VI. Allgemeine Erklärungen.

1. *Der Wasserraum.* Der Innenraum eines Dampfkessels zerfällt in zwei Teile, den *Wasserraum* und den *Dampfraum.* Die Größe des Wasserraumes ist von wesentlichem Einfluß auf die Eignung des Kessels für bestimmte Betriebe. Man unterscheidet daher auch:

a) Großwasserraumkessel,
b) Kessel mit mittlerem Wasserraum,
c) Kleinwasserraumkessel.

Vermöge der hohen spez. Wärme des Wassers kann ein großer Wasserraum erhebliche Wärmemengen aufspeichern und bei einem Temperatur- bzw. Spannungsabfall zum Teil wieder abgeben. Er wirkt daher bei Betrieben mit schwankendem Dampfverbrauch wie ein Akkumulator oder ähnlich wie bei der Maschine ein schweres Schwungrad.

Beispiel 8. Ein Zweiflammrohrkessel von 100 qm Heizfläche und 10 at Überdruck habe einen Wasserraum von etwa 20 cbm. Welche Wärmemenge kann der Kessel über die normale Leistung hinaus abgeben, wenn die Spannung um 1 at sinken darf, und wie lange kann damit eine Mehrleistung von 150 PSi aufrecht erhalten werden?

Die Flüssigkeitswärme des Wassers von 10 at Überdruck beträgt	185,8 WE
die Flüssigkeitswärme des Wassers von 9 at Überdruck beträgt	181,5 „
also werden frei auf 1 kg Wasserinhalt	4,3 WE
und im ganzen Kessel 4,3 · 20 000	= 86 000 WE

Bei einer Beanspruchung von 18 kg/qm würde der Kessel eine Dampfmaschine von etwa 300 PSi betreiben.

Rechnet man nun sehr angenähert die Erzeugungswärme zu 600 WE/kg und den Dampfverbrauch von 1 PSi-Stunde zu 6 kg, so ergibt sich, daß

1 WE = 1 PS-Sekunde

leisten kann.

Sollte nun die Leistung der Maschine um 50 v. H. gesteigert werden, so könnte der Wärmeinhalt des Wasserraumes ohne Änderung der Brenngeschwindigkeit diese Mehrleistung für die Zeit von $\frac{86\,000}{150 \cdot 60} = 9\frac{1}{2}$ Minuten aufrecht erhalten.

2. *Der Dampfraum* kommt weniger als Wärmespeicher in Betracht, weil das spez. Gewicht und die spez. Wärme des Dampfes viel geringer als diejenigen des Wassers sind.

Beispiel 9. Der im vorigen Beispiel erwähnte Kessel hat etwa 10 cbm Dampfraum.

Der Wärmeinhalt des Dampfes beträgt bei 10 at Überdruck	667,1 WE/kg
der Wärmeinhalt des Dampfes beträgt bei 9 at Überdruck	666,1 „
es werden also bei 1 at Spannungsabfall frei	1,0 WE/kg

Der Dampfinhalt von 10 cbm wiegt aber 10 · 5,49 = 54,9 kg, so daß nur 54,9 WE aus dem Dampfraum genommen werden können.

Die Aufgabe des Dampfraumes ist, dem eben gebildeten Dampfe einen Aufenthaltsraum zu gewähren, damit das mitgerissene Wasser sich abscheiden kann; deshalb ist ein großer Dampfraum günstig für die Erzeugung trockenen Dampfes. Dampfdome und Dampfsammler dienen zur Vergrößerung des Dampfraumes, haben aber bei Einführung der Überhitzung nicht mehr die erhebliche Bedeutung.

3. *Die verdampfende Oberfläche* oder *Verdampfungsfläche* ist die Trennungsebene zwischen dem Dampfraum und dem Wasserraum. Da aller entwickelte Dampf durch diese Ebene hindurchtreten muß, so ergibt sich, daß um so weniger Wasser mit in den Dampfraum gerissen wird, je größer und ruhiger die Verdampfungsfläche ist. Schon aus diesem Grunde war die übrigens seit Jahren aufgegebene Anordnung, Walzenkessel mit ihrer Längsachse senkrecht aufzustellen, nicht zweckmäßig.

