

erhöht. Im Wasser befindliche kleine Luftblasen werden bei der Erhitzung zu Dampfblaschen. Ist die Temperatur so hoch gestiegen, daß die Spannung des Dampfes gleich dem äußeren, auf dem Wasser lastenden Druck wird, so steigen die Dampfblaschen auf. Enthält das Wasser keine Luftblasen, so muß die Temperatur noch höher steigen, das Wasser ist dann überhitzt und es tritt Siedeverzug ein. Bei einer solch erhöhten Temperatur stattfindende Dampfbildung tritt sehr rasch und energisch auf, welche Erscheinung aber keineswegs, wie man früher glaubte, Ursache der Dampfkesselexplosionen ist.

Zur Vermeidung von Energieverlusten muß nicht nur die in der Feuerung entwickelte Wärme gut ausgenützt werden, sondern im Kessel auch ein ausgiebiger Wassenumlauf stattfinden. Dieses deshalb, weil die erwärmten und dadurch spezifisch leichter gewordenen Wasserteile in die Höhe steigen und hier ihre Wärme abgeben. Die oben befindlichen Wasserteilchen sinken an ihre Stelle herab; der dadurch entstandene Kreislauf des Wassers erwärmt dieses durchwegs, es gerät ins Sieden und Dampfbilden. Je intensiver und rascher ein solcher Wassenumlauf ist, umso stärker wird also eine Dampfbildung vor sich gehen.

Wie wir gesehen haben, setzt sich Wärme in Energie um. Doch findet dies nicht mit jedem Wärmemolekül statt, indem Wärmeverluste eintreten. Mit diesen Wärmeverlusten sind daher Energieverluste verbunden. Die Wärmeverluste einer Dampfkesselanlage können in direkte und indirekte geschieden werden.

2. Ermittlung der durch die direkten Wärmeverluste hervorgerufenen Energieverluste.

Sobald das Brennmaterial auf dem Rost brennt, entwickelt es Wärme; da diese in Arbeit umgewandelt werden soll, soll sie voll ausgenützt werden. Praktisch läßt sich dies natürlich nicht erreichen, denn es werden auch bei sorgsamster Betriebsführung Verluste an Wärme auftreten, Verluste, die nicht zu verhindern sind, die also mit in Kauf genommen werden müssen, weil sie eben unvermeidlich sind im Gegensatz zu den behebbaren, verhinderbaren Wärmeverlusten.

Der Verbrennungsvorgang mit seinen vermeidlichen und unvermeidlichen Verlusten muß fortwährend studiert werden, um den höchsten thermischen Wirkungsgrad zu erzielen. Der Heizer muß angewiesen werden, wie er seine Feuerung zu bedienen hat, um eben einen solchen Wirkungsgrad zu erreichen. Bei Unterwindfeuerung ist auch eine fortlaufende Untersuchung der Heizgase notwendig, weil bei

ihnen, besonders bei Handbeschickung, nicht nur Luftüberschuß, sondern auch Luftmangel und dadurch Verluste durch unverbrannte Gase auftreten können (Abhilfe durch Zufuhr von Oberluft an der Feuertür!).

Nur bei Erreichung des höchsten thermischen Wirkungsgrades kann die Wärme restlos ausgenützt werden. Man versteht unter Wärmeausnützung das Verhältnis jener Wärmemenge, die von 1 kg Brennstoff zur Dampferzeugung (und eventuellen Dampfüberhitzung) nutzbar gemacht wurde zum Heizwert des Brennstoffes. Mathematisch ausgedrückt ist die Wärmeausnützung

$$\eta = \frac{\lambda \cdot v_b}{W} \dots \dots \dots (1)$$

habei ist λ = Erzeugungswärme des Brennmaterials, v_b = Bruttoverdampfungsziiffer des Brennstoffes, W = Heizwert des Brennmaterials.

Diese Wärmeausnützung soll bei guter Kohle nicht unter 70% sein.

Im allgemeinen setzen sich bei einer Dampfkesselanlage die direkten Wärmeverluste zusammen aus:

- a) Anheizverlust;
- b) Verlust, entstanden durch die unvollkommene Verbrennung des Brennstoffes auf dem Rost;
- c) Verlust, entstanden durch das in den Herdrückständen (Schlacke) noch enthaltene Brennbare, sowie aus den durch den Rost fallenden unverbrannten Brennstoffteilen und durch die Flugkoksverluste;
- d) Verlust, der durch die in der heißen Asche und Schlacke noch steckende Wärme entsteht;
- e) Verlust durch unverbrannte Gase;
- f) Verlust durch den Rußgehalt der Abgase;
- g) Verlust durch die Strahlung der Feuerung;
- h) Verlust, entstanden dadurch, daß die Heizgase, die Kohlenoxyd infolge unvollkommener Verbrennung enthalten, die Kesseldzüge mit einer Temperatur verlassen, die höher ist, als die der Außenluft (Wärme, die in den Rauchgasen steckt);
- i) Verlust durch Strahlung und Leitung an die Außenluft durch undichte Einmauerung, bzw. Umhüllung des Kessels;
- j) Verlust durch Abkühlung des Kessels infolge Betriebsstillstand.

Vor der Ermittlung dieser Einzelverluste und deren Beseitigung ist jedoch durch Betriebsversuche bei verschiedenen Belastungen festzustellen, bei welcher Kesselbelastung der thermische Wirkungsgrad am günstigsten ist

und in welchem Verhältnis der Wirkungsgrad der Kesselanlage zur Zugstärke, bzw. Belastung steht.

Die Größe der dem Kessel zugeführten Wärmemenge ist genau festlegbar, hingegen ist es zumeist nicht möglich, durch unmittelbare Messung die Größe der abgeführten Wärmemenge festzustellen. Wohl aber kann man aus dem Indikatorgramm die geleistete Arbeit bestimmen und diese nach dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit in Wärmeenergie umrechnen und diese so erhaltene Wärmemenge von der im ganzen aufgewendeten, d. h. zugeführten Wärmemenge abziehen.

Das Verhältnis dieser in Arbeit umgewandelten zu der im ganzen aufgewendeten Wärmemenge nennt man den thermischen Wirkungsgrad. Er ist stets kleiner als eins.

Die eingangs angeführten zehn direkten Wärmeverluste lassen sich in Verluste in der Feuerung und Verluste an Heizflächen zergliedern. Zur ersteren Gruppe gehören a) bis g), zur letzteren h) bis j).

