

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Der Maschinenbau

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1863

Sechster Abschnitt. Die Dampfkessel

[urn:nbn:de:bsz:31-270981](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-270981)

SECHSTER ABSCHNITT.

Die Dampfkessel.

Güeverhältniß der Dampfkessel für Kesselapparate, Parallelstromapparate, Gegenstromapparate. Die Ergebnisse der vorhergehenden Untersuchungen über die Erwärmung einer Flüssigkeit durch einen heißen flüssigen Strom können auf die Dampfkessel angewendet werden und geben uns sehr wichtige Aufschlüsse über die Bedingungen einer vortheilhaften Dampferzeugung.

Ein Dampfkessel besteht gewöhnlich aus einem oder aus mehreren, ziemlich geräumigen, theilweise oder ganz mit Wasser gefüllten cylindrischen Gefässen, die dem glühend heißen Strom der Verbrennungsgase ausgesetzt sind, welche von einem Feuerherd nach einem Kamin strömen. Die Verbrennungsgase ziehen längs den innen mit Wasser in Berührung stehenden Theilen der Kesselwand hin, geben ihre Wärme an die Kesselwand ab, werden allmählig abgekühlt und erreichen, wenn sie ungefähr $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5}$ ihres Wärmegehaltes abgegeben haben, das Kamin. Die in den Kessel eindringende Wärme bewirkt die Erwärmung und Verdampfung des Wassers. Der in jeder Sekunde gebildete Dampf wird im Beharrungszustand des ganzen Apparats aus dem Kessel weggeleitet, und das verdampfte Wasser wird mittelst einer Pumpe wiederum ersetzt. Allein diese in jeder Sekunde zu ersetzende Wasserquantität ist im Vergleich zum gesammten Wasserinhalt des Kessels sehr klein (beträgt z. B. bei einer 100pferdigen Maschine nicht mehr als circa 1^{klg}), daher herrscht in einem solchen Dampfkessel in allen Punkten des Innern beinahe einerlei Temperatur. Diese gewöhnlichen Dampfkesseleinrichtungen sind also sehr annähernd als solche Apparate anzusehen, die wir im Vorhergehenden Kesselapparate genannt haben. Zuweilen haben jedoch die Kessel

eine etwas andere Einrichtung, als wir so eben beschrieben haben; sie bestehen zuweilen aus zwei oder mehreren, oftmals sogar aus sehr vielen Röhren und das in den Kessel eingepumpte Wasser wird langsam von dem Punkt an, wo es eingetreten ist, nach dem von diesem Punkt entferntesten Theil des Kesselraums fortgeschoben. In diesem Falle kann ein Dampfkessel als ein schwacher Stromapparat angesehen werden, und zwar als ein Parallelstromapparat oder als ein Gegenstromapparat, je nachdem die Bewegungsrichtung des Wassers mit jener der Verbrennungsgase übereinstimmt oder entgegengesetzt ist.

Die wichtigste, die Einrichtung eines Kessels betreffende Frage wird durch die Kenntniss des Güteverhältnisses des Kessels beantwortet. Unter Güteverhältniss verstehen wir das Verhältniss zwischen der Wärmemenge, welche durch die Wände des Kessels in denselben eindringt, und der Wärmemenge, welche durch die Verbrennung des Brennstoffes auf dem Feuerherd entwickelt wird. Wir wollen nun dieses Güteverhältniss für die drei Arten von Dampfkesseleinrichtungen bestimmen, und zwar zuerst für

Kesselapparate. Für einen solchen Apparat haben wir Seite 347 gefunden:

$$F_k = \frac{1}{k} \frac{\log_{\text{nat}} \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_1}}{\frac{1}{Q S}} \dots \dots \dots (1)$$

Die Bedeutung der in diesem Ausdruck erscheinenden Größen ist:

F_k die Heizfläche des Kessels in Quadratmetern,
 k der Wärmeübergangskoeffizient pro Quadratmeter und pro Stunde,
 T_0 die Temperatur der Verbrennungsgase unmittelbar über dem Rost oder da, wo diese Gase zuerst mit der Kesselwand in Berührung treten,

T_1 die Temperatur der Verbrennungsgase, da wo sie den Kessel verlassen und nach dem Kamin streichen,

t_1 die Temperatur des Wassers im Kessel,

Q die Menge der Verbrennungsgase in Kilogrammen, welche stündlich von dem Rost weg nach dem Kamin ziehen,

S die spezifische Wärme der Verbrennungsgase welche von der spezifischen Wärme der atmosphärischen Luft beinahe nicht verschieden ist.

Nennen wir noch:

w die Wärmemenge, welche stündlich in den Kessel eindringt,

B die Brennstoffmenge, welche stündlich auf dem Rost verbrannt wird,

\mathcal{Q} die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung von einem Kilogramm Brennstoff entwickelt wird,

ν das Güteverhältniss des Kessels,

u_0 die Temperatur der in den Feuerherd eintretenden atmosphärischen Luft,

so erhalten wir nebst der Gleichung (1) noch folgende Gleichung.

Offenbar ist $Q S (T_0 - T_1)$ die Wärmemenge, welche die Verbrennungsgase auf ihrem Wege nach dem Kamin verlieren, welche Wärmemenge gleich ist derjenigen, die in jeder Sekunde in den Kessel eindringt. Es ist demnach:

$$W = Q S (T_0 - T_1) \quad \dots \quad (2)$$

Durch die Wärmemenge $B \mathcal{Q}$, welche stündlich durch die Verbrennung von B Kilogrammen Brennstoff entwickelt wird, wird die Luftmenge Q von u_0 bis T_0 erwärmt. Es ist daher:

$$B \mathcal{Q} = Q S (T_0 - u_0) \quad \dots \quad (3)$$

Endlich ist auch: $\nu = \frac{W}{B \mathcal{Q}}$ oder wegen (2) und (3)

$$\nu = \frac{W}{B \mathcal{Q}} = \frac{T_0 - T_1}{T_0 - u_0} \quad \dots \quad (4)$$

Aus (1) folgt:

$$T_1 = t_1 + (T_0 - t_1) e^{-\frac{k F_k}{Q S}}$$

Führt man diesen Werth von T_1 in (1) ein und setzt für T_0 den aus (3) folgenden Werth $T_0 = u_0 + \frac{B \mathcal{Q}}{Q S}$ so findet man leicht:

$$\nu = \left[1 - \frac{Q S}{B \mathcal{Q}} (t_1 - u_0) \right] \left(1 - e^{-\frac{k F_k}{Q S}} \right) \quad \dots \quad (5)$$

Hierdurch ist nun das Güteverhältniss für einen Kesselapparat bestimmt.

Für einen Parallelstromapparat haben wir:

$$W = Q S (T_0 - T_1) = q s (t_1 - t_0) \quad \dots \quad (6)$$

$$F_P = \frac{1}{k} \frac{\log \text{nat} \frac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1}}{\frac{1}{Q S} + \frac{1}{q s}} \quad \dots \quad (7)$$

$$B \mathcal{Q} = Q S (T_0 - u_0) \quad \dots \quad (8)$$

$$p = \frac{W}{B \Phi} = \frac{Q S (T_0 - T_1)}{Q S (T_0 - u_0)} = \frac{T_0 - T_1}{T_0 - u_0} \quad (9)$$

Aus (7) folgt:

$$T_1 = t_1 + (T_0 - t_0) e^{-k F_p \left(\frac{1}{Q S} + \frac{1}{q s} \right)} \quad (10)$$

Setzt man in den Ausdruck (9) für T_1 den Werth (10), für T_0 den aus (8) folgenden Werth $T_0 = u_0 + \frac{B \Phi}{Q S}$, so findet man ohne Schwierigkeit:

$$p = \left[1 - (t_0 - u_0) \frac{Q S}{B \Phi} \right] \left[1 - e^{-k F_p \left(\frac{1}{Q S} + \frac{1}{q s} \right)} \right] - (t_1 - t_0) \frac{Q S}{B \Phi} \quad (11)$$

Hiermit ist das Güteverhältniss für einen Parallelstromapparat bestimmt.

Für einen Gegenstromapparat ist:

$$F_g = \frac{1}{k} \frac{\log \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}}{\frac{1}{Q S} - \frac{1}{q s}} \quad (12)$$

$$W = Q S (T_0 - T_1) = q s (t_1 - t_0) \quad (13)$$

$$B \Phi = Q S (T_0 - u_0) \quad (14)$$

$$p = \frac{W}{B \Phi} = \frac{T_0 - T_1}{T_0 - u_0} \quad (15)$$

Setzt man in diesen Ausdruck für T_1 den aus (12) folgenden Werth

$$T_1 = t_0 + (T_0 - t_0) e^{-k F_g \left(\frac{1}{Q S} - \frac{1}{q s} \right)} \quad (16)$$

und für T_0 den aus (14) folgenden Werth

$$T_0 = u_0 + \frac{B \Phi}{Q S} \quad (17)$$

so findet man:

$$p = \left[1 - (t_1 - u_0) \frac{Q S}{B \Phi} \right] \left[1 - e^{-k F_g \left(\frac{1}{Q S} - \frac{1}{q s} \right)} \right] + \frac{Q S}{B \Phi} (t_1 - t_0) \quad (18)$$

In diesen Ausdrücken für Parallel- und Gegenströme bedeutet:

q die Wassermenge in Kilogrammen, welche stündlich in den Kessel getrieben wird,

s die spezifische Wärme des Wassers (also $s = 1$),

t_0 die Temperatur, mit welcher das Wasser in den Kessel eintritt,

t_1 die Temperatur, bis zu welcher das Wasser im Kessel erwärmt wird.

