

Berechnung von Schornsteinabmessungen

Begriffe ausführliches Berechnungsverfahren

DIN
4705
 Teil 1

Calculation of inside dimensions of chimneys; definitions, basic rules

Ersatz für DIN 4705

Inhalt

	Seite		Seite
1 Geltungsbereich und Zweck	2	8.2 Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück	9
2 Begriffe	2	8.2.1 Widerstandsdruck im Verbindungsstück	9
2.1 Nennwärmeleistung	2	8.2.1.1 Mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Verbindungsstück	9
2.2 Feuerungsnennwärmeleistung	2	8.2.1.2 Rohrreibungszahl	9
2.3 Wirkungsgrad bei Nennwärmeleistung	2	8.2.1.3 Einzelwiderstandszahl	10
2.4 Abgas	2	8.2.1.4 Mittlere Dichte des Abgases	10
2.5 Abgasmassenstrom	2	8.2.1.5 Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung	10
2.6 Wirksame Schornsteinhöhe	2	8.2.2 Ruhedruck des Verbindungsstückes	10
2.7 Ruhedruck	2	8.3 Notwendiger Förderdruck für die Zuluft	10
2.8 Widerstandsdruck im Schornstein	2	8.3.1 Rohrreibungszahl für die Verbrennungsluftleitung	10
2.9 Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein	2	8.3.2 Einzelwiderstandszahl für die Verbrennungsluftleitung	10
2.10 Notwendiger Förderdruck für den Wärmeerzeuger	2	8.3.3 Mittlere Verbrennungsluftgeschwindigkeit in der Verbrennungsluftleitung	10
2.11 Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück	2	9 Graphische Darstellung der mit den Gleichungen errechneten Werte	10
2.12 Notwendiger Förderdruck für die Zuluft	2	9.1 Abhängigkeit zwischen Höhe und Querschnitt	10
2.13 Notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein	2	9.2 Abhängigkeit zwischen Abgasmassenstrom und Schornsteinquerschnitt bei einem bestimmten Unterdruck an der Abgaseinführung	11
3 Formelzeichen, Benennungen, Einheiten	3	9.3 Abhängigkeit zwischen Abgasmassenstrom und Schornsteinquerschnitt bei einer bestimmten Schornsteinhöhe	11
4 Grundzüge des Berechnungsverfahrens	5	9.4 Nachweis der funktionsgerechten Querschnittsbemessung	11
5 Ermittlung der Abgasmassenströme	5	10 Wichtige Einzelheiten die die Berechnung beeinflussen	11
5.1 Abgasmassenstrom bei Nennwärmeleistung bzw. bei Feuerungsnennwärmeleistung	5	10.1 Anordnung der Schornsteine	11
5.2 Abgasmassenstrom bei der kleinsten möglichen Wärmeleistung bzw. Feuerungswärmeleistung	5	10.2 Wärmedurchlaßwiderstand und Rauigkeit	11
6 Maßgebende strömungsunabhängige Bauartkennwerte des Verbindungsstückes und des Schornsteins	5	10.3 Fehlende Temperaturbeherrung	11
6.1 Rauigkeit	5	10.4 Anschluß des Verbindungsstückes an den Schornstein	11
6.2 Wärmedurchlaßwiderstand	5	10.5 Ausbildung der Schornsteinmündung	11
7 Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein	6	10.6 Gasfeuerstätten mit Brennern ohne Gebläse und Strömungssicherungen	12
7.1 Ruhedruck des Schornsteins	6	10.7 Dichtheit von Schornsteinen	12
7.1.1 Dichte der Außenluft	6	10.8 Überdruck im Verbindungsstück bzw. im Schornstein	12
7.1.2 Mittlere Dichte des Abgases	6	10.9 Folgen einer Schornsteinbemessung außerhalb der in Abschnitt 9.4 angegebenen Grenzen	12
7.1.2.1 Spezifische Gaskonstante des Abgases	6	10.10 Querschnittsänderungen	12
7.1.2.2 Mittlere Temperatur des Abgases	6	10.11 Explosionsklappen und Zugreglerklappen	12
7.1.2.3 Wärmedurchgangskoeffizient	7	11 Berechnungsbeispiele	12
7.1.3 Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeherrung	8	11.1 Berechnung der Druckgrößen bei gegebenen Schornsteinabmessungen	12
7.2 Widerstandsdruck im Schornstein	8	11.2 Berechnung des Querschnitts	12
7.2.1 Mittlere Abgasgeschwindigkeit	8	Bilder 1 bis 32	14-38
7.2.2 Rohrreibungszahl	8	Tabellen 1 bis 7	39-48
7.2.3 Einzelwiderstandszahl	8		
7.2.4 Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung	8		
7.2.5 Strömungstechnische Sicherheitszahl	8		
7.3 Abgastemperatur und Innenwandtemperatur an der Schornsteinmündung	9		
8 Notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein	9		
8.1 Notwendiger Förderdruck für den Wärmeerzeuger	9		

Fortsetzung Seite 2 bis 48


Documents

Normenausschuß Heiz- und Raumlufttechnik (NHR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Document Sharing Hub

1 Geltungsbereich und Zweck

Diese Norm gilt für die Berechnung von Schornsteinen und Verbindungsstücken aller Art, für Feuerungen mit festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen, für alle Wärmeleistungen. Sie kann sinngemäß auch für Luftleitungen angewendet werden.

Zweck dieser Norm ist es, die Grundlagen für die Berechnung von Schornsteinabmessungen aufzuzeigen. Schornsteine, an die mehrere Feuerstätten angeschlossen sind, werden in diesem Blatt nicht im einzelnen behandelt.

2 Begriffe

2.1 Nennwärmeleistung

Die Nennwärmeleistung N_N ist die vom Hersteller für bestimmte Brennstoffe angegebene höchste Dauerleistung des Wärmeerzeugers (höchste in der Zeiteinheit an den Wärmeträger nutzbar abgegebene Wärmemenge).

2.2 Feuerungsnennwärmeleistung

Die Feuerungsnennwärmeleistung N_F ist die auf die Zeiteinheit bezogene Wärmemenge, die der Feuerung planmäßig zum Erreichen der Nennwärmeleistung mit dem Brennstoff und der Verbrennungsluft zugeführt wird.

2.3 Wirkungsgrad bei Nennwärmeleistung

Der Wirkungsgrad bei Nennwärmeleistung ist das Verhältnis der Nennwärmeleistung zur Feuerungsnennwärmeleistung.

2.4 Abgas

Abgas im Sinne dieser Norm ist, unabhängig von der Brennstoffart, das Gasgemisch, das bei ordnungsgemäßen Betrieb eines Wärmeerzeugers durch seinen Abgasstutzen strömt.

2.5 Abgasmassenstrom

Der Abgasmassenstrom $\dot{m}$ ist die in der Zeiteinheit abzuführende Masse der Abgase.

2.6 Wirksame Schornsteinhöhe

Die wirksame Schornsteinhöhe H ist der Höhenunterschied zwischen der Abgaseinführung in den Schornstein und der Schornsteinmündung.

2.7 Ruhedruck

Der Ruhedruck P_H ist der aus den unterschiedlichen Dichten sich ergebende Druckunterschied zwischen der Luft im Freien und dem Abgas in derselben Höhe bei ruhender Strömung. Der Begriff „Ruhedruck“ entspricht dem bisherigen Begriff „statische Zugstärke bzw. thermischer Auftrieb“.

2.8 Widerstandsdruck im Schornstein

Der Widerstandsdruck im Schornstein P_R ist die zur Deckung der Strömungswiderstände beim Transport des Abgases über eine Strecke erforderliche Druckdifferenz.

Der Begriff „Widerstandsdruck“ entspricht dem bisherigen Begriff „Zugverlust bzw. Eigenverbrauch“.

2.9 Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein

Der Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein P_Z ist der statische Unterdruck im Abgas unmittelbar über der Abgaseinführung in den Schornstein gegenüber dem statischen Druck der Luft im Freien in gleicher Höhe. Er ergibt sich aus dem Ruhedruck an dieser Stelle vermindert um den Widerstandsdruck für den Schornstein. Der Begriff „Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein“ entspricht dem bisherigen Begriff „Zugstärke des Schornsteins“.

2.10 Notwendiger Förderdruck für den Wärmeerzeuger

Der notwendige Förderdruck für den Wärmeerzeuger P_W ist der Druckunterschied zwischen dem statischen Druck der Luft im Aufstellungsraum des Wärmeerzeugers und dem statischen Druck des Abgases im Abgasstutzen, der zum ordnungsgemäßen Betrieb des Wärmeerzeugers erforderlich ist. Der Begriff „notwendiger Förderdruck für den Wärmeerzeuger“ entspricht dem bisherigen Begriff „Zugbedarf des Wärmeerzeugers“.

2.11 Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück

Der notwendige Förderdruck für das Verbindungsstück P_{FV} ist der durch das Abführen des Abgases infolge Ruhe- und Widerstandsdruck verursachte Druckunterschied zwischen dessen Anfang und Ende. Der Begriff „notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück“ entspricht dem bisherigen Begriff „Zugbedarf des Abgaskanals“.

2.12 Notwendiger Förderdruck für die Zuluft

Der notwendige Förderdruck für die Zuluft P_L ist die Differenz zwischen dem statischen Druck der Luft im Freien und dem statischen Druck der Luft im Aufstellungsraum in gleicher Höhe.

Er ist notwendig, damit soviel Außenluft in den Aufstellungsraum des Wärmeerzeugers einströmt, wie diesem Verbrennungs- und Abluft entnommen wird. Der Begriff „notwendiger Förderdruck für die Zuluft“ entspricht dem bisherigen Begriff „Zugbedarf für Zuluft“.

