

den Gase selten eine Temperatur niedriger als 200° C. Wird der Zug durch eine Esse erzeugt, dann müssen die Gase mit einer verhältnismäßig hohen Temperatur abziehen, weil die Wirkung der Esse darauf beruht, daß der Inhalt derselben leichter ist als die äußere Luft.

185. Zugerzeugung. Der natürliche oder Essenzug. Bei Feuerungsanlagen wird unter „Verbrennung“ stets der unter Entwicklung von Wärme und Licht vor sich gehende Prozeß der Vereinigung eines Brennstoffes mit dem Sauerstoff der Luft verstanden. Die Verbrennung bedingt daher das Vorhandensein einer genügenden Luftmenge, sowie der erforderlichen Entzündungstemperatur, welche auch während des Prozesses erhalten bleiben muß. Nachdem die hier in Betracht kommenden Brennstoffe als eigentlich brennbare Substanzen nur Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, werden die Verbrennungsbedingungen vor allem durch diese beiden Stoffe bestimmt; dieselben verwandeln sich bei ausreichender Luftzufuhr und entsprechend hoher Temperatur in Kohlensäure und Wasser. Diese beiden Substanzen bilden daher bei vollkommener Verbrennung die alleinigen Verbrennungsprodukte. Nachdem die Brennstoffe vor ihrer Verbrennung jedoch einem Destillationsprozesse unterliegen, werden sie zunächst entgast; es bilden sich zum Teil flüchtige Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxydgas; erstere begründen die Flammbarkeit; die somit um so intensiver ist, je mehr Kohlenwasserstoffe vorhanden sind.

Zum Verbrennen von 1 kg Kohlenstoff benötigt man theoretisch 11,7 kg, zum Verbrennen von 1 kg Wasserstoff 35 kg Luft; diese theoretische Luftmenge genügt jedoch nicht, nachdem die Voraussetzungen der vollständigen Verbrennung, d. i. die vollkommene Vermischung der Gase und die vollständige Berührung der festen Brennstoffe mit dem Sauerstoffe der Luft, nicht zutreffen. In Wirklichkeit schwankt die für die vollständige Verbrennung erforderliche Luft je nach der Art der Anlage zwischen der $1\frac{1}{2}$ - bis 3-fachen theoretischen Menge.

Eine zu kleine als auch eine zu große Luftzufuhr hat eine unvollständige Verbrennung zur Folge; erstere wegen Mangel an Sauerstoff, letztere wegen Luftüberschuß, also Abkühlung des Brennstoffes; in beiden Fällen sinkt die Ökonomie der Verbrennung. Die unvollständige Verbrennung ist durch das Vorhandensein brennbarer Gase in den Verbrennungsprodukten oder durch die Bildung von Rauch und Ruß gekennzeichnet.

Die Abkühlung des Brennstoffes unter die Entzündungstemperatur kann auch auf andere Ursachen zurückgeführt werden. Die plötzliche Beschickung des Feuerraumes mit einer größeren Brennstoffmenge hat eine plötzliche Abkühlung zur Folge, weil diese eine bedeutende Wärme-

menge aufnehmen muß, die dem übrigen Brennstoff hierdurch entzogen wird; auch gelangt in der Regel mit dem Brennstoffe eine größere Wassermenge in den Feuerraum, welche zu verdampfen ist, also momentan Wärme in größerer Menge entzieht. Beim Öffnen der Heitzüren gelangen zumeist größere kalte Luftmengen in den Heizraum und bringen eine plötzliche Abkühlung der Heizgase hervor. Dann kommen namentlich beim Anheizen die Gase mit verhältnismäßig kalten Oberflächen in Berührung u. s. f.

Die Verbrennung wird im allgemeinen wesentlich durch die Zuführung warmer Luft gefördert, weil hierdurch die Lebhaftigkeit derselben gesteigert und der Abkühlung vorgebeugt wird; die Verwendung warmer Luft wird also namentlich dann zu empfehlen sein, wenn es sich um die Erzeugung hoher Temperaturen handelt.