Noch muss hervorgehoben werden, dass bei Herleitung der Ausdrücke für F_k , F_p , F_g vorausgesetzt wurde, dass in jedem Punkte eines und desselben Querschnittes des heissen Stromes einerlei Temperatur herrsche. Diese Voraussetzung ist erfüllt, 1) wenn ein Beharrungszustand vorhanden ist, 2) wenn die normale Weite der Kanäle der Ströme nicht gross ist, 3) wenn die Atome der Ströme nicht geradlinig fortschreiten, sondern durch die Kanäle fortwirbeln, so dass alle Atome mit der Heizfläche in Berührung kommen.

Wir wollen nun den Ausdruck (5) für das Güteverhältniss eines Kesselapparates in's Auge fassen. Dieser Werth von η soll sich so viel als möglich der Einheit nähern oder es soll $(t_1 - u_0) \frac{Q}{B \cdot \xi}$ so klein als möglich und $\frac{k F_k}{Q S}$ so gross als möglich sein.

Es ist mithin vortheilhaft:

- 1) Wenn $t_1 - u_0$ klein ist. Es ist also vortheilhaft, wenn die Luft mit hoher Temperatur in den Feuerherd einströmt, und wenn im Kessel Dampf von niedriger Spannung gebildet wird.
- 2) Wenn $\frac{Q}{B}$ klein ist, d. h. wenn die Verbrennung mit der geringsten Menge von atmosphärischer Luft erfolgt. Für Steinkohlenfeuerung ist diese geringste Menge 12; bei Dampfkesselfeuerungen ist aber der Erfahrung zu Folge die Luftmenge, welche in den Feuerherd einströmt, $1 + \frac{1}{2}$ bis zwei mal so gross, als die geringste Luftmenge, ist demnach: $\frac{Q}{B} = 18$ bis 24.
- 3) Wenn ξ gross ist, d. h. wenn eine möglichst vollkommene Verbrennung stattfindet, in welchem Falle ξ gleich wird der Heizkraft des Brennstoffes. Für Steinkohlen ist die Heizkraft bei guter Qualität 7000 Calorien, weil aber die Verbrennung niemals ganz vollkommen erfolgt, indem immer etwas Rauch entwickelt wird, ist für ξ nicht mehr als 6000 in Rechnung zu bringen.
- 4) Wenn s klein ist, d. h. wenn die spezifische Wärme der Verbrennungsgase klein ist. Allein diese spezifische Wärme ist nie merklich von jener der atmosphärischen Luft verschieden, weil die Verbrennungsgase theils aus unzersetzter atmosphärischer Luft, theils aus Bestandtheilen derselben bestehen. Es ist demnach s jederzeit nahe gleich 0.237.

Der Werth des Exponenten $\frac{k F_k}{Q S}$ wird möglichst gross:

5) Wenn k gross ist, d. h. wenn die Wärme leicht in den Kessel eindringt. Es ist also das Anrosten des Kessels, das Ansetzen von Rauch, Russ und von Kesselstein sehr nachtheilig. Auch ist eine grosse Dicke der Kesselwand nicht gut, obgleich dieses Element auf den Werth von k keinen grossen Einfluss hat. Jedenfalls sind aber Kessel mit engen dünnwandigen Heizröhren besser, als weite dickwandige Kessel. Auch ist Messing und Kupferblech etwas besser als Eisenblech, weil bei jenen Metallen das Wärmeleitungsvermögen grösser ist, als für Eisen. Die Hauptsache bleibt aber jederzeit, dass die Kesselwand rein metallisch erhalten, also sorgfältig von Asche, Russ und Kesselstein gereinigt werde. Unsere Formel verlangt demnach als Bedingung einer vortheilhaften Wärmebenutzung einen gewissenhaften fleissigen Heizer. Der Wärmedurchgang erfolgt aus Luft durch eine Wand in Wasser leichter, als aus Luft durch die gleiche Wand in Dampf. Im ersteren Falle ist $k = 23$, im letzteren $k = 12$. (Siche Seite 344.) Es ist daher von Wichtigkeit, dass der Dampf, so wie er an der heissen Kesselwand entstanden ist, nicht daselbst sitzen bleibt und so zu sagen einen Dampfpelz bildet, sondern sogleich in den Dampfraum des Kessels aufsteigt. Daher sind alle Kesseleinrichtungen vortheilhaft, welche diese Aufsteigung des Dampfes erleichtern, und die Ansammlung des Dampfes an der Kesselwand nicht begünstigen. Auch ist es gut, wenn sich das Wasser im Kessel in rascher Wirbelung und Strömung befindet, weil dadurch der Dampf von der Kesselwand weggetrieben wird. Ungemein vortheilhaft sind in allen diesen Beziehungen die Röhrenkessel der Lokomotiven. Die Röhren sind eng, von Messing, die Wanddicke ist klein und im Lauf der Lokomotive werden die Röhren erschüttelt, so dass sie den an ihrer Oberfläche entstehenden Dampf abschütteln.

6) Jener Exponent fällt ferner gross aus, wenn $\frac{F_k}{Q}$ gross ist.

Es ist aber $\frac{F_k}{Q} = \frac{F_k}{B} \cdot \frac{B}{Q} = \frac{F_k}{B} \cdot \frac{B}{Q}$. Es ist daher vortheilhaft,

wenn die Heizfläche des Kessels im Verhältniss zur Brennstoffmenge, die stündlich auf dem Rost verbrannt wird, gross ist, oder wenn der Kessel schwach geheizt wird, und wenn ferner $\frac{Q}{B}$ klein ist, also die Verbrennung mit möglichst wenig

Luft geschieht. Die Konstruktion der Lokomotivkessel ist für die Dampferzeugung sehr günstig, allein sie werden beim gewöhnlichen Gebrauch sehr angestrengt, sie werden sehr stark geheizt, daher ist ihre Leistung nicht so günstig, als die der Fabrikessel, die verhältnissmässig viel schwächer geheizt werden.

Wir müssen nun noch aus der Formel für ρ das herauslesen, was nicht darin enthalten ist, nämlich dasjenige, wovon ρ nicht abhängt.

7) Das Güteverhältniss ρ ist unabhängig von der Form des Kessels.

Wir haben zwar bei der Herleitung dieser Formel eine ganz einfache spezielle Form des Kessels angenommen, allein wenn man die Reihenfolge der Schlüsse überdenkt, welche zur Aufindung des Ausdruckes für ρ geführt haben, so wird man leicht erkennen, dass dieser Ausdruck für ρ für jede Kessel-form gilt. Abgesehen von dem Werth von k , geben also alle Kessel, wie auch ihre Form beschaffen sein mag, gleich günstige Resultate, wenn sie gleich grosse Heizflächen haben und gleich stark geheizt werden.

8) Das Güteverhältniss ρ ist unabhängig von dem Querschnitt und von der Länge der Luftzüge und hängt folglich (abgesehen vom Kaminzug) auch nicht von der Geschwindigkeit ab, mit welcher die Verbrennungsgase durch die Luftkanäle strömen. Dieses Ergebniss dürfte im ersten Augenblick befremden und ist auch im Widerspruch mit der Ansicht, welche bei den Kessel-Praktikern vorherrschend angetroffen wird. Allein die Richtigkeit dieses Ergebnisses ist dennoch leicht zu erkennen. Führt man die Luft 2, 3, 4 . . . mal längs des Kessels hin und her, so fallen die Querschnitte der Luftkanäle 2, 3, 4 . . . mal kleiner aus, und wird die Geschwindigkeit 2, 3, 4 . . . mal grösser. Aber dessen ungeachtet bleibt die Zeit, in welcher die Verbrennungsgase von dem Rost nach dem Kamin gelangen, immer die gleiche, wenn bei einer 2, 3, 4 . . . mal so grossen Weglänge die Geschwindigkeit 2, 3, 4 . . . mal grösser ist. Die Luft bleibt also immer gleich lange mit dem Kessel in Berührung, sei es, dass man dieselbe nur einmal längs des Kessels fortleitet oder mehrmals längs des Kessels hin und her führt. Aber auch die neuere Praxis der Kesselkonstruktion liefert den thatsächlichen Beweis, dass es auf die Länge der Züge nicht ankommt. Bei den Lokomotivkesseln, bei den neueren Dampfschiffkesseln und auch bei manchen in neuerer Zeit in Anwendung gekom-

menen Fabrikkeseln ist die Zuglänge sehr klein, und dennoch ist es Thatsache, dass diese Kessel unter sonst gleichen Umständen eben so gute Resultate liefern, als die älteren Kessel mit langen Luftzügen. Wenn es auf die Länge der Luftzüge ankäme, wie die meisten Empiriker behaupten, müssten alle diese neuen Kesselkonstruktionen verworfen und z. B. für Dampfschiffe die ältern langzügigen Labyrinthkessel wieder eingeführt werden.

