

MINISTERIALBLATT

FÜR DAS LAND NORDRHEIN-WESTFALEN

Ausgabe A

29. Jahrgang

Ausgegeben zu Düsseldorf am 24. Dezember 1976

Nummer 149

Inhalt

I.

Veröffentlichungen, die in die Sammlung des bereinigten Ministerialblattes für das Land Nordrhein-Westfalen (SMBl. NW.) aufgenommen werden.

Glied.- Nr.	Datum	Titel	Seite
23236	24. 11. 1976	RdErl. d. Innenministers DIN 4133 – Schornsteine aus Stahl.	2634

I.

23236

DIN 4133 - Schornsteine aus StahlRdErl. d. Innenministers v. 24. 11. 1976
- V B 4 - 481.171

- Anlage**
1. Die von der Arbeitsgruppe Einheitliche Technische Baubestimmungen (ETB) im Fachnormenausschuß Bauwesen erstmalig erarbeitete Norm
DIN 4133, Ausgabe August 1973 -
Schornsteine aus Stahl;
statische Berechnung und Ausführung -
wird hiermit nach § 3 Abs. 3 der Landesbauordnung (BauO NW) als Richtlinie bauaufsichtlich eingeführt. Von der Einführung ist der Abschnitt „6. Überwachung“ ausgenommen. Die Norm wird als Anlage bekanntgemacht.
 2. Bei Anwendung der Norm DIN 4133 (Ausgabe Aug. 1973) ist folgendes zu beachten:
 - 2.1 Zu Abschnitt 1 - Geltungsbereich
Die Norm DIN 4133 gilt für Rauch- und Abgasschornsteine im Freien und in Gebäuden. Sie gilt nicht für metallische Einsatzrohre von Schornsteinen (siehe hierzu: „Technische Richtlinien für Querschnittsveränderungen und Innenabdichtungen von Schornsteinen“, mein RdErl. v. 6. 10. 1972 - MBl. NW. S. 1774/SMBl. NW. 232310 -).
Die nach § 45 Abs. 1 BauO NW geforderte Brandsicherheit ist für freistehende Schornsteine nach dieser Norm durch einen ausreichenden Abstand von brennbaren Baustoffen sicherzustellen.
Für die Beurteilung der Brandsicherheit von Stahlschornsteinen im Innern von Gebäuden sind besondere Sachverständige heranzuziehen, soweit die Schornsteine nicht in einem Schacht mit feuerbeständigen Wänden (Feuerwiderstandsklasse F 90 nach DIN 4102 Teil 2) angeordnet werden.
Zur Querschnittsberechnung und zu den Anschlüssen an Schornsteine wird auf die §§ 7 und 11 der Feuerungsverordnung vom 3. Dezember 1975 (GV. NW. S. 676/SGV. NW. 232) hingewiesen.
 - 2.2 Zu Abschnitt 2 - Bauwerksklassen
Stahlschornsteine der Klasse 2 nach DIN 4133 gelten als schwierige Bauvorhaben besonderer Art, bei deren Prüfung nach Nr. 2.2 2. Absatz der Durchführungsbestimmungen zur PrüfingVO, Anlage zum RdErl. v. 18. 6. 1963 (SMBl. NW. 2322) zu verfahren ist.
 - 2.3 Zu Abschnitt 4 - Berechnungsgrundlagen
 - 2.3.1 Zu Abschnitt 4.2.5.2
Liegen für den Standort des Bauwerkes hinreichende Meßwerte der Windgeschwindigkeit aus einem genügend langen Zeitraum vor, so darf der Berechnungsstaudruck folgendermaßen ermittelt werden:
Ausgangswert für die Festlegung des Staudruckprofils $q = q_0 + 0,3 h$ ist die über ein Mittelungsintervall von

2 s gemittelte Böengeschwindigkeit in 10 m Höhe über Gelände

$$v_{10} = \sqrt{16 \cdot q_{10}}; v_{10} \text{ in } \frac{\text{m}}{\text{s}}; q_{10} \text{ in } \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \text{ bzw.}$$

$$v_{10} = \sqrt{1600 \cdot q_{10}}; v_{10} \text{ in } \frac{\text{m}}{\text{s}}; q_{10} \text{ in } \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

die mit einem Wiederholungszeitraum von 20 Jahren auftritt. Daraus ergibt sich:

$$q_0 = q_{10} - 3,0 \text{ in } \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \text{ bzw.}$$

$$q_0 = q_{10} - 0,03 \text{ in } \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}.$$

Der Wert ist auf Grund eines Gutachtens des Zentralamtes des Deutschen Wetterdienstes festzulegen.

2.3.2 Zu Abschnitt 4.2.5.3

Als sachverständige Stellen für die Beurteilung der Festsetzung aerodynamischer Beiwerte auf Grund von Messungen kommen die im RdErl. v. 29. 4. 1969 (MBl. NW. S. 874/SMBl. NW. 23230) zu DIN 1055 Bl. 4 unter Nummer 4 genannten Prüfstellen in Betracht.

2.3.3 Zu Abschnitt 4.3.2.2

Die angegebenen Formeln gelten nur für geschlossene kreiszylindrische Rohre ohne Störstellen (z. B. durch Öffnungen). Sofern an Störstellen die Beulgefahr nicht durch konstruktive Maßnahmen behoben wird, ist die ausreichende Beulsicherheit gem. Ergänzungserlaß zu DIN 4114 (RdErl. v. 30. 5. 1973 - MBl. NW. S. 1004/SMBl. NW. 232343 -) nachzuweisen. Zur Ermittlung von σ_{VKI} darf die Vorbeulamplitude e in keinem Fall kleiner als die Blechdicke t angenommen werden.

2.3.4 Zu Abschnitt 4.3.3.4

Zur Beurteilung der Zulässigkeit einer Abminderung der Querschwingungsbelastung sind geeignete Sachverständige heranzuziehen; solche Sachverständige werden vom Institut für Bautechnik auf Anfrage benannt.

2.4 Zu Abschnitt 5 - Bauliche Durchbildung

2.4.1 Zu Abschnitt 5.1.1

Die Verwendung von Baustählen, die hinsichtlich ihrer Eigenschaften nicht den Stählen St 37 und St 52 nach DIN 17100 zugeordnet werden können, bedarf im Einzelfall der Zustimmung der obersten Bauaufsichtsbehörde, falls ihre Eignung nicht durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen wird.

3. Das Verzeichnis der nach § 3 Abs. 3 BauO NW eingeführten technischen Baubestimmungen, Anlage zum RdErl. v. 7. 6. 1963 (SMBl. NW. 2323) erhält in Abschnitt 7 folgende Ergänzung:

Spalte 1: 4133

Spalte 2: August 1973

Spalte 3: Schornsteine aus Stahl;
statische Berechnung und Ausführung

Spalte 4: R

Spalte 5: 24. 11. 1976

Spalte 6: MBl. NW. S.
SMBl. NW. 23236

	<h2>Schornsteine aus Stahl</h2> <h3>Statische Berechnung und Ausführung</h3>	<h1>DIN</h1> <h1>4133</h1>
--	--	----------------------------

Steel stacks; structural analysis and design

Entwurf, Berechnung und Ausführung von Schornsteinen aus Stahl erfordern eine gründliche Kenntnis dieser Bauten, der Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe und der anerkannten Regeln der Herstellungstechnik. Deshalb dürfen nur solche Fachleute und Unternehmer diese Bauten herstellen, die die notwendigen Kenntnisse und Erfahrungen haben und eine einwandfreie Ausführung gewährleisten.

In dieser Norm sind die von außen auf eine Baukonstruktion einwirkenden Kräfte, z. B. Gewichtskräfte oder Windkräfte, auch als Lasten, Belastungen bezeichnet.

Nach der „Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ vom 26. Juni 1970 dürfen die bisher üblichen Kräfteeinheiten Kilopond (kp) und Megapond (Mp) nur noch bis zum 31. Dezember 1977 benutzt werden. Bei der Umstellung auf die gesetzliche Kräfteeinheit Newton (N) ($1 \text{ kp} = 9,80665 \text{ N}$) sind im Rahmen des Anwendungsbereichs dieser Norm für $1 \text{ kp} = 0,01 \text{ kN}$, für $1 \text{ Mp} = 10 \text{ kN}$, für $1 \text{ kp/mm}^2 = 10 \text{ MN/m}^2$ und für $1 \text{ kp/cm}^2 = 0,1 \text{ MN/m}^2$ zu setzen, wobei $1 \text{ MN/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$ ist. Diese Angaben sind im Text und in den Tabellen vorliegender Norm in Klammern hinzugefügt. Außerdem werden in dieser Norm die gesetzlichen Einheiten nach DIN 1301, Ausgabe November 1971, für die Temperaturdifferenz Kelvin (K) (bisher „grd“; $1 \text{ grd} = 1 \text{ K}$) verwendet.

Inhalt

1. Geltungsbereich	4.3.4. Nachweis des aufnehmbaren inneren Überdrucks
2. Bauwerksklassen	4.3.5. Standsicherheitsnachweis
3. Bauvorlagen	4.3.6. Gründungsnachweis
4. Berechnungsgrundlagen	4.4. Besondere Bemessungsregeln
4.1. Werkstoffkenngrößen	4.5. Zulässige Spannungen
4.2. Lastannahmen	5. Bauliche Durchbildung
4.2.1. Haupt- und Sonderlasten	5.1. Bauwerk
4.2.2. Eigenlast	5.2. Stählerne Abspannseile
4.2.3. Verkehrslasten und Schneelast	5.3. Fundamente
4.2.4. Eislast	5.4. Blitzschutz
4.2.5. Windlast	5.5. Flugsicherung
4.2.6. Temperaturwirkung	5.6. Wärmedämmung
4.2.7. Vorspannkraft	5.7. Korrosionsschutz
4.2.8. Ungewollte Änderungen der Stützbedingungen	6. Überwachung
4.2.9. Lasten aus Bauzuständen	6.1. Schwingungsüberwachung
4.2.10. Sonstige Sonderlasten	6.2. Korrosionsüberwachung
4.3. Nachweise	7. Hinweise auf weitere Normen und Richtlinien
4.3.1. Allgemeiner Spannungsnachweis	
4.3.2. Stabilitätsnachweis	
4.3.3. Nachweis von Schwingungen und Gegenmaßnahmen	

1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für die statische Berechnung und Ausführung aller baulichen Anlagen aus Stahl, die durch Rohre Verbrennungsgase, chemische Abgase oder Fortluft abführen oder die zum Verbrennen (Abfackeln) von Industrieabgasen dienen.

Schornsteine aus Stahl können frei stehend, abgespannt, als Rauchrohre in Traggerüsten oder anderen Unterstützungskonstruktionen ausgeführt sein oder aus der Kombination mehrerer dieser Konstruktionstypen bestehen. Auch die stählerne Rauchrohre in Massivkonstruktionen und deren stählerne Haltevorrichtungen gelten als Bauteile im Sinne dieser Norm.

Für frei stehende Schornsteine in Massivbauart siehe DIN 1056 Blatt 1 und DIN 1058.

2. Bauwerksklassen

Es ist zu unterscheiden zwischen Stahlschornsteinen der Bauwerksklasse 1 und Stahlschornsteinen der Bauwerksklasse 2.

Zu der Bauwerksklasse 2 gehören:

- alle Stahlschornsteine von mehr als 50 m Höhe, gerechnet zwischen der Schornsteinmündung und dem tiefsten Punkt der Auflagerung;
- frei stehende Stahlschornsteine von mehr als 30 m Höhe, gerechnet wie bei a), deren wesentliche Tragkonstruktion nur aus einem im Fundament eingespannten Rohr beliebigen — also auch polygonalen oder doppelwandigen — Querschnitts besteht;
- abgespannte Stahlschornsteine, deren steilste Abspannung steiler als unter 60° zur Waagerechten verläuft oder bei denen in irgendeinem Abspannseil die Vorspannkraft nach Abschnitt 4.2.7 mehr als die Hälfte oder weniger als ein Zehntel der für das gleiche Seil ermittelten maximalen Seilkraft erreicht.

Alle übrigen Stahlschornsteine gehören zur Bauwerksklasse 1. In Bauwerksklasse 2 werden höhere Beanspruchungen zugelassen, aber auch genauere Festigkeitsnachweise gefordert als in Bauwerksklasse 1. Es bleibt deshalb freigestellt, einen an sich der Bauwerksklasse 1 zugehörigen Stahlschornstein in Bauwerksklasse 2 einzuordnen, hingegen müssen Stahlschornsteine der Bauwerksklasse 2 stets dieser Klasse zugewiesen werden.

3. Bauvorlagen

3.1. Erläuterungsbericht über chemische und thermische Betriebsverhältnisse

Grundlage für die Bemessung und Ausführung von Stahlschornsteinen sind Angaben über die zu erwartenden chemischen und thermischen Betriebsverhältnisse (siehe Abschnitt 4.2.6.1), über die Art und Menge der Abgase und der Betriebsweise der zugehörigen Kessel- bzw. Ofen- oder sonstigen Anlagen (siehe DIN 1056 Blatt 1 und DIN 1058), die unter Berücksichtigung der möglichen Schwankungen hinreichend genau festgelegt werden müssen, um die baulichen Maßnahmen danach einrichten zu können. Die chemischen und thermischen Betriebsverhältnisse sind in einem Erläuterungsbericht der statischen Berechnung voranzustellen. Hierzu gehört auch eine Beschreibung des vorgesehenen Korrosionsschutzes mit der Festlegung der maximal zulässigen Zeitabstände für Revisionen (siehe Abschnitt 6.2).

3.2. Konstruktionszeichnungen

Hierzu gehören:

- die Übersichtszeichnungen mit Angaben über die Systemmaße des Bauwerks und alle tragenden Querschnitte, die Verbände, die Anordnung und Lagerung der Steigleitungen, die Grenztemperaturen, für die das Bauwerk

ausgelegt ist (siehe Abschnitte 3.1 und 4.2.6.1), den Durchhang der Abspannseile (siehe Abschnitt 4.2.7), die Ausnutzung des Erdwiderstandes und der Erdauflast bei der Gründung (siehe Abschnitt 4.3.5);

- die Fundamentzeichnungen mit Lageplan;
- die Werkstattzeichnungen mit allen erforderlichen Angaben über Baustoffe und Verbindungsmittel sowie mit Hinweisen auf zugehörige Zeichnungen usw.

3.3. Statische Berechnung

In der statischen Berechnung ist die Bauwerksklasse anzugeben. Für alle tragenden Bauteile sind die erforderlichen Nachweise entsprechend Abschnitt 4.3 übersichtlich (vorangestelltes Inhaltsverzeichnis) und in prüfbarer Form mit einer ergänzenden Beschreibung zu erbringen und die für die einzelnen Bauteile vorgesehenen Baustoffe anzugeben. Erforderlichenfalls gehört hierzu ein geologisch-bodenmechanisches Baugrundgutachten sowie ein meteorologisches Gutachten über die voraussichtlichen Wind- (siehe Abschnitt 4.2.5.2) und Eisverhältnisse (siehe Abschnitt 4.2.4) und u. U. Ergebnisse von Windkanaluntersuchungen (siehe Abschnitte 4.2.5.3 und 4.3.3.5).

