

**DIN EN 1991-1-4****DIN**

ICS 91.010.30

Ersatzvermerk  
siehe unten

**Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke –  
Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen –  
Windlasten;  
Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010**

Eurocode 1: Actions on structures –  
Part 1-4: General actions –  
Wind actions;  
German version EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010

Eurocode 1: Actions sur les structures –  
Partie 1-4: Actions générales –  
Actions du vent;  
Version allemande EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010

**Ersatzvermerk**

Ersatz für DIN EN 1991-1-4:2005-07;  
mit DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 Ersatz für DIN 1055-4:2005-03 und DIN 1055-4 Berichtigung 1:2006-03;  
Ersatz für DIN EN 1991-1-4 Berichtigung 1:2010-01

Gesamtumfang 153 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

**DIN EN 1991-1-4:2010-12****Nationales Vorwort**

Dieses Dokument beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ (Sekretariat BSI, Vereinigtes Königreich) ausgearbeiteten EN 1991-1-4:2005, die durch die Änderung A1:2010 modifiziert wurde.

Die Arbeiten wurden auf nationaler Ebene vom Arbeitsausschuss NA 005-51-02 AA „Einwirkungen auf Bauten (Sp CEN/TC 250/SC 1)“ im Normenausschuss Bauwesen (NABau) begleitet.

Dieses Dokument enthält die Europäische Änderung EN 1991-1-4:2005/A1:2010, die vom CEN am 18. Februar 2010 angenommen wurde. Dieses Dokument enthält weiterhin die Europäische Berichtigung EN 1991-1-4:2005/AC:2010, welche vom CEN am 2010-01 angenommen wurde.

Die Anwendung dieser Norm gilt in Deutschland in Verbindung mit dem Nationalen Anhang.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anfang und Ende der durch die Änderung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch die Textmarkierungen **A1** **A1**, der durch die Berichtigung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch die Textmarkierungen **AC** **AC** angegeben.

**Änderungen**

Gegenüber DIN V ENV 1991-2-4:1996-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Vornormstatus wurde aufgehoben;
- b) die Norm wurde umnummeriert in DIN EN 1991-1-4;
- c) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet und der Text vollständig überarbeitet.

Gegenüber DIN EN 1991-1-4:2005-07, DIN EN 1991-1-4 Berichtigung 1:2010-01, DIN 1055-4:2005-03 und DIN 1055-4 Berichtigung 1:2006-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) auf europäisches Bemessungskonzept umgestellt;
- b) Ersatzvermerke korrigiert;
- c) Vorgänger-Norm mit der Änderung 1 und der Berichtigung 1 konsolidiert;
- d) redaktionelle Änderungen durchgeführt;
- e) zusätzliche Abschnitte in die Liste der nationalen Wahlmöglichkeiten aufgenommen;
- f) Unterabschnitte 7.2.3(2), 7.2.3(4), 7.2.4(1), 7.2.4(3), 7.2.5(1), 7.2.5(3), 7.2.6(1), 7.2.6(3), 7.2.7(4) und 7.9.2(2) durch neue Unterabschnitte ersetzt;
- g) Unterabschnitt 7.2.3(5) entfällt;

- h) in Tabellen 7.2, 7.3a, 7.3b, 7.4a, 7.4b und 7.5 die Titel ergänzt und die Tabellen in Anmerkungen verschoben;
- i) in Tabelle 7.14 die 1. Spalte, 2. Zeile geändert;
- j) nationale Festlegungen aus DIN 1055-4 übernommen.

**Frühere Ausgaben**

DIN 1055-4: 1938xxx-06, 1977-05, 1986-08, 2005-03  
DIN 1055-4/A1: 1987-06  
DIN 1055-4 Berichtigung 1: 2006-03  
Beiblatt zu DIN 1055-4: 1939-06, 1941-02  
DIN EN 1991-1-4: 2005-07  
DIN EN 1991-1-4 Berichtigung 1: 2010-01  
DIN V ENV 1991-2-4: 1996-12

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**

— Leerseite —

EUROPÄISCHE NORM  
 EUROPEAN STANDARD  
 NORME EUROPÉENNE

**EN 1991-1-4**

April 2005

**+ A1**

April 2010

**+ AC**

Januar 2010

ICS 91.010.30

Ersatz für ENV 1991-2-4:1995

Deutsche Fassung

**Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke —  
 Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen —  
 Windlasten**

Eurocode 1: Actions on structures —  
 Part 1-4: General actions —  
 Wind actions

Eurocode 1: Actions sur les structures —  
 Partie 1-4: Actions générales —  
 Actions du vent

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 4. Juni 2004 angenommen.

Die Änderung A1 wurde vom CEN am 18. Februar 2010, die Berichtigung AC am 27. Januar 2010 angenommen.

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

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

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



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

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

© 2010 CEN Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den nationalen Mitgliedern von CEN vorbehalten.

Ref. Nr. EN 1991-1-4:2005  
 + A1:2010 + AC:2010 D

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

## Inhalt

Seite

Vorwort .....	5
Vorwort zur Änderung A1 .....	5
1 Allgemeines .....	11
1.1 Anwendungsbereich .....	11
1.2 Normative Verweisungen .....	12
1.3 Annahmen .....	12
1.4 Unterscheidung zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln .....	12
1.5 Belastungsansätze basierend auf Versuchen und Messungen .....	12
1.6 Begriffe .....	12
1.7 Symbole und Abkürzungen .....	13
2 Bemessungssituationen .....	17
3 Erfassung der Windeinwirkungen .....	18
3.1 Allgemeines .....	18
3.2 Erfassung von Windeinwirkungen .....	18
3.3 Klassifizierung der Windeinwirkungen .....	18
3.4 Charakteristische Werte .....	18
3.5 Modelle .....	18
4 Windgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsdruck .....	19
4.1 Berechnungsgrundlagen .....	19
4.2 Basiswindgeschwindigkeit .....	19
4.3 Mittlerer Wind .....	20
4.3.1 Höhenabhängigkeit .....	20
4.3.2 Geländerauhigkeit .....	20
4.3.3 Topographie .....	22
4.3.4 Einfluss höherer Nachbargebäude .....	22
4.3.5 Nahe Gebäude oder Hindernisse mit geringen Abständen .....	23
4.4 Windturbulenz .....	23
4.5 Böengeschwindigkeitsdruck (Spitzengeschwindigkeitsdruck) .....	24
5 Windeinwirkungen .....	26
5.1 Allgemeines .....	26
5.2 Winddruck auf Oberflächen .....	27
5.3 Windkräfte .....	28
6 Strukturbeiwert $c_{scd}$ .....	29
6.1 Allgemeines .....	29
6.2 Ermittlung von $c_{scd}$ .....	29
6.3 Ausführliches Verfahren .....	30
6.3.1 Strukturbeiwert $c_{scd}$ .....	30
6.3.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise .....	31
6.3.3 Interferenzfaktor für hohe Bauwerke .....	31
7 Aerodynamische Beiwerte .....	32
7.1 Allgemeines .....	32
7.1.1 Bestimmung der aerodynamischen Beiwerte .....	32
7.1.2 Exzentrisch und günstig wirkende Drücke und Kräfte .....	33
7.1.3 Auswirkungen von Eis und Schnee .....	33
7.2 Druckbeiwerte für Gebäude .....	34
7.2.1 Allgemeines .....	34
7.2.2 Vertikale Wände von Gebäuden mit rechteckigem Grundriss .....	35
7.2.3 Flachdächer .....	38
7.2.4 Pultdächer .....	41
7.2.5 Sattel- und Trogdächer .....	44

7.2.6	Walmdächer .....	47
7.2.7	Sheddächer .....	49
7.2.8	Gekrümmte Dächer und Kuppeln .....	51
7.2.9	Innendruck .....	52
7.2.10	Druck auf mehrschalige Wand- und Dachflächen .....	54
7.3	Freistehende Dächer .....	56
7.4	Freistehende Wände, Brüstungen, Zäune und Anzeigetafeln .....	63
7.4.1	Freistehende Wände und Brüstungen .....	63
7.4.2	Abschattungsfaktoren für Wände und Zäune .....	64
7.4.3	Kraftbeiwerte für Anzeigetafeln .....	66
7.5	Reibungsbeiwerte .....	66
7.6	Kraftbeiwerte für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt .....	68
7.7	Kraftbeiwerte für Bauteile mit kantigem Querschnitt .....	69
7.8	Kraftbeiwerte für Bauteile mit regelmäßigem polygonalem Querschnitt .....	70
7.9	Kreiszyylinder .....	72
7.9.1	Außendruckbeiwerte .....	72
7.9.2	Kraftbeiwerte .....	74
7.9.3	Kraftbeiwerte für vertikale Zylinder in Reihenanordnung .....	76
7.10	Kraftbeiwerte für Kugeln .....	77
7.11	Kraftbeiwerte für Fachwerke, Gitter und Gerüste .....	79
7.12	Flaggen .....	81
7.13	Effektive Schlankheit $\lambda$ und Abminderungsfaktor $\psi_\lambda$ zur Berücksichtigung der Schlankheit .....	83
8	Windeinwirkungen auf Brücken .....	85
8.1	Allgemeines .....	85
8.2	Berechnungsmethode für die Systemantwort .....	88
8.3	Kraftbeiwerte .....	88
8.3.1	Kraftbeiwerte in x-Richtung (allgemeine Methode) .....	88
8.3.2	Kräfte in x-Richtung — Vereinfachtes Verfahren .....	91
8.3.3	Windkräfte auf Brückenüberbauten in z-Richtung .....	92
8.3.4	Windkräfte auf Brückenüberbauten in y-Richtung .....	94
8.4	Brückenpfeiler .....	94
8.4.1	Windrichtungen und Bemessungssituationen .....	94
8.4.2	Windeinwirkungen auf Brückenpfeiler .....	94
Anhang A (informativ)	Einfluss von Geländerauhigkeit und Topographie .....	95
A.1	Darstellung der größten Rauigkeiten der unterschiedlichen Geländekategorien .....	95
A.2	Übergänge zwischen den Rauigkeitskategorien 0, I, II, III und IV .....	96
A.3	Numerische Berechnung der Topographiebeiwerte .....	98
A.4	Einfluss eines höheren Nachbargebäudes .....	103
A.5	Versatzhöhe .....	104
Anhang B (informativ)	Berechnungsverfahren 1 zur Bestimmung des Strukturbeiwertes $c_s c_d$ .....	105
B.1	Windturbulenz .....	105
B.2	Strukturbeiwert $c_s c_d$ .....	106
B.3	Anzahl der Überschreitungen von niedrigen Niveaus der Böenreaktion .....	108
B.4	Verformungen und Beschleunigungen zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit vertikaler Bauwerke .....	109
Anhang C (informativ)	Berechnungsverfahren 2 zur Bestimmung des Strukturbeiwertes $c_s c_d$ .....	111
C.1	Windturbulenz .....	111
C.2	Strukturbeiwert $c_s c_d$ .....	111
C.3	Anzahl der Überschreitungen verschiedener Niveaus der Böenreaktion .....	112
C.4	Verformungen und Beschleunigungen zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit vertikaler Bauwerke .....	112
Anhang D (informativ)	$c_s c_d$ -Werte für unterschiedliche Gebäudetypen .....	114
Anhang E (informativ)	Wirbelerregte Querschwingungen und aeroelastische Instabilitäten .....	117

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

	Seite
<b>E.1 Wirbelerregte Querschwingungen .....</b>	<b>117</b>
<b>E.1.1 Allgemeines .....</b>	<b>117</b>
<b>E.1.2 Kriterien für wirbelerregte Querschwingungen .....</b>	<b>117</b>
<b>E.1.3 Grundlegende Parameter für wirbelerregte Schwingungen .....</b>	<b>118</b>
<b>E.1.4 Beanspruchung durch wirbelerregte Schwingungen .....</b>	<b>121</b>
<b>E.1.5 Berechnung der Querschwingungsamplitude .....</b>	<b>121</b>
<b>E.1.6 Maßnahmen gegen wirbelerregte Querschwingungen .....</b>	<b>131</b>
<b>E.2 Galloping .....</b>	<b>132</b>
<b>E.2.1 Allgemeines .....</b>	<b>132</b>
<b>E.2.2 Einsetzgeschwindigkeit .....</b>	<b>132</b>
<b>E.2.3 Klassisches Galloping gekoppelter Zylinder .....</b>	<b>134</b>
<b>E.3 Interferenzgalloping von zwei oder mehr freistehenden Zylindern .....</b>	<b>136</b>
<b>E.4 Divergenz und Flattern .....</b>	<b>137</b>
<b>E.4.1 Allgemeines .....</b>	<b>137</b>
<b>E.4.2 Bedingungen für plattenförmige Tragwerke .....</b>	<b>137</b>
<b>E.4.3 Divergenzgeschwindigkeit .....</b>	<b>137</b>
<b>Anhang F (informativ) Dynamische Eigenschaften von Bauwerken .....</b>	<b>139</b>
<b>F.1 Allgemeines .....</b>	<b>139</b>
<b>F.2 Die Grundeigenfrequenz .....</b>	<b>139</b>
<b>F.3 Die Grundbiegeschwingsform .....</b>	<b>144</b>
<b>F.4 Äquivalente Masse .....</b>	<b>146</b>
<b>F.5 Das logarithmische Dämpfungsdekrement .....</b>	<b>146</b>
<b>Literaturhinweise .....</b>	<b>149</b>

## Vorwort

Dieses Dokument (EN 1991-1-4:2005) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt die ENV 1991-2-4:1995

CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau verantwortlich.

## Vorwort zur Änderung A1

**A1** Dieses Dokument (EN 1991-1-4:2005/A1:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Änderung zur Europäischen Norm EN 1991-1-4:2005 muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2011, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2010 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern. **A1**

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

### **Hintergrund des Eurocode Programms**

Im Jahre 1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Programm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Das Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Normen.

Im Rahmen dieses Programms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und diese schließlich ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Steuerungskomitees mit Repräsentanten der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das zu der ersten Eurocode-Generation in den 80'er Jahren führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung<sup>1)</sup> zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Ratsrichtlinien und Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Ratsrichtlinie 89/106/EEC zu Bauprodukten, die Bauproduktenrichtlinie, die Ratsrichtlinien 93/37/EEC, 92/50/EEC und 89/440/EEC zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeleitet wurden).

---

1) Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der Eurocodes für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken (BC/CEN/03/89).

Das Eurocode-Programm umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

EN 1990	<i>Eurocode:</i>	<i>Grundlagen der Tragwerksplanung</i>
EN 1991	<i>Eurocode 1:</i>	<i>Einwirkung auf Tragwerke</i>
EN 1992	<i>Eurocode 2:</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbetonbauten</i>
EN 1993	<i>Eurocode 3:</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten</i>
EN 1994	<i>Eurocode 4:</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahl-Beton-Verbundbauten</i>
EN 1995	<i>Eurocode 5:</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten</i>
EN 1996	<i>Eurocode 6:</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Mauerwerksbauten</i>
EN 1997	<i>Eurocode 7:</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik</i>
EN 1998	<i>Eurocode 8:</i>	<i>Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben</i>
EN 1999	<i>Eurocode 9:</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen</i>

Die Europäischen Normen berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.

### **Status und Gültigkeit der Eurocodes**

Die Mitgliedsländer der EU und von EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie 89/106/EEC, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr. 1: Mechanischer Widerstand und Stabilität und der wesentlichen Anforderung Nr. 2: Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Herstellung harmonisierter, technischer Spezifikationen für Bauprodukte (EN's und ETA's)

Die Eurocodes, haben, soweit sie sich auf Bauwerke beziehen, eine direkte Beziehung zu den Grundlagendokumenten<sup>2)</sup>, auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, obwohl sie anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen<sup>3)</sup>. Daher sind die technischen Gesichtspunkte, die sich aus den

2) Entsprechend Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Angaben in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und Richtlinien für Europäische Zulassungen selbst zu schaffen.

3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hat das Grundlagendokument

- a) die wesentliche Anforderung zu konkretisieren, in dem die Begriffe und soweit erforderlich die technische Grundlagen für Klassen und Anforderungshöhen vereinheitlicht werden,
- b) Methode zur Verbindung dieser Klasse oder Anforderungshöhen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. rechnerische oder Testverfahren, Entwurfsregeln,
- c) als Bezugsdokument für die Erstellung harmonisierter Normen oder Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen zu dienen.

Die Eurocodes spielen de facto eine ähnliche Rolle für die wesentliche Anforderung Nr. 1 und einen Teil der wesentlichen Anforderung Nr. 2.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees von CEN und den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Produktnormen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und Bemessung von kompletten Tragwerken und Baukomponenten, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen, wofür Spezialistenbeiträge erforderlich sein können.

**Nationale Fassungen der Eurocodes**

Die Nationale Fassung eines Eurocodes enthält den vollständigen Text des Eurocodes (einschließlich aller Anhänge), so wie von CEN veröffentlicht, mit möglicherweise einer nationalen Titelseite und einem nationalen Vorwort sowie einem Nationalen Anhang.

Der Nationale Anhang darf nur Hinweise zu den Parametern geben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offengelassen wurden. Diese national festzulegenden Parameter (NDP) gelten für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten in dem Land, indem sie erstellt werden. Sie umfassen:

- Zahlenwerte und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen,
- Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben,
- Landesspezifische Daten (geographische-, klimatische Daten usw.) z.B. Windkarten;
- die zu benutzende Vorgehensweise, wenn der Eurocode mehrere Vorgehensweisen anbietet.

Des weiteren dürfen enthalten sein:

- Entscheidungen über die Anwendung der informativen Anhänge, und
- Verweise zu ergänzenden, nicht widersprechenden Informationen, die dem Nutzer bei der Anwendung des Eurocodes helfen.

**Beziehung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)**

Es besteht die Notwendigkeit, dass die harmonisierten technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung<sup>4)</sup> konsistent sind. Weiterhin soll die Kennzeichnung an den Bauprodukten mit CE-Zeichen, die sich auf die Eurocodes beziehen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zugrunde liegen.

**Zusätzliche Informationen besonders für EN 1991-1-4**

EN 1991-1-4 gibt Hinweise zur Bemessung und zur Belastung von Gebäuden und ingenieurtechnischen Bauwerken

EN 1991-1-4 ist an Bauherren, Konstrukteure, Bauunternehmer und beteiligte Behörden gerichtet.

---

<sup>4)</sup> Siehe Artikel 3.3 und Art. 12 der Bauproduktenrichtlinie, sowie die Abschnitte 4.2, 4.3.1, 4.3.2, und 5.2 des Grundlagendokumentes Nr. 1.

EN 1991-1-4 ist für die Anwendung mit der EN 1990, den anderen Teilen der EN 1991 und EN 1992-1999 für die Bauwerksbemessung vorgesehen.

### Nationaler Anhang von EN 1991-1-4

Diese Norm beinhaltet alternative Verfahren, Werte und Empfehlungen für Abschnitte mit dem Hinweis auf nationale Wahlmöglichkeiten. Aus diesem Grund ist der nationalen Norm, die den Eurocode EN 1991-1-4 einführt, ein Nationaler Anhang anzufügen, in dem angegeben wird, welche Verfahren und Werte für die Bemessung von Gebäuden und ingenieurtechnischen Bauwerken national anzusetzen sind.

Eine nationale Wahlmöglichkeit ist in EN 1991-1-4 für die folgenden Abschnitte gegeben:

**AC** gestrichener Text **AC**

1.5 (2)

4.1 (1)

4.2 (1)P Anmerkung 2

4.2 (2)P Anmerkungen 1, 2, 3 und 5

4.3.1 (1) Anmerkungen 1 und 2

4.3.2 (1)

4.3.2 (2)

4.3.3 (1)

4.3.4 (1)

4.3.5 (1)

4.4 (1) Anmerkung 2

4.5 (1) Anmerkungen 1 und 2

5.3 (5)

6.1 (1)

6.3.1 (1) Anmerkung 3

6.3.2 (1)

7.1.2 (2)

7.1.3 (1)

7.2.1 (1) Anmerkung 2

7.2.2 (1)

7.2.2 (2) Anmerkung 1

**AC** 7.2.3(2) **AC**

**AC** 7.2.3(4) **AC**

**AC** 7.2.4(1) **AC**

**AC** 7.2.4(3) **AC**

**AC** 7.2.4(1) **AC**

**AC** 7.2.5(1) **AC**

**AC** 7.2.5(3) **AC**

**AC** 7.2.6(1) **AC**

**AC** 7.2.6(3) **AC**

**AC** 7.2.7 **AC**

7.2.8 (1)

7.2.9 (2)

7.2.10 (3) Anmerkungen 1 und 2

**AC** 7.3(6) **AC**

7.4.1 (1)

7.4.3 (2)

7.6 (1) Anmerkung 1

7.7 (1) Anmerkung 1

7.8 (1)

**AC** 7.9.2(2) **AC**

7.10 (1) Anmerkung 1

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

7.11 (1) Anmerkung 2

7.13 (1)

7.13 (2)

**A1** Tabelle 7.14 **A1**

8.1 (1) Anmerkungen 1 und 2

8.1 (4)

8.1 (5)

8.2 (1) Anmerkung 1

8.3 (1)

8.3.1 (2)

8.3.2 (1)

8.3.3 (1) Anmerkung 1

8.3.4 (1)

8.4.2 (1) **AC** gestrichener Text **AC**

A.2 (1)

E.1.3.3 (1)

E.1.5.1 (1) Anmerkungen 1 und 2

E.1.5.1 (3)

E.1.5.2.6 (1) Anmerkung 1

E.1.5.3 (2) Anmerkung 1

E.1.5.3 (4)

E.1.5.3 (6)

E.3 (2)

## 1 Allgemeines

### 1.1 Anwendungsbereich

(1) EN 1991-1-4 liefert Regeln zur Bestimmung der Einwirkungen aus natürlichem Wind auf für die Bemessung von Gebäuden und ingenieurtechnischen Anlagen betrachteten Lasteinzugsflächen. Damit werden ganze Tragwerke oder Teile davon oder Bauelemente, die mit dem Tragwerk verbunden sind, erfasst, z. B. Komponenten, Fassadenteile und deren Verankerungen, Anprallschutz- und Lärmschutzwände.

(2) Diese Norm gilt für:

- Gebäude und ingenieurtechnische Bauwerke mit einer Höhe bis 200 m. Siehe auch Absatz (11);
- Brücken mit einer Spannweite bis zu 200 m, vorausgesetzt, sie erfüllen die Abgrenzungskriterien hinsichtlich dynamischer Wirkungen, siehe AC (12) AC und 8.2.

(3) Dieser Teil dient zur Bestimmung der charakteristischen Windlasten auf Bauwerke an Land, deren Bauteile und Anbauten.

(4) Verschiedene Aspekte, die für die Bestimmung von Windeinwirkungen auf ein Bauwerk berücksichtigt werden müssen, hängen von der Örtlichkeit und der Verfügbarkeit und Qualität von meteorologischen Daten, der Geländekategorie usw. ab.

Diese Angaben sind im Nationalen Anhang und im informativen Anhang A, entsprechend den nationalen Wahlmöglichkeiten, die in den Anmerkungen eröffnet sind, enthalten. Die Anmerkungen und informativen Anhänge enthalten Empfehlungen für Zahlenwerte und Methoden.

(5) Der informative Anhang A enthält Darstellungen der Geländekategorien und liefert Regeln zur Berücksichtigung von Topographieeffekten einschließlich der Versatzhöhe, Rauigkeitswechsel, Einfluss der Landschaft und benachbarter Bauwerke.

(6) Die informativen Anhänge B und C liefern alternative Verfahren zur Berechnung des Strukturbeiwertes  $c_s c_d$ .

(7) Der informative Anhang D liefert  $c_s c_d$  Faktoren für verschiedene Bauwerkstypen.

(8) Der informative Anhang E enthält Regeln zur Abschätzung von wirbelerregten Bauwerksantworten und Hinweise zur Berücksichtigung von anderen aeroelastischen Effekten.

(9) Der informative Anhang F enthält Hinweise zum dynamischen Verhalten von Bauwerken mit linearer Charakteristik.

(10) Diese Norm enthält keine Hinweise zur Berücksichtigung von örtlichen thermischen Effekten auf die Windcharakteristik, wie z. B. starke arktische Inversionslagen, Kanalisierungen oder Wirbelstürme.

AC (11) Abgespannte Maste sowie Fachwerkmaste und -türme werden in EN 1993-3-1 und Lichtmaste in EN 40 behandelt.

(12) Diese Norm enthält keine Hinweise zu folgenden Aspekten:

- Torsionsschwingungen, z.B. von hohen Gebäuden mit zentralem Kern
- Schwingungen von Brückenüberbauten infolge Windturbulenz
- Windeinwirkungen auf Schrägseilbrücken und Hängebrücken
- Schwingungen, bei denen die Berücksichtigung der Grundschwingungsform nicht ausreicht. AC

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

## **1.2 Normative Verweisungen**

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991-1-3, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-3: Schneelasten*

EN 1991-1-6, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-6: Einwirkungen während der Bauausführung*

EN 1991-2, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken*

EN 1993-3-1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3-1: Türme und Maste*

## **1.3 Annahmen**

(1)P Es gelten die allgemeinen Annahmen in EN 1990, 1.3.

## **1.4 Unterscheidung zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln**

(1)P Es gelten die Regeln in EN 1990, 1.4.

## **1.5 Belastungsansätze basierend auf Versuchen und Messungen**

(1) In Ergänzung zu dieser Norm können Windkanalversuche und bewährte und/oder anerkannte numerische Verfahren zur Bestimmung von Lasten und Systemreaktionen angewandt werden, wenn die Struktur und der natürliche Wind zutreffend modelliert werden.

(2) Lasten, Systemantworten und Geländeparameter können auch durch Originalmessungen ermittelt werden.

ANMERKUNG Zu weiteren Informationen zu Windkanalversuchen und Messungen siehe Nationaler Anhang

## **1.6 Begriffe**

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die Begriffe nach ISO 2394, ISO 3898 und ISO 8930 und die folgenden Begriffe. Auch die Liste der Begriffe in EN 1990, 1.5 gilt für diese Norm.

### **1.6.1**

#### **Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit**

die mittlere 10-minütige Windgeschwindigkeit mit einer jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit von 2 % unabhängig von der Windrichtung, bezogen auf eine Höhe von 10 m über flachem offenem Gelände unter Berücksichtigung der Meereshöhe (falls erforderlich)

### **1.6.2**

#### **Basiswindgeschwindigkeit**

der modifizierte Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit zur Berücksichtigung der Richtung des betrachteten Windes und der Jahreszeit (falls erforderlich)

### **1.6.3**

#### **Mittlere Windgeschwindigkeit**

die Basiswindgeschwindigkeit modifiziert zur Berücksichtigung von Geländerauhigkeit und Topographie

**1.6.4****Druckbeiwert**

Außendruckbeiwerte geben die Windeinwirkung auf Außenflächen von Bauwerken wieder, Innendruckbeiwerte geben die Windeinwirkung auf Innenflächen in Bauwerken wieder.

Die Außendruckbeiwerte werden aufgeteilt in globale Beiwerte und lokale Beiwerte. Die lokalen Beiwerte liefern die Druckbeiwerte für belastete Flächen mit einer Größe von  $1 \text{ m}^2$  oder weniger, z. B. für die Bemessung von kleinen Bauteilen oder Befestigungen; die globalen Beiwerte liefern die Druckbeiwerte für belastete Flächen mit einer Größe von mehr als  $10 \text{ m}^2$ .

Nettodruckbeiwerte liefern die resultierende Windeinwirkung auf Bauwerke, Bauteile oder Komponenten je Flächeneinheit.

**1.6.5****Kraftbeiwert**

Kraftbeiwerte geben die Gesamteinwirkung infolge Wind auf Bauwerke, Bauteile oder Komponenten wieder. Sie enthalten auch Reibungseffekte, außer wenn diese besonders ausgeschlossen werden.

**1.6.6****Beiwert für den Böengrundanteil**

der Beiwert für den Böengrundanteil erfasst die Reduktion des effektiven Oberflächendrucks durch die räumliche Mittelung (abnehmende Korrelation)

**1.6.7****Beiwert für den Resonanzanteil**

der Beiwert für den Resonanzanteil erfasst die dynamische Resonanzüberhöhung einer Schwingungsform bei Erregung durch Turbulenz

**1.7 Symbole und Abkürzungen**

(1) Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Symbole.

ANMERKUNG Die verwendete Bezeichnungsweise basiert auf ISO 3898:1999. In diesem Teil symbolisiert der Punkt das Multiplikationszeichen. Diese Schreibweise wurde verwendet, um Verwechslungen mit Funktionstermen vorzubeugen.

(2) Eine allgemeine Übersicht der Bezeichnungsweise ist in EN 1990, 1.6 angegeben. Die weiteren, unten aufgeführten Bezeichnungen gelten nur für EN 1991-1-4.

**lateinische Großbuchstaben**

$A$	Fläche
$A_{fr}$	Summe der vom Wind überströmten Flächen (benetzte Fläche)
$A_{ref}$	Bezugsfläche
$B^2$	Böengrundanteil
$C$	Windlastbeiwert für Brücken
$E$	Elastizitätsmodul
$F_{fr}$	resultierende Reibungskraft
$F_j$	wirbelerregte Kraft am Punkt $j$ des Bauwerks
$F_w$	Gesamtwindkraft, die auf ein Gebäude wirkt
$H$	Meereshöhe in m
$I_v$	Turbulenzintensität
$K$	Beiwert der Schwingungsform; Schwingungsform Parameter

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

$\langle \text{AC} \rangle K_a$	der aerodynamische Dämpfungsparameter $\langle \text{AC} \rangle$
$K_{iv}$	Interferenzfaktor für wirbelerregte Querschwingung
$K_{rd}$	Reduktionsfaktor für Brüstungen
$K_W$	Wirklängenfaktor
$K_x$	dimensionsloser Beiwert
$L$	Spannweite des Brückenüberbaus, Integrallängenmass der Turbulenz
$L_d$	tatsächliche Länge einer leeseitigen Steigung
$L_e$	effektive Länge der luvseitigen Steigung
$L_j$	Wirklänge
$L_u$	tatsächliche Länge der luvseitigen Steigung
$N$	Anzahl Schwingungsspiele verursacht durch wirbelerregte Querschwingungen
$N_g$	Anzahl der Böenlasten der Tragwerksantwort
$R^2$	Resonanzanteil der Böenreaktion
$Re$	Reynoldszahl
$R_h, R_b$	aerodynamische Übertragungsfunktionen
$S$	Windeinwirkung
$Sc$	Scrutonzahl
$S_L$	dimensionslose Spektraldichtefunktion
$St$	Strouhalzahl
$W_s$	Masse der konstruktiven steifigkeitsbeitragenden Bauteile eines Schornsteins
$W_t$	Gesamtmasse des Schornsteins

**lateinische Kleinbuchstaben**

$a_G$	Beiwert für Galloping-Instabilität
$a_{IG}$	kombinierter Stabilitätsbeiwert für Interferenzgalloping
$b$	Breite des Bauteils oder Bauwerks
$c_{alt}$	Höhenbeiwert
$c_d$	dynamischer Beiwert
$c_{dir}$	Richtungsbeiwert
$c_e(z)$	Beiwert für den Außendruck
$c_f$	aerodynamischer Kraftbeiwert
$c_{f,0}$	aerodynamischer Kraftbeiwert für Bauwerke oder Bauteile mit unendlicher Schlankheit
$c_{f,l}$	aerodynamischer Auftriebsbeiwert
$c_{fr}$	aerodynamischer Reibungsbeiwert
$c_{lat}$	aerodynamischer Erregerkraftbeiwert
$c_M$	Momentenbeiwert
$c_p$	aerodynamischer Beiwert für Druck
$\langle \text{AC} \rangle c_{pe}$	Außendruckbeiwert
$c_{pi}$	Innendruckbeiwert

$c_{p,net}$	Nettodruckbeiwert <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">AC</span>
$c_{prob}$	Wahrscheinlichkeitsbeiwert
$c_r$	Rauhigkeitsbeiwert
$c_o$	Topographiebeiwert
$c_s$	Größenbeiwert
$c_{season}$	Jahreszeitenbeiwert
$d$	Abmessung parallel zur Anströmrichtung
$e$	Ausmitte einer Kraft quer zur Körperachse oder Randabstand
$f_L$	dimensionslose Frequenz
$h$	Höhe des Bauwerks
$h_{ave}$	durchschnittliche Höhe mehrerer Gebäude
$h_{dis}$	Versatzhöhe
$k$	äquivalente Rauhigkeit
<span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">AC</span> $k_1$	Turbulenzfaktor <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">AC</span>
$k_p$	Spitzenbeiwert
$k_r$	Rauhigkeitsfaktor
$k_\Theta$	Torsionssteifigkeit
$l$	Länge eines horizontalen Bauwerks
$m$	längenbezogene Masse
$m_1$	äquivalente längenbezogene Masse
$n_i$	Bauwerkseigenfrequenz der i-ten Schwingungsform
$n_{1,x}$	Grundeigenfrequenz in Windrichtung
$n_{1,y}$	Grundeigenfrequenz der Schwingungsform quer zum Wind
$n_0$	Frequenz für ovalisierende Schwingungen
$p$	jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeit
$q_b$	mittlerer (Grund) Bezugsgeschwindigkeitsdruck
$q_p$	Spitzengeschwindigkeitsdruck
$r$	Radius
$s$	Faktor, Koordinate
$t$	Mittelungsintervall der Bezugswindgeschwindigkeit, Plattenstärke
$v_{CG}$	Einsetzgeschwindigkeit für Galloping
$v_{CIG}$	kritische Windgeschwindigkeit für Interferenzgalloping
$v_{crit}$	kritische Windgeschwindigkeit für wirbelerregte Querschwingungen
$v_{div}$	Windgeschwindigkeit für Divergenzinstabilität
$v_m$	mittlere Windgeschwindigkeit
$v_{b,0}$	Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit
$v_b$	Basiswindgeschwindigkeit

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

$w$	Winddruck
$x$	horizontaler Abstand des Ortes von der Kante des Geländesprunges
$x$ -Richtung	horizontale Richtung, senkrecht zur Spannweite
$y$ -Richtung	horizontale Richtung entlang der Spannweite
$y_{\max}$	maximale Schwingungsamplitude bei der kritischen Windgeschwindigkeit
$z$	Höhe über Grund
$z_{\text{ave}}$	durchschnittliche Höhe
$z$ -Richtung	vertikale Richtung
$z_0$	Rauhigkeitslänge
$z_e, z_i$	Bezugshöhe für den Außendruck, bzw. Innendruck oder Kraftbeiwert
$z_g$	Abstand vom Boden zum betrachteten Bauteil
$z_{\max}$	maximale Höhe
$z_{\min}$	minimale Höhe
$z_s$	Bezugshöhe zur Bestimmung des Strukturbeiwertes

**griechische Großbuchstaben**

$\Phi$	luvseitige Steigung
$\Phi_{1,x}$	Grundswingungsform in Windrichtung

**griechische Kleinbuchstaben**

$\alpha_G$	Beiwert für Galloping-Instabilität
$\alpha_{1G}$	kombinierter Stabilitätsbeiwert für Interferenzgalloping
$\delta$	logarithmisches Dämpfungsdekrement
$\delta_a$	<b>[AC]</b> logarithmisches Dekrement der aerodynamischen Dämpfung <b>[AC]</b>
$\delta_d$	logarithmisches Dämpfungsdekrement infolge besonderer Maßnahmen
$\delta_s$	<b>[AC]</b> logarithmisches Dekrement der strukturellen Dämpfung <b>[AC]</b>
$\varepsilon$	Beiwert
$\varepsilon_0$	Bandbreitenbeiwert
$\varepsilon_1$	Frequenzbeiwert
$\eta$	Variable
$\varphi$	Völligkeitsgrad, Grad der Versperrung bei freistehenden Dächern
$\lambda$	Schlankheit
$\mu$	Flächenparameter, Porosität einer Schale
$\nu$	Erwartungswert der Böenreaktion, Querdehnzahl, kinematische Zähigkeit
$\theta$	Torsionswinkel
$\rho$	Luftdichte
$\sigma_v$	Standardabweichung der Turbulenz
$\sigma_{a,x}$	Standardabweichung der Beschleunigung in Windrichtung

$\psi_{mc}$	Abminderungsbeiwert für freistehende Sheddächer
$\psi_r$	Abminderungsfaktor des Kraftbeiwertes für Rechteckquerschnitte mit abgerundeten Ecken
$\psi_\lambda$	Abminderungsfaktor für den aerodynamischen Kraftbeiwert zur Berücksichtigung der Umströmung freier Enden von Bauwerken und Bauteilen endlicher Schlankheit
$\psi_{\lambda\alpha}$	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Umströmung von freien Enden eines Kreiszylinders
$\psi_s$	Abschattungsfaktor für Wände und Zäune
$\zeta$	Exponent der Schwingungsform

### Indizes

crit	kritisch
e	Außen-, Belastung
fr	Reibung
i	Innen-, Ordnung der Eigenfrequenz oder Eigenform
j	Nummer des Abschnittes oder eines Punktes eines Bauwerks oder Bauteils
m	mittlerer
p	Spitze, Brüstung
ref	Bezug
v	Windgeschwindigkeit
x	in Windrichtung
y	quer zur Windrichtung
z	in vertikaler Richtung

## 2 Bemessungssituationen

(1) P Die maßgebenden Windeinwirkungen sind entsprechend der Bemessungssituation nach EN 1990, 3.2 für jeden belasteten Bereich zu ermitteln.

(2) In Übereinstimmung mit EN 1990, 3.2 (3)P sind die Folgen anderer Einwirkungen (wie Schnee, Verkehr oder Eis), die sich auf die Bezugsfläche oder die aerodynamischen Beiwerte erheblich auswirken, zu berücksichtigen.

ANMERKUNG AC Siehe auch EN 1991-1-3, EN 1991-2 und ISO 12494 AC

(3) In Übereinstimmung mit EN 1990, 3.2 (3)P sind Veränderungen des Bauwerks während der Bauausführung (wie z.B. unterschiedliche Bauwerksformen während verschiedener Bauzustände, unterschiedliche dynamische Eigenschaften, usw.), welche die Windeinwirkungen beeinflussen können, zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Siehe auch EN 1991-1-6

(4) Fenster und Türen sind im Fall von Sturmereignissen als geschlossen anzunehmen. Die Wirkung geöffneter Fenster und Türen sollte als außergewöhnliche Bemessungssituation berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Siehe auch EN 1990, 3.2 (2) (P)

(5) Ermüdungsbeanspruchungen infolge von Windeinwirkungen sind bei ermüdungsempfindlichen Bauwerken oder Bauteilen zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Die Anzahl der Belastungszyklen kann den Anhängen B, C und E entnommen werden.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

### **3 Erfassung der Windeinwirkungen**

#### **3.1 Allgemeines**

(1) Windeinwirkungen sind über die Zeit veränderlich. Sie wirken in Form von Druck auf die Außenflächen umschlossener Baukörper und infolge der Durchlässigkeit der äußeren Hülle auch auf die Innenflächen. Sie können auch direkt auf die Innenflächen offener Gebäude einwirken. Der Winddruck wirkt normal zur betrachteten Oberfläche. Wenn der Wind an größeren Flächen vorbeistreicht, kann es erforderlich werden, auch die Reibungskräfte parallel zur Oberfläche zu berücksichtigen.

#### **3.2 Erfassung von Windeinwirkungen**

(1) Die Windeinwirkungen werden durch eine vereinfachte Anordnung von Winddrücken oder Windkräften erfasst, deren Wirkungen äquivalent zu den maximalen Wirkungen des turbulenten Windes sind.

#### **3.3 Klassifizierung der Windeinwirkungen**

(1) Falls nicht anders angegeben, werden Windeinwirkungen als veränderliche, freie Einwirkungen eingestuft, siehe EN 1990, 4.1.1.

#### **3.4 Charakteristische Werte**

(1) Die mit den Regeln dieser Norm ermittelten Windeinwirkungen sind charakteristische Werte (siehe EN 1990, 4.1.2). Sie werden mit der Basiswindgeschwindigkeit oder dem entsprechenden Geschwindigkeitsdruck bestimmt. Die Basiswerte sind charakteristische Größen mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2 %, die einer mittleren Wiederkehrperiode von 50 Jahren entspricht.

**ANMERKUNG** Alle Beiwerte oder Modelle zur Herleitung von Windeinwirkungen aus Basiswerten sind derart gewählt, dass die Wahrscheinlichkeit der berechneten Windeinwirkungen die Wahrscheinlichkeit der Basiswerte nicht überschreitet.

#### **3.5 Modelle**

(1) Die Auswirkung des Windes auf das Bauwerk (d.h. die Reaktion des Bauwerks), hängt von der Größe, der Form und den dynamischen Eigenschaften des Bauwerks ab. Diese Norm erfasst auch die dynamische Reaktion des Bauwerks infolge der longitudinalen Komponente der Turbulenz durch Resonanzüberhöhung anhand der Grundbiegeschwingungsform (gleiche Schwingungsrichtung über die gesamte Bauwerkshöhe) in Windrichtung.

Die Reaktion des Bauwerks ist nach Abschnitt 5 mit dem Spitzengeschwindigkeitsdruck,  $q_p$ , in der Bezugshöhe der ungestörten Windströmung mit den Kraft- oder Druckbeiwerten sowie mit dem Strukturbeiwert  $c_{scd}$  (siehe Abschnitt 6) zu berechnen.  $q_p$  hängt vom Windklima, der Geländerauhigkeit und der Topographie sowie der Bezugshöhe ab.  $q_p$  ist gleich dem mittleren Geschwindigkeitsdruck plus einem Beitrag aus den fluktuierenden Druckanteilen.

(2) Aeroelastische Reaktionen sind in der Regel bei flexiblen Strukturen wie Kabeln, Masten, Schornsteinen und Brücken zu berücksichtigen.

**ANMERKUNG** Vereinfachte Regeln zur Bestimmung aeroelastischer Reaktionen liefert der Anhang E.

## 4 Windgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsdruck

### 4.1 Berechnungsgrundlagen

(1) Die Windgeschwindigkeit und der der Windgeschwindigkeit zugeordnete Geschwindigkeitsdruck enthalten einen konstanten und einen veränderlichen Anteil.

Die mittlere Windgeschwindigkeit  $v_m$  wird mit der Basiswindgeschwindigkeit  $v_b$ , die vom Windklima (siehe 4.2) und vom Höhenprofil des Windes abhängt, bestimmt. Das Höhenprofil des Windes hängt von der Geländerauhigkeit und der Topographie ab (siehe 4.3). Der Spitzengeschwindigkeitsdruck wird in 4.5 bestimmt.

Der veränderliche Anteil des Windes wird durch die Turbulenzintensität nach 4.4 beschrieben.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann nationale Klimainformationen angeben, mit denen die mittlere Windgeschwindigkeit  $v_m$ , der Spitzengeschwindigkeitsdruck  $q_p$  und zusätzliche Werte für die maßgebenden Geländekategorien bestimmt werden können.

### 4.2 Basiswindgeschwindigkeit

(1)P Der Grundwert  $v_{b,0}$  der Basiswindgeschwindigkeit ist der charakteristische Wert der mittleren 10-Minuten-Windgeschwindigkeit. Sie ist unabhängig von Windrichtung und Jahreszeit, und ist bezogen auf 10 m Höhe über Boden in ebenem, offenem Gelände mit niedriger Vegetation (wie Gras und vereinzelter Hindernisse mit Abständen von mindestens der 20-fachen Hindernishöhe).

ANMERKUNG 1 Dieses Gelände entspricht der Kategorie II nach Tabelle 4.1.

ANMERKUNG 2 Die Werte  $v_{b,0}$  der Basiswindgeschwindigkeit können im Nationalen Anhang angegeben sein.

(2)P Die Basiswindgeschwindigkeit ist

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.1)$$

Dabei ist

- $v_b$  Basiswindgeschwindigkeit, definiert als Funktion der Windrichtung und Jahreszeit, in 10 m Höhe über Bodenniveau für die Geländekategorie II;
- $v_{b,0}$  Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit, siehe (1)P;
- $c_{dir}$  Richtungsfaktor, siehe Anmerkung 2;
- $c_{season}$  Jahreszeitenbeiwert, siehe Anmerkung 3.

ANMERKUNG 1 Falls der Einfluss der Meereshöhe auf die Basiswindgeschwindigkeit  $v_b$  nicht im angegebenen Grundwert  $v_{b,0}$  berücksichtigt ist, kann der Nationale Anhang eine Methode zur Berücksichtigung des Einflusses der Meereshöhe angeben.

ANMERKUNG 2 Der Wert des Richtungsfaktors  $c_{dir}$  für verschiedene Windrichtungen kann im Nationalen Anhang angegeben werden. Der empfohlene Wert ist 1,0.

ANMERKUNG 3 Der Jahreszeitenbeiwert  $c_{season}$ , kann im Nationalen Anhang angegeben werden. Der empfohlene Wert ist 1,0.

ANMERKUNG 4 Die mittlere 10-Minuten-Windgeschwindigkeit kann für eine jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeit  $p$  bestimmt werden, indem die Basiswindgeschwindigkeit  $v_b$  nach 4.2 (2)P mit dem Wahrscheinlichkeitsfaktor  $c_{prob}$  nach Gleichung (4.2) multipliziert wird (siehe auch EN 1991-1-6).

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

$$c_{\text{prob}} = \left( \frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n \quad (4.2)$$

Dabei ist

$K$  Formbeiwert abhängig vom Variationskoeffizienten der Extremwertverteilung;

$n$  Exponent.

ANMERKUNG 5 Die zu verwendenden Werte für  $K$  und  $n$  können im Nationalen Anhang angegeben werden. Die empfohlenen Werte sind 0,2 für  $K$  und 0,5 für  $n$ .

(3) Für temporäre Bauwerke und alle im Bauzustand befindlichen Bauwerke darf der Jahreszeitenbeiwert  $c_{\text{season}}$  verwendet werden. Für bewegliche Bauwerke (z. B. fliegende Bauten oder Gerüste), die zu jeder Jahreszeit verwendet werden können, ist für  $c_{\text{season}}$  ein Wert von 1,0 anzusetzen.

ANMERKUNG Siehe auch EN 1991-1-6.

### 4.3 Mittlerer Wind

#### 4.3.1 Höhenabhängigkeit

(1) Die mittlere Windgeschwindigkeit  $v_m(z)$  in der Höhe  $z$  über Grund hängt von der Geländerauhigkeit, der Topographie und der Basiswindgeschwindigkeit  $v_b$  ab. Sie ist

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (4.3)$$

Dabei ist

$c_r(z)$  Rauigkeitsbeiwert nach 4.3.2;

$c_o(z)$  Topographiebeiwert; nach 4.3.3.

ANMERKUNG 1 Angaben zu  $c_o$  können im Nationalen Anhang angegeben werden. Wenn die Topographie in der Basiswindgeschwindigkeit berücksichtigt ist, ist der empfohlene Wert 1,0.

ANMERKUNG 2 Karten oder Tabellen zur Bestimmung von  $v_m(z)$  können im Nationalen Anhang angegeben werden.

(2) Der Einfluss benachbarter Bauwerke auf die Windgeschwindigkeit sollte berücksichtigt werden (siehe 4.3.4).

#### 4.3.2 Geländerauhigkeit

(1) Der Rauigkeitsfaktor  $c_r(z)$  berücksichtigt die Veränderlichkeit der mittleren Windgeschwindigkeit  $v_m(z)$  am Standort des Bauwerks in Abhängigkeit von:

- der Höhe über Grund
- der Geländerauhigkeit in Luv des Bauwerkes für die betrachtete Windrichtung

ANMERKUNG Das Verfahren zur Bestimmung von  $c_r(z)$  kann im Nationalen Anhang angegeben werden. Empfohlen wird das folgende Verfahren, das auf einem logarithmischen Geschwindigkeitsprofil basiert und durch den Ausdruck (4.4) gegeben ist.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{für} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.4)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{für} \quad z \leq z_{\min}$$

Dabei ist

$z_0$  Rauheitslänge

$k_r$  Rauheitsfaktor abhängig von der berechneten Rauheitslänge  $z_0$  nach folgender Gleichung:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (4.5)$$

Dabei ist

$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$  (Geländekategorie II, Tabelle 4.1)

$z_{\min}$  Mindesthöhe nach Tabelle 4.1

$z_{\max} = 200 \text{ m}$

$z_0$ ,  $z_{\min}$  sind von der Geländekategorie abhängig. Empfohlene Werte sind in Tabelle 4.1 für die fünf typischen Geländekategorien angegeben.

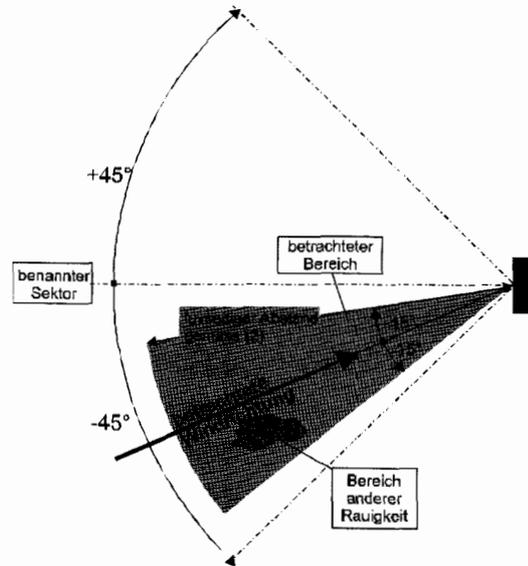
Gleichung (4.4) ist gültig, wenn die luvseitige Strecke mit konstanter Geländerauhigkeit lang genug zur Ausbildung eines stabilen Geschwindigkeitsprofils ist (siehe (2)).

