

IX. Rauchgasvorwärmer (Ekonomiser).

1. Allgemeines.

Um die den Kessel verlassenden Gase weiter ausnützen zu können, als dieses an der Kesselheizfläche möglich ist, werden in den erweiterten Rauchzügen Vorwärmer angelegt, welche das Speisewasser, unmittelbar bevor es in den Kessel gelangt, unter Druck durchströmt. Derartige Vorwärmer sind im Sinne des Gesetzes keine Bestandteile der Kesselanlage; trotzdem wird die Aufstellung und Inbetriebnahme einer derartigen Anlage in der Regel einer behördlichen Genehmigung bedürfen, weil in den meisten Fällen die Anlegung eines Vorwärmers mit einer wesentlichen Änderung der Betriebsstätte oder der Kesselzüge verbunden ist.

In bezug auf Lage der Wassereintrittsstutzen und -Austrittsstutzen des Vorwärmers gegenüber der Strömungsrichtung der Rauchgase unterscheidet man

Gleichstrom-Vorwärmer und
Gegenstrom-Vorwärmer.

Durch den Widerstand, den die Vorwärmerrohre dem Durchzuge der Gase entgegensetzen, sowie die dadurch bedingte, längere Rauchgasführung und Abkühlung der Gase an den Vorwärmerwandungen entstehen Zugverluste, die durch die Wärmeausstrahlung und Undichtigkeit der meist über Flur liegenden gemauerten Umfangswände oft erheblich vergrößert werden. Bei dem Einbau von Rauchgasvorwärmern sind daher vor allem auch die Zugverhältnisse zu prüfen, wenn man später vor Enttäuschungen sicher sein will. Aber auch bei vorliegendem günstigen Schornsteinzuge sollte die Vorwärmerheizfläche nur so groß gewählt werden, daß die abziehenden Gase mit Sicherheit noch mit 150 bis 180° C in den Kamin gelangen. Andernfalls müßte eventuell zur Erzielung einer genügenden Zugstärke künstlicher Saugzug nachträglich angelegt werden, der dann unter Berücksichtigung der Anschaffungskosten, Abschreibungen und Einrechnung der Antriebskraft (S. 233) bei vorhandenen Anlagen sehr oft verlustbringend wirken würde.

2. Die Temperatur der Rauchgase

bei der Berührung mit den Vorwärmerrohren soll bei geraden, oben und unten eingespannten gußeisernen Vorwärmerrohren 450 bis 500° C nicht übersteigen, da sonst infolge ungleichmäßiger Wärmedehnungen im Betriebe Defekte zu befürchten sind.

3. Die Temperatur des Speisewassers.

Bei wasser- und gasreichen Brennstoffen sollte die Temperatur des eintretenden Speisewassers wenigstens 35 bis 40° C, bei Braunkohlen sogar etwa 45° C betragen, während man bei trockenem, gasarmem Brenn-

stoff — Anthrazit, Koks — bis auf 20 bis 25° C heruntergehen kann. Ist diese Anfangstemperatur durch Vorwärmung mittels Pumpenabampf usw. nicht zu erzielen, so kann man sich dadurch helfen, daß man eine geeignete Verbindung zwischen der Ableitung des Vorwärmers und der Saugleitung der Pumpe anlegt, so daß sich ein Teil des abfließenden warmen Wassers wieder mit dem in den Vorwärmer strömenden kalten Wasser mischt.

Die Erzielung der oben angegebenen Eintrittstemperatur ist auf alle Fälle anzustreben, weil bei kälterem Wasser infolge Kondensation der in den Rauchgasen enthaltenen Wasser- und Teerdämpfe Niederschläge an den Vorwärmerrohren auftreten, die zu Abrostungen der äußeren Wandungen führen. Hierfür ist es nicht erforderlich, daß die Durchschnittstemperatur der Rauchgase unter 100° C sinkt, weil der unmittelbar auf die kalten Wandungen stoßende Teil der Gase sich tiefer abkühlt als die in einiger Entfernung an den Rohren vorbeigeführte Gasmenge. Da aber die Niederschläge um so größer sind, je größer der Gehalt eines Brennstoffes an flüchtigen Bestandteilen und hygroskopischem Wasser ist, so ist mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt der Rauchgase die Wassereintrittstemperatur in den Vorwärmer zu erhöhen und gleichzeitig eine zu weitgehende Abkühlung der Rauchgase durch Anlegung zu großer Vorwärmerheizflächen zu vermeiden. Auch sind bei einem solchen Brennstoff die Rußschaber, die zur Reinhaltung der Heizfläche dienen, ständig in Bewegung zu halten, da der Ruß an den feuchten Rohrwandungen gerne anbackt, während bei gasarmem und trockenem Brennstoff die Schaber nur zeitweise in Tätigkeit treten oder unter Umständen, z. B. bei Koksfeuerung, gänzlich fehlen können. Die Rußschabervorrichtung erfordert je nach Anzahl der Vorwärmerrohre einen Kraftaufwand von $\frac{1}{2}$ bis 2 oder 3 PS.

Die Temperatur des austretenden Wassers ist insbesondere abhängig von dem Temperaturgefälle der Rauchgase und dem Wärmeinhalte derselben. (Siehe auch S. 177, Berechnung der Vorwärmerheizfläche.)

4. Vorwärmer mit direkter Erwärmung des Speisewassers.

A. Gußeiserne Vorwärmer.

Als Material für Rauchgasvorwärmer wird vorzugsweise Gußeisen angewendet. Die Heizfläche wird dabei stets von geraden, senkrecht angeordneten Rohren gebildet, die in der Regel so groß bemessen werden, daß jedes Rohr 1 oder $1\frac{1}{4}$ qm, ausnahmsweise auch 1,5 qm, Heizfläche hat. Mittels einer mechanisch bewegten Schabervorrichtung werden die senkrechten Rohre auf der Außenseite von Ruß und Flugasche rein gehalten. Die

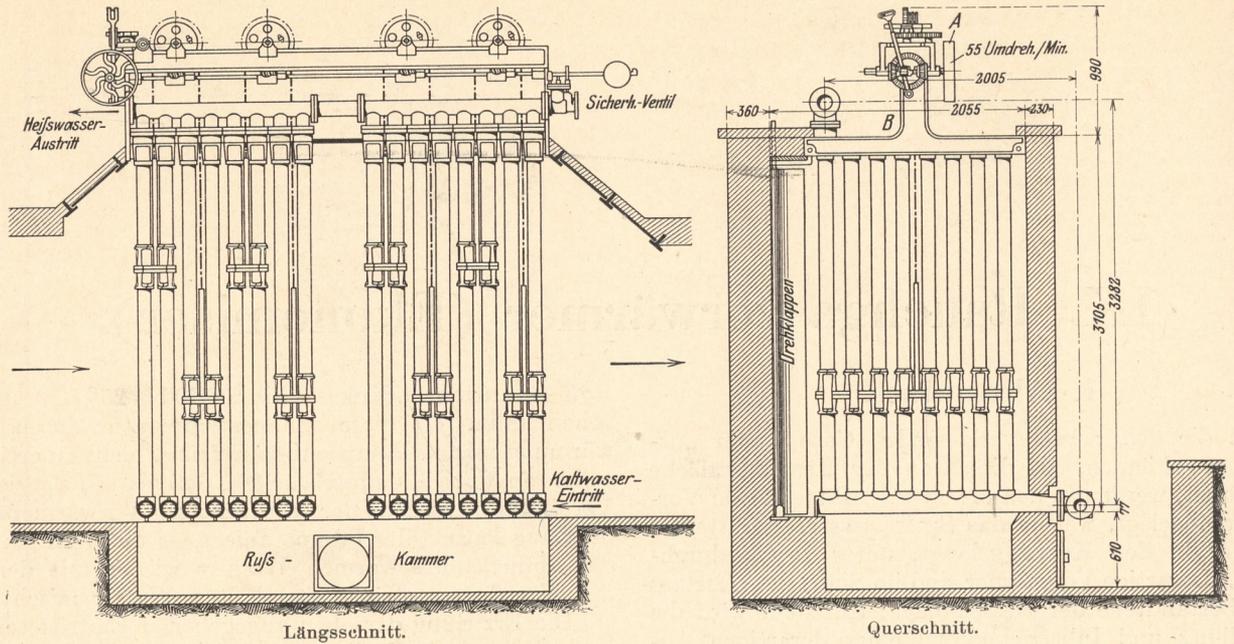


Fig. 185. Gleichstromeconomiser mit in gerader Richtung angeordneten Rohrreihen.
Ausführung: E. Green & Sohn, G. m. b. H., Köln a. Rh.