4. *Der Speiseraum.* Der Raum zwischen der Verdampfungsfläche bei ihrem höchsten und niedrigsten Stande ist der *Speiseraum*; seine Größe hängt hauptsächlich von derjenigen der Verdampfungsfläche ab, da die Höhe bei den meisten Kesseln dieselbe Größe hat. Auch der Speiseraum bietet bei ausreichender Größe die Möglichkeit, erhebliche Wärmemengen aufzuspeichern, was besonders dann in günstiger Weise zur Geltung kommt, wenn vom Heizer vorauszusehende Pausen des Betriebes mit Perioden stärkster Anspannung abwechseln, wie im Lokomotivbetriebe.

Beispiel 10. Der Kessel von Beispiel 8 hat eine Verdampfungsfläche von 19 qm. Bei einem Unterschiede zwischen dem niedrigsten und höchsten Wasserstande von 100 mm beträgt die Größe des Speiseraumes 1,9 cbm. Da die Flüssigkeitswärme bei 10 at Überdruck 185,8 WE/kg beträgt, so kann man, indem man den Kessel bis zum höchsten Wasserspiegel füllt, bei Berücksichtigung einer Speisewassertemperatur von 15° C, eine Wärmemenge

$$Q = 170 \cdot 1900 = \sim 300\,000 \text{ WE}$$

aufspeichern, welche zur Verfügung steht, wenn man den Wasserspiegel wieder sinken läßt.

5. *Die Heizfläche.* Unter der Heizfläche versteht man diejenigen Flächen der Kesselwandungen, welche *außen von den Feuergasen bestrichen und innen vom Wasser bespült werden.* Man spricht daher auch von *wasserberührter Heizfläche.* Die Größe der Heizfläche wird auf der *Feuerseite* gemessen.

Um mit Sicherheit die Gefahr des Erglühens der Kesselwandungen auszuschließen, bestimmt das Gesetz (Allg. pol. Best. f. Ldk. § 3, 1), daß die *Feuerzüge der Dampfkessel an ihrer höchsten Stelle mindestens 100 bzw. 150 mm unter dem festgesetzten niedrigsten Wasserstande* liegen sollen. Eine Ausnahme ist gestattet bei Dampfkesseln, deren Wandungen ausschließlich aus Wasserrohren von weniger als 100 mm Lichtweite bestehen, und bei den sog. *Oberzügen*, bei denen die Kesselwandungen innen von Dampf bespült sind, jedoch müssen im letzteren Falle die Heizgase vor

Erreichung des Dampfraumes eine Heizfläche bestrichen haben, welche bei natürlichem Zuge gleich der 20fachen, bei künstlichem Zuge gleich der 40fachen Größe der Rostfläche ist.

Zur Beurteilung der Wirkung der Kesselheizfläche diene folgende Betrachtung, welche sinngemäß auch für die Heizflächen der Überhitzer und Vorwärmer paßt. Die angegebenen Zahlen und Beispiele sind so gewählt, daß sie normalen Verhältnissen entsprechen und sollen nur die theoretischen Ausführungen veranschaulichen. Es bezeichnen:

H die Größe der Heizfläche in qm,
Q die in 1 Stunde durch dieselbe tretende Wärmemenge in WE,
Δt die Temperaturdifferenz zwischen den Heizgasen und dem Kesselinhalt,
k die Wärmedurchgangszahl, d. h. Anzahl von WE, die in 1 Stunde bei 1° Temperaturdifferenz durch 1 qm Heizfläche hindurch von den Heizgasen auf den Kesselinhalt übergehen.

Dann ist

$$Q = k\,H\,\Delta t. \tag{25}$$

Die Wandungen, welche die Heizfläche bilden, setzen dem Durchgang der Wärme einen Widerstand entgegen, der sich aus 3 Teilen zusammensetzt:

1. dem Widerstand beim Übergang der Wärme von den Heizgasen auf die Metallwand;
2. dem Widerstand beim Durchgang durch die Metallwand;
3. dem Widerstand beim Übergang von der Metallwand auf den Kesselinhalt.

Man rechnet nun mit den reziproken Werten dieser Widerstände, wie auch der gesamte Widerstand der reziproke Wert der Wärmedurchgangszahl k ist.

