

Einfluss verschiedener Parameter auf den Böenstaudruck q_p gemäß den Nationalen Anhängen zur EN 1991-1-4

T. Kray, J. Paul

Es wird über den Stand der Nationalen Anhänge zur EN 1991-1-4 [1] berichtet. Hierzu werden die Grundwerte der Basiswindgeschwindigkeiten $v_{b,0}$ und der Basiswindgeschwindigkeitsdrücke $q_{b,0}$ für über 30 Länder in und um die EU verglichen. Im nächsten Schritt werden die Böenstaudrücke (Spitzengeschwindigkeitsdrücke) q_p bei einheitlichem Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit (entsprechend $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$) für verschiedene Geländekategorien und Gebäudehöhen von 12 m und 50 m berechnet. Es zeigt sich, dass sich nur einige wenige kleine Länder auf die Angabe von Grundwerten der Basiswindgeschwindigkeiten beschränken, während die meisten Länder von den zahlreichen Möglichkeiten zur Wahl nationaler Parameter Gebrauch machen. Die größeren Länder wie z. B. Deutschland oder Großbritannien verändern sogar das grundlegende Formelgerüst des Eurocodes.

Stand der Nationalen Anhänge zur EN 1991-1-4

Seitens der Autoren wurden die Nationalen Anhänge zur EN 1991-1-4 der CEN-Mitgliedstaaten („National members“ und „Affiliates“), soweit möglich, beschafft sowie der Stand ihrer Einführung recherchiert bzw. gegenüber einem vorangegangenen Beitrag [42] aktualisiert.

„National members“ sind reguläre Vollmitglieder des Comité Européen de Normalisation (CEN). Vollmitglieder sind nationale Normungsorganisationen der EU- und EFTA-Mitgliedsstaaten. Zudem kann die Generalversammlung Aufnahmekandidaten der EU und EFTA, wie z. B. die Türkei, als Vollmitglieder aufnehmen.

„Affiliates“ können nationale Normungsorganisationen werden, die sich in „europäischer Nachbarschaft“ befinden und Voll- oder korrespondierendes Mitglied der International Organization for Standardization (ISO) sind. Der Begriff „europäische Nachbarschaft“ wird historisch recht großzügig ausgelegt. Er umfasst neben Osteuropa und dem Kaukasus auch weite Teile der Mittelmeerregion und Vorderasiens. Dieser Status war ursprünglich als Vormitgliedschaft für EU/EFTA-Aufnahmekandidaten gedacht, wird heute aber auch anderen Interessierten gewährt.

Derzeitige CEN-Vollmitglieder sind:

Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Mazedonien, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechien, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich, Zypern

„Affiliates“ in Europa sind:

Albanien, Belarus, Bosnien und Herzegowina, Moldawien, Montenegro, Serbien, Ukraine

„Affiliates“ außerhalb Europas sind:

Ägypten, Armenien, Aserbaidschan, Georgien, Israel, Jordanien, Libanon, Libyen, Marokko, Tunesien

Am einfachsten gestaltet sich die Recherche durch eindeutige Hinweise und Bestellmöglichkeiten direkt auf den jeweiligen Webseiten der nationalen Normeninstitute, in etlichen Fällen musste aber auch gezielt nachgefragt werden. Nicht immer waren die Antworten eindeutig oder überhaupt zu bekommen.

Der aktuelle Stand zeigt eine erfreulich weit fortgeschrittene Umsetzung unter den Vollmitgliedern der CEN, sodass der generellen Verwendung des Eurocodes an dieser Stelle nur noch wenig entgegensteht.

Es lassen sich folgende Ländergruppen unterscheiden:

- Die derzeit 33 Vollmitglieder der CEN haben die EN 1991-1-4 [1] bis auf wenige Ausnahmen umgesetzt und Nationale Anhänge [5 bis 30] veröffentlicht. Ausnahmen sind Malta, Mazedonien, die Schweiz, Spanien und die Türkei. Aus Malta ist noch kein Veröffentlichungsdatum eines Nationalen Anhangs bekannt. Aus Mazedonien waren keine verwertbaren Informationen zu erhalten. Die in der Schweiz gültige SiA 261 wurde teilrevidiert und im Juli 2014 neu publiziert [33]. In Spanien [34] und der Türkei [36] sind uns gültige nationale Normen bekannt, jedoch keine Nationalen Anhänge zur EN 1991-1-4.
- Unter den „Affiliates“ hat bisher nur Belarus einen Nationalen Anhang zur EN 1991-1-4 veröffentlicht [2]. Serbien, Bosnien und Herzegowina und Montenegro erarbeiten derzeit ebenfalls Nationale Anhänge, haben aber noch nicht entschieden, wann diese veröffentlicht werden.
- Armenien hat keine nationale Windlastnorm und wird auch den Eurocode nicht einführen.
- In der Ukraine wurde bisher kein Nationaler Anhang veröffentlicht. Die gültige ukrainische Windlastnorm [37] ähnelt stark der russischen [32].
- In Russland und Aserbaidschan ist weiterhin die Windlastnorm der ehemaligen Sowjetunion [32] anzuwenden.
- Israel hat eine eigenständige Windlastnorm.

Keine offiziellen Windlastnormen konnten für die Länder Albanien und Moldawien, sowie Ägypten, Georgien, Jordanien, Libanon, Libyen, Marokko und Tunesien beschafft werden. Wohl existieren aber inoffizielle Anwendungsdokumente in einigen dieser Länder.

Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit $v_{b,0}$

Die Grundwerte der Basiswindgeschwindigkeiten, in der EN 1991-1-4 als $v_{b,0}$ bezeichnet und kennzeichnend für die Windzoneneinteilung, reichen in der EU in der Regel von

