Die calorische Maschine

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1853

Theorie des Röhrenapparates mit Gegenströmen

urn:nbn:de:bsz:31-266513

Theorie des Röhrenapparates mit Gegenströmen.

Es sei Fig. (3) Tafel III. ein Längen- und ein Querschnitt des Apparates, m n p, m_1 n_1 p_1 zwei unendlich nahe Querschnitte desselben, U, u, U — d U, u — d u die Temperaturen in den Querschnitten n p, m n, n_1 p_1, m_1 n_1, f der zwischen dem Querschnitte E H und m p befindliche Theil der Heizfläche, d f das zwischen m p und m_1 p_1 befindliche Element der Heizfläche. Da mit dem Wachsen von f die Temperaturen U und u abnehmen, so bestehen hier folgende Beziehungen:

$$\left.\begin{aligned} k(U-u)\,df &= -QS\,dU \;\ldots\ldots\ldots \\ -QS\,dU &= -qs\,du \;\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad (28)$$

Durch Integration der letzteren dieser Gleichungen folgt:

$$QSU = qsu + \text{const.} \;\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (29)$$

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

$$\left.\begin{aligned} QST_0 &= qst_1 + \text{const.} \;\ldots\ldots\ldots \\ QST_1 &= qst_0 + \text{const.} \;\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad (30)$$

Durch Subtraktion dieser Gleichungen folgt:

$$QS(T_0 - T_1) = qs(t_1 - t_0) \;\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

Durch Subtraktion der ersten der Gleichungen (30) von (29) ergibt sich aber:

$$QS(U - T_0) = qs(u - t_1)$$

Substituirt man den aus dieser Gleichung für u folgenden Werth in die erste der Gleichungen (28) so verwandelt sich dieselbe in folgende:

$$k\left[U - t_1 - \frac{QS}{qs}(U - T_0)\right] df = -QS\,dU$$

Hieraus folgt:

$$df = -\frac{QS}{k}\,\frac{dU}{\left(1 - \frac{QS}{qs}\right)U + \frac{QS}{qs}T_0 - t_1}$$

Das Integrale dieser Gleichung ist:

$$f = -\frac{1}{k}\frac{QS}{1-\frac{QS}{qs}}\,\text{lognat.}\left\{\begin{matrix}+\left(1-\frac{QS}{qs}\right)U\\ +\frac{QS}{qs}T_0-t_1\end{matrix}\right\} + \text{const.}$$

Nun ist für $f = o$, $U = T_0$ und für $f = F$, $U = T_1$, man hat daher auch

$$o = -\frac{1}{k}\frac{QS}{1-\frac{QS}{qs}}\,\text{lognat.}\left\{\begin{matrix}+\left(1-\frac{QS}{qs}\right)T_0\\ +\frac{QS}{qs}T_0-t_1\end{matrix}\right\} + \text{const.}$$

$$F = -\frac{1}{k}\frac{QS}{1-\frac{QS}{qs}}\,\text{lognat.}\left\{\begin{matrix}+\left(1-\frac{QS}{qs}\right)T_1\\ +\frac{QS}{qs}T_0-t_1\end{matrix}\right\} + \text{const.}$$

Durch Subtraktion dieser Gleichungen ergibt sich:

$$F = \frac{1}{k}\frac{1}{\frac{1}{QS}-\frac{1}{qs}}\,\text{lognat.}\frac{\left(1-\frac{QS}{qs}\right)T_0+\frac{QS}{qs}T_0-t_1}{\left(1-\frac{QS}{qs}\right)T_1+\frac{QS}{qs}T_0-t_1}$$

Mit Berücksichtigung der Gleichung (31) wird nun dieser Ausdruck für F

$$F = \frac{1}{k}\frac{\text{lognat.}\frac{T_0-t_1}{T_1-t_0}}{\frac{1}{QS}-\frac{1}{qs}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

Nebst den so eben aufgefundenen Gleichungen (31) und (32) besteht aber auch hier wiederum die erste und besteht die dritte der Gleichungen (C). Für Röhrenapparate mit Gegenströmen gelten daher folgende Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned}
T_0 &= \Delta + \frac{545}{\lambda S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \\
Q &= q \, \frac{s}{S} \, \frac{t_1 - t_0}{T_0 - T_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \\
B &= 545 \, \frac{Q}{\lambda \mathfrak{H}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \\
F &= \frac{1}{k} \, \frac{\text{lognat.}\, \dfrac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}}{\dfrac{1}{QS} - \dfrac{1}{qs}} \quad \ldots\ldots\ldots
\end{aligned}\right\} \text{(D)}$$

Nachweisung, dass der Gegenstromapparat die vortheilhafteste Leistung gibt.

