

Sieht man die Leistungen 1 bis 4, welche zur Unterhaltung der Bewegung dienen, als Nutzleistung an, so ist deren Größe abhängig von der verfeuerten Brennstoffmenge einerseits und von dem Widerstande beim Durchziehen der Brennstoffschicht und der Kesselzüge andererseits. Für diese Arbeit steht eine Druckhöhe h_r , gemessen in mm WS, zu Verfügung, welche durch den Auftrieb der heißen Verbrennungsgase in dem Schornsteinrohr erzeugt wird, also von der Temperatur der Gase und der Schornsteinhöhe abhängig ist und aus denselben berechnet werden kann [Gl. (3)]. Es könnte demnach durch Bemessung der Schornsteinhöhe ein bestimmter Wirkungsgrad der Schornsteinarbeit erzielt werden, so daß man in der Lage wäre, die Temperatur der Abgase und die Größe des Verlustes durch dieselben zu begrenzen.

Nun hängt aber die Temperatur der Abgase nicht vom Schornstein, sondern vom Kessel ab, der nicht imstande ist, den Gasen über eine gewisse Grenze — etwa 280 bis 300° — hinaus noch Wärme zu entziehen, wenn nicht die Heizfläche sehr groß und der Kessel zu teuer werden soll. Diese Grenze kann aber durch den Einbau von Rauchgasvorwärmern nach unten verschoben werden, jedoch bei natürlichem Luftzuge und normalen Schornsteinabmessungen kaum unter 180° C heruntergehen. In einzelnen Fällen, bei verhältnismäßig hohen Schornsteinen, sind untere Grenzen von 150 und 120° C erreicht. Die Schornsteinhöhe wird daher unter Zugrundelegung der Abgastemperatur und einer geforderten Zugstärke h_r berechnet; das Mindestmaß ist dadurch bestimmt, daß zur Verhütung der Rauchbelästigung die Mündung mindestens 5 m höher liegen soll als der im Umkreise von 300 m gelegene — höchste — First eines Wohngebäudes.

2. Die lichte Weite des Schornsteines.

In neuerer Zeit kommt nur der ringförmige Schornsteinquerschnitt in Betracht, da derselbe in bezug auf den Reibungswiderstand der Wände, die Abkühlungsfläche und den Winddruck allen anderen Querschnitten überlegen ist. Schornsteine von quadratischem, sechs- oder achteckigen Querschnitt wird man nur dort bauen, wo Ringsteine (Radialsteine) nicht zu annehmbaren Bedingungen zu haben sind. Das dürfte jedoch in Deutschland kaum irgendwo zutreffen.

Die Größe des Querschnittes f_0 in qm an der Mündung wird bestimmt aus der Rauchgasmenge und der Ausströmungsgeschwindigkeit v_n in m/sek. v_n beträgt 2 bis 8 m/sek., im Durchschnitt rechnet man 4 m/sek., nach Feuerungsuntersuchungen des Vereins für Feuerungsbetrieb und Rauchbekämpfung in Hamburg sind Gasgeschwindigkeiten im Schornstein bis zu etwa 6 m/sek. ohne merkbare nachteilige Beeinflussung auf die Zugwirkung.

Es sei ferner:

t_0 die Temperatur der Rauchgase an der Mündung in °C,

$\alpha = \frac{1}{273}$ die Ausdehnungszahl der Gase,

B die Brennstoffmenge für die Stunde in kg,

G_v die auf 1 kg Brennstoff entwickelte Gasmenge bezogen auf 0° C und 760 mm QS in cbm.

Wird bei durchschnittlicher Brennstoffzusammensetzung die theoretische Luftmenge zu rund 8 cbm angenommen und mit einem Luftüberschuß von $n = 1,7$ entsprechend 12,4 v. H. CO₂ gerechnet, so ist $G_v = 13,6$ cbm, da das Gasvolumen annähernd gleich dem Luftvolumen ist.