Die Mittel der Rauchverhütung und Rauchverbrennung liegen daher einerseits in der richtigen Behandlung des Feuers, andererseits in baulichen und anderwärtigen Einrichtungen der Feuerungsanlage; die Anwendung derselben ist zumeist von einer Erhöhung der Brennstoffökonomie begleitet, daher sie die größte Aufmerksamkeit verdienen.

Die ununterbrochene Zuführung frischer Luft, sowie die gleichzeitige Abführung der Verbrennungsprodukte ist die wichtigste Bedingung für die Unterhaltung des Verbrennungsprozesses; die Luft muß daher unter einem solchen Überdrucke in den Feuerraum eintreten, daß unter der Wirkung desselben die Heizgase hinausgedrängt werden. Diese Bedingung kann erreicht werden, entweder durch Einpressen der Luft mittels Überdruck, oder durch Wegsaugen derselben mittels Unterdruck. Der letztere Weg ist der fast allgemein betretene, weil er der einfachste ist und manche Vorteile gegenüber dem Einpreßverfahren bietet.

So enorme Fortschritte die Feuerungstechnik im Laufe des letzten Jahrhunderts auch gemacht hat, so ist sie doch in der Lösung einer der wichtigsten einschlägigen Fragen nahezu auf demselben Standpunkte stehen geblieben, denn die Absaugung der Verbrennungsprodukte, sowie das Nachsaugen frischer Verbrennungsluft erfolgt nach wie vor in der weitaus größten Anzahl von ortsfesten Betrieben durch den natürlichen Zug einer aufsteigenden warmen Luftsäule, also durch den **Essenzug**.

Die Schornsteine der Dampfkesselanlagen waren stets eine Quelle von Schwierigkeiten aller Art. Abgesehen von mancherlei Gefahren, denen die Schornsteine ausgesetzt sind, als Selbstentzündungen und Brände, Blitzschläge, Erderschütterungen etc., muß ihnen vor allem die arge Rauchbelästigung zur Last gelegt werden, und so viele Anstrengungen auch gemacht wurden, diese Plage zu beseitigen, so konnten doch bis heute Erfolge nach dieser Richtung von durchschlagender Bedeutung nicht erzielt werden.

Bei einer vorhandenen Feuerungsanlage hängt die Zugstärke nach wie vor von der Art des Betriebes, von der Temperatur der Essengase, dem Verständnisse und guten Willen des Heizers, sowie von den Witterungsverhältnissen ab, und weder ein erfahrener Feuerungstechniker, noch ein bewährter Schornsteinbauer ist imstande, eine Garantie für die Höhe der Zugstärke einer Anlage zu übernehmen. Und wenn auch die durch einen Schornstein erzielte Zugstärke anfänglich genügt, so wird sie bei Erhöhung der an die Feuerungsanlage zu stellenden Forderung bald nicht mehr genügen, um die erforderliche Luftmenge zuzuführen und den nötigen Zug zu erzeugen, und dies wird nun zu einer der Hauptursachen des Qualmens.

Die Zugstärke ist von der Temperatur der Essengase und jener der Außenluft ungemein abhängig. Über den Einfluß der Essengastemperatur auf die Leistung des Schornsteines veröffentlichte F. Krauß in der *Zeitschrift der Dampfkesseluntersuchungs-Gesellschaft in Wien* 1896 instructive Werte, indem er die Beziehungen obiger Temperatur, der theoretischen Zugstärke und der geförderten Gasmenge feststellte. Diese Beziehungen bestätigen die Erfahrung, daß die Erhöhung der Essengastemperatur eine Erhöhung der Zugstärke, jedoch keine Vermehrung des geförderten Gasgewichtes zur Folge hat. So ergeben sich z. B. für eine Schornsteinhöhe von 30 m folgende Werte:

Temperatur der Essengase in C°	250	300	350	400	500
Gasgeschwindigkeit in m/Sek.	21,5	23,7	25,7	27,7	31,1
Zugstärke am Schornstein in mm Wassersäule	16,0	17,8	19,2	20,5	22,6
Gasmenge in kg/Sek.	14,6	14,7	14,7	14,6	14,0

