

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Der Maschinenbau**

**Redtenbacher, Ferdinand**

**Mannheim, 1863**

Anlage der Kamine

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

Weite unterbrochen, und an jedem der untern Ränder dieser Spaltöffnungen schliessen mehrere nach aussen gerichtete eiserne Platten  $a a_1, b b_1, c c_1$ , an. Am unteren Ende des Rostes ist ein weiterer kleiner Schlackenrost  $BC$  vorhanden. Die Steinkohlen werden bei der Beschickung des Rostes zuerst auf die Tischplatten  $a a_1, b b_1, c c_1, \dots$  geschaufelt und dann mit einem Stössel durch die Spaltöffnungen  $a b c$  auf die Rostfläche hineingeschoben, wobei die auf dem Rost liegenden glühenden halbverbrannten Steinkohlen weggedrückt und die frischen Kohlen so ziemlich zwischen den Rost und die glühenden Koks gelangen, wie es für einen vortheilhaften Destillationsakt nothwendig ist. Dieser Rost hat eine sehr grosse Verbreitung gefunden und dürfte wohl die beste Einrichtung genannt werden, die bis jetzt ausgedacht worden ist. In neuerer Zeit hat der Ingenieur *Langen* noch mancherlei Veränderungen angebracht.

#### Anlage der Kamine.

**Allgemeine Theorie der Kamine.** Die Luft wird den Feuerherden gewöhnlich durch einen Kamin zugeführt. Weil die Luft im Kamin eine hohe Temperatur hat, ist das Gewicht der im Kamin enthaltenen Luftmenge kleiner, als ein eben so grosses Volumen von äusserer atmosphärischer Luft, und daher auch kleiner als die Differenz der Pressungen, die unmittelbar unter dem Rost und an der Mündung des Kamins statt finden. Hierdurch wird das Aufsteigen der Luft im Kamine und das Einströmen derselben in den Feuerherd bewirkt.

In den verschiedenen Theilen des ganzen Kanalsystems welches die Luft durchströmt, herrschen verschiedene Spannungen. Unmittelbar unter dem Rost herrscht der atmosphärische Druck  $\mathfrak{A}$ . Unmittelbar über dem Rost ist ein gewisser Druck  $p_0$  vorhanden, der kleiner als  $\mathfrak{A}$  ist. Durch die Differenzen  $\mathfrak{A} - p_0$  wird die Luft durch die Rostspalten und durch die unregelmässigen Zwischenräume zwischen den Brennstoffstücken getrieben, und werden die Widerstände überwunden, welche diesem Luftdurchgang entgegenwirken. Am Fusse des Kamins, also am Ende der Luftzüge, herrscht eine gewisse Pressung  $p_1$ , die kleiner als  $p_0$  ist, und durch die Differenz  $p_1 - p_0$  wird die Luft durch die Luftzüge getrieben, und werden die verschiedenen Widerstände überwunden, die dieser Bewegung entgegenwirken. An der Mündung des Kamins herrscht eine gewisse Pressung  $\mathfrak{A}_1$ , die wiederum kleiner ist als  $p_1$ , und zwar um so viel, als das Gewicht der im Kamin enthaltenen Luft beträgt.

Durch die Differenz  $p_1 - p_2$  wird die Luft gehoben, und werden die Widerstände überwunden, welche die Kaminwände dem Aufsteigen der Luft entgegenzusetzen.

Auch die Temperaturen der in dem Kanalsystem strömenden Gase sind veränderlich. Durch den Rost tritt zunächst kalte äussere atmosphärische Luft ein. Unmittelbar über dem Rost herrscht die ausserordentlich hohe Temperatur der grösstentheil aus atmosphärischer Luft bestehenden Verbrennungsgase. Von da an bis an den Fuss des Kamins hin nimmt die Temperatur der Verbrennungsgase allmählig ab, indem dieselben ihre Wärme grösstentheils an den Kessel abgeben. Durch das Kamin hinauf nimmt abermals die Temperatur etwas ab, weil ein Theil der Wärme durch die Kaminwände entweicht.

Entsprechend den an verschiedenen Stellen herrschenden Pressungen und Temperaturen, richtet sich die Dichte der Gase an verschiedenen Stellen des Kanalsystems.

Die Bewegung der Luft durch das ganze Kanalsystem kann auf verschiedene Weisen durch Rechnung verfolgt werden. Wir wollen zu diesem Behufe das allgemeine Prinzip der Thätigkeit ( $w - w = L - 1$ , Prinzipien der Mechanik, Seite 158) in Rechnung bringen. Diesem zufolge haben wir folgende Wirkungen und lebendigen Kräfte zu berechnen:

1) Die Wirkung, welche die unter dem Rost herrschende Pressung entwickelt, indem sie die Luft in die Rostspalten treibt.

2) Die Wirkung, welche erforderlich ist, um die Widerstände zu überwinden, welche dem Durchgang der Luft durch die Brennstoffmasse entgegenwirken.

3) Die Wirkung, welche die Luft entwickelt, indem sie von der unter dem Rost herrschenden Temperatur in die am Ende der Luftzüge vorhandene Temperatur übergeht und sich dabei ausdehnt.

4) Die Wirkung, welche erforderlich ist, um die Reibung der Luft in den Luftzügen zu überwinden und ferner die Widerstände der Verengungen, Erweiterungen und Krümmungen zu bewältigen.

5) Die Wirkung, welche der Erhebung der Luft im Kamin entspricht.

6) Die Wirkung, welche die Luft während des Aufstiegens entwickelt, indem sie sich von der am Fuss des Kamins herrschenden Spannung bis zu der an der Mündung des Kamins vorhandenen ausdehnt.

