

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

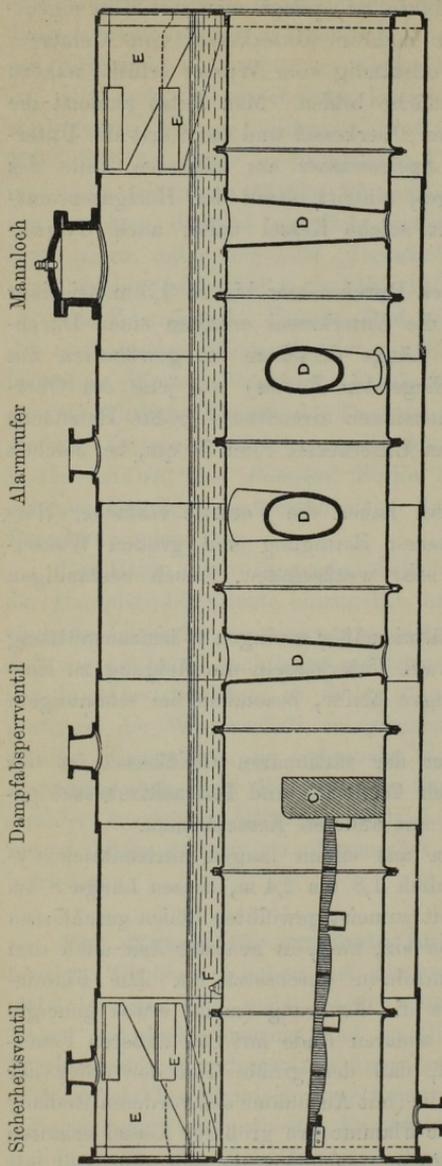


Fig. 197. Längsschnitt eines Cornwallkessels.
 Fig. 198 im Querschnitt, woraus zugleich die Anordnung der Gallowayrohre ersichtlich ist.

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,
 indem 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 Wasserzirkulation,
 außerdem auch eine
 vorzügliche Absteifung
 der Rohrwand gegen
 Außendruck erzielt.

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

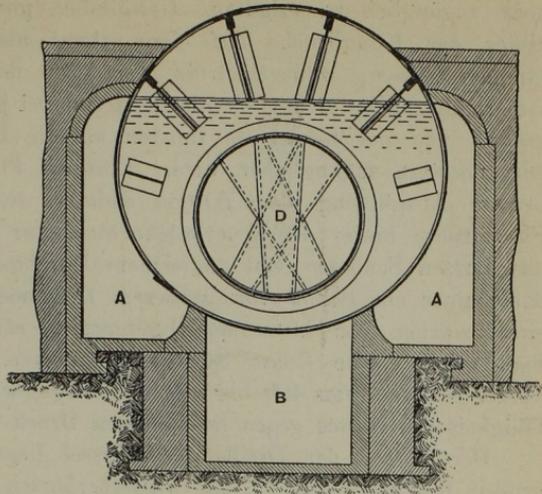


Fig. 198.

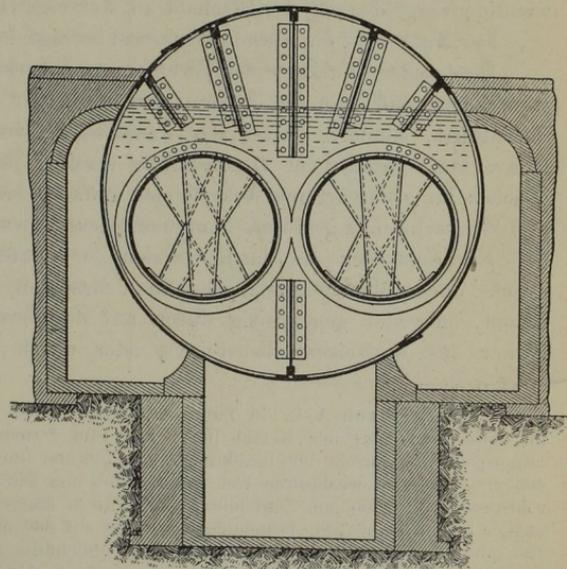


Fig. 199.

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