

Schornsteine aus Stahl

DIN
4133

Steel stacks
Cheminées en acier

Ersatz für Ausgabe 08.73

Diese Norm wurde im NABau-Fachbereich 02 Einheitliche Technische Baubestimmungen (ETB) ausgearbeitet.

Die Benennung „Last“ wird für Kräfte verwendet, die von außen auf ein System einwirken; dies gilt auch für zusammengesetzte Wörter mit der Silbe ...„Last“ (siehe DIN 1080 Teil 1).

Zum Haupttext der Norm gehört ein Anhang A „Windlastannahmen“, der spezielle Regelungen für schwingungsanfällige Bauwerke (hier: Schornsteine aus Stahl) enthält, die nicht durch die z.Z. gültige Norm DIN 1055 Teil 4/08.86 „Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken“, abgedeckt sind. Entsprechende Anhänge, die aufeinander abgestimmt sind, jedoch auch bauarttypische Besonderheiten enthalten, sind DIN 1056/10.84 „Freistehende Schornsteine in Massivbauart; Berechnung und Ausführung“ DIN 4228/02.89 „Werkmäßig hergestellte Betonmaste“ und DIN 4131/11.91 „Antennentragwerke aus Stahl“ angefügt.

Ein Überführen der Anhänge in eine Ausgabe von DIN 1055 Teil 4, deren Anwendungsbereich auch schwingungsanfällige Bauwerke erfaßt, ist vorgesehen.

Bis zur Herausgabe einer entsprechenden Fassung von DIN 1055 Teil 4 ist die Windlast für Stahlschornsteine nach den im Anhang A angegebenen Verfahren zu berechnen.

Ein möglicher Querverweis auf die in anderen Anhängen schon vorliegenden Regelungen wurde als nicht anwendungsgerecht verworfen.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	2	5.3 Vorspannkraft	5
2 Begriffe	2	5.4 Windlast	5
2.1 Schornstein	2	5.5 Verkehrslast und Schneelast	5
2.2 Tragrohr	2	5.6 Eislast	5
2.3 Abgasführendes Rohr	2	5.7 Wärmeeinwirkung	5
2.4 Innenrohr	2	5.8 Planmäßiger Unter- und Überdruck	5
2.5 Einwandiger Schornstein	3	5.9 Lasten aus Bauzuständen	5
2.6 Doppelwandiger Schornstein	3	5.10 Änderungen der Stützbedingungen	5
2.7 Freistehender Schornstein	3	5.11 Erdbeben	5
2.8 Abgespannter Schornstein	3	5.12 Anprall	5
2.9 Abgestützter Schornstein	3	6 Ermittlung der Schnittgrößen	5
2.10 Auskleidung	3	6.1 Allgemeines	5
3 Bautechnische Unterlagen	3	6.2 Freistehende Schornsteine	6
3.1 Allgemeines	3	6.3 Abgespannte Schornsteine	6
3.2 Erläuterung der chemischen und thermischen Betriebsverhältnisse	3	6.3.1 Zu untersuchende Windrichtungen	6
3.3 Baubeschreibung	3	6.3.2 Näherung bei verschieden geneigten und verschieden langen Abspannseilen eines Abspannsternes	6
3.4 Standsicherheitsnachweis	3	6.3.3 Näherung bei abgespannten Schornsteinen bis 40 m Höhe	6
3.5 Zeichnungen	3	6.4 Gründung	6
4 Baustoffe	3	7 Bemessung	7
4.1 Allgemeines	3	7.1 Trag- und Innenrohr	7
4.2 Stähle	3	7.1.1 Tragsicherheitsnachweis	7
4.3 Stählerne Abspannseile	4	7.1.2 Beulsicherheitsnachweis	7
4.4 Verbindungsmittel	4	7.1.3 Betriebsfestigkeitsnachweis	7
4.5 Dämmstoffe	4	7.2 Gründung	7
4.6 Auskleidungen	5	7.2.1 Allgemeines	7
5 Einwirkungen	5	7.2.2 Fundament	7
5.1 Allgemeines	5	7.2.3 Standsicherheit	7
5.2 Eigenlast	5		

Fortsetzung Seite 2 bis 27

Zitierte Normen und andere Unterlagen

DIN 1045	Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung
DIN 1054	Baugrund; Zulässige Belastung des Baugrunds
DIN 1055 Teil 1	Lastannahmen für Bauten; Lagerstoffe, Baustoffe und Bauteile, Eigenlasten und Reibungswinkel
DIN 1055 Teil 2	Lastannahmen für Bauten; Bodenkenngößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel
DIN 1055 Teil 3	Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten
DIN 1055 Teil 4	Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken
DIN 1055 Teil 5	Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Schneelast und Eislast
DIN 1056	Freistehende Schornsteine in Massivbauart; Berechnung und Ausführung
DIN 1142	Drahtseilklemmen für Seil-Endverbindungen bei sicherheitstechnischen Anforderungen
DIN 4030 Teil 1	Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Grundlagen und Grenzwerte
DIN 4102 Teil 1	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
DIN 4132	Kranbahnen; Stahltragwerke; Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung
DIN 4149 Teil 1	Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten
DIN 4705 Teil 1	Berechnung von Schornsteinabmessungen; Begriffe, ausführliches Berechnungsverfahren
DIN 8560	Prüfung von Stahlschweißern
DIN 15 018 Teil 1	Krane; Grundsätze für Stahltragwerke; Berechnung
DIN 15 018 Teil 2	Krane; Stahltragwerke; Grundsätze für die bauliche Durchbildung
DIN 15 018 Teil 3	Krane; Grundsätze für Stahltragwerke; Berechnung von Fahrzeugkranen
DIN 17 120	Geschweißte kreisförmige Rohre aus allgemeinen Baustählen für den Stahlbau; Technische Lieferbedingungen
DIN 17 121	Nahtlose kreisförmige Rohre aus allgemeinen Baustählen für den Stahlbau; Technische Lieferbedingungen
DIN 17 155	Blech und Band aus warmfesten Stählen; Technische Lieferbedingungen
DIN 17 175	Nahtlose Rohre aus warmfesten Stählen; Technische Lieferbedingungen
DIN 17 177	Elektrisch preßgeschweißte Rohre aus warmfesten Stählen; Technische Lieferbedingungen
DIN 17440	Nichtrostende Stähle; Technische Lieferbedingungen für Blech, Warmband, Walzdraht, gezogenen Draht, Stabstahl, Schmiedestücke und Halbzeug
DIN 17441	Nichtrostende Stähle; Technische Lieferbedingungen für kaltgewalzte Bänder und Spaltbänder sowie daraus geschnittene Bleche
DIN 17455	Geschweißte kreisförmige Rohre aus nichtrostenden Stählen für allgemeine Anforderungen; Technische Lieferbedingungen
DIN 17456	Nahtlose kreisförmige Rohre aus nichtrostenden Stählen für allgemeine Anforderungen; Technische Lieferbedingungen
DIN 18 160 Teil 1	Hauschornsteine; Anforderungen, Planung und Ausführung
DIN 18 800 Teil 1	Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion
DIN 18 800 Teil 2	Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben
DIN 18 800 Teil 4	Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Schalenbeulen
DIN 18 800 Teil 7	Stahlbauten; Herstellen, Eignungsnachweise zum Schweißen
DIN 24 532	Senkrechte ortsfeste Leitern aus Stahl
DIN 24 533	Geländer aus Stahl
DIN 32 770	Sicherheitsgeschirre; Steigschutzeinrichtungen; Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung
DIN 50 049	Bescheinigungen über Materialprüfungen
DIN 51 603 Teil 1	Flüssige Brennstoffe; Heizöle; Heizöl EL, Mindestanforderungen
DIN 51 603 Teil 3	Flüssige Brennstoffe; Heizöle; Heizöl S, Mindestanforderungen
DIN 55 928 Teil 1	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Allgemeines, Begriffe, Korrosionsbelastungen
DIN 55 928 Teil 2	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Korrosionsschutzgerechte Gestaltung
DIN 55 928 Teil 3	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Planung der Korrosionsschutzarbeiten
DIN 55 928 Teil 4	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Vorbereitung und Prüfung der Oberflächen
DIN 55 928 Teil 5	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Beschichtungsstoffe und Schutzsysteme
DIN 55 928 Teil 6	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Ausführung und Überwachung der Korrosionsschutzarbeiten

	Seite
8 Konstruktion	7
8.1 Allgemeines	7
8.2 Mindestwanddicke	7
8.3 Tragrohr	8
8.3.1 Verbindungen	8
8.3.2 Öffnungen	8
8.4 Innenrohr	8
8.5 Auskleidungen	8
8.6 Abspansselle	8
8.6.1 Allgemeines	8
8.6.2 Seilklemmen	8
8.6.3 Seilverbindungen	8
8.7 Wärmedämmung	8
8.8 Gründung und Verankerung	8
8.9 Ausrüstung	8
8.9.1 Einrichtungen zum Besteigen	8
8.9.1.1 Allgemeines	8
8.9.1.2 Steigleitern	8
8.9.1.3 Sicherung gegen Absturz	8
8.9.2 Bühnen	9
8.9.2.1 Ruhebühnen	9
8.9.2.2 Standflächen und Laufstege	9
8.9.3 Flugsicherung	9
8.9.4 Blitzschutz- und Erdungsanlagen	9

	Seite
9 Korrosionsschutz	9
9.1 Allgemeines	9
9.2 Chemische Einwirkung	9
9.2.1 Allgemeines	9
9.2.2 Einwirkung aufgrund von Schwefeloxiden	9
9.2.3 Einwirkung aufgrund von Chloriden und Fluoriden	9
9.3 Maßnahmen gegen Korrosion	9
9.3.1 Beschichtungen und Überzüge	9
9.3.2 Auskleidungen	10
9.3.3 Korrosionszuschlag zur Blechdicke	10
9.3.4 Wahl geeigneter nichtrostender Stähle	10
10 Ausführung	10
10.1 Allgemeines	10
10.2 Geschweißte Schornsteine aus Stahl	10
10.3 Einbringen der Vorspannkräfte	11
10.4 Korrosionsschutz	11
11 Zustandsüberwachung	11
Anhang A Windlastannahmen	12
Anhang B Betriebsfestigkeitsnachweis	21
Zitierte Normen und andere Unterlagen	26
Änderungen	27

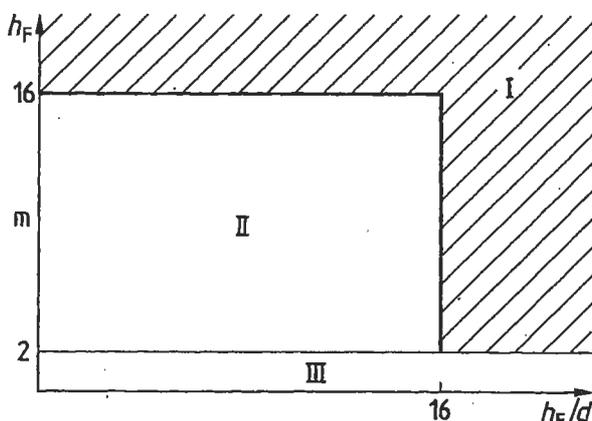
1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für den Nachweis der Standsicherheit und die Ausführung von im Freien stehenden freistehenden, abgespannten oder abgestützten Schornsteinen aus Stahl für die nachfolgend angegebenen Abmessungsbereiche (siehe Bild 1).

Schornsteine des Abmessungsbereiches

- I müssen alle Anforderungen dieser Norm erfüllen
- II — müssen ebenfalls die Anforderungen dieser Norm erfüllen, brauchen jedoch nicht auf Querschwingungen untersucht zu werden (vergleiche Abschnitt 7.1.3)
- dürfen bei Verwendung der in Tabelle 1 aufgeführten Stahlsorten St 37-2, USt 37-2, RSt 37-2 und St 37-3 auch von Betrieben hergestellt werden, die lediglich die Anforderungen des Kleinen Eignungsnachweises erfüllen (siehe Abschnitt 10.2)

III werden durch diese Norm nicht erfaßt



h_F Höhe des Tragrohres über der untersten Auflagerung
 d mittlerer Außendurchmesser des Tragrohres

Bild 1. Anwendungsbereich

Diese Norm gilt nicht für Schornsteine in Gebäuden, mit Ausnahme von Schornsteinen mit definierter Feuerstätte (siehe Abschnitt 3.2) in Industriegebäuden, wenn sie nur durch einen Brandabschnitt gehen.

Diese Norm gilt auch nicht für neben Gebäuden stehende abgestützte Schornsteine, sofern der Abstand der Abstützungen $a \leq 4$ m und die Kraglänge $l_K \leq 2$ m ist.

Anmerkung: Bei Schornsteinen mit größeren Abständen darf die Brauchbarkeit auch durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall nachgewiesen werden.

Für neben Gebäuden stehende Schornsteine gelten weitere Anforderungen nach DIN 18 160 Teil 1, z.B. hinsichtlich einzuhaltender Abstände und des Berührungsschutzes.

2 Begriffe

2.1 Schornstein

Schornsteine (Kamine) sind Bauwerke oder Teile von Bauwerken, die Abgase von Feuerstätten, andere Abgase, Zu- oder Fortluft führen.

2.2 Tragrohr

Das Tragrohr ist ein Bauteil, das die wesentlichen statischen Funktionen übernimmt.

2.3 Abgasführendes Rohr

Das abgasführende Rohr ist ein Bauteil, das die Abgase von Feuerstätten über die Schornsteinmündung ins Freie fördert.

2.4 Innenrohr

Das Innenrohr ist ein abgasführendes Rohr, das sich innerhalb eines Tragrohres befindet und das die übrigen Schornsteinteile vor thermischer und chemischer Beanspruchung schützt.

2.5 Einwandiger Schornstein

Ein Schornstein ist einwandig, wenn auch das Tragrohr abgasführendes Rohr ist; es kann wärmegeämmt und/oder ausgekleidet sein.

2.6 Doppelwandiger Schornstein

Ein Schornstein ist doppelwandig, wenn in einem Tragrohr ein oder mehrere Innenrohre angeordnet sind.

2.7 Freistehender Schornstein

Ein Schornstein ist freistehend, wenn sein Tragrohr nicht Bestandteil einer anderen Konstruktion ist.

2.8 Abgespannter Schornstein

Ein Schornstein ist abgespannt, wenn sein Tragrohr in mindestens einer Höhenlage durch Zugglieder gehalten wird.

2.9 Abgestützter Schornstein

Ein Schornstein ist abgestützt, wenn sein Tragrohr an mindestens einer Stelle an einem Gebäude oder an einer anderen Tragkonstruktion abgestützt ist.

2.10 Auskleidung

Die Auskleidung schützt das abgasführende Rohr vor thermischer und chemischer Beanspruchung sowie vor Abrieb.

3 Bautechnische Unterlagen

3.1 Allgemeines

Es gelten die Festlegungen in den allgemeinen Normen über Stahlbauten, insbesondere DIN 18 800 Teil 1 und Teil 7.

3.2 Erläuterung der chemischen und thermischen Betriebsverhältnisse

Zur Erläuterung der chemischen und thermischen Betriebsverhältnisse müssen nach Angaben des Betreibers in der Baubeschreibung, in der statischen Berechnung bzw. auf den Übersichtszeichnungen enthalten sein:

- Die planmäßigen Betriebsweisen der angeschlossenen Einrichtungen, z.B. intermittierender Betrieb, Dauerbetrieb;
- berücksichtigte Betriebsstörungen;
- die Abgasmassen- oder Abgasvolumenströme;
- die höchsten und niedrigsten Temperaturen der Abgase beim Eintritt in den Schornstein;
- die Zusammensetzung der Abgase;
- maßgebende Säuretaupunkte;
- Temperaturen der von den Abgasen berührten Flächen;
- maximale und minimale Strömungsgeschwindigkeit des Abgases;
- Druckverhältnisse im Schornstein.

3.3 Baubeschreibung

Angaben, die für die Bauausführung sowie für die Prüfung des Standsicherheitsnachweises und der Zeichnungen notwendig sind, die aber aus den Unterlagen nach den Abschnitten 3.4 und 3.5 nicht ohne weiteres entnommen werden können, müssen in einer Baubeschreibung enthalten sein. Dazu gehören insbesondere:

- die Angaben nach Abschnitt 3.2 a) bis e)
- eine Beschreibung des Montagevorgangs
- Angaben zur Entwurfslebensdauer bei Schornsteinen mit einem Zuschlag zur Blechdicke als Maßnahme gegen Korrosion.