4. Berechnungsgrundlagen

4.1. Werkstoffkenngrößen

4.1.1. Baustahl

Für die allgemeinen Werkstoffkenngrößen der Stähle, die Art der Berechnungsverfahren und die Verwendung von Formeln bzw. von Daten aus anderen Berechnungen gilt DIN 1050. Für Werkstoffkenngrößen von Stählen, die in DIN 1050 nicht erfaßt sind, gelten die einschlägigen Normen (siehe Abschnitt 5.1.1) bzw. die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

4.1.2. Stählerne Abspannseile

Die Bruchspannung des Einzeldrahtes, die für den Nachweis der rechnerischen Bruchkraft nach Abschnitt 4.4.1 benötigt wird, ist vom Hersteller durch Werkzeugezeugnisse oder Abnahmezeugnisse nach DIN 50 049 zu belegen. Für die im Abschnitt 5.2 aufgeführten Stahlseilarten kann näherungsweise der Elastizitätsmodul nach Tabelle 1 in die statische Berechnung eingesetzt werden. Wird der Elastizitätsmodul durch Prüfungen des zum Einbau bestimmten Seiles festgestellt, so sind Abweichungen zwischen diesem Elastizitätsmodul und dem in die statische Berechnung auf Grund der Tabelle 1 eingeführten Elastizitätsmodul bis zu $\pm 10\%$ zulässig, ohne daß eine Korrektur der statischen Berechnung vorgenommen zu werden braucht.

Tabelle 1. Elastizitätsmodul der Stahlseilarten

Seilart	Anzahl der um den Kerndraht herum angeordneten Drahtlagen je Litze	Elastizitätsmodul 10^6 kp/cm^2 (10^5 MN/m^2)
paralleldrähtige Seile	beliebig	2,0
verschlossene Seile (eine Litze)	beliebig	1,6
Spiralseile (eine Litze)	beliebig	1,5
Drahtseile ohne Fasereinlage mit $6 + 1 = 7$ Litzen	1	1,3
	2	1,2
	3	1,1
	4	1,0

Die Temperaturdehnzahl darf für alle Stahlseile mit

$$\alpha_T = 0,000012 \text{ K}^{-1}$$

angesetzt werden.

1) Siehe Vorbemerkung

4.2. Lastannahmen

4.2.1. Haupt- und Sonderlasten

Für die Berechnung von Stahlschornsteinen sind Haupt- und Sonderlasten zu berücksichtigen.

Zu den Hauptlasten gehören:

- Eigenlast
- Verkehrslasten und Schneelast
- Eislast
- Windlast
- Temperaturwirkung
- Vorspannkraft

Zu den Sonderlasten gehören:

- Lasten aus ungewollten Änderungen der Stützbedingungen, z. B. Bergsenkungen
- Lasten aus Bauzuständen
- Ersatzlasten für Erdbeben
- sonstige Beanspruchungen, die sich aus der örtlichen Lage und den betrieblichen Verhältnissen ergeben können.

Eine Unterscheidung nach Haupt- und Zusatzlasten wird nicht getroffen, da bei Schornsteinen der Windlast ein wesentlicher Einfluß zukommt. Bei Anwendung anderer Normen entspricht der Lastfall Hauptlasten dieser Norm dem Lastfall Haupt- und Zusatzlasten, soweit dort eine derartige Aufteilung vorgenommen ist.

4.2.2. Eigenlast

Die Eigenlast des Bauwerks, der Podeste, Laufstege und Leitern kann nach der Übersichtszeichnung ermittelt werden.

4.2.3. Verkehrslasten und Schneelast

Auf Podesten und Laufstegen ist eine gleichmäßig verteilte Verkehrslast von 200 kp/m^2 (2 kN/m^2) einschließlich Schneelast anzunehmen.

Die Konstruktionsteile des Haupttragwerks, der Podeste und der Laufstege sind für eine Einzellast von 300 kp (3 kN) an ungünstigster Stelle zu bemessen, wenn dies ungünstiger ist als die vorgenannte Flächenlast.

Alle Stäbe, mit Ausnahme von Leitersprossen, die nicht nach dem vorhergehenden Absatz unmittelbar durch 300 kp (3 kN) belastet wurden und die nicht mehr als 30° zur Waagerechten geneigt sind, sind auch für einen Lastfall nachzuweisen, bei dem an ungünstigster Stelle des Stabes eine Vertikallast von 100 kp (1 kN) angreift, der Staudruck auf $q = 30 \text{ kp/m}^2$ ($0,3 \text{ kN/m}^2$) ermäßigt wird und alle übrigen Belastungen gleichzeitig wirken, wenn sie die Beanspruchungen erhöhen.

Für das Bemessen der Geländer ist eine waagerechte, nach außen oder innen wirkende, am Geländerholm angreifende Last von 50 kp/m ($0,5 \text{ kN/m}$) anzunehmen.

4.2.4. Eislast

Die Vereisung der Bauwerke hängt von den durch Geländeform und Seehöhe erheblich beeinflussten meteorologischen Verhältnissen (Lufttemperatur, relative und absolute Luftfeuchte sowie Wind) ab. Wesentlich sind ferner die Exposition des Geländes zur Hauptrichtung der die Vereisung bewirkenden Winde und die spezifischen Bauwerkseigenschaften, wie Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Form. Allgemeingültige Angaben über das Auftreten von Vereisung können deshalb nicht gemacht werden.

Vereisung bildet sich bevorzugt im Gebirge, im Bereich feuchter Aufwinde oder in der Nähe großer Gewässer, deshalb auch in Küstennähe und an Flußläufen. Im Flachland oder in Tallagen kann ein geringerer oder sogar rechnerisch vernachlässigbarer Eisansatz auftreten. Der Eisansatz

an starren Bauteilen wächst im wesentlichen in Richtung gegen den Wind; an Seilen bilden sich bei langen Ablagerungszeiten umhüllende Eiswalzen mit elliptischem Querschnitt.

Ob und gegebenenfalls in welchem Maße Eisansatz zu berücksichtigen ist, wird von der zuständigen Baugenehmigungsbehörde im Benehmen mit dem Bauherrn festgelegt. Dazu sollen die Dienststellen des Deutschen Wetterdienstes (Zentralamt, Wetterämter) befragt werden und — soweit vorhanden — die Erfahrungen bei ähnlichen benachbarten Bauten ausgewertet werden.

Muß Eisansatz berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 4.2.5.4) und sind genaue Angaben nicht erhältlich, so darf in nicht außergewöhnlich gefährdeten Lagen bei Konstruktionsteilen und Seilen vereinfachend ein allseitiger Eisansatz von 3 cm Dicke angenommen werden. Diese Angabe gilt im allgemeinen in deutschen Gebirgen bis zu Höhen von etwa 600 m über NN, sie schließt aber nicht aus, daß an einzelnen Stellen örtlich auch wesentlich höherer Eisansatz auftreten kann. Das Berechnungsgewicht des Eisansatzes ist mit $0,7 \text{ Mp/m}^3$ (7 kN/m^3) einzusetzen.

4.2.5. Windlast

4.2.5.1. Windwirkung

Die Windrichtung ist im allgemeinen waagrecht, die Windlast auf Einzelflächen ist rechtwinklig zu der vom Wind getroffenen Fläche anzunehmen.

Die Windlast ergibt sich zu

$$W = c_W \cdot q \cdot F \cdot \sin \alpha \text{ in kp (kN)}$$

Hierin bedeuten:

- q Staudruck (Geschwindigkeitsdruck) in kp/m^2 (kN/m^2) (siehe Abschnitt 4.2.5.2),
- c_W Formbeiwert für Windlast in Windrichtung (siehe Abschnitt 4.2.5.3),
- F die vom Wind getroffene Fläche in m^2 nach den Festlegungen der folgenden Absätze; bei Abspannseilen ist $F = d \cdot l$, wobei d der Seildurchmesser in m und l die Seillänge in m (\approx Sehnenlänge des Seilbogens) bedeuten,
- α Winkel zwischen der Windrichtung und der Fläche; bei Abspannseilen ist α der Winkel zwischen der Seilsehne und der Windrichtung in derjenigen Ebene, die durch die Seilsehne und die Windrichtung gebildet wird; W ist in dieser Ebene rechtwinklig zur Seilsehne wirkend anzunehmen.

Für Stahlschornsteine mit kreisförmigem Querschnitt ist F die Achsenschnittfläche in m^2 . Schornsteine mit gegliederten Stützkonstruktionen erfordern unter Umständen eingehendere Untersuchungen.

4.2.5.2. Staudruck (Geschwindigkeitsdruck) q

Der durch den Wind in der Höhe h über Gelände erzeugte Staudruck ist anzunehmen mit

$$q = q_0 + 0,3 h \geq 100 \text{ kp/m}^2 \quad (q = q_0 + 0,003 h \geq 1 \text{ kN/m}^2), \text{ jedoch höchstens } 200 \text{ kp/m}^2 \quad (2 \text{ kN/m}^2).$$

Hierin bedeuten:

- q_0 Staudruck (Geschwindigkeitsdruck) in Geländehöhe in kp/m^2 (kN/m^2),
- h Höhe in m über Gelände.

Sind zum Zeitpunkt der Entwurfsbearbeitung für den Standort hinreichende Meßwerte der Windgeschwindigkeit v aus einem genügend langen Meßzeitraum bekannt, so dürfen diese für die Staudruckermittlung zugrunde gelegt werden;

Tabelle 2. Staudruck in Geländehöhe q_0 in kp/m^2 (kN/m^2)

Gelände im 150°-West-Sektor (Öffnungswinkel von der West-Achse je 75° nach Nord und nach Süd) im Bereich von etwa 5 km		Standort des Bauwerks				
		im Flachland		im Bergland		
		in der Ebene	auf einer Anhöhe	im Tal	auf einer Hochebene	auf Anhöhen, Höhenrücken oder Bergen
höher als Standort		70 (0,7)	80 (0,8)	70 (0,7)	80 (0,8)	90 (0,9)
gleichhoch wie Standort		80 (0,8)	90 (0,9)	80 (0,8)	90 (0,9)	100 (1)
niedriger als Standort	flach abfallend	90 (0,9)	100 (1)	90 (0,9)	100 (1)	110 (1,1)
	steil abfallend	—	110 (1,1)	—	110 (1,1)	130 (1,3)

sie müssen zugrunde gelegt werden, wenn sich höhere Werte als nach der vorstehenden Gleichung und Höchstbegrenzung ergeben. Hierbei ist $q = v^2 : 16$ in kp/m^2 ($q = v^2 : 1600$ in kN/m^2) mit v in m/s einzusetzen.

Werden keine Meßwerte zugrunde gelegt, so sind für den Staudruck in Geländehöhe q_0 einzusetzen:

- a) Im Nordsee-Küstengebiet
 - Zone I: $q_0 = 110 \text{ kp/m}^2$ ($1,1 \text{ kN/m}^2$)
 - Zone II: $q_0 = 90 \text{ kp/m}^2$ ($0,9 \text{ kN/m}^2$)

Bild 1*) zeigt die Zugehörigkeit der Städte und Kreise zu den Staudruckzonen I und II. Die Grenze zwischen Zone II und dem übrigen Gebiet verläuft im Kreis Schleswig nordöstlich der Gemeinden Meggerdorf, Bergenhusen und Wohlide und im Kreis Wesermarsch südlich der Gemeinden Brake, Ovelgönne und Jade.

b) Im übrigen Gebiet die Werte der Tabelle 2.

Der Staudruck in Geländehöhe q_0 ist zweckmäßig vor Beginn der Entwurfsbearbeitung von der Baugenehmigungsbehörde im Einvernehmen mit dem Bauherrn festzulegen. Bei der Ermittlung der Windkräfte sind grundsätzlich die höhenabhängigen Veränderungen des Staudrucks sowie gegebenenfalls auch der vom Wind getroffenen Fläche und des Formbeiwerts zu berücksichtigen. Bei den Tragwerken sind vereinfachend Mittelungen über in der Höhe ausreichend unterteilte Abschnitte zulässig; bei den Abspannseilen darf die Mittelung über die gesamte Seillänge vorgenommen werden.

4.2.5.3. Formbeiwerte c_W für zylindrische oder annähernd zylindrische Baukörper

Die Formbeiwerte c_W sind in Abhängigkeit von $d \cdot \sqrt{q}$ für q in kp/m^2 (für q in kN/m^2 ist c_W in Abhängigkeit von $10 d \cdot \sqrt{q}$ anzunehmen) dem Bild 2 zu entnehmen.

Hierin ist d Durchmesser in m.

Dabei sind Außenbauten, z. B. Außenpodeste und Leitern, unabhängig von ihrem Abstand mit ihrem vollen rechnerischen Wert zusätzlich in Rechnung zu stellen.

Für Seile ist $c_W = 1,2$ unabhängig von $d \cdot \sqrt{q}$.

*) Bild 1 nicht abgedruckt

Für Bauwerksformen, für die vorstehend keine Angaben vorliegen, sind die Formbeiwerte und die zugehörigen Flächen erforderlichenfalls aus Versuchen im Windkanal zu ermitteln.

4.2.5.4. Windlast bei Eisansatz

Bei großen zylindrischen Stahlschornsteinen ist ein Nachweis der Windlast auf die durch Eisansatz vergrößerte Fläche in der Regel nicht erforderlich.

Die Berücksichtigung der durch Eisansatz vergrößerten Windangriffsfläche kann notwendig werden bei feingliedrigen Konstruktionen und Fachwerken.

Hierbei ist die Windlast auf die durch den Eisansatz vergrößerte Fläche des Tragwerks und der Abspannseile mit 75% des Staudrucks zu ermitteln. Bei Fachwerken sind die Formbeiwerte dem durch die Vereisung veränderten Völligkeitsgrad entsprechend anzusetzen.

4.2.6. Temperaturwirkung

4.2.6.1. Zulässige Temperaturen

Die Verwendbarkeit der Stähle ist von der Temperatur abhängig. Hierfür gelten die einschlägigen Werkstoffkennwerte, z. B. nach den Technischen Regeln für Dampfkessel TRD 107 Werkstoffe, „Verschiedene Kesselteile aus Stahl“ und nach DIN 17 155 Blatt 1, Blatt 2 und Blatt 2 Beiblatt. Die der Berechnung zugrunde gelegten höchsten und tiefsten Temperaturen sind in der Übersichtszeichnung anzugeben.

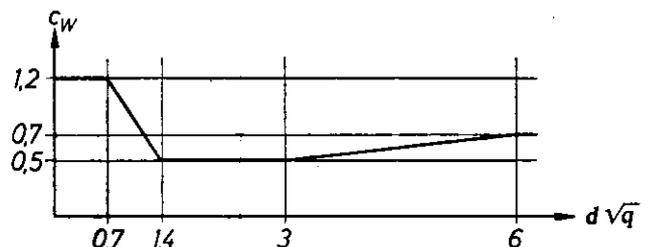


Bild 2. Darstellung des Formbeiwertes c_W für zylindrische Baukörper in Abhängigkeit von $d \cdot \sqrt{q}$ für q in kp/m^2 ($10 d \cdot \sqrt{q}$ für q in kN/m^2)

Die Temperaturwirkung ist in der statischen Berechnung bei Bauwerkstemperaturen von mehr als $+ 50^{\circ}\text{C}$, in jedem Fall aber bei Bauwerksklasse 2, zu berücksichtigen.

Ist in der statischen Berechnung die Temperaturwirkung zu berücksichtigen und wird kein genauere Nachweis über die durch das Wetter und die Temperatur der abzuführenden Stoffe bedingte Temperaturverteilung erbracht, so sind die Temperatureinflüsse nach den Abschnitten 4.2.6.2 und 4.2.6.3 anzusetzen.

4.2.6.2. Gleichmäßige Temperaturänderung

- a) Infolge meteorologischer Einflüsse ist mit einer Temperaturschwankung von $\pm 35\text{K}$ gegenüber einer Aufstelltemperatur von $+ 10^{\circ}\text{C}$ zu rechnen.
- b) Infolge der Temperatur der abzuführenden Stoffe ist bei den unmittelbar mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Bauwerksteilen mit den Werten nach

Absatz a) zu rechnen, sofern die Temperatur des heißesten abzuführenden Stoffes am Ort des Eintritts in den Stahlschornstein nicht höher als $+ 50^{\circ}\text{C}$ und die Temperatur des kältesten abzuführenden Stoffes ebenfalls am Ort des Eintritts in den Stahlschornstein nicht tiefer liegt als $- 30^{\circ}\text{C}$.

