

	DIN EN 1991-1-4	
ICS 91.010.30	<div>Entwurf</div>	Einsprüche bis 2024-04-02 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 1991-1-4:2010-12
<p>Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Windlasten; Deutsche und Englische Fassung prEN 1991-1-4:2024</p> <p>Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-4: Wind actions; German and English version prEN 1991-1-4:2024</p> <p>Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-4: Actions du vent; Version allemande et anglaise prEN 1991-1-4:2024</p> <p>Anwendungswarnvermerk</p> <p>Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-02-02 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <ul style="list-style-type: none">– vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;– oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;– oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin. <p>Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</p> <p>Gesamtumfang 537 Seiten</p> <p>DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)</p>		

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1991-1-4:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-51-02 AA „Einwirkungen auf Bauten (SpA zu CEN/TC 250/SC 1)“ im DIN-Normenausschuss DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1991-1-4:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das Dokument wurde vollständig überarbeitet;
- b) Norm redaktionell überarbeitet.

Titel de: Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-4: Windlasten

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

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
0 Einleitung	6
0.1 Einleitung zu den Eurocodes	6
0.2 Einleitung zu EN 1991 (alle Teile)	6
0.3 Einleitung zu prEN 1991-1-4	8
0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen	8
0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1991-1-4	8
1 Anwendungsbereich	10
1.1 Anwendungsbereich von prEN 1991-1-4	10
1.2 Annahmen	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe und Symbole	11
3.1 Begriffe	11
3.2 Symbole und Abkürzungen	12
4 Bemessungssituationen	17
5 Modellierung der Windeinwirkungen	17
5.1 Darstellung der Windeinwirkungen	17
5.2 Klassifizierung der Windeinwirkungen	18
5.3 Charakteristische Werte	18
5.4 Belastungsmodelle	18
5.5 Durch Prüfungen und Messungen gestützte Konstruktion und Bemessung	22
6 Windgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsdruck	22
6.1 Berechnungsgrundlagen	22
6.2 Grundwerte	23
6.3 Mittlere Windgeschwindigkeit und mittlerer Geschwindigkeitsdruck	24
6.4 Windturbulenz	28
6.5 Spitzenwindgeschwindigkeit und Spitzengeschwindigkeitsdruck	29
7 Windeinwirkungen	30
7.1 Allgemeines	30
7.2 Auswahl der aerodynamischen Beiwerte	31
7.3 Winddruck auf Oberflächen	31
7.4 Nettodruck auf Oberflächen	32
7.5 Windkräfte	32
8 Strukturbeiwert c_{sd}	35
8.1 Allgemeines	35
8.2 Näherungsweise Bestimmung von c_{sd}	35
8.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweise	38
9 Seitenwind- und Torsionseinwirkungen auf Gebäude	38
10 Aeroelastische Phänomene	38
10.1 Allgemeines	38
10.2 Berechnungsgrundlagen	38
10.3 Galloping	41
10.4 Divergenz und Flattern	41

10.5	Nachlauf-Buffering	41
Anhang A (informativ) Diese Seite wurde absichtlich leer gelassen.....		42
A.1	Anmerkung der Redaktion	42
Anhang B (informativ) Einfluss von Geländerauigkeit und Topographie.....		43
B.1	Anwendung dieses Anhangs.....	43
B.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	43
B.3	Darstellung der größten Rauigkeiten der verschiedenen Geländekategorien	43
B.4	Übergänge zwischen den Geländekategorien 0, I, II, III und IV	45
B.5	Orographiebeiwerte.....	47
B.6	Benachbarte Bauwerke.....	52
B.7	Versatzhöhe.....	53
B.8	Alternatives Windmodell	54
Anhang C (normativ) Druckbeiwerte für Drücke an Oberflächen		57
C.1	Anwendung dieses Anhangs.....	57
C.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	57
C.3	Druck- und Kraftbeiwerte	57
C.4	Druckbeiwerte für Gebäude mit rechteckigem Grundriss.....	58
C.5	Druckbeiwerte für unregelmäßige Gebäude	82
C.6	Druckbeiwerte für Rundbauten.....	87
C.7	Innendrucke	99
Anhang D (normativ) Nettodruck- und -kraftbeiwerte für Wände, Dächer und Schalen.....		102
D.1	Anwendung dieses Anhangs.....	102
D.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	102
D.3	Nettodruck- und -kraftbeiwerte für Kragdächer, Vorbauten und Balkone.....	102
D.4	Nettodruckbeiwerte für freistehende Wände, Brüstungen, Zäune und Hinweistafeln.....	113
Anhang E (normativ) Kraftbeiwerte für Tragwerke und tragende Bauteile.....		119
E.1	Anwendung dieses Anhangs.....	119
E.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	119
E.3	Allgemeines	119
E.4	Kraftbeiwerte für Kugeln	128
E.5	Kraftbeiwerte für Fachwerk- oder Gittertragwerke im quadratischen oder Dreiecksverband und Gerüste	129
E.6	Kraftbeiwerte für Flaggen	140
E.7	Kraftbeiwerte für vereiste Tragwerke	141
E.8	Kraftbeiwerte für Brückenüberbauten.....	145
E.9	Reibungsbeiwerte	154
Anhang F (informativ) Verfahren zur Berechnung der dynamischen Antwort in Windrichtung		155
F.1	Anwendung dieses Anhangs.....	155
F.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	155
F.3	Dynamische Antwort in Windrichtung.....	155
F.4	Turbulenz in Windrichtung.....	156
F.5	Modenformen gleichbleibenden Vorzeichens	157
F.6	Beiwert für den Böengrundanteil	164
F.7	Beiwert für den Resonanzanteil	166
F.8	Scheitelfaktor für den Resonanzanteil.....	168
F.9	Modenformen nicht gleichbleibenden Vorzeichens — Berechnung der äquivalenten statischen Windkraft.....	169
F.10	Anzahl der in die Berechnung der dynamischen Antwort einbezogenen Böenlasten.....	173
Anhang G (informativ) Verfahren zur Bewertung von Seitenwind- und Torsionseinwirkungen bei dafür anfälligen Gebäuden		175
G.1	Anwendung dieses Anhangs.....	175
G.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	175

G.3	Allgemeines	175
G.4	Detailliertes Verfahren für Seitenwindeinwirkungen.....	177
G.5	Detailliertes Verfahren für Torsionseinwirkungen.....	180
G.6	Vereinfachtes Verfahren zur Bewertung von Seitenwind und Torsionseinwirkungen bei Gebäuden mit quadratischem Grundriss.....	183
G.7	Seitenwind- und Torsionsbeschleunigungen.....	185
G.8	Kombination von Einwirkungen und Einwirkungsauswirkungen.....	187
Anhang H (informativ) Verfahren zur Berechnung der dynamischen und aeroelastischen Antwort schlanker Tragwerke in der Richtung quer zum Wind.....		
H.1	Anwendung dieses Anhangs	189
H.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen.....	189
H.3	Allgemeines	189
H.4	Dynamische Antwort in der Richtung quer zum Wind	190
H.5	Wirbelerregte Querschwingungen.....	197
H.6	Galloping.....	209
H.7	Divergenz und Flattern.....	213
Anhang I (informativ) Dynamische Kennwerte von Tragwerken mit linear-elastischem Verhalten		
I.1	Anwendung dieses Anhangs	218
I.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen.....	218
I.3	Allgemeines	218
I.4	Grundfrequenz	219
I.5	Grundmodenform.....	227
I.6	Äquivalente Masse.....	229
I.7	Das logarithmische Dämpfungsdekrement	230
Anhang J (informativ) Tragwerksantwort von Stahlfachwerktürmen und -gittermasten sowie abgespannten Masten		
J.1	Anwendung dieses Anhangs	233
J.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen.....	233
J.3	Allgemeines	233
J.4	Tragwerksantwort von Fachwerktürmen und Gittermasten	233
J.5	Tragwerksantwort von abgespannten Masten.....	239
Anhang K (informativ) Hinweise zur Ableitung von Bemessungsparametern aus Windkanalversuchen und numerischen Simulationen		
K.1	Anwendung dieses Anhangs	249
K.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen.....	249
K.3	Allgemeines	249
K.4	Ableitung von Bemessungsparametern aus Windkanalversuchen	251
K.5	Ableitung von Bemessungsparametern aus numerischen Simulationen	259
Anhang L (informativ) Hinweise zur Ableitung von Windgeschwindigkeiten aus Messungen an Wetterstationen		
L.1	Anwendung dieses Anhangs	264
L.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen.....	264
L.3	Windgeschwindigkeitsaufzeichnungen	264
L.4	Extremwert- oder Grundgesamtheitsanalyse.....	266
Anhang M (informativ) Hinweise zur probabilistischen Beschreibung von Windeinwirkungen		
M.1	Anwendung dieses Anhangs	267
M.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen.....	267
M.3	Probabilistische Variablen.....	267
M.4	Kalibrierung der Werte der Terme anhand ihrer statistischen Verteilung	268
Literaturhinweise.....		
		269

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1991-1-4:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1991-1-4:2005 und seine Änderungen und Berichtigungen ersetzen.

Die erste Generation der EN Eurocodes wurde zwischen den Jahren 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Mandats M/515 erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.

0 Einleitung

0.1 Einleitung zu den Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*
- EN 1991, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*
- EN 1992, *Eurocode 2 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*
- EN 1993, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*
- EN 1994, *Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
- EN 1995, *Eurocode 5 — Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*
- EN 1996, *Eurocode 6 — Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*
- EN 1997, *Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*
- EN 1998, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*
- EN 1999, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*
- Neue Eurocodes sind derzeit in Erarbeitung, z. B. der Eurocode für die Bemessung von tragenden Konstruktionen aus Glas.

Die Eurocodes sind für die Anwendung durch Tragwerksplaner, Bauherren, Hersteller, Ausführende, zuständige Behörden (bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben in Übereinstimmung mit nationalen oder internationalen Vorschriften), Lehrkräfte, Softwareentwickler und Normenausschüsse, in denen verwandte Produktnormen, Prüfnormen und Ausführungsnormen erarbeitet werden, gedacht.

ANMERKUNG Einige Entwurfs- und Bemessungsaspekte werden am zutreffendsten von den zuständigen Behörden festgelegt oder können, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien wie Tragwerksplanern und Bauherren vereinbart werden. In den Eurocodes werden solche Aspekte durch ausdrückliche Bezugnahme auf die zuständigen Behörden und die beteiligten Parteien gekennzeichnet.

0.2 Einleitung zu EN 1991 (alle Teile)

EN 1991 gibt die Einwirkungen an, die bei der Tragwerksplanung von Hochbauten, Brücken und anderen Ingenieurbauwerken oder deren Teilen, einschließlich Hilfstragwerken, in Zusammenhang mit EN 1990 und den anderen Eurocodes zu berücksichtigen sind.

EN 1991 deckt nicht die besonderen Anforderungen an Einwirkungen ab, welche für die Erdbebenbemessung notwendig sind. Festlegungen im Zusammenhang mit derartigen Anforderungen werden in EN 1998 (alle Teile) getroffen und ergänzen EN 1991 in konsistenter Weise.

EN 1991 ist auch anwendbar auf bestehende Tragwerke hinsichtlich:

- der Beurteilung ihres Tragverhaltens;
- der Bemessung von Instandsetzungs-, Ertüchtigungs- und Änderungsmaßnahmen;
- der Beurteilung von Nutzungsänderungen.

ANMERKUNG In diesen Fällen können zusätzliche oder abgeänderte Festlegungen notwendig sein.

EN 1991 ist für die Planung von Tragwerken mit Baustoffen oder Einwirkungen anwendbar, die nicht in den Anwendungsbereich der anderen Eurocodes fallen.

ANMERKUNG In diesem Fall können zusätzliche oder abgeänderte Festlegungen notwendig sein.

EN 1991 ist in mehrere Teile unterteilt:

- EN 1991-1-1, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-1: Spezifisches Gewicht von Baustoffen und Lagergütern, Eigengewicht von Bauwerken und Nutzlasten im Hochbau*
- EN 1991-1-2, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2: Einwirkungen im Brandfall*
- EN 1991-1-3, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-3: Schneelasten*
- EN 1991-1-4, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-4: Windlasten*
- EN 1991-1-5, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-5: Temperatureinwirkungen*
- EN 1991-1-6, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-6: Einwirkungen während der Bauausführung*
- EN 1991-1-7, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-7: Außergewöhnliche Einwirkungen*
- EN 1991-1-8, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-8: Einwirkungen infolge von Wellen und Strömungen auf Küstenbauwerke*
- EN 1991-1-9, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-9: Atmosphärische Eisbildung*
- EN 1991-2, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken und anderen Ingenieurbauwerken*
- EN 1991-3, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen*
- EN 1991-4, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 4: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter*

0.3 Einleitung zu prEN 1991-1-4

prEN 1991-1-4 enthält Hinweise zur Konstruktion und Bemessung und gibt Einwirkungen an, die bei der Tragwerksbemessung von Hoch- und Ingenieurbauten zu beachten sind.

prEN 1991-1-4 ist dafür vorgesehen, bei der Tragwerksbemessung in Verbindung mit EN 1990, den anderen Teilen von EN 1991 und mit EN 1992 bis EN 1999 angewendet zu werden.

0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung, die zwingend zu befolgen ist und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Verfahrensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Lösungen verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Verfahrensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1991-1-4

Nationale Festlegungen sind nach dieser Norm dann erlaubt, wenn diese im Rahmen von Anmerkungen ausdrücklich gestattet sind. Zu den nationalen Festlegungen gehört die Auswahl von Werten für die national festzulegenden Parameter (NDPs, en: Nationally Determined Parameters).

Hierzu kann die jeweilige Nationale Norm zur Umsetzung von prEN 1991-1-4 einen Nationalen Anhang mit allen nationalen Festlegungen enthalten, die für den Entwurf und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten im jeweiligen Land Verwendung finden.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, so ist der in dieser Norm festgelegte Standardwert anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und keine Standardfestlegung in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden, oder sofern keine Festlegungen getroffen wurden, können die beteiligten Parteien im Einzelfall eine Vereinbarung treffen.