Dann ist

$$f_0 = \frac{B \cdot G_v (1 + \alpha t_0)}{3600 \cdot v_n} \quad (57)$$

Dabei ist auf Erweiterung der Anlage Rücksicht zu nehmen; sollte man infolgedessen für den Anfang zu geringe Geschwindigkeiten erhalten, wobei die Gefahr besteht, daß bei ungünstigem Wind der Rauch zurückgeschlagen kann, so ist empfehlenswert, einen Deckring auf die Schornsteinmündung zu legen, welcher den Querschnitt verengt und bei Zunahme des Betriebes abgenommen wird.

Nach von Reiche ist unter Berücksichtigung einer zukünftigen Betriebsvergrößerung von 30 v. H. der obere Mündungsdurchmesser

$$d_0 = 0,1 \cdot B^{0,4} \text{ in m.} \quad (58)$$

Beispiel 20. Wie groß ist die lichte Weite d_0 eines Schornsteines für eine Dampferzeugung von 5000 kg Heißdampf pro Stunde von 12 at Überdruck bei Vorwärmung des Speisewassers mittels Rauchgasvorwärmer?

Bei einer Kohle von 7300 WE kann man unter diesen Umständen mit achtfacher Verdampfung rechnen, so daß eine Brennstoffmenge von $\frac{5000}{8} = 625$ kg/Std. verfeuert wird. Die Fuchstemperatur betrage $t_u = 180^\circ \text{C}$, die Temperatur an der Schornsteinmündung wird, bei ~ 10 v. H. Wärmeverlust im Schornstein, zu $t_0 = 162^\circ$ angenommen, so daß $1 + \alpha t^\circ = 1,6$ und

$$f_0 = \frac{625 \cdot 13,6 \cdot 1,6}{3600 \cdot 4} = 0,94 \text{ qm wird, entsprechend } d_0 = 1,09 \text{ m.}$$

Mit 30 v. H., Reserve für ev. spätere Betriebszunahme, erhält man

$$f_0 = 1,3 \cdot 0,94 = 1,22 \text{ qm und } d_0 = 1,26 \text{ m.}$$

Nach Gl. (58) wird

$$d_0 = 0,1 \cdot 625^{0,4} = 1,3 \text{ m,}$$

ebenfalls unter Berücksichtigung einer Reserve von 30 v. H.

3. Die Schornsteinhöhe.

Zur Ermittlung des Unterdruckes am Kesselende ist zunächst der Auftrieb zu berechnen, welchen die Rauchgase im Schornstein gegenüber der Außenluft erleiden.

Es sei:

$t_g^\circ \text{C}$ die mittlere Schornsteintemperatur der Rauchgase,

$$T_g = t_g + 273^\circ,$$

$t_l^\circ \text{C}$ = Temperatur der Außenluft,

$$T_l = t_l + 273^\circ,$$

p_g = der atmosphärische Druck der Schornsteingase,

p_l = der atmosphärische Druck der Außenluft,

$R = 29,3$ Gaskonstante, für Luft und Rauchgase gleich angenommen, Zahlentafel Nr. 2.

H_r = Höhe der Schornsteinmündung über dem Rost in m.

In der Annahme, daß die spez. Gewichte der Luft und der Rauchgase einander gleich seien, ist dann das Gewicht G_g der Gassäule im Schornstein in kg, wenn der Rauminhalt derselben mit $V = f_0 H_r$ angenommen wird,

$$G_g = \frac{V \cdot p_g}{R T_g} \text{ nach Gl. (4)}$$

und das Gewicht einer gleichen Luftsäule außerhalb des Schornsteines

$$G_l = \frac{V \cdot p_l}{R \cdot T_l}.$$

Die Druckhöhe h_r ist nun der Unterschied $G_l - G_g$ bezogen auf 1 qm in mm Wassersäule (WS). 1 mm WS entspricht dem Drucke von 1 kg/qm, also ist

$$h_r = \frac{G_l - G_g}{f_0} = \left(\frac{V \cdot p_l}{R \cdot T_l} - \frac{V \cdot p_g}{R \cdot T_g} \right) \frac{1}{f_0},$$

$$h_r = \left(\frac{f_0 \cdot H_r \cdot p_l}{R \cdot T_l} - \frac{f_0 \cdot H_r \cdot p_g}{R \cdot T_g} \right) \frac{1}{f_0}.$$