A. Verluste in der Feuerung.

a) Die Anheizverluste V_{ah} entstehen durch die Wärmemenge, die zur Anwärmung der Kesselbleche, des Kesselmauerwerkes, der Rohrleitungen usw. und derjenigen, die zur Nutzbarmachung während des Anheizens nicht herangezogen wird. Sie sind rechnerisch nicht ermittelbar.

b) Die Verluste V_u durch unvollkommene Verbrennung und unverbrannt durchfallendes Brennmaterial können ganz bedeutende sein. Sie schwanken in derselben Kesselanlage und hängen wesentlich vom verfeuerten Brennstoff ab. Sie sind bei Vorfeuerung kleiner als bei Innen-, Unter- und Zwischenfeuerung und hängen auch von der Geschicklichkeit des Heizers, von der Bedienung der Feuerung und des Rauchschiebers, sowie von der Zugstärke und der richtigen Rostgröße und Rostform ab.

Die unvollkommene Verbrennung macht sich äußerlich durch starke Rauchentwicklung bemerkbar. Uebermäßige Rauchentwicklung hat dreierlei verschiedene Ursachen, nämlich 1. eine zu geringe Temperatur im Feuerraum, 2. ungenügende Mischung der Verbrennungsgase untereinander und mit der Verbrennungsluft, und 3. Sauerstoffmangel im Feuerraum. Welcher Fall vorliegt, das zu untersuchen ist Aufgabe des den Betrieb überwachenden Wärmetechnikers. Es muß durch Beobachtungen und Untersuchungen festgelegt werden. Rauchgasanalysen werden Anhaltspunkte geben. Bei normaler Verbrennung soll bei guter Kohle der Kohlensäuregehalt der Rauchgase etwa 10 bis 14% betragen. Enthalten sie viel weniger als

10% CO_2 dann liegt zu großer Luftüberschuß vor, also ein zu großes $\alpha^*)$. Er kann herabgesetzt werden durch Verkleinerung der Zugstärke oder des Rostes. Ein höherer Gehalt der Heizgase an CO_2 als 14% deutet darauf hin, daß die zugeführte Luftmenge zu gering ist, also α zu klein. In einem solchen Falle steckten in den Heizgasen viel Unverbranntes, was sich auch äußerlich durch starken Rauch kennzeichnet. Daß gasreiche Kohle ein größeres α erfordert als gasarme, sei nur kurz erwähnt, desgleichen, daß bei festen und flüssigen Brennstoffen bei vollkommener Verbrennung in den von Wasserdampf befreiten Rauchgasen $CO_2 + O_2 = 18$ bis 20% sein soll.

Der größte überhaupt mögliche O_2 -Gehalt beträgt 21% (bei Luftüberschuß).

Der Rauch- und Rußentwicklung kann man in wirksamer Weise durch Zuführung von zweiter Luft begegnen; dies erfolgt durch Öffnen der an den Feuertüren angebrachten Rosetten. Sind solche nicht vorhanden, dann führe man Zweitluft nicht durch geringes Offenhalten der Feuertüren ein, sondern durch Dampfdüsen, die an der Feuerbrücke eingebaut sind. Da der Luftbedarf für den Verbrennungsvorgang fortwährend schwankt (im Feuerungsbetrieb gibt es keinen Beharrungszustand), so müssen die Düsen so angeordnet sein, daß sie aus dem Feuer heraus gezogen werden können, wenn sie außer Tätigkeit sind, denn sonst verbrennen sie.

Im Gegensatz zum Dampfstrahlgebläse für die Erzeugung des Unterwindes ist der Dampfverbrauch für diese Art der Dampfdüsen nur 1 bis 2% der gesamten Dampfproduktion. Diese Art der Rauchbekämpfung ist besonders bei fetter Kohle in Wasserrohrkesseln zu empfehlen, doch wird sie nur dann von Erfolg gekrönt sein, wenn im Feuerraum die richtige Temperatur und eine gute Mischung der Verbrennungsgase und Verbrennungsluft herrscht.

Der Wärmeverlust durch unvollkommene Verbrennung läßt sich rechnerisch nur ermitteln, wenn die Zusammensetzung der Heizgase in bezug auf das Unverbrannte durch eine chemische Untersuchung ermittelt wird. Ist auf diese Weise festgesetzt, daß die Heizgase per 1 m³ k Vol % Kohlensäure, k_1 Vol % Kohlenoxyd, k_2 Vol % Kohlenwasserstoff (Methan), h Vol % Wasserstoff, r kg Ruß enthalten, so ist das Volumen der aus 1 kg Brennmaterial entstehenden trockenen Rauchgase nach der Gleichung

$$R = \frac{C}{0.536(k + k_1 + k_2) + 100 \cdot r} \text{ m}^3 \cdot \cdot (2^*)$$

zu ermitteln.

*) α = Luftüberschußkoeffizient.

Diese Heizgase enthalten

$$\frac{k_1}{100} \cdot R \quad \text{m}^3 \text{ Kohlenoxyd}$$

$$\frac{k_2}{100} \cdot R \quad \text{m}^3 \text{ Kohlenwasserstoff}$$

$$\frac{h}{100} \cdot R \quad \text{m}^3 \text{ Wasserstoff}$$

$$R \cdot r \text{ kg Ruß.}$$

Da die Verbrennungswärme (Heizwert) von
 $1 \text{ m}^3 \text{ Kohlenoxyd} = 3000 \text{ WE}$
 $\text{Kohlenwasserstoff} = 8650 \text{ WE}$
 $\text{Wasserstoff} = 2620 \text{ WE}$
 $1 \text{ kg Ruß} = 8100 \text{ WE}$ ist, so ist der
 Verlust an Wärme

$$\text{durch Kohlenoxyd.} \quad V_{k1} = \frac{k_1}{100} \cdot R \cdot 3000$$

$$\text{» Kohlenwasserstoff.} \quad V_{k2} = \frac{k_2}{100} \cdot R \cdot 8650$$

$$\text{» Wasserstoff.} \quad V_h = \frac{h}{100} \cdot R \cdot 2620$$

$$\text{» Ruß.} \quad V_r = r \cdot R \cdot 8100$$

Mithin ist der Verlust an Wärme durch unvollkommene Verbrennung für 1 kg Brennmaterial:

$$V_u = V_{k1} + V_{k2} + V_h + V_r$$

$$V_u = \frac{R}{100} \cdot (3000 \cdot k_1 + 8650 \cdot k_2 + 2620 \cdot h) + 8100 \cdot R \cdot r \quad (3)$$

Ist bei unvollkommener Verbrennung der Gehalt der Feuergase nur an $k\%$ Kohlensäure und $k_1\%$ Kohlenoxyd bekannt und bedenkt man, daß sich aus 1 kg Kohlenstoff 1.854 m³

Kohlensäure oder $1.854 \cdot \frac{100}{k} \text{ m}^3$ trockene Feuer-

gase von $k \text{ Vol } \%$ Kohlensäure bei 0° C und 760 mm Barometerstand bilden, so läßt sich der Verlust annähernd berechnen nach der Formel:

$$V_u = k_1 \cdot \frac{1.854 \cdot C}{100 \cdot k} \cdot 3000 \text{ WE.} \quad (4^*)$$

Hier bedeutet C den Kohlenstoffgehalt des festen oder flüssigen Brennstoffes.