2.13 Notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein

Der notwendige Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein P_{Zc} ergibt sich aus der Summe des notwendigen Förderdruckes für den Wärmeerzeuger, dem notwendigen Förderdruck für das Verbindungsstück und dem notwendigen Förderdruck für die Zuluft.

3 Formelzeichen, Benennungen, Einheiten

Die angegebenen Formelzeichen werden, soweit erforderlich, durch ein oder mehrere Indizes als Hinweis für Orte und Stoffe ergänzt.

Formelzeichen	Benennung	Einheiten		Umrechnung
		SI	bisher übliche nicht mehr gesetzliche Einheit	
A	Fläche	m^2	m^2	
c_p	Spezifische isobare Wärmekapazität des Abgases	$\frac{\text{J}}{\text{kg K}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$	$1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \approx 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
D	Durchmesser	m	m	
D_h	Hydraulischer Durchmesser	m	m	
H	Wirksame Schornsteinhöhe	m	m	
k	Wärmedurchgangskoeffizient	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h } ^\circ\text{C}}$	$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h } ^\circ\text{C}} \approx 1,16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$
K	Abkühlzahl	–	–	
L	Gestreckte Länge	m	m	
$\dot{m}$	Abgasmassenstrom	kg/s	kg/s	
N_N	Nennwärmeleistung	W	kcal/h	$1 \text{ kcal/h} \approx 1,16 \text{ W}$
N_F	Feuerungsnennwärmeleistung	W	kcal/h	$1 \text{ kcal/h} \approx 1,16 \text{ W}$
Nu	Nußelt-Zahl	–	–	
p	statischer Druck	N/m^2	kp/cm^2	$1 \text{ kp/cm}^2 \approx 9,81 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
P_E	Widerstandsdruck aus Reibung und Formwiderstand im Schornstein	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_{EV}	Widerstandsdruck aus Reibung und Formwiderstand im Verbindungsstück	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_{FV}	Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_G	Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung im Schornstein	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_{GV}	Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung im Verbindungsstück	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_H	Ruhedruck des Schornsteins	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_{HV}	Ruhedruck des Verbindungsstückes	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_L	Notwendiger Förderdruck für die Zuluft	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
Pr	Prandtl-Zahl	–	–	
P_R	Widerstandsdruck im Schornstein	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_{RV}	Widerstandsdruck im Verbindungsstück	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_W	Notwendiger Förderdruck für den Wärmeerzeuger	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_Z	Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
P_{Ze}	Notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein	N/m^2	mmWS	$1 \text{ mmWS} \approx 9,81 \text{ N/m}^2$
r	mittlere Rauigkeit der Innenwand	m	m	
R	Spezifische Gaskonstante	$\frac{\text{J}}{\text{kg K}}$	$\frac{\text{kg m}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$	$1 \frac{\text{kg m}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \approx 9,81 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
Re	Reynolds-Zahl	–	–	
S_E	Strömungstechnische Sicherheitszahl	–	–	
S_H	Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung	–	–	
t	Temperatur	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	
T	Temperatur absolut	K	K	



Formel- zeichen	Benennung	Einheiten		Umrechnung
		SI	bisher übliche nicht mehr gesetzliche Einheit	
T_m	Mittlere Temperatur der Abgassäule	K	K	
T_p	Taupunkttemperatur	K	K	
U	Umfang	m	m	
w	über einen Querschnitt gemittelte Geschwindigkeit	m/s	m/s	
w_m	über eine Strecke gemittelte Geschwindigkeit	m/s	m/s	
y	Formbeiwert	–	–	
α	Wärmeübergangskoeffizient	$\frac{W}{m^2 K}$	$\frac{kcal}{m^2 h ^\circ C}$	$1 \frac{kcal}{m^2 h ^\circ C} \approx 1,16 \frac{W}{m^2 K}$
β	Verhältnis der Massenströme Verbrennungsluft zu Abgas	–	–	
γ	Winkel bei Richtungsänderungen	Grad	Grad	
δ	Wangendicke	m	m	
η	dynamische Viskosität	$\frac{Ns}{m^2}$	$\frac{kps}{m^2}$	$1 \frac{kps}{m^2} \approx 9,81 \frac{Ns}{m^2}$
λ	Wärmeleitzahl	$\frac{W}{m K}$	$\frac{kcal}{mh ^\circ C}$	$1 \frac{kcal}{mh ^\circ C} \approx 1,16 \frac{W}{m K}$
$\left(\frac{1}{\lambda}\right)$	Wärmedurchlaßwiderstand	$\frac{m^2 K}{W}$	$\frac{m^2 h ^\circ C}{kcal}$	$1 \frac{m^2 h ^\circ C}{kcal} \approx 0,86 \frac{m^2 K}{W}$
ψ	Rohrreibungszahl	–	–	
ν	kinematische Viskosität	$\frac{m^2}{s}$	$\frac{m^2}{s}$	
ϱ	über einen Querschnitt gemittelte Dichte der Abgase	kg/m ³	$\frac{kps^2}{m^4}$	$1 \frac{kps^2}{m^4} \approx 9,81 \frac{kg}{m^3}$
ϱ_m	über eine Strecke gemittelte Dichte der Abgase	kg/m ³	$\frac{kps^2}{m^4}$	$1 \frac{kps^2}{m^4} \approx 9,81 \frac{kg}{m^3}$
ζ	Widerstandszahl	–	–	
Als Hinweis für Orte und Stoffe werden folgende Indizes verwendet:				
a	Außenseite			
A	Abgas			
b	Temperaturbeharrung			
B	Verbrennungsluft			
e	Eintritt			
i	Innenseite			
l	umgebende Luft			
L	Außenluft			
m	Mittelwert			
n	laufender Index			
o	Austritt			
S	Schornstein			
V	Verbindungsstück			
W	Wärmeerzeuger			

4 Grundzüge des Berechnungsverfahrens

Die Berechnung der Schornsteinabmessungen (Querschnitte bzw. Höhen) beruht auf dem Vergleich des Unterdruckes an der Abgaseinführung in den Schornstein, mit dem notwendigen Unterdruck an dieser Stelle, der sich aus der Summe des notwendigen Förderdruckes für den Wärmeerzeuger P_W , dem notwendigen Förderdruck für das Verbindungsstück P_{FV} und dem notwendigen Förderdruck für die Zuluft P_L zusammensetzt. Die nachstehende Bedingung muß erfüllt sein:

$$P_Z \geq P_W + P_{FV} + P_L \quad \text{in} \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (1)$$

Vor der Berechnung der Druckgrößen der Gleichung (1) müssen zunächst für die Nennwärmeleistung bzw. die Feuerungsnennwärmeleistung und die vorgesehenen Brennstoffe die Abgasmassenströme $\dot{m}$ nach Abschnitt 5 ermittelt werden. Der Abschnitt 6 enthält die Ermittlung der maßgebenden strömungsunabhängigen Bauartkennwerte des Verbindungsstückes und des Schornsteins. In den Abschnitten 7 und 8 sind die für die Berechnung der Druckgrößen nach Gleichung (1) erforderlichen Gleichungen angegeben.

Zusätzlich ist der Vergleich der Innenwandtemperatur an der Schornsteinmündung mit der Taupunkttemperatur des Abgases nach folgender Bedingung zu führen:

$$T_{\text{io}} \geq T_p \quad \text{in K} \quad (2)$$

Bei nicht feuchtigkeitsempfindlichen Schornsteinen kann auf diesen Vergleich verzichtet werden. Bei feuchtigkeitsempfindlichen Schornsteinen muß die Innenwandtemperatur an der Schornsteinmündung über der Wassertaupunkttemperatur des Abgases liegen und soll die Säuretaupunkttemperatur des Abgases möglichst nicht unterschreiten. Bei Feuerstätten mit Ein/Aus-Regelung wird der Temperaturvergleich bei Nennwärmeleistung bzw. der Feuerungsnennwärmeleistung des Wärmeerzeugers durchgeführt.

Sofern der Wärmeerzeuger mit Teillast betrieben werden kann, ist dieser Vergleich auch mit der kleinstmöglichen Teillast durchzuführen.

Die Berechnungsgrundlagen für den Temperaturvergleich nach der Gleichung (2) sind in Abschnitt 7.3 enthalten. Abschnitt 9.4 behandelt den Nachweis der funktionsgerechten Querschnittsbemessung.

5 Ermittlung der Abgasmassenströme

5.1 Abgasmassenstrom bei Nennwärmeleistung bzw. bei Feuerungsnennwärmeleistung

Für die Berechnung der Druckgrößen und der Temperaturen für die Gleichungen (1) und (2) ist der Abgasmassenstrom bei Nennwärmeleistung bzw. der Feuerungsnennwärmeleistung des Wärmeerzeugers zu ermitteln.

Die Abgasmassenströme und die zugehörigen Förderdrücke und Abgastemperaturen sind für die vorgesehenen Brennstoffe für die Nennwärmeleistung bzw. die Feuerungsnennwärmeleistung des Wärmeerzeugers vom Hersteller anzugeben.

Liegen diese Angaben nicht vor, so kann der Abgasmassenstrom in Abhängigkeit vom Luftüberschuß aus den Bildern 1 bis 6 entnommen werden. Die in diesen Bildern gezeichneten breiten Linien stellen die Abgasmassenströme für Wärmeerzeuger dar, die die heiztechnischen Anforderungen der DIN 4702 Teil 1, Ausgabe Januar 1967, erfüllen. Die Kurven in den Bildern 1 bis 6 sind mit den in der Tabelle 1 genannten Werten aufgestellt. Siehe auch DIN 4702 Teil 2, Abschnitte 5.6.1.2 und 5.6.1.3 der Ausgabe Dezember 1967.

Bei Wärmeerzeugern für die Verfeuerung verschiedener Brennstoffe soll der Schornstein für den voraussichtlich überwiegend verwendeten Brennstoff berechnet und ausgelegt werden.