Dr.-Ing. Thorsten Kray

Dipl.-Ing. (FH) Jantje Paul

Institut für Industriaerodynamik GmbH

Institut an der Fachhochschule Aachen

Tabelle 1. Grundwerte der Basiswindgeschwindigkeiten aus den Nationalen Anhängen

Land	Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit / des Basiswindgeschwindigkeitsdrucks (Stand: Juli 2014)		
	$v_{b,0}$ [m/s]	$q_{b,0}$ [kN/m ²]	NA zu EN 1991-1-4
Belarus	22 bis 24	0,3 bis 0,36	ja
Belgien	23 bis 26	0,33 bis 0,42	ja
Bulgarien	24 bis 35,8*	0,36 bis 0,8*	ja
Dänemark	24 bis 27	0,36 bis 0,46	ja
Deutschland	22,5 bis 30	0,32 bis 0,56	ja
Estland	21	0,28	ja
Finnland	21 bis 26	0,28 bis 0,42	ja
Frankreich	22 bis 28~	0,3 bis 0,48	ja
Griechenland	27 bis 33	0,46 bis 0,68	ja
Großbritannien	21,5 bis 31	0,3 bis 0,63	ja
Irland	25 bis 28	0,38 bis 0,48	ja
Island	36	0,81	ja
Italien	25 bis 31	0,39 bis 0,6	ja
Kroatien	20 bis 48	0,25 bis 1,44	ja
Lettland	21 bis 27	0,28 bis 0,46	ja
Litauen	24 bis 32	0,36 bis 0,63	ja
Luxemburg	24	0,36	ja
Niederlande	24,5 bis 29,5	0,38 bis 0,54	ja
Norwegen	22 bis 31/	0,3 bis 0,6	ja
Österreich	17,6 bis 28,3	0,19 bis 0,5	ja
Polen	22 bis 26	0,3 bis 0,42	ja
Portugal	27 bis 30	0,46 bis 0,56	ja
Rumänien	27 bis 35	0,46 bis 0,77	ja
Russland	19,6 bis 43,6°	0,24 bis 1,19	nein
Schweden	21 bis 26	0,28 bis 0,42	ja
Slowakei	24 bis 26	0,36 bis 0,42	ja
Slowenien	20 bis 30	0,25 bis 0,56	ja
Spanien	26 bis 29	0,42 bis 0,53	nein
Tschechien	22,5 bis 36+	0,32 bis 0,81	ja
Ukraine	24 bis 31,3	0,36 bis 0,6	nein
Ungarn	23,6	0,35	ja
Zypern	24 bis 40	0,36 bis 1,0	ja

* für große Städte Bulgariens
 + Höheneinfluss bereits enthalten
 - für Höhenlagen sind größere Werte anzusetzen
 ° Rückrechnung aus $q_{b,0}$
 ~ Höhere Werte in den Überseegebieten
 / Höhere Werte auf See bis 33 m/s

20 m/s bis 35 m/s. Höhere Werte findet man nur für bergige Lagen Tschechiens, Bulgariens, für Island, Überseegebiete Frankreichs sowie auf Zypern und an der kroatischen Küste. Zusätzlich kennen viele Länder Höhenkorrekturen, welche teilweise schon ab Meeressniveau den Staudruck erhöhen. Deutlich niedrigere Werte hat Österreich mit minimal 17,6 m/s. Eine Übersicht über mehr als 30 ausgewählte Länder zeigt **Tabelle 1**. Die Schweiz und die Türkei fehlen in dieser Aufstellung, da in den nationalen Windlastnormen keine Gleichungen zur Rückrechnung auf $v_{b,0}$ gegeben sind. Jedoch wurde Russland mit in den Vergleich aufgenommen. Die russische Norm, welche das gesamte ehemalige Sowjetgebiet umfasst, gibt Basiswindgeschwindigkeiten zwischen 19,6 m/s und 43,6 m/s an.

Etwas verwunderlich ist die Rückrechnung der Referenz-Staudrücke aus der Schweiz auf Böenwindgeschwindigkeiten bis zu 45,6 m/s, welche in den Alpen und im Jura sogar auf bis zu 72,7 m/s ansteigen können. In der Dokumentation zur SIA 261 [41] ist in diesem Zusammenhang zur SIA 261 [41] ist in diesem Zusammenhang die Rede. Weiterhin wird eingeräumt, dass eine Überschätzung der Geschwindigkeiten stattfindet. Eher versteckt ist der Hinweis, dass in der Schweiz „die Bö einer momentanen Geschwindigkeit über eine Dauer von 0,1 s entspricht, welche zusätzlich um 10 % erhöht wird, um die Trägheit des Anemometers zu berücksichtigen“. Zum Vergleich: In Deutschland entspricht nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 die Böenwindgeschwindigkeit einem Mittelwert über 2 bis 3 Sekunden [59]. In der Türkei wird dagegen noch mit einem Stufenprofil gerechnet, das man offensichtlich aus der 1986er Version der DIN 1055-4 [31] übernommen hat. Die angegebenen Stufen reichen von 28 bis 46 m/s bzw. 0,5 bis 1,3 kN/m². Diese sind aber von der Höhe des Gebäudes abhängig. In einer Höhe von 10 m gelten eine Windgeschwindigkeit von 36 m/s und ein Staudruck von 0,8 kN/m².

Europaweiter Vergleich der Böenstaudrücke q_p

Aufgrund der Vielzahl der national festzulegenden Parameter ist ein europaweiter Vergleich der Böenstaudrücke q_p nur unter vereinfachten Randbedingungen möglich. Aus diesem Grund wird der Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit $v_{b,0}$ in allen Ländern einheitlich auf 25 m/s gesetzt, auch wenn wie z. B. in Ungarn nur eine Windzone mit $v_{b,0} = 23,6$ m/s existiert. Ausnahmen bilden hier die Schweiz und die Türkei. Da gemäß SIA 261 der Referenzstaudruck bereits einem Böenstaudruck entspricht, wurde für die Schweiz der geringstmögliche Wert von 0,9 kN/m² zugrunde gelegt. In der Türkei wurden Böenstaudrücke von 0,8 kN/m² bzw. von 1,1 kN/m² entsprechend dem Stufenprofil zugrunde gelegt, welche für die Bemessungshöhen von 12 m bzw. 50 m anzusetzen sind.

In allen Ländern wird für den repräsentativen Vergleich eine Geländekategorie (GK) entsprechend städtischer Bebauung (Vorstädte, Industrie- oder Gewerbegebiete), welche im Eurocode und in Deutschland einer GK III entspricht, bzw. diejenige Geländekategorie, welche nach der Definition des jeweiligen Nationalen Anhangs dieser am nächsten kommt, ausgewählt. Der Vergleich wird zudem für eine Geländekategorie II entsprechend Gebieten mit niedriger Vegetation durchgeführt. Wieder wird gemäß NA diejenige Geländekategorie ausgewählt, welche einer GK II entspricht oder dieser am nächsten kommt. Das Wiederkehrintervall beträgt einheitlich 50 Jahre. Weitere Parameter wie Richtungsfaktoren, Jahreszeitenbeiwerte

