, also kleinen Kesseln möglichst große Leistungen hervorzubringen. Mit

*) Abbildungen und Beschreibung der verschiedenartigsten Anordnungen von Zentrifugalventilatoren siehe: *Sturtevant Engineering Co.*, London, „*Mechanical Draft*“.

schwachem Unterwind arbeiten hingegen die Kessel der Handelsdampfer, um entweder minderwertige Kohle verwenden oder einen sparsamen Betrieb erzielen zu können.

Bei den Feuerungen mit geschlossenen Heizräumen sind alle Zugänge zu den Heizräumen durch sogenannte Schleusenammern geschlossen, d. h. doppelte Türen, welche beim Passieren von Personen immer so zu handhaben sind, daß die eine geschlossen ist, wenn die andere geöffnet wird, damit möglichst wenig Preßluft aus dem Kammerraum entweichen kann. Die Heizer arbeiten somit unter Preßluft. Da selbst bei sehr starkem Unterwind nur ein Überdruck von 50—100, höchstens 150 mm Wassersäule (höher kann der Druck schon aus anderen Rücksichten nicht gesteigert werden) eintritt, so wirkt derselbe nicht belästigend für den Arbeiter; dabei sind die Heizräume kühl und gut gelüftet.

Die meisten neueren Kriegsschiffe und die Mehrzahl der Torpedoboote aller Marinen arbeiten mit geschlossenen Heizräumen.

Geschlossene Aschenfälle bedingen keine Abweichung der für natürlichen Zug gebräuchlichen Einrichtung der Heizräume. Der Ventilator treibt die Luft durch einen Kanal nach dem Aschenfall; von diesem bläst sie durch den Rost und die Brennstoffschicht in den Feuerraum, in diesem noch einen gewissen Überdruck besitzend; damit beim Öffnen der Heztüren die Flammen nicht in den Heizraum schlagen, muß vorher der Zutritt der Preßluft zum Aschenfall abgeschlossen werden. Die hierzu erforderlichen Vorrichtungen werden, obwohl deren konstruktive Lösung anfänglich namhafte Schwierigkeiten bereitete, heutzutage so ausgeführt, daß sie vollkommen befriedigend funktionieren*).

Kesselanlagen mit geschlossenen Aschenfällen und Feuerungen werden fast ausschließlich nur in Verbindung mit Apparaten zur Vorwärmung der Verbrennungsluft durch die abziehenden Heizgase gebaut. Die Luft wird, wie bereits erwähnt, infolge einer eigentümlichen Bauart der Heizung nicht nur schräg von oben gegen die Oberfläche des Feuers, sondern in den Aschenfall und von hier durch den Rost geblasen; durch Schieber läßt sich sowohl die Menge als auch die Pressung der Luft oberhalb wie unterhalb jedes Feuers unabhängig von einander regeln und hierdurch eine vollkommene Verbrennung erzielen. Die unterhalb des Feuers eintretende Luft soll hauptsächlich zur Hervortreibung der durch Destillation entstehenden Gase dienen, während die oberhalb des Feuers mit größerer Energie einblasende Luft die aufsteigenden Gase so innig durchsetzt, daß der zu ihrer vollkommenen Verbrennung erforderliche Sauerstoff gleich-

*) Konstruktionen solcher Feuerungsanlagen, wie sie von den Firmen Schichau in Elbing, Willans in England und Fothergill in Italien ausgeführt werden, siehe: C. Busley, *Die Schiffsmaschine*, 1901, S. 751.

mäßig verteilt wird. Die Vollkommenheit der Verbrennung wird durch die Vorwärmung der Luft auf ihrem Wege vom Flügelradgebläse bis zum Eintritte in die Feuerung noch erhöht. Bei der **Feuerung von Howden** soll die Luft bis auf 200° vorgewärmt in das Feuer gelangen; doch ist eine so bedeutende Vorwärmung beim Betriebe zur See kaum zu erwarten. Der Vorteil dieser Feuerung, welche namentlich auf größeren Schnellpostdampfern Eingang gefunden hat, liegt in den durch das Wegsaugen der heißen Luft über den Kesseln besser gelüfteten Heizräumen, sowie in der Herabminderung des Kohlenkonsums; die damit erzielte Ersparnis soll ca. 15% gegenüber dem gewöhnlichen Essenzug betragen.

Die **Feuerung von Wyllie** besitzt keinen eigenen Luftvorwärmer; bei derselben wird nur die heiße Luft des Heizraumes durch den oben dicht abgeschlossenen Schornsteinmantel und Umbau mittels eines Ventilators angesaugt und dann sowohl in die Feuerung als auch in den Aschenfall gedrückt.

Vorrichtungen, um die Menge und den Druck der in die Feuerungen und Aschenfälle gepreßten Luft unabhängig regeln zu können, sind hier nicht vorhanden; es ist daher die Spannung der Luft im Feuerraum ebenso groß wie jene der in den Aschenfall gedrückten Luft, nur tritt bei der Anordnung von Wyllie auch unterhalb der Feuerbrücke Luft unmittelbar in die Rauchkammer, um dort eine Mischung der brennbaren Gase mit Luft zu ermöglichen.

Eine andere Anordnung, bei welcher jedoch nur die **Feuerungen geschlossen**, die **Aschenfälle** hingegen **offen** bleiben, besteht darin, daß man Preßluft mittelst einer Luftpumpe aus den Schiffs-, Maschinen- und Heizräumen saugt, wodurch diese gleichzeitig gelüftet werden und durch Metalldüsen, welche verstellbar sind, um die Luftzufuhr regeln zu können, in den Feuerraum ausströmen läßt. Der aus den Düsen tretende heftige Strom von Preßluft saugt die umgebende Luft zum Teil auch durch die offenen Aschenfallmündungen an und erzeugt auf diese Weise einen sehr lebhaften Zug. Solche Feuerungen sind auf Dampfern englischer Linien vielfach in Verwendung gekommen*).

Im Zusammenhange sei hier erwähnt, daß man auch auf Kriegsschiffen heute nicht mehr so hochgespannte Preßluft verarbeitet, als dies bei Einführung des forcierten Zuges vor 10 bis 20 Jahren der Fall war. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Kessel durch wiederholtes starkes Forcieren leiden und zu steten Reparaturen Veranlassung geben. Man arbeitet daher nur mehr mit 30 bis höchstens 50 mm Wassersäule; Pressungen bis 150 mm, wie sie früher auf Torpedobooten zur Anwendung

*) C. Busley, *Die Schiffsmaschine*, 1901, S. 754—757.

kamen, sind heute gänzlich ausgeschlossen. Im Falle der Not hat man ja trotzdem durch Forcierung des Zuges die Möglichkeit, die Maschinenleistung zu steigern. Mit der Spannung der Preßluft von 50 mm kann man noch immer eine ca. $7\frac{1}{2}$ -fache Verdampfung und eine Steigerung der Maschinenleistung gegenüber jener mit voller Kraft und natürlichem Zuge um etwa 40 bis 50% erzielen. Der Kohlenverbrauch pro Leistungseinheit steigt dabei infolge der hohen Temperatur der in die Esse entweichenden Gase um mindestens 10% gegenüber dem natürlichen Zuge; diese Steigerung wächst mit zunehmender Spannung der Preßluft; es nimmt daher der Kohlenverbrauch auch bei stark gespannter Preßluft in höherem Maße zu als die Leistung der Maschine.

Feuerungsanlagen mit Saugluft. Dieses System der Erzeugung künstlichen Zuges ist dem Prinzipie nach identisch mit dem natürlichen Essenzuge, indem da wie dort ein teilweises Vakuum im Feuerraum gebildet wird; es ist daher die natürlichste Methode der Verwendung mechanischen Zuges, indem in der ganzen Anlage des Kessels keine Änderung gegenüber einer Anlage mit gewöhnlichem Essenzug erforderlich ist und dennoch die zur Erzielung lebhafterer Verbrennung notwendigen Druckdifferenzen leicht erzielt werden können. Die Saugluftanlagen sind im allgemeinen einfacher und leichter ausführbar und besser zu kontrollieren als die Preßluftanlagen. Im Betriebe liefern sie bei entsprechender Disposition des Ventilators kühle Heizräume und sind auch für die Heizer bequemer als Preßluftanlagen mit geschlossenen Aschenfällen, weil beim Öffnen der Feuertüren keine besonderen Vorsichtsmaßregeln zu beobachten sind und auch eine Belästigung durch aus der Feuerung schlagende Flammen und Rauch nicht zu befürchten ist.

Ein weiterer Vorteil der Saugluft, welcher speziell bei Feuerrohrkesseln sehr zugunsten derselben spricht, ist der, daß die Feuerrohre in geringerem Maße verschleifen, als bei Verwendung von Preßluft. Die an Lokomotiv- und Torpedobootkesseln gesammelten Erfahrungen haben gezeigt, daß die Feuerrohre der mit Saugluft fahrenden Lokomotiven viel längere Zeit vorhalten als jene der Torpedobootkessel gleicher Konstruktion, welche mit Preßluft arbeiten. Diese Tatsache findet darin ihre Begründung, daß die Flammen, wenn sie durch die Rohre gepreßt werden, bevor sie sich in die einzelnen, in die engen Rohre eintretenden Flammzungen auflösen, gegen die Rohrwand stoßen, während sie sich bei Saugzug schon in einiger Entfernung vor den Rohrmündungen zerteilen und als langgestreckte Flammzungen in dieselben eintreten. Die Rohrmündungen sind daher in diesem Falle der zerstörenden Wirkung der Stoßflamme, also dem Verbrennen, viel weniger ausgesetzt.

Den Vorteilen der Saugluftanlagen stehen aber auch gewisse, dem

System eigene Nachteile gegenüber. Einerseits müssen die aus dem Schornstein saugenden Ventilatoren infolge des durch die Temperaturerhöhung wesentlich vergrößerten Volumens der Heizgase größere Dimensionen bekommen, als bei Preßluftanlagen. Die Flügelräder werden selbst weniger wirksam, wenn sie in heißen Gasen arbeiten und steuert man diesem Übelstande am besten dadurch, daß man die Heizgase möglichst abkühlt, also auch möglichst ausgenützt in die Ventilatoren eintreten läßt.

Die anfängliche Befürchtung, welche längere Zeit hindurch der erfolgreichen Einführung des künstlichen Saugzuges im Wege stand, daß Flügelräder die hohe Temperatur der Essengase nicht dauernd vertragen können, kann heute als ein überwundener Standpunkt betrachtet werden, indem gut gebaute Ventilatoren unter Temperaturen von 300 bis 500° C Jahre hindurch anstandslos im Betriebe gestanden sind; allerdings erfordern solche Ventilatoren spezielle Konstruktionen, um der Hitze zu widerstehen und müssen in erster Linie die Lager so eingerichtet sein, daß sie fortwährend kühl erhalten bleiben.

Die saugenden Ventilatoren laufen gewöhnlich mit einer Umdrehungszahl von 250 bis 350 pro Minute. Der Nutzeffekt kann hierbei zu circa 40 Prozent im Mittel angenommen werden, doch empfiehlt es sich, für die Berechnung der Cylinderdimensionen der Antriebsmaschine den Wirkungsgrad nur mit 35 Prozent anzunehmen.

Über Zugmesser, Zugregulierung und die Beurteilung des Zuges ist in jüngster Zeit eine Arbeit veröffentlicht worden*), welche die bekannteren Meßapparate und Reguliervorrichtungen hinsichtlich ihrer Einrichtung und Wirkungsweise im Zusammenhange behandelt. Unter Hinweis auf diese Arbeit sei auf diesen Gegenstand hier nicht weiter eingegangen.

189. Vorwärmer. Um bei ortsfesten Betrieben den Heizgasen einen Teil jener Wärme zu entziehen, welche sie beim Verlassen der Kesselheizfläche noch besitzen, führt man dieselben auf ihrem Wege zur Esse beziehungsweise zum Ventilator noch durch Speisewasservorwärmer und nützt auf diese Weise durch Erhöhung der Temperatur des Speisewassers wenigstens einen Teil der sonst verlorenen Wärme aus, denn je wärmer das dem Kessel zuzuführende Speisewasser ist, desto weniger Wärme ist noch erforderlich, um dasselbe in Dampf zu verwandeln. Außer den Essengasen stehen häufig noch andere Wärmequellen, als der Abdampf bei Dampfmaschinen, Dampfheizungen etc. zur Verfügung. Man

*) Prof. Donath, *Über den Zug und die Kontrolle der Dampfkesselfeuerungen*, Leipzig und Wien 1902, Franz Deuticke.

unterscheidet daher im allgemeinen zwei Arten von Vorwärmern, je nachdem Heizgase oder Dampf die Wärme liefern.

Vorwärmer der ersten Art bestehen gewöhnlich aus einem Bündel vertikaler Röhren von verhältnismäßig kleinem Durchmesser, welches in dem Fuchs eingebaut ist; das Speisewasser zieht auf seinem Wege zum Kessel durch die von außen geheizten Röhren, Wärme von den Heizgasen aufnehmend. Nachdem sich die Oberflächen der Röhren außen mit Ruß, innen mit Kesselstein überziehen, so verlangen diese Vorwärmer ein häufiges Reinigen. Zum Reinigen der äußeren Flächen bedient man sich zumeist eigener, selbsttätig funktionierender Schaber, welche an horizontalen Trägern angebracht sind, welche durch Ketten und Kettenrollen fortwährend auf- und niedergeführt werden. Zum Zwecke der inneren Reinigung sind die einzelnen Rohre oben mit Abschlußdeckeln ausgerüstet, nach deren Abnahme das Rohr unter Einführung eines Bohrers ausgebohrt wird. Die Bohrer sollen jedoch, um die Rohrwand nicht anzugreifen, etwas kleiner sein als der Rohrdurchmesser, so daß noch eine dünne Kesselsteinschicht an der Rohrwand erhalten bleibt.

Nachdem diese Vorwärmerröhren, falls sie aus Schmiedeeisen bestehen, durch die Wirkung des Gegenstromes rasch zerstört werden, pflegt man sie heutzutage allgemein aus Gußeisen herzustellen.

Eine sehr verbreitete Konstruktion ist der Economiser von der bekannten Firma F. Green u. Sohn in Manchester. Die vertikalen Röhren sind oben und unten durch Querrohre derart verbunden, daß sie das Speisewasser in der Richtung zum Kessel, also dem Essenzuge entgegen durchfließt. Das Speisewasser tritt zunächst unten in ein Horizontalrohr ein, steigt in den vertikalen eigentlichen Heizröhren aufwärts, vereinigt sich oben wieder in einem Horizontalrohr und gelangt von hier in den Kessel. Um die Wärmeaufnahme fläche zu vergrößern, wendet man auch gerippte Röhren (Büttners Economiser) an.

Nachdem der Effekt eines solchen Vorwärmers nebst der Güte seiner Heizfläche auch von der Größe derselben abhängt, so richtet sich die Zahl und Größe der Röhren selbstverständlich nach der pro Zeiteinheit zu erwärmenden Wassermenge.

Die Frage, ob die Anlage eines Economisers zu empfehlen ist, kann nicht allgemein, sondern nur fallweise beantwortet werden.

In Gegenden, wo das Brennmaterial verhältnismäßig teuer ist und ein Vorwärmen des Speisewassers bevor es in den Kessel gelangt, durch andere überschüssige Wärme nicht zu erreichen ist, dürfte sich die Verwendung eines Economisers auf jeden Fall empfehlen, um für die Kessel die Vorteile der Gegenstromkessels zu gewinnen, ohne die großen Nachteile derselben mit in den Kauf nehmen zu müssen.

Um alte unvollkommene Kesselanlagen, vor allem solche mit zu kleiner Heizfläche, bei welchen die Heizgase mit Temperaturen über 300° C in die Esse abziehen, leistungsfähiger zu gestalten, bietet der Economiser gleichfalls ein sehr erwünschtes Mittel. In allen übrigen Fällen jedoch, namentlich bei mäßigen Brennmaterialpreisen erscheint der Einbau eines Economisers bei Neuanlage eines Kessels nicht empfehlenswert, nachdem eine genügende Wärmeaufnahme aus den Verbrennungsgasen in zweckmäßigerer und einfacherer Weise durch die Kesselheizfläche selbst erreicht werden kann. Bei Anwendung künstlichen Zuges jedoch dürfte selbst bei Neuanlagen, um die Wärme der Heizgase tunlichst ausnützen und mit der Endtemperatur derselben auf jenes Maß herabgehen zu können, welches bei natürlichem Zuge niemals erreicht werden kann, der Einbau eines Economisers empfehlenswert sein.

Bei Anlage eines Economisers hat man darauf zu sehen, daß bei Reinigung oder Reparatur desselben der Kesselbetrieb nicht unterbrochen wird; er muß somit sowohl aus der Speiseleitung als auch aus dem Essenzug ausgeschaltet werden können.

Vorwärmer der zweiten Art, in welchen die Erwärmung des Speisewassers durch Abdampf erfolgt, können entweder so eingerichtet sein, daß der Dampf unmittelbar mit dem Wasser in Berührung kommt, man nennt sie Mischvorwärmer, oder daß durch denselben Metallflächen (Rohrwände) erwärmt werden, welche vom Wasser gespült werden; Vorwärmer dieser Art nennt man Oberflächenvorwärmer.

Die Mischvorwärmer sind wohl die billigsten, haben aber den Nachteil, daß das von der Maschine mit den Dämpfen abziehende Fett (Schmieröl des Cylinders etc.) zum Teil in das Speisewasser und mit diesem in den Kessel gelangt und dort seine zerstörende Wirkung ausübt. Wenn daher nicht für eine vollständige Abscheidung oder Unschädlichmachung des Fettes gesorgt wird, sind diese Vorwärmer, trotz ihrer Einfachheit, nicht zu empfehlen.

Eine gebräuchliche Konstruktion eines Mischvorwärmers zeigt Fig. 188. Der Vorwärmer besteht aus einem stehenden gußeisernen cylindrischen Gefäße, in welches der Abdampf durch das zentrale Rohr *a* von unten eintritt, während das Speisewasser von oben durch das Rohr *b* einfließt und sich über die an Zugstangen aufgehängten Teller und Ringplatten verteilend, kaskadenartig herabrieselt und auf diesem Wege mit dem entgegenströmenden Dampf in Berührung kommt. Der untere Raum des cylindrischen Behälters dient als Sammelraum des erwärmten Wassers; damit dieses nicht in das Dampfrohr überfließt, ist seitlich ein Überlaufrohr *c* angebracht. Der sich auf dem schrägen Boden ansammelnde Schlamm wird durch den am tiefsten Punkte angebrachten, mittels Hahn

oder Ventil verschließbaren Stutzen *d* zeitweilig abgelassen; die Speisleitung ist an dem seitlichen Rohrstutzen *e* angeschlossen. Nachdem die Teller und Ringplatten an dem Deckel aufgehängt sind, läßt sich der ganze Apparat samt dem Deckel ausheben und reinigen.

In Fig. 189 ist ein Oberflächenvorwärmer dargestellt, dessen Konstruktion sich in vielfachen Ausführungen bestens bewährt hat. Dieser Vorwärmer besteht aus einem gußeisernen Cylinder, welcher unten durch ein Bodenstück, oben durch einen Deckel abgeschlossen ist. Ein Satz vertikaler Röhren, welche zu beiden Enden in schmiedeeiserne Platten eingewalzt sind, münden einerseits in den Untersatz, andererseits in eine Haube.

Das Speiswasser tritt bei *a* ein, steigt infolge der großen Querschnittsfläche langsam aufwärts und fließt durch das vertikale Standrohr *b* und den Stutzen *c* ab. Der Dampf strömt durch das Rohr *d* ein, nimmt seinen Weg durch die eine Hälfte der Röhren nach aufwärts, durch die andere Hälfte nach abwärts (die beiden Rohrbündel sind unten durch eine Scheidewand des Untersatzes getrennt) und zieht durch das Rohr *e* ab. Zu Folge der langsamen Bewegung des Wassers

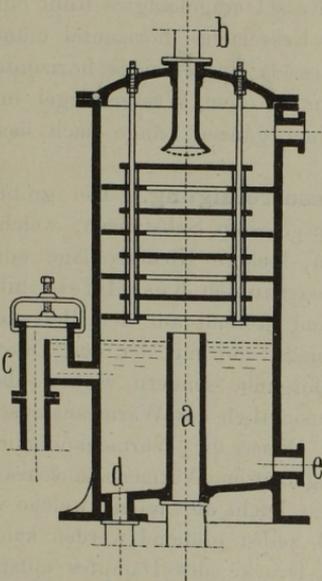


Fig. 188.

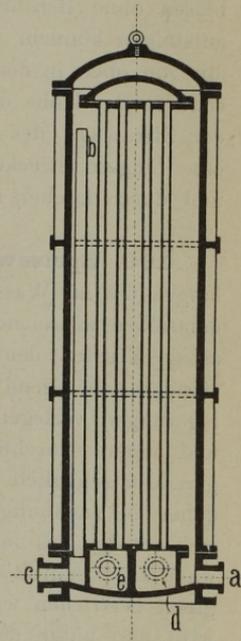


Fig. 189.

Zeit sich zu erwärmen und den infolge der Erwärmung sich ausscheidenden Schlamm abzusetzen. Der Schlamm sowie das Kondensationswasser müssen von Zeit zu Zeit abgeblasen werden.

Wird die Reinigung des Speiswassers einer Kesselanlage durch Vorwärmung desselben durchgeführt, dann sind eigentliche Vorwärmer wie die eben beschriebenen überflüssig, ebenso wie in dem Falle, als Kondensationswasser im erwärmten Zustande von besonderen Kondensatoren zum Zwecke der Speisung in genügender Menge zur Verfügung steht.

Was die Größe dieser Vorwärmer anbelangt, so wählt man dieselbe gewöhnlich so, daß der Wasserraum dem stündlich benötigten Speisewasser entspricht.

Ein weiterer Vorteil genügender Vorwärmung des Speisewassers besteht darin, daß die in dem Wasser enthaltene Luft wenigstens teilweise ausgetrieben wird und somit nicht in den Kessel gelangt, denn wenn nichtvorgewärmtes Wasser in den heißen Kessel eintritt, dann scheidet sich sofort die Luft aus und gibt Veranlassung zum Abrosten der Kesselwand, wenn sie dieselbe stets an derselben Stelle trifft. Es empfiehlt sich aus diesem Grunde, das Speisewasser derart einzuführen, daß die Luftblasen ohne Berührung mit der Kesselwand direkt in den Dampfraum aufsteigen können. Man führt daher zweckmäßig das Speisewasser durch ein von oben in den Kessel eingehängtes Rohr ein, welches unter Wasser, etwa in der Höhe der Kesselachse horizontal mündet, oder durch ein von der Stirnwand des Kessels ausgehendes horizontales Rohr, welches auf eine längere Strecke unter dem Wasserspiegel in den Kessel hineinragt und durch Löcher seiner ganzen Länge nach das Wasser austreten läßt.

190. Speisewasserreinigung. Die größte Aufmerksamkeit verlangen die im Wasser gelösten Substanzen, welche sich unzeitgemäß aus demselben ausscheiden, lockere Niederschläge oder festanhafende steinartige Krusten, den sogenannten Kesselstein bilden, welche unter Umständen schädigend und störend auf den Betrieb einwirken. Diese Ablagerungen verlegen nicht nur mit der Zeit Durchflußöffnungen, Röhren und andere Durchflußorgane, sondern wirken als schlechte Wärmeleiter geradezu schädlich hinsichtlich des Wärmeaustausches und beeinträchtigen daher in nachteiliger Weise die Wärmeökonomie; andererseits sammelt sich infolge des mangelhaften Wärmeaustausches Wärme in der Kesselwand an, wodurch diese leicht an Stellen, welche von den glühenden Heizgasen bestrichen wird, selbst glühend werden kann, Beulen bildet, rissig wird und unter dem Drucke des Dampfes aufspringt. Der Kesselstein kann daher die unmittelbare Ursache von Kesselexplosionen bilden.

Kesselsteinbildner sind in erster Linie Salze und sonstige gelöste Stoffe, welche beim Erhitzen des Wassers nicht mehr in der Lösung bleiben können; hierher gehören vor allem Kalk- und Magnesiasalze; in geringerem Maße Eisenoxyd, Kieselsäure, Phosphorsäure und Tonerde. Der Kesselstein selbst ist quantitativ und qualitativ verschieden, je nachdem die Kesselsteinbildner in kleineren oder größeren Mengen, einzeln oder garnicht vorkommen; namentlich weichen dieselben hinsichtlich Dichte und Härte von einander ab und bilden entweder schlammartige Massen oder leicht zerbröckelnde beziehungsweise fest zusammenhängende, steinartige

Niederschläge, welche nur durch Meißel und Hammer von der Wand entfernt werden können.

Die große Verschiedenheit der hinsichtlich der Schlamm- und Kesselsteinbildung in Betracht kommenden Stoffe bedingt ebenso zahlreiche Mittel zur Entfernung derselben. Man kann dieselben im allgemeinen in chemische und mechanische Mittel unterscheiden, welche einzeln oder vereint zur Anwendung gelangen. In erster Linie kommen solche Chemikalien in Betracht, welche mit den Kesselstein bildenden Stoffen unschädliche, leicht zu beseitigende Verbindungen eingehen.

Für die Kesselsteinbildung am gefährlichsten sind die sogenannten harten Wässer, welche in größeren Mengen Kalk- und Magnesiumsalze enthalten; insbesondere sind dies doppelkohlensaurer und schwefelsaurer Kalk, doppelkohlensäure und schwefelsäure Magnesia, Chlorcalcium und Chlormagnesium. Von den Chemikalien, welche zur Beseitigung der Härte des Wassers beziehungsweise der Unschädlichmachung der Kesselsteinbildner in Anwendung kommen können, verwendet man in neuester Zeit nebst Ätzkalk und Chlorbarium, Ätznatron und Soda. Man setzt diese Chemikalien entweder direkt dem Wasser im Kessel zu oder man reinigt das Wasser bevor es in den Kessel gespeist wird.