7) Die Wirkung, welche der Reibung der Luft an den Wänden des Kamins entspricht.

8) Die Wirkung, welche der Ueberwindung des an der Mündung des Kamins herrschenden Druckes entspricht. Endlich

9) Die lebendige Kraft, mit welcher die Luft aus der Mündung des Kamins in die Atmosphäre tritt.

Manche dieser Wirkungen werden wir nur annähernd berechnen, weil eine ganz genaue Berechnung, wegen der wechselnden Temperaturzustände der Gase, sehr grosse Schwierigkeiten verursacht.

Wir wählen zur Berechnung folgende Bezeichnungen:

$\gamma_0$  das Gewicht von einem Kubikmeter der dem Rost zuströmenden Luft bei  $0^\circ$  Temperatur,

$\mu$  der Druck der Atmosphäre an der Stelle, wo die Luft in den Rost einströmt,

$t$  die Temperatur der in den Rost einströmenden äussern atmosphärischen Luft,

$\alpha = 0.00367$  der Ausdehnungscoefficient für atmosphärische Luft bei  $1^\circ$  Temperaturänderung,

$R$  die Grösse der Rostfläche,

$d$  die Dicke der auf dem Rost liegenden Brennstoffschicht,

$R_1$  die Summe der Querschnitte der Rostspalten,

$L$  die Luftmenge in Kilogrammen, welche in jeder Sekunde durch den Rost einströmt,

$\lambda$  die Länge der Züge vom Rost bis an den Fuss des Kamins,

$\omega$  der Querschnitt dieser Züge,

$c$  die Länge des Umfangs der Züge,

$t_1$  die mittlere Temperatur in den Zügen, welche wir jedoch nur schätzungsweise in Rechnung bringen werden,

$\Omega_1$  der Querschnitt des Kamins, den wir überall gleich gross annehmen wollen, obgleich derselbe nach oben zu abnimmt,

$\Omega$  der Querschnitt der Mündung des Kamins,

$C$  der Umfang des Kaminquerschnitts,

$H$  die Höhe des Kamins oder der Vertikalabstand der Mündung des Kamins und der Rostebene,

$T$  die mittlere Temperatur der Luft im Kamin,

$\mu_1$  die Pressung der Atmosphäre auf 1 Quadratmeter an der Mündung des Kamins,

$k, k_1, k_2, \dots$  Coefficienten zur Berechnung der verschiedenen Wirkungen.

Nebst diesen Bezeichnungen werden im Verlauf der Rechnung noch einige erforderlich, deren Bedeutung sich jedoch im Voraus nicht leicht erklären lässt.

Um das allgemeine Prinzip der Thätigkeit der Kräfte in der vorliegenden Aufgabe verständlich anzuwenden, betrachten wir den

ganzen Heizapparat als ein Röhrensystem A B C D, Tafel XIV., Fig. 8, das bei A einen Querschnitt  $R_1$ , bei D einen Querschnitt  $\Omega$  hat und daselbst mit beweglichen Kolben versehen ist, auf welche die äusseren Kräfte  $R$ ,  $\mathfrak{A}$  und  $\Omega \mathfrak{A}$ , einwirken.

Nennt man allgemein das Gewicht  $\gamma$  von einem Kubikmeter irgend einer Luftart, deren Temperatur  $u$  und deren Spannkraft  $y$ , so ist:

$$\gamma = \frac{y}{\mathfrak{A}} \frac{\gamma_0}{1 + \alpha u} \dots \dots \dots (1)$$

Wenn durch einen Querschnitt  $O$  des Kanalsystems in jeder Sekunde eine Luftmenge von  $L$  Kilogrammen strömt, deren Temperatur  $u$  und Spannkraft  $y$  ist, so erfolgt die Bewegung mit einer Geschwindigkeit  $v$ , und es ist:

$$L = \frac{y}{\mathfrak{A}} \frac{\gamma_0}{1 + \alpha u} O v \dots \dots \dots (2)$$

Hieraus folgt auch:

$$v = \frac{L \mathfrak{A} (1 + \alpha u)}{y \gamma_0 O} \dots \dots \dots (3)$$

$$O v = \frac{L \mathfrak{A} (1 + \alpha U)}{y \gamma_0} \dots \dots \dots (4)$$

Die letzte dieser Gleichungen drückt das in jeder Sekunde durch den Querschnitt  $O$  strömende Luftvolumen aus.

Für die durch die Rostspalten eintretende Luft ist  $u = t$ ,  $y = \mathfrak{A}$ ,  $O = R_1$ , demnach erhält man vermöge (3) für die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft durch den Querschnitt  $R_1$  eintritt, folgenden Werth:

$$\frac{L (1 + \alpha t)}{\gamma_0 R_1}$$

Dies ist also auch die Geschwindigkeit, mit welcher der Kolben bei A fortrückt, und da der Druck gegen denselben  $\mathfrak{A} R_1$  beträgt, so ist die Wirkung, welche in jeder Sekunde produziert wird

$$+ \frac{L (1 + \alpha t)}{\gamma_0 R_1} \mathfrak{A} R_1 = + \frac{L \mathfrak{A} (1 + \alpha t)}{\gamma_0} \dots \dots \dots (5)$$

Die Wirkung, welche dem Durchgang der Luft durch die auf dem Rost liegende Brennstoffmasse entspricht, kann nur sehr unvollkommen annähernd berechnet werden.