- 9) Beachtet man die Voraussetzungen, welche der Bestimmung von p zu Grunde gelegt wurden und die Bedingungen, welche erfüllt werden müssen, damit das Kamin einen lebhaften Zug hervorbringen kann, so findet man, dass es vortheilhaft ist:
- a) wenn die Luftzüge kurz sind, b) wenn die Querschnitte der Luftzüge gross, aber c) gleichwohl die Weite der Luftzüge klein ist. Die Weite der Luftzüge soll klein sein, weil nur dann, wenn diese Bedingung erfüllt ist, allen Atomen der Verbrennungsgase Gelegenheit geboten wird, ihre Wärme an die Kesselwand abzugeben. Die Luftzüge sollen kurz sein und einen grossen Querschnitt haben, weil dadurch der Reibungswiderstand der Verbrennungsgase an den Wänden der Kanäle vermindert wird. Die Röhrenkessel der Lokomotiven und Dampfschiffe entsprechen sehr wohl diesen Anforderungen. Die Röhren sind nur 2 bis 3^m lang. Die Summe der Querschnitte sämtlicher Röhren ist gross, und der Röhrendurchmesser beträgt bei Schiffskesseln 6 bis 8, bei Lokomotivkesseln 3 bis 4^{cm}. Das was wir in unserer Rechnung normale Weite genannt haben, ist also bei diesen Röhrenkesseln der Halbmesser einer Röhre, beträgt demnach bei Schiffskesseln nur 3 bis 4, bei Lokomotivkesseln 1.5 bis 2^{cm}.
- 10) Wir haben Seite 352 gezeigt, dass ein Gegenstromapparat vortheilhafter ist, als ein Kesselapparat, dass jedoch dieser Vortheil nur dann erheblich ist, wenn die zu erwärmende Flüssigkeit auf eine sehr hohe Temperatur zu bringen ist. Die Temperatur des Wassers ist in den Dampfkesseln gewöhnlich nicht höher als 150°, der Vortheil eines Gegenstroms ist daher für Dampfkessel nie von grossem Belang, aber doch von einigem Werth. Es gilt daher die Regel, dass man auch bei Dampfkesseln eine Gegenströmung herbeiführen soll, was jederzeit wenigstens annähernd dadurch geschehen kann, indem man das Speisewasser an der Stelle in den Kessel eintreten lässt, wo die Verbrennungsgase die Heizfläche verlassen und nach dem Kamin entweichen.

Wenn wir nun die Ergebnisse dieses Studiums über das Güteverhältniss eines Dampfkessels in Kürze resumiren, so lautet das Resumee wie folgt:

Es ist für die Dampferzeugung in einem Dampfkessel vortheilhaft:

- 1) Eine hohe Temperatur der in den Feuerherd einströmenden Luft (Vorwärmung dieser Luft durch die Kamingase).
- 2) Eine niedrige Temperatur des Wassers im Kessel. Niederdruckdampf, aber hohe Temperatur des Speisewassers.
- 3) Vollständige Verbrennung des Brennstoffes, jedoch mit dem zum Verbrennen nothwendigen Minimum von atmosphärischer Luft.
- 4) Geringe spezifische Wärme der atmosphärischen Luft.
- 5) Reine metallische Kesselwand. Keine Asche, Russ, Kesselstein.
- 6) Enge dünnwandige Heizröhren aus Kupfer- oder Messingblech.
- 7) Schüttelnde Bewegung dieser Heizröhren und lebhafte Zirkulation des Wassers.
- 8) Vermeidung von Dampfansammlungen an der Heizfläche.
- 9) Grosse Heizfläche des Kessels.
- 10) Kurze Heizröhren, grosse Gesamtquerschnitte derselben bei geringer Weite der Röhren.
- 11) Gegenströmung.

Heizfläche eines Dampfkessels. Dampfmenge, welche erzeugt wird. Die wichtigste Bedingung einer vortheilhaften Benutzung der Wärme der Verbrennungsgase ist, wie wir gesehen haben, eine im Verhältniss zur Brennstoffmenge, welche stündlich verbrannt werden soll, grosse Heizfläche. Allein man braucht in dieser Hinsicht gewisse Grenzen nicht zu überschreiten, indem das Güteverhältniss nicht proportional mit der Grösse der Heizfläche wächst, sondern nach einem Exponentialgesetz zunimmt. Stellt man das Güteverhältniss [Gleichung (5) Seite 359] graphisch dar, indem man die Heizflächen als Abscissen, die entsprechenden Werthe der Güteverhältnisse als Ordinaten aufträgt, so erhält man eine Kurve von der Gestalt, wie Tafel XV., Fig. 5 zeigt. Diese Kurve steigt von 0 an rasch an, geht aber von einem gewissen Punkt m , an in eine zur Abscissenaxe parallelen Assymptote über. Das will sagen, dass das Güteverhältniss nicht mehr erheblich wächst, wenn einmal die Heizfläche eine gewisse Grösse hat. Es ist daher für die Praxis nicht nothwendig, die Heizfläche übermässig gross zu machen, denn mit einem Güteverhältniss von 75% bis höchstens 80% kann man zu-

frieden sein und dieses Verhältniss kann mit einer mässigen Ausdehnung der Heizfläche erzielt werden.

Vermittelst der Ausdrücke für die Güteverhältnisse kann man leicht die Dampfmengen berechnen, welche im Kessel stündlich erzeugt werden.

Es ist $B \Phi$ die Wärmemenge, welche stündlich durch die Verbrennung von B Kilogrammen Brennstoff entwickelt wird. $p B \Phi$ die Wärmemenge, welche stündlich in den Kessel eindringt. Bedienen wir uns zur Berechnung der Dampfmenge \mathcal{S} , welche stündlich gebildet wird, der minder, aber doch für praktische Zwecke hinreichend genauen *Watt'schen* Regel, so wird die Wärmemenge, welche zur Bildung von \mathcal{S} Kilogrammen Dampf aus Wasser von t_0 Grad Temperatur nothwendig ist, ausgedrückt durch $\mathcal{S} (650 - t_0)$; man hat daher:

$$p B \Phi = \mathcal{S} (650 - t_0) \quad \dots \quad (1)$$

Hieraus folgt:

$$\frac{\mathcal{S}}{B} = \frac{p \Phi}{650 - t_0} \quad \dots \quad (2)$$

Setzen wir für p den Werth [Gleichung (5), Seite 359], den wir für einen Kesselapparat gefunden haben, so erhalten wir:

$$\frac{\mathcal{S}}{B} = \frac{\Phi}{650 - t_0} \left[1 - \frac{Q S}{B \Phi} (t_1 - u_0) \right] \left(1 - e^{-\frac{k F_k}{Q S}} \right) \quad \dots \quad (3)$$

Aus Gleichung (5), Seite 359, folgt auch:

$$\frac{F_k}{B} = \frac{Q S}{k B} \operatorname{lognat} \frac{1 - (t_1 - u_0) \frac{Q S}{B \Phi}}{1 - p - (t_1 - u_0) \frac{Q S}{B \Phi}} \quad \dots \quad (4)$$

Endlich folgt aus (1) und (4):

$$\frac{F_k}{\mathcal{S}} = \frac{Q S}{B k} \frac{650 - t_0}{\Phi} \frac{1}{p} \operatorname{lognat} \frac{1 - (t_1 - u_0) \frac{Q S}{B \Phi}}{1 - p - (t_1 - u_0) \frac{Q S}{B \Phi}} \quad \dots \quad (5)$$

Die Gleichung (3) bestimmt die Dampfmenge in Kilogrammen, welche mit einem Kilogramm Brennstoff erzeugt wird.

Die Gleichung (4) bestimmt die Grösse der Heizfläche für jedes Kilogramm Brennstoff, der in einer Stunde verbrannt wird, vorausgesetzt, dass dem Kessel ein gewisses Güteverhältniss zukommen soll.

Die Gleichung (5) bestimmt die Heizfläche, welche der Kessel wegen jedem Kilogramm Dampf erhalten soll, bei einem gewissen Güteverhältniss.

Setzen wir:

$$\frac{Q}{B} = 22, \quad \Phi = 7000, \quad t_1 - u_0 = 100^\circ, \quad t_0 = 50^\circ, \quad S = 0.237, \quad k = 23$$

so finden wir:

$$p = 0.93 \left(1 - e^{-\frac{970}{B} \frac{F_k}{B}} \right) \quad (6)$$

$$\frac{\mathcal{G}}{B} = 11.7 p \quad (7)$$

$$\frac{F_k}{B} = 0.227 \operatorname{lognat} \frac{0.93}{0.93 - p} \quad (8)$$

$$\frac{F_k}{\mathcal{G}} = \frac{0.02}{p} \operatorname{lognat} \frac{0.93}{0.93 - p} \quad (9)$$

Hieraus findet man:

$$\text{für } p = 0.20 \quad 0.30 \quad 0.40 \quad 0.50 \quad 0.60 \quad 0.70 \quad 0.80$$

$$\frac{\mathcal{G}}{B} = 2.34 \quad 3.51 \quad 4.68 \quad 5.85 \quad 7.02 \quad 8.19 \quad 9.36$$

$$\frac{F_k}{B} = 0.059 \quad 0.092 \quad 0.133 \quad 0.179 \quad 0.233 \quad 0.309 \quad 0.448$$

$$\frac{F_k}{\mathcal{G}} = 0.025 \quad 0.026 \quad 0.028 \quad 0.031 \quad 0.033 \quad 0.037 \quad 0.047$$

Gewöhnlich wird die Handwerksregel befolgt, dass der Kessel für jede Pferdekraft der Maschine bei Landmaschinen 1.5^{qm} bei Schiffsmaschinen 1^{qm} Heizfläche erhalten soll. Allein diese Regel ist nicht gut, weil die Heizfläche des Kessels nach der Dampfmenge, die er erzeugen soll, bestimmt werden muss, die Dampfmenge, welche für eine Pferdekraft der Maschine nothwendig ist, aber von dem Güteverhältniss der Dampfmaschine abhängt.

Berechnung der Heizfläche eines Vorwärmers In dem Vorwärmer eines Dampfkessels sollen keine Dämpfe gebildet werden, sondern soll nur das Wasser bis zu einer gewissen Temperatur gebracht werden.

Es sei Tafel XV., Fig. 6 A B der Hauptkessel. B C der Vorwärmer. Das Ganze sei ein Gegenstromapparat. Das Wasser tritt bei C mit einer Temperatur t_0 ein und erreicht zuletzt eine Temperatur t_1 . Nehmen wir an, es soll im Vorwärmer bis zu t_2 erwärmt werden, so ist dies die Temperatur, die es bei B besitzt, wo es in den Hauptkessel übertritt. Die Verbrennungsgase treten bei A mit einer Temperatur T_0 ein und bei C mit einer Temperatur T_1 aus;

bei B besitzen sie noch eine gewisse, vorläufig noch unbekannte Temperatur T_2 . Nennen wir F_g die totale Heizfläche des ganzen Kessels und Vorwärmers, f_g die Heizfläche des Vorwärmers BC, w die Wärmemenge, welche stündlich in den ganzen Kessel eindringt, w die Wärmemenge, welche stündlich in den Vorwärmer eindringen soll, \mathcal{E} die Dampfmenge in Kilogrammen, welche stündlich gebildet werden soll, L die Luftmenge in Kilogrammen, welche stündlich nach dem Kamin zieht, s ihre spezifische Wärme.

