

um das Anfahren zu erleichtern. Alle amerikanischen, viele englische, aber auch deutsche Lokomotiven benutzen statt des Schiebers gußeiserne 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/qem 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

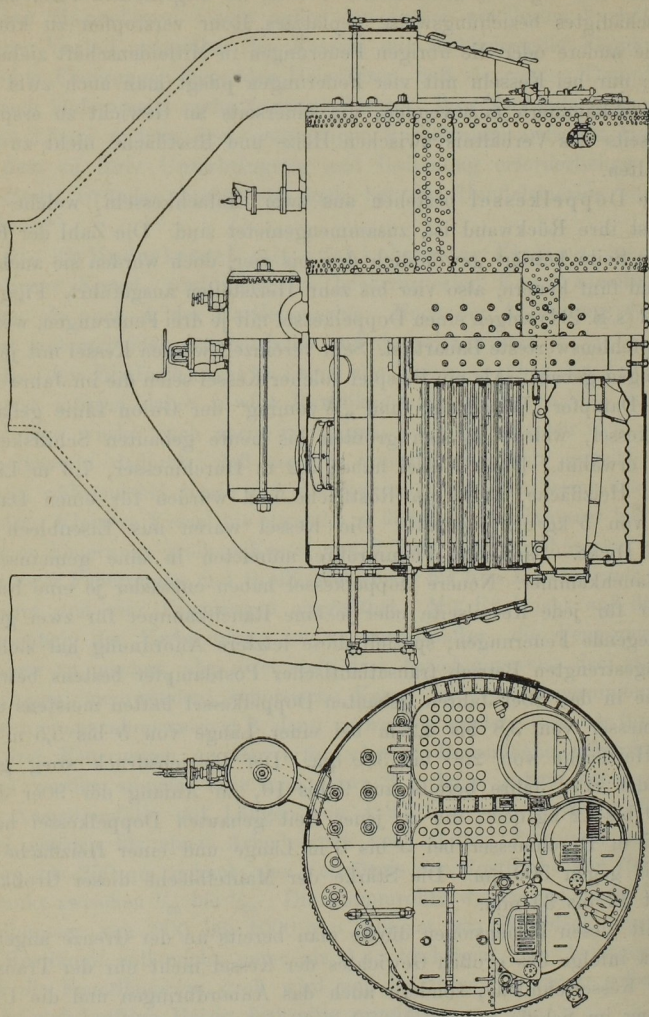


Fig. 212.

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 geteilten 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.