In roher Annäherung bedeutet 1% C einen Verlust von 4% des Kohlenheizwertes.

Bei Verdampfungsversuchen wird der Verlust V_u durch unvollkommene Verbrennung gewöhnlich in der Weise bestimmt, daß man ihn mit dem infolge Strahlung, Leitung, Ruß (und unverbrannte Gase), dem sogenannten Restverlust, zusammenfaßt und als Differenz Heizwert — (nutzbare Wärme + Summe aller Verluste) berechnet.

c) Die Verluste V_h durch Verbrennliches in den Herdrückständen, also in Schlacke und

Asche im Aschenfall sind mitunter ebenfalls ganz bedeutend, besonders bei minderwertigen und backenden Brennstoffen, bei welchen oft abgeschlackt werden muß oder, wie der Heizer sagt, das Feuer geputzt wird. Die Wärmemenge, die in diesem Schlacken Kuchen steckt, ist für die Wärmeausnutzung verloren. Das Ausbrennen der Schlacke hängt wohl auch von der Feuerungskonstruktion ab; so haben z. B. manche Treppenroste an ihrem Ende Vorrichtungen, die ein besseres Ausbrennen der Schlacke ermöglichen.

Meistens sammelt sich am Ende des Treppenrostes ein ganzer Haufen von wohl glühendem, aber ungenügend ausgebranntem Koks an, der beim Reinigen des Rostes in den Aschenfall kommt und daher zur weiteren Wärmeausnutzung verloren geht. In dieser Hinsicht sind die Planroste insofern besser, weil bei diesen die Schlacke nach vorne gezogen wird, wobei gleichzeitig die Verbrennungsluft vorgewärmt wird.

Da auch ganze Kohlenstücke und Kohlenstaub durch die Rostspalten durchfallen, so sind zur Vermeidung, bzw. Herabminderung von Energieverlusten diese Verluste nutzbringend zu verwerten. Bei kleineren Kesselanlagen erfolgt dies durch abermaliges Aufwerfen auf den Rost, bei größeren Anlagen durch Einbau einer Trommelfeuerung. Von diesen beiden Anwendungen soll man nur absehen, wenn der Kohlen durchfall gering ist oder sich durch günstigen Verkauf wieder bezahlt macht. Es sind aber nicht immer alle Möglichkeiten gegeben, diese Verluste durch Verbrennliches herabzudrücken. Ist dieser Verlust aber bedeutend, dann wende man die Schlackenseparation an.

Um die Größe der Herdverluste zu ermitteln, hat man eine Schlacken- und Aschendurchschnittsprobe zu entnehmen und diese im Glühtiegel zu verbrennen.

Betragen die trocken gewogenen gesamten Herdrückstände $m\%$ von der verheizten Brennstoffmenge und enthalten sie im trockenen Zustande $c\%$ reinen Kohlenstoff, so ist der auf 1 kg Brennstoff bezogene Verlust

$$V_h = \frac{m}{100} \cdot \frac{c}{100} W_r \text{ in WE.} \quad (5)$$

wobei W_r der Heizwert des Verbrennlichen in der Schlacke und Asche in cal ist, der bei Steinkohle 8000 bis 8100 cal genommen werden kann; bei Braunkohlenrückständen ist $W_r = 5500$ bis 6000 cal.

Den prozentuellen Anteil dieses Verlustes an der Gesamtwärmemenge erhält man durch Dividieren von V_h durch den Heizwert des verheizten Brennstoffes.

Sind die Rückstände jedoch feucht, dann ist für die Berechnung von V_h maßgebend, ob

*) Siehe des Verfassers Broschüre: Brennstoffwirtschaft im Dampfkesselbetrieb.

die Rückstände trocken gewogen, jedoch feucht untersucht wurden oder ob sie feucht gewogen und feucht untersucht wurden.

Für den ersten Fall, Rückstände trocken gewogen, jedoch feucht untersucht, rechnet sich c folgend: Es enthalten der Brennstoff

$$\begin{array}{rcl} c_1 & \% & \text{Kohlenstoff} \\ a & \% & \text{Reinasche} \\ w & \% & \text{Wasser} \\ \hline 100 & \% & \end{array}$$

$100 - w = t_r$ Teile trockene Rückstände enthalten c_1 Teile Kohlenstoff, ein Teil trockene Rückstände enthält $\frac{c_1}{t_r}$ Teile Kohlenstoff, 100 Teile

trockene Rückstände enthalten $\frac{c_1}{t_r} \cdot 100$ Teile

Kohlenstoff, daher $c = \frac{c_1}{t_r} \cdot 100\%$.

Für den zweiten Fall, Rückstände feucht gewogen, feucht untersucht, enthalte der Brennstoff wieder

$$\begin{array}{rcl} c_1 & \% & \text{Kohlenstoff} \\ a & \% & \text{Reinasche} \\ w & \% & \text{Wasser} \\ \hline 100 & \% & \end{array}$$

Das Gewicht der feuchten Rückstände sei $g\%$ von der verheizten Brennmaterialmenge. Da in diesen $g\%$ $w\%$ Wasser stecken, so betragen die trockenen Rückstände nur $m = (g - \frac{g \cdot w}{100})\%$.

Die Werte für m und c sind in der Gleichung für V_h einzusetzen. Für W_r sind die oben angeführten Werte zu nehmen.

Im zweiten Falle kann man, um nur den Verlust V_h zu berechnen, nicht aber auch das Verhältnis der Herdrückstände zur verheizten Brennstoffmenge, die für feuchte Rückstände ermittelten Zahlen für m und c_1 in die Formel für V_h einsetzen.

Um bei einem Heizversuch V_h bestimmen zu können, müssen alle während des Versuches sich bildenden Herdrückstände gesammelt und gewogen werden. Bei Steinkohle tritt ohnedies keine nennenswerte Flugaschen- und Flugkoksbildung ein.

Um den Glühverlust zu ermitteln, nimmt man eine Durchschnittsprobe. Der Glühverlust ist bei Steinkohle mindestens 10% der verbrannten Brennstoffmenge, doch soll er 20% nicht überschreiten.