Die erstere Methode hat den Nachteil, daß die sich im Kessel als Schlamm bildenden Niederschläge von Zeit zu Zeit entfernt werden müssen; bei reichlicher Schlammbildung genügt die zeitweise Entfernung des Schlammes nicht; in diesen Fällen wird es notwendig, denselben ununterbrochen zu entfernen; hierzu verwendet man sogenannte Schlammfänger, von denen es mannigfache Konstruktionen gibt, die jedoch keine vollkommen befriedigenden Resultate ergeben haben, sodaß es sich vielmehr empfiehlt, schlammiges Speisewasser behufs Absetzung des Schlammes außerhalb des Kessels durch einen Apparat zirkulieren zu lassen, der dem Kessel vorgelegt ist (ein solcher Apparat, welcher zufolge seiner verhältnismäßigen Einfachheit und guten Wirkung vielfach Anwendung gefunden hat, ist jener von A. Dervaux in Brüssel), oder das Wasser vor Eintritt in den Kessel zu reinigen, was unter allen Umständen und namentlich bei stark verunreinigtem Wasser der Reinigung im Kessel selbst vorzuziehen ist.

Diese zweite Methode ist die vollkommenste und sicherste, weshalb sie immer mehr in Anwendung kommt. Da die Einwirkung der Reagentien in der Wärme viel schneller erfolgt, so empfiehlt es sich, das Wasser auf 70° bis 80° C vorzuwärmen, wodurch die Fällung fast augenblicklich bewirkt wird, so wie die doppelkohlensäuren Salze sich bei dieser Temperatur ohne Zusätze zerlegen und in einfach kohlensäure Salze, die ausgedehnt werden, verwandeln. Die Wasserreinigung wird daher am

besten in Apparaten vorgenommen, welche das Wasser direkt erwärmen oder mit anderen Vorrichtungen in Verbindung stehen, in welchen das Wasser vorgewärmt wird. Außerdem ist eine innige Mischung des Wassers mit den Zusätzen, sowie eine gründliche Trennung des gebildeten Schlammes erforderlich. Der ganze Prozeß vollzieht sich somit eigentlich in drei der Zeit nach getrennte Vorgänge, welche jedoch möglichst rasch aufeinander folgen sollen.

Zum Vorwärmen des Wassers bedient man sich gewöhnlich des von Dampfmaschinen etc. kommenden, sonst wertlosen Abdampfes, seltener heißer Gase oder eigens für den Zweck erzeugten Dampfes, weil hierdurch die Reinigungskosten nicht unwesentlich erhöht würden. Öliges Abdampf soll nicht direkt mit dem Speisewasser gemischt werden, weil sich Ölsäuren bilden, welche die Kesselwand angreifen; derartig verunreinigter Dampf soll daher nur zur indirekten Erwärmung benützt werden; nur bei alkalischen Zusätzen wird das Öl verseift und hierdurch unschädlich gemacht und kann in diesem Falle die Erwärmung des Speisewassers auch durch die direkte Mischung mit Abdampf platzgreifen.

Zum Reinigen des Wassers bedient man sich bei kleineren Anlagen einfacher terrassenartig aufgestellter Bottiche; eine solche Anlage erfordert mindestens zwei Bottiche und zwar so, daß in dem einen die Erwärmung des Wassers, dessen Mischung mit den Zusätzen, sowie dessen Klärung erfolgt, während der zweite zur Aufnahme des gereinigten Wassers dient. Verwendet man drei Gefäße, dann findet das Erwärmen und Mischen im ersten und das Klären im zweiten statt; das dritte dient wieder zum Aufbewahren des reinen Wassers.

Sind jedoch große Wassermengen zu reinigen, dann werden diese einfachen Anlagen in ihren Abmessungen sehr bedeutend, da die Bottiche nur geringe Höhe erhalten dürfen, damit sich das Absetzen des Schlammes nicht zu sehr verzögert.

Man verwendet in solchen Fällen entweder Apparate, welche zum Zwecke des Absetzens aus einer großen Anzahl neben einander liegender Kammern geringer Höhe bestehen; man nennt sie Setzapparate oder Sedimenteure, oder man filtriert das Wasser nach erfolgter Einwirkung der Chemikalien in sogenannten Filtrierapparaten. Mit diesen Apparaten sind selbstverständlich die Vorrichtungen zum Erwärmen, Mischen, sowie die Sammelbehälter für das gereinigte Wasser in unmittelbarer Verbindung. Bei den Setzapparaten wird die erforderliche Anzahl Kammern gewöhnlich dadurch gebildet, daß man ein entsprechend dimensioniertes Gefäß durch Zwischenwände in Abteilungen teilt, welche vom Wasser der Reihe nach langsam durchströmt werden; die ausgefallenen Teile schlagen sich an diesen Wänden nieder und können von denselben leicht entfernt

werden. Als Fällmittel verwendet man, wie bereits erwähnt, Kalk, Soda oder Ätznatron.

Bekannte und bewährte Anordnungen von Setzapparaten sind unter anderen das System Gaillet, sowie das System Dervaux. Bei ersterem besteht der eigentliche Setzkasten aus einem länglichen Blechkasten, welcher durch eine Anzahl unter 45° geneigter Blechtafeln in Kammern geteilt ist, zwischen welchen das Wasser auf- und abfließt; die Niederschläge gleiten längs diesen Wänden herab und werden in Sammelkanäle abgelassen. Nachdem das Wasser auf diese Weise sämtliche Kammern passiert hat, fließt es schließlich durch ein Filter aus Koksstücken oder Holzspänen, um hierdurch vollkommen geklärt zu werden.

Der Dervauxsche Apparat besteht aus einem stehenden cylindrischen Behälter, in welchem eine größere Anzahl trichterförmiger Blechwände eingebaut ist; indem das Wasser langsam aufsteigend die durch die Trichter gebildeten Zwischenräume durchzieht, setzt es den Schlamm auf der Oberfläche der Trichter ab, von welchen derselbe abrutscht, um dann aus dem Gefäße von Zeit zu Zeit abgelassen zu werden.

Bei den in Rede stehenden Wasserreinigern wird das Vorwärmen des Wassers, wenn darauf nicht ganz verzichtet wird, in besonderen Apparaten durchgeführt, welche von den eigentlichen Reinigern unabhängig sind. Die Nichterwärmung des Wassers beeinträchtigt, wie bereits früher bemerkt, die reinigende Wirkung der Zusätze; die getrennte Vorwärmung macht den ganzen Reinigungsprozeß jedoch umständlich und kompliziert, weshalb sich das Bedürfnis fühlbar gemacht hat, Apparate zu besitzen, in welchen Erwärmung und Reinigung vereint erfolgt. Eine derartige Konstruktion ist beispielsweise der Reiniger System Reichling. Dieser Apparat besteht dem Wesen nach aus einem stehenden cylindrischen Gefäße, dessen oberer Teil zum Vorwärmen und dessen unterer Teil zum Schlammabsetzen dient. Das Wasser tritt oben ein, fällt in dünnen, breiten Strahlen kaskadenartig über den Rand horizontaler Einsatzbleche herab, während der Dampf dem Wasser, um die Einsatzplatten zirkulierend, entgegenströmt und auf diesem Wege den größten Teil seiner Wärme abgibt. Die Einbringung der Zusätze erfolgt nach Eintritt des Wassers in den Apparat. Das erwärmte Wasser fällt nun durch ein Rohr nach abwärts und passiert, langsam aufwärts steigend, unter Zurücklassung der schweren Teile ein Koksfilter und fließt dann ungefähr in halber Höhe des Apparates gereinigt ab. Zweckmäßig und für fortlaufenden Betrieb notwendig ist die Verwendung zweier Reinigungsapparate, welche abwechselnd in Gebrauch stehen.

Steht Abdampf zum Zwecke des Vorwärmens nicht zur Verfügung,

dann wird das Wasser mit der Lauge durch eine Dampföse unter Frischdampf gemischt und erwärmt.

Die **Filtrierapparate** unterscheiden sich von den Absitzapparaten im wesentlichen dadurch, daß das Wasser nach erfolgter Versetzung mit Chemikalien und vorhergegangener Erwärmung unter Druck durch Filtriertücher gepreßt wird. Größere zu reinigende Wassermengen erfordern große Filterflächen; es ist dies eine Bedingung wirksamer Filtrierapparate, weil sich die Tücher sonst zu rasch verschlammen und unwirksam werden. Um daher in einem kleinen Raume große Filterflächen zu erhalten, pflegt man den Apparat aus einer größeren Anzahl viereckiger, mit einer Reihe von Rillen zum Zwecke des Ablaufens des Wassers versehener gußeiserner Platten zu bilden, welche beiderseits mit Tuch überspannt und neben einander oder aufeinander liegend durch Schrauben zusammengespannt werden.

Das Wasser gelangt aus einem Hochbehälter oder durch eine Pumpe zunächst in einen Vorwärmer, in welchem es mittels Dampf auf 70° bis 80° C erwärmt wird; von hier kommt es in einen Behälter behufs Mischung mit den Reagentien und Absetzung der schweren Niederschläge (Kalk- und Magnesiumsalze) und von diesem unter fortwährendem Drucke in den Filter, aus welchem es klar abfließt und in warmem Zustande in den Kessel gedrückt oder in Behältern gesammelt werden kann*).

Die Reinigung mittels eigener Filtrierapparate wird zur Reinigung des Kesselspeisewassers selten verwendet.

191. Speisevorrichtungen. Man kann im allgemeinen drei Arten von Speisevorrichtungen unterscheiden, und zwar: Speisepumpen, Strahlapparate und selbsttätige Speiser.

Die zur Zeit gebräuchlichste Speisevorrichtung ist die Pumpe, als Handpumpe, Transmissionspumpe, Dampfpumpe oder von der Dampfmaschine selbst betätigte Speisepumpe.

Die Handpumpen eignen sich nur zum Speisen kleiner Kessel in Fällen, wo eine andere Kraft nicht zur Verfügung steht; sie haben gewöhnlich einen Durchmesser von 3 bis 7 cm bei einem Hube von 6 bis 12 cm, sind wie alle Speisepumpen einfach wirkend und werden durch Hebel oder Kurbel mit Schwungrad bewegt. Die liegende Aufstellung ist die gebräuchlichere.

*) Zeichnungen und Beschreibung ausgeführter bewährter Reinigungsmethoden und Apparate siehe u. a.: *Handbuch der Maschinenkunde* von Hoyer, München 1898, S. 282. Wehrenfennig, *Über die Untersuchung und das Weichmachen des Kesselspeisewassers*, Wiesbaden 1893. Fr. Schwackhöfer, *Technologie der Wärme und des Wassers etc.*, Wien 1883. Dr. Dammer, *Handbuch der chemischen Technologie*, Stuttgart 1895, I. Band. Possamer, *Technologie der landwirtschaftlichen Gewerbe*, Wien 1894, 4. Aufl., I. Band.

Steht in der Nähe der Kesselanlage eine Transmission zur Verfügung, dann kann von dieser der Antrieb der Pumpe abgeleitet werden, die dann zumeist als Wandpumpe oder auch als liegende Pumpe ausgeführt wird.

Bei kleineren Kesselanlagen hängt man die Speisepumpe häufig an die Betriebsmaschine selbst an, indem man ihre Bewegung von einer Gegenkurbel, einem Excenter oder dem Kreuzkopfe der Maschine ableitet, in welchem Falle der Hub der Pumpe im allgemeinen beliebig angenommen werden kann; nur wenn die Pumpe ohne Übersetzung direkt an den Kreuzkopf angehängt ist, ist ihr Hub durch jenen der Maschine gegeben.

Für größere Kesselanlagen werden fast ausschließlich selbständige **Dampfpeisepumpen** verwendet; sie bieten den Vorteil vollkommener Unabhängigkeit von den übrigen Betriebseinrichtungen und lassen sich sehr leicht dem jeweiligen Dampfverbrauche anpassen. Sie bestehen dem Wesen nach aus einer Saugdruckpumpe in möglichst direkter Verbindung mit einer Dampfmaschine.

Hinsichtlich der Ausführung unterscheidet man Dampfmaschinen mit oder ohne Hilfsrotation. Bei ersteren wird der Hub der Pumpe durch eine Kurbel begrenzt; die Steuerung der Maschine funktioniert daher wie bei jeder anderen Dampfmaschine. Die Rotationsbewegung wird von der geradlinigen Bewegung der gekuppelten Kolbenstangen entweder durch eine Schubstange oder durch eine Kurbelschleife abgeleitet; beide Methoden finden sowohl bei stehenden, als auch bei liegenden Pumpen Anwendung.

Besitzen die Dampfmaschinen keine Drehbewegung, dann kann die Hubbegrenzung nur durch die Steuerung erreicht werden, deren Bewegung von der Kolbenstange in geeigneter Weise abgeleitet wird; in der Regel dienen hierzu Stoßknaggen, aus welchem Grunde man diese Pumpen gewöhnlich **Stoßpumpen** nennt.

Nachdem bei den Dampfpeisepumpen die Dampfökonomie keine Rolle spielt, wird das Hauptaugenmerk auf eine möglichst einfache, verlässlich arbeitende Konstruktion gelegt; man verwendet daher für die Dampfsteuerung nur einfache Schieber, für die Pumpe die einfachsten Ventilkonstruktionen und pflegt die Pumpe selbst häufig nur einfach wirkend mit Plungerkolben auszuführen. Die Regulierung des Ganges der Pumpe, sowie die In- und Außergangsetzung derselben erfolgt in der Regel von Hand aus durch das Dampfabsperrentil. Man findet aber auch Vorrichtungen in Gebrauch, um den Gang der Pumpe automatisch, durch den Wasserstand des Kessels selbst zu regeln. In diesen Fällen wird gewöhnlich die Bewegung eines an einem Hebel hängenden Schwimmers benützt, um einen kleinen Steuerkolben zu betätigen, welcher, dem jeweiligen Wasserstande im Kessel entsprechend, die zur Pumpe führende Dampf-

leitung öffnet oder schließt; hierbei empfiehlt es sich, die Einrichtung so zu treffen, daß die Pumpe ununterbrochen in Tätigkeit bleibt, also das verdampfte Wasser fortwährend ersetzt.

Beim Speisen heißen Wassers würde sich im luftverdünnten Raume unter dem Kolben Dampf bilden, wodurch die Saugwirkung, somit der Effekt der Pumpe nachteilig beeinflußt würde; man muß daher bei solchen Anlagen Sorge tragen, daß das Wasser der Pumpe zuläuft oder wenigstens über den Saugventilen steht.

Hinsichtlich der Größe sei bemerkt, daß man die Pumpen so zu dimensionieren pflegt, daß sie imstande sind, das drei- bis vierfache Quantum des vom Kessel in der Zeiteinheit verdampften Wassers zu liefern; damit sichert man genügend rasche Speisung bei geringer Wassergeschwindigkeit und als Folge dessen stoßfreien Gang.

Die Dampfstrahlapparate oder Injektoren haben, abgesehen von ihrer Verwendung bei Lokomotiven und Schiffsmaschinen, auch bei stationären Kesselanlagen ihrer Einfachheit und Verlässlichkeit wegen immer mehr und mehr Eingang gefunden und gehören heute mit zu den bewährtesten Speisevorrichtungen.

Ihre Wirkungsweise beruht darauf, daß durch die Energie eines aus einer Düse mit entsprechender Geschwindigkeit ausströmenden Dampfstrahles, unterstützt durch das infolge Kondensation des Dampfes eintretende teilweise Vakuum, Wasser gehoben und mit Überdruck in den Kessel gedrückt wird. Nachdem der Dampf unter Kondensation seine Wärme an das Speisewasser abgibt, wird dieses zugleich, wenn auch anfänglich kalt, heiß in den Kessel gespeist.

Der Injektor ist eine Erfindung des Franzosen M. Giffard (1856). Eine verbesserte Konstruktion des Giffardschen Originalinjektors stellt Fig. 190 dar.

Der Kesseldampf tritt durch den Stutzen *A* ein und strömt durch eine ringförmige Öffnung *B*, deren Größe durch die Düsenspindel und das Handrad *C* reguliert werden kann. Das Speisewasser tritt bei *D* ein, kommt mit dem Dampfe an der Düsenmündung *B* in Berührung und kondensiert denselben. Infolge des hierdurch gebildeten Vakuums strömt

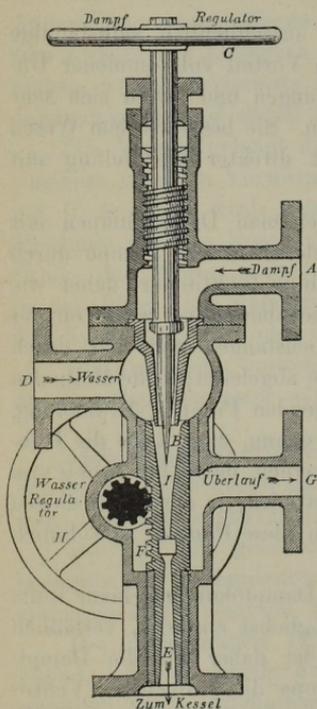


Fig. 190.

das Wasser mit großer Geschwindigkeit nach und unter Geschwindigkeitszunahme vermöge des Dampfdruckes durch die Mischdüse *I* in die Fangdüse *E*. Die Fangdüse *F* erweitert sich allmählich, infolgedessen expandiert der Wasserstrom, verliert an Geschwindigkeit und gewinnt nach einem bekannten hydrodynamischen Prinzip an Druck; am Ende der Düse ist der Druck so groß, daß das Wasser unter Überwindung des Kesseldruckes nach Hebung eines Rückschlagventiles in den Kessel einströmt.

Um den Injektor anlassen beziehungsweise in Aktion setzen zu können, ist zwischen der Misch- und Fangdüse ein freier Raum *F*, der sogenannte Übersprungraum oder Schlabberraum angebracht, welcher durch einen Kanal mit dem Überlaufrohr *G* in Verbindung steht, damit das Gemisch aus Wasser und Dampf so lange ablaufen kann, bis der Strom die nötige Energie erlangt hat, um seinen Weg in den Kessel erzwingen zu können. Ist der Injektor einmal in Tätigkeit, dann soll kein Wasser mehr aus dem Schlabberraum austreten, also bei *G* überlaufen.

Die ringförmige Öffnung für den Eintritt des Wassers bei *B* kann durch Verschieben der kombinierten Düsen *I* und *E* mittels des Handrades *H* reguliert werden.

Die Dampfstrahlpumpen sind seit der Erfindung Giffards immer einfacher, namentlich hinsichtlich der Wartung, und billiger geworden; während sie anfänglich ganz aus Rotguß hergestellt wurden, werden sie jetzt aus Gußeisen, nur Düsen und Mundstücke, und auch diese nicht immer, aus Metall ausgeführt; die Düsen spindle mit Handrad fehlt gleichfalls bei den neueren nichtsaugenden Konstruktionen. Unter diesen sei zur Illustration der Dampfstrahler von Friedmann (Fig. 191) herausgegriffen. Der Friedmannsche Injektor unterscheidet sich von einem gewöhnlichen Injektor dadurch, daß

derselbe keine Düsen spindle oder Nadel besitzt; dafür ist zwischen der Dampfdüse *a* und der Mischdüse *b* noch eine Zwischendüse, die sogenannte Wasserdüse *c* eingeschaltet; diese Düse hat den Zweck, den aus dem Rohre *a* eintretenden Dampf durch das aus *d* zuströmende Wasser

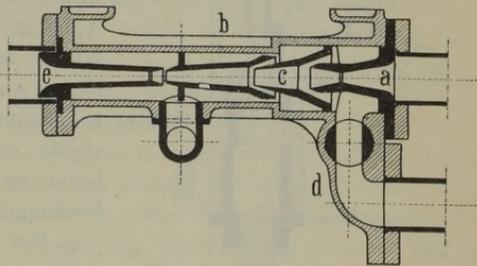


Fig. 191.

ringförmig zu umgeben, um mit diesem gemeinschaftlich durch die Mischdüse in die Fangdüse *e* zu gelangen. Nicht mit hinübergerissenes Wasser kann durch ein aus der Skizze ersichtliches Rohr ablaufen.

Bei neueren Ausführungen dieses Injektors ist die Dampfdüse der

Länge nach durch einen Hebel verstellbar, so daß sie gleichzeitig die Nadel, welche bei obiger Konstruktion fehlt, vertritt. Diese Einrichtung soll bei kaltem Wasser eine Saughöhe bis 8 m gestatten und dabei die Temperatur desselben bis auf ca. 70° C erhöhen.

Wird von einem Injektor das Ansaugen des Wassers gefordert, dann muß derselbe mit einer Stellvorrichtung für die Regulierung des Dampfzutrittes (Spindel oder verstellbare Düse) versehen sein; fließt das Wasser hingegen dem Injektor zu, dann vereinfacht sich dessen Konstruktion in gedachter Weise. Bei den nichtsaugenden Injektoren wird zum Zwecke des Anlassens zuerst der Wasserzufluß langsam geöffnet, dann das Dampfventil; der Wasserzufluß wird nun so lange reguliert, bis aus dem Überlaufstutzen kein Wasser mehr ausfließt.

Statt frischen Dampf kann man bei Dampfmaschinen ohne Kondensation, welche den Auspuffdampf sonst frei entweichen lassen, diesen zum Kesselspeisen benützen, wodurch gleichzeitig auch die Wärme des ausströmenden Dampfes in den Kessel zurückgeführt wird. Man benützt hierzu die sogenannten nichtsaugenden Retourdampf-Injektoren. Die Dampfspannung kann hierbei jedoch 5 Atmosphären Überdruck nicht überschreiten; ebenso darf die Temperatur des Speisewassers nicht höher sein als ungefähr 20° C, damit die Kondensation des Dampfes im Injektor intensiv genug vor sich gehe, um ein gutes Funktionieren zu bewirken. Das Speisewasser wird hierbei auf 70° bis 90° C angewärmt.

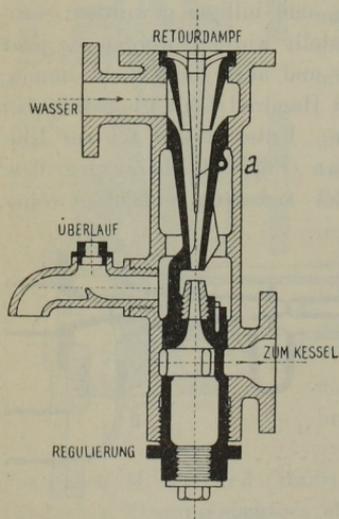


Fig. 192.

Der Gegendruck auf den Kolben der Maschine wird bei Verwendung von Retourdampf-Injektoren nicht erhöht, da die Apparate durch die Wirkung der Kondensation den Auspuffdampf ansaugen. Die Düsen sind, wie aus Fig. 192, welche die Konstruktion eines solchen Injektors darstellt, ersichtlich, herausnehmbar, somit leicht zu reinigen, ohne die Anschlußverbindungen lösen zu müssen.

Der Abdampf strömt durch die seiner geringen Spannung entsprechend weit gemachte Düse, in welche ein Stift eingeschraubt ist, welcher den Dampfstrahl ringförmig gestaltet, ein. Die Mischdüse ist, wie aus der gebrochenen Linie in Fig. 192 zu ersehen, zweiteilig; der linke Teil ist fest mit dem Gehäuse verbunden, während der rechte Teil klappenartig um den

Aufhängepunkt *a* pendeln kann; die beiden Teile sind sorgfältig aufeinander gepaßt und gegen seitliche Verschiebung gesichert. Der bewegliche Teil hängt vermöge seiner Schwere lotrecht während der Ruhelage, so daß der Durchgangsquerschnitt dieser Düse sehr erweitert ist. Sobald der Injektor funktioniert, d. h. sobald der Dampf niedergeschlagen wird, infolgedessen die lebendige Kraft des Wasserstrahles zunimmt und die Spannung im Inneren der Mischdüse vermindert wird, schließt sich unter dem Überdrucke der Außenluft die Mischdüse; von diesem Augenblicke an ist die richtige Funktion des Injektors vorhanden; der geschlossene Wasserstrahl tritt in die Fangdüse und aus dieser durch die seitlichen Öffnungen in die Speiseleitung.

Der Retour Dampf zum Betriebe des Injektors wird in einfacher Weise seitlich vom Abspuffrohr der Maschine abgeleitet; dieses kann in seiner Fortsetzung nach der Atmosphäre zu offen sein; nur in Fällen, wo die Quantität des Abdampfes zu gering ist, um das Rohr auszufüllen, muß eine Verengung hinter der Abzweigstelle eintreten. Das Wasser muß dem Injektor mit Gefälle zugeführt werden.

In neuerer Zeit verwendet man vielfach mit bestem Erfolge Dampfstrahler, welche aus zwei in einem Gehäuse neben einander liegenden Strahlapparaten bestehen, wovon der eine das Wasser ansaugt, unter bestimmtem Drucke dem anderen zuführt, um von diesem unter bedeutender Druckerhöhung in den Kessel gespeist zu werden.

Eine der besten Konstruktionen dieser Art ist der in Figg. 193, 194 (s. S. 458) skizzierte Universalinjektor von Gebr. Körting in Körtingsdorf bei Hannover.