Sollen andere Brennstoffe verfeuert werden, so ist zu prüfen, ob der Schornstein für die dann gegebenen Betriebsbedingungen geeignet ist. Erforderlichenfalls ist die Nennwärmeleistung für den zweiten Brennstoff auf den größten mit dem Schornstein abzuführenden Abgasmassenstrom zu begrenzen.

Bei Gasfeuerstätten mit Brennern ohne Gebläse ist der Abgasmassenstrom hinter der Strömungssicherung maßgebend. Ist nur der Abgasmassenstrom vor der Strömungssicherung bekannt, so ist dieser zugrunde zu legen und um einen Falschlufanteil von mindestens 25 % zu vergrößern. Die Abgastemperatur hinter der Strömungssicherung kann aus der Abgastemperatur vor der Strömungssicherung nach der Mischungsregel berechnet werden.

Der Abgasmassenstrom bei offenen Kaminen kann nicht allein auf Grund der vorliegenden Wärmeleistung bestimmt werden. Er hängt wesentlich von der Konstruktion des offenen Kamins und der Größe der freien Öffnung zum Aufstellungsraum ab.

5.2 Abgasmassenstrom bei der kleinsten möglichen Wärmeleistung bzw. Feuerungswärmeleistung

Kann die Feuerung betriebsüblich mit veränderbarer Wärmeleistung betrieben werden, ist beim Vergleich der Innenwandtemperatur an der Schornsteinmündung mit der Taupunkttemperatur des Abgases nach der Gleichung (2) vom Abgasmassenstrom bei der kleinsten möglichen Wärmeleistung auszugehen. Sofern der Hersteller der Feuerung nichts anderes angibt, ist als kleinster Abgasmassenstrom ein Drittel des Abgasmassenstromes bei Nennwärmeleistung bzw. bei Feuerungsnennwärmeleistung anzunehmen. Die zugehörige Abgastemperatur am Abgasstutzen des Wärmeerzeugers ist vom Hersteller anzugeben.

Liegen diese Angaben nicht vor, so kann die Abgastemperatur zu $\frac{2}{3}$ des Wertes bei der Nennwärmeleistung bzw. der Feuerungsnennwärmeleistung angenommen werden.

6 Maßgebende strömungsunabhängige Bauartkennwerte des Verbindungsstückes und des Schornsteins

Für die Berechnung der Druckgrößen ist die Rauigkeit der Innenwand und der Wärmedurchlaßwiderstand für das Verbindungsstück und den Schornstein zu ermitteln.

6.1 Rauigkeit

Die mittlere Rauigkeit der Innenwand r ist vom Hersteller anzugeben. Sofern keine Angaben vorliegen, kann die mittlere Rauigkeit der Innenwand von Rohren oder Rohrteilen aus üblichen Baustoffen aus der Tabelle 2 entnommen werden.

6.2 Wärmedurchlaßwiderstand

Der Wärmedurchlaßwiderstand $\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_b$ hängt in der Hauptsache von der Schornsteinkonstruktion ab. Eine genaue Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes ist für Konstruktionen mit geometrisch komplizierten Formen nur mit großem rechnerischem Aufwand möglich. Der Wert ist bei Temperaturbeharrung für eine über den inneren Umfang und über die Höhe gemittelte Temperatur an der Innenwand zu bestimmen. Die Arbeitsweise der

Anlage hat nur einen geringen Einfluß auf den Wärmedurchlaßwiderstand. Sofern keine gesicherten Angaben vom Hersteller vorliegen, kann der Wärmedurchlaßwiderstand für ein- und für mehrschalige Schornsteine näherungsweise nach den folgenden Gleichungen errechnet werden:

- a) bei Kenntnis der Wärmedurchlaßwiderstände der einzelnen Rohrschalen

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_b = D_{hi} \sum_n \left[\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_{b,n} \frac{1}{D_{h,n}} \right] \text{ in } \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \quad (3)$$

- b) bei Kenntnis der Wärmeleitfähigkeit λ_n der Schichten

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_b = y \sum_n \frac{D_{hi}}{2 \lambda_n} \ln \left(\frac{D_{h,n+1}}{D_{h,n}} \right) \text{ in } \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \quad (4)$$

Hierin bedeuten:

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)$ Wärmedurchlaßwiderstand einer Rohrschale, bezogen auf deren innere Mantelfläche in $\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$

y Formbeiwert

$\approx 1,0$ für runden Querschnitt

$\approx 1,27$ für quadratischen Querschnitt

$\approx 1,30$ für rechteckigen Querschnitt bis zu einem Seitenverhältnis von 1 : 1,5

D_{hi} innerer hydraulischer Durchmesser in m

$D_{h,n}$ hydraulischer Durchmesser der Innenseite jeder Schicht in m

λ_n Wärmeleitfähigkeit des Baustoffes der Schicht bei Betriebstemperatur (siehe Tabelle 3) in W/mK

Der Wärmedurchlaßwiderstand ist für einige ausgewählte Schornsteinkonstruktionen in den Bildern 7 bis 10 dargestellt.

7 Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein

Der Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein P_Z ist in erster Linie abhängig vom Abgasmassenstrom, von der wirksamen Schornsteinhöhe, vom Querschnitt und von den maßgebenden Bauartkennwerten (Rauigkeit und Wärmedurchlaßwiderstand) des Schornsteins.

Der Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein P_Z ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Ruhedruck P_H und dem Widerstandsdruck im Schornstein P_R

$$P_Z = P_H - P_R \text{ in N/m}^2 \quad (5)$$

7.1 Ruhedruck des Schornsteins

Der Ruhedruck P_H ist aus der wirksamen Schornsteinhöhe H , der Erdbeschleunigung g und der Differenz zwischen der Dichte der Außenluft ρ_L und der mittleren Dichte der Abgassäule ρ_m zu ermitteln.

$$P_H = H g (\rho_L - \rho_m) \text{ in N/m}^2 \quad (6)$$

7.1.1 Dichte der Außenluft

$$\rho_L = \frac{p_L}{R_L T_L} \text{ in kg/m}^3 \quad (7)$$

Hierin bedeuten:

p_L Außenluftdruck in N/m²

T_L Außenlufttemperatur in K

R_L spezifische Gaskonstante der Außenluft in J/kg K

Der Außenluftdruck ist in der Tabelle 4 in Abhängigkeit von der Höhenlage angegeben.

Die Außenlufttemperatur ist, sofern die Anlage während des ganzen Jahres betrieben wird, mit 15 °C (≈ 288 K) einzusetzen. Besondere Betriebsverhältnisse, z. B. ausschließlicher Winter- bzw. Sommerbetrieb, sind zu berücksichtigen.

Die spezifische Gaskonstante der Außenluft beträgt bezogen auf Normalzustand 287 J/kg K.

7.1.2 Mittlere Dichte des Abgases

Die mittlere Dichte des Abgases ρ_m kann ausreichend genau mit der folgenden Gleichung bestimmt werden.

$$\rho_m = \frac{p_L}{R T_m} \text{ in kg/m}^3 \quad (8)$$

Die maximale Abweichung von der mathematisch exakten Lösung beträgt bei den üblichen Bedingungen etwa 1,5 %.

Hierin bedeuten:

p_L Außenluftdruck (siehe Abschnitt 7.1.1) in N/m²

R spezifische Gaskonstante in J/kg K

T_m mittlere Temperatur des Abgases in K

7.1.2.1 Spezifische Gaskonstante des Abgases

Die spezifische Gaskonstante für Abgase kann für Koks,

Steinkohle zu $280 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$, für Heizöl EL, Heizöl S zu $290 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$ und für Erdgas, Stadtgas zu $300 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$ angesetzt werden.

In besonderen Fällen ist die spezifische Gaskonstante nach der Mischungsregel zu bestimmen. Die Werte für die einzelnen Gase sind in der Tabelle 5 enthalten.

7.1.2.2 Mittlere Temperatur des Abgases

Die mittlere Temperatur des Abgases T_m kann aus der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$T_m = T_L + \frac{T_e - T_L}{K} (1 - e^{-K}) \text{ in K} \quad (9)$$

Hierin bedeuten:

T_L Außenlufttemperatur (siehe Abschnitt 7.1.1) in K

T_e Abgastemperatur am Schornsteineintritt in K

K Abkühlzahl siehe Gleichung (11).

Die Abgastemperatur am Schornsteineintritt T_e errechnet sich aus der folgenden Gleichung:

$$T_e = T_L + (T_W - T_L) e^{-K_V} \text{ in K} \quad (10)$$

Hierin bedeuten:

T_L Außenlufttemperatur (siehe Abschnitt 7.1.1) in K

T_W Abgastemperatur am Austritt aus dem Wärmeerzeuger in K

K_V Abkühlzahl des Verbindungsstücks (siehe auch Abschnitt 8.2.1.4)

Der Exponentialausdruck in Gleichung (9) und (10) kann aus Bild 11 entnommen werden.

Die Abkühlzahl errechnet sich aus der folgenden Gleichung:

$$K = \frac{U k H}{\dot{m} c_p} \quad (11)$$

Hierin bedeuten:

U Innerer Schornsteinumfang in m

k Wärmedurchgangskoeffizient bei den tatsächlichen Materialtemperaturen in W/m² K

H wirksame Schornsteinhöhe in m

$\dot{m}$ Abgasmassenstrom in kg/s

c_p spezifische Wärmekapazität des Abgases in J/kg K (siehe Bild 12)

Bei einer Abkühlzahl $K \leq 0,1$ kann mit ausreichender Genauigkeit die mittlere Temperatur der Abgassäule gleich der Abgastemperatur beim Eintritt in den Schornstein gesetzt werden. In diesem Fall erübrigt sich eine Berechnung der mittleren Temperatur der Abgassäule nach der Gleichung (9).

Für die Abkühlzahl des Verbindungsstücks sind die entsprechenden Werte des Verbindungsstückes einzusetzen.