Nationale Festlegungen sind in prEN 1991-1-4 im Rahmen von Anmerkungen zu Folgendem gestattet:

5.4(8)	6.1(3)	6.2(1)	6.2(2)
6.2(4)	6.2(5)	6.3.1(1)	6.3.2(1)
6.3.2(3)	6.3.3(2)	6.4(2)	6.4(3)
6.4(4)	6.5(1)	7.1(2)	9(1)
B.1(1)	B.3(1)	B.4.1(2)	B.4.3(5)
B.5(5)	B.8.1(1)	B.8.2(1)	Tabelle B.3 (NDP)
B.8.3(2)	C.3.1(1)	C.3.2(1)	C.4.1(4)
C.4.1(6)	C.4.2(6)	C.4.3(3)	Tabelle C.3 (NDP)
C.4.4(3)	C.4.4(4)	C.4.5(3)	C.4.5(4)
C.4.6(3)	C.4.8(1)	C.4.9(2)	C.4.9(3)
C.5.1(2)	C.5.2(1)	C.5.3(1)	C.6.1.1(1)
C.6.1.1(4)	C.6.2(1)	C.6.3(1)	C.7(7)
D.3.2(1)	D.3.3(1)	D.3.6(1)	D.4.2(1)
D.4.3(1)	E.3.1(3)	E.3.3(1)	E.3.4(1)
E.3.5(1)	E.3.5(2)	E.3.5(7)	E.3.6(1)
E.3.7(1)	E.4(1)	E.5.1(1)	E.5.1(3)
E.5.6(1)	E.7.1(1)	E.8.1(1)	E.8.1(4)
E.8.1(5)	E.8.2(1)	E.8.2.2(4)	E.8.2.3(1)
E.8.2.4(3)	E.8.2.5(1)	F.1(1)	F.5.3(2)
F.9.2(1)	G.1(1)	G.3(2)	H.1(1)
H.3(4)	H.5.3.2(1)	H.5.3.4(1)	H.5.4(2)
H.5.5.1(1)	H.5.5.2(2)	H.5.5.2(3)	H.5.6.1(1)
H.5.6.2(1)	H.5.6.3(1)	H.6.4(2)	I.1(1)
J.1(1)	J.4.2.8(4)	J.4.3(1)	J.4.3(2)
J.5.3.2.2(2)	J.5.3.2.3(1)	J.5.3.2.8(4)	K.1(1)
L.1(1)	M.1(1)		

Nationale Festlegungen sind in prEN 1991-1-4 bezüglich der Anwendung der folgenden informativen Anhänge gestattet:

Anhang B	Anhang F	Anhang G	Anhang H
Anhang I	Anhang J	Anhang K	Anhang L
Anhang M			

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

1 Anwendungsbereich

1.1 Anwendungsbereich von prEN 1991-1-4

(1) Dieses Dokument enthält Grundsätze und Regeln zur Bestimmung der Einwirkungen natürlichen Windes auf sämtliche der in die Tragwerksbemessung von Hoch- und Ingenieurbauten einbezogenen Lasteinzugsflächen. Damit werden ganze Tragwerke oder Teile davon oder Elemente, die mit dem Tragwerk verbunden sind, erfasst, z. B. Bauteile, Verkleidungselemente und deren Verankerungen, Anprallschutz- und Lärmschutzwände.

(2) Dieser Teil gilt für:

- Hoch- und Ingenieurbauten mit einer Höhe bis 300 m;
- Brücken, deren Felder eine Länge von höchstens 200 m haben.

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

(4) Dieser Teil gilt auch für in einer Entfernung von weniger als 1 km zur Hauptküstenlinie errichtete Offshore-Bauwerke. Auf in einem Küstenlinienabstand größer als 1 km errichtete Offshore-Bauwerke sind die in diesem Teil festgelegten geländebedingten Wirkungen nicht anwendbar.

(5) Dieser Teil enthält keine Hinweise zu nichtsynoptischen Winden (z. B. Gewitterstürmen, Downbursts, Microbursts, Tornados usw.) und Klimaten mit gemischten Winden, und er enthält auch keine Hinweise zur Berücksichtigung lokaler Wirkungen (z. B. thermische Wirkungen, Trichterbildung, starke arktische thermische Oberflächeninversion usw.).

(6) Dieses Dokument behandelt vereinfachte Verfahren für dynamische Wirkungen, die in den meisten Fällen auf der Annahme einer durch nur eine vorherrschende Mode gekennzeichneten Tragwerksantwort (en: single-mode response) basieren. Allgemeine Kriterien für die Durchführung einer umfassenden dynamischen Berechnung bei aerodynamischer Anregung werden in dieser Norm nicht behandelt.

(7) Druck- und Sogwirkungen vorbeifahrender Fahrzeuge sind nicht Gegenstand dieses Dokuments.

ANMERKUNG Zu den Druck- und Sogwirkungen vorbeifahrender Züge siehe EN 1991-2.

1.2 Annahmen

(1) Es gelten die in EN 1990:2023, 1.2 angegebenen Annahmen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG Siehe Literaturhinweise für eine Auflistung anderer zitierter Dokumente, bei denen es sich nicht um normative Verweisungen handelt, einschließlich solcher, die als Empfehlungen (d. h. in „sollte/sollten“-Abschnitten), Erlaubnisse („darf/dürfen“-Abschnitte), Möglichkeiten („kann/können“-Abschnitte) und in Anmerkungen in Bezug genommen werden.

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*

ISO 2394, *General principles on reliability for structures*

ISO 3898, *Bases of design of structures — Names and symbols of physical quantities and generic quantities*

ISO 8930, *General principles on reliability for structures — Vocabulary*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990, ISO 2394, ISO 3898 und ISO 8930 sowie die folgenden Begriffe.

3.1.1

Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit

charakteristische mittlere 10-Minuten-Windgeschwindigkeit mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2 %, unabhängig von der Windrichtung und der Jahreszeit, in einer Höhe von 10 m über Grund in flachem, offenem Gelände mit aufgrund niedrig wachsender Vegetation, wie z. B. Gras, langem luvseitigem Fetch und freistehenden Hindernissen mit Abständen zueinander von mindestens dem 20-Fachen der Höhe dieser Hindernisse und unter Berücksichtigung der Meereshöhe (falls erforderlich)

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses Gelände entspricht der Geländekategorie II nach Tabelle 6.1 und ist in B.1 dargestellt.

3.1.2

Basiswindgeschwindigkeit

Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit, der modifiziert wurde, um der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit, der Windrichtung, der Jahreszeit und der Meereshöhe (falls erforderlich) Rechnung zu tragen

3.1.3

mittlere Windgeschwindigkeit

Basiswindgeschwindigkeit, die modifiziert wurde, um den Auswirkungen von Geländerauigkeit, Orographie und Höhe über Grund Rechnung zu tragen

3.1.4

Scheitelfaktor für Turbulenz

Faktor, der einer Böendauer von etwa 3 s entspricht, diese entspricht genormten Böendauern an Wetterstationen

3.1.5

Druckbeiwert

Beiwert, der den auf die Oberflächen von Hoch- oder Ingenieurbauten wirkenden Druck angibt; Außendruckbeiwerte gelten für die Außenflächen und Innendruckbeiwerte für die Innenflächen

3.1.6

Nettodruckbeiwert

Beiwert zur Berücksichtigung der resultierenden Druckdifferenz über eine Außenhaut

3.1.7

Kraftbeiwert

Beiwert zur Berücksichtigung entweder der Gesamtwirkung oder der längenbezogenen Wirkung des Windes auf ein Bau- bzw. Tragwerk, ein Tragwerkselement oder ein Bauteil, einschließlich Reibung, sofern nicht ausdrücklich ausgeschlossen

3.1.8

Reibungsbeiwert

Beiwert zur Berücksichtigung der Wirkungen von Windreibung auf die Außenflächen von Gebäuden und anderen Bauwerken

3.1.9

Beiwert für den Böengrundanteil

Faktor zur Berücksichtigung des Fehlens vollständiger Korrelation der auf die verschiedenen Tragwerksoberflächen wirkenden Drücke

3.1.10

Beiwert für den Resonanzanteil

Faktor zur Erfassung der Verstärkung der Wirkungen von Windturbulenz bei der Eigenfrequenz der maßgebenden Schwingungsmode

3.2 Symbole und Abkürzungen

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

ANMERKUNG Die hier verwendeten Notationen basieren auf ISO 3898. In den in diesem Teil angegebenen Gleichungen symbolisiert der Punkt das Multiplikationszeichen. Diese Notationen wurden verwendet, um Verwechslungen mit Funktionsgleichungen vorzubeugen.

(2) Eine allgemeine Übersicht der Notationen ist in EN 1990:2023, 1.6 angegeben; die zusätzlichen nachstehend aufgeführten Notationen gelten nur für prEN 1991-1-4.

3.2.1 Lateinische Großbuchstaben

A	Fläche
A_{fr}	vom Wind überstrichene Fläche
A_{ref}	Bezugsfläche
A_{shed}	Grundfläche
B^2	Beiwert für den Böengrundanteil
C	Windlastfaktor für Brücken
E	Elastizitätsmodul
F_{fr}	resultierende Reibungskraft
F_j	wirbelerregende Kraft am Punkt j des Bauwerks
F_w	resultierende (Gesamt-)Windkraft
H	(Meeres-)Höhe eines topographischen Elements
I_u	Turbulenzintensität
K	Modenformfaktor; Schwingungsformparameter; Faktor
K_a	aerodynamischer Dämpfungsparameter
K_{iv}	Interferenzfaktor für wirbelerregte Querschwingung
K_{rd}	Abminderungsfaktor für Brüstungen
$K_{R,L}$	Lastverteilungsfaktor
K_w	Korrelationslängenfaktor
K_x	dimensionsloser Beiwert
L	Spannweite des Brückenüberbaus, Längenskala der Turbulenz; projizierte Länge, Gurt- oder Sehnenlänge

L_d	tatsächliche Länge einer leeseitigen Steigung
L_e	effektive Länge einer luvseitigen Steigung
L_j	Korrelationslänge
L_u	tatsächliche Länge einer luvseitigen Steigung
N	Anzahl der durch wirbelerregte Querschwingungen verursachten Schwingungsspiele; Anzahl
N_g	Anzahl der in die Tragwerksantwort einbezogenen Böenlasten
P	Stabkraft
Q	Parameter
R	Windwiderstand
R^2	Beiwert für den Resonanzanteil
Re	Reynolds-Zahl
S	Windeinwirkung; Lastwirkung
Sc	Scruton-Zahl
S_u	dimensionslose spektrale Leistungsdichtefunktion für Turbulenz in Windrichtung
S_v	dimensionslose spektrale Leistungsdichtefunktion für Turbulenz quer zur Windrichtung
S_w	dimensionslose spektrale Leistungsdichtefunktion für Vertikalwindturbulenz
St	Strouhal-Zahl
T	Wiederkehrperiode
W_s	Gewicht der tragenden Bauteile eines Schornsteins, die zu dessen Steifigkeit beitragen
W_t	Gesamtgewicht des Schornsteins

3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a_G	Beiwert für Galloping-Instabilität
a_{IG}	kombinierter Stabilitätsbeiwert für Interferenz-Galloping
$a_{p,x}$	Spitzenbeschleunigung in Windrichtung
b	Breite des Bauwerks (Länge der senkrecht zur Windrichtung stehenden Oberfläche, sofern nicht anders festgelegt)
c_{alt}	Höhenfaktor
c_d	dynamischer Faktor
c_{dir}	Richtungsfaktor
c_e	Beiwert für den Außendruck
c_f	Kraftbeiwert
$c_{f,o}$	Kraftbeiwert für Tragwerke oder Tragwerkselemente mit unendlicher Schlankheit
$c_{f,l}$	Auftriebsbeiwert
$c_{f,cw}$	Seitenwindkraftbeiwert, Kraftbeiwert quer zum Wind
c_{fr}	Reibungsbeiwert
c_L	Kraftbeiwert in der Ebene quer zum Wind
c_M	Momentenbeiwert
c_p	Druckbeiwert
c_{pe}	Außendruckbeiwert
$c_{pe,1}$	lokaler Außendruckbeiwert

$c_{pe,10}$	detaillierter Außendruckbeiwert
$c_{pe,G}$	globaler Außendruckbeiwert
c_{pi}	Innendruckbeiwert
$c_{p,net}$	Nettodruckbeiwert
c_{prob}	Wahrscheinlichkeitsfaktor
c_r	Rauigkeitsbeiwert
c_o	Orographiefaktor
c_s	Größenfaktor
c_{sd}	Strukturbeiwert
c_{season}	Jahreszeitenbeiwert
d	Tiefe des Bauwerks (Länge der parallel zur Windrichtung stehenden Oberfläche, sofern nicht anders festgelegt)
e	Ausmitte einer Kraft oder Randabstand
f_L	dimensionslose Frequenz
h	Höhe des Bauwerks
h_{ave}	Hindernishöhe
h_{dis}	Versatzhöhe
k	äquivalente Rauigkeit
k_B	Scheitelfaktor der mit dem Böengrundanteil beschriebenen Turbulenz
k_I	Turbulenzfaktor
k_R	Scheitelfaktor der mit dem Resonanzanteil beschriebenen Turbulenz
k_r	Geländefaktor
k_u	Scheitelfaktor für turbulenten Wind
k_θ	Torsionssteifigkeit
l	Länge eines horizontalen Bauwerks
m	längenbezogene Masse
m_1	äquivalente längenbezogene Masse
n_i	Bauwerkseigenfrequenz der Mode i
$n_{1,x}$	Grundfrequenz der Schwingung in Windrichtung
$n_{1,y}$	Grundfrequenz der Schwingung quer zum Wind
$n_{1,z}$	Grundfrequenz der Vertikalschwingung
n_o	ovalisierende Frequenz (Frequenz der wirbelerregten ovalisierenden Schalenschwingung)
p	jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit
q_b	mittlerer Bezugs(basis-)geschwindigkeitsdruck
q_m	mittlerer Geschwindigkeitsdruck
q_p	Spitzengeschwindigkeitsdruck
r	Radius
s	Faktor, Koordinate
t	Zeit
v_{CG}	Windgeschwindigkeit, bei der Galloping einsetzt
v_{CIG}	kritische Windgeschwindigkeit für Interferenz-Galloping

v_{crit}	kritische Windgeschwindigkeit für wirbelerregte Querschwingungen
v_{div}	Divergenzwindgeschwindigkeit
v_m	mittlere Windgeschwindigkeit
$v_{b,0}$	Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit
v_b	Basiswindgeschwindigkeit
w	Winddruck
x	Horizontalabstand in Windrichtung
x -Richtung	horizontale Richtung, senkrecht zur Spannweite
y -Richtung	horizontale Richtung entlang der Spannweite
y_{max}	maximale Schwingungsamplitude quer zum Wind bei der kritischen Windgeschwindigkeit
z	Höhe über Grund
z_{ave}	durchschnittliche Höhe
z -Richtung	vertikale Richtung
z_0	Rauigkeitslänge
z_e, z_i	Bezugshöhe für äußere Windeinwirkung, Innendruck
z_g	Bodenabstand des betrachteten Bauteils
z_{max}	maximale Höhe
z_{min}	Mindesthöhe
z_s	Bezugshöhe zur Bestimmung des Strukturbeiwertes

3.2.3 Griechische Großbuchstaben

Φ	luvseitige Steigung
$\Phi_{1,x}$	Grundswingungsmodenform in Windrichtung
$\Phi_{i,x}$	Grundswingungsform der Mode i in Windrichtung