**Tabelle 4.1 — Geländekategorien und Geländeparameter**

Geländekategorie		$z_0$ m	$z_{\min}$ m
0	See, Küstengebiete, die der offenen See ausgesetzt sind	0,003	1
I	Seen oder Gebiete mit niedriger Vegetation und ohne Hindernisse	0,01	1
II	Gebiete mit niedriger Vegetation wie Gras und einzelne Hindernisse (Bäume, Gebäude) mit Abständen von min. 20-facher Hindernishöhe	0,05	2
III	Gebiete mit gleichmäßiger Vegetation oder Bebauung oder mit einzelnen Objekten mit Abständen von weniger als der 20-fachen Hindernishöhe (z. B. Dörfer, vorstädtische Bebauung, Waldgebiete)	0,3	5
IV	Gebiete, in denen mindestens 15 % der Oberfläche mit Gebäuden mit einer mittleren Höhe größer als 15 m bebaut sind.	1,0	10
Die Geländekategorien sind in Anhang A.1 illustriert.			

(2) Die Geländerauhigkeit, die für eine vorgegebene Windrichtung zu verwenden ist, hängt von der Bodenrauhigkeit und der luvseitigen Strecke (Abstand) mit konstanter Geländerauhigkeit in einem bestimmten Winkelbereich um die betrachtete Windrichtung ab. Kleine Flächen (weniger als 10% der betrachteten Fläche) mit abweichenden Rauigkeiten können vernachlässigt werden. Siehe Bild 4.1.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**



**ANMERKUNG** Der Nationale Anhang kann den Winkelbereich und den luvseitigen Abstand angeben. Ein Winkelbereich in Form eines 30°-Sektors mit  $\pm 15^\circ$  um die betrachtete Windrichtung wird empfohlen. Der empfohlene Wert für den luvseitigen Abstand kann A.2 entnommen werden.

**Bild 4.1 — Bewertung der Geländerauhigkeit**

(3) Falls ein Druck- oder Kraftbeiwert für einen bestimmten Winkelbereich definiert ist, ist die geringste Rauigkeitslänge innerhalb jedes 30°-Windsektors anzusetzen.

(4) Falls es innerhalb des zu untersuchenden Winkelbereichs zwei oder mehrere Geländekategorien gibt, ist die geringste Rauigkeitslänge zu verwenden.

#### 4.3.3 Topographie

(1) Dort, wo die Topographie (z. B. Berge, Klippen etc.) die Windgeschwindigkeit um mehr als 5 % erhöht, ist die Vergrößerung durch den Topographiebeiwert  $c_0$  zu berücksichtigen.

**ANMERKUNG** Die Bestimmung von  $c_0$  kann im Nationalen Anhang angegeben werden. Das empfohlene Verfahren ist in A.3 angegeben.

(2) Topographieeffekte können vernachlässigt werden, wenn die mittlere Neigung des Geländes auf der Luvseite geringer als  $3^\circ$  ist. Das luvseitige Gelände ist bis zu einem Abstand der 10-fachen Höhe des herausragenden Topographieelementes zu berücksichtigen.

#### 4.3.4 Einfluss höherer Nachbargebäude

(1) Falls das Bauwerk dicht an ein anderes Bauwerk angrenzt, das mindestens doppelt so hoch ist wie die mittlere Höhe der benachbarten Bebauung, dann kann es (abhängig von den Eigenschaften des Bauwerks) bei bestimmten Windrichtungen erhöhten Windgeschwindigkeiten ausgesetzt sein. Diese Fälle sind zu berücksichtigen.

**ANMERKUNG** Der Nationale Anhang kann Verfahren zur Berücksichtigung der Nachbarbebauung angeben. Eine empfohlene, konservative erste Näherung ist in A.4 beschrieben.

#### 4.3.5 Nahe Gebäude oder Hindernisse mit geringen Abständen

(1) Die Wirkung eng beieinander stehender Gebäude oder Hindernisse darf berücksichtigt werden.

**ANMERKUNG** Der Nationale Anhang kann ein Verfahren angeben. Ein empfohlenes Verfahren ist in A.5 angegeben. In rauhem Gelände verändern nahe gelegene, eng beieinander stehende Bauwerke die Windströmung in Bodennähe so, als wäre das Bodenniveau in eine als Versatzhöhe  $h_{dis}$  bezeichnete Höhe angehoben worden.

#### 4.4 Windturbulenz

(1) Die Turbulenzintensität  $I_v(z)$  in der Höhe  $z$  ist definiert als die Standardabweichung der Turbulenz geteilt durch die mittlere Windgeschwindigkeit.

**ANMERKUNG 1** Die turbulente Komponente der Windgeschwindigkeit hat einen Mittelwert von 0 und eine Standardabweichung von  $\sigma_v$ . Die Standardabweichung der Turbulenz  $\sigma_v$  ist

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_t \quad (4.6)$$

Dabei ist

$k_r$  Geländefaktor nach Gleichung (4.5),

$v_b$  Basiswindgeschwindigkeit nach Gleichung (4.1)

$k_t$  Turbulenzfaktor siehe Anmerkung 2

**ANMERKUNG 2** Zur Bestimmung von  $I_v(z)$  wird der folgende Ausdruck (4.7) empfohlen.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_t}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{für} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.7)$$
$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{für} \quad z < z_{\min}$$

Dabei ist

$k_t$  Turbulenz-Faktor. Der Wert  $k_t$  kann in dem Nationalen Anhang angegeben werden. Der empfohlene Wert ist  $k_t = 1,0$ .

$c_o$  Topographiebeiwert nach 4.3.3

$z_0$  Rauigkeitslänge nach Tabelle 4.1

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**4.5 Böengeschwindigkeitsdruck (Spitzengeschwindigkeitsdruck)**

(1) Der Böengeschwindigkeitsdruck  $q_p(z)$  in der Höhe  $z$ , der die mittleren und kurzzeitigen Geschwindigkeitsänderungen beinhaltet, ist zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann Regeln zur Bestimmung von  $q_p(z)$  angeben. Die empfohlene Regel ist

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (4.8)$$

Dabei ist

$\rho$  Dichte der Luft, die von der Meereshöhe, der Temperatur und dem barometrischen Druck abhängt. Der Wert ist regional für ein Sturmereignis zu bestimmen.

$c_e(z)$  Geländefaktor, nach Gleichung (4.9)

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (4.9)$$

Dabei ist

$q_b$  Basisgeschwindigkeitsdruck nach Gleichung (4.10)

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (4.10)$$

ANMERKUNG 2 Die national zu verwendenden Werte für  $\rho$  können im Nationalen Anhang angegeben werden. Der empfohlene Wert ist  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

ANMERKUNG 3 Der Wert 7 in Gleichung (4.8) entspricht einem Spitzenbeiwert  $k_p$  von 3,5 und passt zu den Druck- und Kraftbeiwerten in Abschnitt 7. Für flaches Gelände mit  $c_o(z) = 1,0$  (siehe 4.3.3), ist der Geländefaktor  $c_e(z)$  in Bild 4.2 als eine Funktion der Höhe (über Gelände) und der Geländekategorie (wie in Tabelle 4.1 definiert) dargestellt.

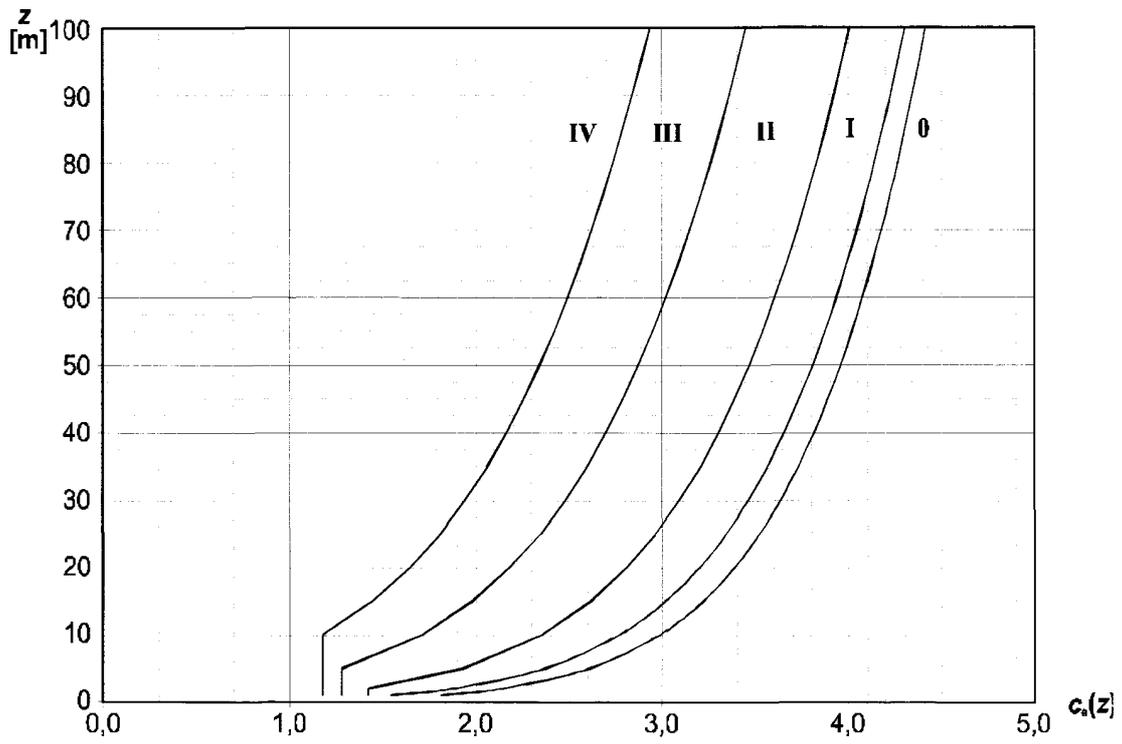


Bild 4.2 — Darstellung des Geländefaktor  $c_e(z)$  für  $c_{e0}=1,0$ ,  $k_1=1,0$

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

## 5 Windeinwirkungen

### 5.1 Allgemeines

(1)P Die Gesamtwindeinwirkungen auf Bauwerke und Bauteile sind unter Berücksichtigung der äußeren und inneren Winddrücke zu bestimmen.

ANMERKUNG Einen Überblick über die Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Windeinwirkungen gibt Tabelle 5.1.

**Tabelle 5.1 —Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Windeinwirkungen**

Parameter	Verweis
<b>Böengeschwindigkeitsdruck <math>q_p</math></b>	
Basiswindgeschwindigkeit $v_b$	4.2 (2)P
Bezugshöhe $z_e$	Abschnitt 7
Geländekategorie	Tabelle 4.1
charakteristischer Böengeschwindigkeitsdruck $q_p$	4.5 (1)
Turbulenzintensität $I_v$	4.4
mittlere Windgeschwindigkeit $v_m$	4.3.1
Topographiebeiwert $c_o(z)$	4.3.3
Rauhigkeitsbeiwert $c_r(z)$	4.3.2
<b>Winddruck z. B. für Verkleidungen, Befestigungen und Bauteile</b>	
aerodynamischer Beiwert für den Außendruck $c_{pe}$	Abschnitt 7
aerodynamischer Beiwert für den Innendruck $c_{pi}$	Abschnitt 7
aerodynamischer Beiwert für die Nettodruckbelastung	Abschnitt 7
Außenwinddruck: $w_e = q_p c_{pe}$	5.2 (1)
Innenwinddruck: $w_i = q_p c_{pi}$	5.2 (2)
<b>Windkraft auf Bauwerke, z. B. für Gesamtschnittgrößen im Tragwerk</b>	
Strukturbeiwert: $c_{sd}$	6
Windkraft $F_W$ berechnet aus Kraftbeiwerten	5.3 (2)
Windkraft $F_W$ berechnet aus Druckbeiwerten	5.3 (3)

## 5.2 Winddruck auf Oberflächen

(1) Der auf die Außenflächen einwirkende Winddruck  $w_e$  ist nach (5.1)

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (5.1)$$

Dabei ist

$q_p(z_e)$  Böengeschwindigkeitsdruck;

$z_e$  Bezugshöhe für den Außendruck nach Abschnitt 7;

$c_{pe}$  aerodynamische Beiwert für den Außendruck nach Abschnitt 7.

ANMERKUNG  $q_p(z)$  ist in 4.5 definiert.

(2) Der Winddruck  $w_i$ , der auf eine Oberflächen im Inneren eines Bauwerks wirkt, ist nach (5.2):

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (5.2)$$

Dabei ist

$q_p(z_i)$  Spitzengeschwindigkeitsdruck;

$z_i$  Bezugshöhe für den Innendruck nach Abschnitt 7;

$c_{pi}$  aerodynamischer Beiwert für den Innendruck nach Abschnitt 7.

ANMERKUNG  $q_p(z)$  ist in 4.5 definiert.

(3) Die Nettodruckbelastung infolge Winddruck auf eine Wand, ein Dach oder ein Bauteil ist die Resultierende von Außen- und Innendruck. Druck auf eine Oberfläche wird positiv angenommen, Druck von der Oberfläche weg als negativ. Beispiele für die Überlagerung sind in Bild 5.1 angegeben.

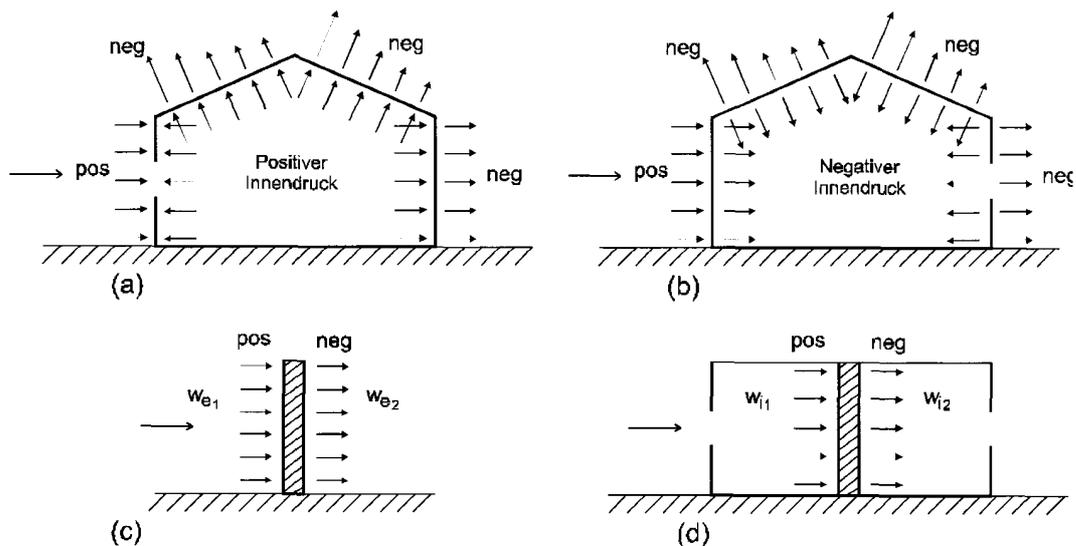


Bild 5.1— Druck auf Oberflächen

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

### 5.3 Windkräfte

(1) Die Gesamtwindkraft, die auf einen Baukörper oder Körperteil einwirkt, wird wie folgt berechnet:

- aus Kräften ermittelt mit Kraftbeiwerten (siehe (2))
- aus Kräften ermittelt mit Winddrücken und Reibungsbeiwerten (siehe (3))

(2) Die Windkraft  $F_w$ , die mit Kraftbeiwerten berechnet wird, kann durch

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{\text{ref}} \quad (5.3)$$

oder durch vektorielle Addition der auf die Körperabschnitte wirkenden Windkräfte (wie in 7.2.2 angegeben)

$$F_{w,j} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{Abschnitte}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{\text{ref}} \quad (5.4)$$

bestimmt werden.

Dabei ist

$c_s c_d$	Strukturbeiwert nach Abschnitt 6
$c_f$	Kraftbeiwert für einen Baukörper oder Baukörperabschnitt, nach Abschnitt 7 oder Abschnitt 8
$q_p(z_e)$	Böengeschwindigkeitsdruck (nach 4.5) in der Bezugshöhe $z_e$ (nach Abschnitt 7 oder Abschnitt 8)
$A_{\text{ref}}$	Bezugsfläche für einen Baukörper oder Baukörperabschnitt, nach Abschnitt 7 oder Abschnitt 8

**ANMERKUNG** In Abschnitt 7 sind  $c_f$ -Werte für Baukörper und Bauabschnitte wie Prismen, Zylinder, Dächer, Anzeigentafeln, Flaggen und Fachwerke angegeben. Abschnitt 8 liefert  $c_f$ -Werte für Brücken. Die Werte  $c_f$  beinhalten bereits den Einfluss von Reibungseffekten.

(3) Wird die Windkraft  $F_w$  mit Winddrücken und Reibungsbeiwerten ermittelt, kann sie durch vektorielle Addition der Kräfte  $F_{w,e}$ ,  $F_{w,i}$  und  $F_{fr}$  bestimmt werden. Die Kräfte  $F_{w,e}$  und  $F_{w,i}$  werden aus den äußeren und inneren Drücken mit den Gleichungen (5.5) und (5.6) berechnet. Die Reibungskräfte infolge Windeinwirkung parallel zu den Außenflächen werden nach Gleichungen (5.7) berechnet.

Die Kraft  $F_{w,e}$  aus dem Außenwinddruck ist

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{Oberflächen}} w_e \cdot A_{\text{ref}} \quad (5.5)$$

Die Kraft  $F_{w,i}$  aus dem Innenwinddruck ist

$$F_{w,i} = \sum_{\text{Oberflächen}} w_i \cdot A_{\text{ref}} \quad (5.6)$$

Die Reibungskraft  $F_{fr}$  lautet

$$F_{fr,j} = c_{fr,j} \cdot q_p(z_e)_j \cdot A_{fr,j} \quad (5.7)$$

Dabei ist

$c_s c_d$  Strukturbeiwert nach Abschnitt 6;

- $w_e$  Außenwinddruck auf einen Körperabschnitt in der Höhe  $z_e$ , nach (5.1);
- $w_i$  Innenwinddruck auf einen Körperabschnitt in der Höhe  $z_i$ , nach (5.2);
- $A_{ref}$  Bezugsfläche des Körperabschnitt;
- $c_{fr}$  Reibungsbeiwert nach 7.5;
- $A_{fr}$  Außenfläche die parallel vom Wind angeströmt wird, nach 7.5.

ANMERKUNG 1 Die Windkraft auf ein Bauteil (z. B. Wände oder Dächer) wird aus der Differenz der Außenwindkraft und Innenwindkraft berechnet.

ANMERKUNG 2 Reibungskräfte  $F_{fr}$  wirken in Richtung der Windkräfte parallel zu den Außenflächen.

(4) Der Reibungseffekt auf der Bauteiloberfläche kann vernachlässigt werden, wenn die Gesamtfläche aller windparallelen Oberflächen (und Flächen mit geringer Winkelabweichung zur Parallelen) gleich oder geringer ist als das 4-fache aller Flächen, die senkrecht zum Wind orientiert sind (luv- und leeseitig).

(5) Bei der Addition der Windkräfte, die auf Bauwerke einwirken, darf die Wirkung der Korrelation zwischen dem luvseitigen und leeseitigen Winddruck berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann festlegen, ob die Wirkung der Korrelation generell oder nur eingeschränkt angesetzt werden darf (z. B. wie in 7.2.2 (3)). Es wird empfohlen, die Wirkung der Korrelation nur bei Wänden zu berücksichtigen (siehe 7.2.2 (3)).

## 6 Strukturbeiwert $c_s c_d$

### 6.1 Allgemeines

(1) Der Strukturbeiwert  $c_s c_d$  berücksichtigt, dass Spitzenwinddrücke nicht gleichzeitig auf der gesamten Oberfläche auftreten können (Anteil  $c_s$ ), sowie die dynamische Überhöhung durch resonanzartige Bauwerksschwingungen infolge Windturbulenz (Anteil  $c_d$ ).

ANMERKUNG Der Strukturbeiwert darf unter Berücksichtigung von 6.3 in einen Größenfaktor  $c_s$  und in einen dynamischen Faktor  $c_d$  aufgeteilt werden. Der Nationale Anhang kann angeben, ob eine Trennung von  $c_s c_d$  vorgenommen werden darf oder nicht.

### 6.2 Ermittlung von $c_s c_d$

(1)  $c_s c_d$  darf wie folgt bestimmt werden:

- Bei Gebäuden mit einer Höhe  $h < 15$  m gilt  $c_s c_d = 1$
- Bei Fassaden und Dachelementen mit einer Eigenfrequenz  $f > 5$  Hz gilt  $c_s c_d = 1$
- Bei Gebäuden in Skelettbauweise mit aussteifenden Wänden, die niedriger als 100 m sind und deren Höhe kleiner als das vierfache der Gebäudetiefe ist, gilt  $c_s c_d = 1$ .
- Bei Schornsteinen mit kreisförmigem Querschnitt und einer Höhe  $h < 60$  m oder  $h < 6,5 \cdot d$  mit

$d$  Durchmesser,

gilt  $c_s c_d = 1$ .

- In den Fällen a), b), c) und d) dürfen die Werte für  $c_s c_d$  auch anhand des 6.3.1 bestimmt werden.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

- f) Bei Ingenieurbauten (außer Brücken, die in Abschnitt 8 behandelt werden) Schornsteinen und Bauwerken außerhalb der Anwendungsgrenzen nach c) und d) ist  $c_s c_d$  nach 6.3 zu ermitteln.

ANMERKUNG 1 Die Eigenfrequenzen von Fassaden und Dachelementen können mit Anhang F berechnet werden (Glasflächen mit einer Spannweite von weniger als 3 m führen gewöhnlich zu Eigenfrequenzen über 5 Hz).

ANMERKUNG 2 Die Bilder in Anhang D liefern Richtwerte für  $c_s c_d$  für verschiedene Bauwerke und Bauweisen. Die Werte sind konservativ und wurden mit Modellen unter Berücksichtigung von 6.3.1 berechnet.

### 6.3 Ausführliches Verfahren

#### 6.3.1 Strukturbeiwert $c_s c_d$

- (1) Die genaue Berechnung zur Bestimmung des Strukturbeiwertes  $c_s c_d$  erfolgt nach Gleichung (6.1). Voraussetzung für die Anwendung ist, dass die Bedingungen aus 6.3.1 (2) zutreffen.

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (6.1)$$

Dabei ist

- $z_s$  Bezugshöhe für die Bestimmung des Strukturbeiwertes siehe Bild 6.1. Bei Bauwerken, für die Bild 6.1 nicht zutrifft, darf  $z_s = h$  gesetzt werden, wobei  $h$  die Bauwerkshöhe ist;
- $k_p$  Spitzenbeiwert als Verhältnis des Größtwertes des veränderlichen Teils der Bauwerksantwort zu ihrer Standardabweichung;
- $I_v$  Turbulenzintensität nach 4.4;
- $B^2$  Böengrundanteil als quasi statischer Anteil der Böenreaktion, der die Reduktion des effektiven Oberflächendrucks durch die abnehmende Korrelation bei großen Lastezugsflächen erfasst;
- $R^2$  Resonanz-Anteil der Böenreaktion zur Berechnung der resonanzartigen Vergrößerung der Bauwerksreaktion infolge Turbulenz.

ANMERKUNG 1 Der Größenbeiwert  $c_s$  berücksichtigt die reduzierte Windeinwirkung infolge des nicht-gleichzeitigen Auftretens der Spitzenwinddrücke auf der gesamten Oberfläche und kann wie folgt berechnet werden:

$$c_s = \frac{1 + 7 \cdot I_v(z_e) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_e)} \quad (6.2)$$

ANMERKUNG 2 Der dynamische Beiwert  $c_d$  berücksichtigt die dynamische, resonanzartige Vergrößerung der Bauwerksreaktion infolge Windturbulenz und kann wie folgt berechnet werden:

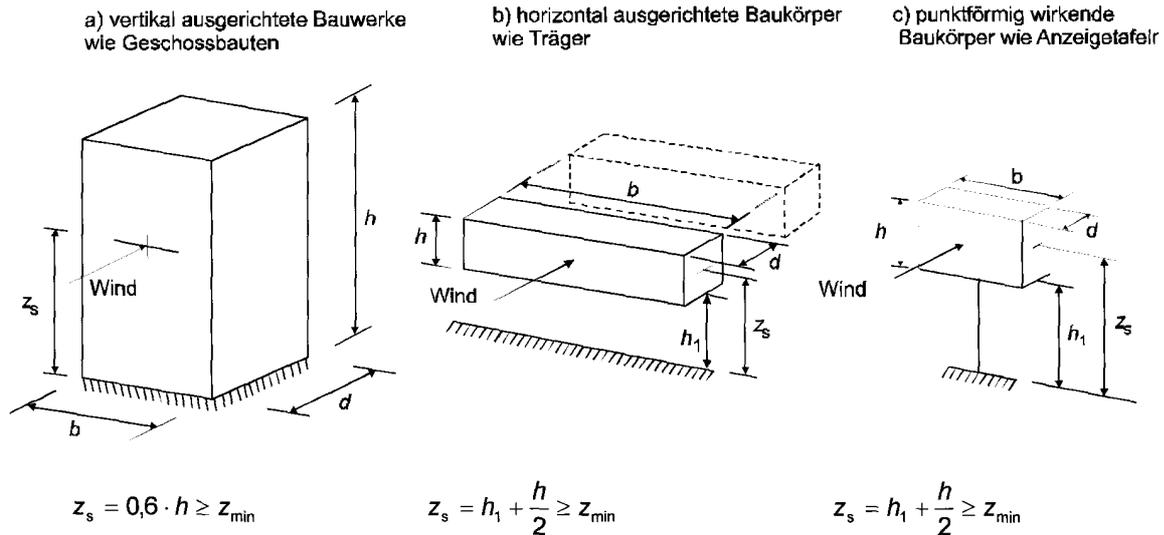
$$c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_e) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_e) \cdot \sqrt{B^2}} \quad (6.3)$$

ANMERKUNG 3 Das Verfahren zur Bestimmung von  $k_p$ ,  $B$  und  $R$  kann im Nationalen Anhang angegeben sein. Ein empfohlenes Verfahren ist in Anhang B angegeben. Ein alternatives Verfahren liefert Anhang C. Die Bestimmung von  $c_s c_d$  unter Verwendung von Anhang C liefert, verglichen mit Anhang B, Werte, die maximal um etwa 5 % größer sind.

(2)P Das genaue Verfahren nach (6.1) gilt unter folgenden Bedingungen:

- der Baukörper entspricht einer der Formen in Bild 6.1,
- die Grundbiegeschwingsform in Windrichtung ist maßgebend und diese Schwingungsform führt zu Verschiebungen in nur einer Richtung (keine Änderung des Vorzeichens).

ANMERKUNG Der Beitrag höherer Schwingungsmoden in Windrichtung ist vernachlässigbar.



ANMERKUNG Zu Anwendungsgrenzen siehe auch 1.1 (2).

**Bild 6.1 — Bedingungen für Bauwerksformen mit Abmessungen und Bezugshöhen  $z_s$**

### 6.3.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise

(1) Für Gebrauchstauglichkeitsnachweise kann die maximale Auslenkung und die Standardabweichung der charakteristischen Beschleunigung in der Höhe  $z$  des Bauwerks verwendet werden. Zur Bestimmung der Auslenkung in Windrichtung wird die äquivalente statische Windkraft nach **AC** 5.3 **AC** verwendet.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann ein Verfahren zur Bestimmung der Auslenkung und der Standardabweichung der Beschleunigung in Windrichtung angeben. Das Verfahren in Anhang B wird empfohlen. Alternativ kann auch das Verfahren in Anhang C verwendet werden.

### 6.3.3 Interferenzfaktor für hohe Bauwerke

(1) Bei schlanken Bauwerken ( $h/d > 4$ ) und bei Schornsteinen ( $h/d > 6,5$ ) in Reihen- oder in Gruppenanordnung ist der Einfluss der erhöhten Turbulenz infolge der Nachlaufturbulenz benachbarter Bauwerke (Interferenz hoher Bauwerke) zu berücksichtigen.

(2) Die Wirkung der Nachlaufturbulenz kann vernachlässigt werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Der Abstand zwischen zwei Bauwerken oder Schornsteinen ist größer als das 25-fache der Abmessung quer zur Anströmrichtung des luvseitig gelegenen Gebäudes oder Schornsteins.
- Die Eigenfrequenz des leeseitig gelegenen Gebäudes ist größer als 1 Hz.

ANMERKUNG Für Fälle außerhalb der Gültigkeit von 6.3.3 (2) werden Sonderuntersuchungen empfohlen.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

## **7 Aerodynamische Beiwerte**

### **7.1 Allgemeines**

(1) Dieser Abschnitt dient zur Ermittlung der aerodynamischen Beiwerte für Baukörper. In Abhängigkeit von der Bauwerksform werden die aerodynamischen Beiwerte angegeben als:

- Innen- und Außendruckbeiwerte, siehe 7.1.1 (1)
- Gesamtdruckbeiwerte, siehe 7.1.1 (2)
- Reibungsbeiwerte, siehe 7.1.1 (3)
- Kraftbeiwerte, siehe 7.1.1 (4)

#### **7.1.1 Bestimmung der aerodynamischen Beiwerte**

(1) Druckbeiwerte werden angegeben für:

- Baukörper als Innen- und Außendruckbeiwerte in 7.2
- Kreiszyylinder als Innendruckbeiwerte in 7.2.9 und Außendruckbeiwerte in 7.9.1.

**ANMERKUNG 1** Außendruckbeiwerte beschreiben die Windeinwirkung auf außenliegende Gebäudeflächen, Innendruckbeiwerte beschreiben die Windeinwirkung auf innenliegende Gebäudeflächen.

**ANMERKUNG 2** Die Außendruckbeiwerte werden als globale und lokale Druckbeiwerte angegeben. Die lokalen Beiwerte beschreiben die Windeinwirkung auf eine 1 m<sup>2</sup> große Lasteinflussfläche und können zur Bemessung kleiner Bauteile oder Verankerungen herangezogen werden. Die globalen Druckbeiwerte beschreiben die Windeinwirkung auf Lasteinflussflächen von 10 m<sup>2</sup>. Diese können auch für Lasteinflussflächen genutzt werden, die größer als 10 m<sup>2</sup> sind.

(2) Gesamtdruckbeiwerte werden angegeben für:

- freistehende Dächer in 7.3
- freistehende Wände Brüstungen und Zäune in 7.4

**ANMERKUNG:** Gesamtdruckbeiwerte beschreiben die Windeinwirkung auf ein Bauwerk, einen Bauteil oder einen Abschnitt pro Flächeneinheit.

(3) Reibungsbeiwerte für Wände und Oberflächen nach 5.3 (3) und 5.3 (4) werden in 7.5 angegeben.

(4) Kraftbeiwerte werden angegeben für:

- Anzeigetafeln, in 7.4.3
- Bauteile mit rechteckigem Querschnitt, in 7.6
- Bauteile mit scharfkantigem Querschnitt, in 7.7
- Bauteile mit regelmäßigem polygonalem Querschnitt, in 7.8
- Kreiszyylinder, in 7.9.2 und 7.9.3
- Kugeln, in 7.10
- Fachwerke und Gerüste, in 7.11

— Flaggen, in 7.12

7.13 liefert Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung der Schlankheit des Baukörpers.

ANMERKUNG Kraftbeiwerte beschreiben die Gesamtwindkraft, die auf ein Bauwerk, ein Bauteil oder einen Abschnitt einwirkt, einschließlich der Reibungskraft, wenn diese nicht ausdrücklich ausgeschlossen wird.

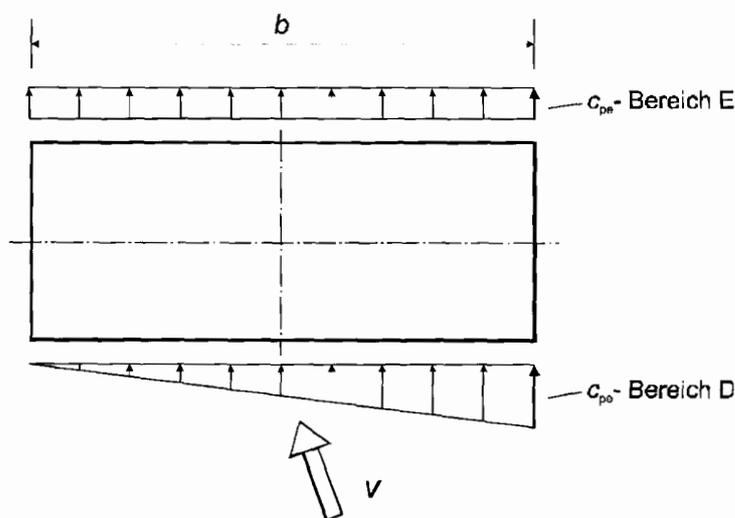
### 7.1.2 Exzentrisch und günstig wirkende Drücke und Kräfte

(1) Verursachen veränderliche Windeinwirkungen signifikante asymmetrische Belastungen und ist das Tragwerk empfindlich für solche Belastungen (z. B. bei Torsion von symmetrischen Gebäuden mit nur einem Aussteifungskern), dann sind diese zu berücksichtigen.

(2) Für Gebäude, freistehende Dächer und Anzeigetafeln gelten 7.3 und 7.4

ANMERKUNG: Der Nationale Anhang kann Verfahren für andere Tragwerke angeben. Es werden folgende Verfahren empfohlen:

a) Bei torsionsanfälligen, rechteckigen Bauteilen kann zur Ermittlung der Torsionsbelastung infolge schräger Anströmung oder infolge fehlender Korrelation zwischen Windeinwirkungen auf verschiedene Tragwerksteile die Druckverteilung nach Bild 7.1 angenommen werden.



**Bild 7.1 — Druckverteilung zur Berücksichtigung von Torsionseffekten. Die Druckzonen und Druckbeiwerte sind in Tabelle 7.1 und Bild 7.5 angegeben.**

b) Andernfalls ist eine asymmetrische Belastung dadurch zu erzeugen, dass die günstig wirkenden Windlasten auf die Bauteile eines Tragwerks vernachlässigt werden.

### 7.1.3 Auswirkungen von Eis und Schnee

(1) Bewirken Eis oder Schnee eine Änderung der Abmessungen eines Bauteils, so dass sich dessen Bezugsfläche oder Umriß ändert, so ist dies zu berücksichtigen.

ANMERKUNG: Weitere Informationen können dem Nationalen Anhang entnommen werden.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

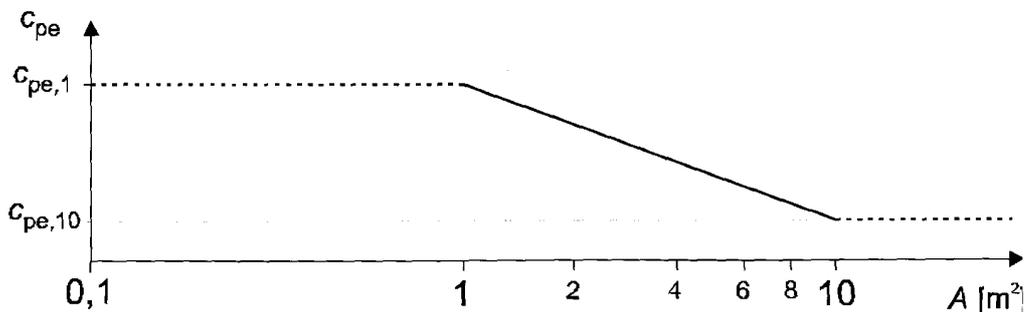
## 7.2 Druckbeiwerte für Gebäude

### 7.2.1 Allgemeines

(1) Die Außendruckbeiwerte  $c_{pe}$  für Bauwerke und Gebäudeabschnitte hängen von der Größe der Lasteinflussfläche  $A$  ab. Sie werden in den für die entsprechende Gebäudeform maßgebenden Tabellen für Lasteinflussflächen von  $1 \text{ m}^2$  und von  $10 \text{ m}^2$  als  $c_{pe,1}$  bzw.  $c_{pe,10}$  angegeben.

ANMERKUNG 1  $c_{pe,1}$ -Werte dienen dem Entwurf kleiner Bauteile und deren Verankerungen, mit einer Lasteinflussfläche kleiner oder gleich  $1 \text{ m}^2$ , wie z. B. Verkleidungs- und Dachelementen.  $c_{pe,10}$ -Werte werden zur Bemessung des gesamten Tragwerks verwendet.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann das Verfahren zur Bestimmung der Außendruckbeiwerte für Lasteinflussflächen größer als  $1 \text{ m}^2$  angeben. Bild 7.2 zeigt das empfohlene Verfahren für Lasteinflussflächen bis  $10 \text{ m}^2$ .



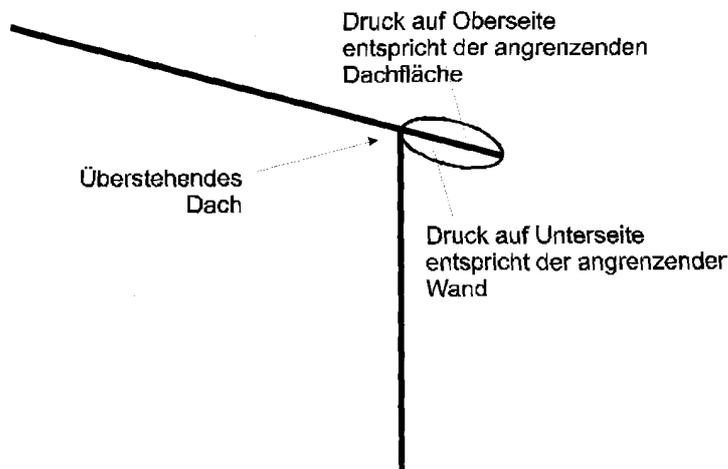
Das Bild liefert folgenden Zusammenhang:

für  $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$   $c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$

**Bild 7.2 — Außendruckbeiwerte  $c_{pe}$  für Gebäude in Abhängigkeit von der Lasteinflussfläche  $A$**

(2) Die Beiwerte  $c_{pe,10}$  und  $c_{pe,1}$  in den Tabellen 7.1 bis 7.5 werden für die orthogonalen Anströmrichtungen  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $180^\circ$  angegeben, geben jedoch den höchsten auftretenden Wert innerhalb des Bereichs  $\Theta = \pm 45^\circ$  um die angegebene orthogonale Anströmrichtung wieder.

(3) Bei Dachüberständen kann für den Unterseitendruck der Wert der anschließenden Wandfläche angenommen werden, auf der Oberseite der Druck der angrenzenden Dachfläche (siehe Bild 7.3).



**Bild 7.3 — Drücke bei Dachüberständen**

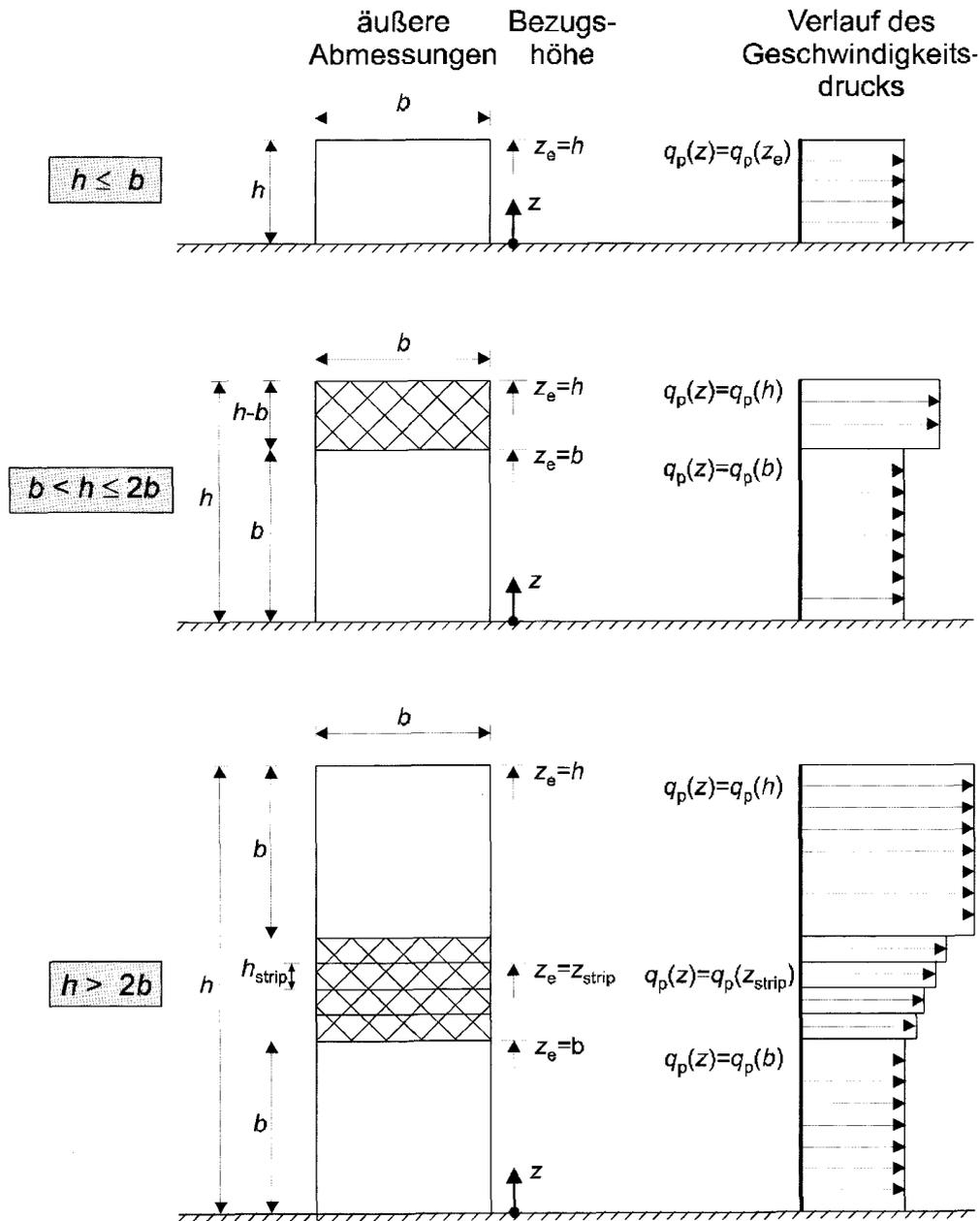
### 7.2.2 Vertikale Wände von Gebäuden mit rechteckigem Grundriss

(1) Für Wände und Baukörper mit rechteckigem Grundriss (Bereich D in Bild 7.5) dürfen die Außendrucke über die Baukörperhöhe gestaffelt nach Bild 7.4 angesetzt werden. Als Bezugshöhe  $z_e$  für den Geschwindigkeitsdruck des jeweiligen Streifens, ist die Höhe seiner Oberkante anzusetzen. Die Staffelung erfolgt in Abhängigkeit vom Verhältnis von Baukörperhöhe zu Baukörperbreite  $h/b$  in folgender Weise

- Für Baukörper, mit  $h \leq b$  wird ein einziger Streifen der Höhe  $h$  angenommen.
- Für Baukörper mit  $b < h \leq 2 \cdot b$  wird ein unterer Streifen der Höhe  $b$  sowie ein oberer Streifen der Höhe  $(h-b)$  angenommen.
- Für Baukörper mit  $h > 2b$  wird ein unterer Streifen der Höhe  $b$  sowie ein oberer Streifen der Höhe  $b$ , der sich von  $(h-b)$  bis  $h$  erstreckt, angenommen. Der Zwischenbereich wird in eine angemessene Anzahl von weiteren Streifen mit den Höhen  $h_{\text{strip}}$  unterteilt, siehe Bild 7.4.

**ANMERKUNG** Die Regeln zur Verteilung des Geschwindigkeitsdruckes auf leeseitigen und windparallelen Wänden (Bereiche A, B, C und E, siehe Bild 7.5) können im Nationalen Anhang angegeben werden oder dürfen individuell für das Bauvorhaben definiert werden. Es wird empfohlen, die Gebäudehöhe als Bezugshöhe anzunehmen.

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
 EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)



ANMERKUNG: Der Geschwindigkeitsdruck ist für jeden horizontalen Streifen gleichmäßig verteilt anzunehmen.

**Bild 7.4 — Bezugshöhe  $z_e$  in Abhängigkeit von  $h$  und  $b$  und Winddruckverteilung**

(2) Die Außendruckbeiwerte  $c_{pe,10}$  und  $c_{pe,1}$  sind für die Bereiche A bis E in Bild 7.5 definiert.

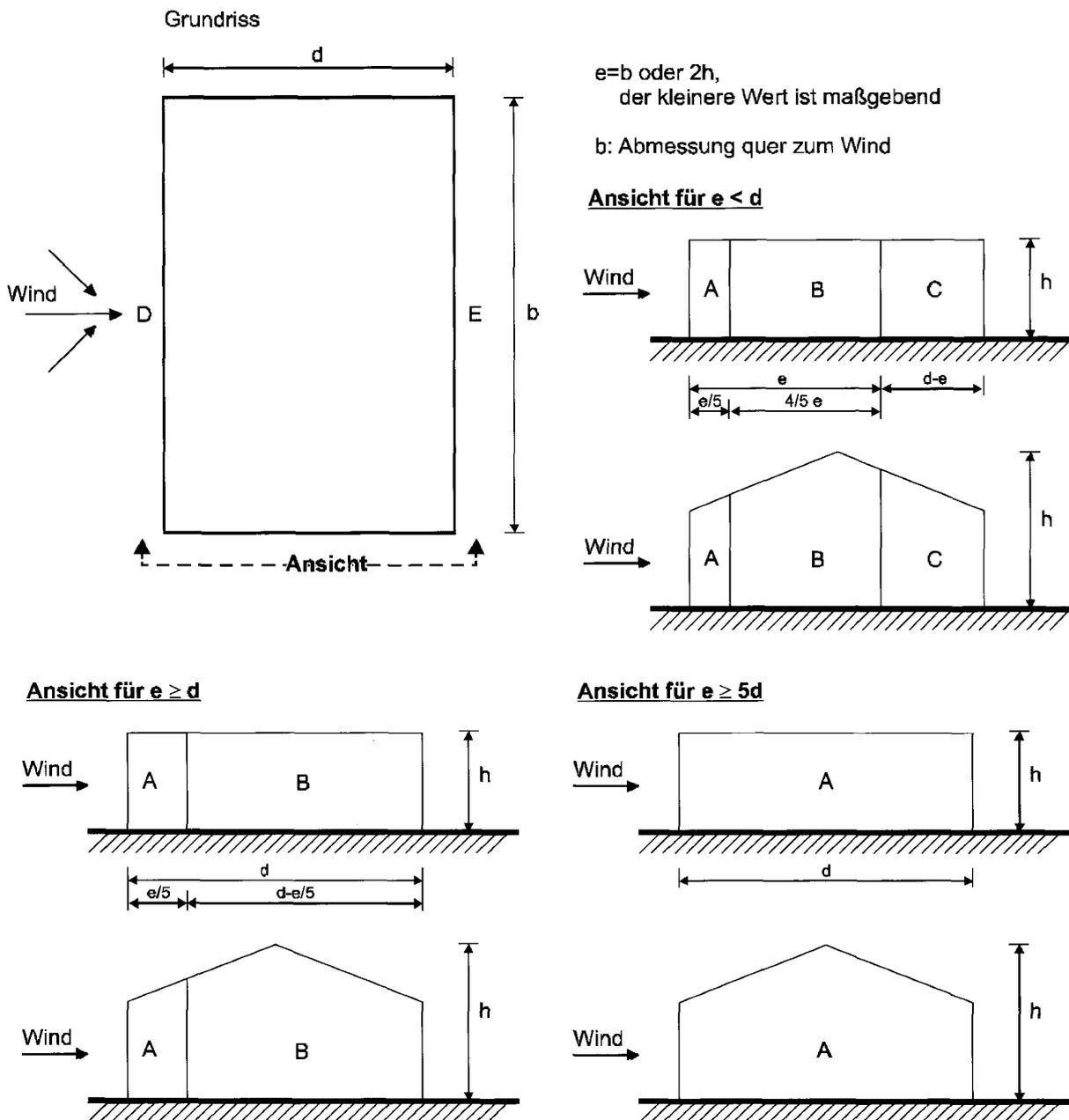


Bild 7.5 — Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden

ANMERKUNG 1: Die Werte für  $c_{pe,10}$  und  $c_{pe,1}$  können im Nationalen Anhang angegeben sein. Die empfohlenen Werte sind in Tabelle 7.1 abhängig von  $h/d$  angegeben. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Die Werte der Tabelle 7.1 gelten auch für Gebäude mit geneigten Dächern wie z. B. Sattel- oder Pultdächern.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**Tabelle 7.1 — Empfohlene Außendruckbeiwerte für vertikale Wände rechteckiger Gebäude**

Bereich	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

ANMERKUNG 2: Für Gebäude mit  $h/d > 5$  wird die Gesamtwindlast anhand der Kraftbeiwerte aus 7.6 bis 7.8 und 7.9.2 ermittelt

(3) Wird die Windlast auf Bauwerke mit gleichzeitigem Ansatz der Druckbeiwerte auf die lee- und luvseitigen Wände (Bereiche D und E) ermittelt, darf die Korrelation des Winddruckes auf die lee- und luvseitigen Wände mit berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Die fehlende Korrelation zwischen der Luv- und Leeseite darf wie folgt berücksichtigt werden: Für Gebäude mit  $h/d \geq 5$  ist die resultierende Kraft mit 1 zu multiplizieren. Für Gebäude mit  $h/d \leq 1$ , darf die resultierende Kraft mit 0,85 reduziert werden. Für Zwischenwerte von  $h/d$  darf linear interpoliert werden.