Wir wollen nun untersuchen, welcher von den drei Apparaten den Vorzug verdient. Der vortheilhafteste Apparat ist offenbar derjenige, welcher die kleinste Heizfläche erfordert, um in einer gewissen Luftmenge q mit einem bestimmten Brennstoffaufwand B eine bestimmte Temperaturerhöhung hervorzubringen.

Wenn wir aber annehmen, dass für alle drei Apparate t_0, t_1, Δ, λ, S, B einerlei Werth haben, so geben zunächst die drei ersten der Gleichungen (B) (C) (D) für T_0, T_1, Q die gleichen Werthe. Der vortheilhafteste Apparat ist also derjenige, bei welchem für die gleichen Werthe von T_1, T_0, t_1, t_0, Q, q, S, s, k der Werth von F am kleinsten ausfällt.

Vergleichen wir zunächst den Kesselapparat mit dem Parallelstromapparat.

Für den Parallelstromapparat ist die Heizfläche:

$$\frac{1}{k} \, \frac{\text{lognat.}\, \dfrac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1}}{\dfrac{1}{QS} - \dfrac{1}{qs}}$$

Für den Kesselapparat ist sie dagegen

$$\frac{1}{k} \, \frac{\text{lognat.}\, \dfrac{T_0 - t_1}{T_1 - t_1}}{\dfrac{1}{QS}}$$

Nun ist aber, da $t_1 > t_0$, $\frac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1} < \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_1}$

$$\text{und } \frac{1}{QS} - \frac{1}{qs} < \frac{1}{QS}.$$

Der Parallelstromapparat erfordert demnach eine kleinere Heizfläche, als der Kesselapparat.

Um zu zeigen, dass der Gegenstrom eine kleinere Heizfläche erfordert, als der Parallelstrom, ist es nothwendig, für die in den Formeln für F erscheinenden Logarithmen die Reihen zu substituiren.

Es ist allgemein

$$\text{lognat. } x = 2\left[\frac{x-1}{x+1} + \frac{1}{3}\left(\frac{x-1}{x+1}\right)^3 + \frac{1}{5}\left(\frac{x-1}{x+1}\right)^5 + \cdots\right] \quad (33)$$

Bezeichnen wir die Heizfläche des Parallelstromapparates mit F_p, so ist vermöge (C)

$$F_p = \frac{qs}{k} \frac{\text{lognat. } \frac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1}}{\frac{T_0 - T_1}{t_1 - t_0} + 1}$$

und wenn man den Logarithmus vermittelst obiger Reihe ausdrückt, so wird:

$$F_p = \frac{qs}{k} 2 (t_1 - t_0) \times$$

$$\frac{\frac{T_0 - T_1 + t_1 - t_0}{T_0 + T_1 - t_1 - t_0} + \frac{1}{3}\left(\frac{T_0 - T_1 + t_1 - t_0}{T_0 + T_1 - t_1 - t_0}\right)^3 + \cdots}{T_0 - T_1 + t_1 - t_0}$$

oder

$$F_p = \frac{qs}{k} 2 (t_1 - t_0) \times$$

$$\left\{\frac{1}{T_0 + T_1 - t_1 - t_0} + \frac{1}{3} \frac{(T_0 - T_1 + t_1 - t_0)^2}{(T_0 + T_1 - t_1 - t_0)^3} + \right\} \quad \cdots \quad (34)$$

Bezeichnet man die Heizfläche für den Gegenstromapparat mit F_g, so ist vermöge der Gleichungen (D)

$$F_g = \frac{qs}{k} \frac{\text{lognat. } \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}}{\frac{T_0 - T_1}{t_1 - t_0} - 1}$$

Drückt man auch hier den Logarithmus vermittelst der Reihe (33) aus, so wird

$$F_g = \frac{q\,s}{k}\,2\,(t_1 - t_0) \times$$

$$\frac{\dfrac{T_0 - T_1 + t_0 - t_1}{T_0 + T_1 - t_0 - t_1} + \dfrac{1}{3}\left(\dfrac{T_0 - T_1 + t_0 - t_1}{T_0 + T_1 - t_0 - t_1}\right)^3 + \;\cdot\;\cdot}{T_0 - T_1 + t_0 - t_0}$$

oder

$$F_g = \frac{q\,s}{k}\,2\,(t_1 - t_0) \times$$

$$\left\{\frac{1}{T_0 + T_1 - t_0 - t_1} + \frac{1}{3}\,\frac{(T_0 - T_1 + t_0 - t_1)^2}{(T_0 + T_1 - t_0 - t_1)^3} + \right\} \;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot \quad (35)$$