Dies vorausgesetzt, haben wir nun für den ganzen Kessel zu setzen:

$$F_g = \frac{W}{k} \frac{\text{lognat} \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}}{T_0 - T_1 - (t_1 - t_0)} \dots \dots \dots (1)$$

$$W = (650 - t_0) \mathcal{E} = L s (T_0 - T_1) \dots \dots \dots (2)$$

Offenbar erhalten wir die Heizfläche f_g des Vorwärmers, wenn wir in den Ausdruck (1) setzen:

$$w \text{ statt } W, \quad T_2 \text{ statt } T_0, \quad t_2 \text{ statt } t_1$$

Es ist demnach:

$$f_g = \frac{w}{k} \frac{\text{lognat} \frac{T_2 - t_2}{T_1 - t_0}}{T_2 - T_1 - (t_2 - t_0)} \dots \dots \dots (3)$$

$$w = \mathcal{E} (t_2 - t_0) = L s (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (4)$$

Aus den Gleichungen (2) und (4) folgt durch Division:

$$\frac{650 - t_0}{t_2 - t_0} = \frac{T_0 - T_1}{T_2 - T_1}$$

Hieraus ergibt sich:

$$T_2 = T_1 + (T_0 - T_1) \frac{t_2 - t_0}{650 - t_0} \dots \dots \dots (5)$$

Setzt man in den Ausdrücken (1) und (3) für w und w ihre Werthe und in (3) für T_2 den Werth (5), so findet man:

$$F_g = \frac{\mathcal{E} (650 - t_0)}{k} \frac{\text{lognat} \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}}{T_0 - T_1 - (t_1 - t_0)} \dots \dots \dots (6)$$

$$f_g = \frac{\mathcal{E} (t_2 - t_0)}{k} \frac{\text{lognat} \left(\frac{T_1 - t_2}{T_1 - t_0} + \frac{T_0 - T_1}{T_1 - t_0} \frac{t_2 - t_0}{650 - t_0} \right)}{(T_0 - T_1) \frac{t_2 - t_0}{650 - t_0} - (t_2 - t_0)} \dots \dots \dots (7)$$

Hiermit ist nun die totale Heizfläche des Kessels und die Heizfläche des Vorwärmers bestimmt.

Nehmen wir: $T_0 = 1000^\circ$, $T_1 = 150^\circ$, $t_0 = 10^\circ$, $t_1 = 100^\circ$, $t_2 = 150^\circ$,
so findet man:

$$F_g = 1.61 \frac{G}{k}, \quad f_g = 0.141 \frac{G}{k} \quad \dots \quad (8)$$

und

$$\frac{F_g}{f_g} = 11 \quad \dots \quad (9)$$

Festigkeitsverhältnisse der Dampfkessel. Eine Kesselberstung kann eintreten, wenn das Widerstandsvermögen der ganzen Kesselwand oder eine lokale Stelle derselben zu schwach ist gegen die aktiven Kräfte, welche unter Umständen eintreten. Die aktiven Kräfte sind: 1) die normale Pressung des Dampfes gegen die Kesselwände, 2) Ueberhöhung der normalen Dampfspannungen durch allmähliche Ansammlung des Dampfes, 3) plötzlich eintretende hohe Dampfspannungen durch rasche Dampfbildungen oder vielleicht auch durch explodirende Substanzen. Das Widerstandsvermögen richtet sich 1) nach der Festigkeit und Beschaffenheit des Materials aus welchem der Kessel besteht, 2) nach dem Zustand seiner Heizfläche, 3) nach der Form des ganzen Kessels oder einzelner Theile desselben, 4) nach der Wanddicke des ganzen Kessels oder einzelner Theile, 5) nach der Verbindung aller Theile des Kessels durch Vernietungen oder durch andere Befestigungsweisen.

Um zu erfahren, welche Bedingungen einer Kesselanordnung entsprechen, um der Gefahr einer Berstung möglichst zu entgehen, müssen wir diese bezeichneten Punkte näher betrachten.

Die normale Spannung des Dampfes beträgt in den Kesseln 2 bis 6 Atmosphären. Gegen diese normale Spannung kann man sich jederzeit und selbst bei ungünstiger Form durch eine hinreichende Dicke der Kesselwände vollkommen schützen. Eine Ueberhöhung der Dampfspannung durch allmähliche Ansammlung des Dampfes kann eintreten, wenn durch längere Zeit der Dampfabfluss gehindert ist, während die Feuerung fortgeht. Durch Anwendung von Sicherheitsventilen und gehörige Instandhaltung derselben kann man aber jederzeit das Eintreten einer zu hohen Dampfspannung durch allmähliche Ansammlung des Dampfes verhindern.

Anders verhält es sich, wenn plötzlich grosse Dampfmassen entwickelt werden, weil dadurch ganz lokalisirte hohe Dampfspannungen und daseibst heftige Erschütterungen der Kesselwand eintreten können, ohne dass das Sicherheitsventil merklich stärker gepresst wird. Sehr bedenklich ist in dieser Hinsicht ein beträchtliches Sinken des Wasserstandes im Kessel, was zur Folge haben kann, dass ein Theil der Heizfläche einerseits von den Verbren-

nungsgasen, andererseits nur vom Dampf, nicht aber vom Wasser berührt wird. Diese Theile der Kesselwand können glühend werden, und wenn sie dann wiederum mit Wasser in Berührung treten, müssen plötzliche Entwicklungen von Dampfmassen eintreten und in Folge derselben lokale intensive Pressungen und Erschütterungen. Solchen Einwirkungen vermag eine glühende Kesselwand nicht zu widerstehen, sie wird reissen, der Kessel wird bersten.

Die Ursachen, welche ein beträchtliches Sinken des Wasserstandes veranlassen können, sind sehr mannigfaltig: 1) schlechter Zustand der Speisepumpe; 2) Verstopfung des Zuleitungsrohres; 3) längerer Stillstand der Maschine bei fortdauernder Feuerung; 4) bei Dampfschiffen eine länger andauernde Neigung des Schiffes nach einer Seite hin, was zur Folge hat, dass die Kesseltheile der andern Seite gehoben werden und aus dem Wasser treten.

Dass sich in einem Kessel explodirende Substanzen ansammeln können, scheint zwar nicht wahrscheinlich zu sein, denn im Speisewasser sind sie doch nicht anzutreffen. Allerdings möchte es sein, dass Wasserzersetzungen und mithin Knallgasentwicklungen eintreten könnten. Auch ist zu bedenken, dass nach unserer Wärmetheorie bei Dampfbildungen grosse Aetherquantitäten frei werden und mit dem Dampf entweichen. Ob hierdurch unter Umständen elektrische Ladungen herbeigeführt werden könnten, kann wohl auch nicht unbedingt verneint werden. Unsere physikalischen und chemischen Kenntnisse von der Natur der Dinge sind noch nicht von der Art, dass man mit absoluter Gewissheit alle Möglichkeiten, die in einem Kessel eintreten können, voraussehen kann. Die Vorsicht rath daher zu dem Bekenntniss, dass unser Wissen noch unvollständig ist.

Hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit der Kessel ist Folgendes zu sagen.

Dass zu Kesseln gute dichte Bleche genommen werden sollen, bedarf kaum einer Erwähnung. Sehr nachtheilig ist die mit der Zeit fortschreitende Verrostung der Kessel an der Heizfläche, insbesondere an den Stellen, wo die Temperatur der Verbrennungsgase noch eine hohe ist. Erlaubt es die Form des Kessels, so ist es gut, wenn diese dem Rosten am meisten ausgesetzten Theile der Kesselwand aus dickeren Blechen hergestellt werden. Bei den Lokomotiven wird die Feuerbüchse sogar aus ganz dicken Kupferblechen hergestellt, weil dieses Material dem Verrosten weniger unterworfen ist, als das Eisen. Bedenklich ist ferner für die Widerstandsfähigkeit der Kessel das Ansetzen von Kesselstein. Die Speisewasser enthalten immer mehr oder weniger erdige Bestandtheile

(Kalkerde, Kieselerde, Thonerde). Diese fallen durch die Verdampfung zu Boden und bilden einen Niederschlag, der allmählig erhärtet. Bildet sich eine solche Kruste von Kesselstein an der Heizfläche, so kann diese durch die Verbrennungsgase glühend werden, wodurch ihre Festigkeit bedeutend geschwächt wird. In dieser Hinsicht sind die Schiffskessel und Lokomotivkessel sehr vortheilhaft, weil sich bei diesen der Kesselstein niemals an der Heizfläche, sondern nur am Boden der äusseren Umhüllung, die nicht Heizfläche ist, ansetzt und daher eher nützen als schaden kann, indem der Kesselstein als ein ziemlich schlechter Wärmeleiter gegen Wärmeverlust schützt. Man hat verschiedene Substanzen vorgeschlagen, um die Bildung von festem Kesselstein zu verhüten: fetter Thon, Seife, Syrop u. s. w. und überhaupt schleimige Substanzen, allein dadurch wird das Wasser des Kessels selbst etwas zähflüssig, was zur Folge hat, dass der Dampf viel Wasser mit sich fortreisst und in den Dampfzylinder bringt, wodurch abermals Nachtheile entstehen können. Das beste Mittel dürfte wohl bleiben, die Kessel oftmals zu reinigen, was allerdings in solchen Verhältnissen, wo eine continuirliche Thätigkeit der Kessel gefordert wird, störend ist.