7.1.2.3 Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient des Schornsteins kann nach der folgenden Gleichung errechnet werden:

Bei Temperaturbeharrung

$$k_b = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_b + \left(\frac{D_{hi}}{D_{ha} \alpha_a}\right)_b} \quad (12)$$

Bei fehlender Temperaturbeharrung

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H \left[\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_b + \left(\frac{D_{hi}}{D_{ha} \alpha_a}\right)_b \right]} \quad (13)$$

Hierin bedeuten

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_b$ Wärmedurchlaßwiderstand bei Temperaturbeharrung (siehe Abschnitt 6.2) in $\text{m}^2 \text{K/W}$

$\left(\frac{D_{hi}}{D_{ha} \alpha_a}\right)_b$ äußerer Wärmeübergangswiderstand bei Temperaturbeharrung in $\text{m}^2 \text{K/W}$

D_{hi} innerer hydraulischer Durchmesser in m

D_{ha} äußerer hydraulischer Durchmesser in m

S_H Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung (siehe Abschnitt 7.1.3)

α_i innerer Wärmeübergangskoeffizient in $\text{W/m}^2 \text{K}$

α_a äußerer Wärmeübergangskoeffizient in $\text{W/m}^2 \text{K}$

Bei Beharrung gilt für innen liegende Verbindungsstücke und Schornsteine $\alpha_{ab} = 8 \text{ W/m}^2 \text{K}$; für frei liegende Verbindungsstücke und frei stehende Schornsteine gilt $\alpha_{ab} = 23 \text{ W/m}^2 \text{K}$.

Für teilweise im Freien liegende Verbindungsstücke oder teilweise frei stehende Schornsteine ist der Wärmeübergangskoeffizient α_a entsprechend den Anteilen der Mantelflächen zwischen den beiden Werten zu interpolieren.

Der Wärmeübergangskoeffizient im Schornstein α_i errechnet sich aus der folgenden Gleichung:

$$\alpha_i = \frac{\lambda_A Nu}{D_h} \text{ in } \text{W/m}^2 \text{K} \quad (14)$$

Hierin bedeuten:

λ_A Wärmeleitzahl des Abgases in W/m K

Nu Nußelt-Zahl

D_h hydraulischer Durchmesser in m

Die Wärmeleitzahl des Abgases ist von der Abgaszusammensetzung und der mittleren Abgastemperatur abhängig (siehe Bild 14).

Die mittlere Nußelt-Zahl über der Schornsteinhöhe ergibt sich für turbulente Rohrströmung aus

$$Nu = \left(\frac{\psi_{\text{rauh}}}{\psi_{\text{glatt}}} \right)^{0,67} 0,037 (Re^{0,75} - 180) Pr^{0,42} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_h}{H} \right)^{0,67} \right] \left(\frac{\eta_m}{\eta_i} \right)^{0,14} \quad (15)$$

Hierin bedeuten:

ψ_{rauh} Reibungszahl für hydraulisch raue Strömung

ψ_{glatt} Reibungszahl für hydraulisch glatte Strömung

Re Reynolds-Zahl

Pr Prandtl-Zahl

D_h hydraulischer Durchmesser in m

H wirksame Schornsteinhöhe

η dynamische Viskosität des Abgases in $\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$

Die Gleichung gilt für

$$3000 < Re < 10\,000\,000 \text{ und } \left(\frac{\psi_{\text{rauh}}}{\psi_{\text{glatt}}} \right) < 3$$

Die Ergebnisse sind für Werte von $\alpha_i \geq 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ durch Versuche ausreichend belegt. Ergibt sich aus der Rechnung ein kleinerer Wert, so ist mit $\alpha_i = 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ zu rechnen.

Anmerkung: Erfahrungsgemäß bestehen bei Abgasgeschwindigkeiten unter 1 m/s ungleichmäßige Geschwindigkeitsverteilungen über dem Querschnitt. Die Voraussetzungen für Gleichung (15) sind bei diesen Bedingungen nicht mehr erfüllt. Für diesen Fall wurde der Wärmeübergangskoeffizient auf $5 \text{ W/m}^2 \text{K}$ nach unten begrenzt.

Für Schornsteine, in denen die Abgasgeschwindigkeit zwischen 1 und 20 m/s und die Abgastemperatur zwischen 20 und 300 °C beträgt, können für Größen in der Gleichung (15) die nachstehenden Vereinfachungen getroffen werden, ohne daß der Fehler etwa 10 % übersteigt.

$$Pr^{0,42} \approx 0,871$$

$$1 + \left(\frac{D_h}{H} \right)^{0,67} \approx 1,1$$

$$\left(\frac{\eta_m}{\eta_i} \right)^{0,14} \approx 1,0$$

Damit vereinfacht sich die Gleichung (15) zu:

$$Nu = \left(\frac{\psi_{\text{rauh}}}{\psi_{\text{glatt}}} \right)^{0,67} 0,0354 (Re^{0,75} - 180) \quad (16)$$

r in m	0,001	0,002	0,005
$\left(\frac{\psi_{\text{rauh}}}{\psi_{\text{glatt}}} \right)^{0,67}$	1,15	1,26	1,42

Die Reynolds-Zahl ergibt sich aus der Gleichung

$$Re = \frac{w_m D_h}{\nu} \quad (17)$$

Hierin bedeuten:

w_m mittlere Abgasgeschwindigkeit (siehe Abschnitt 7.2.1) in m/s

D_h hydraulischer Durchmesser in m

ν kinematische Viskosität in m^2/s

Die kinematische Viskosität ist von der Abgaszusammensetzung und der Abgastemperatur abhängig (siehe Bild 15).

Der Wärmedurchgangskoeffizient k_b ist für einige ausgewählte Schornsteinkonstruktionen in den Bildern 7 bis 10 dargestellt.

Der äußere Wärmeübergangswiderstand $\left(\frac{D_{hi}}{D_{ha} \alpha_a} \right)_b$ ist bezogen auf den inneren hydraulischen Durchmesser D_{hi} in Bild 13 aufgetragen. Der innere Wärmeübergangskoeffizient

zient α_i ist in Abhängigkeit von der Abgasgeschwindigkeit, der Rauigkeit und dem hydraulischen Durchmesser in Bild 16 angegeben.

7.1.3 Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung

Der Korrekturfaktor S_H dient zur Berücksichtigung des Einflusses der fehlenden Temperaturbeharrung im Verbindungsstück und im Schornstein auf die Abkühlung der Abgase und damit auf den Ruhedruck des Schornsteins. Damit auch bei einer instationären Betriebsweise, die z. B. bei jeder Feuerung mit Ein/Aus-Regelung vorliegt, eine Berechnung des Schornsteinquerschnittes mit den für stationäre Betriebsverhältnisse abgeleiteten Formeln möglich ist, muß der für stationäre Betriebsverhältnisse ermittelte Wärmedurchlaßwiderstand des Verbindungsstücks und des Schornsteins sowie der Wärmeübergangskoeffizient an der Außenfläche des Verbindungsstücks und des Schornsteins korrigiert werden.

Der Korrekturfaktor hängt im wesentlichen von der Wärmekapazität des Schornsteins ab und ist vom Hersteller anzugeben. Wenn keine Werte vorliegen, kann bei den üblichen Feuerungen mit Ein/Aus-Regelung und den derzeit gebräuchlichen Schornsteinkonstruktionen für S_H ein Wert von 0,5 eingesetzt werden.

7.2 Widerstandsdruck im Schornstein

Der Widerstandsdruck im Schornstein P_R ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$P_R = S_E (P_E + P_G) \quad \text{in } \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (18a)$$

$$P_R = S_E \left[\left(\psi \frac{H}{D_h} + \sum_n \zeta_n \right) \frac{\varrho_m}{2} w_m^2 + P_G \right] \quad \text{in } \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (18b)$$

Hierin bedeuten:

- P_E : Widerstandsdruck aus Reibung und Formwiderstand im Schornstein in N/m^2
- P_G : Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung im Schornstein in N/m^2
- S_E : Strömungstechnische Sicherheitszahl
- ψ : Rohrreibungszahl
- H : wirksame Schornsteinhöhe in m
- D_h : hydraulischer Durchmesser in m
- $\sum_n \zeta_n$: Summe der Einzelwiderstandszahlen
- ϱ_m : mittlere Dichte der Abgassäule in kg/m^3
- w_m : mittlere Abgasgeschwindigkeit in m/s

7.2.1 Mittlere Abgasgeschwindigkeit

Die mittlere Abgasgeschwindigkeit läßt sich aus der folgenden Gleichung errechnen:

$$w_m = \frac{\dot{m}}{A \varrho_m} \quad \text{in m/s} \quad (19a)$$

Hierin bedeuten:

- $\dot{m}$: Abgasmassenstrom (siehe Abschnitt 5) in kg/s
- A : Schornsteinquerschnitt in m^2
- ϱ_m : mittlere Dichte des Abgases (siehe Abschnitt 7.1.2) in kg/m^3

Für die Bestimmung des Schornsteinquerschnittes gilt umgeformt

$$A = \frac{\dot{m}}{w_m \varrho_m} \quad \text{in } \text{m}^2 \quad (19b)$$

für eine überschlägige Bestimmung kann $\varrho_m = 0,7 \text{ kg/m}^3$ gesetzt werden.

7.2.2 Rohrreibungszahl

Die Rohrreibungszahl ergibt sich aus der folgenden Näherungsgleichung:

$$\psi = 0,118 \frac{r^{0,25}}{D_h^{0,40}} \quad (20)$$

Hierin bedeuten:

r : mittlere Rauigkeit der Innenwand des Schornsteins (siehe Abschnitt 6.1) in m

D_h : hydraulischer Durchmesser des Schornsteins in m

Die Rohrreibungszahl kann für verschiedene Rauigkeiten aus Bild 17 entnommen werden.

