

DIN EN 13084-1

ICS 91.060.40

Ersatz für
DIN EN 13084-1:2001-04 und
DIN EN 13084-1
Berichtigung 1:2006-06

**Freistehende Schornsteine –
Teil 1: Allgemeine Anforderungen;
Deutsche Fassung EN 13084-1:2007**

Free-standing chimneys –
Part 1: General requirements;
German version EN 13084-1:2007

Cheminées autoportantes –
Partie 1: Exigences générales;
Version allemande EN 13084-1:2007

Gesamtumfang 43 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13084-1:2007) wurde vom CEN/TC 297 „Freistehende Industrieschornsteine“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) erarbeitet.

Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuss im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist der als Spiegelausschuss eingesetzte Arbeitsausschuss NA 005-11-37 AA „Industrieschornsteine“.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13084-1:2001-04 und DIN 13084-1 Berichtigung 1:2006-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Es wurde eine Anpassung an die zur Zeit gültigen Eurocodes vorgenommen.
- b) Zusätzlich wurde durch eine Ergänzung im Anwendungsbereich die Abgrenzung zu Abgasanlagen vorgenommen, die im CEN/TC 166 genormt werden.

Frühere Ausgaben

DIN 1056: 1927-04, 1929-08, 1984-10

DIN 1056-1: 1940-08, 1959-04, 1969-08

DIN 1056-2: 1940-08, 1959-04, 1969-08

DIN 1058: 1929-04, 1959-07, 1969-08

DIN 4133: 1973-08, 1991-11

DIN EN 13084-1: 2001-04

DIN EN 13084-1 Berichtigung 1: 2006-06

Deutsche Fassung

**Freistehende Schornsteine —
Teil 1: Allgemeine Anforderungen**

Free-standing chimneys —
Part 1: General requirements

Cheminées autoportantes —
Partie 1: Exigences générales

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 23. Dezember 2006 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Allgemeine Anforderungen	8
4.1 Baustoffe	8
4.2 Abgas	8
4.2.1 Allgemeines	8
4.2.2 Entwurfsparameter	8
4.2.3 Wärmetechnische Berechnungen	9
4.2.4 Strömungstechnische Berechnungen	11
4.2.5 Chemische Beanspruchung	11
4.3 Einflüsse auf die Umwelt	13
4.3.1 Schall	13
4.3.2 Temperatur	13
4.3.3 Schutz gegen herunterfallendes Eis	14
4.3.4 Gasdichtheit	14
4.4 Wärmedämmung	14
4.5 Belüftung	15
4.6 Schutzschichten	15
4.7 Gründung	15
4.8 Ausrüstung	16
4.8.1 Besteigeinrichtungen	16
4.8.2 Blitzschutz	16
4.8.3 Flugsicherungssystem	17
4.8.4 Zusätzliche Ausrüstungen	17
5 Anforderungen an die Berechnung und Bemessung	17
5.1 Grundlegende Berechnungsannahmen	17
5.2 Einwirkungen	18
5.2.1 Allgemeines	18
5.2.2 Ständige Einwirkungen	19
5.2.3 Veränderliche Einwirkungen	19
5.2.4 Außergewöhnliche Einwirkungen	21
5.3 Imperfektionen	21
5.4 Gründung	21
5.5 Innenrohr	22
6 Tätigkeiten auf der Baustelle	22
7 Zustandsüberwachung und Instandhaltung	22
8 Messeinrichtungen	22
Anhang A (normativ) Strömungstechnische Berechnung	24
A.1 Grundzüge des Berechnungsverfahrens	24
A.2 Bauartkennwerte	24
A.2.1 Rauigkeit	24
A.2.2 Wärmedurchlasswiderstand	24
A.3 Grundwerte für die Berechnung	25
A.3.1 Lufttemperaturen	25
A.3.2 Außenluftdruck	25
A.3.3 Abgas	25
A.3.4 Gaskonstante	27
A.3.5 Dichte der Außenluft	27
A.3.6 Spezifische Wärmekapazität	28

	Seite
A.3.7 Korrekturfaktor für Temperatur	28
A.3.8 Strömungstechnische Sicherheitszahl	28
A.4 Ermittlung der Temperaturen	29
A.4.1 Abgastemperaturen.....	29
A.4.2 Abkühlzahl	29
A.4.3 Wärmedurchgangszahl.....	29
A.4.4 Wärmeübergangskoeffizient, innen.....	30
A.5 Dichte des Abgases	32
A.6 Abgasgeschwindigkeit.....	32
A.7 Druck an der Abgaseinführung in den Schornstein	32
A.7.1 Berechnung des Druckes	32
A.7.2 Ruhedruck.....	32
A.7.3 Widerstandsdruck im Abgas führenden Rohr.....	33
A.7.4 Rohrreibungszahl	33
A.7.5 Einzelwiderstandszahlen	34
A.7.6 Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung.....	34
A.7.7 Durch plötzliche Unterbrechung des Abgasstromes hervorgerufener Druck (Implosion)	34
A.8 Mindestgeschwindigkeit.....	35
Anhang B (informativ) Tätigkeiten auf der Baustelle	40
B.1 Ausführung	40
B.2 Ablauf und Koordinierung von Arbeiten.....	40
B.3 Sicherheit auf der Baustelle	40
B.4 Örtliche Bedingungen.....	40
Literaturhinweise.....	41

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13084-1:2007) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 297 „Freistehende Industrieschornsteine“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis August 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis August 2007 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt EN 13084-1:2000

Das vorliegende Dokument ist Teil 1 des im Folgenden aufgeführten Normenpaketes.

- EN 13084-1, *Freistehende Schornsteine — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*
- EN 13084-2, *Freistehende Schornsteine — Teil 2: Betonschornsteine*
- EN 13084-4, *Freistehende Schornsteine — Teil 4: Innenrohre aus Mauerwerk — Entwurf, Bemessung und Ausführung*
- EN 13084-5, *Freistehende Schornsteine — Teil 5: Baustoffe für Innenrohre aus Mauerwerk — Produktfestlegungen*
- EN 13084-6, *Freistehende Schornsteine — Teil 6: Innenrohre aus Stahl — Bemessung und Ausführung*
- EN 13084-7, *Freistehende Schornsteine — Teil 7: Produktfestlegungen für zylindrische Stahlbauteile zur Verwendung in einschaligen Stahlschornsteinen und Innenrohren aus Stahl*
- EN 13084-8, *Freistehende Schornsteine — Teil 8: Entwurf, Bemessung und Ausführung von Tragmastkonstruktionen mit angehängten Abgasanlagen*

Zusätzlich gilt:

- EN 1993-3-2, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3-2: Türme, Maste und Schornsteine — Schornsteine*

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Europäische Norm behandelt die allgemeinen Anforderungen und die Grundkriterien für Entwurf, Berechnung und Konstruktion aller Arten von freistehenden Schornsteinen, einschließlich deren Innenrohre. Ein Schornstein kann auch dann als freistehend betrachtet werden, wenn er abgespannt oder seitlich abgestützt ist oder auf einem anderen Bauwerk steht.

An einem Gebäude seitlich abgestützte Schornsteine müssen konstruktiv nach dieser Europäischen Norm als freistehende Schornsteine bemessen werden, wenn mindestens eines der folgenden Kriterien erfüllt ist:

- der Abstand zwischen den seitlichen Abstützungen ist größer als 4 m;
- die freistehende Höhe über der obersten statisch wirksamen Abstützung ist größer als 3 m;
- die freistehende Höhe über der obersten statisch wirksamen Abstützung bei Schornsteinen mit einem rechteckigen Querschnitt beträgt mehr als das fünffache des kleinsten Außenmaßes;
- der horizontale Abstand zwischen dem Gebäude und der Außenfläche des Schornsteines ist größer als 1 m.

An freistehenden Masten befestigte Schornsteine werden als freistehende Schornsteine betrachtet.

Die Bemessung von freistehenden Schornsteinen berücksichtigt die Betriebsbedingungen und sonstige Einwirkungen, um die mechanische Festigkeit, Standsicherheit und Nutzungssicherheit nachzuweisen. Detaillierte Anforderungen bezüglich der einzelnen Konstruktionsarten werden in den Normen für Betonschornsteine, Stahlschornsteine und Innenrohre gegeben.

ANMERKUNG Regeln für die Verwendung von Schornsteinprodukten nach EN 1443 (und der damit verbundenen Produktnormen) in freistehenden Schornsteinen werden in anderen Teilen von EN 13084 angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 287-1, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 1: Stähle*

EN 1418, *Schweißpersonal — Prüfung von Bedienern von Schweißeinrichtungen zum Schmelzschweißen und von Einrichtern für das Widerstandsschweißen für vollmechanisches und automatisches Schweißen von metallischen Werkstoffen*

EN 1443, *Abgasanlagen — Allgemeine Anforderungen*

EN 13084-2, *Freistehende Schornsteine — Teil 2: Betonschornsteine*

EN 13084-4, *Freistehende Schornsteine — Teil 4: Innenrohre aus Mauerwerk — Entwurf, Bemessung und Ausführung*

EN 13084-5, *Freistehende Schornsteine — Teil 5: Baustoffe für Innenrohre aus Mauerwerk — Produktfestlegungen*

EN 13084-6, *Freistehende Schornsteine — Teil 6: Innenrohre aus Stahl — Bemessung und Ausführung*

EN 13084-7, *Freistehende Schornsteine — Teil 7: Produktfestlegungen für zylindrische Stahlbauteile zur Verwendung in einschaligen Stahlschornsteinen und Innenrohren aus Stahl*

EN 13084-1:2007 (D)

EN 13084-8, *Freistehende Schornsteine — Teil 8: Entwurf, Bemessung und Ausführung von Tragmastkonstruktionen mit angehängten Abgasanlagen*

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991-1-1, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke — Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*

EN 1991-1-4:2005, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen, Windlasten*

EN 1993-3-2, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3-2: Türme, Maste und Schornsteine — Schornsteine*

EN 1998-6, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 6: Türme, Maste und Schornsteine*

EN ISO 3834-2, *Qualitätsanforderungen für das Schmelzschiessen von metallischen Werkstoffen — Teil 2: Umfassende Qualitätsanforderungen (ISO 3834-2:2005)*

EN ISO 14731, *Schweißaufsicht - Aufgaben und Verantwortung (ISO 14731:2006)*

EN ISO 15607, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Allgemeine Regeln (ISO 15607:2003)*

EN ISO 15609-1, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 1: Lichtbogenschweißen (ISO 15609-1:2004)*

EN ISO 15610, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung aufgrund des Einsatzes von geprüften Schweißzusätzen (ISO 15610:2003)*

EN ISO 15611, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung aufgrund von vorliegender schweißtechnischer Erfahrung (ISO 15611:2003)*

EN ISO 15612, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung durch Einsatz eines Standardschweißverfahrens (ISO 15612:2004)*

EN ISO 15613, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Qualifizierung aufgrund einer vorgezogenen Arbeitsprüfung (ISO 15613:2004)*

EN ISO 15614-1, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 1: Lichtbogen- und Gasschweißen von Stählen und Lichtbogenschweißen von Nickel und Nickellegierungen (ISO 15614-1:2004)*

EN ISO 15614-2, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 2: Lichtbogenschweißen von Aluminium und seinen Legierungen (ISO 15614-2:2005)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Tragrohr

konstruktive Schale für tragende Zwecke, die die Abgasführung gegen Windwirkungen schützt

ANMERKUNG Das Tragrohr kann auch als Abgasführung wirken.

3.2**Innenrohrkonstruktion**

Gesamtsystem, falls vorhanden, das die Abgase vom Tragrohr trennt. Darin enthalten sind ein Innenrohr und dessen Abstützungen, der Raum zwischen Innenrohr und Tragrohr und gegebenenfalls die Wärmedämmung.