### 7.2.3 Flachdächer

(1) Flachdächer sind Dächer, die weniger als  $\pm 5^\circ$  geneigt sind.

**A1** (2) Das Dach sollte in Bereiche unterteilt werden.

ANMERKUNG Die Bereiche dürfen im Nationalen Anhang definiert werden. Die empfohlenen Bereiche sind in Bild 7.6 angegeben. **A1**

(3) Die Bezugshöhe  $z_e$  für Flachdächer mit abgerundeten Ecken oder mansardenartigen Abschrägungen ist mit  $z_e = h$  anzusetzen, bei Flachdächern mit Attika gilt nach Bild 7.6  $z_e = h + h_p$ .

**A1** (4) Die Druckbeiwerte sollten für jeden Bereich definiert werden.

ANMERKUNG 1 Die Druckbeiwerte dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die empfohlenen Werte sind in Tabelle 7.2 angegeben.

ANMERKUNG 2 Der Druckbeiwert für die Attika sollte nach 7.4 ermittelt werden. **A1**

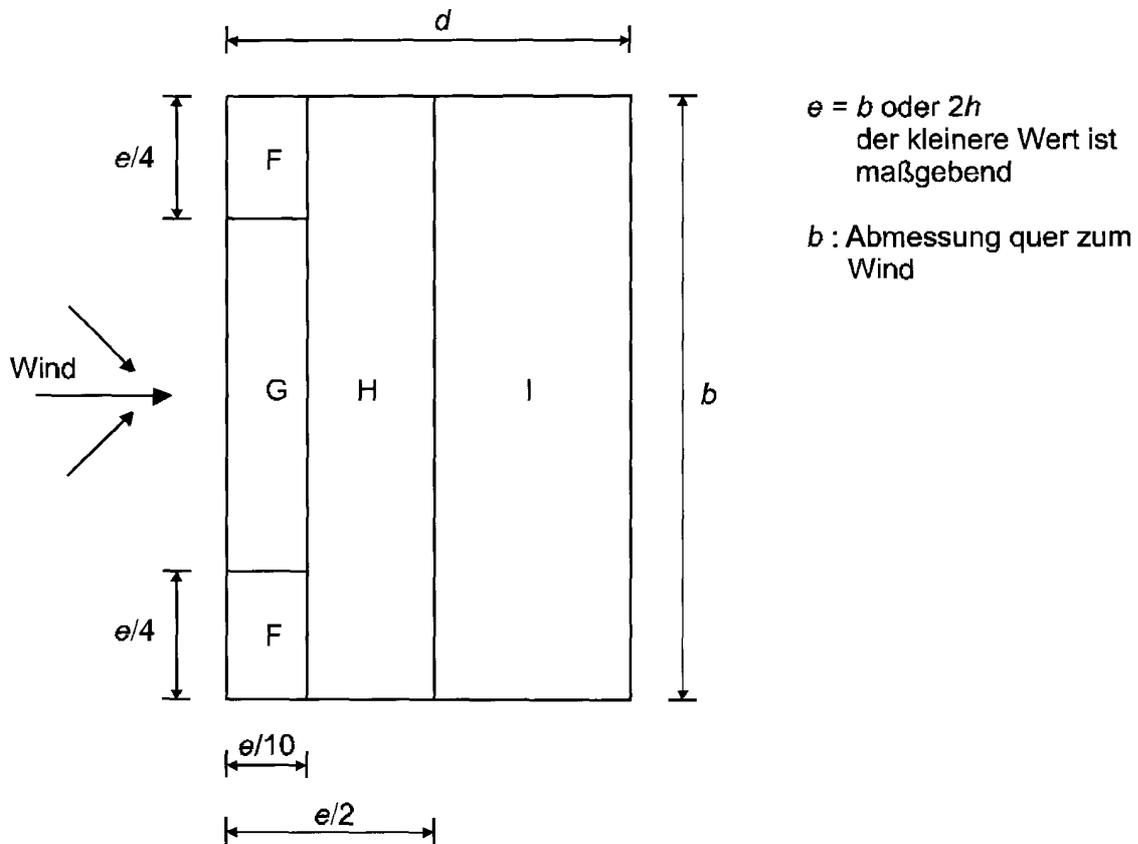
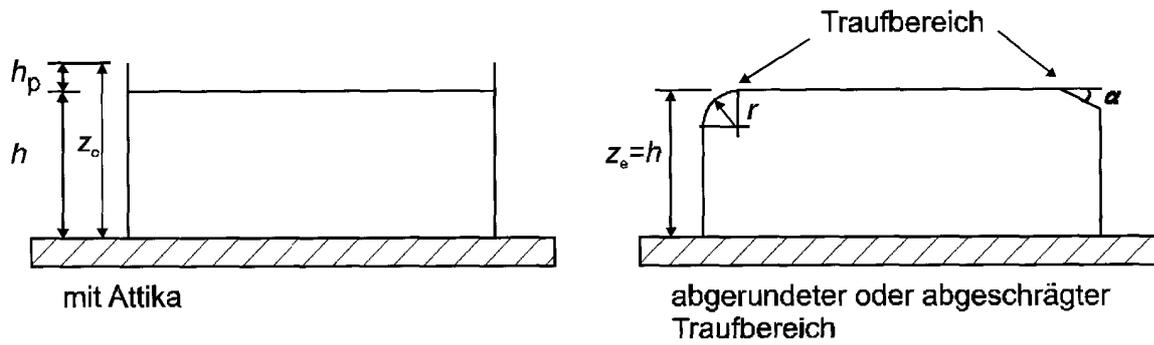


Bild 7.6 — Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**Tabelle 7.2 —  $\text{A}_1$  Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte für Flachdächer  $\text{A}_1$**

Dachtyp		Bereich								
		F		G		H		I		
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	
scharfkantiger Traufbereich		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
mit Attika	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
		-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
	$h_p/h=0,05$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
		-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
	Abgerundeter Traufbereich	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4	-0,4	+0,2	-0,2
		$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2
$r/h = 0,20$		-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2	
mansarden- artig abgeschrägter Traufbereich	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2	
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4	-0,4	+0,2	-0,2	
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5	-0,5	+0,2	-0,2	

**ANMERKUNG 1** Bei Dächern mit Attika oder abgerundetem Traufbereich darf für Zwischenwerte  $h_p/h$  und  $r/h$  linear interpoliert werden.

**ANMERKUNG 2** Bei Dächern mit mansardendachartigem Traufbereich darf für Zwischenwerte von  $\alpha$  zwischen  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  und  $60^\circ$  linear interpoliert werden. Für  $\alpha > 60^\circ$  darf zwischen den Werten für  $\alpha = 60^\circ$  und den Werten für Flachdächer mit scharfkantigem Traufbereich linear interpoliert werden.

**ANMERKUNG 3** Im Bereich I, für den positive und negative Werte angegeben werden,  $\text{A}_1$  sollten  $\text{A}_1$  beide Werte berücksichtigt werden.

**ANMERKUNG 4** Für die Schräge des mansardendachartigen Traufbereichs selbst werden die Außendruckbeiwerte in Tabelle 7.4a "Außendruckbeiwerte für Satteldächer und Trogdächer" Anströmrichtung  $\theta = 0^\circ$ , Bereich F und G, in Abhängigkeit von dem Neigungswinkel des mansardendachartigen Traufbereichs angegeben.

**ANMERKUNG 5** Für den abgerundeten Traufbereich selbst werden die Außendruckbeiwerte entlang der Krümmung durch lineare Interpolation entlang der Kurve zwischen den Werten der vertikalen Wand und auf dem Dach ermittelt

**$\text{A}_1$  ANMERKUNG 6** Bei mansardenartigen abschrägten Traufbereichen mit einem horizontalen Maß weniger als  $e/10$  sollten die Werte für scharfkantige Traufbereiche verwendet werden. Für die Definition von  $e$  siehe Bild 7.6.  $\text{A}_1$

#### **7.2.4 Pultdächer**

**A1** (1) Das Dach einschließlich der überstehenden Teile sollte in Bereiche unterteilt werden.

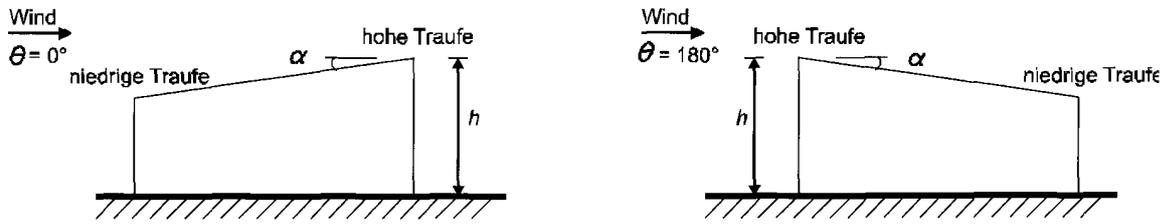
**ANMERKUNG** Die Bereiche dürfen im Nationalen Anhang definiert werden. Die empfohlenen Bereiche sind in Bild 7.7 angegeben. **A1**

(2) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist mit  $z_e = h$  anzunehmen.

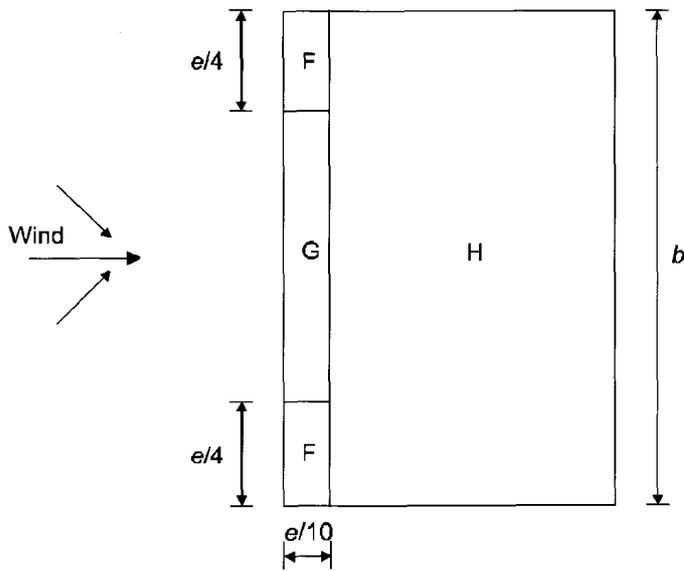
**A1** (3) Die Druckbeiwerte sollten für jeden Bereich definiert werden.

**ANMERKUNG** Die Druckbeiwerte dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die empfohlenen Werte sind in Tabelle 7.3a und Tabelle 7.3b angegeben. **A1**

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
 EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)



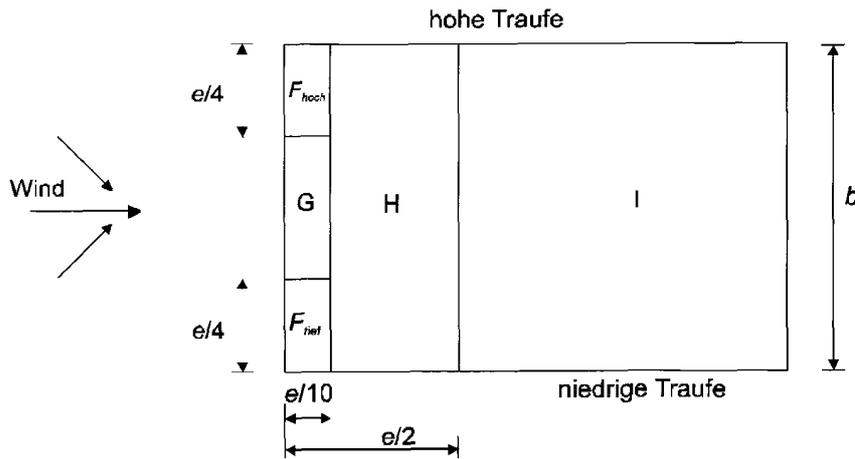
(a) allgemein



(b) Anströmrichtung  $\theta = 0^\circ$  und  $\theta = 180^\circ$

$e = b$  oder  $2h$   
 der kleinere Wert ist maßgebend

$b$  : Abmessung quer zum Wind



(c) Anströmrichtung  $\theta = 90^\circ$

Bild 7.7 — Einteilung der Dachflächen bei Pultdächern

Tabelle 7.3a — **A)** Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte für Pultdächer **A)**

Neigungswinkel $\alpha$	Bereich für die Anströmrichtung $\Theta = 0^\circ$						Bereich für die Anströmrichtung $\Theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Tabelle 7.3b — **A)** Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte für Pultdächer **A)**

Neigungswinkel $\alpha$	Bereich für die Anströmrichtung $\Theta = 90^\circ$									
	$F_{hoch}$		$F_{tief}$		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

ANMERKUNG 1 Für die Anströmrichtung  $\theta = 0^\circ$  (siehe Tabelle 7.3a) und bei Neigungswinkeln von  $\alpha = +5^\circ$  bis  $+45^\circ$  ändert sich der Druck schnell zwischen positiven und negativen Werten; daher werden sowohl der positive als auch der negative Wert angegeben. Bei solchen Dächern sind beide Fälle getrennt zu berücksichtigen:  
1. ausschließlich positive Werte und  
2. ausschließlich negative Werte.

ANMERKUNG 2 Für Dachneigungen zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden, sofern nicht das Vorzeichen der Druckbeiwerte wechselt. Der Wert Null ist für Interpolationszwecke angegeben.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**7.2.5 Sattel- und Trogdächer**

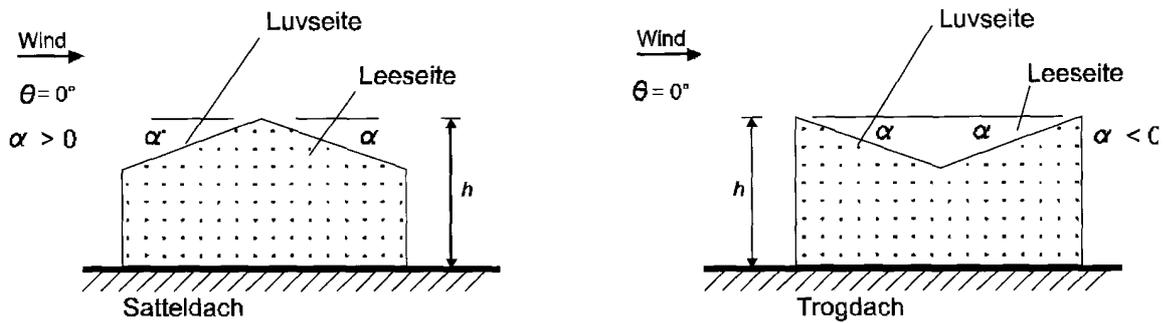
(1) **A1** Das Dach einschließlich der überstehenden Teile sollte in Bereiche unterteilt werden.

ANMERKUNG Die Bereiche dürfen im Nationalen Anhang definiert werden. Die empfohlenen Bereiche sind in Bild 7.8 angegeben. **A1**

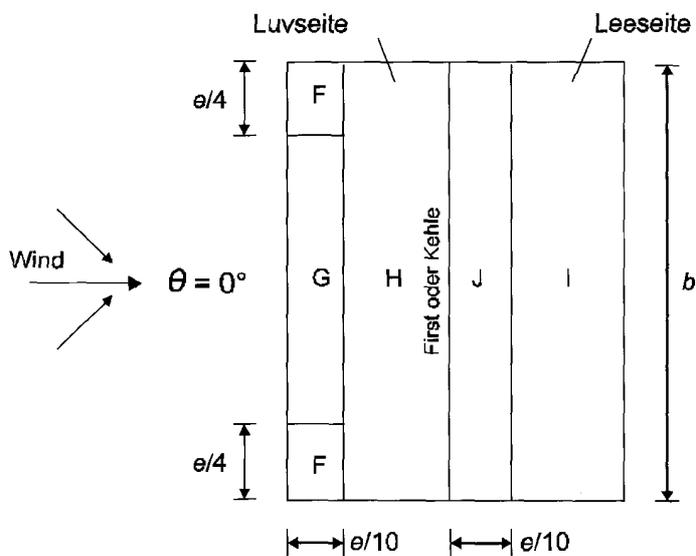
(2) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist mit  $z_e = h$  anzunehmen.

(3) **A1** Die Druckbeiwerte sollten für jeden Bereich definiert werden.

ANMERKUNG Die Druckbeiwerte dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die empfohlenen Werte sind in Tabelle 7.4a und Tabelle 7.4b angegeben. **A1**



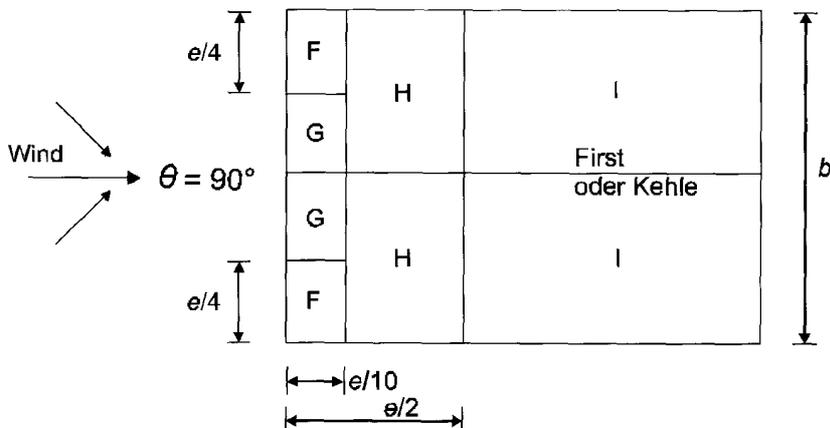
(a) allgemein



(b) Anströmrichtung  $\theta = 0^\circ$

$e = b$  oder  $2h$   
der kleinere Wert ist maßgebend

$b$  : Abmessung quer zum Wind



(c) Anströmrichtung  $\theta = 90^\circ$

Bild 7.8 — Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogdächern

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

Tabelle 7.4a — **A)** Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte für Sattel- und Trogdächer **A)**

Neigungswinkel $\alpha$	Bereich für die Anströmrichtung $\Theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

ANMERKUNG 1 Für die Anströmrichtung  $\theta = 0^\circ$  und einen Neigungswinkel von  $\alpha = -5^\circ$  bis  $+45^\circ$  ändert sich der Druck schnell zwischen positiven und negativen Werten; daher werden sowohl der positive als auch der negative Wert angegeben. Bei solchen Dächern sind vier Fälle zu berücksichtigen, bei denen jeweils der kleinste bzw. größte Werte für die Bereiche F, G und H mit den kleinsten bzw. größten Werten der Bereiche I und J kombiniert werden. Das Mischen von positiven und negativen Werten auf einer Dachfläche ist nicht zulässig.

ANMERKUNG 2 Für Dachneigungen zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden, sofern nicht das Vorzeichen der Druckbeiwerte wechselt (Zwischen den Werten  $\alpha = +5^\circ$  und  $\alpha = -5^\circ$  darf nicht interpoliert werden, stattdessen sind die Werte für Flachdächer nach 7.2.3 zu benutzen) Der Wert Null ist für Interpolationszwecke angegeben.

Tabelle 7.4b — **A1** Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte für Sattel- und Trogdächer **A1**

Neigungswinkel $\alpha$	Bereich für die Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

### 7.2.6 Walmdächer

- (1) **A1** Das Dach einschließlich der überstehenden Teile sollte in Bereiche unterteilt werden.

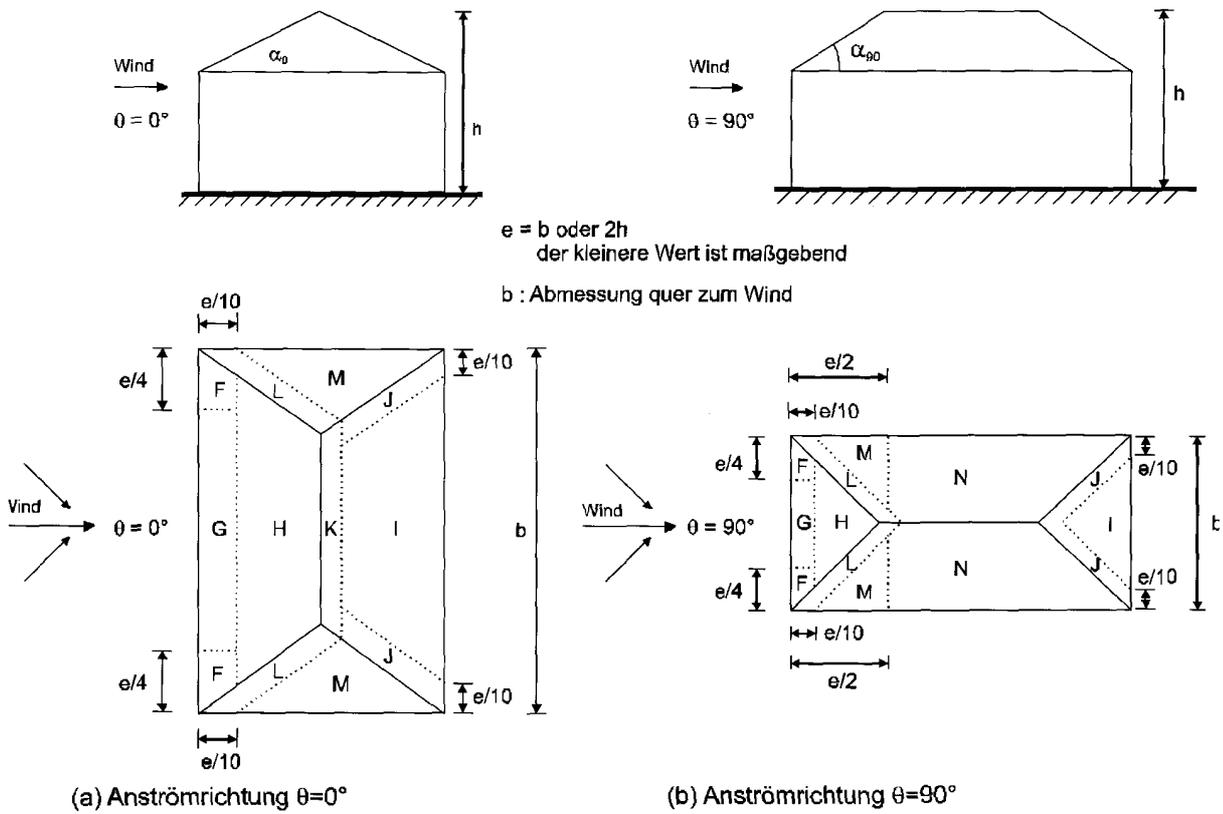
ANMERKUNG Die Bereiche dürfen im Nationalen Anhang definiert werden. Die empfohlenen Bereiche sind in Bild 7.9 angegeben. **A1**

- (2) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist mit  $z_e = h$  anzunehmen.

- (3) **A1** Die Druckbeiwerte sollten für jeden Bereich definiert werden.

ANMERKUNG Die Druckbeiwerte dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die empfohlenen Werte sind in Tabelle 7.5 angegeben. **A1**

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**



**Bild 7.9 — Einteilung der Dachflächen bei Walmdächern**

Tabelle 7.5 — **A1** Empfohlene Werte für Außendruckbeiwerte für Walmdächer **A1**

Neigungswinkel $\alpha_0$ für $\Theta=0^\circ$ $\alpha_{90}$ für $\Theta=90^\circ$	Bereich für die Anströmrichtung $\Theta = 0^\circ$ und $\Theta = 90^\circ$																	
	F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6		-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4	
	+0,0		+0,0		+0,0													
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5		-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	
	+0,2		+0,2		+0,2													
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,7	-1,2	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,5		+0,7		+0,4													
45°	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0		-0,3		-0,6		-0,3		-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2		
	+0,7		+0,7		+0,6													
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	

ANMERKUNG 1 Für die Anströmrichtung  $\theta = 0^\circ$  und einen Neigungswinkel von  $\alpha = +5^\circ$  bis  $+45^\circ$  ändert sich der Druck auf der Luvseite schnell zwischen positiven und negativen Werten; daher werden sowohl positive als auch negative Werte angegeben. Bei solchen Dächern sind zwei Fälle separat zu berücksichtigen: 1. ausschließlich positive Werte und 2. ausschließlich negative Werte. Das Mischen von positiven und negativen Werten auf einer Dachfläche ist nicht zulässig.

ANMERKUNG 2 Für Werte der Dachneigung zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden, sofern nicht das Vorzeichen der Druckbeiwerte wechselt. Der Wert Null ist für Interpolationszwecke angegeben.

ANMERKUNG 3 Die luvseitige Dachneigung ist maßgebend für die Druckbeiwerte.

### 7.2.7 Sheddächer

(1) Für Sheddächer werden die Druckbeiwerte aus den Werten für Pultdächer bzw. für Trogdächer abgeleitet und entsprechend der Lage der Dachflächen nach Bild 7.10 angepasst.

- Für Sheddächer nach Bild 7.10 (a) und (b) werden die Druckbeiwerte für Pultdächer nach 7.2.4 benutzt. Bei einer Anströmrichtung parallel zu den Firsten gelten die Werte der Tabelle 7.3 für  $\Theta = 90^\circ$  unverändert. Für die Anströmrichtungen  $\Theta = 0^\circ$  und  $180^\circ$  werden die Werte der Tabelle 7.3 mit den Faktoren von Bild 7.10 (a) bzw. (b) abgemindert.
- Für Sheddächer nach Bild 7.10 (c) und (d) werden die Druckbeiwerte für Trogdächer nach 7.2.5 benutzt. Bei einer Anströmrichtung parallel zu den Firsten gelten die Werte der Tabelle 7.4 für  $\Theta = 90^\circ$  unverändert. Für die Anströmrichtungen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  werden die Werte der Tabelle 7.4 für  $\Theta = 0^\circ$  mit den Faktoren von Bild 7.10 (c) bzw. (d) abgemindert.

(2) Dabei sind die Bereiche F, G und J nur für die erste, luvseitige Dachfläche zu benutzen. Für die übrigen Dachflächen sind die Bereiche H und I zu benutzen.

(3) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist mit  $z_e = h$  anzunehmen, siehe Bild 7.10.

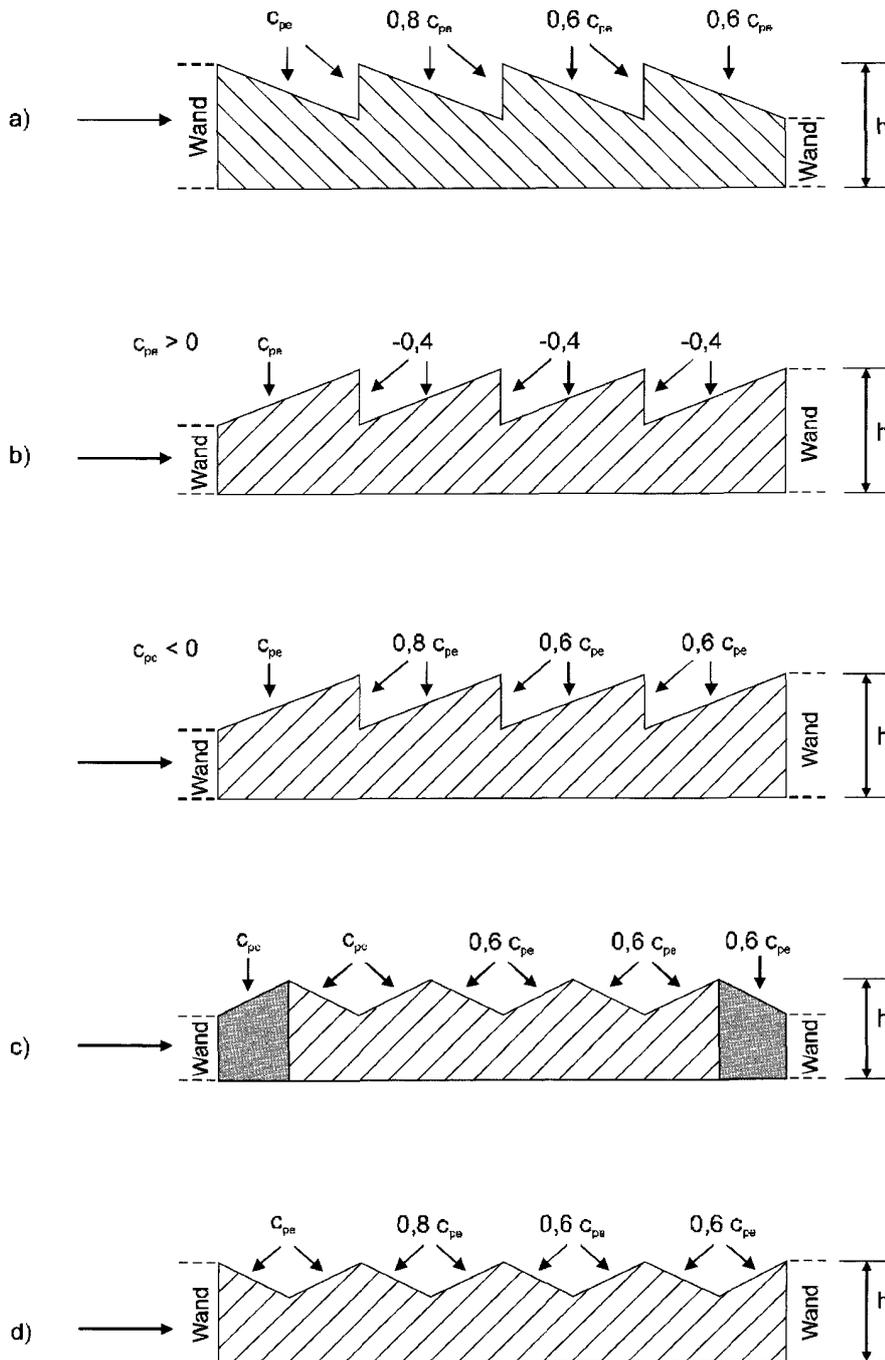
**A1** (4) Für Sheddächer ohne resultierende horizontale Kräfte sollte ein Rauigkeitsfaktor von mindestens 0,05 (unabhängig von der Rauigkeit des Bauwerks) für Windlasten normal zu den Flächen des Sheddachs berücksichtigt werden. Demzufolge sind Sheddächer für die folgende resultierende horizontale Kraft zu bemessen:

$$0,05 \cdot q_{p,z_e} \cdot A_{\text{Shed}}$$

Dabei ist

$A_{\text{Shed}}$  die Grundfläche des Sheddachs". **A1**

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)



ANMERKUNG 1 Für die Konfiguration b müssen, abhängig vom Vorzeichen des Druckbeiwertes  $c_{pe}$  der ersten Dachfläche, zwei Fälle untersucht werden.

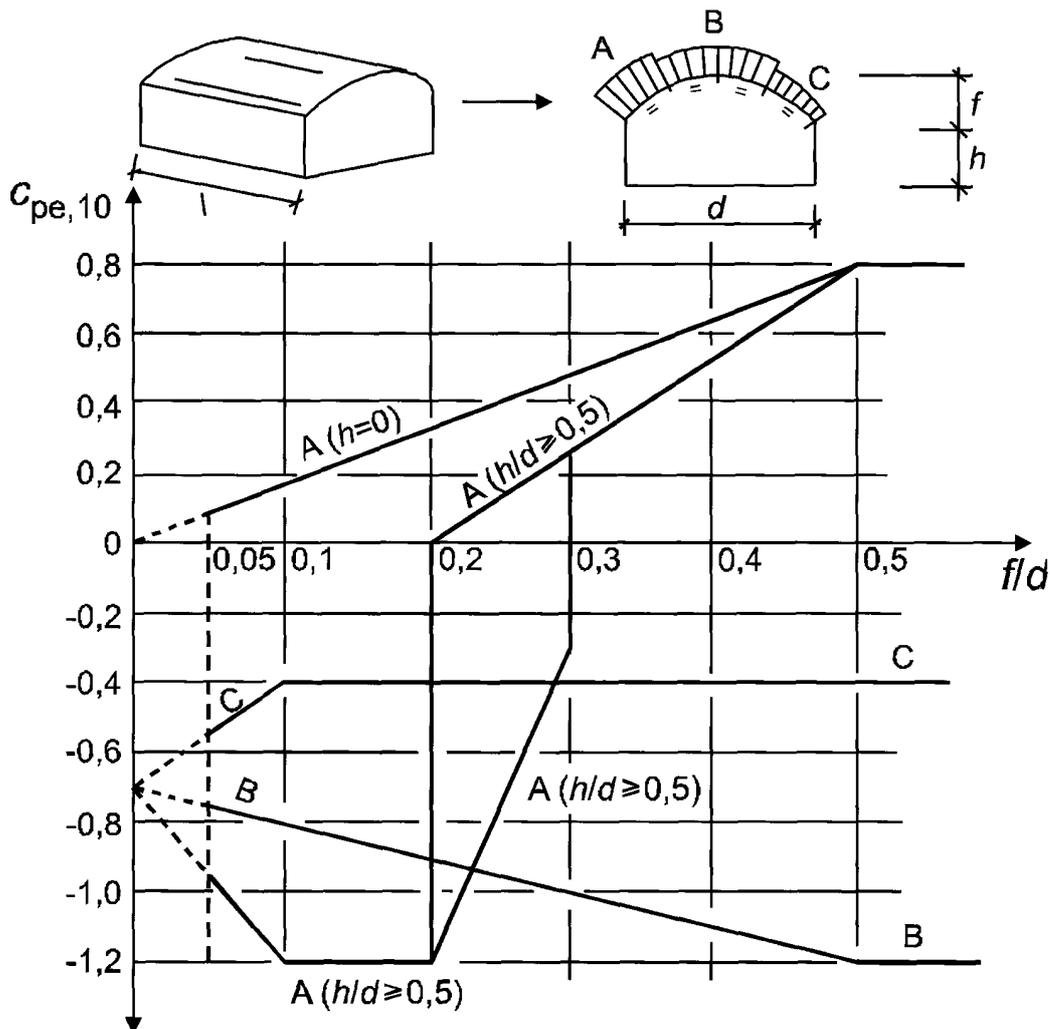
ANMERKUNG 2 Für die Konfiguration c ist der erste  $c_{pe}$ -Wert der  $c_{pe}$ -Wert eines Pultdaches, die folgenden  $c_{pe}$ -Werte sind jene eines Trogdaches.

**Bild 7.10 — Außendruckbeiwerte bei Sheddächern**

## 7.2.8 Gekrümmte Dächer und Kuppeln

(1) Dieser Abschnitt gilt für kreiszylindrische Dächer und für Kuppeln.

ANMERKUNG Die für kreiszylindrische Dächer und Kuppeln anzusetzenden  $c_{pe,10}$ - und  $c_{pe,1}$ -Werte können im Nationalen Anhang angegeben werden. Die empfohlenen  $c_{pe,10}$ -Werte sind für verschiedene Bereiche in Bild 7.11 und 7.12 angegeben. Die Bezugshöhe ist  $z_e = h + f$ .

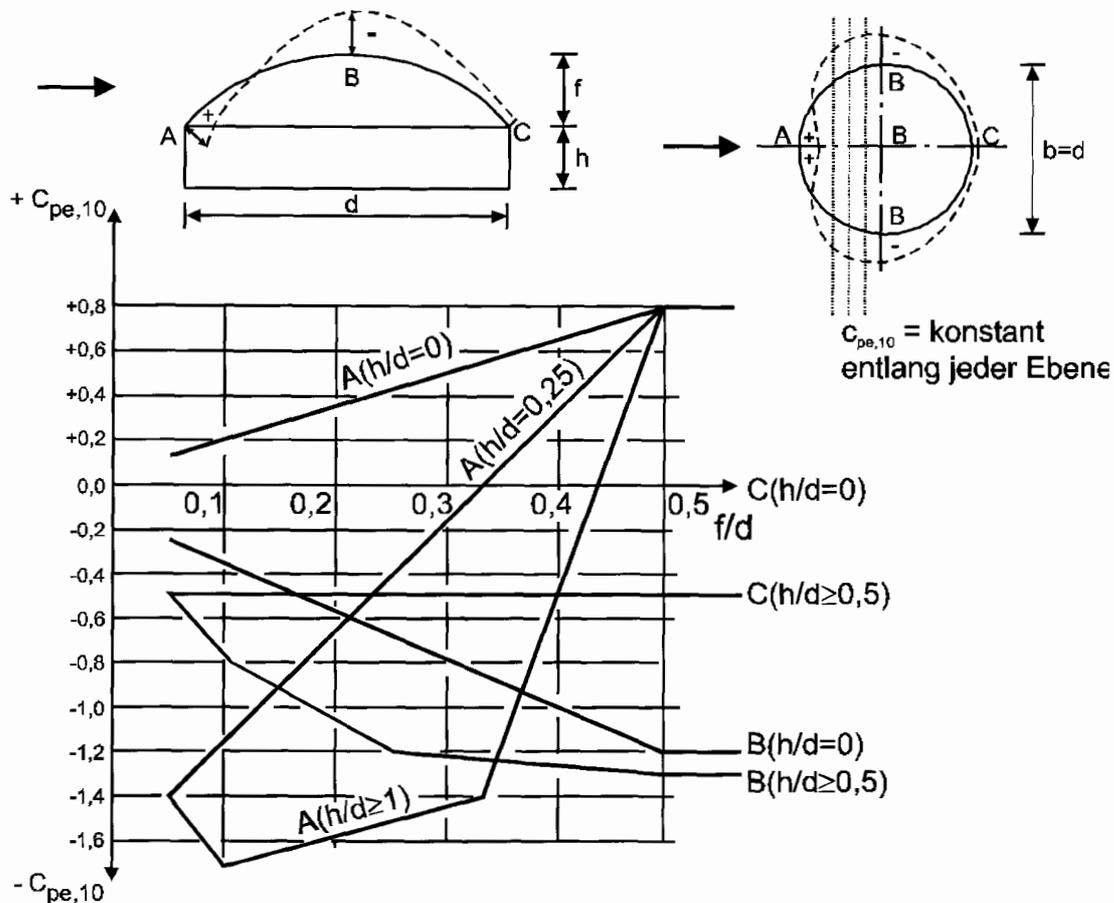


AC Für Bereich A:

- für  $0 < h/d < 0,5$  ist der  $c_{pe,10}$ -Wert durch lineare Interpolation zu ermitteln;
- für  $0,2 \leq f/d \leq 0,3$  und  $h/d \geq 0,5$  müssen zwei  $c_{pe,10}$ -Werte berücksichtigt werden;
- das Diagramm gilt nicht für Flachdächer. AC

Bild 7.11 — Außendruckbeiwerte  $c_{pe,10}$  für gekrümmte Dächer von Baukörpern mit rechteckigem Grundriss

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)



Der  $c_{pe,10}$ -Wert ist entlang der Kreisbogenabschnitte, die durch den Schnitt der Schale mit einer Ebene senkrecht zur Anströmrichtung definiert sind, konstant. Er kann als erste Näherung durch lineare Interpolation zwischen den Werten entlang windparalleler Kreisbögen für die Bereiche A, B und C ermittelt werden. In gleicher Weise können die  $c_{pe,10}$ -Werte durch lineare Interpolation anhand des obigen Bildes für den Bereich A ermittelt werden, wenn  $0 < h/d < 1$  gilt, und für B oder C, wenn  $0 < h/d < 0,5$  gilt.

**Bild 7.12 — Außendruckbeiwerte  $c_{pe,10}$  für Kuppeln mit kreisrunder Basis.**

(2) Die Druckbeiwerte für die Wandflächen von rechteckigen Gebäuden mit gekrümmten Dächern sind dem 7.2.2 zu entnehmen.

### 7.2.9 Innendruck

(1) P In Räumen mit durchlässigen Außenwänden ist der Innendruck zu berücksichtigen wenn er ungünstig wirkt. Innen- und Außendruck sind als gleichzeitig wirkend anzunehmen. Dabei wirkt der Innendruck auf alle Raumabschlüsse eines Innenraumes gleichzeitig und mit gleichen Vorzeichen.

(2) Der Innendruckbeiwert  $c_{pi}$  ist von der Größe und der Verteilung der Öffnungen in der Gebäudehülle abhängig. Beträgt an mindestens zwei Seiten eines Gebäudes (Fassade oder Dach) die Gesamtfläche der Öffnungen einer jeden Seite mehr als 30 % der Fläche einer Seite, so gelten die beiden Seiten als gänzlich offene Seiten und die Windlast auf dieses Gebäude ist anhand der Regeln in den 7.3 und 7.4 zu ermitteln.

**ANMERKUNG** Gebäudeöffnungen schließen kleine Öffnungen wie Fenster, Lüftungsklappen, Rauchabzüge etc. sowie eine Grundundichtigkeit ein, die sich z. B. durch undichte Türen, Fenster oder Versorgungsschächte ergibt. Diese Grundundichtigkeit liegt üblicherweise in Bereichen zwischen 0,01 % bis 0,1 % einer Seitenfläche. Der Nationale Anhang kann hierzu weitere Informationen angeben.

(3) Gebäudeöffnungen, wie Fenster oder Türen, dürfen im Hinblick auf den Innendruck für den Grenzzustand der Tragfähigkeit als geschlossen angesehen werden, sofern sie nicht betriebsbedingt bei Sturm geöffnet werden müssen, z. B. Ausfahrtstore von Gebäuden mit Rettungsdiensten. In anderen Fällen sollte die Bemessungssituation mit geöffneten Fenstern oder Türen als außergewöhnlicher Lastfall nach EN 1990 betrachtet werden.

ANMERKUNG Das Prüfen der außergewöhnlichen Bemessungssituation ist besonders für große Innenwände (mit hohem Gefährdungspotenzial) wichtig, wenn diese, aufgrund von Öffnungen in der Gebäudehülle, die gesamte äußere Windlast abtragen.

(4) Eine Gebäudefläche ist für den Innendruck als dominant anzusehen, wenn die Gesamtfläche der Öffnungen dieser Seite mindestens doppelt so groß ist wie die Summe aller Öffnungen und Undichtigkeiten in den restlichen Seitenflächen.

ANMERKUNG Diese Definition kann auch auf einzelne Innenräume angewendet werden.

(5) Bei einem Gebäude mit einer dominanten Fläche ist der Innendruck von dem Außendruck, der auf die Öffnungen der dominanten Seitenfläche wirkt, abhängig. Ist die Gesamtfläche der Öffnungen in der dominanten Seite doppelt so groß wie die Summe aller Öffnungen in den restlichen Seitenflächen, gilt:

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe} \quad (7.1)$$

Ist die Gesamtfläche der Öffnungen in der dominanten Seite mindestens dreimal so groß wie die Summe aller Öffnungen in den restlichen Seitenflächen, gilt:

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe} \quad (7.2)$$

Der  $c_{pe}$ -Wert ist hierbei der Außendruckbeiwert der dominanten Seite. Liegen die Öffnungen der dominanten Seitenfläche in Bereichen mit unterschiedlichen Außendruckbeiwerten, ist ein mit den Öffnungsflächen gewichteter Mittelwert für  $c_{pe}$  zu ermitteln.

Ist die Gesamtfläche der Öffnungen in der dominanten Seite kleiner als das Dreifache, jedoch größer als das Doppelte der Summe aller Öffnungen in den restlichen Seitenflächen, darf der  $c_{pi}$ -Wert linear interpoliert werden.

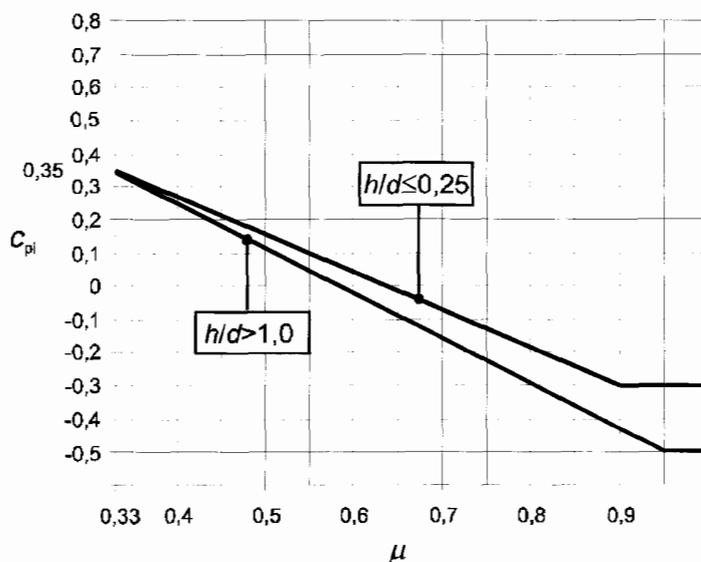
(6) Bei Gebäuden ohne eine dominante Seite ist der  $c_{pi}$ -Wert anhand von Bild 7.13 zu ermitteln. Der  $c_{pi}$ -Wert ist dabei abhängig von der Höhe  $h$  und der Tiefe  $d$  des Gebäudes, sowie vom Flächenparameter  $\mu$  für jede Anströmrichtung  $\Theta$ . Der Flächenparameter  $\mu$  ergibt sich wie folgt:

$$\mu = \frac{\text{Gesamtfläche der Öffnungen in den leeseitigen und windparallelen Flächen mit } c_{pe} \leq 0}{\text{Gesamtfläche aller Öffnungen}} \quad (7.3)$$

ANMERKUNG 1 Dies gilt für Fassaden und Dächer von Gebäuden mit und ohne Zwischenwänden.

ANMERKUNG 2 Lässt sich kein sinnvoller Flächenparameter  $\mu$  ermitteln oder ist die Berechnung nicht möglich, so ist der  $c_{pi}$ -Wert als der ungünstigere Wert aus +0,2 und -0,3 anzunehmen.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**



ANMERKUNG Bei  $0,25 < h/d \leq 1$  darf linear interpoliert werden.

**Bild 7.13 — Innendruckbeiwerte bei gleichförmig verteilten Öffnungen**

(7) Als Bezugshöhe  $z_i$  für den Innendruck ist die Bezugshöhe  $z_e$  für den Außendruck der Seitenflächen (siehe 5.1 (1)P) anzusetzen, deren Öffnungen zur Entstehung des Innendruckes führen. Gibt es mehrere Öffnungen, so ist der größte sich ergebende  $z_e$ -Wert für die Bezugshöhe  $z_i$  maßgebend.

Der Innendruckbeiwert für offene Silos und Schornsteine ist

$$c_{pi} = -0,60 \quad (7.4)$$

Der Innendruckbeiwert für belüftete Tanks mit kleinen Öffnungen ist

$$c_{pi} = -0,40 \quad (7.5)$$

Die Bezugshöhe  $z_i$  entspricht der Höhe  $h$  des Bauwerks.

### 7.2.10 Druck auf mehrschalige Wand- und Dachflächen

(1) Die Windlast ist für jede Schale getrennt zu berechnen.

(2) Die Porosität  $\mu$  einer Schale ist definiert als das Verhältnis der Summe aller Öffnungsflächen zur Gesamtfläche der Seite. Eine Schale ist als dicht anzusehen, wenn deren Porosität  $\mu$  kleiner 0,1 % ist.

(3) Ist nur eine Schale porös, ist die Windlast auf die dichte Schale nach 5.2 (3) als Differenz der Innen- und Außendrucke zu berechnen. Ist mehr als eine Schale porös, ist die Windlast abhängig von:

- den relativen Steifigkeiten der Schalen,
- den Außen- und Innendrücken,
- dem Schalenabstand,
- der Porosität der Schalen,
- den Öffnungen in seitlichen Begrenzungswänden der Schicht zwischen den Schalen.

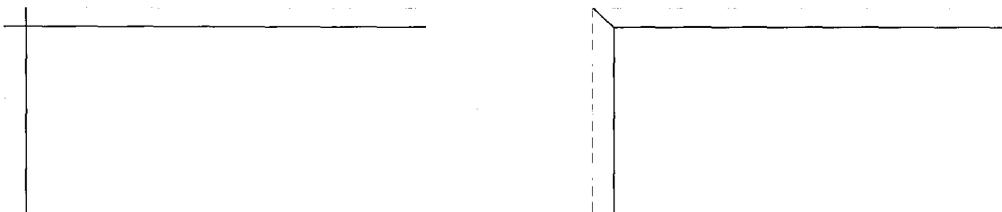
**ANMERKUNG 1** Der Nationale Anhang kann Angaben zu der Windeinwirkung auf mehrschalige Außenwände und Dächer machen. Als erste Näherung wird empfohlen, die Windeinwirkung auf die Schale mit der größten Steifigkeit als Differenz der Innen- und Außendrucke zu berechnen.

