

DIN 1055-4:2005-03 Windlasten

1. Anlass und Gründe für die Neufassung der DIN 1055-4 - Windlasten

Zu Beginn dieses Jahres ist die neue Windlastnorm DIN 1055-4:2005-03 bauaufsichtlich eingeführt; sie gilt seither als verbindliche bautechnische Regel. Sie ersetzt die DIN 1055-4:8.86, die auf die Ausgabe 06.38 zurückgeht. Die Arbeit an der vorgelegten Fassung erfolgte in zwei großen Schritten: Bis zum Jahr 1987 hatte der AA „Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten; Windlasten“ im DIN unter der Leitung von Helmuth Hirtz eine grundlegende Neufassung erarbeitet, die bereits alle wesentlichen Merkmale einer modernen Windlastnorm trug. Der Arbeitsausschuss hatte das Manuskript zwar als Normentwurf verabschiedet, die Veröffentlichung erfolgte aufgrund gewisser Vorbehalte der zuständigen Lenkungsorgane des NABau jedoch lediglich als Vornorm DIN 1055-Teil 40: *Windwirkungen auf Bauwerke*. Immerhin diente dieses Dokument als Vorarbeit und nationaler Bezug in der beginnenden europäischen Normung. Darüber hinaus fand ein spezielles Arbeitsergebnis, die Windzonenkarte, Eingang in die DIN 1056, 4131 und 4133. Der zweite Arbeitsschritt begann 1998: das DIN richtete einen Unterausschuss zu NABau 00.02.00: *Einwirkungen auf Bauten* ein, den Arbeitsausschuss 00.02.03: *Einwirkungen auf Tragwerke – Windlasten*. Er hatte die Aufgabe, die grundlegende Neufassung der DIN 1055-4 zu verfassen. In der Zwischenzeit war der Eurocode 1: *Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke* entstanden, die deutsche Ausgabe ENV 1991-2-4 lag 1995 vor. Sie diente als weiteres Bezugsdokument. Die Motivation für die grundlegende Neufassung sei hier vorangestellt:

1. Das Vordringen neuer Bauweisen und neuer Bauformen hat Lücken sowohl im Katalog der aerodynamischen Beiwerte als auch bei den Nennwerten der Windgeschwindigkeit entstehen lassen, die zu unsicheren oder unwirtschaftlichen Bemessungsergebnissen führen konnten. Der erhebliche Fortschritt, der seit etwa 1960 im Windingenieurwesen erreicht wurde, war aufzunehmen und die Norm dem fortgeschrittenen Stand der erprobten Erkenntnisse anzupassen.
2. Der Umsetzung der Europäischen Vornorm DIN ENV 1991-2-4:1998-12 in der praktischen Anwendung sollte Vorschub geleistet werden.
3. Die Grundlagennorm DIN 1055-100:2001-03 definiert für die Tragwerke des Bauwesens erstmalig ein einheitliches, operatives Sicherheitsniveau und regelt die Verfahren und Vorgaben, die sich daraus für die Berechnung und Bemessung ergeben. Die Windlast ist eine nichtständige Last und geht mit einem charakteristischen Wert in die Berechnungen ein, der im statistischen Mittel nur einmal in 50 Jahre überschritten werden darf. Die zugehörige Böenwindgeschwindigkeit liegt in Deutschland zwischen 30 m/s in Süddeutschland und 50 m/s in der Deutschen Bucht. Die große Variationsbreite der charakteristischen Windlast erlaubt es nicht, einen einheitlichen Nennwert zu benutzen. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, eine differenzierte Windzonenkarte einzuführen.

Der Arbeitsausschuss legte 2001 nach dreijähriger Beratung einen Gelbdruck vor. Die nachfolgende Auslagefrist gab der Fachöffentlichkeit Gelegenheit, das Ergebnis zu diskutieren. Wie angesichts der weitgehenden Neufestsetzungen zu erwarten war, ergab sich eine größere Anzahl von Einsprüchen. Der Ausschuss arbeitete die Ergebnisse der Einspruchsverhandlungen ein, so dass der Weißdruck im März 2005 erscheinen konnte.

2. Die Windzonenkarte zur Erfassung regionaler Unterschiede der Sturmstärke

Die extreme Sturmstärke hängt erfahrungsgemäß von der geografischen und klimatologischen Region ab, in der man sich befindet. Für einen Bauwerksstandort ist die charakteristische Windgeschwindigkeit nach der Vorgabe durch die Grundlagennorm DIN 1055-100 als

50-Jahres Wind zu bestimmen. Die regionalen Unterschiede des Windklimas werden in einer Windzonenkarte erfasst.

Die Vorgängernorm DIN 1055-Teil 4:8-86: *Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken* folgte im Hinblick auf die Windgeschwindigkeit noch der ersten Windlastnorm von 1938. Diese legte für das gesamte damalige Reichsgebiet einen einheitlichen Wert fest. Als Profil der Böenwindgeschwindigkeit wurde die bekannte treppenförmige Kurve gewählt. Sie entspricht einem realistischen Böenprofil mit einem Bezugswert von 34,6 m/s (gemessen in offenem Gelände in 10 m Höhe über Grund). Eine solche Festlegung deckt die viel größeren Sturmstärken, die an den Küsten und in den küstennahen Gebieten auftreten, nicht ab.