3.3**Innenrohr**

bautechnische Schale der Innenrohrkonstruktion

3.4**begehbarer Zwischenraum**

Raum zwischen Tragrohr und Innenrohr für den Zugang von Personen

3.5**Luftleitblech**

Einrichtung auf der Außenseite eines Schornsteines, die den Zweck hat, die winderregten Querschwingungen zu verringern

3.6**Schutzabdeckung**

Abdeckung an der Mündung des Schornsteins, die das obere Ende des Betontragrohrs und des Innenrohrs abdeckt

3.7**Steigedübel**

Gewindehülsen (Dübel), die zur Befestigung von Steighilfen in das Betontragrohr eingelassen sind

3.8**Abwärtssog**

Unterdruck auf der Leeseite der Schornsteinmündung, durch den die Abgase nach unten gezogen werden

3.9**abgespannter Schornstein**

Schornstein, dessen Standsicherheit durch Abspannseile sichergestellt ist

3.10**stationäre Wärmeströmung**

Wärmeströmung, bei der sich die Temperaturen an keinem Punkt zeitabhängig ändern

3.11**instationäre Wärmeströmung**

Wärmeströmung, bei der sich die Temperaturen zeitabhängig ändern

3.12**Überdruck**

Druck innerhalb des Innenrohres höher als der Druck außerhalb des Innenrohres

3.13**Unterdruck**

Druck innerhalb des Innenrohres niedriger als der Druck außerhalb des Innenrohres

3.14**Abgas**

gasförmige Produkte aus Verbrennungsvorgängen oder anderer Prozesse, inklusive Luft, welche flüssige oder feste Bestandteile enthalten können

3.15**Betonschornstein**

Schornstein mit einem Tragrohr aus Beton

3.16

Stahlschornstein

Schornstein mit einem Tragrohr aus Stahl

4 Allgemeine Anforderungen

4.1 Baustoffe

Baustoffe müssen den einschlägigen CEN- oder ISO-Normen entsprechen. Wo keine derartige Norm vorhanden ist, dürfen andere Baustoffe verwendet werden, wenn ihre Eigenschaften einwandfrei definiert sind und ihre Eignung nachgewiesen ist. Dieser Nachweis muss die mechanischen, thermischen und chemischen Einwirkungen berücksichtigen.

Für Beton- und Stahlschornsteine sowie für Innenrohrkonstruktionen siehe EN 13084-2, EN 13084-4, EN 13084-5, EN 13084-6, EN 13084-7, EN 13084-8 bzw. EN 1993-3-2.

4.2 Abgas

4.2.1 Allgemeines

Thermische und strömungstechnische Berechnungen müssen vorgenommen werden, um sicherzustellen, dass die Abgase von der Feuerstätte in die Atmosphäre geführt werden, wobei die Auswirkungen der Abgase auf die Umwelt und die Nutzungssicherheit zu berücksichtigen sind. Die Auswirkungen von Abgasen hinsichtlich der Umweltverschmutzung mit gas- und partikelförmigen Teilchen sind jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Norm.

Um diese Berechnungen durchführen zu können, sind Entwurfsparameter, wie sie in 4.2.2 angegeben werden, erforderlich. Diese gelten auch für die Beurteilung der chemischen Beanspruchung der Bauteile, die mit den Abgasen in Berührung kommen.

4.2.2 Entwurfsparameter

Die folgenden Entwurfsparameter müssen die verschiedenen Betriebsbedingungen bei normalen und definierten außergewöhnlichen Bedingungen berücksichtigen:

- a) Art des Schornsteinbetriebes, ob durchgehend, intermittierend oder gelegentlich;
- b) geplante Häufigkeit von Abschaltungen für Inspektionen im Innern und Instandhaltung;
- c) Zusammensetzung der Abgase und Konzentrationen von für den Schornstein schädlichen Chemikalien in den Abgasen;
- d) Konzentration von Staub und besonders von aggressivem Staub im Abgas;
- e) Massenstrom jedes Abgasstromes;
- f) Abgastemperatur an der Einführung jedes Zuges in den Schornstein;
- g) Bereich der maximalen Säuretaupunkttemperaturen der Abgase;
- h) zulässiger oder erforderlicher Druck an der Einführung der Züge in den Schornstein;
- i) Höhenlage des Standortes und besondere örtliche topographische Merkmale (Berge in der Umgebung, Klippen usw.);
- j) maximale, mittlere und minimale Außentemperatur;

- k) maximaler, mittlerer und minimaler atmosphärischer Druck;
- l) maximale, mittlere und minimale Feuchte der Umgebungsluft;
- m) wichtige Entwurfparameter der Einrichtungen (z. B. Kessel), an die der Schornstein angeschlossen ist.

4.2.3 Wärmetechnische Berechnungen

Die Temperaturen im Abgas führenden Rohr, in den Wärmedämmschichten und im Tragrohr sind zu bestimmen. Der Temperaturabfall des Abgases auf dem Weg vom Eintritt bis zur Schornsteinmündung ist zu berechnen.

Werte für Wärmeleitfähigkeit und Wärmeübergangskoeffizienten dürfen aus Tabelle 1 bzw. Tabelle 2 entnommen werden. Werte für Materialien, die in diesen Tabellen nicht enthalten sind, oder Werte, die von den angegebenen Werten abweichen, dürfen verwendet werden, wenn sie nachgewiesen sind.

Tabelle 1 — Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen

Material	Bezeichnung	Dichte ρ kg/m ³	Temperatur T °C	Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)
Beton		2 400		2,1
Leichtbeton		1 000		0,47
		1 200		0,59
		1 400		0,72
		1 600		0,87
		1 800		0,99
		2 000		1,20
Mauerwerk		1 800		0,81
		2 000		0,96
		2 200		1,00
Säurefestes Mauerwerk			1,2	
Mauerwerk aus Kieselgursteinen		800	200	0,18
		800	400	0,19
		800	600	0,21
		500 ^a	200	0,09
		500 ^a	400	0,10
		500 ^a	600	0,11
Schaumglas		130	20	0,05
			200	0,09
			300	0,12
Mineralwolle, beständig bis 750 °C		90	50	0,038
			100	0,045
			150	0,053
			200	0,064
			250	0,076
			300	0,090
			400	0,122
			500	0,168
			600	0,230

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Material	Bezeichnung	Dichte ρ kg/m ³	Temperatur T °C	Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)
Mineralwolle, beständig bis 750 °C		125	50	0,039
			100	0,046
			150	0,053
			200	0,061
			250	0,070
			300	0,080
			400	0,105
			500	0,140
600	0,180			
Baustahl und wetterfester Baustahl		7 850		60
Nichtrostender Stahl	X5CrNi 18-10	7 900		15
	X6CrNiTi 18-10	7 900		15
	X6CrNiMoTi 17-12-2	7 980		15
	X2CrNiMo 17-12-2	7 950		14
	X2CrNiMo 18-14-3	7 980		15
	X1NiCrMoCu 25-20-5	8 000		14
ANMERKUNG Wo keine Werte für Dichte und Temperatur angegeben sind, darf die Wärmeleitfähigkeit λ als von diesen Parametern unabhängig betrachtet werden.				
^a Ist nur als Isolierung zu verwenden.				

Tabelle 2 — Wärmeübergangskoeffizienten

Zone	Wärmeübergangskoeffizient ^a α W/(m ² ·K)
Innere Innenrohroberfläche	8+ w^b
Im Falle eines begehbaren Zwischenraumes zwischen Tragrohr und Innenrohr:	
— äußere Innenrohroberfläche	8
— innere Tragrohroberfläche	8
Im Falle eines nicht begehbaren Zwischenraumes zwischen Tragrohr und Innenrohr:	
— äußere Innenrohroberfläche:	
— Temperatur > 80 °C;	20
— Temperatur ≤ 80 °C	12
— innere Tragrohroberfläche	8
Äußere Innenrohroberfläche	24 ^c
^a Diese Werte sind Näherungswerte, die zu ausreichend zuverlässigen Ergebnissen für Abgas führende Rohre mit einem Innendurchmesser von mehr als 1 m führen.	
^b w ist die mittlere Abgasgeschwindigkeit in m/s. Eine detaillierte Berechnung von α ist im Anhang A angegeben.	
^c Für den Nachweis der Eignung der Baustoffe im Hinblick auf Wärmebeständigkeit ist ein Wert $\alpha = 6 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ anzunehmen.	

4.2.4 Strömungstechnische Berechnungen

Strömungstechnische Berechnungen müssen die Berechnungen der Druckverhältnisse innerhalb des Abgas führenden Rohres und der Strömungsgeschwindigkeit einschließen. Sie müssen sowohl die Dichte der Abgase und der Umgebungsluft, als auch Energieverluste, wie Verluste durch Richtungsänderung, Reibungsverluste und Verluste an den Verbindungsstellen berücksichtigen. Wenn das Abgas durch das Innenrohr dringen kann, z. B. bei einem Innenrohr aus Mauerwerk, ist unter normalen Betriebsbedingungen kein Überdruck zulässig.

ANMERKUNG Der Anfahrdruck ist im Sinne dieser Europäischen Norm keine normale Betriebsbedingung.

Die Berechnungen sollten nach Anhang A durchgeführt werden. Für Schornsteine mit einer Höhe von weniger als 20 m darf die Berechnung nach EN 13384-1 erfolgen, wenn die in der Norm vorgegebenen Voraussetzungen erfüllt sind.

4.2.5 Chemische Beanspruchung

Chemische Beanspruchung der Bauteile, die mit den Abgasen in Berührung kommen, kann auftreten durch Kondensation verschiedener Abgasbestandteile zu Säure, z. B. Schwefel- oder Salzsäure, die mit Chloriden oder Fluoriden verunreinigt ist. In Abhängigkeit von Art und Dauer der Einwirkung wird die chemische Beanspruchung unterteilt, in:

- 1) geringfügig;
- 2) mittel;
- 3) stark;
- 4) sehr stark.

Die chemische Beanspruchung durch Abgase, die SO_3 enthalten, wird nach Tabelle 3 in Abhängigkeit von dem Zeitraum, in dem die Temperatur der Wand des Innenrohrs unter dem Säuretaupunkt liegt, eingestuft. Zeiträume, in denen die Anlage außer Betrieb ist, bleiben bei der Ermittlung der Betriebsstunden unberücksichtigt.

Tabelle 3 gilt für Abgase mit $50 \text{ mg/m}^3 \text{ SO}_3$. Bei anderen Werten der SO_3 -Konzentration verändert sich die Zahl der Betriebsstunden aus Tabelle 3 umgekehrt proportional zum SO_3 -Gehalt. Wenn der SO_3 -Gehalt nicht bekannt ist, darf eine 2-%ige Umwandlung von SO_2 in SO_3 angenommen werden, es sei denn, dass andere Werte nachgewiesen sind. Für andere Abgase ist der Grad der chemischen Beanspruchung nach anderen Methoden zu bestimmen.