**ANMERKUNG 2** Der Nationale Anhang kann Werte für Fälle vorgeben, bei denen die seitlichen Begrenzungswände der Zwischenschicht luftdicht ausgebildet sind (siehe Bild 7.14(a)) und bei denen der lichte Abstand der Schalen kleiner als 100 mm ist (Wärmedämmungen eingeschlossen, wenn diese nicht belüftet sind). Als Näherung können folgende Regeln angewendet werden:

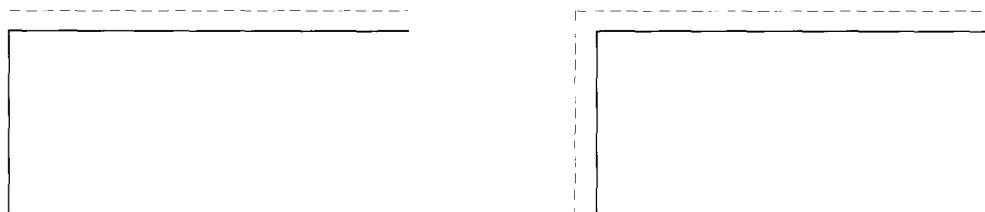
- Bei Wänden und Dächern mit dichter Innenschale und poröser Außenschale mit gleichmäßig verteilten Öffnungen wird die Windeinwirkung auf die Außenschale mit  $c_{p,net} = 2/3 \cdot c_{pe}$  für den Überdruck und mit  $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pe}$  für den Unterdruck (Sog) berechnet. Die Windeinwirkung auf die Innenschale wird mit  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$  ermittelt.
- Bei Wänden und Dächern mit einer dichten Innenschale und einer dichten, steiferen Außenschale wird die Windeinwirkung auf die Außenschale mit  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$  berechnet.
- Bei Wänden und Dächern mit poröser Innenschale mit gleichmäßig verteilten Öffnungen und dichter Außenschale wird die Windeinwirkung auf die Außenschale mit  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$  und die Windeinwirkung auf die Innenschale mit  $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pi}$  berechnet.
- Bei Wänden und Dächern mit einer dichten Außenschale und einer dichten, steiferen Innenschale wird die Windeinwirkung auf die Außenschale mit  $c_{p,net} = c_{pe}$  und die Windeinwirkung auf die Innenschale mit  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$  berechnet.

Bewirken Öffnungen eine Interaktion der Luftschichten mit denen hinter anderen Gebäudeoberflächen, als den hier betrachteten Wandflächen (siehe Bild 7.14 (b)), sind diese Regeln nicht anwendbar.

**(a) geschlossener Randbereich**



**(b) offener Randbereich**



**Bild 7.14 — Eckdetails von mehrschaligen Außenwänden.**

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

### 7.3 Freistehende Dächer

(1) Freistehende Dächer sind Dächer, an die sich nach unten keine durchgehenden Wände anschließen, wie z. B. Tankstellendächer oder Bahnsteigüberdachungen.

(2) Der Versperrungsgrad  $\varphi$  unterhalb eines freistehenden Daches ist nach Bild 7.15 das Verhältnis der versperrten Fläche zur Gesamtquerschnittsfläche unterhalb des Daches. Beide Flächen sind senkrecht zur Anströmrichtung zu ermitteln.

ANMERKUNG  $\varphi = 0$  repräsentiert ein völlig freistehendes Dach ohne Versperrung und  $\varphi = 1$  ist als ein vollkommen versperrtes freistehendes Dach zu verstehen (dies ist kein geschlossenes Gebäude).

(3) Die in den Tabellen 7.6 bis 7.8 angegebenen Kraftbeiwerte  $c_f$  und die Gesamtdruckbeiwerte  $c_{p,net}$  für  $\varphi = 0$  und  $\varphi = 1$  berücksichtigen die resultierende Windbelastung auf der Ober- und Unterseite des Daches für alle Anströmrichtungen. Zwischenwerte dürfen interpoliert werden.

(4) Leeseits der maximalen Versperrung sind  $c_{p,net}$ -Werte für  $\varphi = 0$  anzusetzen.

(5) Der Kraftbeiwert  $c_f$  charakterisiert die resultierende Windkraft. Der resultierende Gesamtdruckbeiwert  $c_{p,net}$  beschreibt den maximalen lokalen Druck für alle Anströmrichtungen. Dieser ist bei der Bemessung von Dachelementen und Verankerungen zu verwenden.

(6) Freistehende Dächer sind für folgende Lastanordnungen zu berechnen:

— **A1** Bei freistehenden Pultdächern (Tabelle 7.6) sollte die Lage der resultierenden Windkraft als Abstand von der luvseitigen Seite definiert werden.

ANMERKUNG Die Lage darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die empfohlene Lage ist in Bild 7.16 angegeben. **A1**

— bei Sattel- oder Trogdächern (Tabelle 7.7) ist die resultierende Windkraft jeweils in der Mitte einer geneigten Dachfläche anzunehmen (Bild 7.17). Zusätzlich ist für ein Sattel- bzw. Trogdach eine einseitige Belastung der Dachfläche infolge minimaler oder maximaler Windlast anzusetzen.

— bei freistehenden Sheddächern ist die Last auf die einzelnen Felder aus den  $c_{p,net}$ -Werten nach Tabelle 7.7 und aus den Abminderungsfaktoren  $\psi_{mc}$  nach Tabelle 7.8 zu bestimmen.

Für zweischalige freistehende Dächer sind die Regeln in 7.2.10 anzuwenden.

(7) Reibungskräfte sind zu berücksichtigen (siehe 7.5).

(8) Die Referenzhöhe  $z_o$  entspricht der Höhe  $h$  entsprechend den Bildern 7.16 und 7.17.

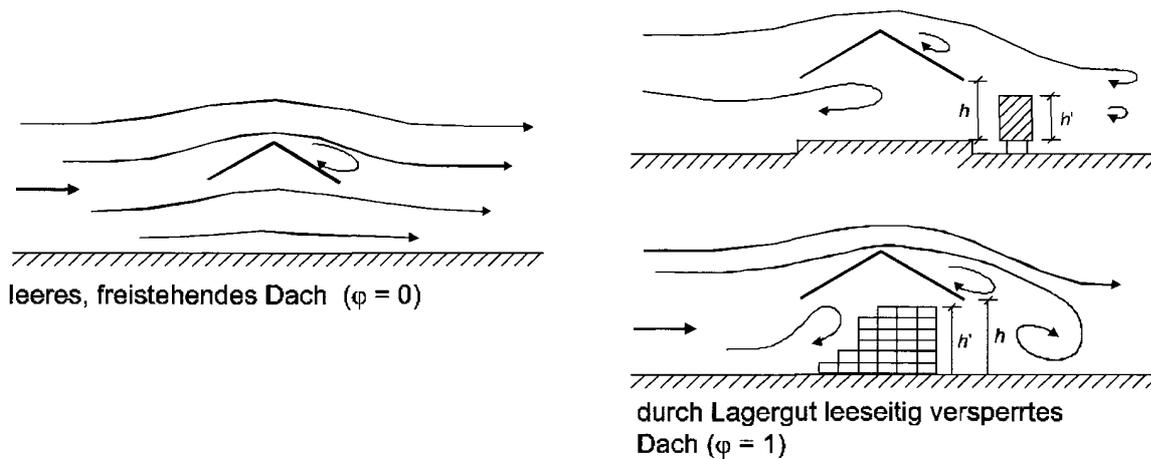


Bild 7.15 — Umströmung freistehender Dächer

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**Tabelle 7.6 —  $c_{p,net}$  und  $c_f$  Werte für freistehende Pultdächer**

			Gesamtdruckbeiwerte $c_{p,net}$ Flächeneinteilung		
Neigungswinkel $\alpha$	Versperrungsgrad $\varphi$	Kraftbeiwert $c_f$	Bereich A	Bereich B	Bereich C
0°	Maximum alle $\varphi$	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Maximum alle $\varphi$	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Maximum alle $\varphi$	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	AC - 1,6 AC	- 2,6	- 2,7
15°	Maximum alle $\varphi$	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
20°	Maximum alle $\varphi$	+ 0,8	+ 1,7	+ 2,9	+ 2,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,3	- 2,2	- 2,8	- 2,9
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
25°	Maximum alle $\varphi$	+ 1,0	+ 2,0	+ 3,1	+ 2,3
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,6	- 2,6	- 3,2	- 3,2
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,5	- 2,8
30°	Maximum alle $\varphi$	+ 1,2	+ 2,2	+ 3,2	+ 2,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,8	- 3,0	- 3,8	- 3,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,2	- 2,7
<b>ANMERKUNG</b> + Werte bedeuten eine nach unten gerichtete resultierende Windlast - Werte bedeuten eine nach oben gerichtete resultierende Windlast					

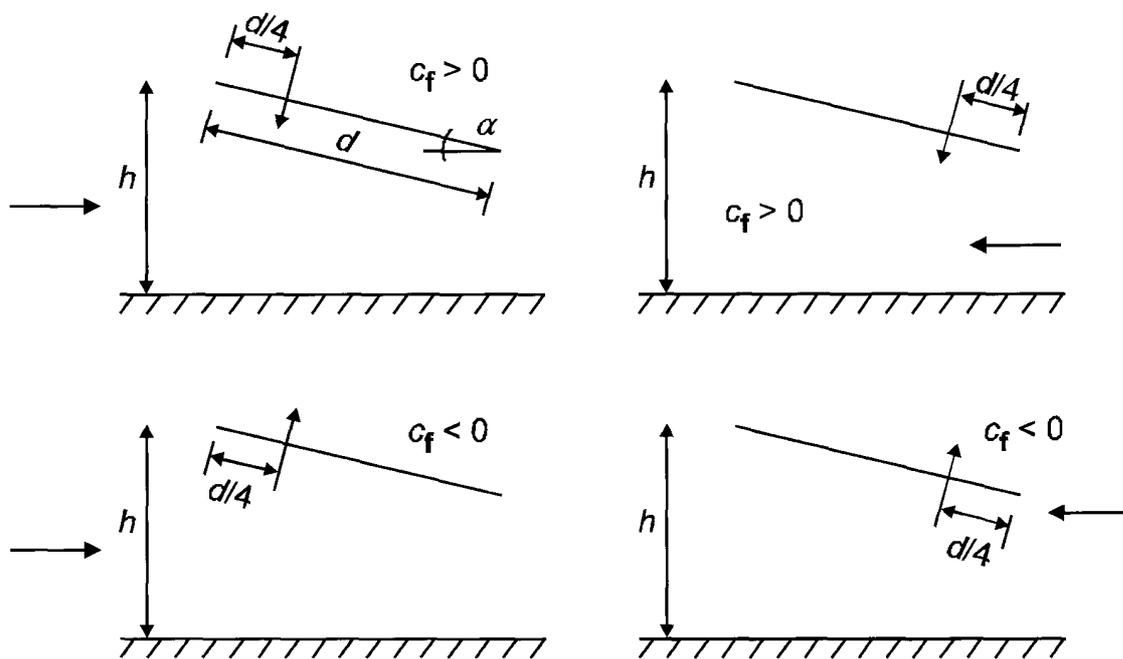


Bild 7.16 — Lage der resultierenden Windkraft bei freistehenden Pultdächern

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

Tabelle 7.7 —  $c_{p,net}$  und  $c_f$  Werte für freistehende Sattel- und Trogdächer

			Gesamtdruckbeiwerte $c_{p,net}$ Flächeneinteilung			
Neigungswinkel $\alpha$ [°]	Versperrungsgrad $\varphi$	Kraftbeiwert $c_f$	Bereich A	Bereich B	Bereich C	Bereich D
- 20	Maximum alle $\varphi$	+ 0,7	+ 0,8	+ 1,6	+ 0,6	+ 1,7
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,9	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
- 15	Maximum alle $\varphi$	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,5	+ 0,7	+ 1,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 10	Maximum alle $\varphi$	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,4	+ 0,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,5	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 5	Maximum alle $\varphi$	+ 0,3	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,8	+ 0,8
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,7	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
+ 5	Maximum alle $\varphi$	+ 0,3	+ 0,6	+ 1,8	+ 1,3	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,6	- 1,4	- 1,4	- 1,1
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,5
+ 10	Maximum alle $\varphi$	+ 0,4	+ 0,7	+ 1,8	+ 1,4	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,7	- 1,5	- 1,4	- 1,4
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,8
+ 15	Maximum alle $\varphi$	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,9	+ 1,4	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,8	- 0,9	- 1,7	- 1,4	- 1,8
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+ 20	Maximum alle $\varphi$	+ 0,6	+ 1,1	+ 1,9	+ 1,5	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,2	- 1,8	- 1,4	- 2,0
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+ 25	Maximum alle $\varphi$	+ 0,7	+ 1,2	+ 1,9	+ 1,6	+ 0,5
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,0	- 1,4	- 1,9	- 1,4	- 2,0
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 2,0	- 1,5	- 2,0

Tabelle 7.7 (fortgesetzt)

			Gesamtdruckbeiwerte $c_{p,net}$ Flächeneinteilung			
Neigungswinkel $\alpha$ [°]	Versperrungsgrad $\varphi$	Kraftbeiwert $c_f$	Bereich A	Bereich B	Bereich C	Bereich D
+ 30	Maximum alle $\varphi$	+ 0,9	+ 1,3	+ 1,9	+ 1,6	+ 0,7
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,0	- 1,4	- 1,9	- 1,4	- 2,0
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 1,8	- 1,4	- 2,0
ANMERKUNG + Werte bedeuten eine nach unten gerichtete resultierende Windlast - Werte bedeuten eine nach oben gerichtete resultierende Windlast						

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
 EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

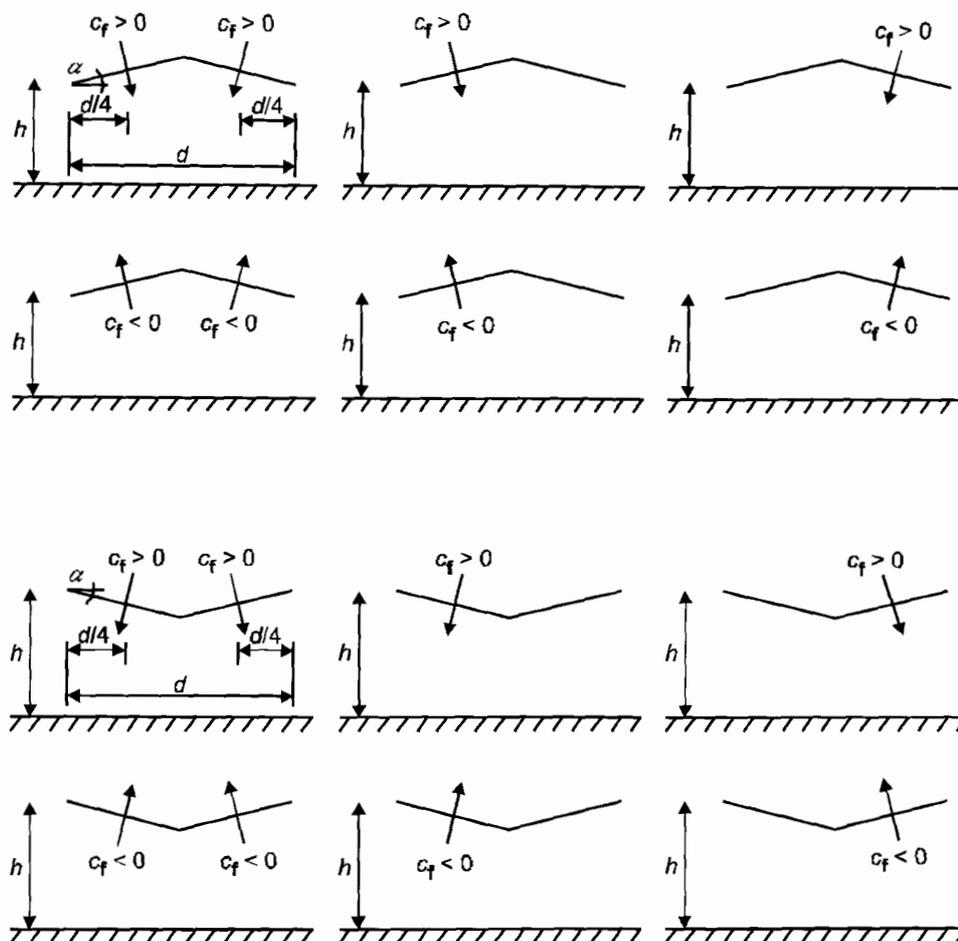


Bild 7.17 — Lastanordnungen bei Sattel- und Trogdächern

(9) Die Lasten auf die einzelnen Dachflächen von freistehenden Sheddächern (siehe Bild 7.18) werden aus den Lasten für ein einzelnes isoliert stehendes Sattel oder Trogdach mit dem Abminderungsfaktor  $\psi_{mc}$  nach Tabelle 7.8 ermittelt.

Tabelle 7.8 — Abminderungsfaktoren  $\psi_{mc}$  für freistehende Sheddächer

Dachfläche nach Bild 7.18	Ort	$\psi_{mc}$ Wert für alle $\varphi$	
		Vom First (nach unten) Kraft- und Druckbeiwerte	Von der Kehle (nach oben) Kraft- und Druckbeiwerte
1	Erste Dachfläche	1,0	0,8
2	Zweite Dachfläche	0,9	0,7
3	Dritte Dachfläche	0,7	0,7

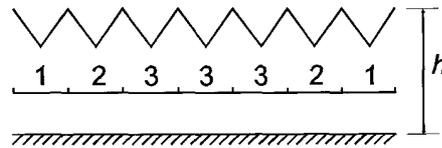


Bild 7.18 — Freistehende Sheddächer mit Dachflächenbezeichnung

#### 7.4 Freistehende Wände, Brüstungen, Zäune und Anzeigetafeln

(1) Die resultierenden Druckbeiwerte  $c_{p,net}$  für freistehende Wände und Brüstungen sind abhängig vom Völligkeitsgrad  $\varphi$ . Für massive Wände ist der Völligkeitsgrad  $\varphi$  gleich 1 anzusetzen, für Wände mit einem Öffnungsanteil von 20 % ist  $\varphi = 0,8$ . Undichte Wände und Zäune mit einem Völligkeitsgrad  $\varphi \leq 0,8$  sind wie Fachwerke nach 7.11 zu behandeln.

ANMERKUNG Zu Brüstungen und Lärmschutzwänden auf Brücken, siehe Abschnitt 8.

##### 7.4.1 Freistehende Wände und Brüstungen

(1) Freistehende Wände und Brüstungen sind für die Bestimmung der Druckbeiwerte  $c_{p,net}$  vom jeweiligen Ende aus, in Bereiche A bis D nach Bild 7.19 zu unterteilen.

ANMERKUNG Die Zahlenwerte der Druckbeiwerte  $c_{p,net}$  für freistehende Wände und Brüstungen können im Nationalen Anhang angegeben werden. Empfohlene Werte sind in Tabelle 7.9 für zwei verschiedene Völligkeitsgrade angegeben (siehe 7.4 (1)). Diese Werte entstehen bei schiefer Anströmung von geradlinig verlaufenden Wänden (siehe Bild 7.19) oder bei Wind aus zwei Richtungen bei abgewinkelten Verlauf nach Bild 7.19. Die Bezugsfläche ist in beiden Fällen die Gesamtfläche der Wand. Bei Völligkeitsgraden  $\varphi$  zwischen 0,8 und 1,0 dürfen die Beiwerte linear interpoliert werden.

Tabelle 7.9 — Druckbeiwerte  $c_{p,net}$  für freistehende Wände und Brüstungen

Völligkeitsgrad	Bereich		A	B	C	D
$\varphi = 1$	gerade Wand	$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$l/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	abgewinkelte Wand mit Schenkellänge $\geq h^a$		$\pm 2,1$	$\pm 1,8$	$\pm 1,4$	$\pm 1,2$
$\varphi = 0,8$			$\pm 1,2$	$\pm 1,2$	$\pm 1,2$	$\pm 1,2$

<sup>a</sup> Bei Schenkellängen des abgewinkelten Wandstücks zwischen 0,0 und h darf linear interpoliert werden.

(2) Die Bezugshöhe freistehender Wände  $z_e$  ist nach Bild 7.19 mit  $z_e = h$  anzusetzen. Die Bezugshöhe für Brüstungen und Geländer ist nach Bild 7.6 mit  $z_e = (h + h_p)$  anzusetzen.

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

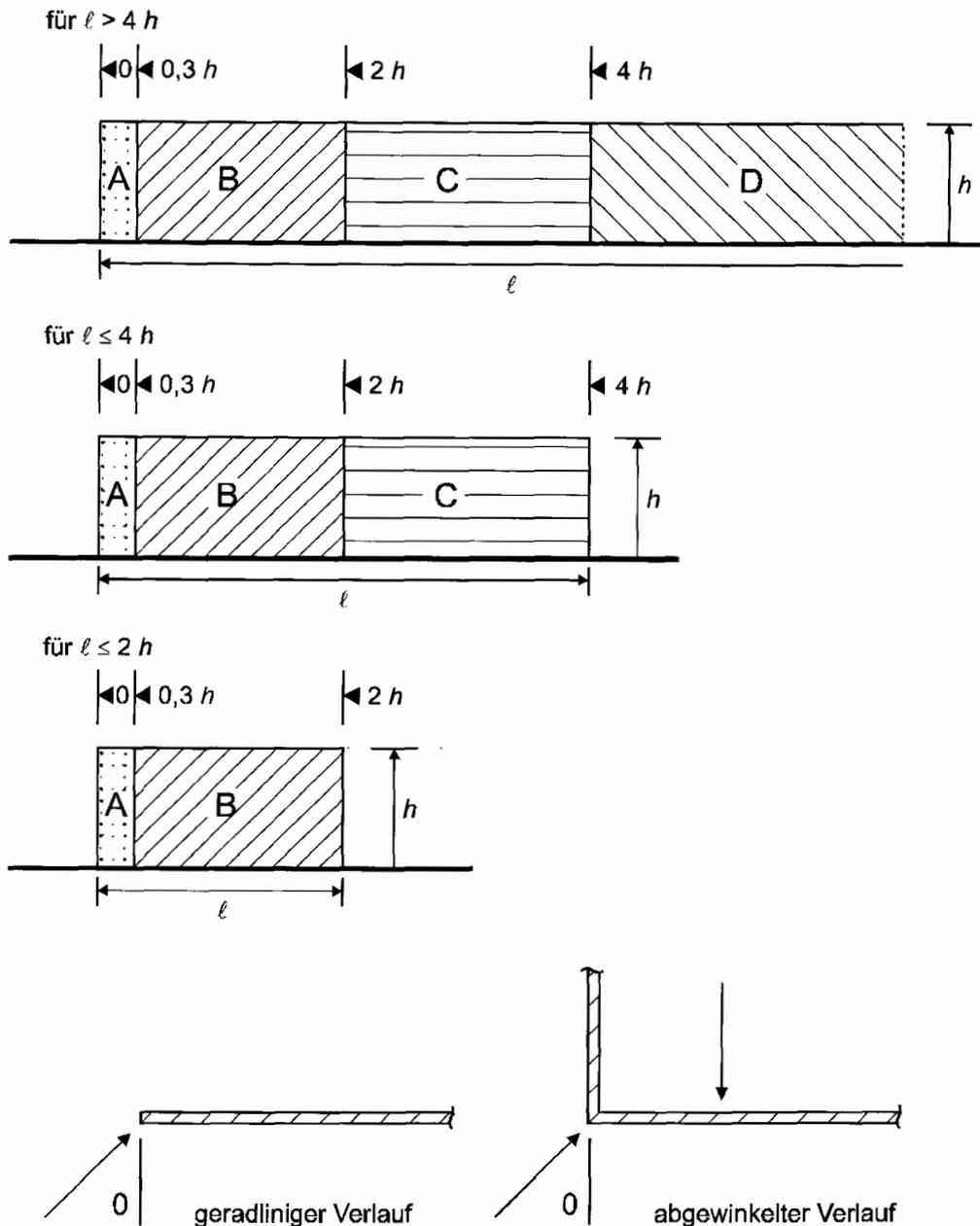


Bild 7.19 — Flächeneinteilung bei freistehenden Wänden und Brüstungen

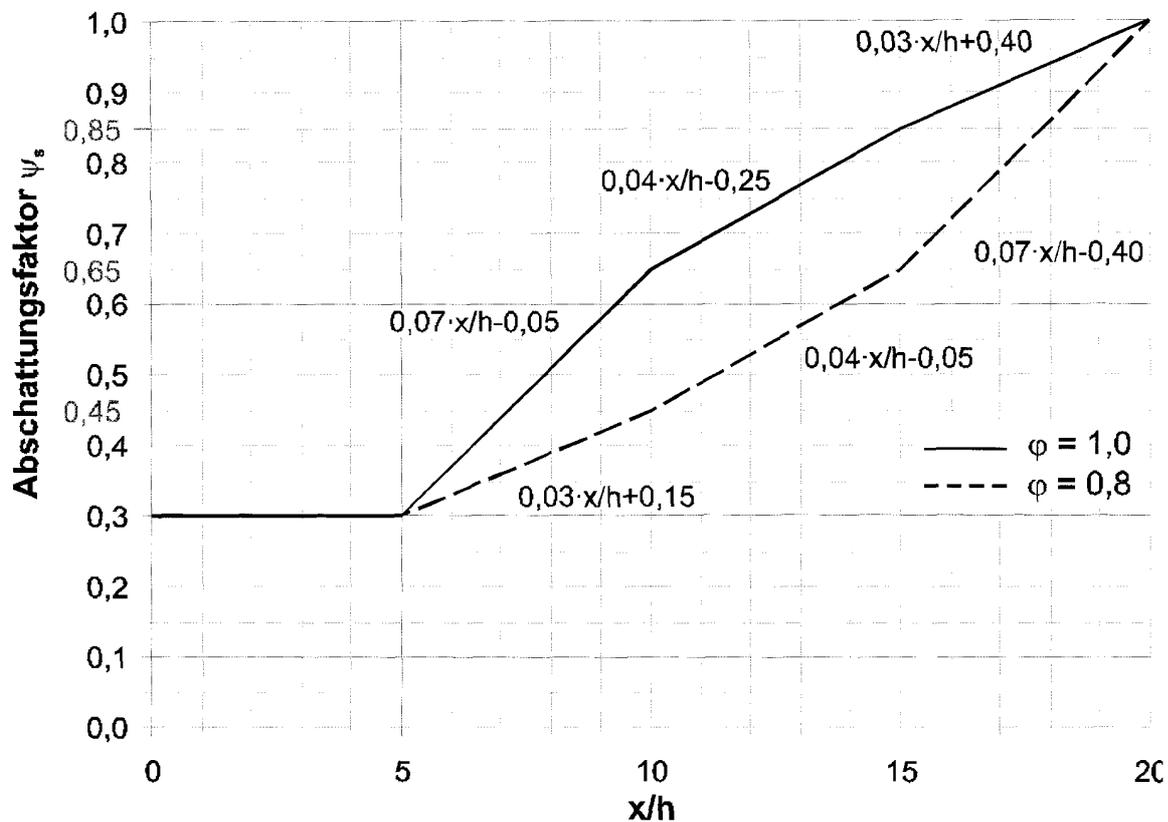
#### 7.4.2 Abschattungsfaktoren für Wände und Zäune

(1) Falls der betrachteten Wand oder dem betrachteten Zaun mit der Höhe  $h$  luvseitig andere Wände oder Zäune, die gleich groß oder größer sind, vorgelagert sind, kann bereichsweise ein zusätzlicher Abschattungsfaktor auf die Gesamtdruckbeiwerte angewendet werden. Der Wert des Abschattungsfaktors  $\psi_s$  hängt vom Abstand  $x$  der beiden Wände oder Zäune und vom Völligkeitsgrad  $\varphi$  der luvseitigen, abschattenden Wand oder Zäune mit der Höhe  $h$  ab. Die Werte sind in Bild 7.20 dargestellt.

Der resultierende Druckbeiwert der abgeschatteten Wand ergibt sich zu:

$$c_{p,net,s} = \psi_s \cdot c_{p,net} \quad (7.6)$$

(2) Die Endbereiche der abgeschatteten Wand sind auf einer Länge, die gleich der Höhe  $h$  ist, für die volle Windbelastung ohne Abschattungsfaktor nachzuweisen.



#### Legende

$x$  Abstand der Wände  
 $h$  Höhe der luvseitigen Wand

Bild 7.20 — Abschattungsfaktor  $\psi_s$  für Wände und Zäune für  $\varphi$ -Werte zwischen 0,8 und 1,0

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

### 7.4.3 Kraftbeiwerte für Anzeigetafeln

(1) Der Kraftbeiwert für Anzeigetafeln, deren Unterkante mindestens um  $z_g = h/4$  von der Geländeoberkante entfernt ist (siehe Bild 7.21), beträgt

$$c_f = 1,80 \quad (7.7)$$

$c_f = 1,80$  darf auch bei  $z_g < h/4$  und  $b/h \leq 1$  angewendet werden.

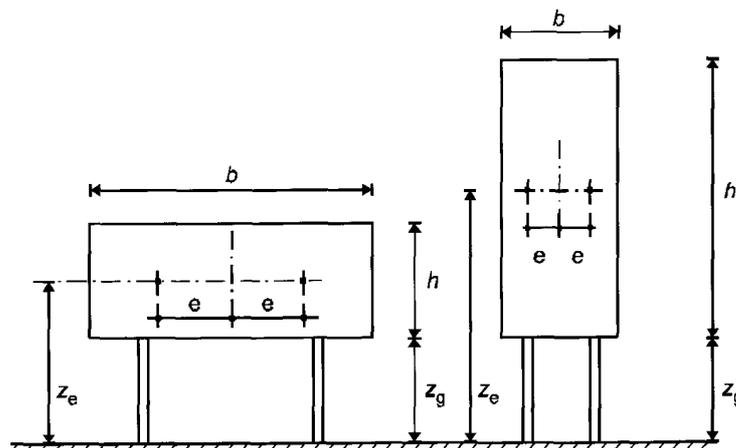
(2) Die resultierende Kraft senkrecht zur Anzeigetafel ist in Höhe des Flächenschwerpunkts der Tafel mit einer horizontalen Ausmitte anzusetzen.

ANMERKUNG Die Größe der Ausmitte kann im Nationalen Anhang angegeben sein. Der Wert

$$e = \pm 0,25 \cdot b \quad (7.8)$$

wird empfohlen.

(3) Bei einem Bodenabstand von  $z_g < h/4$  und einem Verhältnis von Breite zu Höhe  $b/h > 1$  ist die Tafel als freistehende Wand zu behandeln (siehe 7.4.1).



ANMERKUNG 1 Die Bezugshöhe ist  $z_e = z_g + h/2$ .

ANMERKUNG 2 Die Bezugsfläche ist  $A_{rel} = b \cdot h$ .

**Bild 7.21 — Abmessungen bei Anzeigetafeln**

(4) Instabilitäten durch Divergenz oder Abreiflattern sind zu prüfen.

### 7.5 Reibungsbeiwerte

(1) In allen in 5.3 (3) aufgeführten Fällen sind Reibungseffekte zu berücksichtigen.

(2) Reibungsbeiwerte  $c_{fr}$  für Wände und Dachflächen werden in Tabelle 7.10 angegeben.

(3) Die Bezugsflächen  $A_{fr}$  sind in Bild 7.22 dargestellt. Reibungskräfte sind auf windparallelen Oberflächen in einem Abstand von den jeweiligen luvseitigen Vorderkanten von  $2b$  oder  $4h$  (der kleinere Wert ist maßgebend) anzusetzen.

(4) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist bei freistehenden Dächern die Dachhöhe, bei Wänden die Höhe  $h$  der Oberkante der Wand (siehe Bild 7.22).

Tabelle 7.10 — Reibungsbeiwerte  $c_{fr}$  für Wände, Brüstungen und Dachflächen

Oberfläche	Reibungsbeiwert $c_{fr}$
glatt (z. B. Stahl, glatter Beton)	0,01
rauh (z. B. rauher Beton, geteerte Flächen)	0,02
sehr rauh (z. B. gewellt, gerippt, gefaltet)	0,04

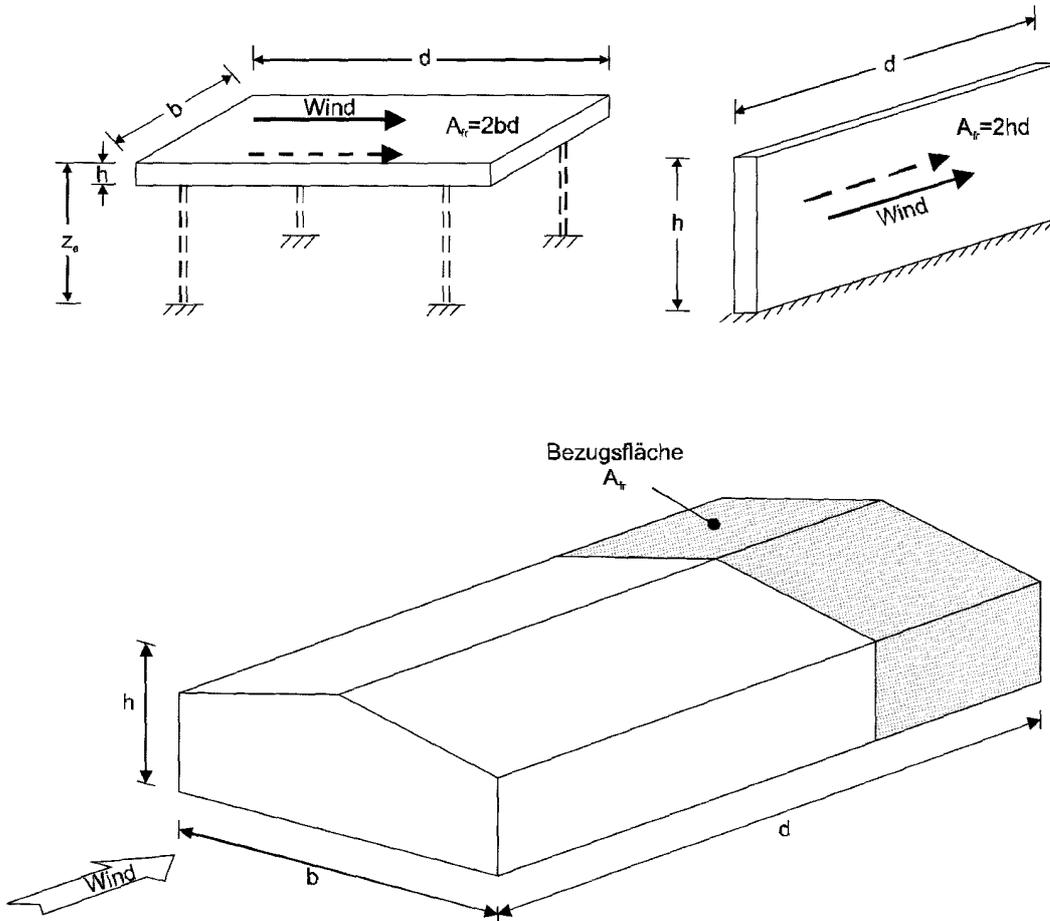


Bild 7.22 — Bezugsflächen für Reibung

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

### 7.6 Kraftbeiwerte für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt

(1) Der Kraftbeiwert  $c_f$  für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt bei Anströmung senkrecht zu einer Querschnittsseite ist

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (7.9)$$

Dabei ist

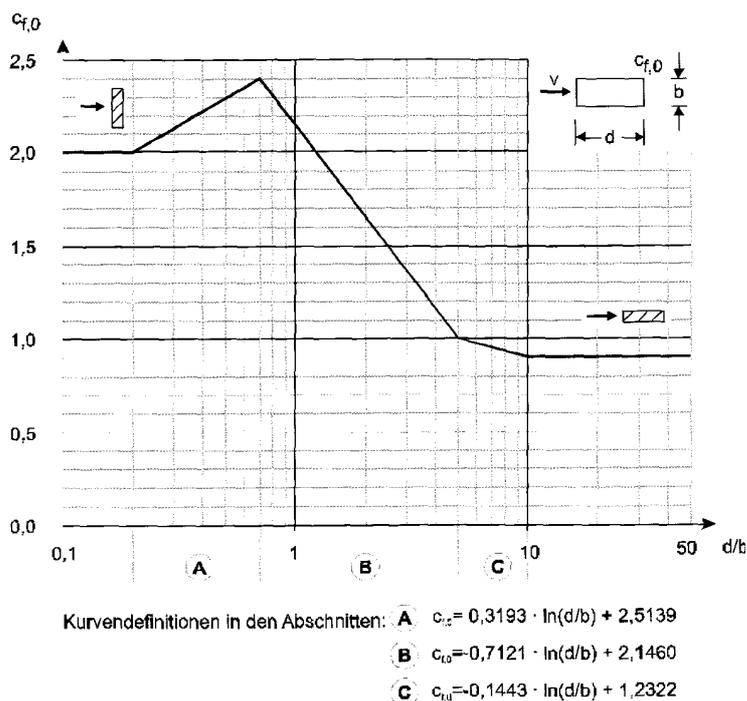
$c_{f,0}$  Grundkraftbeiwert nach Bild 7.23 für einen scharfkantigen Rechteckquerschnitt mit unendlicher Schlankheit  $\lambda$ ;

$\psi_r$  Abminderungsfaktor für quadratische Querschnitte mit abgerundeten Ecken in Abhängigkeit von der Reynoldszahl;

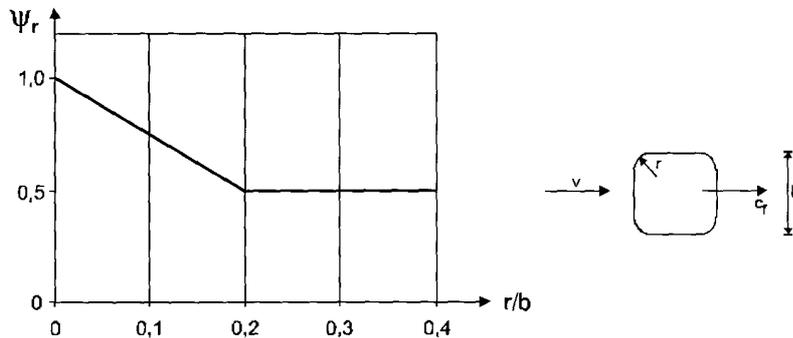
$\psi_\lambda$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit nach 7.13.

**ANMERKUNG 1** Die Zahlenwerte für  $\psi_r$  können im Nationalen Anhang angegeben werden. Empfehlungen für obere Grenzwerte sind in Bild 7.24 angegeben. Diese sind für schwach turbulente Bedingungen ermittelt worden und liegen auf der sicheren Seite.

**ANMERKUNG 2** Bild 7.24 darf auch für Gebäude mit  $h/d > 5,0$  angewendet werden.



**Bild 7.23 — Grundkraftbeiwerte  $c_{f,0}$  für unendlich schlanke, scharfkantige Rechteckquerschnitte**



**Bild 7.24 — Abminderungsfaktor  $\psi_r$  für quadratische Querschnitte mit abgerundeten Ecken**

(2) Die Bezugsfläche  $A_{ref}$  ist

$$A_{ref} = l \cdot b \quad (7.10)$$

Dabei ist

$l$  Länge des betrachteten Abschnittes.

Die Bezugshöhe  $z_e$  ist gleich der maximalen Höhe des betrachteten Abschnitts über Geländeoberkante.

(3) Für plattenartige Querschnitte ( $d/b < 0,2$ ) kann es bei bestimmten Anströmrichtungen zu einem Anstieg der  $c_f$ -Werte infolge von Auftriebskräften um bis zu 25 % kommen.

## 7.7 Kraftbeiwerte für Bauteile mit kantigem Querschnitt

(1) Der Kraftbeiwert  $c_f$  von Bauteilen mit kantigem Querschnitt (siehe Bild 7.25) wird wie folgt berechnet:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.11)$$

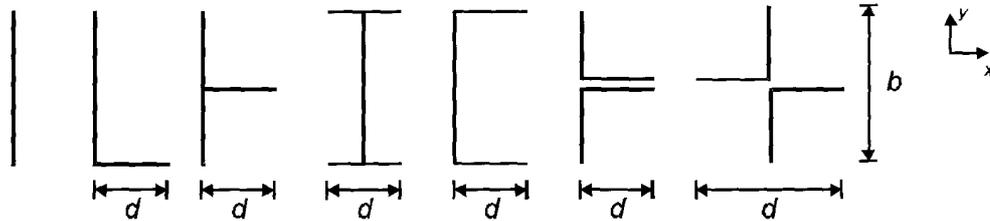
Dabei ist

$\psi_\lambda$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit (siehe 7.13)

**ANMERKUNG 1** Die Zahlenwerte für  $c_{f,0}$  sind im Nationalen Anhang angegeben worden. Der empfohlene Wert für Bauteile mit unendlicher Schlankheit ist  $c_{f,0} = 2,0$ . Dieser Wert beruht auf Messungen unter schwach turbulenten Bedingungen und liegt auf der sicheren Seite.

**ANMERKUNG 2** Die Gleichung (7.11) und Bild 7.25 dürfen auch für Gebäude mit  $h/d > 5,0$  angewendet werden.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**



**Bild 7.25 — Kantige Bauteilquerschnitte**

(2) Die Bezugsflächen  $A_{\text{ref}}$  (siehe Bild 7.25) für die Windkräfte sind:

$$\text{in x-Richtung: } A_{\text{ref},x} = l \cdot b \quad (7.12)$$

$$\text{in y-Richtung: } A_{\text{ref},y} = l \cdot d$$

Dabei ist

$l$  Länge des betrachteten Bauteils.

(3) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist gleich der maximalen Höhe des betrachteten Abschnitts über Geländeoberkante.

### 7.8 Kraftbeiwerte für Bauteile mit regelmäßigem polygonalem Querschnitt

(1) Der Kraftbeiwert  $c_f$  von Bauteilen mit regelmäßigem polygonalem Querschnitt mit fünf oder mehr Seiten ist

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.13)$$

Dabei ist

$\psi_\lambda$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit nach 7.13;

$c_{f,0}$  Grundkraftbeiwert für Bauteile mit unendlicher Schlankheit.

**ANMERKUNG** Die Zahlenwerte für  $c_{f,0}$  können im Nationalen Anhang gegeben werden. Empfohlene konservative Werte, die durch Messungen bei schwach turbulenten Bedingungen ermittelt wurden, sind in Tabelle 7.11 angegeben.

Tabelle 7.11 — Grundkraftbeiwerte  $c_{f,0}$  für regelmäßige polygonale Querschnitte

AC

Anzahl der Seiten	Querschnitt	Oberflächenbeschaffenheit und Ausbildung der Kanten	Reynoldszahl $Re^a$	$c_{f,0}$
5	Fünfeck	alle	alle	1,80
6	Sechseck	alle	alle	1,60
8	Achteck	glatte Oberfläche <sup>b</sup> $r/b < 0,075$	$Re \leq 2,4 \cdot 10^5$	1,45
			$Re \geq 3 \cdot 10^5$	1,30
		glatte Oberfläche <sup>b</sup> $r/b \geq 0,075$	$Re \leq 2 \cdot 10^5$	1,30
			$Re \geq 7 \cdot 10^5$	1,10
10	Zehneck	alle	alle	1,30
12	Zwölfeck	glatte Oberfläche <sup>c</sup> Kanten abgerundet	$2 \cdot 10^5 < Re < 1,2 \cdot 10^6$	0,90
		alle anderen	$Re < 4 \cdot 10^5$	1,30
			$Re > 4 \cdot 10^5$	1,10
16-18	Sechszehneck bis Achtzehneck	glatte Oberfläche <sup>c</sup> Kanten abgerundet	$Re < 2 \cdot 10^5$	wie Kreiszyylinder, siehe (7.9)
			$2 \cdot 10^5 \leq Re < 1,2 \cdot 10^6$	0,70

<sup>a</sup> Reynoldszahlen  $Re$  für  $v = v_m$  und Werte für  $v_m$  siehe 4.3;  $Re$  ist in 7.9 definiert.

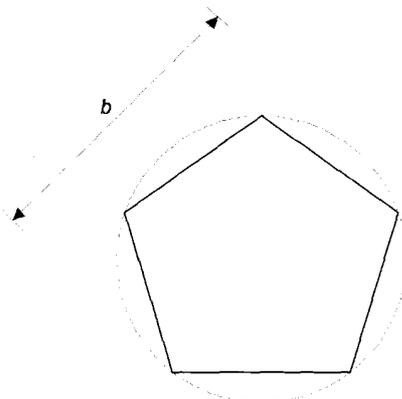
<sup>b</sup>  $r$  = Ausrundungsradius,  $b$  = Durchmesser des umschreibenden Kreises, siehe Bild 7.26.

<sup>c</sup> Ermittelt in Windkanaluntersuchungen an verzinkten Section-Modellen mit einem Querschnitt mit  $b = 0,3$  m und einem Ausrundungsradius von  $0,06 \cdot b$ .

(2) Bei Gebäuden mit  $h/d > 5$  darf  $c_f$  nach der Formel (7.13) ermittelt werden.

ANMERKUNG Siehe auch Tabelle 7.11 und Bild 7.26 AC

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**



**Bild 7.26 — Bauteil mit regelmäßigem polygonalem Querschnitt**

(3) Die Bezugsfläche  $A_{\text{ref}}$  ist

$$A_{\text{ref}} = l \cdot b \quad (7.14)$$

Dabei ist

$l$  Länge des betrachteten Bauteils;

$b$  Durchmesser des umschreibenden Kreises, siehe Bild 7.26.

(4) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist gleich der maximalen Höhe des betrachteten Bauteilabschnitts über Geländeoberkante.

## 7.9 Kreiszyylinder

### 7.9.1 Außendruckbeiwerte

(1) Der Außendruckbeiwert  $c_{pe}$  für zylindrische Querschnitte ist abhängig von dessen Reynoldszahl  $Re$ . Diese ist wie folgt definiert:

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} \quad (7.15)$$

Dabei ist

$b$  Durchmesser;

$\nu$  kinematische Zähigkeit der Luft ( $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ );

$v(z_e)$  Böenwindgeschwindigkeit nach Anmerkung 2 in Bild 7.27 in der Höhe  $z_e$  (siehe Bild 6.1).

(2) Der Außendruckbeiwert  $c_{pe}$  für zylindrische Querschnitte ist

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha} \quad (7.16)$$

Dabei ist

$c_{p,0}$  Außendruckbeiwert eines Zylinders mit unendlicher Schlankheit  $\lambda$  (siehe Absatz (3));

$\psi_{\lambda\alpha}$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Umströmung der Enden eines Kreiszylinders (siehe Absatz (4)).

(3) In Bild 7.27 ist der Außendruckbeiwert  $c_{p,0}$  für verschiedene Reynoldszahlen in Abhängigkeit des Winkels  $\alpha$  über dem halben Umfang dargestellt

(4) Der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit  $\psi_{\lambda\alpha}$  ist

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda\alpha} &= 1 && \text{für } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min} \\ \psi_{\lambda\alpha} &= \psi_\lambda + (1 - \psi_\lambda) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) && \text{für } \alpha_{\min} < \alpha < \alpha_A \\ \psi_{\lambda\alpha} &= \psi_\lambda && \text{für } \alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ \end{aligned} \quad (7.17)$$

Dabei ist

$\alpha_A$  Lage der Strömungsablösung am Umfang (siehe Bild 7.27);

$\psi_\lambda$  der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit (siehe 7.13).

ANMERKUNG 1 Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden

ANMERKUNG 2 Typische Werte für  $Re$ ,  $\alpha_{\min}$ ,  $c_{p0,\min}$ ,  $\alpha_A$  und  $c_{p0,h}$ , sind in Tabelle 7.12 angegeben. Das Bild 7.27 und die Tabelle 7.12 basieren auf der Reynoldszahl mit  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$  und  $q_p$  nach 4.5.

ANMERKUNG 3 Das Bild 7.27 basiert auf einer äquivalenten Rauigkeit  $k/b$  kleiner  $5 \cdot 10^{-4}$ . Typische Werte für die Rauigkeitstiefe  $k$  sind in Tabelle 7.13 angegeben.

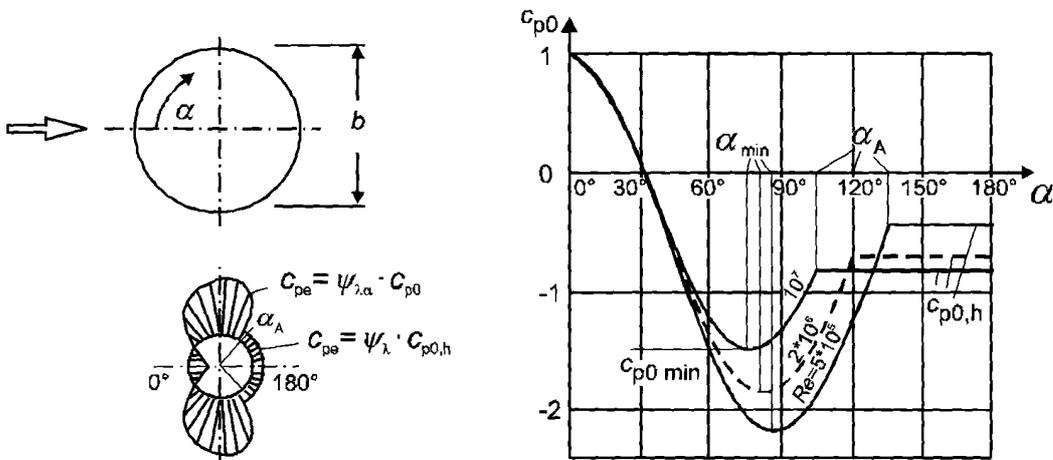


Bild 7.27 — Druckverteilung über einen unendlich schlanken, zylindrischen Querschnitt

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**Tabelle 7.12 — Typische Werte für  $Re$ ,  $\alpha_{\min}$ ,  $c_{p0,\min}$ ,  $\alpha_A$  und  $c_{p0,h}$ , für unendlich schlanke, kreisrunde, zylindrische Querschnitte**

$Re$	$\alpha_{\min}$	$c_{p0,\min}$	$\alpha_A$	$c_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85	-2,2	135	-0,4
$2 \cdot 10^6$	80	-1,9	120	-0,7
$10^7$	75	-1,5	105	-0,8

Dabei ist

$\alpha_{\min}$	Lage des minimalen Druckes in [°]
$c_{p0,\min}$	Wert des minimalen Druckbeiwertes
$\alpha_A$	Lage der Ablöselinie in [°]
$c_{p0,h}$	Heckdruckbeiwert

(5) Die Bezugsfläche  $A_{\text{ref}}$  ist

$$A_{\text{ref}} = l \cdot b \quad (7.18)$$

(6) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist gleich der größten Höhe des betrachteten Bauteilabschnitts über Geländeoberkante.