Ein Schornstein von gegebenen Dimensionen kann daher nur eine innerhalb sehr enger Grenzen veränderliche Gasmenge befördern, somit nur ein bestimmtes, nicht überschreitbares Gewicht an Kohle zur Verbrennung auf dem zugehörigen Roste gelangen lassen; seine Leistungsfähigkeit ist, durch seine starren Dimensionsverhältnisse bedingt, einer Ausdehnung nicht fähig. Die Temperatur der Essengase darf ja überhaupt nicht wesentlich unter 200° bis 180° C sinken, wenn darunter die Leistungsfähigkeit des Schornsteines nicht leiden soll, und jeder Versuch, die Wärme besser auszunützen, bedeutet ja nur eine Herabminderung seiner Zugkraft. Man muß dabei im allgemeinen mit einer Zugstärke von 12 bis 15 mm Wassersäule am Fuße des Schornsteines zufrieden sein; in vielen Fällen beträgt dieselbe nur 6 bis 10 mm. während des Betriebes.

Die Wirksamkeit eines Schornsteines beruht auf dem Gesetze des Auftriebes, indem die warme Luftsäule das Bestreben hat, sich innerhalb der

kälteren Umgebung aufwärts zu bewegen; nachdem die Dichte eines Gases im umgekehrten Verhältnisse zur Temperatur desselben steht, so nimmt dieses Bestreben mit wachsender Temperatur zu. Bezeichne t die Temperatur der Außenluft, t_1 die Temperatur der Gase, h die Höhe des Schornsteines über dem Roste als Eintrittsstelle der Luft in Metern, v die sekundliche Geschwindigkeit der Gase in Metern, g die Fallbeschleunigung, endlich d und d_1 die Dichte der äußeren, beziehungsweise der erhitzten Luft.

Die Druckdifferenz p der äußeren und inneren Luft pro Flächeneinheit beträgt

$$p = hd - hd_1 = h(d - d_1).$$

Die Höhe H jener Luftsäule von der Dichte der äußeren Luft, welche vermöge ihres Gewichtes diesen Druck hervorbringen würde, findet man, indem man den Druck p durch die Dichte d_1 dividiert; somit ist

$$H = \frac{p}{d_1} = h \frac{d - d_1}{d_1}.$$

Die theoretische Geschwindigkeit, mit welcher die äußere Luft in den Schornstein eintreten würde, wenn keine Widerstände zu überwinden wären, ergibt somit der Ausdruck

$$v = \sqrt{2gH}$$

oder

$$v = \sqrt{2gh \left(\frac{d - d_1}{d_1} \right)}.$$

Unter Einführung der Temperatur t_1 und t wird

$$d_1 = \frac{d_0}{1 + \alpha t_1} \quad \text{und} \quad d = \frac{d_0}{1 + \alpha t},$$

wobei d_0 die Dichte der Luft bei 0° unter demselben Drucke und α der Ausdehnungskoeffizient der Luft sei.

Diese Werte von d_1 und d in die Gleichung für v eingesetzt gibt

$$v = \sqrt{2gh} \sqrt{\alpha} \sqrt{\frac{t_1 - t}{1 + \alpha t}}.$$

Daraus berechnet sich die pro Zeiteinheit geförderte theoretische Luftmenge, die sogenannte Zug- oder Saugkraft der Esse, dem Gewichte nach

$$Q = f \cdot d_1 v,$$

wenn f den Querschnitt der Esse bedeutet; unter Einführung des Wertes von v und d_1 wird

$$Q = f \cdot \frac{d_0}{1 + \alpha t_1} \cdot \sqrt{2gh} \sqrt{\alpha} \sqrt{\frac{t_1 - t}{1 + \alpha t}},$$

oder wenn man der Kürzung wegen, nachdem für ein und dieselbe Esse f , d_0 , $\sqrt{2g}$ und $\sqrt{\alpha}$ konstante Größen sind, $f \cdot d_0 \sqrt{2g\alpha} = k$ setzt, und berücksichtigt, daß für die Temperatur t der Außenluft in Anbetracht des kleinen Wertes von α ($\alpha = 0,003665$) das Produkt αt gegen 1 vernachlässigt werden kann, so wird

$$Q = k \sqrt{h} \left(\frac{\sqrt{t_1 - t}}{1 + \alpha t_1} \right).$$

Aus dieser Gleichung ist zu ersehen, daß die Zugkraft einer Esse nur im Verhältnisse der Quadratwurzel der Höhe zunimmt; es wird daher unter sonst gleichen Verhältnissen die Zugkraft einer Esse bei Erhöhung derselben um das zwei- bis dreifache ihrer ursprünglichen Höhe nur um das $\sqrt{2} = 1,41$ - bis $\sqrt{3} = 1,73$ -fache zunehmen; man müßte daher bei Erreichung der doppelten Zugkraft die Schornsteinhöhe viermal so groß machen.