Die Temperatur des Säuretaupunktes von Abgasen, die Wasserdampf (H_2O) und Schwefeltrioxid (SO_3) enthalten, kann Bild 1 entnommen werden:

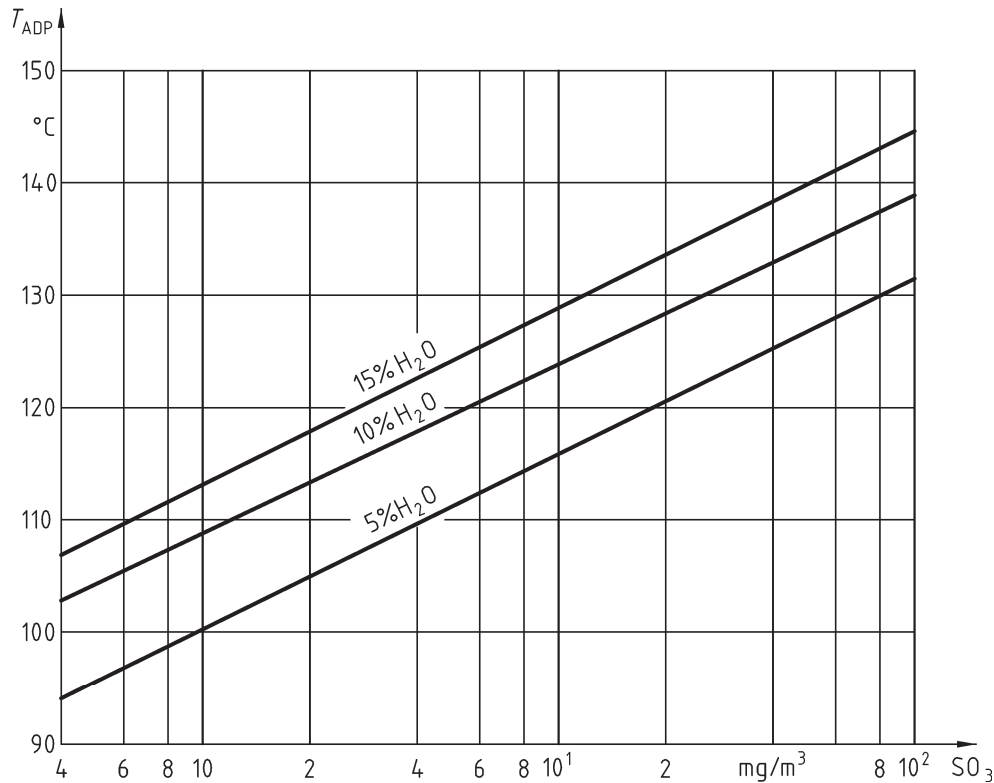


Bild 1 — Säuretaupunkttemperatur, T_{ADP} , von Abgasen, die Wasserdampf (H_2O) und Schwefeltrioxid (SO_3) enthalten

Tabelle 3 — Chemische Beanspruchung durch Abgase mit einem SO_3 Gehalt von 50 mg/m³

Grad der chemischen Beanspruchung	Betriebsstunden je Jahr ^a			
	Innenrohroberfläche in Berührung mit Abgas		Teile des Schornsteins, die durch das Innenrohr geschützt sind	
	$T_{ADP} > 150\text{ °C}$	$T_{ADP} \leq 150\text{ °C}$	$T_{ADP} > 150\text{ °C}$	$T_{ADP} \leq 150\text{ °C}$
geringfügig	< 10	< 30	< 50	< 150
mittel	10 bis 50	30 bis 150	50 bis 250	150 bis 750
stark	50 bis 1 000	150 bis 3 000	250 bis 5 000	750 bis 15 000 ^b
sehr stark	> 1 000	> 3 000	> 5 000	> 15 000 ^b

^a Während der die Temperatur des beanspruchten Bauteils unterhalb des Säuretaupunktes der Abgase liegt, die das Bauteil berühren.

^b Nur für Interpolationszwecke (siehe 3. Absatz von 4.2.5), jedoch in keinem Falle mehr als 8 760 h (1 Jahr).

Das Vorhandensein von Chloriden und Fluoriden im Abgaskondensat kann die Korrosionsgeschwindigkeit beträchtlich erhöhen. Die Abschätzung der Korrosionsgeschwindigkeit hängt von einer Reihe von verschiedenen komplexen Faktoren ab, und es sollte in jedem Einzelfalle der Rat eines Korrosionsexperten eingeholt werden.

Liegt ein solcher Rat nicht vor,

- darf der Grad der chemischen Beanspruchung als „geringfügig“ eingestuft werden, wenn die Temperatur der Schornsteinkomponenten, die mit dem Abgas in Berührung kommen, weniger als 25 Stunden/Jahr unterhalb des Säuretaupunktes liegt und wenn die Konzentration von HCl $\leq 30 \text{ mg/m}^3$ und HF $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ ist;
- ist der Grad der chemischen Beanspruchung, unabhängig von Temperatur und Einwirkungszeit, als „sehr stark“ einzustufen, wenn die Konzentration der Halogene bei 20 °C und einem Druck von 1 bar folgende Grenzen überschreitet:
 - Wasserstofffluorid: 300 mg/m³;
 - elementares Chlor: 1 300 mg/m³;
 - Wasserstoffchlorid: 1 300 mg/m³.

Treten hinter Abgasentschwefelungsanlagen Abgas kondensierende Zustände auf, die länger als 10 h/ Jahr andauern, so sind diese in den Grad der chemischen Beanspruchung „sehr stark“ einzustufen.

Auch wenn ein Schornstein im Allgemeinen bei einer Temperatur oberhalb des Säuretaupunktes betrieben wird, ist dafür zu sorgen, dass kleine Flächen sich nicht örtlich abkühlen können und infolgedessen dort die Gefahr örtlicher Korrosion durch Säureangriff besteht. Örtliche Abkühlung kann hervorgerufen werden durch:

- undichte Stellen;
- Kühlrippeneffekt durch Flansche, Luftleitbleche oder sonstige Anbauteile;
- Auflagerpunkte;
- Abwärtssogeffekte an der Schornsteinmündung.

Chemische Beanspruchung kann z. B. auch auftreten, wenn trockene Abgase an der Schornsteinmündung infolge atmosphärischer Einflüsse feucht werden und auf Innen- oder Außenseite des Schornsteines einwirken oder wenn die Abgase auf dem Weg zur Schornsteinmündung oder beim Anfahren der Anlage sich so weit abkühlen, dass Kondensatbildung auftritt.

4.3 Einflüsse auf die Umwelt

4.3.1 Schall

Der vom Schornstein abgestrahlte Schall darf die zulässigen Schallpegel nicht überschreiten. Unter normalen Bedingungen gilt diese Anforderung als erfüllt, wenn die Geschwindigkeit der Abgase an der Schornsteinmündung weniger als 25 m/s beträgt. In Ausnahmefällen, z. B. wenn sich ein Saugzug im Schornstein befindet oder wenn die Geschwindigkeit mehr als 25 m/s beträgt, muss nachgewiesen werden, dass der zulässige Schallpegel eingehalten wird.

4.3.2 Temperatur

Die durch die Temperatur der Abgase verursachte und ausgehend von Umgebungstemperaturwerten aus offiziellen Angaben erhaltene Temperatur an der äußeren Oberfläche des Schornsteines, die von Personen berührt werden kann, muss eine der folgenden Bedingungen erfüllen:

- a) die Temperatur darf 50 °C nicht überschreiten;
- b) die Temperaturzunahme darf 10 K nicht überschreiten.

Wenn diese Anforderung nicht erfüllt werden kann, ist eine Schutzvorrichtung anzubringen, um ein unbeabsichtigtes Berühren der Schornsteinwand zu verhindern.

Die maximale Temperatur angrenzender brennbarer Materialien darf 85 °C bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C nicht übersteigen. Der Abstand zwischen der Außenfläche des Schornsteines und dem brennbaren Material ist entsprechend zu wählen.

Die Temperatur der Luft innerhalb eines begehbaren Zwischenraumes zwischen Tragrohr und Innenrohr muss eine der folgenden Bedingungen erfüllen:

- a) die Lufttemperatur darf 40 °C nicht überschreiten;
- b) die Zunahme der Lufttemperatur infolge der Temperatur der Abgase darf 10 K nicht überschreiten.

4.3.3 Schutz gegen herunterfallendes Eis

Wenn die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich Eis am Schornstein oder an Teilen des Schornsteines bildet, ist dafür zu sorgen, dass keine Schäden durch herunterfallendes Eis entstehen können. Das lässt sich z. B. durch Schutzvorrichtungen oder Heizeinrichtungen erreichen.

4.3.4 Gasdichtheit

Unter normalen Betriebsbedingungen im Überdruckbereich arbeitende Schornsteine müssen gasdicht sein und die in EN 1443 gegebenen Anforderungen erfüllen.

4.4 Wärmedämmung

Eine wirksame Wärmedämmung hat folgende Aufgabe:

- a) Sie vermindert den Temperaturgradienten und folglich die thermische Beanspruchung des Innenrohrmaterials.
- b) Sie vermindert den Wärmeverlust der innerhalb des Abgas führenden Rohres nach oben steigenden Abgase. Dies hat folgende Vorteile:
 - Reduzierung des Temperaturabfalls der im Schornstein nach oben strömenden Abgase. Dies ist dann von Bedeutung, wenn die Temperatur der Abgase beim Eintritt in den Schornstein in der Nähe des Säuretaupunktes liegt und sich bei weiterem Abkühlen Säureniederschlag und Verschmutzung ergeben können.
 - Erhöhung des thermischen Auftriebes.
- c) Sie vermindert den Temperaturgradienten und die thermische Beanspruchung im Tragrohr.

Bei der Auswahl des Dämmsystems sind die folgenden Kriterien zu berücksichtigen:

- i) die strukturelle Langzeitfestigkeit. Es ist wichtig, dass die Dämmstoffe nicht durchhängen und dadurch Teile der Oberfläche nicht mehr gedämmt sind;
- ii) die Wärmeleitfähigkeit;
- iii) die Gebrauchstauglichkeit und die Formbeständigkeit bei den Temperaturen, die während des Betriebes auftreten können;
- iv) die Säurebeständigkeit und die Feuchtigkeitsaufnahme des Dämmstoffes und dessen Halterungen. Dies ist bei Innenrohren aus Mauerwerk wichtig, weil begrenzte Abgasmengen durch das Innenrohr dringen und auf dem Weg zur kalten Seite der Dämmung kondensieren können;
- v) die Zugänglichkeit.

Das Material der Wärmedämmung muss nichtbrennbar sein.

4.5 Belüftung

Es kann zweckmäßig sein, einen belüfteten Zwischenraum zwischen Innenrohr und Tragrohr vorzusehen. Die Aufgaben eines solchen Zwischenraumes sind:

- das Ableiten von Abgasen, die infolge von Diffusion oder Überdruck durch das Innenrohr dorthin gelangen;
- die Reduzierung des Partialdampfdruckes des Schwefeloxides in den Abgasen, die durch das Innenrohr in diesen Raum gelangt sind. Dadurch wird der Säuretaupunkt abgesenkt und die Ablagerung von Säure auf empfindlichen Oberflächen reduziert;
- den Zugang in einen freien Raum mit ausreichender Größe zu Instandhaltungs- und Inspektionszwecken zu ermöglichen.

Die Belüftung muss jederzeit wirksam sein. Wenn ein begehbare Zwischenraum vorgesehen ist, ist seine Wirksamkeit durch thermische und strömungstechnische Berechnungen nachzuweisen.

Für den vertikalen Durchgang der Luft ist ein freier Weg vorzusehen, entweder über die gesamte Höhe oder abschnittsweise. Das erfordert ausreichend bemessene Öffnungen in den Konsolen und Platten, die die einzelnen Abschnitte des Innenrohrs tragen, ebenso im Tragrohr.

4.6 Schutzschichten

Im Allgemeinen müssen Schornsteine gegen Korrosion oder chemische Beanspruchungen durch Schutzschichten geschützt sein. Es ist zwischen Beanspruchungen durch Abgase und Beanspruchungen durch Umweltbedingungen zu unterscheiden.