### 7.9.2 Kraftbeiwerte

(1) Der Kraftbeiwert  $c_f$  eines endlichen, kreisrunden Zylinders ist

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.19)$$

Dabei ist

$c_{f,0}$  Grundkraftbeiwert eines Zylinders mit unendlicher Schlankheit (siehe Bild 7.28);

$\psi_\lambda$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit (siehe 7.13).

ANMERKUNG 1 Bild 7.28 darf auch für Gebäude mit  $h/d > 5,0$  angewandt werden.

ANMERKUNG 2 Bild 7.28 basiert auf der Reynoldszahl mit  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$  und  $q_p$  nach Abschnitt 4.5.

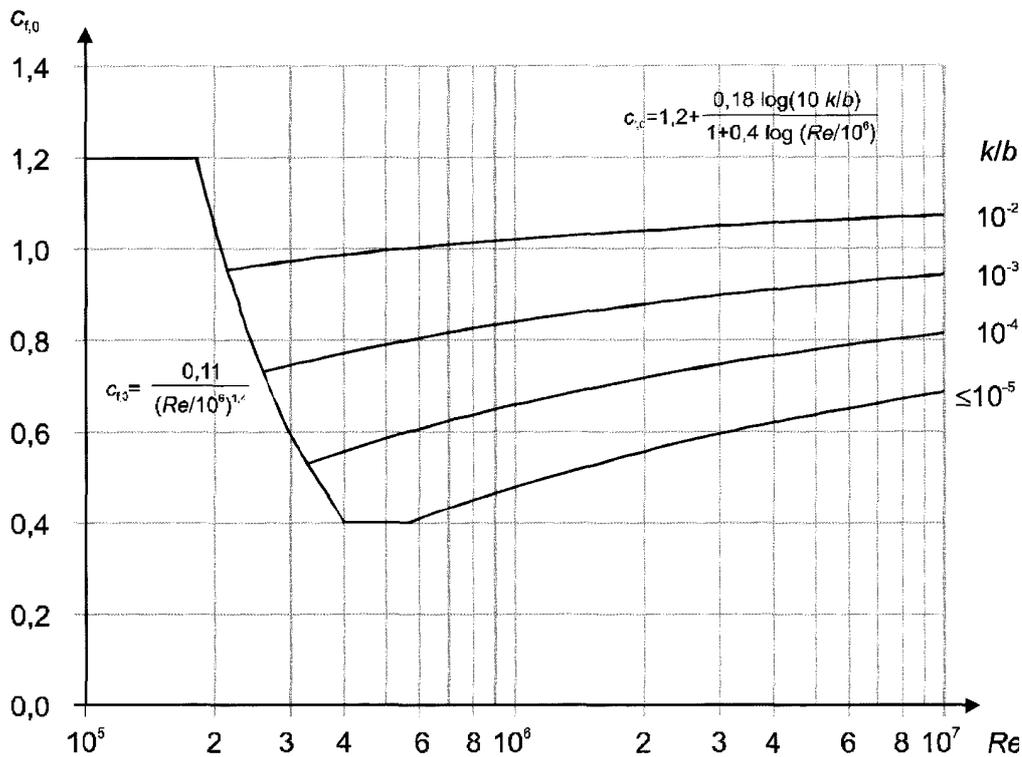


Bild 7.28 — Grundkraftbeiwert  $c_{f,0}$  von kreisrunden Zylindern mit unendlicher Schlankheit für verschiedene bezogene Rauigkeiten  $k/b$

(2)  $\boxed{A_1}$  Werte für die äquivalente Rauigkeit  $k$  von neuen Flächen sind in Tabelle 7.13 angegeben.

ANMERKUNG Für gealterte Flächen dürfen die Werte für die äquivalente Rauigkeit  $k$  im Nationalen Anhang festgelegt werden.  $\boxed{A_1}$

(3) Für Drahtlitzenseile ist der Grundkraftbeiwert  $c_{f,0}$  unabhängig von der Reynoldszahl mit  $c_{f,0} = 1,2$  anzusetzen.

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

Tabelle 7.13 — Äquivalente Rauigkeit  $k$ 

Oberfläche	äquivalente Rauigkeit $K$ mm	Oberfläche	äquivalente Rauigkeit $K$ mm
Glas	0,0015	glatter Beton	0,2
poliertes Metall	0,002	gehobertes Holz	0,5
dünn aufgetragene Farbe	0,006	rauhes Beton	1,0
Sprühfarbe	0,02	grob gesägtes Holz	2,0
blanker Stahl	0,05	Rost	2,0
Gusseisen	0,2	Mauerwerk	3,0
verzinkter Stahl	0,2		

(4) Die Bezugsfläche  $A_{\text{ref}}$  ist

$$A_{\text{ref}} = l \cdot b \quad (7.20)$$

Dabei ist

$l$  die Länge des betrachteten Bauteils.

(5) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist gleich der Höhe des betrachteten Bauteilabschnitts über Geländeoberkante.

(6) Bei Zylindern nahe einer ebenen Oberfläche mit einem relativen lichten Abstand  $z_g/b < 1,5$  vom Boden (siehe Bild 7.29) sind Sonderuntersuchungen erforderlich.

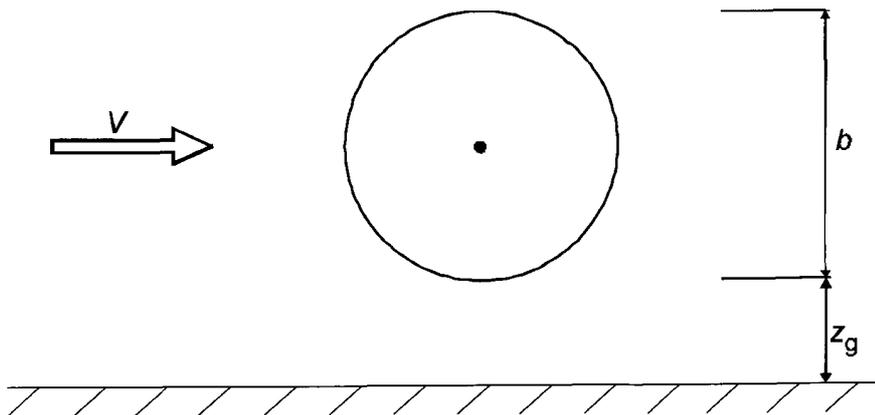


Bild 7.29 — Zylinder nahe einer ebenen Oberfläche

### 7.9.3 Kraftbeiwerte für vertikale Zylinder in Reihenanordnung

Bei Anordnung von Zylindern in Reihe hängt der Grundkraftbeiwert  $c_{f,0}$  von der Windrichtung bezogen auf die Reihenachse und vom Verhältnis des gegenseitigen Abstandes  $a$  zum mittleren Durchmesser  $b$  ab (siehe Tabelle 7.14). Der Kraftbeiwert  $c_f$  für jeden Zylinder ist

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \cdot \kappa \quad (7.21)$$

Dabei ist

$c_{f,0}$  der Grundkraftbeiwert eines Zylinders mit unendlicher Schlankheit (siehe 7.9.2);

$\psi_\lambda$  der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit (siehe 7.13);

$\kappa$  der Erhöhungsfaktor nach Tabelle 7.14 (für die ungünstigste Anströmrichtung).

**Tabelle 7.14 — Erhöhungsfaktor  $\kappa$  für in Reihe angeordnete Kreiszyylinder**

$alb$	$\kappa$	
$2,5 < alb < 3,5$	1,15	
$3,5 < alb < 30$	$\kappa = \frac{210 - \frac{a}{b}}{180}$	
$alb > 30$	1,00	
$a$ Abstand $b$ Durchmesser		
<b>ANMERKUNG</b> Für $alb < 2,5$ dürfen die Werte für den Erhöhungsfaktor $\kappa$ im Nationalen Anhang festgelegt werden.		

## 7.10 Kraftbeiwerte für Kugeln

(1) Der Kraftbeiwert  $c_{f,x}$  für eine Kugel in Windrichtung ist eine Funktion der Reynoldszahl  $Re$  (siehe 7.9.1) und der bezogenen Rauigkeit  $k/b$  (siehe Tabelle 7.13).

**ANMERKUNG 1** Der Nationale Anhang kann Werte für den Kraftbeiwert  $c_{f,x}$  vorgeben. Empfohlene Werte aufgrund von Messungen unter schwach turbulenten Bedingungen sind in Bild 7.30 angegeben. Bild 7.30 basiert auf einer Reynoldszahl

$$\text{mit } v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} \text{ und } q_p \text{ nach 4.5.}$$

**ANMERKUNG 2** Die Werte in Bild 7.30 sind begrenzt auf Werte  $z_g > b/2$ , wobei  $z_g$  den lichten Abstand der Kugel zu einer ebenen Oberfläche bezeichnet und  $b$  der Kugeldurchmesser ist (siehe Bild 7.31). Bei  $z_g < b/2$  ist der Kraftbeiwert  $c_{f,x}$  mit dem Faktor 1,6 zu multiplizieren.

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
 EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

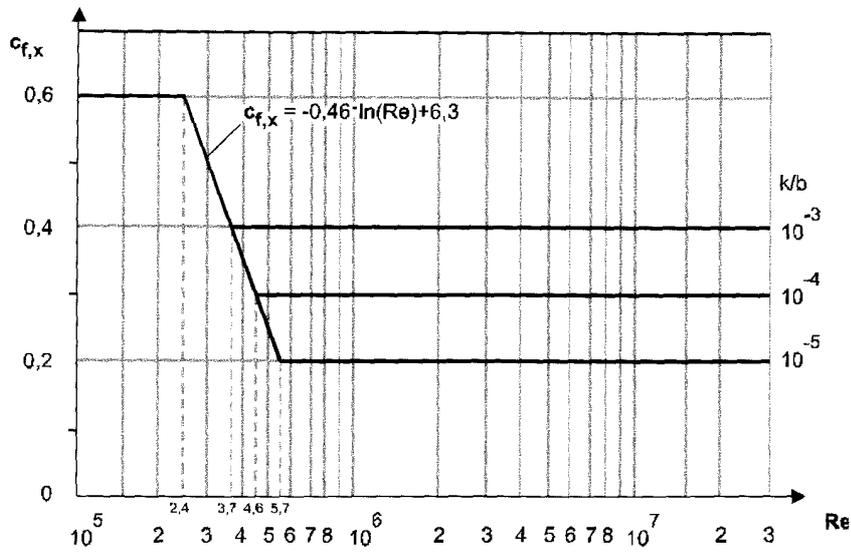


Bild 7.30 — Kraftbeiwert einer Kugel in Windrichtung

(2) Der vertikale Kraftbeiwert  $c_{f,z}$  von Kugeln ist nach Gleichung (7.22)

$$c_{f,z} = 0 \quad \text{für} \quad z_g > \frac{b}{2} \quad (7.22)$$

$$c_{f,z} = +0,60 \quad \text{für} \quad z_g < \frac{b}{2}$$

(3) Die Bezugsfläche  $A_{ref}$  ist nach Gleichung (7.23)

$$A_{ref} = \pi \cdot \frac{b^2}{4} \quad (7.23)$$

(4) Die Bezugshöhe ist anzusetzen mit

$$z_e = z_g + \frac{b}{2} \quad (7.24)$$

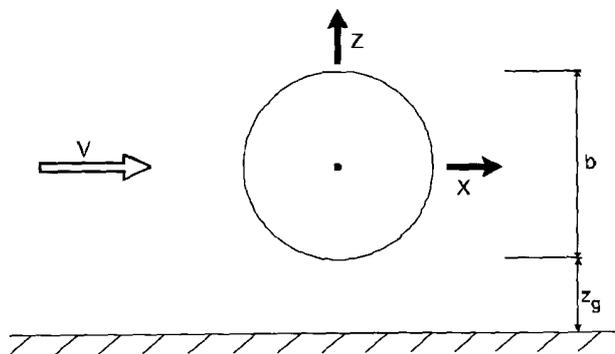


Bild 7.31 — Kugel nahe einer ebenen Oberfläche

## 7.11 Kraftbeiwerte für Fachwerke, Gitter und Gerüste

(1) Der Kraftbeiwert  $c_f$  für Fachwerke, Gitter und Gerüste ist nach Gleichung (7.25)

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.25)$$

Dabei ist

- $c_{f,0}$  Grundkraftbeiwert für Fachwerke, Gitter und Gerüste mit unendlicher Schlankheit. Er wird in den Bildern 7.33 bis 7.35 als Funktion des Völligkeitsgrades  $\varphi$  (7.11 (2)) und der Reynoldszahl  $Re$  angegeben;
- $Re$  Reynoldszahl aufgrund des mittleren Stabdurchmessers  $b_i$ , siehe Anmerkung 1;
- $\psi_\lambda$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit  $\lambda$  (siehe 7.13), die mit  $l$  und der Breite  $b = d$ , nach Bild 7.32 berechnet wird.

ANMERKUNG 1 AC Bild 7.35 basiert AC auf der Reynoldszahl mit  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$  und  $q_p$  nach 4.5.

AC ANMERKUNG 2 Für Gerüste ohne luftdichte Einhausung, die durch Abschattungseffekte massiver Bauten beeinflusst werden, darf der Nationale Anhang Abminderungsfaktoren angeben. Empfohlene Werte sind in EN 12811 angegeben. AC

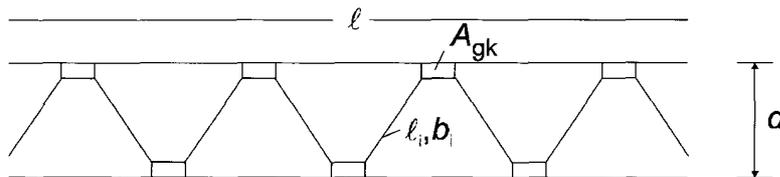


Bild 7.32 — Fachwerk, Gitter oder Gerüst

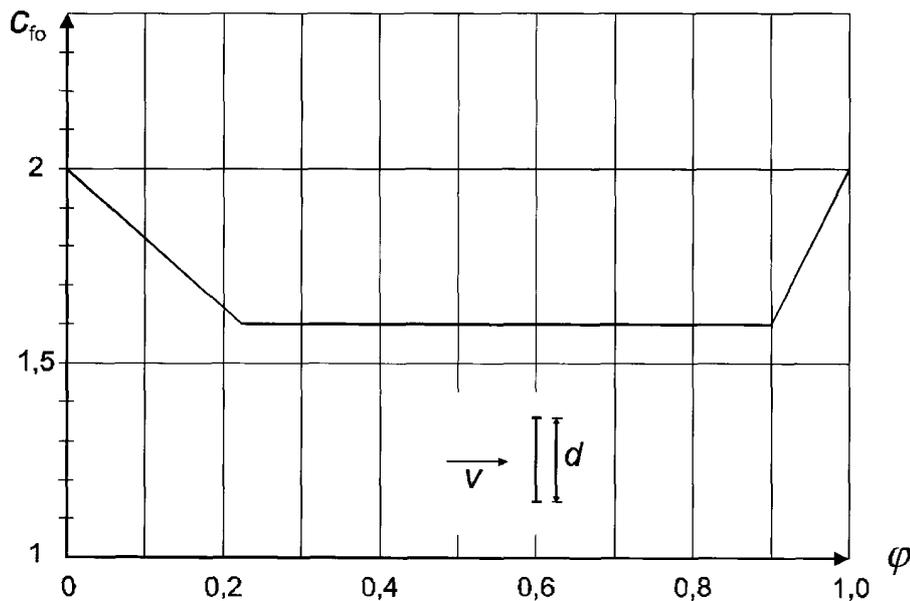


Bild 7.33 — Grundkraftbeiwert  $c_{f,0}$  für ein ebenes Fachwerk aus abgewinkelten scharfkantigen Profilen in Abhängigkeit vom Völligkeitsgrad  $\varphi$

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
 EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

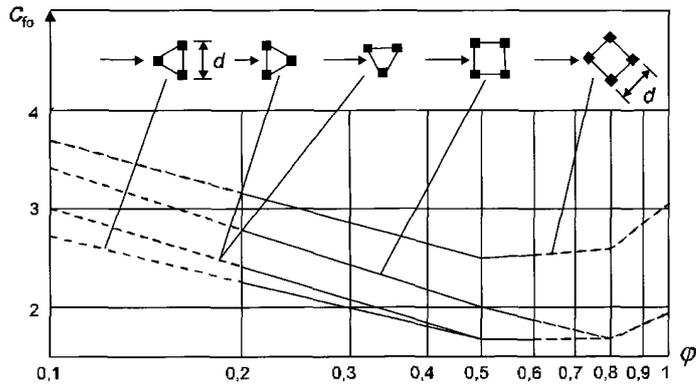


Bild 7.34 — Grundkraftbeiwert  $c_{f,0}$ , für ein räumliches Fachwerk aus abgewinkelten und scharfkantigen Profilen in Abhängigkeit vom Völligkeitsgrad  $\varphi$

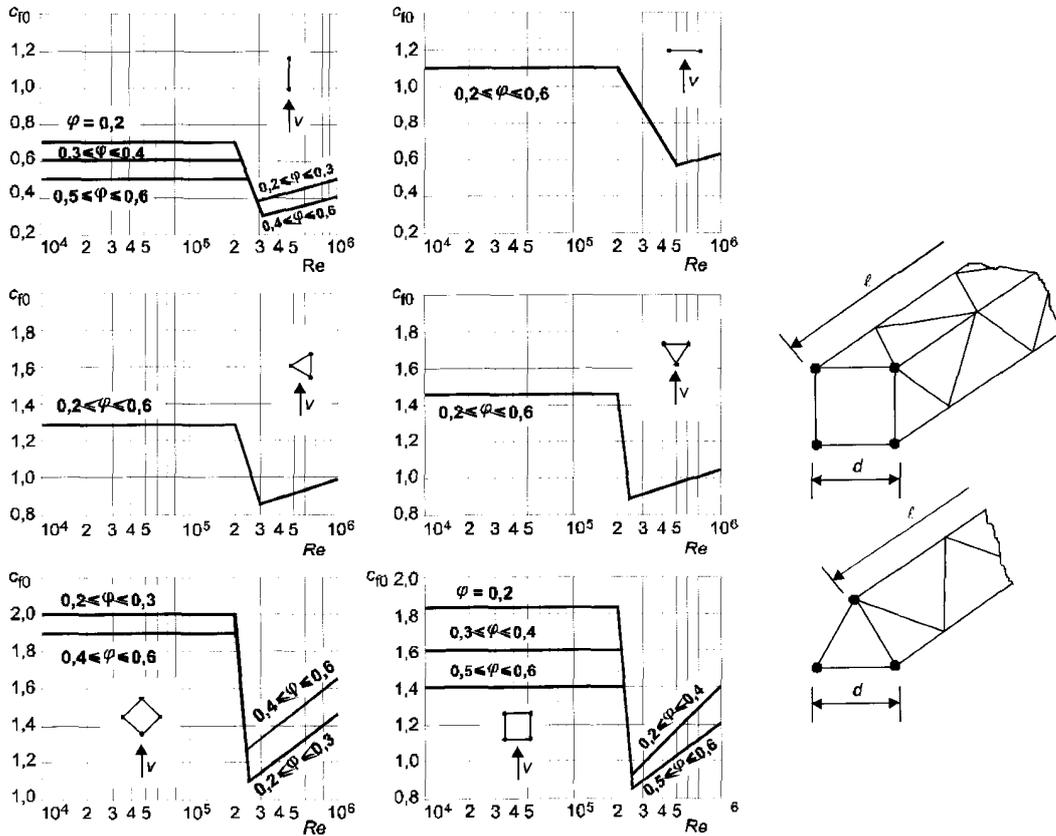


Bild 7.35 — Grundkraftbeiwert  $c_{f,0}$  für ebene und räumliche Fachwerke aus Profilen mit kreisförmigem Querschnitt

(2) Der Völligkeitsgrad  $\varphi$  ist durch (7.26) definiert:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (7.26)$$

Dabei ist

$A$  die Summe der auf die betrachtete Seite projizierten Flächen der Stäbe und Knotenbleche  $A = \sum_i b_i \cdot \ell_i + \sum_k A_{gk}$ . Bei räumlichen Fachwerken ist die Luvseite zu betrachten;

$A_c$  die senkrechte Projektion der von den Umrandungen der Konstruktion eingeschlossenen Fläche  $A_c = d l$ ;

$l$  Länge des Fachwerks;

$d$  Breite des Fachwerks

$b_i, \ell_i$  die Projektion der Breite und Länge des Einzelstabes  $i$  (siehe Bild 7.32);

$A_{gk}$  Fläche des Knotenbleches  $k$ .

(3) Die Bezugsfläche  $A_{ref}$  ist definiert als:

$$A_{ref} = A \quad (7.27)$$

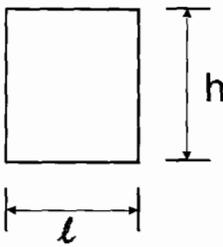
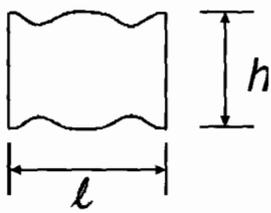
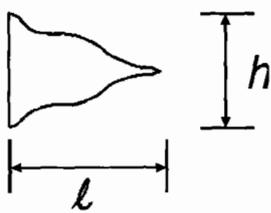
(4) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist gleich der Höhe der Oberkante des betrachteten Abschnitts.

## 7.12 Flaggen

(1) Die Kraftbeiwerte  $c_f$  und Bezugsflächen  $A_{ref}$  für Flaggen sind in Tabelle 7.15 angegeben.

(2) Die Bezugshöhe  $z_e$  ist gleich der Höhe bis zur Oberkante der Flagge über Geländeoberkante.

Tabelle 7.15 — Kraftbeiwerte  $c_f$  für Flaggen

Flaggen	$A_{ref}$	$c_f$
<p><b>allseitig befestigte Flaggen</b></p>  <p>Kraft wirkt senkrecht auf Flaggenebene</p>	$h \cdot l$	1,8
<p><b>frei flatternde Flaggen</b></p> <p>a)</p>  <p>b)</p>  <p>Kraft wirkt in Flaggenebene</p>	$h \cdot l$	$0,02 + 0,7 \cdot \frac{m_f}{\rho \cdot h} \cdot \left( \frac{A_{ref}}{h^2} \right)^{-1,25}$ $0,5 \cdot h \cdot l$
<p>Dabei ist</p> <p><math>m_f</math> Masse je Flächeneinheit der Flagge</p> <p><math>\rho</math> <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">AC</span> Luftdichte (siehe 4.5(1) ANMERKUNG 2) <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">AC</span></p> <p><math>z_e</math> Höhe der Flagge über Grund</p> <p>ANMERKUNG Die Gleichungen schließen die dynamischen Kräfte aufgrund des Flattereffektes ein.</p>		

**7.13 Effektive Schlankheit  $\lambda$  und Abminderungsfaktor  $\psi_\lambda$  zur Berücksichtigung der Schlankheit**

(1) Der Abminderungsfaktor  $\psi_\lambda$  zur Berücksichtigung der Schlankheit ist abhängig von der effektiven Schlankheit  $\lambda$  zu ermitteln.

ANMERKUNG Die Grundkraftbeiwerte  $c_{f,0}$  in 7.6 bis 7.12 basieren auf Messungen an Tragwerken unendlicher Schlankheit ohne Einfluss durch Bodeneffekte. Der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit berücksichtigt den geringeren Strömungswiderstand an den frei umströmten Enden endlicher Tragwerke. Das Bild 7.36 und die Tabelle 7.16 beruhen auf Messungen unter schwach turbulenten Bedingungen. Werte, die Turbulenzeffekte berücksichtigen, können im Nationalen Anhang angegeben werden.

(2) Die effektive Schlankheit  $\lambda$  ist abhängig von den Abmessungen des Bauteils und seiner Lage.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Werte für die effektive Schlankheit  $\lambda$  und für  $\psi_\lambda$  vorgeben. Empfohlene Werte für  $\lambda$  sind in Tabelle 7.16 angegeben. Richtwerte für  $\psi_\lambda$  für verschiedene Völligkeitsbeiwerte  $\varphi$  sind in Bild 7.36 angegeben.

**Tabelle 7.16 —Werte für die effektive Schlankheit  $\lambda$  von Zylindern, Vieleck- und Rechteckquerschnitten, scharfkantige Bauteile und Fachwerk- und Gitterkonstruktionen**

Nr.	Lage des Baukörpers, Anströmung senkrecht zur Zeichenebene	Effektive Schlankheit $\lambda$
1		<p>Für polygonale, rechteckige und scharfkantige Querschnitte sowie für Fachwerke:</p> <p>für <math>\ell \geq 50</math> m, <math>\lambda = 1,4 \ell/b</math> oder <math>\lambda = 70</math>, der kleinere Wert ist maßgebend</p>
2		<p>für <math>\ell &lt; 15</math> m, <math>\lambda = 2 \ell/b</math> oder <math>\lambda = 70</math>, der kleinere Wert ist maßgebend</p> <p>Für Kreiszyylinder:</p> <p>für <math>\ell \geq 50</math> m, <math>\lambda = 0,7 \ell/b</math> oder <math>\lambda = 70</math>, der kleinere Wert ist maßgebend</p> <p>für <math>\ell &lt; 15</math> m, <math>\lambda = \ell/b</math> oder <math>\lambda = 70</math>, der kleinere Wert ist maßgebend</p>
3		<p>Zwischenwerte sind linear zu interpolieren</p>
4		<p>für <math>\ell \geq 50</math> m, <math>\lambda = 0,7 \ell/b</math> oder <math>\lambda = 70</math>, der größere Wert ist maßgebend</p> <p>für <math>\ell &lt; 15</math> m, <math>\lambda = \ell/b</math> oder <math>\lambda = 70</math>, der größere Wert ist maßgebend</p> <p>Zwischenwerte sind linear zu interpolieren</p>

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
 EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

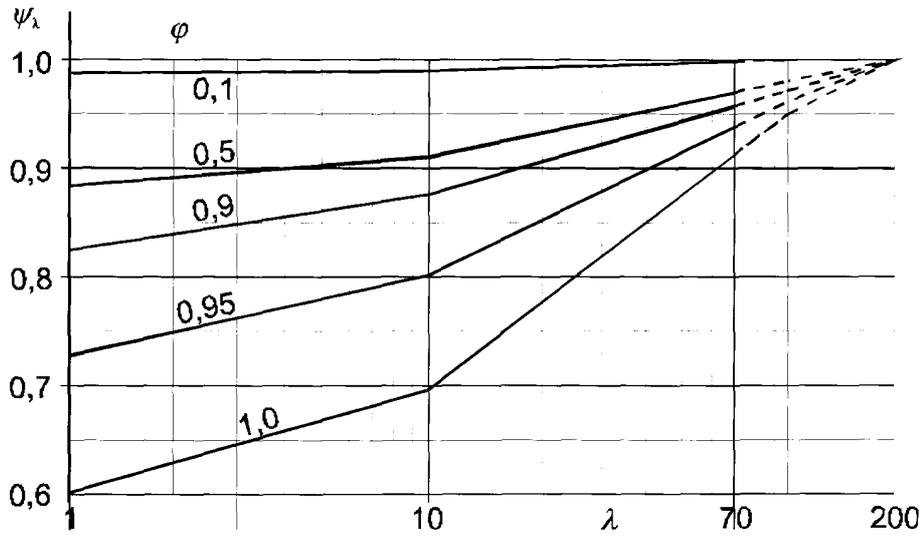


Bild 7.36 — Abminderungsfaktor  $\psi_\lambda$  in Abhängigkeit der effektiven Schlankheit  $\lambda$  und für verschiedene Völligkeitsgrade  $\varphi$

(3) Der Völligkeitsgrad  $\varphi$  ist wie folgt definiert (siehe Bild 7.37):

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (7.28)$$

Dabei ist

- $A$  Summe der projizierten Flächen der einzelnen Teile;
- $A_c$  umschlossene Fläche  $A_c = \ell \cdot b$ .

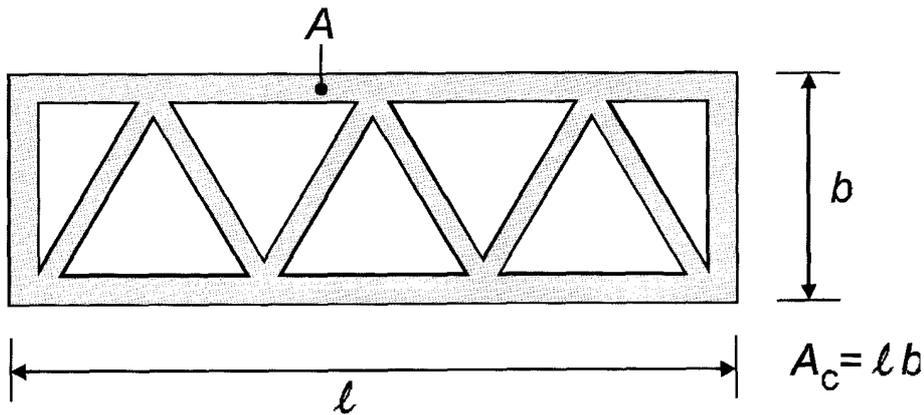


Bild 7.37 — Definition des Völligkeitsgrades  $\varphi$

## **8 Windeinwirkungen auf Brücken**

### **8.1 Allgemeines**

(1) Dieser Abschnitt ist nur gültig für ein- und mehrfeldrige Brücken mit konstanter Bauhöhe und mit nur einem Überbau mit Querschnitten nach Bild 8.1.

ANMERKUNG 1 Windeinwirkungen für andere Brückentypen (Bogenbrücken, Schrägseilbrücken, Brücken mit Überdachung, bewegliche Brücken und Brücken mit mehreren oder deutlich gekrümmten Überbauten) können im Nationalen Anhang angegeben werden.

ANMERKUNG 2 Der Winkel der Anströmrichtung gegenüber dem Überbau in vertikaler und horizontaler Ebene kann im Nationalen Anhang angegeben werden.

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
 EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

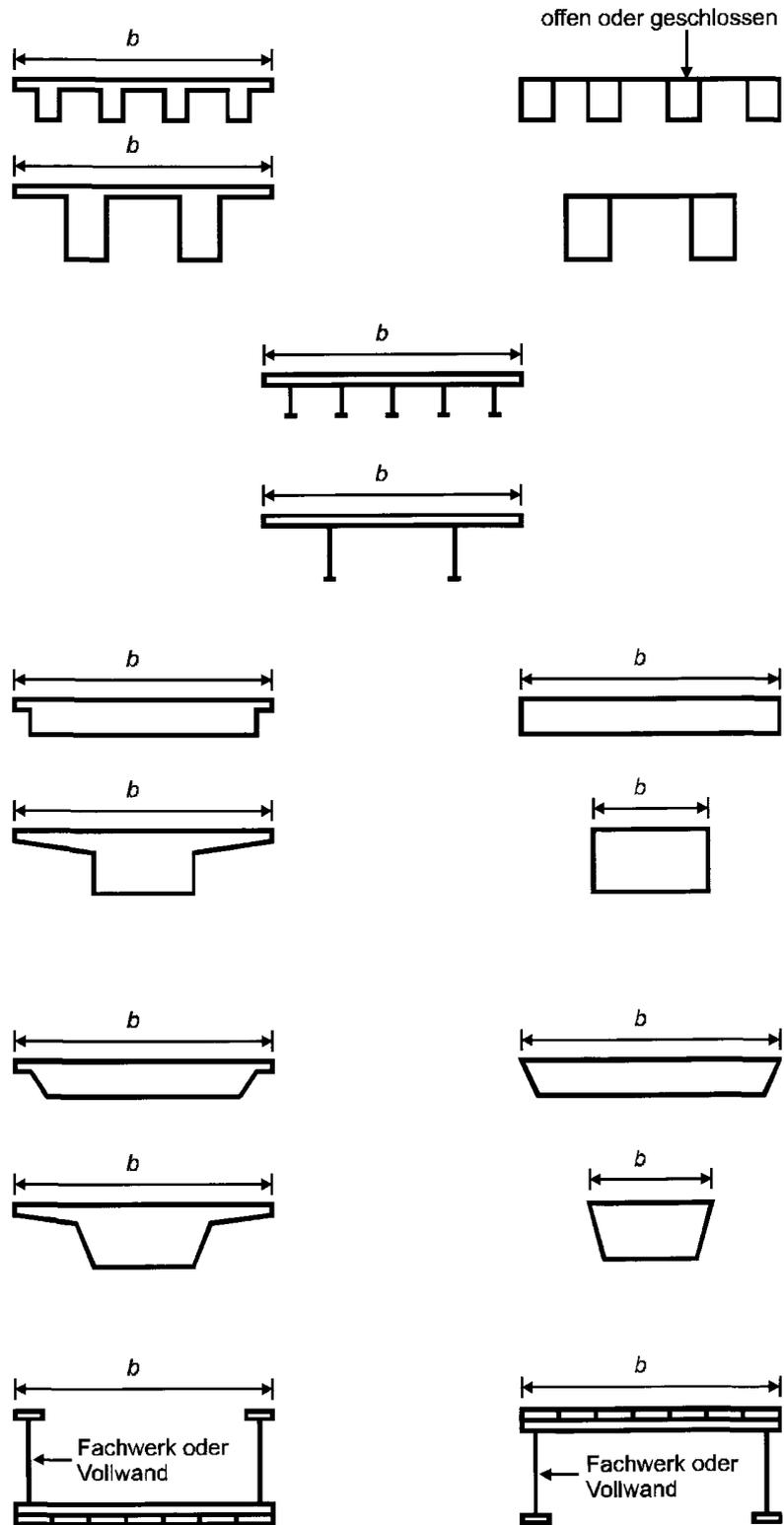


Bild 8.1 — Beispiele für Querschnitte normaler Brückenüberbauten

(2) Windkräfte auf den Überbau werden in 8.2 und 8.3 behandelt. Kräfte auf die Brückenpfeiler werden in 8.4 behandelt. Windkräfte auf unterschiedliche Teile der Brücke sind als gleichzeitig wirkend anzusetzen, wenn ihre Wirkung ungünstig ist.

(3) Windeinwirkungen auf Brückenbauwerke rufen Kräfte in x-, y- und z-Richtung nach Bild 8.2 hervor. Hierbei ist die

x-Richtung parallel zur Fahrbahnfläche, senkrecht zur Längsachse des Überbaus

y-Richtung die Richtung der Längsachse des Überbaus

z-Richtung senkrecht zur Fahrbahnfläche

Kräfte in x- und y-Richtung werden durch Windeinwirkungen aus unterschiedlichen Richtungen hervorgerufen und treten für gewöhnlich nicht gleichzeitig auf. Kräfte in z-Richtung können aus Windanströmungen aus unterschiedlichen Richtungen resultieren, sie sollten als gleichzeitig wirkend mit den Kräften in anderen Richtungen angesetzt werden, wenn sie ungünstig wirken und von nicht vernachlässigbarer Größenordnung sind.

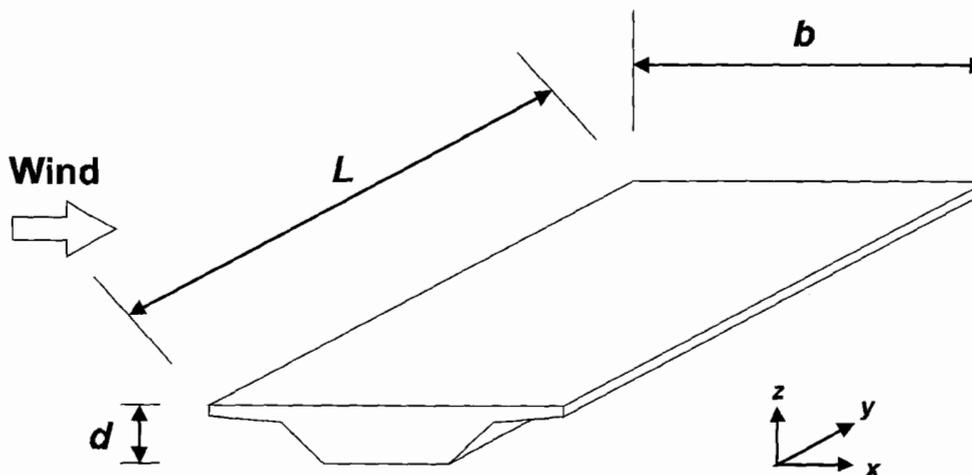
**AC** ANMERKUNG Die für die Abmessungen von Brücken verwendeten Bezeichnungen unterscheiden sich von den in 1.7 definierten. Für Brückenbauwerke werden folgende Bezeichnungen (siehe Bild 8.2) verwendet:

$L$  Länge in y-Richtung

$b$  Breite in x-Richtung

$d$  Höhe in z-Richtung

Die Abmessungen  $L$ ,  $b$  und  $d$  sind in verschiedenen Abschnitten präziser definiert. Wenn auf die Abschnitte 5 bis 7 verwiesen wird, sind die Bezeichnungen  $b$  und  $d$  entsprechend anzupassen. **AC**



**Bild 8.2 — Richtungen der Windeinwirkungen bei Brückenüberbauten**

(4) Ist Straßenverkehr gleichzeitig mit Windeinwirkungen zu berücksichtigen (siehe A.2.2.1 und A.2.2.2 im Anhang der EN 1990), sollte die Begleiteinwirkung  $\psi_0 F_{wk}$  aus Wind auf die Brücke und Fahrzeuge auf den Wert  $F_w^*$  begrenzt werden, indem der Grundwert der Basisgeschwindigkeit  $v_{b,0}$  durch den Wert  $v_{b,0}^*$  ersetzt wird.

**ANMERKUNG** Der Nationale Anhang kann den Wert für  $v_{b,0}^*$  vorgeben. Der empfohlene Wert ist 23 m/s.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

(5) Wenn Eisenbahnverkehr gleichzeitig mit Windeinwirkungen zu berücksichtigen ist, (siehe A.2.2.1 und A.2.2.4 im Anhang der EN 1990), sollte die Begleiteinwirkung  $\psi_0 F_{wk}$  aus Wind auf die Brücke und Zügen auf den Wert  $F_{w}^{**}$  begrenzt werden, indem der Grundwert der Basisgeschwindigkeit  $v_{b,0}$  durch den Wert  $v_{b,0}^{**}$  ersetzt wird.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann den Wert für  $v_{b,0}^{**}$  vorgeben. Der empfohlene Wert ist 25 m/s.

## 8.2 Berechnungsmethode für die Systemantwort

(1) Es ist zu prüfen, ob für den Wind eine Berechnung der dynamischen Systemantwort für das Brückenbauwerk benötigt wird oder quasi-statische Lastannahmen ausreichen.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann Kriterien und Berechnungsmethoden angeben

ANMERKUNG 2 Ist eine dynamische Berechnung nicht erforderlich, kann der Wert  $c_{scd} = 1,0$  verwendet werden.

ANMERKUNG 3 Für gewöhnliche Straßen- und Eisenbahnbrückenüberbauten mit weniger als 40 m Spannweite ist eine Berücksichtigung der dynamischen Systemantwort im Allgemeinen nicht erforderlich. Als gewöhnlich können Konstruktionen aus Stahl, Beton, Aluminium oder Holz sowie Verbundkonstruktionen verstanden werden, deren Querschnitt den Formen in Bild 8.1 entspricht.

## 8.3 Kraftbeiwerte

(1) Kraftbeiwerte für Brüstungen und Schilderbrücken sind zu berücksichtigen, sofern sie nicht von vernachlässigbarer Größenordnung sind.

ANMERKUNG: Der Nationale Anhang kann Kraftbeiwerte für Brüstungen und Schilderbrücken vorgeben. Die Verwendung von 7.4 wird empfohlen.

### 8.3.1 Kraftbeiwerte in x-Richtung (allgemeine Methode)

(1) Die Kraftbeiwerte für Windeinwirkungen auf Brückenüberbauten in x-Richtung sind:

$$c_{f,x} = c_{fx,0} \quad (8.1)$$

Dabei ist

$c_{fx,0}$  der aerodynamische Beiwert für unendlich große Schlankheit (siehe 7.13).

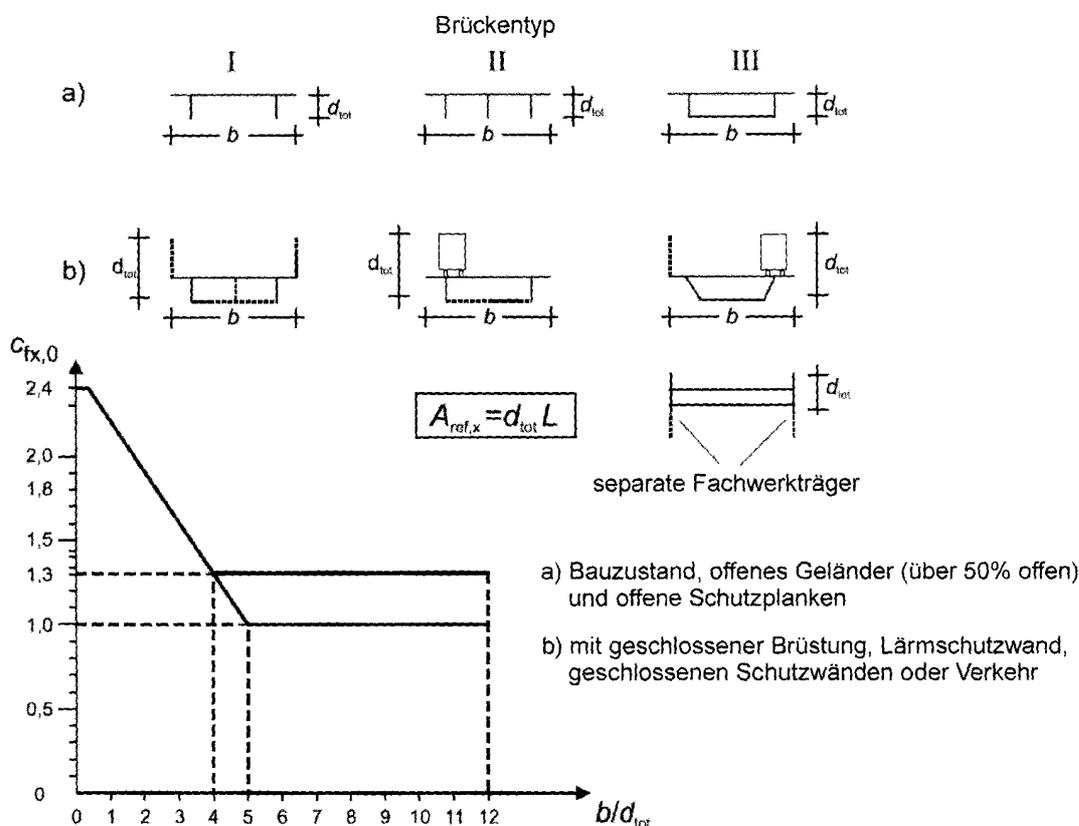
ANMERKUNG 1 Bei Brückenbauwerken gibt es im Allgemeinen keine frei umströmbaren Enden, da die Strömung nur von zwei Seiten umgelenkt wird (der Ober- und der Unterseite des Überbaus).

ANMERKUNG 2 Für übliche Brücken kann  $c_{fx,0} = 1,3$  angenommen werden. Alternativ kann der Wert für  $c_{fx,0}$  dem Bild 8.3 entnommen werden, [AC] in dem einige typische Fälle zur Bestimmung von  $A_{ref,x}$  (wie in 8.3.1(4) definiert) und  $d_{tot}$  dargestellt sind. [AC]

ANMERKUNG 3 Wenn der Neigungswinkel der Windanströmung  $10^\circ$  übersteigt, können Sonderuntersuchungen für den aerodynamischen Beiwert notwendig werden. Ein solcher Neigungswinkel kann auf ein Geländegefälle in Luv der Brücke zurückzuführen sein.

ANMERKUNG 4 [AC] Wenn sich zwei nahezu identische Überbauten in der gleichen Ebene befinden und nur in Längsrichtung durch einen Spalt, der nicht wesentlich breiter als 1 m ist, getrennt sind, [AC] kann die Windkraft auf der luvseitigen Seite wie für eine einteilige Konstruktion berechnet werden. In anderen Fällen sind besondere Überlegungen bezüglich der Wind-Bauwerk-Interaktion zweckmäßig.

AC

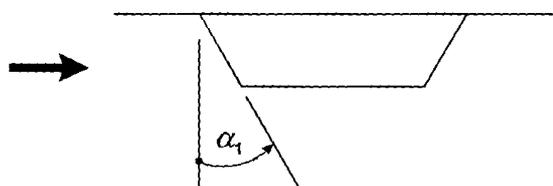


AC

**Bild 8.3 — Aerodynamische Beiwerte  $c_{fx,0}$  für Brücken**

(2) Wenn die Windangriffsfläche nach Bild 8.4 gegen die Vertikale geneigt ist, darf der Grundbeiwert  $c_{fx,0}$  um 0,5 % je Grad Neigungswinkel  $\alpha_1$  gegen die Vertikale abgemindert werden, jedoch um nicht mehr als 30 %.

ANMERKUNG Diese Abminderung ist nicht auf  $F_{wv}$ , so wie in 8.3.3 definiert, anwendbar, es sei denn im Nationalen Anhang wird dies abweichend geregelt.



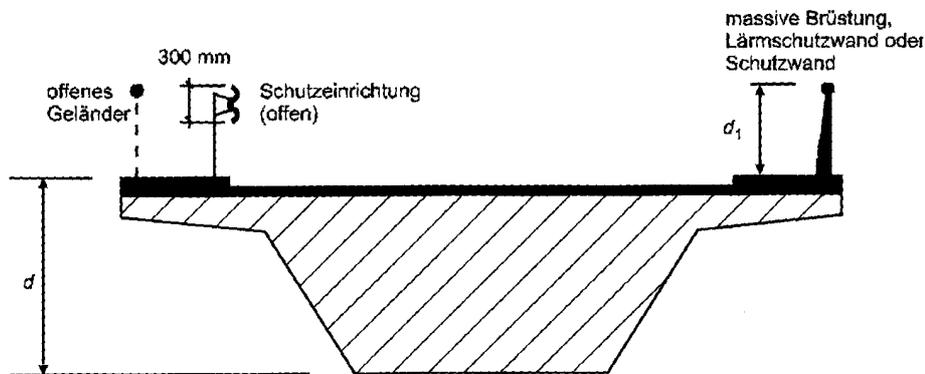
**Bild 8.4 — Brücke mit geneigter Windangriffsfläche**

(3) Falls die Brücke in Querrichtung geneigt ist, sollte  $c_{fx,0}$  um 3 % je Grad Neigung vergrößert werden, jedoch um nicht mehr als 25 %.

(4) Die Bezugsflächen  $A_{ref,x}$  für Lastkombinationen ohne Verkehrslast sollten auf dem zutreffenden Wert von  $d_{tot}$ , wie in Bild 8.5 und Tabelle 8.1 definiert, basieren:

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

- a) für Überbauten mit vollwandigen Hauptträgern **[AC]** gestrichener Text **[AC]**, die Summe von:
- 1) der Ansichtsfläche des vorderen Hauptträgers
  - 2) die Ansichtsfläche der darüber hinausragenden Teile der anderen Hauptträger
  - 3) der Ansichtsfläche des über den vorderen Hauptträger hinausragenden Gesims-, Fußweg- oder Schotterbettbereiches
  - 4) die Ansichtsfläche von massiven Schutzeinrichtungen oder Lärmschutzwänden die über die Flächen in 3) hinausragen oder, falls derartige Einrichtungen nicht vorhanden sind, 0,3 m für jedes offene Geländer oder jede Schutzplanke
- b) für Überbauten mit Fachwerkhauptträgern, die Summe von:
- 1) der Ansichtsfläche des Gesims-, Fußweg- oder Schotterbettbereiches,
  - 2) den massiven Teilen der Fachwerkträger, die senkrecht zur Anströmungsrichtung liegen und ober- oder unterhalb des unter 1) beschriebenen Bereiches herausragen,
  - 3) der Ansichtsfläche von massiven Schutzeinrichtungen oder Lärmschutzwänden, die über die Flächen in 1) hinausragen oder, falls derartige Einrichtungen nicht vorhanden sind, 0,3 m für jedes offene Geländer oder jede Schutzplanke.
- Jedoch sollte die gesamte Bezugsfläche nicht diejenige eines äquivalenten Vollwandträgers derselben Gesamthöhe mit allen zugehörigen Bereichen überschreiten.
- c) Bei Überbauten mit mehreren Hauptträgern während des Bauzustandes sollte für die Phase vor dem Einbau der Fahrbahn die Ansichtsfläche von zwei Hauptträgern angesetzt werden.



**Bild 8.5 — Anzusetzende Querschnittshöhen für  $A_{ref,x}$**

**Tabelle 8.1 — **[AC]** Anzusetzende Querschnittshöhen  $d_{tot}$  für  $A_{ref,x}$  **[AC]****

Fahrbahnschutzeinrichtung	an einer Seite	an beiden Seiten
offenes Geländer oder offene Schutzplanken	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
geschlossenes Geländer oder geschlossene Schutzwände	$d + d_1$	$d + 2d_1$
offenes Geländer und offene Schutzplanken	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

(5) Die Bezugsfläche  $A_{ref,x}$  für Wind kombiniert mit Verkehr ist wie die Bezugsfläche in Absatz (4) jedoch statt mit den in a) 3) und 4) und b) 3) angegebenen Flächen mit den folgenden Flächen zu berechnen, sofern sie größer sind:

- a) bei Straßenbrücken eine Verkehrsbandhöhe von 2 m oberhalb der Fahrbahn auf einer Länge, die für den jeweiligen Nachweis am ungünstigsten ist, unabhängig von der Stellung der angenommenen vertikalen Verkehrslast.
- b) bei Eisenbahnbrücken eine Verkehrsbandhöhe von 4 m oberhalb der Schienen auf der kompletten Länge der Brücke.