Dieser Injektor besteht aus den beiden Strahlapparaten I und II mit den Dampf Düsen 1 und 2 und dem gemeinschaftlichen Schlabberraum *s*. Die geradlinig geführten Nadelventile der beiden Dampf Düsen hängen in Schlitzen eines Querstückes, welches drehbar an der Stange *t* befestigt ist, so daß beim Heben derselben die Ventile geöffnet werden. Die Stützen *a* und *b* dienen für die Zufuhr von Dampf und Wasser; durch *c* strömt das Speisewasser in den Kessel. Der Apparat I dient zum Ansaugen des Wassers. Das Ventil der Dampf Düse 1 ist kleiner wie jenes der Düse 2, infolgedessen öffnet sich dasselbe, weil es unter dem Drucke des bei *a* einströmenden Dampfes weniger belastet ist, als 2, beim Anheben der Stange *t* zuerst und setzt den Apparat I in Tätigkeit. Ist das Ventil 1 ganz geöffnet, dann beginnt sich unter fortgesetzter Aufwärtsbewegung der Stange *t* auch das Ventil 2 zu öffnen und nun tritt auch Apparat II in Funktion; er übernimmt das von I angesaugte Wasser und drückt es bei geschlossenem Schlabberraum durch das Rückschlagventil des Stützens *c* in den Kessel.

Die Betätigung der beiden Ventile 1 und 2, sowie des Hahnes, welcher den Schlabberraum *s* nach außen öffnet und schließt, erfolgt in sinnreicher Weise durch einfache Bewegung des Handhebels *h*; derselbe sitzt auf dem Zapfen des Hahnes *s*, welcher somit durch den Hebel unmittelbar gedreht wird. Die mit dem Hebel *h* verbundene Excenter-scheibe *p* überträgt die Bewegung durch eine zum Excentering erweiterte Stange *w* auf die nach oben führende Stange *q*; bei der Drehung des

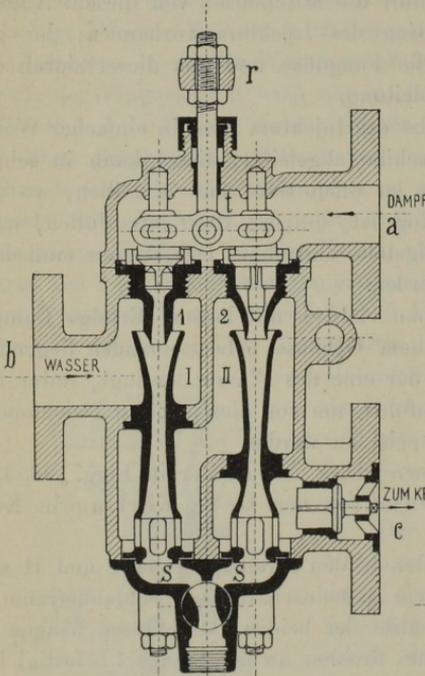


Fig. 193.

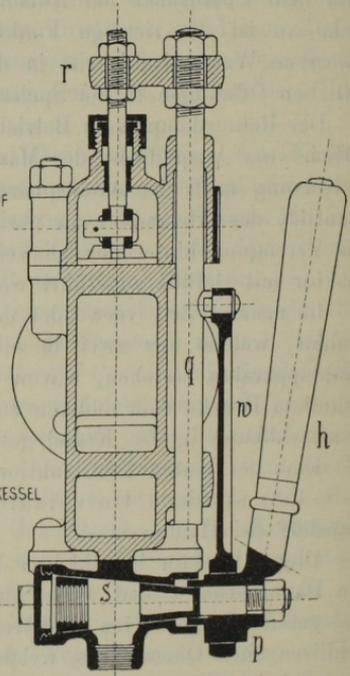


Fig. 194.

Hebels wird daher die Stange *q* gehoben oder gesenkt; diese überträgt die Bewegung durch ein kurzes Querstück *r* auf die Stange *t*. Vermöge dieser Einrichtung treten bei einer Bewegung des Hebels von einer Seite zur anderen die Bewegungen der drei Abschluß-beziehungsweise Anlaßorgane in erforderlicher Reihenfolge ein, so daß der Injektor in kürzester Zeit in Aktion gesetzt oder abgestellt werden kann.

Körtings Universalinjektor hat seit seiner vor ungefähr 25 Jahren erfolgten Einführung als Speisevorrichtung für Dampfkessel aller Art eine ungemein verbreitete Anwendung gefunden; er verdankt diese Be-

liebtheit der großen Sicherheit, mit welcher er stark erwärmtes Wasser annimmt und hohe Saughöhen überwindet; außerdem ist seine Handhabung, ein bloßes Umlegen eines Handhebels, höchst einfach.

Schließlich sei noch eine Gruppe von Injektoren erwähnt, welche im Falle eines Versagens, hervorgerufen durch Stöße oder durch Lufteintritt in die Saugleitung, selbsttätig ihre Arbeit wieder aufnehmen; man nennt dieselben selbsttätig wieder ansaugende — restarting — oder Sicherheitsinjektoren. Die Fähigkeit des selbsttätigen Wiederansaugens hat besondere Bedeutung für bewegliche Kessel, bei welchen durch Schwankungen des Wassers Luft in das Saugrohr kommen kann, also bei Lokomotiven, Schiffen, fahrbaren Kranen u. dergl.; für stationäre Kessel ist dieser Vorteil von geringerer Bedeutung.

Das wesentliche in der Konstruktion dieser Dampfstrahler besteht darin, daß, wie aus Figg. 195 und 196, welche der Konstruktion des Körtingschen Sicherheitsinjektors entsprechen, zu ersehen, in der Mischdüse eine Trennfuge angebracht ist, wodurch eine Stauung des Dampfes

vermieden und die Sicherheit des Ansaugens gewährleistet wird. Die Trennfuge ist mit einem besonderen Gehäuseumgeben, das mit der Atmosphäre durch eine Rückschlagklappe in Verbindung steht. Diese Injektoren können liegend oder stehend angeordnet sein; bei liegender Aufstellung muß die

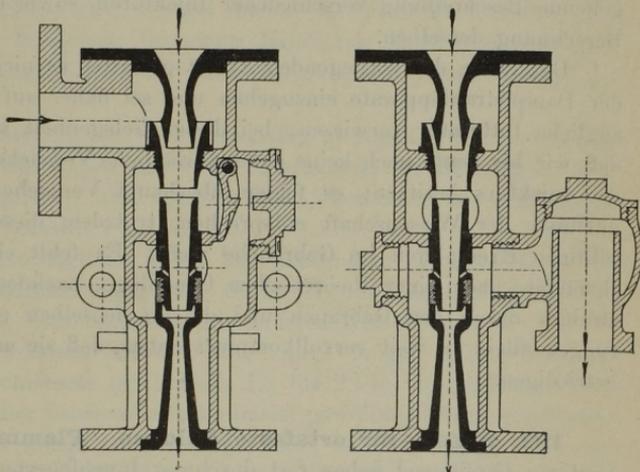


Fig. 195.

Fig. 196.

Klappe nach oben liegen. Für saugende Injektoren ist die stehende Anordnung vorzuziehen, damit eventuell abtropfendes heißes Wasser nicht in die Saugleitung gelangen kann, wodurch das Ansaugen erschwert würde.

Die Dampfstrahlapparate sind als Speiseapparate für Kessel in thermodynamischer Beziehung besser als die Speisepumpen; vom Standpunkte der Theorie müssen sie geradezu als der denkbar vollkommenste Speiseapparat angesehen werden. Wird jedoch die in das geförderte Wasser

übergeführte Wärme nicht nutzbar gemacht, dann ist der Injektor allerdings eine unökonomisch arbeitende Wasserhebevorrichtung, weil die Wärme des verbrauchten Dampfes unzweckmäßig verwertet wird.

Die erste kalorimetrische Untersuchung der Giffardschen Dampfstrahlpumpe brachte seinerzeit Prof. Zeuner im *Civilingenieur* Bd. 6, 1860, S. 315; später veröffentlichte Zeuner eine Theorie des Injektors in seinem bekannten Werke „*Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie*“, aus welchem dieselbe ziemlich unverändert in die weiteren Auflagen, deren vierte unter dem Titel „*Technische Thermodynamik*“ 1901 erschienen ist, überging (siehe Bd. 2, S. 135—145).

Die Zeunersche Theorie fand auch Aufnahme in dem „*Handbuche der mechanischen Wärmetheorie*“ von Rühlmann. Prof. Grashof bringt in seinem Werke „*Theorie der Kraftmaschinen*“ 1890, III. Teil, S. 466—487 eine ausführliche Theorie der Dampfstrahlapparate, welche für das Selbststudium bestens empfohlen werden kann. Desgleichen enthält das Werk: K. Hartmann, *Die Pumpen*, Berlin 1889, S. 544—576 eine sehr eingehende Beschreibung verschiedener Injektoren, sowie eine Anleitung zur Berechnung derselben.

Der Raum der vorliegenden Arbeit gestattet es nicht, auf die Theorie der Dampfstrahlapparate einzugehen und sei daher auf die genannte vorzügliche Litteratur verwiesen; bei dieser Gelegenheit sei jedoch bemerkt, daß wir bis heute noch keine auf zuverlässliche Versuche gestützte Theorie des Injektors besitzen; es fehlen überhaupt Versuche, welche dem Bedürfnisse der Wissenschaft entsprechen, trotzdem dieser Apparat in unzähligen Exemplaren im Gebrauche steht. Es fehlt eben das praktische Bedürfnis nach einer theoretischen Grundlage, nachdem sich die Dampfstrahler durch den Gebrauch und die an denselben gewonnenen Erfahrungen allein so weit vervollkommen haben, daß sie nach jeder Richtung befriedigen.

192. Kessel für ortsfeste Anlagen. Flammrohrkessel. Die heutigen Großkessel haben fast durchweg Innenfeuerung, d. h. die Feuerstelle ist zum Teil, meist jedoch vollständig, vom Kessel eingeschlossen. Kessel mit Außenfeuerung sind im allgemeinen, infolge der bedeutenden Wärmestrahlungsverluste (mit Ausnahme der Wasserröhrenkessel) weniger wirksam als Kessel mit innerer Feuerung; sie stehen jedoch für kleinere Anlagen oder dort, wo das Brennmaterial billig zu beschaffen ist, beziehungsweise für Betriebe, wo die Abgase anderer Feuerungsanlagen noch zur Kesselheizung ausgenützt werden können, vielfach in Verwendung. Die gewöhnliche Form derselben ist die eines horizontalen Cylinders mit konvexen Böden; nachdem die Heizfläche solcher Kessel (ca. $\frac{5}{8}$ der Ober-

fläche derselben) eine sehr beschränkte ist, pflegt man mit dem eigentlichen oder Oberkessel einen oder mehrere Unterkessel von kleinerem Durchmesser zu vereinen, welche vollständig vom Wasser erfüllt, nahezu ihrer ganzen Oberfläche nach Heizfläche bilden. Man leitet zumeist die Heizgase derart, daß sie zunächst den Oberkessel und dann erst die Unterkessel bestreichen, während das Speisewasser am kältesten Teile des Kessels (Ende des letzten Feuerzuges) eintritt, somit den Heizgasen entgegengesetzt zirkuliert; man nennt solche Kessel daher auch Gegenstromkessel.

Den Oberkesseln gibt man einen Durchmesser bis zu 1,3 m bei einer Länge bis 10 m, selten darüber; die Unterkessel erhalten einen Durchmesser von 0,65 bis 0,8 m; die Länge derselben ist gewöhnlich um ca. 1,5 m kleiner (wegen des vorliegenden Rostes) wie jene des Oberkessels; die bei diesen Maximaldimensionen erreichbare größte Heizfläche beträgt daher bei Kesseln mit einem Unterkessel rund 50 qm, bei solchen mit zwei Unterkesseln 70 qm.

Die kombinierten Cylinderkessel haben die Vorteile einfacher Herstellung, also der Billigkeit, bequemer Reinigung und großen Wasserraumes für sich; sind daher für sehr wechselnden, jedoch beständigen Betrieb geeignet.

Außer dem Nachteile der verhältnismäßig geringen Wärmeausnutzung haben namentlich die Kessel mit zwei Unterkesseln die Neigung zu Korrosionen, wenn irgendwo Luft hängen bleibt, besonders bei schäumigem oder fetthaltigem Wasser.

Die heute bevorzugteste Form der stationären Großkessel ist der Ein- und Zweiflammrohrkessel, auch Cornwall- und Lancashirekessel genannt, sowie deren Kombinationen mit anderen Kesselformen.

Die Flammrohrkessel bestehen aus einem langen horizontalen Cylinder, dessen Durchmesser gewöhnlich 1,8 bis 2,4 m, dessen Länge 8 bis 10 m beträgt, welcher beiderseits mit zumeist gewölbten Böden geschlossen ist und der ganzen Länge nach von ein, zwei, in neuester Zeit auch drei im Wasserraume liegenden Flammrohren durchsetzt ist. Die Flammrohre enthalten am vorderen Ende die Feuerung (meist etwas geneigte Planroste) und kommunizieren am anderen Ende mit den äußeren Feuerzügen, welche so angeordnet sind, daß der größte Teil der unter der Wasserlinie liegenden Kesseloberfläche (mit Ausnahme des vorderen Bodens) als Heizfläche ausgenützt wird. Die Flammrohre größerer Kessel erhalten einen Durchmesser von 0,8 bis 1,25 m; nachdem sie sich zum Teil mit Flugasche etc. verlegen, somit stellenweise weniger wärmeleitungsfähig werden, kann nur ungefähr 0,9 ihrer Oberfläche als Heizfläche gerechnet werden. Mit Ein- und Zweiflammrohrkesseln allein, ohne Kombination

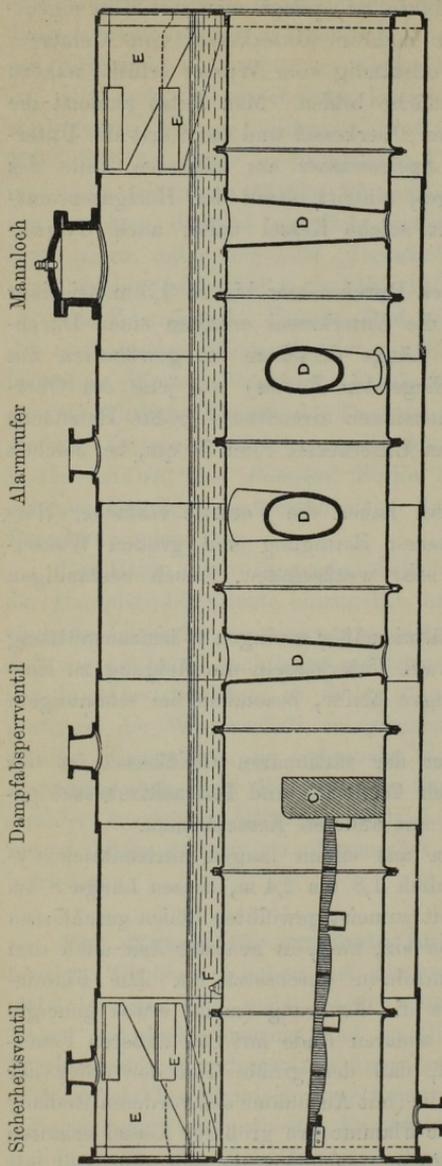


Fig. 197. Längsschnitt eines Cornwallkessels.
 DD Gallowayrohre zur Absteifung des Flammrohres, zur Erhöhung der Zirkulation des Wassers sowie zur Vermehrung der Heizfläche. EE Absteifung für die Kesselböden, F Schmelzpfropfen.

mit anderen Kessel-
 formen, kann man eine
 Maximalheizfläche von
 etwa 70 beziehungsweise
 100 qm erreichen. Man
 kann jedoch die Heiz-
 fläche derselben nicht
 unbedeutend (etwa um
 20 v. H.) vergrößern, in-
 dem man die Flamm-
 rohre durch Querrohre,
 sogenannte Galloway-
 rohre durchsetzt; es wird
 hierdurch nicht nur die
 Vergrößerung der Heiz-
 fläche, sondern auch
 eine beschleunigte und
 wirksame Wasserzirkula-
 tion, außerdem auch
 eine vorzügliche Ab-
 steifung der Rohrwand
 gegen Außendruck er-
 zielt. Fig. 197 zeigt
 einen Cornwallkessel im
 Längsschnitt, Fig. 198
 im Querschnitt, woraus
 zugleich die Anordnung
 der Gallowayrohre er-
 sichtlich ist.

Der Rost reicht von
 der vorderen Stirnwand
 bis zur Feuerbrücke C;
 die Heizgase streichen
 durch den Kessel und
 kommen hierbei mit den
 Querrohren D in innige
 Berührung, um am Ende
 des Flammrohres nach

dem unteren Zuge B abzufallen; durch diesen ziehen dieselben wieder
 nach vorn, teilen sich und streichen durch die beiden Seitenzüge AA
 wieder nach rückwärts, um in den Kamin abzuziehen; auf diesem Wege

können sie noch zur Vorwärmung des Speisewassers ausgenützt werden.

Fig. 199 zeigt den Querschnitt eines Zweiflammrohrkessels, welcher sich hinsichtlich der Einmauerung und Anordnung der Züge nicht wesentlich vom Einflammrohrkessel unterscheidet.

Um die Einflammrohrkessel im Inneren, namentlich in den unteren Partien besser reinigen zu können, pflegt man mit Vorliebe das Rohr seitlich zu legen, sodaß die geometrischen Achsen des Kessels und Flammrohres nicht in einer vertikalen Ebene liegen; man nennt diese Kessel daher auch Seitrohrkessel.

Durch den Einbau eines dritten Flammrohres, welches in die Mittelebene des Kessels, zwischen und unter den beiden seitlichen Flammrohren zu liegen kommt, kann man die Heizfläche eines Zweiflammrohrkessels noch wesentlich erhöhen; es erfolgt dies allerdings auf Kosten des äußeren Durchmessers, der bei genügend räumlichen Flammrohren von 900 beziehungsweise 700 mm Durchmesser ungefähr 2,5 m betragen muß, um die Flammrohre auch von außen

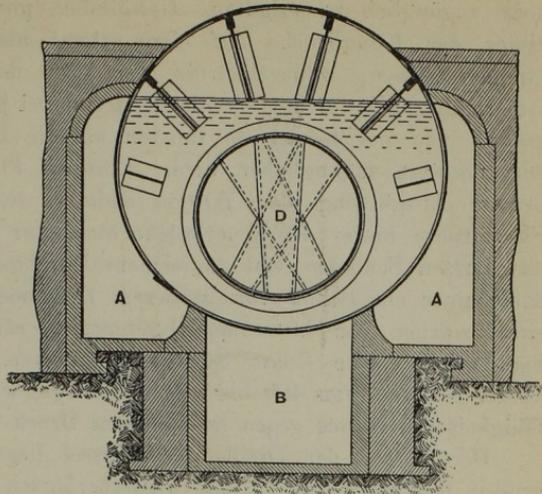


Fig. 198.

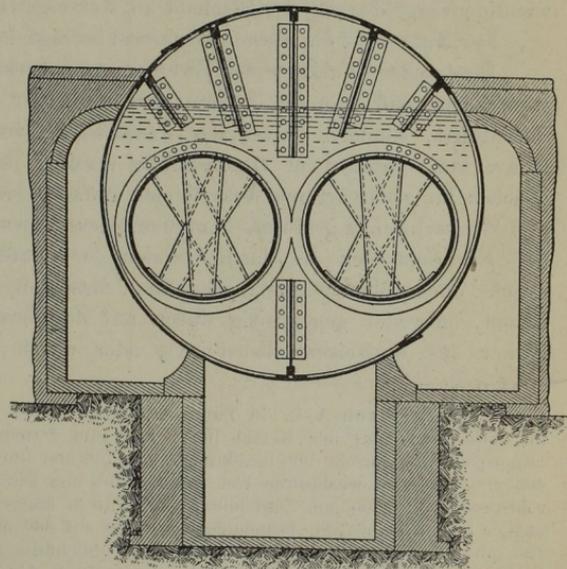


Fig. 199.

noch zugänglich zu erhalten. Gewöhnlich pflegt man die Flammrohre hinter der Feuerbrücke auf einen etwas kleineren Durchmesser zusammenzuziehen, wodurch trotz Reduktion der Oberfläche eine wirksamere Heizfläche erzielt, an Blechmaterial bei gleicher Leistungsfähigkeit gespart und der Kessel im Inneren auf die Erstreckung des kleineren Durchmessers zugänglicher wird. Einzelne Firmen trachten eine noch bessere Ausnützung der Wärme dadurch zu erreichen, daß sie die Flammrohre hinter der Feuerbrücke nicht nur zusammenziehen, sondern aus kurzen Schüssen von ungleichem Durchmesser herstellen, so zwar, daß immer ein Schuß von größerem Durchmesser, etwa 750 mm, mit einem solchen von kleinerem Durchmesser, etwa 700 mm, abwechselt; man nennt solche Rohre Stufenfeuerrohre. Durch die Anordnung kurzer Schüsse (von 400 bis 800 mm Länge) wird auch die Widerstandsfähigkeit des Rostes gegen den äußeren Druck sehr erhöht*).

Der Vorteil der Dreiflammrohrkessel liegt in der verhältnismäßig großen Rostfläche (ca. $\frac{1}{30}$ der wasserberührten Heizfläche), sowie in der großen Verdampfungsoberfläche, wodurch die Leistung des Kessels ohne Bildung nassen Dampfes gesteigert werden kann; diesen Vorteilen stehen die Nachteile gegenüber, welche die schlechtere Zugänglichkeit des Kessels im Inneren, die Bedienung von drei Rosten ein und desselben Kessels, sowie die durch das übermäßige Anwachsen des Kesseldurchmessers notwendige Vergrößerung der Blechstärke, Kesselgewichte etc. zur Folge haben.

Der Nutzeffekt der Flammrohrkessel beträgt durchschnittlich 70 Prozent.

Eine andere Variante des Zweiflammrohrkessels besteht der Wesenheit nach darin, daß man die Flammrohre nicht der ganzen Kessellänge nach durchführt, sondern hinter der Feuerbrücke zu einem einzigen breiten Rohre von elliptischem Querschnitte vereint; die Wände dieses Rohres, welches im rückwärtigen Kesselboden mündet, sind durch Gallowayröhren und Wassertaschen gestützt. Man nennt Kessel dieser Bauart **Gallowaykessel**.

Nachdem sich die flachen Böden der Großkessel unter dem Dampfdrucke ausbauchen würden, pflegt man dieselben, wo sie noch Verwendung finden, entweder gegenseitig durch auf Zug beanspruchte, durchgehende Anker aus Walzeisen abzusteifen, oder durch sogenannte Ankerbarren

*) H. Pauksch A.-G. in Landsberg stellte einen solchen Einflammrohrkessel in Paris 1900 aus; der Kessel hatte 1700 mm Durchmesser bei 9300 mm lichter Länge; das Flammrohr 900 beziehungsweise 700 mm Durchmesser; die Schüsse waren 400 mm lang und wechselten von 750 auf 700 mm Durchmesser. — Ein Dreiflammrohrkessel von 2500 mm Durchmesser bei 11,0 m Länge, dessen Flammrohre Durchmesser von 870 auf 700, beziehungsweise 700 auf 560 mm hatten, dessen Heizfläche 125 qm bei 4,5 qm Rostfläche betrug, war gleichfalls 1900 in Paris von der Firma Berninghaus, Duisburg, ausgestellt. *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1901, S. 415.

(EE Fig. 197), welche aus Blech und Winkeleisen hergestellt sind, mit dem Kesselmantel zu verbinden; außerdem bieten die Flammrohre selbst eine wirksame Absteifung. Nachdem diese Absteifvorrichtung den bei Flammrohrkesseln ohnedies sehr beschränkten, befahrbaren Raum im Inneren derselben sehr nachteilig beeinflussen, pflegt man in neuerer Zeit die Böden, selbst jene der Dreiflammrohrkessel gewölbt auszuführen.

Die Flammrohre werden entweder aus Wellrohblech oder aus kurzen, glattcylindrischen Schüssen hergestellt, welche in der Längsnaht geschweißt, hydraulisch nach außen gekrempt und mittels eingelegter Versteifungsbeziehungsweise Versteifungsringe untereinander vernietet sind; hierdurch, sowie durch eine möglichst genau cylindrische Form der Schüsse wird die Widerstandsfähigkeit der Rohre gegen den äußeren Druck genügend erhöht und ein Ovalwerden derselben verhütet. Diese Art der Verbindung glatter Schüsse, sowie die Verwendung des Wellbleches gewährt auch den weiteren Vorteil, daß das Flammrohr als solches eine gewisse Nachgiebigkeit besitzt und sich etwas durchbiegen kann, wenn infolge der ungleichen Einwirkung des Feuers sich die obere Rohrpartie mehr ausdehnen sollte als die untere. Die Wellrohre gewähren außerdem noch den Vorteil einer nicht unbedeutenden Vergrößerung der Heizfläche des Rohres (ca. 10 bis 15 Prozent Zuwachs gegenüber dem glatten Rohre), sowie andererseits infolge der steten federnden Bewegung der Rohrwand sich feste Niederschläge nicht so leicht bilden können, da der Kesselstein namentlich in den nach außen gewölbten Teilen abspringt. Infolge der großen Sicherheit dieser Rohre gegen Ovalwerden kann auch die Wandstärke derselben geringer sein, wie jene des einfach glatten Rohres; sie bilden daher auch eine vorzügliche Heizfläche. Außerdem können Wellblechrohre bei gleichem Durchmesser des Außenkessels etwas größeren Durchmesser erhalten als Glattblechflammrohre. Die Rohrwellen sind entweder, und zwar zumeist, senkrecht zur Rohrachse, selten schraubenförmig eingewalzt; die einzelnen Trommeln werden in Längen bis zu 3 m bei einem Durchmesser bis 1400 mm und einer Wandstärke von 10 bis 11 mm hergestellt; die Enden sind zum Zwecke der Vernietung glattcylindrisch ausgewalzt.