Beanspruchung durch Abgase tritt auf

- an der inneren Oberfläche des Abgas führenden Rohres;
- an der äußeren Oberfläche des Schornsteines und den Besteigeinrichtungen wie Leitern, Bühnen und deren Halterungen, die in der Abgasfahne liegen;
- an allen äußeren Oberflächen, die den Abgasen benachbarter Schornsteine ausgesetzt sind.

Unter Berücksichtigung des vorgesehenen Verwendungszweckes müssen Schutzschichten chemisch und thermisch beständig, undurchlässig in Bezug auf Flüssigkeiten und ausreichend beständig gegen Diffusion und Alterung sein.

4.7 Gründung

Die Gründung muss gegen thermische und chemische Beanspruchungen geschützt werden. Wenn Kondensatbildung zu erwarten ist, muss die Oberfläche der Gründung geneigt sein und mit einer Beschichtung versehen sein, die säurebeständig und undurchlässig in Bezug auf Flüssigkeiten ist.

Es kann zweckmäßig sein, einen Raum zwischen Innenrohr und dem Fundament vorzusehen und so auszulegen, dass dieser Raum begangen und belüftet werden kann.

4.8 Ausrüstung

4.8.1 Besteigeinrichtungen

Schornsteine von mehr als 5 m Höhe über einer baulichen Zugangsebene (z. B. Dach eines angrenzenden Gebäudes) müssen von dort bis zum Kopf mit einer Besteigeinrichtung versehen sein, um Inspektionen und Instandhaltung insbesondere der folgenden Einrichtungen zu ermöglichen:

- Warnleuchten für die Luftfahrt, falls vorhanden (siehe 4.8.3);
- Instrumentierung (Thermoelemente, Abgasanalysatoren, Trübungsmessgeräte, Druckmessgeräte usw.), falls vorhanden (siehe Abschnitt 8);
- Blitzschutzsystem, falls vorhanden (siehe 4.8.2);
- Mündungsabdeckung.

Die Besteigeinrichtung muss jedoch auch die Inspektion anderer kritischer Teile ermöglichen, wie z. B.:

- außerhalb des Tragrohres: Eine eingebaute Vorrichtung zur Führung eines Aufzuges kann zweckmäßig sein, hauptsächlich im oberen Teil des Schornsteines, wo eine örtlich stärkere chemische Beanspruchung auftritt und wo ein Flugwarnanstrich als Tageskennzeichnung erforderlich werden kann (siehe 4.8.3);
- Rauchgaseinführungen;
- Drainagesystem, falls vorhanden;
- Schwingungsdämpfer;
- Montagestöße.

Die Besteigeinrichtung muss bei Schornsteinen ohne begehbaren Zwischenraum auf der äußeren Tragrohr-oberfläche und im Falle von Schornsteinen mit begehbarem Zwischenraum vorzugsweise auf der Innenseite des Tragrohres angebracht werden. Sie kann aus fest montierten Steigleitern oder Steigedübeln, an denen Leitern befestigt werden können, bestehen.

Im Falle von hohen und wichtigen Schornsteinen kann die Besteigeinrichtung einen Aufzug (üblicherweise mit Zahnradantrieb) enthalten.

Im Inneren von Abgas führenden Rohren sind im Falle chemischer Beanspruchung keine dauerhaft angebrachten Besteigeinrichtungen zulässig.

4.8.2 Blitzschutz

In der Regel müssen Schornsteine mit einem Blitzschutzsystem ausgestattet sein und alle Metallteile des Bauwerks (Leitern, Bühnen, stählerne Mündungsabdeckungen usw.) sind mit den Ableitern zu verbinden. Stahlschornsteine können jedoch als durchgehende Metallkonstruktionen betrachtet und folglich als ihr eigenes Blitzschutzsystem behandelt werden. Im Falle von Stahlschornsteinen, die nicht durchgehend leitend sind, sind zusätzliche ausreichende Maßnahmen vorzusehen.

Die Erdung der Blitzschutzanlage sollte aus Metallstäben oder Metallbändern oder einer Kombination von beiden bestehen.

Der Punkt, an dem das Erdungsband mit dem Schornstein verbunden ist, sollte zugänglich sein.

Durchdringt der Schornstein ein Gebäude, so kann er an diesem Punkt geerdet werden, indem man ihn mit dem Blitzschutz des Gebäudes verbindet.

Bei abgespannten Schornsteinen müssen die oberen Enden der Abspannseile leitend mit dem Schornstein verbunden werden, die unteren Enden sind zu erden.

Ein abgestützter Schornstein ist leitend mit seinen Abstützungen zu verbinden. Wenn horizontale oder vertikale Bewegungen zwischen den Abstützungen und dem Schornstein möglich sind, sind Dehnungsmöglichkeiten vorzusehen.

In Gebieten, in denen im Untergrund hohe Temperaturen auftreten können, z. B. in der Nachbarschaft von Ziegelbrennöfen, sollten die Erdungsstäbe oder Erdungsbänder in einem solchen Abstand vom Schornstein angeordnet werden, wo der Boden üblicherweise nicht mehr austrocknet.

Für einen Schornstein, der auf gewachsenem Fels steht, sind besondere Blitzschutzmaßnahmen erforderlich und es sollte der Rat von Experten eingeholt werden.

4.8.3 Flugsicherungssystem

Wenn von den örtlichen Behörden der Zivil- oder Militärluffahrt verlangt, müssen Schornsteine mit Flughindernisbefeuerng oder Flugwarnanstrich als Tageskennzeichnung oder beiden Einrichtungen ausgestattet werden. Tageskennzeichnungen sind z. B. der Anstrich des oberen Teiles oder auch der gesamten Höhe. Ein Farbanstrich, besonders des oberen Teiles, muss einen ausreichenden chemischen Schutz des Bauwerks garantieren.

Im Falle von Schornsteinen ohne begehbaren Zwischenraum sollten die Warnleuchten an dem Geländer der Umgangsbühnen angebracht werden; wenn keine Bühnen vorgesehen sind, sollten die Leuchten am Tragrohr befestigt werden. Für Schornsteine mit begehbarem Zwischenraum sollten die Warnleuchten so auf der Außenseite des Tragrohres angeordnet werden, dass sie von inneren Bühnen aus durch Öffnungen zugänglich sind.

4.8.4 Zusätzliche Ausrüstungen

Es kann erforderlich werden, weitere Einrichtungen vorzusehen, wie z. B.:

- Telefonanlage;
- chemische Waschanlage;
- Kräne und Aufzüge zum Heben von Bauteilen und Baugeräten;
- Drainagesystem sowohl für Regenwasser als auch zum Abführen möglichen Kondensats aus dem Innenrohr von den betreffenden Ebenen zum Abwassersystem am Boden;
- Zugangs- und Inspektionsöffnungen;
- Schwingungsdämpfer.

5 Anforderungen an die Berechnung und Bemessung

5.1 Grundlegende Berechnungsannahmen

Die folgenden grundlegenden Berechnungsannahmen entsprechen EN 1990. Sie sind analog auf Materialien anzuwenden, die in den betreffenden Europäischen Normen nicht behandelt werden.

Schornsteine sind hinsichtlich Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sowohl im endgültigen Zustand als auch während des Bauzustandes zu berechnen und zu bemessen. Dies schließt den Nachweis der Widerstände und der Lagesicherheit bezüglich Kippen ein.

Sofern in den folgenden Abschnitten nichts anderes angegeben ist, ist auf die einschlägigen Grundnormen der Bautechnik, besonders auf die betreffenden Eurocodes Bezug zu nehmen.

Die Theorie der Grenzzustände ist anzuwenden.

Die Grenzzustände werden eingeteilt in:

- Grenzzustände der Tragfähigkeit;
- Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit darf der Bemessungswert der Beanspruchungen infolge Einwirkung, E_d , wie z. B. Schnittkräfte, Momente, Spannungen oder Dehnungen, den zugehörigen Bemessungswert des Widerstandes, R_d , nicht überschreiten.

$$E_d \leq R_d$$

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist nachzuweisen, dass

$$E_d \leq C_d$$

Dabei ist

- E_d der Bemessungswert der Beanspruchung infolge Einwirkungen, z. B. Auslenkung;
- C_d ein Nennwert bestimmter Tragwerkseigenschaften hinsichtlich der im Nachweis zu berücksichtigenden Anforderungen.

Die Bemessungswerte der Einwirkungen werden ermittelt aus den charakteristischen Werten der Einwirkungen nach 5.2 multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F .

Die Bemessungswerte der Widerstände R_d dürfen aus den charakteristischen Werten der maßgebenden Tragwerkseigenschaften, wie Werkstoffeigenschaften oder geometrische Größen unter Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes γ_M berechnet werden.

Einflüsse nach Theorie II. Ordnung sind zu berücksichtigen, wenn sich die maßgebenden Momente oder Schnittkräfte infolge der nach Theorie I. Ordnung ermittelten Auslenkungen um mehr als 10 % erhöhen.

5.2 Einwirkungen

5.2.1 Allgemeines

Die folgenden Einwirkungen sind bei der Berechnung und Bemessung von Schornsteinen zu berücksichtigen:

- ständige Einwirkungen;
- veränderliche Einwirkungen
 - i) Nutzlasten;
 - ii) Windlasten;
 - iii) Innendruck;
 - iv) Wärmeeinwirkungen;
- außergewöhnliche Einwirkungen:
 - v) Erdbeben;
 - vi) Explosionen und Implosionen;
 - vii) Anprall.

5.2.2 Ständige Einwirkungen

Die ständigen Einwirkungen müssen die angenommenen Eigenlasten aller ständig vorhandenen Bauteile und Elemente wie Armaturen, Dämmung, Staub, Asche, vorhandene und künftige Beschichtungen und sonstige Lasten enthalten. Die Eigenlasten sind nach EN 1991-1-1 zu bestimmen.

Maximale und minimale ständige Einwirkungen müssen für die Ermittlung der Beanspruchung bestimmt werden, wobei die verschiedenen Bauzustände zu berücksichtigen sind.

5.2.3 Veränderliche Einwirkungen

5.2.3.1 Nutzlasten

Der charakteristische Wert der Nutzlasten für die Berechnung und Bemessung der Bühnen ist mit 2 kN/m^2 anzunehmen, es sei denn, dass die tatsächlichen Bedingungen möglicherweise größere Lasten ergeben.

5.2.3.2 Windlasten

5.2.3.2.1 Allgemeines

Windlasten wirken auf die gesamte äußere Oberfläche eines Schornsteines und auf die Anbauteile. Neben den Widerstandskräften infolge des böigen Windes, die im Allgemeinen in Windrichtung wirken, können Lasten infolge Wirbelablösung Querschwingungen eines Schornsteines verursachen.

Andere Windwirkungen, z. B. infolge ungleichförmiger Winddruckverteilung oder infolge von gegenseitiger Beeinflussung (Interferenz), müssen berücksichtigt werden, wenn sie von Bedeutung sind.

Die oben erwähnten Windlasten sind im Wesentlichen dynamischer Art. Die Windlasten auf schlanke verformungswillige Bauwerke, wie Schornsteine, können nur durch eine dynamische Berechnung oder die Anwendung statischer Ersatzlasten bestimmt werden. Verfahren für die Ermittlung dieser dynamischen Windlasten werden in EN 1991-1-4 gegeben.

5.2.3.2.2 Windlasten in Windrichtung

Windlasten in Windrichtung sind nach EN 1991-1-4 ausgehend von der Grundwindgeschwindigkeit v_b , für den betreffenden Standort und einer statistischen Wiederkehrperiode von 50 Jahren, sowie mit dem Wert 1,0 für beide Beiwerte c_{DIR} und c_{SEASON} zu bestimmen.

Orographische Einflüsse auf die Windgeschwindigkeit, z. B. bei Schornsteinen an exponierten Standorten, wie Hügel oder nahe gelegenen Böschungen in sonst relativ ebenem Gelände, müssen berücksichtigt werden.