3.4 Standsicherheitsnachweis

Im Standsicherheitsnachweis sind alle Lastannahmen und vorgesehenen Baustoffe anzugeben; er muß außerdem die Angaben des Abschnitts 3.2 f) bis i) enthalten. Falls erforderlich, ist ein Baugrundgutachten beizufügen. Die Nachweise sind für alle tragenden Bauteile in prüfbarer Form zu führen.

3.5 Zeichnungen

Hierzu gehören ergänzend zu den Anforderungen in DIN 18 800 Teil 1 und Teil 7:

- Übersichtszeichnungen mit Angaben über
 - die chemischen und thermischen Betriebsverhältnisse nach Abschnitt 3.2 c) und d) sowie f) bis i)
 - die Baustoffe und Bauarten sowie die Querschnittsformen aller wesentlichen Bauteile
 - die Anordnung der Steigleitern und Bühnen
 - die zulässige Belastung des Baugrundes sowie Angaben über die Ausnutzung des Erdwiderstandes und der Erdauflast bei der Gründung
 - bei abgespannten Schornsteinen die Vorspannkraft in Abhängigkeit von der Aufstelltemperatur
 - Maßnahmen gegen Korrosion
- Ausführungszeichnungen mit allen erforderlichen Angaben über die Baustoffe.

4 Baustoffe

4.1 Allgemeines

Es dürfen nur Baustoffe verwendet werden, die den technischen Baubestimmungen entsprechen.

Anmerkung: Die Verwendung anderer Baustoffe bedarf nach den bauaufsichtlichen Vorschriften eines besonderen Nachweises der Brauchbarkeit, z.B. durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall.

Bei der Materialauswahl sind die chemischen, thermischen und mechanischen Beanspruchungen zu berücksichtigen.

4.2 Stähle

Es dürfen Stähle nach DIN 18 800 Teil 1 verwendet werden. Werden geschweißte oder kalt verformte tragende Konstruktionsteile feuerverzinkt, so ist beruhigter oder besonders beruhigter Stahl mit einem Siliciumanteil $Si \leq 0,03\%$ oder Si zwischen $0,15\%$ und $0,25\%$ zu verwenden.

Die Stähle nach DIN 17 155, DIN 17 175 und DIN 17 177, die Stahlsorten mit den Werkstoffnummern 1.4301, 1.4541, 1.4571 und 1.4435 nach DIN 17 440, DIN 17 441, DIN 17 455 und DIN 17 456 sowie mit den Werkstoffnummern 1.4539 und 1.4561 nach SEW 400, 6. Ausgabe 1991, bedürfen keiner weiteren Brauchbarkeitsnachweise (siehe aber Abschnitt 9.3.4). Ihre Werkstoffkennwerte sind mit einer Bescheinigung DIN 50 049 — 3.1 B (Abnahmeprüfzeugnis B) nachzuweisen.

Allgemeine Baustähle dürfen bis zu Temperaturen von $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, warmfeste Stähle bis $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, nichtrostende Stähle bis $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ (siehe aber Abschnitt 9.3.4) verwendet werden. Die Veränderung der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur ist zu berücksichtigen.

In den Tabellen 1, 2 und 3 sind charakteristische Werte für die mechanischen Eigenschaften einiger Stähle angegeben, die bei der Ermittlung von Schnittgrößen, Formänderungen und Grenzschnittgrößen zu verwenden sind. Zur Berechnung des Schubmoduls G darf temperaturunabhängig die Querdehnungszahl $\nu = 0,3$ angenommen werden.

Tabelle 1. Als charakteristische Werte für Stähle mit Erzeugnisdicken $t \leq 40$ mm festgelegte Werte der Streckgrenze $f_{y,k}$

Werkstoff	Stahlsorte/ Werkstoff- nummer	Streckgrenze $f_{y,k}$ in N/mm ² bei Temperaturen in °C*) von											
		20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Allgemeine Baustähle nach DIN EN 10 025 DIN 17 120 und DIN 17 121	St 37-2 U St 37-2 R St 37-2 St 37-3	240	240	190	175	160	140	120	—	—	—	—	—
	St 52-3	360	360	260	245	230	210	190	—	—	—	—	—
Warmfeste Stähle nach DIN 17 155, DIN 17 175 und DIN 17 177	H II 1.0425	265	265	245	225	205	185	155	140	130	125	—	—
	15 Mo 3 1.5415	270	270	250	238	225	205	180	170	160	155	—	—
Nichtrostende Stähle nach DIN 17 440, DIN 17 441, DIN 17 455 und DIN 17 456	1.4301	195	177	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90
	1.4541	205	190	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118
	1.4571	215	202	185	177	167	157	145	140	135	131	129	127
	1.4435	190	182	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98
Nichtrostende Stähle nach SEW 400	1.4539	220	190	175	165	155	145	135	130	125	120	110	105
	1.4561	190	182	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98

*) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Tabelle 2. Als charakteristische Werte für den E-Modul (Elastizitätsmodul) festgelegte Werte

Werkstoff	E-Modul in N/mm ² bei Temperaturen in °C*) von								
	20	100	200	300	400	450	500	550	
Allgemeine Baustähle	210 000	205 000	200 000	192 000	—	—	—	—	
Warmfeste Stähle	210 000	205 000	200 000	192 000	184 000	180 000	—	—	
Nichtrostende Stähle	a)	170 000	164 000	156 000	149 000	142 000	138 500	135 000	131 500
	b)**)	200 000	194 000	186 000	179 000	172 000	168 500	165 000	161 500

*) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.
**) Zur Ermittlung von Zwängungsschnittgrößen.

Tabelle 3. Als charakteristische Werte für die Wärmedehnzahl α_T festgelegte Werte

Werkstoff	mittlere Wärmedehnzahl α_T in K ⁻¹ für Temperaturen in °C von 20 bis				
	100	200	300	400	500
Allgemeine Baustähle	$12,0 \cdot 10^{-6}$	$12,1 \cdot 10^{-6}$	$12,9 \cdot 10^{-6}$	—	—
Warmfeste Stähle	$11,1 \cdot 10^{-6}$	$12,1 \cdot 10^{-6}$	$12,9 \cdot 10^{-6}$	$13,5 \cdot 10^{-6}$	$13,9 \cdot 10^{-6}$
Nichtrostende Stähle	$16,5 \cdot 10^{-6}$	$17,0 \cdot 10^{-6}$	$17,5 \cdot 10^{-6}$	$18,0 \cdot 10^{-6}$	$18,5 \cdot 10^{-6}$

4.3 Stählerne Abspannseile

Es dürfen Werkstoffe nach DIN 18 800 Teil 1 verwendet werden.

4.4 Verbindungsmittel

Für Verbindungsmittel gilt DIN 18 800 Teil 1.

4.5 Dämmstoffe

Dämmstoffe müssen strukturell fest und nichtbrennbar (Baustoffklasse A1 nach DIN 4102 Teil 1) sein. Sie müssen unter dem Einfluß von Wärme, Kälte, Alterung und auch nach vorübergehender Durchfeuchtung genügend formbeständig und funktionsfähig bleiben. Die Dämmstoffe dürfen keine schädigenden Einflüsse auf andere Baustoffe ausüben.

4.6 Auskleidungen

Die Eignung der Baustoffe für Auskleidungen muß nachgewiesen werden.

Für gemauerte Auskleidungen dürfen Baustoffe ohne Eignungsnachweis verwendet werden, wenn sie für Futter in Schornsteinen in Massivbauart nach DIN 1056 zulässig sind.

5 Einwirkungen

5.1 Allgemeines

Für die Berechnung von Schornsteinen aus Stahl sind ständige, veränderliche und außergewöhnliche Einwirkungen zu berücksichtigen.

Ständige Einwirkungen sind

- Eigenlast,
- Vorspannkraft.

Veränderliche Einwirkungen sind

- Windlast,
- Verkehrslast und Schneelast,
- Eislast,
- Wärmeeinwirkung,
- planmäßiger Unter- und Überdruck,
- Lasten aus Bauzuständen,
- Einwirkungen aus wahrscheinlichen Änderungen der Stützbedingungen.

Zu den außergewöhnlichen Einwirkungen gehören

- Ersatzlasten für Erdbeben,
- nichtplanmäßige, mögliche Lasten und Einwirkungen z.B. aus Anprall, aus möglichen Änderungen der Stützbedingungen oder aus Betriebsstörungen,
- sonstige Lasten, die sich aus der örtlichen Lage und den betrieblichen Verhältnissen ergeben können.

5.2 Eigenlast

Eigenlasten sind nach DIN 1055 Teil 1 oder Teil 2 anhand der Übersichtszeichnung zu ermitteln. Werden Baustoffe verwendet, die nicht in DIN 1055 Teil 1 enthalten sind, sind deren tatsächliche Wichten zu nehmen.

5.3 Vorspannkraft

Als Vorspannkraft gilt diejenige Seilkraft, die bei einer Aufstelltemperatur von +10°C im wind- und eisfreien Zustand kontrolliert eingebracht wird.

Sofern zum Zeitpunkt des Vorspannens eine von +10°C abweichende Temperatur herrscht, ist dies beim Einstellen der Vorspannkraft zu berücksichtigen.

5.4 Windlast

Die Windlast ist nach Anhang A zu berechnen.

5.5 Verkehrslast und Schneelast

Auf Podesten und Laufstegen ist eine gleichmäßig verteilte Verkehrslast von 2 kN/m², die Schnee einschließt, anzunehmen.

Mit einer Einzellast von 3 kN an ungünstigster Stelle ist zu rechnen, wenn dies ungünstiger ist als die vorgenannte Flächenlast.

Für das Bemessen der Geländer ist eine horizontale, nach außen oder innen wirkende, am Geländerholm angreifende Last von 0,5 kN/m anzunehmen.

5.6 Eislast

Die Eislast ist nach DIN 1055 Teil 5 anzusetzen.

5.7 Wärmeeinwirkung

Die Wandtemperaturen des wärmegeämmten abgasführenden Rohres und des Tragrohres sind zu ermitteln, z. B. nach DIN 4705 Teil 1. Vereinfacht darf dabei mit folgenden Wärmeübergangskoeffizienten gerechnet werden:

$$\alpha_i = 8 + v \text{ in } W/(m^2 \cdot K). \quad (1)$$

$$\alpha_a = 24 \text{ W}/(m^2 \cdot K) \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

- α_i innerer Wärmeübergangskoeffizient
- α_a äußerer Wärmeübergangskoeffizient
- v mittlere Abgasgeschwindigkeit in m/s

Bei keramischen Auskleidungen ist DIN 1056 zu beachten.

Ungleichmäßige Wärmeeinwirkungen aus betrieblichen und meteorologischen Bedingungen sind zu berücksichtigen. Verformungen der Schornsteinachse aus Sonneneinstrahlung brauchen jedoch nicht nachgewiesen zu werden.

Bei abgespannten und abgestützten Schornsteinen aus Stahl ist zu beachten, daß das Tragrohr die Betriebstemperatur, die Abspannseile bzw. die Abstützung hingegen die Lufttemperatur annehmen. Dabei ist von einer Außentemperatur von -10°C auszugehen.

5.8 Planmäßiger Unter- und Überdruck

Der Unter- und Überdruck unter planmäßigen Betriebsbedingungen (stationär, An- und Abfahren) sind zu ermitteln.

5.9 Lasten aus Bauzuständen

Lasten aus Bauzuständen (z. B. aus Montageabspannungen, Hebezeugen, Rüstungen) sind gegebenenfalls zu berücksichtigen.

5.10 Änderungen der Stützbedingungen

Wahrscheinliche Änderungen der Stützbedingungen, z. B. Schiefstellungen aus Baugrundsetzungen, sind zu berücksichtigen.

5.11 Erdbeben

Für die Lastannahmen zur Berücksichtigung der Erdbebenwirkung gilt DIN 4149 Teil 1; Schornsteine sind dabei in die Bauwerksklasse 2 nach DIN 4149 Teil 1 einzuordnen.

Lasten aus Wind und Erdbeben brauchen nicht gemeinsam in Rechnung gestellt zu werden.

5.12 Anprall

Anpralllasten sind gegebenenfalls DIN 1055 Teil 3 zu entnehmen.

6 Ermittlung der Schnittgrößen

6.1 Allgemeines

Die Schnittgrößen sind mit den nach Abschnitt 5 anzusetzenden Einwirkungen für die beiden folgenden Kombinationen zu ermitteln:

- Grundkombination (ständige und veränderliche Einwirkungen)
- außergewöhnliche Kombination (ständige, veränderliche und eine außergewöhnliche Einwirkung)

Dabei sind die Einwirkungen mit folgenden γ_F -Werten zu vervielfachen:

- in der Grundkombination
 - die Eigenlast
mit $\gamma_F = 1,35$, wenn sie ungünstig wirkt,
oder
mit $\gamma_F = 1,0$, wenn sie günstig wirkt
 - die Vorspannkraft mit $\gamma_F = 1,0$
 - alle anderen Einwirkungen mit $\gamma_F = 1,5$
- in der außergewöhnlichen Kombination
 - alle Einwirkungen mit $\gamma_F = 1,0$

Die Schnittgrößen für das Tragrohr sind nach der Elastizitätstheorie II. Ordnung (Nachweis am verformten Tragwerk, gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Baugrundverformung) zu berechnen. Sie dürfen nach der Stabtheorie ermittelt werden, d.h. auf die Berücksichtigung der Schalenwirkung darf verzichtet werden, wenn Bedingung (3) erfüllt ist. Dabei dürfen Öffnungen im Tragrohr vernachlässigt werden, wenn die Anforderungen nach Abschnitt 8.3.2 eingehalten sind.

$$\frac{l}{r} \geq 0,14 \cdot \frac{r}{t} + 10 \quad (3)$$

Hierin bedeuten:

- l maßgebende Länge des Tragrohrs (Kraglänge oder Abstand der Abspannpunkte)
- r mittlerer Radius des Tragrohres
- t mittlere Wanddicke des Tragrohres

Bei Schnittgrößenermittlung nach einer Schalentheorie unter Voraussetzung elastischen Werkstoffverhaltens darf wegen der lokalen plastischen Umlagerungen die Belastung, die zu einem Fließen in der Randfaser führt, im Verhältnis der maximalen Zug- zur maximalen Druckspannung, jedoch höchstens um den Faktor 2,0 gesteigert werden. Die Schnittgrößen infolge Querschwingungen sind nach der Stabtheorie zu ermitteln.

Vorverformungen des Gesamtsystems (Lotabweichungen, Vorkrümmungen) brauchen nicht eingerechnet zu werden.

Die Schnittgrößen aus Erdbeben brauchen nicht nach Theorie II. Ordnung berechnet zu werden.

Beim Ermitteln der Schnittgrößen im Innenrohr ist auch der Einfluß der Durchbiegung des Tragrohrs sowie das Schwingungsverhalten zu beachten.

6.2 Freistehende Schornsteine

Bei freistehenden Schornsteinen dürfen die Momente nach Theorie II. Ordnung vereinfachend nach Gleichung (4) berechnet werden, wenn

- die Stabkennzahl $\varepsilon \leq 0,8$ ist und
- am Schornsteinkopf konzentriert wirkende Lasten kleiner als 10 % der Eigenlast des Tragrohrs sind.

$$M^{II} = M^I \left(1 + \frac{\varepsilon^2}{8} \right) \quad (4)$$

Hierin bedeuten:

- M^{II} Moment nach Theorie II. Ordnung
- M^I Moment nach Theorie I. Ordnung

$$\varepsilon = h_F \cdot \sqrt{\frac{N_0}{E \cdot I_0}} \quad (5)$$

- h_F Höhe des Tragrohrs über der Auflagerung
- N_0 Längskraft am Einspannquerschnitt
- $E \cdot I_0$ Biegesteifigkeit des Einspannquerschnitts

6.3 Abgespannte Schornsteine

6.3.1 Zu untersuchende Windrichtungen

Im allgemeinen sind die Schnittgrößen für mehrere Windrichtungen zu berechnen, um die größten Beanspruchungen zu ermitteln. Bei zentralsymmetrischen Abspannungen nach Bild 2 brauchen die Schornsteine nur für die im Bild 2 eingetragenen Windrichtungen untersucht zu werden.