Nun ist nach dem Taschenbuch der „Hütte" die Wärmeübergangszahl, die auf 1 qm Fläche und 1° Temperaturunterschied übergehende Wärmemenge,

für Luft, Gase und überhitzte Dämpfe, wenn dieselben mit der Geschwindigkeit w m/sek an der Heizfläche entlangströmen,

$$\alpha_1 = 2 + 10\sqrt{w} \text{ für } w = 1 \text{ bis } 100 \text{ m/sek.} \tag{26}$$

Nimmt man für den ersten Zug die mittlere Heizgastemperatur zu 900° C, den Querschnitt des Zuges zu $^1/_3$ der Rostfläche und die Brenngeschwindigkeit zu 100 kg/qm an, so ergibt sich eine Geschwindigkeit $w = 4$ bis 5 m/sek und

$$\alpha_1 = 22 \text{ bis } 25.$$

Für außerordentliche Verhältnisse, z. B. bei einem Lokomotivkessel mit einem Querschnitt der Heizröhren gleich $^1/_6$ der Rostfläche und einer Brenngeschwindigkeit von 400 kg/qm, wird $w = 34$ m/sek und $\alpha_1 = 60$.

Die Wärmeübergangszahl für siedendes Wasser beträgt

$$\alpha_2 = 4000 \text{ bis } 6000.$$

Guter Umlauf der Flüssigkeit erhöht, mangelhafter erniedrigt diesen Wert.

Für den Wärmedurchgang kommt die Dicke der Wand δ und die Leitfähigkeit des Metalles in Betracht.

Die in 1 Stunde bei 1° C Temperaturunterschied durch eine Wand von 1 qm Fläche und 1 m Dicke hindurchgehende Wärmemenge sei mit λ bezeichnet; es ist dann für:

Eisen	$\lambda =$ 40 bis 50
Kupfer	$\lambda =$ 320
Kesselstein	$\lambda =$ 2
Maschinenöle	$\lambda =$ 0,1
Luft	$\lambda =$ 0,02

Da man den Gesamtwiderstand durch Addition der Einzelwiderstände erhält, so ergibt sich die Wärmedurchgangszahl zu

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}}. \tag{27}$$

Beispiel 11. Die Wärmedurchgangszahl für eine eiserne Kesselwand von 20 mm Dicke beträgt

$$k = \frac{1}{\frac{1}{22} + \frac{1}{5000} + \frac{0{,}020}{40}} = 21{,}6.$$

Für eine kupferne Lokomotivfeuerbüchse habe α_1 denselben Wert 22, da die Gasgeschwindigkeit dort noch gering ist, dann erhält man bei einer Wandstärke von durchschnittlich 18 mm

$$k = \frac{1}{\frac{1}{22} + \frac{1}{5000} + \frac{0{,}018}{320}} = 21{,}9.$$

Man erkennt den geringen Einfluß der Art des Metalles; erheblicher ist derjenige der Geschwindigkeit der Gase, vom größten Einfluß ist es aber, ob die Heizflächen rein oder einerseits mit Ruß oder Flugasche, andererseits mit Schlamm, Öl oder Kesselstein bedeckt sind.

Ist die eiserne Wand mit einer Kesselsteinschicht von $\delta_1 = 1$ cm Dicke bedeckt, so ist

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\lambda}{\delta} + \frac{\lambda_1}{\delta_1}} = \frac{1}{\frac{1}{22} + \frac{1}{5000} + \frac{0{,}020}{40} + \frac{0{,}01}{2}} = 19{,}5.$$

Setzt man an die Stelle von $\frac{\lambda_1}{\delta_1}$ die entsprechenden Werte $\frac{\lambda_2}{\delta_2}$ für Öl, so ergibt sich, daß eine 0,5 mm starke Ölschicht dieselbe Wirkung wie 1 cm Kesselstein hat.

Das mittlere Temperaturgefälle Δt.

Infolge des Wärmeüberganges von den Heizgasen auf den Kesselinhalt vermindert sich stetig die Temperatur der ersteren und erhöht sich diejenige des

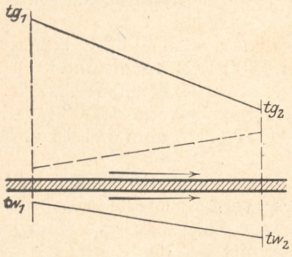

Fig. 10.