Vergleicht man nun die Ausdrücke (34) und (35), so sieht man leicht, dass F_g kleiner ist, als F_p, denn diese Ausdrücke unterscheiden sich nur allein durch die Zähler der Reihenglieder, und es ist $T_0 - T_1 + t_0 - t_1$ kleiner als $T_0 - T_1 + t_1 - t_0$.

Es ist somit nachgewiesen, dass der Kesselapparat der ungünstigste, der Apparat mit Parallelströmen der günstigere und der Gegenstromapparat der günstigste ist. Allein man kann sich auch leicht überzeugen, dass die Unterschiede in den Leistungen dieser Apparate nur dann von Belang sein werden, wenn die Temperaturdifferenz $t_1 - t_0$ bedeutend ist, denn wenn diese Differenz klein ist, kann man $t_1 - t_0$ gegen $T_0 - T_1$ vernachlässigen, und dann wird annähernd

$$F_k = F_p = F_g$$

Die Vortheile des Gegenstromes können also nur dann hervortreten, wenn die Luft stark erhitzt werden soll.

Numerische Berechnungen über die Heizapparate.

Durch numerische Berechnungen sieht man am besten, wie gross die Heizflächen der drei Apparate für gleiche Leistungen sein müssen. Bei diesen Berechnungen wollen wir immer annehmen, dass von der mit der Temperatur t_1 aus der Maschine entweichenden reinen atmosphärischen Luft, so viel als zum Verbrennen des Brennstoffes nothwendig ist, in den Feuerherd geleitet werde, d. h. wir wollen jederzeit $\Delta = t_1$ setzen.

Es sei nun erstens

die Temperatur der äusseren atmosphärischen Luft, welche von der Pumpe aufgesaugt und zum Erwärmen in den Heizapparat getrieben wird . . . . $t_0 = 10^0$

Temperatur, bis zu welcher die Luft erhitzt werden soll $t_1 = 200^0$

Temperatur der in den Feuerherd einströmenden Luft $\varDelta = 200^0$

Temperatur, mit welcher die Verbrennungsgase nach dem Kamin entweichen . . . . $T_1 = \frac{1}{4} T_0$

Spezifische Wärme der Luft und der Verbrennungsgase . . . . $S = s = 0{\cdot}2669$

Verhältniss zwischen der Luftmenge, welche das Verbrennen unterhält und der kleinsten zum vollkommenen Verbrennen erforderlichen Luftmenge . . . . . . $\lambda = 2$

Heizkraft des Brennstoffs (Steinkohlen) . . . . $\mathfrak{H} = 6000$

Wärmemenge, welche in einer Sekunde bei einer Temperaturdifferenz von 1^0 durch einen Quadratmeter Heizfläche geht . . . . $k = \frac{1}{253}$

Für diese Annahmen findet man zunächst für alle drei Heizapparate

$$T_0 = 200 + \frac{545}{2 \times 0{\cdot}2669} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad = 1221^0$$

$$Q = q \frac{0{\cdot}2669}{0{\cdot}2669} \; \frac{200 - 10}{1221 - \frac{1}{4} 1221} \quad . \; . \; . \; . \quad = 0{\cdot}207\ q$$

$$B = 545 \; \frac{0{\cdot}207\ q}{6000 \times 2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad = \frac{q}{106}$$

Dagegen werden aber die Heizflächen:

Für den Kesselapparat: (36)

$$F_k = 253 \; \frac{\text{lognat.} \dfrac{1221 - 200}{305 - 200}}{\dfrac{1}{0{\cdot}207\ q\ 0{\cdot}2669}} \quad . \; . \; . \; . \quad = 31{\cdot}8\ q$$

Für den Apparat mit Parallelströmen:

$$F_p = 253 \; \frac{\text{lognat.} \dfrac{1221 - 10}{305 - 200}}{\dfrac{1}{0{\cdot}2669 \times 0{\cdot}207\ q} + \dfrac{1}{0{\cdot}2669\ q}} \quad . \quad = 22{\cdot}6\ q$$

