

Aus dem Versuchsbericht seien in Zahlentafel Nr. 53 die wichtigsten Ergebnisse mitgeteilt und in Fig. 201 die Kurven wiedergegeben, welche durch je 7 Punkte, Werte von k darstellend, hindurchgelegt sind. Kurve I gilt für den Vorwärmer nach Green (im Gleichstrom geschaltet), II für Krügerschaltung (gruppenweise Gegenstromschaltung) und III für Vorwärmer mit vollkommener Gegenstromschaltung (Düsseldorfer Economiser).

Zahlentafel Nr. 53.

Schaltung des Vorwärmers	Gleichstromschaltung I		Krügerschaltung II		Düsseldorfer Gegenstromschaltung III	
	Mittleres Temperaturgefälle Δt °C	84,8	187,1	89,0	191,6	87,7
Beanspruch. der Vorwärmerheizfläche . WE/qm-Std.	760	2440	872	2470	870	2280
Wärmedurchgangszahl k .	8,95	13	9,78	13,4	9,9	12,9

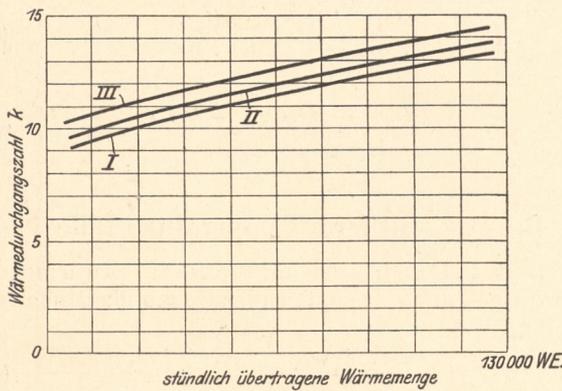


Fig. 201.

Schmiedeeiserne Vorwärmer, bestehend aus Rohren von 30 bis 40 mm lichter Weite, weisen infolge der Zerlegung des Wasserstromes in eine größere Anzahl kleiner Ströhne und der größeren Wassergeschwindigkeit in ihnen eine höhere Wärmedurchgangszahl k auf als normale gußeiserne Rohre von 90 bis 100 mm innerem Durchmesser.

An vorhandenen Anlagen wird die Wärmedurchgangszahl ermittelt aus

$$k = \frac{D \cdot (t w_2 - t w_1)}{H_v \cdot \Delta t} \quad (51)$$

Bei Neuanlagen kann man

- bei gußeisernen Rohren $k = 10$ bis 12
- bei schmiedeeisernen Rohren $k = 15$ bis $20^1)$

nehmen.

Zu berücksichtigen ist bei der Wahl von k noch die Frage, ob die Vorwärmerrohre von innen und außen leicht gereinigt werden können. Man wähle daher in normal beanspruchten Anlagen mit guter Feuerbedienung (etwa 12 bis 13 v. H. CO₂) für gußeiserne Rohre und Gleichstromschaltung $k =$ etwa 10 bis 12, bei Gegenstromeconomisern etwa 10 v. H. mehr, also $k =$ etwa 11. Geringere Kesselbeanspruchungen und höhere Kohlen säuregehalte in den Rauchgasen lassen diese Werte nach unten schwanken, während größere Beanspruchungen und geringere CO₂-Gehalte den Wert von k erhöhen, weil dabei ein verhältnismäßig größeres Gasquantum an die Vorwärmerheizfläche gelangt.

¹⁾ Bei Versuchen des Halberstädter Revisions-Vereins an einem Schulzischen Rauchgasvorwärmer wurde k zu 19 bis 22 ermittelt.

D. Wärmeinhalt der Rauchgase.

Für die Leistung und die wirtschaftlich zweckmäßige Größe der Heizfläche eines Vorwärmers kommt nicht nur die Temperaturdifferenz $t g_4 - t g_5$, sondern auch die Menge der Rauchgase in Betracht. Wird der letztere Faktor nicht berücksichtigt, so kann auch eine noch so große Heizfläche keinen Erfolg gewährleisten; denn man kann auf das zu erwärmende Wasser keine größere Wärmemenge übertragen, als in den Rauchgasen zwischen den entsprechenden Temperaturgrenzen vorhanden ist.

Deshalb kann bei einer schlechteren Feuerung, die mit einem großen Luftüberschuß arbeitet, eine höhere Leistung des Vorwärmers herauskommen als bei einer besseren, wo die Rauchgasmenge geringer ist.

Beispiel 19. In eine Kesselanlage, welche bisher mit Wasser von 35° C gespeist wurde und die überhitzten Dampf von 12 at Überdruck und 350° C erzeugt, soll ein Vorwärmer eingebaut werden, wodurch der Wirkungsgrad vom Kessel, Überhitzer und Vorwärmer schätzungsweise auf 75 v. H. steigt. Die Temperaturen der Rauchgase vor und hinter dem Vorwärmer seien etwa $t g_4 = 300°$ C und $t g_5 = 180°$ C.