V_h wächst natürlich mit dem Aschengehalt des Brennstoffes; er beträgt $2-3\%$.

Beträgt der Rückstand an Schlacke und Asche G kg und werden in h Stunden B kg Brennmaterial verbrannt, so entfallen stündlich auf 1 kg Brennstoff $\frac{G}{h \cdot B}$ kg Schlacke und Asche. Sind in diesen Rückständen noch $b\%$ verbrenn-

bare Bestandteile, dann ist der Verlust durch Verbrennliches außer nach der Gleichung (5) auch zu rechnen nach

$$V_h = \frac{\frac{G}{h \cdot B} \cdot b \cdot 8100}{W_r} \% \text{ vom Heizwert des Brennstoffes} \quad (6)$$

W_r = Heizwert der Rückstände.

Die Gleichung (6) gilt jedoch nur, wenn keine besonders große Flugaschen- und Flugkoksbildung eintritt, also bei Verfeuerung von Steinkohle. Wird minderwertiger Brennstoff, namentlich Braunkohle, verfeuert, so treten mitunter bedeutende Mengen von Flugasche und Flugkoks in den Kesselzügen auf.

Bei den meisten Feuerungen werden die Wärmeverluste durch Verbrennliches in der Flugasche dadurch größer, daß mit wachsender Zugstärke auch die Flugaschenmenge größer wird. Es ist demnach besonders bei Unterwindfeuerungen ein besonderes Augenmerk den Flugaschenverlusten zu schenken.

Bei reichlicher Flugaschen- und Flugkoksbildung muß V_h in folgender Weise bestimmt werden:

Ergibt der Brennstoff durch die chemische Untersuchung $a\%$ Asche und enthalten die Rückstände in der Asche des Aschenkastens, Schlacke, Flugasche und Flugkoks noch $b\%$ Brennbares, deren Heizwert W_r ist, so liefert der Brennstoff stündlich $A = \frac{a}{100} \cdot B$ kg Asche, wobei B die stündlich verfeuerte Brennstoffmenge in kg ist. Dazu noch das Unverbrannte zu

$$U = \frac{b}{100 - b} \cdot \frac{a \cdot B}{100} \text{ kg}$$

Es wird demnach pro Stunde an Rückständen sein:

$$\begin{aligned} A + U &= \frac{a}{100} \cdot B + \frac{b}{100 - b} \cdot \frac{a \cdot B}{100} \\ &= \frac{a \cdot B}{100} \cdot \left(1 + \frac{b}{100 - b}\right) \\ &= \frac{a \cdot B}{100} \cdot \left(\frac{100 - b + b}{100 - b}\right) \\ &= \frac{a \cdot B}{100 - b} \text{ kg} \end{aligned}$$

Mithin ist in diesem Falle, also bei minderwertigem Brennstoff, wo viel Flugasche und Flugkoks sich bildet, der Herdverlust

$$V_h = 100 \cdot \frac{a}{100 - b} \cdot B \text{ kg} \quad (7)$$

$$V_h = 100 \cdot \frac{a}{100 - b} \cdot \frac{W_r}{W} \% \text{ von } W \quad (7a)$$

Setzt man in diese Gleichung statt des Heizwertes W_r der Rückstände den des Unverbrannten, also der in den Rückständen noch brennbaren Bestandteile ein und wird dieser

Heizwert mit W_b bezeichnet, dann lautet die Gleichung:

$$V_h = \frac{b \cdot a}{100 - b} \cdot \frac{W_b}{W} \% \text{ von } W \quad (8)$$

Für Braunkohle ist $W_b = 4000 - 5000$ WE.

Behufs Bestimmung von W_r und b müssen aus dem Aschenfall unter dem Rost und aus den Aschesäcken der Kesselzüge Proben entnommen werden. Bei der Entnahme der Flugascheprobe ist jedoch zu bedenken, daß nicht die an den Verschlüssen liegende Asche zu nehmen ist, denn gerade diese ist zufolge Zutrittes von Luft durch undichten Verschuß stärker ausgebrannt als jene, die in der Mitte der Züge liegt. Es muß demnach eine Durchschnittsprobe wenn schon nicht aus dem betreffenden Flugaschebunker, so doch wenigstens aus den Zügen nach sorgfältiger Mischung entnommen werden. Die Ascheprobe aus den Zügen muß also nach sorgfältigster Mischung entnommen werden, weil die Asche, die in der Nähe einer nicht dicht schließenden Einsteigöffnung oder sonstigen Verschuß, nach dem Vorhergesagten zu niedrige Werte für W_r und b durch Nachglimmen gibt.

Für die Bemessung von V_h darf auch nicht übersehen werden, daß bei Rohbraunkohlefeuerung sehr oft durch den Schornstein Flugasche- und Flugkoksmengen entweichen.

Wenn beim Öffnen der Feuertür Flammen heraus schlagen, so deutet das darauf hin, daß die Feuerzüge schon zu sehr mit Asche und Ruß angefüllt sind oder daß der Rauchschieber zu wenig hoch gezogen ist.

d) Der Wärmeverlust V_a durch Entfernen der heißen Asche und Schlacke aus dem Verbrennungsraum sowie aus dem Aschenkasten ist rechnerisch wohl auch ermittelbar, jedoch ziemlich umständlich. Der einfacheren Rechnung halber wird er vernachlässigt oder zum Restverlust zugeschlagen.

Die Verluste, welche durch Entfernen der heißen Schlacke und Asche aus dem Verbrennungsraum und dem Aschenkasten entstehen, hängen von der Zusammensetzung des Brennstoffes, von der Art der Herausnahme und von der Rostkonstruktion ab (nicht jeder Rost ist für jeden Brennstoff gleich gut verwendbar).

Da die Verbrennungsrückstände, sobald sie in den Aschenraum gelangen, die in ihr steckende Wärme größtenteils wieder an die Verbrennungsluft abgeben, so sind sie nicht so groß; größer natürlich sind sie, wenn der Schlacken Kuchen beim Feuerputzen vom Rost herausgerissen und sogleich auf die Halde geführt wird. Deshalb sollten Schlacken Kuchen, genügend großen Aschenraum vorausgesetzt, nicht gleich auf die Halde gebracht, sondern

eine Zeitlang im Aschenkasten abgelagert werden, damit die vom Schlacken Kuchen ausstrahlende Hitze noch zur Erwärmung der Verbrennungsluft des Feuerungsraumes ausgenützt wird.