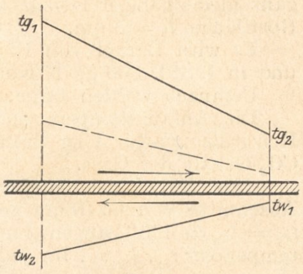

Fig. 11.

letzteren. Es ist daher der Wert Δt aus Gl. (25) als mittlerer Temperaturunterschied zwischen den Temperaturen der Heizgase t_{g_1} am Anfang und t_{g_2} am Ende der Heizfläche einerseits und den Temperaturen des Kesselwassers t_{w_1} beim Herankommen an die Heizfläche und t_{w_2} beim Verlassen derselben andererseits zu berechnen.

Es ist dann nach der Formel von Grashof

$$\Delta t = \frac{(t_{g_1} - t_{w_1}) - (t_{g_2} - t_{w_2})}{\ln \frac{t_{g_1} - t_{w_1}}{t_{g_2} - t_{w_2}}}. \tag{28}$$

Man hat nun zu unterscheiden, ob sich Gase und Flüssigkeit zu beiden Seiten der Wand in derselben oder in entgegengesetzten Richtungen bewegen. Den ersten Fall bezeichnet man als Gleichstrom, den letzten als Gegenstrom (Fig. 10 und 11).

Die Verbindungslinien der Temperaturen werden im allgemeinen keine Geraden sein und bei Gleichstrom etwa die Form von Fig. 12 statt der in Fig. 10 gezeichneten annehmen, wie aus Beispiel 11 hervorgeht.

Für den Gleichstrom gilt Gl. (28), für Gegenstrom lautet dieselbe

$$\varDelta t = \frac{(t_{g_1} - t_{w_2}) - (t_{g_2} - t_{w_1})}{\ln \dfrac{t_{g_1} - t_{w_2}}{t_{g_2} - t_{w_1}}} . \tag{29}$$

Für den Fall, daß die Temperaturdifferenzen zu Anfang und Ende der Heizfläche gleich sind, was natürlich nur beim Gegenstrom eintreten kann, also für

$$(t_{g_1} - t_{w_2}) = t_{g_2} - t_{w_1}$$

ist

$$\varDelta t = \frac{t_{g_1} + t_{g_2}}{2} - \frac{t_{w_1} + t_{w_2}}{2} , \tag{30}$$

was graphisch einfach durch Fig. 13 veranschaulicht wird.

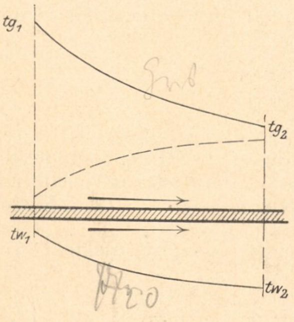

Fig. 12.

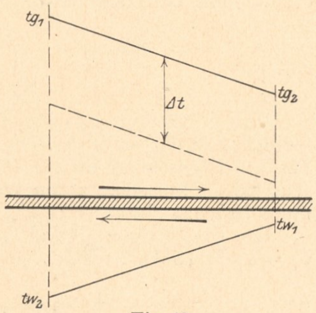

Fig. 13.

Angenähert gilt Gl. (30) auch für andere Temperaturverhältnisse. Je weiter dieselben sich jedoch von den durch Fig. 13 dargestellten entfernen, um so größer wird die Abweichung. Ist z. B. die Temperaturdifferenz am Anfang der Heizfläche zehnmal so groß wie am Ende, so ist der angenäherte Wert durch 1,41 zu dividieren, um den genauen zu erhalten.

Beispiel 12. Es soll versucht werden, ein Bild von der Wirkung der Heizfläche zu gewinnen, indem ein Kessel von ganz gleichmäßiger Heizfläche von 100 qm angenommen wird. Rostfläche $R = 3$ qm.

Es wird Dampf von 12 at Überdruck, also 190° C erzeugt, und in 1 Std. 300 kg N-Kohle von 7300 WE verbrannt.

Demnach werden aufgewendet $Q_i = \backsim 2\,200\,000$ WE.

Die Anfangstemperatur der Heizgase betrage 1500° C, die Heizgasmenge für 1 kg Brennstoff $G_v = 12{,}13$ cbm bei 13 v. H. CO_2-Gehalt der Gase.