(6) Die Referenzhöhe  $z_e$  ist als Abstand vom tiefsten Geländepunkt unter der Brücke bis zur Mitte des Brückenüberbaus anzusetzen. Andere Brückenteile (z. B. Geländer) werden hierbei vernachlässigt.

(7) AC Druck- und Sogeinwirkungen vorbeifahrender Fahrzeuge liegen nicht im Anwendungsbereich dieser Norm. Für Druck- und Sogeinwirkungen von Zugverkehr siehe EN 1991-2. AC

### 8.3.2 Kräfte in x-Richtung — Vereinfachtes Verfahren

(1) In Fällen, bei denen eine dynamische Berechnung der Bauwerksantwort nicht benötigt wird, ist die Windkraft in x-Richtung mit folgender Gleichung zu errechnen:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} \quad (8.2)$$

Dabei ist

$v_b$  Basiswindgeschwindigkeit (siehe 4.2 (2))

$C$  Windlastfaktor:

$C = c_e \cdot c_{f,x}$ , mit  $c_e$  = Geländefaktor aus 4.5 und  $c_{f,x}$  nach 8.3.1(1);

$A_{ref,x}$  Bezugsfläche nach 8.3.1;

$\rho$  Dichte der Luft (siehe 4.5).

ANMERKUNG Die  $C$ -Werte können durch den Nationalen Anhang festgelegt werden. Empfohlene Werte gibt Tabelle 8.2 an.

Tabelle 8.2 — Kraftbeiwerte  $C$  für Brücken

$bl_{tot}$	$z_e \leq 20$ m	$z_e = 50$ m
$\leq 0,5$	5,7	7,1
$\geq 4,0$	3,1	3,8

ANMERKUNG Diese Tabelle basiert auf den folgenden Annahmen :

- Geländekategorie II nach Tabelle 4.1
- Kraftbeiwert  $c_{f,x}$  nach 8.3.1 (1)
- $c_0 = 1,0$
- $k_1 = 1,0$

Für Zwischenwerte von  $bl_{tot}$ , und  $z_e$  darf linear interpoliert werden

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**8.3.3 Windkräfte auf Brückenüberbauten in z-Richtung**

(1) Die Kraftbeiwerte  $c_{f,z}$  für Windkräfte in der z-Richtung sind sowohl nach oben als auch nach unten gerichtet (Auftriebs- und Abtriebsbeiwert) festzulegen.  $c_{f,z}$  kann nicht angesetzt werden, um die vertikalen Schwingungen des Überbaus zu berechnen.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann Werte für  $c_{f,z}$  angeben. Falls keine Windkanaluntersuchungen durchgeführt werden, wird der Wert  $c_{f,z} = \pm 0,9$  empfohlen. Dieser Wert berücksichtigt eine mögliche Querneigung des Überbaus, eine mögliche Geländeneigung und die Beeinflussung des Anströmwinkels aufgrund der Turbulenz.

Alternativ kann  $c_{f,z}$  auch dem Bild 8.6 entnommen werden. Dabei ist zu beachten:

die Höhe  $d_{tot}$  sollte auf die Bauhöhe des Überbaus beschränkt werden, wobei der Verkehr und die Brückenausstattung vernachlässigt werden können,

bei flachem, horizontalem Gelände sollte als Neigungswinkel der Anströmung gegenüber der Horizontalen  $\alpha \pm 5^\circ$  als Folge der turbulenten Anströmung angesetzt werden. Dies gilt auch für hügeliges Gelände, wenn die Höhe des Überbaus mindestens 30 m über Gelände liegt.

ANMERKUNG 2 Die vertikale Kraft ist nur dann von Bedeutung, wenn sie von gleicher Größenordnung wie das Eigengewicht ist.

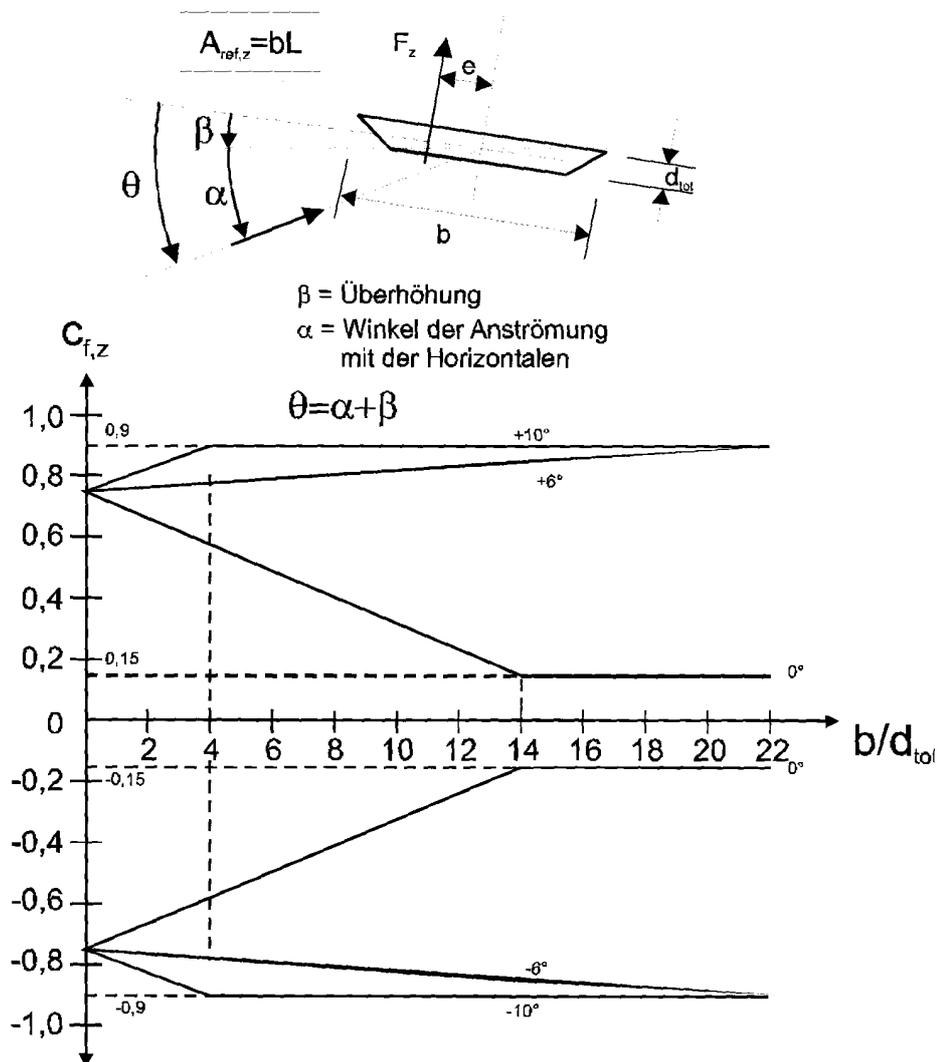


Bild 8.6 — Aerodynamische Beiwerte für Brücken mit Querneigung und Windanströmwinkel

(2) Die Bezugsfläche  $A_{ref,z}$  entspricht der vertikalen Projektionsfläche (siehe Bild 8.2):

$$A_{ref,z} = b \cdot L \quad (8.3)$$

(3) Schlankheitseffekte sollten nicht berücksichtigt werden.

(4) Die Bezugshöhe ist die gleiche wie bei der Ermittlung von  $c_{f,x}$  (siehe 8.3.1(6)).

(5) Als Ausmitte für die Kraft in x-Richtung darf  $e = b/4$  angesetzt werden.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**8.3.4 Windkräfte auf Brückenüberbauten in y-Richtung**

(1) Falls erforderlich, sind auch die Windlängskräfte in y-Richtung zu bestimmen

Anmerkung: Der Nationale Anhang kann hierfür Werte vorgeben. Empfohlene Werte sind:  
— bei vollwandigen Brücken, 25 % der Windkraft in x-Richtung,  
— bei Fachwerkbrücken, 50 % der Windkraft in x-Richtung.

**8.4 Brückenpfeiler**

**8.4.1 Windrichtungen und Bemessungssituationen**

(1) Die Windeinwirkungen auf Brückenüberbauten und auf die tragenden Pfeiler sind unter Berücksichtigung der für das Gesamttragwerk ungünstigsten Windrichtung zu berechnen.

(2) Für vorübergehende Bauzustände sollten die Windeinwirkungen besonders ermittelt werden, wenn keine horizontale Ableitung oder – Umlagerung der Windkräfte durch den Überbau möglich ist. Falls während solcher Bauzustände die Pfeiler durch auskragende Überbauteile oder Teile der Schalung belastet werden, sollte eine mögliche asymmetrische Windeinwirkung auf solche Teile berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Vorübergehende Bauzustände sind normalerweise kritischer für die Brückenpfeiler und einige Überbautypen als die ständigen Bemessungssituationen, die nach der Fertigstellung auftreten. Charakteristische Werte für vorübergehende Bemessungssituationen können EN 1991-1-6 entnommen werden. Zur Berücksichtigung von Gerüsten siehe 7.11.

**8.4.2 Windeinwirkungen auf Brückenpfeiler**

(1) Die Windeinwirkungen auf Brückenpfeiler sind nach dem in dieser Norm beschriebenen Vorgehen zu bestimmen. Bei der Berechnung der Gesamtbelastung sollten die Bedingungen nach 7.6, 7.8 oder 7.9.2 beachtet werden.

ANMERKUNG 1 Vereinfachte Regeln können im Nationalen Anhang angegeben werden.

**AC** ANMERKUNG 2 Der nationale Anhang darf Verfahren zur Behandlung von asymmetrischer Belastung angeben. Das empfohlene Verfahren besteht darin, Bemessungswindlasten, die sich günstig auf die Bauteile eines Tragwerks auswirken, zu vernachlässigen (siehe 7.1.2 (1)). **AC**

## Anhang A (informativ)

### Einfluss von Geländerauhigkeit und Topographie

#### A.1 Darstellung der größten Rauigkeiten der unterschiedlichen Geländekategorien

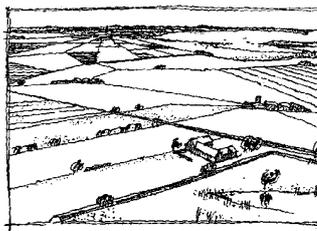
##### Geländekategorie 0

See, Küstengebiete, die der offenen See ausgesetzt sind



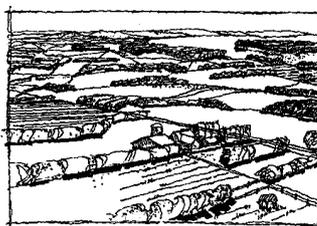
##### Geländekategorie I

Seen oder Gebiete mit niedriger Vegetation und ohne Hindernisse



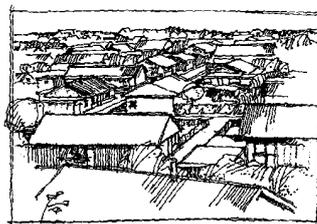
##### Geländekategorie II

Gebiete mit niedriger Vegetation wie Gras und einzelnen Hindernissen (Bäume, Gebäude) mit Abständen von mindestens der 20-fachen Hindernishöhe



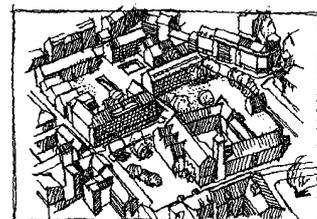
##### Geländekategorie III

Gebiete mit gleichmäßiger Vegetation oder Bebauung oder mit einzelnen Objekten mit Abständen von weniger als der 20-fachen Hindernishöhe (z.B. Dörfer, vorstädtische Bebauung, Waldgebiete).



##### Geländekategorie IV

Gebiete, in denen mindestens 15 % der Oberfläche mit Gebäuden mit einer mittleren Höhe von 15 m bebaut ist



**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

## **A.2 Übergänge zwischen den Rauigkeitskategorien 0, I, II, III und IV**

(1) Die Übergänge zwischen den Gebieten mit unterschiedlicher Rauigkeit sind bei der Berechnung von  $q_p$  und  $c_{s,c_d}$  zu berücksichtigen werden.

**ANMERKUNG** Die Vorgehensweise ist dem Nationalen Anhang zu entnehmen. Im nachfolgenden werden zwei Vorgehensweisen empfohlen.

### **Verfahren 1**

Wenn der Baukörper in der Nähe eines Wechsels der Geländerauhigkeit liegt, dessen Abstand

- weniger als 2 km von der Kategorie 0
- weniger als 1 km von den Kategorien I bis III

entfernt ist, dann sollte die glattere Geländerauhigkeit in luvseitiger Richtung angesetzt werden.

Kleinere Gebiete (weniger als 10 % der Fläche, die ansonsten berücksichtigt wird) mit von der Hauptfläche abweichender Rauigkeit können ignoriert werden.

### **Verfahren 2**

- a) Bestimmung der Geländerauhigkeiten in luvseitiger Richtung in den Anströmsektoren, die berücksichtigt werden sollen
- b) Bestimmung des Abstandes  $x$  zwischen Gebäude und Rauigkeitswechsel in jedem Sektor
- c) Ist der Abstand  $x$  zwischen Gebäude und Rauigkeitswechsel geringer als der in Tabelle A.1 angegebene Wert, sollte der kleinere Wert für die Rauigkeit in dem betrachteten Sektor angesetzt werden. Ist der Abstand  $x$  größer als der in Tabelle A.1 angegebene Wert, sollte der größere Wert für die Rauigkeit angesetzt werden.

Kleine Gebiete (weniger als 10 % der Fläche, die ansonsten berücksichtigt wird) mit von der Hauptfläche abweichender Rauigkeit können ignoriert werden.

Wenn Tabelle A.1 keine Distanz  $x$  liefert, oder wenn die Gebäudehöhe 50 m überschreitet, sollte die kleinere Rauigkeit verwendet werden.

Für Zwischenwerte der Höhe  $z$  darf linear interpoliert werden.

Ein Gebäude in einer bestimmten Geländekategorie kann mit einer glatteren Geländekategorie berechnet werden, wenn es innerhalb der in Tabelle A.1 definierten Distanzgrenzen liegt.

Tabelle A.1 — Abstand  $x$ 

Höhe $z$	I nach II	I nach III
5 m	0,50 km	5,00 km
7 m	1,00 km	10,00 km
10 m	2,00 km	20,00 km
15 m	5,00 km	
20 m	12,00 km	
30 m	20,00 km	
50 m	50,00 km	

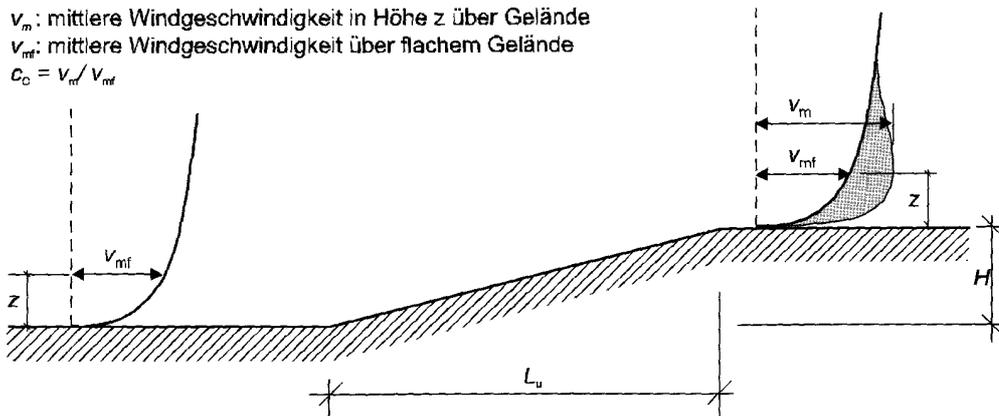
Höhe $z$	II nach III	II nach IV
5 m	0,30 km	2,00 km
7 m	0,50 km	3,50 km
10 m	1,00 km	7,00 km
15 m	3,00 km	20,00 km
20 m	7,00 km	
30 m	10,00 km	
50 m	30,00 km	

Höhe $z$	III nach IV
5 m	0,20 km
7 m	0,35 km
10 m	0,70 km
15 m	2,00 km
20 m	4,50 km
30 m	7,00 km
50 m	20,00 km

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

### A.3 Numerische Berechnung der Topographiebeiwerte

(1) An isolierten Bergen, Bergketten oder Felsen und Böschungen ergeben sich unterschiedliche Windgeschwindigkeiten aus der Geländeneigung  $\Phi = H/L_u$  in Strömungsrichtung. Hierbei bezeichnet  $H$  die Höhe des Anstiegs und  $L_u$  die Anstiegslänge, wie in Bild A. 1. definiert.



**Bild A.1 — Darstellung des Anstieges der Windgeschwindigkeit über der Topographie**

(2) Der größte Anstieg der Windgeschwindigkeit ergibt sich kurz vor Ende der Rampe und wird beschrieben durch den Topographiebeiwert  $c_D$  (siehe Bild A.1.). Die Rampe hat keinen signifikanten Einfluss auf die Standardabweichung der Turbulenz, wie in 4.4 (1) beschrieben.

ANMERKUNG Die Intensität der Turbulenz nimmt mit zunehmender Windgeschwindigkeit ab, die Standardabweichung verändert sich hingegen nicht.

(3) Der Topographiebeiwert  $c_D(z) = v_m/v_{mf}$  beschreibt den Anstieg der mittleren Windgeschwindigkeit bei einzelnen Bergen oder Böschungen (nicht für welliges Bodenprofil oder Bergregionen). Er bezieht sich auf die Windgeschwindigkeit am Fuß des Berges oder der Böschung. Der Topographieeinfluss muss in folgenden Situationen berücksichtigt werden:

a) Für Standorte auf den luvseitigen Hängen von Bergen oder Bergketten:

$$\text{wenn } 0,05 < \Phi \leq 0,3 \text{ und } |x| \leq L_u / 2$$

b) Für Standorte auf den leeseitigen Hängen von Bergen oder Bergketten:

$$\text{wenn } \Phi < 0,3 \text{ und } x < L_d / 2$$

$$\text{wenn } \Phi \geq 0,3 \text{ und } x < 1,6 H$$

c) Für Standorte auf den luvseitigen Hängen von Felsen oder Böschungen:

$$\text{wenn } 0,05 < \Phi \leq 0,3 \text{ und } |x| \leq L_u / 2$$

d) Für Standorte auf den leeseitigen Hängen von Felsen oder Böschungen:

$$\text{wenn } \Phi < 0,3 \text{ und } x < 1,5 L_e$$

$$\text{wenn } \Phi \geq 0,3 \text{ und } x < 5 H$$

$c_0$  ist folgendermaßen definiert:

$$c_0 = 1 \text{ für } \phi < 0,05 \quad (\text{A.1})$$

$$c_0 = 1 + 2 \cdot s \cdot \phi \text{ für } 0,05 < \phi < 0,3 \quad (\text{A.2})$$

$$c_0 = 1 + 0,6 \cdot s \text{ für } \phi > 0,3 \quad (\text{A.3})$$

Dabei ist

$s$  Faktor nach Bild A.2 oder A.3 bezogen auf die effektive Länge  $L_e$  der luvseitigen Steigung

$\phi$  luvseitige Steigung (siehe Bild A.2 und Bild A.3)

$L_e$  effektive Länge der luvseitigen Steigung nach Tabelle A.2

$L_u$  tatsächliche Länge der luvseitigen Steigung (Projektion auf die Horizontale)

$L_d$  tatsächliche Länge der leeseitigen Steigung

$H$  effektive Höhe des Hügels oder des Geländesprungs

$x$  horizontaler Abstand des Bauwerks vom Kamm der Erhebung

$z$  vertikaler Abstand von der Geländeoberkante auf der Steigungsfläche

**Tabelle A.2 — Werte für die effektive Länge  $L_e$**

Hangart ( $\Phi = H/L_u$ )	
Flach ( $0,05 < \phi < 0,3$ )	Steil ( $\phi > 0,3$ )
$L_e = L_u$	$L_e = H/0,3$

**ANMERKUNG** Die berechneten Funktionen in den Bildern A.2 und A.3 überschreiten die oben definierten Anwendungsbereiche. Die Berücksichtigung von Topographieeffekten außerhalb dieses Bereiches ist optional.

(4) In Tälern darf der Faktor  $c_0(z)$  zu 1,0 gesetzt werden, wenn Beschleunigungen aufgrund von Kanalisierungseffekten ausgeschlossen werden können. Für Bauwerke in steilwandigen Tälern oder für Brücken, die solche Täler überspannen, ist zu prüfen ob Windgeschwindigkeitserhöhungen berücksichtigt werden müssen.

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
 EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

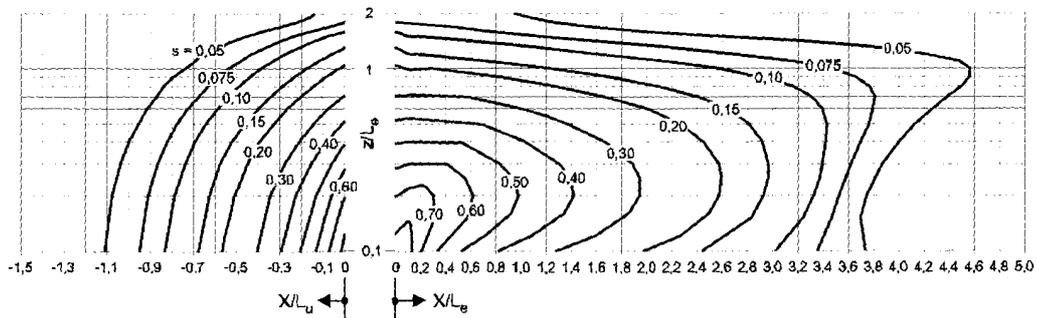
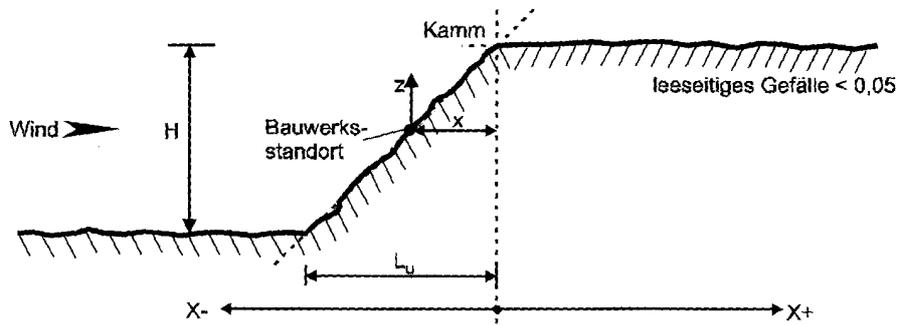


Bild A.2 — Faktor  $s$  für Klippen und Geländesprünge

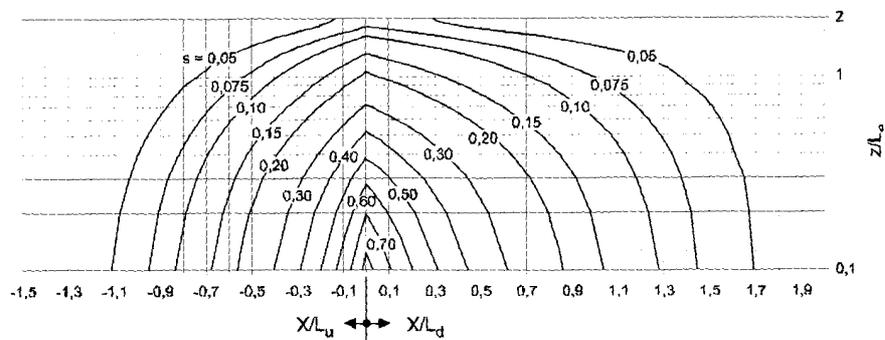
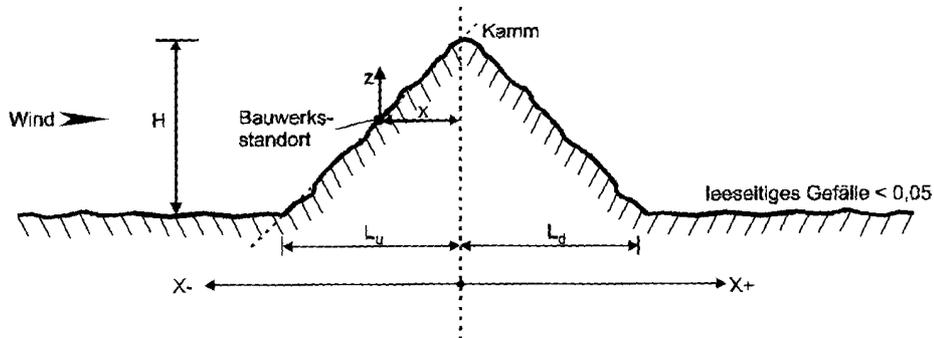


Bild A.3 — Faktor  $s$  für Kuppen und Hügelkämme

(5) Die Gleichungen (A.4) bis (A.7) und (A.11) können zur Berechnungen des Topographiebeiwertes verwendet werden. Da diese Gleichungen empirisch gewonnen wurden, ist es äußerst wichtig, dass die verwendeten Parameter in den angegebenen Grenzen liegen, da sonst fehlerhafte Ergebnisse die Folge sind.

**a) luvseitiger Bereich bei jeder Topographie (siehe Bilder A.2 und A.3):**

In den Bereichen

$$-1,5 \leq \frac{X}{L_u} \leq 0 \text{ und } 0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

gilt:

$$s = A \cdot e^{\left(\frac{B \cdot X}{L_u}\right)} \quad (\text{A.4})$$

Dabei ist

$$A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 1,0124 \quad (\text{A.5})$$

und

$$B = 0,3542 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,0577 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 2,6456 \quad (\text{A.6})$$

Für

$$\frac{X}{L_u} < -1,5 \text{ oder } \frac{z}{L_e} > 2$$

gilt:

$$s = 0$$

**b) leeseitiger Bereich für Klippen und Geländesprünge (siehe Bild A.2):**

In den Bereichen

$$0,1 \leq \frac{X}{L_e} \leq 3,5 \text{ und } 0,1 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

gilt:

$$s = A \cdot \left(\log\left[\frac{X}{L_e}\right]\right)^2 + B \cdot \left(\log\left[\frac{X}{L_e}\right]\right) + C \quad (\text{A.7})$$

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

Dabei ist

$$A = -1,3420 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8222 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,4609 \cdot \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] - 0,0791 \quad (\text{A.8})$$

$$B = -1,0196 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8910 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,5343 \cdot \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] - 0,1156 \quad (\text{A.9})$$

und

$$C = 0,8030 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^3 + 0,4236 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^2 - 0,5738 \cdot \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] + 0,1606. \quad (\text{A.10})$$

In den Bereichen

$$0 \leq \frac{X}{L_e} \leq 0,1,$$

ist zwischen den Werten für

$$\frac{X}{L_e} = 0 \quad (s = A \text{ in Gleichung A.5}) \text{ und } \frac{X}{L_e} = 0,1 \text{ zu interpolieren.}$$

Bei  $\frac{z}{L_e} < 0,1$  sind die Werte für  $\frac{z}{L_e} = 0,1$  zu verwenden.

**AC** Bei  $\frac{X}{L_e} > 3,5$  **AC** oder  $\frac{z}{L_e} > 2,0$  ist  $s = 0$  zu verwenden.

**c) leeseitiger Bereich für Kuppen und Hügelkämme (siehe Bild A.3):**

In den Bereichen

$$0 \leq \frac{X}{L_d} \leq 2,0 \quad \text{und} \quad 0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

gilt:

$$s = A \cdot e^{\left( \frac{B \cdot X}{L_d} \right)}. \quad (\text{A.11})$$

Dabei ist:

$$A = 0,1552 \cdot \left( \frac{z}{L_e} \right)^4 - 0,8575 \cdot \left( \frac{z}{L_e} \right)^3 + 1,8133 \cdot \left( \frac{z}{L_e} \right)^2 - 1,9115 \cdot \left( \frac{z}{L_e} \right) + 1,0124 \quad (\text{A.12})$$

und

$$B = -0,3056 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 + 1,0212 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) - 1,7637 \quad (\text{A.13})$$

Bei

$$\frac{X}{L_d} > 2,0 \text{ oder } \frac{z}{L_e} > 2,0$$

ist

$s = 0$  anzusetzen.

ANMERKUNG Die Gleichungen (A.5) und (A.12) sind identisch.

#### A.4 Einfluss eines höheren Nachbargebäudes

(1) Falls ein Gebäude mehr als doppelt so hoch ist als die mittlere Höhe  $h_{\text{ave}}$  der benachbarten Gebäude, kann in erster Näherung die Bemessung dieser benachbarten Gebäude mit dem Böengeschwindigkeitsdruck in der Höhe  $z_n$  ( $z_e = z_n$ ) über Bodenniveau durchgeführt werden. (Gleichung A.14), vgl. Bild A.4.

$$x \leq r : z_n = \frac{1}{2} \cdot r$$

$$r < x < 2 \cdot r : z_n = \frac{1}{2} \left( r - \left(1 - \frac{2 \cdot h_{\text{low}}}{r}\right) \cdot (x - r) \right) \quad (\text{A.14})$$

$$x \geq 2 \cdot r : z_n = h_{\text{low}}$$

Der Radius  $r$  wird folgendermaßen bestimmt:

$$r = h_{\text{high}} \quad \text{wenn} \quad h_{\text{high}} \leq 2 \cdot d_{\text{large}}$$

$$r = 2 \cdot d_{\text{large}} \quad \text{wenn} \quad h_{\text{high}} > 2 \cdot d_{\text{large}}$$

Die Gebäudehöhe  $h_{\text{low}}$ , der Radius  $r$ , der Abstand  $x$  und die Abmessungen  $d_{\text{small}}$  und  $d_{\text{large}}$  sind in Bild A.4 dargestellt. Eine Erhöhung der Windgeschwindigkeiten kann vernachlässigt werden, wenn  $h_{\text{low}}$  größer als die Hälfte der Höhe  $h_{\text{high}}$  des herausragenden Gebäudes ist. Die anzusetzende Höhe ist dann  $z_n = h_{\text{low}}$ .

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

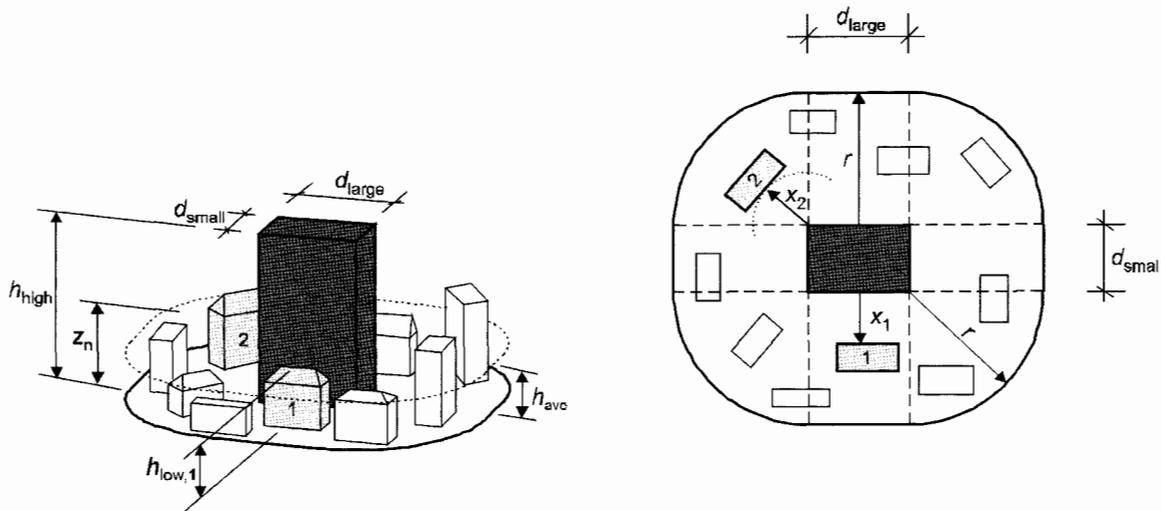


Bild A.4 — Einfluss eines hohen Gebäudes auf zwei unterschiedliche benachbarte Gebäude (1 und 2)

### A.5 Versatzhöhe

(1) Bei Gebäuden in der Geländekategorie IV bewirken nahe zueinander stehende Gebäude und andere Hindernisse eine Verschiebung des Windprofils nach oben. Diese Versatzhöhe wird mit  $h_{dis}$  bezeichnet und kann anhand der Gleichung (A.15) bestimmt werden, siehe Bild A.5. Das Profil des Böengeschwindigkeitsdruckes als Funktion der Höhe (siehe Bild 4.2), darf um das Maß der Versatzhöhe  $h_{dis}$  nach oben verschoben werden.

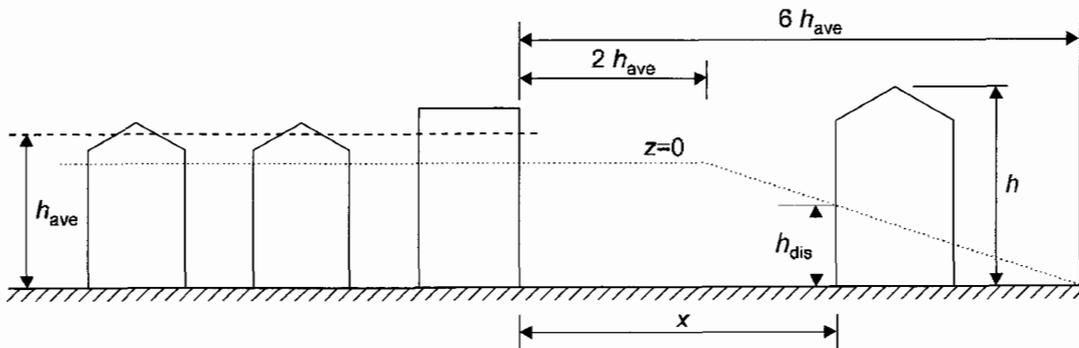


Bild A.5 – Versatzhöhe und luvseitiger Abstand

$$x \leq 2 \cdot h_{ave} \quad h_{dis} \text{ ist der kleinere Wert von } 0,8 \cdot h_{ave} \text{ oder } 0,6 \cdot h$$

$$2 \cdot h_{ave} < x < 6 \cdot h_{ave} \quad h_{dis} \text{ ist der kleinere Wert von } 1,2 \cdot h_{ave} - 0,2 \cdot x \text{ oder } 0,6 \cdot h \quad (\text{A.15})$$

$$x \geq 6 \cdot h_{ave} \quad h_{dis} = 0$$

Falls keine näheren Informationen vorliegen, darf in der Geländekategorie IV für die mittlere Höhe der Hindernisse ein Wert von  $h_{ave} = 15$  angesetzt werden. AC Diese Regeln sind richtungsabhängig. Die Werte für  $h_{ave}$  und  $x$  sollten für jeden  $30^\circ$ -Sektor bestimmt werden, wie in 4.3.2 beschrieben. AC

## Anhang B (informativ)

### Berechnungsverfahren 1 zur Bestimmung des Strukturbeiwertes $c_s c_d$

#### B.1 Windturbulenz

(1) Das Integrallängenmaß der Turbulenz  $L(z)$  repräsentiert die mittlere Böenballengröße des natürlichen Windes. Für Bauwerkshöhen  $z$  unterhalb von 200 m kann das Integrallängenmaß anhand der Gleichung (B.1) berechnet werden:

$$L(z) = L_t \cdot \left( \frac{z}{z_t} \right)^\alpha \quad \text{für } z \geq z_{\min} \quad (\text{B.1})$$

$$L(z) = L(z_{\min}) \quad \text{für } z < z_{\min}$$

mit einer Bezugshöhe von  $z_t=200$  m, einer Bezugslänge von  $L_t = 300$  m, mit  $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$  und mit der Rauigkeitshöhe  $z_0$  in m. Die minimale Höhe  $z_{\min}$  ist in Tabelle 4.1 angegeben.

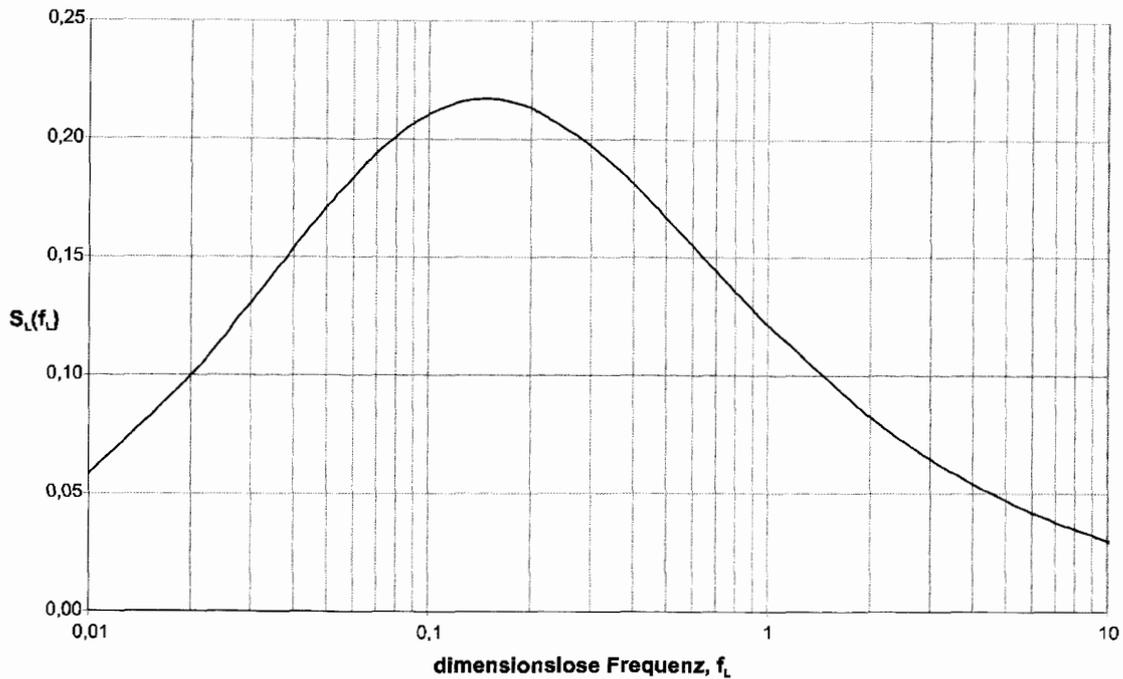
(2) Die Verteilung der Böenenergie im Frequenzbereich wird durch die dimensionslose spektrale Dichte  $S_L(z, n)$  ausgedrückt. Die Berechnung erfolgt mit Gleichung (B.2):

$$S_L(z, n) = \frac{n \cdot S_v(z, n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}} \quad (\text{B.2})$$

Dabei ist  $S_v(z, n)$  das Autospektrum des turbulenten Windes, und

$f_L(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{v_m(z)}$  eine dimensionslose Frequenz, die durch  $n = n_{1,x}$ , der Bauwerkseigenfrequenz in Hz, der mittleren Windgeschwindigkeit  $v_m(z)$  und durch das Integrallängenmaß der Turbulenz  $L(z)$ , wie in Bild B.1 definiert, bestimmt wird. Die dimensionslose spektrale Dichtefunktion ist in Bild B.1 dargestellt.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**



**Bild B.1 – spektrale Dichtefunktion  $S_L(f_L)$**

## B.2 Strukturbeiwert $c_{scd}$

(1) Der Strukturbeiwert  $c_{scd}$  ist in Abschnitt 6.3.1 definiert.

(2) Der Böengrundanteil  $B^2$  erfasst die Reduktion des effektiven Winddruckes durch die abnehmende Korrelation auf großen Lasteinzugflächen. Er kann entsprechend der Gleichung (B.3) berechnet werden:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} \quad (\text{B.3})$$

Dabei ist

$b, h$  Breite und Höhe des Bauwerks, siehe Bild 6.1.

$L(z_s)$  Integrallängenmaß der Turbulenz entsprechend B.1 (1) für die Bezugshöhe  $z_s$  wie in Bild 6.1 definiert. Auf der sicheren Seite liegend kann  $B^2 = 1$  verwendet werden.

(3) Der Spitzenbeiwert  $k_p$  ist definiert als das Verhältnis des maximalen Wertes des fluktuierenden Teils der Bauwerksreaktion und dessen Standardabweichung. Er wird mit Gleichung (B.4) berechnet und ist in Bild B.2 dargestellt.

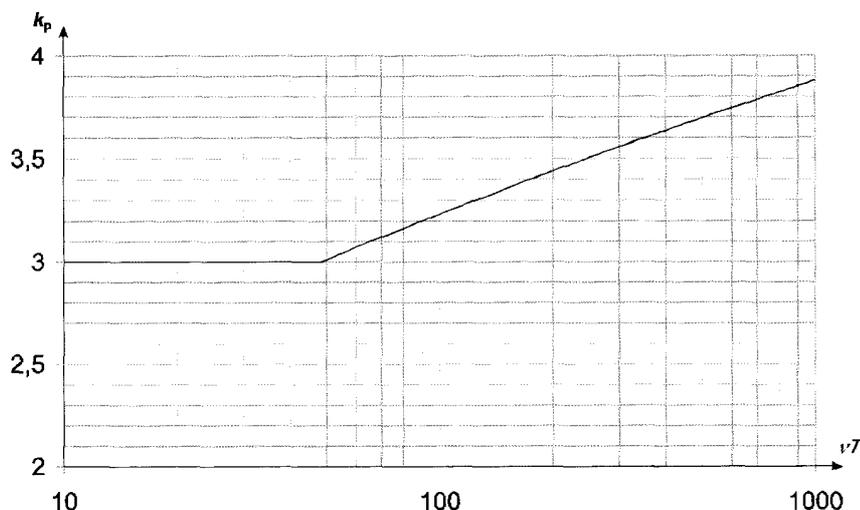


Bild B.2 - Spitzenbeiwert

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \text{ oder } k_p = 3, \text{ der gr\u00f6\u00dfere Wert ist ma\u00dfgebend} \quad (\text{B.4})$$

Dabei ist

$\nu$  Erwartungswert der Frequenz der B\u00f6enreaktion nach (4)

$T$  Mittelungszeitraum f\u00fcr die mittlere Windgeschwindigkeit,  $T = 600$  Sekunden.

(4) Der Erwartungswert der Frequenz der B\u00f6enreaktion  $\nu$  wird mit Gleichung (B.5) bestimmt:

$$\nu = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad ; \quad \nu \geq 0,08 \text{ Hz} \quad (\text{B.5})$$

Hierbei ist  $n_{1,x}$  die Bauwerkseigenfrequenz, die mit Hilfe des Anhangs F bestimmt werden kann. Die Begrenzung von  $\nu \geq 0,08$  Hz korrespondiert mit einem Spitzenbeiwert von 3,0.

(5) Der Resonanz-Antwortanteil  $R^2$ , der die resonanzartige, dynamische Vergr\u00f6\u00dferung einer Schwingungsform des Bauwerkes durch die Turbulenz erfasst, wird mit Gleichung (B.6) bestimmt:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) \quad (\text{B.6})$$

Dabei ist

$\delta$  logarithmisches D\u00e4mpfungsdekrement entsprechend Anhang F.5

$S_L$  dimensionslose spektrale Dichtefunktion wie in Anhang B.1 (2) angegeben

$R_h, R_b$  aerodynamische \u00dcbertragungsfunktionen nach den Gleichung (B.7) und (B.8).

(6) Die aerodynamischen \u00dcbertragungsfunktionen  $R_h$  und  $R_b$  f\u00fcr eine Grundschiebungsfunktion k\u00f6nnen mit den Gleichungen (B.7) und (B.8) berechnet werden:

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}); R_h = 1 \quad \text{für} \quad \eta_h = 0 \quad (\text{B.7})$$

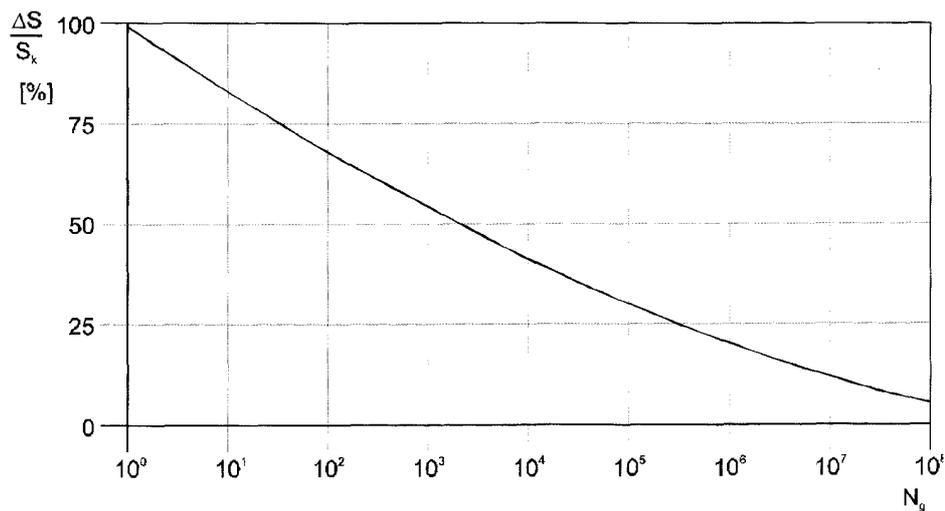
$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}); R_b = 1 \quad \text{für} \quad \eta_b = 0 \quad (\text{B.8})$$

mit:  $\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_e)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$  und  $\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_e)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$

**ANMERKUNG** Bei Schwingungsformen mit zusätzlichen Schwingungsknoten sind genauere Untersuchungen erforderlich.

### B.3 Anzahl der Überschreitungen von niedrigen Niveaus der Böenreaktion

(1) Bild B.3 zeigt die Anzahl  $N_g$ , die der Wert eines Einwirkungseffektes  $\Delta S$  während eines Zeitraums von 50 Jahren erreicht oder überschreitet.  $\Delta S$  ist ein Prozentanteil des Wertes  $S_k$ , wobei  $S_k$  der maßgebende Effekt einer Windeinwirkung innerhalb eines Zeitraums von 50 Jahren ist.



**Bild B.3 – Anzahl der Überschreitungen  $N_g$  des Niveaus  $\Delta S$  einer Böenreaktion  $S_k$  innerhalb eines Zeitraumes von 50-Jahren**

Die Beziehung zwischen  $\Delta S/S_k$  und  $N_g$  ist in Gleichung (B.9) angegeben.

$$\frac{\Delta S}{S_k} = 0,7 \cdot (\log(N_g))^2 - 17,4 \cdot \log(N_g) + 100 \quad (\text{B.9})$$

## B.4 Verformungen und Beschleunigungen zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit vertikaler Bauwerke

(1) Die maximale windinduzierte Verschiebung wird aus der äquivalenten statischen Windkraft, wie in 5.3 definiert, ermittelt.

(2) Die Standardabweichung  $\sigma_{a,x}$  der zu erwartenden windinduzierten Beschleunigung der Bauwerksstruktur in der Höhe  $z$  wird mittels Gleichung (B.10) ermittelt:

$$\sigma_{a,x}(z) = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot I_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s)}{m_{1,x}} \cdot R \cdot K_x \cdot \Phi_{1,x}(z) \quad (\text{B.10})$$

Dabei ist

- $c_f$  Kraftbeiwert, siehe Abschnitt 7
- $\rho$  Dichte der Luft, siehe 4.5 (1)
- $b$  die Bauwerksbreite, wie in Bild 6.1 definiert
- $I_v(z_s)$  Turbulenzintensität  $I_v(z)$  in Windrichtung für die Höhe  $z = z_s$  nach Bild 6.1 und 4.4
- $v_m(z_s)$  mittlere Windgeschwindigkeit  $v_m(z)$  für  $z = z_s$ , siehe 4.3.1 (1)
- $z_s$  die Bezugshöhe, siehe Bild 6.1
- $R$  die Wurzel des Resonanzanteils der Böenreaktion, siehe B.2 (5)
- $K_x$  ein dimensionsloser Koeffizient, angegeben in Gleichung (B.11)
- $m_{1,x}$  die äquivalente Masse für die Verschiebungskomponente in Windrichtung, siehe Anhang F.4 (1)
- $n_{1,x}$  die Eigenfrequenz des Bauwerks in Windrichtung, Näherungen können dem Anhang F entnommen werden.
- $\Phi_{1,x}(z)$  maßgebende Grundschwingungsform in Windrichtung, als eine erste Näherung können die Gleichungen aus Anhang F verwendet werden.

(3) Der dimensionslose Koeffizient,  $K_x$ , ist folgendermaßen definiert:

$$K_x = \frac{\int_0^h v_m^2(z) \cdot \Phi_{1,x}(z) \, dz}{v_m^2(z_e) \cdot \int_0^h \Phi_{1,x}^2(z) \, dz} \quad (\text{B.11})$$

Dabei ist

- $h$  Höhe des Bauwerks entsprechend Bild 6.1.