Der Verlust V_a soll 2% nicht übersteigen.

e) Der Wärmeverlust V_{ug} durch unverbrannte Gase würde sich genau festlegen lassen, wenn man den Gehalt der Abgase an CO , CH_4 und den schweren Kohlenwasserstoffen bestimmen würde. Dies läßt sich aber nicht so einfach machen. Man muß schon zufrieden sein, die Abgase mittels Orsatapparat auf CO_2 und O_2 zu untersuchen und darnach den CO -Gehalt rechnerisch zu ermitteln. Die rechnerische Ermittlung des CO -Gehaltes der Abgase ist jedoch nur möglich, wenn außer dem Gehalt der Abgase an CO_2 und O_2 noch die Zusammensetzung des Brennstoffes bekannt ist. Der Rechnungsvorgang ist in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1920/505 angeführt und muß hier auf diese Stelle verwiesen werden.

Mit dem Orsatapparat läßt sich nicht nur der Gehalt der Verbrennungsgase an Kohlen säure CO_2 , sondern auch an Kohlenoxyd CO und Sauerstoff O ermitteln. Solche Messungen sind zur Beurteilung der Güte der Verbrennung und der Bedienung einer Feuerungsanlage unerläßlich. Die Orsatapparate sind aber nur dort zweckdienlich, wo zeitweise oder nur vorübergehend Analysen vorgenommen werden sollen, z. B. bei Verdampfungsversuchen, Leistungsabnahmen, beim Einstellen und Kontrollieren von Zugmessern und bei automatischen Rauchgasprüfern. Letztere eignen sich besonders für ständige Untersuchung der Verbrennungsgase, weil diese das Ergebnis der Verbrennung dem Heizer sofort anzeigen und außerdem selbsttätig aufzeichnen.

Wie wichtig die Ermittlung von CO ist, geht daraus hervor, daß 1% CO in den Abgasen schon einen Verlust von etwa 6% des Brennstoffheizwertes entspricht.

Der Verlust durch unverbrannte Gase ist für Kohle annähernd auch nach der Formel:

$$V_{ug} = \frac{70 \cdot k_2}{k_1 + k_2} \quad (9)$$

in % des Kohlenheizwertes W zu ermitteln. Hierin ist $k_1 = \% \text{ Gehalt der trockenen Gase an } CO_2$ und $k_2 = \% \text{ Gehalt der trockenen Gase an Kohlenoxyd } CO$.

Genauer ist zu rechnen nach der Gleichung:

$$V_{ug} = \frac{3046 \cdot C \cdot k_2}{0.536 (k_1 + k_2) \cdot W} \quad (10)$$

in % des Kohlenheizwertes. Hier ist $C = \text{Kohlenstoffgehalt in \% des Gewichtes vom Brennstoff}$.

V_{ug} läßt sich vermindern durch Erhöhung des CO_2 -Gehaltes und durch Verminderung der

Temperatur der Abgase, also durch deren vorzeitige Abkühlung und durch unvollkommene Mischung der Gase mit der Verbrennungsluft. Das naheliegende Mittel zur Abkühlung ist wohl die Zuführung von Zweitluft unmittelbar in den Verbrennungsraum. Es kann dadurch wohl das Hinaustreiben unverbrannter Gase verhindert werden, jedoch wird dies einen erhöhten Luftüberschuß mit seinen bereits angedeuteten unangenehmen Folgen nach sich ziehen. Bei Halbgas- und Unterwindfeuerung ist die Zuführung von Zweitluft wohl nicht zu umgehen; sie wird weniger Schaden anrichten, wenn sie über die ganze Rostfläche streicht. Dies ist auch bei gasreichen Brennstoffen zu empfehlen; je dicker die Brennstoffschicht, umso schwerer brennen die Gase aus.

Im allgemeinen wird V_{ug} bei Magerkohle unter 1% und bei gasreichen Kohlen unter 2% des Kohlenheizwertes sein, womit aber nicht gesagt ist, daß er nicht höher sein könnte. Jedenfalls aber braucht das Unverbrannte in den Gasen und der Asche bei gutem Brennstoff nicht mehr als 5% zu betragen; bei geringwertigem und namentlich bei zu kleiner Luftmenge kann er bis auf 40% anwachsen und dürfte auch bei geringwertigem Brennstoff und sonst richtigem Brennvorgang weniger als 15% nicht erreichbar sein.

f) Der Verlust V_r durch den Rußgehalt der Abgase ist ziemlich umständlich zu ermitteln. Wegen des Rußansatzes an den Kesselblechen, Vorwärmern und Mauerwerk ist eine Ermittlung von V_r auch ungenau. Deshalb wird er gar nicht bestimmt, sondern auf den Restverlust ein Aufschlag gegeben.

g) Der Verlust V_{str} durch Strahlung der Feuerung enthält diejenigen Wärmemengen, die aus dem Verbrennungsraum durch Strahlung auf die Außenwände übertragen werden. Am größten ist er bei Vorfeuerung, am kleinsten bei Innenfeuerung und im Mittel bei Unterfeuerung. Auch dieser Verlust kann rechnerisch nicht genau ermittelt werden; er wird daher zum Gesamtstrahlungsverlust dazugerechnet.

B. Verluste an Heizflächen.

h) Der Wärmeverlust V_{sh} durch die abziehenden Feuerungsgase ist meistens der größte von allen Wärmeverlusten; bei wirtschaftlicher Kesselführung läßt er sich jedoch nicht nur bedeutend vermindern, sondern die in den Gasen noch enthaltene Wärme kann auch wirtschaftlich ausgenützt werden.

Je größer die in den Schornstein ziehende Rauchgasmenge und je höher ihre Temperatur ist, umso größer ist dieser Verlust.

Die Rauchgasmenge ist abhängig von der Zusammensetzung des Brennstoffes und der Luftmenge, die zu ihrer Verbrennung zugeführt

wird. Je größer diese Luftmenge, desto größer ist auch die Rauchgasmenge, daher darf die zugeführte Luftmenge nicht willkürlich erfolgen; sie bringt ebenso Schaden wie durch Risse oder undichte Stellen im Kesselmauerwerk angesaugte Luft.

Ist die Rostflächengröße für das zu verbrennende Brennmaterial richtig bemessen, dann hat der Heizer durch richtige Dicke der Brennstoffschicht auf dem Rost und entsprechende Einstellung des Essenschiebers, bzw. des Unterwindgebläses für eine möglichst vollkommene Verbrennung bei möglichst geringem Luftüberschuß zu sorgen.