Da der Druckunterschied gering ist, setzt man

$$p_l = p_g = p \approx 1 \text{ kg/qcm} = 10\,000 \text{ mm WS},$$

$$h_r = \frac{H_r \cdot p}{R} \left(\frac{1}{T_l} - \frac{1}{T_g} \right) \text{ in kg/qcm},$$

$$h_r = \frac{H_r \cdot 10\,000}{29,3} \left(\frac{1}{T_l} - \frac{1}{T_g} \right) \text{ in mm WS}.$$

Wegen der Reibungsverluste muß mit einem Wirkungsgrade gerechnet werden, so daß nur der Teil $\eta \cdot H_r$ der Schornsteinhöhe für die Druckhöhe in Betracht kommt, während $(1 - \eta) \cdot H_r$ zur Überwindung der Reibungswiderstände dient; man setzt diesen letzteren Betrag mit $6 d_0$ in Rechnung.

Daher

$$\left. \begin{aligned} h_r &= \eta H_r \frac{1000}{2,93} \left(\frac{1}{T_l} - \frac{1}{T_g} \right), \\ h_r &= (H_r - 6 d_0) \frac{1000}{2,93} \left(\frac{1}{T_l} - \frac{1}{T_g} \right). \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

Hieraus findet sich durch einfache Umformung

$$H_r = \frac{2,93 h_r}{1000 \left(\frac{1}{T_l} - \frac{1}{T_g} \right)} + 6 d_0. \quad (60)$$

Nach von Reiche ist

$$H_r = 0,00277 \left(\frac{B}{R} \right)^2 + 6 d_0, \quad (61)$$

worin B die Brennstoffmenge in kg/Std., R die Rostfläche ist.

In der Praxis benutzt man mit Erfolg folgende gegenüber der von G. Lang¹⁾ aufgestellten noch etwas vereinfachte Annäherungsformel

$$H_r = [15 \text{ bis } 20 \times d_0 + 5 + 0,05(l - 20)] \frac{700 - t_g}{200 + t_g}, \quad (62)$$

worin l die Länge des Weges, welchen die Rauchgase zurücklegen müssen, und t_g die mittlere Rauchgastemperatur im Schornstein beträgt.

Die Zahl 15 bis 20 vor d_0 muß nach der Erfahrung eingesetzt werden; man wählt einen höheren Wert bei engen Zügen und dort, wo größere Reibungswiderstände auftreten, z. B. bei kombinierten Kesseln mit Heizröhren.

Wenn Rauchgasvorwärmer in Frage kommen, so macht man zweckmäßig den Schornstein um etwa 5 m höher, um den Zugverlusten Rechnung zu tragen, die man zu 2 bis 3 mm WS annehmen kann.

Den Temperaturabfall vom Fuß des Schornsteines bis zur Mündung nimmt man, wie in Beispiel 20 bereits erwähnt, zu etwa 10 v. H. an.

Beispiel 21. Für die im Beispiel 20 gegebenen Verhältnisse ist die Schornsteinhöhe zu berechnen für $h_r = 13$ mm WS Zugstärke.

Es sei

$$t_l = 17^\circ \text{ C}, \quad T_l = 290^\circ, \quad t_g = \approx 170^\circ \text{ C}, \quad T_g = 443^\circ; \quad d_0 = 1,3 \text{ m},$$

dann ist nach Gl. (60)

$$H_r = \frac{2,93 \cdot 13}{1000 \left(\frac{1}{290} - \frac{1}{443} \right)} + 6 d_0 = 32 + 7,8 = 39,8 \text{ m} \approx 40 \text{ m}.$$

¹⁾ Z. Ver. deutsch. Ing. 1899, S. 896.