Auf welche Temperatur kann das Speisewasser bei Verwendung der N-Kohle von 7300 WE gebracht werden, wenn der Wärmeverlust durch die freiliegende Vorwärmerwandung und die Umfassungswände 10 v. H. beträgt;

- a) wenn die Feuerung mit $k = 13$ v. H. CO₂,
- b) wenn sie mit 10 v. H. CO₂ arbeitet?

a) Wenn eine Temperatur des vorgewärmten Wassers $t w_2 = 95°$ vorweg angenommen wird, so ist die Dampferzeugungswärme (Zahlentafel Nr. 3):

$$i = 668,9 + 0,54 \cdot 160 - 95 = 682,4 \text{ WE/kg}$$

und die Verdampfungsziffer

$$x = \frac{7300 \cdot 0,75}{682,4} = \approx 8 \text{ kg auf 1 kg Kohle.}$$

Bei $k' = 13$ v. H. CO₂ beträgt, aus Fig. 7 gemessen, die Rauchgasmenge für 1 kg Kohle

$$G_v = \text{rd. } 12 \text{ cbm}$$

und die verfügbare Wärmemenge

$$Q_1 = 0,32 \cdot 12 \cdot (300 - 180) = 462 \text{ WE.}$$

Da hiervon 10 v. H. auf Leitung und Strahlung der freiliegenden Economiserwandung und der Ummauerung entfallen, so gehen an das Speisewasser über

$$Q_3 = 0,9 \cdot 462 = 415 \text{ WE.}$$

Die Erwärmung desselben beträgt also nach Gl. (46) und (48)

$$t w_2 - t w_1 = \frac{Q_3}{D} = \frac{415}{8} = 52° \text{ C.}$$

Das Speisewasser gelangt also mit $35 + 52 = 87°$ C in den Kessel; eine höhere Erwärmung ist unter den gegebenen Verhältnissen nicht möglich.

b) Bei $k' = 10$ v. H. CO₂ ist der Wirkungsgrad des Kessels einschließlich Economiser geringer und sei zu 71 v. H. angenommen. Danach ist die Verdampfungsziffer in diesem Falle nur

$$x = \frac{7300 \cdot 0,71}{682,4} = 7,6 \text{ kg/kg.}$$

Die Rauchgasmenge pro kg Kohle aber trotzdem

$$G_v = 15,3 \text{ cbm}$$

und

$$\eta \cdot Q_1 = 0,9 \cdot 0,32 \cdot 15,3 \cdot (300 - 180) = 530 \text{ WE.}$$

Die Erwärmung des Speisewassers steigt also auf

$$t w_2 - t w_1 = \frac{530}{7,6} = 70° \text{ C}$$

und

$$t w_2 = 35 + 70 = 105° \text{ C.}$$

Allerdings wäre diese höhere Erwärmung des Speisewassers durch die Erniedrigung des Kesselwirkungsgrades um rund 4 v. H. im zweiten Falle (siehe Zahlentafel Nr. 4) zu teuer erkauft.

Beispiel 20. Für die im vorigen Beispiel gegebenen Verhältnisse soll die Vorwärmerheizfläche für 1000 kg Speisewasser

berechnet werden und für den Fall unter a) mit $k' = 13$ v. H. CO_2 und mit einer Wärmedurchgangszahl $k = 12$.

Es ist zunächst

$$\Delta t = \frac{300 + 180}{2} - \frac{87 + 35}{2} = 179^\circ$$

und

$$H_v = \frac{D \cdot (t w_2 - t w_1)}{k \cdot \Delta t} = \frac{1000 \cdot 52}{12 \cdot 179} = 24,2 \text{ qm.}$$

E. Berechnung der Heizfläche.

In Schaubild (202 und 203) sind die Temperaturzunahmen und die Vorwärmerheizflächen für je 1000 kg Speisewasser aufgetragen. Die Berechnung der aufgetragenen Werte erfolgte für folgende Annahmen: Verbrennung der N-Kohle mit $k' = 13$ v. H., $x = 8$ fache Verdampfung, Anfangstemperatur des Speisewassers = 35°C . Demnach ist zunächst die Temperaturerhöhung des Speisewassers ermittelt aus:

$$t w_2 - t w_1 = \frac{0,9 G_v \cdot c_p (t g_4 - t g_5)}{x}$$

Darauf Δt für die verschiedenen Gastemperaturen und die berechneten Werte $t w_2$ und endlich die Heizflächen aus

$$H_v = \frac{0,9 G_v \cdot c_p (t g_4 - t g_5)}{k \cdot \Delta t}$$

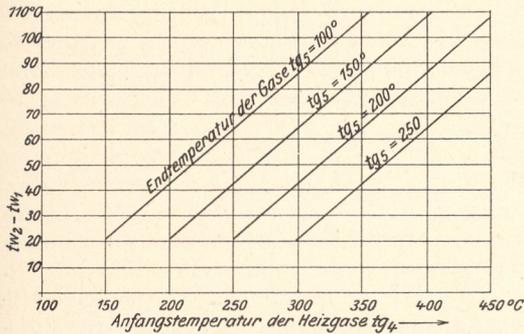


Fig. 202. Temperaturzunahme des Speisewassers bei 13 v. H. CO_2 -Gehalt der Rauchgase.