Der Einfluss der Geländerauigkeit auf die Windgeschwindigkeit ist zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, nur die Kategorien 0, I und II nach EN 1991-1-4:2005, Tabelle 4.1 zu verwenden.

Aerodynamische Kraftbeiwerte c_F für Schornsteine mit Querschnitten, die von den in EN 1991-1-4 angegebenen abweichen, dürfen durch Windkanalversuche bestimmt werden, wobei die Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit mit der Höhe und die Turbulenz entsprechend den Gegebenheiten des Geländes am Standort berücksichtigt werden müssen, oder sie dürfen aus entsprechenden Veröffentlichungen, die auf derartigen Versuchen beruhen, entnommen werden.

Schwingungswirkungen, die durch den böigen Wind verursacht werden, sind in nach EN 1991-1-4 zu berücksichtigen.

5.2.3.2.3 Wirbelablösung

Schornsteine können zu Schwingungen durch Wirbelablösungen angeregt werden. Verfahren zur Berechnung der Schwingungsamplituden sind in EN 1991-1-4 angegeben.

Beanspruchungen durch Wirbelablösungen brauchen bei Schornsteinen, deren Scruton-Zahl den Wert 25 übersteigt, nicht berücksichtigt zu werden (zur Bestimmung der Scruton-Zahl siehe EN 1991-1-4). Bei Schornsteinen in Reihen- oder Gruppenanordnung ist dieser Wert nicht anwendbar.

5.2.3.2.4 Sonstige Windwirkungen

Eine ungleichförmige Winddruckverteilung über den Umfang eines Kreiszyllinders erzeugt Biegemomente in vertikalen Schnitten des Tragrohres. Der Bemessungswert M_d des größten positiven als auch negativen Biegemomentes darf mit der folgenden Gleichung errechnet werden:

$$M_d = \pm c_M \times q_d(z) \times d(z)^2 \quad (1)$$

Dabei ist

$q_d(z)$ Bemessungswert des Staudruckes in Höhe z des Schornsteines;

$d(z)$ Durchmesser des Querschnittes in Höhe z des Schornsteines;

$c_M = 0,125$ für $R_e \leq 2 \times 10^6$;

$c_M = 0,095$ für $R_e \geq 10^7$

ANMERKUNG Zwischenwerte für die c_M Werte dürfen interpoliert werden);

R_e ist die Reynolds-Zahl nach EN 1991-1-4.

Infolge der Anregung durch Wirbel können querschnittsverformende Schwingungen des Tragrohres besonders in der Nähe des Schornsteinkopfes auftreten. Zur Berechnung dieser Schwingungen siehe EN 1991-1-4.

Sonstige in der Nähe liegende Bauwerke können Interferenzschwingungen verursachen. Dies gilt hauptsächlich für Schornsteine, die in einer Reihe oder einer Gruppe angeordnet sind. Berechnungsverfahren für einige Anordnungen werden in EN 1991-1-4 gegeben. In anderen Fällen können Windkanalversuche erforderlich sein.

5.2.3.3 Innendruck

Unterdruck und Überdruck sind als Einwirkungen zu berücksichtigen.

5.2.3.4 Wärmeeinwirkungen

Beanspruchungen aus Wärmeeinwirkungen in Innenrohr und Tragrohr infolge von Temperaturdifferenzen zwischen innerer und äußerer Oberfläche der betreffenden Wände sind bei maximaler Abgastemperatur und bei niedrigster Außentemperatur, die am Standort unter Berücksichtigung einer statistischen Wiederkehrperiode von 50 Jahren zu erwarten ist, zu bestimmen.

Zum Nachweis der Wärmebeständigkeit von Baustoffen ist die maximale Außentemperatur, die am Standort unter Berücksichtigung einer statistischen Wiederkehrperiode von 50 Jahren zu erwarten ist, anzunehmen.

Über den Umfang veränderliche Temperaturen infolge ungleichmäßiger Abgasströmung müssen berücksichtigt werden.

Zusätzliche Auswirkungen können durch instationäre Wärmeströmung verursacht werden.

Wenn ein Schornstein oder Schornsteinbauteile an einer Verformung zufolge unterschiedlicher Dehnung gehindert werden, müssen die daraus resultierenden Spannungen berücksichtigt werden. Diese Spannungen können hoch sein, wenn ein Innenrohr oder ein einzelner Schornstein ohne Innenrohr Abgase aus zwei oder mehr Quellen mit deutlich unterschiedlichen Temperaturen führt oder wenn eine einseitig eintretende Quelle Abgase mit sehr hohen Temperaturen führt. Zusätzlich werden durch die resultierenden Temperaturunterschiede Wärmespannungen 2. Ordnung hervorgerufen. Typische Fälle solcher Verformungsbehinderung sind bei bestimmten Innenrohren und auch in abgestützten und abgespannten Schornsteinen zu finden.

5.2.4 Außergewöhnliche Einwirkungen

5.2.4.1 Erdbeben

Einwirkungen aus Erdbeben sind nach EN 1998-6 zu ermitteln.

ANMERKUNG Einwirkungen aus Erdbeben sind im Allgemeinen für Stahlschornsteine nicht maßgebend.

5.2.4.2 Explosionen und Implosionen

Explosionen im Inneren eines Schornsteins können durch das Vorhandensein von Ruß oder explosiven Abgasen im Schornstein entstehen. Die Möglichkeit von Explosionen innerhalb eines Schornsteines muss insbesondere in Fällen, in denen Abgase aus der Verbrennung gasförmiger Stoffe herrühren, in Betracht gezogen werden.

Der durch Implosionen verursachte Druck (plötzliche Unterbrechung des Abgasstromes) ist nach A.7.7 zu ermitteln.

Mögliche Einwirkungen aus Explosionen, die außerhalb des Schornsteines auftreten, sind nur in Sonderfällen zu berücksichtigen.

5.2.4.3 Anprall

Wenn Einwirkungen aus Anprall nicht ausgeschlossen werden können, sind diese zu berücksichtigen.

5.3 Imperfektionen

Einflüsse, die sich aus Imperfektionen ergeben, müssen berücksichtigt werden.

Sofern keine detaillierten Untersuchungen über die Auswirkungen von Sonneneinstrahlung und Bauungenauigkeiten vorgenommen werden, dürfen diese Effekte zusammen durch die Annahme einer gegenüber der Senkrechten um 1/500 geneigten Schornsteinachse berücksichtigt werden.

Zusätzlich zu berücksichtigen sind vorhersehbare Abweichungen des Bauwerks gegenüber der Senkrechten, die sich aus ungleichmäßiger Setzung der Gründungen oder aus Änderungen der Stützbedingungen ergeben, z. B. bei Bergsenkungen.

5.4 Gründung

Die Fuge zwischen Fundament und Erdreich darf sich unter Einwirkung des charakteristischen Wertes der Windlast nicht weiter als bis zur Schwerachse der Fundamentplatte öffnen.

Temperaturdifferenzen zwischen Tragrohr und Fundament infolge unterschiedlicher atmosphärischer Einwirkungen und unterschiedlicher thermischer Trägheit müssen berücksichtigt werden.

5.5 Innenrohr

Das Innenrohr muss in der Lage sein, sich sowohl in vertikaler als auch horizontaler Richtung ohne nachteilige Einflüsse auf Tragrohr, Abstützung und das Innenrohr selbst auszudehnen. Falls ein Schornstein mehr als ein Innenrohr hat, müssen die einzelnen Innenrohre in der Lage sein, sich voneinander unabhängig, sowohl vertikal als auch horizontal, auszudehnen.

Der Einfluss von Verformungen der Innenrohrabstützung auf die Verschiebungen des Innenrohres ist zu berücksichtigen.

6 Tätigkeiten auf der Baustelle

Die Bauarbeiten dürfen nur nach Fertigstellung der erforderlichen schriftlichen und zeichnerischen Projektdokumente, in denen alle wesentlichen tragenden und nichttragenden Teile des Schornsteins beschrieben sind, begonnen werden.

Die Bauarbeiten dürfen nur von Firmen ausgeführt werden, die über eine sachverständige Leitung und erfahrenes Personal verfügen, die nachweislich in der Lage sind, derartige Arbeiten erfolgreich auszuführen.

Für Stahlschornsteine gilt:

- Der Hersteller muss eine Bescheinigung bezüglich Übereinstimmung mit den Anforderungen nach EN ISO 3843-2, EN ISO 14731 und EN ISO 15607 besitzen. Die Schweißer müssen nach EN 287-1 und/oder EN 1418 geprüft sein.
- Es sind anerkannte Schweißverfahren nach EN ISO 15609-1, EN ISO 15610, EN ISO 15611, EN ISO 15612, EN ISO 15613, EN ISO 15614-1, EN ISO 15614-2 anzuwenden.
- Alle Stumpfschweißnähte müssen vollständig durchgeschweißt und durchgängig sein.
- Alle Schweißungen müssen EN 1993-3-2 entsprechen.

Weitere Informationen über Tätigkeiten auf der Baustelle werden in Anhang B gegeben.

7 Zustandsüberwachung und Instandhaltung

Schornsteine müssen in regelmäßigen Abständen von einem Fachmann überprüft werden. Die Abstände zwischen zwei Überprüfungen sollten möglichst nicht mehr als 2 Jahre betragen. Ein schriftliches Protokoll muss Empfehlungen für Instandhaltung und Reparaturen enthalten.

8 Messeinrichtungen

Falls erforderlich, muss der Schornstein so konstruiert sein, dass geeignete Messeinrichtungen, die der Umweltüberwachung dienen, ständig oder gelegentlich eingebaut werden können. Die Überwachung kann betreffen:

- Druckbedingungen;
- Strömungsgeschwindigkeit der Abgase;
- Abgastemperatur;
- Sauerstoff;

- Stickoxid;
- Schwefeloxid;
- Schwebstoffe.

Bühnen mit ausreichend Raum für den Zugang zu den Einrichtungen und für Personal sollten vorgesehen werden. Diese Bühnen sollten sich in einer Schornsteinhöhe innerhalb eines Bereiches vom 5fachen Durchmesser oberhalb der Einführung der Züge und innerhalb eines Bereiches vom 3fachen Durchmesser unterhalb der Mündung des Schornsteines befinden.

Die Bühnen sollten einen ausreichend bemessenen und bequemen vertikalen Zugang haben, möglichst über Treppen oder einen Aufzug.

Bühnen für Messeinrichtungen sollten elektrische Anschlüsse und Beleuchtung haben. Druckluft, Sicherheitsausrüstung und Telefonanschluss sind zweckmäßig.

Prüföffnungen mit Dichtungen und abgedeckte Öffnungen für das Anbringen von Messeinrichtungen sollten vorgesehen werden. Wo eine ständige Überwachung erforderlich ist, sollten geeignete Einrichtungen vorgesehen werden, die eine Informationsübertragung zur Steuerzentrale ermöglichen.

Anhang A (normativ)

Strömungstechnische Berechnung

A.1 Grundzüge des Berechnungsverfahrens

Die strömungstechnische Berechnung dient der Ermittlung der Druckverhältnisse im Abgas führenden Rohr, von der Abgaseinführung bis zur Schornsteinmündung. Dies erfordert die Berechnung des Temperaturverlaufes im Abgas führenden Rohr. Bei über die Schornsteinhöhe veränderlichen Größen sollte die Berechnung abschnittsweise durchgeführt werden.

A.2 Bauartkennwerte

A.2.1 Rauigkeit

Die mittlere Rauigkeit, r , der abgasberührten Oberflächen üblicher Baustoffe darf Tabelle A.3 entnommen werden. Für andere Baustoffe ist die mittlere Rauigkeit nachzuweisen, z. B. durch anerkanntes Schrifttum oder Messungen.

