

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die calorische Maschine

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1853

Theorie der Kesselapparate

[urn:nbn:de:bsz:31-266513](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-266513)

Theorie der Kesselapparate.

Wir wollen der Untersuchung einen Kessel zu Grunde legen, bei welchem die Verbrennungsgase in gerader Linie von dem Feuerherd nach dem Kamin ziehen. Die Resultate, welche wir für einen solchen Kessel finden werden, gelten aber auch für jede andere Anordnung der Luftzüge, denn man kann sich diese immer in eine gerade Linie ausgestreckt denken. Es sei Fig. 1 Taf. III. ein Längenschnitt und ein Querschnitt des Kessels, O P seine Heizfläche, m n m₁ n₁, zwei unendlich nahe Querschnitte im Luftkanal O P H I, U die Temperatur aller Lufttheilchen im Querschnitt m n, U - d U die Temperatur aller Lufttheilchen im Querschnitt m₁ n₁, d f das Element m m₁ der Heizfläche, welches zwischen den beiden Querschnitten liegt. Da wir annehmen, dass im ganzen Apparat der Beharrungszustand der Erwärmung bereits eingetreten sei, so ist die Temperatur in jedem bestimmten Querschnitt unveränderlich.

Wenn die Temperatur innerhalb m m₁ n n₁ gleich U wäre, würde durch das Flächenelement d f in jeder Sekunde eine Wärmemenge k d f (U - t₁) in den Kessel eindringen. Wäre dagegen die Temperatur in dem Raum m m₁ n n₁ überall gleich U - d U, so würde die in den Kessel in jeder Sekunde eindringende Wärmemenge k d f (U - d U - t₁) betragen. Da aber die Temperatur von m n bis m₁ n₁ abnimmt, so ist die in der That in den Kessel eindringende Wärme kleiner als k d f (U - t₁) und grösser als k d f (U - d U - t₁). Allein da diese Wärmemengen nur um ein unendlich Kleines von der zweiten Ordnung verschieden sind, so darf man, ohne einen Fehler zu begehen, die wirklich eindringende Wärmemenge gleich k d f (U - t₁) setzen. Diese Wärmemenge muss aber dem Wärmeverlust Q S (U - d U) - Q S U = - Q S d U gleich gesetzt werden, welchen die in jeder Sekunde durch den Raum m n m₁ n₁ gehende Luftmenge Q erleidet; man hat daher:

$$k d f (U - t_1) = - Q S d U$$

oder

$$\frac{d U}{U - t_1} = - \frac{k}{Q S} d f$$

Das Integrale dieser Gleichung ist:

$$\log. (U - t_1) = - \frac{k}{Q S} f + \text{const.} \dots \dots \dots (11)$$

Da die Heizfläche bei OE beginnt, so ist für $U = T_0$, $f = 0$, demnach

$$\log. (T_0 - t_1) = \text{const.} \dots \dots \dots (12)$$

Da ferner DP das Ende des Kessels ist, so muss für $U = T_1$, $f = F$ gesetzt werden. Man hat daher auch:

$$\text{lognat.} (T_1 - t_1) = -\frac{k}{Q S} F + \text{const.} \dots \dots \dots (13)$$

Durch Subtraktion der Gleichung (13) von (12) ergibt sich:

$$\frac{k}{Q S} F = \text{lognat.} \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_1} \dots \dots \dots (14)$$

Die Wärmemenge, welche die Verbrennungsgase verlieren, indem deren Temperatur von T_0 auf T_1 herabsinkt, ist $Q S (T_0 - T_1)$. Diese Wärmemenge dringt in den Kessel ein und bewirkt, dass in jeder Sekunde eine Luftmenge von q Kilogrammen von t_0 auf t_1 erhitzt wird. Man hat daher die Gleichung:

$$Q S (T_0 - T_1) = q s (t_1 - t_0) \dots \dots \dots (15)$$

Aus diesen zwei Gleichungen lassen sich zwei Grössen bestimmen, wenn die übrigen bekannt sind. Wenn z. B. t_1 , t_0 , T_1 , T_0 , q , S und s angenommen werden, findet man für Q und F folgende Werthe:

$$\left. \begin{aligned} Q &= q \frac{s}{S} \frac{t_1 - t_0}{T_0 - T_1} \\ F &= \frac{1}{k} \frac{\text{lognat.} \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_1}}{\frac{1}{Q S}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (16)$$

Nebst diesen zwei Gleichungen (16) kann man noch eine dritte aufstellen, welche annähernd T_0 bestimmt.