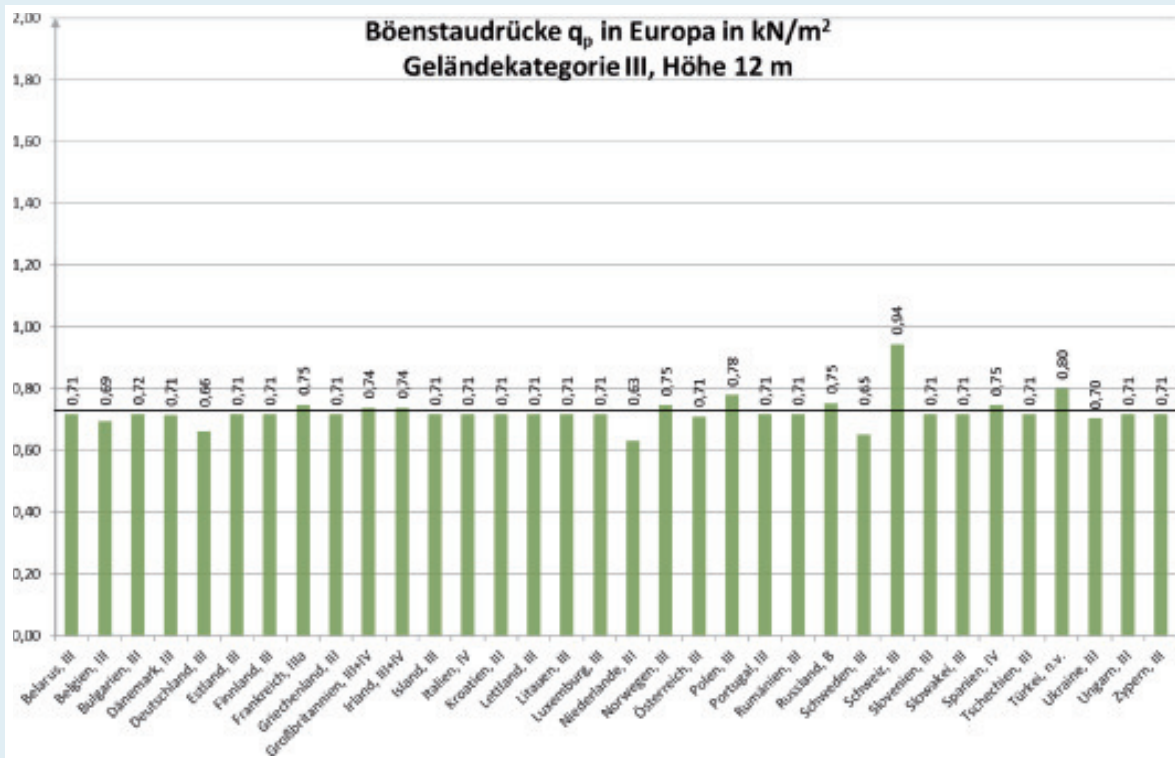


Bild 1. Europaweiter Vergleich der Böenstaudrücke q_p in Geländekategorie III auf 12 m Höhe basierend auf den nationalen Normen von 34 Ländern; die schwarze Linie gibt den Durchschnittswert an.

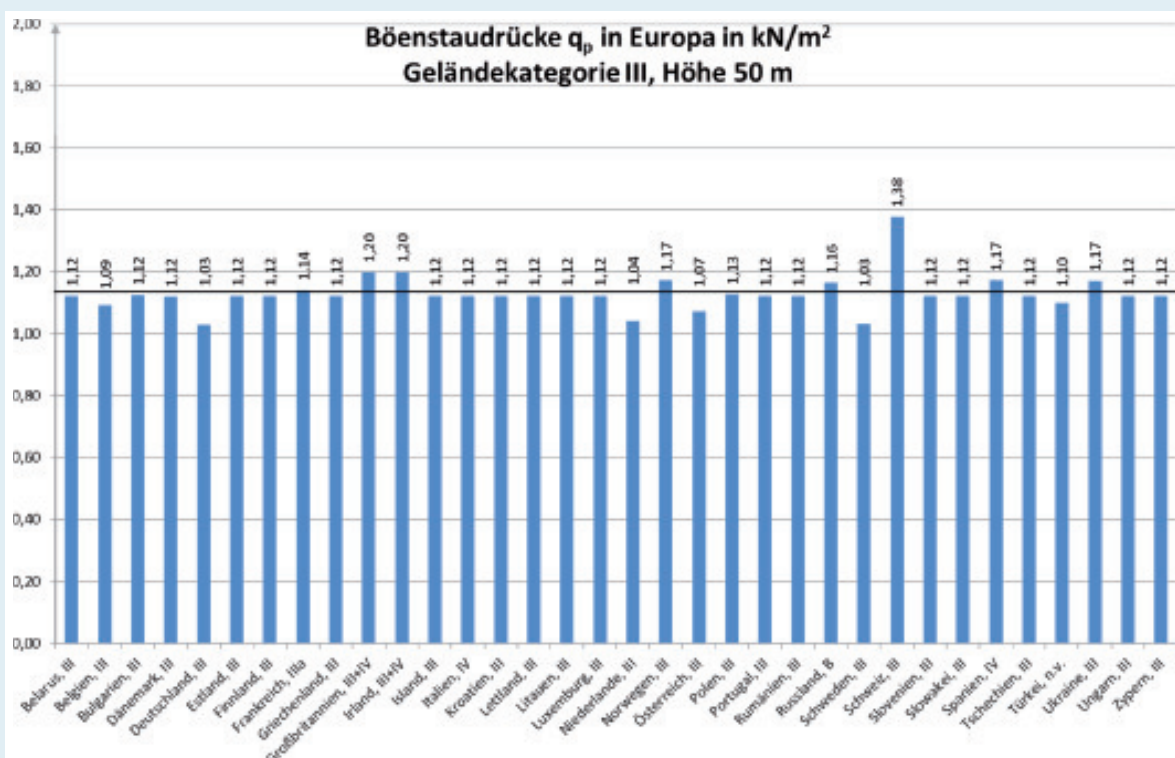


Bild 2. Europaweiter Vergleich der Böenstaudrücke q_p in Geländekategorie III auf 50 m Höhe basierend auf den nationalen Normen von 34 Ländern; die schwarze Linie gibt den Durchschnittswert an.

und Topographiefaktoren werden zwecks besserer Vergleichbarkeit zu 1 gesetzt. Bild 1 bis Bild 4 zeigen die unter diesen Voraussetzungen gemachten Vergleiche der europaweiten Böenstaudrücke q_p in den Geländekategorien III und II sowie in den Höhen von 12 m und 50 m.