3.2.4 Griechische Kleinbuchstaben

α_G	Beiwert für Galloping-Instabilität
α_{IG}	kombinierter Stabilitätsbeiwert für Interferenz-Galloping
β_k	kritische Windrichtung
χ^2	eindimensionale Übertragungsfunktion
δ	logarithmisches Dämpfungsdekrement
δ_a	logarithmisches Dekrement der aerodynamischen Dämpfung
δ_d	logarithmisches Dämpfungsdekrement infolge besonderer Maßnahmen
δ_s	logarithmisches Dekrement der Strukturdämpfung
ε	Beiwert
ε_0	Bandbreitenfaktor
ε_1	Frequenzfaktor
η	Variable
φ	Völligkeitsgrad, Grad der Versperrung von Kragdächern
λ	Schlankheitsgrad
μ	Öffnungsverhältnis, Durchlässigkeit einer Außenhaut

ν	Erwartungswert der Böenreaktion, Poissonzahl (Querkontraktionszahl), kinematische Zähigkeit
θ	Torsionswinkel; Windrichtung; Winkel der Anströmrichtung zur Normalen der Ebene; Steigung
ρ	Luftdichte, die von der Meereshöhe und der Temperatur und dem atmosphärischen Luftdruck abhängt, die für die betreffende Region unter den maßgebenden Windbedingungen zu erwarten sind
σ_u	Standardabweichung der Turbulenz in Windrichtung
σ_v	Standardabweichung der Turbulenz quer zur Windrichtung
σ_w	Standardabweichung der Vertikalwindturbulenz
ψ	Winkel der Anströmrichtung zur Längsachse
ψ_{mc}	Abminderungsfaktor für Mehrfeld-Kragdächer
ψ_r	Abminderungsfaktor für den Kraftbeiwert bei quadratischen Querschnitten mit abgerundeten Ecken
ψ_λ	Abminderungsfaktor für den Kraftbeiwert zur Berücksichtigung der Umströmung freier Enden von Tragwerkselementen endlicher Schlankheit
$\psi_{\lambda\alpha}$	Faktor zur Berücksichtigung der Umströmung von freien Enden eines Kreiszylinders
ψ_s	Abschattungsfaktor für Wände und Zäune
ζ	Exponent der Modenform

3.2.5 Indizes

A	Zusatzeinrichtung
C	Seil, Kabel
c	Stäbe mit kreisförmigem Querschnitt
crit	kritisch
e	Außen-, äußere(r); Exposition; effektiv, wirksam
F	Sichtfläche, Stirnfläche
f	abgeflachte Stäbe
fr	Reibung
G	Abspannseil
H	Masthöhe
i	Innen-; Ordnung der Mode bzw. Eigenform
j	laufende Nummer des Rasterabschnittes oder Punktes eines Tragwerks
M	ungeschützter (blanker) Mast oder nur der Mast
m	mittlere(r), Mittel-; Mast
n	Einzelrahmen
p	Spitzen-, Scheitel-; Brüstung; kombinierte Einwirkungen von feldweisen Belastungen
PL	feldweise Belastung
ref	Bezugs-; Verweisung
S	Tragwerk, Bauwerk
s	Tragwerksskalierungsfaktor
sup	überkritisch
T	ungeschützter oder nur der Turm

t	mittlerer Wind und Böenwind
u	Windgeschwindigkeit in Mitwindrichtung
v	Seitenwindgeschwindigkeit (Windgeschwindigkeit in der Richtung quer zum Wind)
W	in Windrichtung
w	Windgeschwindigkeit in vertikaler Richtung; mit dem Wind
i	in Seitenwindrichtung, quer zum Wind
x	Mitwindrichtung; in der Richtung quer zum Wind
y	Seitenwindrichtung
Z	in vertikaler Richtung
z	vertikale Richtung; Höhe über Grund
θ	Anströmwinkel (Winkel der Anströmrichtung)

4 Bemessungssituationen

(1) Die maßgebenden Windeinwirkungen sind für jede nach EN 1990 ermittelte Bemessungssituation zu bestimmen.

(2) In Übereinstimmung mit EN 1990 sollten andere Einwirkungen (wie z. B. Schnee, Verkehr, Eis oder Regen), die die Auswirkungen von Windeinwirkungen beeinflussen können, berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Siehe auch EN 1991-1-3 bezüglich Schnee, prEN 1991-1-9 bezüglich atmosphärischer Eisbildung und EN 1991-2 bezüglich des Verkehrs.

(3) Veränderungen des Bauwerks während der Bauausführung (wie z. B. unterschiedliche Bauwerksformen während verschiedener Bauzustände, unterschiedliche dynamische Eigenschaften usw.), welche die Auswirkungen der Windeinwirkungen beeinflussen können, sollten berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Zu den Einwirkungen während der Ausführung siehe auch EN 1991-1-6.

(4) Durch Windeinwirkungen bedingte Ermüdungserscheinungen sollten, sofern maßgebend, berücksichtigt werden, siehe EN 1990.

ANMERKUNG Die Spannungsschwingbreiten und die Anzahl der Spannungsschwingspiele können Anhang F, Anhang G und Anhang H entnommen werden.

(5) Tragwerke sollten so konstruiert und bemessen werden, dass sie Windkräften in allen Richtungen sowie Torsion standhalten.

5 Modellierung der Windeinwirkungen

5.1 Darstellung der Windeinwirkungen

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

ANMERKUNG 1 Windeinwirkungen sind über die Zeit veränderlich und wirken in Form von Druck direkt auf die Außenflächen umschlossener Baukörper und infolge der Porosität der Außenfläche indirekt auch auf die Innenflächen. Sie können auch direkt auf die Innenflächen offener Tragwerke einwirken.

ANMERKUNG 2 Auf eine Oberfläche wirkende Drücke führen zu Kräften, die senkrecht zur Oberfläche des Tragwerks oder einzelner Verkleidungselemente angreifen.

ANMERKUNG 3 Wenn der Wind an größeren Flächen des Tragwerks vorbeistreicht, können auch parallel zur Oberfläche wirkende Reibungskräfte von Bedeutung sein.

ANMERKUNG 4 Die Wirkung des Windes auf das Tragwerk (d. h. die Tragwerksantwort) hängt von der Größe, der Form und den dynamischen Eigenschaften des Tragwerks ab. Die Windeinwirkungen enthalten grundsätzlich stetige und schwankende Komponenten, die bei den Eigenfrequenzen des Tragwerks verstärkt werden können. Biegesteife Tragwerke mit hohen Eigenfrequenzen zeigen bei Schwankungen der Windgeschwindigkeit ein quasi-statisches Ansprechverhalten. Tragwerke mit niedrigeren Eigenfrequenzen zeigen eine zunehmend bedeutsamer werdende Resonanzantwort, bis zu einem gewissen Punkt jedoch können sie noch als quasi-statisch behandelt werden.

5.2 Klassifizierung der Windeinwirkungen

(1) Sofern nichts anderes festgelegt ist, sollten Windeinwirkungen als veränderliche freie Einwirkungen eingestuft werden.

ANMERKUNG Zur Klassifizierung der Einwirkungen siehe EN 1990.

5.3 Charakteristische Werte

(1) Die nach prEN 1991-1-4 berechneten Windeinwirkungen sind als charakteristische Werte anzusehen, die einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2 % entsprechen, wie in EN 1990 festgelegt. Das entspricht einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren, siehe EN 1990.

ANMERKUNG 1 EN 1990 enthält Teilsicherheitsbeiwerte für die Windlasten, die geeignet sind, die Versagenswahrscheinlichkeit auf ein annehmbares Maß zu verringern.

ANMERKUNG 2 Für den Fall von Tragwerksantworten in Form von wirbelerregten Querschwingungen, die bei häufigeren Windgeschwindigkeiten auftreten, sind in Anhang H Regeln für die Berechnung der Tragwerksantwort und zusätzlicher Ermüdung angegeben.

ANMERKUNG 3 Mit Beiwerten versehene Windgeschwindigkeiten werden verwendet, um sicherzustellen, dass es innerhalb des Bereiches der mit Beiwerten versehenen Windeinwirkungen nicht mit signifikanter Wahrscheinlichkeit zu übermäßigen aeroelastischen Tragwerksantworten aufgrund von Galloping oder Flattern kommt, siehe Anhang H.

ANMERKUNG 4 Weitere Hinweise zur probabilistischen Beschreibung von Windeinwirkungen finden sich in Anhang M.

5.4 Belastungsmodelle

(1) Die Windeinwirkungen auf Tragwerke sollten anhand des Folgenden berechnet werden:

- des Spitzengeschwindigkeitsdrucks q_p nach Abschnitt 6 in Abhängigkeit vom Windklima, der Geländerauigkeit und der Orographie sowie der Bezugshöhe; und
- der folgenden aerodynamischen Beiwerte:
 - der in Anhang C für Gebäude und andere Tragwerke angegebenen Außen- und Innendruckbeiwerte,
 - der in Anhang D für Wände und Dächer angegebenen Nettodruckbeiwerte, oder
 - der in Anhang E für Tragwerke und Tragwerkselemente angegebenen Kraftbeiwerte.

ANMERKUNG 1 Ein Bemessungsverfahren, das zur Bestimmung von Windgeschwindigkeiten, Geschwindigkeitsdrücken und aerodynamischen Beiwerten dient, ist in Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 beschrieben, die darüber hinaus Verweisungen auf maßgebende Abschnitte und Anhänge enthalten.

ANMERKUNG 2 Dieser Teil deckt die Anwendung äquivalenter quasi-statischer Verfahren ab, wenn gilt: $c_{sd} \leq 1,2$. Für Hinweise zur Abschätzung von c_{sd} siehe 8.2. In den nachstehenden Abschnitten wird auf Anhänge verwiesen, die zusätzliche Hinweise für Tragwerke enthalten, deren Systemantwort durch signifikante Resonanzen gekennzeichnet sein kann.

Tabelle 5.1 — Hinweise zur Bestimmung von Windgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsdruck

Bestimmung des Grundwerts der Basiswindgeschwindigkeit $v_{b,0}$ anhand eines Windatlas	6.2(1) ANMERKUNG 1
Bestimmung des: Höhenfaktors c_{alt} Richtungsfaktors c_{dir} Jahreszeitenbeiwerts c_{season} Wahrscheinlichkeitsfaktors c_{prob}	6.2(2) ANMERKUNG 1 6.2(2) ANMERKUNG 2 6.2(2) ANMERKUNG 3 Gleichung (6.2)
Bestimmung der: Basiswindgeschwindigkeit v_b Bezugshöhe z_e Geländerauigkeitskategorie	Gleichung (6.1) Anhang C, Anhang D oder Anhang E 6.3.2
Feststellung, ob die Orographie von Bedeutung ist Falls die Orographie von Bedeutung ist, Bestimmung von c_o (anderenfalls $c_o = 1$)	6.3.3 B.3
Falls die Tragwerkshöhe < 200 m ist	
Bestimmung des: Basisgeschwindigkeitsdrucks q_b	Gleichung (6.3)
Falls die Orographie <u>nicht von Bedeutung</u> ist Beiwert für den Außendruck $c_e(z)$ Spitzengeschwindigkeitsdruck $q_p(z)$	Bild 6.3 Gleichung (6.11) Gleichung (6.13) Bild 6.3
Falls die Orographie <u>von Bedeutung</u> ist	
Rauigkeitsbeiwert $c_r(z)$ Turbulenzintensität $I_u(z)$ mittlere Windgeschwindigkeit $v_m(z)$ Spitzenwindgeschwindigkeit $v_p(z)$ Spitzengeschwindigkeitsdruck $q_p(z)$	Gleichung (6.6) Gleichung (6.10) Gleichung (6.4) Gleichung (6.12) Gleichung (6.11)
Im Falle schlanker Tragwerke mit einer Höhe bis 300 m können $c_r(z)$ und $I_u(z)$ nach B.6 bestimmt werden.	

Tabelle 5.2 — Hinweise zur Bestimmung der Windlast

Winddrücke und Windkräfte an Gebäuden:	
Ermittlung des: Außendruckbeiwerts c_{pe} Innendruckbeiwerts c_{pi} Reibungsbeiwerts c_{fr}	Anhang C Abschnitt C.5 Abschnitt E.7
Bestimmung des: auf Außenflächen wirkenden Winddrucks w_e auf Innenflächen wirkenden Winddrucks w_i	Gleichung (7.2) Gleichung (7.3)
Bestimmung der: durch Außenwinddruck bedingten Kräfte $F_{w,p,e}$ durch Innenwinddruck bedingten Kräfte $F_{w,p,i}$ durch Reibung bedingten Kräfte $F_{p,fr}$	Gleichung (7.6) Gleichung (7.7) Gleichung (7.8)
Bestimmung der Windkraft $F_{w,p}$ als Vektorsumme von $F_{w,p,e}$, $F_{w,p,i}$ und $F_{p,fr}$	Abschnitt 7.5(4)
Auf Kragdächer, Vorbauten, Balkone, freistehende Wände, Brüstungen, Zäune und Hinweistafeln wirkende Nettowinddrücke und -kräfte:	
Ermittlung des: Nettodruckbeiwerts $c_{p,net}$	Anhang D
Bestimmung des/der: Nettowinddrucks Nettowindkraft	Abschnitt 7.3(3) Gleichung (7.5)
Auf langgestreckte Tragwerke und Tragwerkselemente wirkende Windkräfte:	
Ermittlung des: Kraftbeiwerts c_f	Anhang E
Bestimmung der: Windkraft $F_{w,p}$ Fachwerktürme und Gittermaste sowie abgespannte Maste	Gleichung (7.4) oder Gleichung (7.5) Anhang J

(3) Die folgenden Wirkungen von windbedingten Schwingungen sollten, sofern maßgebend, geschätzt werden:

- durch Resonanzen in Windrichtung verursachte Turbulenz, die zu Buffeting (Schüttelschwingungen) von elastischen Tragwerken in Windrichtung führt;
- durch Resonanzen in Querrichtung verursachte Turbulenz, die zu Buffeting von elastischen Tragwerken in der Richtung quer zum Wind führt;
- durch Resonanzen in Windrichtung und quer dazu verursachte Turbulenz, die zu Torsionsschüttelschwingungen von elastischen Tragwerken führt;

- wirbelerregte Querschwingungen und andere aeroelastische Phänomene, die zu Schwingungen von elastischen Tragwerken führen.

ANMERKUNG 1 Die Verfahren für windbedingte Schwingungen gelten für Tragwerke, bei denen nur eine vorherrschende Mode von Bedeutung ist.

ANMERKUNG 2 Bei der Schätzung der Spitzenbeschleunigung unter ausschließlicher Betrachtung der dominierenden Mode handelt es sich um einen vereinfachten Ansatz. Die lokale Spitzenbeschleunigung zu schätzen, gestaltet sich sehr viel schwieriger.

(4) Die Systemantwort elastischer Tragwerke in Windrichtung sollte mit Hilfe des Strukturbeiwertes c_{sd} berechnet werden, der sich aus dem Größtenfaktor c_s und dem dynamischen Resonanzfaktor c_d zusammensetzt, die beide zur äquivalenten statischen Windeinwirkung beitragen.