Es ist $\mathcal{G} B$ die Wärmemenge, welche in 1'' durch den Brennstoff entwickelt wird. Die in jeder Sekunde in den Feuerherd einströmende Luftmenge von $(Q - B)$ Kilogrammen wird von \mathcal{A} auf T_0 erhitzt, was eine Wärmemenge $(Q - B) (T_0 - \mathcal{A}) S$ erfordert. Die aus dem Brennstoff entstehende Gasmenge B besitzt eine Temperatur T_0 und die Wärmemenge, welche sie in sich aufgenommen hat, kann annähernd $B (T_0 - \mathcal{A}) S$ gesetzt werden. Man hat daher:

$$\Phi B = (Q - B)(T_0 - A)S + B(T_0 - A)S$$

oder

$$\Phi B = QS(T_0 - A)$$

woraus folgt:

$$T_0 = A + \frac{\Phi B}{QS} \dots \dots \dots (17)$$

Bezeichnen wir die kleinste Luftmenge in Kilogrammen, welche zum vollständigen Verbrennen von B Kilogrammen Brennstoff erforderlich ist mit Q_1 , so ist $Q = \lambda Q_1$ und es wird:

$$T_0 = A + \frac{1}{\lambda S} \frac{\Phi B}{Q_1} \dots \dots \dots (18)$$

Wir wollen annehmen, dass eine vollkommene Verbrennung statt finde, dass also aller im Brennstoff enthaltene Kohlenstoff zu Kohlensäure und aller freie vom Sauerstoff des Brennstoffs nicht gebundene Wasserstoff zu Wassergas verbrenne. Dann hat $\frac{\Phi B}{Q_1}$ für alle Brennstoffe den gleichen Werth und es ist:

$$\frac{\Phi B}{Q_1} = 545$$

Es ist nämlich für Steinkohlen von mittlerer Qualität:

$$\Phi = 6000, \frac{B}{Q_1} = \frac{1}{11} \text{ demnach } \frac{\Phi B}{Q_1} = 545$$

Für lufttrockenes Holz ist dagegen:

$$\Phi = 3000, \frac{B}{Q_1} = \frac{1}{5.5} \text{ demnach } \frac{\Phi B}{Q_1} = 545$$

In dem Fall einer vollkommenen Verbrennung ist also:

$$T_0 = A + \frac{545}{\lambda S} \dots \dots \dots (19)$$

Durch Verbindung der Gleichungen (17) und (19) ergibt sich ferner:

$$B = 545 \frac{Q}{\Phi \lambda} \dots \dots \dots (20)$$

Die vier Gleichungen (16) (19) (20) bestimmen die Hauptdaten für die Anlage eines Kesselapparates. Wir wollen sie für den bequemeren Gebrauch zusammenstellen.

$$\left. \begin{aligned} T_0 &= \mathcal{A} + \frac{545}{\lambda S} \\ Q &= q \frac{s}{S} \frac{t_1 - t_0}{T_0 - T_1} \\ B &= 545 \frac{Q}{\mathcal{S} \lambda} \\ F &= \frac{1}{k} \frac{\log_{\text{nat.}} \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_1}}{\frac{1}{Q S}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (B)$$

Hinsichtlich der in diesen Gleichungen erscheinenden constanten Grössen s , S , λ , k ist folgendes zu bemerken.

Die Wärmekapazität s der reinen atmosphärischen Luft ist 0.2669.

Die Wärmekapazität S der Verbrennungsgase richtet sich theils nach der chemischen Zusammensetzung des Brennstoffes, theils nach der Luftmenge, welche das Verbrennen unterhält. Allein da die Verbrennungsgase doch grösstentheils aus den Bestandtheilen der atmosphärischen Luft bestehen, indem z. B. zum Verbrennen von 1 Kilogramm Steinkohlen wenigstens 11 Kilogramme atmosphärische Luft erforderlich sind, so begeht man keinen merklichen Fehler, wenn man $S = s = 0.2669$ setzt.

Der Erfahrung gemäss ist bei den meisten Dampfkesselfeuerungen die in den Feuerherd einströmende Luftmenge 2 Mal so gross, als die zum vollständigen Verbrennen erforderliche Luftmenge. Wir dürfen also wohl auch für die Luftheizapparate $\lambda = 2$ setzen.

Hinsichtlich der Wärmemenge k , welche bei einer Temperaturdifferenz von 1° in einer Sekunde durch 1 Quadratmeter geht, ist es am angemessensten, dieselbe durch Erfahrung zu bestimmen.

Dieser zufolge ist eine Heizfläche von 1 Quadratmeter nothwendig, um in einer Minute einen Kubikmeter Luft von 10° auf 300° zu erhitzen und hierzu sind $\frac{1}{30}$ Kilogramm Steinkohlen erforderlich.