Für den Heizapparat mit Gegenströmen:

$$F_g = 253 \frac{\text{lognat.}\ \dfrac{1221-200}{305-\ 10}}{\dfrac{1}{0{\cdot}2669 \times 0{\cdot}207\,q} - \dfrac{1}{0{\cdot}2669\,q}} \ . \ = 21{\cdot}8\,q \quad (36)$$

Es sei ferner zweitens

$$t_0 = 10^0 \qquad \Delta = 300 \qquad S = s = 0{\cdot}2669 \qquad \mathfrak{H} = 6000$$

$$t_1 = 300 \qquad T_1 = \frac{1}{3}\,T_0 \qquad \lambda = 2$$

Dann ergibt sich für alle drei Heizapparate:

$$T_0 = 300 + \frac{545}{2 \times 0{\cdot}2669} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ = 1321$$

$$T_1 = \frac{1}{3}\,1321 \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ = 440$$

$$Q = q\,\frac{0{\cdot}2669}{0{\cdot}2669}\,\frac{300-10}{\frac{2}{3}\,1321} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ = 0{\cdot}330\,q$$

$$B = 545\,\frac{0{\cdot}330}{2 \times 6000} - \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ = \frac{q}{66{\cdot}6}$$

und dann findet man ferner:

Für den Kesselapparat:

$$F_k = 253 \frac{\text{lognat.}\ \dfrac{1321-300}{440-300}}{\dfrac{1}{0{\cdot}2669 \times 0{\cdot}330\,q}} \ . \ . \ . \ . \ = 44\,q \quad (37)$$

Für den Apparat mit Parallelströmen:

$$F_p = 253 \frac{\text{lognat.}\ \dfrac{1321-10}{440-300}}{\dfrac{1}{0{\cdot}2669 \times 0{\cdot}330\,q} + \dfrac{1}{0{\cdot}2669\,q}} \ . \ = 37{\cdot}4\,q$$

Für den Apparat mit Gegenstsömen:

$$F_g = 253 \frac{\text{lognat.}\ \dfrac{1321-300}{440-10}}{\dfrac{1}{0{\cdot}2669 \times 0{\cdot}330\,q} - \dfrac{1}{0{\cdot}2669\,q}} \ . \ = 28{\cdot}8\,q$$

Es sei endlich drittens

$$t_0 = 10^0 \qquad \varDelta = 400 \qquad S = s = 0{\cdot}2669 \qquad \mathfrak{H} = 6000$$

$$t_1 = 400^0 \qquad T_1 = \frac{1}{3} T_0 \qquad \lambda = 2 \qquad k = \frac{1}{253}$$

Dann findet man für alle drei Apparate:

$$T_0 = 400 + \frac{545}{2 \times 0{\cdot}2669} \quad \ldots\ldots \quad = 1421$$

$$T_1 = \frac{1}{3}\, 1421 \quad \ldots\ldots \quad = 473$$

$$Q = q \frac{400 - 10}{1421 - 473} \quad \ldots\ldots \quad = 0{\cdot}419\, q$$

$$B = 545 \frac{0{\cdot}419\, q}{2 \times 6000} \quad \ldots\ldots \quad = \frac{q}{52{\cdot}6}$$

und nun folgt weiter:

Für den Kesselapparat:

$$F_k = 253 \frac{\text{lognat.}\ \dfrac{1421 - 400}{473 - 400}}{\dfrac{1}{0{\cdot}2669 \times 0{\cdot}419\, q}} \quad \ldots \quad = 74{\cdot}7\, q \qquad (38)$$

Für den Apparat mit Parallelströmen:

$$F_p = 253 \frac{\text{lognat.}\ \dfrac{1421 - 10}{473 - 400}}{\dfrac{1}{0{\cdot}2669 \times 0{\cdot}419\, q} + \dfrac{1}{0{\cdot}2669\, q}} \quad . \quad = 56{\cdot}9\, q$$

Für den Apparat mit Gegenströmen:

$$F_g = 253 \frac{\text{lognat.}\ \dfrac{1421 - 400}{473 - 10}}{\dfrac{1}{0{\cdot}2669 \times 0{\cdot}419\, q} - \dfrac{1}{0{\cdot}2669\, q}} \quad . \quad = 38{\cdot}4\, q$$

In diesem Beispiel ist, wie man sieht, die Heizfläche eines Apparates mit Gegenströmen nur halb so gross, als die eines Kesselapparates.

Einfluss der Grösse der Heizfläche eines Apparates auf dessen Leistungen.