Die Form der Kessel hat einen erheblichen Einfluss auf das Widerstandsvermögen. Die besten Formen sind der Kreiscylinder und die Kugelform, insbesondere, wenn der Dampfdruck von innen nach aussen wirkt, denn diese Formen werden durch einen von innen nach aussen wirkenden Druck nur ausgedehnt, nicht aber umgestaltet. Ungünstig ist es aber selbst bei einem Cylinder oder bei einer Kugel, wenn die Pressung von aussen nach innen statt findet. Bei einiger Ungleichheit in der Wanddicke oder Material-Beschaffenheit kann in diesem Falle eine beträchtliche oder sogar totale Formänderung oder Einrollung entstehen. Doch ist dies nur bei Cylindern von grossem Durchmesser, nicht aber bei engen Röhren von 5 bis 10^m Durchmesser zu befürchten. Die Kugelform kann nur ausnahmsweise angewendet werden, weil ihre Herstellung zu viele Schwierigkeiten oder doch unverhältnissmässige Kosten verursacht. Ebene Wandungen sind jederzeit ungünstig, insbesondere bei höheren Dampfspannungen. Durch die Blechdicke allein kann man ebenen Wandungen nicht die erforderliche Festigkeit geben, sondern man wird gezwungen, Verstärkungen mit Winkel-eisen oder Zusammenhängungen vermittelt Bolzen oder Stangen anzubringen.

Diese Grundsätze werden gegenwärtig in der Praxis sehr wohl beachtet. Für Fabrikessel werden gegenwärtig nur noch einfach cylindrische Kessel mit halbkugelförmigen Endflächen oder Zu-

sammensetzungen von cylindrischen Röhren angewendet, und bei den Schiffskesseln und Lokomotiven werden die ebenen Wandflächen so viel als nur möglich vermieden. Ganz umgehen kann man sie leider nicht, und muss sich deshalb mancherlei schwierige Verstärkungen gefallen lassen.

Metalldicke der Kesselwände. Die Dicke der Kesselwände kann für cylindrische und kugelförmige Kessel die von innen nach aussen gepresst werden, mit ziemlicher Sicherheit bestimmt werden.

In der Lehre von der Festigkeit der Gefässe haben wir für die Wanddicke eines von innen nach aussen gepressten cylindrischen Gefässes folgende Formel hergeleitet:

$$\delta = \frac{D}{2} \frac{n - n_1}{\mathfrak{A} + 2n_1 - n} \dots \dots \dots (1)$$

in welcher bedeutet: δ die Metalldicke der Wand, D der innere Durchmesser des Cylinders, n die innere, n_1 die äussere Pressung in Atmosphären ausgedrückt, \mathfrak{A} die auf einen Quadratcentimeter bezogene Spannung an der innern Fläche der Wand.

Diese Formel gibt für kleine Differenzen von $n - n_1$ so geringe Wanddicken, dass solche Kessel bei Zufälligkeiten und Einrostungen nicht bestehen könnten. Um also auch diesen Verhältnissen zu genügen, setzen wir:

$$\delta = \frac{D}{2} \left(\frac{n - n_1}{\mathfrak{A}_1 + 2n_1 - n} + \mathfrak{B}_1 \right) \dots \dots \dots (2)$$

und bestimmen \mathfrak{A}_1 und \mathfrak{B}_1 durch folgende empirische Thatsachen. Wir dürfen annehmen, dass ein Kessel von 100^{cm} Durchmesser doch eine Metalldicke von 0.5^{cm} erhalten soll, wenn der innere Druck dem äusseren gleich ist. Die Lokomotivkessel von 100^{cm} Durchmesser erhalten bei einer Dampfspannung von 6 Atmosphären eine Metalldicke von 1.2^{cm}. Vermittelst dieser Annahmen findet man aus (2) $\mathfrak{B}_1 = 0.01$ und $\mathfrak{A}_1 = 361$ und weil für alle Kessel $n_1 = 1$ gesetzt werden muss (n , annähernd der Druck der Atmosphäre auf 1^{atm}), so folgt aus (2)

$$\delta = D \frac{1.315 + 0.495 n}{363 - n} \dots \dots \dots (3)$$

Diese Formel gibt:

für $n = 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8 \text{ Atm.}$

$$\frac{\delta}{D} = 0.0050 \quad 0.0064 \quad 0.0077 \quad 0.0092 \quad 0.0106 \quad 0.0120 \quad 0.0139 \quad 0.0149$$

und es ist zu bemerken, dass diese Dimensionen im Allgemeinen

etwas stärker sind, als diejenigen, welche in Frankreich und Preussen vorgeschrieben werden.

In Frankreich ist die Regel vorgeschrieben:

$$\frac{\delta}{D} = 0.0018 (n - 1) + \frac{0.3}{D} \quad (4)$$

(n in Atmosphären δ , D in Centimetern), und diese gibt für $D = 100$ und für

$n =$	1	2	3	4	5	6
$\frac{\delta}{D} =$	0.0030	0.0048	0.0066	0.0084	0.0102	0.0120

Kugelförmige Kessel sind etwas fester als cylindrische, es genügt deshalb, die für cylindrische Formen aufgestellten Regeln auch für Kugelformen anzuwenden. Regeln aufzustellen für ebene Wandungen und die dabei nothwendigen Verstärkungen würde uns hier zu weit führen, wer sich hierüber unterrichten will, möge den Lokomotivbau Seite 245 bis 272 nachsehen, ferner *Scheffler's* Werkchen „die Elastizitätsverhältnisse der Röhren“ berücksichtigen.

Was die Vernietungen betrifft, so sind bereits in der Theorie der Maschinenbestandtheile, Seite 148, Regeln aufgestellt worden. Nach diesen Regeln sind die Verhältnisse für einfache Vernietungen folgende:

Dicke des Bleches	δ
Durchmesser des Nietbolzens	2δ
Entfernung der Niete von Mittel auf Mittel	5δ
Entfernung der Nietmittel vom Blechrand	3δ
Durchmesser des halbkugelförmigen Kopfes	3δ
Durchmesser des konischen Kopfes	4δ
Höhe eines jeden dieser Köpfe	1.5δ

Dass diese Regeln für die Blechdicke und für die Vernietung eine hinreichende Festigkeit gewähren, ergibt sich aus Folgendem.

Aus der Formel (1) folgt für die am innern Umfang des Kessels herrschende Spannung:

$$\mathfrak{A} = \frac{D}{2\delta} (n - n_1) + n - 2n_1 \quad (5)$$

Die aus der Formel (3) berechnete Tabelle gibt für $n = 6$, $n_1 = 1$, $\frac{\delta}{D} = 0.012$ und vermittelt dieser Werthe folgt aus (5): $\mathfrak{A} = 212 \text{Kilg.}$

Die absolute Festigkeit von gutem Eisenblech ist aber wenigstens 4000, daher ist das Kesselblech auf $\frac{212}{4000}$ oder nahe auf $\frac{1}{20}$ in Anspruch genommen. Bei den für die Vernietung aufgestellten Regeln

ist aber die Festigkeit der Vernietung $\frac{1}{1.32}$ von der Festigkeit des Bleches. Dieser Kessel ist demnach auf $\frac{1.32}{20} = \frac{1}{15}$ der Kraft in Anspruch genommen, d. h. es würde die Vernietung reissen bei einer Kraft, die 15 mal so gross ist als diejenige, welche im Normalzustand des Kessels auf denselben einwirkt.

Sicherheitsapparate.

Automatisch wirkende Apparate oder Einrichtungen, welche eine absolute Sicherheit zu gewähren im Stande wären, kann es nicht geben. Eine gute Kesseleinrichtung vorausgesetzt, erreicht man den höchsten Grad von Sicherheit durch einen wohlinstruirten umsichtigen und gewissenhaften Heizer. Dieser muss aber in die Lage versetzt werden, erkennen zu können, ob sich der Kessel im geordneten Normalzustand befindet, und dazu dienen die sogenannten Sicherheitsapparate. Diese sind: 1) Wasserstandsanzeiger, 2) Manometer (Spannungsanzeiger), 3) Sicherheitsventile, welche sich öffnen und den Dampf entweichen lassen, wenn derselbe durch allmähliche Ansammlung eine gewisse Spannkraft erreicht hat. Diese Apparate sollen nun beschrieben werden.

A. Wasserstandsanzeiger.

1) **Probegähnen.** Tafel XV., Fig. 7. *a b c* sind drei mit Hahnen verschliessbare Röhrchen. *a* mündet in den Dampfraum des Kessels, etwas über dem normalen Wasserstand im Kessel. *b* mündet in der Höhe dieses Normalwasserstandes. *c* etwas unter dem Normalwasserstand. Durch das Oeffnen der Hahnen kann man erkennen, ob der Normalwasserstand vorhanden ist. Ist dies der Fall, so strömt durch *a* Dampf, durch *b* Wasser und Dampf, durch *c* nur Wasser aus. Der Wasserstand ist zu niedrig, wenn durch *a*, *b* und *c* oder durch *a* und *b* Dampf ausströmt. Der Wasserstand ist zu hoch, wenn durch *a*, *b* und *c* oder durch *b* und *c* Wasser ausströmt. Verlässlich ist jedoch diese Probe nicht, weil das Wasser im Kessel nicht ruhig ist, sondern durch das Sieden und Aufwallen stets tumultuarisch bewegt ist.