Die Rücksichtnahme auf die ungleiche Ausdehnung der Kesselwandungen ist eine der wichtigsten Aufgaben bei dem Entwurfe eines Kessels, indem anderenfalls Undichtheiten in den Nietnähten, Risse im Bleche, also Wirkungen auftreten, welche auf Deformation und Zerstörung des Kessels hinarbeiten. Aus diesem Grunde dürfen die Flammrohre auch nur mit den Böden, nicht aber mit dem Kesselmantel selbst verbunden sein und die Absteifungen flacher Böden müssen im allgemeinen so angeordnet sein, daß sie denselben noch eine gewisse Freiheit ge-

währen, sich aus- oder einwärts zu biegen, wenn sich die Flammrohre strecken oder zusammenziehen.

Die Gallowayröhren werden mit Rücksicht auf das Ein- und Ausbringen derselben stets konisch geformt und derart eingesetzt, daß das weitere Ende nach oben kommt, damit der in dem Rohre gebildete Dampf rascher entweichen kann.

193. Heizröhren und kombinierte Kessel. Läßt man die Heizgase direkt oder indirekt, nachdem sie vorher andere Partien der Kesseloberfläche bestrichen haben, durch eine größere Anzahl enger, im Wasserraum liegender Röhren, sogenannter Rauch- oder Heizröhren, ziehen, dann nennt man solche Kessel im allgemeinen Heizröhrenkessel. Der Zweck derselben liegt in der Erzielung vergrößerter wirksamer Heizfläche bei verringertem Wasservolumen, somit in der Konzentration großer Heizflächen auf verhältnismäßig kleinem Raume bei geringerem Gewichte des Kessels. Lokomotiv-, Lokomobil- und alle älteren Schiffskessel sind ausgesprochene Heizröhrenkessel; man benützt jedoch auch für stationäre Zwecke sehr häufig Heizröhrenkessel, jedoch zumeist in Verbindung mit anderen Kesselformen, indem man die Heizgase erst in zweiter Linie durch die Heizröhren leitet, diese somit vor der direkten Einwirkung der Stichflamme sichert. Den Vorteilen der großen, leicht ausdehnbaren Heizfläche, der raschen Dampfentwicklung, sowie der verhältnismäßig geringen Wärmeverluste der eigentlichen Heizröhrenkessel mit Innenfeuerung bei vorübergehender Unterbrechung des Betriebes, stehen als Nachteile die große Empfindlichkeit gegen Kesselstein, die im Verhältnisse zur Heizfläche kleine Wasseroberfläche, daher Neigung zur Bildung nassen Dampfes, sowie die schwierige Reinigung gegenüber.

Die Heizröhrenkessel werden für stationäre Anlagen zumeist mit Flammrohrkesseln, seltener mit einfachen Walzenkesseln vereinigt; man nennt solche Kessel im allgemeinen kombinierte Kessel. In diese Gruppe gehören die bekanntesten Großkesselkonstruktionen, als der Dupuis-Kessel, der Fairbairn-Kessel und der Tischbein-Kessel.

Der Dupuis-Kessel (von D. Dupuis & Co. in Gladbach) sowie dessen Abarten sind eine Verbindung eines gewöhnlichen, liegenden Walzenkessels mit Unterfeuerung mit einem rückwärts unmittelbar angeschlossenen stehenden, kurzen Röhrenkessel. Die Heizgase streichen unter dem Walzenkessel nach rückwärts, steigen durch das Röhrenbündel, dessen oberer Teil bereits im Dampfraum liegt, aufwärts und ziehen dann nach der Esse ab. Dupuis-Kessel wurden seinerzeit für Heizflächen von 50 bis 150 qm viel gebaut, in neuerer Zeit jedoch durch die Tischbein- und Wasserröhrenkessel in den Hintergrund gedrängt, da sie, in die Länge

gebaut, eine verhältnismäßig große Bodenfläche beanspruchen; sie geben jedoch gute Brennmaterialausnutzung, lassen sich zufolge der kleineren Durchmesser für hohen Druck herstellen und geben in anbetracht der zur Heizfläche großen Wasseroberfläche nicht leicht nassen Dampf; zur Speisung erfordern sie jedoch wie alle Heizröhrenkessel weiches Wasser. Die größten ausgeführten Dupuis-Kessel haben einen Diameter des Kessels von 1400 mm bei 7 m Länge, einen Diameter des Dupuis-Topfes von 2200 mm bei 4,5 m Höhe; ein derartig dimensionierter Kessel bietet eine totale Heizfläche von 150 qm bei einer wasserbespülten Heizfläche von etwa 120 qm.

Der obere Teil der Heizröhren dient zur Dampftrocknung, bei forcierterem Betriebe zur Überhitzung. Der Nutzeffekt dieser Kessel beträgt nach sorgfältig durchgeführten Versuchen 65 bis 70, im Mittel 68 Prozent. und stellt sich im allgemeinen dem Nutzeffekte der Wasserröhrenkessel gleich.

Der Vorderkessel ist mit dem Dupuis-Topf durch zwei Mannlöcher verbunden, wovon das eine im Dampfraum, das andere im Wasserraum

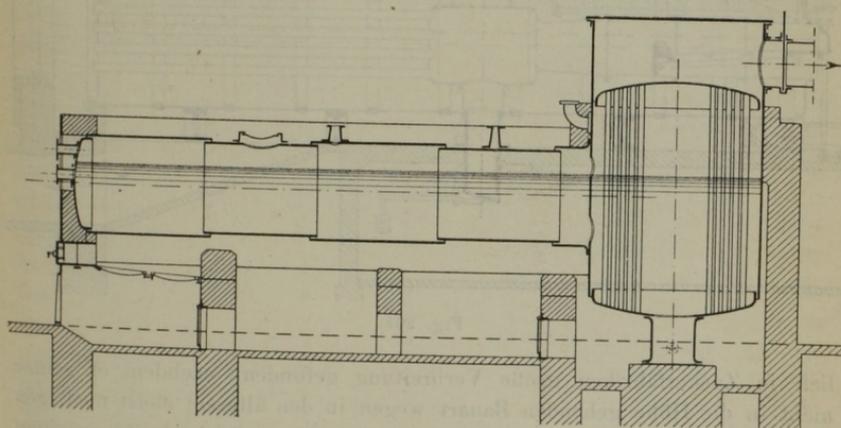


Fig. 200.

und zwar so tief liegt, daß alles Wasser behufs Entschlammung nach dem unteren Teil des Dupuis-Topfes abfließen kann.

Der Dupuis-Kessel wird heute noch in Fabriken der chemischen und textilen Industrie, namentlich in Färbereien, Tuchfabriken etc., wo viel Kochdampf benötigt wird verwendet, da zufolge der Außenfeuerung der Betrieb beliebig gesteigert oder reduziert werden kann. In Deutschland hat der Dupuis-Kessel weniger Anwert als in Österreich gefunden. Fig. 200 zeigt die allgemeine Anordnung eines Dupuis-Kessels im Längenschnitt.

Der Fairbairn-Kessel sowie der Tischbein-Kessel sind Kom-

binationen von Flammrohr- und Heizröhrenkesseln. Der Fairbairn-Kessel vereinigt in ein und derselben Kesselhülle sowohl die beiden Flammrohre als auch die Heizröhren, indem erstere hinter der Feuerbrücke in eine gemeinschaftliche Verbrennungskammer von elliptischer Form münden, von deren rückwärtiger Wand eine größere Anzahl Heizröhren bis zum zweiten Kesselboden reichen; die beiden kurzen Flammrohre dienen daher in erster Linie dem Zwecke der Innenfeuerung. Der Fairbairn-Kessel ist somit in die Länge gebaut, gibt rasch Dampf und gute Heizflächen, ist jedoch teuer, erfordert gutes Brennmaterial und weiches Wasser. Er eignet sich nur für Großbetrieb bei Heizflächen von etwa 100 bis 200 qm und hat speziell in der chemischen Industrie, nament-

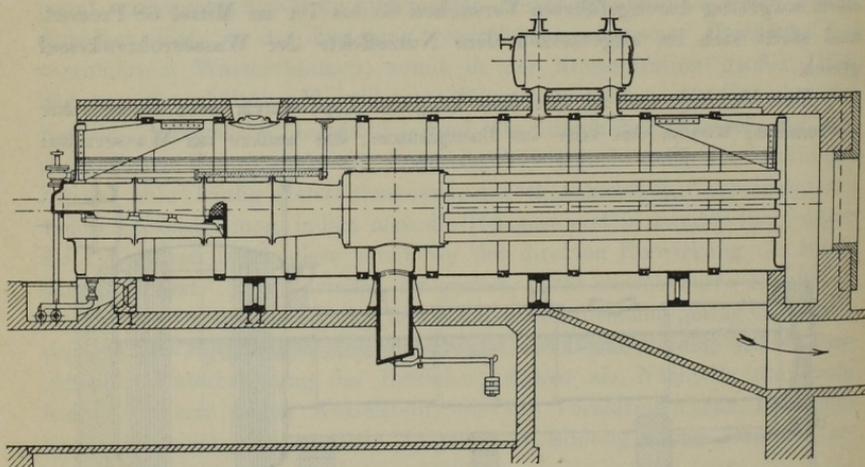


Fig. 201.

lich in Zuckerfabriken große Verbreitung gefunden, nachdem er seiner nicht in die Höhe gehenden Bauart wegen in den älteren, meist niedrigen Kesselhäusern leicht untergebracht werden kann; außerdem gibt er einen sehr günstigen Nutzeffekt von 73 bis 75 Prozent und trockenen Dampf vermöge der großen Dampfensteigungsfläche. Fig. 201 zeigt den Kessel in den wichtigsten Umrissen. Die elliptische Heizkammer wird behufs leichter Reinigung von Asche nach oben und unten durch einen Einsteigbeziehungsweise Entleerungsstutzen mit dem Kesselmantel verbunden; diese zweiseitige starre Verbindung ruft jedoch an den Verbindungsstellen Zerrungen, die von Deformationen und Rissen etc. begleitet sind, hervor; es ist daher besser den oberen Stutzen wegzulassen und den unteren mit einer selbsttätig funktionierenden Entleerungsklappe zu versehen.

Der Tischbein-Kessel besteht aus einem kurzen Zweiflammrohr-

kessel als Unterkessel mit Innenfeuerung und einem darüberliegenden Heizröhrenkessel als Oberkessel; der ganze Kessel ist daher in die Höhe gebaut und gleichsam ein der Länge nach in zwei Teile zerschnittener Faibairn-Kessel, dessen Teile übereinander gelegt sind. Die Heizgase steigen nach Verlassen der Flammrohre nach aufwärts, ziehen durch die Heizrohre des Oberkessels und fallen zumeist, diesen und den Unterkessel außen bestreichend, wieder ab, um unter dem Unterkessel nach der Esse abzuziehen. (Siehe Fig. 202, S. 470).

Nach der ursprünglichen Anordnung des Tischbein-Kessels ist der Ober- und Unterkessel durch zwei kurze Stützen derart verbunden, daß eine freie Zirkulation des Wassers stattfinden kann; der Oberkessel ist daher bis zur Wasserlinie, der Unterkessel vollständig gefüllt; der Dampfraum befindet sich nur im oberen Kessel, infolge dessen müssen die im unteren Kessel sich bildenden Dämpfe eine hohe Wassersäule durchdringen, um frei zu werden. Es wird infolge dessen nasser Dampf erzeugt und bilden sich im Dampfraum sogenannte Spritzwellen; außerdem sammelt sich im Oberkessel, der schwer zu reinigen ist, viel Schlamm und Kesselstein. Diesen Übelständen begegnet man bei neueren Konstruktionen dadurch, daß man den Wasserraum des Ober- und Unterkessels trennt, so daß jeder der beiden Kessel seinen eigenen Dampfraum besitzt und der Dampf vom Unterkessel durch ein Rohr direkt in den Dampfraum des Oberkessels aufsteigen kann. Der Oberkessel ist außerdem mit einem darüberliegenden Dampfsammler verbunden, von welchem der Dampf entnommen wird. Den Unterkessel legt man gewöhnlich horizontal und verbindet denselben mit dem Oberkessel durch einen blinden Stutzen, von welchem das Dampfrohr bis in den Dampfraum des Oberkessels reicht. Die Speisung erfolgt nur im oberen Kessel und das Wasser fließt von diesem durch ein bis an den mittleren Wasserstand reichendes Trichterrohr in den Unterkessel ab; nachdem somit der Wasserstand im Oberkessel konstant oder nahezu konstant bleibt, so sind nur am Unterkessel Wasserstandszeiger notwendig. Für den Fall einer im Unterkessel eintretenden Wassernot ist dieser mit einer Notspeisevorrichtung versehen. Die Kessel erfordern unbedingt eine aufmerksamere Bedienung wie der ältere Tischbein-Kessel. Nachdem die rückwärtige Scheidemauer zwischen beiden Kesseln häufig zusammenbrach, legte man den unteren Kessel geneigt, sodaß sich vorne der Dampf sammelt, der rückwärtige Teil jedoch vollkommen mit Wasser gefüllt ist, daher bei eingebrochener Trennungsmauer die aus dem Unterkessel tretenden noch hochehitzen Gase nicht Kesselpartien treffen, die innen nur mit Dampf in Berührung stehen.

Der ältere Tischbein-Kessel wird in Verbindung mit Dampfüberhitzern noch vielfach verwendet und gibt ebenso wie der Doppeldampf-

raumkessel einen sehr guten Nutzeffekt von 73 bis 75 Prozent. Bei den großen Durchmessern dieser Kessel von 2 bis 2,4 m bei einer Länge bis 6 m für den unteren und 4,5 m für den oberen Kessel sind dieselben sehr hoch aufgebaut und erreichen die Höhe eines zweistöckigen Baues, wodurch natürlich die Übersicht und Bedienung erschwert ist. Bei diesen Abmessungen geben die Tischbein-Kessel Heizflächen bis zu 200 qm.

Die Heizröhren der Großkessel werden aus patentgeschweißten oder Mannesmann-Flußeisenröhren hergestellt und erhalten zumeist einen lichten Durchmesser von 76 mm bei 83 mm Außendiameter; für niedrigere

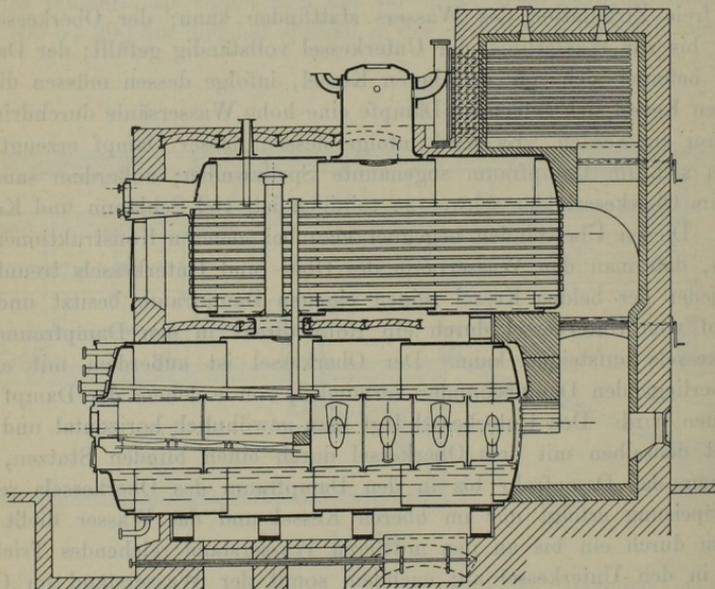


Fig. 202.

Kesselspannungen bis 7 Atmosphären wählt man etwas weitere Rohre von 83 mm innerem und 89 mm äußerem Durchmesser. Nachdem die Kesselböden heutzutage fast nur mehr gewölbt verwendet werden und vermöge der schrägen Lage des Bodens zum Rohre die Einwalzflächen dieser mit abnehmenden Rohrdiameter zunehmen, so pflegt man eben für höheren Druck Röhren von kleinerem Durchmesser vorzuziehen.

Man pflegt die Böden nach einem Halbmesser von ca. 3,5 m zu wölben; zu wenig gewölbte Böden gestatten den Flammröhren eine zu große Beweglichkeit, wodurch dieselben leicht undicht werden. Die Böden bekommen bei obigen Durchmessern und den heute gebräuchlichen Betriebs-

spannungen eine Blechstärke von 25 bis 26 mm; die Mantelbleche eine solche von durchschnittlich 22 mm.

Fig. 202 zeigt die Anordnung eines Doppeldampfraumkessels.

194. Die Wasserröhrenkessel. Wird die Heizfläche eines Röhrenkessels durch die äußere Oberfläche einer größeren Anzahl enger Röhren oder anderer kleiner Kesselteile, durch welche eine stete Zirkulation des Wassers infolge des Unterschiedes der Dichte des heißen und kalten Wassers stattfindet, gebildet, dann bezeichnet man solche Kessel als Wasserröhrenkessel.

In gewöhnlichen Kesseln ist die Wasserzirkulation im allgemeinen ganz unregelmäßig, denn wenn eine Dampfblase an irgend einer Stelle der Heizfläche aufsteigt, wird deren Platz von einem Wasserteilchen eingenommen, welches von irgend einer Seite kommen kann; in einem gut angelegten Wasserröhrenkessel ist hingegen die Zirkulation vollkommen systemmäßig: das Wasser tritt in jedes der Rohre an einem Ende ein durchzieht dasselbe in einem dünnen, kontinuierlichen Strome und verläßt das Rohr teilweise in Dampf verwandelt. Gewöhnlich stehen die Rohre mit einem räumlich von denselben getrennten, darüberliegenden einfach cylindrischen Kessel in Verbindung, an welchen sie den Dampf abgeben; von diesem als Dampf- und Wasserreservoir dienenden Kessel wird einerseits der Dampf entnommen, um direkt oder nach Passierung eines Überhitzers seinem Zwecke zugeführt zu werden, während andererseits das Wasser in dem Maße, als es in den heißeren Partien auftreibt, in den kühleren Rohrpartien vermöge seiner Schwere nachsinkt und somit auf seinem Wege durch dieselben und den Sammelraum einen steten Kreislauf beschreibt.

Die ersten wirklich brauchbaren Wasserröhrenkessel wurden vor etwa 60 Jahren von dem Maschinenfabrikanten Alban zu Plau in Mecklenburg ersonnen und in seinem Werke „*Die Hochdruckdampfmaschinen*“ beschrieben. Alban wollte vor allem einen schwer- oder überhaupt nicht explodierbaren Kessel für hochgespannte Dämpfe liefern. Die Albansche Konstruktion kam jedoch bald in Vergessenheit und erst in den sechziger Jahren wurde das Interesse für den Wasserröhrenkessel in beteiligten Kreisen neuerdings angeregt und zwar in erster Linie durch die Konstruktionen des Franzosen Belleville, welche anlässlich der Pariser Ausstellung 1867 gerechtes Aufsehen erregten. Von da an fing ein förmlicher Wettlauf an in der Herstellung brauchbarer Wasserröhrenkessel; der alte Alban-Kessel wurde wieder der Vergessenheit entrissen und in mannigfachen Konstruktionen verbessert; neue Typen wurden geschaffen, indem man sich die Hand in Hand gehenden Fortschritte in der Erzeugung geeigneter Rohre und diverser Verbindungsdetails, in erster Linie jedoch

die inzwischen gemachten Erfahrungen auf diesem nun hochwichtigen Gebiete des Kesselbaues zunutze machte; unter diesen neuen Typen seien als wichtigste genannt die Wasserröhrenkessel von Heine, Steinmüller, Root, Walther & Co., de Nayer, Dürr & Co., Willmann, Büttner, Humboldt, Breda & Co., Gehre, Simonis & Lanz, Babcock & Wilcox, Thornycroft, Jarrow, Niclaue u. a.

Den Ruf, vollkommen explosions sicher zu sein, haben manche dieser Konstruktionen nicht bewahren können, denn wie die Statistik zeigt, treten bei diesen Kesseln ziemlich häufig Explosionen ein, doch sind dieselben nie von jener verheerenden Wirkung, wie Explosionen von Großwasserkesseln. Die Belleville-Kessel waren auch die ersten Wasserröhrenkessel, welche für Schiffszwecke Verwendung fanden und zwar zuerst in Frankreich, jetzt auch vielfach in der englischen Kriegsmarine. Der Kessel hat die gute Eigenschaft, gegen plötzliche Temperaturschwankungen ziemlich unempfindlich zu sein, doch ist das befriedigende Funktionieren desselben an eine Anzahl sinnreicher aber auch komplizierter Ausrüstungsgegenstände gebunden. Nachdem Marinekessel obige Eigenschaft mehr als stationäre Kessel besitzen müssen, wurde auch der Versuch mit gebogenen statt der üblichen geraden Rohre gemacht; außerdem soll ein Schiffskessel möglichst geringes Gewicht besitzen und bei großer Heizfläche wenig Raum in Anspruch nehmen; er muß leicht und sicher zu bedienen und zu reinigen sein. Es gibt wenige Konstruktionen, die diesen Bedingungen im genügenden Maße gerecht werden.

In der deutschen Marine haben außer dem geradröhri gen Bellevillekessel, sowie dem Kessel von Niclaue, auch die Dürrkessel, dann von den Konstruktionen mit gebogenen Rohren die Kessel von Thornycroft (London) und Schulz (Germania in Tegel) ausgedehntere Anwendung gefunden.

Die Gewichtersparnis beträgt ca. 33 Prozent gegenüber den gewöhnlichen Schiffskesseln mit großem Wasserinhalt; das Raumbedürfnis dürfte ziemlich das gleiche sein. Der Nutzeffekt beträgt durchschnittlich 68 bis höchstens 70 Prozent.

Bezüglich der Brauchbarkeitsdauer liegen bis heute noch keine abschließenden Erfahrungen vor; Schiffskessel haben übrigens an und für sich keine lange Lebensdauer. Die Handelsmarine verhält sich bisher den Wasserröhrenkesseln gegenüber ablehnend.

Ohne auf eine Besprechung der allgemeinen Anordnung, sowie der mitunter sehr komplizierten konstruktiven Einzelheiten der verschiedenen Wasserröhrenkesselsysteme eingehen zu können*), sei hier, dem Zwecke

*) Dispositionsskizzen und Details verschiedener Wasserröhrenkessel siehe u. a.: Haeder, *Bau und Betrieb der Dampfkessel*, 1898, Duisburg. Reiche, *Anlage und*

und Umfange dieses Buches entsprechend, nur je eine bewährte Konstruktion mit geraden, beziehungsweise gebogenen Wasserröhren herausgegriffen und zwar für erstere Gruppe der beliebte und sehr verbreitete Babcock & Wilcox-Kessel, für die zweite Gruppe der Kessel von Thornycroft.

Die Konstruktion eines Babcock & Wilcox-Kessels mit Dubieauscher Emulsion und Überhitzer, wie solche von der im Dampfmaschinenbau Weltruf genießenden Ersten Brüner Maschinenfabriks-Gesellschaft seit Jahren ausgeführt wird, ist durch Fig. 203 im Längenschnitte, durch Fig. 204 im Querschnitte dargestellt. Der Kessel besteht aus einem hoch-

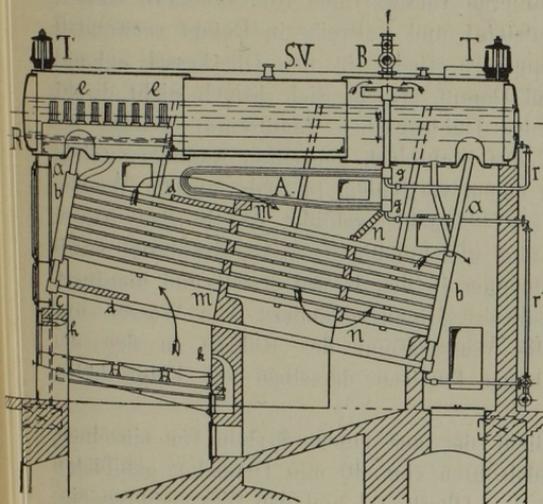


Fig. 203.

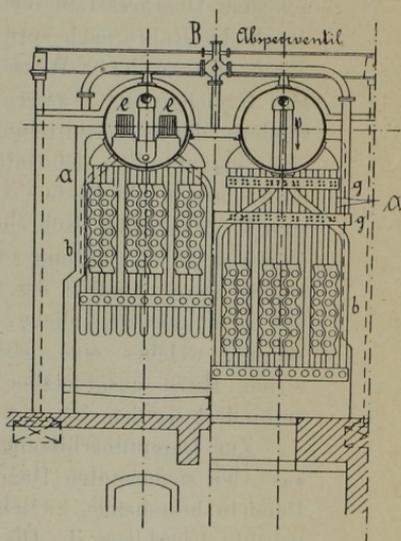


Fig. 204.

liegenden cylindrischen Oberkessel, einem System von geneigt liegenden schmiedeeisernen Wasserröhren und den dieselben mit dem Oberkessel, als Dampf und Wassersammler verbindenden, in kurze Geradrohre *aa* übergehenden, reihenweise angeordneten Wasserkammern *bb*.