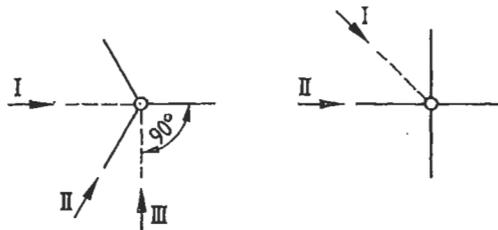


Bild 2. Zu untersuchende Windrichtungen bei abgespannten Schornsteinen

Bei der Berechnung der Beanspruchungen des Tragrohrs sind jeweils die maximalen Schnittgrößen in ungünstigster Richtung anzunehmen (z.B. im Bereich von Öffnungen).

6.3.2 Näherung bei verschieden geneigten und verschieden langen Abspannseilen eines Abspannsternes

Sind Seile eines Abspannsternes verschieden lang oder verschieden geneigt, darf für den Nachweis vom arithmetischen Mittel der Seilneigungen und der Seillängen ausgegangen werden, wenn die Sehnenlängen der Seile des Abspannsternes sich um nicht mehr als 5 % bzw. die Neigungswinkel sich um nicht mehr als 3° voneinander unterscheiden.

6.3.3 Näherung bei abgespannten Schornsteinen bis 40 m Höhe

Bei abgespannten Schornsteinen bis zu einer Höhe von 40 m dürfen die Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung berechnet werden; dem Stabilitätsnachweis nach DIN 18 800 Teil 2 darf ein Ersatzstab zugrunde gelegt werden, dessen Knicklänge gleich dem 1,2fachen Abstand der Abspannpunkte ist.

6.4 Gründung

Die auf die Gründung einwirkenden Schnittgrößen sind für den Gebrauchszustand, d.h. mit $\gamma_F = 1,0$ zu ermitteln.

Sie dürfen für die Grundkombination näherungsweise wie folgt ermittelt werden:

$$S = \frac{S_\gamma - S_0}{1,5} + S_0 \quad (6)$$

Hierin bedeuten:

- S auf die Gründung einwirkende Schnittgröße im Gebrauchszustand
- S_γ Schnittgröße unter γ_F -fachen Einwirkungen
- S_0 Schnittgröße infolge Vorspannung bei abgespannten Systemen

Bodenpressung, Pfahlkräfte und Fundamentalschnittgrößen sind für die einwirkenden maximalen Momente und Querkräfte sowie die minimalen und maximalen Längskräfte nachzuweisen.

7 Bemessung

7.1 Trag- und Innenrohr

7.1.1 Tragsicherheitsnachweis

Der Tragsicherheitsnachweis ist, sofern im folgenden nichts anderes bestimmt ist, nach DIN 18 800 Teil 1 zu führen. Er muß sicherstellen, daß die nach Abschnitt 6 ermittelten Schnittgrößen nicht größer sind als die im Grenzzustand der Tragfähigkeit aufnehmbaren Schnittgrößen. Diese Grenzschnittgrößen sind nach der Elastizitätstheorie unter der Bedingung zu ermitteln, daß der Bemessungswert der Streckgrenze $f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_M$ nicht überschritten wird. Dabei ist $f_{y,k}$ nach Tabelle 1 und der Teilsicherheitsbeiwert des Widerstandes $\gamma_M = 1,1$ anzusetzen. (Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch nach DIN 18 800 Teil 1).

Zur Berücksichtigung der erhöhten Tragfähigkeit bei Ausnutzung von Plastizierung dürfen die so ermittelten Grenzschnittgrößen um 10% erhöht werden. Eine Berechnung der Beanspruchbarkeiten unter planmäßiger Ausnutzung plastischer Tragfähigkeiten (Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch nach DIN 18 800 Teil 1) ist jedoch nicht zulässig.

Ein Nachweis der Biegebeanspruchung in Umfangsrichtung infolge der ungleichmäßigen Winddruckverteilung darf entfallen, wenn das Verhältnis Radius r zur Wanddicke t kleiner als 160 ist.

Im Bereich von Querschnittsschwächungen sind besondere Maßnahmen nach Abschnitt 8.3.2 erforderlich.

7.1.2 Beulsicherheitsnachweis

Der Beulsicherheitsnachweis ist nach DIN 18 800 Teil 4 zu führen.

Für Innenrohre von doppelwandigen Schornsteinen aus Stahl ist ein Beulsicherheitsnachweis nur für die Beanspruchung aus Unterdruck erforderlich. Axialspannungen aus Eigenlast im Innenrohr brauchen im allgemeinen nicht berücksichtigt zu werden.

7.1.3 Betriebsfestigkeitsnachweis

Der Betriebsfestigkeitsnachweis ist nur erforderlich für die durch Querschwingungen des Bauwerks verursachten Schwingungsbeanspruchungen (siehe Abschnitt A.2.2.1); er ist im allgemeinen auch dann zu führen, wenn die Beanspruchungen durch Gegenmaßnahmen reduziert werden. Für Schornsteine des Abmessungsbereiches II darf er entfallen.

Der Betriebsfestigkeitsnachweis ist für die 1,0fachen Lasten durchzuführen. Bis zum Vorliegen einer entsprechenden Grundnorm ist eine Betriebsfestigkeitsuntersuchung nach Anhang B durchzuführen.

Sind auf Betriebsfestigkeit zu untersuchende Bauteile ständig oder über längere Zeitspannen Temperaturen T über 100 °C ausgesetzt, dann sind die zulässigen Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_T$ nach Gleichung (7) zu ermitteln.

$$\Delta\sigma_T = \frac{1300 - T}{1200} \cdot \Delta\sigma \quad (7)$$

$$100\text{ °C} \leq T \leq 500\text{ °C}$$

Hierin bedeuten:

$\Delta\sigma_T$ die bei der Temperatur T in °C zulässige Spannungsschwingbreite

$\Delta\sigma$ die bei Normaltemperatur zulässige Spannungsschwingbreite nach Anhang B

7.2 Gründung

7.2.1 Allgemeines

Die Gründung ist mit den nach Abschnitt 6.4 ermittelten Schnittgrößen im Gebrauchszustand nachzuweisen. Die Schnittgrößen aus der Querschwingungsuntersuchung (siehe Abschnitt A.2.2.1) sind als statische Belastung bis in die Bodenfuge zu verfolgen.

7.2.2 Fundament

Für die Bemessung des Stahlbetonfundamentes gilt DIN 1045.

7.2.3 Standsicherheit

Für den Nachweis der Standsicherheit gilt DIN 1054. Abweichend hiervon darf bei Flachgründungen unter Einwirkung von Eigenlast und Windlast keine klaffende Fuge auftreten.

Beim Nachweis der Grundbruchsicherheit braucht eine zusätzliche Schiefstellung nach DIN 1054/11.76, Abschnitt 4.1.3.2, vierter Absatz, nicht in Rechnung gestellt zu werden. Auf den Nachweis der Grundbruchsicherheit darf verzichtet werden, wenn zulässige Bodenpressungen entweder nach DIN 1054/11.76, Abschnitte 4.2 oder 4.3, oder aufgrund von Baugrundgutachten angegeben werden können.

Beim Nachweis der Gleitsicherheit darf lediglich die Reibung zwischen Beton und Erdreich in der Gründungssohle in Ansatz gebracht werden.

Eine Ausnahme ist zulässig bei Fundamenten für Abspannungen. Bei diesen darf der Erdwiderstand abzüglich des Erddrucks in Richtung der am Fundament angreifenden Horizontalkraft zusätzlich zu der Sohlreibung als Widerstand gegen Gleiten angesetzt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß dann unter Umständen große Verschiebungen auftreten, die zu einer Verringerung der Vorspannkraft führen.

Für die Ermittlung des Erdwiderstandes und des Erddrucks ist mit einem Erdkörper konstanter Breite gleich der Breite des Fundamentes zu rechnen.

Die Sicherheit gegen Abheben muß für flach gegründete Fundamente mindestens 1,5 betragen.

8 Konstruktion

8.1 Allgemeines

Für die konstruktive Ausbildung der Einzelteile und der Verbindungen gilt DIN 18 800 Teil 1. Es sind die betrieblichen Gegebenheiten, insbesondere die thermischen, chemischen und mechanischen Beanspruchungen zu berücksichtigen.

Aussteifungen und Verbände für die Erhaltung der Querschnittsform sind in ausreichender Anzahl vorzusehen, insbesondere auch an den Mündungen der Schornsteinrohre und an allen Angriffspunkten von Abstützungen und Abspannungen.

8.2 Mindestwanddicke

Die Wanddicke von Trag- und abgasführenden Rohren sowie anderen Konstruktionsteilen muß mindestens 1,5 mm betragen.

Abweichend davon darf diese Mindestwanddicke unterschritten werden, wenn die Verbindungsmittel auf die Wanddicke abgestimmt sind und ein besonderer Nachweis der Brauchbarkeit, z. B. durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall, erbracht wird.

Für Bauwerksflächen, die mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommen, siehe Abschnitt 9.

8.3 Tragrohr

8.3.1 Verbindungen

Schraubenverbindungen tragender Teile, für die ein Betriebsfestigkeitsnachweis nach Abschnitt 7.1.3 zu führen ist, dürfen nur als planmäßig vorgespannte Verbindungen ausgeführt werden. Diese Einschränkung gilt nicht für Ankerschrauben.

In Schraubenverbindungen ohne planmäßige Vorspannung nach DIN 18 800 Teil 1 und bei Ankerschrauben müssen die Muttern gegen Lockern gesichert werden.

8.3.2 Öffnungen

Querschnittsschwächungen durch Öffnungen (Mannlöcher, Fuchsöffnungen usw.) sind durch ausreichende Verstärkungen auszugleichen. Je nach Größe und Form der Öffnung können unterschiedliche Verstärkungen notwendig werden, wie z. B. Ringsteifen, Längsteifen, mittragende Stützen und Pflaster.

Außerdem ist in der Umgebung von Löchern ausreichende Stabilität nachzuweisen. Auch hierfür sind unter Umständen Versteifungen im Bereich der Lochränder erforderlich.

Bei der Anordnung von Längsteifen muß berücksichtigt werden, daß eine Lastverteilung der dort konzentrierten Längskräfte nur unter Heranziehung der Umfangsbiegung der Schalenwände in den Bereichen ober- und unterhalb der Öffnungen möglich ist. Die Steifenlänge ist so zu wählen, daß entsprechend große Bereiche zum Mittragen herangezogen werden; zur Aufnahme der Umfangsbiegung können zusätzlich Ringsteifen am Lochrand und am Ende der Längsteifen angeordnet werden.

Die Aufnahme der Querkraft muß sichergestellt sein.

8.4 Innenrohr

Die Stöße von Innenrohren sind gasdicht auszubilden.

8.5 Auskleidungen

Auskleidungen aus Gieß-, Spritz- oder Stampfmassen müssen verankert werden. Bei gemauerten Auskleidungen können Abfangungen erforderlich werden.

Durch konstruktive Maßnahmen muß sichergestellt sein, daß auftretende Zwängungen aufgenommen werden können.

8.6 Abspannseile

8.6.1 Allgemeines

Für Seile und ihre Endverankerungen gilt DIN 18 800 Teil 1.

Um Torsionszwängungen klein zu halten, sind drehungsarme Seile zu bevorzugen.

8.6.2 Seilklemmen

Werden Seilklemmen nach DIN 1142 verwendet, so ist DIN 18 800 Teil 1/11.90, Abschnitt 5.3.2 zu beachten. Weiterhin sind die Muttern nach Aufbringen der Vorspannkraft nochmals nachzuziehen und die Anziehungsmomente gegenüber DIN 1142/01.82, Tabelle 2, um 10 % zu erhöhen.

8.6.3 Seilverbindungen

Alle in Abspannungen zwischen Verankerungskonstruktion und Tragrohr angeordneten Verbindungen sind gelenkig — unter Verwendung von Bolzen — auszubilden. Die Bolzen sind zu sichern; Drahtsplinte und Federringe als alleinige Bolzensicherung sind hierbei nicht zulässig. Spannvorrichtungen sind gegen Verstellen zu sichern.

8.7 Wärmedämmung

Enthalten die Abgase Stoffe, deren Kondensat zur Korrosion des Stahls führen kann, soll eine Wärmedämmung der abgasführenden Teile so vorgesehen werden, daß eine Unterschreitung des Säuretaupunktes verhindert wird. Eine Wärmedämmung kann jedoch auch aus Gründen des Immissionsschutzes erforderlich werden (z. B. Vermeidung von Rußflockenbildung, vorgeschriebene Austrittstemperatur).

Die Dämmstoffe dürfen nicht zusammensacken, verrutschen oder abfallen. Wärme- und Kältebrücken sind weitgehend zu vermeiden.

8.8 Gründung und Verankerung

Für die Ausführung von Betonfundamenten gilt DIN 1045. Der Gründungskörper ist vor thermischen und chemischen Einflüssen zu schützen. Bei betonschädlichen Wässern und Böden siehe DIN 4030 Teil 1.

Die Austrittspunkte einbetonierter Stahlteile sollen mindestens 30 cm über Gelände liegen, andernfalls sind besondere Korrosionsschutzmaßnahmen zu treffen. Die Oberseiten der Betonfundamente sind zur Entwässerung mit einem Gefälle von mindestens 5 % zu versehen und glatt abzureiben.

Ankerkräfte sind voll durch Barren oder Platten auf den Beton zu übertragen.

Abweichend hiervon dürfen bei Ankern aus Betonstahl Ankerbarren entfallen; die Verankerungslänge ergibt sich dann nach DIN 1045. Die Übertragung der Ankerkräfte durch Haftung bei vorgefertigten Ankerlöchern und nachträglichem Verguß ist nicht zulässig.

Bei Abspannfundamenten ist zusätzlich zum jeweiligen Hauptanker eine Vorrichtung vorzusehen, die das Auswechseln des Abspannseiles ermöglicht; sie muß mindestens das 0,8fache der am Fundament angreifenden maximalen Seilkräfte übernehmen können.

8.9 Ausrüstung

8.9.1 Einrichtungen zum Besteigen

8.9.1.1 Allgemeines

Schornsteine mit mehr als 5 m Höhe müssen mit Steigleitern und Einrichtungen zum Schutz gegen Absturz von Personen ausgerüstet sein.

Bei Schornsteinen mit begehbarem Raum zwischen Trag- und Innenrohr ist eine weitere Steigleiter auf der Innenseite des Tragrohres einzubauen. Im Innern von rauchgasführenden Rohren darf keine Steigleiter angebracht werden.

Die äußere Steigleiter muß etwa 4 m über dem Erdboden oder 1 m über Dach beginnen. Bei jeder Steigleiter muß der Abstand der Sprossen bis zur Mündung gleich bleiben.

8.9.1.2 Steigleitern

Steigleitern müssen eine Auftrittsweite von mindestens 2×150 mm aufweisen. Der Durchmesser von Rundsprossen muß mindestens 22 mm betragen. Ansonsten gilt VBG 74.

Beim Durchstieg durch Bühnen muß die Durchstiegsfläche zwischen Vorderkante Sprosse und den umgebenden Bauteilen mindestens der des Rückenschutzkorbes nach DIN 24 532 entsprechen.

8.9.1.3 Sicherung gegen Absturz

Als Einrichtungen zum Schutz gegen Absturz sind Vorrichtungen zum Einsetzen zwangsläufig wirkender Sicherheitsgeschirre (Steigschutz) nach DIN 32770 vorzusehen.

8.9.2 Bühnen

8.9.2.1 Ruhe Bühnen

Ruhe Bühnen müssen in Abständen von höchstens 10 m angeordnet werden.

Sie müssen eine Länge von mindestens 300 mm und eine Breite von mindestens 400 mm besitzen. Sie dürfen auch aus zwei Trittplätzen von mindestens 130 mm Breite und 300 mm Länge bei einem Achsabstand der Trittplätze von (250 ± 20) mm bestehen. Die Ruhe Bühnen müssen von der Leiter aus sicher erreichbar sein und entweder mit Geländern nach Abschnitt 8.9.2.2 gesichert sein oder mit dem in Schutzstellung befindlichen Steigschutz benutzt werden.