Liegt die wirkliche Eintrittstemperatur höher als $+ 50^{\circ}\text{C}$ oder tiefer als $- 30^{\circ}\text{C}$, ist an Stelle der in a) genannten Temperaturschwankung die Differenz zwischen der wirklichen Eintrittstemperatur und der Aufstelltemperatur anzusetzen.

4.2.6.3. Ungleichmäßige Erwärmung des Bauwerksquerschnitts

Infolge meteorologischer Einflüsse ist bei allen Bauteilen, deren nach Abschnitt 4.2.6.2 anzusetzenden Grenztemperaturen innerhalb des Bereichs von $- 30^{\circ}\text{C}$ bis $+ 50^{\circ}\text{C}$

liegen, ein linear verlaufender Temperaturabfall von 15 K zu berücksichtigen.

Liegt die obere Grenztemperatur t höher als $+50^\circ\text{C}$, ist mit einem Temperaturabfall von

$$\Delta t = 10 + 0,1 \cdot t \text{ in K}$$

zu rechnen.

Es ist zu beachten, daß am Eintritt in das Bauwerk und an anderen exponierten Stellen infolge ungleichmäßiger Durchströmung des Schornsteinrohres möglicherweise Temperaturunterschiede auftreten können.

4.2.6.4. Ungleichmäßige Erwärmung des Tragsystems

Bei abgespannten Stahlschornsteinen ist zu beachten, daß das Rauchrohr die Betriebstemperatur und die Abspannseile die Lufttemperatur annehmen.

4.2.7. Vorspannkraft

Als Vorspannkraft wird bei abgespannten Stahlschornsteinen diejenige Seilkraft bezeichnet, die im fertig abgespannten Zustand im Lastfall Eigenlast vorhanden sein soll.

In Bauwerksklasse 2 ist die Einhaltung der für die Abspannseile in der Berechnung festgelegten Vorspannkraft durch Kontrollmessungen nach Abschnitt 5.2.5 sicherzustellen.

In Bauwerksklasse 1 darf statt dessen näherungsweise zur Berücksichtigung der Vorspannwirkung in jedem Abspannseil ein Zuschlag von 25% zur größten ohne Vorspannung ermittelten Seilkraft angenommen werden. Im zugehörigen abgespannten Bauwerksteil muß dieser Zuschlag dann aber für jedes Seil der Seilgruppe berücksichtigt werden, und zwar auch dann, wenn die Berechnung unter der Annahme aufgestellt wird, daß sich nicht alle Seile der Seilgruppe an der Lastaufnahme beteiligen.

Der bei Windstille einzuregulierende Seildurchhang ist zu ermitteln und in der Zeichnung anzugeben.

4.2.8. Ungewollte Änderungen der Stützbedingungen

Wenn die Möglichkeit besteht, daß sich die planmäßigen Stützbedingungen ungewollt ändern (z. B. im Bergsenkungsgebiet), so ist darauf bereits beim Entwurf Rücksicht zu nehmen.

4.2.9. Lasten aus Bauzuständen

Als Bauzustand gilt z. B. das Anbringen provisorischer Abspannungen, von Gerüsten oder von Hebezeugen. Derartige Bauzustände sind, falls erforderlich, zu untersuchen.

4.2.10. Sonstige Sonderlasten

Wegen zusätzlicher Lasten aus Erdbeben siehe DIN 4149.

4.3. Nachweise

4.3.1. Allgemeiner Spannungsnachweis

Für das Bemessen und für den Spannungsnachweis ist diejenige Lastzusammenstellung maßgebend, die die größten Querschnitte ergibt. Um das mögliche ungünstigste Zusammenwirken der verschiedenen Belastungen erfassen zu können, dürfen immer dann, wenn eine lineare Überlagerung der Kraftgrößen möglich ist, diese Kraftgrößen aus den einzelnen Lasten nach Abschnitt 4.2 getrennt bestimmt werden. In den Fällen, in denen eine lineare Überlagerung der Kraftgrößen aus den einzelnen Lastfällen nicht möglich ist (z. B. bei abgespannten Stahlschornsteinen sowie bei Anwendung der Theorie II. Ordnung), sind die ungünstigsten Lastzusammenstellungen zu erfassen.

Die räumliche Wirkung von Fachwerken ist bei der Ermittlung der Schnittkräfte zu berücksichtigen.

Die Anwendung der Theorie II. Ordnung führt zu einem genaueren Bild des Schnittgrößenverlaufs und im allgemeinen zu einer wirtschaftlicheren Bemessung. Sie kann aber

auch bei bestimmten Bauwerksformen, z. B. bei schlanken mehrfach abgespannten Bauwerken der Bauwerksklasse 2, im Interesse der Sicherheit notwendig sein.

Wird die Nachgiebigkeit der Abspannseile in der Berechnung berücksichtigt, sind außer den elastischen Formänderungen auch die Änderungen des Durchhangs einzu-beziehen.

Ein Nachweis der horizontalen Biegespannungen im Blechmantel des Schornsteinrohres infolge des örtlichen Winddrucks auf die Flächeneinheit ist im allgemeinen erforderlich.

Bei einem Kreisrohrquerschnitt mit glatter Oberfläche dürfen Biegemoment und Normalkraft in Umfangsrichtung folgendermaßen angesetzt werden:

$$M = 0,503 \cdot q \cdot a \cdot r^2 \text{ in kp m (kNm)}$$

$$N = 1,16 \cdot q \cdot a \cdot r \text{ in kp (kN)}$$

Hierin bedeuten:

q Staudruck (Geschwindigkeitsdruck) nach Abschnitt 4.2.5.2 in kp/m^2 (kN/m^2)

a Einheitslänge in m in Richtung der Zylinderachse

r Rohrradius in m

Der Nachweis ist entbehrlich, wenn das Verhältnis Rohrradius zu Blechdicke

$$\frac{r}{t} \leq 160$$

ist oder Ringsteifen angeordnet werden. Diese sind nach denselben Zahlenwertgleichungen zu bemessen; a ist dann die Belastungsbreite der Ringsteifen.

Die Seilkräfte abgespannter Stahlschornsteine der Bauwerksklasse 1 dürfen unter der vereinfachenden Annahme ermittelt werden, daß das Schornsteinrohr an den Anschlußstellen der Abspannungen durchgehende Gelenke aufweist und daß sich nicht alle Seile einer Abspanngruppe an der Lastaufnahme beteiligen. Für die Biegemomente im Rohr derartiger Schornsteine darf weiterhin vereinfachend angenommen werden, daß das Rohr am Fuß starr eingespannt und an den Anschlußstellen der Abspannungen gelenkig gelagert ist. Wegen der elastischen Nachgiebigkeit der Abspannungen ist das so ermittelte Fußseilspannmoment mit dem Faktor 1,5 zu multiplizieren.

Zusätzlich sind in Bauwerksklasse 1 alle auftretenden Beanspruchungen vor dem Vergleich mit den zulässigen Beanspruchungen oder vor der Ermittlung der vorhandenen Sicherheiten mit dem Faktor 1,2 und bei den Seilkräften mit dem Faktor 1,5 zu multiplizieren.

Die maßgebenden Querschnittswerte sind nach DIN 1050 zu ermitteln. In den maßgebenden Querschnitten sind die größten Werte der Spannungen zu errechnen und den jeweils zulässigen Spannungen gegenüberzustellen (Ausnahmen siehe Abschnitt 4.4.1 und 4.4.2).

Die Schnittgrößen nach der Theorie II. Ordnung sind für die ν -fachen Lasten zu ermitteln, durch ν zu dividieren und dann für den Spannungsnachweis wie die Schnittgrößen I. Ordnung weiter zu verwenden; hierfür ist $\nu = 1,5$ zu setzen.

Bei abgespannten Schornsteinen der Bauwerksklasse 2 ist in angemessener Weise zu berücksichtigen, daß wegen der Nichtlinearität der Seilcharakteristik die Druckkraft im Schornstein nicht proportional mit der Windlast zunimmt.

4.3.2. Stabilitätsnachweis

4.3.2.1. Allgemeines

Stabilitätsnachweise sind nach DIN 4114 Blatt 1 und Blatt 2 zu führen. Da in der vorliegenden Norm nicht nach Haupt- und Zusatzlasten unterschieden wird, ist die für den Knick-sicherheitsnachweis von einseitig angeschlossenen Einzelwinkeln (siehe DIN 4114 Blatt 1, Ausgabe Juli 1952 x x, Abschnitt 10.08) angeführte Erleichterung hier gegenstandslos.

4.3.2.2. Beulsicherheitsnachweis

Der Beulsicherheitsnachweis dünnwandiger, kreiszylindrischer Rohre unter planmäßig mittigem und planmäßig außermittigem Druck kann, sofern kein eingehenderer Nachweis geführt wird, in folgender Weise erbracht werden:

Die ideale Beulspannung kann angenommen werden mit:

$$\sigma_{vki} = k \cdot E \cdot \frac{t}{r}$$

mit dem Faktor $k = \frac{1}{2 + 5 \frac{e}{t}}$

Hierin bedeuten:

E Elastizitätsmodul in kp/mm² (MN/m²)

t Blechdicke in mm

r mittlerer Zylinderradius in mm

e Vorbeulamplitude in mm

Die Vorbeulamplitude *e* gilt als Maß für die z. B. durch den Versatz oder den Winkelschrumpf bei Schweißstößen oder durch sonstige Vorbeulen fertigungstechnisch bedingte Abweichung des wirklichen Rohrquerschnitts von der Kreisform. Sie ist unter Berücksichtigung der Fertigungsgenauigkeit im Regelfall anzunehmen mit

$$e = 10 + \frac{r}{100} \geq t$$

Ist sichergestellt, daß die tatsächlichen Abweichungen kleiner sind als der nach obiger Formel errechnete Wert, so darf für *e* dieser kleinere Wert bei der Ermittlung von σ_{vki} benutzt werden. In diesem Fall ist die Einhaltung des eingesetzten Wertes *e* am fertigen Bauwerk durch eine Maßaufnahme mit Meßprotokoll zu belegen. Ebenso ist der Nachweis durch eine Maßaufnahme mit Meßprotokoll erforderlich, wenn Anlaß zu der Annahme besteht, daß der in der statischen Berechnung eingesetzte Wert für *e* am fertigen Bauwerk überschritten ist.

Die zu der idealen Beulspannung σ_{vki} gehörende abgeminderte Beulspannung σ_{vk} ist aus DIN 4114 Blatt 1, Ausgabe Juli 1952 \times , Tafel 7, zu entnehmen und mit der in der statischen Berechnung ermittelten Spannung zu vergleichen. Die Beulsicherheit ν_B muß bei Querschnitten ohne jegliche Aussteifung mindestens $\nu_B = 1,7$ betragen. Die Beulsicherheit darf auf $\nu_B = 1,5$ abgemindert werden, wenn zur Erhaltung der Querschnittsform bei den beulgefährdeten Kreiszylindern Queraussteifungen im Abstand von höchstens $10r$ angeordnet sind, deren Trägheitsmoment *I*, berechnet nach DIN 4114 Blatt 2, Ausgabe Februar 1953 \times , Abschnitt 18.13, mindestens

$$I = \frac{r t^3}{2} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}$$

beträgt oder wenn ein eingehenderer Nachweis geführt wird, der den Einfluß der Querschnittsverformung auf die vorhandenen Spannungen berücksichtigt.

4.3.3. Nachweis von Schwingungen und Gegenmaßnahmen

4.3.3.1. Schwingungsarten

Nach bisher vorliegenden Beobachtungen können an Stahlschornsteinen folgende Schwingungserscheinungen infolge Windeinwirkung auftreten:

- a) Schwingungen des Gesamtbauwerks in Windrichtung, hervorgerufen durch unregelmäßige Schwankungen des Windstroms;
- b) Schwingungen des Gesamtbauwerks rechtwinklig zur Windrichtung, im folgenden kurz als „Querschwingun-

gen“ bezeichnet, hervorgerufen durch mehr oder weniger regelmäßige Wirbelablösungen an den Außenflächen oder -kanten des Bauwerks nach der Art einer Kármán-schen Wirbelstraße;

- c) Schwingungen des Gesamtbauwerks, hervorgerufen durch Wirbelbildungen an luvseitig vor dem Bauwerk gelegenen Ablösestellen, z. B. wenn mehrere Schornsteine hintereinander stehen;
 - d) Schwingungen des Bauwerksquerschnitts an der Mündung (Atmen, Ovallung), hervorgerufen durch die gleiche Ursache wie b);
 - e) Schwingungen von Abspannseilen (Galloping), hervorgerufen durch instationäre Luftkräfte am Seilquerschnitt.
- Ein Schwingungsnachweis für den Zustand der Vereisung braucht nicht geführt zu werden. Schwingungen des Schornsteines infolge anderer Ursachen als Windeinwirkung (z. B. durch mit hoher Geschwindigkeit ausströmende Abgase) werden hier nicht behandelt.

4.3.3.2. Schwingungen in Windrichtung

Die Stoßwirkung von Windböen braucht nur in Bauwerksklasse 2 bei frei stehenden Konstruktionen untersucht zu werden; bei abgespannten Schornsteinen darf die Untersuchung im allgemeinen auf das freie Ende unter Berücksichtigung der elastischen Einspannung beschränkt werden.

Ein Dauerfestigkeitsnachweis braucht für diese Beanspruchung nicht erbracht zu werden.

Um die dynamische Wirkung eines Windstoßes (Windbö) zu berücksichtigen, wird die Hälfte des Staudrucks mit einem Stoßbeiwert

$$\varphi_{B\ddot{o}} = 1 + |\beta|$$

vervielfacht. Der Wert β ist abhängig von der Grundschwingungsfrequenz *f* des Bauwerkes anzusetzen mit

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha^2} \cdot \sqrt{1 + \alpha^2 - 2\alpha \cdot \sin \frac{\pi}{2\alpha}} \text{ mit } \alpha = \frac{1}{8 \cdot f}$$

(siehe DIN 4131, Ausgabe März 1969, Abschnitt 4.2.5.3).

Anmerkung: Der Einfachheit halber ist es zulässig, die gesamte Windlast statt aus dem stationären Staudruck *q* aus dem die Stoßwirkung berücksichtigenden Staudruck $\bar{q} = q(1 + 0,5\beta)$ zu ermitteln.

4.3.3.3. Querschwingungen

4.3.3.3.1. Allgemeines

An Stelle einer genaueren Untersuchung dürfen die Querschwingungen von Körpern mit zylindrischem oder nahezu zylindrischem Querschnitt infolge von Windwirbelablösungen nach dem in Abschnitt 4.3.3.3.2 angegebenen Verfahren abgeschätzt werden.

4.3.3.3.2. Abschätzung der Querschwingungen

Die Grundschwingungsfrequenz *f* (Schwingungen/Sekunde) des Systems kann nach folgender Formel ermittelt werden:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \sum G_i \cdot y_i}{\sum G_i \cdot y_i^2}}$$

Hierin bedeuten:

g = 9,81 m/s²

G_i: die feldweise in Massenmittelpunkten *i* zusammengefaßte maximale lotrechte Last (Eigenlast und ständige Last) in Mp (kN)

y_i: die horizontale Auslenkung in m des Massenmittelpunkts *i* unter den horizontal wirkend angenommenen Lasten *G_i*

Die Genauigkeit der Berechnung wächst mit steigender Anzahl der angesetzten Massenmittelpunkte.

Gegebenenfalls ist der Einfluß der Normalkräfte auf die Höhe der Eigenfrequenzen zu berücksichtigen.