Die größten Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern sind auf unterschiedliche Definitionen der Geländekategorien zurückzuführen. So wird in Frankreich zwischen den Geländekategorien IIIa und IIIb unterschieden. Wählt man GK IIIb, beträgt der Böenstaudruck q_p nur $0,58 \text{ kN/m}^2$ für den

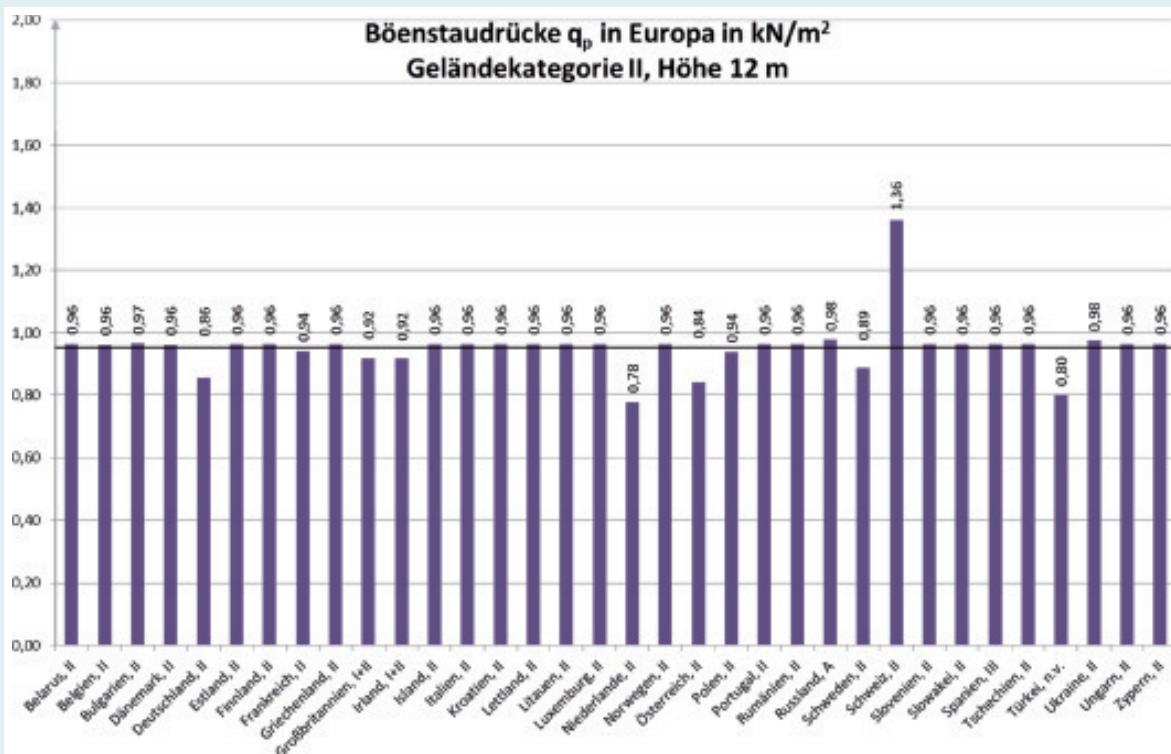


Bild 3. Europaweiter Vergleich der Böenstaudrücke q_p in Geländekategorie II auf 12 m Höhe basierend auf den nationalen Normen von 34 Ländern; die schwarze Linie gibt den Durchschnittswert an.

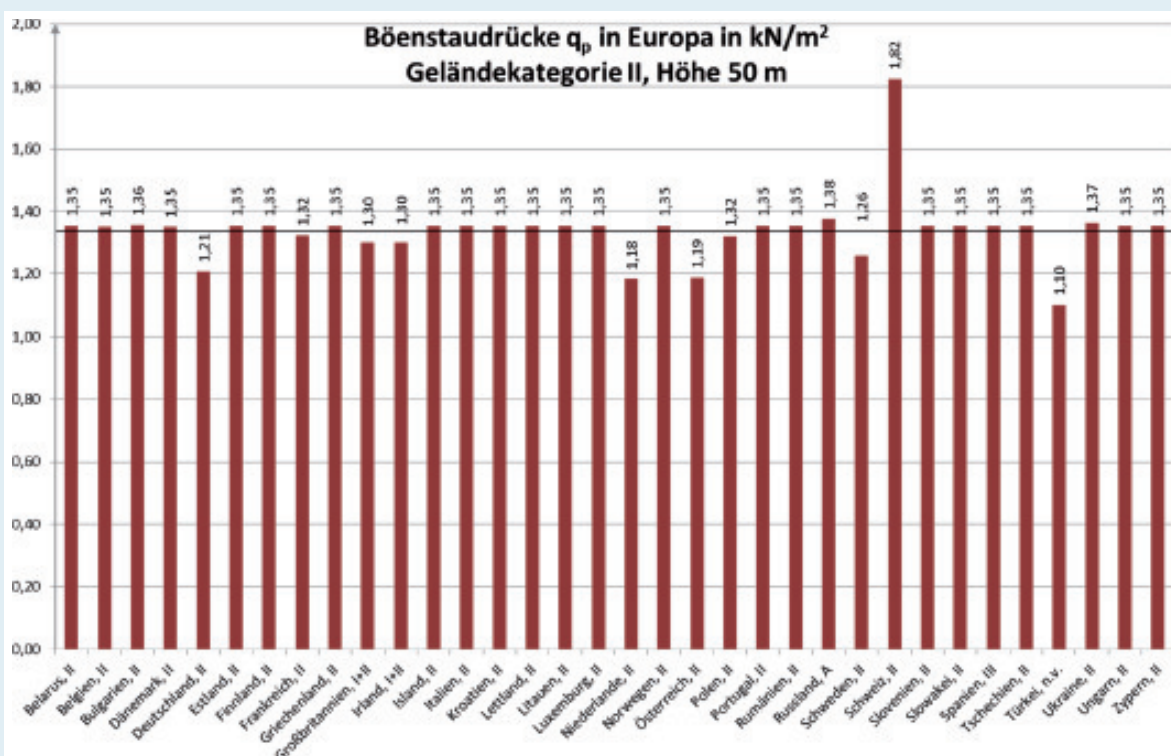


Bild 4. Europaweiter Vergleich der Böenstaudrücke q_p in Geländekategorie II auf 50 m Höhe basierend auf den nationalen Normen von 34 Ländern; die schwarze Linie gibt den Durchschnittswert an.

Musterfall in Bild 1 und liegt damit weit unter dem Durchschnitt von $0,72 \text{ kN/m}^2$ (schwarze Linie). In GK IIIa errechnet sich dann ein Wert von $0,75 \text{ kN/m}^2$. Auch in den Niederlanden ergibt sich mit $0,63 \text{ kN/m}^2$ (Bild 1) ein vergleichsweise geringer Böenstaudruck. Es folgen

Schweden und Deutschland mit Werten von $0,65 \text{ kN/m}^2$ bzw. $0,66 \text{ kN/m}^2$, welche im internationalen Vergleich ebenfalls unterdurchschnittlich ausfallen. Ähnliche Unterschiede zeigen sich auch in den weiteren Böenstaudruckberechnungen.