8.9.2.2 Standflächen und Laufstege

Zur Ausführung von Schornsteinfegerarbeiten und Messungen sind Standflächen und Laufstege vorzusehen. Sie dürfen nicht tiefer als 1,50 m unter der Schornsteinmündung liegen und müssen mindestens die Maße von 300 mm × 400 mm haben.

Standflächen und Laufstege müssen mit Geländern Form B nach DIN 24533 gegen Absturz von Personen und gegen Herabfallen von Gegenständen gesichert sein. Werden Standflächen als Klapp-Podeste ausgebildet, so darf auf die Anordnung eines Geländers verzichtet werden. Der Steigschutz muß jedoch voll wirksam bleiben.

8.9.3 Flugsicherung

Die erforderlichen Maßnahmen schreibt die Bundesanstalt für Flugsicherung vor.

8.9.4 Blitzschutz- und Erdungsanlagen

Schornsteine aus Stahl müssen eine wirksame Erdung und einen Blitzschutz nach DIN VDE 0185 Teil 1 erhalten.

9 Korrosionsschutz

9.1 Allgemeines

Schornsteine aus Stahl müssen im allgemeinen gegen Korrosion geschützt werden. Es ist zu unterscheiden zwischen Korrosionsbeanspruchungen durch die Abgase und denen durch äußere Umwelteinwirkungen.

Durch die Abgase werden beansprucht:

- die Innenflächen des abgasführenden Rohres
- die Außenflächen des Schornsteins und die Begehungseinrichtungen (Steigleitern, Bühnen, Sicherheitseinrichtungen; siehe auch Abschnitt 8.9) im Bereich der Abgasfahne — etwa dem 5fachen Außendurchmesser entsprechend —
- alle Außenflächen, die sich im Bereich der Abgase benachbarter Schornsteine befinden.

Maßnahmen gegen Korrosion bei Beanspruchung durch Abgase können bestehen aus

- a) Korrosionsschutz durch
 - Beschichtungen und Überzüge
 - Auskleidungen
- b) Überdimensionierung (Korrosionszuschlag zur Blechdicke)
- c) Wahl geeigneter nichtrostender Stähle.

Die Auswahl der Maßnahmen richtet sich nach den mechanischen, chemischen und thermischen Beanspruchungen des Schornsteins, der Bauart, den Fertigungs- und Montagebedingungen sowie dem Standort.

9.2 Chemische Einwirkung

9.2.1 Allgemeines

Die chemische Einwirkung entsteht durch Kondensation von verschiedenen Abgasen zu Säuren, z. B. Schwefel-

säure, Salzsäure, verunreinigt durch Chloride und Fluoride. Je nach Art und Dauer der Einwirkung ist die zu erwartende chemische Beanspruchung einzustufen in

- a) geringfügig
- b) mittel
- c) stark
- d) sehr stark.

Allgemein ist das Vermeiden der Taupunktunterschreitung die sicherste Maßnahme gegen Korrosion.

9.2.2 Einwirkung aufgrund von Schwefeloxiden

Der Grad der chemischen Beanspruchung ist in Abhängigkeit von der Dauer der Säuretaupunktunterschreitungen aus Tabelle 4 zu entnehmen; dabei sind An-, Abfahrts- und Stillstandzeiten nicht zu berücksichtigen.

Tabelle 4. Grad der chemischen Beanspruchung bei Einwirkung von Schwefelsäure

Grad der chemischen Beanspruchung	Unterschreitung des Säuretaupunktes im Betriebszustand in Stunden/Jahr
geringfügig	unter 20
mittel	20 bis 100
stark	über 100 bis 2000
sehr stark	über 2000

Die in Tabelle 4 angegebenen Werte gelten für einen SO_3 -Gehalt des Abgases von 50 mg/m^3 . Bei abweichenden Werten des SO_3 -Gehaltes verändern sich die angegebenen Betriebsstunden umgekehrt proportional zum SO_3 -Gehalt. Wenn letzterer nicht bekannt ist, sollte der SO_3 -Gehalt mit mindestens 2% des SO_2 -Gehaltes im Abgas angenommen werden.

Besonders zu beachten sind Stellen lokaler Abkühlung, z. B. Flansche, Umlenkungen oder Anbauten und Unterstützungspunkte.

9.2.3 Einwirkung aufgrund von Chloriden und Fluoriden

Bei Abgasen, die Chloride und Fluoride enthalten, handelt es sich um sehr starke chemische Beanspruchung, wenn die Temperatur an der Wandoberfläche im Betriebszustand mehr als 20 Stunden/Jahr unter dem Säuretaupunkt liegt.

9.3 Maßnahmen gegen Korrosion

9.3.1 Beschichtungen und Überzüge

Es gilt DIN 55928 Teil 1 bis Teil 9.

Die Wahl von Beschichtungen oder Überzügen ist nach den in Abschnitt 9.2 genannten Kriterien vorzunehmen. Dabei ist der Grad der chemischen Beanspruchung sehr sorgfältig zu bestimmen (z. B. für Außenmantel außen oder innen, Innenrohr innen). Mehrschichtige Systeme, bestehend aus Grund- und Deckbeschichtungen, sind für höhere Temperaturen und im allgemeinen auch für starke chemische Beanspruchung besser geeignet als Einfachbeschichtungen.

Die Verarbeitungsvorschriften der Lieferfirmen sind vom Verarbeiter sehr sorgfältig zu beachten. Dies gilt insbesondere auch für Ausbesserungen von Transport- und Montageschäden sowie für Baustellenverbindungen.

9.3.2 Auskleidungen

Bei gemauerten Auskleidungen ist bei starker und sehr starker chemischer Beanspruchung säurebeständiges Mauerwerk nach DIN 1056/10.84, Abschnitt 2.11, vorzusehen.

Wird die Temperatur, bei der durch Kondensation Säure entsteht (Säuretaupunkt) auf der Innenseite des Stahlrohres unterschritten, ist zwischen Auskleidung und Stahlrohr ein zusätzlicher Korrosionsschutz durch Beschichtung mit säurebeständigem Material aufzubringen. Auf die thermische Beständigkeit dieser Beschichtung ist zu achten.

9.3.3 Korrosionszuschlag zur Blechdicke

Als Maßnahme gegen Korrosion für die mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Innenflächen des Rohres darf ein Korrosionszuschlag zur Blechdicke (Überdimensionierung) nach Tabelle 5 vorgesehen werden. Dies kann dann erforderlich werden, wenn, z. B. bei hoher Abgastemperatur mit häufigen Betriebsunterbrechungen, ein einwandfreier Korrosionsschutz durch Beschichtungen und Überzüge nicht möglich oder unwirtschaftlich ist.

Tabelle 5. Korrosionszuschlag zur Blechdicke für allgemeine Baustähle und warmfeste Stähle

erwarteter Korrosionsangriff	Korrosionszuschlag in mm für eine Entwurfslebensdauer von	
	10 Jahren	20 Jahren
geringfügig	2	3
mittel	3	5
stark	4	6

9.3.4 Wahl geeigneter nichtrostender Stähle

Von den in Abschnitt 4.2 aufgeführten nichtrostenden Stählen dürfen bei Schornsteinen von Verbrennungsanlagen solche nach Tabelle 6 verwendet werden. Bei anderen als den dort angegebenen Schadstoffkombinationen oder höheren Grenzwerten dürfen die genannten Stähle für tragende Bauteile nicht verwendet werden.

Tabelle 6. Nichtrostende Stähle für Schornsteine von Verbrennungsanlagen

Brennstoffe ¹⁾	Erdgas	Heizöl EL ²⁾ , Holz (natur)	Heizöl S ³⁾ , Kohle (max 1 % S)
mit einem Gehalt im Abgas von	SO ₂ < 35 mg/m ³	SO ₂ < 500 mg/m ³	SO ₂ < 1700 mg/m ³
	sowie HCl < 30 mg/m ³ und HF < 5 mg/m ³		
Wandtemperatur im maßgebenden Betriebszustand °C	Verwendbare Stähle (Werkstoffnummern)		
0 bis 100	1.4571 1.4435 1.4539	1.4539	1.4539
über 100 bis 150	1.4541 1.4571 1.4435 1.4539	1.4571 1.4435 1.4539	1.4539
über 150 bis 300	1.4541 1.4571 1.4435 1.4539	1.4571 1.4435 1.4539	1.4571 1.4435 1.4539
über 300 bis 400	1.4541 1.4571 1.4435	1.4541 1.4571 1.4435	1.4571 1.4435
über 400 bis 550	1.4561	1.4561	1.4561

¹⁾ Deponiegas und Stadtgas sind nach der Abgasanalyse entsprechend einzuordnen.

²⁾ Nach DIN 51 603 Teil 1

³⁾ Nach DIN 51 603 Teil 3

Der für die Auswahl dieser Werkstoffe maßgebliche Schadstoff ist das Schwefeldioxid (SO₂), wobei die möglichen begleitenden Anteile an Chlor- und Fluorverbindungen die angegebenen Höchstwerte nicht überschreiten dürfen.

Zur Berücksichtigung der flächenabtragenden Wirkung des Schwefels ist die statisch erforderliche Blechdicke¹⁾ um den Zuschlag nach Tabelle 7 zu vergrößern.

Tabelle 7. Zuschlag zur Blechdicke bei nichtrostenden Stählen in Schornsteinen von Verbrennungsanlagen

Entwurfslebensdauer	Dickenzuschlag
bis 20 Jahre	0,5 mm
über 20 Jahre	1,0 mm

Für nichttragende Bauteile und Auskleidungen können nach entsprechenden Untersuchungen höherwertige nichtrostende Stähle oder Nickelbasislegierungen verwendet werden.

10 Ausführung

10.1 Allgemeines

Für das Herstellen tragender Bauteile aus Stahl gilt DIN 18 800 Teil 7.

10.2 Geschweißte Schornsteine aus Stahl

Geschweißte Schornsteine aus Stahl dürfen nur von Betrieben hergestellt werden, die für die verwendeten Stähle und Werkstoffdicken den Anforderungen des Großen Eignungsnachweises nach DIN 18 800 Teil 7 mit der Erweiterung²⁾ auf den Anwendungsbereich von DIN 4133 genügen. Die eingesetzten Schweißer müssen mindestens die Bedingungen der Prüfgruppe B II nach DIN 8560 erfüllen.

¹⁾ Mindestens jedoch 1,5 mm nach Abschnitt 8.2

²⁾ Nach den bauaufsichtlichen Regelungen gilt der Nachweis auch als erbracht, wenn eine Eignungsbescheinigung für den Anwendungsbereich DIN 4132, DIN 15 018 Teil 1 bis Teil 3 oder DS 804 vorliegt.

Für Schornsteine des Abmessungsbereiches I, bei denen ein Nachweis der Querschwingungen nach Abschnitt A.2.2.2 nicht erforderlich ist, und für Schornsteine des Abmessungsbereiches II darf auf die Erweiterung verzichtet werden.

Schornsteine des Abmessungsbereiches II aus den Stahlsorten St 37-2, USt 37-2, RSt 37-2 und St 37-3 dürfen auch von Betrieben hergestellt werden, die lediglich die Anforderungen des Kleinen Eignungsnachweises erfüllen.

10.3 Einbringen der Vorspannkkräfte

Das Einbringen der Vorspannkkräfte muß mit Kraftmeßeinrichtungen überwacht und protokolliert werden. Hierbei ist die Benutzung von Spannvorrichtungen zulässig, die nach dem Einbau von Paßstücken in die Seilachse entlastet und wieder ausgebaut werden dürfen.

Die Endkontrolle der Vorspannkkräfte muß bei Windstille durchgeführt werden.

10.4 Korrosionsschutz

Für die Ausführung der Korrosionsschutzarbeiten gelten DIN 55 928 Teil 4 und Teil 6.

Kontrollflächen nach DIN 55 928 Teil 7 sollten vorgesehen werden.

11 Zustandsüberwachung

Schornsteine müssen regelmäßig, mindestens im Abstand von zwei Jahren, durch einen Sachkundigen überprüft werden.

Für Schwingungsdämpfer und Steigschutzeinrichtungen sind gegebenenfalls hierfür vorgeschriebene kürzere Zeitabstände für Inspektion und Wartung zu beachten.

Bei sehr starker chemischer Beanspruchung und bei Überdimensionierung als Maßnahme gegen Korrosion ist die Überprüfung in kürzeren Abständen durchzuführen. Auch der begehbare Innenraum zwischen Trag- und Innenrohr muß in die Prüfung einbezogen werden.

Über die Inspektionen ist ein Protokoll anzufertigen.

Anhang A

Windlastannahmen

A.1 Windlast ohne Berücksichtigung von Schwingungswirkungen

A.1.1 Rechenwert der Windlast

Die Windlast ist in der für die Bemessung des Tragwerkes ungünstigsten Windrichtung und — sofern keine anderen Angaben gemacht werden — horizontal wirkend anzunehmen.

Die resultierende Windlast W_i im Tragwerksabschnitt i ist (siehe Bild A.1)

$$W_i = c_{fi} \cdot q_i \cdot A_i \quad (\text{A.1})$$

Hierin bedeuten:

c_{fi} auf den Abschnitt i bezogener aerodynamischer Kraftbeiwert, siehe Abschnitt A.1.3

q_i Staudruck in Höhe z_i , siehe Abschnitt A.1.2

A_i Bezugsfläche im Abschnitt i , siehe Abschnitt A.1.3

Vereinfachend sind Mittelungen über in der Höhe ausreichend unterteilte Abschnitte zulässig. Bei Abspannseilen darf über die gesamte Seillänge gemittelt werden.

Die resultierende Windlast in Windrichtung darf im allgemeinen im Schwerpunkt des Querschnitts angesetzt werden.

A.1.2 Staudruck

Der durch den Wind in Höhe z über Gelände erzeugte Staudruck q , welcher der Böengeschwindigkeit (5-s-Mittelwert, der in 50 Jahren einmal erreicht oder überschritten wird) zugeordnet ist, ist anzunehmen mit:

$$q(z) = q_0 + 0,003 \cdot z \text{ in kN/m}^2 \quad (\text{A.2})$$

Hierin bedeuten:

q_0 Rechenwert des Staudrucks in Geländehöhe in kN/m^2

z Höhe über Gelände in m

Für $z \geq 300$ m ist der Staudruck konstant zu $q = q_0 + 0,9$ in kN/m^2 anzunehmen.

Bei Schornsteinhöhen bis $h = 50$ m darf mit einem über die Höhe h konstanten Staudruck nach Gleichung (A.3) gerechnet werden, der den Einfluß des wirklichen Staudruckprofils in den unteren Höhen über Gelände gegenüber Gleichung (A.2) genauer erfaßt.

$$q = 0,75 (1 + h/100) q_0 \text{ in kN/m}^2 \quad (\text{A.3})$$

Hierin bedeutet:

h Schornsteinhöhe über Gelände in m

Für den Staudruck q_0 sind folgende Werte in Abhängigkeit von der Zoneneinteilung nach Bild A.2 einzusetzen:

- Zone IV: Inseln in der Deutschen Bucht
 $q_0 = 1,70 \text{ kN/m}^2$
- Zone III: Nord- und Ostsee-Küstengebiet
 $q_0 = 1,30 \text{ kN/m}^2$
- Zone II: Norddeutsche Tiefebene
 $q_0 = 1,05 \text{ kN/m}^2$
- Zone I: übriges Gebiet mit Geländehöhen H bis 600 m über NN
 $q_0 = 0,80 \text{ kN/m}^2$
Standorte mit Geländehöhen H über 600 m über NN
 $q_0 = 0,10 + 7 H/6000$ in kN/m^2

Steht ein Schornstein auf einer Erhebung, die das umliegende Gelände mit einer Steigung größer 1 : 3 mehr als 30 m überragt, ist der Staudruck in jeder Höhe über Gelände um $\Delta q = 0,15 \text{ kN/m}^2$ zu erhöhen. Bei besonders ungünstigen Geländeformen können darüber hinausgehende Staudruckerhöhungen erforderlich werden.

Für den Montagezustand darf der Staudruck q auf das 0,7fache reduziert werden, sofern dieser Zustand nicht länger als 2 Jahre andauert.