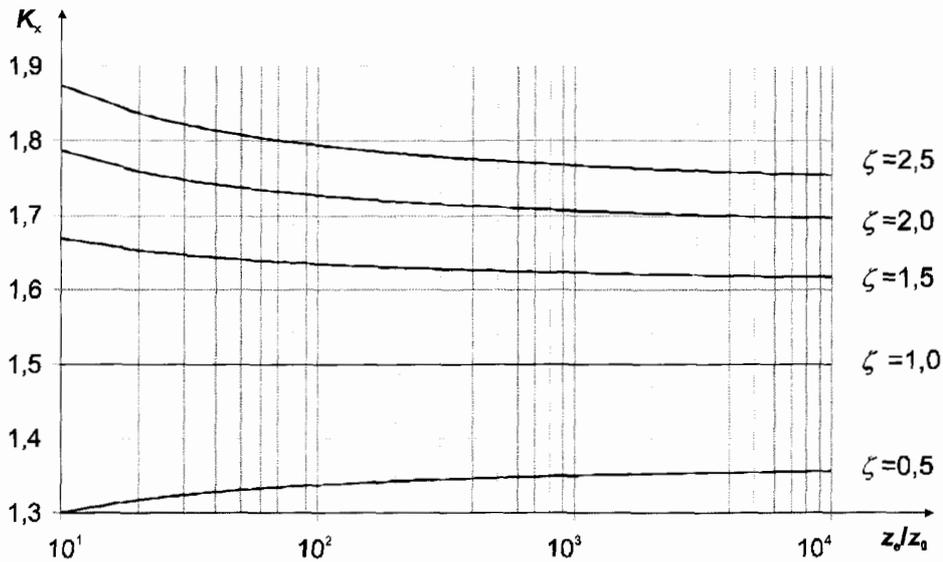
**ANMERKUNG** Unter Ansatz von  $\Phi_{1,x}(z)=(z/h)^5$  (siehe Anhang F) und  $c_0(z)=1$  (flaches Bodenprofil, siehe 4.3.3), kann Gleichung (B.11) durch die Gleichung (B.12) angenähert werden. Diese Näherung ist in Bild B.4 dargestellt.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

$$K_x = \frac{(2 \cdot \zeta + 1) \cdot \left\{ (\zeta + 1) \cdot \left[ \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right) + 0,5 \right] - 1 \right\}}{(\zeta + 1)^2 \cdot \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)} \quad (\text{B.12})$$

Dabei ist

- $z_0$  Rauigkeitslänge (Tabelle 4.1);
- $\zeta$  Exponent der Verformungsfigur (siehe Anhang F).



**Bild B.4 – Annäherung des dimensionslosen Koeffizienten  $K_x$  nach Gleichung (B.12)**

(4) Die charakteristischen Spitzenwerte der Beschleunigung werden durch Multiplikation der in Absatz (2) angegebenen Standardabweichung mit dem Spitzenbeiwert aus B.2 (3) unter Verwendung der Eigenfrequenz als Erwartungswert der Frequenz der Böenreaktion ermittelt, z. B.  $v = n_{1,x}$ .

## Anhang C (informativ)

### Berechnungsverfahren 2 zur Bestimmung des Strukturbeiwertes $c_s c_d$

#### C.1 Windturbulenz

(1) Die Turbulenz wird nach Gleichung B.1 bestimmt.

#### C.2 Strukturbeiwert $c_s c_d$

(1) Der Strukturbeiwert  $c_s c_d$  ist in 6.3.1 definiert.

(2) Der Böengrundanteil  $B^2$  erfasst die Reduktion des effektiven Winddruckes durch die abnehmende Korrelation auf großen Lasteingzugsflächen. Er kann mit der Gleichung (C.1) berechnet werden:

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{h}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{b}{L(z_s)} \cdot \frac{h}{L(z_s)}\right)^2}} \quad (\text{C.1})$$

Dabei ist

$b, h$  die Breite und die Höhe des Bauwerks, siehe Bild 6.1;

$L(z_s)$  Integrallängenmaß der Turbulenz nach Anhang B.1 (1) für die Bezugshöhe  $z_s$  wie in Bild 6.1 definiert.

Mit der Annahme von  $B^2 = 1$  liegt man auf der sicheren Seite.

(3) Der Spitzenbeiwert  $k_p$  kann aus Anhang B.2 (3) entnommen werden.

(4) Der Resonanz-Antwortanteil  $R^2$ , der die resonanzartige, dynamische Vergrößerung einer Schwingungsform des Bauwerkes durch die Turbulenz erfasst, wird mit Gleichung (C.2) bestimmt:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot K_s(n_{1,x}) \quad (\text{C.2})$$

Dabei ist

$\delta$  logarithmisches Dämpfungsdekrement nach Anhang F.5;

$S_L$  dimensionslose spektrale Dichtefunktion wie in Anhang B.1 (2) angegeben;

$n_{1,x}$  Eigenfrequenz eines Bauwerkes, sie kann mit Anhang F ermittelt werden;

$K_s$  die Größenreduktionsfunktion wie in Absatz (5) angegeben.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

(5) Die Größenreduktionsfunktion  $K_s$  kann unter Verwendung von Gleichung (C.3) angenähert werden:

$$K_s(n) = \frac{1}{1 + \sqrt{(G_y \cdot \phi_y)^2 + (G_z \cdot \phi_z)^2 + \left(\frac{2}{\pi} \cdot G_y \cdot \phi_y \cdot G_z \cdot \phi_z\right)^2}} \quad (\text{C.3})$$

$$\phi_y = \frac{c_y \cdot b \cdot n}{v_m(z_s)} \quad \phi_z = \frac{c_z \cdot h \cdot n}{v_m(z_s)}$$

Die Konstanten  $G_y$  und  $G_z$  hängen von der Veränderung der Schwingungsform entlang der horizontalen y-Achse und der vertikalen z-Achse (in dieser Reihenfolge) ab. Die Abklingkonstanten  $c_y$  und  $c_z$  sind beide gleich 11,5.

(6) Die Konstante  $G$ , die in Absatz (5) eingeführt wurde, und die Konstante  $K$  zur Berechnung der Beschleunigungen sind in Tabelle C.1 dargestellt.

**Tabelle C.1 – G und K als Funktion der Schwingungsform**

Schwingungsform	Konstant	Linear	Parabelförmig	Sinusförmig
G:	1/2	3/8	5/18	$4/\pi^2$
K:	1	3/2	5/3	$4/\pi$

ANMERKUNG 1 Für Bauwerke mit einer konstanten horizontalen Schwingungsform und einer linearen vertikalen Schwingungsform gilt:  $\Phi(y,z) = z/h$ ,  $G_y = 1/2$ ,  $G_z = 3/8$ ,  $K_y = 1$  und  $K_z = 3/2$ .

ANMERKUNG 2 Für Schornsteine mit einer konstanten horizontalen Schwingungsform und einer parabelförmigen vertikalen Schwingungsform gilt:  $\Phi(y,z) = z^2/h^2$ ,  $G_y = 1/2$ ,  $G_z = 5/18$ ,  $K_y = 1$  und  $K_z = 5/3$ .

ANMERKUNG 3 Für Brücken mit einer sinusförmigen, horizontalen Schwingungsform gilt:  $\Phi(y,z) = \sin(\pi \cdot y/b)$ ,  $G_y = 4/\pi^2$ ,  $G_z = 1/2$ ,  $K_y = 4/\pi$  und  $K_z = 1$ .

### C.3 Anzahl der Überschreitungen verschiedener Niveaus der Böenreaktion

(1) Die Anzahl der Überschreitungen verschiedener Niveaus der Böenreaktion kann, wie in Anhang B.3 beschrieben, ermittelt werden.

### C.4 Verformungen und Beschleunigungen zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit vertikaler Bauwerke

(1)  $\boxed{\text{AC}}$  Die maximale Verformung in In-Wind-Richtung ist die statische Verformung, die sich infolge der äquivalenten statischen Windkraft, die in 5.3 definiert ist, ergibt.  $\boxed{\text{AC}}$

(2) Die Standardabweichung  $\sigma_{a,x}$  der zu erwartenden windinduzierten Beschleunigung des Gebäudes in der Höhe  $z$  wird mit Gleichung (C.4) ermittelt:

$$\sigma_{a,x}(y,z) = c_f \cdot \rho \cdot I_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s) \cdot R \cdot \frac{K_y \cdot K_z \cdot \Phi(y,z)}{\mu_{\text{ref}} \cdot \Phi_{\text{max}}} \quad (\text{C.4})$$

Dabei ist

- $c_f$  Kraftbeiwert, siehe Abschnitt 7
- $\rho$  Dichte der Luft, siehe 4.5 (1)
- $I_v(z_s)$  Turbulenzintensität  $I_v(z)$  in Windrichtung für die Höhe  $z = z_s$  über dem Boden nach 4.4 (1)
- $v_m(z_s)$  mittlere Windgeschwindigkeit  $v_m(z)$  für  $z = z_s$ , siehe 4.3.1 (1)
- $z_s$  Bezugshöhe, siehe Bild 6.1
- $R$  Wurzel des Resonanzanteils der Böenreaktion, siehe C. 2 (4)
- $K_y, K_z$  Konstanten, wie in Anhang C.2 (6) angegeben
- $\mu_{ref}$  Masse pro Flächeneinheit, siehe F.5 (3)
- $\Phi(y, z)$  Schwingungsform
- $\Phi_{max}$  Betrag der Schwingungsform an der Stelle der maximalen Amplitude.

(3) Die charakteristischen Spitzenbeschleunigungen erhält man, indem man die Standardabweichung aus Absatz (2) mit dem Spitzenbeiwert aus Anhang B.2 (3), unter Verwendung der Eigenfrequenz als Erwartungswert der Frequenz der Böenreaktion ( $v = n_{1,x}$ ), multipliziert.

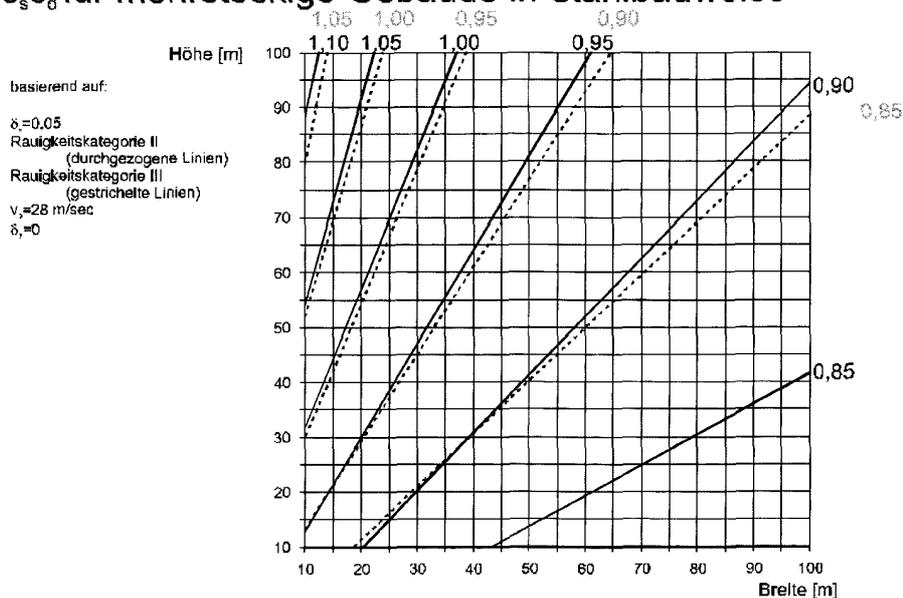
DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

## Anhang D (informativ)

### $c_s c_d$ -Werte für unterschiedliche Gebäudetypen

(1) Die Eigenfrequenzen und Schwingungsformen der Bauwerksstrukturen, die in diesem Anhang dargestellt werden, wurden analytisch oder unter Verwendung der Gleichungen aus Anhang F ermittelt.

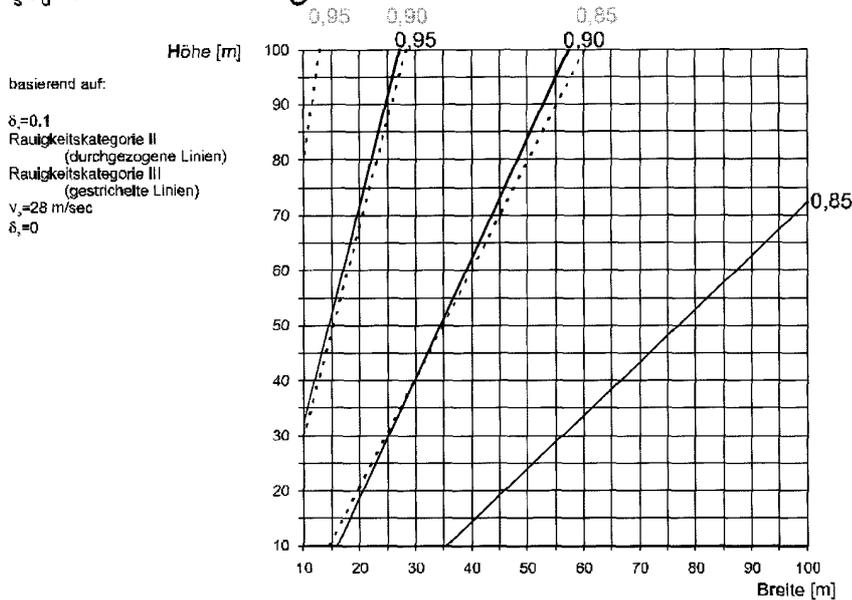
#### $c_s c_d$ für mehrstöckige Gebäude in Stahlbauweise



ANMERKUNG Für Werte, die größer sind als 1,1, ist das genaue Verfahren nach 6.3 anzuwenden; (der zulässige Minimalwert ist  $c_s c_d = 0,85$ )

**Bild D.1 —  $c_s c_d$  für mehrstöckige Hochhäuser in Stahlbaukonstruktion mit rechteckiger Grundfläche und vertikalen äußeren Wänden sowie mit regelmäßiger Massen- und Steifigkeitsverteilung (Frequenz entsprechend Gleichung (F.2))**

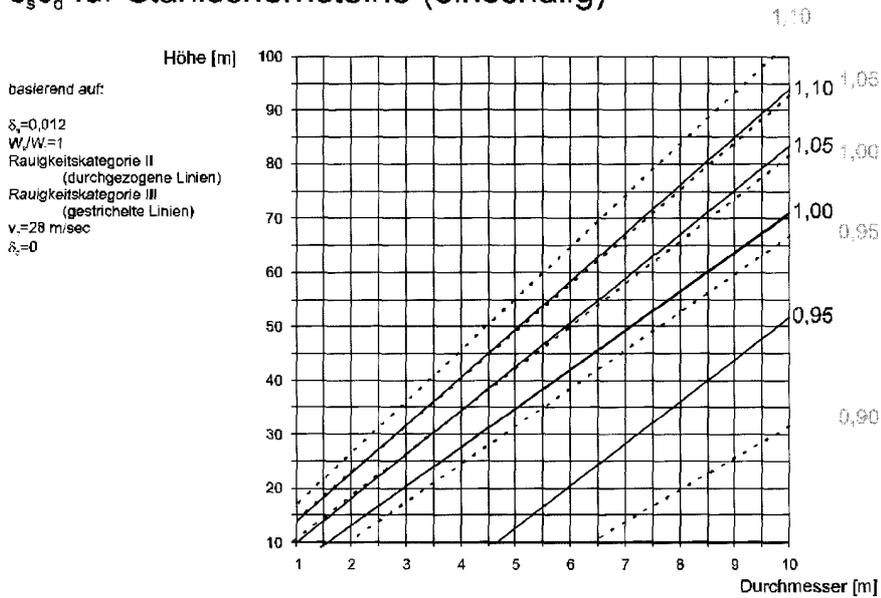
$c_s c_d$  für mehrstöckige Gebäude in Massivbauweise



ANMERKUNG Für Werte, die größer sind als 1,1, ist das genaue Verfahren nach 6.3 anzuwenden; (der zulässige Minimalwert ist  $c_s c_d = 0,85$ )

**Bild D.2 —  $c_s c_d$  für mehrstöckige Hochhäuser in Massivbauweise mit rechteckigem Grundriss und vertikalen äußeren Wänden sowie mit regelmäßiger Massen- und Steifigkeitsverteilung (Frequenz entsprechend Gleichung (F.2))**

$c_s c_d$  für Stahlschornsteine (einschalig)

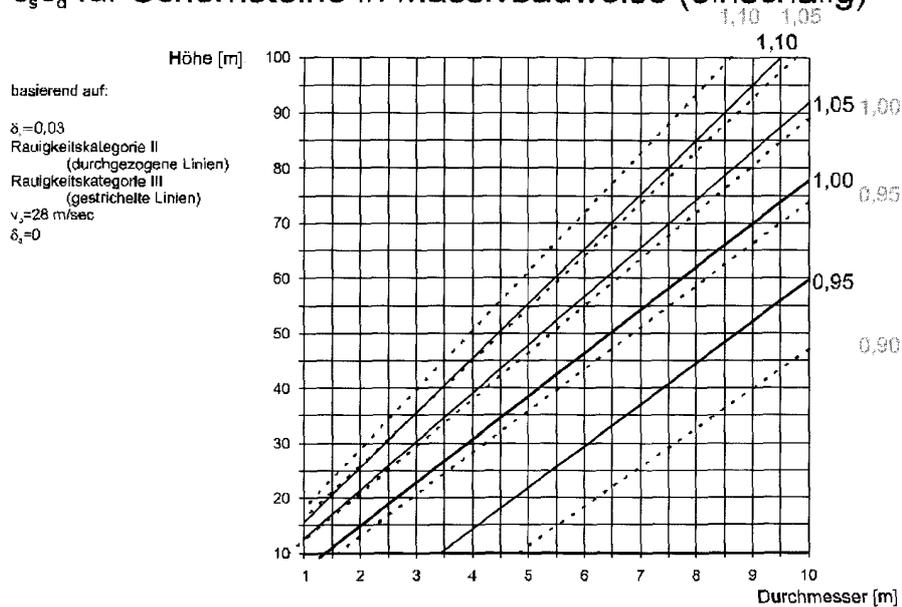


ANMERKUNG Für Werte, die größer sind als 1,1, ist das genaue Verfahren nach 6.3 anzuwenden; (der zulässige Minimalwert ist  $c_s c_d = 0,85$ )

**Bild D.3 —  $c_s c_d$  für einschalige Stahlschornsteine (Frequenz entsprechend Gleichung (F.3)), mit  $\varepsilon_1 = 1\ 000$  und  $W_s/W_t = 1,0$ .**

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
 EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

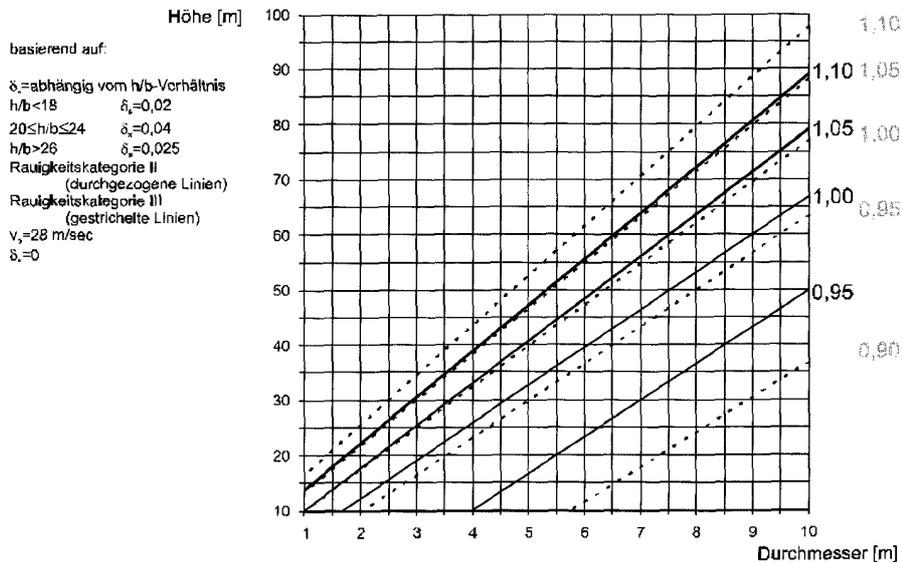
$c_s c_d$  für Schornsteine in Massivbauweise (einschalig)



ANMERKUNG Für Werte, die größer sind als 1,1, ist das genaue Verfahren nach 6.3 anzuwenden; (der zulässige Minimalwert ist  $c_s c_d = 0,85$ )

Bild D.4 —  $c_s c_d$  für einschalige Schornsteine in Massivbauweise (Frequenz entsprechend Gleichung (F.3)), mit  $\epsilon_1 = 700$  und  $W_s/W_t = 1,0$ .

$c_s c_d$  für Stahlschornsteine (mehrschalig)



ANMERKUNG Für Werte, die größer sind als 1,1, ist das genaue Verfahren nach 6.3 anzuwenden; (der zulässige Minimalwert ist  $c_s c_d = 0,85$ )

Bild D.5 —  $c_s c_d$  für mehrschalige Stahlschornsteine (Frequenz entsprechend Gleichung (F.3)), mit  $\epsilon_1 = 1\,000$  und  $W_s/W_t = 1,0$

## Anhang E (informativ)

### Wirbelerregte Querschwingungen und aeroelastische Instabilitäten

#### E.1 Wirbelerregte Querschwingungen

##### E.1.1 Allgemeines

(1) Wirbelerregte Querschwingungen treten auf, wenn sich Wirbel alternierend von gegenüberliegenden Seiten einer Bauwerksstruktur ablösen. Hierdurch entsteht eine alternierende Belastung quer zum Wind. Das Bauwerk kann zu Schwingungen angeregt werden, wenn die Frequenz der Wirbelablösung gleich einer Bauwerkseigenfrequenz ist. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Windgeschwindigkeit der kritischen Windgeschwindigkeit, die in Anhang E.1.3.1 definiert ist, entspricht. Üblicherweise ist die kritische Windgeschwindigkeit eine häufig auftretende Geschwindigkeit, so dass die Ermüdungsbeanspruchung und die damit verbundene Anzahl der Spannungsschwingenspiele bemessungsrelevant werden kann.

(2) Die Systemreaktion, die durch wirbelerregte Schwingungen hervorgerufen wird, setzt sich aus einem breitbandigen und einem schmalbandigen Anteil zusammen. Der breitbandige Anteil ist immer vorhanden, egal ob sich die Struktur bewegt oder nicht. Der schmalbandige Anteil tritt auf, wenn es eine bewegungsinduzierte Windlast gibt.

ANMERKUNG 1 Die Berücksichtigung breitbandiger Bauwerksreaktionen ist besonders für Stahlbeton- oder schwere Stahlkonstruktionen wichtig.

ANMERKUNG 2 Schmalbandige Bauwerksreaktionen sind besonders bei leichten Stahlkonstruktionen wichtig.

##### E.1.2 Kriterien für wirbelerregte Querschwingungen

(1) Wirbelerregte Querschwingungen sind zu untersuchen, wenn das Verhältnis der größten zur kleinsten Bauwerksabmessung in der Ebene senkrecht zur Windrichtung den Wert 6 überschreitet.

(2) Wirbelinduzierte Querschwingungen brauchen nicht untersucht werden, wenn

$$v_{\text{crit},i} > 1,25 \cdot v_m \quad (\text{E.1})$$

Dabei ist

$v_{\text{crit},i}$  die kritische Windgeschwindigkeit gemäß E.1.3.1 für die i. Eigenform

$v_m$  die mittlere 10-Minuten Windgeschwindigkeit nach 4.3.1 (1) am Querschnittsbereich, an dem Wirbelerregung auftritt (siehe Bild E.3)

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**E.1.3 Grundlegende Parameter für wirbelerregte Schwingungen**

**E.1.3.1 Kritische Windgeschwindigkeit  $v_{\text{crit},i}$**

(1) Die kritische Windgeschwindigkeit einer Biegeschwingsform  $i$  ist definiert als die Windgeschwindigkeit,  $\overline{\text{AC}}$  bei der die Frequenz der Wirbelablösung gleich der Eigenfrequenz (Schwingsform  $i$ ) des Tragwerks bzw. des Bauteils ist.  $\overline{\text{AC}}$  Sie wird mit Gleichung (E.2) berechnet:

$$v_{\text{crit},i} = \frac{b \cdot n_{i,y}}{St} \quad (\text{E.2})$$

Dabei ist

- $b$  maßgebende Breite des Querschnitts im Bereich der Wirbelerregung und an dem die maximale modale Auslenkung der Bauwerksstruktur (oder eines Teilbereichs) auftritt; bei Kreiszylindern ist die maßgebende Breite gleich dem äußeren Durchmesser.
- $n_{i,y}$  Eigenfrequenz der  $i$ -ten Schwingsform für Schwingungen quer zur Windrichtung, Näherungsgleichungen werden im F.2 angegeben.
- $St$  die Strouhalzahl nach E.1.3.2

(2) Die kritische Windgeschwindigkeit für ovalisierende Schwingungen von zylindrischen Schalen ist definiert als die Windgeschwindigkeit, bei der die Frequenz der wirbelerregten Schwingungen doppelt so groß wie die Eigenfrequenz der ovalisierenden Schwingsform  $i$  der Zylinderschale ist. Sie ist in Gleichung (E.3) angegeben.

$$v_{\text{crit},i} = \frac{b \cdot n_{i,0}}{2 \cdot St} \quad (\text{E.3})$$

Dabei ist

- $b$  äußerer Schalendurchmesser;
- $St$  die Strouhalzahl nach E.1.3.2;
- $n_{i,0}$  die  $i$ -ten Schwingsform der Schale.

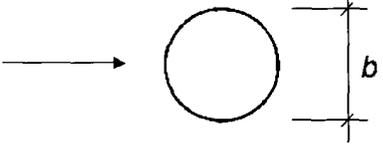
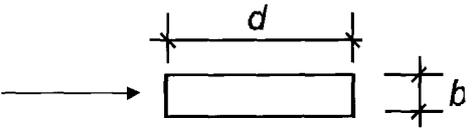
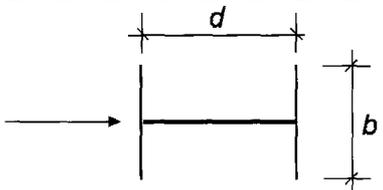
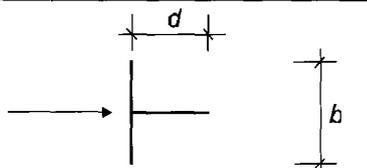
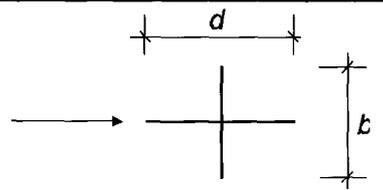
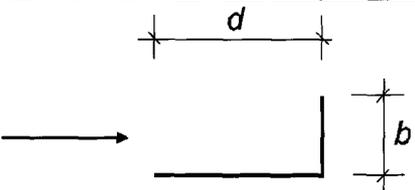
ANMERKUNG 1 Für Schalen ohne Versteifungsringe ist  $n_0$  in F.2 (3) angegeben

ANMERKUNG 2 Verfahren zur Berechnung von Schalenschwingungen sind im Anhang E nicht angegeben.

**E.1.3.2 Strouhalzahl  $St$**

(1) Die Strouhalzahl  $St$  für verschiedene Querschnitte kann der Tabelle E.1 entnommen werden.

Tabelle E.1 — Strouhalzahlen  $St$  für verschiedene Querschnitte

Querschnitt	$St$
 für alle Reynolds-Zahlen	0,18
 $0,5 \leq d/b \leq 10$	aus Bild E.1
 lineare Interpolation zulässig	$d/b = 1$ 0,11 $d/b = 1,5$ 0,10 $d/b = 2$ 0,14
 lineare Interpolation zulässig	$d/b = 1$ 0,13 $d/b = 2$ 0,08
 lineare Interpolation zulässig	$d/b = 1$ 0,16 $d/b = 2$ 0,12
 lineare Interpolation zulässig	$d/b = 1,3$ 0,11 $d/b = 2,0$ 0,07
ANMERKUNG Die Extrapolation der Strouhalzahlen als Funktion von $d/b$ ist nicht zulässig.	

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

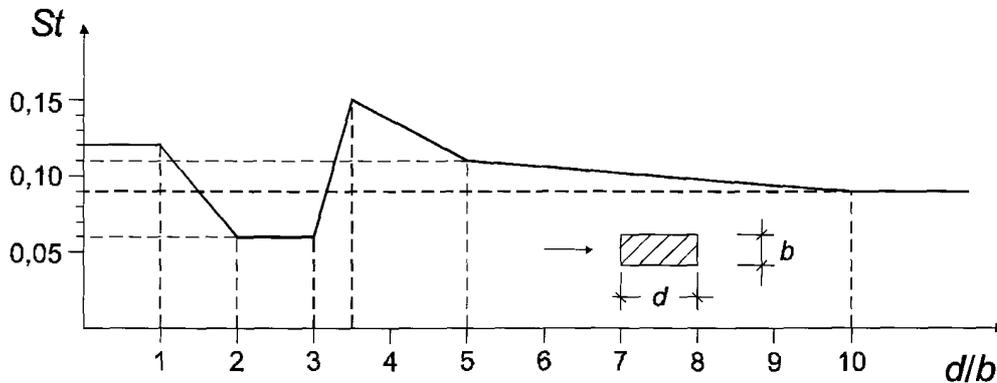


Bild E.1 — Strouhalzahl ( $St$ ) für Rechteckquerschnitte mit scharfen Kanten

### E.1.3.3 Scrutonzahl $Sc$

(1) Die Anfälligkeit gegenüber Schwingungen hängt von der Strukturdämpfung und dem Verhältnis der Bauwerksmasse zur Masse der Luft ab. Dieses Verhältnis wird durch die Scrutonzahl nach Gleichung (E.4) ausgedrückt.

$$Sc = \frac{2 \cdot \delta_s \cdot m_{i,e}}{\rho \cdot b^2} \quad (E.4)$$

Dabei ist

- $\delta_s$  die Strukturdämpfung ausgedrückt durch das logarithmische Dämpfungsdekrement;
- $\rho$  die Dichte der Luft;
- $m_{i,e}$  die äquivalente Masse je Längeneinheit nach Gleichung (F.14);
- $b$  die Bezugsbreite des Querschnitts an der Stelle, an der wirbelerregte Schwingungen auftreten.

ANMERKUNG Der Wert für die Luftdichte  $\rho$  kann im Nationalen Anhang angegeben werden. Der empfohlene Wert liegt bei  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

#### E.1.3.4 Reynoldszahl $Re$

(1) Bei kreisförmigen Zylindern hängt die Beanspruchung durch wirbelerregte Schwingungen von der Reynoldszahl  $Re$  bei der kritischen Windgeschwindigkeit  $v_{crit,i}$  ab. Die Reynoldszahl wird mit Gleichung (E.5) berechnet.

$$Re(v_{crit,i}) = \frac{b \cdot v_{crit,i}}{\nu} \quad (E.5)$$

Dabei ist

$b$  der äußere Durchmesser des kreisförmigen Zylinders;

$\nu$  kinetische Zähigkeit der Luft ( $\nu \approx 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ );

$v_{crit,i}$  kritische Windgeschwindigkeit, nach E.1.3.1.

#### E.1.4 Beanspruchung durch wirbelerregte Schwingungen

(1) Die Beanspruchungen infolge wirbelerregter Querschwingungen resultieren aus den Massenträgheitskräften des in Resonanz schwingenden Systems. Die Massenträgheitskräfte je Längeneinheit  $F_w(s)$ , die normal zur Windrichtung an der Stelle  $s$  auf die Konstruktion wirken, können mit der Gleichung (E.6) berechnet werden.

$$F_w(s) = m(s) \cdot (2 \cdot \pi \cdot n_{i,y})^2 \cdot \Phi_{i,y}(s) \cdot y_{F,max} \quad (E.6)$$

Dabei ist

$m(s)$  längenbezogene schwingende Masse der Bauwerksstruktur [kg/m];

$n_{i,y}$  Eigenfrequenz der  $i$ -ten Schwingungsform des Bauwerks;

$\Phi_{i,y}(s)$  Schwingungsform  $i$  des Bauwerks normiert am Punkt mit der größten Schwingwegamplitude;

$y_{F,max}$  die maximale Schwingwegamplitude an der Stelle mit  $\Phi_{i,y}(s)$  gleich 1, siehe E.1.5.

#### E.1.5 Berechnung der Querschwingungsamplitude

##### E.1.5.1 Allgemeines

(1) In den Anhängen E.1.5.2 und E.1.5.3 sind zwei unterschiedliche Methoden zur Berechnung der Querschwingungsamplituden angegeben.

**ANMERKUNG 1** Die Wahl des Berechnungsverfahrens oder die Durchführung alternativer Berechnungsweisen kann im Nationalen Anhang geregelt sein.

**ANMERKUNG 2** Ein direkter Vergleich der Näherungsverfahren aus den Anhängen E.1.5.2 und E.1.5.3 ist nicht möglich, da einige der Eingangsparameter für unterschiedliche Umgebungsbedingungen gewählt werden. Der Nationale Anhang kann die Anwendungsgrenzen der jeweiligen Verfahren angeben.

**ANMERKUNG 3** Eine Mischung der Berechnungsverfahren Anhängen E.1.5.2 und E.1.5.3 ist nicht gestattet, es sei denn, es ist ausdrücklich in diesem Text angegeben.

(2) Das Berechnungsverfahren in Anhang E.1.5.2 kann für verschiedene Arten von Bauwerken und unterschiedliche Schwingungsformen verwendet werden. Das Verfahren schließt Einflüsse aus Windturbulenz und Rauigkeit ein und kann für normale klimatische Bedingungen angewendet werden.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

(3) Das Berechnungsverfahren in Anhang E.1.5.3 kann verwendet werden, um die Tragwerksantwort für die erste Schwingungsform an Kragstrukturen zu bestimmen. Voraussetzungen sind konstante Abmessungen quer zur Windrichtung entlang der Hauptachse. Das Verfahren ist insbesondere für Schornsteine und Masten geeignet. Das Verfahren kann nicht für gruppiert oder in Reihe angeordnete Zylinder angewendet werden. Dieses Verfahren erlaubt die Berücksichtigung unterschiedlicher Turbulenzintensitäten, die meteorologisch bedingt auftreten können. In Gebieten, in denen tiefe Temperaturen wahrscheinlich sind und geschichtete Strömung auftreten kann (z. B. in Küstenregionen Nordeuropas), kann die Berechnungsweise nach Anhang E.1.5.3 angewendet werden.

**ANMERKUNG** Der Nationale Anhang kann diejenigen Regionen benennen, in denen große Kälte und geschichtete Strömung auftreten können. Für diese Regionen ist die Berechnung nach Variante 2 in Anhang E.1.5.3 geeigneter. Der Nationale Anhang kann die Eingangsparameter (wie z. B.  $K_a$  oder die Turbulenzintensität), die in diesem Verfahren verwendet werden, definieren.

### **E.1.5.2 Verfahren 1 zur Berechnung der Querschwingungsamplituden**

#### **E.1.5.2.1 Berechnung der Auslenkung**

(1) Die größte Auslenkung  $y_{F,max}$  kann unter Verwendung der Gleichung (E.7) berechnet werden:

$$\frac{y_{F,max}}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{1}{Sc} \cdot K \cdot K_W \cdot c_{lat} \quad (E.7)$$

Dabei ist

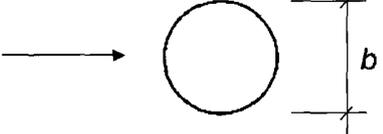
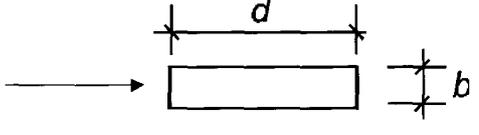
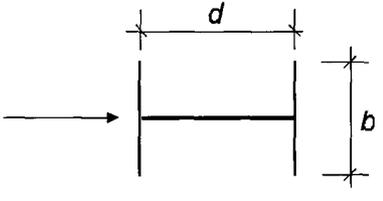
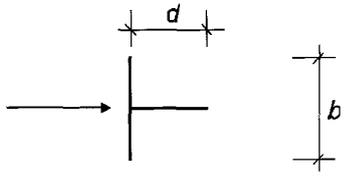
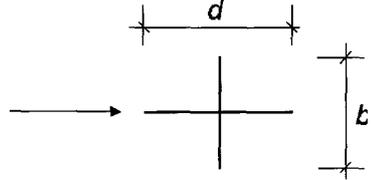
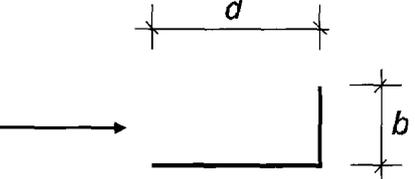
- $St$  die Strouhalzahl nach Tabelle E.1
- $Sc$  die Scrutonzahl nach E.1.3.3
- $K_W$  der Wirklängenfaktor nach E.1.5.2.4
- $K$  der Beiwert der Schwingungsform nach E.1.5.2.5
- $c_{lat}$  der aerodynamische Erregerkraftbeiwert nach Tabelle E.3

**ANMERKUNG** Die aeroelastischen Kräfte werden durch den Wirklängenfaktor  $K_W$  berücksichtigt.

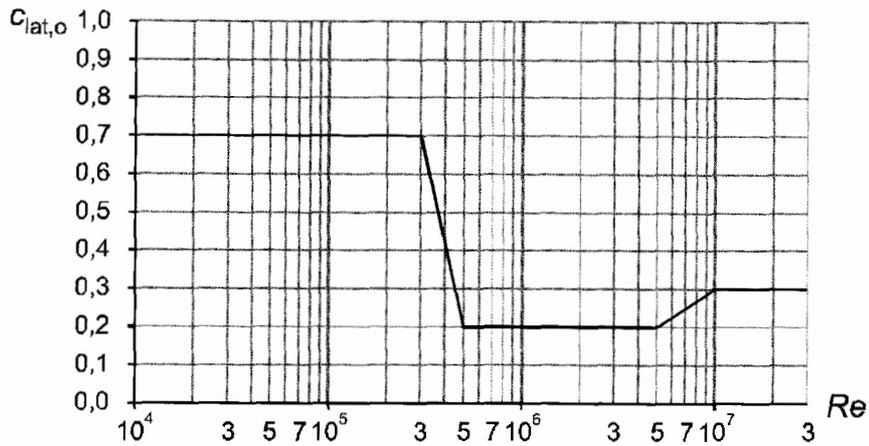
#### **E.1.5.2.2 Der aerodynamische Erregerkraftbeiwert $c_{lat}$**

(1) Der Grundwert des aerodynamischen Erregerkraftbeiwertes  $c_{lat,0}$  ist Tabelle E.2 zu entnehmen.

Tabelle E.2 — Grundwert des aerodynamischen Erregerkraftbeiwertes  $c_{lat,0}$  für verschiedene Querschnitte

Querschnitt		$c_{lat,0}$
 für alle Reynoldszahlen		siehe Bild E.2
 $0,5 \leq d/b \leq 10$		1,1
 lineare Interpolation zulässig		$dlb = 1$ 0,8 $dlb = 1,5$ 1,2 $dlb = 2$ 0,3
 lineare Interpolation zulässig		$dlb = 1$ 1,6 $dlb = 2$ 2,3
 lineare Interpolation zulässig		$dlb = 1$ 1,4 $dlb = 2$ 1,1
 lineare Interpolation zulässig		$dlb = 1,3$ 0,8 $dlb = 2,0$ 1,0
ANMERKUNG Die Extrapolation der Erregerkraftbeiwerte als Funktion von $dlb$ ist nicht zulässig.		

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**



**Bild E.2 – Grundwert des aerodynamischen Erregerkraftbeiwertes  $c_{lat,0}$  in Abhängigkeit von der Reynoldszahl  $Re(v_{crit,i})$  für kreisförmige Zylinder, siehe E.1.3.4**

(2) Der aerodynamische Erregerkraftbeiwert  $c_{lat}$  ist in Tabelle E.3 angegeben

**Tabelle E.3 – Aerodynamischer Erregerkraftbeiwert  $c_{lat}$  in Abhängigkeit vom Verhältnis der kritischen zur mittleren Windgeschwindigkeit  $v_{crit,i}/v_{m,Lj}$**

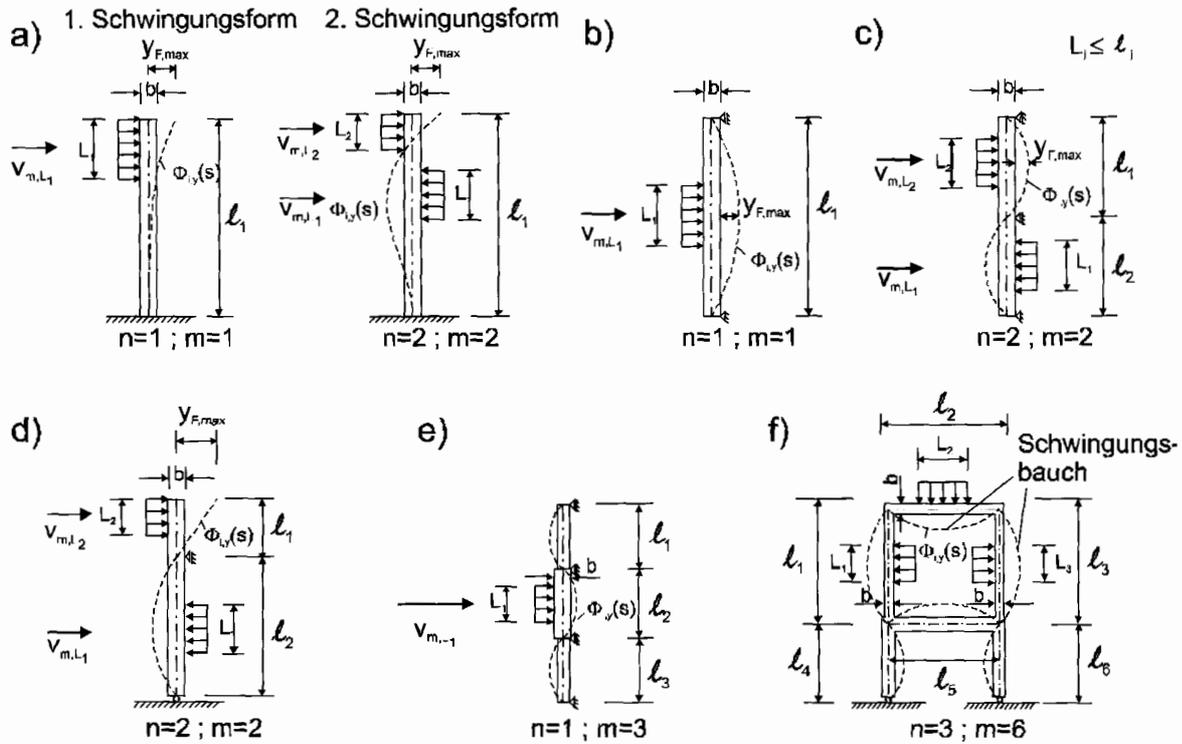
kritisches Windgeschwindigkeitsverhältnis	$c_{lat}$
$\frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \leq 0,83$	$c_{lat} = c_{lat,0}$
$0,83 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} < 1,25$	$c_{lat} = \left( 3 - 2,4 \cdot \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \right) \cdot c_{lat,0}$
$1,25 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}}$	$c_{lat} = 0$

Dabei ist

- $c_{lat,0}$  Grundwert von  $c_{lat}$  nach Tabelle E.2 und für kreisförmige Zylinder nach Bild E.2;
- $v_{crit,i}$  kritische Windgeschwindigkeit  $\overline{AC}$  (siehe E.1.3.1)  $\overline{AC}$ ;
- $v_{m,Lj}$  mittlere Windgeschwindigkeit  $\overline{AC}$  (siehe 4.3.1)  $\overline{AC}$  in der Mitte der Wirklänge nach Bild E.3.

E.1.5.2.3 Die Wirklänge L

(1) Die Wirklänge  $L_i$  ist im Bereich der Schwingungsbäuche anzusetzen. Beispiele sind in Bild E.3 angegeben. Für abgespannte Maste und über mehrere Felder laufende Brücken sind besondere Überlegungen erforderlich.



ANMERKUNG Wenn mehr als eine Wirklänge angegeben ist, sind sie gleichzeitig zu verwenden und der höchste Wert für  $c_{lat}$  ist anzusetzen.

Bild E.3 – Beispiele für die Verwendung der Wirklänge  $L_j$  ( $j = 1, 2, 3$ )

Tabelle E.4 – Wirklänge  $L_j$  als Funktion der Schwingwegamplitude  $y_F(s_j)$

$y_F(s_j)/b$	$L_j / b$
< 0,1	6
0,1 bis 0,6	$4,8 + 12 \cdot \frac{y_F(s_j)}{b}$
> 0,6	12

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**E.1.5.2.4 Der Wirklängenfaktor  $K_W$**

(1) Der Wirklängenfaktor  $K_W$  ist mit Gleichung (E.8) definiert.

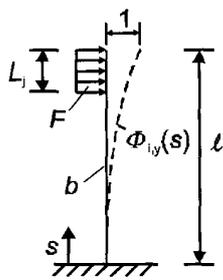
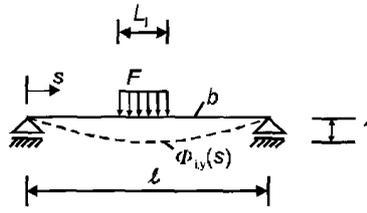
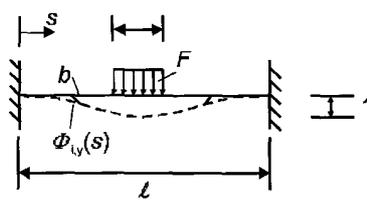
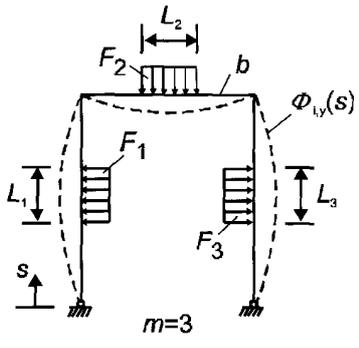
$$K_W = \frac{\sum_{j=1}^n \int_{L_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds}{\sum_{j=1}^m \int_{l_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds} \leq 0,6 \quad (\text{E.8})$$

Dabei ist

- $\Phi_{i,y}$  die i-te Schwingungsform (siehe F.3);
- $L_j$  die Wirklänge;
- $l_j$  die Länge der Bauwerksstruktur zwischen zwei Knotenpunkten (siehe Bild E.3); bei Kragssystemen ist die Länge identisch mit der Bauwerkshöhe;
- $n$  Anzahl der Bereiche, in denen Wirbelablösung gleichzeitig auftritt (siehe Bild E.3);
- $m$  ist die Anzahl der Schwingungsbäuche der berücksichtigten Schwingungsform  $\Phi_{i,y}$  des schwingenden Systems;
- $s$  ist die Koordinate nach Bild E.5.

(2) Für einige einfache Strukturen, die in der Grundform schwingen und bei denen die Erregerkräfte wie in Tabelle E.5 angreifen, darf der Wirklängenfaktor  $K_W$  näherungsweise mit den Gleichungen der Tabelle E.5 ermittelt werden.

Tabelle E.5 – Wirklängenfaktor  $K_w$  und Beiwert  $K$  der Schwingungsform für einfache System

System	Schwingungsform $\Phi_{i,y}(s)$	$K_w$	$K$
	<p>siehe Anhang F.3 mit <math>\zeta = 2,0</math> <math>n = 1; m = 1</math></p>	$3 \cdot \frac{L_j/b}{\lambda} \cdot \left[ 1 - \frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{L_j/b}{\lambda} \right)^2 \right]$	0,13
	<p>siehe Tabelle F.1 <math>n = 1; m = 1</math></p>	$\cos \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \left( 1 - \frac{L_j/b}{\lambda} \right) \right]$	0,10
	<p>siehe Tabelle F.1 <math>n = 1; m = 1</math></p>	$\frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{\pi} \cdot \sin \left[ \pi \cdot \left( 1 - \frac{L_j/b}{\lambda} \right) \right]$	0,11
	<p>Modalanalyse <math>n = 3</math> <math>m = 3</math></p>	$\frac{\sum_{i=1}^n \int_{L_j}  \Phi_{i,y}(s)  ds}{\sum_{j=1}^m \int_{\ell_j}  \Phi_{i,y}(s)  ds}$	0,10

ANMERKUNG 1 Die Schwingungsform  $\Phi_{i,y}(s)$  kann nach F.3 ermittelt werden. Die Parameter  $n$  und  $m$  sind in der Gleichungen (E.8) und in Bild E.3 definiert.

ANMERKUNG 2  $\lambda = \ell/b$

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**E.1.5.2.5 Der Beiwert der Schwingungsform**

(1) Der Beiwert der Schwingungsform  $K$  ist definiert als:

$$K = \frac{\sum_{j=1}^m \int_{\ell_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds}{4 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^m \int_{\ell_j} \Phi_{i,y}^2(s) ds} \quad (\text{E.9})$$

Dabei ist

- $m$  nach Definition in Anhang E.1.5.2.4 (1);
- $\Phi_{i,y}(s)$  die  $i$ -te Schwingungsform für Querschwingungen (siehe Anhang F.3);
- $\ell_j$  die Systemlänge zwischen zwei Knotenpunkten (siehe Bild E.3).