Zum Zweck der Untersuchung werde nun die Heizfläche in Abschnitte von je 10 qm geteilt; es werde für alle Abschnitte $t_{w_1} = t_{w_2} = 190°$ angenommen, ferner die mittlere Heizgastemperatur $t_{g_1}, t_{g_2} \ldots$ für jeden Abschnitt ermittelt, und $k = 22$ genommen. Dann ist für Abschnitt I

$$\varDelta t = 1500 - 190 = 1310° .$$

Die aufgenommene Wärmemenge

$$Q_I = H \cdot k \cdot \varDelta t = 10 \cdot 22 \cdot 1310 = 288\,000 \text{ WE}.$$

Der durch diese Wärmeabgabe bedingte Temperaturabfall

$$t_{g_1} - t_{g_2} = \frac{Q_I}{B \cdot G_v \cdot c_p} = \frac{288\,000}{300 \cdot 12{,}13 \cdot 0{,}32} = 248° .$$

Die Anfangstemperatur für den nächsten Abschnitt

$$t_{g_2} = 1500 - 248 = 1252 .$$

Diese Rechnung, für alle 10 Abschnitte durchgeführt, gibt das in Fig. 14 dargestellte Bild für den Verlauf der Wärmeaufnahme und der Temperaturen.

Als Endergebnis findet man $t_{g_{11}} = 351°$ und

$$\eta\, Q_i = \Sigma Q = Q_I + Q_{II} + \ldots\ 1\,337\,000 \text{ WE}.$$

Der Wirklichkeit entspricht dieses Ergebnis insofern nicht, als für den angenommenen Kessel ein Wirkungsgrad $\eta = 0{,}7$ und demnach eine aufgenommene Wärmemenge

$$\eta\, Q_i = 1\,540\,000 \text{ WE}$$

erwartet werden kann.

Der Grund für diesen Unterschied, etwa 9 v. H., ist in folgenden Punkten zu suchen:

1. Es ist nicht der Wärmeübergang durch die Bestrahlung der direkten Heizfläche berücksichtigt worden;
2. es ist mit einer konstanten spez. Wärme $c_p = 0{,}32$ gerechnet worden, während dieselbe bei höheren Temperaturen größer als 0,32 sein muß;
3. durch Versuche an Überhitzern und Vorwärmern ist nachgewiesen, daß die Wärmedurchgangszahl k mit der Beanspruchung der Heizfläche zunimmt; es ist anzunehmen, daß dies auch für Kesselheizflächen zutrifft, so daß auch aus diesem Grunde die Wärmeaufnahme der ersten qm Heizfläche größer als berechnet sein wird.

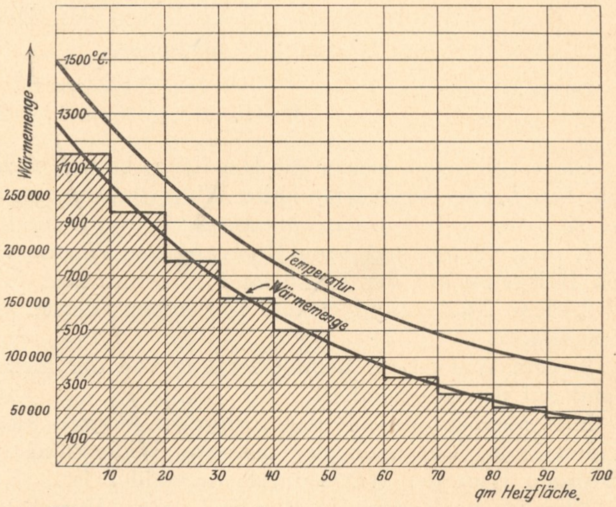

Fig. 14. Wärmeaufnahme und Temperaturverlauf entlang der Heizfläche.

Beispiel 13. Um das im vorigen Beispiel angedeutete Bild zu vertiefen, sind folgende Berechnungen durchgeführt und in Fig. 15 graphisch dargestellt.

Es werde, ebenfalls in einem Kessel von gleichartiger Heizfläche mit $k = 22$ Dampf von 12 at Überdruck und $t_w = 190°$ C mit N-Kohle von 7300 WE erzeugt.

Die Heizfläche sei in Vielfachen der Rostfläche bemessen, sie sei beliebig groß; die Rechnung erstreckt sich jedoch nur bis zur 40fachen Größe der Rostfläche. Berechnet und aufgetragen sind die an den verschiedenen Stellen der Heizfläche herrschenden Rauchgastemperaturen für folgende Verhältnisse:

a) Die Verbrennung erfolge mit einem Luftüberschuß entsprechend $k' = 13$ v. H. CO_2-Gehalt bei Brenngeschwindigkeiten von $B = 60$, 80, 100 und 120 kg Kohlen auf 1 qm Rostfläche;
b) Verbrennung mit $k' = 10$ v. H. CO_2-Gehalt bei denselben Brenngeschwindigkeiten.