2) **Das Niveau.** Tafel XV., Fig. 8. *a* ist eine mit messingener Fassung *b b*, versehene Glasröhre. *c c* sind mit Hahnen *d d*, versehene Röhren. *c* mündet in den Dampfraum, *c*₁ in den Wasserraum

des Kessels. Werden die Hahnen geöffnet, so tritt in *a* ein Wasserstand ein, der mit jenem im Kessel übereinstimmt. Die Gebrechlichkeit der Glasröhre und das Erblinden des Glases durch Ansetzen von Unreinigkeiten des Wassers sind Misslichkeiten, die jedoch ein vorsichtiger und fleissiger Heizer zu umgehen weiss.

3) *Der Schwimmer.* Tafel XV., Fig. 9. *a* ist ein geschlossenes Blechgefäss, dass so tarirt ist, dass es im halbeingetauchten Zustand im Wasser schwimmt. *b* ein Draht, der bei *c* durch eine Art Stopfbüchse geht. An derselben ist ein feines Kettchen befestigt, das oben um ein Röllchen *d* gelegt ist und auf der andern Seite durch ein Gewicht *e* gespannt wird. Das mit einer Eintheilung versehene Röllchen *d* dreht sich möglichst frei um eine Axe, die durch eine Stütze getragen wird, und an der Stütze befindet sich ein unbeweglicher auf die Eintheilung weisender Zeiger. Wenn des Wasser im Kessel steigt oder fällt, folgt der Schwimmer nach, wird das Röllchen gedreht und weiset der Zeiger den Wasserstand. Der Heizer hat dafür zu sorgen, dass der Apparat leicht spielt.

4) *Der Magnet.* Tafel XV. Fig. 10. *a* ist ein Schwimmer, der halbeingetaucht im Wasser schwimmt. Er ist mit einem Stiel versehen, an dessen oberes Ende ein kleiner Magnet *b* befestigt ist. *c d e f* ist ein Messinggehäuse. Der Magnet tastet gegen die Fläche *b* des Gehäuses. Ausserhalb der Wände *e e* ist ein leichtes Eisenstäbchen, das von dem Magnet angezogen wird. Wenn der Wasser Spiegel steigt und fällt, gleitet der Magnet *b* in der Fläche *e e* auf und ab und führt das ausserhalb befindliche Eisenstäbchen mit sich fort, wodurch der Wasserstand angedeutet wird. *g h* ist ein Glasverschluss. Der Gedanke, auf welchem dieser Apparat beruht, ist ganz nett, aber von praktischem Werth kann die Sache nicht sein, weil durch den tumultuarischen Zustand des Wassers im Kessel nicht nur vertikale, sondern auch horizontale Bewegungen des Schwimmers hervorgerufen werden, welche letztere veranlassen werden, dass der Magnet nicht immer an der Fläche *e e* anliegen wird, demnach das als Zeiger dienende Eisenstäbchen herabfallen wird.

B. Manometer.

1) *Quecksilbermanometer für schwache Dampfspannungen.* Tafel XV., Fig. 11. *a b* ist eine oben offene eiserne Röhre von 2.5^{cm} Weite, die mit dem Dampfraum des Kessels kommuniziert. Sie enthält Quecksilber, in welchem ein mit einer Skala versehenes Eisenstäbchen

schwimmt. Der Vertikalabstand der Quecksilbersäule misst den Unterschied zwischen der Dampfspannung und dem äussern atmosphärischen Druck, und diese Differenz wird durch die Stellung der Skala von *c* gegen den obern Rand des Schenkels *b* angegeben. Ist brauchbar, wenn die Dampfspannung im Kessel jene des atmosphärischen Druckes nur wenig übertrifft.

2) Quecksilbermanometer für hohe Dampfspannungen. Tafel XV., Fig. 12. *a* ist eine eiserne Röhre von circa 2·5^{cm} Weite mit einem kurzen und einem langen Schenkel. Sie enthält Quecksilber, in welchem ein Eisenstäbchen schwimmt. Es hängt an einem feinen Kettchen, das oben über ein leichtes Röllchen *b* gelegt und mit einem Metallblättchen versehen ist, das als Zeiger dient, der auf eine Skala *d e* weist. So wie das Quecksilber im langen Schenkel steigt und fällt, folgt das schwimmende Stäbchen nach und wird durch den Zeiger des Plättchens *c* die Differenz zwischen der Kesselspannung und dem Druck der Atmosphäre angegeben. Muss sorgfältig beaufsichtigt werden, braucht viel Quecksilber, namentlich bei Spannungen von 5 bis 6 Atmosphären.

3) Das Luftmanometer. Tafel XV., Fig. 13. Dieses Manometer ist wie ein Reisebarometer eingerichtet. Das Glasrohr *a* ist geschlossen und enthält bei *b* Luft. Das Quecksilbergefäss steht durch ein Röhrchen *b* in Kommunikation mit dem Dampfraum des Kessels. Neben der Glasröhre ist eine Skala aufgestellt. Der bei *b* eintretende Dampf treibt das Quecksilber aus dem Gefäss in die Glasröhre, wodurch die Luft comprimirt wird, bis ein Gleichgewichtszustand eintritt, in welchem der Luftdruck und der Druck der Quecksilbersäule gleich ist dem Dampfdruck. Die Intervalle der Skala fallen nicht gleich gross aus, sondern nehmen mehr und mehr ab, so wie die Spannung wächst. Schon dadurch ist dieses Instrument nicht gut, indem es schwache Spannungen verlässlicher angibt als starke. Ueberdies kann eine bestimmte Skala nur für eine ganz bestimmte Temperatur der eingeschlossenen Luft richtig sein, was abermals Ungenauigkeiten veranlassen muss, indem die Temperatur der Luft nicht konstant erhalten werden kann. Diese Manometer sind wenig mehr im Gebrauch.

4) Das abgekürzte Quecksilbermanometer. Tafel XV., Fig. 14 ist eine theoretische Darstellung dieses Instrumentes. Es besteht aus einem mehrfach gekrümmten Rohr aus Eisen. *a* kommuniziert mit dem Dampfkessel, *b* mit der freien Luft. Die Röhrenstücke sind

theils mit Quecksilber, theils mit Wasser so gefüllt, dass alle Quecksilberflächen auf gleichem Niveau stehen, wenn bei *a* und *b* gleich grosse Pressungen einwirken. Ist aber die Pressung bei *a* grösser als jene von *b*, so wird diese Differenz angegeben durch die Summe der Quecksilberniveau-Differenzen in sämtlichen Krümmungen, und weil die Niveaudifferenzen in allen gleich gross sind, so findet man ihre Summe, wenn man die letzte Niveaudifferenz beobachtet und mit der Anzahl der Krümmungen multipliziert. Um das Instrument möglichst compendiös zu machen, werden die Röhren so zusammengewunden, dass die Windungen nebeneinander liegen.

Federmanometer. Tafel XV., Fig. 15. Diese beruhen auf dem Gedanken, durch den Dampfdruck ein Gefäss deformiren zu lassen und nach der Grösse der Deformirung die Intensität des Dampfdruckes zu messen. Dass dieser Gedanke in sehr verschiedener Weise verwirklicht werden kann, ist selbstverständlich. Ein Beispiel wird zum Verständniss genügen. *a* ist eine an den Enden *b* und *c* geschlossene bogenförmige Röhre aus dünnem Kupferblech. Ihr Querschnitt ist nicht kreisrund, sondern länglich rund. Sie geht durch eine Messingfassung *a* und kommuniziert durch eine Wandlücke mit dem Röhrchen *e*, das mit einem Hahn *f* versehen ist und an den Kessel geschraubt wird. An den Enden der Röhre sind zwei Stängelchen eingehängt, die auf einen mit einem verzahnten Sektor versehenen Hebel *g* wirken. Der Sektor treibt ein kleines Getriebe *h*, an dessen Axe ein Zeiger angebracht ist, der auf ein Zifferblatt weist, das sich an der Rückseite des Gehäuses befindet. Lässt man bei *e* Dampf eintreten, so wird das Röhrchen *a* deformirt, seine Enden gehen auseinander, wirken vermittelt der Zugstängelchen auf den Sektorhebel und dieser wirkt vermittelt des Getriebes *h* auf den Zeiger. Um die Zifferblatteintheilung zu machen, lässt man die Dämpfe von verschiedener Spannkraft auf das Federmanometer und auf ein Quecksilbermanometer einwirken, bemerkt die jedesmalige Stellung des Zeigers, bemerkt die durch das Quecksilbermanometer bestimmte Spannkraft und sucht zuletzt die Zwischenpunkte der Eintheilung durch Interpolation. Diese Federmanometer werden wahrscheinlich mit der Zeit alle andern Arten von Manometer verdrängen. Sie gewähren zwar nicht die Genauigkeit der Quecksilbermanometer, allein als Spannungsanzeiger sind sie doch hinreichend genau und können nicht nur bei stehenden Maschinen, sondern auch bei Dampfschiffen und Lokomotiven gebraucht werden. Von Zeit zu Zeit soll das Instrument geprüft werden, weil sich möglicher Weise die Elastizität der Röhre ändern kann, in welchem

Falle die Skala unrichtig wird. Die Ingenieure *Schinz* im Zürich, *Schäffer* in Magdeburg, *Bourdon* in Paris fertigen derlei Manometer.

C. Das Sicherheitsventil.

Tafel XV., Fig. 16 zeigt die gebräuchlichste Einrichtung eines Sicherheitsventiles für Landmaschinen. *a* ist eine mit dem Dampfraum des Kessels kommunizierende Röhre. An die Mündung derselben ist der Ventilsitz *b* aus Messing geschraubt. Bei Lokomotiven ist der Ventilsitz konisch, bei Landmaschinen in der Regel eben ringförmig. Das Ventil *c* wird durch Rippen geführt, welche an der cylindrischen Aushöhlung des Sitzkörpers *b* anliegen. *d* ist ein Hebel, der bei *f* seinen Drehungspunkt hat, bei *g* durch eine Schleife geführt wird und durch ein Gewicht *h* belastet ist. Er drückt vermittelt eines Tasters gegen das Ventil *c*.