ANMERKUNG 1 8.2 enthält weitere Hinweise.

ANMERKUNG 2 Ein Bemessungsverfahren, das zur Bestimmung der Tragwerksantwort bei Buffeting in Windrichtung dient, ist in Tabelle 5.3 beschrieben, die darüber hinaus Verweisungen auf maßgebende Abschnitte und Anhänge enthält.

Tabelle 5.3 — Hinweise zur Bestimmung des Strukturbeiwerts c_{sd}

Feststellung ob $c_{sd} = 1$ als geeigneter vereinfachender Wert verwendet werden kann	Abschnitt 8.2
oder: Bewertung von c_{sd} nach einem strengeren Verfahren	Anhang F

(5) Bei den in Abschnitt 9 und Abschnitt 10 beschriebenen Tragwerken sollten die Systemantwort in der Richtung quer zum Wind und die Torsionsantwort berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Ein Bemessungsverfahren, das zur Bestimmung der Tragwerksantwort in der Richtung quer zum Wind dient, ist in Tabelle 5.4 beschrieben, die darüber hinaus Verweisungen auf maßgebende Abschnitte und Anhänge enthält.

Tabelle 5.4 — Hinweise zur Bestimmung der dynamischen Antwort in der Richtung quer zum Wind

Im Falle von Gebäuden, bei denen $h/\sqrt{b \cdot d} < 3$, ist eine Berechnung der dynamischen Antwort in der Richtung quer zum Wind nicht notwendig.	—
Im Falle von Gebäuden, bei denen $3 \leq h/\sqrt{b \cdot d} \leq 6$, ist die Tragwerksantwort in der Richtung quer zum Wind zu berechnen.	Abschnitt 9 Anhang G
Im Falle von Gebäuden, bei denen $6 < h/\sqrt{b \cdot d} \leq 8$, ist die Tragwerksantwort in der Richtung quer zum Wind zu berechnen.	Abschnitt 9 Anhang G bis Anhang H
Im Falle von Gebäuden, bei denen $h/\sqrt{b \cdot d} > 8$, ist die Tragwerksantwort in der Richtung quer zum Wind zu berechnen.	Abschnitt 9 bis Abschnitt 10 Anhang H
Bei anderen elastischen, schlanken Tragwerken (wie z. B. Schornsteinen, Brückenüberbauten usw.) ist die Tragwerksantwort in der Richtung quer zum Wind zu berechnen.	Abschnitt 10 Anhang H

(6) Bei elastischen Tragwerken und tragenden Bauteilen, wie z. B. Seilen und anderen schlanken Elementen, Masten, Schornsteinen und Brücken, sollten die aeroelastische Tragwerksantwort auf wirbelerregte Querschwingungen und weitere aeroelastische Phänomene berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Hinweise zur vereinfachten Bestimmung der aeroelastischen Tragwerksantwort finden sich in Abschnitt 10 und Anhang H.

(7) Falls die Bemessung des Tragwerks, z. B. für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und Schwingungen in der Richtung quer zum Wind, in kritischem Maße vom Grad der Strukturdämpfung abhängt, muss die Empfindlichkeit in Bezug auf Veränderungen der Strukturdämpfung untersucht werden.

ANMERKUNG 1 Bei den in Anhang I angegebenen Werten der Strukturdämpfung handelt es sich um Näherungswerte, für die sich keine Untergrenze angeben lässt. Daher können ergänzende dämpfungserhöhende Maßnahmen oder Vorkehrungen für die spätere Nachrüstung entsprechender Einrichtungen erforderlich sein.

ANMERKUNG 2 Anhang F, Anhang G und Anhang H enthalten Hinweise zur Berechnung der Schwingungen.

(8) Es sollte beurteilt werden, ob für den Wind eine Berechnung der dynamischen Antwort für das Brückenbauwerk benötigt wird. Ist eine Berechnung der dynamischen Antwort nicht notwendig, so darf c_{sd} als gleich 1,0 angesetzt werden.

ANMERKUNG 1 Bei gewöhnlichen Straßen- und Eisenbahnbrückenüberbauten mit einer Spannweite kleiner als 40 m ist eine Berechnung der dynamischen Antwort im Allgemeinen nicht notwendig. Als gewöhnlich gelten in diesem Zusammenhang Konstruktionen aus Stahl, Beton, Aluminium oder Holz sowie Verbundkonstruktionen, deren Querschnitt den Formen in Bild E.1.6 entspricht.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann Kriterien für die Feststellung enthalten, ob für die betreffenden Brücken eine Berechnung der dynamischen Antwort und die damit verbundenen Verfahren notwendig sind.

5.5 Durch Prüfungen und Messungen gestützte Konstruktion und Bemessung

(1) Ergänzend zur Berechnung dürfen Windkanalversuche durchgeführt und bewährte und/oder vorschriftsmäßig validierte numerische Verfahren zur Ermittlung von Informationen angewendet werden, die die Lasten und die Tragwerksantwort betreffen, wenn das Tragwerk und der natürliche Wind in geeigneter Weise modelliert werden.

ANMERKUNG 1 Zur Erreichung des geforderten Zuverlässigkeitsniveaus siehe EN 1990:2023, 7.3(3).

ANMERKUNG 2 Anhang K enthält weitere Hinweise zu Windkanalversuchen und numerischen Simulationen.

(2) Die Lasten und die Tragwerksantwort betreffende Informationen und Geländeparameter dürfen auch aus geeigneten vollmaßstäblichen Daten abgeleitet werden.

6 Windgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsdruck

6.1 Berechnungsgrundlagen

(1) Die Windgeschwindigkeit und der ihr zugeordnete Geschwindigkeitsdruck sollten als aus einem konstanten und einem veränderlichen Anteil bestehend angesehen werden.

(2) Die mittlere Windgeschwindigkeit v_m sollte anhand der Basiswindgeschwindigkeit v_b bestimmt werden, die vom Windklima wie in 6.2 beschrieben und von der Höhe über Grund wie in 6.3 beschrieben abhängt.

ANMERKUNG 1 Verfahren für die Bestimmung der Geländerauigkeit sind für Tragwerke mit einer Höhe bis 200 m in 6.3.2 aufgeführt.

ANMERKUNG 2 Die Orographie wird in 6.3.3 erläutert, und Verfahren für die Berechnung der Orographie sind in B.3 aufgeführt.

ANMERKUNG 3 Der Spitzengeschwindigkeitsdruck wird nach 6.5 bestimmt.

(3) Der veränderliche Anteil des Windes sollte durch die in 6.4 festgelegte Turbulenzintensität beschrieben werden.

ANMERKUNG 1 Anhang B enthält Hinweise für schlanke Tragwerke mit einer Höhe größer als 200 m und bis höchstens 300 m.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann Hinweise zur Anwendung von Anhang B auf Tragwerke mit einer Höhe kleiner als 200 m enthalten.

ANMERKUNG 3 Der Nationale Anhang kann nationale Klimainformationen enthalten, aus denen die mittlere Windgeschwindigkeit v_m und der Spitzengeschwindigkeitsdruck q_p für die betrachteten Geländekategorien direkt entnommen werden können.

ANMERKUNG 4 Tabelle 5.1 enthält ein Bemessungsverfahren, das zur Bestimmung des Spitzengeschwindigkeitsdrucks dient.

ANMERKUNG 5 Die Berechnungsgrundlagen decken in einem Küstenlinienabstand kleiner als 1 km errichtete Offshore-Bauwerke mit ab.

ANMERKUNG 6 Der Nationale Anhang kann zusätzliche Hinweise für in einem Küstenlinienabstand größer als 1 km errichtete Tragwerke enthalten, siehe 1.1(4).

6.2 Grundwerte

(1) Die Basiswindgeschwindigkeit sollte anhand des Grundwertes der Basiswindgeschwindigkeit, $v_{b,0}$, berechnet werden, der definiert ist als die charakteristische mittlere 10-Minuten-Windgeschwindigkeit mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2 % unabhängig von der Windrichtung und der Jahreszeit, in einer Höhe von 10 m über Grund in flachem, offenem Gelände mit aufgrund niedrig wachsender Vegetation, wie z. B. Gras, langem luvseitigem Fetch und freistehenden Hindernissen mit Abständen zueinander von mindestens dem 20-Fachen der Höhe dieser Hindernisse.

ANMERKUNG Der Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit kann im Nationalen Anhang festgelegt werden.

(2) Die Basiswindgeschwindigkeit v_b sollte nach Gleichung (6.1) berechnet werden.

$$v_b = c_{\text{prob}} \cdot c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot c_{\text{alt}} \cdot v_{b,0} \quad (6.1)$$

Dabei ist

$v_{b,0}$ der Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit;

c_{alt} der Höhenfaktor;

c_{dir} der Richtungsfaktor;

c_{season} der Jahreszeitenbeiwert;

c_{prob} der Wahrscheinlichkeitsfaktor.

ANMERKUNG 1 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Wert von c_{alt} 1,0.

ANMERKUNG 2 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Wert des Richtungsfaktors c_{dir} für verschiedene Windrichtungen 1,0.

ANMERKUNG 3 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Jahreszeitenbeiwert c_{season} 1,0.

(3) Für temporäre Bauwerke und alle im Bauzustand befindlichen Bauwerke darf der Jahreszeitenbeiwert c_{season} herangezogen werden. Für ortsveränderliche Bauwerke, die zu jeder Jahreszeit genutzt werden können, sollte c_{season} als gleich 1,0 angesetzt werden.

ANMERKUNG Siehe auch EN 1991-1-6.

(4) Der Wahrscheinlichkeitsfaktor c_{prob} sollte nach Gleichung (6.2) berechnet werden:

$$c_{\text{prob}} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n = \left(\frac{1 + K \cdot \ln(T)}{1 + K \cdot \ln(50)} \right)^n \quad (6.2)$$

Dabei ist

K der vom Variationskoeffizienten der Extremwertverteilung abhängige Formfaktor;

n der Exponent;

p die jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit;

T die Wiederkehrperiode, in Jahren, sofern $T \geq 1$.

ANMERKUNG 1 Der Wahrscheinlichkeitsfaktor c_{prob} wird mit der Basiswindgeschwindigkeit v_b multipliziert, um die mittlere 10-Minuten-Windgeschwindigkeit mit der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit p zu berechnen.

ANMERKUNG 2 Der Formparameter K ist gleich dem in Anhang M festgelegten Verhältnis β/α .

ANMERKUNG 3 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, betragen die Werte für K und n 0,2 bzw. 0,5. Diese Werte entsprechen einem Variationskoeffizienten des jährlichen maximalen Geschwindigkeitsdrucks von 0,23.

ANMERKUNG 4 Zu den während der Bauausführung auftretenden Einwirkungen siehe auch EN 1991-1-6.

(5) Der Basisgeschwindigkeitsdruck q_b ist nach Gleichung (6.3) zu berechnen:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (6.3)$$

Dabei ist

ρ die Luftdichte.

ANMERKUNG Sofern im Nationalen Anhang keine anderen Werte angegeben sind, beträgt der Wert für ρ 1,25 kg/m³.

6.3 Mittlere Windgeschwindigkeit und mittlerer Geschwindigkeitsdruck

6.3.1 Höhenabhängigkeit

(1) Die mittlere Windgeschwindigkeit $v_m(z)$ in der Höhe z über Grund hängt von der Geländerauigkeit, der Orographie und der Basiswindgeschwindigkeit v_b ab und sollte nach Gleichung (6.4) bestimmt werden:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (6.4)$$

Dabei ist

$c_r(z)$ der Rauigkeitsbeiwert nach 6.3.2;

$c_o(z)$ der Orographiefaktor, der, sofern in 6.3.3 nichts anderes festgelegt ist, mit 1,0 anzusetzen ist.

ANMERKUNG 1 Falls die Orographie in die Basiswindgeschwindigkeit einbezogen wird, beträgt der Wert von c_o 1,0, sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist.

ANMERKUNG 2 Bemessungstabellen 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 6.3.4).

(3) Der mittlere Geschwindigkeitsdruck $q_m(z)$ bei der Höhe z sollte nach Gleichung (6.5) bestimmt werden:

$$q_m(z) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_r^2(z) \cdot c_o^2(z) \cdot q_b \quad (6.5)$$

Dabei ist

ρ die Luftdichte.

ANMERKUNG Der quadrierte Mittelwert der schwankenden Komponente wurde bei der Bestimmung des mittleren Geschwindigkeitsdrucks außer Acht gelassen. Siehe auch F.5.3(1), ANMERKUNG 2.

6.3.2 Geländerauigkeit

(1) Der Rauigkeitsbeiwert $c_r(z)$ sollte der Variabilität der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort des Bauwerks Rechnung tragen, die auf Folgendes zurückzuführen ist:

— die Höhe über Grund;

— die Geländerauigkeit im Luv des Bauwerks für die betrachtete Windrichtung.

ANMERKUNG Für den Fall, dass im Nationalen Anhang kein anderes Verfahren angegeben ist, ist in (2) ein Verfahren für die Bestimmung des Rauigkeitsbeiwerts $c_r(z)$, in der Höhe z angegeben, das anzuwenden ist, wenn der luvseitige Abstand bei gleichmäßiger Geländerauigkeit so groß ist, dass das Profil in ausreichendem Maße stabilisiert wird, siehe (3).

(2) Das Verfahren zur Bestimmung des Rauigkeitsbeiwerts $c_r(z)$, in der Höhe z sollte wie mit Gleichung (6.6) festgelegt angesetzt werden und basiert auf einem logarithmischen Geschwindigkeitsprofil.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{für} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (6.6)$$

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

Dabei ist

z_0 die Rauigkeitslänge;

k_r der von der Rauigkeitslänge z_0 abhängige und nach Gleichung (6.7) berechnete Geländefaktor.

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (6.7)$$

Dabei ist

$z_{0,II}$ = 0,05 m (Geländekategorie II, Tabelle 6.1);

$z_{\min}$ die in Tabelle 6.1 festgelegte Mindesthöhe;

$z_{\max}$ mit 200 m anzusetzen.

$z_0, z_{\min}$ sind von der Geländekategorie abhängig. In Tabelle 6.1 sind Werte für fünf typische Geländekategorien angegeben.

Tabelle 6.1 — Geländekategorien und Geländeparameter

Geländekategorie		z_0 [m]	$z_{\min}$ [m]
0	Meer oder Küstengebiete, die der offenen See ausgesetzt sind	0,003	1
I	Seen oder Ebenen mit vernachlässigbarer Vegetation und ohne Hindernisse	0,01	1
II	Gebiete mit niedriger Vegetation, wie z. B. Gras, und freistehenden Hindernissen (Bäume, Gebäude) mit Abständen zueinander von mindestens dem 20-Fachen der Höhe dieser Hindernisse	0,05	2
III	Gebiete mit gleichmäßiger Vegetation oder Bebauung oder mit freistehenden Hindernissen mit Abständen zueinander von höchstens dem 20-Fachen der Höhe dieser Hindernisse (z. B. Dörfer, vorstädtische Bebauung, Waldgebiete)	0,3	5
IV	Gebiete, in denen mindestens 15 % der Oberfläche mit Gebäuden mit einer durchschnittlichen Höhe größer als 15 m bebaut sind	1,0	10
ANMERKUNG Die Geländekategorien werden in Bild B.1 veranschaulicht.			