Die Gleichung gilt für die mittlere Rauigkeit der Innenwand von $0,0005 \text{ m} \leq r \leq 0,005 \text{ m}$, übliche Geschwindigkeiten und Abmessungen und damit Reynoldszahlen von $3000 \leq Re \leq 1\,000\,000$. Sofern die Grenzen nicht eingehalten werden, ist die Rohrreibungszahl mit den in Bild 18 angegebenen Gleichungen zu bestimmen.

Bei konischen Schornsteinen kann der rechnerische Durchmesser nach folgender Näherungsgleichung bestimmt werden:

$$D_h = \sqrt[4]{2 \left(\frac{D_{ho}^4 D_{he}^4}{D_{ho}^4 + D_{he}^4} \right)} \quad (21)$$

7.2.3 Einzelwiderstandszahl

Die Summe der Einzelwiderstandszahlen des Schornsteins ist abhängig von den Querschnitts- und Richtungsänderungen im Schornstein.

Sie kann gleich 0 gesetzt werden, sofern die Ein- und die Austrittsgeschwindigkeit ungefähr gleich ist und keine Querschnitts- und Richtungsänderungen vorhanden sind. ζ -Werte sind für die üblichen Querschnitts- und Richtungsänderungen in Tabelle 6 angegeben.

7.2.4 Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung

Die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung läßt sich aus der nachfolgend genannten Gleichung errechnen:

$$P_G = \frac{\varrho_m}{2} w_2^2 \left[1 - \left(\frac{w_1}{w_2} \right)^2 \right] \quad \text{in } \text{N/m}^2 \quad (22)$$

Hierin bedeuten:

- ϱ_m : mittlere Dichte der Abgassäule (siehe Abschnitt 7.1.2) in kg/m^3
- w_1 : Abgasgeschwindigkeit vor der Geschwindigkeitsänderung in m/s
- w_2 : Abgasgeschwindigkeit nach der Geschwindigkeitsänderung in m/s

7.2.5 Strömungstechnische Sicherheitszahl

Die strömungstechnische Sicherheitszahl S_E hat die Aufgabe folgende ungewollte Unregelmäßigkeiten bei Betrieb und Ausführung des Schornsteins abzudecken:

- a) Unplanmäßige Überbelastung des Wärmeerzeugers
- b) Größerer Luftüberschuß in den Abgasen als üblich
- c) Falschlufztutritt zum Abgas im Verbindungsstück oder Schornstein
- d) Abweichung von der zugrunde gelegten mittleren Rauigkeit der Innenwand des Schornsteins
- e) Abweichung vom zugrunde gelegten Wärmedurchlaßwiderstand der Schornsteinwandung
- f) Maßabweichungen des Schornsteininnenquerschnittes
- g) Ungünstige atmosphärische Einflüsse



Eine strömungstechnische Sicherheitszahl von $S_E = 1,5$ deckt der Erfahrung nach geringe, ungewollte Unregelmäßigkeiten, wie oben genannt dann ab, wenn die Feuerungsanlage nach dem Stand der Technik ordnungsgemäß erstellt und betrieben wird.

Eine Vergrößerung des Abgasmassenstromes infolge planmäßigem Falschlufztutritt ist durch den Sicherheitsfaktor nicht abgedeckt und muß besonders berücksichtigt werden, indem der Abgasmassenstrom dementsprechend erhöht und die Eintrittstemperatur gesenkt wird.

7.3 Abgastemperatur und Innenwandtemperatur an der Schornsteinmündung

Bei feuchtigkeitsempfindlichen Schornsteinen muß die Innenwandtemperatur an der Schornsteinmündung über der Wassertaupunkttemperatur des Abgases liegen und soll die Säuretaupunkttemperatur des Abgases möglichst nicht unterschreiten.

Hierzu sind die Abgastemperatur an der Schornsteinmündung T_o und die Innenwandtemperatur T_{i0} mit den nachstehenden Gleichungen zu ermitteln:

$$T_o = T_L + (T_e - T_L) e^{-K} \quad \text{in K} \quad (21a)$$

$$T_{i0} = T_o - \frac{k_b}{\alpha_i} (T_o - T_L) \quad \text{in K} \quad (21b)$$

Hierin bedeuten:

T_L Temperatur der Außenluft in K

T_e Temperatur der Abgase am Eintritt in den Schornstein in K

α_i Wärmeübergangskoeffizient im Schornstein (siehe Abschnitt 7.1.2.3, Bild 16) in $\text{W/m}^2 \text{K}$

K Abkühlzahl (siehe Abschnitt 7.1.2.2)

k Wärmedurchgangskoeffizient (siehe Abschnitt 7.1.2.3) in $\text{W/m}^2 \text{K}$

Die Wassertaupunkttemperatur des Abgases ist für verschiedene Brennstoffe und Luftüberschußzahlen aus Bild 19 zu entnehmen.

Die Säuretaupunkttemperatur des Abgases kann aus Bild 20 entnommen werden. Für die genaue Bestimmung des Säuretaupunkts ist die Kenntnis der Konvertierung von Schwefeldioxid in Schwefeltrioxid notwendig (als Anhaltswert kann davon ausgegangen werden, daß der Schwefeltrioxidanteil etwa 1 % des Schwefeldioxidanteils beträgt).

Der Vergleich der Innenwandtemperatur an der Schornsteinmündung T_{i0} mit der Taupunkttemperatur T_p des des Abgases nach Gleichung (2) kann für übliche Schornsteinkonstruktionen und auch für Feuerstätten mit Ein/Aus-Regelung bei Temperaturbeherrschung ($S_H = 1$) geführt werden.

8 Notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein

Der notwendige Unterdruck P_{Ze} an der Abgaseinführung in den Schornstein setzt sich aus dem notwendigen Förderdruck für den Wärmeerzeuger P_W , dem notwendigen Förderdruck für das Verbindungsstück P_{FV} und dem notwendigen Förderdruck für die Zuluft P_L zusammen.

$$P_{Ze} = P_W + P_{FV} + P_L \quad \text{in N/m}^2 \quad (22)$$

8.1 Notwendiger Förderdruck für den Wärmeerzeuger

Der notwendige Förderdruck für den Wärmeerzeuger P_W ist bezogen auf den lichten Querschnitt des Abgasstutzens nach Angabe des Herstellers einzusetzen. Liegen keine Angaben vor, so ist für Wärmeerzeuger, die den Anforder-

ungen der DIN 4702 Teil 1, Ausgabe Januar 1967 entsprechen, der dort genannte notwendige Förderdruck zu entnehmen (siehe Bild 21).

Bei sogenannten Überdruckfeuerungen ist der notwendige Förderdruck für den Wärmeerzeuger $P_W \geq 0 \text{ N/m}^2$ anzusetzen, damit kein Überdruck im Verbindungsstück oder im Schornstein auftritt.

Bei Gasfeuerungen mit Strömungssicherungen ist der notwendige Förderdruck hinter der Strömungssicherung von ihrer Gestaltung abhängig. Liegen keine gesicherten Angaben vor, so ist der notwendige Förderdruck mit 10 N/m^2 anzusetzen.

8.2 Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück

Der notwendige Förderdruck für das Verbindungsstück P_{FV} kann mit der nachfolgend genannten Gleichung berechnet werden:

$$P_{FV} = P_{RV} - P_{HV} \quad \text{in } \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (23)$$

8.2.1 Widerstandsdruck im Verbindungsstück

Der Widerstandsdruck im Verbindungsstück P_{RV} ist aus der Beziehung

$$P_{RV} = S_E (P_{EV} + P_{GV}) \quad \text{in } \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (24a)$$

$$P_{RV} = S_E \left[\left(\psi_V \frac{L_V}{D_{hV}} + \sum_n \zeta_n \right) \frac{\rho_{mV}}{2} w_{mV}^2 + P_{GV} \right] \quad \text{in } \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (24b)$$

zu errechnen.

Hierin bedeuten:

P_{EV} Widerstandsdruck aus Reibung und Formwiderstand im Verbindungsstück in N/m^2

P_{GV} Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung im Verbindungsstück in N/m^2

S_E Strömungstechnische Sicherheitszahl (siehe Abschnitt 7.2.5)

ψ_V Rohrreibungszahl des Verbindungsstückes (siehe Abschnitt 7.2.2)

L_V Gestreckte Länge des Verbindungsstückes in m
 D_{hV} hydraulischer Durchmesser des Verbindungsstückes in m

$\sum_n \zeta_n$ Summe der Einzelwiderstandszahlen durch Umlenkungen und Querschnittsänderungen

ρ_{mV} mittlere Dichte der Abgassäule im Verbindungsstück in kg/m^3

w_{mV} mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Verbindungsstück in m/s

Besteht das Verbindungsstück aus mehreren Abschnitten unterschiedlicher Bauart, muß die Rechnung für jeden Abschnitt durchgeführt werden. Die Widerstandsdrücke der einzelnen Abschnitte sind zu summieren.

8.2.1.1 Mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Verbindungsstück

Die mittlere Geschwindigkeit w_{mV} des Abgases im Verbindungsstück kann nach Abschnitt 7.2.1, Gleichung (19a) mit den Werten für das Verbindungsstück berechnet werden.

8.2.1.2 Rohrreibungszahl

Die Rohrreibungszahl des Verbindungsstückes kann nach Abschnitt 7.2.2 Gleichung (20) mit den Werten für das Verbindungsstück errechnet werden, sie kann auch aus Bild 17 und Bild 18 entnommen werden.

8.2.1.3 Einzelwiderstandszahl

Die Summe der Einzelwiderstandszahlen $\sum_n \zeta_n$ für das Verbindungsstück ist abhängig von den Querschnitts- und Richtungsänderungen zwischen Abgasstutzen des Wärmeerzeugers und Schornstein. ζ -Werte sind für die üblichen Querschnitts- und Richtungsänderungen in Tabelle 6 angegeben.