Sowohl von dem E-senzug, als auch von der Wärmedurchlässigkeit der Kesselwandungen an das Kesselwasser hängt die Temperatur ab, mit der die Heizgase den Kessel verlassen. Die Wärmedurchlässigkeit ist ohne Zweifel umso geringer, je dicker die Ruß- und Flugaschenschichte einerseits und die Schlamm- und Kesselsteinschicht andererseits ist, doch wird ein Ruß- und Flugascheschleier und eine papierdünne Steinhaut das Wärmeinnen- und -überleitungsvermögen nicht abschwächen, sondern ein solcher wird eher von Vorteil sein. Vollkommen blanke Kesselbleche sind also nicht anzustreben, weil sie auch vom theoretischen Wärmestandpunkt nicht günstig sind. Je inniger die Gase sich an die Kesselwand anschmiegen und je länger dies dauert, umso mehr Wärme geben sie an diese ab und umso mehr abgekühlt gelangen sie dann aus dem Fuchs in den Schornstein. Dasselbe gilt natürlich auch, je lebhafter der Wasserumlauf im Kessel ist.

Ein wichtiger Faktor für die Höhe der Temperatur, mit der die Rauchgase in den Schornstein treten, also für die Größe des dadurch hervorgerufenen Wärmeverlustes, bildet die Anstrengung der Kesselheizflächen. Von dem Anstrengungs-, Forzierungs- oder Betriebsgrad der Kesselanlage hängt nicht nur die Leistung des Brennstoffes und der Heizfläche, sondern auch die Wirtschaftlichkeit der Kesselanlage wesentlich ab. Als Maß für die Anstrengung nimmt man die auf 1 m² wasserberührte Heizfläche stündlich entfallende Brennstoffmenge. Dieser Wert ist natürlich bei mäßigem Betriebe am kleinsten, bei angestregtem am größten. Je größer der Anstrengungsgrad $\frac{B}{H}$ ist, je mehr

Brennstoff B also unter dem Kessel von H m² Heizfläche in der Stunde verfeuert wird, desto heißer verlassen die Heizgase den Kessel, denn es ist klar, je mehr in der Zeiteinheit an Brennstoff verheizt wird, desto mehr Heizgase entstehen und eine umso größere Wärmemenge entsteht; dies hat dann natürlich vermehrte Dampfbildung zur Folge (aus diesem Grunde

wird ja, wenn der Dampfbedarf ein größerer ist, mehr verheizt, wenn für normales Heizen die Heizfläche zur erforderlichen Dampfbildung nicht hinreichend ist). Je mehr Heizgase sich aber entwickeln, desto weniger innig legen sich diese an die Kesselwandung an und desto kürzer bleiben sie mit ihr in Berührung. Die in den heißen Gasen enthaltene große Wärmemenge teilt sich demnach nur unvollkommen dem Kesselwasser mit.

Daraus ersieht man, daß bei angestrengtem Betrieb die Rauchgase den Kessel immer mit einer höheren Temperatur verlassen, als bei mäßigem Betrieb. Wenn auch die Dampfbildung eine größere ist, als bei mäßigem Betrieb, so ist durch die geringere Ausnützung der Rauchgase der Wärmeverlust ein so hoher, daß der Dampfpreis ganz bedeutend in die Höhe schnellte. Bei mäßigem Betrieb ist zwar die Dampfmengenbildung kleiner, weil weniger Brennstoff verfeuert und daher weniger Wärme entwickelt wird, aber dafür wird die in den Heizgasen steckende Wärmemenge viel besser ausgenützt, weil sie sich nicht nur besser an die Kesselwand anlegt, sondern sie auch durch eine längere Zeit hindurch umspülen, wodurch sie ihre Wärme mehr durch das Kesselblech an das Kesselwasser abgeben.

Den Verlust durch die in den Abgasen enthaltene Wärme kann man rechnerisch ermitteln, indem man die von 1 kg Brennstoff erzeugte Rauchgasmenge mit ihrer spezifischen Wärme und dem Temperaturüberschuß der Abgase gegenüber der zugeführten Verbrennungsluft multipliziert.

Da bei 0° C und 760 mm Barometerstand
 1 kg Brennstoff $R = \frac{C}{0.536 \cdot k} \text{ m}^3$ Rauchgas

und $\mathfrak{W} = \frac{9 \cdot H + W}{100} \text{ kg}$ Wasserdampf gibt*),

so ist, wenn T die Temperatur der Rauchgase unmittelbar vor dem Essenschieber (Fuchstemperatur) und t die Temperatur der zugeführten Verbrennungsluft (Kesselhaustemperatur) ist, der für 1 kg des verfeuerten Brennstoffes erlittene Verlust durch die Abgase, der sogenannte Schornsteinverlust,

$$V_{sch} = (R \cdot c_g + \mathfrak{W} \cdot c_w) \cdot (T - t) \text{ WE.}$$

Hierin ist c_g die mittlere spezifische Wärme des trockenen Rauchgases; sie ist gleich 0.32 für 1 m³; c_w ist die spezifische Wärme des Wasserdampfes, sie ist gleich 0.48 für 1 kg. Demnach ist

$$V_{sch} = \left(\frac{C}{0.536 \cdot k} \cdot 0.32 + \frac{9 \cdot H + W}{100} \cdot 0.48 \right) \cdot (T - t)$$

*) Siehe des Verfassers Broschüre: Brennstoffwirtschaft im Dampfkesselbetrieb.

$$V_{sch} = \left[0.597 \cdot \frac{C}{k} + 0.0048 \cdot (9 \cdot H + W) \right] \cdot (T - t) \text{ WE} \quad (11)$$

Diese Gleichung ist nur für vollkommene Verbrennung gültig. Bei unvollkommener Verbrennung ist für R der Wert nach Gleichung (2) einzusetzen, also

$$R = \frac{C}{0.536 (k + k_1 + k_2) + 100 \cdot r} \text{ m}^3.$$

Die Gleichung (11 ist unter dem Namen der Bunte'schen Formel in der Feuerungstechnik bekannt. Sie liefert jedoch richtige Werte nur bei ziemlich konstantem Kohlensäuregehalt; schwankt dieser, dann verwendet man die aus dieser Formel abgeleitete:

$$V_{sch} = \frac{0.32}{0.536} \cdot \frac{C \cdot \Sigma \frac{T-t}{k}}{n} + 0.48 \cdot \frac{9 \cdot H + W}{100} \cdot (T - t) \text{ WE} \quad (11a)$$

Es muß $\frac{T-t}{k}$ für n Beobachtungen berechnet und die Summe Σ aller dieser Einzelwerte in die Gleichung eingesetzt werden.

Der Schornsteinverlust ist auch

$$V_{sch} = 100 \cdot R \cdot \frac{T-t}{W} \cdot c_g \text{ in } \% \text{ von } W \text{ (Brennstoffheizwert)} \quad (12)$$

c_g = spezifische Wärme je 1 m³ Rauchgas,
 R = Rauchgasmenge in m³ für 1 kg Brennstoff.