Der in Schweden gewählte Ansatz ist ein relativ feingegliedertes Stufenprofil, dessen tabellarisch aufgelistete Stufen sich laut [35] auf ein logarithmisches Profil beziehen, für das ebenfalls eine Gleichung angegeben ist. Beim Vergleich mit dem Stufenprofil zeigt sich jedoch eine erhebliche Differenz zwischen den Werten der Tabelle und der Gleichung. Es sollen ausdrücklich die Tabellenwerte angewandt werden [35]. Im europäischen Vergleich liegen die Werte für Schweden in beiden Beispielrechnungen recht niedrig.

Die Gründe für die geringen Böenstaudrucke Deutschlands und Österreichs liegen in der Verwendung unterschiedlicher Potenzprofilansätze. Dies kann gerade in den unteren Höhen (< 75 m bis 100 m) zu niedrigeren Werten führen. Allerdings ist in Deutschland der Ansatz einer Geländekategorie III nur erlaubt, wenn diese mindestens 3 km stromauf des Standortes in einem 30°-Sektor vorliegt. Diese im Vergleich zu anderen Ländern weitaus ungünstigere Randbedingung führt bei vielen Standorten dazu, dass eine Geländekategorie II oder im Binnenland das Mischprofil der Geländekategorien II und III angesetzt werden muss. In letzterem Fall ergäbe sich für die Höhe von 12 m wie in den meisten Ländern ein Böenstaudruck q_p von 0,71 kN/m².

Dieser Wert ist für den Musterfall (GK III, Höhe 12 m) darauf zurückzuführen, dass diese Länder weitestgehend das Standardverfahren aus EN 1991-1-4 adaptiert haben. In den übrigen betrachteten Situationen ergibt sich ein vergleichbares Bild.

In der spanischen Norm [34] sind die Geländekategorien an die EN 1991-1-4 angelehnt, aber anders nummeriert. Die spanischen Geländekategorien sind von I bis V statt wie im Eurocode von 0 bis IV nummeriert. Daher entspricht Geländekategorie III im Eurocode der spanischen Geländekategorie IV.

Italien hat, nachdem 2007 der Nationale Anhang [13] veröffentlicht wurde, zusätzlich 2008 eine aktualisierte Version der „Norme tecnica per le costruzioni“ [38] veröffentlicht. In letztere wurde der Nationale Anhang inhaltlich übernommen, jedoch wurde auch hier wie in Spanien die Nummerierung der Geländekategorien geändert und weitere Kategorien wurden hinzugefügt. Zudem wurde die Mindesthöhe z_{\min} für die Geländekategorie III (nach Eurocode, GK IV in Italien) von 5 m auf 8 m erhöht. Auch in Geländekategorie II (im Eurocode und in [38] identisch) wurde z_{\min} von 2 m auf 4 m erhöht. Diese Änderungen von z_{\min} haben aber keinen Einfluss auf die in den vorliegenden Beispielen betrachteten Höhen von 12 m und 50 m.

Außer Konkurrenz ist die Schweiz. Wie in Abschnitt 6.4 des Kommentares zur SIA 261 [41] beschrieben, müssen seltene Böenspitzen über lediglich 0,1 s Dauer angesetzt werden, welche den hohen Böenstaudruck von 0,94 kN/m² in Bild 1 sowie die weiteren Ausreißer in Bild 2 bis Bild 4 erklären. Zusätzlich ist bereits jeglicher Topographieeinfluss in diesem Wert enthalten. Hier sind also bereits weitere Sicherheiten eingeflossen.

In Russland ergibt sich streng nach Norm für GK III in 12 m Höhe ein sehr geringer Böenstaudruck von nur 0,55 kN/m²,

der im Vergleich der Länder am niedrigsten ist. Durch detaillierte Literaturrecherchen stellte sich allerdings heraus, dass die angegebenen w_0 -Werte einem Fünf-Jahres-Wiederkehrintervall entsprechen. Gemäß Popov [40] muss ein Faktor von 1,4 eingerechnet werden, um auf ein Wiederkehrintervall von 50 Jahren hochzurechnen. Wird dieser Faktor berücksichtigt, so ergibt sich ein Böenstaudruck von 0,75 kN/m². Damit liegt Russland dann in allen Vergleichen auf ähnlichem Niveau wie die meisten Länder.

In Bild 3 und Bild 4 zeigen sich ähnliche Ausreißer wie in Bild 1 und Bild 2. Eine Ausnahme stellt hier die Türkei dar. In der nationalen Norm der Türkei [36] sind keine Geländekategorien definiert. Auf Basis des gegebenen Stufenprofils wird ein Wert von 0,8 kN/m² in 12 m Höhe sowie von 1,1 kN/m² in 50 m Höhe angesetzt. In der Geländekategorie III auf 12 m Höhe liegt dieser Wert deutlich über dem Durchschnitt, während er sich in 50 m Höhe auf dem allgemeinen Durchschnittsniveau befindet. In den Vergleichen der Geländekategorie II ist er jedoch einer der niedrigsten Werte.

Bei genauerer Betrachtung der Niederlande zeigt sich, dass deren niedrige Werte in beiden Geländekategorien in den veränderten Rauigkeitslängen wurzeln. Für die Geländekategorie II sieht der Eurocode ein z_0 von 0,05 m vor, die Niederlande erhöhen diesen Wert auf 0,2 m. In der Geländekategorie III findet eine Erhöhung von 0,5 m auf 0,5 m statt. Die niederländischen Geländekategorien sind zudem nur bedingt mit dem Eurocode vergleichbar. Es werden nur drei verschiedene Geländekategorien unterschieden:

- 0 = Meer und Küstengebiete
- II = Unbebaute Gebiete
- III = Bebaute Gebiete.

Fazit

Insbesondere kleinere Länder folgen zur Freude der Anwender sehr konsequent den Vorgaben des Eurocodes. Manche kleine Länder wie z. B. Island, Lettland oder Zypern geben lediglich eigene Grundwerte der Basiswindgeschwindigkeiten an. Doch auch bei strenger Orientierung am Eurocode nutzen viele Länder die zahlreichen Möglichkeiten zur Wahl nationaler Parameter.