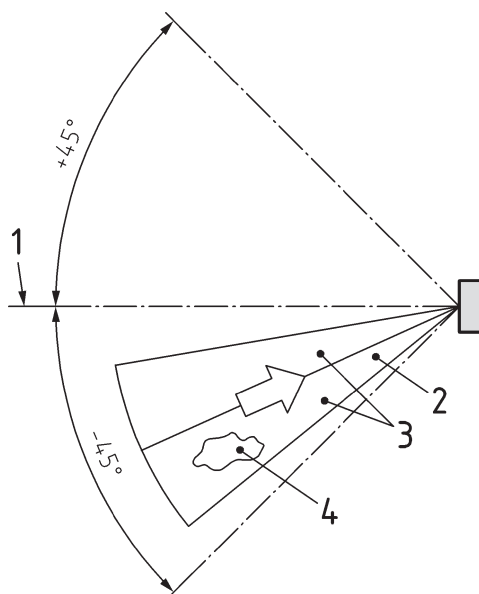
(3) Für jede gegebene Windrichtung sollte jeweils die niedrigste in einem Winkelbereich zu beiden Seiten dieser Windrichtung wie in Bild 6.1 festgelegt zu findende Geländerauigkeitskategorie verwendet werden. Kleine Bereiche (mit einem Flächeninhalt kleiner als 10 % der betrachteten Fläche) mit von der Hauptfläche abweichender Rauigkeit dürfen außer Acht gelassen werden, siehe Bild 6.1. Der luvseitige Mindestabstand, der berücksichtigt werden sollte, ist in Bild 6.2 in Abhängigkeit von der Höhe des Bauwerks über Grund dargestellt.

$$x = x_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0} \right)^{1,2} \quad (6.8)$$

Dabei ist

x_0 der luvseitige Bezugsabstand von 1 km;

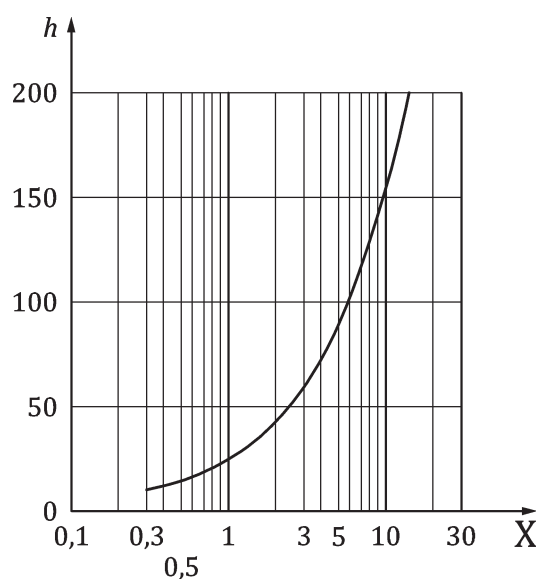
h_0 die Bezugshöhe von 23,2 m.



Legende

- 1 Nenn-Winkelbereich
- 2 luvseitiger Abstand, berechnet nach Gleichung (6.8)
- 3 betrachtete Fläche
- 4 Bereich mit abweichender Rauigkeit

Bild 6.1 — Beurteilung der Geländerauigkeit



Legende

- h Gebäudehöhe, in Meter
- X luvseitiger Mindestabstand, in Kilometer

Bild 6.2 — Luvseitiger Mindestabstand X für den Erhalt einer gleichmäßigen Geländerauigkeit für eine Gebäudehöhe h

ANMERKUNG 1 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, kann der Wert des Winkelbereichs als die 30° angesetzt werden, die die Windrichtung mit $\pm 15^\circ$ umgeben.

ANMERKUNG 2 Der Wert des luvseitigen Abstandes kann im Nationalen Anhang festgelegt werden.

(4) Falls ein Druck- oder Kraftbeiwert für einen Nenn-Winkelbereich festgelegt ist, sollte die geringste Rauigkeitslänge innerhalb jedes 30°-Windsektors verwendet werden.

(5) Falls innerhalb des zu untersuchenden Bereichs eine Wahl zwischen zwei oder mehr Geländekategorien zu treffen ist, sollte der Bereich mit der geringsten Rauigkeitslänge verwendet werden.

(6) Der in Bild 6.2 angegebene luvseitige Abstand x wird nach Gleichung (6.8) berechnet.

6.3.3 Orographie des Geländes

(1) Die Orographie hat Einfluss auf die Windströmung und kann die Windgeschwindigkeit erhöhen. Orographische Effekte dürfen vernachlässigt werden, wenn das Gelände auf der Luvseite eine durchschnittliche Steigung von weniger als 5 % hat. Das luvseitige Gelände darf bis zu einem Abstand vom 10-Fachen der Höhe des freistehenden orographischen Elements berücksichtigt werden.

(2) In Bereichen, in denen die Orographie (z. B. Anhöhen, Klippen usw.) eine durchschnittliche Steigung von mehr als 5 % aufweist, sollten die Auswirkungen mit Hilfe des Orographiefaktors c_o berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 B.3 enthält Hinweise zur Bestimmung von c_o für den Fall, dass im Nationalen Anhang kein anderes Verfahren angegeben ist.

ANMERKUNG 2 Das in B.3 angegebene Verfahren gilt für klar abgegrenzte Anhöhen und Böschungen, die von vergleichsweise ebenem Gelände umgeben sind. Für den Fall von Geländen mit komplexerer Orographie oder Geländen, in denen die Bemessung in kritischem Maße von der Beurteilung der Orographie abhängt, ist in Anhang K eine eingehendere Untersuchung beschrieben.

ANMERKUNG 3 Für komplexe Gelände, in denen sich die luvseitige Steigung nicht eindeutig bestimmen lässt, können im Nationalen Anhang zusätzliche Hinweise angegeben werden.

6.3.4 Große und bedeutend höhere benachbarte Bauwerke

(1) Falls das Bauwerk in der Nähe eines anderen Bauwerks von mindestens der zweifachen Höhe errichtet werden soll, sollten in Abhängigkeit von den Eigenschaften des höheren Bauwerks für bestimmte Windrichtungen höhere Windgeschwindigkeiten berücksichtigt werden.

ANMERKUNG B.4 enthält Hinweise zur Bestimmung des Einflusses von benachbarten höheren Bauwerken.

6.3.5 Eng beieinander stehende Gebäude oder Hindernisse

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

ANMERKUNG In rauem Gelände verändern eng beieinander stehende Gebäude die Windströmung in Bodennähe so, als wäre das Bodenniveau in eine als Versatzhöhe h_{dis} bezeichnete Höhe angehoben worden. B.5 enthält Hinweise zu den Auswirkungen von eng beieinander stehenden Gebäuden.

6.4 Windturbulenz

(1) Die Turbulenzintensität $I_u(z)$ in der Höhe z sollte als gleich der Standardabweichung der Turbulenz geteilt durch die mittlere Windgeschwindigkeit angesetzt werden.

(2) Die turbulente Komponente der Windgeschwindigkeit hat einen Mittelwert gleich 0 und eine Standardabweichung σ_u . Die Standardabweichung der Turbulenz, σ_u , darf nach Gleichung (6.9) bestimmt werden.

$$\sigma_u = k_r \cdot v_b \cdot k_l \quad (6.9)$$

ANMERKUNG 1 Zum Geländefaktor k_r siehe Gleichung (6.7), zur Basiswindgeschwindigkeit v_b siehe Gleichung (6.1), k_1 ist der Turbulenzfaktor.

ANMERKUNG 2 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Wert des Turbulenzfaktors k_1 1,0.

(3) $I_u(z)$ darf nach Gleichung (6.10) berechnet werden.

$$I_u(z) = \frac{\sigma_u}{v_m(z)} = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{für} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (6.10)$$

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

Dabei ist

k_1 der Turbulenzfaktor.

ANMERKUNG Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Wert von k_1 1,0.

(4) Bei mittleren Windgeschwindigkeiten kleiner als v_{limit} sollte die Schichtenströmung mit einer Turbulenz gleich null für wirbelerregte Schwingungen berücksichtigt werden; zu weiteren Hinweisen siehe Anhang H für.

ANMERKUNG Sofern im Nationalen Anhang nichts anderes festgelegt ist, gilt: v_{limit} ist gleich 15 m/s.

6.5 Spitzenwindgeschwindigkeit und Spitzengeschwindigkeitsdruck

(1) Der Spitzengeschwindigkeitsdruck $q_p(z)$ in der Höhe z , der die mittleren und kurzzeitigen Geschwindigkeitsänderungen enthält, sollte anhand von Gleichung (6.11) berücksichtigt werden.

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_p^2(z) \quad (6.11)$$

Dabei ist

ρ die Luftdichte;

$v_p(z)$ die in Gleichung (6.12) angegebene Spitzenwindgeschwindigkeit.

ANMERKUNG 1 Im Nationalen Anhang kann eine andere Regel angegeben werden.

$$v_p(z) = v_m(z) \cdot (1 + k_u \cdot I_u(z)) \quad (6.12)$$

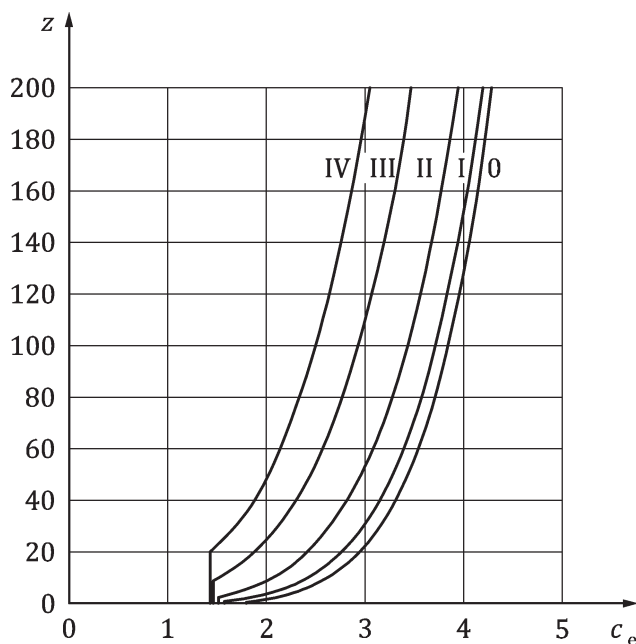
ANMERKUNG 2 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Wert des Scheitelfaktors für Turbulenz k_u 2,8. Der Scheitelfaktor für Turbulenz steht im Einklang mit den in Anhang C bis Anhang E festgelegten Werten der aerodynamischen Beiwerte.

(2) Der Beiwert für den Außendruck, $c_e(z)$, in der Höhe z sollte nach Gleichung (6.13) berechnet werden.

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = c_r^2(z) \cdot c_o^2(z) \cdot [1 + k_u \cdot I_u(z)]^2 \quad (6.13)$$

Dabei ist $q_p(z)$ in (1) und q_b in Gleichung (6.3) angegeben.

(3) Für ebenes Gelände mit $c_o(z) = 1,0$ (siehe 6.3.3) ist der Beiwert für den Außendruck, $c_e(z)$, in Bild 6.3 in Abhängigkeit von der Höhe über Grund und der Geländekategorie, wie in Tabelle 6.1 festgelegt, dargestellt.



Legende

c_e Beiwert für den Außendruck
 z Höhe über Grund, in Meter

Bild 6.3 — Beiwert für den Außendruck $c_e(z)$ für $c_o = 1,0$, $k_1 = 1,0$

7 Windeinwirkungen

7.1 Allgemeines

(1) Die Windeinwirkungen auf Tragwerke und Tragwerkselemente sind unter Berücksichtigung sowohl der Außen- als auch der Innenwinddrücke zu bestimmen.

ANMERKUNG Eine Zusammenfassung der Berechnungsverfahren mit Verweisungen auf maßgebende Abschnitte und Anhänge wird an folgenden Stellen gegeben:

- in Tabelle 5.1 für die Bestimmung von Windgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsdruck;
- in Tabelle 5.2 für die Bestimmung der Windlast.

(2) Im Falle von Tragwerken mit kreisförmigem Querschnitt hängt die Windeinwirkung von der Reynolds-Zahl Re ab, die wie in Gleichung (7.1) angegeben definiert ist:

$$Re(z) = \frac{v(z) \cdot d(z)}{\nu} \quad (7.1)$$

Dabei ist

- v die Windgeschwindigkeit, siehe Gleichung (6.12);
- d der Durchmesser;
- ν die kinematische Zähigkeit der Luft.

ANMERKUNG 1 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Wert von ν $15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

ANMERKUNG 2 Die Strömung um kreisförmige Querschnitte und die damit verbundene Windeinwirkung hängen vom jeweiligen Strömungsregime hinsichtlich der Reynolds-Zahl ab, das entweder unterkritisch, überkritisch oder transkritisch sein kann.

(3) Für die Berechnung der Reynolds-Zahl darf als Windgeschwindigkeit entweder die mittlere Windgeschwindigkeit oder die Spitzenwindgeschwindigkeit herangezogen werden.

ANMERKUNG Für weitere Erläuterungen zu spezifischen Tragwerken siehe Anhang C und Anhang E.

7.2 Auswahl der aerodynamischen Beiwerte

(1) Bei Gebäuden sollten die in 7.3 festgelegten Druckbeiwerte nach folgenden Abschnitten bestimmt werden:

- C.2, C.3 und C.4 für Außendrucke;
- C.5 für Innendrucke.

(2) Bei den folgenden Bauteilen sollten die in 7.4 festgelegten Nettodruckbeiwerte bestimmt werden:

- Kragdächer, Vorbauten und Balkone nach D.1;
- freistehende Wände, Brüstungen, Zäune und Hinweistafeln nach D.2.

(3) Bei den folgenden Bauteilen sollten die in 7.5 festgelegten Kraftbeiwerte bestimmt werden:

- langgestreckte Tragwerke und Tragwerkselemente nach E.1;
- Kugeln nach E.2;
- Fachwerk- oder Gittertragwerke nach E.3;
- Flaggen nach E.4;
- Brücken nach E.6.

(4) Die in 7.5 festgelegten Reibungsbeiwerte sollten für Wände und Oberflächen wie in E.6 festgelegt bestimmt werden.

(5) Es darf ein von der effektiven Schlankheit des Bauwerks abhängiger Abminderungsfaktor nach E.1.7 angewendet werden.

ANMERKUNG Kraftbeiwerte beschreiben die Gesamtwirkung oder die längenbezogene Wirkung des Windes auf ein Bau- bzw. Tragwerk, ein Tragwerkselement oder ein Bauteil, einschließlich der Reibung, sofern nicht ausdrücklich ausgeschlossen.