(2) Für einige einfache Strukturen, die in der Grundschwingungsform schwingen, ist der Beiwert in Tabelle E.5 angegeben

**E.1.5.2.6 Anzahl  $N$  der Spannungsschwingspiele**

(1) Die Anzahl  $N$  der Spannungsschwingspiele, die durch wirbelerregte Querschwingungen hervorgerufen werden, kann nach Gleichung (E.10) ermittelt werden.

$$N = 2 \cdot T \cdot n_y \cdot \varepsilon_0 \cdot \left( \frac{v_{\text{crit}}}{v_0} \right)^2 \cdot \exp \left( - \left( \frac{v_{\text{crit}}}{v_0} \right)^2 \right) \quad (\text{E.10})$$

Dabei ist

- $n_y$  Eigenfrequenz in Hz der  $i$ -ten Querschwingungsform des Bauwerks; Näherungsverfahren sind in Anhang F angegeben
- $v_{\text{crit}}$  die kritische Windgeschwindigkeit [m/s] nach Anhang E.1.3.1
- $v_0$  das  $\sqrt{2}$ -fache des häufigsten Wertes (Modalwert  $v_{\text{mod}}$ ) der Wahrscheinlichkeitsverteilung der mittleren Windgeschwindigkeit in [m/s]
- $T$  die Entwurfslebensdauer in Sekunden, gleichbedeutend mit dem  $3,2 \cdot 10^7$ -fachen der angestrebten Lebensdauer in Jahren
- $\varepsilon_0$  ist der Bandbreitenfaktor, welcher die Bandbreite der Windgeschwindigkeiten beschreibt, die wirbelinduzierte Schwingungen hervorrufen

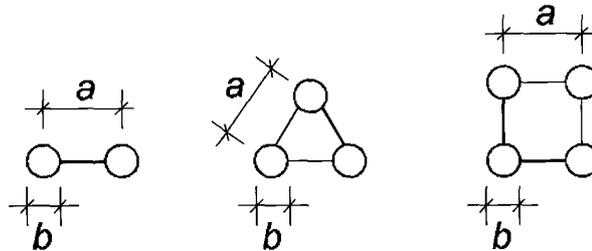
**ANMERKUNG 1** Der Nationale Anhang kann einen minimalen Wert für  $N$  vorgeben. Der empfohlene Wert ist  $N \geq 10^4$ .

**ANMERKUNG 2** Der Wert für  $v_0$  kann mit 20 % der charakteristischen mittleren Windgeschwindigkeit in der Höhe des Querschnitts, an dem Wirbelablösung auftritt, angenommen werden (siehe Abschnitt 4.3.1 (1)).

**ANMERKUNG 3** Der Bandbreitenfaktor  $\varepsilon_0$  kann Werte zwischen 0,1 und 0,3 annehmen. Er kann zu  $\varepsilon_0 = 0,3$  angenommen werden.

**E.1.5.2.7 Interferenzeffekte bei Reihen- oder Gruppenanordnung für Schwingungen quer zur Windrichtung**

(1) Bei kreisförmigen Zylindern in Reihen- oder Gruppenanordnung mit oder ohne Kopplung (siehe Bild E.4) können wirbelerregte Schwingungen auftreten.



**Bild E.4 – Reihen- und Gruppenanordnungen von Zylindern**

(2) Die maximale Auslenkung kann mit Gleichung (E.7) und der Berechnungsmethode nach Anhang E.1.5.2 und den Modifikationen entsprechend den Gleichungen (E.11) und (E.12) abgeschätzt werden.

Für in Reihe stehende Zylinder ohne Kopplung gilt:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{lat}} &= 1,5 \cdot c_{\text{lat}(\text{single})} && \text{für } 1 \leq \frac{a}{b} \leq 10 \\
 c_{\text{lat}} &= c_{\text{lat}(\text{single})} && \text{für } \frac{a}{b} \geq 15 \\
 \text{lineare Interpolation} &&& \text{für } 10 < \frac{a}{b} \leq 15 \\
 St &= 0,1 + 0,085 \cdot \log\left(\frac{a}{b}\right) && \text{für } 1 \leq \frac{a}{b} \leq 9 \\
 St &= 0,18 && \text{für } \frac{a}{b} > 9
 \end{aligned} \tag{E.11}$$

Dabei ist

$$c_{\text{lat}(\text{single})} = c_{\text{lat}} \text{ nach Tabelle E.3.}$$

Für gekoppelte Zylinder gilt:

$$c_{\text{lat}} = K_{iv} \cdot c_{\text{lat}(\text{single})} \text{ für } 1,0 \leq alb \leq 3,0 \tag{E.12}$$

Dabei ist

$K_{iv}$  der Interferenzfaktor für wirbelerregte Querschwingungen (Tabelle E.8)

$St$  die Strouhalzahl, nach Tabelle E.8

$Sc$  die Scrutonzahl, nach Tabelle E.8

Für gekoppelte Zylinder mit  $alb > 3,0$  sind Sonderuntersuchungen erforderlich.

**ANMERKUNG** Der Faktor  $1,5 \cdot c_{\text{lat}}$  für Kreiszyylinder ohne Kopplung ist eine grobe Annäherung. Diese Annäherung wird als konservativ angesehen.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**E.1.5.3 Verfahren 2 zur Berechnung der Querschwingungsamplituden**

(1) Die charakteristische maximale Auslenkung  $y_{\max}$  kann für den Punkt mit der größten Verschiebung mit der Gleichung (E.13) berechnet werden:

$$y_{\max} = \sigma_y \cdot k_p \quad (\text{E.13})$$

Dabei ist

$\sigma_y$  die Standardabweichung für die Auslenkung, siehe (2)

$k_p$  der Spitzenbeiwert, siehe (6)

(2) Die Standardabweichung  $\sigma_y$  der Verschiebung bezogen auf die Breite  $b$  am Punkt mit der größten Auslenkung ( $\Phi=1$ ) kann mit Gleichung (E.14) berechnet werden.

$$\frac{\sigma_y}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{C_c}{\sqrt{\frac{Sc}{4 \cdot \pi} - K_a \cdot \left(1 - \left(\frac{\sigma_y}{b \cdot a_L}\right)^2\right)}} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot b^2}{m_e}} \cdot \sqrt{\frac{b}{h}} \quad (\text{E.14})$$

Dabei ist

$C_c$  eine aerodynamische Konstante, abhängig von der Querschnittsform und bei kreisförmigen Zylindern ebenfalls abhängig von der Reynoldszahl  $Re$ , die in Anhang E.1.3.4 (1) definiert und in Tabelle E.6 angegeben ist,

$K_a$  der aerodynamische Dämpfungsparameter wie in Anhang E.1.5.3 (4) angegeben.

$a_L$  die normierte Grenzamplitude, die die Auslenkung von Systemen mit sehr geringen Dämpfungswerten angibt; zu entnehmen der Tabelle E.6

$\overline{AC}$   $Sc$  die Scrutonzahl, wie in E.1.3.3 angegeben  $\overline{AC}$

$St$  die Strouhalzahl, wie in  $\overline{AC}$  Tabelle E.1 angegeben  $\overline{AC}$

$\rho$  Dichte der Luft unter Querschwingungsbedingungen, siehe Anmerkung 1.

$m_e$  die effektive Masse je Längeneinheit, nach F.4 (1)

$h, b$  die Höhe und die Breite des Bauwerks. Bei Bauwerken mit veränderlicher Breite wird die Breite in Höhe der größten Auslenkung verwendet.

**ANMERKUNG 1** Der Wert für die Luftdichte  $\rho$  kann im Nationalen Anhang angegeben werden. Der empfohlene Wert ist  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

**ANMERKUNG 2** Die aerodynamische Konstante  $C_c$  ist von der an einem unbewegten System wirkenden Auftriebskraft abhängig.

**ANMERKUNG 3** Die bewegungsinduzierten Windkräfte werden durch die Verwendung von  $K_a$  und  $a_L$  berücksichtigt:

(3) Die Lösung der Gleichung (E.14) ist in Gleichung (E.15) angegeben.

$$\left(\frac{\sigma_y}{b}\right)^2 = c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2} \quad (\text{E.15})$$

wobei die Konstanten  $c_1$  und  $c_2$  wie folgt definiert sind:

$$c_1 = \frac{\alpha_L^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{Sc}{4 \cdot \pi \cdot K_a}\right); c_2 = \frac{\rho \cdot b^2}{m_e} \cdot \frac{\alpha_L^2}{K_a} \cdot \frac{C_c^2}{St^4} \cdot \frac{b}{h} \quad (\text{E.16})$$

(4) Die aerodynamische Dämpfungskonstante  $K_a$  verringert sich mit steigender Turbulenzintensität. Bei einer Turbulenzintensität von 0 % nimmt die aerodynamische Dämpfungskonstante den Wert  $K_a = K_{a,max}$  an, der in Tabelle E.6 angegeben ist.

ANMERKUNG Wird  $K_{a,max}$  für Turbulenzintensitäten größer 0 % verwendet, so erhält man eine konservative Vorhersage der Auslenkung. Der Nationale Anhang darf genauere Informationen zum Einfluss der Turbulenz auf den Wert  $K_{a,max}$  angeben.

(5) Für einen kreisförmigen Zylinder und einen quadratischen Querschnitt sind die Konstanten  $C_c$ ,  $K_{a,max}$  und  $\alpha_L$  in Tabelle E.6 angegeben.

Tabelle E.6 – Konstanten zur Bestimmung der wirbelerregten Querschwingungen

Konstante	kreisförmiger Zylinder $Re \leq 10^5$	kreisförmiger Zylinder $Re = 5 \cdot 10^5$	kreisförmiger Zylinder $Re \geq 10^6$	Rechteckquerschnitt
$C_c$	0,02	0,005	0,01	0,04
$K_{a,max}$	2	0,5	1	6
$\alpha_L$	0,4	0,4	0,4	0,4

ANMERKUNG Bei kreisförmigen Zylindern wird angenommen, dass die Konstanten  $C_c$  und  $K_{a,max}$  sich proportional zum Logarithmus der Reynoldszahl für die Bereiche  $10^5 < Re < 5 \cdot 10^5$  und  $5 \cdot 10^5 < Re < 10^6$  verhalten.

(6) Der Spitzenbeiwert  $k_p$  ist zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann den Spitzenbeiwert definieren. Die Gleichung (E.17) liefert empfohlene Werte.

$$\boxed{\text{AC}} \quad k_p = \sqrt{2} \cdot \left\{ 1 + 1,2 \cdot \arctan \left( 0,75 \cdot \frac{Sc}{(4 \cdot \pi \cdot K_a)} \right) \right\}^4 \quad \boxed{\text{AC}} \quad (\text{E.17})$$

(7) Die Anzahl  $N$  der Spannungsschwingspiele, die durch wirbelerregte Querschwingungen hervorgerufen werden, darf nach Anhang E.1.5.2.6 unter Verwendung eines Bandbreitenfaktors von  $\varepsilon_0 = 0,15$  ermittelt werden.

### E.1.6 Maßnahmen gegen wirbelerregte Querschwingungen

(1) Wirbelresonanzamplituden können mit Hilfe aerodynamischer Maßnahmen (nur falls bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind, z. B. für Scrutonzahlen  $Sc > 8$ ) oder generell mit dämpfungserhöhenden Maßnahmen verringert werden. Bei Anwendung aerodynamischer Maßnahmen ist zu berücksichtigen, dass der aerodynamische Kraftbeiwert bis zu einem Wert von  $c_f = 1,4$  anwachsen kann. Aerodynamische und dämpfungserhöhende Maßnahmen erfordern Sonderuntersuchungen.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

(2) Für weitere Informationen wird auf die bauartspezifischen Regelungen verwiesen.

## E.2 Galloping

### E.2.1 Allgemeines

(1) Galloping ist eine selbsterregte Schwingung eines elastischen Bauwerks oder Bauteils in einer Biegeschwingsform normal zum Wind. Nicht kreisförmige Querschnitte einschließlich I-, U-, L- und T-förmige Querschnitte können durch Galloping gefährdet sein. Eisansatz kann bewirken, dass ein gegenüber Galloping stabiler Querschnitt instabil wird.

(2) Galloping-Schwingungen beginnen bei einer bestimmten Einsetzgeschwindigkeit  $v_{CG}$ . Die Amplituden wachsen danach mit zunehmender Windgeschwindigkeit schnell an.

### E.2.2 Einsetzgeschwindigkeit

(1) Die Einsetzgeschwindigkeit für Galloping  $v_{CG}$  ist nach Gleichung (E.18) definiert.

$$v_{CG} = \frac{2 \cdot Sc}{a_G} \cdot n_{1,y} \cdot b \quad (\text{E.18})$$

Dabei ist

- $Sc$  Scrutonzahl nach Gleichung (E.4)
- $n_{1,y}$  Grundeigenfrequenz des Bauwerks für Querschwingungen. Näherungsgleichungen zur Ermittlung der Grundeigenfrequenz sind in Anhang F.2 angegeben.
- $b$  Breite des Querschnitts nach Tabelle E.7
- $a_G$  Stabilitätsbeiwert für Galloping (siehe Tabelle E.7). Wenn kein Wert bekannt ist, kann mit  $a_G = 10$  gerechnet werden.

(2) Es ist nachzuweisen, dass:

$$v_{CG} > 1,25 \cdot v_m \quad (\text{E.19})$$

Dabei ist

- $v_m$  die mittlere Windgeschwindigkeit in m/s nach Gleichung (4.3) ermittelt in der Höhe, in der die Galloping-Erregerkräfte erwartet werden; dies ist im Allgemeinen der Ort, an dem die größten Schwingungsamplituden auftreten.

(3) Falls die kritische Windgeschwindigkeit  $v_{crit}$  für wirbelerregte Querschwingungen nahe bei der Einsetzgeschwindigkeit  $v_{CG}$  für Galloping liegt

$$0,7 < \frac{v_{CG}}{v_{crit}} < 1,5 \quad (\text{E.20})$$

sind Interaktionseffekte zwischen wirbelerregten Querschwingungen und Galloping wahrscheinlich. In diesem Fall werden Sonderuntersuchungen empfohlen.

Tabelle E.7 — Stabilitätsbeiwert für Galloping  $a_G$

Querschnitt	Stabilitätsbeiwert $a_G$	Querschnitt	Stabilitätsbeiwert $a_G$		
	1,0		1,0		
			4		
<p>lineare Interpolation zulässig</p>	$dlb = 2$	2		$dlb = 2$	0,7
	$dlb = 1,5$	1,7		$dlb = 2,7$	5
	$dlb = 1$	1,2		$dlb = 5$	7
<p>lineare Interpolation zulässig</p>	$dlb = 2/3$	1		$dlb = 3$	7,5
	$dlb = 1/2$	0,7		$dlb = 3/4$	3,2
	$dlb = 1/3$	0,4		$dlb = 2$	1
<p>ANMERKUNG Die Extrapolation des Faktors <math>a_G</math> als Funktion von <math>d/b</math> ist nicht zulässig.</p>					

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**E.2.3 Klassisches Galloping gekoppelter Zylinder**

- (1) Bei gekoppelten Zylindern (siehe Bild E.4) kann klassisches Galloping auftreten.
- (2) Die Einsetzgeschwindigkeit  $v_{CG}$  für klassisches Galloping gekoppelter Zylinder kann nach Gleichung (E.21) ermittelt werden:

$$v_{CG} = \frac{2 \cdot S_c}{a_G} \cdot n_{1,y} \cdot b \quad (\text{E.21})$$

wobei die in Tabelle E.8 definierten Werte für  $S_c$ ,  $a_G$  und  $b$  einzusetzen sind und  $n_{1,y}$  die Grundeigenfrequenz der Biegeschwingung ist (siehe Anhang F.2).

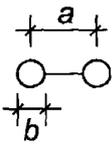
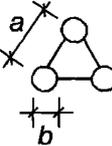
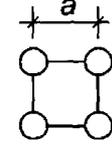
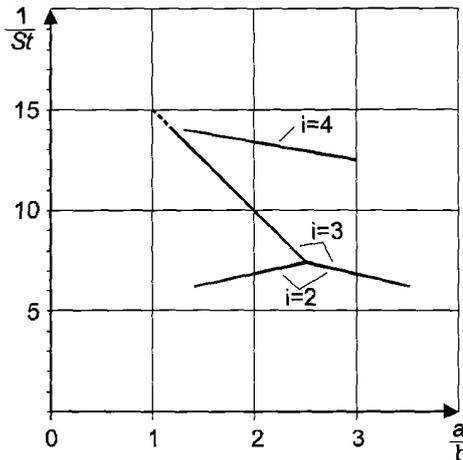
- (3) Es ist nachzuweisen, dass:

$$v_{CG} > 1,25 v_m(z) \quad (\text{E.22})$$

Dabei ist

$v_m(z)$  die mittlere Windgeschwindigkeit in m/s nach Gleichung (4.3), ermittelt in der Höhe, in der die Galloping-Erregerkräfte erwartet werden; dieses ist im Allgemeinen der Ort, an dem die größten Schwingungsamplituden auftreten.

Tabelle E.8 — Werte für die Abschätzung der Systemantwort quer zur Windrichtung von gekoppelten Zylindern in Reihen- oder Gruppenanordnung

Zylinderanordnung	Scrutzahl $S_c = \frac{2 \cdot \delta_s \cdot \sum m_{i,y}}{\rho \cdot b^2}$ (vergleiche mit Gleichung (E.4))			
	$alb = 1$	$alb \geq 2$	$alb \leq 1,5$	$alb \geq 2,5$
 i=2	$K_{iv} = 1,5$	$K_{iv} = 1,5$	$a_G = 1,5$	$a_G = 3,0$
 i=3	$K_{iv} = 4,8$	$K_{iv} = 3,0$	$a_G = 6,0$	$a_G = 3,0$
 i=4	$K_{iv} = 4,8$	$K_{iv} = 3,0$	$a_G = 1,0$	$a_G = 2,0$
lineare Interpolation zulässig				
 <p>Reziproke Strouhalzahlen von gekoppelten Zylindern in Reihen- oder Gruppenanordnung</p>				

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

### E.3 Interferenzgalloping von zwei oder mehr freistehenden Zylindern

(1) Interferenzgalloping ist eine selbsterregte Schwingung, die auftreten kann, wenn zwei oder mehr Zylinder mit geringem Abstand voneinander angeordnet sind, ohne miteinander gekoppelt zu sein.

(2) Wenn der Anströmwinkel im Bereich der kritischen Anströmrichtung  $\beta_k$  liegt und bei  $a/b < 3$  (siehe Bild E.5), kann die Einsetzgeschwindigkeit  $v_{\text{CIG}}$  nach Gleichung (E.23) ermittelt werden.

$$v_{\text{CIG}} = 3,5 \cdot n_{1,y} \cdot b \sqrt{\frac{a}{b} \cdot \frac{Sc}{a_{\text{IG}}}} \quad (\text{E.23})$$

Dabei ist

$Sc$  Scrutonzahl wie in Anhang E.1.3.3 (1) definiert

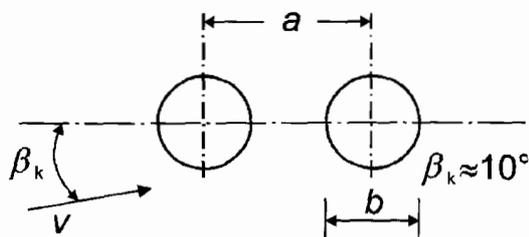
$a_{\text{IG}}$  kombinierter Stabilitätsparameter;  $a_{\text{IG}} = 3,0$

$n_{1,y}$  Grundeigenfrequenz der Querschwingungsform. Näherungswerte sind in Anhang F.2 angegeben

$a$  Abstand

$b$  Durchmesser

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann weitere Anleitungen zum Wert  $a_{\text{IG}}$  enthalten



**Bild E.5 — geometrische Abmessungen für Interferenzgalloping**

(3) Interferenz-Galloping kann durch eine Kopplung der freistehenden Zylinder unterdrückt werden. In diesem Fall kann jedoch klassisches Galloping (siehe Anhang E.2.3) auftreten.

## E.4 Divergenz und Flattern

### E.4.1 Allgemeines

(1) Divergenz und Flattern sind Instabilitäten, die nur bei verformungsfähigen plattenähnlichen Tragwerken, wie zum Beispiel bei Anzeigetafeln oder Hauptträger von Hängebrücken, bei Überschreitung eines bestimmten Schwellenwertes oder einer kritischen Windgeschwindigkeit auftreten können. Diese Instabilitäten entstehen, wenn die Tragwerksverformungen veränderliche aerodynamische Belastungen bewirken.

(2) Divergenz und Flattern müssen grundsätzlich ausgeschlossen werden.

(3) Die im Folgenden angegebenen Berechnungsverfahren erlauben die Prüfung der Empfindlichkeit eines Tragwerks bezüglich dieser Schwingungen mit Hilfe einfacher konstruktiver Kriterien. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, sind Sonderuntersuchungen durchzuführen.

### E.4.2 Bedingungen für plattenförmige Tragwerke

(1) Um anfällig für Divergenz oder Flattern zu sein, muss ein Baukörper gleichzeitig die drei folgenden Bedingungen erfüllen. Die Bedingungen sind in der angegebenen Reihenfolge zu prüfen. Wenn eine der Bedingungen nicht erfüllt ist, ist das Bauwerk oder das Bauteil nicht divergenz- oder flattergefährdet.

- Das Bauwerk oder ein wesentliches Teil von ihm muss einen langgestreckten Querschnitt aufweisen (ähnlich einer flachen Platte) mit einem Abmessungsverhältnis von  $b/d$  kleiner als 0,25 (siehe Bild E.6).
- Die Torsionsachse muss parallel zur Plattenebene und senkrecht zur Windrichtung verlaufen. Außerdem muss die Torsionsachse mindestens um das Maß  $d/4$  stromab der luvseitigen Kante der Platte liegen, wobei  $d$  die Breite der Platte in Windrichtung senkrecht zur Torsionsachse ist. Dieses schließt auch die Fälle ein, dass die Torsionsachse im Flächenschwerpunkt liegt, wie zum Beispiel bei einer mittig gelagerten Anzeigetafel oder einem mittig gestützten, freistehenden Dach. Die Torsionsachse kann auch mit der leeseitigen Kante identisch sein, wie zum Beispiel bei einem auskragenden, freistehenden Dach.
- Die niedrigste Eigenfrequenz muss zu einer Torsionsschwingung gehören oder eine Torsionseigenfrequenz muss weniger als das Doppelte der niedrigsten Eigenfrequenz der translatorischen Schwingung betragen.

### E.4.3 Divergenzgeschwindigkeit

(1) Die kritische Windgeschwindigkeit für Divergenz beträgt (nach Gleichung E.24)

$$v_{\text{div}} = \left[ \frac{2 \cdot k_{\Theta}}{\rho \cdot d^2 \cdot \frac{dc_M}{d\Theta}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{E.24})$$

Dabei ist

$k_{\Theta}$  Torsionssteifigkeit

$c_M$  der aerodynamische Momentenbeiwert, wie in Gleichung (E.25) angegeben:

$$c_M = \frac{M}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot d^2} \quad (\text{E.25})$$

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

$dc_M/d\theta$  Ableitung des aerodynamischen Momentenbeiwertes nach der Verdrehung um die Torsionsachse. Dabei wird  $\theta$  im Bogenmaß formuliert.

$M$  aerodynamisches Moment bezogen auf die Einheitslänge des Tragwerks

$\rho$  Luftdichte wie in 4.5 angegeben

$d$  ist die Tiefe des Bauwerks in Windrichtung (Sehne) (siehe Bild E.6)

$b$  Breite wie in Bild E.6 definiert

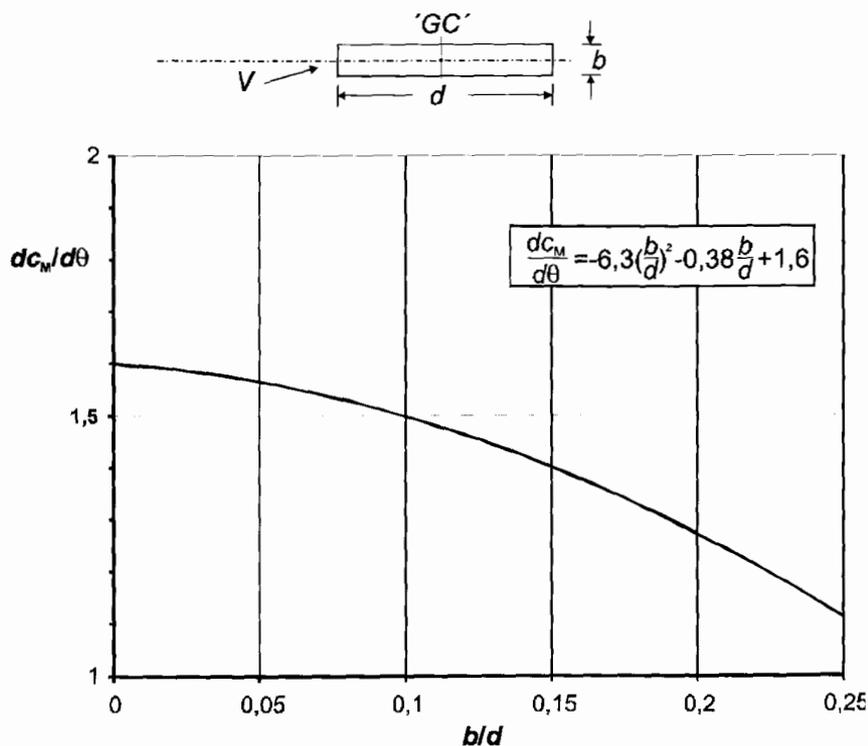
(2) Werte für  $dc_M/d\theta$  von Rechteckquerschnitten bezogen auf den Flächenschwerpunkt des Querschnitts werden in Bild E.6 angegeben.

(3) Es ist nachzuweisen, dass

$$v_{\text{div}} > 2 v_m(z_e) \quad (\text{E.26})$$

Dabei ist:

$v_m(z_e)$  mittlere Windgeschwindigkeit nach Gleichung (4.3) in der Höhe  $z_e$  (wie in Bild 6.1 definiert)



**Bild E.6 — Ableitung  $dc_M/d\theta$  des aerodynamischen Momentenbeiwerts bezüglich des geometrischen Schwerpunkts „GC“ des Rechteckquerschnitts**

## Anhang F (informativ)

### Dynamische Eigenschaften von Bauwerken

#### F.1 Allgemeines

(1) Die in diesem Abschnitt angegebenen Berechnungsverfahren setzen voraus, dass die Bauwerke linear elastisches Verhalten und übliche Schwingungsformen aufweisen. Die dynamischen Bauwerkseigenschaften werden dann beschrieben durch:

- die Eigenfrequenzen
- die Modalformen
- die äquivalenten Massen
- die logarithmischen Dämpfungsdekremente

(2) Die Eigenfrequenzen, Modalformen, äquivalenten Massen und logarithmischen Dämpfungsdekremente sind auf theoretischem oder experimentellem Weg mit Hilfe strukturdynamischer Methoden zu bestimmen.

(3) Das grundlegende dynamische Verhalten kann anhand von vereinfachten analytischen, semiempirischen oder empirischen Näherungsgleichungen bestimmt werden, vorausgesetzt, es handelt sich um bewährte Gleichungen. Einige dieser Gleichungen sind in F.2 bis F.5 angegeben.

#### F.2 Die Grundeigenfrequenz

(1) Für auskragende Systeme mit einem Massenpunkt am Ende kann eine vereinfachte Gleichung zur Berechnung der Grundbiegeeigenfrequenz  $n_1$  des Systems mit Gleichung (F.1) angegeben werden:

$$n_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{x_1}} \quad (\text{F.1})$$

Dabei ist

- $g$  die Erdbeschleunigung = 9,81 m/s<sup>2</sup>
- $x_1$  die maximale Verschiebung infolge Eigengewicht in Schwingungsrichtung in m

(2) Die Grundeigenfrequenz  $n_1$  für Biegung von mehrstöckigen Gebäuden mit einer Höhe über 50 m kann mit Gleichung (F.2) bestimmt werden

$$n_1 = \frac{46}{h} \text{ [Hz]} \quad (\text{F.2})$$

Dabei ist

- $h$  die Höhe des Gebäudes in m

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

Diese Gleichung kann auch eine Orientierungshilfe für einstöckige Gebäude und Türme darstellen.

(3) Die Grundbiegeeigenfrequenz  $n_1$  von Schornsteinen kann mittels Gleichung (F.3) abgeschätzt werden

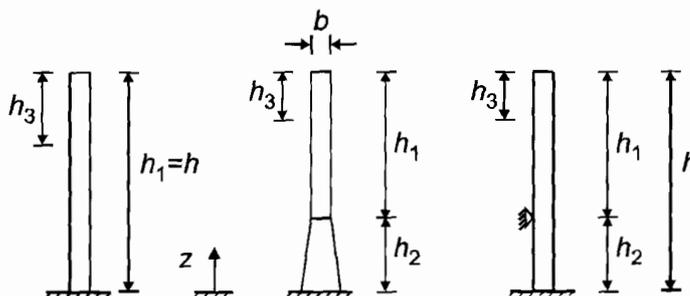
$$n_1 = \frac{\varepsilon_1 \cdot b}{h_{\text{eff}}^2} \cdot \sqrt{\frac{W_s}{W_t}} \quad [\text{Hz}] \quad (\text{F.3})$$

mit:

$$h_{\text{eff}} = h_1 + \frac{h_2}{3} \quad (\text{F.4})$$

Dabei ist

- $b$  der oberer Durchmesser des Schornsteins [m]
- $h_{\text{eff}}$  die effektive Höhe des Schornsteins [m],  $h_1$  und  $h_2$  sind in Bild F.1 angegeben
- $W_s$  das Gewicht der Bauwerksteile, die zur Biegesteifigkeit des Schornsteins beitragen
- $W_t$  das Gesamtgewicht des Schornsteins
- $\varepsilon_1$  1 000 für Stahlschornsteine, und 700 für Schornsteine aus Stahlbeton oder Mauerwerk



ANMERKUNG  $h_3 = h_1/3$ ;  $h_3$  siehe F.4 (2)

**Bild F.1 – Abmessungen bei Schornsteinen**

(4) Die Grundfrequenz  $n_{1,0}$  für ovalisierende Schwingungen einer langen zylindrischen Schale ohne Aussteifungsringe kann mittels Gleichung (F.5) berechnet werden:

$$n_{1,0} = 0,492 \cdot \sqrt{\frac{t^3 \cdot E}{\mu_s \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^4}} \quad (\text{F.5})$$

Dabei ist

- $E$  der Elastizitätsmodul [ $\text{N/m}^2$ ]
- $t$  die Schalendicke [m]
- $\nu$  die Querkontraktionszahl
- $\mu_s$  die Masse der Schale pro Flächeneinheit [ $\text{kg/m}^2$ ]
- $b$  der Durchmesser der Schale [m]

Die Gleichung (F.5) liefert die niedrigste Eigenfrequenz der Schale. Aussteifungsrings führen zu einer höheren Eigenfrequenz  $n_0$ .

(5) Die kleinste vertikale Biegeeigenfrequenz  $n_{1,B}$  einer Platten- oder Kastenträgerbrücke kann näherungsweise mit Gleichung (F.6) bestimmt werden:

$$n_{1,B} = \frac{K^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_b}{m}} \quad (\text{F.6})$$

Dabei ist

- $L$  die Länge des Hauptfeldes in m
- $E$  der Elastizitätsmodul in  $\text{N/m}^2$
- $I_b$  das Trägheitsmoment 2. Ordnung des Querschnitts in Feldmitte für vertikale Biegung in  $\text{m}^4$
- $m$  die Masse pro Längeneinheit des Gesamtquerschnitts in Feldmitte (für Eigengewicht und andere ständige Lasten) in  $\text{kg/m}$

$K$  ein dimensionsloser Faktor, der von der Feldaufteilung, wie unten definiert, abhängt.

- a) Für einfeldrige Brücken

$$\begin{aligned} K &= \pi && \text{wenn gelenkig gelagert} \\ K &= 3,9 && \text{wenn einseitig eingespannt und gelenkig gelagert} \\ K &= 4,7 && \text{wenn beidseitig eingespannt} \end{aligned}$$

- b) Für durchlaufende Brücken mit zwei Feldern

$K$  erhält man aus Bild F.2, unter Verwendung der Kurve für Brücken mit zwei Feldern. Dabei ist:

$$L_1 \text{ die Länge des Randfeldes und } \boxed{\text{AC}} L \geq L_1 \boxed{\text{AC}}.$$

- c) Für durchlaufende Brücken mit drei Feldern

$K$  erhält man aus Bild F.2, unter Verwendung der entsprechenden Kurve für Brücken mit drei Feldern. Dabei sind:

$$L_1 \text{ die Länge des größten Randfeldes}$$

$$L_2 \text{ die Länge des anderen Randfeldes und } \boxed{\text{AC}} L \geq L_1 \geq L_2 \boxed{\text{AC}}$$

Dies gilt ebenfalls für Brücken mit drei Feldern, bei denen das Hauptfeld aufgehängt ist.

Falls  $L_1 > L$  kann  $K$  aus der Kurve für Brücken mit zwei Feldern unter Vernachlässigung des kürzesten Randfeldes und Behandlung des längsten Randfeldes als Hauptfeld einer äquivalenten zweifeldrigen Brücke bestimmt werden.

- d) Für symmetrische durchlaufende Brücken mit 4 Feldern (z. B. Brücken, die symmetrisch zum mittleren Auflager sind):

Der Wert  $K$  kann aus der Kurve für Brücken mit zwei Feldern aus Bild F.2 bestimmt werden, indem jede Hälfte der Brücke als eine äquivalente Brücke mit zwei Feldern angesehen wird.

- e) Für unsymmetrische durchlaufende Brücken mit vier Feldern und durchgehenden Brücken mit mehr als vier Feldern:

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

$K$  kann aus Bild F.2 entnommen werden, indem die Kurve für Brücken mit drei Feldern verwendet wird und das Hauptfeld als größte Spannweite angesetzt wird.

ANMERKUNG 1 Falls der Wert von  $\sqrt{\frac{EI_b}{m}}$  am Auflager mehr als doppelt so groß ist, wie in Feldmitte, oder weniger als 80 % des Wertes in Feldmitte beträgt, sollte die Gleichung (F.6) nicht verwendet werden – es sei denn sehr grobe Abschätzungen sind ausreichend.

ANMERKUNG 2 Die Eingangsgrößen sind konsistent zu wählen, um  $n_{1,B}$  in Schwingungen pro Sekunde zu bestimmen

(6) Die Torsionseigenfrequenz von Plattenbrücken ist identisch mit der Grundbiegeeigenfrequenz, die mittels Gleichung (F.6) berechnet wird, wenn die mittlere Biegeträgheit in Längsrichtung pro Breitereinheit nicht geringer ist als das 100-fache der mittleren Biegeträgheit in Querrichtung pro Längeneinheit.

(7) Die Torsionseigenfrequenz einer Kastenträgerbrücke kann näherungsweise durch Gleichung (F.7) bestimmt werden:

$$n_{1,T} = n_{1,B} \cdot \sqrt{P_1 \cdot (P_2 + P_3)} \quad (\text{F.7})$$

mit:

$$P_1 = \frac{m \cdot b^2}{I_p} \quad (\text{F.8})$$

$$P_2 = \frac{\sum r_j^2 \cdot I_j}{b^2 \cdot I_p} \quad (\text{F.9})$$

$$\boxed{\text{AC}} P_3 = \frac{L^2 \cdot \sum J_j}{2 \cdot K^2 \cdot b^2 \cdot I_p \cdot (1 + \nu)} \quad (\text{F.10})$$

Dabei ist

- $n_{1,B}$  die Grundbiegefrequenz in Hz
- $b$  die Gesamtbreite der Brücke
- $m$  die längenbezogene Masse definiert in Anhang F.2 (5)
- $\nu$  die Querkontraktionszahl des Trägermaterials
- $r_j$  der Abstand der Schwerelinie des Kastens zur Schwerelinie des Brückenquerschnitts
- $I_j$  das zweite Trägheitsmoment der Masse des Kastens für die vertikale Biegung in Feldmitte bezogen auf die Längeneinheit. Darin ist die mitwirkende Fahrbahnbreite enthalten
- $I_p$  das polare Massenträgheitsmoment des Querschnitts in Feldmitte bezogen auf die Längeneinheit. Es wird mit der Gleichung (F.11) berechnet.

$$I_p = \frac{m_d \cdot b^2}{12} + \sum (I_{pj} + m_j \cdot r_j^2) \quad (\text{F.11})$$

Dabei ist

- $m_d$  die Masse pro Längeneinheit des Überbaus in Feldmitte
- $I_{pj}$  das Massenträgheitsmoment des Kastens in Feldmitte
- $m_j$  die Masse, des Kastens je Längeneinheit, in Feldmitte, ohne den restlichen Überbau
- $J_j$  das Torsionswiderstandsmoment des Kastens in Feldmitte. Die Bestimmung erfolgt anhand der Gleichung (F.12).

$$J_j = \frac{4 \cdot A_j^2}{\oint \frac{ds}{t}} \quad (\text{F.12})$$

Dabei ist

- $A_j$  die eingeschlossene Hohlraumfläche des Kastens in Feldmitte
- $\oint \frac{ds}{t}$  das Integral der Verhältnisse von Kastenwandbreite zu Kastenwanddicke entlang des Kastenumfangs in Feldmitte

**ANMERKUNG** Der Genauigkeitsverlust ist nur gering, wenn die vorgeschlagene Gleichung (F.12) auf mehrzellige Hohlkastenbrücken angewandt wird, deren Spannweite/Breite Verhältnis den Wert 6 überschreitet.

DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

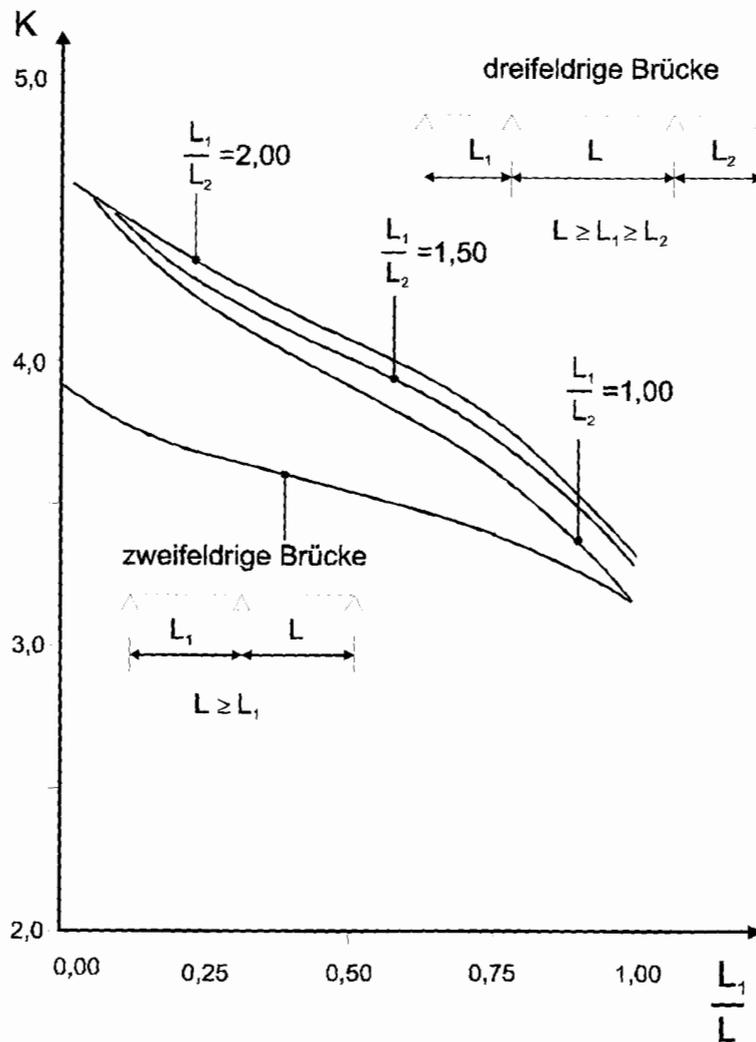


Bild F.2 — Faktor  $K$  zur Bestimmung der Grundbiegeeigenfrequenz

### F.3 Die Grundbiegeschwingsform

(1) Die Grundeigenform für Biegung  $\Phi_1(z)$  für auskragende Bauwerke, wie Gebäude, Türme und Schornsteine kann mit Gleichung (F.13) abgeschätzt werden, siehe Bild F.3.

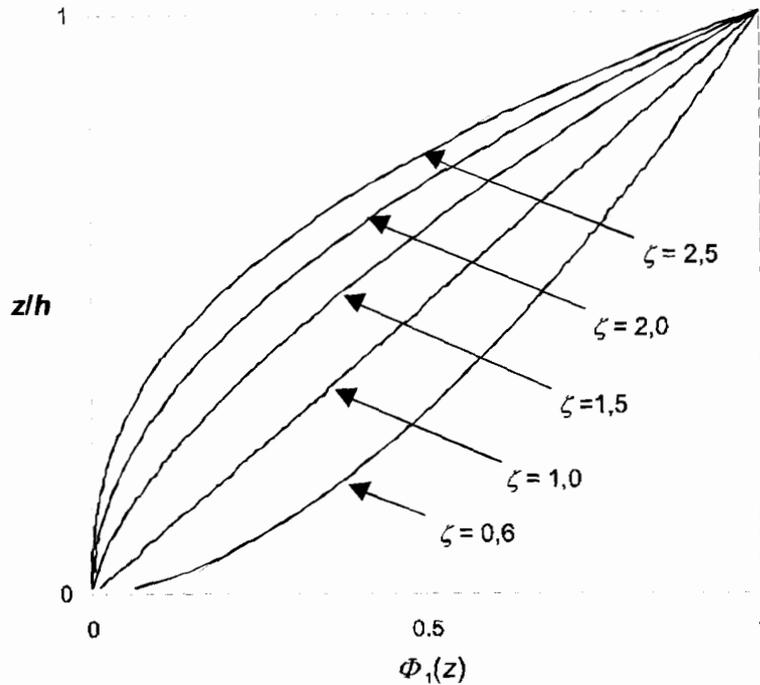
$$\Phi_1(z) = \left( \frac{z}{h} \right)^\zeta \quad (\text{F.13})$$

Dabei ist

- $\zeta = 0,6$  für schlanke Rahmenstrukturen mit nichttragender Verkleidung
- $\zeta = 1,0$  für Gebäude mit aussteifendem Kern und peripheren Stützen oder mit größeren Stützen und versteifenden Verbänden.
- $\zeta = 1,5$  für schlanke auskragende Bauwerke und Gebäude, die durch einen zentralen Stahlbetonkern gestützt werden

$\zeta = 2,0$  für Türme und Schornsteine

$\zeta = 2,5$  für Fachwerk- und Gittertürme



**Bild F.3 — Grundbiegeschwingsform für Gebäude, Türme und Schornsteine, die als ausragende Bauwerke wirken**

(2) Die Grundbiegeschwingsform  $\Phi_1(s)$  von Brücken kann näherungsweise nach Tabelle F.1 bestimmt werden.

**Tabelle F.1 — Grundbiegeschwingsform von gelenkig gelagerten oder beidseitig eingespannten Einfeldträgern**

System	Schwingungsform	$\Phi_1(s)$
		$\sin\left(\pi \cdot \frac{s}{l}\right)$
		$\frac{1}{2} \cdot \left[ 1 - \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{s}{l}\right) \right]$

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

#### F.4 Äquivalente Masse

(1) Die äquivalente Masse je Längeneinheit  $m_e$  für die Grundschwingungsform ist in Gleichung (F.14) angegeben.

$$m_e = \frac{\int_0^{\ell} m(s) \cdot \Phi_1^2(s) ds}{\int_0^{\ell} \Phi_1^2(s) ds} \quad (\text{F.14})$$

Dabei ist

$m$  die Masse je Längeneinheit

$\ell$  die Höhe des Bauwerks oder die Spannweite der Brücke oder des Bauteils

$i = 1$  die Nummer der Modalform

(2) Für auskragende Tragwerke mit veränderlicher Massenverteilung kann  $m_e$  näherungsweise durch den Mittelwert der Massenverteilung im oberen Drittel  $h_3$  des Bauwerks (siehe Bild F.1) angenähert werden.

(3) Bei Bauteilen mit der Spannweite  $\ell$ , die an beiden Enden gelagert sind und eine veränderliche Massenverteilung je Längeneinheit aufweisen, kann  $m_e$  durch das Mittel der Massenverteilung gerechnet über eine Länge von  $\ell/3$  am Maximum von  $\Phi(s)$  ermittelt werden (siehe Tabelle F.1).

#### F.5 Das logarithmische Dämpfungsdekrement

(1) Das logarithmische Dämpfungsdekrement  $\delta_s$  für die Grundbiegeschwingsform kann mittels Gleichung (F.15) abgeschätzt werden.

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \quad (\text{F.15})$$

Dabei ist

$\delta_s$  das logarithmische Dekrement der Strukturdämpfung

$\delta_a$  das logarithmische Dekrement der aerodynamischen Dämpfung für die Grundeigenform

$\delta_d$  das logarithmische Dekrement der Dämpfung infolge besonderer Maßnahmen (Schwingungsdämpfer, Flüssigkeitsdämpfer)

(2) Näherungswerte für das logarithmische Dämpfungsdekrement  $\delta_s$  sind in Tabelle F.2 angegeben.

(3) Das logarithmische Dekrement der aerodynamischen Dämpfung  $\delta_a$  für Schwingungen in Windrichtung kann mittels Gleichung (F.16) abgeschätzt werden.

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot \mu_e} \quad (\text{F.16})$$

Dabei ist

$c_f$  der Kraftbeiwert in Windrichtung wie in Abschnitt 7 bezeichnet.

$\mu_e$  die äquivalente Masse je Flächeneinheit des Bauwerks, die für rechteckige Fläche nach Gleichung (F.17) berechnet werden kann.

$$\mu_e = \frac{\int_0^h \int_0^b \mu(y, z) \cdot \Phi_1^2(y, z) \, dydz}{\int_0^h \int_0^b \Phi_1^2(y, z) \, dydz} \quad (\text{F.17})$$

Dabei ist

$\mu(y, z)$  die Masse je Flächeneinheit des Bauwerks

$\Phi_1(y, z)$  die Modalform

Die Masse je Flächeneinheit des Bauwerks Maximum der modalen Verformung ist für gewöhnlich eine gute Näherung für  $\mu_e$ .

(4) In den meisten Fällen sind die modalen Auslenkungen  $\Phi(y, z)$  konstant für jeden Höhenpunkt  $z$  und statt der Gleichung (F.16) für das logarithmische Dekrement der aerodynamischen Dämpfung  $\delta_a$ , für In-Wind-Schwingungen, kann die Gleichung (F.18) verwendet werden.

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e} \quad (\text{F.18})$$

(5) Falls besondere Dämpfungsmaßnahmen am Bauwerk vorgenommen werden, ist  $\delta_d$  anhand geeigneter theoretischer oder experimenteller Verfahren zu bestimmen.

**DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
**EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)**

**Tabelle F.2 — Näherungswerte für das logarithmische Dämpfungsdekrement  $\delta_s$  von Bauwerken für die Grundschwingungsform**

Bauwerkstyp		Bauwerksdämpfung $\delta_s$
Gebäude in Stahlbetonbauweise		0,10
Gebäude in Stahlbauweise		0,05
Gebäude in gemischter Bauweise (Stahl und Beton)		0,08
Türme und Schornsteine aus Stahlbeton		0,03
geschweißte Stahlschornsteine ohne außenliegende Wärmedämmung		0,012
geschweißte Stahlschornsteine mit außenliegender Wärmedämmung		0,020
Stahlschornsteine mit einem Innenrohr und mit außenliegender Wärmedämmung <sup>a</sup>	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,014
Stahlschornsteine mit zwei oder mehr Innenrohren und mit außenliegender Wärmedämmung <sup>a</sup>	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,025
Stahlschornsteine mit innenliegender Mauerwerksschale		0,070
Stahlschornsteine mit innenliegender Spritzbetonschale		0,030
gekoppelte einschalige Stahlschornsteine		0,015
abgespannte einschalige Stahlschornsteine		0,04
Stahlbrücken und Türme in Stahlfachwerkbauweise	geschweißt	0,02
	Vorgespannte Schrauben	0,03
	rohe Schrauben	0,05
Verbundbrücken		0,04
Massivbrücken	vorgespannt ohne Risse	0,04
	mit Rissen	0,10
Holzbrücken		0,06 bis 0,12
Brücken aus Aluminiumlegierungen		0,02
Brücken, (glas-) faserverstärkt		0,04 bis 0,08
Seile	Paralleldrahtbündel	0,006
	spiralförmig angeordnete Drähte	0,020
<p><b>ANMERKUNG</b> Die Werte für Holz und Kunststoffverbundbauweisen sind nur Hinweise; Wenn die aerodynamischen Einwirkungen für die Bemessung signifikant sind, sind exaktere Schwingungsformen in Sonderuntersuchungen zu bestimmen.</p> <p>gestrichener Text</p>		
<p><sup>a</sup> Bei Zwischenwerten <math>h/b</math> darf linear interpoliert werden</p>		

## **Literaturhinweise**

ISO 2394, *General principles on reliability for structures*

ISO 3898, **AC** *Bases for design of structures — Notations — General symbols* **AC**

ISO 8930, *General principles on reliability for structures — List of equivalent terms*

**AC** EN 12811-1, *Temporäre Konstruktionen für Bauwerke — Teil 1: Arbeitsgerüste; Leistungsanforderungen, Entwurf, Konstruktion und Bemessung*

ISO 12494, *Atmospheric icing of structures* **AC**