Die größeren Länder wie z. B. Deutschland oder Großbritannien gehen in Ihren Berechnungen noch immer eigene Wege, auch wenn die Ergebnisse in ähnlichen Größenordnungen liegen.

Das grundlegende Formelgerüst des Eurocodes wird nur von wenigen Ländern verändert. Jedoch darf man aus der Ähnlichkeit der Resultate des vorliegenden Vergleichs nicht den Schluss ziehen, dass ein intensives Studium der Nationalen Anhänge überflüssig sei. Einige Länder, die den Eurocode weitgehend übernehmen, haben sehr umfassende Nationale Anhänge verfasst, in denen sich scheinbar unbedeutende nationale Festlegungen mit großen Auswirkungen verstecken.

Topographiebeiwert c_o gemäß Anhang A.3 der EN 1991-1-4

R.-D. Lieb, J. Paul, T. Kray

„Dort, wo die Topographie (z.B. Berge, Klippen etc.) die Windgeschwindigkeit um mehr als 5% erhöht, ist die Vergrößerung durch den Topographiebeiwert c_o zu berücksichtigen.“ [1] In den meisten Ländern, welche die EN 1991-1-4 verwenden, erfolgt die Berechnung des Topographiebeiwertes c_o gemäß Anhang A.3.

Verwendung von Anhang A.3 der EN 1991-1-4

Das Standardverfahren zur Berücksichtigung von Topographie gemäß Anhang A.3 wird von folgenden Ländern verwendet:

Belarus [2], Belgien [3], Bulgarien [4], Dänemark [5], Deutschland [6], Estland [7], Griechenland [10], Island [12], Italien [13], Kroatien [14], Lettland [15], Litauen [16], Luxemburg [17], Niederlande [18], Polen [21], Portugal [22], Rumänien [23], Schweden [24], Slowakei [25], Slowenien [26], Tschechien [27], Ungarn [28], Zypern [30]

Finnland [8], Irland [11] und das Vereinigte Königreich [29] nutzen Anhang A.3 mit leichten Erweiterungen. In Finnland wirken sich diese Ergänzungen nur bei Gebäudehöhen über 100 m aus. Irland und das Vereinigte Königreich illustrieren einige Formeln in anschaulicheren Skizzen, machen jedoch keine inhaltlichen Änderungen.

Frankreich [9], Norwegen [19] und Österreich [20] berücksichtigen topographische Einflüsse durch eigene Verfahren. Frankreichs Verfahren 1 basiert auf statistischen Analysen einer Vielzahl von Fallbeispielen. Verfahren 1 darf aber nur

für Topographiebeiwerte mit $1,0 \leq c_o \leq 1,15$ angewandt werden. Frankreichs Verfahren 2 und Norwegens Verfahren sind angelehnt an ein Verfahren, das in [43] und [44] beschrieben wird. Österreich berücksichtigt topographische Einflüsse in der Basiswindgeschwindigkeit, da Anhang A.3 grundsätzlich in bergigem Gelände nicht angewandt werden darf.

Berechnung des Topographiebeiwerts c_o nach Anhang A.3 der EN 1991-1-4

Anhang A.3 ist der in der EU am weitesten verbreitete Ansatz zur Berechnung des Topographieeinflusses auf den Böenstaudruck. Er beinhaltet das in EN 1991-1-4 empfohlene Verfahren. Topographische Anomalien sind ab einer Geschwindigkeitserhöhung von 5% zu berücksichtigen. Luvseitige Steigungen von weniger als 3° dürfen jedoch vernachlässigt werden.

Der Topographiebeiwert c_o ist von der luvseitigen Steigung ϕ und von dem Faktor s abhängig, siehe Bild 1 und Bild 2. Die Neigung des windzugewandten Geländes ϕ beeinflusst den Beiwert jedoch nur für Winkel zwischen etwa 2,8° und 16,7°. Der Faktor s ist abhängig vom Gebäudestandort im Verhältnis zur topographischen Anomalie. Der Wert von s kann gemäß den in Anhang A.3 angegebenen Formeln und Diagrammen nicht signifikant größer als 1 werden. Damit ist klar, dass $c_{o,max} \approx 1,6$ gilt. Gemäß Anhang A.3 ist es nicht zulässig, den Böenstaudruck durch den Topographiebeiwert abzumindern. Daraus folgt, dass $c_{o,min} = 1,0$ ist. [1]

Fazit

Praktische Windlastauslegungen weisen oftmals keinerlei Berücksichtigung von ungünstig wirkenden Topographieeffekten auf, welche zu einer Erhöhung des Böenstaudrucks führen. Mögliche Ursachen hierfür sind die Unkenntnis der physikalischen Zusammenhänge oder Hemmschwellen bei der Anwendung des auf den ersten Blick kompliziert anmutenden Verfahrens aus Anhang A.3. Der maximal mögliche Topographiebeiwert beträgt ca. 1,6. Dies verdeutlicht, dass eine Vernachlässigung von Topographieeffekten weit größere Fehler zur Folge haben kann als beispielsweise der Ansatz einer zu günstigen Geländekategorie. Aus diesem Grund zeigt der vorliegende Beitrag das grundlegende Gleichungsgerüst zur Berechnung des Topographiebeiwerts auf, welches zudem europaweit nahezu einheitlich ist.

Dr.-Ing. Rolf-Dieter Lieb

Dipl.-Ing. (FH) Jantje Paul

Dr.-Ing. Thorsten Kray

Institut für Industrieaerodynamik GmbH
 Institut an der Fachhochschule Aachen

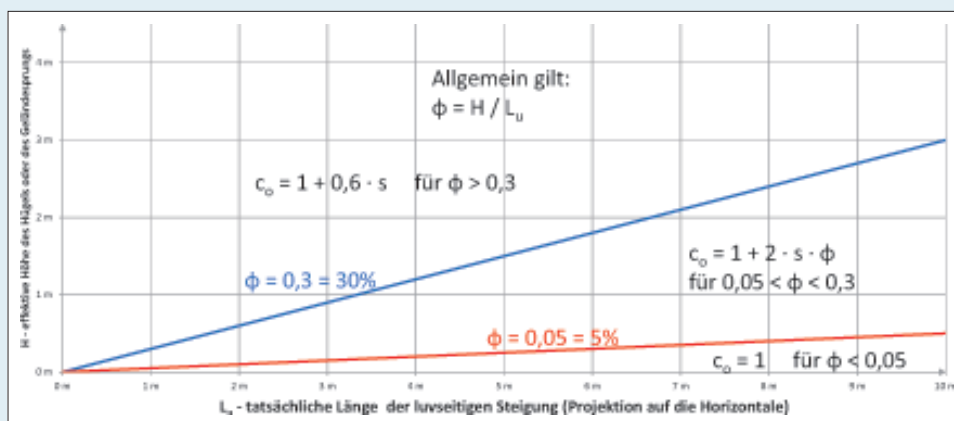


Bild 1. Effektive Höhe H des Hügels oder des Geländesprungs als Funktion der tatsächlichen Länge L_u der luvseitigen Steigung (Projektion auf die Horizontale) mit Angabe der Gleichungen für den Topographiebeiwert c_o in Abhängigkeit der Steigung des luvseitigen Hanges $\phi = H / L_u$ (ein Wert von 0,05 entspricht ca. 2,8° Neigungswinkel; ein Wert von 0,3 entspricht ca. 16,7° Neigungswinkel) und des Faktors s (nach Bild A.2 oder A.3; s kann nie einen negativen Wert annehmen)