Die wirkliche Pressungshöhe, welche in einem gegebenen Falle erforderlich ist, um einerseits die nötige Luftmenge zu fördern, andererseits die Bewegungswiderstände der Luft auf ihrem Wege durch das Brennmaterial, die Feuerzüge und andere Partien des Kessels zu überwinden, wird wesentlich größer sein müssen, als die durch obige Gleichung ausgedrückte theoretische Pressungshöhe, oder mit anderen Worten, ein Schornstein von gegebenen Dimensionen wird unter sonst gleichen Verhältnissen effektiv eine viel geringere Luftmenge pro Zeiteinheit zu fördern vermögen, als theoretisch nachweisbar ist.

Berücksichtigt man ferner, daß die Reibung proportional mit der Essenhöhe wächst, so ist wohl klar, daß von einer bestimmten Höhe der Esse an die Zunahme des Essenzuges durch die Zunahme der Reibung im Gleichgewichte erhalten werden wird, so daß über diese Höhe hinaus eine Steigerung der Leistung der Esse kaum mehr erwartet werden kann; diese Grenze liegt ungefähr bei 50 m Essenhöhe. Nachdem man jedoch einen Schornstein von gegebenen Dimensionen aus baulichen Gründen in den seltensten Fällen betreffs Erhöhung seiner Leistungsfähigkeit wesentlich aufhöhen kann, so wird die oberste Grenze der Leistungsfähigkeit desselben gar bald erreicht; es wird daher in einem solchen Falle geradezu unmöglich sein, an eine voll belastete Dampfanlage noch weitere Dampferzeuger anzufügen, ohne einen neuen Schornstein zu bauen oder den bestehenden Schornstein durch künstlichen Zug leistungsfähiger zu gestalten.

Die Saugkraft einer Esse hängt jedoch, wie die vorhin aufgestellte Gleichung besagt, nicht nur von der Höhe h derselben, sondern auch von der Temperatur t_1 und zwar in dem Verhältnisse $\frac{\sqrt{t_1 - t}}{1 + \alpha t_1}$ ab. Dieser Aus-

druck kann nicht unendlich werden, weil der Nenner rascher wächst wie der Zähler. Dieser Ausdruck wird ein Maximum für

$$1 + \alpha t_1 = 2\alpha(t_1 - t) \quad \text{oder} \quad t_1 = 2t + \frac{1}{\alpha};$$

dieser Temperatur würde daher ein theoretisches Maximum der Zugkraft entsprechen.

Für $\alpha = 0,003665$, $\frac{1}{\alpha} = 273$, und die Temperatur der äußeren Luft $t = 0$ wird $t_{1\text{max.}} = 273^\circ \text{C}$.

Berechnet man für verschiedene Werte von t_1 den Wert des Ausdruckes $\frac{\sqrt{t_1 - t}}{1 + \alpha t_1}$, dann findet man:

für $t_1 = 100^\circ \dots$	$\frac{\sqrt{t_1 - t}}{1 + \alpha t_1} = 7,4$
„ $t_1 = 200^\circ \dots$	„ = 8,16
„ $t_1 = 273^\circ \dots$	„ = 8,255
„ $t_1 = 300^\circ \dots$	„ = 8,251
„ $t_1 = 400^\circ \dots$	„ = 8,11
„ $t_1 = 500^\circ \dots$	„ = 7,89.

Daraus ersieht man, daß der Essenzug ohne Berücksichtigung der Bewegungswiderstände bereits bei einer Temperatur von 100°C einen Wert annimmt, welcher dem theoretischen Maximum nahe liegt und daß es daher keine wesentlichen Vorteile bietet, wenn man mit der Temperatur der Essengase über 200°C hinausgeht.