Der Wert des Eintrittswiderstandes in den Schornstein ist der Summe der Einzelwiderstandszahlen des Verbindungsstückes hinzuzuzählen.

8.2.1.4 Mittlere Dichte des Abgases

Die mittlere Dichte des Abgases ρ_{mV} kann nach Abschnitt 7.1.2, Gleichung (8), mit den entsprechenden Werten für das Verbindungsstück berechnet werden.

Bei $K_V \leq 0,05$ kann mit ausreichender Genauigkeit die mittlere Temperatur des Abgases im Verbindungsstück gleich der Abgas-Austrittstemperatur des Wärmeerzeugers gesetzt werden.

8.2.1.5 Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung

Die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung im Verbindungsstück P_{GV} berücksichtigt die Änderung des dynamischen Druckes bei Geschwindigkeitsänderungen.

$$P_{GV} = \frac{\rho_{mV}}{2} w_2^2 \left[1 - \left(\frac{w_1}{w_2} \right)^2 \right] \quad \text{in N/m}^2 \quad (26)$$

Hierin bedeuten:

ρ_{mV} Mittlere Dichte des Abgases im Verbindungsstück in kg/m^3

w_1 Geschwindigkeit vor der Querschnittsänderung in m/s

w_2 Geschwindigkeit nach der Querschnittsänderung in m/s

Sofern der Abgasstutzen, das Verbindungsstück und der Schornstein annähernd den gleichen Querschnitt aufweisen, braucht ein Strömungswiderstand durch Geschwindigkeitsänderung nicht berechnet und damit auch nicht berücksichtigt zu werden.

8.2.2 Ruhedruck des Verbindungsstückes

Der Ruhedruck des Verbindungsstückes P_{HV} ist aus der Beziehung

$$P_{HV} = H_V g (\rho_L - \rho_{mV}) \quad \text{in N/m}^2 \quad (25)$$

zu errechnen.

Sofern das Verbindungsstück ohne nennenswerte Steigung oder Gefälle zum Schornstein führt, kann der Ruhedruck des Verbindungsstückes vernachlässigt werden.

In der Gleichung bedeuten:

H_V Differenz der Höhen zwischen dem Abgaseintritt in den Schornstein und dem Abgasstutzen des Wärmeerzeugers in m

in Strömungsrichtung steigend +
in Strömungsrichtung fallend -

g Erdbeschleunigung in m/s^2

ρ_L Dichte der Außenluft (siehe Abschnitt 7.1.1) in kg/m^3

ρ_{mV} mittlere Dichte des Abgases im Verbindungsstück in kg/m^3

Sofern das Verbindungsstück aus Abschnitten verschiedener Bauart und verschiedener Steigung bzw. verschiedenem Gefälle zusammengesetzt ist, muß die Berechnung des Ruhedruckes für jeden Abschnitt getrennt durchgeführt und aufsummiert werden. Liegt der Abgaseintritt in den Schornstein tiefer als der Abgasstutzen des Wärmeerzeugers, so wird H_V negativ.

8.3 Notwendiger Förderdruck für die Zuluft

Der notwendige Förderdruck für die Zuluft P_L ist entsprechend der Beschaffenheit des Aufstellungsraums des Wärmeerzeugers zu bestimmen (Größe, Art und Zahl der Fenster und Türen, Ausstattung mit Lüftungsanlagen und weiteren Wärmeerzeugern usw.).

Für Aufstellungsräume mit Lüftungsanlagen für Heizräume ist P_L mit 3 N/m^2 anzusetzen. Für Räume ohne Lüftungsanlagen (Lüftungsanlagen, die nur Luft im Aufstellungsraum umwälzen, bleiben außer Betracht) ist P_L mit mindestens 4 N/m^2 anzusetzen.

Wird Wärmeerzeugern mit Feuerungseinrichtungen ohne Gebläse die Verbrennungsluft durch dichte Leitungen mit über die Länge gleichbleibendem Querschnitt zugeführt, ergibt sich P_L aus folgender Gleichung:

$$P_L = \left(\psi_B \frac{L_B}{D_{hB}} + \sum_n \zeta_{Bn} \right) \frac{\rho_{m,L}}{2} w_B^2 \quad \text{in } \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (27)$$

8.3.1 Rohrreibungszahl für die Verbrennungsluftleitung

Für die Ermittlung der Rohrreibungszahl für die Verbrennungsluftleitung ψ_B gilt Abschnitt 7.2.2 entsprechend.

8.3.2 Einzelwiderstandszahl für die Verbrennungsluftleitung

Die Einzelwiderstandszahlen für die Verbrennungsluftleitung $\sum_n \zeta_{Bn}$ für die Richtungsänderungen der Leitung

können Tabelle 6 entnommen werden. Sie sind über die ganze Länge der Leitung zu summieren.

8.3.3 Mittlere Verbrennungsluftgeschwindigkeit in der Verbrennungsluftleitung

Die mittlere Verbrennungsluftgeschwindigkeit in der Verbrennungsluftleitung w_B ergibt sich aus dem maßgeblichen Verbrennungsluft-Massenstrom $\beta \cdot \dot{m}$, dem lichten Querschnitt der Verbrennungsluftleitung A_B und der Dichte der Außenluft ρ_L , nach folgender Gleichung:

$$w_B = \frac{\beta \dot{m}}{A_B \rho_L} \quad (28)$$

Dabei bedeutet β das Verhältnis der Massenströme Verbrennungsluft zu Abgas.

Bei Wärmeerzeugern mit Feuerungseinrichtungen für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe kann $\beta = 0,9$ gesetzt werden.

9 Graphische Darstellung der mit den Gleichungen errechneten Werte

Die graphische Darstellung der mit den Gleichungen errechneten Werte soll für eine bestimmte Temperatur und Schornsteinbauart die Abhängigkeit der vier Grundgrößen (Abgasmassenstrom, wirksame Schornsteinhöhe, Schornsteinquerschnitt, Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein) erkennen lassen.

Für die Berechnung wurden die in den Bildern angegebenen Grundwerte angenommen.

9.1 Abhängigkeit zwischen Höhe und Querschnitt

Für einen konstanten Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein und einen Abgasmassenstrom besteht zwischen der Höhe und dem Querschnitt des Schornsteins die im Bild 22 dargestellte Beziehung.

Aus dem Bild ist zu ersehen, daß es dabei 5 markante Punkte gibt: $\dot{m}_{\min}$, $A_{\min}$, $A_{\max}$, $H_{\min}$, $H_{\max}$.

Ein vorgegebener Unterdruck in Schornstein kann bei einem größeren Abgasmassenstrom als unterhalb zwischen

den Grenzen eines minimalen Querschnittes $A_{\min}$ und eines maximalen Querschnittes $A_{\max}$ als auch einer minimalen Schornsteinhöhe $H_{\min}$ und einer maximalen Schornsteinhöhe $H_{\max}$ erreicht werden.

Ein vorgegebener Unterdruck im Schornstein erfordert mindestens einen Abgasmassenstrom $\dot{m}_{\min}$, damit bei diesem kleinsten Abgasmassenstrom noch der vorgegebene Unterdruck gedeckt werden kann. In diesem Falle ist nur noch ein Querschnitt und eine Höhe möglich.

Bei einem kleineren Abgasmassenstrom als $\dot{m}_{\min}$ kann der erforderliche Unterdruck nicht erzielt werden.

9.2 Abhängigkeit zwischen Abgasmassenstrom und Schornsteinquerschnitt bei einem bestimmten Unterdruck an der Abgaseinführung

Die Abhängigkeit zwischen Abgasmassenstrom und Schornsteinquerschnitt für verschiedene Höhen ist für einen geforderten Unterdruck aus Bild 23 zu ersehen. Ergänzend zu dem unter Abschnitt 9.1 Gesagten läßt sich aus dem Bild 23 auch ersehen, daß für einen bestimmten Querschnitt und eine vorgegebene Höhe der Abgasmassenstrom nur in einem gewissen Bereich variiert werden kann, wenn der erforderliche Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein erreicht werden soll. Im Bild 23 ist außerdem die Schornsteinhöhe zu erkennen, bei der der gewünschte Unterdruck noch bis zu einem absolut geringsten Abgasmassenstrom eingehalten wird.

9.3 Abhängigkeit zwischen Abgasmassenstrom und Schornsteinquerschnitt bei einer bestimmten Schornsteinhöhe

Bild 24 stellt die Beziehung zwischen dem Abgasmassenstrom und dem Schornsteinquerschnitt für eine bestimmte Schornsteinhöhe dar.

Diese Darstellungsweise hat den Vorteil, daß sich die Linien für den Unterdruck als Parameter nicht überschneiden. Außerdem gestattet diese Darstellung nahezu eine lineare Interpolation des Unterdruckes in Abhängigkeit vom Abgasmassenstrom für Schornsteine verschiedener Höhe. Deshalb wird diese Darstellung auch in DIN 4705 Teil 2, verwendet. In das Bild 24 sind außerdem die Abgasgeschwindigkeiten eingezeichnet.

9.4 Nachweis der funktionsgerechten Querschnittsbemessung (siehe auch Abschnitt 10.9)

Der gesamte Bereich, in dem ein Schornstein einer bestimmten Bauart einen geforderten Unterdruck erbringt, ist in der Praxis nicht voll nutzbar. Deshalb wird der nutzbare Bereich durch Grenzen eingeschränkt. Der nutzbare Bereich ist in Bild 25 eingezeichnet. Die Grenzen können ausnahmsweise überschritten werden, wenn die Ausgangsgrößen für die Berechnung und für die Konstruktion zuverlässig bekannt sind.

Die Grenze 1 soll die maximale Belastbarkeit des Schornsteins festlegen. Sie soll sicherstellen, daß eine Veränderung des Abgasmassenstroms keine unzulässige Änderung des Unterdruckes verursacht. Für Schornsteine mit üblichen Bauartkenngößen ist diese Forderung erfüllt, wenn der Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein den in Bild 26 angegebenen Wert $P_{Z\min}$ nicht unterschreitet.