Wird entsprechend der in Abschnitt 5.7.1.5 beschriebenen Möglichkeit ein Korrosionszuschlag bei den mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Bauwerksflächen vorgesehen, ist die Schwingungsuntersuchung auch mit den vergrößerten Querschnittswerten vorzunehmen.

Bei frei stehenden Bauwerken von mehr als 150 m Höhe und bei abgespannten Bauwerken mit weit überkragendem freiem Ende wurden auch Querschwingungen mit den Schwingungsformen und im Takt von Oberschwingungen beobachtet.

Die kritische Windgeschwindigkeit, bei der die Anzahl der Wirbelablösungen je Sekunde mit der Eigenschwingungsfrequenz übereinstimmt, kann nach folgender Formel ermittelt werden:

$$v_{kr} = \frac{d \cdot f}{Str} \text{ in m/s.}$$

Hierin bedeuten:

d Außendurchmesser bei zylindrischen Körpern in m

Str Strouhalzahl; $Str \approx 0,2$

Ist in den Zonen I und II $v_{kr} > 30 \text{ m/s}$

im übrigen Gebiet $v_{kr} > 20 \text{ m/s}$

erübrigt sich eine weitere Untersuchung dieser Schwingungen.

Die zu der kritischen Windgeschwindigkeit zugehörige Reynoldszahl ist folgendermaßen zu ermitteln:

$$Re = \frac{d \cdot v_{kr}}{\nu}$$

Hierin ist

$\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ die kinematische Viskosität der Luft.

Die zu der kritischen Windgeschwindigkeit zugehörige dynamische Belastung darf näherungsweise ersetzt werden durch die horizontale, rechtwinklig zur Windrichtung wirkende statische Ersatzlast je m Bauwerkhöhe:

$$s = c_s \cdot F \cdot \frac{v_{kr}^2}{16} \text{ in kp/m}$$

$$\left(s = c_s \cdot F \cdot \frac{v_{kr}^2}{1600} \text{ in kN/m} \right)$$

Hierin bedeuten:

F Windangriffsfläche in m^2 je m Bauwerkhöhe,

c_s dimensionsloser Beiwert; der Beiwert c_s faßt den aerodynamischen Formbeiwert für die Querschwingungsbelastung und die Resonanzvergrößerung der Schwingungsschläge zusammen; jede Maßnahme zur Erhöhung der Schwingungsdämpfung (z. B. eine dämpfende Abspannung) vermindert den Beiwert c_s .

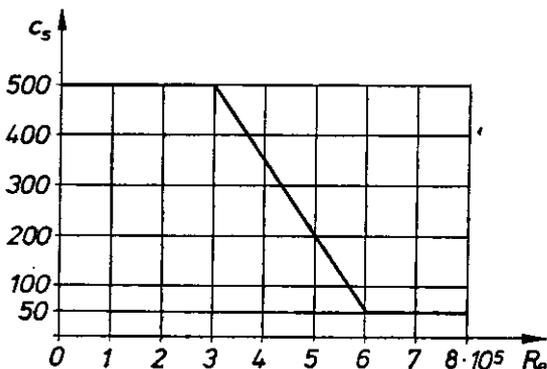


Bild 3. Beiwert c_s in Abhängigkeit von der Reynoldszahl

Falls keine genaueren Werte bekannt sind, darf in Abhängigkeit von der ermittelten Reynoldszahl für freistehende geschweißte und unausgemauerte Konstruktionen: c_s nach Bild 3 angesetzt werden.

4.3.3.3.3. Abschätzung der Dauerfestigkeit

Den durch Querschwingungen verursachten Schwingungsbeanspruchungen des Bauwerks mit häufig sehr hohen Lastspielzahlen $N > 2 \cdot 10^6$ muß die Dauerfestigkeit des Bauwerks genügen, die sehr von dessen konstruktiver Gestaltung und baulicher Ausführung abhängt. Die zulässige Spannung für die Dauerfestigkeit zu σ_D einzelner Konstruktionselemente kann an Hand der in Bild 5 bis 8 angegebenen Kurventafeln in Abhängigkeit vom Kerbfall nach Bild 4 a) bis d) und vom Grenzspannungsverhältnis

$$\kappa = \frac{\min \sigma}{\max \sigma} \text{ abgeschätzt werden.}$$

Hierin ist:

$\min \sigma$ die dem Betrag nach kleinste Spannung,

$\max \sigma$ die dem Betrag nach größte Spannung.

Bei der Ermittlung des Grenzspannungsverhältnisses gehen die durch Querschwingungsbeanspruchungen verursachten Spannungen mit beiden Vorzeichen ein. Die Dauerfestigkeitsuntersuchung ist nicht erforderlich, wenn die Schwingungsuntersuchung nach Abschnitt 4.3.3.2 ergibt, daß keine Querschwingungen zu erwarten sind.

4.3.3.3.4. Grenzfälle

Die Auslegung eines Stahlschornsteines unter Berücksichtigung der Querschwingungen kann im Zusammenhang mit der Dauerfestigkeitsuntersuchung zu Abmessungen führen, die die Erfordernisse der statischen Belastungen allein weit übersteigen.

In derartigen Grenzfällen darf das Bauwerk unter Berücksichtigung aller statischen Lasten und einer abgeminderten Querschwingungsbelastung ausgelegt werden, wenn in folgender Weise verfahren wird:

- a) Das Bauwerk ist so auszubilden, daß an keiner Stelle Kerbfall 4 nach Bild 4 d) bzw. noch ungünstigere Kerbfälle vorhanden sind.
- b) Das Bauwerk muß für die Anwendung von Gegenmaßnahmen nach Abschnitt 4.3.3.4 vorbereitet sein. Deren Einfluß auf das Bauwerk ist in der statischen Berechnung zu untersuchen.

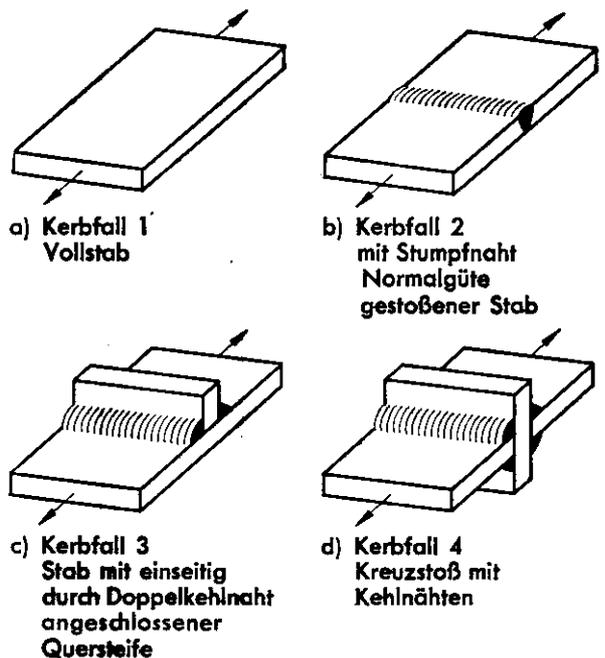


Bild 4. Kerbfälle

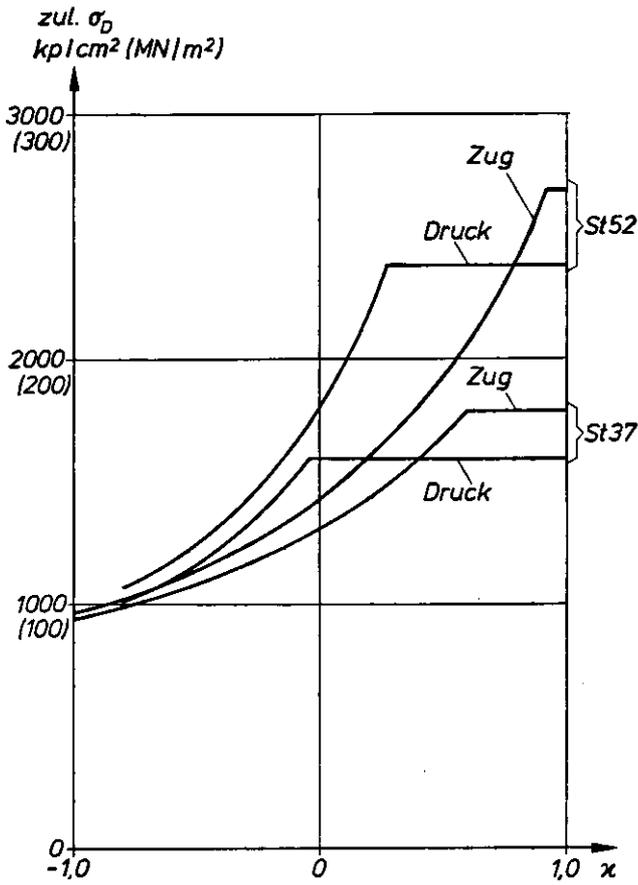


Bild 5. Zulässige Spannung für die Dauerfestigkeit; Kerbfall 1

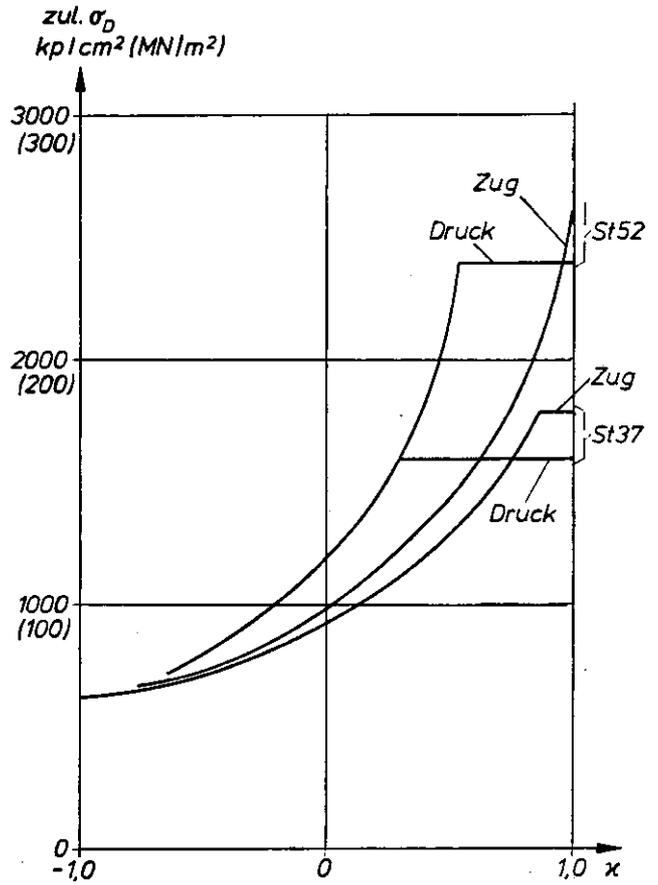


Bild 6. Zulässige Spannung für die Dauerfestigkeit; Kerbfall 2

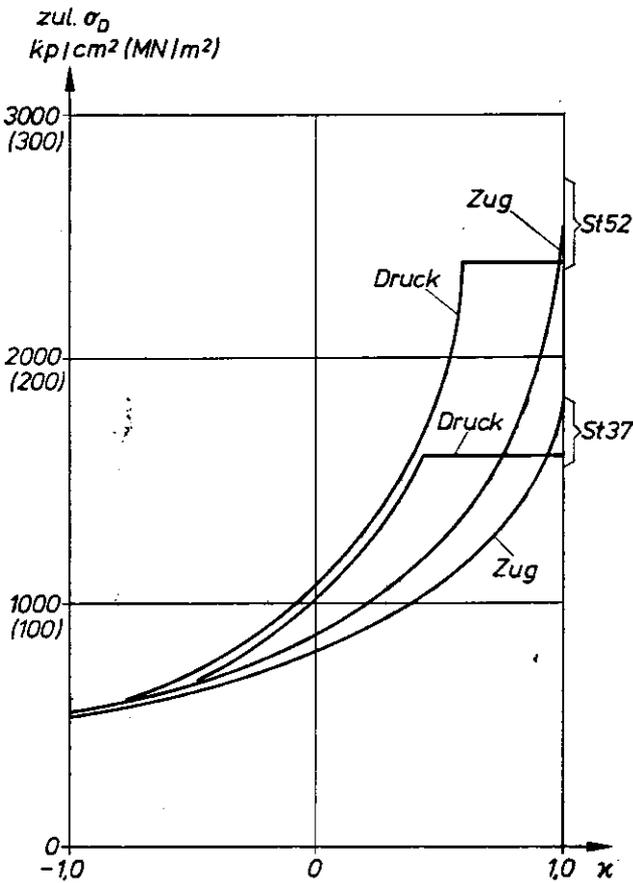


Bild 7. Zulässige Spannung für die Dauerfestigkeit; Kerbfall 3

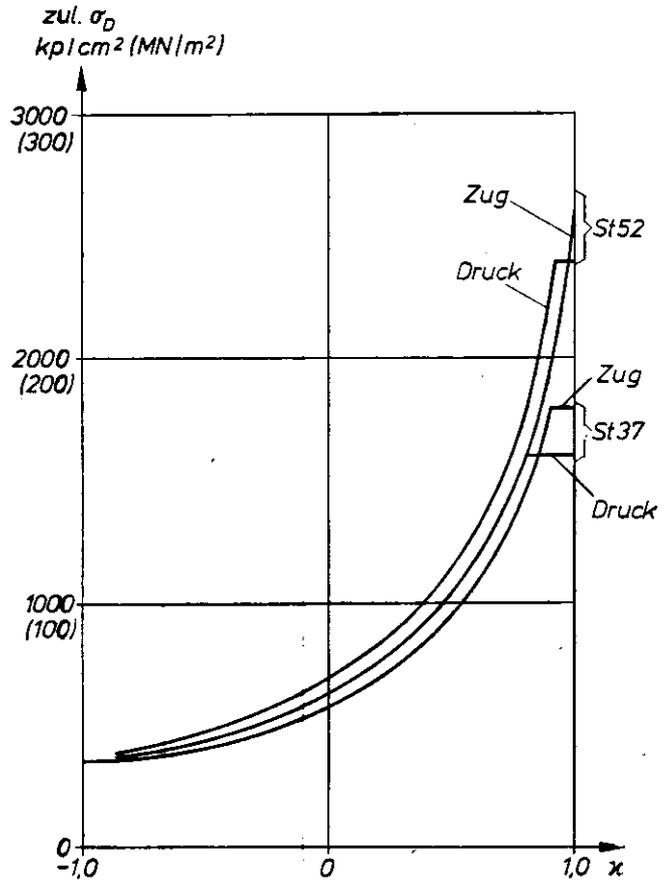


Bild 8. Zulässige Spannung für die Dauerfestigkeit; Kerbfall 4

- c) Das Bauwerk muß die größte, als statisch wirkend betrachtete und unabgeminderte dynamische Beanspruchung und alle zugehörigen statischen Lasten unter Einhaltung der für Haupt- und Sonderlasten nach Abschnitt 4.2.1 zulässigen Spannungen aufnehmen können.
- d) Eine Gegenmaßnahme ist durchzuführen, wenn die Schwingungsüberwachung nach Abschnitt 6.1 ergibt, daß die Dauerfestigkeit des Bauwerks nicht gewährleistet ist.
- e) An der Schornsteinmündung sind Markierungen entsprechend Abschnitt 5.1.6, Absatz 3, anzubringen.