A.2.2 Wärmedurchlasswiderstand

Der Wärmedurchlasswiderstand der Innenrohr- und Tragrohrwände sowie der Isolierung ist unter Berücksichtigung der Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Schichten zu berechnen. Der Wärmedurchlasswiderstand von ruhenden Luftschichten ist in Tabelle A.5 angegeben.

Der Wärmedurchlasswiderstand, $1/\Lambda$, in $\text{m}^2 \text{K/W}$, errechnet sich näherungsweise aus Gleichung (A.1):

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right) = y \times \sum_n \left[\frac{D_h}{2 \times \lambda_n} \times \ln \left(\frac{D_{h,n+1}}{D_{h,n}} \right) \right] \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

y der Formbeiwert

= 1,0 für runde und ovale Querschnitte,

= 1,1 für quadratische und für rechteckige Querschnitte bis zu einem Seitenverhältnis von 1:1,5;

D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;

$D_{h,n}$ der hydraulische Durchmesser, bezogen auf die Innenseite der n-ten Schicht des Wandaufbaus, in m;

λ_n die Wärmeleitfähigkeit des Baustoffes der n-ten Schicht des Wandaufbaus bei Betriebstemperatur, in W/mK , siehe Tabelle 1.

Die Werte der Wärmeleitfähigkeit üblicher Baustoffe sind in Tabelle 1 angegeben.

A.3 Grundwerte für die Berechnung

A.3.1 Lufttemperaturen

Der Berechnung ist die im Betrieb des Schornsteines zu erwartende höchste und niedrigste Temperatur zugrunde zu legen.

A.3.2 Außenluftdruck

Der Außenluftdruck, p_L , in Pa, errechnet sich aus Gleichung (A.2):

$$p_L = p_{L0} \times e^{(-g \times z) / (R_L \times T_L)} \quad (\text{A.2})$$

Dabei ist

p_{L0} der Außenluftdruck auf Meereshöhe = 101 325 Pa bei 15 °C;

g die Erdbeschleunigung = 9,81 m/s²;

R_L die Gaskonstante der Luft, in J/kgK, siehe Tabelle A.1;

T_L die Außenlufttemperatur, in K;

z die geodätische Höhe über Meereshöhe auf halber Schornsteinhöhe, in m.

A.3.3 Abgas

Das Abgas setzt sich im Wesentlichen aus den in Tabelle A.1 angegebenen Komponenten zusammen. Tabelle A.1 enthält die für weitere Berechnungen erforderlichen Werte.

Tabelle A.1 — Gasdaten

Art des Gases	Stickstoff (N ₂)	Kohlendioxid (CO ₂)	Sauerstoff (O ₂)	Wasser (H ₂ O)	Schwefel- dioxid (SO ₂)	Luft, trocken
molare Masse M kg/kmol	28,0134	44,0098	31,9988	18,0153	64,0590	28,9627
molares Normvolumen V_{mn} m ³ /kmol	22,403	22,261	22,392	22,414	21,856	22,400
Normdichte ρ kg/m ³	1,2504	1,9770	1,4290	0,8038	2,9310	1,2930
Gaskonstante R J/(kg · K)	296,66	187,63	259,58	461,50	126,56	287,10
dynamische Viskosität η 10 ⁻⁵ Pa·s	1,667	1,370	1,926	0,922	1,170	1,724
Sutherland-Konstante C	102,0	270,0	126,0	641,0	462,0	—
kritische Temperatur T_k K	126,2	304,2	154,6	647,3	430,8	132,5
spezifische Wärmekapazität c_p J/(kg · K)	1 038,7	816,5	914,8	1 492,0	1 740,0	1 004,0
Wärmeleitfähigkeit λ W/(m · K)	0,024	0,015	0,024	0,033	0,212 flüssig	0,024

A.3.4 Gaskonstante

Die Gaskonstante des Abgases, R , errechnet sich aus Gleichung (A.3):

$$R = \sum X_i \times R_i \quad (\text{A.3})$$

Dabei ist

X_i der Massenanteil der Komponente i ;

R_i die Gaskonstante der Komponente i nach Tabelle A.1.

Der Wert R für einige wichtige Brennstoffe bei planmäßigem Betrieb ohne Kondensation ist in Tabelle A.2 angegeben.

Tabelle A.2 — Gasdaten für verschiedene Brennstoffe

Brennstoff	Kohlenstoffdioxid (CO ₂) % des Volumens	Wasser (H ₂) % des Volumens	Gas konstante R J/(kg·K)	spezifische Wärmekapazität c_p J/(kg·K)	Wassertaupunkt T_{WDP} °C
Erdgas H	12,0	18,5	299,4	1 101	58,7
Erdgas L	11,8	18,3	299,2	1 099	58,4
Heizöl EL	15,4	13,3	287,6	1 060	51,8

A.3.5 Dichte der Außenluft

Die Dichte der Außenluft, ρ_L , in kg/m³, errechnet sich aus Gleichung (A.4):

$$\rho_L = \frac{p_L}{R_L \times T_L} \quad \text{in kg/m}^3 \quad (\text{A.4})$$

Dabei ist

p_L der Außenluftdruck, in Pa, siehe A.3.2;

T_L die Außenlufttemperatur, in K;

R_L die Gaskonstante der Luft, in J/kgK, siehe Tabelle A.1.

A.3.6 Spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität, c_p , des Abgases errechnet sich aus Gleichung (A.5):

$$c_p = \sum X_i \times c_{pi} \quad (A.5)$$

Dabei ist

X_i der Massenanteil der Komponente i ;

c_{pi} die spezifische Wärmekapazität der Komponente i nach Tabelle A.1.

Der Wert c_p für die wichtigsten Brennstoffe bei planmäßigem Betrieb ohne Kondensation ist in Tabelle A.2 angegeben.

A.3.7 Korrekturfaktor für Temperatur

Der Korrekturfaktor, S_H , in Gleichung (A.9) dient zur Berücksichtigung des Einflusses der fehlenden Temperaturbeherrschung im Abgas führenden Rohr auf die Abkühlung der Abgase und damit auf den Ruhedruck. Damit auch bei einer instationären Betriebsweise, die z. B. bei jeder Feuerung mit EIN/AUS-Regelung vorliegt, eine Berechnung des Querschnittes des Abgas führenden Rohres mit den für stationäre Betriebsverhältnisse abgeleiteten Formeln möglich ist, müssen der für stationäre Betriebsverhältnisse ermittelte Wärmedurchlasswiderstand des Schornsteins sowie der Wärmeübergangskoeffizient an der Außenfläche des Schornsteins korrigiert werden.

Der Korrekturfaktor hängt im Wesentlichen von der Betriebsweise der Feuerstätte und der Bauweise des Schornsteins ab. Sofern keine genaueren Untersuchungen durchgeführt werden, darf bei Feuerungen mit EIN/AUS-Regelungen der Korrekturfaktor S_H mit 0,5 eingesetzt werden. Bei Dauerbetrieb ist $S_H = 1,0$.

A.3.8 Strömungstechnische Sicherheitszahl

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

- Abweichungen von den angenommenen Widerstandszahlen ζ ;
- Abweichungen vom angenommenen Luftüberschuss in den Abgasen;
- Nebenluftzufuhr zum Abgas im Verbindungsstück oder Abgas führendem Rohr;
- Abweichung von der zugrunde gelegten mittleren Rauigkeit der Innenwand des Abgas führenden Rohres;
- Abweichung vom zugrunde gelegten Wärmedurchlasswiderstand der Schornsteinwände;
- Maßabweichungen des Querschnittes des Abgas führenden Rohres;
- Abweichungen von den angenommenen atmosphärischen Einflüssen.

Die strömungstechnische Sicherheitszahl ist mit $S_E = 1,1$ anzunehmen.

A.4 Ermittlung der Temperaturen

A.4.1 Abgastemperaturen

Die mittlere Abgastemperatur, T_m , in K, errechnet sich aus Gleichung (A.6):

$$T_m = T_L + \frac{T_e - T_L}{K} \times (1 - e^{-K}) \quad (\text{A.6})$$

Die Abgastemperatur an der Schornsteinmündung, T_0 , in K, errechnet sich aus Gleichung (A.7):

$$T_0 = T_L + (T_e - T_L) \times e^{-K} \quad (\text{A.7})$$

Dabei ist in den Gleichungen (A.6) und (A.7)

T_L die Außenlufttemperatur, in K;

K die Abkühlzahl, siehe A.4.2;

T_e die Abgastemperatur am Schornsteineintritt, in K.

A.4.2 Abkühlzahl

Die Abkühlzahl, K , errechnet sich aus Gleichung (A.8):

$$K = \frac{U \times k \times H}{m \times c_p} \quad (\text{A.8})$$

Dabei ist

U der innere Umfang des Abgas führenden Rohres, in m;

k die Wärmedurchgangszahl bei den tatsächlichen Materialtemperaturen, in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, siehe A.4.3;

H die wirksame Schornsteinhöhe, in m;

m der Abgasmassenstrom, in kg/s;

c_p die spezifische Wärmekapazität des Abgases, in J/kgK , siehe A.3.6.

A.4.3 Wärmedurchgangszahl

Die Wärmedurchgangszahl, k , in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, errechnet sich aus Gleichung (A.9):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H \times \left[\left(\frac{1}{\lambda} \right) + \frac{D_h}{D_{ha} \times \alpha_a} \right]} \quad (\text{A.9})$$

Dabei ist

α_i der Wärmeübergangskoeffizient für die vom Abgas berührten Innenflächen, in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, siehe A.4.4;

α_a der Wärmeübergangskoeffizient für die äußere Tragrohroberfläche, in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, siehe Tabelle 2;

S_H der Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung, siehe A.3.7;

$1/\Lambda$ der Wärmedurchlasswiderstand, in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$, siehe A.2.2;

D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;

D_{ha} der hydraulische Durchmesser, bezogen auf die äußere Tragrohroberfläche, in m.

A.4.4 Wärmeübergangskoeffizient, innen

Der Wärmeübergangskoeffizient, α_i , in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, für die vom Abgas berührten Innenflächen errechnet sich aus Gleichung (A.10):

$$\alpha_i = \frac{\lambda_A \times Nu}{D_h} \quad (\text{A.10})$$

Dabei ist

λ_A die Wärmeleitfähigkeit des Abgases, in W/mK , siehe Gleichung (A.11);

Nu die Nusselt-Zahl, siehe Gleichung (A.12);

D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m.

Die Wärmeleitfähigkeit des Abgases, λ_A , ist von der mittleren Abgastemperatur, T_m , abhängig und errechnet sich mit ausreichender Genauigkeit aus Gleichung (A.11):

$$\lambda_A = 0,000\,455 + 0,000\,065 \times T_m \quad (\text{A.11})$$

Dabei ist

T_m die mittlere Abgastemperatur in K, siehe Gleichung (A.6).

Die über die Schornsteinhöhe gemittelte Nusselt-Zahl, Nu , errechnet sich aus Gleichung (A.12):

$$Nu = \left(\frac{\Psi}{\Psi_{\text{glatt}}} \right)^{0,67} \times 0,0214 \times (Re^{0,8} - 100) \times Pr^{0,4} \times \left[1 + \left(\frac{D_h}{H} \right)^{0,67} \right] \quad (\text{A.12})$$

Diese Gleichung gilt nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

$2\,300 < Re < 10\,000\,000$ und

$$\left(\frac{\Psi}{\Psi_{\text{glatt}}} \right) < 3 \text{ sowie}$$

$0,6 < Pr < 1,5$.