Damit die Heizgase zur Zirkulation gezwungen werden, sind einerseits die Zwischenwände *mm* und *nn* aus Schamottesteinen und dahinterliegenden Gußeisenplatten, andererseits die gleichfalls aus feuerfesten Steinen gebildeten Deckplatten *dd* eingebaut. Die unterste Rohrreihe ist in einem größeren Abstände von den übrigen Rohrreihen gelegt, um einer-

Betrieb der Dampfkessel, Leipzig 1888. Pohlhausen, Dampfkesselanlagen, 1899, sowie die Berichte über die Ausstellung in Paris 1900 etc.

seits Raum für die untere Deckplatte *d* zu schaffen und die Heizgase innig zu mischen, andererseits zu verhindern, daß die Heizgase unmittelbar nach ihrer Entwicklung gegen das ganze massige Rohrsystem stoßen und sich sofort energisch abkühlen. Die beiden horizontalreihigen Wasserkammern *cc* dieser untersten Rohrreihe sind, wie aus dem Querschnitte zu ersehen, teils durch kurze Geradrohre mit den darüberliegenden Wasserkammern *b*, teils durch zwischen diesen, sowie zu beiden Seiten außerhalb derselben liegenden Röhren direkt mit dem Oberkessel verbunden, um hierdurch eine lebhaftere Wasserzirkulation zu erzielen. Infolge dieser Gesamtanordnung findet ein steter Kreislauf des Wassers statt, indem dasselbe aus dem Oberkessel in die kühleren rückwärtigen Rohrkammern eintritt, durch die Rohre nach vorn aufsteigt und teilweise in Dampf verwandelt, durch die vorderen Wasserkammern wieder in den Oberkessel gelangt. Das Gemenge aus Wasser und Dampf ergießt sich jedoch nicht direkt, sondern durch Vermittelung des Dubieauschen Emulseurs, welcher aus einer eigentümlich geformten, aus Stahlblech gepreßten Kammer, welche nach oben in ein System von engen vertikalen, bis nahe an den Wasserspiegel reichenden Röhren *ee* übergeht, gebildet ist, in den Kessel. Durch diese Vorrichtung soll eine gleichmäßigere Wasserzirkulation sowie ein ruhigerer Austritt des Gemenges in den Kessel erzielt und hierdurch das sonst unvermeidliche stoßweise Hinausschleudern von Wasser und Dampf, welches eine partielle Wasserarmut der Röhren in den der ersten Hitze ausgesetzten oberen Partien derselben zur Folge hätte, verhindert werden.

Zur Dampfüberhitzung dient der aus einem System von einzelnen, aus vier sogenannten Haarnadelröhren von 40 mm Durchmesser gebildeten Bündeln bestehende, zwischen dem Oberkessel und den Wasserröhren eingebaute Überhitzer *A*. Die in horizontaler Reihe nebeneinander liegenden Röhrenbündel vereinigen sich an beiden Enden in je ein Querstück *gg*; das obere entnimmt den gesättigten Dampf aus dem Kessel, das untere führt den überhitzten Dampf durch seitlich außerhalb des Kessels aufsteigende Rohre nach dem Absperrventil *B*. Während der Anheizperiode wird der Überhitzer mit Wasser gefüllt erhalten, welches vor Beginn der Dampfenahme, also der Überhitzung, aus demselben abgelassen werden muß; hierzu dienen die aus der Zeichnung ersichtlichen engen Anschlußrohre *rr'*.

Die Speisung erfolgt von der vorderen Stirnfront des Kessels durch ein in denselben ragendes horizontales Rohr *R*; vor der Mündung desselben ist ein Schlammfänger angebracht.

Der ganze Kessel wird durch ein Gerüst aus vertikalen und horizontalen Eisenträgern getragen, an welchem der Oberkessel durch Rundenisen-

schlingen, die sich oberhalb des Kessels an der Aufhängestelle T vereinen, aufgehängt ist, somit der Länge nach freibeweglich schwebt.

Die Dampfkammern sind selbstverständlich so eingerichtet, daß durch leicht abnehmbare Deckelstücke die einzelnen Rohre gereinigt, wenn notwendig ausgewechselt werden können.

Zur Erzielung einer möglichst vollkommenen Verbrennung wird über dem Roste durch bei h mündende Düsen ein Dampfschleier eingeblasen, andererseits durch Schlitze k Luft zugeführt.

Die Wasserröhren haben einen Durchmesser von 102 mm im Lichten bei 4 mm Wandstärke; eine Baulänge von 5500 mm; der Oberkessel einen Durchmesser von 1200 mm bei ca. 7000 mm Länge. Eine Änderung der Heizfläche wird nur durch die Anordnung der Rohrsektionen erzielt, indem nicht nur die Zahl der übereinander liegenden Rohre einer Sektion, als auch die Anzahl der nebeneinander liegenden Sektionen geändert wird*).

Der Konstruktion des Wasserröhrenkessels in seiner speziellen Anwendung als Schiffskessel wurde von Thornycroft die größte Aufmerksamkeit gewidmet. Wie aus Fig. 205 (s. S. 476), welche einen Thornycroftkessel im Querschnitt und Vorderansicht darstellt, zu ersehen, besteht die Heizfläche desselben aus einer großen Anzahl enger gebogener Röhren, welche zunächst, von zwei seitlich liegenden weiten Horizontalröhren ausgehend, über dem Feuer eine Wölbung bilden, um sich dann wieder nach auswärts zu biegen und schließlich in einem über der Feuerung liegenden Oberkessel zu vereinen. Von diesem fließt das Wasser durch zwei außerhalb des Heizraumes liegende geneigte Rohre (in Fig. 205 links zu sehen) nach den zu beiden Seiten der Feuerung liegenden, vorhin erwähnten Sammlern, um von diesen, aufwärtssteigend, sich in den Wasserröhren zu verteilen.

Durch die der Länge der Feuerung nach in Vertikalsektionen sich aneinander reihenden Wasserröhren wird eine lebhafte Zirkulation der Heizgase erzwungen; andererseits sind die Wandstärken der nur 25 bis 40 mm weiten Rohre sehr klein (2,2 bis 2,6 mm) es findet daher eine verhältnismäßig günstige Wärmeausnützung statt. Nach eingehenden u. a. von Prof. Kennedy ausgeführten Versuchen an Thornycroftkesseln beträgt das Verhältnis der in Dampf verwandelten Wärme zum Wärmewerte des hierzu verbrauchten Brennstoffes, also der Nutzeffekt des Kessels im Mittel 0,67. Die Versuche Kennedys wurden mit forciertem Zuge unter verschiedenen Pressungen bis zu 52 mm Wassersäule an einem

*) 32 Stück Babcock- und Wilcoxkessel von je 300 qm Heizfläche, 52 qm Überheizungsfläche, bei 14 Atmosphären Betriebsspannung sind derzeit seitens der Ersten Brünnener Maschinenfabrik-Gesellschaft für die städtischen Elektrizitätswerke in Wien im Bau; sie liefern den Dampf für acht Stück 3000 PS-Maschinen.

Torpedobootkessel von 170 qm Heizfläche bei 2,8 qm Rostfläche durchgeführt. Bei dem höchsten Winddrucke betrug die Leistung der von diesem Kessel gespeisten Maschine 770 PS_i; hierbei wurden durchschnittlich 340 kg Kohle pro qm Rostfläche und Stunde verbrannt. Eine Analyse der Heizgase ergab 17,2 kg Luft per kg Kohle, sowie einen ca.

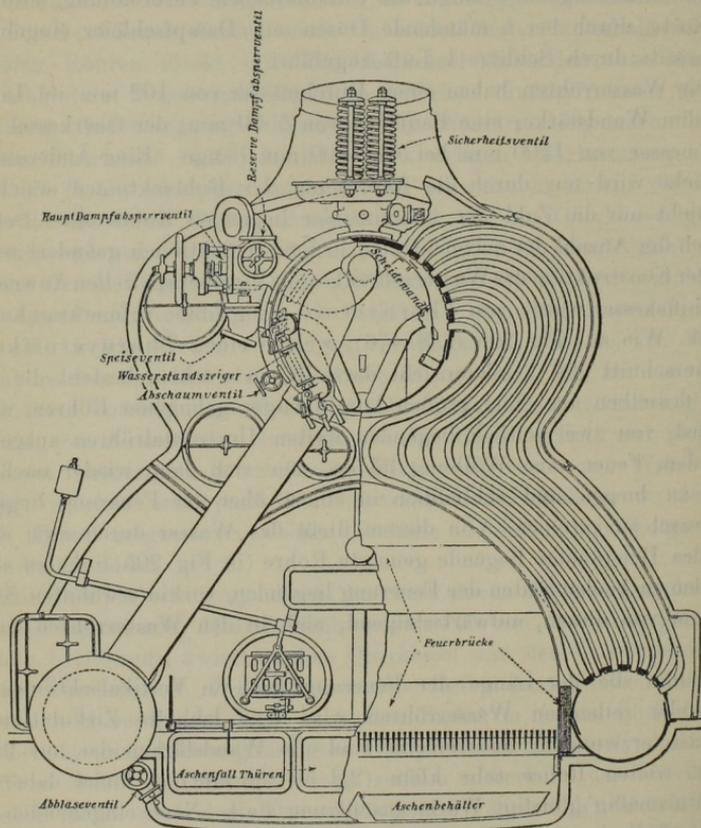


Fig. 205.

neunprozentigen Verlust an Energie des Brennmaterials infolge unvollkommener Verbrennung.

Bei einer Windpressung von nur 13 mm Wassersäule gab die Maschine 450 PS_i bei so ziemlich dem gleichen Luftbedarfe pro kg Kohle; der Energieverlust betrug jedoch nur ca. 5 Prozent, der Nutzeffekt hingegen stieg auf 0,78. Diese und andere Resultate der Versuche Ken-

nedys*) zeigen, daß ein Kessel dieser Art sehr veränderliche Dampfmen gen erzeugen kann, ohne daß selbst bei sehr forciertem Zuge eine bedeutende Reduktion des Nutzeffektes eintritt, während derselbe bei normaler Beanspruchung des Kessels außergewöhnlich hoch ist.

Es seien hier des Zusammenhanges wegen die instruktiven Versuche erwähnt, welche Prof. Watkinson an Modellkesseln mit Glasröhren durchführte, um die Wasserbewegung in Babcock-, Belleville-, Thornycroft-, Yarrow-, Niclause- u. a. Kesseln studieren zu können (*Transactions of the Institution of Naval Architects* 1896).

195. Stehende Kessel. Die stehenden Kessel arbeiten fast ausschließlich mit Innenfeuerung, da sie heutzutage mit Ausnahme der in Hüttenwerken gebräuchlichen eingemauerten, indirekt gefeuerten Stehkessel nur für Kleinbetriebe verwendet werden, daher selten eine Heizfläche größer als 20 qm, in der Mehrzahl der Anwendungsfälle eine wesentlich kleinere Heizfläche besitzen.

Die stehende, in die Höhe gehende Bauart der Kessel benötigt eine sehr kleine Bodenfläche, daher dieselben bei räumlich beschränkten Lokalitäten leicht untergebracht werden können; auch fällt die Einmauerung bei Innenfeuerung weg; die ganze Heizfläche konzentriert sich im Innern des Kessels, wodurch der Nutzeffekt bei so kleinen Kesseln wesentlich erhöht wird. Um jedoch Wärmeverluste durch Ausstrahlung nach außen tunlichst zu vermeiden, muß der Kessel durch schlecht wärmeleitende Substanzen sorgfältig eingehüllt werden.

Die stehenden Kessel haben jedoch eine im Verhältnisse zur Heizfläche meist sehr kleine Verdampfungsoberfläche, neigen daher zum Überkochen und geben häufig schon bei normalem, umsomehr bei forciertem Betriebe nassen Dampf.

Die stehenden Kessel bestehen aus einem cylindrischen Kessel mit konzentrisch eingebauter, gleichfalls cylindrischer Feuerbüchse zur Aufnahme des Rostes. Die Oberfläche der Feuerbüchse und der an dieselbe anschließenden Feuer- und Wasserröhren bilden die Heizfläche des Kessels. Kleinkessel werden zunächst auf einen gußeisernen Untersatz gestellt, welcher als Aschenfall, mitunter auch als Vorwärmer des durch denselben zirkulierenden Speisewassers dient. Am höchsten Punkte des Kessels (bei Heizröhrenkesseln ist noch eine Rauchkammer aus Blech oder Gußeisen aufgesetzt) ziehen die Heizgase nach dem Kamine ab.

Die Kessel werden entweder als Heizröhrenkessel gebaut, indem von der Deckplatte der Feuerbüchse ein Rohrbündel nach dem oberen Kessel-

*) *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. XCIX, S. 57.

boden führt (die im Dampftraume liegende Länge derselben dient als Dampftrockner) oder man erhöht die Feuerbüchse, wie in Fig. 206 skizziert und durchsetzt dieselbe mit horizontalen Gallowayröhren, um eine Vergrößerung der Heizfläche und bessere Wasserzirkulation zu erzielen (Lachapelle-Kessel); die Reinigung der Rohre wird durch im Außenkessel entsprechend angeordnete Reinigungslücken ermöglicht.

Eine andere Anordnung mit Wasser- statt Heizröhren zeigt Fig. 207. Die gekrümmten Röhren führen von der unteren Partie der Feuerboxwand nach der Decke derselben und rufen, da sie die heißen Wasserpfortien über der Feuerbüchse mit dem kühleren ringförmigen Raum um den unteren Teil derselben verbinden, eine wirksame Wasserzirkulation

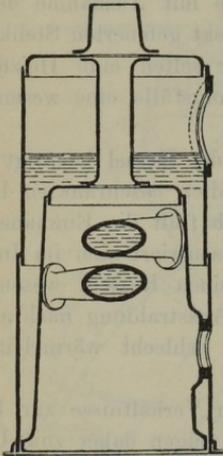


Fig. 206.

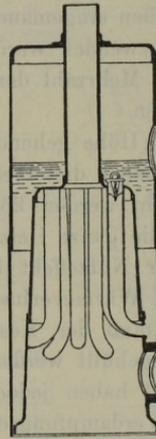


Fig. 207.

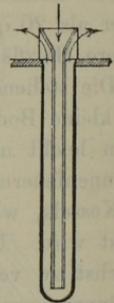


Fig. 208.

hervor und geben eine vorzügliche Heizfläche; sie haben nur den Nachteil, daß sie in den gekrümmten, der ersten Hitze ausgesetzten Teilen schlecht zugänglich, somit schwer zu reinigen sind.

Eine weitere, auch bei größeren Anlagen vielfach in Verwendung gekommene Bauart ist der Fieldkessel, dessen sackförmige, in den Feuerraum eingehängte Wasserröhren die in Fig. 208 skizzierte Form und Anordnung besitzen. Diese Fieldschen Röhren sind unten geschlossen und hängen mit dem oberen konisch abgedrehten und in konisch gebohrte Löcher der Feuerbüchse eingepaßten Enden an dieser Decke herab in den Heizraum. In diese sackartigen Rohre sind engere, unten und oben offene Röhren lose eingehängt; hierdurch wird eine lebhaftere Zirkulation des Wassers erzielt, indem das Wasser durch das innere Rohr niedersinkt und beim Durchgange durch den äußeren Ringraum in Berührung mit

den heißen Wänden tretend verdampft und nach aufwärts steigt. Die Fieldschen Kessel geben bei forciertem Betriebe keinen trockenen Dampf, indem das spezifisch leichtere Gemenge aus Wasser und Dampf mit großer Energie auftreibt; dieser warme Strom muß durch das Wasser, welches in das Einlagerrohr zu gelangen trachtet, durchkreuzt werden, wodurch Wirbelbildungen und Störungen in der Zirkulation entstehen. Der Fieldsche Kessel wird gewöhnlich in der Weise ausgeführt, daß von der Mitte der Feuerbuchsdecke ein zentrales Rauchrohr abzieht, um welches die Fieldschen Röhren in konzentrischen Reihen angeordnet sind; damit die Heizgase nicht direkt in das Rauchrohr abziehen, sondern sich ringförmig verteilen, ist in der Mitte ein birnenförmiger Körper eingehängt.

Die Fieldschen Röhren gewähren den Vorteil, daß sie sich, da leicht herausnehmbar, bequem und verläßlich reinigen lassen; es muß nur dafür gesorgt werden, daß der Abstand zwischen der Feuerbuchsdeckplatte und dem oberen Kesselboden den hierzu erforderlichen Raum bietet.

Die in Rede stehenden vertikalen Kessel werden, da sie zumeist dem Kleinbetriebe dienen, für Dampfspannungen von 6 bis 7 Atm. Überdruck gebaut; die größten Kessel haben einen Durchmesser von etwa 1,3 m, bei einer Höhe von 4,5 bis 5 m, einem Durchmesser der Feuerbüchse von 1 m im Mittel (die Höhe derselben ist durch die übrigen Konstruktionsbedingungen bestimmt; bei gewöhnlichen Heizröhrenkesseln wird sie am kleinsten, ca. 0,8 bis 0,9 m vom Roste gemessen). Heizröhren- oder Wasser-röhrenkessel dieser Größe geben dann eine Maximalheizfläche von ungefähr 30 qm, bei einer Rostfläche von 0,75 bis 0,8 qm und einer Verdampfungsoberfläche von 1,1 bis 1,2 qm. Der Nutzeffekt dieser Kessel ist sehr verschieden, kann jedoch bei Röhrenkesseln, deren Mantel gegen Wärmeausstrahlung sorgfältig geschützt ist, mit 0,70 als guter Mittelwert angenommen werden.

Im vorstehenden wurden nur einige typische Kesselkonstruktionen gleichsam als Grundformen des stehenden Kessels hervorgehoben; daß aus diesen Typen zahlreiche Kombinationen entstanden sind, daß man auch versucht hat, um gewisse Vorteile hinsichtlich der bequemeren Zugänglichkeit und Reinigung des Kesselinnern zu erreichen, auf die alte Kofferform zurückzugreifen (Hoffmeister- und Friedrichkessel) ist zu bekannt, um hier darauf weiter eingehen zu können; auch sind diese Konstruktionen in einschlägigen Spezialpublikationen ausführlich beschrieben*).

196. Lokomotivkessel. Die Lokomotivkessel bestehen aus einer Feuerbüchse von nahezu rechteckigem Querschnitte und ebener oder ge-

*) Siehe u. a.: J. O. Knoke, *Die Kraftmaschinen des Kleingewerbes*, 2. Aufl., Berlin 1899, S. 479.

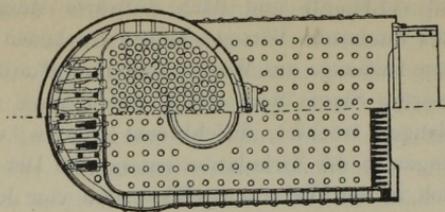


Fig. 210.

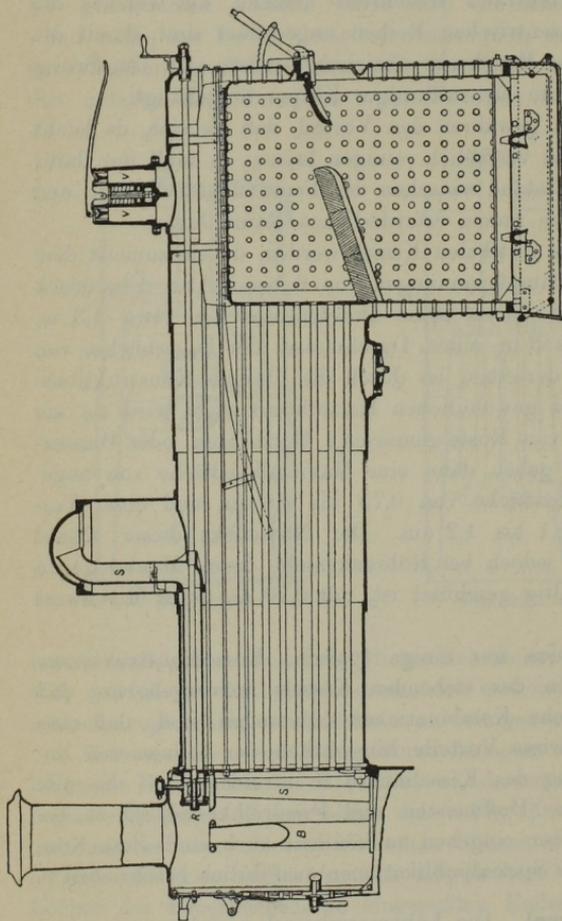


Fig. 209.

wölbter Decke, an den Seiten sowie oberhalb vom Wasser vollkommen eingeschlossen, welche sich an einen horizontalen, cylindrischen Kessel anschließt, der in seinem rückwärtigen Teile der Form der Feuerbüchse entsprechend kastenförmig erweitert ist, so daß zwischen demselben und den Wänden der Feuerbüchse der vom Wasser erfüllte Zwischenraum erübrigt. Von der vorderen Wand der Feuerbüchse geht ein System von Heizröhren nach dem Frontboden des Kessels, an welchen sich die Rauchkammer mit der kurzen Esse anschließt.

Obwohl die Lokomotivkessel hinsichtlich ihrer Größenverhältnisse sowie der Form und Dimensionierung der Feuerbüchse im allgemeinen sehr verschieden sind, indem nicht nur in jedem Staate, sondern auch nahezu bei jeder größeren Eisenbahn-

gesellschaft andere Normalien eingeführt sind, so ist doch die allgemeine Anordnung sowie der Zweck und die Wirkungsweise der einzelnen Kesselteile derselbe und möge daher unter Zugrundelegung der in Fig. 209 und 210

dargestellten Konstruktion eines Lokomotivkessels in wesentlichen besprochen werden.

Die hohen Anforderungen, welche heutzutage an einen Lokomotivkessel gestellt werden, haben die Leistungsfähigkeit desselben ungemein erhöht; die großen Verkehrslasten und Fahrgeschwindigkeiten fordern Leistungen der Lokomotiven bis zu 1000 PS, abgesehen von der für die Bremsung, Dampfheizung, Rauchverzehrer etc. erforderlichen Dampfmenge. Diesen hohen Leistungen stehen andererseits Bedingungen hinsichtlich der Spurweite und Umgrenzungslinien entgegen, welche die Abmessungen der Kessel in gewisse Grenzen zwingt, die nicht überschritten werden dürfen. Die Anwendung der Verbundwirkung, möglichst trockenen oder überhitzten Dampfes, Verwendung reinen Wassers, möglichsste Rauchverbrennung, um den Rußansatz in den Röhren tunlichst zu vermeiden, Verringerung des Luftüberschusses bei der Feuerung etc. ermöglicht es, die Leistung der Lokomotivkessel auch innerhalb dieser Beschränkung auf die obengenannte Höhe und auch noch höher zu bringen; Schnellzuglokomotiven leisten ja bei einer Fahrgeschwindigkeit von 75 bis 85 km pro Stunde bereits dauernd 900 bis 1000 PS beziehungsweise 8 bis 9 PS pro 1 qm Heizfläche. Für diese Leistungen haben sich bisher die kastenförmigen Feuerräume noch bestens bewährt; sie bieten bei den derzeit in Anwendung stehenden Dampfspannungen von 12 bis 15 Atmosphären Überdruck noch genügende Sicherheit, denn die große Anzahl von Stehbolzen bewirkt nur eine Teilung aber nicht eine Vergrößerung der Gefahr, selbstverständlich wenn alle zur Instandhaltung dienenden Maßnahmen getroffen und auch beachtet werden.

Sollten die Spannungen über den heutigen Grenzwert erhöht werden, dann dürften wohl rein cylindrische Formen angewendet werden müssen.

Obwohl hinsichtlich der einzelnen Kesselteile, namentlich der Feuerbüchse, der Deckenverankerung derselben, der Feuerungsanlage und des Rostes, der Dampfsammler, Rauchkammern und Blaseröhre noch teils infolge Gewöhnung, teils infolge der vorliegenden Bedürfnisse verschiedenartige Ausführungen bestehen, so macht sich doch allorts das lebhafteste Bestreben nach Verbesserungen derselben und Einführung von den Betriebsverhältnissen angepaßten Neuerungen der Kesselbauart, als die Verwendung von Wellrohrfeuerbüchsen, flußeiserner statt kupferner Feuerkisten, gerippter Feuerrohre, verbesserter Verbrennungseinrichtungen, der Ölfeuerung sowie der Vorfeuerung etc. fühlbar.

Inbetreff der allgemeinen, jedem Lokomotivkessel eigenen Anordnung sei folgendes bemerkt. Der eigentliche cylindrische Kessel hat einen

Durchmesser von 1300—1400 mm*) (Grenzwerte sind 1200 beziehungsweise 1500 mm) und besteht zumeist aus drei, der Länge nach nur einmal vernieteten, besser geschweißten Schüssen aus Flußeisenblech; die Schüsse werden entweder teleskopartig, wie in Fig. 209, oder so angeordnet, daß die beiden äußeren Schüsse von größerem oder kleinerem Durchmesser sind wie der innere Schuß, oder endlich sie werden stumpf gestoßen und erhalten äußere oder doppelseitige Laschennietung; im letzteren Falle liegt gewöhnlich eine schmale Lasche außen und eine breitere innen.

Die äußeren Laschen werden schmal gemacht, damit ihre Kanten dicht verstemmt werden können. Überlappungen der Längsnähte werden wegen der von ihnen erzeugten sehr bedeutenden Nebenspannungen nur selten angewendet; gebräuchlicher ist auch hier die Laschennietung. Die Festigkeit der doppelten Laschennietung mit vier Nietreihen beträgt ca. 90 Prozent der Festigkeit des vollen Bleches; diese Nietung gestattet die Verwendung schwächerer Bleche gegenüber der nur 60 bis 75 Prozent Festigkeit gewährenden Überlappungsnietung. Die Verbindung des Langkessels mit der Rohrwand erfolgt meist durch Börtelung der Rohrwand nach außen, um die Stemmaht zugänglich zu erhalten.