4.3.3.4. Gegenmaßnahmen²⁾

4.3.3.4.1. Allgemeines

Schwingungen lassen sich auf aerodynamischem und schwingungstechnischem Wege durch das Anwenden folgender einzelner oder kombinierter Hilfsmittel mehr oder weniger verringern:

- a) Schraubenwendeln oder Einzelelemente längs gedachter Schraubenlinien
- b) senkrechte Streifen
- c) horizontale Ringe
- d) Schwingungstilger
- e) Schwingungsdämpfer
- f) Störabspannungen

4.3.3.4.2. Aerodynamische Maßnahmen

Aerodynamische Maßnahmen bewirken, daß sich die Wirbel nicht phasengleich über die ganze Bauwerkshöhe, sondern nur noch über Teilbereiche ablösen, wodurch die Erregerkräfte entsprechend verringert werden. Sie sind am wirksamsten im Bereich $Re < 3 \cdot 10^6$. Durch die Anwendung der aerodynamischen Maßnahmen nach Abschnitt 4.3.3.4.1 a) und b) erhöht sich jedoch der Formbeiwert c_w für den statischen Luftwiderstand auf $c_w \approx 1,1$, bezogen auf die Projektion der Hüllfläche.

4.3.3.4.3. Störabspannungen

Eine Störabspannung ist eine schwache, statisch fast unwirksame Abspannung des Schornsteins; sie bewirkt möglicherweise eine Veränderung der Eigenfrequenz, eine höhere Dämpfung und zugleich eine Störung der Wirbelablösungen.

4.3.3.5. Schwingungen infolge hintereinander stehender Schornsteine

Winderregte Schornsteinschwingungen durch im Windstrom vor dem Schornstein liegende Ablösestellen sind besonders dann zu beachten, wenn mehrere Schornsteine beieinander errichtet werden. Gegebenenfalls muß der gegenseitige Einfluß benachbarter Schornsteine im Windkanal untersucht werden.

4.3.3.6. Schwingungen des Bauwerksquerschnitts auf Grund von Windablösungen

Derartige Schwingungserscheinungen können vor allem bei größeren Mündungsdurchmessern auftreten. Sie lassen sich durch eine entsprechend steife Ausbildung des Mündungsquerschnitts weitgehend vermeiden.

4.3.3.7. Schwingungen von Abspannseilen

Schwingungen von Abspannseilen lassen sich durch das Anbringen von Störelementen vermindern.

4.3.4. Nachweis des aufnehmbaren Innendrucks

Es ist festzustellen, welcher statische innere Überdruck — ggf. auch Unterdruck — von der schwächsten Stelle des Schornsteinrohrs beim Erreichen der Streckgrenze des Werkstoffs aufgenommen werden kann.

4.3.5. Standsicherheitsnachweis

Die Standsicherheiten gegen Abheben, Kippen und Gleiten des gesamten Bauwerks und der einzelnen Fundamente müssen mindestens 1,5 betragen.

In Bauwerksklasse 2 kann es erforderlich sein, die Kipp-sicherheit unter Berücksichtigung der Verformungen zu ermitteln.

Die Auflast des ständig lotrecht über der Fundamentsohle befindlichen Erdreichs darf bei allen Standsicherheitsnachweisen berücksichtigt werden.

Beim Nachweis der Standsicherheit eines Fundaments gegen Abheben und Kippen ist das Fundament als frei auf der Baugrubensohle stehend anzusehen, d. h. Erdwiderstand, Erddruck und Wandreibung sind nicht in Ansatz zu bringen.

Auch für den Nachweis der Standsicherheit gegen Gleiten eines Fundaments ist dieses als frei auf der Baugrubensohle stehend anzusehen. Hierbei ist als Widerstand gegen Gleiten lediglich die Reibung zwischen Beton und Erdreich in der Gründungsohle in Ansatz zu bringen, es sei denn, daß das Fundament gegen anstehenden Fels betoniert wird.

Eine Ausnahme ist zulässig bei Fundamenten für Abspannungen von Stahlschornsteinen. 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, da Stahlschornsteine für eine sich hieraus möglicherweise ergebende Verschiebung unempfindlich sind. Für die Ermittlung des Erdwiderstands und des Erddrucks ist mit einem Erdkörper konstanter Breite gleich der Breite des Fundaments zu rechnen.

Soweit beim Standsicherheitsnachweis Erdauflast und Erdwiderstand in Rechnung gestellt sind, ist dieses auf der Zeichnung zu vermerken.

4.3.6. Gründungsnachweis

Die Gründung von Stahlschornsteinen und die zulässige Belastung des Baugrunds richten sich nach DIN 1054 „Baugrund; Zulässige Belastung des Baugrunds“.

Wenn die resultierende Kraft für die 1,0fache Gesamtlast außerhalb des Kernes fällt, so ist außer der Einhaltung der zulässigen Bodenpressung nach DIN 1054 zusätzlich nachzuweisen, daß die klaffende Bodenfuge nicht über die Schwerachse der Sohlfläche hinausgeht, und daß bei 1,5fachem Moment und 1,0facher Normalkraft das 1,5fache der zulässigen mittleren Bodenpressung nicht überschritten wird.

4.4. Besondere Bemessungsregeln

4.4.1. Abspannseile

Bei Abspannseilen muß die Sicherheit gegenüber der tatsächlichen Bruchkraft mindestens 2,3fach sein. Beim Aufstellen der statischen Berechnung ist im allgemeinen die tatsächliche Bruchkraft noch nicht ermittelt. In diesem Fall sowie in den Fällen, in denen ein Nachweis der tatsächlichen Bruchkraft nicht verlangt wird, darf die rechnerische Bruchkraft (siehe DIN 3051 Blatt 2) nach Multiplikation mit dem den Verseilungsverlust berücksichtigenden Faktor nach Tabelle 3 eingesetzt werden, wenn die Werkstoff-Festigkeit nicht über 180 kp/mm² (1800 MN/m²) liegt.

Die Tabellen der Seilhersteller mit den rechnerischen Bruchkräften für Drahtseile (siehe Tabelle 3, Seilart lfd. Nr 4) unterstellen im allgemeinen eine Fasereinlage. Die an Stelle der Fasereinlage tretende Stahlseele ist bei der Gewichtsermittlung mit dem vollen Querschnitt und bei der Ermittlung der rechnerischen Bruchkraft und der Formänderung mit 50 % des Querschnitts einzusetzen.

Wird der Nachweis der tatsächlichen Bruchkraft verlangt, so ist er an Hand von mindestens 3 Probestücken von einer

²⁾ Schutzrechtfrage prüfen

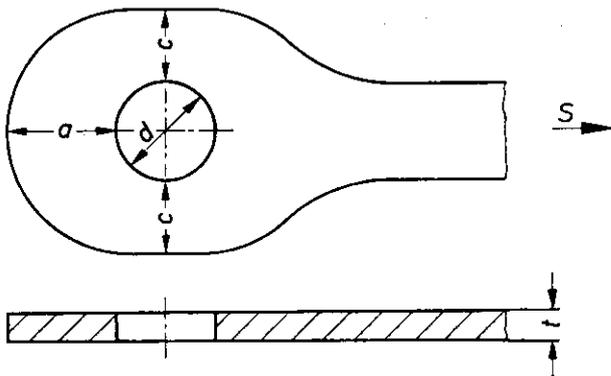


Bild 9. Bezeichnungen bei Augenstäben

hierfür anerkannten Prüfstelle zu erbringen. Die Probe-
stücke müssen aus der Materiallieferung entnommen werden,
die für das Bauwerk, für das der Nachweis erbracht wird,
bestimmt ist.

Wenn die tatsächliche Bruchkraft die mit den Ver-
seilverlustfaktoren nach Tabelle 3 multiplizierte rechnerische Bruchkraft
um nicht mehr als 5% unterschreitet, so ist eine nachträgliche
Berücksichtigung der tatsächlichen Bruchkraft in der statischen
Berechnung nicht erforderlich.

4.4.2. Augenstäbe

Bei Augenstäben, deren Lochränder planmäßig nicht unter
der Klemmwirkung eines Verbindungsmittels stehen, sind die
maßgeblichen Schnitte (siehe Bild 9) wie folgt zu bemessen,
sofern nicht die 2,3fache Sicherheit gegen Bruch durch Ver-
suche nachgewiesen wird:

$$a \geq \frac{S}{2 \cdot t \cdot \text{zul } \sigma} + \frac{2}{3} d$$

$$c \geq \frac{S}{2 \cdot t \cdot \text{zul } \sigma} + \frac{1}{3} d$$

4.4.3. Winkel

Werden beim Biegespannungsnachweis von Winkeln
schenkelparallele Querschnittsschwerachsen als Bezugs-
achsen an Stelle der Trägheitshauptachsen benutzt, so sind
die so ermittelten Biegespannungen mit 1,3 zu vervielfachen.

4.5. Zulässige Spannungen

4.5.1. Zulässige Spannungen für den Lastfall Hauptlasten
Als zulässige Spannungen für den Lastfall Hauptlasten nach
Abschnitt 4.2 gelten die für den Lastfall HZ in DIN 1050 und
DIN 4100 angegebenen Werte.

**4.5.2. Zulässige Spannungen für den Lastfall
Haupt- und Sonderlasten**

Für den Lastfall Haupt- und Sonderlasten nach Abschnitt 4.2.1
dürfen höhere zulässige Spannungen zul $\bar{\sigma}$ und niedrigere
Sicherheiten $\bar{\nu}$ nach folgenden Formeln angesetzt werden:

$$\text{zul } \bar{\sigma} = \text{zul } \sigma + 0,4 (\sigma_F - \text{zul } \sigma)$$

$$\bar{\nu} = \nu - 0,4 (\nu - 1).$$

4.5.3. Zulässige Spannungen bei Temperaturwirkung

Baustähle nach DIN 17 100 ohne gewährleistete Warm-
festigkeit dürfen bis zu Materialtemperaturen von 300 °C
verwendet werden. Hierbei sind die zulässigen Spannungen
nach Abschnitt 4.5.1 mit dem der höheren Bauwerktempe-
ratur entsprechenden Reduktionsfaktor *k* nach Tabelle 4 zu
multiplizieren.

Tabelle 4. Reduktionsfaktor *k* der zulässigen
Spannungen bei Temperatureinwirkung

Stahlsorte	<i>k</i> bei			
	100 °C	200 °C	250 °C	300 °C
St 37-2 St 37-3	0,88	0,79	0,71	0,58
St 52-3	0,83	0,69	0,64	0,56
Zwischenwerte sind linear einzuschalten.				

Der Reduktionsfaktor *k* ist das Verhältnis der Streckgrenze
bei der jeweiligen Temperatur zur Streckgrenze bei 20 °C
(nach TRD 107 Werkstoffe, Ausgabe Juni 1970, Tabelle 3).

Bei Materialtemperaturen über 300 °C dürfen nur Sonder-
stähle mit gewährleisteter Warmfestigkeit, z. B. nach
DIN 17 155 Blatt 1, Blatt 2 und Blatt 2 Beiblatt verwendet
werden.

Hierbei sind die zulässigen Spannungen auf Grund der
nach DIN 17 155 Blatt 2 Beiblatt, Ausgabe Juni 1969, an-
gegebenen Werte für die 1-%-Zeitdehngrenze für 100 000 h
festzulegen.

5. Bauliche Durchbildung

5.1. Bauwerk

5.1.1. Werkstoffe

Für Stahlschornsteine dürfen die Stähle St 37 und St 52 nach
DIN 17 100 verwendet werden. Andere Stähle dürfen nur mit
bauaufsichtlicher Zustimmung im Einzelfall verwendet wer-

Tabelle 3. Verseilverlustfaktoren

Anzahl der um den Kerndraht herum angeordneten Drahtlagen je Litze		1	2	3	4	5	6	7	8
Anzahl der Drähte je Litze bei aus- schließlicher Verwendung von Rund- drähten gleichen Durchmessers (diese Anzahl gilt nicht für ver- schlossene Seile)		7	19	37	61	91	127	167	217
lfd. Nr	für	Verseilverlustfaktoren							
1	paralleldrähtige Seile	1,0	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93
2	verschlossene Seile (eine Litze)	—	—	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87
3	Spiralseile (eine Litze)	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	—	—	—
4	Drahtseile ohne Faser- einlage mit 6 + 1 = 7 Litzen	0,85	0,82	0,79	0,76	—	—	—	—

den, falls ihre Eignung nicht durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen wird. Hinsichtlich der Abspannseile wird auf Abschnitt 4.1.2 verwiesen. Bei geschweißten Konstruktionen sind dabei die „Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütekategorien für geschweißte Stahlbauten zu beachten. Werden geschweißte oder kaltverformte tragende Konstruktionsteile feuerverzinkt, so ist mindestens beruhigt vergossener Stahl zu verwenden. Es empfiehlt sich, den Stahlhersteller über die beabsichtigte Feuerverzinkung zu unterrichten.

Geschweißte stählerne Schornsteine dürfen nur von Firmen ausgeführt werden, die den „Großen Befähigungsnachweis“ nach DIN 4100 Beiblatt 1 besitzen.

5.1.2. Mindestdicke der Konstruktionsteile

Die Mindestdicke muß DIN 1050 bzw. DIN 4115 entsprechen. Für Bauwerksflächen, die mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommen, siehe Abschnitt 5.7.

5.1.3. Aussteifungen und Verbände

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 Abspannungen.

5.1.4. Anschlüsse und Stöße

Sämtliche Niet-, Schrauben- und Bolzenlöcher sind zu bohren. Für Schraubenverbindungen sind Paßschrauben nach DIN 7968 oder gleichwertige Verbindungen, z. B. HV-Verbindungen, anzuwenden.

Verbindungen mit rohen Schrauben nach DIN 7990 sind jedoch zulässig:

- bei überwiegend axialer Beanspruchung der Schrauben;
- zur Befestigung untergeordneter Bauteile, z. B. von Leitern und Geländern;
- für Verbindungen, bei denen ein Schlupf unbedenklich ist.

Abweichend von DIN 1050, Ausgabe Juni 1968, Abschnitt 8.1, sind in Bauwerksklasse 1 Anschlüsse von Fachwerkfüllstäben und von Verbandstäben mit nur einer Schraube zulässig, wenn die Eckstiele ohne Knickpunkte ausgeführt werden. Beim Zugspannungsnachweis der Stäbe darf in diesem Fall nur der Querschnitt des angeschlossenen Winkelschenkels nach Abzug der Schwächung durch die Bohrung eingesetzt werden.

Die Muttern der Schrauben müssen gegen Lockern in geeigneter Weise gesichert werden, z. B. durch Verstemmen, Sicherungsringe oder Sicherungsmuttern.

Seilabspannlaschen von Seilabspannungen sind durch Bolzen mit Muttern zu befestigen. Die Muttern sind durch Splinte oder durch Verstemmen zu sichern.

Knotenbleche dürfen für die Stoßdeckung herangezogen werden, wenn der rechnerische Nachweis für die Tragfähigkeit unter Beachtung aller an ihnen angreifenden Kräfte und deren Lage geführt wird.

5.1.5. Querschnittsschwächungen

Querschnittsschwächungen (Mannloch, Fuchsöffnung usw.) sind durch ausreichend vorgebundene Verstärkungen auszugleichen.

5.1.6. Einrichtungen zur Überwachung und Wartung

Leitern, Laufstege, Ruhepodeste, Umgänge oder andere Zugangsvorrichtungen müssen für die Überwachung und Wartung der Bauwerke in ausreichender Anzahl vorgesehen werden (siehe DIN 1056 Blatt 1).

Leitern sind im allgemeinen mit einer Sicherheitseinrichtung, z. B. mit einem Rückenschutz, zu versehen. Werden Leitern in den Ecken von Fachwerken hochgeführt, so genügt bei entsprechender Anordnung und bei genügend enger Fachwerkteilung der Wände der Eckstiel als Rückenschutz.

Sofern auf Grund der Schwingungsuntersuchung nach Abschnitt 4.3.3 mit dem Auftreten von Schwingungen zu rechnen ist, wird empfohlen, am höchsten Punkt des Tragwerks dauerhafte Markierungen, z. B. Niete, Schrauben oder angeschweißte Flacheisen in Dezimeterteilung, anzubringen, um mit deren Hilfe die Schwingungsauslässe gegebenenfalls messen zu können.