Demnach erhält man 8 Zahlenreihen und Kurven für den Temperaturabfall der Heizgase auf ihrem Wege entlang der Kesselheizfläche.

Bezeichnet

Q_n die von dem $n$ten Abschnitt der Heizfläche aufgenommene Wärme,

H' die Größe dieses Abschnittes, hier 1 qm,

t_{g_n} die mittlere Heizgastemperatur dieses Abschnittes,

$\varDelta t_n = t_{g_n} - t_w$ die Temperaturdifferenz zwischen Heizgasen und Kesselinhalt,

so ist

$$Q_n = H' \, k \, \varDelta t_n .$$

Ist ferner $C = B \cdot G_v \cdot c_p$ die Wärmeabgabe der Heizgase für 1° C Temperaturabfall, so ist der Temperaturabfall für den betrachteten Heizflächenabschnitt

$$\varDelta t_{g_n} = t_{g_n} - t_{g_{n+1}} = \frac{Q_n}{C} ,$$

woraus $t_{g_{n+1}}$ und $\varDelta t_{n+1}$ für den nächsten Abschnitt zu berechnen sind.

[1]) S. Tabelle, Hütte I, 1908, S. 309.

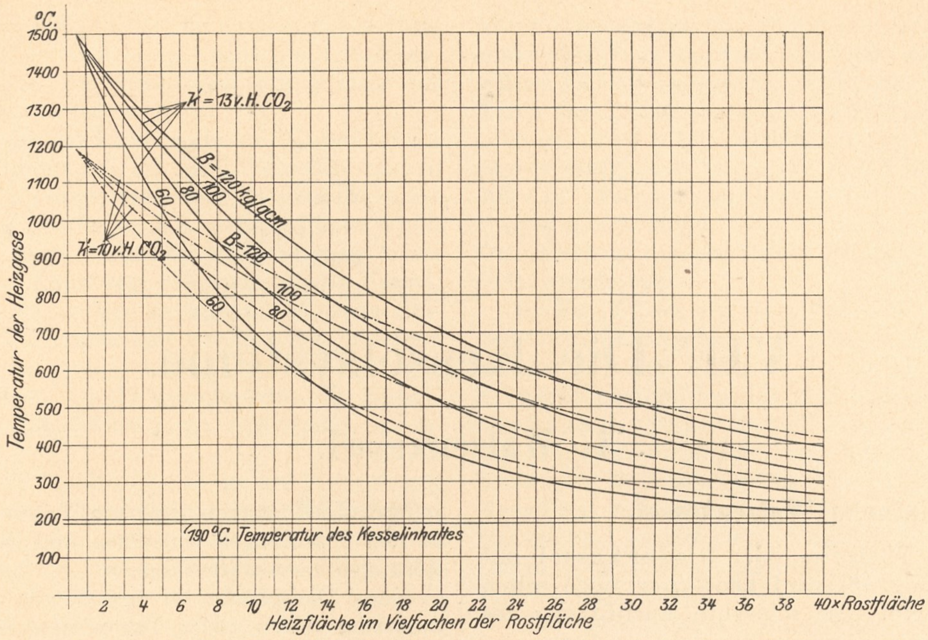

Fig. 15. Temperaturverlauf entlang der Heizfläche; abhängig vom Luftüberschuß und von der Brenngeschwindigkeit.

So ist z. B. für $k' = 13$ v. H. und $B = 60$ kg/qm die Anfangstemperatur nach Gl. (21) $t_{g_1} = \mathbf{1500°}$.