Für überschlägige Rechnungen oder wenn die Zusammensetzung des Brennstoffes nicht bekannt ist, können die Wärmeverluste durch die abziehenden Heizgase annähernd auch nach der Siegert'schen Formel:

$$V_{sch} = \varphi \cdot \frac{T-t}{k} \quad (13)$$

in % des Brennstoffheizwertes berechnet werden. Diese Formel ist jedoch nur für Brennstoffe mit einem Wassergehalt von unter 10% brauchbar und namentlich für Steinkohle gültig. Für Steinkohle ist $\varphi = 0.65$, für Braunkohle ist φ vom Feuchtigkeitsgehalt der Kohle und von k abhängig. Der Wert φ für Braunkohle kann dem nachstehenden Diagramm entnommen werden (Figur 1).

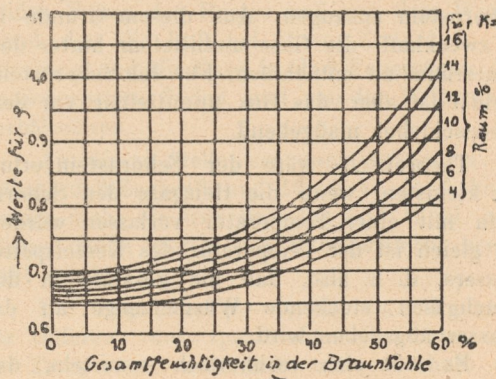


Fig. 1.

Betriebe, welche zumeist denselben Brennstoff verheizen, können für ein bestimmtes φ der Siegerl'schen Formel sich eine Zahlentafel der V_{sch} anlegen.

Figur 2 zeigt die Abhängigkeit des V_{sch} vom CO_2 -Gehalt der Rauchgase, also des Luftüberschußkoeffizienten, sowie von der Temperatur der Abgase.

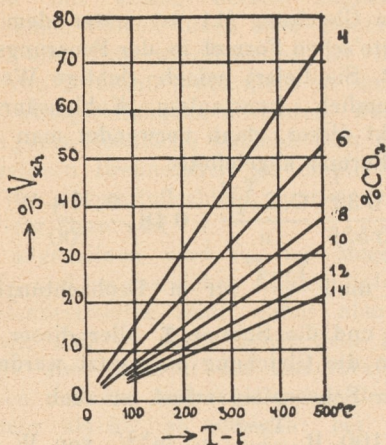


Fig. 2.

Bei sorgfältiger Wartung der Kesselanlagen ist bei Vorhandensein von Abgasvorwärmer V_{sch} bis 15% und ohne Abgasvorwärmer bis 20% des Heizwertes des Brennstoffes. Bei künstlichem Zug kann V_{sch} bis 8% herabgedrückt werden.

Aus der Entwicklung der Gleichung für V_{sch} geht hervor, daß zur Ermittlung von V_{sch} Rauchgasuntersuchungen geboten sind, wenn der Wert für V_{sch} möglichst genau sein soll. Theoretisch müssen Gasproben, die gleichzeitig an verschiedenen Meßstellen der Feuerung entnommen werden, dieselben Analysenwerte geben; in Wirklichkeit verringert jedoch der CO_2 -Gehalt sich nach dem Schornstein zu; hingegen nimmt der O_2 -Gehalt zu. Dies ist ganz natürlich, da die Abgase durch undichtes Mauerwerk und undichte Verschlüsse Luft auf ihrem Wege zum Schornstein ansaugen. Aus diesem Grunde ist es zweckhaft, die Gase unmittelbar hinter dem Feuerraum zu entnehmen. Für den Schornsteinverlust ist aber das Gas unmittelbar vor dem Essenschieber maßgebend.

Theoretisch wäre der Schornsteinverlust am kleinsten, wenn die Heizgase den Schornstein mit einer Temperatur verlassen würden, die gleich ist der Temperatur des Kesselspeisewassers, d. h. also, daß die gesamte in den Rauchgasen steckende Wärmemenge an das Wasser abgegeben wird.

Es läßt sich rechnerisch ermitteln, daß dies jedoch erst bei einer unendlich großen Heizflächengröße zu erreichen ist. Der Gedanke

ist dann allerdings naheliegend, die Heizfläche möglichst groß zu machen. Trotzdem würde eine übermäßig große Heizfläche keine Vorteile bringen, da von einem bestimmten Werte der Rauchgastemperatur an nur mehr eine sehr geringe Wärmemenge abgeleitet werden kann; der Wirkungsgrad der Kesselanlage wird aber um einen so geringen Grad erhöht, daß diese Erhöhung niemals durch die hohen Kosten, die mit einer übermäßig großen Heizfläche verbunden sind, aufgewogen werden.

Will man den Schornsteinverlust kompensieren, dann empfiehlt sich die Verwendung der Abgase zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers oder zur Vorwärmung der Verbrennungsluft oder überhaupt zur Erzeugung von Heißluft.

Auch ein Kesselzugüberhitzer wirkt auf den Schornsteinverlust ein, weil durch ihn die Heizfläche der Kesselanlage vergrößert und deren Anstrengungsgrad verkleinert wird. Durch Einbau eines Ueberhitzers wird der Wirkungsgrad der Anlage jedoch nur dann vergrößert, wenn er richtig eingebaut und wenn die Strahlungsverluste des Kessels durch die Strahlungsverluste der Ueberhitzerkammer sich nicht so summieren, daß die Erhöhung des Kesselwirkungsgrades wieder mehr herabgedrückt wird.

i) Der Verlust V_{stl} durch Strahlung und Leitung, der sogenannte Restverlust, wird als Differenz Heizwert—(nutzbare Wärme + Summe aller Verluste) bestimmt.

Dieser Verlust ist von der Größe der strahlenden Flächen, ihrem Material (Ziegel oder Eisen), von der Lage der Feuerung zum Kessel, Aufstellungsart des Kessels, Art und Dauer des Betriebes usw. abhängig.

Je größer die strahlenden Flächen, umso größer sind auch die strahlenden Verluste; daher sind sie bei den mehrfachen Walzenkesseln größer als bei den Flammrohr-, Heiz- oder Wasserröhrenkesseln. Vorfeuerung hat größere Strahlungs- und Leitungsverluste zur Folge als Unter- oder Zwischenfeuerung, bei der Innenfeuerung sind sie am kleinsten. Ein Kessel, der im Freien aufgestellt ist, strahlt mehr Wärme aus, als ein solcher in einem geschlossenen Raum, wie auch der Strahlungs- und Leitungsverlust bei einer Einzelkesselanlage größer ist als bei mehreren nebeneinander aufgestellten.