Dabei ist

Ψ die Rohrreibungszahl für hydraulisch raue Strömung, siehe A.7.4;

Ψ_{glatt} die Rohrreibungszahl für hydraulisch glatte Strömung ($r = 0$), siehe A.7.4;

Re die Reynolds-Zahl, siehe Gleichung (A.14);

Pr die Prandl-Zahl, siehe Gleichung (A.13);

D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;

H die wirksame Schornsteinhöhe, in m.

Die Prandl-Zahl, Pr , errechnet sich aus Gleichung (A.13):

$$Pr = \frac{\eta \times c_p}{\lambda_A} \quad (\text{A.13})$$

Die Reynolds-Zahl, Re , errechnet sich aus Gleichung (A.14):

$$Re = \frac{w_m \times D_h \times \rho_m}{\eta} \quad (\text{A.14})$$

Dabei ist in den Gleichungen (A.13) und (A.14)

w_m die mittlere Abgasgeschwindigkeit, in m/s, siehe A.6;

D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;

η die dynamische Viskosität, in Pa s, siehe Gleichung (A.16);

ρ_m die mittlere Dichte des Abgases, in kg/m³, siehe A.5;

c_p die spezifische Wärmekapazität des Abgases, in J/kgK, siehe A.3.6;

λ_A die Wärmeleitfähigkeit des Abgases, in W/mK, siehe Gleichung (A.11).

Die dynamische Viskosität, η_i , in Pa s, für das Einzelgas i bei der vorhandenen Temperatur errechnet sich aus Gleichung (A.15):

$$\eta_i = \eta_{0i} \times \sqrt{\frac{T}{273} \times \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}}} \quad (\text{A.15})$$

Dabei ist

η_{0i} die dynamische Viskosität bei 0 °C, in Pa s;

C die Sutherland-Konstante, siehe Tabelle A.1;

T die vorhandene Temperatur, in K.

Die dynamische Viskosität, η , in Pa s, für das Gasgemisch bei vorhandener Temperatur errechnet sich aus Gleichung (A.16):

$$\eta = \frac{Y_1 \times \sqrt{M_1 \times T_{k1}} \times \eta_1 + Y_2 \times \sqrt{M_2 \times T_{k2}} \times \eta_2 + \dots +}{Y_1 \times \sqrt{M_1 \times T_{k1}} + Y_2 \times \sqrt{M_2 \times T_{k2}} + \dots +} \quad (\text{A.16})$$

Dabei ist für das Einzelgas i :

η_i die dynamische Viskosität bei vorhandener Temperatur, in Pa s;

Y_i der Volumenanteil;

T_{ki} die kritische Temperatur, in K, siehe Tabelle A.1;

M_i die molare Masse, in kg/kmol, siehe Tabelle A.1.

A.5 Dichte des Abgases

Die mittlere Dichte des Abgases, ρ_m , in kg/m³, errechnet sich aus Gleichung (A.17):

$$\rho_m = \frac{P_L}{R \times T_m} \quad (\text{A.17})$$

Dabei ist

P_L der Außenluftdruck, in Pa, siehe A.3.2;

R die Gaskonstante des Abgases, in J/kgK, siehe A.3.4;

T_m die mittlere Abgastemperatur, in K, siehe Gleichung (A.6).

A.6 Abgasgeschwindigkeit

Die mittlere Abgasgeschwindigkeit, w_m , in m/s, errechnet sich aus Gleichung (A.18):

$$w_m = \frac{m}{A \times \rho_m} \quad (\text{A.18})$$

Dabei ist

m der Abgasmassenstrom, in kg/s;

A der lichte Querschnitt des Abgas führenden Rohres, in m²;

ρ_m die mittlere Dichte des Abgases, in kg/m³, siehe A.5.

A.7 Druck an der Abgaseinführung in den Schornstein

A.7.1 Berechnung des Druckes

Der Druck an der Abgaseinführung in den Schornstein, P_z , in Pa, errechnet sich aus Gleichung (A.19):

$$P_z = -P_H + P_R \quad (\text{A.19})$$

Dabei ist

P_H der Ruhedruck im Abgas führenden Rohr, in Pa, siehe A.7.2;

P_R der Widerstandsdruck im Abgas führenden Rohr, in Pa, siehe A.7.3.

A.7.2 Ruhedruck

Der Ruhedruck im Abgas führenden Rohr, P_H , in Pa, errechnet sich aus Gleichung (A.20):

$$P_H = H \times g \times (\rho_L - \rho_m) \quad (\text{A.20})$$

Dabei ist

- H die wirksame Schornsteinhöhe, in m;
- g die Erdbeschleunigung = 9,81 m/s²;
- ρ_L die Dichte der Außenluft, in kg/m³, siehe A.3.5;
- ρ_m die mittlere Dichte des Abgases, in kg/m³, siehe Abschnitt A.5.

A.7.3 Widerstandsdruck im Abgas führenden Rohr

Der Widerstandsdruck im Abgas führenden Rohr, P_R , in Pa, errechnet sich aus den Gleichungen (A.21) und (A.22):

$$P_R = S_E \times P_E + S_{EG} \times P_G \quad (\text{A.21})$$

$$P_E = \left(\psi \times \frac{H}{D_h} + \sum_n \zeta_n \right) \frac{\rho_m}{2} \times w_m^2 \quad (\text{A.22})$$

Dabei ist in den Gleichungen (A.21) und (A.22)

- P_E der Widerstandsdruck aus Reibung und Formwiderstand im Abgas führenden Rohr, in Pa;
- P_G die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung im Abgas führenden Rohr, in Pa, siehe A.7.6;
- S_E die strömungstechnische Sicherheitszahl, siehe A.3.8;
- S_{EG} die strömungstechnische Sicherheitszahl für Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung;
 - für $P_G \geq 0$ gilt $S_{EG} = S_E$
 - für $P_G < 0$ gilt $S_{EG} = 1,0$
- ψ die Rohrreibungszahl, siehe A.7.4;
- H die wirksame Schornsteinhöhe, in m;
- D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;
- ζ_n die Einzelwiderstandszahlen, siehe A.7.5;
- ρ_m die mittlere Dichte des Abgases, in kg/m³, siehe A.5;
- w_m die mittlere Abgasgeschwindigkeit, in m/s, siehe A.6.

A.7.4 Rohrreibungszahl

Die Rohrreibungszahl, ψ , errechnet sich für verschiedene Rauigkeiten mit ausreichender Genauigkeit aus Gleichung (A.23):

$$\frac{1}{\sqrt{\psi}} = -2 \times \log \left(\frac{2,51}{Re \times \sqrt{\psi}} + \frac{r}{D_h} \times 0,269 \right) \quad (\text{A.23})$$

Dabei ist

- r die Rauigkeit der Innenwand des Abgas führenden Rohres, in m, siehe Tabelle A.3;
- D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;
- Re die Reynoldszahl, siehe Gleichung (A.14).

A.7.5 Einzelwiderstandszahlen

Die Summe der Einzelwiderstandszahlen des Abgas führenden Rohres, $\Sigma \zeta_n$, ist abhängig von den Querschnitts- und Richtungsänderungen im Abgas führenden Rohr (siehe Tabelle A.4). Die Einzelwiderstandszahl für die Querschnittserweiterung an der Mündung des Schornsteins darf ebensowenig wie die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung an dieser Stelle berücksichtigt werden.

A.7.6 Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung

Die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung, P_G , in Pa, errechnet sich aus Gleichung (A.24):

$$P_G = \frac{\rho_2}{2} \times w_2^2 - \frac{\rho_1}{2} \times w_1^2 \quad (\text{A.24})$$

Dabei ist

ρ_1 die Dichte des Abgases vor der Geschwindigkeitsänderung, in kg/m^3 ;

ρ_2 die Dichte des Abgases nach der Geschwindigkeitsänderung, in kg/m^3 ;

w_1 die Abgasgeschwindigkeit vor der Geschwindigkeitsänderung, in m/s ;

w_2 die Abgasgeschwindigkeit nach der Geschwindigkeitsänderung, in m/s .

Für die Dichten und Geschwindigkeiten vor und nach einer Geschwindigkeitsänderung dürfen die Mittelwerte für die entsprechenden Abschnitte eingesetzt werden.

A.7.7 Durch plötzliche Unterbrechung des Abgasstromes hervorgerufener Druck (Implosion)

Eine plötzliche Unterbrechung des Abgasstromes verursacht, in Abhängigkeit von der Schließzeit, einen Unter- oder Überdruck.

Wenn die Schließzeit weniger als 1 s beträgt, ist der Wert nach Gleichung (A.25) zu ermitteln:

$$\Delta P_0 = \rho_m \times w_m \times c_s \text{ in Pa} \quad (\text{A.25})$$

Dabei ist

ρ_m die mittlere Dichte des Abgases in kg/m^3 , siehe A.5;

w_m die mittlere Abgasgeschwindigkeit, in m/s , siehe A.6;

c_s die Schallgeschwindigkeit im Abgas in m/s .

Wenn die Schließzeit mehr als 10 s beträgt, so kann der Druckunterschied vernachlässigt werden.

Wenn die Schließzeit mehr als 1 s, aber weniger als 10 s beträgt, ist eine genaue Überprüfung erforderlich oder es ist der Wert für eine Schließzeit von weniger als 1 s anzusetzen.

A.8 Mindestgeschwindigkeit

Um die Anwendbarkeit der in diesem Anhang genannten Gleichungen sicherzustellen, sollte eine Mindestgeschwindigkeit der Abgase an der Schornsteineinmündung eingehalten werden. Durch diese Mindestgeschwindigkeit, w_{\min} , in Meter durch Sekunde, wie sie in Gleichung (A.26) angegeben ist, wird ein Nebenlufteinbruch an der Schornsteinmündung begrenzt.

$$w_{\min} = f_g \times 4 \sqrt{\frac{A_M}{A_0}} \quad (\text{A.26})$$

Dabei ist

f_g der Bezugswert für die minimale Geschwindigkeit = 0,5 m/s;

A_M der lichte Querschnitt des Abgas führenden Rohres an der Mündung des Schornsteins, in m²;

A_0 die Bezugsgröße = 0,01 m².

Tabelle A.3 — Mittlere Rauigkeit der Baustoffe von Innenrohren

Werkstoffe der Innenrohre	Rauigkeit r^a m
Stahl, geschweißt	0,001
Aluminium	0,001
Glas, Kunststoff	0,001
Blech, gefalzt	0,002
Betonformstücke	0,002
Mauerwerk ^b	0,005
Wellblech	0,005
^a Diese Werte gelten nur bei sauberer Oberfläche. ^b Bei Radialsteinmauerwerk mit einer Fugendicke von weniger als 5 mm kann eine Rauigkeit von 0,002 m angenommen werden.	