Die gesammte Oberfläche der Brennstoffstücke ist annähernd dem Volumen  $\mathfrak{A} R$  der Brennstoffmasse proportional und die Luft reibt sich bei ihrem Durchgang an dieser Fläche. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft die Spalten zwischen den Brennstoffstücken durchströmt, darf dem Werth von  $\frac{L (1 + \alpha t)}{\gamma_0 R}$  proportional

genommen werden. Die der Reibung entsprechende Wirkung ist daher zu setzen:

$$-k A R \left[ \frac{L(1 + \alpha t)}{\gamma_0 R} \right]^3 = -\frac{k(1 + \alpha t)^3 L^3 A}{\gamma_0^3 R^2} \quad (6)$$

Dieser Verlust fällt gross aus, wenn eine grosse Luftmenge durch eine dicke Brennstoffschicht geht, die auf einem kleinen Rost liegt, was der Natur der Sache gemäss ist. Die Grösse  $k$  ist ein durch Erfahrungen zu bestimmender Coefficient.

Da die Temperatur, die Dichte und Spannkraft der Luft bei ihrem Durchgang durch die Luftzüge veränderlich sind, kann der Reibungswiderstand der Luft an den Wänden nicht genau berechnet werden.

Die mittlere Geschwindigkeit der Bewegung ist vermöge (3), wenn man  $y = \mathfrak{A}$ ,  $O = \omega$ ,  $u = t$ , setzt:

$$\frac{L(1 + \alpha t)}{\gamma_0 \omega}$$

Die Dichte dieser Luft ist vermöge (1)  $\frac{\gamma_0}{1 + \alpha t}$

Die Wirkung, welche der Reibung entspricht, ist der Reibungsfläche  $\lambda c$ , der Dichte und dem Kubus der Geschwindigkeit proportional, kann also gesetzt werden:

$$-k_1 \lambda c \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} \left[ \frac{L(1 + \alpha t)}{\gamma_0 \omega} \right]^3 = -\frac{k_1(1 + \alpha t)^2 \lambda c L^3}{\gamma_0^3 \omega^3} \quad (7)$$

wobei  $k_1$  ein Erfahrungscoeffizient ist.

Die Verluste an lebendiger Kraft, welche durch plötzliche Querschnittsänderungen, die in den Luftzügen etwa vorkommen, entstehen können, sind der Luftmenge und dem Quadrat der Luftgeschwindigkeit proportional zu setzen. Wir können sie daher annähernd ausdrücken durch

$$-k_2 L u^2 = -k_2 L \left[ \frac{L(1 + \alpha t)}{\omega \gamma_0} \right]^2 = -\frac{k_2(1 + \alpha t)^2 L^3}{\gamma_0^2 \omega^2} \quad (8)$$

wobei  $k_2$  eine Grösse ist, welche von den in den Zügen vorkommenden plötzlichen Verengungen oder Erweiterungen abhängt.

Beschränken wir uns auf den Fall, dass in den Zügen nur Eine plötzliche Querschnittsänderung vorkommt, die durch einen Schieber verursacht wird, so ist, vermöge Resultate für den Maschinenbau, Seite 134, der hierdurch entstehende Verlust an lebendiger Kraft

$$-\frac{L}{2g} \left[ \frac{L(1 + \alpha t)}{\omega \gamma_0} \right]^2 \left( \frac{\omega}{\omega_2 k_2} - 1 \right)^2 = -\frac{(1 + \alpha t)^2 L^3}{2g \gamma_0^2} \left( \frac{\omega}{\omega_2 k_2} - 1 \right)^2 \quad (9)$$

wobei  $\omega_2$  den verengten Querschnitt und  $k_2$  den Contractionscoefficienten bezeichnet.

Die Reibung der Luft an den Wänden verursacht einen Effektverlust, der der Reibungsfläche, der Dichte der Luft und dem Kubus ihrer Geschwindigkeit proportional ist; derselbe beträgt demnach:

$$-k_3 C H \frac{\gamma_0}{1 + \alpha T} \left[ \frac{L (1 + \alpha T)}{\gamma_0 \Omega_1} \right]^3 = -\frac{k_3 (1 + \alpha T)^3}{\gamma_0^2} \frac{C H}{\Omega_1^3} L^3 \quad (10)$$

Bei der Berechnung dieses Ausdrucks ist die Spannung in den Luftzügen gleich  $\mathfrak{A}$  gesetzt worden, wodurch eine kleine Ungenauigkeit entsteht.

Die der Erhebung entsprechende Wirkungsgrösse ist:

$$-L H \quad \dots \quad (11)$$

Beim Eintritt in den Rost hat die Luft eine Temperatur  $t$  und eine Spannkraft  $\mathfrak{A}$ ; beim Austritt aus dem Kamin hat sie eine Temperatur  $T$  und eine Spannkraft  $\mathfrak{A}_1$ . Um die Wirkungen zu berechnen, welche die Luft durch diese Zustandsänderung entwickelt, werden wir uns der Wahrheit ziemlich nähern, wenn wir annehmen, dass die Luft zuerst von  $t$  bis  $T$  ohne Aenderung ihrer Spannkraft erwärmt wird und sich ausdehnt und dann ohne Aenderung der Temperatur  $T$ , aber mit Aenderung der Spannkraft sich ausdehnt und aus der Spannung  $\mathfrak{A}$  in die Spannung  $\mathfrak{A}_1$  übergeht.

Vermöge (4) ist das ursprüngliche Luftvolumen (wegen  $\gamma = \mathfrak{A}$ )  $\frac{L (1 + \alpha t)}{\gamma_0}$ , dehnt sich die Luft aus, ohne Aenderung der Spannung, so wird ihr Volumen  $\frac{L (1 + \alpha T)}{\gamma_0}$ .