Für den Langkessel und den Feuerkistenmantel wurde mit zunehmender Leistungsfähigkeit der Kessel durch Erhöhung der Dampfspannung das Schweißblech durch das Flußeisen verdrängt, um einerseits an Betriebssicherheit zu gewinnen, andererseits an Kesselgewicht zu sparen.

Die Feuerbüchsen werden in Europa allgemein aus Kupfer, in Amerika aus Flußeisen hergestellt. Da Kupfer bei starker Erwärmung sehr an Festigkeit verliert, so bietet es bei den bereits heute üblichen Dampfspannungen, namentlich wenn sich die Innenflächen der Wände mit Kesselstein belegen, eine sehr reduzierte Zuverlässigkeit. (Während die Festigkeit des Kupfers bei 0° C ca. 23 kg/qmm beträgt, nimmt dieselbe bei 200° C bereits auf 19 kg ab.)

Flußeisen bietet für Feuerbüchsen den Vorteil geringerer Wandstärke, somit geringeren Gewichtes und große Widerstandsfähigkeit gegen Abzehrung durch schwefelhaltige Kohle (Kupferbleche werden durch hohen Schwefelgehalt des Brennstoffes sehr rasch abgezehrt), hat jedoch eine große Empfindlichkeit gegen Anrisse, erfordert besondere Sorgfalt der Behandlung, reines Speisewasser und möglichst andauernden Dienst, um jähe Abkühlungen zu vermeiden. Zufolge der Verschiedenheit des Betriebes dauern die flußeisernen Feuerbüchsen in Amerika länger als in

*) Dieses Maß, sowie die weiter unten folgenden Maße sind Mittelwerte aus einer großen Anzahl von Lokomotiven aller Staaten.

Europa, obgleich das europäische Flußeisen dem amerikanischen in keiner Beziehung nachsteht.

Für die Stehbolzen, welche zur Absteifung der Seitenwände der Feuerkiste mit den flachen Wänden des dieselbe in einem Abstände von ca. 80 mm umgebenden Feuerkistenmantels dienen, verwendet man Kupfer, Schweißeisen oder weiches Flußeisen; häufig verwendet man Mangankupfer, welches jedoch nur aus sehr verlässlicher Quelle bezogen werden soll, da es Neigung zu ungleichmäßigem Gefüge besitzt.

Um Brüche erkennen zu können, müssen die Kupferstehbolzen zu beiden Seiten, eiserne auf der Mantelseite angebohrt sein; von außen unzugängliche Stehbolzen müssen ganz durchbohrt und die Öffnung außen verschlossen sein. Die Teilung der Bolzen beträgt 90 bis 110 mm. Die Verbindung derselben mit der Wandung erfolgt durch Gewinde; kupferne Stehbolzen erhalten gewöhnlich 26 bis 30 mm, eiserne Stehbolzen 23 mm Durchmesser am Gewinde.

Die Decke der Feuerbüchse wird in neuerer Zeit fast allgemein durch Stehbolzen abgesteift, während man früher zumeist Deckenanker verwendete; einzelne Bahnen, wie z. B. die österreichisch-ungarische Staatsbahngesellschaft, verwenden die Absteifungen nach Polonceau; die gewölbte Feuerkistendecke wird aus schmalen, seitlich aufgekrempelten Blechen gebildet; die gut zusammengepaßten, vernieteten und aufrechtstehenden Blechränder geben eine bewährte Absteifung. Andere Bahnen, z. B. die französische Ostbahn, bilden die Feuerbüchsdecke aus gewelltem Stahlblech, halbkreisförmig gewölbt.

Die Verankerung der flachen Wände des Feuerkistenmantels bestehen in der Regel aus Blechen, welche die Hinterwand mit den beiden Seitenwänden oder der Decke und die vordere Rohrwand mit dem Langkessel verbinden. Längsanker durch die ganze Kessellänge werden nur mehr in England ausgeführt, da sie sich nicht in gleicher Weise strecken, wie der Kessel und bei großer Länge durchbiegen.

Die Rohrwand der Feuerkiste ist durch die Feuerrohre mit dem vorderen Kesselboden verbunden. Die Feuerrohre werden entweder aus Messing oder aus Schweißeisen hergestellt; Flußeisen hat sich insofern nicht bewährt, weil die Börtel im Feuer häufig hart werden und beim Antreiben abbrechen; aus diesem Grunde werden flußeiserne Feuerröhren, im Falle ihrer Verwendung, mit schweißeisernen Vorschuhern versehen. Gewöhnlich bekommen die Feuerröhren einen inneren Durchmesser von 45 mm bis 52 mm; enge Rohre geben größere Heizfläche als weite, erfordern jedoch stärkere Blasevorrichtungen.

Ist das Wasser rein und die Feuerkiste aus Kupfer, dann werden eiserne Rohre ohne Schuhe eingesteckt und aufgewalzt; bei eisernen Rohr-

wänden werden jedoch am hinteren Ende Kupferringe aufgelötet; bei schlechtem Wasser empfehlen sich auch bei kupfernen Rohrwänden Kupferstutzen. An der Rohrwand der Feuerbüchse werden die Rohrenden angestaucht oder gebörtelt, am anderen Ende ist dies nicht notwendig. Statt glatter Rohre verwendet man auch Rippenrohre (Serve-Rohre) mit nach innen vorspringenden Rippen. Die Länge der Feuerrohre beträgt bei normalspurigen Lokomotiven im Mittel 3900 mm (Grenzwerte: 3000 und 5000 mm); die Zahl derselben 220 (Grenzwerte: 184 und 270).

Die Rippenrohre von Jean Serve in Givors kamen zu Anfang der 80er Jahre in Gebrauch; sie werden aus einem Stücke in der Weise hergestellt, daß man gerippte Bleche walzt, diese zusammenrollt und schweißt. Sie wurden zuerst 1884 von der Compagnie Bonnardel de la navigation du Rhône an Schiffskesseln, 1885 von der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn an Lokomotivkesseln und 1888 von dem französischen Marinearsenal in Brest an Torpedobootkesseln erprobt.

Diese Rohre werden von 45/50 bis 70/75 mm Durchmesser erzeugt; die Zahl der Rippen ist 8, die Rippenstärke 2 bis 3 mm bei einer Höhe von 7 bis 12 mm. Die Rohre werden aus Flußeisen von John Brown & Co., Atlas Works, Sheffield und der Société anonyme d'Escaut et Meuse in Paris geliefert. Die mit Rippenrohren bisher durchgeführten Versuche ergaben, daß die Verwendung derselben nur unter bestimmten Voraussetzungen zweckmäßig erscheint; die Auswechslung der glatten Rohre eines Lokomotivkessels, dessen Abmessungen und Verhältnisse von Haus aus gut gewählt wurden, durch Rippenrohre von gleichem Durchmesser und gleicher Länge erhöht die Leistung desselben trotz der vergrößerten Heizfläche nicht, sondern verringert dieselbe sogar. Näheres hierüber siehe *Zeitschr. d. Ver. Deutscher Ing.* 1901, S. 1273.

Die Heizfläche der Kessel setzt sich zusammen aus der Heizfläche der Feuerkiste und jener der Feuerrohre. Die Heizfläche der Feuerkiste ist sehr verschieden, je nach der Art des Brennmaterials und der Bestimmung der Lokomotive; geringere Schwankungen ergeben sich hinsichtlich der Heizfläche der Feuerrohre, sowie der gesamten Heizfläche. Durchschnitts- und Grenzwerte der Rost- und Heizflächen, sowie die entsprechenden Verhältniswerte einer großen Anzahl Lokomotiven aller europäischen Staaten sind in nachstehender Tabelle XII enthalten.

Die Rauchkammer am vorderen Teile des Kessels wurde früher nur so lang hergestellt, daß man die Dampfleitungsrohre und den Kamin bequem anbringen konnte; derzeit führt man dieselbe jedoch nach amerikanischen Muster länger, etwa 1 bis 1,5 m lang aus, um den nötigen Raum für die Ablagerung der Flugasche und die Anbringung der Funksiebe zu gewinnen. Auf die Feueranfachung nimmt dieses vergrößerte Volumen

der Rauchkammer keinen merkbaren Einfluß; eine Abschwächung der Dampfschläge kann wirksamer durch Einschalten von Behältern zwischen das Blaserohr und die Ausströmkanäle der Cylinder erreicht werden.

In die Feuerkisten werden häufig Feuerbrücken eingebaut, um den oberen Teil der Feuerbüchse von dem unteren teilweise zu trennen und zu verhindern, daß die Flammen die Mündungen der Feuerrohre direkt treffen; andererseits wird hierdurch eine gute Mischung der Heizgase, Rauchverbrennung und Beseitigung der Flugasche erreicht. Diese Brücke ist entweder aus feuerfesten Steinen oder aus Blech und hohl behufs Wasserzirkulation; man nennt sie im letzteren Falle auch Sieder.

Tabelle XII.

	Rostfläche. qm	Heizfläche der Feuerkiste. qm	Gesamtheiz- fläche. qm	Verhältnis der		
				Rostfläche zur Heizfläche der Feuerkiste.	Rostfläche zur Gesamtheizfläche.	Heizfläche der Feuerkiste zur Gesamtheizfläche.
Eilzuglokomotiven . .	2,5 (1,78—4,68)	12,5 (9,0—15,8)	160 (102—297)*	1/5	1/64	1/12,8
Personenzug- lokomotiven	2,2 (1,9—2,3)	10,0 (8,5—12,3)	125 (117—140)*	1/4,5	1/57	1/12,5
Güterzuglokomotiven	2,4 (1,55—3,73)	12,0 (10,5—14,0)	150 (105—227)*	1/5	1/63	1/12,5

Die Heitzüre öffnet nach innen und kann mehr oder minder offen gestellt werden, um den Bedarf an Luft über dem Roste regulieren zu können.

Außer der eben erwähnten Einrichtung zur Rauchverzehrung durch Gewölbe oder Sieder werden die Feuergase bei anderen rauchverzehrenden Einrichtungen durch Dampfstrahlen gemischt, welche aus einem an der rückwärtigen oberen Ecke der Feuerbüchse angebrachten, durchbohrten Rohre in einer Richtung ausströmen, daß sie die unterhalb der untersten Rohrreihe befindliche Rohrwand treffen würden; außerdem strömt durch einen an der Feuertür angebrachten Drehschieber so viel Luft ein, als zur vollständigen Verbrennung erforderlich ist. Der sich nach unten trapezförmig verbreiternde Dampfschleier wirkt wie ein Gewölbe und zwingt die Flamme, den Weg nach den seitlichen, von demselben nicht bedeckten Teilen der Feuerkiste zu nehmen und sich innig mit der einströmenden Luft zu mengen. Diese und ähnliche Einrichtungen ergeben eine ziem-

*) Die in den Klammern stehenden Zahlen sind die kleinsten und größten vorkommenden Werte der betreffenden Heiz- beziehungsweise Rostfläche.

lich rauchfreie Verbrennung und Verminderung des Funkenfluges; über die Heizmaterial ersparende Wirkung derselben liegen zur Zeit noch keine genügend verlässlichen Beobachtungen vor.

Zur Verminderung des Funkenfluges werden in der Rauchkammer, teilweise auch im Schornsteine, Funkenfänger eingebaut, welche dem Wesen nach im Sieben, Gittern, durchlöcherten Blechen und dergl. oder auch darin bestehen, daß man die Funken an Flächen anprallen läßt, wodurch dieselben von ihrem Wege abgelenkt und zerkleinert werden. Durch all diese Vorrichtungen läßt sich wohl der Funkenflug vermindern, aber niemals gänzlich beseitigen; der beste Beweis hierfür ist die Tatsache, daß es bis heute keine funkenfrei fahrende Lokomotive gibt.

Im Zusammenhange sei hier erwähnt, daß man teils aus Ersparungsrücksichten, teils zur Verhütung der Rauchbildung die Ölfeuerung bei verschiedenen Bahnen eingeführt beziehungsweise versucht hat. In Südrußland und Pennsylvanien werden Petroleumrückstände in großem Maßstabe, in Deutschland, England, Österreich jedoch nur versuchsweise verfeuert, weil in diesen Ländern die Kosten der Ölrückstände im allgemeinen noch zu hoch sind. Die österreichischen Staatsbahnen verwenden bei den Lokomotiven der Arlbergbahn eine Ölfeuerung System Holden, welche darin besteht, daß das Öl durch zwei an der rückwärtigen Front des Kessels angebrachte Zerstäuber mit Dampf unter das Feuergewölbe geblasen wird; die vordere Wand der Feuerbüchse ist durch eine Schutzmauer gegen den unmittelbaren Einfluß der Stichflamme geschützt. Der Zerstäuber*) besteht aus drei in einander geschobenen Düsen für die Zufuhr des Öles, der Luft und des Dampfes; das Gemenge gelangt durch ein gemeinschaftliches Mundstück in den Feuerraum. Zum Anheizen wird Kohle auf dem mit Schlacke bedeckten Rost verwendet und erst nachdem die erforderliche Glut vorhanden, wird das Öl eingeblasen. Mit dieser Feuerung wurden sehr günstige Resultate hinsichtlich der Rauchlosigkeit der Verbrennung sowie der Verdampfung erzielt, und obwohl der Betrieb sich wesentlich kostspieliger stellt, wie jener mit Kohle, soll diese Feuerung bei den Lokomotiven der Arlbergbahn allgemein eingeführt werden.

Die Bauart der Ölfeuerungen der südrussischen Bahnen von Urquhart wurde seinerzeit im *Organ für Eisenbahnwesen* 1885, 1886 und 1889 beschrieben und Betriebsergebnisse mitgeteilt. Die Ölfeuerung der österreichischen Staatsbahnen, sowie jene der englischen Great-Easternbahn sind derselben ähnlich.

Die Anordnung und Bedienung des Rostes erfordert bei Lokomo-

*) Eine Zeichnung desselben sowie der Feuerung und aller auf den Lokomotivbau bezugnehmenden Details siehe: *Das Eisenbahn-Maschinenwesen der Gegenwart*, I. Abschnitt, I. Teil: *Die Lokomotiven*. Wiesbaden 1897.

tiven besondere Sorgfalt, um keine Veranlassungen zu Betriebsstörungen zu geben. Die Bedeckung des Rostes durch faustgroße Schlackenstücke zur Verteilung und Vorwärmung der Luft, sowie zum Schutze der Roststäbe hat sich bestens bewährt; sie gewährt auch infolge ihrer Beweglichkeit und der steten Erschütterungen der Lokomotive ein gleichmäßiges Durchfallen der Asche in den Aschenkasten. Bei langen Fahrten sind Klapproste behufs Reinigung des Feuers bequem und daher vielfach in Verwendung. Sie bestehen aus einem Rahmen, in welchem ein Teil der Roststäbe liegt; der Rahmen ruht in horizontalen Zapfen und ist vom Wärterstand aus mittelst Kurbel, Hebel oder Schraube kippbar. In Amerika benützt man auch, um lange Strecken ohne Reinigen des Feuers durchfahren zu können, Schüttelroste; dieselben eignen sich jedoch nur für Kohle, welche keine fließende Schlacke gibt. Im übrigen sind die Roste fast allgemein gewöhnliche Planroste mit geraden, einfach glatten oder gerippten Stäben.

Um die Bahn gegen die aus dem Roste herabfallenden glühenden Teile zu sichern, wird unmittelbar unter der Feuerung ein Aschkasten angebracht. Dieser Kasten soll möglichst geräumig und so angeordnet sein, daß er vorne und rückwärts je eine Luftklappe mit vorliegendem, gut anschließendem Funkensieb besitzt. Im Boden muß ein mit verschließbarem Deckel versehenes Einsteigloch, außerdem müssen die zum Reinigen erforderlichen Türen, sowie Wassereinspritzrohre vorhanden sein. Bei amerikanischen Bahnen sind die am Boden des Aschkastens befindlichen Entleerungsöffnungen mit vom Standplatze des Führers aus bedienbaren Abschlußorganen versehen, um bei langen Fahrten die Asche während eines Aufenthaltes rasch auswerfen zu können.

Der Dampf wird aus dem auf dem Langkessel befindlichen Dome (in neuerer Zeit verwendet man bei schweren Maschinen auch zwei durch ein Rohr verbundene Dampfdome, wovon der eine über der Feuerkiste liegt) durch das Rohr s Fig. 209 entnommen, welches durch den Dampfraum und von diesem direkt oder auf dem Wege durch die Rauchkammer nach den Steuerkästen der Maschine geführt wird. Das Abschlußorgan, Regulator oder Regler genannt, befindet sich entweder in der Rauchkammer, bei der größeren Anzahl neuerer Lokomotiven jedoch im Dampfdome und zwar unmittelbar an der Mündung des Dampfrohres. Die Verstellung desselben erfolgt vom Führerstande mittels Kurbel oder Hebel und dem entsprechenden Gestänge. In den meisten Fällen (in Österreich fast durchgehend) ist der eigentliche Regler ein Flachschieber, welcher auf einer dreieckigen Öffnung spielt, um langsames Eröffnen, somit vorsichtiges Anfahren zu ermöglichen; auch pflegt man bei europäischen Bahnen auf dem Hauptschieber einen kleinen Schlepsschieber anzubringen,

um das Anfahren zu erleichtern. Alle amerikanischen, viele englische, aber auch deutsche Lokomotiven benutzen statt des Schiebers gußeisene Doppelsitzventile, welche zufolge der nahezu vollständigen Entlastung zu ihrem Anhub sehr wenig Kraft erfordern. (Das vorhin erwähnte Werk „*Das Eisenbahn-Maschinewesen der Gegenwart*“ enthält Seite 291 bis 295 sehr klare Zeichnungen mehrerer Konstruktionen von Reglern.)

Der aus den Cylindern auspuffende Dampf wird bei allen Lokomotiven zur Erzielung des künstlichen Zuges ausgenützt. Diesem Zwecke dient das Blasrohr *B* Fig. 209. Die Gestalt des aus der Rohrmündung austretenden Dampfstrahles, sowie die Form des Schornsteines nehmen einen wesentlichen Einfluß auf die Gleichmäßigkeit der Wirkung des Blasrohres. Der Dampfstrahl muß sich mit den Rauchgasen innig mischen, um sie genügend ansaugen zu können; er darf somit nicht als geschlossener Strahl glatt durch den Kamin strömen, sondern muß sich über der Mündung ausbreiten und den Schornstein entsprechend ausfüllen. Nicht nur die Form, sondern auch die Weite des Blasrohres hat wesentlichen Einfluß auf die Wirkung des Dampfstrahles. Weite Blasrohre besitzen den Nachteil, daß der Austritt des Dampfschlages in kürzerer Zeit erfolgt, als bei engeren Röhren, wodurch der Dampfschlag wohl im ersten Moment heftiger wirkt, aber dann mit abnehmender Geschwindigkeit des Dampfes an Wirkung sehr nachläßt. Enge Rohre verzögern den Auspuff und steigern infolgedessen die Geschwindigkeit des nachströmenden Dampfes, geben daher eine gleichmäßigere, aber sehr starke Blasrohrwirkung, ohne daß bei mittleren Maschinengeschwindigkeiten ein nennenswerter Gegen-
druck auf den Kolben entsteht.

Die zweckmäßigste Form des Blasrohres ist die eines Kegels mit Verengung nach oben im Verhältnisse 1 : 10 und einer Höhe gleich dem Mündungsdurchmesser*).

197. Schiffskessel. So lange die Schiffsmaschinen mit Kesselspannungen von höchstens 4 kg/qcm arbeiteten, genügte der sogenannte Kofferkessel mit ebenen Seitenwänden, sorgfältig abgesteift, und mehreren inneren Feuerungen, welche sich rückwärts in einer vom Kessel umschlossenen Verbrennungskammer vereinigten, von deren oberen Teile ein System von Heizröhren zu der vorderen Frontplatte des Kessels zurück-

*) An neueren deutschen Publikationen über Lokomotivbau sind erschienen: G. Meyer, *Grundzüge des Eisenbahn-Maschinenbaues*, I. Teil: „*Die Lokomotiven*“, Berlin 1883, sowie das schon früher angeführte vorzügliche Werk „*Das Eisenbahn-Maschinewesen der Gegenwart*“, I. Teil: *Die Lokomotiven*“, Wiesbaden 1897; ferner der Bericht über die Lokomotiven der Ausstellung 1900 in Paris, *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, Jahrg. 1900, 1901 und 1902.

führte, von wo die Verbrennungsprodukte durch die Rauchkammer nach dem Schornstein entwichen.

Die Grundform der **Kofferkessel** bildete ein vierseitiges Prisma, zum Teil an den Decken und Böden abgerundet oder abgeschrägt, um sich möglichst der Form des Schiffskörpers anzuschmiegen. Bei den heute noch im Betriebe befindlichen Kofferkesseln liegen die Heizrohre über den Feuerungen; die Kessel mit zur Seite derselben liegenden Heizröhren wurden nach und nach außer Dienst gesetzt und werden auch nicht mehr gebaut. Die Zahl der Feuerungen betrug zwei bis fünf und wurden die Kessel meist mit Überhitzern ausgestattet.

Die Kofferkessel beanspruchen bei gleicher Dampfspannung zur Hervorbringung derselben Maschinenleistung einen kleineren Raum als andere Kesselsysteme, geben auch bei gleicher Rost- und Heizfläche größere Dampf Räume; infolge des großen Wasserraumes als Wärmereservoir waren sie sehr bequem für das Heizpersonal, da die Dampfspannung durch ungleichmäßiges Heizen wenig beeinflußt wurde. Bei zunehmenden Dampfspannungen mußten diese Kessel, der flachen Wände wegen, immer mehr und mehr verankert werden; damit nahm ihr Gewicht, sowie ihre Kosten unvorteilhaft zu. Als man die ersten Hockdruckmaschinen und später Compoundmaschinen bis zu 4 kg/qcm Arbeitsdruck auf Dampfem einführte, behielt man noch die Kofferkessel bei, und zwar aus mehreren Gründen.

Es stellte sich in erster Linie heraus, daß die Niederdruckkofferkessel zufolge ihrer geräumigen Feuerungen und guten Verbrennung wirtschaftlichere Dampferzeuger waren, als die an ihre Stelle getretenen Cylinderkessel mit den damaligen schmalen und langen Feuerungen von im Mittel 0,8 m Diameter, den infolgedessen längeren Rostflächen und anderen Übelständen. Andererseits waren die Kesselschmieden jener Zeit durch jahrzehntelange Übung mit dem Bau von Kofferkesseln vertraut; auch erblickte man in den Feuerkisten der Lokomotivkessel ein nachahmenswertes Beispiel, daß flache Kesselwände bei entsprechender Versteifung ganz gut imstande sind, wesentlich höheren Dampfspannungen zu widerstehen. Man trennte sich also sehr schwer von der Kofferform der Kessel, führte dieselben mit stärkeren Wandungen von 13 bis 14 mm gegen 9 bis 10 mm von früher aus, verankerte dieselben reichlicher etc. Da es jedoch zu jener Zeit an Erfahrung und Übung hinsichtlich der Herstellung von Hochdruckkesseln gänzlich mangelte, stellte man dieselben genau so her, wie vordem die Niederdruckkessel. Andererseits wurde auf die Bedienung der Kessel trotz des höheren Dampfdruckes und der somit erhöhten Temperatur des Dampfes und Kessels nicht mehr Sorgfalt verwendet; sie wurden ebenso rasch angeheizt, als die Niederdruckkessel und

ebenso rasch ab- und kaltgestellt, wodurch die an und für sich mangelhaft gebauten Kessel sehr rasch leck wurden. Der hierdurch entstandene Verlust an Kesselwasser mußte durch Zusatzwasser ersetzt werden, wodurch der Salzgehalt des Kesselwassers bei Seeschiffen sehr vermehrt und als Folge dessen ein häufiges Salzausblasen erforderlich wurde; die Reinigung des Kessels wurde durch die vielen Anker sehr erschwert, benötigte weit mehr Zeit und konnte daher nicht nach jeder Seereise vorgenommen werden. Es sammelte sich somit reichlicher Kesselstein auf den Feuerbüchsen, Heizröhren und Rauchkammerdecken, wodurch nicht nur unverhältnismäßig viel Kohle verbraucht, sondern auch fortwährende Betriebsstörungen verursacht wurden. Diese üblen Erfahrungen hatten zur Folge, daß man von einer weiteren Anwendung der Kofferkessel für Hochdruck- beziehungsweise Compoundmaschinen trotz ihrer sonstigen Vorzüge Umgang nehmen mußte; die Gründe hierfür lagen daher viel mehr auf praktischem, als auf konstruktivem Gebiete.

Die besten Kofferkessel erzeugten bei forcierten Probefahrten durchschnittlich 100 PS_i pro 1 qm Rostfläche (1 qm Rostfläche entsprachen durchschnittlich 30 qm Heizfläche) und verbrannten hierbei ca. 150 kg guter Steinkohle pro Stunde und qm Rostfläche; nachdem andererseits die von diesen Kesseln gespeisten besten Maschinen jener Zeit ca. 13 kg Dampf pro PS-Stunde benötigten, so ergibt sich daraus die pro kg Kohle verdampfte Wassermenge mit

$$\frac{100 \cdot 13}{150} = 8,7 \text{ kg.}$$

Nimmt man ferner an, daß 1 kg obiger Kohle theoretisch 14 bis 15 kg Wasser in Niederdruckdampf verwandelt, dann ergibt sich der Wirkungsgrad oder Nutzeffekt dieser Kessel mit

$$\frac{8,7}{14,5} = 0,60 \text{ im Mittel.}$$

Die **Cylinderkessel** werden als Schiffskessel fast durchweg horizontal angeordnet; nur Flußdampfer benützen ab und zu vertikale Kessel; auf Seeschiffen finden dieselben nur als Hilfskessel Verwendung.