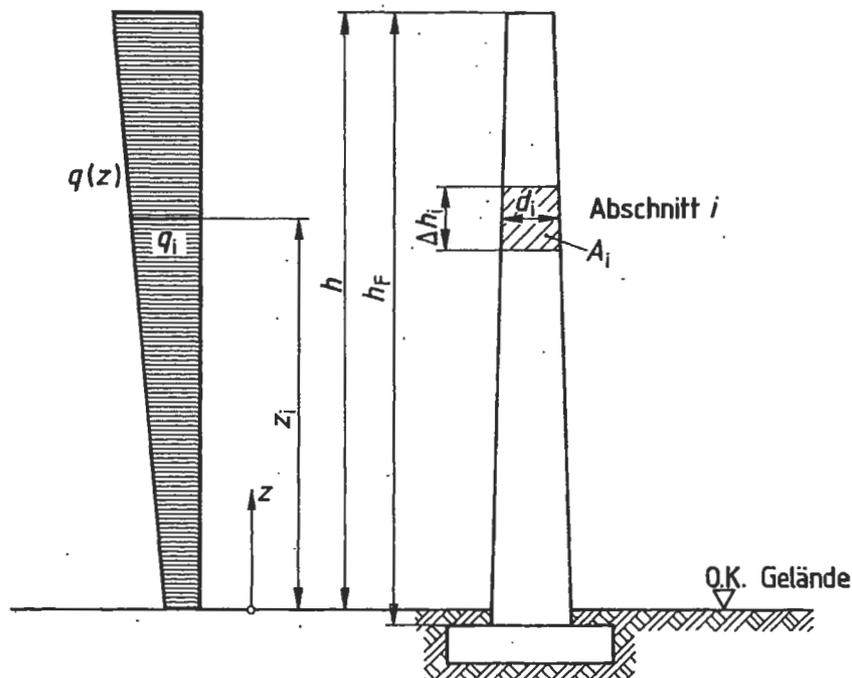


Bild A.1. Erläuterung von Formelzeichen



Bild A.2. Staudruckzonen

A.1.3 Aerodynamischer Kraftbeiwert c_f und Bezugsfläche A

A.1.3.1 Rechenwert des Kraftbeiwertes c_f

Die aerodynamischen Kraftbeiwerte c_f und die zugehörigen Bezugsflächen A sind DIN 1055 Teil 4 zu entnehmen. Für die üblichen Schornsteinformen dürfen vereinfachend gegenüber DIN 1055 Teil 4 die nachstehenden Berechnungsregeln angewendet werden.

Der auf den Abschnitt i bezogene aerodynamische Kraftbeiwert c_{fi} ist wie folgt zu ermitteln:

$$c_{fi} = \psi \cdot c_{f0,i} \tag{A.4}$$

Hierin bedeuten:

$c_{f0,i}$ Grundkraftbeiwert für die Querschnittsform des Abschnittes i , siehe Abschnitt A.1.3.2

ψ Abminderungsfaktor

$$\begin{aligned} \psi &= 0,65 + 0,0035 \cdot h/d \text{ für } h/d \leq 100 \\ \psi &= 1,0 \text{ für } h/d > 100 \end{aligned} \tag{A.5}$$

h Höhe des Schornsteins über Gelände, bei Schornsteinen auf Unterbauten dessen Länge

d Außendurchmesser in halber Höhe des Schornsteins

A.1.3.2 Grundkraftbeiwert c_{f0} und Bezugsfläche A

A.1.3.2.1 Kreiszyllindrische Schornsteine

Der Grundkraftbeiwert c_{f0} ist in Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re oder $d_m \sqrt{q}$ und der bezogenen Oberflächenrauigkeit k/d_m Bild A.3 zu entnehmen.

Hierin bedeuten:

d_m maßgebender Außendurchmesser des Schornsteins in m

Bei konischen Schornsteinen mit einer Mantelneigung $\leq 2,5\%$: über die Bauwerkshöhe gemittelter Außendurchmesser

$> 2,5\%$: mittlerer Außendurchmesser sinnvoll unterteilter Bauwerksabschnitte

q Staudruck nach Abschnitt A.1.2 in kN/m^2 in Höhe des maßgebenden Außendurchmessers

k Rechenwert der Rauigkeitstiefe (Ersatzrauigkeit); für Stahl $k = 0,001$ m.

Die Ersatzrauigkeit berücksichtigt eine übliche Oberflächenbeschaffenheit einschließlich Schraubenköpfen und ähnlichem.

Der Grundkraftbeiwert c_{f0} darf für Schornsteine mit $d_m \geq 0,1$ m und einer Rauigkeitstiefe (Ersatzrauigkeit) der Oberfläche $k = 0,001$ m näherungsweise wie folgt ermittelt werden:

$$c_{f0} = 0,91 - 0,065 \log(d_m/d_0) \tag{A.6}$$

Hierin bedeutet:

$d_0 = 1$ m Bezugswert

Die Bezugsfläche A_i des Abschnittes i mit der Länge Δh_i und dem Durchmesser d_i ist:

$$A_i = \Delta h_i \cdot d_i \tag{A.7}$$

Für Baukörper mit kreisförmigem Querschnitt, bei denen Störelemente z.B. in Form von schraubenförmigen Wendeln angeordnet sind, ist der aerodynamische Kraftbeiwert $c_f = 1,2$, bezogen auf den umhüllenden Zylinder (Hüllfläche), anzusetzen, sofern durch Windkanalversuche kein geringerer Wert nachgewiesen wird. Dieser Beiwert ist von der Windgeschwindigkeit bzw. vom Staudruck unabhängig.

Außenanbauten, z.B. Außenpodeste und Leitern, sind, sofern keine besonderen Untersuchungen durchgeführt werden, unabhängig von ihrem Abstand mit ihrem vollen rechnerischen Wert zusätzlich in Rechnung zu stellen.

Für Seile ist $c_f = 1,2$. Bei gegen die Horizontale geneigten Seilen darf die rechtwinklig zur Seilsehne wirkende Windlast mit

$$c_f = 1,2 \cdot \sin \alpha \tag{A.8}$$

ermittelt werden.

Hierin bedeutet:

α Winkel zwischen der Seilsehne und der horizontalen Windrichtung in derjenigen Ebene, die durch die Seilsehne und die Windrichtung gebildet wird

Die Bezugsfläche ist — unabhängig vom Winkel α —

$$A = l \cdot d \tag{A.9}$$

Hierin bedeuten:

l Seillänge; hierfür darf näherungsweise die Sehnenlänge des Seilbogens eingesetzt werden

d Seildurchmesser

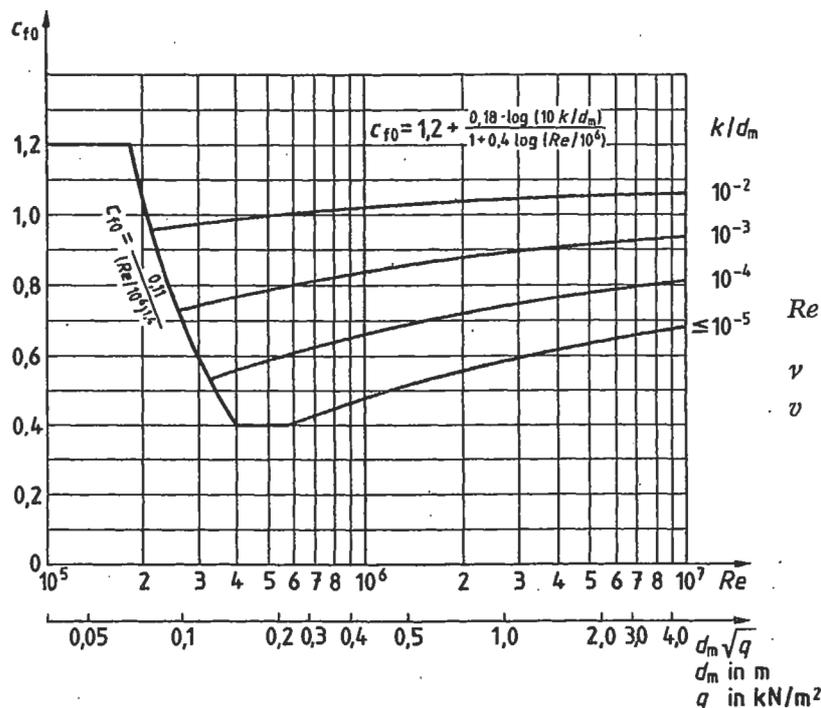


Bild A.3. Grundkraftbeiwert c_{f0} für kreiszyllindrische Schornsteine in Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re oder $d_m \sqrt{q}$ und der bezogenen Oberflächenrauigkeit k/d_m

A.1.3.2.2 Andere Tragwerks- oder Bauteilformen

Für andere als die im Abschnitt A.1.3.2.1 und DIN 1055 Teil 4 angegebenen Tragwerks- oder Bauteilformen sowie für andere als dort angegebene Abmessungsbereiche dürfen die aerodynamischen Kraftbeiwerte und die zugehörigen Bezugsflächen dem anerkannten, auf Windkanalversuchen beruhenden Schrifttum entnommen oder durch Versuche im Windkanal ermittelt werden.

A.1.3.2.3 Kreiszyklindrische Schornsteine in Reihenanordnung

Bei Anordnung von Schornsteinen in Reihe hängt der Grundkraftbeiwert c_{f0} von der Windrichtung bezogen auf die Reihenachse und vom Verhältnis des gegenseitigen Abstandes a zum mittleren Durchmesser d der Schornsteine ab. Sofern keine genaueren Werte belegt werden können, ist bei in Reihe angeordneten kreiszyklindrischen Schornsteinen der Grundkraftbeiwert c_{f0} für jeden einzelnen Schornstein mit dem in Tabelle A.1 angegebenen Erhöhungsfaktor κ zu multiplizieren:

Tabelle A.1. **Erhöhungsfaktoren κ für die Grundkraftbeiwerte c_{f0} von in Reihe angeordneten kreiszyklindrischen Schornsteinen**

a/d	κ	
bis 3,5	1,15	
über 3,5 bis 10	1,10	
über 10 bis 20	1,06	
über 20 bis 30	1,03	
über 30	1,00	

a Mittenabstand der einzelnen Schornsteine
 d mittlerer Schornsteindurchmesser

A.1.4 Umfangsdruckverteilung bei kreisringförmigen Querschnitten

Die ungleichförmige Winddruckverteilung über den Umfang kreisringförmiger Querschnitte ist in DIN 1055 Teil 4 angegeben. Die daraus resultierenden maximalen Schnittgrößen je Längeneinheit dürfen angenommen werden zu:

$$\begin{aligned}
 M &= 0,125 q \cdot d^2 \\
 N &= + 0,750 q \cdot d \text{ (Zugkraft)} \\
 V &= 0,500 q \cdot d
 \end{aligned}
 \tag{A.10}$$

Hierin bedeuten:

- d Außendurchmesser des Querschnitts
- q Staudruck in Höhe des zu bemessenden Querschnitts nach Abschnitt A.1.2

A.1.5 Windlast bei Eisansatz

Bei großen zylindrischen Stahlschornsteinen ist ein Nachweis der Windlast auf die durch Eisansatz vergrößerte Bezugsfläche in der Regel nicht erforderlich. Er kann notwendig werden bei feingliedrigen Konstruktionen und Fachwerken. In diesem Fall ist die Windlast auf die durch den allseitigen Eisansatz vergrößerte Bezugsfläche des Tragwerkes und der Abspannseile mit 75 % des Staudrucks zu ermitteln. Für den Eisansatz gilt DIN 1055 Teil 5.

³⁾ Wegen der unter rechnerischer Böenbelastung auftretenden hohen Beanspruchungen und großen Schwingungsamplituden und wegen der aerodynamischen Dämpfung darf das logarithmische Dämpfungskoeffizient unabhängig von der Konstruktion des Bauwerks mit $\delta_B = 0,1$ angenommen werden.

A.2 Berücksichtigung von Schwingungswirkungen

A.2.1 Böenerregte Schwingungen in Windrichtung

A.2.1.1 Statische Ersatzlast

Die durch die Böigkeit des Windes hervorgerufene Schwingungswirkung in Windrichtung wird durch den Ansatz einer statischen Ersatzlast erfaßt. Hierzu ist die nach Gleichung (A.1) ermittelte Windlast im Abschnitt i mit dem Böenreaktionsfaktor φ_B zu vervielfachen.

Damit ist:

$$W_i = \varphi_B \cdot c_{fi} \cdot q_i \cdot A_i \tag{A.11}$$

Der Böenreaktionsfaktor φ_B berücksichtigt die Wirkung der räumlichen und zeitlichen Änderungen der Windgeschwindigkeit auf die Bauwerksschwingungen in Windrichtung.

Für freistehende Schornsteine (Kragssysteme) darf φ_B wie folgt berechnet werden:

$$\varphi_B = \varphi_{B0} \cdot \eta \tag{A.12}$$

Hierin bedeuten:

η Größtenfaktor

φ_{B0} Grundwert des Böenreaktionsfaktors

Für die Ermittlung von η und φ_{B0} ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned}
 \eta &= 1,00 \quad \text{für } h \leq 50 \text{ m} \\
 \eta &= 1,05 - h/1000 \quad \text{für } h > 50 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{A.13}$$

$$\varphi_{B0} = 1 + (0,042 T - 0,0019 T^2) \cdot \delta_B^{0,63} \tag{A.14}$$

Hierin bedeuten:

h Höhe des Schornsteinschaftes in m

T Schwingungsdauer der Bauwerksgrundschwingung in s, siehe Abschnitt A.2.1.2

$\delta_B = 0,1$ Rechenwert des logarithmischen Dämpfungskoeffizienten bei Böenbelastung³⁾

Gleichung (A.14) ist gültig für $T \leq 10$ s.

Wird ein Schwingungsdämpfer nach Abschnitt A.2.2.8.3 angeordnet, vergrößert sich δ_B mindestens auf den Wert 0,2.

Bei abgespannten Schornsteinen darf der Böenreaktionsfaktor φ_B für das überkragende Ende sinngemäß berechnet werden. Schwingungsbeanspruchungen, verursacht durch Windkräfte, die zwischen den Abspannungen wirken, dürfen vernachlässigt werden.

A.2.1.2 Schwingungsdauer

Die Schwingungsdauer T der Grundschwingung von freistehenden Schornsteinen kann wie folgt ermittelt werden:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{\sum_i G_i \cdot y_i^2}{g \cdot \sum_i G_i \cdot y_i}} \tag{A.15}$$

Hierin bedeuten:

G_i die in den Punkten i zusammengefaßten ständigen Lasten des Systems

y_i die horizontalen Auslenkungen des Systems in den Punkten i infolge der horizontal wirkend angenommenen Lasten G_i

g Fallbeschleunigung (9,81 m/s²)

Bei starr eingespannten freistehenden Schornsteinen mit annähernd konstanten Querschnitten darf die Schwingungsdauer T der Grundschwingung nach folgender Gleichung abgeschätzt werden:

$$T = \frac{h_F^2}{1000 d} \cdot \sqrt{\frac{G}{G_i}} \tag{A.16}$$

Hierin bedeuten:

- h_F Höhe des Schornsteins über der Einspannstelle in m
- d Außendurchmesser des Tragrohrs in m
- G Eigenlast des schwingenden Schornsteins einschließlich aller Einbauten
- G_1 Eigenlast der tragenden Konstruktion

Bei abgespannten Schornsteinen darf zur Berechnung der Schwingungsdauer T des überkragenden Endes näherungsweise davon ausgegangen werden, daß dieser Teil in Höhe der obersten Abspannung verschiebungs- und drehfederelastisch eingespannt ist. Die Verschiebungsfederkonstante c und die Drehfederkonstante c_φ dürfen als entkoppelt angesetzt werden, d.h. die Verschiebungsfederkonstante c darf als Kehrwert der Verschiebung infolge einer horizontal wirkenden Einheitskraft $H = 1$ und die Drehfederkonstante c_φ als Kehrwert der Verdrehung infolge eines Einheitsmomentes $M = 1$, jeweils in Höhe der obersten Abspannung, bestimmt werden. Dabei darf bei der Berechnung der Drehfederkonstanten c_φ das dem überkragenden Teil benachbarte Feld als beidseitig unverschieblich und gelenkig gelagert angesehen werden.