Die Volumsänderung ist daher  $\frac{L}{\gamma_0} (1 + \alpha T) - \frac{L}{\gamma_0} (1 + \alpha t) = \frac{L \alpha (T - t)}{\gamma_0}$  und die Wirkung, welche durch diese Ausdehnung entwickelt wird, indem dabei stets der äussere Druck  $\mathfrak{A}$  überwunden wird, ist:

$$+ \frac{L \alpha (T - t)}{\gamma_0} \mathfrak{A} \quad \dots \quad (12)$$

Indem das Luftvolumen  $\frac{L}{\gamma_0} (1 + \alpha T)$  ohne Aenderung der Temperatur aus der Spannung  $\mathfrak{A}$  in die Spannung  $\mathfrak{A}_1$  übergeht, entwickelt es eine Wirkung (Prinzipien der Mechanik, Seite 69)

$$+ \frac{L}{\gamma_0} (1 + \alpha T) \mathfrak{A} \log \text{nat} \frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{A}_1} \quad \dots \quad (13)$$

Allein der Druck  $\mathfrak{A}_1$ , der Luft an der Mündung des Kamins wird durch folgende Gleichung bestimmt:

$$\log \frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{A}_1} = \frac{\gamma_0 H}{\mathfrak{A} (1 + \alpha t)} \quad \dots \quad (14)$$

Diese Gleichung erhält man leicht, wenn man auf das Gesetz

der Abnahme der Dichte der äussern Luft Rücksicht nimmt. Durch Einführung dieses Werthes von  $\log \frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{A}_1}$  in den Ausdruck (13), wird derselbe:

$$L H \cdot \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t} \dots \dots \dots (15)$$

Nun haben wir noch die Wirkung zu bestimmen, welche der Ueberwindung des an der Mündung bei D wirkenden äusseren Druckes entspricht.

Die Geschwindigkeit der Luft an der Mündung ist wegen (3)  $\frac{L \mathfrak{A} (1 + \alpha T)}{\mathfrak{A}_1 \gamma_0 \Omega}$ , die Grösse des Druckes gegen den Kolben D ist  $\Omega \mathfrak{A}$ , die zu berechnende Wirkung ist demnach:

$$-\frac{L \mathfrak{A} (1 + \alpha T)}{\mathfrak{A}_1 \gamma_0 \Omega} \Omega \mathfrak{A} = -\frac{L \mathfrak{A} (1 + \alpha T)}{\gamma_0} \dots \dots (16)$$

Endlich ist die lebendige Kraft der aus der Mündung strömenden Luft:

$$\frac{L}{2g} \left[ \frac{L \mathfrak{A} (1 + \alpha T)}{\mathfrak{A}_1 \gamma_0 \Omega} \right]^2 = \frac{(1 + \alpha T)^2}{2g \gamma_0^2} \frac{L^3}{\Omega^2} \left( \frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{A}_1} \right)^2 \dots \dots (17)$$

Aber es ist vermöge (14):

$$\frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{A}_1} = e^{\frac{\gamma_0 H}{\mathfrak{A} (1 + \alpha t)}}$$

wobei e die Basis der natürlichen Logarithmen berechnet. Weil aber in allen Fällen der Anwendung  $\frac{\gamma_0 H}{\mathfrak{A} (1 + \alpha t)}$  eine sehr kleine Grösse ist, so hat man annähernd:

$$e^{\frac{\gamma_0 H}{\mathfrak{A} (1 + \alpha t)}} = \left[ 1 + \frac{\gamma_0 H}{\mathfrak{A} (1 + \alpha t)} \right]$$

oder es ist annähernd:  $\frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{A}_1} = \left[ \frac{\gamma_0 H}{\mathfrak{A} (1 + \alpha t)} + 1 \right]$ , demnach wird der Ausdruck (17) für die lebendige Kraft der ausströmenden Luft

$$\frac{(1 + \alpha T)^2}{2g \gamma_0^2} \left[ 1 + \frac{\gamma_0 H}{\mathfrak{A} (1 + \alpha t)} \right]^2 \frac{L^3}{\Omega^2}$$

oder wenn man  $\frac{\gamma_0 H}{\mathfrak{A} (1 + \alpha t)}$  gegen die Einheit vernachlässigt:

$$\frac{(1 + \alpha T)^2}{2g \gamma_0^2} \frac{L^3}{\Omega^2} \dots \dots \dots (18)$$

Nunmehr sind alle Bestandtheile der Gleichung  $w - w = L - 1$  (Prinzipien, Seite 159) berechnet und wir erhalten daher folgenden Ausdruck:



$$\frac{(1 + \alpha T)^2}{2g\gamma_0^2} \frac{L^3}{\Omega^2} = \left\{ \begin{array}{l} + \frac{L \mathfrak{H} (1 + \alpha t)}{\gamma_0} \\ - \frac{k (1 + \alpha t)^2}{\gamma_0^3} \frac{L^3 \mathcal{A}}{R^2} \\ - \frac{k_1 (1 + \alpha t_1)^2}{\gamma_0^2} \frac{\lambda c}{\omega^2} L^3 \\ - \frac{(1 + \alpha t_1)^2}{2g\gamma_0^2} \left( \frac{\omega}{\omega_1 k_2} - 1 \right)^2 \frac{L^3}{\omega^2} \\ - \frac{k_3 (1 + \alpha T)^2}{\gamma_0^2} \frac{CH}{\Omega_1^3} L^3 \\ - L H \\ + \frac{L \alpha (T - t)}{\gamma_0} \mathfrak{H} \\ + L H \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t} \\ - \frac{L \mathfrak{H} (1 + \alpha T)}{\gamma_0} \end{array} \right\} \quad (19)$$

Setzt man zur Abkürzung

$$m = \left\{ \begin{array}{l} \frac{2gk(1 + \alpha t)^2}{\gamma_0(1 + \alpha T)^2} \frac{\Omega^2 \mathcal{A}}{R^2} + 2gk_1 \left( \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha T} \right)^2 \frac{\lambda c \Omega^2}{\omega^3} \\ + \left( \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha T} \right)^2 \left( \frac{\omega}{\omega_1 k_2} - 1 \right)^2 \frac{\Omega^2}{\omega^2} + 2gk_3 \frac{CH}{\Omega_1} \left( \frac{\Omega}{\Omega_1} \right)^2 \end{array} \right\} \quad (20)$$

so folgt aus der Gleichung (19):

$$L = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha T} \Omega \sqrt{2gH \frac{\alpha(T - t)}{(1 + \alpha t)(1 + m)}} \quad (21)$$

Hiermit ist die Luftmenge berechnet, welche durch die Wirkung des Kamins in den Feuerherd einströmt und durch die Mündung des Kamins entweicht.