Nach dem Wege, welchen die Heizgase vom Roste bis zum Schornstein zurücklegen, sowie nach der Lage der Feuerrohre unterscheidet man Cylinderkessel mit durchschlagender Flamme oder sogenannte **Marinekessel** und Kessel mit rückkehrender Flamme oder sogenannte **schottische Kessel**.

Marinekessel werden jene Kessel genannt, bei welchen die Feuerrohre nach Art der Lokomotivkessel von der Feuerkiste nach der vorderen Rauchkammer laufen, so daß die Heizgase den Kessel nur einmal seiner Länge nach durchziehen. Man verwendet diese Kessel nur auf Kriegs-

schiffen, zumeist nur auf kleineren mit geringem Tiefgange und legt sie zum Schutze gegen feindliche Geschosse unterhalb der Wasserlinie; auch in Fällen geringer Höhe zwischen Panzerdeck und Schiffsboden, welche den Einbau höherer Kesselkonstruktionen nicht gestatten, finden diese Kessel Verwendung.

Die Marinekessel haben sich seit ihrer ersten Einführung aus nichts weniger als rühmenswürdigen Dampferzeugern mit nur einer Feuerstelle, flacher Decke der Feuerung, enger Verbrennungskammer, mangelhafter Verbrennung etc. im Laufe der Zeit zu Kesselkonstruktionen entwickelt, welche den Anforderungen der modernen Praxis vollkommen entsprechen; ein bedeutender Fortschritt war die Verwendung von zwei cylindrischen Flammrohren mit genügender Höhe des Feuerraumes, entsprechender Länge der Verbrennungskammer (dieselbe soll erfahrungsgemäß rund 1 m betragen) und guter Zirkulation der Heizgase zufolge einer in die Verbrennungskammer von der Decke nach abwärts eingehängten zweiten Feuerbrücke. Später führte man für die Flammrohre gewellte statt der glatten Bleche ein und stellte die Kessel ganz aus Stahlblechen her; der Betriebsdruck stieg bereits auf 10 kg/qcm. Um die Mitte der 80er Jahre fing man auch an, größere Kessel dieser Type mit je drei Feuerungen zu bauen. Der Grund hierfür lag in dem Umstande, daß sich diese Kesselkonstruktionen bei schlechtem Wetter als sehr sichere Dampferzeuger erwiesen, da die Gefahr des Überhitzens höher gelegener Partien der vom Feuer berührten Flächen bei hohem Seegange weniger zu befürchten ist, als bei Konstruktionen mit über der Feuerung liegenden Heizröhren. Die drei Flammrohre vereinigten sich in einer gemeinschaftlichen Heizkammer, von welcher die Heizröhren nach der rückwärtigen Rohrwand führten, und wurde damals bereits die Frage ventilirt, ob es nicht zu Erreichung besserer Verbrennung zweckmäßiger wäre, jede Feuerung mit einer eigenen Verbrennungskammer auszuführen. Die Kessel erhielten bereits namhafte Abmessungen von rund 2,5 m Durchmesser der Außenhülle, 0,7 bis 0,8 m Durchmesser der Flammrohre bei 4 bis 4,5 m Kessellänge und 150 bis 200 qm Heizfläche. Das Verhältnis der Rostfläche zur Heizfläche betrug im Durchschnitt 1 : 32, entsprach daher ebenso wie das Verhältnis zwischen Dampf- und Wasserraum den praktischen Bedürfnissen.

Die älteren Marinekessel erzeugten pro kg Kohle durchschnittlich 8 bis 8,5 kg Dampf; der Nutzeffekt stellte sich auf rund 0,57.

Die neueren Marinekessel arbeiten mit Spannungen von 10 bis 12 kg/qcm Überdruck und speisen zumeist Dreifach-Expansionsmaschinen; diese Maschinen benötigen durchschnittlich 7,5 kg Dampf pro PS-Stunde. Die Kessel verbrennen bei forcierten Probefahrten mit natürlichem Zuge etwa 120 kg guter Kohle pro qm Rostfläche und Stunde und liefern

pro qm Rostfläche im Durchschnitt 130 PS Maschinenleistung. 1 kg Kohle verdampft somit 8,1 kg Wasser und beträgt der Nutzeffekt des Kessels 0,58, ist somit im Vergleiche mit Landgroßkesseln nicht günstig.

Die Marinekessel bieten außer den früher erwähnten Vorteilen den weiteren Vorteil gegenüber den Kesseln mit rückkehrender Flamme, also über den Feuerungen liegenden Heizröhren, daß sie rascher Dampf geben und sich andererseits mehr forcieren lassen. Ihre Nachteile liegen in der großen Länge und in dem ungünstigen Verhältnisse zwischen Heizfläche und dem zu ihrer Unterbringung und Bedienung erforderlichen Raume; aus diesen Gründen finden sie auch bei der Handelsmarine keine Anwendung*).

Die Cylinderkessel mit rückkehrender Flamme, sogenannte schottische Kessel, sind heute die bevorzugtesten Kessel sowohl in der Kriegs- als auch in der Handelsmarine. Nach der Anordnung der Feuerungen unterscheidet man einfache und doppelte Kessel.

Bei den Einfachkesseln liegen die Heizrohre über den Feuern; die Heizgase müssen daher in den Rauchkammern umkehren, um durch die Feuerrohre wieder nach vorne zu ziehen; sie unterscheiden sich von den Doppelkesseln dadurch, daß sie nur von der Stirnseite geheizt werden können, während bei diesen sich die Feuerung zu beiden Seiten des Kessels befindet. Kleinere Kessel bis etwa 2,5 m äußerem Durchmesser bekommen nur eine Feuerung; größere Kessel von 2,5 bis 4 m Durchmesser erhalten meist zwei Feuerungen und Großkessel von 4 bis 5 m Durchmesser werden mit drei und vier Feuerungen ausgeführt. Mit Rücksicht auf die Vollkommenheit der Verbrennung ist es vorteilhafter, die Feuerungen geräumiger zu machen, also zwei statt drei, beziehungsweise drei statt vier Feuerungen anzuwenden; schottische Kessel mit vier Feuerungen sollen daher nur ausnahmsweise z. B. dann verwendet werden, wenn es für Kessel mit drei Feuerungen an der erforderlichen Bodenfläche gebricht. Die Kessel werden zumeist sehr kurz, etwa 3 m lang, gebaut, doch gibt es auch Ausnahmefälle mit Längen von 4 bis 5 m. Die neueren Einfachkessel wurden für einen Arbeitsdruck von 10 bis 12 kg/qcm mit Heizflächen bis 250 qm gebaut; das Verhältnis der Rostfläche zur Heizfläche schwankt zwischen $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{40}$. Die Flammrohre werden bei einem inneren Durchmesser von 800 bis 1000 mm zumeist aus Wellblech hergestellt. Die Rostlänge soll nicht mehr als 1,8, höchstens 2 m betragen, weil sonst die Feuerlänge zu groß wird und bei ihrer Bedienung selbst sehr geübte und kräftige Heizer frühzeitig ermüden.

*) Gut ausgeführte Zeichnungen von Marinekesseln sowie Schiffskesseln überhaupt siehe: C. Busley, *Die Schiffsmaschine*, I. Band. Kiel und Leipzig 1901. Taf. 19—38.

Bezüglich der Rauchkammern sei erwähnt, daß man die Anordnung getrennter Rauchkammern, so daß jede Feuerung beziehungsweise jedes Feuerrohr eine eigene Rauchkammer besitzt, im allgemeinen vorzieht, um ein beschädigtes beziehungsweise geplatzt Rohr verstopfen zu können, ohne die andere oder die übrigen Feuerungen in Mitleidenschaft ziehen zu müssen; nur bei Kesseln mit vier Feuerungen ^ppflegt man auch zwei oder drei Rauchkammern anzuwenden, um einerseits an Gewicht zu ersparen, andererseits das Verhältnis zwischen Heiz- und Rostfläche nicht zu groß zu erhalten.

Die Doppelkessel bestehen aus zwei Einfachkesseln, welche dort, wo sonst ihre Rückwand ist, zusammengenetet sind. Die Zahl der Feuer zu jeder Seite beträgt gewöhnlich drei bis vier, doch werden sie auch mit zwei und fünf Feuern, also vier bis zehn Heizstellen ausgeführt. Figg. 211 und 212 (s. S. 494) zeigen einen Doppelkessel mit je drei Feuerungen, welches die empfehlenswerteste Bauart ist. Sehr vereinzelt werden Kessel mit je fünf Feuerungen gebaut. Als ein Beispiel solcher Kessel seien die im Jahre 1870 für die Dampfer „Wisconsin“ und „Wyoming“ der Guion-Linie gebauten Doppelkessel, welche zu den größten bis heute gebauten Schiffskesseln zählen, erwähnt. Diese Kessel haben 5,2 m Durchmesser, 7,3 m Länge, 625 qm Heizfläche, 18,45 qm Rostfläche und wurden für einen Dampfdruck von 5 kg/qcm gebaut. Die Kessel waren aus Eisenblech von 32 mm Dicke. Sämtliche Flammrohre mündeten in eine gemeinschaftliche Rauchkammer. Neuere Doppelkessel haben entweder je eine Rauchkammer für jede Kesselseite oder je eine Rauchkammer für zwei gegenüber liegende Feuerungen; speziell diese letztere Anordnung hat sich für den angestrengten Betrieb transatlantischer Postdampfer bestens bewährt.

Die in den 80er Jahren gebauten Doppelkessel hatten meistens einen Durchmesser von 3,8 bis 4,2 m bei einer Länge von 5 bis 5,5 m und einer Heizfläche von 250 bis 350 qm. Der Betriebsdruck stieg gegen Ende der 80er Jahre bereits auf 9 bis 10, zu Anfang der 90er Jahre auf 10 bis 12 kg/qcm; die zu jener Zeit gebauten Doppelkessel hatten 4 bis 5 m Durchmesser bei 5 bis 6 m Länge und einer Heizfläche von 450 bis gegen 500 qm. Die Stärke der Mantelbleche dieser Großkessel beträgt 32 bis 34 mm.

Mit diesen Dimensionen dürfte man bereits an der Grenze angelangt sein, da infolge des großen Gewichtes der Kessel nicht nur der Transport in der Kesselschmiede, sondern auch das Anbordbringen und die Unterbringung im Schiffe selbst sehr schwierig ist.

Die Doppelkessel besitzen im Vergleiche mit den Einfachkesseln den Vorteil des geringeren Gewichtes und Preises, sowie des kleineren Raumbedürfnisses bei gleicher Heizfläche; sie werden aus diesen Gründen für

Handeldampfer bevorzugt. Die Einfachkessel hingegen eignen sich für die Zwecke der Kriegsmarine besser, da sie ihrer geringeren Länge und

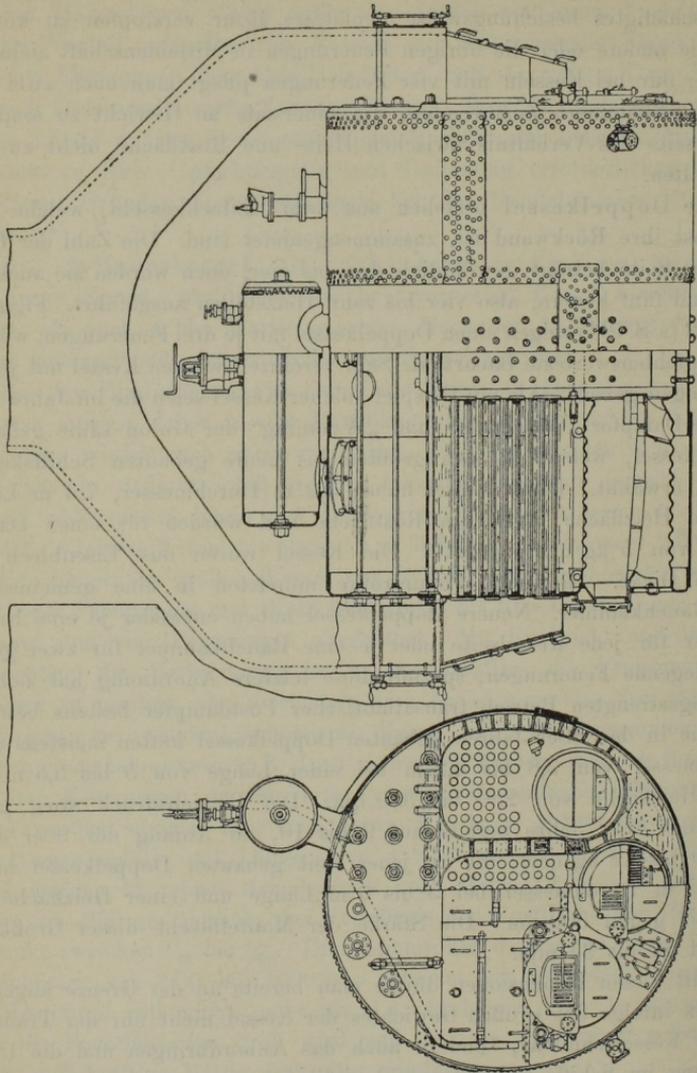


Fig. 212.

Fig. 211.

ihres kleineren Umfanges wegen nicht so schonend behandelt werden müssen, wie die Doppelkessel und speziell eine größere Teilbarkeit der Maschinenstärke gestatten.

Die älteren Cylinderkessel mit rückkehrender Flamme verdampften mit 1 kg guter Kohle rund 8 kg Wasser; ihr Wirkungsgrad stellte sich auf im Mittel 0,56. Die neueren Kessel ergeben einen Wirkungsgrad von durchschnittlich 0,60; bei 10 bis 13 kg/qcm Dampfspannung Überdruck speisen sie zumeist Dreifach-Expansionsmaschinen, welche bei ihren Probefahrten rund 6,5 kg Dampf pro PS-Stunde erfordern. 1 qm Rostfläche verbrennt bei natürlichem Zuge durchschnittlich 110 kg Kohle pro Stunde, womit eine Dampfmenge für ca. 140 PS Leistung erzeugt werden kann; daraus ergibt sich die pro kg Kohle verdampfte Wassermenge mit 8,3 kg.

Für gewisse Fahrzeuge der Kriegsmarine, als Torpedoboote, Torpedobootjäger, schnelle Dampfboote etc., werden zur Erreichung hoher Fahrgeschwindigkeit und geringen Displacements leichte und sehr leistungsfähige Kessel gefordert; hierzu eignen sich am besten die Lokomotivkessel.

Anfänglich verwendete man den Lokomotivkessel unverändert, wie er im Dienste der Lokomotive stand; nach und nach wurde er jedoch für den Dienst an Bord umgeändert, um den dort an ihn herantretenden Anforderungen vollkommener entsprechen zu können; es entwickelten sich mit der Zeit zwei Typen, welche sich hinsichtlich ihrer Bauart in sogenannte Trockenboden- und Naßboden-Lokomotivkessel unterscheiden lassen.

Die Trockenboden-Lokomotivkessel sind in ihrer allgemeinen Anordnung so gebaut, wie gewöhnliche Lokomotivkessel, d. h. sie bestehen aus einer kofferförmigen, unten offenen, den Rost enthaltenden Feuerkiste und einem daran anschließenden cylindrischen Langkessel, welcher die Heizrohre umschließt. Die Naßbodenkessel unterscheiden sich von diesen der Hauptsache nach dadurch, daß die Feuerkiste unten durch einen Boden vollkommen abgeschlossen, somit vollständig von Wasser umgeben ist. Diese Bauart, welche eine nicht unbedeutliche Gewichtsvermehrung zur Folge hat, wurde zuerst von Marshall*) mit nur zum Teil nassem Boden gebaut; später erst ging man zu den vollständig eingeschlossenen Aschenfällern über; sie fand jedoch nicht jene Allgemeinheit der Verwendung wie der Trockenbodenkessel. Der Langkessel bekommt gewöhnlich einen Durchmesser von 1,5 bis 2 m; die Blechstärke der Hülle desselben wird daher trotz der hohen Betriebsspannungen verhältnismäßig klein. Anfänglich machte man den Langkessel beträchtlich länger als die Feuerkiste; nach und nach wurde jedoch die Feuerkiste zur Unterbringung einer größeren Rostfläche immer länger, der Langkessel daher immer kürzer und bei den neuesten Ausführungen mit einer Rostfläche bis 6 qm ist die Länge der Feuerkiste bereits größer wie jene des Langkessels. Diese

*) *Transactions of the Institution of Naval Architects*, London 1888.

eigentümliche Bauart erhöht allerdings die Leistungsfähigkeit des Kessels, jedoch auf Kosten der Wirtschaftlichkeit desselben, weil Heizfläche und Rostfläche in einem ungünstigen Verhältnisse stehen, daher die Heizgase den Kessel, namentlich bei Forcierung des Betriebes, mit zu hoher Temperatur verlassen.

Die Feuerbüchsen sind entweder aus Kupfer oder Stahl. Die kupfernen Feuerbüchsen bieten eine wirksamere Heizfläche, da das Kupferblech eine größere Wärmeleitungsfähigkeit besitzt, und werden daher dann mit Vorteil verwendet, wenn die Größe des Kessels im Verhältnisse zu der von ihm geforderten Leistung etwas zu klein ist. Das Kupferblech hat jedoch die Neigung zu Ribbildung zwischen den Heizröhren und Stehbolzen; andererseits ist das Material selbst sehr nachgiebig, was beim Aufwalzen leck gewordener Feuerrohre zu einer Deformation der benachbarten Stege führt; die kupfernen Feuerbüchsen haben daher eine verhältnismäßig kurze Lebensdauer, und ein Auswechseln z. B. nach drei- bis vierjährigem Betriebe, wie bei den Lokomotiven, ist sehr erschwert, weil ja zum Zwecke einer derartigen Reparatur der Kessel aus dem Schiffe herausgenommen werden müßte. Man benützt daher bei stetig zunehmender Güte des weichen Stahles heutzutage größtenteils stählerne Feuerbüchsen, welche auch den weiteren Vorteil gewähren, daß sie sich infolge von Kesselsteinniederschlägen und Fettüberzügen nicht so leicht zwischen den Stehbolzen oder Ankeren ausbeulen wie die Feuerkisten aus Kupferblech.

Die Lokomotivkessel werden entweder mit einer oder zwei Feuerungen ausgeführt. Erfahrungsgemäß soll die durch eine Feuertüre zu bedienende Rostfläche 2 qm nicht wesentlich überschreiten; sobald man daher bei gesteigerter Leistung auf eine Rostfläche von 3 bis 4 qm gelangt, muß eine Teilung der Feuerung platzgreifen; neuere, größere Torpedobootkessel besitzen daher auch fast allgemein zwei Feuerungen. Diese Teilung bietet auch den weiteren Vorteil, daß bei der Reinigung des Rostes nicht so viel kalte Luft in den Kessel gelangt, also die Rohrwand und die Rohrdichtungen hierdurch nicht so sehr in Mitleidenschaft gezogen werden; auch verursacht das andauernde Eindringen kalter Luft ein beträchtliches Sinken der Dampfspannung.

Die neueren Lokomotivkessel arbeiten meistens mit einer Spannung von 13 bis 15 kg/qcm Überdruck und die von ihnen gespeisten Drei- bis Vierfach-Expansionsmaschinen leisten während der stark forcierten Probefahrten mit starkem Unterwind (nachdem die Lokomotivkessel nur in der Kriegsmarine Verwendung gefunden haben und diese den größten Wert auf ihre Leistungsfähigkeit und nicht auf ihre Wirtschaftlichkeit legt) ungefähr 350 PS pro qm Rostfläche, wenn auf dieser Fläche stündlich 500 kg Kohle im Durchschnitt verbrannt werden. Nachdem diese Maschinen ca. 8 kg

Dampf pro PS-Stunde benötigen, wurden mit 1 kg Kohle nur etwa 5,6 kg Wasser verdampft. Rechnet man wieder in Berücksichtigung der hohen Spannungen 14 kg verdampftes Wasser pro 1 kg Kohle, dann stellt sich der Nutzeffekt dieser Kessel auf rund 0,40. Wie man sieht, ist der Wirkungsgrad dieser Kessel trotz ihrer großen Heizfläche nur ein sehr geringer infolge der tatsächlich bis aufs äußerste gesteigerten Leistung.

Der Lokomotivkessel an und für sich ist jedoch ein guter Kessel und gibt bei normalem Betriebe mit natürlichem Zug und gewöhnlichem Heizen einen Nutzeffekt, welcher auf einer Höhe steht mit jenem der Marinekessel.

Außer den bisher besprochenen Kesselsystemen hat auch der Wasserröhrenkessel als Schiffskessel in Deutschland, England, Frankreich und den Vereinigten Staaten Nordamerikas ausgedehnte Verwendung gefunden und das Bestreben, einen wirtschaftlichen, wenig Raum beanspruchenden, dabei aber möglichst leistungsfähigen Kessel zu schaffen, hat die Veranlassung zu weit zurückgreifenden Versuchen mit Wasserröhrenkesseln auf Dampfern gegeben.

Die Wasserröhrenkessel bieten den unbestrittenen Vorteil, daß die Dampfspannung bei ungeschmälerter Wärmeübertragung ohne wesentliche Erhöhung des Kesselgewichtes innerhalb weiter Grenzen gesteigert werden kann; diesem Vorteile stehen aber auch alle Nachteile gegenüber, welche mit dem kleinen Wasserraume und dem bei manchen Konstruktionen mangelhaften Wasserumlaufe im Zusammenhange stehen.

Nachdem die Wasserröhrenkessel bisher als Schiffskessel hauptsächlich nur in der Kriegsmarine, und zwar als Ersatz der Lokomotivkessel benutzt wurden, so bieten sie für diesen speziellen Zweck noch den weiteren Vorteil der Schnelligkeit des Dampfmachens, sowie der Widerstandsfähigkeit gegen wiederholtes starkes Forcieren; andererseits aber auch den Nachteil der Neigung zum Überkochen, der schwierigen Speisung, sowie der großen Empfindlichkeit gegen Rost und Verunreinigungen.

Bezüglich der Bauart haben bis jetzt die verschiedensten Systeme von Geradrohr- und Krummrohrkesseln Anwendung gefunden; von letzteren dürfte der an früherer Stelle besprochene Thornycroftkessel für die Erreichung glänzender Probefahrtsergebnisse ganz besonders geeignet sein, und sollte er sich im Betriebe ebenso dauernd bewähren, dann würde er jedenfalls als Schiffskessel einen wesentlichen Fortschritt bedeuten.

Hinsichtlich des Wirkungsgrades besteht ein großer Unterschied zwischen den gerad- und krummrohrigen Wasserrohrkesseln. Nachdem sich die Geradrohrkessel nicht so stark forcieren lassen, wie jene mit krummen Röhren, ist auch ihr Wirkungsgrad wesentlich höher. Die Geradrohrkessel arbeiten meistens mit Dampfspannungen von 10 bis

13 kg/qcm Überdruck; die von denselben gespeisten Dreifach-Expansionsmaschinen benötigen, da sie meist mit großen Füllungen arbeiten, durchschnittlich 8 kg Dampf pro PS-Stunde. Auf 1 qm Rostfläche werden ungefähr 150 kg Kohle pro Stunde verbrannt und damit eine Leistung von im Mittel 140 PS erzielt. 1 kg Kohle verdampft somit $\frac{140 \cdot 8}{150} = 7,5$ kg Wasser. Der Wirkungsgrad berechnet sich daraus mit 0,53, wenn man von der Annahme ausgeht, daß 1 kg Kohle theoretisch 14 kg Wasser in Dampf obiger Spannungen verwandelt.

Die Krummrohrkessel arbeiten mit Dampfspannungen von 14 bis 17 kg/qcm und speisen Drei- und Vierfach-Expansionsmaschinen. Nachdem sich diese Kessel stark forcieren lassen, können pro qm Rostfläche und Stunde bis zu 350 kg Kohle verbrannt und damit 240 bis 250 PS erzeugt werden. Nachdem diese Kessel zumeist mittels Dampfgebläsen abgerußt werden müssen, steigt der Dampfverbrauch der Maschinen auch auf 8 kg pro PS-Stunde. 1 kg Kohle verdampft daher $\frac{240 \cdot 8}{350} = 5,5$ kg Wasser. Der Nutzeffekt beträgt unter obiger Annahme einer theoretischen Verdampfung von 14 kg Wasser pro kg Kohle rund 0,40, ist somit infolge des forcierten Betriebes sehr gering.