Es ist schon früher gesagt worden, dass man sich durch ein solches Ventil nur sichern kann, wenn die Spannung des Dampfes bei allmählicher Ansammlung desselben im Kessel nicht über eine gewisse Grenze gehen kann. Gegen die Wirkung von plötzlichen Entwicklungen grösserer Dampfmassen kann diese Einrichtung nicht Schutz gewähren. Damit das Ventil das leistet, was man von demselben verlangen kann, muss es gewisse Dimensionen und eine gewisse Belastung erhalten.

Nennen wir:

- F* die Heizfläche des Kessels in Quadratmetern,
- N* die Pferdekraft des Kessels,
- s* die Dampfmenge in Kilogrammen, welche in jeder Sekunde in dem Kessel produziert wird (bei normaler Heizung),
- Ω den Querschnitt der Ventilöffnung,
- P* die Belastung des Ventils, d. h. die Pressung des Ventils gegen den Ventilsitz weniger den Druck der äussern Atmosphäre gegen den Ventilkörper,
- p* den Druck des Dampfes (pro 1^{qm}), bei welchem die Hebung des Ventils beginnen soll,
- p_1 die grösste Pressung, die in dem Kessel eintreten darf,
- $\alpha + \beta p$, $\alpha + \beta p_1$ die Gewichte von 1^{Kbm} Dampf, deren Spannungen p und p_1 sind,
- \mathfrak{A} den Druck der Atmosphäre auf 1^{qm} .

Vernachlässigt man die Breite des Ventilsitzes, so ist im Moment, wenn die Erhebung beginnt:

$$P + \mathfrak{A} \Omega = q \Omega \dots \dots \dots (1)$$

Wenn im Kessel durch allmähliche Dampfansammlung die Span-

nung nie höher als p_1 werden soll, so muss bei dieser Spannung durch das Ventil aller Dampf entweichen, der im Kessel gebildet wird, denn dann wird die Spannung des Dampfes im Kessel selbst dann nicht höher als p_1 werden können, wenn die Maschine abgestellt ist, während die Feuerung in normaler Weise fortgeht. In dem Zustand, wenn im Kessel eine Spannung p_1 eingetreten ist und am Rande des Ventils in jeder Sekunde eine Dampfmenge s auströmt, schwebt das Ventil in einer gewissen Höhe s über dem Ventilsitz, und muss unmittelbar unter dem Ventil eine Spannung p vorhanden sein, denn es findet ein Gleichgewichtszustand statt und die Kräfte, welche das Ventil abwärts treiben, sind, wenn das Ventil schwebt, eben so gross, als wenn das Ventil den Sitz berührt. Die Spannungsdifferenz $p_1 - p$ muss also so gross sein, dass durch dieselbe in jeder Sekunde die Dampfmenge s durch die Oeffnung Ω getrieben wird, dagegen muss die Spannungsdifferenz $p - \mathfrak{A}$ so gross sein, dass durch dieselbe die Dampfmenge s durch die Oeffnung $C s$ getrieben wird, wobei C den Umfang des Ventils bezeichnet. Man hat daher:

$$s = (\alpha + \beta p) \Omega \sqrt{\frac{2g}{\beta} \lognat \frac{\alpha + \beta p_1}{\alpha + \beta p}} \dots (2)$$

$$s = (\alpha + \beta \mathfrak{A}) C s \sqrt{\frac{2g}{\beta} \lognat \frac{\alpha + \beta p}{\alpha + \beta \mathfrak{A}}} \dots (3)$$

Nun ist klar, dass die Ventile so angeordnet werden sollen, dass $\frac{p_1}{p}$ oder $\frac{\alpha + \beta p_1}{\alpha + \beta p}$ ein bestimmtes constantes Verhältniss ist, d. h. wenn die höchste Spannung um ein gewisses Verhältniss grösser ist als diejenige Spannung, bei welcher das Oeffnen des Ventils beginnt. Wir dürfen daher die Wurzelgrösse

$$\sqrt{\frac{2g}{\beta} \lognat \frac{\alpha + \beta p_1}{\alpha + \beta p}} = \lambda \dots (4)$$

als eine constante Grösse nehmen, und dann erhalten wir aus (2):

$$\Omega = \frac{1}{\lambda} \frac{s}{\alpha + \beta p} \dots (5)$$

Diesen Coefficienten λ bestimmt man am sichersten nach That- sachen. Nach der von *Watt* aufgestellten Regel ist für eine Nieder- druckmaschine von 100 Pferdekräften $s = 1$, $\alpha + \beta p = 1$, $\Omega = 0.040$. Diese Daten geben $\frac{1}{\lambda} = \frac{\Omega(\alpha + \beta p)}{s} = \frac{0.04 \times 1}{1} = 0.04$ und $\lambda = 25$. Vermittelst dieses Werthes findet man aus (4), wenn $\beta = 0.0000473$,

$g = 9.808$ gesetzt wird, $\frac{\alpha + \beta p_1}{\alpha + \beta p} = 1.0769$, d. h. die Watt'sche Regel gibt Ventile, bei welchen die Maximalspannung kaum um $\frac{1}{10}$ grösser ist als die Spannung, bei welcher die Oeffnung des Ventils beginnt. In Frankreich ist vorgeschrieben folgende Formel:

$$d = 2.6 \sqrt{\frac{F}{n - 0.412}}$$

F Heizfläche in Quadratmetern, d Durchmesser in Centimetern, n Dampfspannung in Atmosphären. Diese Formel gilt für $F = 100$, $n = 5$, $d = 12.199 \text{ cm}$, demnach $\Omega = \frac{116}{10000}$ Quadratmeter. Diese Daten geben uns, wenn wir $s = \frac{F}{150}$ setzen:

$$\lambda = \frac{s}{(\alpha + \beta p)\Omega} = \frac{\frac{100}{150} \times 10000}{2.586 \times 116} = 22.2$$

also nahe den gleichen Werth, den die Watt'sche Regel gegeben hat. Ich setze demnach:

$$\Omega = 0.04 \frac{s}{\alpha + \beta p} \quad (6)$$

Nun ist aber $s = \frac{F}{150} = \frac{N}{100}$, daher wird auch:

$$\Omega = \frac{0.04}{150} \frac{F}{\alpha + \beta p} = \frac{0.04}{100} \frac{N}{\alpha + \beta p} \quad (7)$$

und vermöge (1):

$$P = \Omega(p - \mathcal{A}) = 0.04 s \frac{p - \mathcal{A}}{\alpha + \beta p} = \frac{0.04}{150} F \frac{p - \mathcal{A}}{\alpha + \beta p} \quad \left. \vphantom{P = \Omega(p - \mathcal{A})} \right\} (8)$$

$$= \frac{0.04}{100} N \frac{p - \mathcal{A}}{\alpha + \beta p}$$

Vermittelst dieser Formeln ist nachstehende Tabelle berechnet:

Einleitend wird mit demselben Titel XVII, Fig. 3. Der Rest befindet sich im Innern links. Die Luft geht durch L. & 3 nach dem Kamin. Das Rohr ist gedichtet. Der Kessel ist schwer zu reinigen. Der Dampf, welcher sich am Boden des Kessels bildet, kann schwer nach dem Dampfraum gelangen. Auch diese Kessel wird nicht mehr angewandt.

Spannung des Dampfes im Kessel in Atmosph.	$\frac{\Omega}{S}$	$\frac{\Omega}{F}$	$\frac{\Omega}{N}$	$\frac{P}{S}$	$\frac{P}{F}$	$\frac{P}{N}$
2	0.03580	0.000238	0.000358	370	2.46	3.70
3	0.02468	0.000164	0.000247	510	3.40	5.10
4	0.01896	0.000127	0.000189	587	3.91	5.87
5	0.01544	0.000103	0.000154	638	4.25	6.38
6	0.01312	0.000087	0.000131	677	4.51	6.77

Die Gleichung (3) kann man benutzen, um die Erhebung s des Ventils zu berechnen.

Beurtheilung verschiedener Kessel hinsichtlich ihres Dampferzeugungsvermögens und ihrer Festigkeit.

Watt'scher Sargkessel mit ebener Endfläche. Tafel XVI., Fig. 1. Die Gase ziehen zuerst durch 1 bis an das hintere Ende des Kessels, dann durch 2 bis an das vordere Ende, endlich durch 3 zurück nach dem Kamin. Für die Dampferzeugung an und für sich lässt dieser Kessel nichts zu wünschen übrig, auch ist er sehr bequem zu reinigen, allein seine Festigkeit ist sehr gering und wird deshalb nicht mehr angewendet.

Sargkessel mit innerer Heizung. Tafel XVI., Fig. 2. Die Luft zieht durch 1, 2, 3 nach dem Kamin. Bei gleichem Volumen ist die Heizfläche grösser, als bei dem einfachen Sargkessel. Das Rohr mit äusserem Druck ist gefährlich, der Kessel ist schwer zu reinigen. Der Dampf, der sich zwischen dem Boden des Rohres 2 und dem Boden des Kessels bildet, kann nicht leicht nach dem Dampfraum gelangen. Auch dieser Kessel wird nicht mehr angewendet.

Cylindrischer Kessel mit Feuerrohr. Tafel XVI., Fig. 3. Der Rost befindet sich im innern Rohr 1. Die Luft geht durch 1, 2, 3 nach dem Kamin. Das Rohr ist gefährlich. Der Kessel ist schwer zu reinigen. Der Dampf, welcher sich am Boden des Kessels bildet, kann schwer nach dem Dampfraum aufsteigen. Diese Kessel sind für schwächere Spannungen auch jetzt noch zuweilen im Gebrauch.