Die Grösse  $m$  enthält den Gesamteinfluss aller Bewegungshindernisse. Um den Werth von  $m$  für einen vorliegenden Fall numerisch berechnen zu können, muss man die Werthe der Coefficienten  $k$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  kennen, was leider nicht genau der Fall ist. Doch werden wir diese Coefficienten zu bestimmen suchen.

Der Werth von  $m$  fällt klein aus unter folgenden Umständen, die also für den Erfolg günstig genannt werden müssen.

1) Wenn  $\mathcal{A}$  und  $\frac{\Omega}{R}$  klein sind, d. h. bei einer Feuerung mit einem grossen Rost und einer dünnen Brennstoffschicht.

2) Wenn  $\lambda \frac{c}{\omega} \frac{\Omega}{\omega}$  klein sind, d. h. wenn die Züge kurz sind, der Umfang der Züge im Verhältniss zu ihrem Querschnitt klein ist und wenn der Querschnitt der Züge im Verhältniss zum Quer-

schnitt der Kaminmündung gross ist. Das Verhältniss  $\frac{c}{\omega}$  fällt am kleinsten aus bei Zügen, die aus einem Kanal bestehen, wird jedoch gross, wenn die Züge durch eine grössere Anzahl von engen Röhren gebildet werden, wie dies bei den Lokomotivkesseln und Dampfschiffkesseln der Fall ist.

3) Wenn  $\frac{\omega}{\omega_2}$  klein ist, d. h. wenn der Zugschieber ganz aufgezogen wird.

4) Wenn  $\frac{CH}{\Omega_1} \left( \frac{\Omega}{\Omega_1} \right)^2$  klein ist, d. h. für ein verhältnissmässig niedriges, aber weites Kamin. Auch ist es gut, wenn das Kamin weiter ist als seine Mündung.

5) Wenn die Luft mit hoher Temperatur durch das Kamin aufsteigt; doch ist der Einfluss von  $T$  auf  $m$  von keiner Bedeutung, indem  $t_1$  und  $T$  gleichzeitig wachsen oder abnehmen und es nur allein auf das Verhältniss  $\frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha T}$  ankommt. Nachtheilig ist aber jederzeit die Abkühlung der Luft an den Wänden des Kamins, indem dadurch die mittlere Temperatur  $T$  der Kaminluft herabgesetzt wird, während die mittlere Temperatur  $t_1$  in den Luftzügen nicht alterirt wird.

Für alle normal angeordneten und in regelmässigem Betrieb befindlichen Kesselfeuerungen fällt der Werth von  $m$  beinahe gleich gross aus, denn für solche Anlagen sind die Verhältnisse  $\frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha T}$ ,  $\frac{\Omega^2 A}{R^2}$ ,  $\frac{\lambda c \Omega^2}{\omega^3}$ ,  $\left( \frac{\Omega}{\omega} \right)^2$ ,  $\frac{\omega}{\omega_2 k}$ ,  $\frac{CH}{\Omega_1}$ ,  $\left( \frac{\Omega}{\Omega_1} \right)^2$  nahe zu constant. Für die Aufstellung von Regeln zur Bestimmung der Abmessungen der Kamine für Dampfkesselheizungen dürfen wir also  $m$  als eine constante Grösse ansehen. Auszunehmen sind jedoch diejenigen Fälle, wenn etwa die Luftzüge ausserordentlich lang sind, was zuweilen der Fall ist, wenn das Kamin nicht neben der Feuerungsanlage, sondern in einer beträchtlichen Entfernung von derselben aufgestellt werden muss.

Aus der Gleichung (21) sieht man, dass die Luftmenge  $L$ , die das Kamin dem Feuerherd zuführt:

- 1) dem Querschnitt der Mündung des Kamins proportional ist;
- 2) der Quadratwurzel aus der Höhe proportional ist;
- 3) gross ausfällt, wenn  $T - t_1$ , d. h. wenn die Temperaturdifferenz im Kamin und der freien Luft gross ist, d. h. wenn bei kalter äusserer Luft die Verbrennungsgase stark erhitzt durch das Kamin aufsteigen. Allein die in der aufsteigenden Luft enthaltene Wärme ist rein verloren, man muss also die Kamine so einrichten, dass sie

selbst dann hinreichend Luft zuführen, wenn dieselbe ziemlich abgekühlt ist. In den meisten Fällen beträgt jedoch die Temperatur der Luft in den Kaminen 150 bis 200 Grade.