Die Schwingungsdauer T der Grundschiwingung eines verschiebungs- und drehfederelastisch gelagerten Kragträgers mit gleichmäßig verteilter Masse und Steifigkeit ergibt sich zu

$$T = \frac{2\pi}{\lambda_T^2} \sqrt{\frac{m \cdot l^4}{E \cdot I}} \quad (A.17)$$

Hierin bedeuten:

- m Masse je Längeneinheit des Kragträgers
- $E \cdot I$ Biegesteifigkeit des Querschnitts
- l Länge des Kragträgers
- λ_T Beiwert nach Bild A.4

A.2.2 Wirbelerregte Schwingungen in Querrichtung (Querschwingungen)

A.2.2.1 Allgemeines

Wirbelerregte Schwingungen rechtwinklig zur Windrichtung treten insbesondere bei Schornsteinen mit kreisförmigen oder annähernd kreisförmigen Querschnitten auf. Für die Bemessung ist der Resonanzfall maßgebend, bei dem die Wirbelablösefrequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt.

Die auf den Schornstein im Bereich der Wirklänge L_j (siehe Abschnitt A.2.2.4.4) einwirkenden Erregerkräfte je Längeneinheit p_{lat} ergeben sich in Abhängigkeit von der Zeit t nach Gleichung (A.18).

$$p_{lat}(t) = c_{lat} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_{crit}^2 \cdot d \cdot \sin 2\pi ft \quad (A.18)$$

Hierin bedeuten:

- c_{lat} aerodynamischer Erregerkraftbeiwert, siehe Abschnitt A.2.2.3
- ρ Luftdichte⁴⁾
- v_{crit} kritische Windgeschwindigkeit, siehe Abschnitt A.2.2.2
- d Außendurchmesser des Kreiszylinders im Bereich der Wirbelerregung⁵⁾
- $f = \frac{1}{T}$ Eigenfrequenz des Schornsteins, T siehe Abschnitt A.2.1.2

⁴⁾ Die Luftdichte hängt vom Luftdruck und der Temperatur ab. Sie darf vereinfachend mit $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ angesetzt werden.

⁵⁾ Bei konischen, freistehenden Schornsteinen mit einer Mantelneigung $\leq 2,5\%$ in $\frac{1}{6}$ der Schornsteinhöhe zu ermitteln.

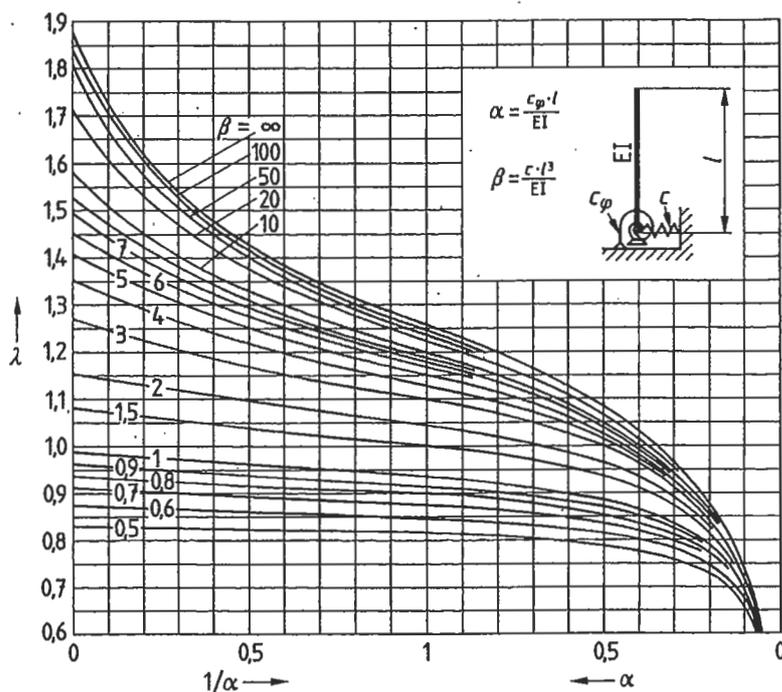


Bild A.4. Beiwerte λ_T zur Ermittlung der Schwingungsdauer T nach Gleichung (A.17)

Die aus dieser Einwirkung resultierenden Schnittgrößen sind durch eine dynamische Berechnung zu ermitteln. Diese Berechnung ist im Abschnitt A.2.2.4 unter vereinfachenden Voraussetzungen formelmäßig aufbereitet.

Für Kragsysteme mit Schlankheiten $h/d \leq 60$, wobei d der mittlere Außendurchmesser des Schornsteins ist, braucht nur die Eigenfrequenz der Grundschiwingung berücksichtigt zu werden. Für Schlankheiten $h/d > 60$, für abge-spannte Systeme, solche mit starken Querschnittssprüngen und bei bereichsweise abgeschirmten Tragwerksteilen können höhere Eigenfrequenzen angeregt werden.

Bei konischen Schornsteinen mit einer Mantelneigung $> 2,5\%$ sind darüber hinaus besondere Überlegungen hinsichtlich der aerodynamischen Erregerkräfte erforderlich.

Die Beanspruchungen aus wirbelerregten Schwingungen in Querrichtung brauchen im allgemeinen nicht mit den Beanspruchungen aus den gleichzeitig wirkenden Windkräften in Windrichtung überlagert zu werden.

A.2.2.2 Kritische Windgeschwindigkeit v_{crit}

Die kritische Windgeschwindigkeit, bei der der Resonanzfall eintritt, kann nach Gleichung (A.19) ermittelt werden:

$$v_{crit} = \frac{d \cdot f}{S} \tag{A.19}$$

Hierin bedeuten:

d Außendurchmesser des Kreiszylinders im Bereich der Wirbelerregung⁵⁾

S Strouhalzahl; ($S \approx 0,2$ für Kreiszylinder)

$f = \frac{1}{T}$ Eigenfrequenz des Schornsteins, T siehe Abschnitt A.2.1.2

Bei abgesetzten Schornsteinen gibt es der Anzahl n der Durchmesserabstufungen entsprechend viele kritische Windgeschwindigkeiten. Mit nur einer kritischen Windgeschwindigkeit darf gerechnet werden, wenn die Änderung der Durchmesser benachbarter Schüsse kleiner als 20% und die Schußlänge mit konstantem Durchmesser größer als $4d$ ist. Dabei ist als maßgebender Durchmesser der Durchmesser in $\frac{5}{6}$ der Bauwerkshöhe anzunehmen.

Ein Nachweis der Querschwingungen ist nicht erforderlich, wenn

— in den Zonen I und II $v_{crit} \geq 30$ m/s

— in den Zonen III und IV $v_{crit} \geq 40$ m/s

ist.

A.2.2.3 Aerodynamischer Erregerkraftbeiwert c_{lat}

Der aerodynamische Erregerkraftbeiwert c_{lat} ergibt sich in Abhängigkeit von der kritischen Windgeschwindigkeit aus Tabelle A.2.

Falls für den Grundwert c_{lat}^* des aerodynamischen Erregerkraftbeiwertes keine genaueren Werte belegt werden können, ist er in Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re nach Bild A.5 anzunehmen. Diese ist für die kritische Windgeschwindigkeit nach Gleichung (A.20) zu ermitteln.

$$Re = \frac{d \cdot v_{crit}}{\nu} \tag{A.20}$$

Hierin bedeuten:

ν die kinematische Viskosität der Luft ($1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

d Außendurchmesser des Kreiszylinders im Bereich der Wirbelerregung⁵⁾

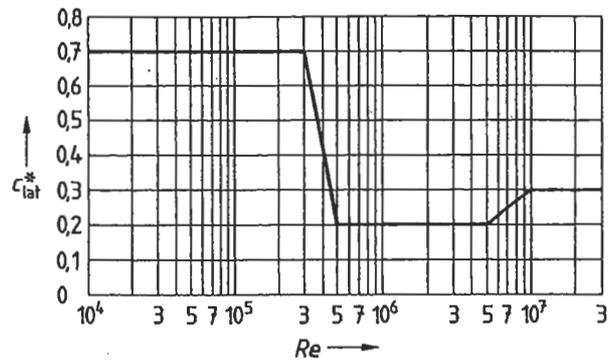


Bild A.5. Grundwert c_{lat}^* des aerodynamischen Erregerkraftbeiwertes in Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re

Tabelle A.2. Erregerkraftbeiwert c_{lat} in Abhängigkeit von der kritischen Windgeschwindigkeit für verschiedene Windzonen

	Kritische Windgeschwindigkeit v_{crit}	Erregerkraftbeiwert c_{lat}
Zonen I und II	$v_{crit} \leq 20$ m/s	$c_{lat} = c_{lat}^*$
	20 m/s $< v_{crit} \leq 30$ m/s	$c_{lat} = \frac{30 - v_{crit}}{10} \cdot c_{lat}^*$
	30 m/s $< v_{crit}$	$c_{lat} = 0$
Zonen III und IV	$v_{crit} \leq 27$ m/s	$c_{lat} = c_{lat}^*$
	27 m/s $< v_{crit} \leq 40$ m/s	$c_{lat} = \frac{40 - v_{crit}}{13} \cdot c_{lat}^*$
	40 m/s $< v_{crit}$	$c_{lat} = 0$

A.2.2.4 Ermittlung der Schnittgrößen

A.2.2.4.1 Allgemeines

Die maßgebenden Schnittgrößen ergeben sich als Reaktionsgrößen unter der Einwirkung der Trägheitskräfte F_i des schwingenden Systems. Diese Trägheitskräfte errechnen sich aus folgender Gleichung:

$$F_i = m_i \cdot (2 \pi f)^2 \cdot \Phi_i \cdot \max y_F \tag{A.21}$$

Hierin bedeuten:

F_i Amplitude der Trägheitskraft im Abschnitt i , quer zur Windrichtung wirkend

m_i schwingende Masse im Abschnitt i

$f = \frac{1}{T}$ Eigenfrequenz des Schornsteins, T siehe Abschnitt A.2.1.2

Φ_i bezogene Schwingwegamplitude in der Mitte des Abschnitts i (Schwingungsform), siehe Abschnitt A.2.2.4.2

$\max y_F$ maximale Schwingwegamplitude des Schornsteins siehe Abschnitt A.2.2.4.3

A.2.2.4.2 Schwingungsform

Die Schwingungsform $\Phi(z)$ ist die bezogene Schwingwegamplitude.

$$\Phi(z) = \frac{y(z)}{\max y} \tag{A.22}$$

$y(z)$ und $\max y$ dürfen näherungsweise als Auslenkungen des Systems unter einer Last, deren Verteilung etwa der Verteilung der Trägheitskräfte entspricht, ermittelt werden. Für Kragsysteme darf die horizontale Auslenkung y_i nach Abschnitt A.2.1.2 verwendet werden.

⁵⁾ Siehe Seite 16

A.2.2.4.3 Berechnung der Schwingwegamplitude $\max y_F$
 Die maximale Schwingwegamplitude $\max y_F$ des Schornsteins, die bei der kritischen Windgeschwindigkeit auftritt, kann nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\frac{\max y_F}{d} = K_W \cdot K \cdot c_{lat} \cdot \frac{1}{S^2} \cdot \frac{1}{Sc} \quad (A.23)$$

Hierin bedeuten:

d Außendurchmesser des Kreiszyllinders im Bereich der Wirbelerregung⁵⁾

K_W Wirklängenfaktor, siehe Abschnitt A.2.2.4.4

K Beiwert der Schwingungsform, siehe Abschnitt A.2.2.4.4

c_{lat} aerodynamischer Erregerkraftbeiwert, siehe Abschnitt A.2.2.3

S Strouhalzahl; ($S \approx 0,2$ für Kreiszyllinder)

Sc Scrutonzahl (Massendämpfungsparameter) nach Gleichung (A.24)

$$Sc = \frac{2 M \delta}{\rho d^2} \quad (A.24)$$

ρ Luftdichte⁴⁾

δ logarithmisches Dämpfungsdekrement, siehe Abschnitt A.2.2.5

M reduzierte Masse je Längeneinheit nach Gleichung (A.25)

$$M = \frac{\sum_i m_i \Phi_i^2}{\sum_i \Phi_i^2 \Delta h_i} \quad (A.25)$$

m_i schwingende Masse des Abschnitts i

Φ_i bezogene Schwingwegamplitude in der Mitte des Abschnitts i , siehe Abschnitt A.2.2.4.2

Δh_i Länge des Abschnitts i

A.2.2.4.4 Berechnung des Wirklängenfaktors K_W und des Beiwertes der Schwingungsform K

Der Wirklängenfaktor K_W berücksichtigt die Wirklänge L_j ⁶⁾ längs der Schornsteinachse, über welche die Wirbelerregung phasengleich einwirkt. Der Wirklängenfaktor K_W , der maximal den Wert 1 erreicht, errechnet sich bei Kenntnis von Größe und Lage der Wirklänge L_j aus Gleichung (A.26).

⁴⁾ und ⁵⁾ siehe Seite 16.

⁶⁾ Die Wirklänge entspricht der Korrelationslänge der Wirbelablösung am Kreiszyllinder. Sie wird von der Schwingbewegung gesteuert.

$$K_W = \frac{\sum_{j=1}^n \int_{L_j} |\Phi(z)| dz}{\int_{h_F} |\Phi(z)| dz} \quad (A.26)$$

Hierin bedeuten:

$\Phi(z)$ Schwingungsform, siehe Abschnitt A.2.2.4.2

L_j Wirklänge im Bereich j ; sie ist dort jeweils im Bereich der größten Auslenkung anzusetzen. Beispiele für die Wirklänge sind in Bild A.6 dargestellt

n Anzahl der gleichzeitig zu berücksichtigenden Bereiche phasengleicher Wirbelerregung (siehe Bild A.6); bei abgespannten Schornsteinen darf die Anzahl auf $n = 3$ begrenzt werden.

h_F Höhe des Schornsteins über dem Fußpunkt

Für Schornsteine, bei denen nur die Grundswingungsform berücksichtigt zu werden braucht (siehe z.B. Bild A.6a), ergibt sich der Wirklängenfaktor näherungsweise aus Gleichung (A.27)

$$K_W = 3 \frac{L_1/d}{h_F/d} \left[1 - \frac{L_1/d}{h_F/d} + \frac{1}{3} \left(\frac{L_1/d}{h_F/d} \right)^2 \right] \quad (A.27)$$

Die auf den Durchmesser d bezogene Wirklänge L_j wird von der größten in ihrem Bereich auftretenden Schwingwegamplitude $\max y_{Rj}$ beeinflusst. Näherungsweise dürfen die Werte nach Tabelle A.3 angesetzt werden.