Um also in einer Sekunde ein Kilogramm Luft von 10° auf

300° zu erwärmen, braucht man eine Heizfläche von $\frac{60}{1.29} = 46$ Quadratmeter und ist eine Brennstoffmenge von $\frac{1}{30 \times 1.29} = \frac{1}{38.7}$ Kilogrammen Steinkohlen erforderlich.

Setzen wir in die Gleichungen (B)

$$\Delta = 10^\circ, t_0 = 10^\circ, t_1 = 300^\circ, q = 1, \lambda = 2, S = s = 0.2669$$

$$\mathcal{S} = 6000, F = 46, B = \frac{1}{38.7}$$

so findet man zunächst

$$T_0 = 10^\circ + \frac{545}{2 \times 0.2669} = 1030.$$

Die dritte dieser Gleichungen gibt

$$Q = \frac{\mathcal{S} \lambda B}{545} = 0.569.$$

Aus der zweiten dieser Gleichungen folgt nun weiter $0.569 = \frac{290}{1030 - T_1}$, woraus sich $T_1 = 521^\circ$ ergibt. Vermittelt der letzten Gleichung ergibt sich endlich:

$$k = \frac{1}{46} \frac{\text{lognat.} \frac{1030 - 300}{521 - 300}}{\frac{1}{0.569 \times 0.2669}} = \frac{1}{253}$$

Theorie des Röhrenapparates mit Parallelströmen.

Denken wir uns einen Kanal, der aus einem die Wärme nicht leitenden Material besteht, durch eine Wand, welche die Wärme zu durchdringen vermag, in zwei Kanäle getheilt, und durch einen dieser Kanäle die zu erwärmende Luft getrieben, durch den andern dagegen die glühenden Verbrennungsgase nach paralleler Richtung geleitet, so haben wir eine Anordnung, die im Wesentlichen einen Röhrenapparat mit Parallelströmen darstellt.

Es sei Fig. 2 Taf. III. E G H I der Längenschnitt, A B C D irgend ein Querschnitt des Apparates, m n p, m₁ n₁ p₁ zwei unendlich nahe Querschnitte desselben, U und U - d U die Temperaturen der Verbrennungsgase bei n p und n₁ p₁; u und u + d u die

Temperaturen der Luft bei $m n$ und $m_1 n_1$. Damit aber, wie wir hier voraussetzen, in allen Punkten eines bestimmten Querschnittes einerlei Temperatur vorhanden sein kann, dürfen die normalen Weiten $A M$ und $M C$ nicht gross sein. Denn wenn diese Weiten gross wären, würde die in der Nähe von $E G$ ziehende Luft wenig Wärme empfangen, und würden die in der Nähe von $H I$ hinströmenden Gase nur wenig Wärme verlieren, und dann müssten die Temperaturen von n nach m hin abnehmen und von n nach p hin zunehmen, was eine sehr ungünstige Leistung des Apparates zur Folge hätte. Die Bedingung, dass in einem und demselben Querschnitt eines Kanals einerlei Temperatur herrsche, dient also nicht bloss zur Vereinfachung der Rechnung, sondern derselben muss überhaupt jede zweckmässige Anordnung eines Heizapparates entsprechen, was eben nur bei geringer Weite der Kanäle annähernd möglich ist. Um dieser Bedingung bei einem eigentlichen Röhrenapparat zu entsprechen, dürfen die Durchmesser und die Entfernungen der Röhren nicht gross sein.

Wir wollen die in der Theorie der Kesselapparate gewählten Bezeichnungen auch hier beibehalten, und beginnen nun mit der Entwicklung der Theorie.

Die Wärmemenge, welche in einer Sekunde durch das bei $n n_1$ befindliche Flächenelement df aus dem Gaskanal in den Luftkanal übergeht, ist $k(U - u) df$.

Diese Wärmemenge wird der in jeder Sekunde durch den Raum $n p n_1 p_1$ gehenden Gasmenge Q entzogen, und wird von der in jeder Sekunde durch den Raum $m n m_1 n_1$ gehenden Luftmenge q aufgenommen, man hat daher die Gleichheiten:

$$\left. \begin{aligned} k(U - u) df &= -Q S dU \dots\dots\dots \\ -Q S dU &= +q s du \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} (21)$$

welche von den Geschwindigkeiten der beiden Ströme ganz unabhängig sind.