In Wirklichkeit wird man bei natürlichem Zuge in anbeacht der in den zumeist vorkommenden Fällen zu überwindenden verhältnismäßig großen Bewegungswiderstände mit diesen Temperaturen nicht ökonomisch arbeiten können. Bei künstlich gesteigertem Zuge und niedriger Esse ist der Widerstand des Rostes der hauptsächlichste Bewegungswiderstand der Luft; bei einer hohen Esse und natürlichem Zuge hingegen ist der Reibungswiderstand der Esse selbst so bedeutend, daß eine Vergrößerung der Höhe, wie bereits früher bemerkt, fast keine Zunahme des Zuges und in Fällen, wo der Querschnitt der Esse in der Aufhöhung auch noch abnimmt, sogar eine Verminderung desselben zur Folge hat. Unter solchen Bedingungen wird die Zugkraft durch Erhöhung der Schornsteintemperatur nur bis zu einer gewissen Grenze gefördert, bei welcher die Zunahme der Zugkraft und folglich auch der Geschwindigkeit der Essengase mehr als ausgeglichen wird durch die Abnahme der Dichte derselben; wird dieser Grenzwert überschritten, d. h. sind die Gase noch heißer, dann wird das Gewicht der in einer gegebenen Zeit die Esse passierenden Gase tatsächlich abnehmen.

In jenen Fällen, wo ein effektiver Widerstand erst nach erfolgter Erhitzung der Gase zu überwinden oder mit anderen Worten, der Widerstand des Rostes verhältnismäßig sehr klein ist, wird das Maximum des Zuges dann erreicht, wenn die Dichte der Essengase ungefähr halb so groß ist, wie jene der Außenluft. Es geht dies aus der Beziehung der Dichte

$$d_1 = d_0 \frac{1}{1 + \alpha t_1}$$

hervor, indem man in diese Gleichung für t_1 den vorhin gefundenen Wert $t_1 = 273^0$ für das Maximum der Zugkraft einführt:

$$d_1 = d_0 \frac{1}{1 + \frac{1}{273} \times 273} = \frac{1}{2} d_0.$$

Wenn jedoch der Widerstand des Rostes einen wesentlichen Betrag des Gesamtwiderstandes bildet, und dies ist fast durchgehends der Fall, dann tritt das Maximum der Saugwirkung erst bei einer entsprechend höheren Temperatur ein. Eine weitere Erhöhung der Temperatur über diesen Grenzwert bringt, wie schon erwähnt, keinen Vorteil; hinsichtlich des thermischen Wirkungsgrades ist es sogar günstiger, mit niedrigerer Temperatur zu arbeiten, weil infolgedessen auch weniger Wärme mit den Essengasen abzieht.

Wie durch die Kesselpraxis und zahlreiche einschlägige Messungen und Beobachtungen festgestellt, ist der größte zu überwindende Widerstand jener, welchen der beschickte Rost sowie bei Röhrenkesseln die Röhren selbst hervorrufen, während die Hervorbringung der Geschwindigkeit nur einen verhältnismäßig geringen Teil der Zugkraft beansprucht.

Prof. Gale*) hat bei einem gewöhnlichen stationären Röhrenkessel folgende Pressungen in mm Wassersäule gefunden:

Zur Hervorbringung der Eintrittsgeschwindigkeit von ca. 1 m/Sek.	0,066 mm
Überwindung des Rostwiderstandes	4,605 „
Überwindung des Widerstandes des Heizraumes und der Kesselröhren.	6,244 „
Überwindung des Widerstandes in den Zügen	0,304 „
Zur Hervorbringung der Austrittsgeschwindigkeit aus den Feuerzügen von ca. 3,4 m/Sek.	0,430 „
Totale effektive Pressung	11,629 mm

Bei stationären Kesseln ohne Feuerröhren kann angenommen werden, daß die Drosselwirkung des Rostes ungefähr drei Viertel des totalen Essenzuges beansprucht; von dem restlichen Viertel entfallen ca. 75% auf die Widerstände in den Zügen und dem Kamine, während somit nur

*) Horace Gale, *Theory and Design of Chimneys*. *Transactions American Society of Mechanical Engineers*, Vol. XI.