7.3 Winddruck auf Oberflächen

(1) Der auf die Außenflächen einwirkende Winddruck w_e sollte nach Gleichung (7.2) berechnet werden.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (7.2)$$

Dabei ist

- $q_p(z_e)$ der in 6.5 festgelegte Spitzengeschwindigkeitsdruck;
- z_e die Bezugshöhe für den Außendruck nach Anhang C;
- c_{pe} der Druckbeiwert für den Außendruck nach Anhang C.

(2) Der auf die Innenflächen eines Bauwerks wirkende Winddruck w_i sollte nach Gleichung (7.3) berechnet werden.

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (7.3)$$

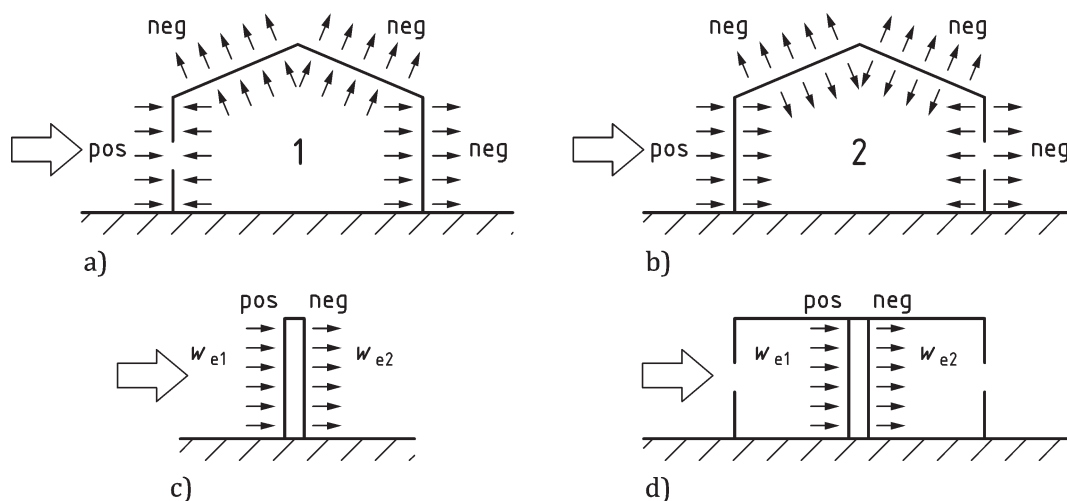
Dabei ist

$q_p(z_i)$ der in 6.5 festgelegte Spitzengeschwindigkeitsdruck;

z_i die Bezugshöhe für den Innendruck nach Anhang C;

c_{pi} der Druckbeiwert für den Innendruck nach Anhang C.

(3) Der auf die betreffende Oberfläche gerichtete Druck sollte als positiv und der von der Oberfläche weg gerichtete Druck (Sog) als negativ angesehen werden (Bild 7.1).



Legende

- 1 positiver Innendruck
- 2 negativer Innendruck

Bild 7.1 — Druck auf Oberflächen

7.4 Nettodruck auf Oberflächen

(1) Der Nettodruck w_{net} ist die Differenz zwischen den Drücken an einander gegenüberliegenden Oberflächen eines Objekts unter Berücksichtigung ihrer Vorzeichen.

(2) Nettodruckbeiwerte sollten Anhang D entnommen werden.

7.5 Windkräfte

(1) Die auf das gesamte Tragwerk oder ein tragendes Bauteil wirkenden Windkräfte sollten wie folgt bestimmt werden:

- durch Berechnung der Kräfte anhand von Kraftbeiwerten, siehe (2); oder
- durch Berechnung der Kräfte anhand von Oberflächendrücken, siehe (3).

(2) Die entweder gesamte oder längenbezogene auf ein Tragwerk oder ein tragendes Bauteil wirkende Windkraft $F_{w,p}$ darf entweder direkt, mit Hilfe von Gleichung (7.4)

$$F_{w,p} = c_{sd} \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.4)$$

oder durch Berechnung der Vektorsumme über das betreffende tragende Bauteil nach Gleichung (7.5) bestimmt werden.

$$F_{w,p} = c_{sd} \cdot \sum_{\text{elements}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.5)$$

Dabei ist

- c_{sd} der Strukturbeiwert nach Abschnitt 8;
- c_f der Kraftbeiwert für das Tragwerk oder das tragende Bauteil nach Anhang E;
- $q_p(z_e)$ der in 6.5 festgelegte Spitzengeschwindigkeitsdruck in der Bezugshöhe z_e des Tragwerks oder Stabs nach Anhang E;
- A_{ref} die gesamte oder die längenbezogene Bezugsfläche des Tragwerks oder tragenden Bauteils nach Anhang E.

ANMERKUNG Anhang E enthält c_f -Werte für Bauwerke oder tragende Bauteile, wie z. B. Prismen, Zylinder, Dächer, Hinweistafeln, Platten, Fachwerk- oder Gittertragwerke usw.

(3) Die auf ein Tragwerk oder ein tragendes Bauteil wirkende Windkraft $F_{w,p}$ darf durch Berechnung der Vektorsummen der Kräfte $F_{w,p,e}$, $F_{w,p,i}$ und $F_{p,fr}$ bestimmt werden, die anhand der nach Gleichung (7.6) und Gleichung (7.7) berechneten Außen- und Innendrucke und der nach Gleichung (7.8) berechneten Reibungskräfte infolge Windeinwirkung parallel zu den Außenflächen ermittelt wurden.

Äußere Kräfte:

$$F_{w,p,e} = c_{sd} \cdot \sum_{\text{surfaces}} w_e \cdot A_{ref} \quad (7.6)$$

Innere Kräfte:

$$F_{w,p,i} = \sum_{\text{surfaces}} w_i \cdot A_{ref} \quad (7.7)$$

Reibungskräfte:

$$F_{p,fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} \quad (7.8)$$

Dabei ist

- c_{sd} der Strukturbeiwert nach Abschnitt 8;
- w_e der auf eine bestimmte Oberfläche in der Höhe z_e wirkende Außendruck nach Gleichung (7.2);
- w_i der auf eine bestimmte Oberfläche in der Höhe z_i wirkende Innendruck nach Gleichung (7.3);
- A_{ref} der Bezugsflächeninhalt der betreffenden Oberfläche;
- c_{fr} der aus Anhang E abgeleitete Reibungsbeiwert;
- A_{fr} der Flächeninhalt der parallel zum Wind stehenden Außenfläche nach Anhang E.

ANMERKUNG 1 Bei Bauteilen (z. B. Wänden oder Dächern) wird die Windkraft zur Differenz zwischen den resultierenden äußeren und inneren Kräften.

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

ANMERKUNG 3 Die aus dieser Summenbildung resultierende Kraft ist nicht notwendigerweise gleichgerichtet mit dem Wind; das gilt besonders bei asymmetrischen Tragwerken.

ANMERKUNG 4 Die Summenbildung kann bei der Berechnung der über das Gebäude wirkenden Gesamtkräfte unterbleiben, es sei denn der Baugrund ist geneigt oder die Berechnung bezieht sich nur auf einen Gebäudeteil.

(4) Die Wirkungen der Windreibung auf die betreffende Oberfläche dürfen vernachlässigt werden, wenn die Gesamtfläche aller windparallelen (oder nur mit geringer Winkelabweichung windparallelen) Oberflächen kleiner oder gleich dem 4-Fachen aller (luv- und leeseitig) senkrecht zum Wind ausgerichteten Außenflächen ist.

(5) Die mittlere auf ein Tragwerk wirkende Windkraft $F_{w,m}$ darf entweder direkt, mit Hilfe von Gleichung (7.9)

$$F_{w,m} = c_f \cdot q_m(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.9)$$

oder durch Berechnung der Vektorsumme über die einzelnen tragenden Bauteile nach Gleichung (7.10) bestimmt werden.

$$F_{w,m} = \sum_{\text{elements}} c_f \cdot q_m(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.10)$$

Dabei ist

- c_f der Kraftbeiwert für das Tragwerk oder das tragende Bauteil nach Anhang E;
- $q_m(z_e)$ der in 6.3 festgelegte mittlere Geschwindigkeitsdruck in der Bezugshöhe z_e des Tragwerks oder Stabs nach Anhang E;
- A_{ref} die gesamte oder die längenbezogene Bezugsfläche des Tragwerks oder tragenden Bauteils nach Anhang E.

ANMERKUNG Mittlere Windkräfte kommen in Anhang E, Anhang F und Anhang J zur Anwendung.

(6) Die mittlere auf ein Tragwerk oder ein tragendes Bauteil wirkende Windkraft $F_{w,m}$ darf durch Berechnung der Vektorsumme der anhand der Außen- und Innendrucke nach Gleichung (7.11) und Gleichung (7.12) berechneten Kräfte $F_{w,m,e}$ und $F_{w,m,i}$ bestimmt werden.

Äußere Kräfte:

$$F_{w,m,e} = \sum_{\text{surfaces}} c_{pe} \cdot q_m(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.11)$$

Innere Kräfte:

$$F_{w,m,i} = \sum_{\text{surfaces}} c_{pi} \cdot q_m(z_e) \cdot A_{ref} \quad (7.12)$$

(7) Bei der Addition der auf einen Baukörper wirkenden Windkräfte darf die fehlende Korrelation des Winddrucks auf der Luvseite mit dem auf der Leeseite berücksichtigt werden.

8 Strukturbeiwert c_{sd}

8.1 Allgemeines

(1) Der Strukturbeiwert c_{sd} trägt der Beeinflussung der Windeinwirkungen durch das ungleichzeitige Auftreten von Spitzenwinddrücken an der Oberfläche in Verbindung mit der Wirkung von durch Turbulenz in Windrichtung verursachten in gleicher Richtung auftretenden Schwingungen des Tragwerks Rechnung.

ANMERKUNG 1 Tabelle 5.3 enthält Hinweise für die Bestimmung des Strukturbeiwerts c_{sd} .

ANMERKUNG 2 c_{sd} kann nach den in Anhang F angegebenen detaillierten Verfahren abgeleitet werden.

8.2 Näherungsweise Bestimmung von c_{sd}

(1) c_{sd} darf als gleich 1 angesetzt werden, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt ist:

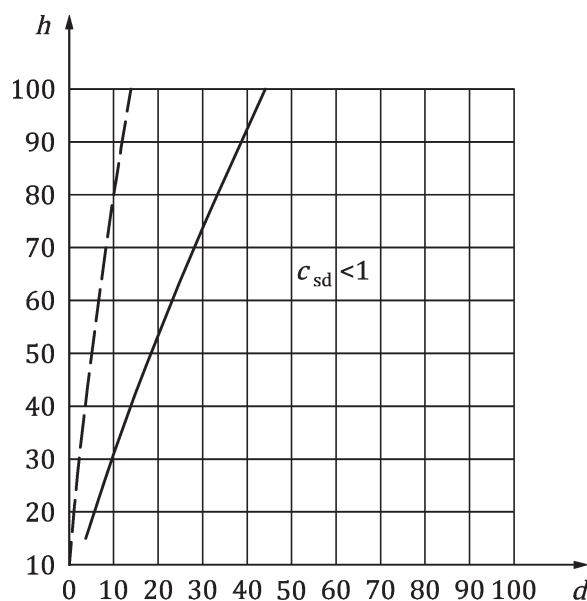
- a) Gebäude mit einer Höhe kleiner als 15 m;
- b) Tragwerke, deren erste Eigenfrequenz größer als 5 Hz ist;
- c) Gebäude mit einer Höhe bis 100 m, jedoch kleiner als das 4-Fache der Breite in Windrichtung, und regelmäßigen Wandscheiben oder querverstrebten Wänden über die gesamte Höhe;
- d) Brückenüberbauten innerhalb des Anwendungsbereichs von E.6.1, bei denen eine Berechnung der dynamischen Antwort nicht notwendig ist, siehe 5.5(8).

ANMERKUNG 1 Bild 8.1 und Bild 8.2 zeigen für mehrstöckige Gebäude bzw. Schornsteine geometrische Bedingungen für konservative Strukturbeiwerte c_{sd} , die, wenn die Basiswindgeschwindigkeit kleiner als 28 m/s ist, kleiner oder gleich 1 sind.

ANMERKUNG 2 Die dynamische Antwort elastischer Fassaden- und Dachelemente wird von CEN/TS 19100-2 abgedeckt.

ANMERKUNG 3 Das Verfahren zur Berechnung von c_{sd} deckt elastische Fassaden- und Dachelemente mit einer Eigenfrequenz im Bereich von 3 Hz bis 5 Hz ab. Es wird davon ausgegangen, dass es bei Eigenfrequenzen über 5 Hz nicht zu dynamischen Wirkungen kommt und dass c_{sd} als gleich 1,0 angesetzt werden kann.

Die Maße h und d sind in m angegeben



Legende

- — — — — mehrstöckige Gebäude in Stahlbauweise
- — — — — mehrstöckige Gebäude in Massivbauweise

ANMERKUNG 4 Bild 8.1 basiert auf Folgendem:

Gebäude mit rechteckigem Grundriss und vertikalen Außenwänden mit regelmäßiger Massen- und Steifigkeitsverteilung

Rauigkeitslänge $z_0 = 0,05 \text{ m}$

Basiswindgeschwindigkeit $v_b = 28 \text{ m/s}$

logarithmisches Dekrement der aerodynamischen Dämpfung $\delta_a = 0$

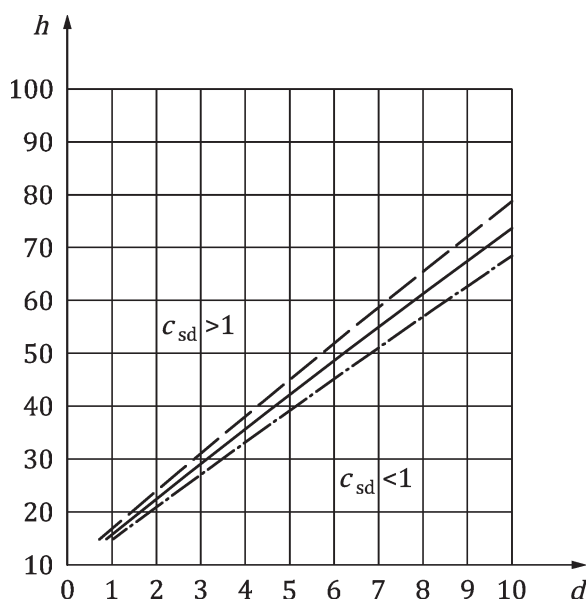
logarithmisches Dekrement der Strukturdämpfung von Stahl $\delta_s = 0,05$

logarithmisches Dekrement der Strukturdämpfung von Beton $\delta_s = 0,10$

Die Eigenfrequenzen werden mit Hilfe der in Anhang I angegebenen Gleichungen geschätzt.