Tabelle A.4 — Einzelwiderstandszahlen für einige Formen
 (Interpolationen zwischen den angegebenen Parametern sind zulässig)

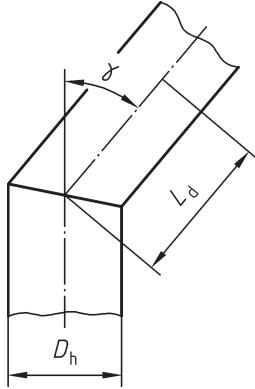
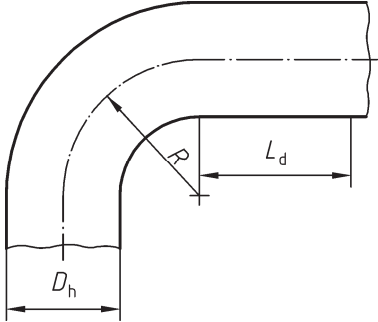
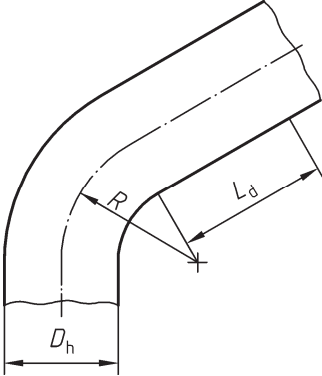
Lfd. Nr.	Formen	Geometrische Abmessungen	ζ-Werte	
			$L_d/D_h \geq 30$	$30 > L_d/D_h \geq 2$
1	Form eines gestreckten Winkels 	Winkel γ in °		
		10	0,1	0,1
		30	0,2	0,3
		45	0,3	0,4
		60	0,5	0,7
		90	1,2	1,6
2	Bild 90°-Bogen 	R / D_h		
		0,5	1,0	1,2
		0,75	0,4	0,5
		1,0	0,25	0,3
		1,5	0,2	0,2
		2,0	0,2	0,2
3	60°-Bogen 	R / D_h		
		0,5	0,6	0,6
		0,75	0,3	0,3
		1,0	0,2	0,2
		1,5	0,2	0,2
		2,0	0,1	0,1

Tabelle A.4 (fortgesetzt)

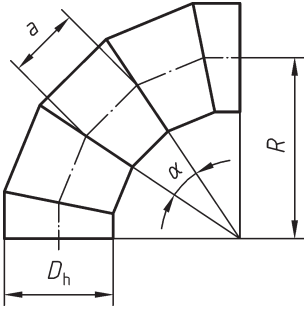
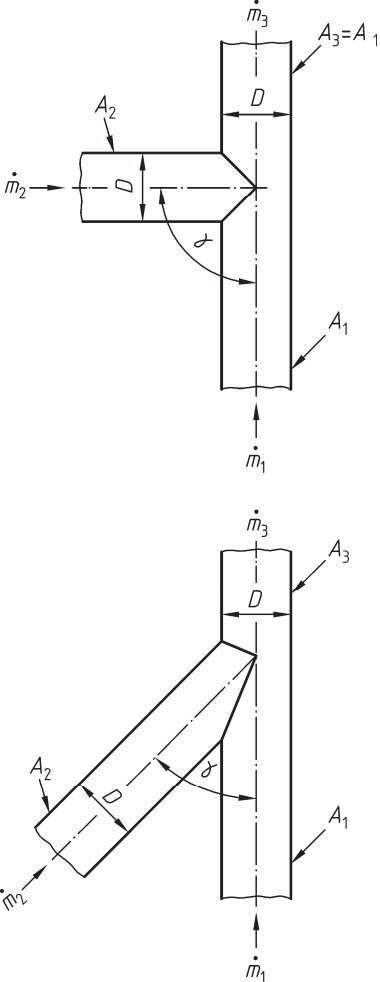
Lfd. Nr.	Formen	Geometrische Abmessungen	ζ-Werte			
4	90°-Umlenkung 	$a = 2 \cdot R \cdot \tan(\alpha/2)$	Anzahl der Segmente			
			2×45°	3×30°	4×22,5°	
		a / D_h	1,0	0,4	0,25	0,17
			1,5	0,3	0,18	0,13
			2,0	0,3	0,17	0,12
			3,0	0,35	0,19	0,13
5,0	0,4		0,20	0,15		
5	90°-Abzweig und 45°-Abzweig 		Massenstromverhältnis	ζ-Werte		
		$\gamma = 90^\circ$	m_2 / m_3	ζ_{2-3}	ζ_{1-3}	
		$A_3 / A_2 = 1,0$	0,0	-0,92	0,03	
			0,2	-0,38	0,20	
			0,4	0,10	0,35	
			0,6	0,53	0,47	
			0,8	0,89	0,56	
		1,0	1,20	0,62		
		$\gamma = 45^\circ$	m_2 / m_3	ζ_{2-3}	ζ_{1-3}	
		$A_3 / A_2 = 1,0$	0,0	-0,92	0,03	
0,2	-0,42		0,16			
0,4	-0,04		0,17			
0,6	0,22		0,06			
0,8	0,35		-0,18			
1,0	0,35	-0,53				
Gleichungen zur Berechnung der Einzelwiderstandszahlen an Verbindungsstellen $\zeta_{2-3} = -0,92 \left(1 - \frac{m_2}{m_3}\right)^2 - \left(\frac{m_2}{m_3}\right)^2 \left[1,2 \left(\frac{A_3}{A_2} \cos \gamma - 1\right) + 0,8 \left(1 - \left(\frac{A_3}{A_2}\right)^2\right) - \left(1 - \left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right) \times \frac{A_3}{A_2} \cos \gamma \right] + \left(2 - \left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right) \times \frac{m_2}{m_3} \left(1 - \frac{m_2}{m_3}\right)$ $\zeta_{1-3} = 0,03 \left(1 - \frac{m_2}{m_3}\right)^2 \times \left(\frac{m_2}{m_3}\right)^2 \left[1 + 1,62 \left(\frac{A_3}{A_2} \cos \gamma - 1\right) - 0,38 \left(1 - \left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right) \right] \times \left(2 - \left(\frac{A_3}{A_2}\right)^{-1}\right) \times \frac{m_2}{m_3} \left(1 - \frac{m_2}{m_3}\right)$						

Tabelle A.4 (fortgesetzt)

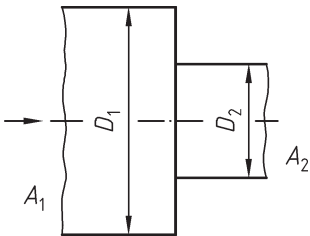
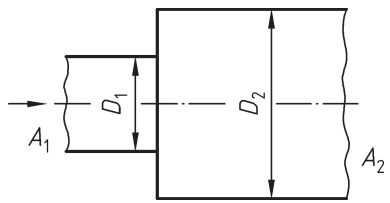
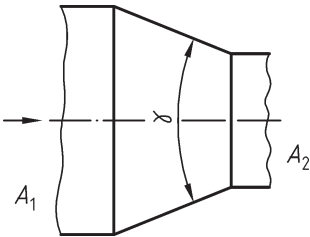
Lfd. Nr.	Formen	Geometrische Abmessungen	ζ-Werte		
			γ = 30°	γ = 60°	γ = 90°
6	Reduktionsstück, gerade Form 	A_2 / A_1 0,4 0,6 0,8	0,33 0,25 0,15 bei abgerundeter Einlaufkante $\zeta = 0$		
7	Erweiterungsstück, gerade Form 	A_2 / A_1 0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0	1,0 0,7 0,4 0,2 0,1 0		
8	Reduktionsstück, Winkelform 	A_2 / A_1 0,10 0,25 0,45 1,0	γ = 30°	γ = 60°	γ = 90°
			0,05	0,08	0,19
		0,25	0,04	0,07	0,17
		0,45	0,05	0,07	0,14
		1,0	0,0	0,0	0,0
Bezugsgeschwindigkeit: w_2					

Tabelle A.5 — Wärmedurchlasswiderstand $(1/\lambda)_n$, in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$, von ruhenden Luftschichten (n-te Schicht des Wandaufbaus, konzentrischer Luftspalt, vertikal angeordnet), abhängig von der Schichtdicke d und der Oberflächentemperatur T der Wärme abgebenden Wand

T °C	d_n m				
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
40	0,123	0,147	0,153	0,152	0,150
100	0,087	0,101	0,101	0,100	0,099
150	0,065	0,075	0,075	0,074	0,074
200	0,050	0,055	0,055	0,055	0,054

ANMERKUNG Die effektive Wärmeleitfähigkeit λ_n , in W/mK , einer ruhenden Luftschicht (n-te Schicht des Wandaufbaus) errechnet sich aus den oben angegebenen Werten mit folgender Gleichung:

$$\lambda_n = y \frac{D_{h,n}}{2 \left(\frac{1}{\lambda} \right)_n} \times \ln \left(\frac{D_{h,n} + 2 d_n}{D_{h,n}} \right)$$

Dabei ist

y der Formbeiwert:

= 1,0 für runde und ovale Querschnitte

= 1,1 für quadratische und für rechteckige Querschnitte bis zu einem Seitenverhältnis von 1:1,5;

$D_{h,n}$ der innere hydraulische Durchmesser der Luftschicht, in m;

$\left(\frac{1}{\lambda} \right)_n$ der Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht, in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$; siehe oben angegebene Werte;

d_n die Dicke der Luftschicht, in m.

Anhang B (informativ)

Tätigkeiten auf der Baustelle

B.1 Ausführung

Die Arbeiten sollten nur aufgenommen werden, wenn ordnungsgemäße, vollständige und geprüfte Unterlagen bei der Bauleitung vorliegen. Der Beginn der Arbeiten sollte erklärt und anschließend bestätigt werden. Der Auftragnehmer sollte in der Lage sein, eine Statistik über die wichtigsten Parameter des Bauablaufes einschließlich der Daten betreffend Personal und Material zu führen.

Die Kennwerte für die zum Einsatz kommenden Einrichtungen und den Arbeitsablauf sollten den Vorgaben entsprechen. Die zu verwendenden Geräte sollten geprüft und für die Durchführung dieser Arbeiten bescheinigt werden, bevor die Bauarbeiten beginnen. Das Personal auf der Baustelle sollte Schutzkleidung tragen und die Baustelle sollte ausreichend beleuchtet sein, besonders während der Nachtschichten.

Vor dem Einbau sollten Materialien so gelagert werden, dass sie ausreichend gegen Witterung und schädliche Einflüsse geschützt sind, und, falls erforderlich, sollten sie nach dem Einbau ordnungsgemäß nachbehandelt werden. Materialien sollten nach den Vorschriften des Lieferanten verarbeitet werden, sofern die maßgebenden Normen in dieser Hinsicht nichts anderes vorschreiben.

Während der Arbeiten sollten die Witterungsbedingungen besonders im Hinblick auf Wind und Temperatur ständig beachtet werden. Geeignete Vorrichtungen für die Überprüfung der Schornsteinform und der Lotrechtstellung sollten angewendet werden. Provisorische Warnleuchten und Blitzschutz sollten, falls erforderlich, während des Baus des Schornsteines montiert werden.

B.2 Ablauf und Koordinierung von Arbeiten

Die Arbeiten sollten nach einem detaillierten Programm ausgeführt werden, das alle erforderlichen Aktivitäten enthält. Darüber hinaus sollte es die Eckdaten für die Abwicklung enthalten sowie Hinweise auf spezielle Gegebenheiten und Lieferungen. Falls erforderlich, sollte das Programm geändert und auf den neuesten Stand gebracht werden.

B.3 Sicherheit auf der Baustelle

Für die Aktivitäten des Unternehmers auf der Baustelle sollten Sicherheitsregeln vorliegen, die Verweisungen auf Sicherheitsvorschriften und -normen enthalten sollten. Diese Regeln sollten besonders betreffen:

- Industriehygiene;
- Arbeitsschutz einschließlich Flucht- und Rettungspläne;
- Brandschutz;
- Unfallschutz.

B.4 Örtliche Bedingungen

Es sollte ein detaillierter Plan aufgestellt werden über den Ort des zu bauenden Schornsteines, die Baustelleneinrichtungen sowohl für Personal als auch für Geräte, die Plätze für Materiallagerung sowie die Beschreibung der Zugangswege, die bei den Arbeiten zu benutzen sind.

Der Plan sollte genaue Angaben enthalten über Stromversorgung, Beleuchtung, Telekommunikation, Abwasserführung, Druckluft und sonstige Einrichtungen und Leitungsnetze, die für die Durchführung der Bauarbeiten erforderlich sind.

Literaturhinweise

EN 13384-1, *Abgasanlagen — Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren — Teil 1: Abgasanlagen mit einer Feuerstätte*