$\frac{1}{16}$ der totalen Zugkraft zur Hervorbringung der Geschwindigkeit erforderlich ist. Prof. Gale führt die Untersuchung eines Falles an, in welchem 60% der totalen Zugstärke durch die Drosselwirkung des Rostes verloren gingen und nur 4% derselben zur Beschleunigung der Gase verzehrt wurden. Der betreffende Schornstein hatte eine Höhe von 32 m und die Temperatur der Essengase betrug im Mittel 320° C. Würde die ganze Zugstärke zur Erzeugung der Geschwindigkeit verwendet worden sein, dann hätte diese den Betrag von ca 24 m erreichen müssen, während dieselbe in Wirklichkeit nur ca. 4,9 m betrug.

Obwohl der schließliche Zweck jeder Art der Zugerzeugung darin gipfelt, die Verbrennungsprodukte fortzuschaffen und die zur Verbrennung erforderliche Luftmenge zuzuführen, so ist doch, wie schon aus obigem hervorgeht, dieser Anteil der Gesamtarbeit verschwindend klein im Vergleiche mit jener Arbeit, welche die Überwindung der Bewegungswiderstände seitens des Brennmaterials und des Kessels erfordert; oder mit anderen Worten, um eine gegebene Menge eines Brennstoffes zu verbrennen, ist die Fähigkeit, eine genügende Druckdifferenz zu erzeugen, die erste Forderung; die Fähigkeit, eine bestimmte Luftmenge zu bewegen, kommt erst in zweiter Linie in Betracht. Zugerzeugungsapparate sind daher nicht bloß nach der pro Zeiteinheit zu bewegenden Luftmenge, welche man durch Multiplikation des Brennstoffverbrauches mit der pro Gewichtseinheit derselben erforderlichen Luftmenge erhält, zu beurteilen, denn wäre dies der Fall, dann würde eine Esse von geringer Höhe oder ein großer, langsam laufender Ventilator vollkommen genügen. Ein Schornstein oder ein Ventilator muß in erster Linie so bemessen sein, daß er durch hinreichende Zugstärke die verhältnismäßig sehr großen Widerstände seitens des Brennstoffes und Kessels überwindet und die erforderliche Zuggeschwindigkeit erzeugt. Die Zuggeschwindigkeit muß so groß sein, daß das Produkt aus derselben und dem vollen Querschnitte an der Messungsstelle jenes Luftvolumen ergibt, welches zur Verbrennung der geforderten Brennstoffmenge notwendig ist. Ist diesen Anforderungen entsprechend die Höhe der Esse oder Durchmesser und Geschwindigkeit eines Ventilators bestimmt, dann hat man nur das Fassungsvermögen des Zugerzeugungsorganes der gegebenen Luftmenge anzupassen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft sowie die Heizgase sich vom Aschenfall bis zum Ende der Feuerzüge (Fuchs) bewegen, ändert sich ungemein unter dem Einflusse der Veränderlichkeit des Querschnittes und der Temperatur und beeinträchtigen die zur Erreichung eines bestimmten Resultates erforderliche Zugstärke. Die Zugstärke wird aber andererseits auch von der Beschaffenheit des Brennmaterials, der Art der Feuerung und der Bedienung derselben, sowie von der Bauart des Kessels

abhängig, daher von einer Summe von Faktoren beeinflusst sein, welchen der durch eine Esse erzeugte natürliche Zug niemals auch nur annähernd Rechnung tragen kann.

Diese Tatsachen führen zu der Erkenntnis, daß es von vornherein vorteilhafter sein wird, einen Zugerzeuger zu benützen, der von diesen äußeren Umständen unabhängiger ist als ein Schornstein.

Zugunsten des natürlichen Zuges muß allerdings ein Vorteil hervorgehoben werden, welcher dem künstlichen oder mechanischen Zuge nicht zukommt: es ist dies die volle Unabhängigkeit des natürlichen Zuges, da derselbe zu seiner Erzeugung nur die Erwärmung der im Schornsteine eingeschlossenen Luftsäule als Kraftquelle bedarf, während der mechanische Zug entweder einen direkten oder indirekten Kraftantrieb erfordert. Die Kosten des natürlichen Zuges werden infolgedessen gewöhnlich als sehr gering angesehen, da zur Erzeugung desselben nur die von den Feuerzügen abziehenden Gase benützt werden, deren Wärme ohnedies verloren geht. Dieser Wärmeverlust beträgt jedoch durchschnittlich 18 bis 22% der auf dem Roste entwickelten Wärme und kann nur unter den günstigsten Umständen, bei einer Temperatur der Abgase von ca. 180°, mit dem Minimalwerte von ca. 12% angenommen werden.