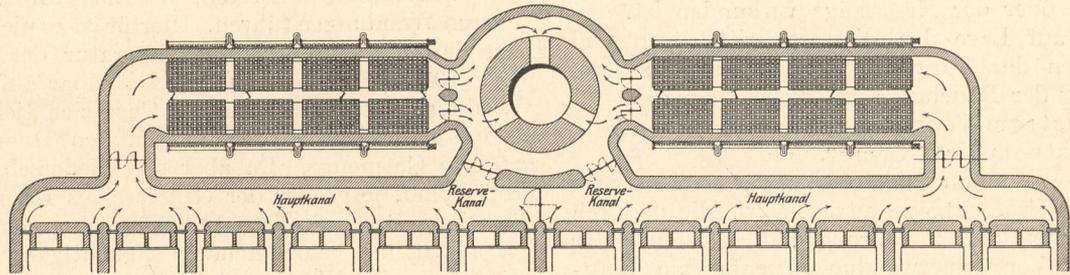


Fig. 186. Gesamtanordnung eines Greenschen Economisers von 1152 Rohren in 16 Gruppen von je 72 Rohren.

Anordnung der Rußschabergetriebe bedingt, daß die Rohrzahl in der Länge durch 4 teilbar sein muß, während die einzelnen Rohrreihen in der Breite 4, 6, 8 oder 10 Rohre usw. haben können. Eine Vergrößerung der Heizfläche eines Vorwärmers von beispielsweise 8 Rohren in der Breite erfordert mithin eine Rohrzahl von mindestens $4 \times 8 = 32$ Rohren gleichzeitig.

In bezug auf die Lage der Rohre zueinander unterscheidet man zwischen der geraden Anordnung — die einzelnen Rohrreihen liegen in der Richtung des Gasstromes hintereinander (Fig. 186 und 193) — und der versetzten Anordnung (Zickzackstellung). — Die Rohrreihen sind gegeneinander versetzt (Fig. 188 und 190). — Bei letzterer Anordnung sollen die Gase gezwungen werden, jedes einzelne Rohr zu umspülen, um dadurch eine bessere Wärmeübertragung herbeizuführen.

Sofern schmiedeeiserne Schlangengeröhre für den Bau von Rauchgaswärmern gewählt werden (Fig. 197 bis 200), ist jedenfalls das Wasser im Gegenstrom zu den Heizgasen durch die Rohre zu leiten, damit beim Fehlen der Schaber ein Festbacken von Ruß und Flugasche infolge des Schwitzens der Rohre vermieden wird. Der lose anhaftende Ruß wird hierbei in der Regel mittels Dampfstrahles abgeblasen, oder durch Abklopfen entfernt. Wenn schon Vorwärmer mit gußeisernen, geraden Rohren nur mit möglichst reinem Wasser gespeist werden sollen, trifft dieses besonders zu bei Vorwärmern, deren Heizfläche aus schmiedeeisernen Schlangen gebildet sind,

weil die innere Reinigung durch die Form der Rohr-schlangen sehr erschwert ist.

Zahlentafel Nr. 51

zum Greenschen Economiser, Fig. 185.

Anzahl der Rohre in der Breite	Lichte Weite der Rauchkammer	
	ohne Bedienungraum mm	mit Bedienungraum mm
4	1000	1230
6	1422	1652
8	1828	2058
10	2234	2464

Zum Zwecke der äußeren Revision eingemauerter Rauchgasvorwärmer ist zwischen der rückwärtigen Umfassungsmauer und den Rohrgruppen ein Zwischenraum von etwa 300—500 mm Breite vorzusehen. Entsprechend angeordnete Drehklappen sichern dann den Durchzug der Gase durch die Rohrreihen.

Der Economiser von Green (Fig. 185) ist in bezug auf Heizgasführung und Rohrstellung ein Gleichstromvorwärmer mit gerader Anordnung der Rohrreihen. Die senkrechten Rohre haben 116 mm äußeren Durchmesser und 2745 mm Länge, ergeben mithin 1 qm Heizfläche und bei 10 mm Wandstärke pro Rohr etwa 25 l Gesamthalt.

Die Rohre sind nach vorheriger sorgfältiger Bearbeitung reihenweise in den oberen und unteren Kästen hydraulisch hineingepreßt. Die Verbindung dieser Kästen wird durch Sammelrohre hergestellt, in die das Speise-

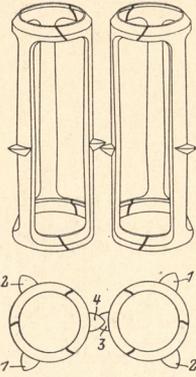
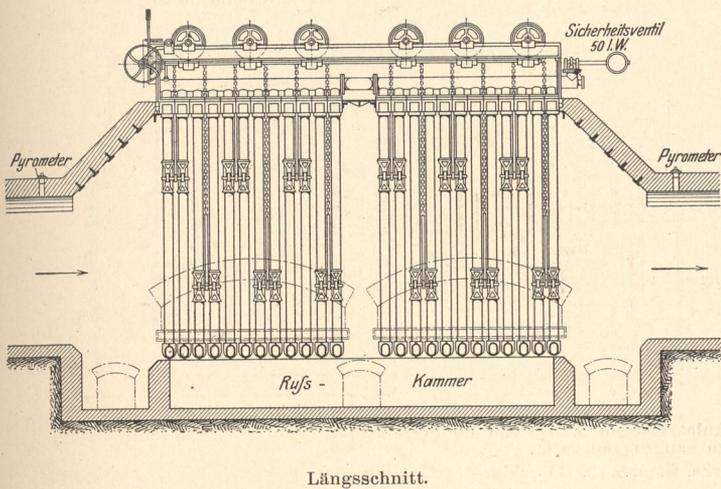
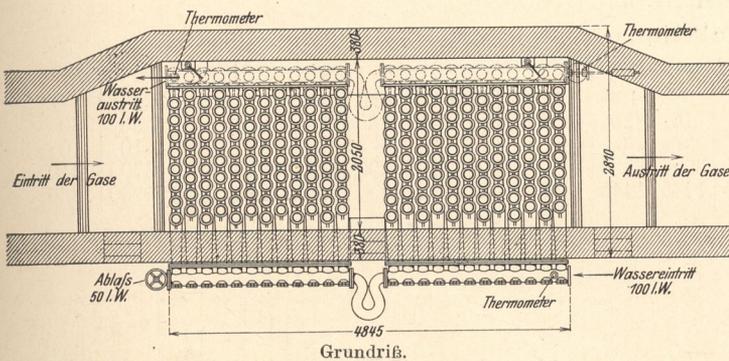


Fig. 187. Rußschaber von Green & Sohn.

draulisch hineingepreßt. Die Verbindung dieser Kästen wird durch Sammelrohre hergestellt, in die das Speise-



Längsschnitt.



Grundriß.

Fig. 188. Gleichstromökonomiser mit gegeneinander versetzt angeordneten Rohrreihen.

Ausführung: L. & C. Steinmüller, Gummersbach.

wasser unten ein- und am entgegengesetzten Ende oben austritt. Die innere Reinigung der Rohre erfolgt durch die oberen Kästen, die hierfür vorgesehenen Verschlüsse sind Innenverschlüsse, deren Deckel durch ein größeres, ebenfalls von innen verschließbares Rohrloch eingebracht werden.

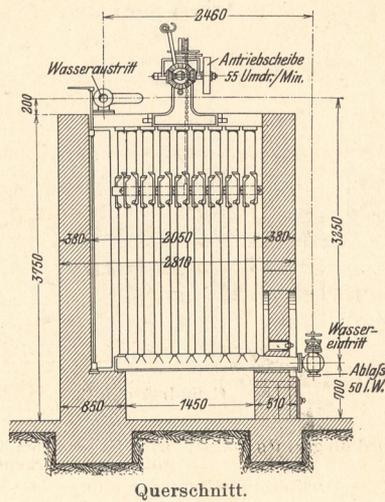
Die Bauart der dreiteiligen, mit schalenartigen Schneiden umgebenen Kratzer ist aus Fig. 187 ersichtlich.

Die Antriebswelle der Schabevorrichtung soll bei kleineren Vorwärmanlagen 55 bis 60 Touren, bei Vorwärmanern mit mehr als 128 Rohren jedoch 120 Umdrehungen pro Minute machen.

Spalckhaver-Schneiders, Dampfkessel.

Steinmüller baut ebenfalls einen Gleichstromvorwärmer, aber mit versetzter Anordnung der Rohrreihen (Fig. 188). Die senkrecht stehenden gußeisernen Rohre sind in der üblichen Weise in obere und untere Kästen ohne Dichtungsmaterial hineingepreßt. Die unteren Kästen sind oval geformt, um ein leichtes Durchfallen der abgeschabten Flugasche und des Rußes zu ermöglichen. Damit das obere Sammelrohr die Zugänglichkeit zu der letzteren Rohrreihe nicht behindert, sind die oberen Kästen über diese Rohrreihe hinaus verlängert.

In Fig. 189 ist die Steinmüllersche Rußabkratzvorrichtung (D. R. P.) gezeichnet. Beim Anheben des Tragbalkens „a“ drückt der runde Stift b desselben gegen die schrägen Knaggen c der Kratzer d und preßt dadurch letztere oben fest gegen die Außenfläche der Rohre. Während somit bei der Aufwärtsbewegung eventuell angesetzter Ruß von der Außenfläche der Rohre abgeschabt wird, gleiten bei der Abwärtsbewegung die Kratzerhälften d lose an den Rohren vorbei.



Querschnitt.