Die Grenze 2 soll die minimale Belastbarkeit des Schornsteins festlegen. Sie gewährleistet, daß der zur Verfügung stehende Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein bei Verringerung des Abgasmassenstromes

nicht abfällt. Ebenfalls wird die Forderung, daß ein Falschlufteinbruch an der Schornsteinmündung vermieden wird, erfüllt. Als Grenze 2 wird die Verbindungslinie der Scheitelpunkte der Schornsteinhöhen über der Schornsteinhöhe von $\dot{m}_{\min}$ gewählt (Grenzkurve a). Für Schornsteinhöhen unter den für $\dot{m}_{\min}$ entsprechenden Wert gilt als Grenzkurve die Verbindung der Scheitelpunkte mit den niedrigeren Schornsteinhöhen (Grenzkurve b). Die Grenzkurve aus diesem Bild ergibt für Schornsteine mit üblichen Bauartkenngößen die in Bild 27 dargestellten kleinsten Abgasgeschwindigkeiten.

Die Grenze 3 soll die maximale Schlankheit des Schornsteins festlegen (Bild 28). Sie erfüllt die Forderung, daß bei einem Schornstein mit verhältnismäßig geringem Durchmesser bauliche Abweichungen sich nicht zu stark auf den Unterdruck der Abgaseinführung in den Schornstein auswirken.

Der Nachweis der funktionsgerechten Querschnittsbemessung des Schornsteins ist dann erbracht, wenn die in den Bildern 26 bis 28 enthaltenen Anforderungen erfüllt sind.

10 Wichtige Einzelheiten, die die Berechnung beeinflussen

10.1 Anordnung der Schornsteine

Aus Gründen der Warmhaltung sollen Schornsteine möglichst innerhalb eines Gebäudes oder an einer Wand, und zwar möglichst in Gruppen angeordnet werden.

Zur Verhinderung von Schall- und Wärmeübertragungen an angrenzende Räume kann eine Anordnung außerhalb des Gebäudes zweckmäßig sein. In diesen Fällen soll durch zusätzliche Wärmedämmung der Einfluß niedriger Außentemperatur ausgeglichen werden.

10.2 Wärmedurchlaßwiderstand und Rauigkeit

Wegen der besseren Wärmedämmung und der kleineren mittleren Rauigkeit der Innenwand sollen vor allem für Anlagen kleinerer Leistung nur Schornsteine aus Formstücken mit entsprechend günstigen Eigenschaften verwendet werden. Im Zusammenhang mit der Querschnittsberechnung soll nachgeprüft werden, ob die zu erwartende äußere Oberflächentemperatur des Schornsteins zu Belastigungen führen kann.

10.3 Fehlende Temperaturbeharrung

Die Erfahrung zeigt, daß bei Öl- und Gasfeuerungen mit Ein/Aus-Regelung der Schornstein fast nie in den Temperatur-Beharrungszustand kommt. Aus diesem Grunde sollen für Öl- und Gasfeuerungen mit Ein/Aus-Regelung mit niedrigen Leistungen nur Schornsteine mit wärmedämmter Innenschale verwendet werden.

10.4 Anschluß des Verbindungsstückes an den Schornstein

Zur Vermeidung von stärkeren Wirbelbildungen beim Eintritt der Abgase in den Schornstein ist ein Anschluß des Verbindungsstückes an den Schornstein mit einer Steigung von etwa 45° anzustreben. An jeder Umlenkung des Verbindungsstückes ist ein Reinigungsverschluß anzuordnen. Unterhalb der Einführung des Verbindungsstückes in den Schornstein ist ein Schmutzsack vorzusehen (siehe Bilder 29 und 30). Der Anschluß selbst ist besonders sorgfältig abzudichten.

10.5 Ausbildung der Schornsteinmündung

Damit das einwandfreie Abführen der Abgase in die freie Atmosphäre gewährleistet ist, muß eine ausreichende

Schornsteinüberhöhung am Gebäude und eine strömungsgünstige Ausbildung der Schornsteinmündung (siehe Bild 31) gegeben sein. Die äußere Verschmutzung des Schornsteinkopfes kann durch eine günstige Ausbildung der Schornsteinmündung verringert werden (siehe Bild 32).

10.6 Gasfeuerstätten mit Brennern ohne Gebläse und Strömungssicherungen

Gasfeuerstätten mit Brennern ohne Gebläse werden üblicherweise mit Strömungssicherungen ausgerüstet. Die Strömungssicherung soll Druckschwankungen des Schornsteins von der Feuerstätte fernhalten, damit die Verbrennung in der Gasfeuerstätte nicht beeinträchtigt wird. Bei normalem Betrieb wird je nach Gestaltung der Strömungssicherung und dem vorhandenen Unterdruck eine bestimmte Luftmenge aus der Umgebung angesaugt und über den Schornstein ins Freie abgeführt. Die angesaugte Umgebungsluft verringert die Temperatur des Abgases und vergrößert die abzuführende Abgasmenge.

10.7 Dichtheit von Schornsteinen

DIN 18 160 Teil 6, Ausgabe August 1968, läßt bestimmte Undichtheiten von Schornsteinen zu, die jedoch bei Schornsteinen für verhältnismäßig kleine Abgasmassenströme unter Umständen schon eine zu hohe Verminderung des Unterdruckes an der Abgaseinführung in den Schornstein verursachen. Bei Schornsteinen für kleine Abgasmassenströme sollen deshalb nur Schornsteinbauarten mit kleinen Undichtheiten verwendet werden und auch die Verbindungsstücke besonders dicht ausgebildet werden.

10.8 Überdruck im Verbindungsstück bzw. im Schornstein

Schornsteine müssen, zumindest soweit sie durch Gebäude führen, grundsätzlich so bemessen werden, daß in ihnen kein Überdruck entstehen kann.

10.9 Folgen einer Schornsteinbemessung außerhalb der in Abschnitt 9.4 angegebenen Grenzen

Sofern der Schornsteinquerschnitt für den vorgegebenen Abgasmassenstrom zu groß ausgelegt wird, ergibt sich eine erhöhte Abkühlung der Abgase mit der Gefahr von Taupunktunterschreitungen. Insbesondere bei Schornsteinen für Anlagen mit kleinen Nennwärmeleistungen und wasserdampfreichen bzw. säurereichen Abgasen kann diese zu einer Zerstörung des Schornsteins führen. Außerdem ergibt sich eine zu niedrige Abgasgeschwindigkeit im Schornstein und damit ein Falschlufteinbruch von der Schornsteinmündung her. Der Querschnitt wird nicht mehr einwandfrei durchströmt, wodurch sich in den Ecken unverbrannte Brennstoff-Luftgemische bzw. Gas-Luftgemische ansammeln können. Hierdurch erhöht sich die Verpuffungsgefahr.

10.10 Querschnittsänderungen

Bei Querschnittsänderungen in einem Schornstein (z. B. Düsen) kann es vor diesen zu einem dauernden Überdruck kommen. Überdruck im Schornstein ist zu vermeiden, weil dadurch Abgas in größerem Maße die Schornsteinwandungen durchdringen und Zerstörungen verursachen kann.

10.11 Explosionsklappen und Zugreglerklappen

Explosionsklappen sollen an Feuerungsanlagen möglichst vermieden werden, damit ein Falschlufteinbruch weitgehend ausgeschlossen wird.

Explosionsklappen sind nicht erforderlich, wenn die Feuerungsanlage entsprechend den sicherheitstechnischen Vorschriften ausgelegt ist.

Auch bei Zugreglerklappen muß eine Konstruktion gewählt werden, die einen Falschlufteinbruch nur dann gestattet, wenn der Unterdruck im Schornstein zu hoch ansteigt. Der Zugregler soll entsprechend seiner Aufgabe nur so groß bemessen sein, daß durch den Falschlufteintritt die atmosphärischen Schwankungen ausgeglichen werden.

11 Berechnungsbeispiele

Die Berechnung wird zweckmäßigerweise nach dem Formblatt Tabelle 7 durchgeführt.

Abhängig von den Ausgangsdaten stellen sich die folgenden Aufgaben:

11.1 Berechnung der Druckgrößen bei gegebenen Schornsteinabmessungen

Gegeben:

Nennwärmeleistung bzw. Feuerungsnennwärmeleistung, wirksame Schornsteinhöhe, Schornsteinquerschnitt.

Gesucht:

Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein und notwendiger Unterdruck.

Zur Berechnung der Druckgrößen sind der Abgasmassenstrom $\dot{m}$ nach Abschnitt 5 und die maßgebenden strömungsunabhängigen Bauartkennwerte des Verbindungsstückes und des Schornsteins nach Abschnitt 6 zu ermitteln. Mit den gegebenen Abmessungen des Verbindungsstückes und des Schornsteins werden die Temperatur und die Druckverhältnisse der Abgase im Verbindungsstück und im Schornstein berechnet.

Für einen ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage ist erforderlich, daß der Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein den an dieser Stelle notwendigen Unterdruck deckt.

Der Nachweis der funktionsgerechten Querschnittsbemessung ist nach Abschnitt 9.4 zu führen. Bei feuchtigkeitsempfindlichen Schornsteinen muß die Innenwandtemperatur an der Schornsteinmündung gemäß Abschnitt 7.3 über der Taupunkttemperatur der Abgase liegen.

Sind die vorstehenden Bedingungen nicht erfüllt, ist die Feuerungsanlage durch Veränderung einzelner Einflußfaktoren wie Schornsteinhöhe, Schornsteinbauart, Länge, Gestaltung und Bauart des Verbindungsstückes, notwendiger Förderdruck für den Wärmeerzeuger usw. an die Bedingungen anzupassen. Der notwendige Unterdruck an der Abgaseinführung in den Schornstein kann z. B. durch Vergrößerung des Querschnitts bzw. durch strömungsgünstige Gestaltung des Verbindungsstückes oder durch Wahl eines Wärmeerzeugers anderer Bauart wie z. B. Kessel für Überdruckfeuerung oder durch Einbau eines Saugzuggebläses usw. herabgesetzt werden.