Bild 8.1 — $c_{sd} = 1,0$ für mehrstöckige in Stahl- oder Massivbauweise errichtete Gebäude als Funktion der Breite in der Richtung quer zum Wind

Die Maße h und d sind in m angegeben.



Legende

- einschalige Stahlschornsteine
- - - einschalige Betonschornsteine
- · - Stahlschornsteine mit Innenrohr

ANMERKUNG 5 Bild 8.2 basiert auf Folgendem:

Rauigkeitslänge	$z_0 = 0,05 \text{ m}$
Basiswindgeschwindigkeit	$v_b = 28 \text{ m/s}$
logarithmisches Dekrement der aerodynamischen Dämpfung	$\delta_a = 0$

ANMERKUNG 6 Spezifika basierend auf Anhang I:

einschalige Betonschornsteine:

$$\varepsilon_1 = 700, W_s/W_t = 1,0 \text{ und } \delta_s = 0,03$$

einschalige Stahlschornsteine:

$$\varepsilon_1 = 1\,000, W_s/W_t = 1,0 \text{ und } \delta_s = 0,012$$

Stahlschornsteine mit Innenrohr:

$$\varepsilon_1 = 1\,000 \text{ und } W_s/W_t = 0,5$$

$$h/b < 18 \quad \delta_s = 0,02$$

$$20 \leq h/b \leq 24 \quad \delta_s = 0,04$$

$$h/b > 26 \quad \delta_s = 0,025$$

Die Eigenfrequenzen werden mit Hilfe der in Anhang I angegebenen Gleichungen geschätzt.

Bild 8.2 — $c_{sd} = 1,0$ für Schornsteine

8.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweise

(1) Für Gebrauchstauglichkeitsnachweise sollten die Auslenkung und die Beschleunigungen des Tragwerks in der Höhe z herangezogen werden.

(2) Zur Bestimmung der Auslenkung in Windrichtung sollte die äquivalente statische Windkraft nach 7.5 herangezogen werden.

ANMERKUNG Verfahren zur Bestimmung der Auslenkungen und Beschleunigungen sind in Anhang F, Anhang G und Anhang H angegeben.

9 Seitenwind- und Torsionseinwirkungen auf Gebäude

(1) Bei Gebäuden sollten die Wirkungen von Seitenwind- und Torsionseinwirkungen beurteilt werden.

ANMERKUNG 1 Für den Fall, dass $h/\sqrt{b \cdot d} < 3$, wird diesen Wirkungen mit Hilfe der in 5.4 angegebenen Belastungsmodelle Rechnung getragen, siehe auch 7.5(3).

ANMERKUNG 2 Anhang G enthält Verfahren, die auf Gebäude mit rechteckigem Grundriss mit $3 \leq h/\sqrt{b \cdot d} < 6$ anwendbar sind, wobei b , d und h die Breite, Tiefe und Höhe des Gebäudes sind.

ANMERKUNG 3 Anhang G kann auch auf Gebäude mit $h/\sqrt{b \cdot d}$ im Bereich von 6 bis 8 angewendet werden, die so erhaltenen Ergebnisse sind dann aber nicht notwendigerweise konservativ. Auf Gebäude mit $h/\sqrt{b \cdot d}$ in diesem Bereich kann der in H.4 und H.5 für schlanke Tragwerke dargelegte Ansatz ebenfalls angewendet werden, sofern das Gebäude einen niedrigen Wert der verallgemeinerten Scruton-Zahl aufweist.

ANMERKUNG 4 Ein Ansatz für Gebäude mit $h/\sqrt{b \cdot d}$ größer als 8 ist in H.4 und H.5 angegeben.

ANMERKUNG 5 Grenzwerte der verallgemeinerten Scruton-Zahl für die Anwendung von H.4 und H.5 können in den Nationalen Anhängen angegeben werden.

10 Aeroelastische Phänomene

10.1 Allgemeines

(1) Die Wirkungen aeroelastischer Phänomene sollten beurteilt werden.

ANMERKUNG Anhang H enthält Hinweise für elastische, schlanke Tragwerke (wie z.B. Schornsteine, Brückenüberbauten usw.). Anhang H enthält Verfahren, die wenn $h/\sqrt{b \cdot d} \geq 6$ auch auf Gebäude anwendbar sind, siehe 9.

10.2 Berechnungsgrundlagen

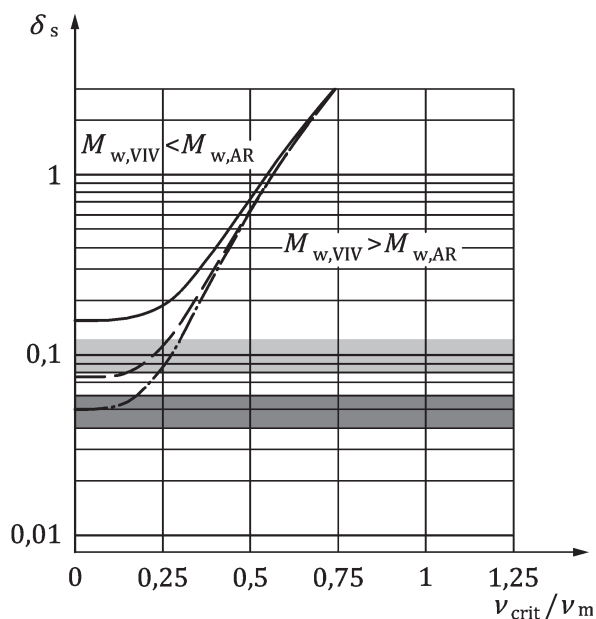
(1) Die in diesem Abschnitt angegebenen Verfahren sollten auf einzelne schlanke Tragwerke mit gleichmäßig scharfkantigen oder kreisförmigen Querschnitten und annähernd gleichmäßiger Massenverteilung über die Länge angewendet werden.

ANMERKUNG Anhang H enthält Hinweise für Berechnungsverfahren, die auf andere Tragwerkstypen anwendbar sind.

(2) Die dynamischen Eigenschaften des Tragwerks, einschließlich der Eigenfrequenzen und der äquivalenten längenbezogenen Masse, sollten bestimmt werden.

ANMERKUNG 1 Anhang I enthält Hinweise zur Bestimmung von dynamischen Eigenschaften des Tragwerks.

ANMERKUNG 2 In Bild 10.1 und Bild 10.2 ist dargestellt, wann die wirbelerregten Windeinwirkungen auf H.3 basieren, d. h. wann das durch wirbelerregte Schwingungen verursachte Scheitel-Basismoment $M_{w,VIV}$ größer ist als das von der dynamischen Antwort in Windrichtung verursachte Scheitel-Basismoment $M_{w,AR}$. Diese Bilder decken Gebäude mit quadratischem Grundriss und Schornsteine ab. Für ausgewählte Verhältnisse der in Anhang I festgelegten äquivalenten Masse m_e zur Masse der Luft, $\rho \cdot b \cdot d$, ist der Grenzwert in Abhängigkeit vom Verhältnis der kritischen Windgeschwindigkeit für wirbelerregte Schwingungen zur mittleren Windgeschwindigkeit, v_{crit}/v_m , sowie vom logarithmischen Dekrement der Strukturdämpfung, δ_s , dargestellt.



Legende

- $m_e/(\rho \cdot b \cdot d) = 250$
- - $m_e/(\rho \cdot b \cdot d) = 500$
- . - $m_e/(\rho \cdot b \cdot d) = 750$
- Stahl
- Stahlbeton

ANMERKUNG 1 Bild 10.1 basiert auf Folgendem:

Geometrie und Modenform:

Höhe	$h > 50 \text{ m}$
Verhältnis der Höhe zur Breite	$h/b = 10$
Verhältnis der Breite zur Tiefe	$d/b = 1$
Modenform	Linear

Tragwerksantwort in Windrichtung:

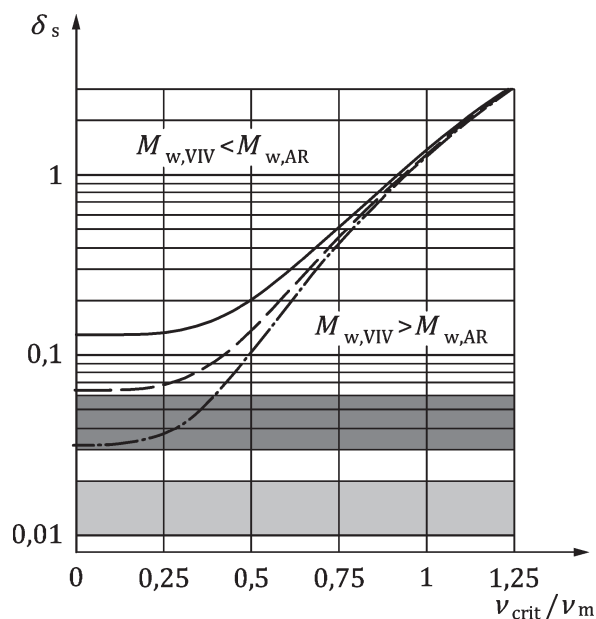
Rauigkeitslänge	$z_0 = 0,05 \text{ m}$
Kraftbeiwert	$c_f = 1,54$
Strukturbeiwert	$c_{sd} = 1,0$

Wirbelerregte Schwingungen:

Scheitelfaktor	$k_R = 4,0$
Aerodynamische Konstante	$C_c = 0,03$
Aerodynamischer Dämpfungsparameter	$K_a = 6,0$
Term aerodynamische Dämpfung/Durchbiegung	$\frac{\sigma_y}{b \cdot a_L} = 0$

Der Bereich der typischen Dämpfungswerte für Gebäude in Stahl- oder Stahlbetonbauweise ist grau schattiert dargestellt.

Bild 10.1 — Basismoment für Gebäude mit quadratischem Grundriss — Keine wirbelerregten Schwingungen, wenn $v_{crit}/v_m > 1,25$



Legende

- $m_e/(\rho \cdot b \cdot d) = 50$
- - $m_e/(\rho \cdot b \cdot d) = 100$
- . - $m_e/(\rho \cdot b \cdot d) = 200$
- Stahl
- Stahlbeton

ANMERKUNG 2 Bild 10.2 basiert auf Folgendem:

Geometrie und Modenform:

Höhe	$h > 50$ m
Verhältnis der Höhe zur Breite	$h/b = 10$
Verhältnis der Breite zur Tiefe	$d/b = 1$
Modenform	Parabolisch

Tragwerksantwort in Windrichtung:

Rauigkeitslänge	$z_0 = 0,05$ m
Kraftbeiwert	$c_f = 0,48$
Strukturbeiwert	$c_{sd} = 1,1$

Wirbelerregte Schwingungen:

Scheitelfaktor	$k_R = 4,0$
Aerodynamische Konstante	$C_c = 0,005$
Aerodynamischer Dämpfungsparameter	$K_a = 1,0$
Term aerodynamische Dämpfung/Durchbiegung	$\frac{\sigma_y}{b \cdot a_L} = 0$

Der Bereich der typischen Dämpfungswerte für Schornsteine in Stahl- oder Stahlbetonbauweise ist grau schattiert dargestellt.

Bild 10.2 — Basismoment bei Schornsteinen — Keine wirbelerregten Schwingungen, wenn $v_{crit}/v_m > 1,25$

10.3 Galloping

(1) Galloping darf bei einzelnen, freistehenden Kreiszyindern mit konstantem Querschnitt vernachlässigt werden, sofern keine asymmetrische Eisablagerung auftritt und wenn für den betreffenden Kreiszyinder keine kritischen Reynolds-Zahlen erhalten werden, bei denen die Strömungsübergänge vom unterkritischen zum überkritischen Strömungsregime zu so genanntem trockenem Galloping führen können.

ANMERKUNG 1 Galloping ist eine selbsterregte Schwingung eines elastischen Tragwerks in einer Biegeschwingungsmode in der Richtung quer zum Wind. Nicht kreisförmige Querschnitte, einschließlich L-, I-, U- und T-förmiger Querschnitte, sind anfällig für Galloping.

ANMERKUNG 2 Eis kann bewirken, dass ein ansonsten stabiler Querschnitt instabil wird.

ANMERKUNG 3 Bei Rundbauten, die durch wechselnde Oberflächenrauigkeit und Asymmetrie sowie geneigte Strömung gekennzeichnet sind, können kleine Rinnsale, sofern Wasser vorhanden ist, oder andere Merkmale das Risiko von Galloping erhöhen; das gilt besonders im Bereich des Übergangs zu kritischen Reynolds-Zahlen, wobei zu beachten ist, dass dieser von der Oberflächenrauigkeit und anderen Faktoren, einschließlich kleinmaßstäblicher Anströmturbulenz, abhängig ist.

ANMERKUNG 4 Die Galloping-Schwingung beginnt bei einer bestimmten Einsetzgeschwindigkeit v_{CG} , und in der Regel wachsen die Amplituden danach mit zunehmender Windgeschwindigkeit schnell an.

ANMERKUNG 5 Anhang H enthält Kriterien und Verfahren für die Schätzung der kritischen Divergenzgeschwindigkeit und Verfahren, die im Falle von Galloping gekoppelter Zylinder und im Falle von Interferenz-Galloping angewendet werden können.

10.4 Divergenz und Flattern

(1) Divergenz und Flattern müssen vermieden werden, weil sie mit einiger Wahrscheinlichkeit zum Einsturz des Tragwerks führen.

ANMERKUNG 1 Statische Torsionsdivergenz- und Flatterschwingungen sind Instabilitäten, die bei elastischen plattenähnlichen Tragwerken, wie z. B. Hinweistafeln, freitragenden Dächern oder Hängebrückenüberbauten, bei Überschreitung eines bestimmten Schwellenwertes oder einer kritischen Windgeschwindigkeit auftreten. Diese Instabilitäten entstehen, wenn die Durchbiegung des Tragwerks veränderliche aerodynamische Belastungen bewirkt.

ANMERKUNG 2 Anhang H enthält Kriterien und Verfahren für die Schätzung der kritischen Divergenzgeschwindigkeit.

10.5 Nachlauf-Buffeting

(1) Bei schlanken Gebäuden ($h/\min(b, d) > 4$), Schornsteinen ($h/\min(b, d) > 6,5$) und Kühltürmen in Reihen- oder in Gruppenanordnung sollte die Wirkung der im Nachlauf benachbarter Bauwerke gegebenenfalls erhöhten Turbulenz (Nachlauf-Buffeting) berücksichtigt werden.

(2) Die Wirkung des Nachlauf-Buffetings darf vernachlässigt werden, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Der Abstand zwischen zwei der in (1) genannten Bauwerke ist größer als das 25-Fache des quer zur Windrichtung stehenden Maßes des luvseitig gelegenen Gebäudes oder Schornsteins.
- Die Eigenfrequenz des leeseitig gelegenen Gebäudes oder Schornsteins ist höher als 1 Hz.

(3) In Fällen außerhalb der Gültigkeit von (1) oder (2) sollten Windkanalversuche durchgeführt oder fachlicher Rat eingeholt werden.