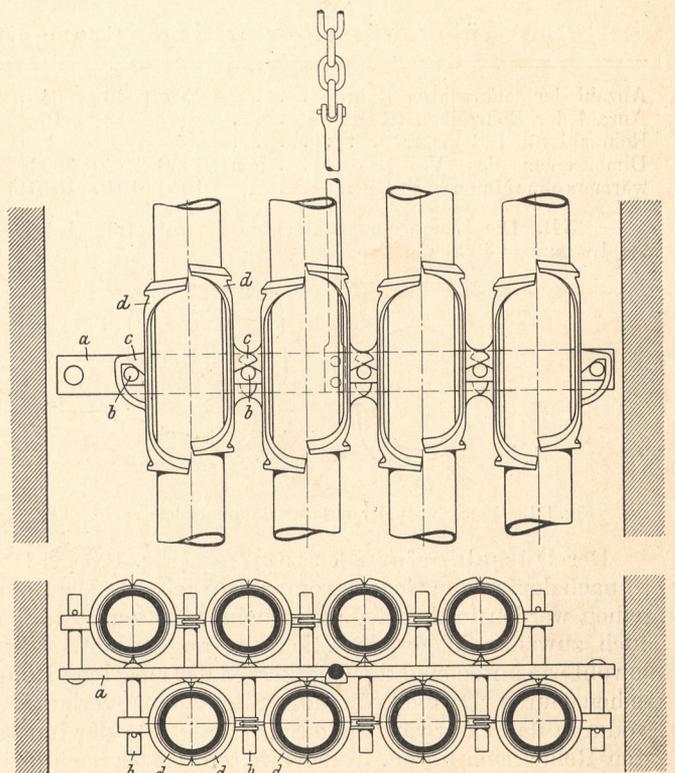


Fig. 189. Rußschabevorrichtung, D. R. P., zum Steinmüller-Vorwärmer.

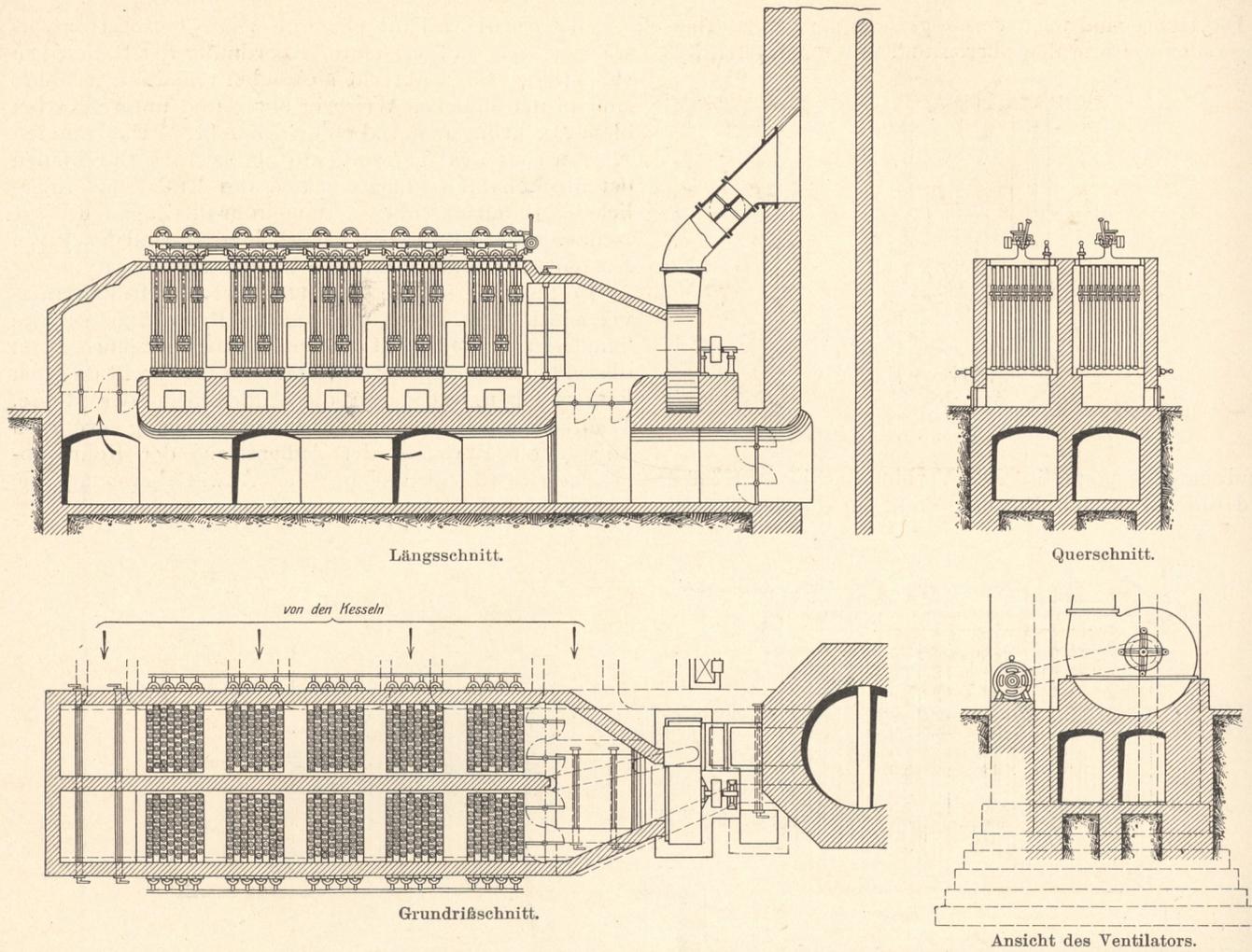


Fig. 190. Gesamtanordnung eines Düsseldorfer Gegenstrom-Zirkulationseconomisers von 640 Rohren (10 Gruppen zu 64 Rohren) mit direkt wirkendem Saugzugventilator.

Ausführung: Deutsche Economiser-Werke, G. m. b. H., Düsseldorf-Grafenb erg.

Zahlentafel Nr. 52

über Düsseldorfer Gegenstrom-Zirkulationseconomiser, ähnlich Fig. 190.

Anzahl der senkrechten Rohre	32	48	64	72	96	120	128	160	192	224	240	280	320	360	400
Anzahl der Rohrreihen (Register)	8	12	16	12	16	20	16	20	24	28	24	28	32	36	40
Rohrzahl für 1 Register	4	4	4	6	6	6	8	8	8	8	10	10	10	10	10
Dimensionen des Vorwärmers ohne Mauerwerk } Länge . . mm	1550	2260	3000	2260	3000	3730	3000	3730	4470	5200	4470	5200	5940	6700	7410
	1040	1040	1040	1445	1445	1445	1850	1850	1850	1850	2260	2260	2260	2260	2260

NB. Die Länge der senkrechten Rohre beträgt bei 1,0 qm Heizfläche für 1 Rohr = 2825 mm, bei 1,25 qm = 3400 mm und bei 1,50 qm = 4000 mm.

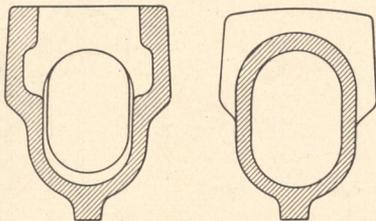


Fig. 191. Querschnitt der unteren Sammelrohre zu Fig. 190.

Der Düsseldorfer Economiser (Fig. 190 bis 192) ist nach dem reinen Gegenstromprinzip gebaut. Die Rohrreihen werden in der Regel gegeneinander versetzt, aber auch zuweilen in gerader Richtung angeordnet. Oben sowohl wie unten sind die Querkästen der einzelnen Rohrreihen durch Doppelkrümmer miteinander verbunden, wodurch das zu erwärmende Speisewasser in der hintersten Reihe nach unten, in der zweiten wieder nach oben und so fort in einem vollkommenen Gegenstrom zu den

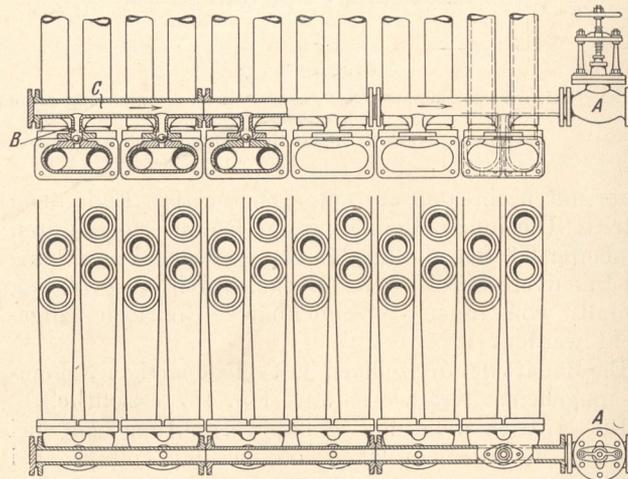


Fig. 192. Anordnung der unteren Abblaseleitung durch Kugelventile D. R. P., zu Fig. 190.