Cylindrischer Kessel mit Feuerrohr und Siederöhren. Tafel XVI., Fig. 4. Dieser Kessel unterscheidet sich von dem vorhergehenden durch eine Siederöhre, welche im Feuerrohr angebracht ist. Zu dem Nachtheil des vorhergehenden Kessels kommt noch der dazu, dass der im Siederohr sich bildende Dampf schwer entweichen kann.

Cylindrischer Kessel mit Feuerrohr und Vordach. Tafel XVI., Fig. 5. Dieser Kessel unterscheidet sich von Fig. 3 dadurch, dass der vordere über dem Rost befindliche Theil des Kessels halbmondförmig ist. Ist schwer zu reinigen und gewährt eine geringe Festigkeit. Wird nicht mehr gebraucht.

Einfach cylindrischer Kessel mit halbkugelförmiger Endfläche. Tafel XVI., Fig. 6. Die Luft zieht durch 1 längs des Kessels hin in das Kamin. Der Kessel ist so fest, als überhaupt ein Kessel sein kann. Der Dampf kann überall leicht aufsteigen. Die Reinigung geht sehr leicht von Statten. Nachtheilig ist nur allein das grosse Volumen dieses Kessels.

Kessel mit Siederöhren. Tafel XVI., Fig. 7. Die Luft zieht durch 1, 2, 3 nach dem Kamin. Die Siederöhren sind der heftigsten Hitze ausgesetzt und verbrennen leicht, weil der Dampf aus denselben schwer entweicht und weil sich oben auf den Röhren Asche anlegt. Nach den von *Cavé* angestellten Versuchen ist die Dampfmenge, welche die Siederöhren entwickeln, ganz unbedeutend, obgleich sie der heftigsten Hitze ausgesetzt sind. Diese Kessel waren lange Zeit hindurch sehr verbreitet, werden aber nun verlassen.

Kessel mit Vorwärmer. Tafel XVI., Fig. 8. Die Verbrennungsgase ziehen durch 1, 2, 3 nach dem Kamin. Das Speisewasser tritt in den Vorwärmer an der Stelle ein, wo die Verbrennungsgase den Kessel verlassen, es ist demnach ein Gegenstromapparat, demnach für die Benutzung des Brennstoffs vortheilhaft. Die Festigkeit ist gross, die Reinigung geht leicht von Statten. Es ist also eine sehr gute Anordnung und wird deshalb sehr häufig angewendet.

Röhrenkessel. Tafel XVI., Fig. 9. Dieser Kessel hat ein halbmondförmiges Vordach. Im cylindrischen Theil des Kessels sind enge Heizröhren angebracht. Die Verbrennungsgase ziehen zuerst durch diese Heizröhren und dann durch 2 und 3 nach dem Kamin. Der Kessel gewährt den Vortheil, dass er bei gleicher Heizfläche

ein viel kleineres Volumen einnimmt, als die im Vorhergehenden beschriebenen Kessel. In jeder andern Hinsicht ist aber der einfach cylindrische und der cylindrische Kessel mit Vorwärmer vorzuziehen.

Die Schiffskessel und Lokomotivkessel werden wir in dem Abschnitte „Dampfschiffe und Lokomotive“ beschreiben.

Vollständige Kessel. Einmauerung. Garnitur.

Einfach cylindrische Kessel. Tafel XVI., Fig. 10, 11, 12, 13 sind Durchschnitte und Ansichten eines Systems von drei einfach cylindrischen Kesseln mit gewöhnlicher Rostfeuerung. Fig. 12 zeigt die Armirung des Kessels mit Gussplatten und Schlaudern, welche das Mauerwerk zusammenhalten. *a a a* die Putzthüren, *b b b* die Feuerthürplatten, *c c c*... Verstärkungsbarren, durch welche die Schlaudern gezogen sind. Die innere Mauerung muss aus feuerfesten Backsteinen sein, die äussere Ummauerung wird aus gewöhnlichen Backsteinen gemacht. Es ist gut, wenn diese Mauerungen durch eine Luftschicht getrennt werden, theils wegen des Wärmeverlustes, theils, damit sich die innere der heftigen Hitze ausgesetzte Mauerung frei ausdehnen kann, ohne die äussere Mauerung zu gefährden.

In Fig. 13 sieht man, dass jeder Kessel durch einen Schieber abgeschlossen werden kann, während die andern beiden in Thätigkeit bleiben.

Kessel mit zwei Vorwärmern und gewöhnlichem Rost. Tafel XVII., Fig. 1, 2, 3 zeigt die Armirung mit Mauerplatten und Schlaudern, die nie durch die Zugräume gehen dürfen, damit sie nicht glühend werden. Um den Hauptkessel in dem oberen Zugkanal schwebend zu erhalten, sind an denselben zu beiden Seiten Tatzen angenietet, die eingemauert werden. Die Probehahnen, das Niveau, und Federmanometer sind an der Stirnfläche des Kessels angebracht, der Schwimmer und das Sicherheitsventil dagegen am Kesselaufsatz. Fig. 8, 9 zeigt diesen Kesselaufsatz mit dem Sicherheitsapparat. Dieser Aufsatz muss so weit sein, dass ein Mann durch denselben einsteigen kann, um die innere Reinigung des Kessels zu besorgen. Der Deckel ist oval geformt, um ihn durch die Oeffnung hineinbringen zu können. Er berührt die inneren Flantschen des Aufsatzes und wird durch zwei Bügel und Schrauben gehalten.

Kessel mit zwei Siederöhren. Tafel XVII., Fig. 4, 5, 6, 7. Auf den ersten Blick scheinen diese Kessel gerade so eingerichtet zu

sein, wie die Vorwärmerkessel; bei genauerer Einsicht erkennt man wesentliche Unterschiede. Die Siederöhren *a a*, Fig. 5 und 6, sind direct dem Feuer ausgesetzt, die Verbrennungsgase ziehen an denselben hin und gelangen durch eine Oeffnung *b*, Fig. 7, in den obern Raum *c c*, der einen grossen Kessel *e* enthält. Zwischen *a* und *e e*, ist ein Gewölbe gespannt und auf demselben ist eine Mauerzunge *d* angebracht, wodurch ein Kanal *c c*, *e*, gebildet wird, durch welchen die Verbrennungsgase um den Kessel *e* herum nach dem Kamin ziehen. In der Nähe des vorderen Endes kommunizieren die Siederöhren *a a*, durch zwei vertikale Röhren *f f*, mit dem Hauptkessel *e*. Diese Art Kessel wurden einstens, insbesondere in Frankreich, sehr allgemein angewendet, sie sind jedoch fehlerhaft angelegt. Der Dampf, welcher sich in den Siederöhren bildet, gelangt nur mit vielen Schwierigkeiten in den Hauptkessel, an den Boden der Siederöhren setzt sich viel Pfannenstein und die obern Wölbungen derselben werden mit einer Aschenkruste belegt, so dass die Wärme sehr schwer durch die Wände der Siederöhren eindringen kann und ein Verbrennen derselben leicht eintritt. Vielfach von *Cavé* in Paris angestellte Versuche haben gelehrt, dass diese Siederöhren beinahe gar keinen Dampf entwickeln, dagegen sehr schnell verbrennen.

Kessel mit zwei Vorwärmern und mit Langen'schem Stagenrost. Tafel XVII., Fig. 10, 11, 12. Dieser Kessel unterscheidet sich von dem früher beschriebenen Vorwärmerkessel nur durch die Rosteinrichtung.

Der Gall'sche Kessel mit innerem Feuerrohr. Tafel XVII., Fig. 13, 14, 15. Die Rosteinrichtung von *Gall* haben wir bereits früher Seite 319 erklärt. Der Kessel ist mit einem inneren Feuerrohr versehen, durch welches die Verbrennungsgase zuerst ziehen, dann aber um den äusseren grossen Kessel herum nach dem Kamin gelangen.

Kessel mit gemauerter Feuer- und Rauchkammer. Tafel XVIII., Fig. 1, 2, 3. Dieser Kessel ist eine glückliche Nachbildung des Lokomotivkessels. Die Feuerkammer *a* und die Rauchkammer sind aus feuerfesten Backsteinen gemauert. Der Kessel ist einfach cylindrisch und enthält, wie der Lokomotivkessel, eine grosse Anzahl von Röhren von 4 bis 6^m Durchmesser. Die Rauchkammer ist mit einer eisernen Thüre *d* versehen. Oeffnet man dieselbe so gelangt man leicht in die Rauchkammer zur Reinigung wie zur Auswechslung der Röhren, wenn dieselben schadhafte geworden sind. Diese Anordnung ist bereits mehrfach von der Maschinenfabrik in Esslingen

ausgeführt worden und verspricht sehr gute Resultate. Zunächst ist zu erwarten, dass der Verbrennungsakt sehr vollständig von statten geht, indem die glühenden Wände der Feuerbüchse eine Abkühlung der Verbrennungsgase nicht aufkommen lassen. Auch kann man selbstverständlich den *Langen'schen* Etagenrost anwenden, um eine bestmögliche Rauchverzehrung herbeizuführen. Der Kessel selbst ist für die Dampferzeugung sehr günstig eingerichtet; er gewährt sehr grosse Festigkeit, kann daher für sehr hoch gespannten Dampf gebraucht werden. Das Volumen desselben fällt bei einer gewissen Heizfläche sehr klein aus. Der Dampf kann sehr leicht von seinem Entstehungsort nach dem Dampfraum gelangen. Die Röhren können von Messing und dünnwandig gemacht werden, lassen sich auch sehr leicht von der Rauchkammer aus reinigen und auswechseln. Es dürfte schwer halten, an dieser Kesselanordnung irgend etwas Nachtheiliges ausfindig zu machen, und es steht zu erwarten, dass er eine sehr allgemeine Verbreitung finden wird.