$$C = 60 \cdot 12{,}13 \cdot 0{,}32 = 234\,,$$

$$\varDelta t_1 = 1500 - 190 = 1310°\,,$$

also

$$Q_1 = H' \cdot k\,\varDelta t_1 = 1 \cdot 22 \cdot 1310 = 28\,800 \text{ WE},$$

$$\varDelta t_{g_1} = t_{g_1} - t_{g_2} = \frac{Q_1}{C} = \frac{28\,800}{234} = 123°\,,$$

$$t_{g_2} = t_{g_1} - \varDelta t_{g_1} = 1500 - 123 = \mathbf{1377°}\,,$$

$$\varDelta t_2 = t_{g_2} - t_w = 1377 - 190 = 1187°\,.$$

$$Q_2 = H'\,k\,\varDelta t_2 = 1 \cdot 22 \cdot 1187 = 26\,200 \text{ WE},$$

$$\varDelta t_{g_2} = t_{g_2} - t_{g_3} = \frac{Q_2}{C} = \frac{26\,200}{234} = 112°\,,$$

$$t_{g_3} = t_{g_2} - \varDelta t_{g_2} = 1377 - 112 = \mathbf{1265°}\,,$$

$$\varDelta t_3 = t_{g_3} - t_w = 1265 - 190 = 1075°\,.$$

$$Q_3 = H'\,k\,\varDelta t_3 = 1 \cdot 22 \cdot 1075 = 23\,700 \text{ WE}.$$

. . . .

. . . .

$$Q_n = H'\,k\,\varDelta t_n\,,$$

$$\varDelta t_{g_n} = t_{g_n} - t_{g_{n+1}} = \frac{Q_n}{C}\,,$$

$$t_{g_{n+1}} = t_{g_n} - \varDelta t_{g_n}\,,$$

$$\varDelta t_{n+1} = t_{g_{n+1}} - t_w\,.$$

Für die übrigen Zahlenreihen gilt dasselbe Rechenschema, nur ist, den verschiedenen Rostbeanspruchungen entsprechend, für $B = 80$, 100, 120 kg/qm, $C = 312$, 390, 468 zu setzen.

Für $k' = 10$ v. H. Kohlensäuregehalt wird die Anfangstemperatur zu $t_{g_1} = 1190°$, $G_v = 15{,}3$ cbm und C zu 294, 392, 490, 588 ermittelt.

Der Unterschied in dem Verlauf der entsprechenden Kurven der Fig. 14 und 15 rührt daher, daß einerseits die Ordinaten der letzteren für kleinere Abschnitte der Heizfläche berechnet sind und ferner die Anfangstemperatur, wie es der Wirklichkeit besser entsprechen dürfte, als in der Mitte des ersten Heizflächenabschnittes und nicht als am Anfange desselben herrschend, wie in Fig. 14, angenommen wurde.

Daß die Anfangstemperatur t_{g_1}, wie Gl. (21) ergibt, von den verschiedenen Rostbeanspruchungen unabhängig sein soll, dürfte in Wirklichkeit nicht zutreffen; sie wird bei stärkerer Beanspruchung höher sein als bei geringer; doch bleibe das hier unberücksichtigt, da das allgemeine Ergebnis der vorstehenden Betrachtung dadurch nicht geändert wird.

Die Kurven zeigen einen der Temperatur des Kesselinhaltes sich asymptotisch nähernden Verlauf. Man erkennt daraus, daß die Vergrößerung der Heizfläche über ein gewisses Maß hinaus nicht wirtschaftlich sein würde. Dieses Maß hängt von den Beschaffungskosten des Kessels einerseits und von den Brennstoffkosten andererseits ab.

Man ersieht ferner, daß bei größerer Rostbeanspruchung die Temperatur langsamer fällt und die Abgangstemperatur der Gase höher ist als bei geringerer, sowie daß bei Verbrennung mit größerem Luftüberschuß nicht nur die Anfangstemperatur niedriger ist, sondern auch die Abgangstemperatur höher sein kann als bei geringerem Luftüberschuß.

Um anzudeuten, welchen Einfluß Abweichungen von den für die Rechnung angenommenen Verhältnissen haben können, sei ein Zweiflammrohrkessel betrachtet. Der vom Flammrohr gebildete Teil der Heizfläche, etwa gleich dem 20fachen der Rostfläche, dürfte ungefähr den angenommenen Bedingungen entsprechen und den bis zur Mitte des Bildes gezeichneten Temperaturverlauf haben; von da an wird die Kurve etwas schneller sinken, da außer für die Heizung des Kesselmantels auch Wärme an das Mauerwerk der äußeren Heizzüge abgegeben wird. Desgleichen wird die Kurve sich gegenüber der gezeichneten ändern, sobald der Kessel längere Zeit im Betriebe ist und die Heizfläche im Innern durch Kesselstein und äußerlich durch Ruß und Flugasche, die schlechte Wärmeleiter sind, verunreinigt wird.