**Bestimmung der Werthe der Coefficienten  $k_1, k_2, k_3$ .** Nennt man  $\mathfrak{P}$  die unmittelbar über dem Rost herrschende Pressung,  $\mathfrak{B}$  das Luftvolumen bei  $t$  Grad Temperatur, so ist vermöge (6):

$$(\mathfrak{A} - \mathfrak{P}) \mathfrak{B} = \frac{k (1 + \alpha t)^3}{\gamma_0^3} \frac{L^3 \mathcal{A}}{R^2}$$

Wegen  $L = \mathfrak{B} \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t}$  findet man

$$\mathfrak{A} - \mathfrak{P} = k \mathcal{A} \left( \frac{L}{R} \frac{1 + \alpha t}{\gamma_0} \right)^2$$

Nun ist  $\frac{L}{R} = \frac{L}{B} \times \frac{B}{R}$ . Aber vermöge der Seite 309 entwickelten Rosttheorie dürfen wir nehmen:

$$\frac{B}{R} = \frac{1895 \mathcal{A} m}{3600} = \frac{1895 \times 0.1 \times 0.25}{3600} = 0.013, \quad \frac{L}{B} = 1.5 \times 12 = 18$$

daher wird  $\frac{L}{R} = 0.235$ .

Nehmen wir  $t = 10^\circ$ , so erhalten wir:

$$\mathfrak{A} - \mathfrak{P} = k \cdot 0.1 \left( 0.235 \frac{1 + 0.00367 \times 10}{1.29} \right)^2 = 0.00356 k$$

Angenommen, die Differenz  $\mathfrak{A} - \mathfrak{P}$  entspreche einer Wassersäule von 2<sup>cm</sup> Höhe, so ist  $\mathfrak{A} - \mathfrak{P} = 0.02 \times 1000 = 20 \text{ K}^{\text{ts}}$ , und dann wird:

$$k = \frac{\mathfrak{A} - \mathfrak{P}}{0.00356} = \frac{20}{0.00356} = 5618$$

hiermit ist  $k$  annähernd bestimmt.

*d'Hurcourt* gibt Seite 204 seines Werkes (de l'éclairage au gaz) an, es sei nach *Peclet*:  $\beta = g k_1 = g k_2$ ,

für Kamine aus gebrannter Erde  $\beta = g k_3 = 0.031115$

„ gusseiserne rauchgeschwärtzte Kamine . . . = 0.01225

„ Blechkamine . . . . . = 0.006175

Für den mittleren dieser Coefficienten wird:

$$k_1 = k_2 = \frac{\beta}{9.81} = \frac{0.01225}{9.81} = 0.00125$$

Für  $k_3$  kann man mindestens nehmen:  $k_3 = 0.66$ . Die Werthe der Coefficienten sind daher:

$$k = 5618, \quad k_1 = k_2 = 0.00125, \quad k_3 = 0.66$$

Nimmt man für Steinkohlenfeuerung:

$$t = 10^\circ \quad \frac{\Omega}{R} = \frac{1}{6}, \quad \frac{\Omega}{\omega} = 2$$

$$T = 200^\circ$$

$$t_1 = \frac{1000 + 200}{2} = 600 \quad \frac{\omega}{\omega_2 k_2} = 2, \quad \frac{CH}{\Omega_1} = 100$$

$$A = 0.1$$

$$\frac{\lambda c}{\omega} = 142, \quad \gamma_0 = 1.029$$

so wird  $1 + \alpha t = 1.0367$ ,  $1 + \alpha T = 1.734$ ,  $1 + \alpha t_1 = 3.202$

$$\frac{2 g k (1 + \alpha t)^3 \Omega^2 A}{\gamma_0 (1 + \alpha T)^2 R^2} = 87.2$$

$$2 g k_1 \left( \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha T} \right)^3 \frac{\lambda C \Omega^3}{\omega^3} = 47$$

$$\left( \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha T} \right)^2 \left( \frac{\omega}{\omega_2 k_2} - 1 \right)^2 \left( \frac{\Omega}{\omega} \right)^2 = 14$$

$$2 g k_3 \frac{CH}{\Omega_1} \left( \frac{\Omega}{\Omega_1} \right)^2 = 2.45$$

und man findet  $m = 151$ . Mit diesem Werth von  $m$  und den obigen Werthen von  $t$  und  $T$  gibt die Formel (21):

$$\frac{L}{\Omega \sqrt{H}} = \frac{1.29}{1.734} \sqrt{2 \times 9.81 \times \frac{0.00367 (200 - 10)}{1.0367 \times 151}} = \frac{1}{4.4}$$

**Praktische Regeln zur Berechnung der Kamine.** Vermittelt der Gleichung (21) können wir nun Regeln zur Bestimmung der Hauptdimensionen der Kamine aufstellen.

Setzen wir zur Abkürzung:

$$\frac{\gamma_0}{1 + \alpha T} \sqrt{2 g \frac{\alpha (T - t)}{(1 + \alpha t) (1 + m)}} = \mu \dots \dots \dots (22)$$

so erhalten wir

$$L = \mu \Omega \sqrt{H} \dots \dots \dots (23)$$

Ist die Höhe des Kamins gegeben, so folgt aus dieser Gleichung

$$\Omega = \frac{L}{\mu \sqrt{H}} \dots \dots \dots (24)$$

Für freistehende Kamine wird gewöhnlich ein Verhältniss zwischen dem Durchmesser und der Höhe festgesetzt.

Nehmen wir an, der innere Querschnitt des Kamins sei ein Quadrat, dessen Seite gleich  $d$ , so hat man  $\Omega = d^2$  und die Gleichung (23) kann dann geschrieben werden:

$$L = \mu \sqrt{\left( \frac{H}{d} \right) d^3}$$

woraus folgt:

$$d = \left(\frac{1}{\mu}\right)^{\frac{2}{5}} \left(\frac{d}{H}\right)^{\frac{1}{5}} (L)^{\frac{2}{5}} \dots \dots \dots (25)$$

$$H = \left(\frac{1}{\mu}\right)^{\frac{2}{5}} \left(\frac{H}{d}\right)^{\frac{1}{5}} (L)^{\frac{2}{5}} \dots \dots \dots (26)$$

Für normal angelegte Dampfkesselheizungen, die in normaler Weise gefeuert werden, darf man annehmen, dass  $\mu$  eine Constante ist, die am verlässlichsten nach der Dimension von wirklich bestehenden Kaminen bestimmt werden kann.