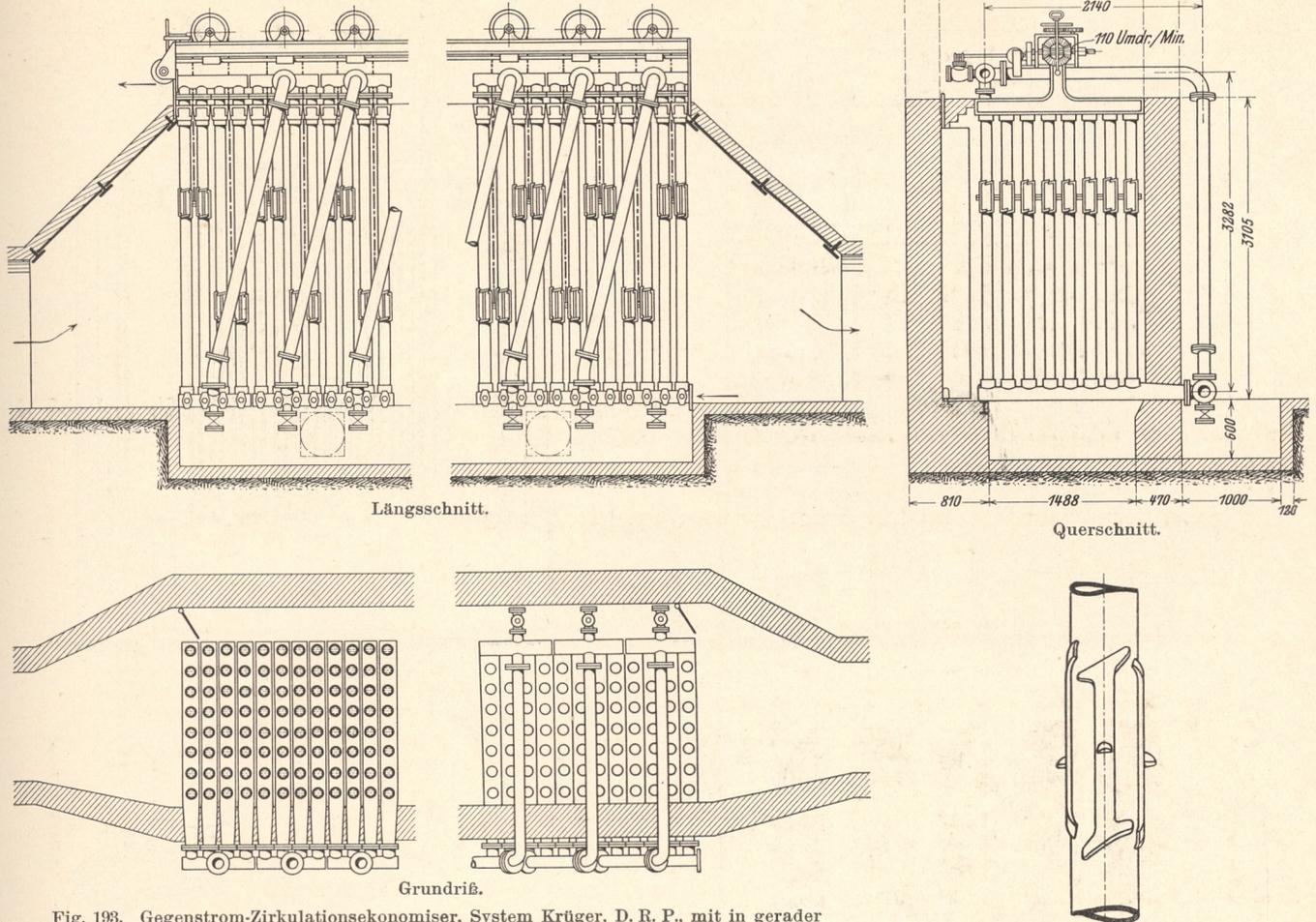


Fig. 193. Gegenstrom-Zirkulationsekonimiser, System Krüger, D. R. P., mit in gerader Richtung angeordneten Rohrreihen.
Ausführung¹⁾: Hermann Siegel, Stuttgart.

Fig. 194. Rußschaber zum Krüger-Vorwärmer.

Rauchgasen geführt wird. Damit — z. B. bei unterbrochener Speisung — im Vorwärmer sich etwa bilden- der Dampf entweichen kann, sind die oberen Krümmer an der höchsten Stelle durch eine gemeinschaftliche, mit Sicherheitsventil versehene Leitung verbunden.

Das Gegenstrom-Zirkulationssystem, unterstützt durch die versetzte Anordnung der Rohrreihen, soll den Vorteil der besseren Wärmeübertragung haben (Fig. 201). Jedenfalls wird bei diesem System das Schwitzen der weiter vorn gelegenen, bereits erwärmtes Wasser führenden Rohre wirksam vermieden.

Die unteren Kästen, in welche die senkrechten Rohre ebenso wie in die oberen Sammelrohre hydraulisch hineingepreßt werden, sind nach Fig. 191 oval geformt, um ein Durchfallen von Ruß und Flugasche zu erleichtern.

Zur Ableitung des Schlammes während des Betriebes dient eine Abblaseleitung mit Kugelventilen D. R. P. Fig. 192. Beim Öffnen des Ventils *A* heben sich die Kugeln infolge der Druckentlastung in *C* bis zu einem Anschlag bei *B* und lassen den Schlamm aus den unteren Kästen durch *C* und *A* entweichen. Nach dem Schließen von *A* fallen die Kugeln auf ihren Sitz zurück und vermeiden dadurch eine Beeinflussung des vollkommenen Gegenstromprinzips.

Bei dem Economiser System Krüger D. R. P. Nr. 177 282 werden durch je vier hintereinanderliegende Rohrreihen Gruppen gebildet, die durch eine außerhalb der Feuerzüge liegende Rohrleitung derart miteinander

verbunden sind, daß der Überlauf der hinteren Gruppe immer in das untere Zulaufsammlrohr der nächstgelegenen vorderen Gruppe geführt wird (Fig. 193).

Das zu erwärmende Wasser wird infolgedessen von Gruppe zu Gruppe den Heizgasen entgegengeführt, wodurch der Krügersche Vorwärmer die Vorteile des Gegenstromprinzips teilweise genießt.

Die senkrechten Rohre haben einen Außendurchmesser von 115 mm bei 12 mm Wandstärke, sie werden in der Regel 2745 mm lang (= 1 qm Heizfläche für 1 Rohr) geliefert. Je nach den Erfordernissen wird die Länge vergrößert, so daß jedes Rohr auch eine Heizfläche von 1,15 bzw. 1,25 qm Heizfläche erhalten kann. Die Verbindung dieser senkrechten Rohre mit den oberen und unteren Kästen ist die übliche, d. h. metallische Dichtung und Einpressen der Rohre in die oberen und unteren Sammelkästen. Ebenso ist der Vorwärmer mit der bekannten Schabervorrichtung versehen, um während des Betriebes die Rohre von anhaftendem Ruß befreien zu können. Die Form der dreiteiligen Kratzer (Fig. 194) weist eine Besonderheit auf, indem die Kanten derselben in einer Schraubenlinie verlaufen, wodurch das Rohr in seinem vollen Umfange befahren wird.

Der Carter-Ekonimiser (Fig. 195) besteht aus einer Anzahl ovaler und geteilter Patent-Doppelrohre, welche, in Reihen angeordnet, senkrecht im Rauchkanal hängen. Diese Rohre stehen oben derart miteinander in Verbindung, daß das auf der rechten Seite der abgekühlten

¹⁾ Nach Mitteilung der Firma J. Krüger & Co., Berlin, hat dieselbe den Vertrieb ihrer Vorwärmer in Deutschland jetzt selbst übernommen.