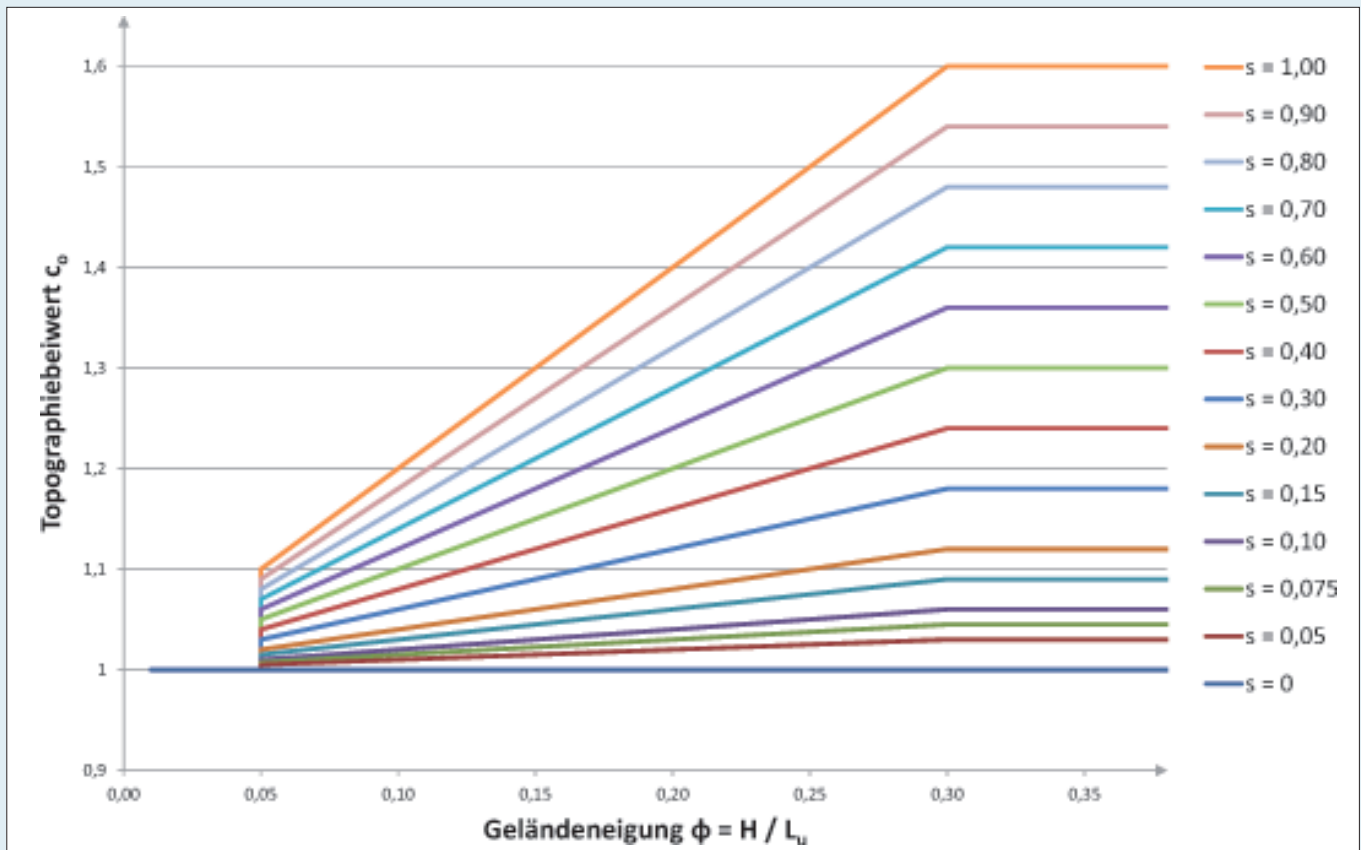


Bild 2: Topographiebeiwert c_p als Funktion der Steigung des luvseitigen Hanges $\phi = H / L_u$ und des Faktors s

Literatur

Eurocode und Nationale Anhänge ([2] bis [30]) alphabetisch nach Erscheinungsland sortiert)

[1] EN 1991-1-4:2005: Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, CEN, 2005

[2] EN 1991-1-4:2009: National Annex to technical code TCP EN 1991-1-4:2009 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, Ministry of Architecture and Construction of Belarus, Minsk, 2010

[3] NBN EN 1991-1-4:ANB:2010-12: Eurocode 1 : Actions sur les structures – Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent – Annexe nationale, Bureau de Normalisation, Bruxelles, 2010

[4] BDS EN 1991-1-4/NA:2011-01: Eurocode 1 – Actions on Structures – Part 1-4: General actions – Wind actions – National Annex to BDS EN 1991-1-4:2005, BIS, Sofia, 2011

[5] DS/EN 1991-1-4 DK NA:2010-03: National Annex to Eurocode 1: – Actions on Structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, www.ds.dk, 2010

[6] DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth-Verlag, 2010

[7] EVS EN 1991-1-4/A1:2010/NA:2010: Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, Estonian National Annex; Estonian Center for Standardisation, Tallin, 2010

[8] SFS-EN 1991-1-4/NA:2010: National Annex to Eurocode 1 – Actions on Structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, Finnische Normenwebseite, Helsinki, 2010

[9] NF EN 1991-1-4/NA:2008-03+A1:2011-07+A2:2012-09: Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4:2005 – Actions générales — Actions du vent, AFNOR, La Plaine Saint-Denis Cedex, 2008-2012

[10] EAOT EN 1991-1-4:2005/NA: Greek National Annex to Eurocode 1 – Actions on Structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, Hellenic Standards, Peristeri, 2010