Die zweite dieser Gleichungen kann, da der Voraussetzung gemäss S, s, Q und q constant sind, unmittelbar integriert werden. Das Resultat dieser Integration ist:

$$Q S U + q s u = \text{const.} \dots\dots\dots (22)$$

Nun ist für $U = T_0$, $u = t_0$ und für $U = T_1$, $u = t_1$, man hat daher auch:

$$Q S T_0 + q s t_0 = \text{const.} \dots\dots\dots (23)$$

$$Q S T_1 + q s t_1 = \text{const.} \dots\dots\dots (24)$$

Durch Subtraktion der Gleichungen (23) und 24) ergibt sich

$$Q S (T_0 - T_1) = q s (t_1 - t_0) \dots \dots \dots (25)$$

Durch Subtraktion der Gleichungen (22) und (23) folgt aber

$$Q S (T_0 - U) = q s (u - t_0) \dots \dots \dots (26)$$

Setzt man den aus dieser Gleichung für u sich ergebenden Werth:

$$u = t_0 + \frac{Q S}{q s} (T_0 - U)$$

in die erste der Gleichungen (21), so wird dieselbe

$$k \left[U - t_0 - \frac{Q S}{q s} (T_0 - U) \right] df = -Q S dU$$

Aus dieser Gleichung folgt:

$$df = -\frac{Q S}{k} \frac{dU}{U \left(1 + \frac{Q S}{q s} \right) - \left(t_0 + \frac{Q S}{q s} T_0 \right)}$$

Das allgemeine Integrale dieser Gleichung ist:

$$f = -\frac{1}{k} \frac{Q S}{1 + \frac{Q S}{q s}} \text{lognat.} \left\{ \begin{array}{l} + U \left(1 + \frac{Q S}{q s} \right) \\ - \left(t_0 + \frac{Q S}{q s} T_0 \right) \end{array} \right\} + \text{const.}$$

Nun ist aber für $U = T_0$, $f = 0$ und für $U = T_1$, $f = F$, daher hat man:

$$0 = -\frac{1}{k} \frac{Q S}{1 + \frac{Q S}{q s}} \text{lognat.} \left\{ \begin{array}{l} + T_0 \left(1 + \frac{Q S}{q s} \right) \\ - \left(t_0 + \frac{Q S}{q s} T_0 \right) \end{array} \right\} + \text{const.}$$

$$F = -\frac{1}{k} \frac{Q S}{1 + \frac{Q S}{q s}} \text{lognat.} \left\{ \begin{array}{l} + T_1 \left(1 + \frac{Q S}{q s} \right) \\ - \left(t_0 + \frac{Q S}{q s} T_0 \right) \end{array} \right\} + \text{const.}$$

Durch Subtraktion dieser Gleichungen findet man:

$$F = \frac{1}{k} \frac{1}{\frac{1}{Qs} + \frac{1}{qs}} \operatorname{lognat.} \frac{T_0 \left(1 + \frac{Qs}{qs}\right) - \left(t_0 + \frac{Qs}{qs} T_0\right)}{T_1 \left(1 + \frac{Qs}{qs}\right) - \left(t_0 + \frac{Qs}{qs} T_0\right)}$$

Mit Berücksichtigung der Gleichung (25) verwandelt sich diese Gleichung in folgenden einfachen Ausdruck:

$$F = \frac{1}{k} \frac{\operatorname{lognat.} \frac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1}}{\frac{1}{Qs} + \frac{1}{qs}} \dots \dots \dots (27)$$

Nebst dieser Gleichung bestehen aber auch hier die drei ersten der Gleichungen (B), welche wir für den Kesselapparat hergeleitet haben, denn von den Gleichungen (B) ist die erste und ist die dritte ganz unabhängig von der Einrichtung des Heizapparates, und die Gleichung (25) stimmt mit der zweiten der Gleichungen (B) ganz überein; man hat daher für den Röhrenapparat mit Parallelströmen folgende Resultate:

$$\left. \begin{aligned} T_0 &= \mathcal{A} + \frac{545}{\lambda s} \dots \dots \dots \\ Q &= q \frac{s}{S} \frac{t_1 - t_0}{T_0 - T_1} \dots \dots \dots \\ B &= 545 \frac{Q}{\mathfrak{S} \lambda} \dots \dots \dots \\ F &= \frac{1}{k} \frac{\operatorname{lognat.} \frac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1}}{\frac{1}{Qs} + \frac{1}{qs}} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (C)$$

und die Constanten haben hier dieselben Werthe, wie in den Gleichungen (B). Es ist nämlich $s = S = 0.2669$, $k = \frac{1}{253}$, λ gewöhnlich = 2.

Die Folgerungen, welche sich aus diesen Gleichungen (C) ziehen lassen, wollen wir vorläufig nicht aussprechen, sondern gehen sogleich zur Theorie des dritten Heizapparates über.