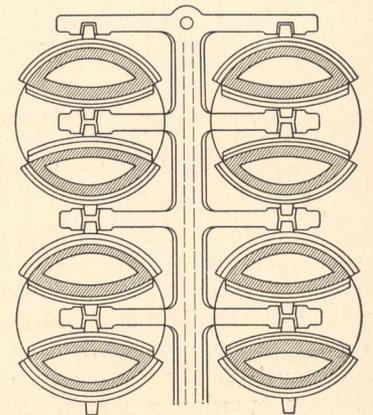
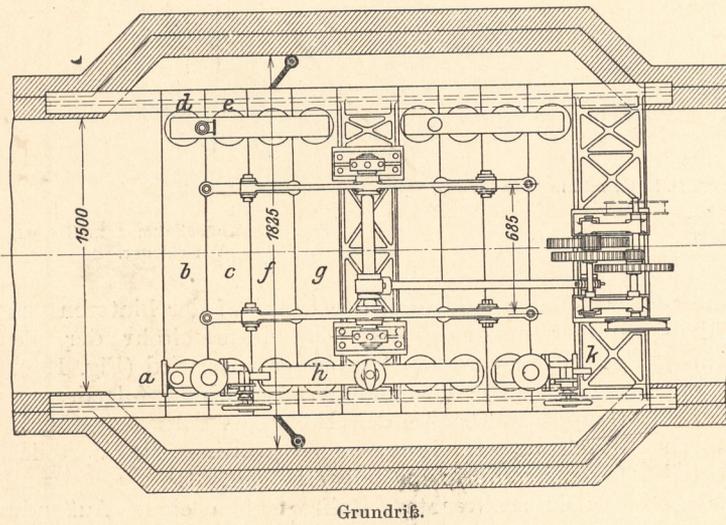
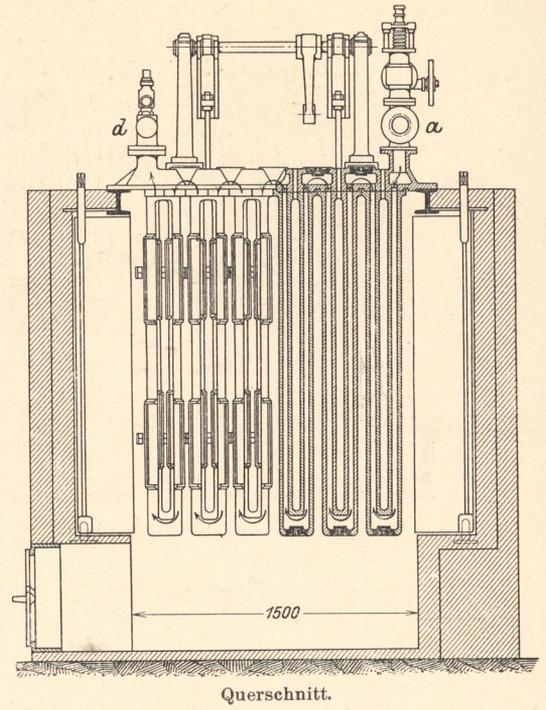
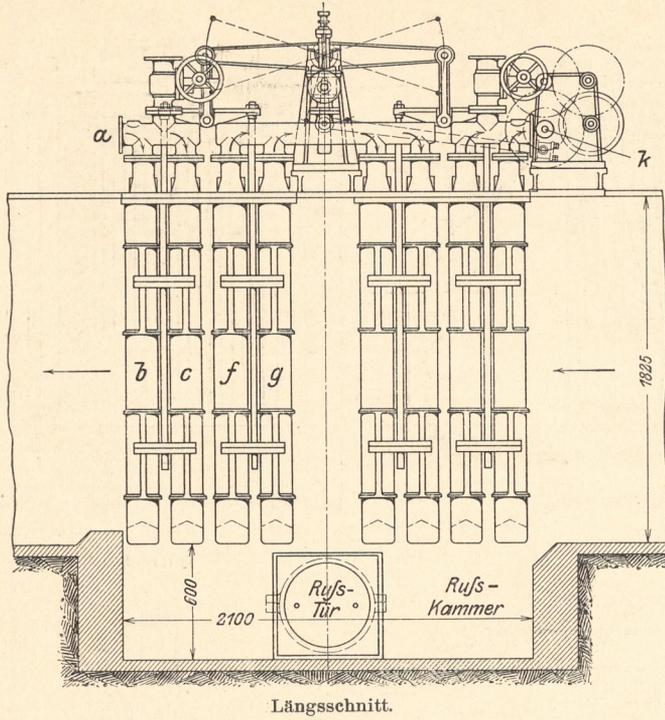


Fig. 195. Zirkulations-Gegenstromeconomiser, System Carter.
Ausführung: Geveke & Co., Düsseldorf.

Fig. 196. Rußschaber zum Carter-Vorwärmer.

Gase bei *a* eintretende Wasser (siehe Fig. 195 Querschnitt) zunächst in den hintereinandergeschalteten Reihen *b* und *c* abwärts und dann wieder aufwärts fließt, so daß es auf der linken Seite bei *d* und *e* wieder oben anlangt. Von dort aus tritt es in die zwei nächstfolgenden Reihen *f* und *g* und so fort, um schließlich auf der Seite der eintretenden Gase rechts bei *k* den Vorwärmer zu verlassen. Die Rohre erhalten eine Baulänge von etwa 2 m und sind nur oben mit Schrauben und breiten Dichtungsflächen an Querkästen befestigt, während sie unten frei hängen und der Wärmedehnung ungehindert folgen können.

Behufs leichter innerer Reinigung des Vorwärmers sind die Querkästen sowohl wie die unteren Rohrenden mit Innenverschlußdeckeln versehen, die so angeordnet sind, daß die Entfernung der oberen Sammelrohre zwecks Reinigung der senkrechten Rohre nicht erforderlich wird.

Vermöge der ovalen Form besitzen die geteilten Rohre im Verhältnis zu ihrem Wasserinhalt eine grö-

ßere Oberfläche als runde Rohre; hierdurch wird ihre Wärmeaufnahme begünstigt, ihre innere Reinigung aber erschwert. Durch die ovale Form der Rohre und die große Baulänge der in Fig. 196 gezeichneten Schaber soll ein Festklemmen der letzteren unmöglich gemacht werden.

B. Schmiedeeiserne Vorwärmer.

Bei dem Rauchgasvorwärmer von M. R. Schulz (Fig. 197 und 198) sind die die Heizfläche bildenden Rohre aus Schmiedeeisen hergestellt und in Reihen oder Gruppen derart hintereinandergeschaltet, daß das Wasser mit verhältnismäßig großer Geschwindigkeit die Rohrschlangen im Gegenstrom zu den Heizgasen durchströmt. Hierdurch soll eine Schlammablagerung auf der Innenseite und ein Ruß- und Ascheansatz auf der Außenseite der Rohre vermieden werden.

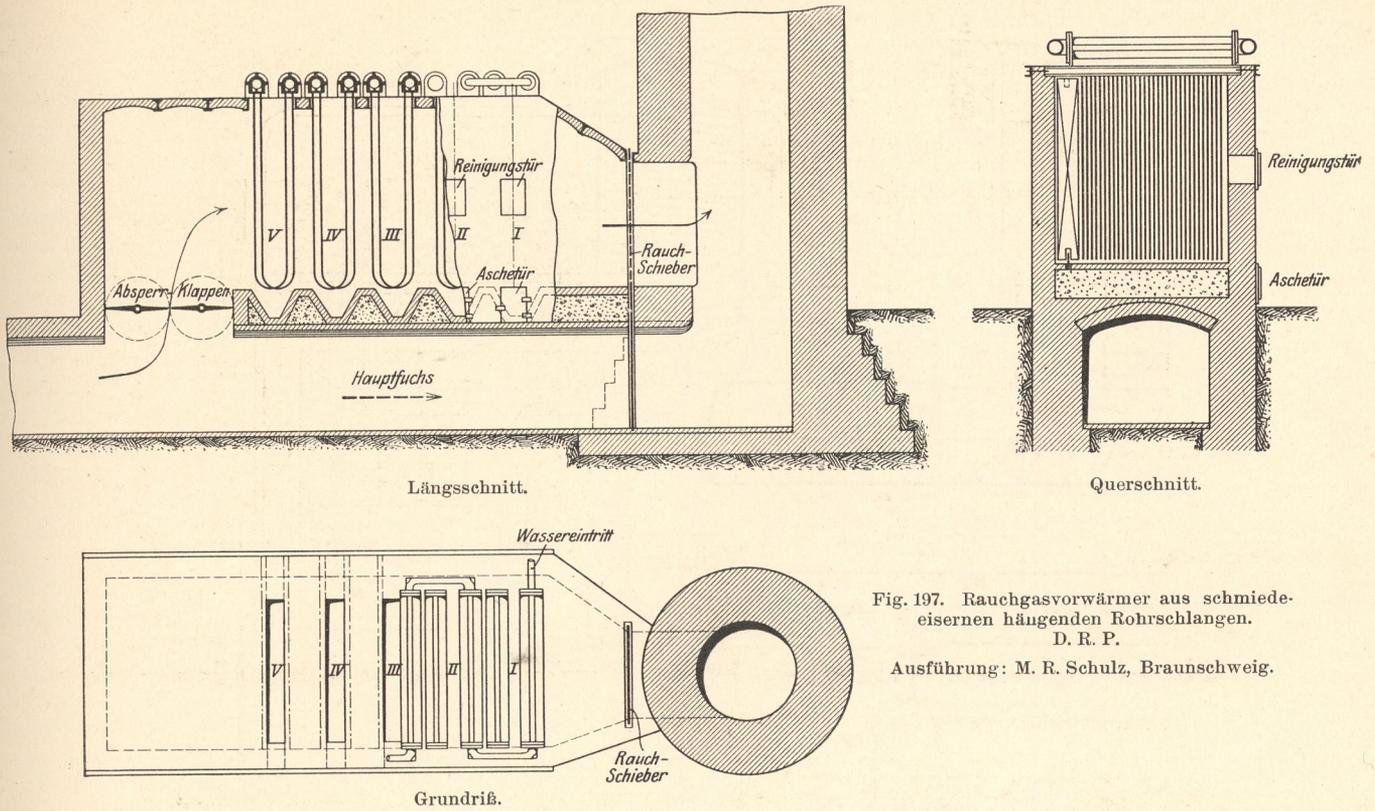


Fig. 197. Rauchgasvorwärmer aus schmiedeeisernen hängenden Rohrschlangen.
D. R. P.
Ausführung: M. R. Schulz, Braunschweig.