Anhang A (informativ)

Diese Seite wurde absichtlich leer gelassen.

A.1 Anmerkung der Redaktion

Anhang A wurde verschoben. Aufgrund von zeitlichen Beschränkungen, des Umfangs des Dokuments und der vielen Elemente (Gleichungen, Bilder, Tabellen, Querverweise) in den Anhängen, die von Hand neu benummert werden müssen, werden die entsprechenden redaktionellen Arbeiten soweit erforderlich erst nach Abschluss der CEN-Umfrage durchgeführt.

Anhang B (informativ)

Einfluss von Geländerauigkeit und Topographie

B.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser informative Anhang enthält zusätzliche Hinweise in Ergänzung zu 6 für die Behandlung des Einflusses von Geländerauigkeit und Topographie (d. h. der geländebedingten Wirkungen).

ANMERKUNG Nationale Festlegungen bezüglich der Anwendung dieses informativen Anhangs sind im Nationalen Anhang angegeben. Falls der Nationale Anhang keine Informationen zur Anwendung dieses informativen Anhangs enthält, kann dieser angewendet werden.

B.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen

(1) Dieser informative Anhang enthält bildliche Darstellungen der Geländekategorien.

(2) Er enthält ein alternatives Gleichgewichtswindmodell, das auf schlanke Tragwerke mit einer Höhe von bis zu 300 m über Grund anwendbar ist.

(3) Er stellt Regeln für die Berechnung der orographischen Effekte und der Rauigkeitsänderungen sowie des Einflusses benachbarter Bauwerke zur Verfügung.

(4) Er stellt ein Verfahren für die Berechnung der Versatzhöhe h_{dis} zur Verfügung.

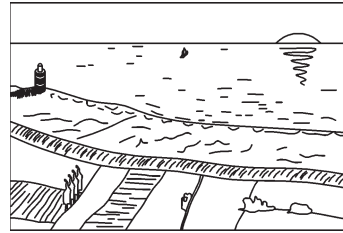
B.3 Darstellung der größten Rauigkeiten der verschiedenen Geländekategorien

(1) Das Gelände sollte kategorisiert werden, um die Windeinwirkungen auf ein Tragwerk abzuleiten.

ANMERKUNG Ergänzend zu den in Tabelle 6.1 angegebenen Beschreibungen sind die Geländekategorien in Bild B.1 anschaulich dargestellt. Der Nationale Anhang kann alternative Bilder oder Zeichnungen enthalten, um die regionalen Unterschiede zu veranschaulichen.

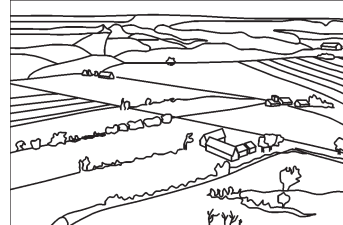
Geländekategorie 0

Meer, Küstengebiete, die der offenen See ausgesetzt sind



Geländekategorie I

Seen oder Gebiete mit vernachlässigbarer Vegetation und ohne Hindernisse



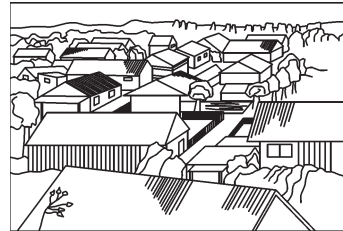
Geländekategorie II

Gebiete mit niedriger Vegetation, wie z. B. Gras, und freistehenden Hindernissen (Bäume, Gebäude) mit Abständen zueinander von mindestens dem 20-Fachen der Höhe dieser Hindernisse



Geländekategorie III

Gebiete mit gleichmäßiger Vegetation oder Bebauung oder mit freistehenden Hindernissen mit Abständen zueinander von höchstens dem 20-Fachen der Höhe dieser Hindernisse (z. B. Dörfer, vorstädtische Bebauung, Waldgebiete)



Geländekategorie IV

Gebiete, in denen mindestens 15 % der Oberfläche mit Gebäuden mit einer durchschnittlichen Höhe größer als 15 m bebaut sind



Bild B.1 — Geländekategorien

B.4 Übergänge zwischen den Geländekategorien 0, I, II, III und IV

B.4.1 Allgemeines

(1) Der Übergang zwischen Geländekategorien unterschiedlicher Rauigkeitslängen muss bei der Berechnung des Spitzengeschwindigkeitsdrucks q_p und des Strukturbeiwertes c_{sd} berücksichtigt werden.

(2) Um dem Übergang zwischen Geländekategorien mit in Windrichtung zunehmender Rauigkeitslänge Rechnung zu tragen, muss eines der beiden nachstehenden Verfahren (Verfahren 1 oder Verfahren 2) angewendet werden.

ANMERKUNG Nach welchen Kriterien die Wahl zwischen Verfahren 1 und Verfahren 2 zu treffen ist, kann im Nationalen Anhang angegeben sein.

B.4.2 Verfahren 1

(1) Bei Anwendung von Verfahren 1 sollte die Geländekategorie mit der geringeren luvseitigen Rauigkeitslänge herangezogen werden, wenn sich das Bauwerk mit einem der folgenden Abstände in der Nähe einer Änderung der Geländekategorie befindet:

- kleiner als 2 km von der ebeneren Geländekategorie 0;
- kleiner als 1 km von den ebeneren Geländekategorien I bis III.

(2) Kleine Bereiche (von weniger als 10 % der betrachteten Fläche) mit (von dieser) abweichender Rauigkeit dürfen außer Acht gelassen werden.

B.4.3 Verfahren 2

(1) Bei Anwendung von Verfahren 2 sollten die folgenden Schritte befolgt werden:

- a) Ermittlung der Geländekategorien in luvseitiger Richtung in den zu betrachtenden Winkelbereichen um die Anströmrichtung.
- b) Bestimmung des Abstandes x zwischen dem Gebäude und der luvseitigen Geländekategoriegrenze (Rauigkeitswechsel) für jeden Winkelbereich.
- c) Ist der Abstand x des Gebäudes zur Grenze der Geländekategorie mit der geringeren Rauigkeitslänge (zum Rauigkeitswechsel) kleiner als die in Tabelle B.1 angegebenen Werte, so wird für den betrachteten Winkelbereich die ebenere Geländekategorie (der kleinere Rauigkeitswert) angesetzt. Ist der Abstand x größer als der in Tabelle B.1 angegebene Wert, so wird die rauere Geländekategorie (der größere Rauigkeitswert) angesetzt.

(2) Kleine Bereiche (von weniger als 10 % der betrachteten Fläche) mit (von dieser) abweichender Rauigkeitslänge dürfen außer Acht gelassen werden.

(3) Falls in Tabelle B.1 kein Abstand x angegeben ist oder die Höhe 50 m überschreitet, sollte die ebenere Geländekategorie angesetzt werden.

(4) Zwischenwerte der Höhe z dürfen linear interpoliert werden.

(5) Gebäude in einer bestimmten Geländekategorie dürfen mit einer ebeneren Geländekategorie berechnet werden, wenn ihr Abstand zur betreffenden Geländekategoriegrenze die in Tabelle B.1 festgelegten Grenzwerte nicht überschreitet.

ANMERKUNG 1 Verfahren 1 und Verfahren 2 befassen sich nur mit den Übergängen zwischen Geländekategorien von in Windrichtung zunehmender Rauigkeitslänge und führen zur Auswahl von konservativen Gleichgewichtswind- und -turbulenzprofilen. Im Nationalen Anhang können alternative Verfahren angegeben werden, um andere Abfolgen von Geländekategorieübergängen berücksichtigen und andere als nur Gleichgewichtsprofile erhalten zu können.

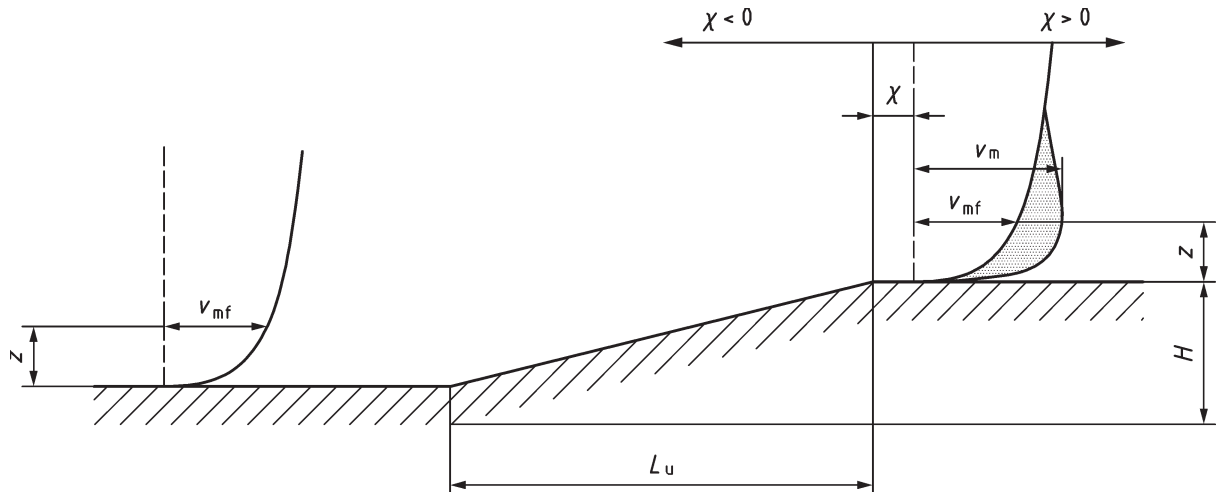
ANMERKUNG 2 Bei dem im ESDU Wind Engineering Data Item 84011 angegebenen Verfahren handelt es sich um ein allgemeines Verfahren, das angewendet werden kann, um beliebigen Abfolgen der Änderung der luvseitigen Rauigkeitslänge Rechnung zu tragen und die entsprechenden Nicht-Gleichgewichtswind- und -turbulenzprofile zu erhalten.

Tabelle B.1 — Abstand x

Höhe über Grund, z	I bis II	I bis 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 über Grund, z	II bis III	II bis 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 über Grund, z	III bis 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	

B.5 Orographiebeiwerte

(1) In der Nähe von einzeln stehenden Anhöhen, Höhenzügen oder Klippen und Böschungen steigen die mittleren Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der luvseitigen Steigung $\Phi = H/L_u$ des Geländes an, wobei die Höhe H des Anstiegs und Anstiegslänge L_u wie in Bild B.2 festgelegt angesetzt werden sollten.



Legende

- v_m mittlere Windgeschwindigkeit in der Höhe z über Grund
- v_{mf} mittlere Windgeschwindigkeit über flachem Gelände
- $c_o = v_m/v_{mf}$

Bild B.2 — Darstellung der Zunahme der Windgeschwindigkeit über der Orographie

(2) Die Wirkung der Orographie auf die Standardabweichung der Turbulenz (die wie in 6.4(1) festgelegt angesetzt werden sollte) darf vernachlässigt werden, weil sie nur auf die mittlere Windgeschwindigkeit $v_m(z)$ Einfluss hat.

ANMERKUNG 1 Die Turbulenzintensität nimmt mit zunehmender mittlerer Windgeschwindigkeit und gleichbleibender Standardabweichung der Turbulenz ab.

ANMERKUNG 2 Der größte Anstieg der Windgeschwindigkeiten tritt in der Nähe des Kamms des topographischen Elements auf (d. h. bei $x \approx 0$) auf.

(3) Die Wirkungen der Orographie sollten in folgenden Situationen berücksichtigt werden:

bei Standorten auf den luvseitigen Hängen von Anhöhen oder Höhenzügen:

- bei denen $0,05 < \Phi \leq 0,3$ und $|x| \leq L_u/2$

a) bei Standorten auf den leeseitigen Hängen von Anhöhen oder Höhenzügen:

- bei denen $\Phi < 0,3$ und $x < L_d/2$
- bei denen $\Phi \geq 0,3$ und $x < 1,6H$

b) bei Standorten auf den luvseitigen Hängen von Klippen oder Böschungen:

- bei denen $0,05 < \Phi \leq 0,3$ und $|x| \leq L_u/2$

c) bei Standorten auf den leeseitigen Hängen von Klippen oder Böschungen:

— bei denen $\Phi < 0,3$ und $x < 1,5L_e$

— bei denen $\Phi \geq 0,3$ und $x < 5H$

(4) Der Orographiefaktor $c_o(z) = v_m/v_{mf}$ und sollte wie folgt definiert werden:

$$c_o = 1 \quad \text{für} \quad \Phi \leq 0,05 \quad (\text{B.1})$$

$$c_o = 1 + 2 \cdot s \cdot \Phi \quad \text{für} \quad 0,05 < \Phi \leq 0,3 \quad (\text{B.2})$$

$$c_o = 1 + 0,6 \cdot s \quad \text{für} \quad \Phi > 0,3 \quad (\text{B.3})$$

Dabei ist

s der aus Bild B.3 oder Bild B.4 entnommene orographische Standortfaktor, bezogen auf die effektive Länge L_e der luvseitigen Steigung;

Φ die luvseitige Steigung H/L_u in Windrichtung (siehe Bild B.4);

L_e die effektive Länge des luvseitigen Hangs, die wie in Tabelle B.2 festgelegt angesetzt werden sollte;

L_u die tatsächliche Länge des luvseitigen Hangs in Windrichtung;

L_d die tatsächliche Länge des leeseitigen Hangs in Windrichtung;

H die effektive Höhe des topographischen Elements;

x der horizontale Abstand des Standortes vom Kamm der Erhebung (leeseitig positiv);

z der vertikale Bodenabstand des Standortes.

ANMERKUNG Der Orographiefaktor $c_o(z) = v_m/v_{mf}$ trägt dem Anstieg der mittleren Windgeschwindigkeit bei einzeln stehenden Anhöhen, Höhenzügen, Klippen oder Böschungen (nicht jedoch bei welligen Bodenprofilen oder Bergregionen) Rechnung. Er bezieht sich auf die Windgeschwindigkeit am Fuß der Anhöhe, des Höhenzuges, der Klippe oder der Böschung.

Tabelle B.2 — Werte der effektiven Länge L_e

Steigungstyp ($\Phi = H/L_u$)	
Sanft ($0,05 < \Phi \leq 0,3$)	Steil ($\Phi > 0,3$)
$L_e = L_u$	$L_e = H/0,3$

(5) In Tälern darf $c_o(z)$ gleich 1,0 gesetzt werden, wenn durch Kanalisierungswirkungen bedingte Beschleunigungen ausgeschlossen werden können. Im Falle von Bauwerken in steilwandigen Tälern oder Brücken, die derartige Täler überspannen, sollte sorgsam darauf geachtet werden, dass jeglicher Erhöhung der Windgeschwindigkeit durch Kanalisierungswirkungen Rechnung getragen wird.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann zusätzliche Hinweise zur Feststellung, ob die Orographie von Bedeutung ist, enthalten.