Die Güte eines Heizapparates ist am besten zu beurtheilen nach dem Verhältniss aus der Wärmemenge, die durch die Heizfläche eindringt, und der Wärmemenge, die durch die Verbrennung des Brennstoffes entwickelt wird. Die erstere dieser Wärmemengen ist $Q\,S\,(T_0 - T_1)$, die letztere dagegen $Q\,S\,(T_0 - \Delta)$. Das Verhältniss derselben ist demnach:

$$\frac{Q\,S\,(T_0 - T_1)}{Q\,S\,(T_0 - \Delta)} = \frac{T_0 - T_1}{T_0 - \Delta}$$

Wir wollen dieses Verhältniss durch i bezeichnen und es für die drei Apparate berechnen.

Für einen Apparat mit Gegenströmen hat man vermöge (D) die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} F_g &= \frac{1}{k}\,\frac{\text{lognat.}\,\dfrac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}}{\dfrac{1}{Q\,S} - \dfrac{1}{q\,s}} \\ Q\,S\,(T_0 - T_1) &= q\,s\,(t_1 - t_0) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (39)$$

Setzt man zur Abkürzung der Rechnung

$$x = e^{k\,F_g\left(\frac{1}{Q\,S} - \frac{1}{q\,s}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (40)$$

so kann die erste der Gleichungen (39) geschrieben werden:

$$x = \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0}$$

Aus dieser Gleichung folgt:

$$T_1 = t_0 + \frac{T_0 - t_1}{x}$$

Setzt man hier für t_1 den aus der zweiten der Gleichungen (39) sich ergebenden Werth, so findet man:

$$T_1 = t_0 + \frac{T_0 - t_0 - \frac{Q\,S}{q\,s}(T_0 - T_1)}{x}$$

Zieht man diese Gleichung von $T_0 = T_0$ ab, so folgt:

$$T_0 - T_1 = T_0 - t_0 - \frac{T_0 - t_0 - \frac{QS}{qs}(T_0 - T_1)}{x}$$

Hieraus ergibt sich, wenn man die Glieder, welche $T_0 - T_1$ und jene welche $T_0 - t_0$ enthalten, zusammenfasst:

$$T_0 - T_1 = (T_0 - t_0)\,\frac{x - 1}{x - \frac{QS}{qs}}$$

Dividirt man diese Gleichung durch $T_0 - \varDelta$ und setzt für x seinen Werth aus (40), so findet man für i_g folgenden Ausdruck:

$$i_g = \frac{T_0 - T_1}{T_0 - \varDelta} = \frac{T_0 - t_0}{T_0 - \varDelta}\,\frac{1 - e^{-k F_g \left(\frac{1}{QS} - \frac{1}{qs}\right)}}{1 - \frac{QS}{qs}\, e^{-k F_g \left(\frac{1}{QS} - \frac{1}{qs}\right)}} \quad . \quad . \quad (41)$$

Behandelt man die Gleichungen B und C auf ganz ähnliche Weise, wie so eben mit den Gleichungen D geschehen ist, so findet man:

Für den Apparat mit Parallelströmen:

$$i_p = \frac{T_0 - T_1}{T_0 - \varDelta} = \frac{T_0 - t_0}{T_0 - \varDelta}\,\frac{1 - e^{-k F_p \left(\frac{1}{qs} + \frac{1}{QS}\right)}}{1 + \frac{QS}{qs}} \quad . \quad . \quad . \quad (42)$$

und für den Kesselapparat:

$$i_k = \frac{T_0 - T_1}{T_0 - \varDelta} = \frac{T_0 - t_0}{T_0 - \varDelta}\,\frac{1 - e^{-\frac{k}{QS} F_k}}{1 + \frac{QS}{qs}\left(1 - e^{-\frac{k}{QS} F_k}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad (43)$$

wobei die den drei Apparaten entsprechenden Werthe von i mit i_g, i_p, i_k bezeichnet sind.

Setzen wir in den Ausdrücken für i_g, i_p, i_k, $\varDelta = t_0$ und $F_g = F_p = F_k = \infty$, so findet man:

$$i_g = 1, \quad i_p = i_k = \frac{1}{1 + \frac{Q\,S}{q\,s}}$$

woraus man sieht, dass es nur mit dem ersteren dieser Apparate möglich wäre, die totale Wärmemenge des Brennstoffes zu gewinnen.

Um zu zeigen, wie mit dem Wachsen der Heizfläche die Leistungen eines Apparates zunehmen, sind numerische Rechnungen am geeignetsten.