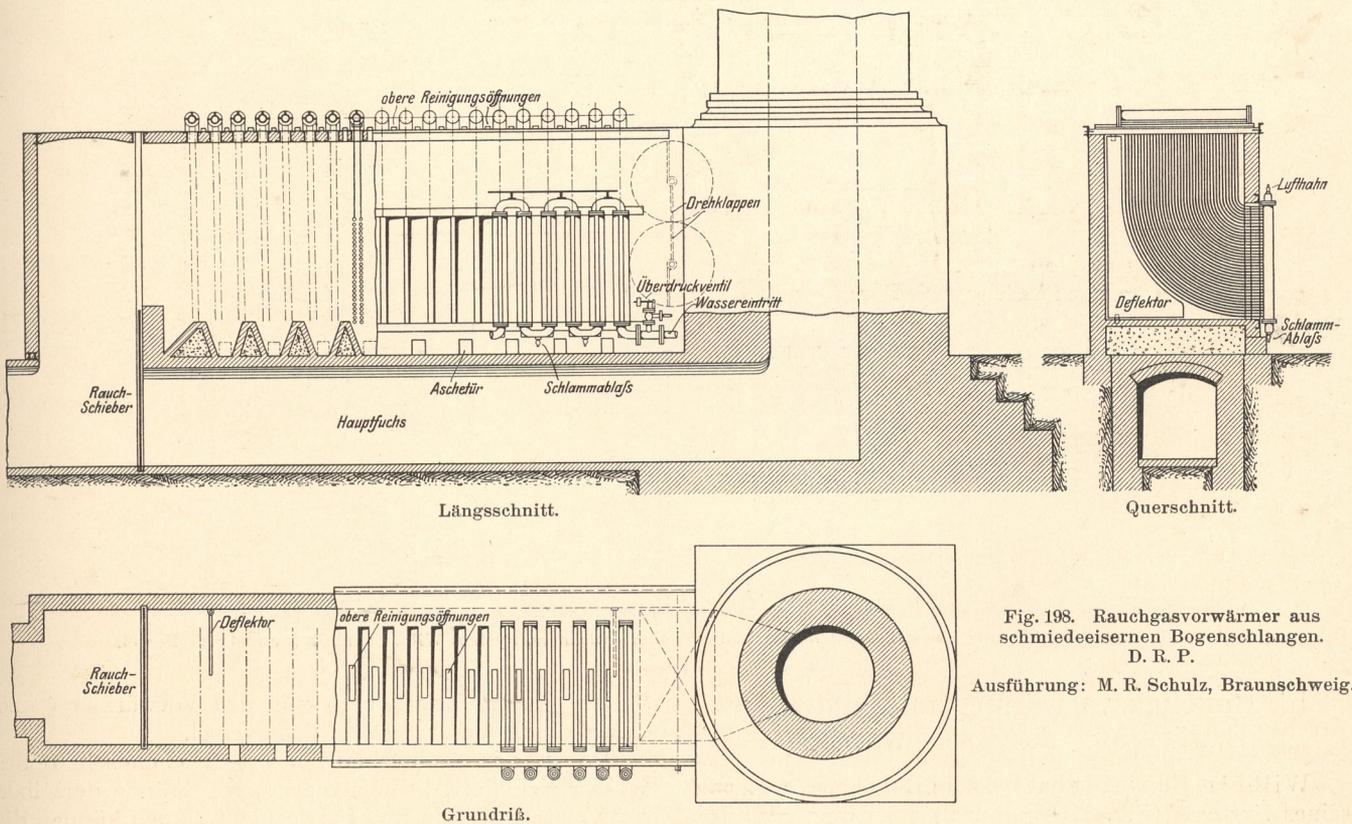


Fig. 198. Rauchgasvorwärmer aus schmiedeeisernen Bogenschlangen.
D. R. P.
Ausführung: M. R. Schulz, Braunschweig.

Durch die Zerlegung des Wasserstromes in einzelne dünne Strähne wird die Wärmeaufnahme zweifellos begünstigt. Angestellte Versuche ergaben auch eine Wärmedurchgangszahl k bis 19 bzw. 22.

Die Sammelrohre sind meistens aus Gußeisen hergestellt und mit den Rohrschlangen — ähnlich wie bei den

Überhitzersammelrohren (Fig. 149) — durch außerhalb der Feuerzüge liegende Flanschenverschraubungen verbunden. Für die Umleitung der Rauchgase zwecks eventueller Außerbetriebsetzung des Vorwärmers sind die üblichen Vorkehrungen — Schieber bzw. Klappen — getroffen.

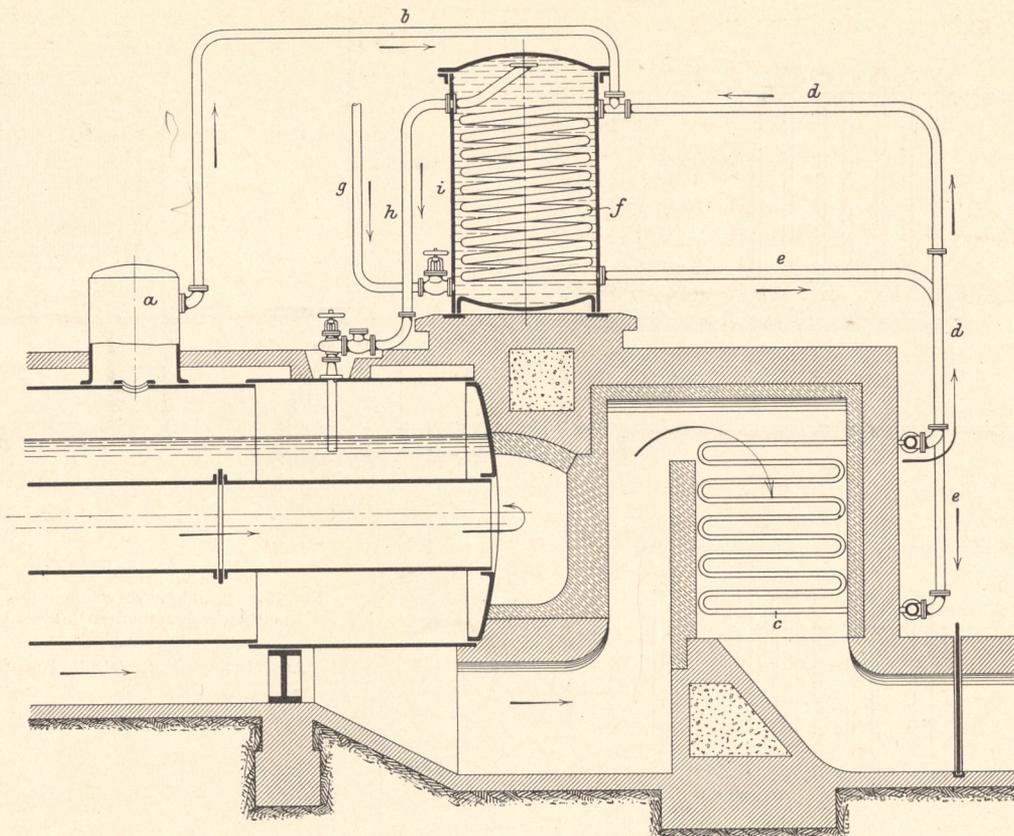


Fig. 199. Indirekt beheizter Rauchgasvorwärmer. Bauart: Wilh. Schmidt.
Ausführung: Ascherslebener Maschinenbau-Akt.-Ges., Aschersleben.

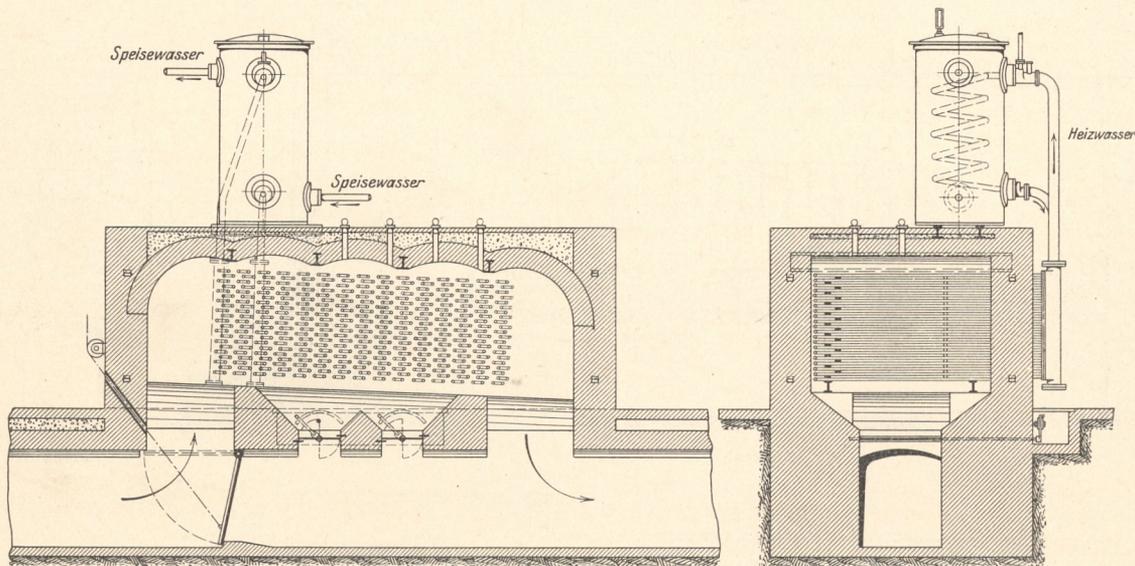


Fig. 200. Gesamtanordnung eines indirekt beheizten Rauchgasvorwärmers, System Wilh. Schmidt, für mehrere Kessel.