Der diesem Wärmeverluste entsprechende Brennmaterialverbrauch stellt die Betriebskosten des Schornsteines dar, zu welchen noch ein für Verzinsung und Abschreibung des Anlagekapitales sowie für die Erhaltung des Schornsteines erforderlicher Betrag hinzugefügt werden muß.

Zu diesem durch die Wärme der abziehenden Gase hervorgerufenen Verluste an potentieller Energie des Brennstoffes kommen noch die unvermeidlichen, jedoch sehr geringen Verluste an Brennmaterial bei der Reinigung des Rostes, die Verluste infolge Wärmeleitung und Ausstrahlung, endlich die Verluste zufolge unvollkommener Verbrennung, sowie der Bildung von Dampfgas als eines der Verbrennungsprodukte, welches unkondensiert mit den Heizgasen abzieht. Die Summe aller Verluste an Wärme etc. hat zur Folge, daß im günstigsten Falle ungefähr 80%, gewöhnlich jedoch nur 70% der potentiellen Energie des Brennstoffes zur Dampfbildung gelangen.

Im Zusammenhange mit der Zugerzeugung sei hier noch eine Verlustquelle namhaft gemacht, welche eine Verminderung des Zuges beziehungsweise der Leistungsfähigkeit einer Anlage zur Folge hat, es ist dies die Undichtheit des Kesselmauerwerkes. Die durch die Undichtheiten des Mauerwerkes eingesogene Luftmenge ist häufig überraschend groß, vermehrt das Luftvolumen, welches abgesaugt werden muß und vermindert die Temperatur; hierdurch kann die Zugstärke einer Esse mitunter so nachteilig beeinflusst werden, daß dieselbe, obgleich scheinbar ausreichend

dimensioniert, in Wirklichkeit den Erwartungen nicht entspricht. Bei künstlichem Zuge durch Absaugen der Gase mittels Ventilator spielen diese Undichtheiten insofern keine nachteilige Rolle, als die Intensität des Zuges mit abnehmender Temperatur der Gase bei konstant bleibender Tourenzahl des Ventilators zunimmt. Hingegen wird bei unter dem Roste eingepreßter Luft durch die in Rede stehende Undichtheit ein mehr oder minder direkter Verlust an Wärme resultieren. Man muß daher trachten, durch solides, sorgfältig verfugtes Mauerwerk diesen sonst sehr erheblichen Wärmeverlust zu vermindern beziehungsweise zu verhindern*).

Aus dem vorhergehenden ist es klar, daß eine Esse so dimensioniert sein muß, daß durch dieselbe einerseits die zur Überwindung aller Widerstände erforderliche Druckdifferenz erzeugt und andererseits der pro Zeiteinheit zu fördernden Luftmenge die nötige Geschwindigkeit erteilt wird.

Die in einer bestimmten Zeit auf einem gegebenen Roste zur Verbrennung gelangende Kohlen- oder Brennstoffmenge ist gleich dem Gewichte der durch den Rost getriebenen Luftmenge, dividiert durch das Gewicht der zur Verbrennung der Gewichtseinheit Brennmaterial unter den gegebenen Umständen erforderlichen Luftmenge.

Wie bereits früher erwähnt, ist letztere sehr veränderlich und schwankt zwischen dem theoretisch erforderlichen und einem Betrage, welcher diese um 100 und mehr Prozent übersteigt.