[11] NA to I.S. EN 1991-1-4:2013: Irish National Annex to Eurocode 1 – Actions on Structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, NSAI, Dublin, 2013

[12] ÍST EN 1991-1-4:2005/NA:2010-12: National Annex to Eurocode 1 – Actions on Structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, Stadfestur af Stadlaráði Íslands, Reykjavík, 2010

[13] UNI EN 1991-1-4/AN:2007-07: Appendice Nazionale UNI-EN 1991-1-4 – Azioni sulle costruzioni – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento, Webseite UNIN, Rom, 2007

[14] HRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012: Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4 : Opca djelovanja – Djelovanja vjetra – Nacionalni dodatak, Croatian Standards Institute – Hrvatski zavod za norme (HZN), Zagreb, 2012

[15] LVS EN 1991-1-4/NA:2011-09: 1.Eurokodekss. Iedarbes uz konstrukcijam. 1-4. Dala: Visparigas iedarbes. Veja iedarbes. Nacionalais pielikums, LVS Latvijas Standarts, Riga, 2011

[16] LST EN 1991-1-4/NA: Eurokodas 1. Poveikiai konstrukcijoms. 1-4 dalis. Bendrieji poveikiai. Vvejo poeikiai, Lietuvos Standartizacijos Departamentas, Vilnius, 2012

[17] EN 1991-1-4:2005/AN-LU:2011: Actions sur les structures – Partie 1-4: Actions générales – Actions du vent, ILNAS, Luxemburg, 2011

[18] NEN EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB:2011: Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4 – Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel

- 1–4: Algemene belastingen – Windbelasting, Nederlands Normalisatieinstituut, Delft, 2011
- [19] NS-EN 1991–1–4:2005+NA:2009: Eurokode 1: Laster på konstruksjoner, Del 1–4: Allmenne laster, Vindlaster, standard norge, Lysaker, 2009
- [20] ÖNorm B 1991–1–4:2013–05–01: Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991–1–4 und nationale Ergänzungen, Österreichisches Normeninstitut (ON), Wien, 2013
- [21] PN-EN 1991–1–4:2008/NA:2010–09: Dotyczy PN-EN 1991–1–4:2008 – Eurokod 1 – Oddziaływania na konstrukcje – Czesc 1–4: Oddziaływania ogólne Oddziaływania wiatru, PKN, Warszawa, 2010
- [22] NP-EN 1991–1–4:2010: Eurocódigo 1 – Acções em estruturas, Parte 1–4: Acções gerais, Acções do vento, Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2010
- [23] SR EN 1991–1–4/NB:2007–06: Eurocod 1: Actiuni supra structurilor – Partea 1–4: actiuni generale – Actiuni ale vântului – Anexa nationala, Asociatia de standardizare din România, Bucuresti, 2007
- [24] SS-EN 1991–1–4:2005/Bilaga NA:2008–10: Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1–4: Allmänna laster – Vindlast, Swedish Standards Institute, 2008
- [25] STN EN 1991–1–4/NA/Z1:2010–04: National Annex to Eurocode 1 – Actions on Structures – Part 1–4: General actions – Wind actions, Slovenský ústav technickej normalizácie, Bratislava, 2010
- [26] SIST EN 1991–1–4:2005/A101:2008–01: Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1–4. del: Splošni vplivi – Obtežbe vetra – Nacionalni dodatek, Slovenski inštitute za standardizacijo, Ljubljana, 2008
- [27] CSN EN 1991–1–4/NA:2013–07: National Annex to Eurocode 1 – Actions on Structures – Part 1–4: General actions – Wind actions, Cesky normalizacni inštitute, Prag, 2013
- [28] MSZ EN 1991–1–4:2007–12: NA nemzeti melléklet (előírás), Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2007
- [29] NA to BS EN 1991–1–4:2005+A1:2010: UK National Annex to Eurocode 1 – Actions on Structures – Part 1–4: General actions – Wind actions, BSI, London, 2010
- [30] NA to CYS EN 1991–1–4:2005:2010–10: National Annex to CYS EN 1991–1–4:2005 – Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1–4: General actions – Wind actions, CYS, Nikosia, 2010
- [32] SP 20.13330.2011: Loads and impacts, the Ministry of Regional Development of Russian Federation, Moscow, 2011
- [33] SiA 261/1:2014: Bauwesen, Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2014
- [34] Documento Básico SE-AE: Seguridad Estructural Acciones en la edificación, AENOR, Madrid, 2003
- [35] BFS 2013:10: EKS 9, Boverkets författningssamling, Kap. 1.1.4 „Tillämpning av EN 1991–1–4 – Vindlast“, Swedish Standards Institute, 2013
- [36] TS 498:1987 + T1:1997 dahil: YAPI ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASINDA ALINACAK YÜKLERIN HESAP DEGERLERI, TÜRK STANDARDLARI ENSTITÜSÜ, Ankara, 1997
- [37] DBN.1.2–2:2006: STATE BUILDING CODE OF UKRAINE, System Reliability and Safety of Buildings, the Loads and Impacts, the Ministry of Construction of Ukraine, Kiev, 2006
- [38] Norme tecniche per le costruzioni, Kap. 3.3 „Azioni del Vento“, Il Ministro delle infrastrutture, Italien, 2008

Weitere Veröffentlichungen

- [39] *Niemann, H. J.*: Anwendungsbereich und Hintergrund der neuen DIN 1055 Teil 4, Der Prüflingenieur Nr. 20, Oktober 2002
- [40] *Popov, N. A.*: The wind load codification in Russia and some estimates of a gust load accuracy provided by different codes, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 88, pp. 171–181, 2000
- [41] D0188, Wind, Kommentar zum Kapitel 6 der Normen SIA 261 und 261/1 (2003), Einwirkungen auf Tragwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2006
- [42] *Kray, T.; Paul, J.; Lieb, R.-D.*: Harmonisierte Windlastansätze in Europa (Stand 2013). In: WtG-Berichte Nr. 13 – Windeinwirkung in urbaner Umgebung, Bucher (Hrsg.), 13. Dreiländertagung D-A-CH, S. 97–107, Wien, 2013
- [43] ISO 4354:1997(E), Wind actions on structures, International Organization for Standardization, Genève, 1997
- [44] *Lemelin, D. R.; Surry, D.; Davenport, A. G.*: Simple Approximations for Wind Speed-up over Hills, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 28, pp. 117–127, 1988
- [45] *Lieb, R.-D.; Paul, J.*: The Orographic influence in European wind load standards, IN-VENTO 2014, Genova, Italy, June 22–25, 2014

Andere Normen

- [31] DIN 1055–4:1986–08: Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken, Beuth-Verlag, 1986