5.2. Stählerne Abspannseile

5.2.1. Allgemeines

Für die stählernen Abspannseile (weitere Angaben siehe DIN 4131) von Stahlschornsteinen sind drei Gesichtspunkte von besonderer Bedeutung:

- der Korrosionsschutz;
- die Dehnungs- und Drehungsanfälligkeit des gewählten Seiles;
- die Endausbildung.

5.2.2. Korrosionsschutz

Wegen der erhöhten Korrosionsgefahr dürfen keine Abspannseile mit Fasereinlage verwendet werden.

Wegen der schwierigen Wartung der Abspannseile ist auf einen einwandfreien Korrosionsschutz größter Wert zu legen. Es sind deshalb Seile aus stark verzinkten Drähten (siehe DIN 1548) zu verwenden. Die fertigen Seile sind darüber hinaus mit einem zweimaligen gut deckenden Anstrich, z. B. mit gefüllten Steinkohlenteerpechlösungen oder bituminösem Material, zu versehen. Die Anstrichstoffe müssen säurefrei, hochelastisch, hitze- und kältebeständig sein. Ein anderer Korrosionsschutz muß in seiner Schutzwirkung mindestens gleichwertig sein.

Es sind Seile mit möglichst großem Drahtdurchmesser zu wählen. Drahtdurchmesser unter 0,7 mm sind nicht zulässig.

5.2.3. Seilarten

5.2.3.1. Allgemeines

Um Torsionsbeanspruchungen der Befestigungskonstruktionen der Seilenden am Schornstein und an den Fundamenten zu vermeiden, sind drehungsfreie und drehungsarme Seilarten solchen mit herstellungsbedingter Drehungsanfälligkeit vorzuziehen. Deshalb sind für die Abspannung von Stahlschornsteinen die folgenden Seilarten anzuwenden.

5.2.3.2. Paralleldrähtige Seile

Paralleldrähtige Seile werden ohne Drall hergestellt; sie sind demzufolge nicht aufwickelbar und nicht in größeren Längen transportierbar, so daß sie nur an der Verwendungsstelle angefertigt werden können. Sie sind drehungsfrei und haben von allen Seilarten die geringste Dehnung. Die Herstellung solcher Seile erfordert große Sorgfalt und Erfahrung, durch die allein sichergestellt werden kann, daß sämtliche Drähte bei Belastung des Seils nahezu gleichen Kraftanteil erhalten.

5.2.3.3. Drahtseile (geschlagene Seile)

Diese Seile sind aufwickelbar und transportierbar; sie werden fabrikmäßig gefertigt. Folgende Drahtseilarten können angewendet werden:

a) Einlitzenseile (Litzen)

Diese Seile werden aus mehreren konzentrisch angeordneten Drahtlagen um einen stählernen Kerndraht gebildet. Seile (Litzen) mit wechselnder Schlagrichtung in den verschiedenen Drahtlagen sind drehungsärmer als solche mit gleicher Schlagrichtung.

b) Mehrlitzenseile

Diese Seile bestehen aus mehreren (z. B. 6 + 1) Litzen, die wie in Absatz a) aus Einzeldrähten (z. B. 7, 19, 37 oder 61 Stück) gebildet werden. Die Schlagrichtung innerhalb der Litzen wechselt dabei üblicherweise nicht.

5.2.4. Endausbildungen

5.2.4.1. Nachweise

Die Endausbildung richtet sich nach der Art und dem Durchmesser der gewählten Abspannseile. Die Tragfähigkeit der Endausbildungen ist durch Bruchversuche in einer hierfür anerkannten Prüfstelle an mindestens drei Probestücken nachzuweisen.

Auf den Nachweis kann verzichtet werden, wenn die Ausführung einer DIN-Norm entspricht und die Mindesttragkraft dort ersichtlich ist.

5.2.4.2. Seilköpfe

Seilköpfe, auch Seilschuhe oder Seilhülsen genannt (siehe DIN 83 313), gehören insbesondere zu Abspannseilen mit größeren Draht- und Seildurchmessern für größere Stahlschornsteine, d. h. also zu den Seilarten nach Abschnitt 5.2.3.2 und 5.2.3.3 a).

Seilköpfe weisen meistens einen konischen Hohlraum auf, in dem die Seilenden nach dem besenförmigen Spreizen und u. U. Umbiegen der Drahtenden mittels einer hierzu geeigneten Masse (z. B. Blei, Antimon, Zinn, Zinn usw. in sinnvoller Kombination) vergossen werden (siehe DIN 83 315). Hierbei ist darauf zu achten, daß die einzelnen Drähte in dem belasteten Seil gleichmäßig an der Aufnahme der Seilkraft beteiligt sind.

Bei Seilköpfen aus Stahlguß ist die Freiheit von Lunkern und Rissen durch Röntgen- und Magnetpulverprüfungen oder andere gleichwertige Verfahren nachzuweisen.

5.2.4.3. Kauschen

Diese Endausbildung gehört insbesondere zu den unter Abschnitt 5.2.3.3, Absatz b) angegebenen Mehrlitzenseilen. Das um die Kausche (siehe DIN 6899) gelegte Seilende kann befestigt werden durch:

- Drahtseilklemmen, nachdem das Seilende vorher abgebunden ist. Bei Verwendung von Drahtseilklemmen nach DIN 1142 ist die dort geforderte Mindeststückzahl um 1 zu erhöhen. Die Klemmen sind nach Einbringen der planmäßigen Vorspannung in das Abspannseil nachzuspannen, da infolge der Seildehnung ein Lockern der Klemmen möglich ist;
- Spleißung (siehe DIN 83 318), bei deren Ausführung große Sorgfalt und handwerkliche Fähigkeit erforderlich sind.

5.2.5. Einbringen der Vorspannkraft

Die Vorspannkraft bzw. der Seildurchhang sind gemäß den in der statischen Berechnung ermittelten Werten einzuregulieren. In Bauwerksklasse 2 muß das Einbringen der Vorspannkraft mit Zugkraftmesser überwacht werden. Hierbei ist die Benutzung von Spannvorrichtungen zulässig, die nach dem Einbau von Paßstücken in die Seilachse entlastet und wieder ausgebaut werden dürfen.

In Bauwerksklasse 1 darf die Messung des Seildurchhangs mit optischen Hilfsmitteln vorgenommen werden.

Bei der Verwendung dehnungsanfälliger Seile empfiehlt es sich hierbei, die Spannvorrichtungen (z. B. Spannschlösser) in den Seilen zu belassen, da solche Seile nach einer gewissen Betriebszeit erfahrungsgemäß nachgespannt werden müssen.

Am Bauwerk verbleibende Spannvorrichtungen sind gegen Lockern zu sichern.

Die Endkontrolle der Spannkraft oder des Seildurchhangs muß bei Windstille durchgeführt werden.

5.3. Fundamente

Anker sind ausreichend tief in die Fundamente zu führen. Die Ankerkraft ist voll durch Barren auf den Beton zu übertragen³⁾. Gewindeschwächungen der Anker am Barrenanschluß brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

Es wird empfohlen, die Anker vorzuspannen.

Die Fundamente sind so zu gestalten, daß alle nicht von Beton umgebenen Stahlteile mindestens 30 cm über Gelände liegen.

Die Fundamentoberseiten sind zur Entwässerung mit einem Gefälle von mindestens 5‰ zu versehen.

Bei betonschädlichen Wässern und Böden sind geeignete Schutzmaßnahmen für den Beton zu treffen.

5.4. Blitzschutz

Stahlschornsteine müssen eine wirksame Erdung unter Beachtung der „Allgemeinen Blitzschutzbestimmungen“ (ABB) erhalten.

5.5. Flugsicherung

Aus Gründen der Flugsicherung können Baubeschränkungen bestehen, so daß mit zusätzlichen Auflagen gerechnet werden muß. Auskünfte sind schon bei Beginn der Planung über die zuständigen Baugenehmigungsbehörden einzuholen.

5.6. Wärmedämmung

Die Wärmedämmung von Stahlschornsteinen verringert den Wärmeabfluß durch die Wand des Schornsteinrohres. Die Temperatur der mit den abzuführenden Stoffen unmittelbar in Berührung kommenden Flächen unterscheidet sich daher von der Temperatur der abzuführenden Stoffe bei einer wärmedämmten Konstruktion weniger stark als bei einer solchen ohne Wärmedämmschicht.

Da die Korrosionswirkung aggressiver Stoffe in flüssigem oder gelöstem Zustand in der Regel erheblich größer ist als in gasförmigem Zustand, wirkt die Wärmedämmung korrosionsverhindernd, wenn sie sicherstellt, daß die Temperatur der unmittelbar mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Bauwerksflächen insbesondere an der Schornsteinmündung höher liegt als der Taupunkt des Wassers oder etwaiger aggressiver Anteile in den abzuführenden Stoffen. Im übrigen wirkt die Wärmedämmung stets korrosionsmindernd. Maßgebend ist der Taupunkt an den berührten Bauwerksflächen, der durch die katalytische Wirkung von Ansätzen und die Kapillarwirkung an diesen höher sein kann als in den abzuführenden Stoffen.

Wird kein genauere Nachweis erbracht über die Senkung des Taupunktes durch Feuerungsmaßnahmen, z. B. nachstöchiometrische Verbrennung bzw. durch Neutralisierung der Schwefelsäure mit basischen Aschenbestandteilen oder Additiven, so ist der Schwefelsäuretaupunkt von Rauchgasen aller Art mit 160 °C anzusetzen.

Da das wärmedämmende Material in der Regel nicht auf die Dauer völlig diffusionsundurchlässig ist, empfiehlt es sich, es nicht auf der vom aggressiven Stoff berührten Wandseite anzubringen.

Auch doppelwandige Ausführungen sind als wärmedämmte anzusehen, wenn das zwischen den Wänden befindliche Luftpolster wie eine Wärmedämmung wirken kann. Die Unterteilung des Luftpolsters bzw. eine Verfüllung des Zwischenraums mit Wärmedämmstoffen darf die voneinander unabhängige Dehnung beider Wandungen nicht beeinträchtigen.

Der Temperaturabfall der abzuführenden Stoffe über die Schornsteinlänge beeinflusst die Temperatur der kältesten berührten Bauwerksflächen an der Schornsteinmündung.

Für den Dauerbetriebszustand darf der Temperaturabfall Δt der abzuführenden Stoffe je m Schornsteinhöhe überschlägig nach folgender Formel errechnet werden, wenn kein genauere Nachweis geführt wird:

³⁾ Siehe z. B. Bautechnik 1956, Heft 1, Seite 28.

$$\Delta t = k \cdot \frac{(t_i - t_a) \cdot U}{v \cdot F \cdot c \cdot \rho} \quad \text{in } \frac{\text{K}}{\text{m}}$$

Hierin bedeuten:

- k Wärmedurchgangszahl in $\text{W/K} \cdot \text{m}^2$
 t_i Temperatur der abzuführenden Stoffe in $^{\circ}\text{C}$; es ist jeweils die tiefste im Dauerbetrieb sich einstellende Temperatur der abzuführenden Stoffe beim Eintritt in den jeweils betrachteten Schornsteinquerschnitt einzusetzen.
 t_a Temperatur der Außenluft; es ist mit einer Temperatur der Außenluft von -30°C zu rechnen.
 U Umfang in m
 F lichte Querschnittsfläche in m^2
 v Geschwindigkeit der abzuführenden Stoffe in m/h
 c spezifische Wärme der abzuführenden Stoffe in $\text{W} \cdot \text{s/kg} \cdot \text{K}$
für Rauchgase darf gesetzt werden $c = 0,24$.
 ρ Dichte der abzuführenden Stoffe in kg/m^3 ;
für Rauchgase darf gesetzt werden $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$.

Die Wärmedurchgangszahl k darf nach folgender Formel ermittelt werden:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_n \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_a}$$

Hierin bedeuten:

- α_i Wärmeübergangszahl an den mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Bauwerksflächen in $\text{W/K} \cdot \text{m}^2$
 α_a Wärmeübergangszahl an der Außenwand in $\text{W/K} \cdot \text{m}^2$
 d_n Dicke in m
 λ_n Wärmeleitfähigkeit in $\text{W/K} \cdot \text{m}^2$ } der n verschiedenen Wandschichten.

Folgende Werte dürfen benutzt werden, wenn kein genauere Nachweis geführt wird:

- a) Für die Wärmeübergangszahlen α bei Stahlschornsteinen in Abhängigkeit von den verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten an der Oberfläche von Stahlblechen

$$\alpha_i = 120$$

$$\alpha_a = 60$$

- b) Bei doppelwandigen Ausführungen ist der $\frac{1}{k}$ -Wert für die einzelnen Wände getrennt zu bestimmen. Dabei ist für den Luftzwischenraum $\alpha_a = \alpha_i = 8$ anzunehmen.

- c) Für die Wärmeleitfähigkeit λ in $\text{W/K} \cdot \text{m}^2$

Aluminium	210
Blei	36
Stahl	60
Asbest, Kieselgur	0,18
Glaswolle, Steinwolle, gestopft	0,12

Bei der Ausbildung der Wärmedämmschicht ist darauf zu achten, daß Kältebrücken vermieden werden. Auch bei nicht wärmegeämmten Schornsteinrohren ist dies wichtig, da die Innenflächen von Schornsteinrohren an den Stellen stärker abkühlen, an denen außen Bauteile angeschlossen sind. Dort können Säure- oder Wassertaupunkte unterschritten werden und dadurch Ansatzpunkte für die Korrosion bilden.

5.7. Korrosionsschutz

5.7.1. Bauwerksflächen, die mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommen

5.7.1.1. Allgemeines

Zu den mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Flächen rechnen nicht nur die Innenseiten der Schornsteinrohre, sondern auch alle äußeren Bauwerks-

flächen, die im Bereich der Abgasfahne unterhalb der Schornsteinmündung bzw. bei Fremdanströmung im Bereich benachbarter Schornsteine liegen. Im allgemeinen kann hierfür eine Höhe, die dem 3fachen Außendurchmesser entspricht, angenommen werden. Wird durch andere Maßnahmen ein Herabziehen der Abgase am Außenschaft verhindert, z. B. durch eine Endscheibe, so darf der zu schützende Bereich entsprechend verringert werden.

Der Korrosionsangriff auf den mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Flächen ist in sehr starkem Maße nicht nur von der Art des Korrosionsschutzes und von der bei seiner Aufbringung angewendeten Sorgfalt, sondern auch von der Einhaltung der betrieblich vorgesehenen Schutzmaßnahmen abhängig.

Der etwaigen Mikroporosität von Schutzüberzügen ist bereits bei ihrer Auswahl wegen der später schwer erkennbaren Unterrostungsgefahr besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Allgemein ist das Warmhalten der von den abzuführenden Stoffen berührten Flächen über den Taupunkt hinaus der zuverlässigste Korrosionsschutz (siehe Abschnitt 5.6).

5.7.1.2. Korrosionsschutz bei leichter Aggressivität der abzuführenden Stoffe

Bei geringer Aggressivität und niedriger Temperatur der abgeführten Stoffe, z. B. bei Fortluftschornsteinen von kerntechnischen Anlagen, reichen normale Schutzverfahren aus, wie sie in Abschnitt 5.7.3 beschrieben sind.

5.7.1.3. Korrosionsschutz bei mittlerer Aggressivität der abzuführenden Stoffe

Kunststoffbeschichtungen können brauchbar sein bei mittelstarker Aggressivität der abzuführenden Stoffe und bei katalytischer Aushärtung bis zu Temperaturen von etwa 70°C , bei thermischer Aushärtung bis zu Temperaturen von etwa 160°C , die in Sonderfällen noch höher sein können.