Nehmen wir an $q = 1$, $Q = 0{\cdot}5$, $S = s = 0{\cdot}2669$ $k = \frac{1}{253}$, $\frac{T_0 - t_0}{T_0 - \varDelta} = 1$, so findet man vermittelst der Formeln (41) (42) (43):

Für $F_g =$	20	40	60	80	100	Quadratmeter.
$i_g =$	0·41	0·62	0·73	0·82	0·87	
Differenzen	0·41	0·21	0·11	0·09	0·05	

Für $F_p =$	20	40	60	80	100	Quadratmeter.
$i_p =$	0·35	0·56	0·61	0·65	0·66	
Differenzen	0·35	0·21	0·09	0·04	0·01	

Für $F_k =$	20	40	60	80	100	Quadratmeter.
$i_k =$	0·37	0·52	0·59	0·63	0·64	
Differenzen	0·37	0·15	0·07	0·04	0·01	

Denkt man sich, dass die ganze 100 Quadratmeter betragende Heizfläche eines jeden dieser Apparate in fünf gleiche Theile getheilt werde, so geben die Zahlenreihen, welche die Differenzen ausdrücken, an, wie viel Wärme durch jede Abtheilung gewonnen wird. Durch das erste Fünftel der Heizfläche eines Apparates mit Gegenströmen werden bereits 0·41 der Brennstoffwärme gewonnen; durch die übrigen vier Fünftel nur 0·46. Ein Quadratmeter des ersten Fünftels liefert also im Mittel $\frac{4 \times 0{\cdot}41}{0{\cdot}46} = 3{\cdot}6$ Mal mehr Wärme als ein Quadratmeter der übrigen vier Fünftel der Heizfläche. Aehnlich verhält es sich auch bei den andern Apparaten.

Die Leistungen eines Heizapparates wachsen also bei weitem nicht in dem Maase, als die Grösse der Heizfläche zunimmt. Mit einer verhältnissmässig nicht sehr grossen Heizfläche kann man schon ein befriedigendes Resultat gewinnen; es erfordert aber selbst bei einem Apparat mit Gegenströmen eine ganz übermässig grosse Heizfläche, um eine ganz vorzügliche Nutzleistung, z. B. von 0·87 hervorzubringen.

Auch die Temperaturzunahmen, welche in der zu erwärmenden Luft eintreten, nachdem dieselbe $\frac{1}{5}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{5}$ der Heizfläche durchströmt hat, lassen sich leicht berechnen. Man kann sich hierzu der für alle drei Apparate gültigen Gleichung

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

bedienen. Aus dieser folgt:

$$t_1 - t_0 = \frac{Q\,S}{q\,s}(T_0 - T_1) = \frac{Q\,S}{q\,s}(T_0 - \varDelta)\,i$$

Nehmen wir an: $T_0 - \varDelta = 1000$, $Q = 0{\cdot}5$, $q = 1$, so ergibt sich vermittelst der Zahlenreihen, welche für i_g, i_p, i_k aufgefunden wurden:

für F =	20	40	60	80	100	Quadratmeter.
$(t_1 - t_0)_g =$	205	310	365	410	435	Grade.
$(t_1 - t_0)_p =$	178	279	308	324	329	„
$(t_1 - t_0)_k =$	184	258	293	312	322	„

Aehnliche Resultate, wie die, welche wir hier für einen Luftkesselapparat gefunden haben, ergeben sich auch für Dampfkessel.

Ob die Gesammtheit dieser Ergebnisse über die Heizapparate naturgemäss sind, könnte nur durch Versuche ausgemittelt werden. Die gewöhnliche Praxis wird hier nicht entscheiden. Die Dampfkesselpraxis hat wohl gelehrt, dass eine grosse Fläche vortheilhafter ist, als eine kleine, und dass alle Kesselarten bei gleicher Heizfläche einerlei Resultat geben; auch weiss man, dass die Verdampfungsfähigkeit verschiedener Kessel bei gleichem Brennstoffaufwand nicht im Verhältniss der Heizflächen zunimmt, der wahre Zusammenhang zwischen der Heizfläche eines Kessels und der Nutzleistung desselben ist aber aus dieser Kesselpraxis nicht nachgewiesen.

Das Uebereinstimmende der Heizapparate.

Die drei Heizapparate erfordern, wie wir gesehen haben, für gleiche Leistungen sehr verschiedene Heizflächen, sie werden daher bei gleich grossen Heizflächen verschiedene Leistungen hervorbringen. Diese Apparate haben jedoch mehrere übereinstimmende Eigenschaften, die von praktischer Wichtigkeit sind.