Nach Gl. (62) ist mit $l = 50$ m und $18 d_0$

$$H_r = 18 \cdot 1,3 + 5 + 0,05(50 - 30) \frac{700 - 170}{200 + 170} = 41,4 \approx 42 \text{ m}.$$

Zusammenfassend sei wiederholt:

Die Austrittsgeschwindigkeit und die Höhe des Schornsteines richten sich nach den örtlichen Verhältnissen; es muß unter anderem berücksichtigt werden: die Zuglänge, die Fuchsform, die Temperatur der abziehenden Gase, ob ein Vorwärmer oder Überhitzer vorhanden ist und die Schichthöhe des Brennstoffes auf dem Rost. Ferner, ob die Gase Feuchtigkeit enthalten, wie z. B. bei der erdigen Rohbraunkohle, die meist mit 50 bis 60 v. H. Wassergehalt verfeuert wird. Als kleinste Schornsteinhöhe gilt etwa 16 m. Innerhalb der Städte sind jedoch die jeweils geltenden baupolizeilichen Vorschriften maßgebend, welche z. B. für Hannover fordern, daß kein Schornstein unter 35 m Höhe gebaut werden darf. Auch die Nähe von Bergen ist für die Höhenbemessung in Rücksicht zu ziehen.

Folgende Zahlentafel Nr. 56 ist nach den Gleichungen (58) und (61) berechnet, und zwar sind diese Gleichungen deshalb gewählt, weil sie die Abmessungen nur als Funktionen der Brennstoffmengen und Brenngeschwindigkeiten, also in möglichst allgemeinen Werten geben, ohne irgend welche besonderen Verhältnisse zu berücksichtigen; die Tafel ist daher geeignet, bei Überschlagsrechnungen und zum Vergleich zu dienen.

Will man die Schornsteinabmessungen für die Dampfmenge einer Kesselanlage bestimmen, so ist zu berücksichtigen, daß bei einer angenommenen Kohle von 7300 WE Heizwert und bei Erzeugung von Heißdampf von 300° C aus vorgewärmtem Speisewasser sich eine etwa 8fache Verdampfung ergibt, so daß man also nur die Dampfmenge durch 8 zu teilen hat, um die Werte für B zu erhalten.

Werden Sägespäne, Holz u. a., überhaupt trockene minderwertige Brennstoffe verfeuert, so kann der Schornstein wie für Steinkohle berechnet werden, indem man von der Dampfmenge ausgeht. Bei minderwertiger Braunkohle mit 40 bis 50 v. H. Wassergehalt wählt man den Schornstein um 3 v. H., bei 50 bis 60 v. H. Wassergehalt um 5 v. H. im Durchmesser größer.

4. Der gemauerte Schornstein.

A. Berechnung auf Standfestigkeit.¹⁾

Zum Bau eines Schornsteines ist die Genehmigung der zuständigen Behörde erforderlich, welche auf Grund einer Prüfung der Stabilitätsberechnung erteilt wird. Als Grundlage zu dieser Berechnung dient in Preußen der Ministerialerlaß vom 30. April 1902²⁾.

Außerdem seien die Beschlüsse der „Kommission zur Beratung der Grundsätze für die Berechnung der Standfestigkeit von Schornsteinen“³⁾, welche teilweise über die Forderungen des Ministerialerlasses hinausgehen, der Beachtung empfohlen, ebenso die Ausführungen von C. Gaab⁴⁾, welche eine Kritik einzelner Bestimmungen des Ministerialerlasses enthalten.

¹⁾ J. Goebel, Standfestigkeit eines Schornsteines. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1898, S. 180 u. f.; G. Lang, Einheitliche Bestimmungen usw. Z. Ver. deutsch. Ing. 1899, S. 894 u. f.

²⁾ Abgedruckt in Z. Ver. deutsch. Ing. 1902, S. 1171.

³⁾ Abgedruckt in Z. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 842 u. f.

⁴⁾ C. Gaab, Die Berechnung von Fabrikschornsteinen. Z. Ver. deutsch. Ing. 1907, S. 646 u. f.