Derartige Beschichtungen dürfen erst nach sachgemäßer Entrostung aufgebracht werden. Die weitere Verarbeitung, die Gesamtdicke und die Schichtenzahl richten sich nach den Verarbeitungsvorschriften für den gewählten Kunststoff.

Das Problem der Baustellenstöße ist bei Kunststoffbeschichtungen besonders zu beachten.

5.7.1.4. Korrosionsschutz bei starker Aggressivität der abzuführenden Stoffe und bei höheren Temperaturen

Bei höheren Temperaturen als der in Abschnitt 5.7.1.3 angegebenen und bei starker Aggressivität der abzuführenden Stoffe kommen bei Rauchgasschornsteinen nach sachgemäßer Entrostung porendichte Metallüberzüge, z. B. aus Blei, in Betracht.

Bleiüberzüge können bis zu einer dauernden Innenwandtemperatur von maximal 200°C angewendet werden. Die homogene Verbleiung wird empfohlen; sie soll mindestens 3 mm dick sein. Bei größeren Dicken der Verbleiung kann es sich empfehlen, auf der zu verbleienden Fläche Befestigungsnocken vorzusehen, die ein Abrutschen der Verbleiung verhindern.

5.7.1.5. Korrosionsschutz durch Korrosionszuschlag zur Blechdicke

5.7.1.5.1. Voraussetzungen

In vielen Fällen, z. B. bei Rauchgasen von schwefelreichem schwerem Heizöl, bei hohen maximalen Rauchgastemperaturen oder bei häufigen Betriebsunterbrechungen, ist ein einwandfreier Korrosionsschutz nicht möglich oder unwirtschaftlich.

In diesen Fällen darf auf einen Korrosionsschutz der mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Flächen verzichtet werden, wenn

- a) zusätzlich zu dem nach Abschnitt 4 statisch erforderlichen Mindestquerschnitt ein Korrosionszuschlag vorgesehen wird, dessen Wert nach den Abschnitten 5.7.1.5.2 und 5.7.1.5.3 zu ermitteln ist und wenn
- b) die betroffenen Bauwerksteile so ausgebildet werden, daß sie zugänglich sind und ausgetauscht oder repariert werden können.

Es wird empfohlen, einen Korrosionszuschlag von mindestens einem Fünftel des ohne Korrosionsschutz erforderlichen Wertes, mindestens jedoch 1 mm, auch dann zu berücksichtigen, wenn bei starker Aggressivität der abzuführenden Stoffe zwar ein Korrosionsschutz vorgesehen ist, aber keine zuverlässige Aussage über dessen Wirksamkeit gemacht werden kann.

5.7.1.5.2. Korrosionszuschlag

Bei der Ermittlung des Korrosionszuschlags ist zu beachten:

- a) die gesamte Betriebszeit
- b) die Häufigkeit geringerer betrieblicher Belastung
- c) die Häufigkeit des An- und Abfahrens
- d) die Stillstandzeiten
- e) die Konstruktion
- f) die Möglichkeit von Kaltlufterbrüchen durch besondere Strömungsverhältnisse an der Schornsteinmündung.

An- und Abfahren sowie Stillstandszeiten brauchen dann nicht berücksichtigt zu werden, wenn durch ausreichende betriebliche und bauliche Maßnahmen (z. B. Warmhaltung durch Heißluft oder/und Wärmespeicherung in der Wärmedämmschicht) sichergestellt ist, daß die Temperatur der mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Bauwerksflächen auch während dieser Zeiten höher liegt als die Taupunkttemperatur der Luftfeuchtigkeit, solange sich aggressive Bestandteile auf diesen Flächen befinden oder wenn nach Reinigung durch Konservierung mittels fachgerechter Schutzanstriche ein ausreichender Korrosionsschutz bewirkt wird.

5.7.1.5.3. Taupunktunterschreitung

Für die Dauer der Unterschreitung des Säuretaupunktes um 20 bis 50 K und bei Unterschreitung des Wasserdampftaupunktes ist infolge ebenmäßiger Korrosion bei unlegierten Stählen mit einer Materialabtragung von $3 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ zu rechnen. Für alle mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Schornsteinflächen an der Mündung im Bereich des dreifachen Schornsteindurchmessers sowie für Schornsteinflächen unterhalb der Eintrittsöffnungen der abzuführenden Stoffe ist bei jeglicher Taupunktunterschreitung mit demselben Wert zu rechnen. Bei allen anderen Taupunktunterschreitungen ist mit einer Materialabtragung von $1,5 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ zu rechnen.

Für die Dauer von Stillstandszeiten zuzüglich 3 h für jedes Anfahren ist mit dem doppelten Abtrag zu rechnen.

5.7.1.5.4. Korrosionszuschlag bei Bauwerksklasse 1

In Bauwerksklasse 1 darf statt einer genauen Berechnung nach Abschnitt 5.7.1.5.3 der Korrosionszuschlag nach Tabelle 5 angenommen werden.

5.7.1.5.5. Stahl mit höherem Korrosionswiderstand

Wird ein Stahl mit einem höheren Korrosionswiderstand verwendet, so darf der Korrosionsschutz den nachweislich vorliegenden Erfahrungen entsprechend verringert werden.

Tabelle 5. Korrosionszuschlag in mm zur Blechdicke bei Stahlschornsteinen der Bauwerksklasse 1

Erwarteter Korrosionsangriff ¹⁾	Entwurfslebensdauer	
	10 Jahre	20 Jahre
leicht	4 mm	6 mm
mittel	6 mm	8 mm
stark	8 mm	10 mm

¹⁾ Wegen der Überwachung siehe Abschnitt 6.2

5.7.2. Bauwerksflächen, die zwar nicht mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommen, die aber auf Grund von deren Temperatur stark erhitzt werden können

Der Korrosionsschutz dieser Flächen unterliegt außer der Temperaturbeanspruchung nur den normalen Beanspruchungen der Außenluft; er ist also in der Regel nicht den hohen Korrosionsbelastungen wie die Flächen nach Abschnitt 5.7.1 ausgesetzt. Auf den unter Abschnitt 5.7.1.5 beschriebenen Ausweg des Korrosionszuschlags für Flächen, die nicht ausreichend geschützt werden können, darf daher nur im Ausnahmefall ausgewichen werden.

Im übrigen gelten die gleichen Gesichtspunkte wie in den Abschnitten 5.7.1.2 bis 5.7.1.4, wobei hier als weitere Möglichkeit für Metallüberzüge die Feuerverzinkung in Betracht kommt.

Die Zinkschichtdicke feuerverzinkter Stahlbauteile muß mindestens $80 \mu\text{m}$ entsprechend 560 g/m^2 betragen. Die Haftfestigkeit ist durch leichte Schläge mit dem 250-g-Kugelhammer, die nicht auf die Kanten geführt werden dürfen, nachzuweisen. Auch die Gelenkhammerprüfung nach ASTM ⁴⁾ A 123-63 ist anwendbar.

Zur Wahl der Stahlgüte bei der Feuerverzinkung siehe Abschnitt 5.1.1. Die Art des zu verzinkenden Materials und seine Güte müssen der Verzinkerei angegeben werden.

Feuerverzinkte Schrauben und Muttern vom Durchmesser M 12 und darüber müssen eine Zinkschichtdicke von 50 bis $70 \mu\text{m}$ aufweisen. Das Gewinde feuerverzinkter Muttern darf so weit nachgeschnitten werden, daß die Muttern auf Schrauben gängig sind. Feuerverzinkte Schrauben unter M 12 sollten wegen der im allgemeinen unzureichenden Zinkschichtdicke vermieden werden. Zweckmäßiger sind Schrauben aus korrosionsbeständigem Material zu verwenden.

Für Ausbesserungsarbeiten kleiner Fehlstellen im Zinküberzug sind geeignete Verfahren, z. B. das Lötverfahren mit Zinn, Spritzverzinken oder Anstriche mit Zinkstaubfarbe in entsprechender Dicke, zugelassen.

In stark aggressiver Atmosphäre (Industrie und Meeresküste) empfiehlt es sich, zusätzliche Anstriche vorzusehen, die auf Zink gut haften müssen.

5.7.3. Bauwerksflächen, die weder mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommen noch stark erhitzt werden können

Der Korrosionsschutz dieser Flächen unterliegt nur den normalen Beanspruchungen der Außenluft. Außer den in Abschnitt 5.7.2 beschriebenen Verfahren kommen deshalb auch die normalen Schutzanstriche nach DIN 55 928 in Betracht.

6. Überwachung

6.1. Schwingungsüberwachung

Bauwerksschwingungen sind mindestens während des ersten Jahres nach der Aufstellung zu beobachten. Über die Beobachtungen ist eine Niederschrift zu führen. Treten größere Schwingungen auf, als nach der Berechnung zulässig ist, müssen unverzüglich Abhilfemaßnahmen ergriffen werden.

⁴⁾ American Society for Testing Materials

6.2. Korrosionsüberwachung

Sofern die abzuführenden Stoffe aggressive Bestandteile enthalten, sind die mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Flächen durch allgemeine Revisionen in angemessenen Zeitabständen zu untersuchen.

Über den Befund sind Niederschriften anzufertigen. Bei einem Korrosionsschutz durch Korrosionszuschlag zur Blechdicke nach Abschnitt 5.7.1.5 ist der zwischen zwei Revisionen höchstens zulässige zeitliche Abstand in den Bauvorlagen nach Abschnitt 3.1 festzulegen.

Bei der Untersuchung müssen die Flächen an besonders gefährdeten Stellen auf örtliche Korrosionsnarben und die Wanddicken auf Materialverlust durch ebenmäßige Korrosion nachgeprüft werden.

Im Falle erkannter Schwächungen, durch deren Fortschreiten der Korrosionszuschlag bis zur nächsten turnusmäßigen Revision verloren ginge, ist die Zeit bis zur nächsten Revision entsprechend zu verkürzen, sofern nicht die betroffenen Bauteile ausgetauscht oder erneuert werden.

7. Hinweise auf weitere Normen und Richtlinien

- DIN 285 Feuerungsanlagen, Dampferzeuger, Industrieöfen und Schornsteine; Richtlinien für Trocknen, Anheizen und Inbetriebnahme
- DIN 1000 Stahlhochbauten; Ausführung
- DIN 1034 Zeichnungen für Stahl- und Leichtmetallbau; Darstellung, Maßeintragung
- DIN 1045 Beton- und Stahlbetonbau; Bemessung und Ausführung
- DIN 1050 Stahl im Hochbau; Berechnung und bauliche Durchbildung
- DIN 1054 Baugrund; Zulässige Belastung des Baugrunds
- DIN 1055 Blatt 1 bis Blatt 5 Lastannahmen für Bauten
- DIN 1056 Blatt 1 Frei stehende Schornsteine in Massivbauart; Berechnung und Ausführung
- DIN 1058 Säureschornsteine in Massivbauart; Berechnung und Ausführung
- DIN 1080 Zeichen für statische Berechnungen im Bauingenieurwesen
- DIN 1142 Drahtseilklemmen für Seil-Endverbindungen bei sicherheitstechnischen Anforderungen
- DIN 1548 Zinküberzüge auf runden Stahldrähten
- DIN 2078 Blatt 1 Stahldrähte für Drahtseile; Maße, zulässige Abweichungen, Gewichte
- DIN 2078 Blatt 2 —; Technische Lieferbedingungen
- DIN 3051 Blatt 2 Drahtseile aus Stahldrähten; Grundlagen, Seilarten, Begriffe
- DIN 3051 Blatt 4 Drahtseile aus Stahldrähten; Grundlagen, Technische Lieferbedingungen
- DIN 4030 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase
- DIN 4100 Geschweißte Stahlbauten mit vorwiegend ruhender Belastung; Berechnung und bauliche Durchbildung
- DIN 4114 Blatt 1 Stahlbau; Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung); Berechnungsgrundlagen, Vorschriften
- DIN 4114 Blatt 2 —; —; Berechnungsgrundlagen, Richtlinien
- DIN 4115 Stahlleichtbau und Stahlrohrbau im Hochbau; Richtlinien für die Zulassung, Ausführung, Bemessung
- DIN 4131 Antennentragwerke aus Stahl; Berechnung und Ausführung
- DIN 4149 Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Richtlinien für Bemessung und Ausführung
- DIN 6899 Kauschen; Leicht, mittelschwer, schwer für Drahtlitzen, Drahtseile und Faserseile
- DIN 7968 Sechskant-Paßschrauben ohne Mutter — mit Sechskantmutter, für Stahlkonstruktionen
- DIN 7990 Sechskantschrauben mit Sechskantmutter für Stahlkonstruktionen
- DIN 8565 Rostschutz von Stahlbauwerken durch Metallspritzen; Richtlinien
- DIN 17 100 Allgemeine Baustähle; Gütevorschriften
- DIN 17 155 Blatt 1 Kesselbleche; Technische Lieferbedingungen
- DIN 17 155 Blatt 2 —; Gütevorschriften für die verwendeten Stähle
- DIN 17 155 Blatt 2 Beiblatt —; Langzeit — Warmfestigkeitswerte
- DIN 17 200 Vergütungsstähle; Gütevorschriften
- DIN 50 049 Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen
- DIN 55 928 Schutzanstrich von Stahlbauwerken; Richtlinien
- DIN 83 313 Seilhülsen
- DIN 83 315 Vergießen von verzinkten Drahtseilen für den Schiffbau in Seilhülsen mit Vergußmetallen; Richtlinien
- DIN 83 318 Spleiße für Drahtseile

„Vorläufige Richtlinien für HV-Verbindungen“, 2. Ausgabe 1963, und „Ergänzungen zu den Vorläufigen Richtlinien für HV-Verbindungen“ für den Anwendungsbereich des Stahlhochbaues mit vorwiegend ruhender Belastung, Ausgabe März 1967⁵⁾, herausgegeben vom Deutschen Ausschuß für Stahlbau, Stahlbau-Verlag, Köln.

„Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten“, herausgegeben vom Deutschen Ausschuß für Stahlbau, Stahlbau-Verlag, Köln.

„Allgemeine Blitzschutzbestimmungen (ABB)“⁵⁾, VDE-Verlag, Berlin.

Technische Regeln für Dampfkessel TRD 107 Werkstoffe „Verschiedene Kesselteile aus Stahl“, Ausgabe Juni 1970⁵⁾.

⁵⁾ Zu beziehen durch Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin 30 und Köln.

Erläuterungen

Bei der Errichtung von Stahlschornsteinen muß eine Reihe von technischen Disziplinen mit divergierenden oder sogar konträren Anforderungen in einer von anderen Ingenieurbauwerken her ungewohnten Vielfalt zusammenwirken. Die vorliegende Norm für Stahlschornsteine geht deshalb entsprechend den Erfordernissen der Praxis über die rein bautechnischen Gesichtspunkte hinaus auch auf alle wesentlichen anderen, der Gesamtaufgabe zugeordneten Belange ein.

Zur Zeit der Abfassung dieser Norm entzieht sich außerdem eine Reihe von Erscheinungen noch weitgehend einer rechnerischen Behandlung mit der im Bauwesen sonst üblichen Genauigkeit, so z. B. der wirkliche Ausbeulvorgang langer zylindrischer Rohre und deren Schwingungsverhalten im Windstrom, die Dauerschwingfestigkeit großtechnischer Bauteile bei sehr großen Lastspielzahlen und ihre Temperaturabhängigkeit sowie das Korrosionsverhalten der Werkstoffe unter Betriebsbedingungen. Aus diesem Sachverhalt folgt einerseits, daß in manchen Abschnitten der vorliegenden Norm von den bisherigen Bau Normen abweichende neue Wege gegangen werden müssen, weil auch dann nicht darauf verzichtet werden kann, etwas auszusagen über Beanspruchungen, die für die Bauwerksicherheit möglicherweise ausschlaggebend sind, wenn diese Aussagen nicht die gewohnte Genauigkeit aufweisen. Andererseits erfordert dieser unzureichende Stand der exakten Kenntnisse ein hohes Ausmaß an Vorsicht und Verantwortungsbewußtsein von allen am Entwurf, an der Berechnung und an der Ausführung von Stahlschornsteinen Beteiligten.