11.2 Berechnung des Querschnittes

Gegeben:

Nennwärmeleistung bzw. Feuerungsnennwärmeleistung, notwendiger Förderdruck des Wärmeerzeugers, wirksame Schornsteinhöhe

Gesucht:

Schornsteinquerschnitt

Zur Berechnung des Schornsteinquerschnittes sind der Abgasmassenstrom $\dot{m}$ nach Abschnitt 5 und die maßgebenden strömungsunabhängigen Bauartkennwerte des Verbindungsstückes und des Schornsteins nach Abschnitt 6 zu ermitteln. Die Abgasgeschwindigkeit im Verbindungsstück und im Schornstein kann überschlägig aus Bild 27 entnommen und der Querschnitt des Schornsteins mit der Gleichung (19b) vorläufig festgelegt werden.

Für die weitere Rechnung ist der handelsübliche Querschnitt zu wählen, der dem vorläufig ermittelten Querschnitt am besten entspricht.

Der Querschnitt des Verbindungsstückes ist zweckmäßig gleich dem Querschnitt des Schornsteins zu wählen.

Mit diesen Querschnitten werden die Temperatur- und die Druckverhältnisse der Abgase im Verbindungsstück und im Schornstein berechnet.

Sind hierbei die in Abschnitt 11.1 genannten Bedingungen erfüllt, entspricht der gewählte Schornsteinquerschnitt dem erforderlichen Schornsteinquerschnitt.

Sind die Bedingungen nicht erfüllt, ist die Berechnung mit einem entsprechend geänderten handelsüblichen Schornsteinquerschnitt zu wiederholen.

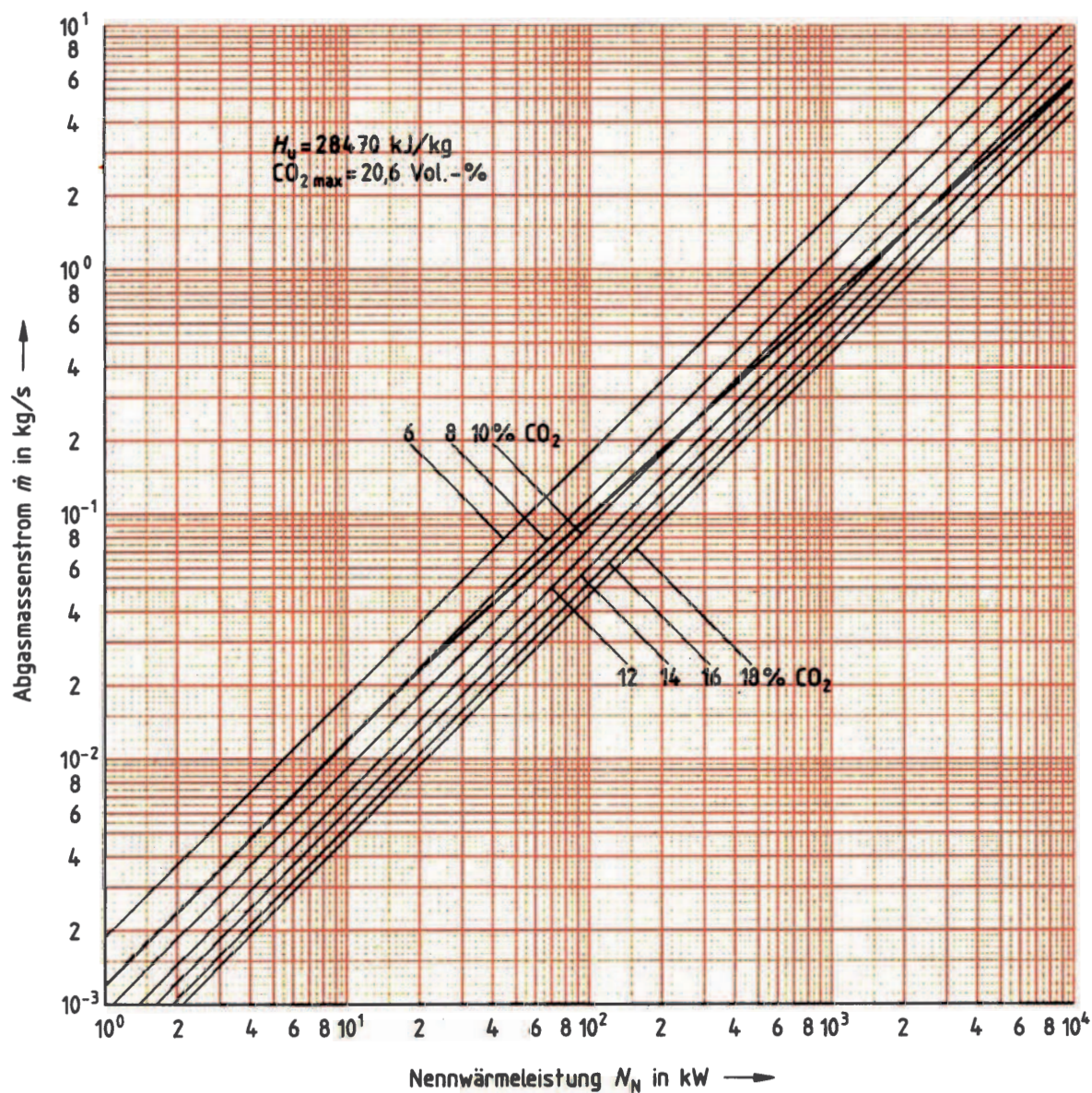
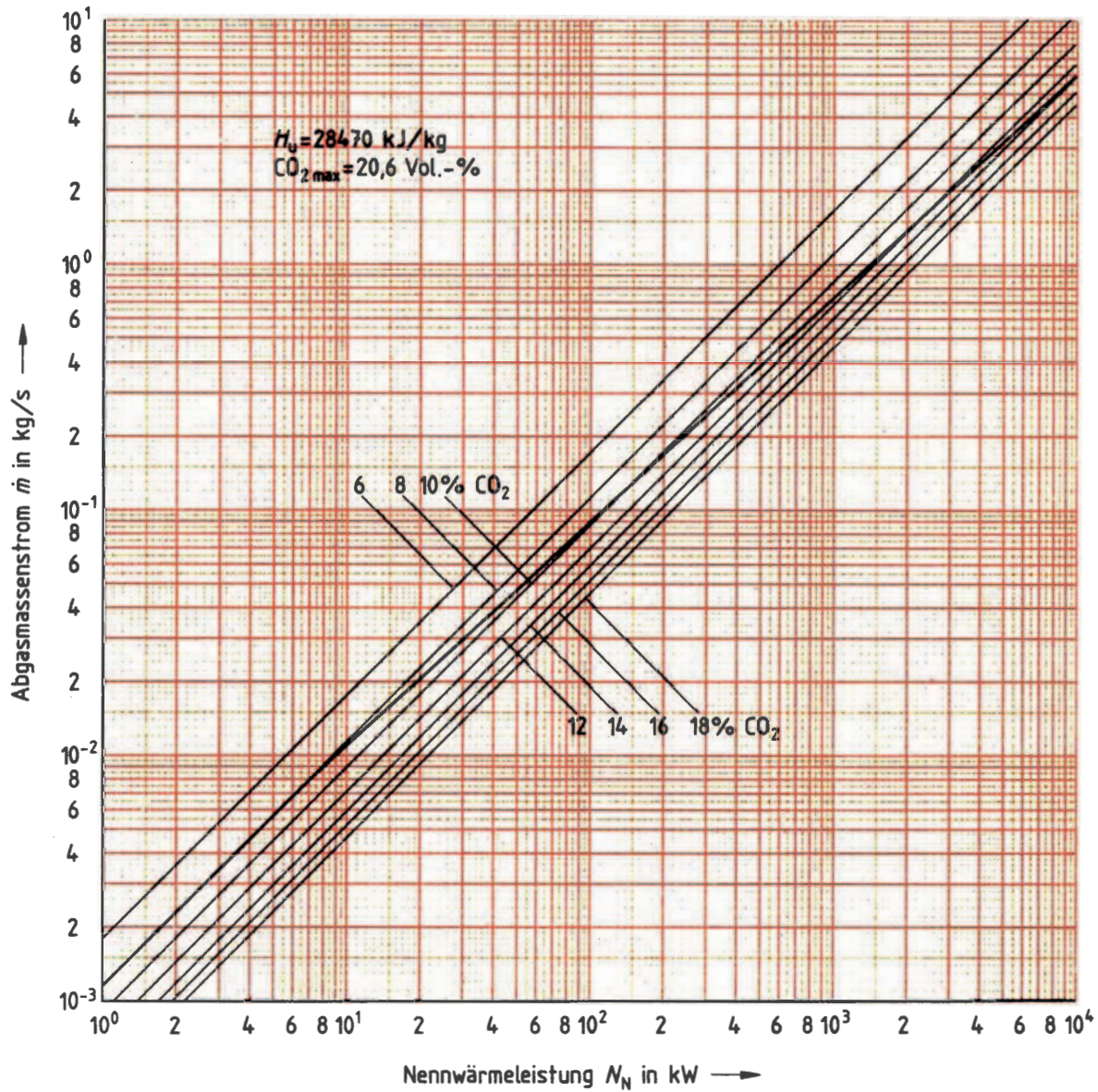


Bild 1. Abgasmassenstrom $\dot{m}$ für Koks, handbediente Feuerung

Bild 2. Abgasmassenstrom $\dot{m}$ für Koks, automatische Feuerung