Tabelle A.3. Wirklänge L_j

$\frac{\max y_{Rj}}{d}$	$\frac{L_j}{d}$
$\leq 0,1$	6
0,1 bis 0,6	$4,8 + 12 \frac{\max y_{Rj}}{d}$
$\geq 0,6$	12

Für den Beiwert der Schwingungsform K gilt:

$$K = \frac{\int |\Phi(z)| dz}{4 \pi \int_{h_F} \Phi^2(z) dz} \quad (A.28)$$

Für Kragssysteme mit annähernd konstantem Querschnitt darf näherungsweise gesetzt werden:

$$K = 0,13 \quad (A.29)$$

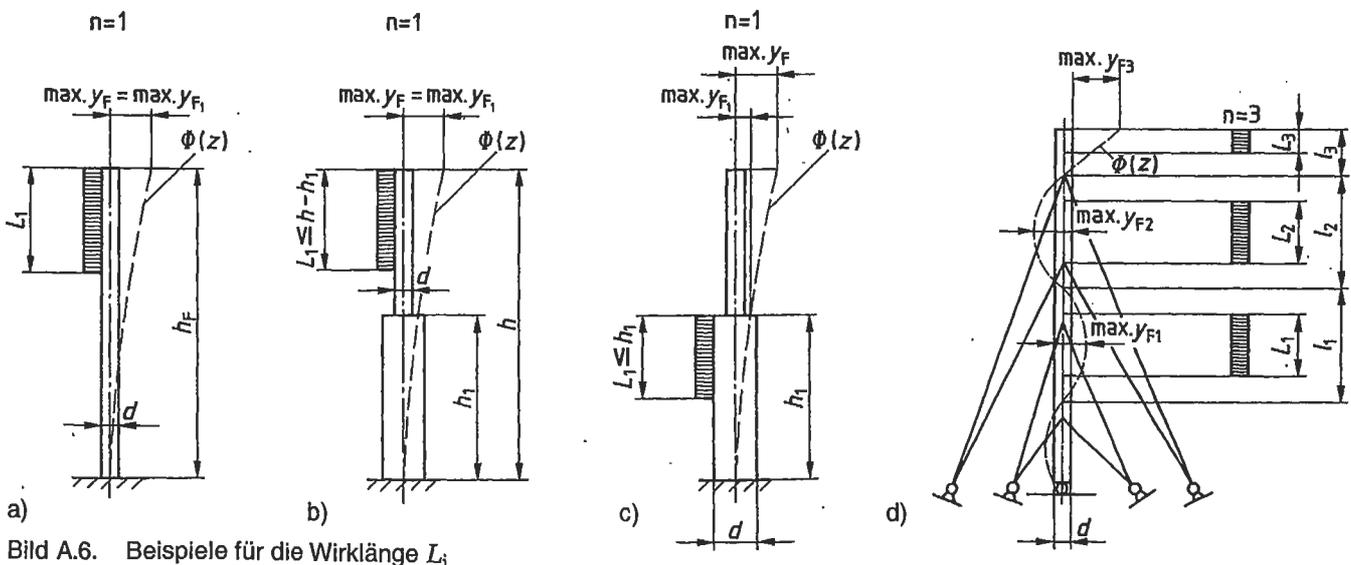


Bild A.6. Beispiele für die Wirklänge L_j

Tabelle A.4. Dämpfungsdekremente δ

Konstruktionsart		δ
Rohr,	ungestoßen, geschweißt oder mit GV-Verbindung geschraubt, ohne Innenrohr, ohne Isolierung	0,015
Rohr,	geschraubt oder genietet, ohne Innenrohr, ohne Isolierung	0,02
Rohr,	mit einem isolierten Innenrohr oder Außenisolierung	0,025
Rohr,	mit zwei oder mehreren isolierten Innenrohren	0,03
Rohr,	ausgemauert	0,07
Zweier-Rohr,	kraftschlüssig verbunden, ohne Isolierung	0,025
Dreier-Rohr-Gruppe,	kraftschlüssig verbunden, ohne Isolierung	0,03
Rohr,	abgespannt, ohne Innenrohr, ohne Isolierung	0,04

A.2.2.5 Dämpfung

Falls keine genaueren Werte für die Dämpfung belegt werden können, dürfen für die Berechnung der Querschwingungen die in Tabelle A.4 angegebenen Werte für das logarithmische Dämpfungsdekrement δ angenommen werden. Diese Werte gelten für übliche Fundamentgründungen. Bei Schornsteinen mit großen Kopfmassen kann δ kleinere Werte annehmen.

$$N = 10^9 \cdot f \cdot \left(\frac{v_{crit}}{v_0} \right)^2 \cdot e^{-(v_{crit}/v_0)^2} \quad (A.30)$$

Hierin bedeuten:

$f = \frac{1}{T}$ Eigenfrequenz des Schornsteins in s^{-1} , T siehe Abschnitt A.2.1.2

v_{crit} kritische Windgeschwindigkeit in m/s, siehe Abschnitt A.2.2.2

v_0 Bezugswert der Windgeschwindigkeit in m/s
Vereinfachend darf für v_0 gesetzt werden:

- in den Zonen I und II $v_0 = 5 \text{ m/s}$
- in den Zonen III und IV $v_0 = 7 \text{ m/s}$

A.2.2.6 Wirbelerregte Schwingungen von in Reihe stehenden Schornsteinen

Bei in Reihe stehenden Schornsteinen können bei bestimmten Anströmwindeln erhöhte Beanspruchungen aus Querschwingungen auftreten. Sofern kein genauerer Nachweis geführt wird, ist bei Abständen $a < 15 d$ der aerodynamische Erregerkraftbeiwert c_{lat} nach Abschnitt A.2.2.3 mit 1,5 zu multiplizieren und die Strouhalzahl S nach Bild A.7 anzunehmen.

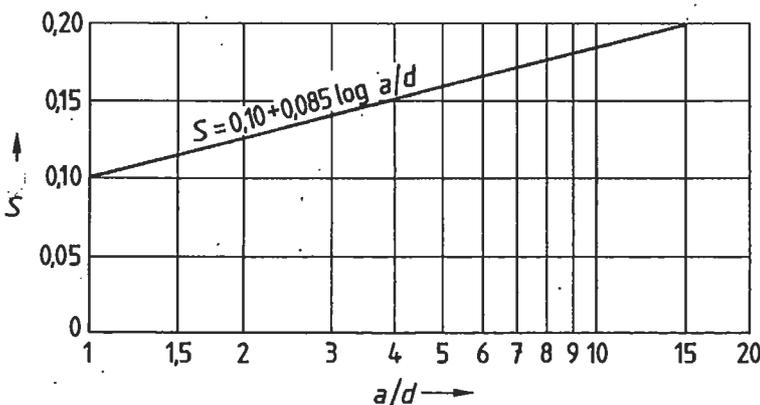


Bild A.7. Strouhalzahl S bei in Reihe stehenden Schornsteinen

A.2.2.7 Anzahl der Spannungswechsel

Für den Nachweis der Betriebsfestigkeit ist die Anzahl der Spannungswechsel für die jeweils kritische Windgeschwindigkeit zu ermitteln. Treten z.B. bei abgesetzten Schornsteinen mehrere kritische Windgeschwindigkeiten auf, so können die jeweiligen kritischen Beanspruchungen mit der dazugehörigen Anzahl der Spannungswechsel zu einem Kollektiv zusammengefaßt werden. Die Anzahl der Spannungswechsel ist proportional zur Lebensdauer. Für eine Lebensdauer von 50 Jahren und bei Ansatz einer Windhäufigkeitsverteilung nach Weibull darf die Anzahl N der Spannungswechsel nach Gleichung (A.30) ermittelt werden.

A.2.2.8 Maßnahmen gegen wirbelerregte Schwingungen in Querrichtung

A.2.2.8.1 Allgemeines

Schwingungen lassen sich auf aerodynamischem und schwingungstechnischem Wege durch das Anwenden einzelner oder kombinierter Hilfsmittel wirksam verringern, wie z.B.

- aerodynamische Maßnahmen, z. B. Schraubenwendeln
- Schwingungsdämpfer
- Störabspannungen

A.2.2.8.2 Aerodynamische Maßnahmen

Schraubenwendeln bewirken eine Störung der regelmäßig sich ablösenden Wirbel, wodurch die Erregerkräfte verringert werden. Am wirksamsten sind die Wendeln, wenn sie wie folgt ausgeführt werden:

- dreigängig
- Ganghöhe $h_w = 4,5 d$ bis $5 d$
- Wendeltiefe $t = 0,10 d$ bis $0,12 d$

Die Abnahme des Grundwertes c_{lat}^* mit zunehmender Wendellänge l_w ist aus Bild A.8 zu ersehen und ist unabhängig von der Reynoldszahl. Als Wirklänge ist dabei die gesamte Schornsteinhöhe anzunehmen, d. h. der Wirklängenfaktor beträgt $K_w = 1$. Die Wendel beginnt an der Schornsteinspitze. Es ist zulässig, die Wendel auch um das Maß $1,0 d$ bis $1,5 d$ unterhalb der Schornsteinspitze beginnen zu lassen. Sie muß mindestens über einem Bereich $l_w = 0,15 h$ angeordnet werden.

7) Zwischen dem logarithmischen Dämpfungsdekrement δ und der kritischen Dämpfung D (Lehrsches Dämpfungsmaß) besteht die Beziehung $\delta = 2 \pi D$.

Die Wirkung der Wendel nimmt mit kleiner werdender Scrutonzahl ab. Bild A.8 ist gültig für $Sc \geq 8$ (siehe Abschnitt A.2.2.4.3).

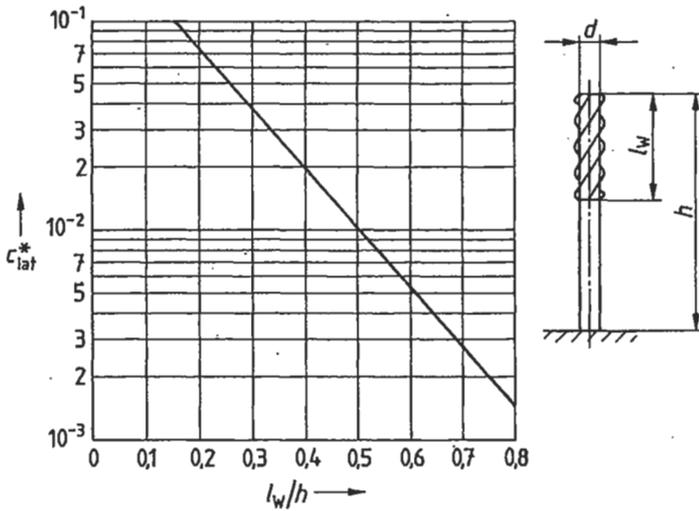


Bild A.8. Grundwert c_{lat}^* des aerodynamischen Erregerkraftbeiwertes in Abhängigkeit von der Wendellänge l_w (gültig für $Sc \geq 8$)

Für andere aerodynamische Maßnahmen ist ein gesonderter Nachweis zu führen (z. B. Windkanalversuch).

A.2.2.8.3 Schwingungsdämpfer

Ein Schwingungsdämpfer besteht aus einer schwingungsfähig und gedämpft gelagerten Zusatzmasse, wobei Masse, Eigenfrequenz und Dämpfung auf das Bauwerk abgestimmt sein müssen, um die Bauwerksdämpfung zu erhöhen. Bei einem üblichen Massenverhältnis (Dämpfermasse zu Bauwerksmasse einschließlich Zusatzmasse ohne Fundament) von 1 : 50 ist nach praktischer Erfahrung mit einer effektiven Dämpfung von mindestens $\delta = 0,2$ zu rechnen. Die tatsächlich zu fordernde Effektivdämpfung ergibt sich aus dem Querschwingungs-

nachweis. Falls keine Betriebserfahrung für die Wirksamkeit des Dämpfers vorliegt, sind Funktionsfähigkeit, Frequenzabstimmung und Systemdämpfung durch Versuche nachzuweisen. Es ist ein Protokoll darüber anzufertigen, aus dem zu ersehen ist, daß die laut Berechnung erforderliche Dämpfung erreicht wird. Es ist anzugeben, in welchem Zeitzyklus eine Inspektion und/oder Wartung des Dämpfers vorzunehmen ist.

A.2.2.8.4 Störabspannungen

Eine Störabspannung ist eine zusätzliche Abspannung des Schornsteins. Sie wirkt dann schwingungsdämpfend, wenn aufgrund der Seilmachart oder eigens angebrachter Elemente Schwingungsenergie zerstreut werden kann oder wenn die Nichtlinearität der Seilcharakteristik ausgenutzt wird.

Die Wirksamkeit der Maßnahmen ist am fertigen Schornstein durch Versuch nachzuweisen. Bei festem Anschluß der Seilenden ist auch der statische Nachweis für die maximale Windlast zu führen.

A.2.3 Querschnittsverformende Schwingungen (Ovalling)

Querschnittsverformende Schwingungen treten insbesondere an der Mündung von Schornsteinen mit großem Durchmesser und kleiner Wanddicke auf. Die Schwingungen können konstruktiv durch aussteifende Maßnahmen vermieden werden.

A.2.4 Sonstige Schwingungswirkungen

Bei Reihen- und Gruppenanordnungen von Schornsteinen mit Abständen $a \leq 3d$ können durch die gegenseitige Beeinflussung selbsterregte Schwingungen auftreten, die bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit, der sogenannten Einsetzgeschwindigkeit v_0 , beginnen und mit zunehmender Windgeschwindigkeit stark ansteigen. Hier muß auf besondere Nachweise verwiesen werden (z. B. Windkanalversuche).

Anhang B

Betriebsfestigkeitsnachweis

B.1 Anwendungsbereich

Die folgenden Festlegungen gelten für den Nachweis der Betriebsfestigkeit von Konstruktionen aus allgemeinen Baustählen, nichtrostenden Stählen und warmfesten Stählen mit einer Streckgrenze von höchstens 400 N/mm² und Schrauben bis zur Festigkeitsklasse 10.9 unter wechselnden Beanspruchungen konstanter Amplitude.

Alle rechnerischen Spannungswechsel müssen im elastischen Bereich des Stahles liegen.

Die angegebenen Festigkeiten gelten nur unter der Bedingung, daß die Stähle gegen Korrosion geschützt sind, da bei Korrosionseinfluß mit einer erheblichen Reduzierung dieser Werte gerechnet werden muß.

B.2 Spannungsberechnung

Die einwirkenden Spannungen sind nach der Elastizitätstheorie unter Berücksichtigung realistischer Steifigkeiten und Zwänge für die Beanspruchungen im Gebrauchszustand zu berechnen. Sie sind in der maßgebenden Faser des Nachweisquerschnitts rechtwinklig zur dargestellten „Rißlinie“ (siehe Bild B.2 und Tabelle B.1) zu ermitteln, wobei der spannungserhöhende Einfluß der lokalen Formgestaltung und des Schweißdetails nicht berücksichtigt zu werden braucht, wenn diese im Kerbfallkatalog angegeben sind.

Bei kombinierten Spannungen an einem Detailpunkt sollten die Längsspannungsschwingbreiten und die Schubspannungsschwingbreiten für sich getrennt nachgewiesen werden. Zusätzlich kann ein Nachweis der Hauptspannungsschwingbreiten geführt werden, wenn keine besseren Kombinationsregeln aus Versuchen zur Verfügung stehen.

Die einwirkenden Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma$ sind als Differenz zwischen maximaler und minimaler Spannung zu ermitteln.

B.3 Nachweis

Auf einen Betriebsfestigkeitsnachweis darf verzichtet werden, wenn

- die einwirkenden Spannungsschwingbreiten den Wert $\Delta\sigma = 26 \text{ N/mm}^2$ (B.1) nicht überschreiten oder
- die Anzahl der Spannungswechsel

$$N \leq 5 \cdot 10^6 \left(\frac{26}{\Delta\sigma} \right)^3 \text{ mit } \Delta\sigma \text{ in N/mm}^2 \quad (\text{B.2})$$

ist.

Andernfalls ist nachzuweisen, daß die einwirkende Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ nicht größer ist als die Betriebsfestigkeit $\Delta\sigma_R$ des betrachteten Konstruktionsdetails. Die Betriebsfestigkeit $\Delta\sigma_R$ wird durch die $\Delta\sigma$ - N Linie nach Bild B.1. wie folgt beschrieben:

$$\Delta\sigma_R = \Delta\sigma_A \cdot \left(\frac{N_A}{N} \right)^{1/m} \quad (\text{B.3})$$

Gleichung (B.3) ist gültig für $N \leq 5 \cdot 10^6$

Hierin bedeuten:

$\Delta\sigma_A$ Bezugsgröße der Betriebsfestigkeit entsprechend der Kerbfallklasse nach Tabelle B.1

$N_A = 2 \cdot 10^6$ Anzahl von Spannungswechseln für die Bezugsgröße der Betriebsfestigkeit $\Delta\sigma_A$
 N Anzahl der auftretenden Spannungswechsel
 $m = 3$ Neigungsfaktor der $\Delta\sigma$ - N Linie bei doppelt-logarithmischer Darstellung

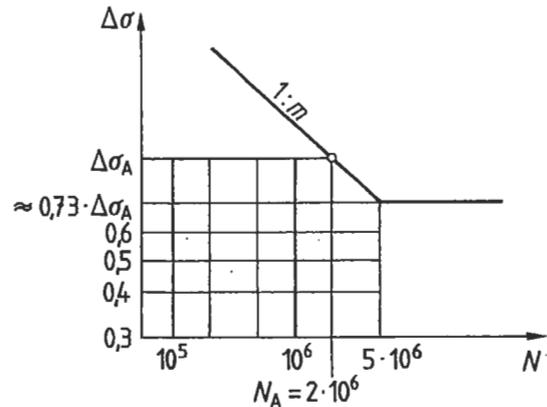


Bild B.1. $\Delta\sigma$ - N Linie

Ein Konstruktionsdetail ist nach Bild B.2 anhand des Kerbfallkatalogs nach Tabelle B.1 einzuordnen.

