

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Der Maschinenbau

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1863

Kesselapparate

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

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:

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

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

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

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

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 $T_0 = u_0 + \frac{B \cdot \Phi}{Q S}$, so findet man ohne Schwierigkeit:

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

Hiermit ist das Güteverhältniss für einen Parallelstromapparat bestimmt.

Für einen Gegenstromapparat ist:

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

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

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

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

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

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

so findet man:

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

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 Dampfelz 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 Kesselform 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-