Die an Wasserröhrenkesseln auftretenden Zerstörungen: als Zerplatzen eines oder mehrerer Rohre, Springen der Verschlußstücke etc., sind in ihrer Wirkung nicht mit einer vollständigen, dem Schiffskörper gefährlichen Explosion zu vergleichen, bleiben jedoch für das Bedienungspersonal gefährlich genug, wie aus den Zusammenstellungen der Dampfkessel-Überwachungsvereine zur Genüge hervorgeht. Die größere Anzahl von Unfällen kommt an Wasserröhrenkesseln, nicht nur in ihrer Verwendung als Schiffskessel, sondern speziell auch als Landkessel vor, welche mitunter zu schwerer Beschädigung des Wärterpersonals führen; dies geht auch aus der Statistik über Kesselexplosionen des Deutschen Reiches und anderer Staaten hervor.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit stehen bis heute die Wasserröhrenkessel nicht auf gleicher Höhe mit den übrigen, namentlich den schottischen Kesseln; während man bei schottischen Kesseln durchschnittlich 0,75 kg bester Kohle pro PS-Stunde verbraucht, ist man bei Geradrohrkesseln, selbst bei sehr verminderter Leistung derselben, noch nicht auf 0,8 kg herabgekommen. Mit Thornycroftkesseln wurden, allerdings unter den günstigsten Umständen, auf englischen Marinefahrzeugen Verbrauchsziffern erreicht, welche unter obigem Werte liegen und im Durchschnitt 0,70 kg betragen; bei so ausgesprochener Schonung kommt man aber auch bei cylindrischen Kesseln noch unter den angeführten Wert. Die Ursache dieser verhältnismäßig geringen Wirtschaftlichkeit der Wasser-

röhrenkessel, welche doch aus sehr günstigen Heizflächen gebildet sind, läßt sich nur auf die mehr oder minder mangelhafte Verbrennung zurückführen, welche bei den meisten dieser Kessel stattfindet. Einerseits besitzen die meisten Kessel nur eine Feuerung, wodurch die Unregelmäßigkeiten in der Luftzufuhr fühlbarer werden, als bei getheilten und somit kleineren Einzelfeuerungen; andererseits entweichen die Gase, nachdem sie sich gebildet haben, meist sofort zwischen die Rohre und finden dann kaum mehr Gelegenheit, sich im richtigen Verhältnisse mit Luft zu mischen, können daher nur teilweise verbrennen. Man trachtet diesem Übelstande durch Einführung komprimierter Luft oder Dampfschleier über dem Roste abzuhelpfen, wodurch denselben einerseits der fehlende Sauerstoff zugeführt werden soll, andererseits die Gase nach dem Roste zurückgedrängt werden, um Zeit zur Verbrennung zu finden.

In nachstehender Tabelle XIII sind die Hauptverhältnisse der Schiffskessel unter Benützung einer Tabelle aus Busleys „*Die Schiffsmaschine*“ zusammengestellt; für die Koffer-, Marine- und schottischen Kessel beziehen sich diese Ergebnisse auf Probefahrten bei natürlichem Zuge, für die Lokomotiv- und Wasserrohrkessel jedoch auf Fahrten bei größtmöglicher Forcierung bei künstlichem Zuge, weil diese Ergebnisse bei Aufstellung solcher Kessel an Bord ausschlaggebend sind.

Tabelle XIII.

	Kofferkessel mit Niederdruckmaschinen	Neuere Marinekessel mit Dreifach-Expansionsmaschinen	Neuere schottische Kessel mit Dreifach-Expansionsmaschinen	Neuere Lokomotivkessel mit Dreifach-Expansionsmaschinen	Geradrohrwasserröhrenkessel mit Dreifach-Expansionsmaschinen	Krummrohrwasserröhrenkessel mit Drei- und Vierfach-Expansionsmaschinen
Dampfüberdruck in kg/qcm	2	10—12	10—13	13—15	12—14	14—20
1 qm Rostfläche leistet PS bei forciertem Probefahrt	100	130	140	350	140	240
Speisewasserverbrauch pro PS-St. in kg	13	7,5	6,5	8,0	8,0	8,0
1 qm Rostfläche verdampft Wasser pro Stunde in kg	1300	975	910	2800	1120	1920
Gesamtheizfläche pro 1 qm Rostfläche in qm	30	32	33	60	30	45
Größter Kohlenverbrauch pro 1 qm Rostfläche und Stunde in kg	150	120	110	500	150	350
Verdampftes Wasser pro 1 kg Kohle in kg	8,7	8,1	8,3	5,6	7,5	5,5
Wirklicher Wirkungsgrad des Kessels	0,60	0,58	0,60	0,40	0,53	0,40

Ölfeuerung der Schiffskessel. In neuerer Zeit wurden trotz der früheren fehlgeschlagenen Versuche die größten Anstrengungen gemacht, um auf Dampfern, besonders auf Torpedobooten, die Ölfeuerung einzuführen, da dieselbe eine Reihe wesentlicher Vorteile bietet; hierher gehören rücksichtlich des Betriebes die größere Verdampfungskraft, die vollkommenere Verbrennung, die Verminderung des Heizpersonals, die längere Lebensdauer des Kessels, sowie die größere Manövrierfähigkeit der Maschinen.

Die Verdampfungskraft der flüssigen Heizstoffe verhält sich zu jener der Steinkohle durchschnittlich wie 7:4; man benötigt daher für die gleiche Strecke ein geringeres mitzuführendes Gewicht an Heizmaterial oder man fährt mit dem gleichen Gewichte an Brennstoff eine entsprechend größere Strecke.

Die vollkommenere Verbrennung der flüssigen Heizstoffe vermindert die Bildung von Rückständen und Rauch; ebenso entfällt infolge der rückstandslosen Verbrennung die Bildung von Schlacke und Asche; das Reinigen der Feuerung und das Fegen der Rohre wird daher zum Teil entfallen können, ein Umstand, der namentlich bei Torpedobooten sehr in die Wagschale fällt, weil infolge der Reinigung, welche während der Fahrt von Zeit zu Zeit vorgenommen werden muß, die Fahrgeschwindigkeit einen empfindlichen Verlust erleidet, daher das Torpedoboot von dem Torpedojäger, welcher während der Wache seine Feuerung reinigt, überlaufen werden kann.

Für das Torpedoboot ist andererseits das Entfallen der Rauchsäule von größter Wichtigkeit, da dasselbe am Horizonte dann sehr schwer zu entdecken ist; auch entfällt das sehr unangenehme und geradezu schädigende Entweichen von Funken und Flugasche aus dem niedrigen Schornstein bei stark gesteigertem Zuge.

Die längere Lebensdauer der Kessel ist in erster Linie eine Folge des seltenen Öffnens der Feuertüren, da hierdurch der plötzliche Eintritt kalter Luft in die Feuerräume und die daraus resultierende jähe Abkühlung der inneren Partien des Kessels hintangehalten wird. Von geringerer Bedeutung ist der Umstand, daß die Erdöle keinen Schwefel enthalten, daher die dem Feuer ausgesetzten Bleche nicht in dem Maße angegriffen werden, als bei Kohlenfeuerung.

Was schließlich die Manövrierbarkeit betrifft, so wird diese jedenfalls sehr dadurch begünstigt, daß man bei Ölfeuerung das Feuer nach Belieben und sehr rasch verstärken, vermindern oder gänzlich einstellen kann, während man bei Kohlenfeuerung eine plötzliche Verminderung der Dampfentwicklung nur dadurch erreichen kann, daß man die Feuer- und Rauchkammertüren öffnet und kalte Luft in den Kessel einströmen läßt;

darunter leidet aber der Kessel selbst ungemein. Andererseits benötigt es längere Zeit, um ein getötetes Feuer neuerdings zu lebhafter Verbrennung zu bringen. Bei Ölfeuerung hat man jedoch nur die Öl- und Dampfabschlußorgane zu öffnen oder zu schließen, um die Zerstäuber und somit die Feuerung selbst in Tätigkeit zu versetzen.

Den Vorteilen der Ölfeuerung stehen als Nachteile nur der hohe Preis der Öle, sowie das durch die Zerstäuber verursachte, sehr unangenehme und heftige Geräusch gegenüber, welches für Personendampfer höchst lästig, für Torpedoboote jedoch geradezu verderblich wird; dieses Geräusch bildet daher den Haupteinwurf, welcher namentlich von militärischer Seite gegen die Einführung der Ölfeuerung erhoben wird. Die zum Zerstäuben des Öles gewöhnlich benützte Spannung des Dampfes oder der Preßluft beträgt 1,3 bis 1,5 kg/qcm Überdruck; erst dann, wenn bei verminderter Fahrgeschwindigkeit, also verringerter Dampfbildung die Spannung auf ungefähr 0,5 kg/qcm gesunken ist, wird das Geräusch soweit vermindert, daß es das allgemeine Geräusch der Maschinen und Pumpen nicht besonders übertönt.

Nach den derzeitigen Preisen der Kohle sowie der Petroleumrückstände stellt sich die Ölfeuerung bei Berücksichtigung ihrer höheren Verdampfungskraft im westlichen Europa ungefähr dreimal so teuer als die Kohlenfeuerung; diese hohen Preise der flüssigen Brennstoffe sind und bleiben voraussichtlich für längere Zeit der Grund, weshalb die Ölfeuerung trotz ihrer Vorzüge und trotz aller Bemühungen, derselben allgemeineren Eingang zu verschaffen, vorläufig keinerlei Aussicht hat, in größerem Maßstabe bei den Kriegs- und Handelsmarinen eingeführt zu werden; die einzige Ausnahme hiervon bilden die Dampfer des Kaspischen Meeres sowie jene der südrussischen Flüsse.

Die jährliche Ausbeute an Rohöl der ganzen Erde kann nach den statistischen Ausweisen des Jahres 1900 mit 20000000 Tonnen angenommen werden. Für Heizungszwecke können nur die minderwertigen Rückstände, welche im Durchschnitte höchstens $\frac{1}{5}$ des Rohgewichtes betragen, verwendet werden, da diese Öle, soweit sie für die Erzeugung von Brennpetroleum, Schmierölen, Paraffin etc. erforderlich sind, für Heizzwecke überhaupt nicht abgegeben werden können. Die Dampfschiffahrt allein würde jedoch, falls statt Kohlenfeuerung durchwegs Ölfeuerung eingeführt wäre, jährlich mindestens die Hälfte der Produktion an Erdölen für sich allein in Anspruch nehmen, da der heutige Bedarf an Steinkohle für Schiffskesselfeuerung mit etwa 14 Millionen Tonnen, also etwa 2 Prozent der jährlichen Steinkohlenförderung der Erde, welche nach den Ausweisen des Jahres 1900 abgerundet 680 Millionen Tonnen betrug, angenommen werden kann.

198. Die Überhitzer. Die Einrichtungen, welche zur Erzeugung überhitzten Dampfes in Verwendung stehen, lassen sich in zwei Gruppen teilen und zwar in Einrichtungen, welche die direkte Erzeugung hoch überhitzten Dampfes aus dem Speisewasser bezwecken und in solche, welche als Ergänzung gewöhnlicher Kesselanlagen den von diesen gebildeten gesättigten Dampf überhitzen; es sind dies die eigentlichen Überhitzer, während Einrichtungen der ersteren Art, in ihrer ganzen Anlage dem speziellen Zwecke angepaßt, als Heißdampf- oder Dampfgasanlagen bekannt sind. Hierher gehören die Konstruktionen von W. Schmidt, Serpollet u. a. Bei diesen Dampfüberhitzungsapparaten wird die Dampferzeugung und Überhitzung entweder in ein und demselben oder in zwei unmittelbar hintereinander geschalteten Apparaten durchgeführt; die Dampferzeugung selbst wird hierbei meistens ungemein forciert, sodaß ein Gemisch aus Dampf und Wasser gebildet wird, welches hierauf im Überhitzungsapparat zu überhitztem Dampf veredelt wird.

Da diese Apparate den Zweck haben, den erzeugten nassen Dampf unmittelbar in einen gasartigen Zustand zu verwandeln, so wird das so gebildete Überhitzungsprodukt auch Dampfgas genannt. Auf eine nähere Beschreibung dieser Apparate soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Die zweite Gruppe von Überhitzern ist durch viel zahlreichere und verschiedenartigere Konstruktionen vertreten; man trachtet durch vorteilhafteste Anordnung die größte Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit zu erreichen.

Die Apparate dieser Gruppe können gleichfalls nach zwei Gesichtspunkten in Einzelgruppen geteilt werden, je nachdem dieselben nur eine Ergänzung jedes einzelnen Kessels, also gleichsam ein Glied desselben, oder von den einzelnen Kesseln der ganzen Dampfanlage unabhängig, einen Zwischenapparat der Dampfleitung bilden. Man bezeichnet die Apparate der ersten Gruppe mit dem Ausdrucke Kesselüberhitzer oder schlechtweg Überhitzer; jene der zweiten Gruppe werden gewöhnlich Zentralüberhitzer genannt, da sie zumeist einer ganzen Gruppe von Einzelkesseln gemeinschaftlich dienen.

Die Kesselüberhitzer werden immer in die Feuerzüge der Kessel und zwar innerhalb oder außerhalb des eigentlichen Kesselmauerwerkes eingebaut. Sind die Überhitzer innerhalb eingebaut, dann liegen sie zumeist am Ende des ersten oder zu Beginn des zweiten Zuges, kommen daher stets mit Heizgasen von mindestens 500° C in Berührung; die außerhalb des Kesselmauerwerkes eingebauten Überhitzer erhalten entweder durch geeignete Zuführung die Feuergase zu Beginn des zweiten Zuges, welche meistens noch sehr hohe Temperatur besitzen, oder sie befinden sich im Fuchskanal zwischen Kessel und Schornstein, in welchem

Fälle sie bei normalem Betrieb nur mit Gasen von 200° bis 350° in Berührung stehen. Im ersteren Falle werden die Heizgase, nachdem sie über die Überhitzerflächen gestrichen sind, selbstverständlich noch durch die Fortsetzung der Feuerzüge über Kesselheizflächen geleitet und gezwungen, ihren noch großen Wärmegehalt an diese abzugeben. Die Überhitzung ist eine ziemlich hohe, bis zu 300° C, auch darüber, während bei jenen Überhitzern, welche im Fuchskanal eingebaut sind, nur geringe Überhitzungstemperaturen von durchschnittlich 20° C über die Sättigungstemperatur erreicht werden; wird ein Kessel jedoch stark forciert, sodaß die Essengase noch eine Temperatur von 400° C und darüber besitzen, dann erzielt man auch mit solchen Überhitzern gute Resultate, falls nicht eine rationelle Änderung der ganzen Kesselanlage vorgezogen wird.

Soweit die bis heute vorliegenden Erfahrungen mit Überhitzern zu einem abschließenden Urteil berechtigen, ist der Einbau derselben in allen jenen Fällen am vorteilhaftesten, wo Heizgase von 500° bis 600° C Temperatur zu ihrer Erhitzung zur Verfügung stehen; bei diesen Temperaturen machen sich auch noch keine zerstörenden Wirkungen der Feuer-gase, gutes Material der Überhitzer vorausgesetzt, bemerkbar.

Der Einbau von Vorwärmern oder Economisern in den letzten Zug ist, wenn genügender Platz hierzu vorhanden, jenem von Überhitzern unter allen Umständen vorzuziehen, da eine so geringe Überhitzung, wie sie in diesem Falle gewöhnlich erreicht werden kann, weniger Vorteile bietet als die Ausnützung der Essengase durch Economiser, denn es ist viel leichter, Essengasen von 200° bis 300° Temperatur 60° bis 100° zur Erwärmung kalten Speisewassers zu entziehen, als damit Dampf von 160° bis 170° Temperatur um etwa 20° zu überhitzen.

Die eigentlichen Kesselüberhitzer lassen sich meist schon an kleinen Kesseln von etwa 20 qm Heizfläche aufwärts mit Vorteil anbringen; die Art der Anbringung und die Größe der Überhitzerflächen hängt jedoch von dem Kesselsysteme beziehungsweise von den räumlichen Verhältnissen der Feuerzüge ab.

Die Reinigung derselben von Ruß und Flugasche ist während des Betriebes zumeist nur in beschränktem Maße möglich, daher gewöhnlich von den Perioden der Kesselreinigung abhängig; desgleichen ist ihre Zugänglichkeit dadurch, daß sie sich in den Feuerzügen befinden, sehr erschwert. Damit Mängel oder Defekte an den Überhitzern den Betrieb des Kessels nicht störend beeinflussen, soll bei Anlage derselben darauf gesehen werden, daß sie leicht und rasch ausschaltbar sind, daher der Betrieb mit gesättigtem beziehungsweise nassem Dampf bis zu ihrer Wiederherstellung fortgeführt werden kann.

Zu den Vorteilen dieser Überhitzungsmethode gehört der Umstand,

daß sie keiner eigenen Feuerbedienug bedürfen, die Anschaffungs- und Erhaltungskosten verhältnismäßig sehr gering sind, und der Einbau solcher Systeme bei größeren Kesselanlagen mit mehreren Kesseln große Unabhängigkeit gestattet, da durch das eventuelle Schadhafwerden eines Überhitzers die Tätigkeit der übrigen nicht beeinflusst wird.

Nach den bisherigen Erfahrungen sind diese Überhitzeranlagen hinsichtlich Wärmeökonomie den Zentralüberhitzern überlegen.

Die Zentralüberhitzer sind vollkommen selbständige Anlagen, welche die Aufführung eines eigenen Baues erfordern; sie können daher jederzeit ohne Umbau oder Betriebsunterbrechung einer bestehenden Kesselanlage angefügt werden; sie sind daher auch an kein Kesselsystem sowie an keinen Aufstellungsort im vorhinein gebunden.

Die Größe der Überhitzerflächen der Zentralüberhitzer hängt von der Dampfmenge ab, welche in bestimmter Zeit auf eine bestimmte Temperatur zu bringen ist.

Die äußere Reinigung kann jederzeit, unabhängig von der Kesselreinigung, bequem und in kürzester Zeit durchgeführt werden, nachdem die Überhitzer zumeist so aufgebaut werden, daß sie von mehreren Seiten frei zugänglich sind. Durch Störungen im Betriebe des Überhitzers wird zwar der Kesselbetrieb als solcher nicht direkt beeinflusst; der Fabriksbetrieb wird jedoch infolge der Zentralisierung der Überhitzung jedenfalls in Mitleidenschaft gezogen.

Die Anschaffungskosten der Zentralüberhitzer stellen sich zumeist höher als jene der Kesselüberhitzer; da sie andererseits separat geheizt werden müssen, stellen sich auch die Unterhaltungskosten (Brennmaterial und Bedienung) höher und soll man daher Zentralüberhitzer nur für größere Dampfmen gen, also für Kesselanlagen, welche aus mehreren und größeren Kesseln bestehen, verwenden; für diesen Fall ergibt auch ihre Anwendung eine wesentliche Vereinfachung gegenüber den Kesselüberhitzern. Während man andererseits bei diesen hinsichtlich der Überhitzungstemperatur an die Temperatur der Heizgase gebunden ist, kann man mit Zentralüberhitzern, wenn beabsichtigt, weit höhere Temperaturen erreichen; auch läßt sich die Temperatur infolge der getrennten Feuerung gut regulieren, nur bedürfen sie aus diesem Grunde einer ständigen Überwachung.

Die Gesamtheizfläche einer Kesselanlage wird nur durch den vorausichtlichen Gesamtbedarf an Dampf und die beabsichtigte Beanspruchung der Kesselanlage bestimmt, wobei selbstverständlich auf etwaige Vergrößerung der ganzen Anlage, sowie auf möglichste Ausdehnbarkeit der Beanspruchung Rücksicht genommen werden soll. Werden die Vorteile einer guten Kesselanlage mit jenen einer zweckentsprechenden Dampfüberhitzung vereint, dann ist der größte Effekt der Kesselanlage zu gewärtigen; dabei

hängen die Resultate der Überhitzung in erster Linie von der richtigen Wahl der Größe der Überhitzerfläche ab.

Da die Größe der Überhitzerfläche von den verschiedensten Umständen beeinflusst wird, läßt sich der richtigen Bestimmung derselben theoretisch nicht gut beikommen; selbst für ein und denselben Fall gibt die theoretische Berechnung verschiedene Werte, je nachdem der Wärmeübertragungskoeffizient, d. i. die Anzahl Wärmeeinheiten, welche 1 kg Dampf pro Grad Temperaturunterschied stündlich aus 1 qm Überhitzerfläche entnimmt, größer oder kleiner angenommen wird. Hirn z. B. hat diesen Koeffizienten mit 10 bis 15 angenommen, während von anderer Seite derselbe mit nur 6 bis 8 empfohlen wird. Je größer man diesen Koeffizienten annimmt, desto kleiner wird selbstverständlich die daraus berechnete Heizfläche des Überhitzers. Da dieser Koeffizient jedoch von dem Material und der Wandstärke der Überhitzer, von der äußeren Beschaffenheit der Überhitzerfläche, von der Beschaffenheit und Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes etc. abhängig ist, so herrscht bezüglich der Bestimmung desselben große Unsicherheit und empfiehlt es sich daher, denselben klein anzunehmen, um im Bedarfsfalle eine größere Leistungsfähigkeit der ganzen Anlage erzielen zu können.

Auf die Leistungsfähigkeit eines Überhitzers nimmt die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf durch denselben strömt, einen wesentlichen Einfluß. Es ist wohl derzeit nicht möglich, bestimmte Beziehungen zwischen der Beanspruchung des Überhitzers, dem Querschnitte desselben, sowie der Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes festzustellen, da einerseits ausreichende Beobachtungen nicht vorliegen, andererseits die theoretischen Betrachtungen diesfalls versagen, aber trotzdem kann als feststehend angenommen werden, daß mit zunehmender Dampfgeschwindigkeit auch die Wärmeaufnahmefähigkeit des Dampfes zunimmt und daß man bei ruhendem Dampf überhaupt keine wesentliche Überhitzung erreichen kann.

Bei guter Anlage und Bedienung sind alle Überhitzersysteme hinsichtlich der Leistungsfähigkeit so ziemlich gleichwertig, insofern Heizgase hoher Temperaturen (nicht unter 450 bis 500° C) zu ihrer Erhitzung verwendet werden. Der Wert der Heizfläche wird allerdings durch die konstruktive Ausführung beeinflusst; ebenso ist die Beschaffenheit des Brennmaterials hinsichtlich der Bildung von Flugasche und Ruß nicht ohne Einfluß auf die Leistungsfähigkeit, namentlich auf die dauernde Gleichartigkeit derselben; aus diesem Grunde kann auch nicht, wie bei Kesseln, die ganze Oberfläche des Überhitzers als aktive Heizfläche gerechnet werden, da vor allem die dem Feuer abgewendeten, sowie jene Partien der Oberfläche, welche sich zuerst mit Ruß belegen, im geringeren Maße leistungsfähig sind.

Eine Hauptbedingung ist die Betriebssicherheit sowie die Dauerhaftigkeit und Regulierbarkeit, damit kein Überschreiten der höchsten zulässigen Dampftemperatur eintrete; in dieser Beziehung herrscht nicht jene Gleichförmigkeit der verschiedenen Überhitzersysteme, welche hinsichtlich der Leistungsfähigkeit konstatiert werden kann und sind es namentlich diese Rücksichten, welche für die Wahl des einen oder des anderen Systems bestimmend sind.

Die älteste, heute nur mehr historisches Interesse bietende Konstruktion ist der Hirnsche Überhitzer. Derselbe bestand aus glatten gußeisernen Schlangentröhen, welche durch Kupferstützen verbunden waren und von den Feuergasen des zweiten Kesselzuges bestrichen wurden; durch Reglerschieber konnten ziemlich weitgehende Veränderungen der Temperatur erzielt werden. Mit diesem Überhitzer wurden bei den damaligen geringen Dampfspannungen von 4 bis 5 Atmosphären Überhitzungen bis zu 100°C erreicht.

Zu den heute beliebtesten Konstruktionen gehören die Überhitzer von Babcock & Wilcox, Schwörer und Gehre.

Der Babcock & Wilcox-Überhitzer besteht aus einer Reihe parallel gelagerter U-förmig gebogener, sogenannter Haarnadelröhren aus Stahl von kleinem Durchmesser (40 bis 50 mm), welche mit ihren Enden in zwei horizontal übereinander liegenden, geschweißten Kästen prismatischen Querschnittes eingewalzt sind (siehe Fig. 203 des Babcock & Wilcox-Kessels). Der obere dieser beiden Kästen nimmt den nassen Dampf auf, während der untere den überhitzten Dampf abgibt. Der Überhitzer ist so eingerichtet, daß er während des Anheizens des Kessels mit Wasser von diesem gefüllt werden kann. Sein Einbau erfolgt stets zwischen dem Oberkessel und dem Röhrenbündel bei Wasserröhrenkesseln.

Der Überhitzer von Schwörer, welcher bisher von allen Kesselüberhitzern die größte Verbreitung gefunden hat, da er gleich dem Babcock & Wilcox-Überhitzer den Vorteil besitzt, daß er sich fast an alle Kesselsysteme gut anpassen läßt, besteht aus Gußrohren mit inneren und äußeren Rippen (Rippenröhren), wodurch die Masse des Überhitzerkörpers erhöht, die Überhitzerfläche vergrößert und der Dampf Kern zerteilt, der Dampf somit in innigere Berührung mit den Heizflächen gebracht wird. Diese Rippenrohre sind zu einer Rohrschlange zusammengesetzt, welche an einem Ende den nassen Dampf aufnimmt und nachdem derselbe alle Elemente nacheinander passiert hat, das letzte Element als überhitzter Dampf verläßt.

Das Schwörer-System gehört zu den ersten Systemen, welche in neuerer Zeit praktische Verwendung gefunden haben; aus den vielen Ver-

suchen, welche gerade mit diesem System durchgeführt wurden, steht bereits ein reiches Erfahrungsmaterial zur Verfügung.

Der Gehre-Überhitzer besteht aus einem oder zwei parallel nebeneinander liegenden Langkesseln, die von einer größeren Anzahl Feuerrohren durchzogen sind und in den Fuchskanal zwischen Kessel und Kamin eingebaut sind. Infolge der schlechten Zugänglichkeit dieses Überhitzers und der geringen erzielbaren Überhitzungstemperatur hat derselbe eine verhältnismäßig geringere Verbreitung gefunden*).

*) Eine übersichtliche Behandlung des überhitzten Dampfes, sowie der verschiedenen Überhitzersysteme siehe: R. Schenkel, „*Der überhitzte Dampf*“, Wien 1897, Spielhagen & Schurich. Über die Anwendung von Überhitzern bei Lokomotiven siehe *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1901, S. 1663, Bericht über die Lokomotiven der Weltausstellung in Paris 1900. Auch wird auf diesen Gegenstand an späterer Stelle, bei Besprechung der Lokomotiven, zurückgekommen werden.