Je dichter und dicker das Kesselmauerwerk ist, umso kleiner sind diese Verluste. Je schwächer und zerstörter das Mauerwerk des Kessels ist, umso größer ist der Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung. Daher sei an dieser Stelle abermals betont, daß Risse und Fugen dicht zu halten sind, das Mauerwerk sorgfältig an den Kessel anzuschließen ist und alle freiliegenden Kesselteile gut zu isolieren

sind. Man achte auch darauf, ob nicht die aufsteigende Nisse vom Grundwasser das Mauerwerk feucht macht, ob also das Fundament wohl genügend trocken ist.

Der Verlust V_{stl} ist rechnerisch nicht leicht zu ermitteln. Wenn auch schon bei Kesseln ohne Außenzüge die Strahlungsverluste unmittelbar bestimmt worden sind, so hält sie Verfasser nicht für ganz einwandfrei und unbedenklich. Auch hier werden sie den Hauptanteil des Restverlustes betragen, wie man überhaupt alle jene Wärmeverluste, die nicht gut rechnerisch ermittelbar sind, also die unter a), d), f), g), i) und j) angeführten Wärmeverluste zum Restverlust schlägt. Der Restverlust ist also von den Fehlern, die bei der Berechnung der übrigen Verluste und der Nutzwärmemenge gemacht werden, abhängig.

Der Restverlust soll bei gut ausgeführten Einzelkessel bis 8 $\frac{1}{2}$ %, bei Batteriekessel je bis 5%, höchstens aber bis 10% der aufgewendeten Wärmemenge betragen. Ist er größer, dann liegt die Ursache wohl nur im schlechten Mauerwerk, sowohl der Feuerung, als auch der Kessel-einmauerung selbst, in Rissen und klaffenden Fugen, schlechter Isolierung herausragender Kesselteile; die Ursache kann aber auch zu starke Flugkoksansammlung in den Zügen sein, wodurch die Verbrennung mangelhaft und unvollkommen vor sich geht.

Ein hoher Restverlust muß immer zu Bedenken Anlaß geben und eine eingehende Untersuchung der ganzen Kesselanlage, besonders aber der Feuerung, veranlassen.

j) Der Abkühlungsverlust V_{ast} durch Betriebsstillstand hängt natürlich davon ab, wie lange die Kesselanlage außer Betrieb steht. Er ist rechnerisch nicht feststellbar.

Der gesamte Wärmeverlust einer Kesselanlage bestimmt sich also zu:

$$V = V_{ah} + V_u + V_h + V_a + V_{ug} + V_r + V_{stf} + V_{sch} + V_{stl} + V_{ast}$$

Man berechnet diesen Verlust V für 1 kg verheizten Brennstoff. Die Gegenüberstellung in WE oder % von V zur nutzbar gemachten Wärme (zur Dampfbildung, Dampfüberhitzung, Wasservorwärmung usw.) nennt man die *Wärmebilanz*. Sie gibt also für 1 kg Brennstoff die Wärmeverteilung an.

Die Summe aus den WE, bzw. % der nutzbar gemachten Wärmemenge und der verlorenen gibt den Heizwert des Brennstoffes in WE, bzw. Prozenten.

Man sieht also, daß von den $W_a \cdot B$ WE (W_a = Heizwert oder absoluter Wärmeeffekt für 1 kg des Brennstoffes in WE, B = die stündlich unter dem Kessel verfeuerte Brennstoffmenge in kg, die der Brennstoff bei vollkommener Verbrennung entwickeln kann), nur $(\lambda - t_s) \cdot D$

WE (λ = Wärmewert oder Gesamtwärme von 1 kg gesättigten Dampfes, t_s = Temperatur des in den Kessel, bzw. Vorwärmer gepumpten Speisewassers, D = stündlich vom Kessel erzeugte Dampfmenge in kg) zur Bildung von gesättigtem Dampf nutzbar gemacht werden.

Die Wärmeverluste sind demnach bei vollkommener Verbrennung durch die Differenz $V_{vv} = W_a \cdot B - (\lambda - t_s) \cdot D$ gegeben. . . (14)

3. Abgasüberwachung behufs Verminderung der direkten Wärmeverluste.

Die Wärmeverluste durch die Abgase (Schornsteinverlust) hängen u. a. auch innig zusammen mit der angewandten Zugstärke; diese wieder hängt ab vom Mittel, mit welchem sie erzeugt und von der Sorgfalt, mit der sie beobachtet wird.

Bekanntlich besteht die Feuerungsanlage einer Dampfkesselanlage aus dem Verbrennungsraum, den Feuerzügen und dem Schornstein. Während der erste Teil, die Feuerung, dazu dient, den Brennstoff zu verbrennen und die in ihm enthaltene Wärme zu entwickeln, dienen die Feuerzüge dazu, diese Wärme weiter zu leiten und durch die Kesselbleche an das Kesselwasser zu übertragen. Jeder Brennstoff braucht zu seiner Verbrennung Luft. Diese ihm zuzuführen und die Feuergase mit einer entsprechenden Geschwindigkeit durch die Feuerzüge zu leiten und ins Freie zu stoßen, ist Aufgabe des Schornsteines.

Herrscht im Rauchkanal in der Ebene des Rostes ein Druck p_r , in der freien Luft in derselben Ebene ein Druck p_l , so ist $p_r < p_l$, bezogen auf die Flächeneinheit. Der Ueberdruck $p_l - p_r$ erzeugt die Zugwirkung. Diese ist abhängig von der Zugkraft, d. i. die in der Zeiteinheit angesaugte Luftmenge, die gleich ist dem Produkt aus dem lichten Querschnitt des Schornsteines und der Geschwindigkeit der Rauchgase in diesem Querschnitte. Die Geschwindigkeit hängt ab von der sogenannten Stärke des Zuges, dem Ueberdruck $p_l - p_r$ zu beiden Seiten des Rostes und von dem Widerstand, den die Luft bei ihrem Eintritt in die Feuerung und die Gase in den Feuerzügen und im Schornstein finden, und von den Witterungsverhältnissen.

An dieser Stelle sei ganz besonders erwähnt, daß Zugkraft und Zugstärke des Schornsteines nicht ein und dasselbe ist. Wohl aber können beide durch den Rauchschieber beeinflußt werden.

Die Zugstärke $p_l - p_r$ ist eine Funktion der Differenz der spezifischen Gewichte oder der Temperatur außerhalb und innerhalb des Schornsteines und dessen Höhe. Diese Temperaturdifferenz soll nur so groß sein, wie sie zur