Das Gewicht der in der Zeiteinheit die Feuerzüge passierenden Luft ist gleich dem Querschnitte multipliziert mit der Geschwindigkeit an der Messungstelle und der Dichte oder dem Gewichte pro Volumeneinheit. Diese Geschwindigkeit in den verschiedenen Partien der Feuerungsanlage kann nur durch eine Pressung erzeugt werden, welche näherungsweise auf Grund theoretischer Betrachtung durch Rechnung bestimmt werden kann. Die zusätzliche, zur Überwindung der Widerstände erforderliche Pressung kann jedoch nur im Wege des Experimentes oder durch die Erfahrung ermittelt werden. Diese Widerstände sind proportional dem Quadrate der wirklichen Geschwindigkeit und abhängig von dem Querschnitte und der Länge der Feuerzüge und der Esse, der Dicke der Brennstoffschicht und der Beschaffenheit des Brennmaterials. Die Dimensionen eines Essenzuges beziehungsweise eines Schornsteines können daher in verlässlicher Weise nur auf Grund solcher Versuche ermittelt werden, welche unter gleichen oder wenigstens ähnlichen Voraussetzungen ausgeführt wurden.

*) Eine Beobachtung über die verhältnismäßige Größe dieses Verlustes siehe: „*Mechanical Draft*“. *A practical Treatise*. B. F. Sturtevant, Engineering Co., London, S. 178.

Diese Tatsache erklärt die große Verschiedenheit der für die Bestimmung der Schornsteindimensionen aufgestellten Formeln und begründet die Notwendigkeit der Aufstellung von auf praktischem Wege ermittelten Konstanten.

Formeln für die Ermittlung der Schornsteindimensionen finden sich in allen einschlägigen Publikationen, auf welche hier verwiesen sei*).

186. Der künstliche oder mechanische Zug. Der Schornstein war lange Zeit hindurch das einzige praktisch brauchbare Mittel zur Erzeugung des Zuges, welcher daher gewöhnlich „natürlicher“ Zug genannt wurde. Würde der Schornstein allen Anforderungen der modernen Kesselpraxis genügen, dann würde man kaum nach einem Ersatz für denselben gesucht haben. Das täglich intensiver hervortretende Bestreben, anstelle des Schornsteines andere künstliche Mittel zu verwenden, ist daher der beste Beweis der Unzulänglichkeit des Schornsteines, einen befriedigenden und ökonomischen Zug zu erzeugen. Während man anfänglich den künstlichen Zug nur zur Unterstützung des Essenzuges in Fällen, wo eine vorhandene Esse nicht mehr ausreichte, verwendete, wird derselbe heutzutage auch unter gewöhnlichen Verhältnissen als geeigneter und wirksamer Ersatz des Schornsteines zur Hervorbringung jeder beliebigen Zugstärke verwendet.

Der mechanische Zug ist also keine Neuheit mehr; wir besitzen seit Jahren die verschiedensten Einrichtungen, welche entweder die Verbrennungsluft durch den Rost ansaugen oder dem Brennstoffe gepreßte Luft durch den Aschenfall beziehungsweise den Feuerraum zuführen.

Die Benützung des mechanischen Zuges mittels Ventilatoren hat bei den Kesselfeuerungen der Marine große Fortschritte gemacht und ersetzt dort vollkommen den natürlichen Zug, während sich derselbe bei den Kesselanlagen des Festlandes noch nicht einzubürgern vermochte. Man brachte dem künstlichen Zuge lange Zeit hindurch nur Mißtrauen entgegen und fürchtete vor allem, daß der gesteigerte Zug und die Erhöhung des Betriebes den Kesseln nachteilig werden könnte; auch war man stets geneigt, die Mängel, welche den einzelnen Einrichtungen zur Erzeugung künstlichen Zuges anhafteten, diesem selbst in die Schuhe zu schieben.

Die Engländer und Amerikaner haben jedoch frühzeitig erkannt, daß die Grundlagen der ortsfesten Betriebe von jenen des Schiffsbetriebes nur scheinbar verschieden sind und daß daher dieselben Prinzipien, jedoch mit entsprechend geänderten Hilfsmitteln, hier wie dort zur Erreichung

*) *Mechanical Draft*, B. F. Sturtevant, Engineering Co., London, S. 182—190.
Anlage und Betrieb der Dampfkessel, H. v. Reiche, 3. Aufl., Leipzig 1888. *Bau und Betrieb der Dampfkessel*, H. Haeder, 3. Aufl., Duisburg u. a.