5. Rauchgasvorwärmer mit indirekter Erwärmung des Speisewassers.

Wilhelm Schmidt hat bei dem Rauchgasvorwärmer seines Systems (Fig. 199 und 200) die direkte Wassererwärmung durch eine indirekte ersetzt. In den Rohrschlangen *c* befindet sich destilliertes Wasser, das durch Abkühlung des dem Kessel *a* entnommenen und durch die Rohrleitung *b* den Vorwärmerschlangen *f* zugeführten Dampfes entstanden ist. Infolge der Berührung mit den Abgasen des Kessels nimmt das Wasser in *c* Wärme auf und steigt in *d* hoch, um nach erfolgter Abkühlung in *f* durch das Rohr *e* wieder nach unten zu sinken. Das

Speisewasser gelangt durch *g* in den Vorwärmer *i* und durch die Rohrleitung *h* in den Kessel.

Da in den Rohrschlangen *c* nur chemisch reines Wasser zirkuliert, bleiben die inneren Wände derselben stets metallisch rein und rosten nicht. Auch können die äußeren Wandungen leicht mittels Dampfstrahls rein gehalten werden, da bei dem Kreislauf des Wassers die Temperatur desselben nie so weit sinkt, daß ein Schwitzen der Rohre und damit ein Festbacken von Ruß eintreten kann.

In Fig. 200 ist ein Schmidtscher Vorwärmer dargestellt, wie er für größere Leistungen, in den Hauptfuchs einer Kesselanlage eingebaut, zur Ausführung kommt.

6. Ausrüstung der Vorwärmer.

Am Wasserein- und Austrittstutzen werden leicht sichtbare Thermometer vorgesehen, um die jeweilige Temperaturerhöhung bequem ablesen und die Wirksamkeit der Anlage jederzeit beobachten zu können.

Ein Sicherheitsventil mit Hebelbelastung am höchsten Punkte in der Nähe des Wassereintrittstutzens angebracht, verhindert bei geschlossenem Speiseventil und Beheizung der Vorwärmerwandungen die Überschreitung des vorgesehenen Höchstdruckes. Der jeweilige Arbeitsdruck wird an einem Manometer, welches zweckmäßig mit Maximumzeiger ausgerüstet wird, abgelesen.

Zur Reinhaltung des Vorwärmers sind je nach Anzahl der Rohrreihen ein oder mehrere Ablaßventile oder Hähne anzubringen, um den Schlamm, der sich bei der Erwärmung des Speisewassers ausscheidet, einige Male am Tage während des Betriebes ablassen zu können.

Eine Umföhrungsleitung sollte stets vorgesehen sein, um bei plötzlich eintretendem Defekt am Vorwärmer diesen ausschalten und das Speisewasser direkt in den Kessel leiten zu können.

Rauchgasklappen oder -schieber ermöglichen ebenso eine teilweise oder vollkommene Ablenkung der Rauchgase von der Vorwärmerheizfläche während des Betriebes. Zu diesem Zwecke ist ein Reserverauchkanal unter oder seitlich neben dem Vorwärmer anzuordnen.

Reinigungsöffnungen sind in genügender Zahl und Größe vorzusehen, damit der Vorwärmer erforderlichenfalls befahren werden kann und die Beseitigung der abgeschabten Ruß- und Flugaschemengen keine Schwierigkeiten bereitet.

7. Betrieb der Vorwärmer.

Die Regelung der Speisewasserzuföhr zu den Kesseln sollte möglichst vor, nicht hinter dem Vorwärmer erfolgen, damit, wenn zufällig die Speisung längere Zeit unterbrochen wurde, eventuell sich bildende Dampfblasen nach dem Kessel hin entweichen können und kein höherer Druck im Vorwärmer entstehen kann, als der jeweiligen Kesselspannung entspricht. Es empfiehlt sich aber trotzdem eine ununterbrochene Speisung der Kessel anzustreben, damit fortwährende Temperaturveränderungen und dadurch hervorgerufene Materialspannungen vermieden werden.

Die Zugstärke der Kesselanlage wird tunlichst mit dem Hauptabsperrschieber hinter dem Vorwärmer eingestellt, um zu vermeiden, daß die Heizzüge des Vorwärmers einem größeren Unterdruck ausgesetzt werden, als die Zugstärke des Kessels erfordert. Die verlustbringende Abkühlung der Rauchgase durch Einsaugen kalter Außenluft würde sonst nur begünstigt werden.

Die Reinigung des Vorwärmers

hat gegebenenfalls ebensooft wie die Reinigung der Kesselanlage zu erfolgen. Selbst ein häufiges, zweckentsprechendes Entschlammn hilft bei kesselsteinhaltigem Speisewasser in den meisten Fällen nicht über die zeitweise vorzunehmende innere Reinigung hinweg.

8. Berechnung der Vorwärmer.

A. Die Leistung des Vorwärmers

besteht darin, die Wärme von den Rauchgasen auf das Kesselspeisewasser zu übertragen. Diesen Vorgang kann man durch folgende 3 Gleichungen klarstellen.

1. Den Heizgasen beim Durchgang durch den Vorwärmer entzogene Wärmemenge

$$Q_1 = G_v \cdot c_p (t_{g_4} - t_{g_5})^1 \quad (46)$$

2. Durch die Vorwärmerheizfläche hindurchgetretene Wärmemenge

$$Q_2 = k \cdot H_v \cdot \Delta t \quad (47)$$

3. Vom Wasser aufgenommene Wärmemenge

$$Q_3 = D(t_{w_2} - t_{w_1}) \quad (48)$$

Von diesen Wärmemengen sind Q_2 und Q_3 einander gleich; Q_1 ist um den Betrag, der nach außen durch Strahlung und Leitung sowie durch Einsaugen kalter Luft verloren geht, größer; diesen Verlust kann man je nach der Durchlässigkeit der Umfassungswände mit etwa 10 v. H. in Abzug bringen, so daß $Q_2 = Q_3 = \eta Q_1$ und $\eta = 0,9$ zu setzen ist.

Somit erhält man aus Gl. (46) und (47) die Größe der Vorwärmerheizfläche

$$H_v = \frac{\eta Q_1}{k \cdot \Delta t} = \frac{G_v \cdot c_p \cdot \eta (t_{g_4} - t_{g_5})}{k \cdot \Delta t} \quad (49)$$

oder

$$H_v = \frac{Q_3}{k \cdot \Delta t} = \frac{D(t_{w_2} - t_{w_1})}{k \cdot \Delta t} \quad (49a)$$

B. Das mittlere Temperaturgefälle

zwischen den Rauchgasen und der zu erwärmenden Wassermenge kann mit genügender Genauigkeit nach der Gleichung

$$\Delta t = \frac{t_{g_4} + t_{g_5}}{2} - \frac{t_{w_1} + t_{w_2}}{2} \quad (50)$$

berechnet werden.

C. Die Wärmedurchgangszahl k

bezeichnet diejenige Wärmemenge in WE, welche für je 1°C mittleres Temperaturgefälle durch 1 qm Vorwärmerheizfläche hindurch von den Rauchgasen auf das Speisewasser übergeht. Die Größe dieser Zahl hängt u. a. in gewisser Weise von der Bauart der Vorwärmer ab. Zunächst muß man dafür sorgen, daß die Rauchgase bei Innehaltung einer gewissen Geschwindigkeit den Vorwärmer in voller Breite und in der ganzen Höhe der Rohre durchziehen; der freie Querschnitt zwischen und neben den Rohren darf also nicht zu groß sein.

Die Frage, ob die Wärmedurchgangszahl bei der versetzten Anordnung der Rohrreihen (Zickzackstellung) höher ist als bei der geradlinigen, ist bei Versuchen häufig zugunsten der ersteren entschieden worden.

Dagegen scheint es, daß die häufig vertretene Ansicht, daß sich die Gegenstromvorwärmer in bezug auf den Wärmedurchgang wesentlich günstiger verhalten als die Gleichstromvorwärmer, nach neueren Versuchen von Eberle nicht in dem oft behaupteten Maße aufrechtzuhalten ist. Diese Versuche haben ergeben, daß²⁾ die Art der Wasserföhrung durch den Vorwärmer keinen wesentlichen Einfluß auf den Wärmedurchgang hat, daß derselbe aber mit dem Temperaturgefälle Δt und mit der Heizgasgeschwindigkeit bzw. der Beanspruchung der Vorwärmerheizfläche wächst.

¹⁾ Bezeichnungen siehe S. 161.