Ich habe gefunden, dass man nehmen darf  $\mu = 924$ , und für freistehende Kamine  $\frac{d}{H} = \frac{1}{25}$ . Für diese Werthe geben die Formeln (23) und (24):

$$\Omega = \frac{N}{924} \frac{L}{\sqrt{H}} \dots \dots \dots (27)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H = 0.95 (L)^{\frac{2}{5}} \\ d = \frac{H}{25} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (28)$$

Nennt man  $N$  die Pferdekraft der Maschine, für welche der Kessel bestimmt ist,  $\mathfrak{S}$  die Steinkohlenmenge,  $\mathfrak{H}$  die Holzmenge,  $L$  die Luftmenge, welche per Stunde für eine Maschine von  $N$  Pferdekraften erforderlich, so ist der Erfahrung zufolge zu setzen:

$$\text{oder es ist } \left. \begin{array}{l} N = \frac{\mathfrak{S}}{3} = \frac{\mathfrak{H}}{6} = \frac{L}{66} \\ L = 66 N = 22 \mathfrak{S} = 11 \mathfrak{H} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (29)$$

und wenn man diesen Werth von  $L$  in die Gleichungen (27) und (28) einführt, so findet man:

$$\left. \begin{array}{l} *) \Omega = \frac{N}{14 \sqrt{H}} = \frac{\mathfrak{S}}{42 \sqrt{H}} = \frac{\mathfrak{H}}{84 \sqrt{H}} = \frac{L}{924 \sqrt{H}} \\ \text{und für } d = \frac{H}{25} \text{ (d die untere Weite des Kamins)} \\ H = 503 N^{\frac{2}{5}} = 3.14 (\mathfrak{S})^{\frac{2}{5}} = 2.45 \mathfrak{H}^{\frac{2}{5}} = 0.95 L^{\frac{2}{5}} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (30)$$

Bei freistehenden gemauerten Kaminen nimmt die innere Weite von unten nach oben zu ab. Nennt man  $d$ , die obere Weite an der

\*) Die von d'Hurcourt, de l'éclairage au gaz, Pag. 225 aufgestellte Formel gibt auf unsere Maasseinheit reduziert  $\Omega = \frac{\mathfrak{S}}{66 \sqrt{H}}$ .

Mündung, so hat man zur Bestimmung dieser Abmessung folgende empirische Formel:

$$d_i = d - 0.013 H \dots \dots \dots (31)$$

Damit das Kamin eine hinreichende Stabilität erhält, muss die Mauerdicke von oben nach unten zunehmen. Nennt man  $e_1$  die obere,  $e_2$  die untere Mauerdicke, so darf man nehmen:

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= 0.18 \text{ Meter} \\ e_2 &= 0.18 + 0.015 H \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (32)$$

Die Resultate, welche die Formeln (30), (31), (32) geben, findet man Seite 201 der Resultate für den Maschinenbau. Auch ist dort eine empirische Regel zur Bestimmung der Dimensionen des Kaminfundaments aufgestellt.

Die Querschnittsform der gemauerten Kamine ist gewöhnlich quadratisch, mit oder ohne Abkantung, Tafel XIV., Fig. 9 bis 12, zuweilen kreisrund, ausnahmsweise regelmässig achteckig.

Der kreisrunde Querschnitt ist zwar hinsichtlich des Reibungswiderstandes, so wie wegen Abkühlung am besten, allein dieser Vortheil ist so klein, dass er in praktischer Hinsicht gar keine Beachtung verdient.

Die Fundamentirung und Aufmauerung muss mit grosser Sorgfalt geschehen, so dass der Bau selbst durch heftige Windstösse nicht wackelig oder rissig wird. Entstehen Risse, so tritt durch dieselben kalte Luft ein, es entsteht im Innern eine Abkühlung, wodurch die Zugkraft des Kamins sehr geschwächt wird.

Viereckige Kamine können mit gewöhnlich geformten Backsteinen aufgeführt werden, runde Kamine erfordern bogenförmig geformte Backsteine, die daher etwas kostspieliger sind.

Zuweilen findet man, dass die Kamine mit einem Säulenkapital geschmückt werden, allein dies ist nicht nur zwecklos, sondern ist auch gegen den gesunden Geschmacksinn. Die einfache Obeliskens-Pyramide, die aus dem Zweck selbst hervorgeht, ist auch am gefälligsten.

**Bug des Kamins bei einer Gall'schen Kesselfeuerung.** Wir haben früher die Einrichtung der Gall'schen Kesselfeuerung erklärt und beurtheilt, und haben darauf hingedeutet, dass bei dieser Feuerungsart die Kaminhöhe kleiner sein kann, als bei einer gewöhnlichen Feuerung. Dies wollen wir nun nachweisen.