Die angegebenen Festigkeiten gelten für Bauteile mit Blechdicken bis 25 mm. Bei größeren Blechdicken ist bei Stumpf- und Kehlnähten, die quer zur Spannungsrichtung verlaufen, und bei Verbindung von Teilen gleicher Blechdicke mit der folgenden abgeminderten Betriebsfestigkeit $\Delta\sigma_R^*$ zu rechnen:

$$\Delta\sigma_R^* = \Delta\sigma_R \cdot \left(\frac{25}{t} \right)^{1/4} \quad (\text{B.4})$$

Hierin bedeuten:

$\Delta\sigma_R$ Betriebsfestigkeit nach Gleichung (B.3)

t Blechdicke in mm

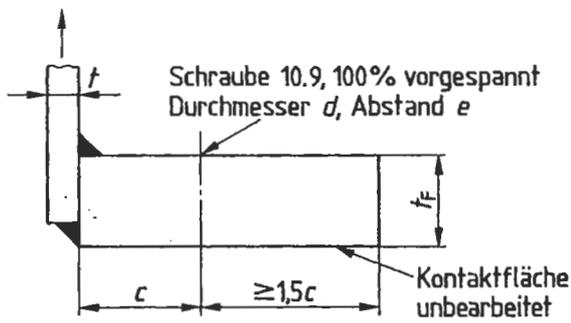
Für Schrauben unter zentrischer Zugbeanspruchung gilt die Kerbfallklasse 36 ($\Delta\sigma_A = 36 \text{ N/mm}^2$).

Wird statt einer Korrosionsschutzmaßnahme ein Zuschlag zur Blechdicke nach Abschnitt 9.3.3 gewählt, gilt unabhängig von der Zuordnung zu einem Kerbfall nach Tabelle B.1 die Kerbfallklasse 36 ($\Delta\sigma_A = 36 \text{ N/mm}^2$).

Sind die zu untersuchenden Bauteile ständig oder über längere Zeiträume höheren Temperaturen ausgesetzt, sind die angegebenen Betriebsfestigkeiten abzumindern (siehe Abschnitt 7.1.3).

Kerbfall Nr	Bezugsgröße der Betriebsfestigkeit $\Delta\sigma_A$ (Kerbfallklasse)
Beschreibung des Kerbfalls (Schweißdetail, Stoßausbildung) und Angabe der ausgeführten Schweißnahtart (nach Tabelle B.2)	Darstellung des jeweiligen Detailpunktes mit Kennzeichnung der „Rißlinie“ (---) an welcher die einwirkende Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ zu ermitteln ist.

Bild B.2. Aufbau einer Kerbfallbeschreibung im Kerbfallkatalog



$$c \leq 2d$$

$$\frac{e}{d} \leq 2 \frac{d}{t} \leq 10$$

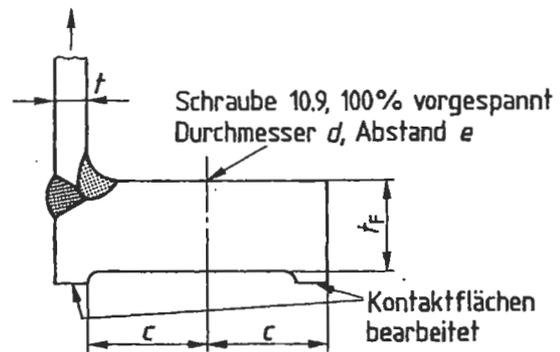
$$t_F \geq 1,5d \text{ jedoch } \min t_F = 4t \text{ f\u00fcr } r/t \leq 50$$

$$\min t_F = 3t \text{ f\u00fcr } r/t = 100$$

$$\min t_F = 2t \text{ f\u00fcr } r/t \geq 200$$

Zwischenwerte d\u00fcrfen interpoliert werden.

Fall a) $\Delta\sigma_A = 45 \text{ N/mm}^2$



$$c \leq 2d$$

$$\frac{e}{d} \leq 2 \frac{d}{t} \leq 10$$

$$t_F \geq 1,25d \text{ f\u00fcr St 37}$$

$$t_F \geq 1,0d \text{ f\u00fcr St 52}$$

Fall b) $\Delta\sigma_A = 90 \text{ N/mm}^2$

Bild B.3. Flanschverbindung

Anmerkung: In Bild B.3 sind zwei F\u00e4lle einer in Bezug auf die Betriebsfestigkeit „guten“ (Fall b) und „weniger guten“ (Fall a) Flanschausbildung dargestellt.

Die angegebene Bezugsgr\u00f6\u00dfe $\Delta\sigma_A$ gilt f\u00fcr die Spannungsschwingbreite in der Schornsteinwand. Die aus dem exzentrischen Anschlu\u00df resultierenden Zusatzspannungen brauchen bei der Ermittlung von $\Delta\sigma$ nicht ber\u00fccksichtigt zu werden.

Tabelle B.1. Kerbfallkatalog

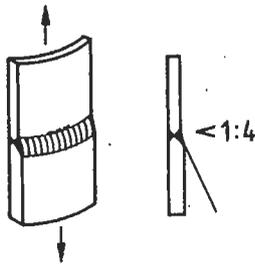
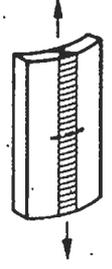
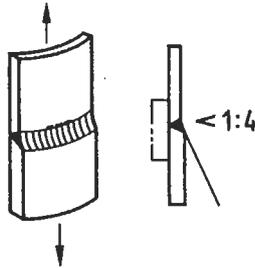
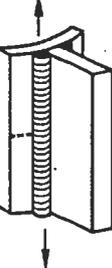
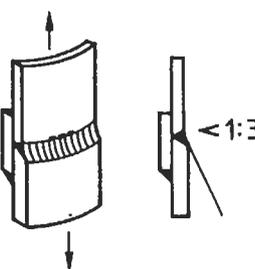
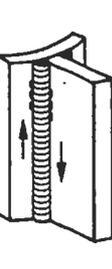
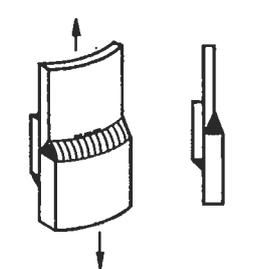
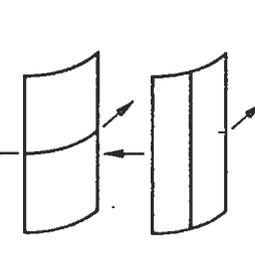
<p>1</p>	<p>125/112/90</p>	<p>6</p>	<p>125/112</p>
<p>Querstoß in Rohrschüssen, geschweißt mit Nahtart 1 125 Nahtart 2 90 Nahtart 2 in Wannenlage 112</p>		<p>Längsstoß in Rohrschüssen, durchlaufend geschweißt mit Nahtart 1 und 2 125 Nahtart 3 112</p>	
<p>2</p>	<p>80</p>	<p>7</p>	<p>125/112</p>
<p>Querstoß in Rohrschüssen, einseitig geschweißt mit Nahtart 3</p>		<p>Längssteg, an Rohrschuß durchlaufend angeschweißt mit Nahtart 5 bis 7 125 Nahtart 8 112</p>	
<p>3</p>	<p>71</p>	<p>8</p>	<p>80</p>
<p>Querstoß in Rohrschüssen, einseitig geschweißt mit Nahtart 4 auf verbleibender (oder wieder entfernter) Wurzelunterlage</p>		<p>Längssteg, an Rohrschuß durchlaufend angeschweißt mit Nahtart 5 bis 8; kontinuierlicher Schubfluß. (Quersteg analog)</p>	
<p>4</p>	<p>50</p>	<p>9</p>	<p>siehe Beschreibung</p>
<p>Querstoß in Rohrschüssen unterschiedlicher Dicke, einseitig geschweißt mit Nahtart 4</p>		<p>Längssteg mit Beanspruchungen rechtwinklig zur Naht: analog Fall 11, 12, 13</p>	
<p>5</p>	<p>siehe Beschreibung</p>	<p>10</p>	<p>siehe Beschreibung</p>
<p>Querstoß mit Beanspruchungen parallel zur Naht: analog Fall 6 Längsstoß mit Beanspruchungen rechtwinklig zur Naht: analog Fall 1 bis 4</p>		<p>Quersteg mit Beanspruchungen parallel zur Naht: analog Fall 7, 8, 17, 18</p>	

Tabelle B.1. (Fortsetzung)

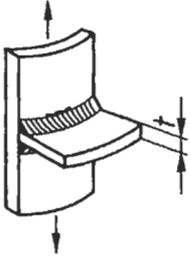
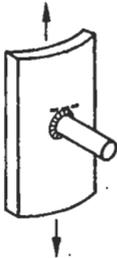
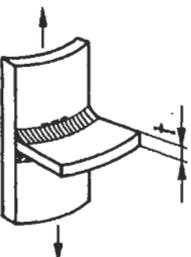
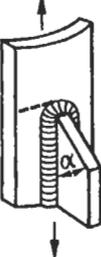
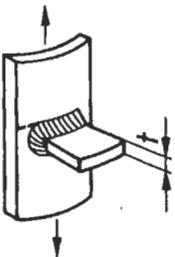
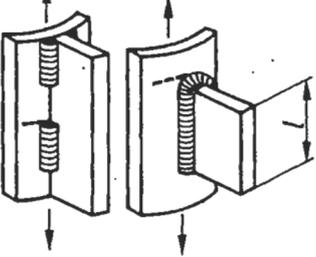
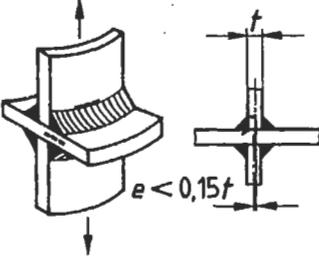
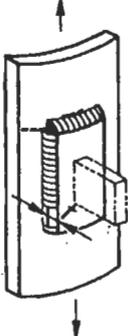
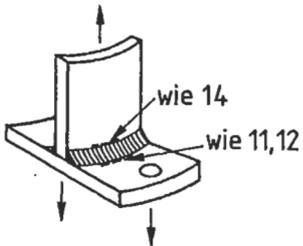
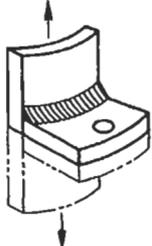
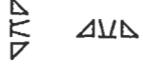
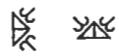
<p>11</p> <p>Quersteg, an Rohrschuß angeschweißt mit Nahtart 5 bis 7</p> <p>$t \leq 12 \text{ mm}$ 112 $t > 12 \text{ mm}$ 90</p>	<p>112/90</p> 	<p>16</p> <p>angeschweißter Rundstahl oder Kopfbolzendübel</p>	<p>90</p> 
<p>12</p> <p>Quersteg, an Rohrschuß angeschweißt mit Nahtart 8</p> <p>$t \leq 12 \text{ mm}$ 80 $t > 12 \text{ mm}$ 71</p>	<p>80/71</p> 	<p>17</p> <p>Längssteg, an Rohrschuß angeschweißt mit Nahtart 5 bis 8</p> <p>$\alpha \leq 15^\circ$ 90 $15^\circ < \alpha \leq 60^\circ$ 71 $60^\circ < \alpha$ 56</p>	<p>90/71/56</p> 
<p>13</p> <p>Quersteg, an Rohrschuß angeschweißt mit Nahtart 5 bis 8:</p> <p>kurzer Steg oder langer Steg mit unterbrochener Naht</p> <p>$t \leq 12 \text{ mm}$ 80 $t > 12 \text{ mm}$ 71</p>	<p>80/71</p> 	<p>18</p> <p>Längssteg, an Rohrschuß angeschweißt mit Nahtart 5 bis 8:</p> <p>kurzer Steg der Länge l oder langer Steg mit unterbrochener Naht (Nahtlänge l)</p> <p>$50 \text{ mm} \leq l \leq 100 \text{ mm}$ 71 $100 \text{ mm} < l$ 56</p>	<p>71/56</p> 
<p>14</p> <p>Kreuzstöße mit kraftüber- tragenden Schweißnähten</p> <p>Nahtart 5 71 Nahtart 6 und 7 56 Nahtart 8 36</p>	<p>71/56/36</p>  <p>$e < 0,15t$</p>	<p>19</p> <p>Pflasterblech (mit oder ohne weitere Anschluß- stücke) an Rohrschuß angeschweißt mit Nahtart 7 oder 8:</p> <p>$t \leq 25 \text{ mm}$ 50 $t > 25 \text{ mm}$ 36</p>	<p>50/36</p> 
<p>15</p> <p>Fußring</p>	<p>siehe Darstellung</p>	<p>20</p> <p>Flanschverbindung</p>	<p>siehe Bild B.3</p>
<p>Fußring</p>  <p>wie 14 wie 11,12</p>		<p>Flanschverbindung</p> 	

Tabelle B.2. Nahtarten

Nahtart	Nahtausführung	Sinnbild	Prüfung der Ausführung			
			Prüfverfahren	Kurzzeichen entsprechend der Ausnutzung der zulässigen Spannungen		
				> 80 %	≤ 80 %	
1	Stumpfnah Sondergüte	a) Wurzel ausgearbeitet, Kapplage gegengeschweißt b) in Spannungsrichtung eben bearbeitet c) keine Endkrater d) Schweißoberfläche frei von angeschliffenen Mikroporen		zerstörungsfreie Prüfung der Naht, z. B. Durchstrahlung in % der Nahtlänge	P 100 (100 % der Nahtlänge)	P 50 (50 % der Nahtlänge)
2	Stumpfnah	a) Wurzel ausgearbeitet, Kapplage gegengeschweißt b) keine Endkrater c) Nahtüberhöhung max. 10 % der Nahtbreite		wie Zeile 1, jedoch nur bei Zugbeanspruchung	P 10	P 5
3	Stumpfnah	Einseitig geschweißt, Durchschweißen der Nahtwurzel und ebene Oberfläche auf der Gegenseite sichergestellt durch Schweißhilfen (z. B. Badsicherung durch Keramik oder Kupferschiene)		zerstörungsfreie Prüfung wichtiger Nähte	P 10	P 5
4	Stumpfnah	Einseitig geschweißt		—	—	—
5	D(oppel)-HV-Nah mit Kehlnähten	a) Wurzel ausgearbeitet und gegengeschweißt b) Nahtübergänge kerbfrei, gegebenenfalls bearbeitet				
6	D(oppel)-HY-Nah mit Kehlnähten	Breite der Restfuge an der Wurzel bis 3 mm oder $0,2 \cdot t$. Der kleinere Wert gilt.				
7	Doppel- kehlnah- Sondergüte	Nahtübergänge kerbfrei, gegebenenfalls bearbeitet				
8	Doppel- kehlnah					

DIN 55 928 Teil 7	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Technische Regeln für Kontrollflächen
DIN 55 928 Teil 8	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Korrosionsschutz von tragenden dünnwandigen Bauteilen
DIN 55 928 Teil 9	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Beschichtungsstoffe, Zusammensetzung von Bindemitteln und Pigmenten
DIN VDE 0185 Teil 1	Blitzschutzanlage; Allgemeines für das Errichten
DIN EN 10 025	Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen; Technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung EN 10 025 : 1990
DS 804	Eisenbahnbrücken und Ingenieurbauwerke ⁷⁾
SEW 400	Nichtrostende Walz- und Schmiedestähle ⁸⁾
VBG 74	Leitern und Tritte ⁹⁾

Frühere Ausgaben

DIN 4133: 08.73

Änderungen

Gegenüber der Ausgabe August 1973 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Der Inhalt wurde vollständig überarbeitet.
- Die Windlasten wurden in einem besonderen Anhang A zusammengefaßt.
- Ein weiterer Anhang B enthält Angaben zur Betriebsfestigkeit.

Internationale Patentklassifikation

E 04 H 12/08

E 04 H 12/28

⁷⁾ Zu beziehen bei Drucksachenverwaltung der Bundesbahndirektion Karlsruhe, Stuttgarter Straße 61, 7500 Karlsruhe

⁸⁾ Zu beziehen bei Verlag Stahleisen mbH, Postfach 8229, 4000 Düsseldorf 1

⁹⁾ Zu beziehen bei VBG Kraftwerktechnik GmbH, Postfach 10 39 32, 4300 Essen 1