Die Norm lehnt sich des öfteren an DIN 4131 „Antennentragwerke aus Stahl“ an. Auch beim Vergleich mit DIN 1056 „Frei stehende Schornsteine in Massivbauart“ ergeben sich manche Gemeinsamkeiten, aber auch einige erhebliche Unterschiede, die sich auf zwei wesentliche Gründe zurückführen lassen:

1. Stahlschornsteine sind vergleichsweise unempfindlich gegen statische Zugspannungen;
2. das Verhältnis der von den Bauwerkslasten herührenden Beanspruchungen zu den von den äußeren Lasten verursachten ist bei Stahlschornsteinen grundsätzlich anders als bei massiven Bauwerken in der Weise, daß bei Stahlschornsteinen der Eigenlasteinfluß in der Regel fast ganz zurücktritt gegenüber dem Einfluß der äußeren Lasten, insbesondere der Windlast.

Die vorliegende Norm enthält nur Berechnungsgrundsätze für Stahltragwerke. Diese Berechnungsgrundsätze lassen sich jedoch auch auf Tragwerke aus anderen Werkstoffen mit ähnlichen Eigenschaften, insbesondere solche aus Leichtmetallen, übertragen.

Zu 2. Bauwerksklassen

Die Einteilung in zwei Bauwerksklassen bezweckt, daß die im Zusammenhang mit dem Bau eines Stahlschornsteines zu erbringende Ingenieurleistung in einem sinnvollen Verhältnis zum Gesamtbauwerk steht, ohne daß das öffentliche Interesse an einer hinreichenden Bauwerksicherheit beeinträchtigt wird.

Zu 4.2.5. Windlast

Aus den eingangs genannten Gründen wurden die Windlastannahmen größtenteils aus DIN 4131 „Antennentragwerke aus Stahl“ übernommen. Zum Zeitpunkt der Abfassung der vorliegenden Norm wird DIN 1055 Blatt 4 „Lastannahmen im Hochbau; Verkehrslasten — Windlast“ überarbeitet. Vermutlich werden hierbei auch die Windlastannahmen für die Bauwerke der vorliegenden Norm neu festgelegt. Gegebenenfalls sind deshalb nach der Verabschiedung der neugefaßten DIN 1055 Blatt 4 die dortigen Windlastannahmen maßgeblich.

Zu 4.2.5.2. Staudruck

Der Staudruck (Geschwindigkeitsdruck) q ist die Differenz zwischen dem Totaldruck (Gesamtdruck) p_t und dem statischen Druck p_s der ungestörten Anströmung.

Zu 4.3.2.2. Beulsicherheitsnachweis

Nach den gegenwärtig vorliegenden Theorien hängt die Beullast eines zylindrischen Rohres in starkem Maße ab von der Größe und der Form der Vorbeulen, also von den fertigungstechnisch bedingten Abweichungen des wirklichen Rohrquerschnitts von der Kreisform.

Da die Fertigungsgenauigkeiten bei der Herstellung von dünnwandigen Rohren großer Durchmesser, insbesondere bei der oft unumgänglichen Baustellenfertigung, wesentlich stärker streuen können als bei Stäben oder ebenen Blechen, schien es hier nicht angebracht, diese Ungenauigkeiten einheitlich festzulegen und zu berücksichtigen.

Statt dessen bleibt es in der vorliegenden Norm weitgehend freigestellt, die Bemessung eines Bauwerks den fertigungstechnischen Möglichkeiten anzupassen.

Von dem angegebenen Verfahren ist mit hinreichender Gewißheit nur bekannt, daß es für Vorbeulamplituden, die kleiner sind als die Blechdicke, auf der sicheren Seite liegt. Da es fertigungstechnisch aber nahezu unmöglich ist, dünnwandige Rohre großen Durchmessers mit einer derartigen Genauigkeit herzustellen, schien es unerlässlich, auch größere Vorbeulamplituden zu berücksichtigen. Auf Grund von Versuchsergebnissen und theoretischen Untersuchungen sowie nach einem Vergleich mit anderweitigen Regelungen kann vermutet werden, daß das angegebene Verfahren auch bei größeren Vorbeulen auf der sicheren Seite liegt.

Weitere Untersuchungen haben ergeben, daß die Tragfähigkeit langer zylindrischer Rohre wesentlich beeinflusst wird von der Erhaltung der Querschnittsform unter zunehmender Belastung. Daher kommt einer entsprechenden Aussteifung besondere Bedeutung zu. Das Anbringen von Steifen bringt jedoch unter Umständen erhebliche Nachteile in korrosionstechnischer Hinsicht. Es kann daher nicht uneingeschränkt empfohlen werden.

Zu 4.3.3.3. Querschwingungen

Von den zahlreichen möglichen Schwingungserscheinungen nach Abschnitt 4.3.3.1 werden am häufigsten die Querschwingungen beobachtet. Einerseits können die von diesen Schwingungen hervorgerufenen Spannungen und Verformungen sehr große Werte erreichen und durchaus die Standsicherheit eines Bauwerks in Frage stellen. Andererseits werden sie nur bei verhältnismäßig wenigen Bauwerken tatsächlich festgestellt, obwohl weit häufiger ihr Auftreten hätte erwartet werden müssen. Die Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, damit es wirklich zu größeren Schwingungen dieser Art kommt, sind zum Zeitpunkt der Abfassung der vorliegenden Norm noch nicht hinreichend geklärt.

Aus diesen Gründen ist es nach Abschnitt 4.3.3.4 freigestellt, entweder die Querschwingungen voll zu berücksichtigen oder aber — wenn sich hierdurch in Verbindung mit der Dauerfestigkeitsuntersuchung gegenüber der rein statischen Bemessung unangemessen erscheinende Verhältnisse ergeben — nur einen entsprechenden Anteil der Querschwingungen in Ansatz zu bringen und Abhilfemaßnahmen für den Fall vorzubereiten, daß größere Schwingungen auftreten.

Querschwingungen erfolgen stets im Takt der Bauwerkeigenfrequenzen. Die stärksten Schwingungen treten dann auf, wenn die Windgeschwindigkeit der durch die Frequenz der Wirbelablösungen bestimmten kritischen Windgeschwindigkeit entspricht, doch wurden auch schon bei höheren Windgeschwindigkeiten Querschwingungen geringerer Amplitude im Takt der Bauwerkseigenfrequenz beobachtet. Die kri-

tische Windgeschwindigkeit liegt in der Regel erheblich niedriger als die den statischen Windlastannahmen zugeordnete Windgeschwindigkeit.

Der Wirkungsmechanismus der Querschwingungen ist im einzelnen noch ungeklärt. Die vorhandenen technischen Erfahrungen sind auch nicht zahlreich genug, um daraus ein zuverlässiges, empirisch begründetes Berechnungsverfahren herzuleiten.

Dem in Abschnitt 4.3.3.2 vorgeschlagenen deterministisch aufgebauten Verfahren für die Abschätzung der Querschwingungen liegt das Modell der erzwungenen Schwingungen mit einer einheitlichen Erregerfrequenz zugrunde; der Beiwert c_s wurde hierbei entsprechend den wenigen vorliegenden Beobachtungen an ausgeführten schwingenden Schornsteinen so eingesetzt, daß sich weitgehend sicher liegende Aussagen über die zu erwartenden Querschwingungen ergeben. Da aber — zumindest im Bereich höherer Reynoldszahlen ($Re = 4 \cdot 10^5$) — die Erregerfrequenzen vermutlich statistisch verteilt sind, wird dort ein stochastisches Berechnungsverfahren den wirklichen Verhältnissen wahrscheinlich besser gerecht. Auch ist es nicht auszuschließen, daß das Modell der selbsterregten Schwingungen die tatsächlichen Vorgänge zutreffender darstellt.

Zu 4.3.3.3. Abschätzung der Dauerfestigkeit

Die Dauerschwingfestigkeit großtechnischer Bauteile bei sehr großen Lastspielzahlen ist ebenfalls zum Zeitpunkt der Abfassung der vorliegenden Norm nicht so weit geklärt, daß hinreichend exakte Aussagen gemacht werden können. Dies gilt in besonderem Maße für technische Bauteile mit Kreisringquerschnitt wegen der mit ihrer Herstellung in der Regel verbundenen hohen Zwängungsspannungen an geschweißten Rundnähten. Auch die beim Zusammenbau von Rohrschüssen noch häufig angewendeten Anpaßverfahren wirken sich im allgemeinen recht nachteilig auf die Dauerschwingfestigkeit derartiger Bauteile aus, da sie oftmals zu feinsten Anrissen im Material führen und damit Ausgangspunkte für Dauerbrüche bilden.

Deshalb können die angegebenen Dauerfestigkeiten nur als Richtwerte für großtechnische Bauteile mit Kreisringquerschnitt angesehen werden.

Zu 4.3.3.4 Gegenmaßnahmen

Zu a) Durchgehende Schraubenwendeln oder einzelne, längs gedachter Schraubenlinien angeordnete Elemente sollten eine wirksame Höhe von wenigstens einem Zehntel des Zylinderdurchmessers besitzen. Sie sind wenigstens längs dreier um den Zylinder herumlaufender Schraubengänge anzuordnen, deren Ganghöhe etwa das Fünffache des Zylinderdurchmessers betragen soll.

Bei Einzelelementen wird für deren Länge — gemessen in Zylinderlängsrichtung — ebenfalls etwa ein Zehntel des Zylinderdurchmessers empfohlen. Der Abstand der Einzelelemente über den Zylinderumfang sollte so gewählt werden, daß in der Ansichtsprojektion die Lücke zwischen den Einzelblechen etwa gleich der Länge der Einzelbleche ist.

Zu b) Durchgehende lotrechte Störstreifen sollten ebenfalls eine wirksame Höhe von wenigstens einem Zehntel des Zylinderdurchmessers besitzen. Über den Zylinderumfang sollten wenigstens sechs derartige Störstreifen verteilt sein.

Außensteigleitern wirken wie eine entsprechende Anzahl von Störstreifen.

Zu c) Horizontale Stör-Ringe oder -Wülste müssen eine ausreichende Steifigkeit in Zylinderlängsrichtung besitzen.

Durch die Anwendung der aerodynamischen Maßnahmen kann im Reynoldszahlenbereich $Re < 3 \cdot 10^5$ der Beiwert c_s in den mit Störkörpern versehenen Bauwerksabschnitten auf etwa ein Zehntel des Wertes ohne Störkörper absinken, im Bereich $Re > 4 \cdot 10^5$ auf etwa die Hälfte.

Mit Rücksicht darauf, daß durch die Störkörper nach a) und b) der statische Luftwiderstandsbeiwert ganz erheblich ansteigt, während ihre Wirksamkeit nicht in jedem Falle sichergestellt ist, sollten diese Einrichtungen nur dann angewendet werden, wenn tatsächlich unerwünscht oder unzulässig große Querschwingungen aufgetreten sind.

Zu d) Als Schwingungstilger werden aus einer Masse und einem Federglied zusammengesetzte Bauteile bezeichnet. Sie bewirken bei schwingungstechnisch richtiger Auslegung, daß die Resonanzstelle aufgespalten wird und dort keine Schwingungen mehr auftreten. Hierdurch sind jedoch Schwingungen bei anderen Windgeschwindigkeiten nicht ausgeschlossen. Da zudem die richtige Auslegung eines Schwingungstilgers ohnehin schwierig ist und Berechnung und Ausführung oft nur mangelhaft miteinander übereinstimmen, wird eine einstellbare Konstruktion oder eine zusätzliche Dämpfung entsprechend e) empfohlen.

Zu e) Schwingungsdämpfer verringern durch ihre zusätzliche Dämpfung die Schwingungsausschläge, insbesondere in der Resonanz.

Zu f) Störabspannungen stellen in der Regel eine sehr wirksame kombinierte Maßnahme dar, deren Wirkungsweise quantitativ jedoch noch nicht durchschaut wird.

Zu 5.1.1. Werkstoffe

Die für die Verzinkung erforderliche Zinkmenge und die Güte einer Verzinkung hängen stark vom Kohlenstoff- und Siliziumgehalt des zu verzinkenden Stahles ab. Deshalb empfiehlt es sich, den Stahlhersteller über die beabsichtigte Verzinkung und die Verzinkerei über das verwendete Material zu unterrichten.

Zu 5.7.1. Bauwerksflächen, die mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommen

Die Stärke des Korrosionsangriffs auf den mit den abzuführenden Stoffen in Berührung kommenden Bauwerksflächen unter technischen Verhältnissen ist zum Zeitpunkt der Abfassung der vorliegenden Norm quantitativ nur unzulänglich geklärt. Offenbar tritt die stärkste Korrosion bei Taupunktunterschreitungen von etwa 30 K unterhalb des Taupunkts der abzuführenden Stoffe und unterhalb des Wassertaupunkts auf, so daß die Betriebsverhältnisse einen wesentlichen Einfluß auf den Korrosionsablauf haben. Da die betriebliche Beanspruchung eines Schornsteins bei seinem Entwurf in den seltensten Fällen für seine gesamte planmäßige Lebensdauer übersehen werden kann, ließe sich auch eine genauere Kenntnis des Korrosionsvorgangs nur in Ausnahmefällen unmittelbar für die Praxis nutzen. Dies gilt insbesondere für den in Abschnitt 5.7.1.5 angesprochenen Korrosionszuschlag.

Die dort angegebenen Werte für den Materialabtrag basieren auf praktischen Erfahrungen; sie können also durchaus von laboratoriumsmäßig ermittelten Werten abweichen. Wesentlich wichtiger als eine genaue Berechnung des Korrosionszuschlags ist eine sorgfältige Überwachung der Korrosionserscheinungen am Bauwerk und die rechtzeitige Einleitung von Schutzmaßnahmen und Ausbesserungen bei unerwarteter starker Korrosion.

Einzelpreis dieser Nummer 4,20 DM

Einzellieferungen nur durch den August Bagel Verlag, Grafenberger Allee 100, 4000 Düsseldorf, Tel. 6888293/94, gegen Voreinsendung des vorgenannten Betrages zuzügl. 0,50 DM Versandkosten auf das Postscheckkonto Köln 8516-507. (Der Verlag bittet, keine Postwertzeichen einzusenden.) Es wird dringend empfohlen, Nachbestellungen des Ministerialblattes für das Land Nordrhein-Westfalen möglichst innerhalb eines Vierteljahres nach Erscheinen der jeweiligen Nummer bei dem August Bagel Verlag, Grafenberger Allee 100, 4000 Düsseldorf, vorzunehmen, um späteren Lieferschwierigkeiten vorzubeugen. Wenn nicht innerhalb von vier Wochen eine Lieferung erfolgt, gilt die Nummer als vergriffen. Eine besondere Benachrichtigung ergeht nicht.

Herausgegeben von der Landesregierung Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Elisabethstraße 5. Verlag und Vertrieb: August Bagel Verlag, Düsseldorf; Druck: A. Bagel, Graphischer Großbetrieb, Düsseldorf. Bezug der Ausgabe A (zweiseitiger Druck) und B (einseitiger Druck) durch die Post. Ministerialblätter, in denen nur ein Sachgebiet behandelt wird, werden auch in der Ausgabe B zweiseitig bedruckt geliefert. Bezugspreis vierteljährlich Ausgabe A 25,80 DM, Ausgabe B 27,- DM.
Die genannten Preise enthalten 5,5% Mehrwertsteuer.