Für eine gewöhnliche Kesselfeuerung haben wir Seite 327 den Ausdruck (21) gefunden, nämlich:

$$L = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha T} \Omega \sqrt{2 g H \frac{\alpha (T - t)}{(1 + \alpha t)(1 + m)}} \dots \dots \dots (1)$$

In diesem Ausdruck bedeutet  $H$  die Höhe des Kamins, d. h. den Vertikalabstand der Mündung des Kamins über der Ebene des Rostes,  $T$  die mittlere Temperatur der Luft im Kamin. Um den analogen Ausdruck für eine Gall'sche Feuerung zu finden, müssen wir in diesem Ausdruck (1) für das vor dem Wurzelzeichen erscheinende  $T$  die Temperatur setzen, mit welcher die Luft das Kamin verlässt, wofür wir aber auch die mittlere Temperatur der Luft im eigentlichen Kamin nehmen dürfen, vorausgesetzt, dass der Wärmeverlust, welchen die Kaminwände verursachen, vernachlässigt werden darf. Allein für das unter dem Wurzelzeichen vorkommende  $T$  muss der mittlere Werth der Temperatur gesetzt werden, die im Schlot  $b$ , Tafel XIV., Fig. 5, 6, und im Kamin herrscht. Diese mittlere Temperatur ist annähernd:

$$\frac{(H-h)T + h\mathfrak{z}}{H}$$

wobei  $h$  die Höhe des Schlotes  $b$  und  $\mathfrak{z}$  die Temperatur der Verbrennungsgase im Schlot  $b$ ,  $T$  aber die Temperatur im eigentlichen Kamin bezeichnet, endlich  $H$  die Höhe der Mündung des Kamins über der Ebene des Rostes bedeutet.

Für das Kamin einer Gall'schen Feuerung können wir daher annähernd setzen:

$$L = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha T} \Omega \sqrt{2gH \frac{\alpha}{(1 + \alpha t)(1 + m)} \left[ \frac{(H-h)T + h\mathfrak{z}}{H} - t \right]}$$

oder:

$$L = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha T} \Omega \sqrt{2gH \frac{\alpha(T-t)}{(1 + \alpha t)(1 + m)} \left( 1 + \frac{h}{H} \frac{\mathfrak{z} - T}{T - t} \right)} \quad (2)$$

Hieraus sieht man, wenn bei einer Gall'schen Feuerung die Kaminhöhe, gemessen von der Rostebene bis zur Mündung, eben so gross ist als bei einer gewöhnlichen Feuerung und wenn in beiden Anlagen die Lufttemperatur  $T$  im eigentlichen Kamin den gleichen Werth hat, so ist die Luftmenge  $L$  bei der Gall'schen Einrichtung grösser. Ist z. B.  $h = 2^m$ ,  $H = 40^m$ ,  $\mathfrak{z} = 1200^\circ$ ,  $T = 200^\circ$ ,  $t = 20^\circ$ , so wird:

$$\sqrt{1 + \frac{h}{H} \frac{\mathfrak{z} - T}{T - t}} = \sqrt{1.3} = 1.14$$

Alles Uebrige gleich gesetzt, wird also in diesem Falle die Luftmenge bei der Anlage nach Gall im Verhältniss 1.14 zu 1 grösser als bei einer gewöhnlichen Einrichtung. Dieser Vortheil ist aber nicht erheblich.

Wollte man das eigentliche Kamin ganz weglassen und den Zug nur allein durch den untern Schlot  $b$  hervorbringen, so wäre zu setzen  $h = H$ , und dann hätte man vermöge (2):

$$L = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha T} \Omega \sqrt{2gh \frac{\alpha(T-t)}{(1+\alpha t)(1+m)} - \left(1 + \frac{\mathfrak{X} - T}{T - t}\right)}. \quad (3)$$

wobei nun  $T$  die Temperatur bedeutet, mit welcher die Luft den Kessel verlässt und unmittelbar in die Atmosphäre tritt. Bei einer solchen Einrichtung wäre die Luftmenge  $L$  eben so gross, als bei einer ganz gewöhnlichen Feuerungsanlage mit einem Kamin von der Höhe  $H$ , wenn

$$\sqrt{h \left(1 + \frac{\mathfrak{X} - T}{T - t}\right)} = \sqrt{H}$$

oder wenn

$$h = \frac{H}{1 + \frac{\mathfrak{X} - T}{T - t}}$$

Für  $\mathfrak{X} = 1200^\circ$ ,  $T = 200^\circ$ ,  $t = 20^\circ$  wird  $\frac{h}{H} = \frac{1}{6.5}$ .

Diese Schlothöhe braucht also nur den sechsten Theil einer Kaminhöhe zu haben, um die gleiche Wirkung hervorzubringen, wie ein Kamin. Allein die Lokalverhältnisse werden schwerlich jemals von der Art sein, dass die Anwendung eines so zu sagen negativen oder nach abwärts gekehrten Kamins einen praktischen Vortheil zu gewähren im Stande wären, und bei einer mässigen Schlothöhe  $h$  von circa  $2^m$  ist die Wirkung desselben von keiner Erheblichkeit.

### Durchgang der Wärme durch Gefässwände.

**Voraussetzungen.** Wir wollen uns die Aufgabe vorlegen, die Wärmemenge zu bestimmen, die durch ebene, cylindrische und sphärische Gefässwände geht, wenn diese Wände mit Medien in Berührung stehen, die eine constante Temperatur haben.

Die Fortpflanzung der Wärme im Innern von starren Körpern wurde zuerst (1812) von *Fourier* \*), später (1815) von *Poisson* \*\*) untersucht. Ueber das Wesen der Wärme haben diese Geometer ihre Ansichten nicht ausgesprochen, sondern sie bauen ihre Theorien auf gewisse Voraussetzungen, und gelangen auf abweichenden analytischen Wegen zu übereinstimmenden Endresultaten, die innerhalb gewisser Grenzen durch die Erfahrung bestätigt worden sind.

Ich werde zur Lösung der oben gestellten speziellen Aufgaben

\*) *Théorie de la chaleur*, par *Fourier*.

\*\*) *Mémoire sur la distribution de la chaleur dans les corps solides*, par *Poisson*. *Journal de l'école polytechnique*, cahier XIX.