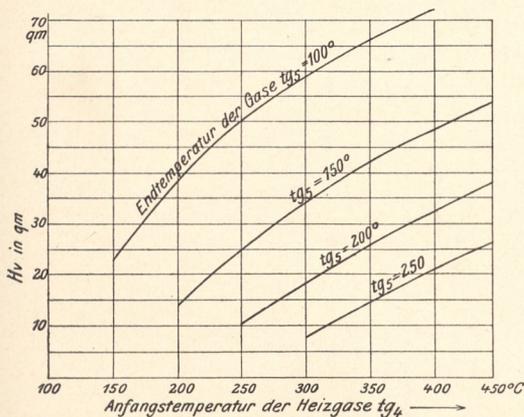


Fig. 203. Größe der Vorwärmerheizflächen für je 1000 kg Speisewasser bei 13 v. H. CO_2 -Gehalt der Rauchgase.

Da die in Fig. 202 und 203 gezeichneten Größen jedoch von so vielen Daten abhängig sind, die fast in jedem Betriebe wechseln, so können die Figuren nur zur Orientierung dienen.

Die errechnete Heizfläche muß eventuell vergrößert oder verkleinert werden, damit man eine für die Rußschabevorrichtung passende Anzahl Rohrreihen erhält. Die Gasgeschwindigkeit zwischen den Vorwärmerrohren soll etwa 4 bis 6 m/sek. betragen; keinesfalls weniger, da sonst die senkrechten Rohre nicht in ihrer ganzen Höhe von den Heizgasen bestrichen würden.

F. Zur überschlägigen Ermittlung der Abgaswärme

zum Zwecke des Entwurfes einer neuen Vorwärmanlage mag folgendes vereinfachte Verfahren dienen.

In Fig. 204 sind die Beziehungen zwischen Kohlenstoffgehalt und Heizwert von mehr als 50 verschiedenen Kohlensorten¹⁾ durch Punkte dargestellt²⁾.

Eine durch die Punktreihe gelegte Gerade zeigt an, daß man die Beziehung mit Annäherung durch die Gleichung

$$C = \frac{h + 350}{100} \tag{52}$$

ausdrücken kann, worin h den Heizwert in WE und C den Kohlenstoffgehalt in v. H. bedeutet.

Nur die Kokssorten fallen wegen ihres größeren Aschengehaltes und deshalb im Verhältnis zum Kohlenstoffgehalt geringeren Heizwertes aus der Reihe heraus; für sie gilt annähernd die Gleichung

$$C = \frac{h + 1500}{100} \tag{53}$$

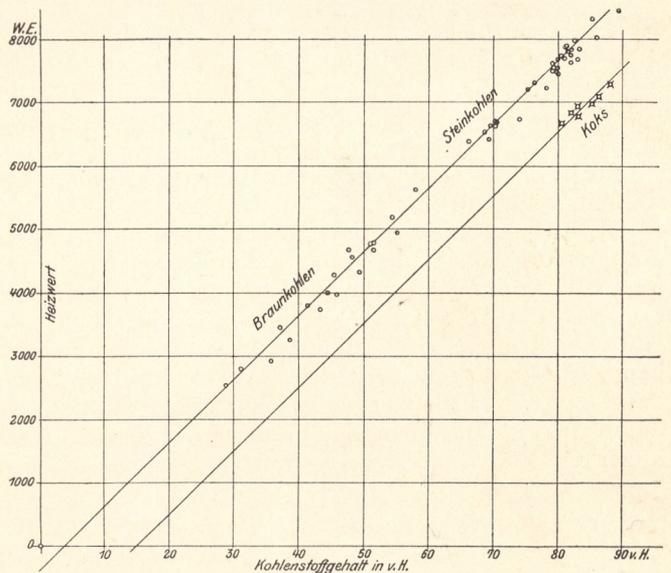


Fig. 204.

Die Gasmenge berechnet man nun aus

$$G_v = \frac{C'}{0,536 k'}$$

und zählt, um H und W zu berücksichtigen, etwa 1,2 cbm hinzu. Dann ist die verfügbare Wärmemenge

$$Q_1 = 0,32 \left(\frac{C'}{0,536 \cdot k'} + 1,2 \right) (t g_4 - t g_5) \tag{54}$$

G. Die Wärmeersparnis.

Den durch den Vorwärmer erzielten Wärmegegewinn, d. h. die Wärmemenge, welche ohne ihn mit den Abgasen verloren wäre, berechnet man aus

$$Q_3 = x(t w_2 - t w_1) \cdot$$

Die vielfach übliche Angabe der Wärmeersparnis (y), bezogen auf die Dampfwärme des

¹⁾ Z. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 669 und 1909, S. 1842 und 1882.

²⁾ Ähnliche Verfahren sind inzwischen auch angegeben von M. Kaufhold, Stahl und Eisen 1909, Nr. 35 und Zeitschr. Dampfk. u. Maschbtr. 1909, Nr. 49.