²⁾ Zeitschr. bayr. Rev. Ver. 1909, Nr. 19 bis 21.

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

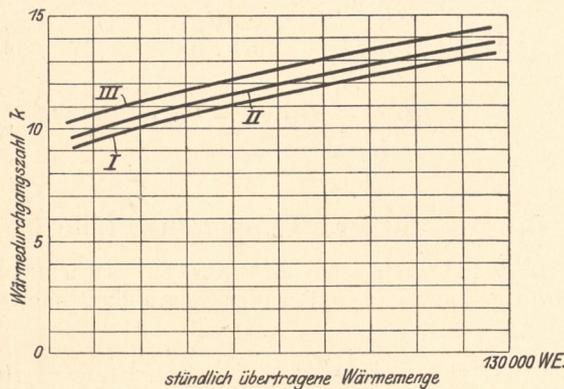


Fig. 201.

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 Feuerbedingung (etwa 12 bis 13 v. H. CO_2) für gußeiserne Rohre und Gleichstromschaltung $k =$ etwa 10 bis 12, bei Gegenstromschaltung 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 CO_2 -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 $t g_4 = 300^\circ\text{C}$ und $t g_5 = 180^\circ\text{C}$.

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. CO_2 ,
- b) wenn sie mit 10 v. H. CO_2 arbeitet?

a) Wenn eine Temperatur des vorgewärmten Wassers $t w_2 = 95^\circ$ 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. CO_2 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)

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

Das Speisewasser gelangt also mit $35 + 52 = 87^\circ\text{C}$ in den Kessel; eine höhere Erwärmung ist unter den gegebenen Verhältnissen nicht möglich.

b) Bei $k' = 10$ v. H. CO_2 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

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

und

$$t w_2 = 35 + 70 = 105^\circ\text{C.}$$

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

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

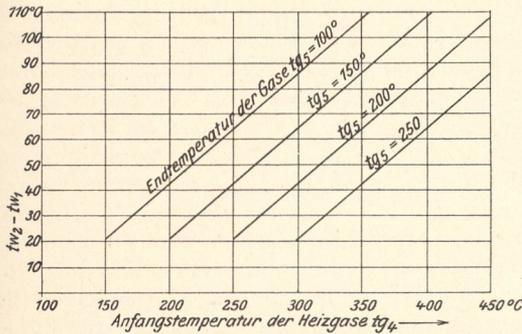


Fig. 202. Temperaturzunahme des Speisewassers bei 13 v. H. CO_2 -Gehalt der Rauchgase.

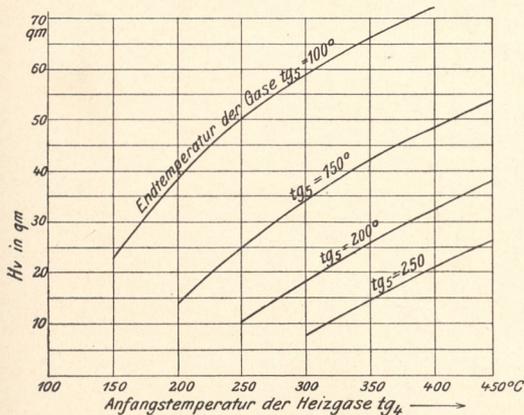


Fig. 203. Größe der Vorwärmerheizflächen für je 1000 kg Speisewasser bei 13 v. H. CO_2 -Gehalt der Rauchgase.

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

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

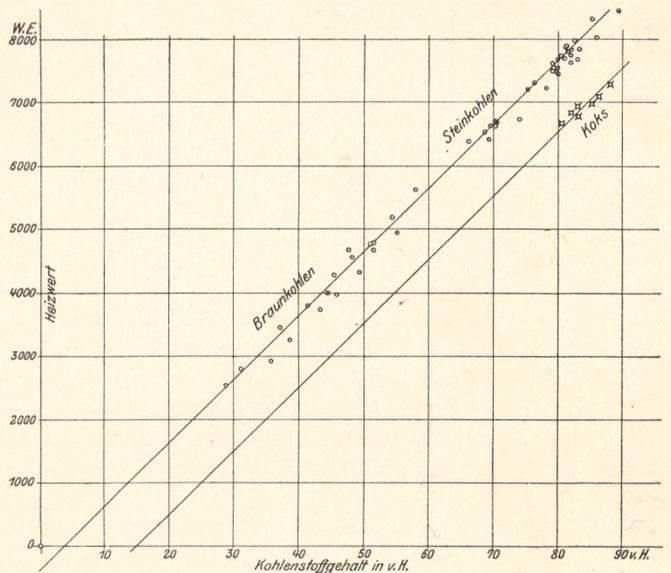


Fig. 204.

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 Wärmegewinn, 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.

Sattdampfes, bezeichnet eigentlich nur den Teil der Leistung des Brennstoffes, welcher dem Kessel durch den Vorwärmer abgenommen ist und deckt sich nicht mit der wirklichen Wärmeersparnis (z) bezogen auf den Heizwert des Brennstoffes. Letztere muß natürlich kleinere Zahlen ergeben, da sie den Wirkungsgrad der Kesselanlage in sich schließt und von einem Bruttowert, dem Heizwert, gerechnet wird, demgegenüber die Dampfwärme schon einen Nettowert darstellt. Die Wärmeersparnis y in v. H. ergibt sich aus:

$$y = \frac{t w_2 - t w_1}{i_s - t w_1} \cdot 100, \quad (55)$$

während die wirkliche Brennstoffersparnis z in v. H. sich wie folgt berechnet:

$$z = \frac{x(t w_2 - t w_1)}{h} \cdot 100. \quad (56)$$

Zahlentafel Nr. 54.

Temperaturzunahme des Wassers im Vorwärmer . ° C	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Wärmeersparnis in v. H. $\left\{ \begin{array}{l} \text{bezogen auf Sattdampf} \\ \text{v. 12 at Überdr. } y = \\ \text{bezogen auf den Heizwert} \\ \text{bei 8 facher Verdampfung, bei } h \\ \text{= 7300 WE. } z = \end{array} \right.$	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15	16,5
	3,3	4,4	5,5	6,6	7,7	8,8	9,9	11	12,1

Auch diese Tafel kann nur einen Überblick gewähren, während für Sonderfälle eine größere Zahl von Einflüssen zu berücksichtigen sind. Es sei aber wiederholt hervorgehoben, daß von einem Vorwärmer hinter einem Kessel mit guter Wärmeausnutzung, welcher also die Abgase mit geringerem Wärmeinhalt entläßt, nicht dieselbe Wärmeersparnis erwartet werden kann, wie hinter einem Kessel mit schlechterer Wärmeausnutzung. Bei Neuanlagen ist man jedoch in der Lage, durch richtige Verteilung der Leistung auf Kessel, Überhitzer und Vorwärmer die erwarteten Vorteile zu erzielen.

Die wirklichen Ersparnisse können die rechnerisch ermittelten im praktischen Betriebe sehr wohl übertreffen. Wenn z. B. eine zu stark beanspruchte Kesselanlage durch den Einbau eines Vorwärmers entlastet wird, so wird infolgedessen der Wirkungsgrad des Kessels und damit die Verdampfungsziffer x zunehmen. Diese Entlastung der Kesselanlage kann eventuell auch dazu führen, daß bei Vorhandensein einer größeren Zahl Kessel einer oder mehrere davon außer Betrieb gesetzt werden können. Tritt ein solcher Fall ein, so erhöht sich die Ersparnis natürlich weiter infolge des Fortfalles von Verlusten durch Leitung und Strahlung, Verminderung der Brennstoffmengen zum Anheizen und für Abbrand, der Verringerung der Anzahl der Bedienungsmannschaften, der Reparatur- und Reinigungskosten usw.

Die vorstehend ermittelte Wärmeersparnis ist noch nicht gleichbedeutend mit dem wirtschaftlichen Nutzen einer Vorwärmanlage. Um diesen zu erhalten, sind zunächst die bei gußeisernen Rauchgasvorwärmern stets aufzuwendenden Kosten der Antriebskraft zu berücksichtigen. Regeln hierfür aufzustellen, ist bei der Verschiedenartigkeit der Betriebe — ob Transmissions- oder elektrischer Betrieb — usw. nicht möglich, jedoch können allgemein pro PS und Jahr von 3000 Arbeitsstunden etwa 200 bis 300 M. in Anrechnung kommen.

Die Kosten für Reinigung und etwaige Reparaturen sind ebenfalls zu berücksichtigen und schließlich noch ein Betrag für Verzinsung und Abschreibung der Vorwärmanlage mit Einmauerung und Betriebsvorrichtung von der oben ermittelten Wärmeersparnis in Abzug zu bringen, wonach dann erst der wirkliche durch Aufstellung des Vorwärmers erzielbare wirtschaftliche Nutzen verbleibt. Der für die Vorwärmanlage erforderliche Raum kann, besonders wenn er erst erworben werden muß, ebenfalls das Resultat beeinflussen. In der Regel aber ist genügend Platz in oder neben dem Kesselhause vorhanden, der für andere Zwecke nicht in Frage kommt, so daß besondere Kosten für den Raum meist nicht einzurechnen sind.