Das konnte man 1938 in Kauf nehmen, weil damals schwere Bauweisen vorherrschten, bei denen die Windlast im Allgemeinen eine untergeordnete Rolle spielt; ihre Wirkung auf die Beanspruchung des Tragwerks tritt in diesem Falle hinter der Belastung durch das Eigengewicht und durch andere Einwirkungen zurück. Eine Abschätzung reichte aus, um die zusätzlichen Beanspruchungen durch Winddrücke mit brauchbarer Genauigkeit zu erfassen. Allerdings gilt umgekehrt auch, dass für Bauwerke, bei denen die Windlast die Standsicherheit wesentlich bestimmt, die Angaben in der jetzigen Norm keine ausreichende Grundlage bilden.

Heutige Bauweisen sind vielfach leichter und damit empfindlicher gegenüber Windwirkungen. Sie benötigen realistische Windlastansätze, wie sie seit dem Beginn der 60er Jahre in der internationalen und nationalen Forschung entwickelt wurden, in Deutschland u.a. im Forschungsschwerpunkt „Gebäudeaerodynamik“, den die Deutsche Forschungsgemeinschaft von 1973 bis 1981 förderte.

Die regional unterschiedliche Sturmstärke hat bereits 1969 mit Herausgabe der DIN 4131 – *Antennentragwerke aus Stahl*, Eingang in das Deutsche Normenwerk gefunden. Seitdem ist es eine allgemein anerkannte Regel der Baukunst, bei der Bemessung windempfindlicher Konstruktionen regional unterschiedliche Berechnungsstaudrücke zu benutzen. Weitere Windzonenkarten entstanden bei den Normen für Stahlschornsteine und für Schornsteine aus Mauerwerk und Stahlbeton.

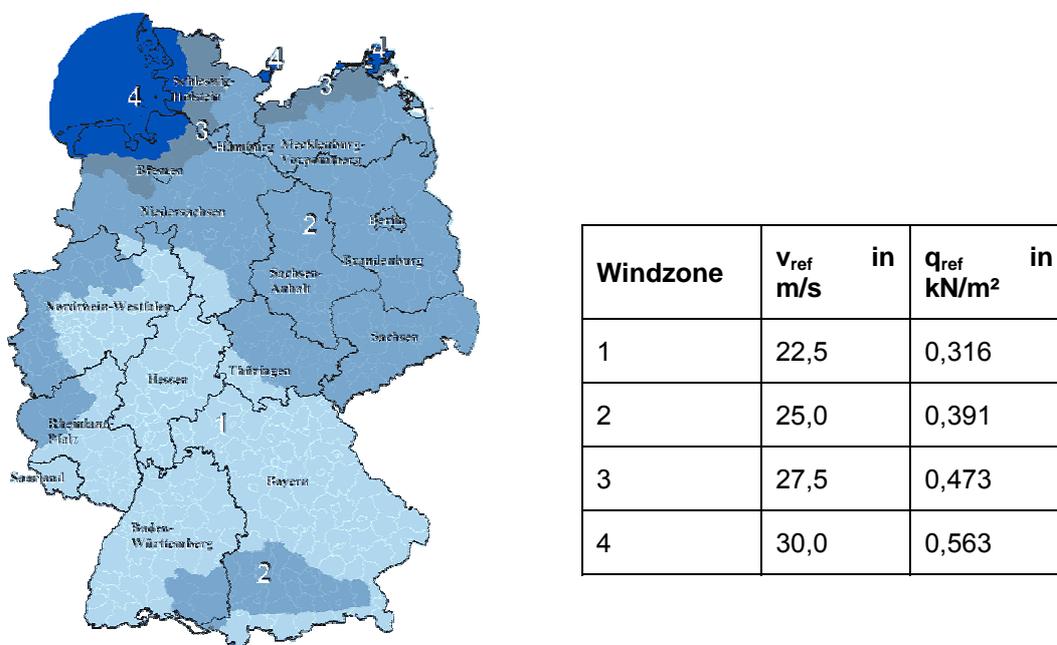


Bild 2.1: Windzonenkarte der DIN 1055-4:2005-03

Die neue Windzonenkarte in Bild 2.1 kann sich also auf die Erfahrung mit einer Reihe von Vorläufern abstützen. Sie hat darüber hinaus den Vorzug einer breiteren Datengrundlage, ist

also statistisch besser abgesichert als alles vorhergehende, weil jeder Sturm, der seit der ersten Fassung aufgetreten ist, die Datenbasis vergrößert hat. Durch die große Zahl der Messstationen, deren Daten der Deutsche Wetterdienst zur Verfügung stellte, wurde es möglich, ein sehr differenziertes, räumlich aufgelöstes Bild der Windzonen in Deutschland zu gewinnen.

Viele Einsprüche befassten sich mit der Erhöhung der Windlasten in küstennahen Gebieten. In Abschnitt 10.3 sind Regelprofile des Böengeschwindigkeitsdruckes angegeben. Daraus ergibt für einen Standort in Cuxhaven, der innerhalb eines Streifens von 5 km Breite von der Küste entfernt liegt, in 10m Höhe über Grund ein Böengeschwindigkeitsdruck von

$$q(10) = 2,3 \cdot q_{\text{ref}} = 2,3 \cdot 0,56 = 1,29 \text{ kN/m}^2.$$

In Frankfurt/ Main ist er dagegen mit

$$q(10) = 1,7 \cdot q_{\text{ref}} = 1,7 \cdot 0,32 = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

festgelegt. Der Unterschied spiegelt das tatsächliche Sturmklima wieder. Fordert man gleiches Sicherheitsniveau für beide Standorte, so muss man für entsprechend unterschiedliche Windlasten bemessen. Die alte Norm legte den einheitlichen Wert in 10m Höhe mit 0,80 kN/m² fest.

3. Die Auswirkung der Bodenrauigkeit

Je rauer die Geländeoberfläche ist, über die der Wind das Bauwerk anströmt, desto stärker nimmt - besonders in Bodennähe - die mittlere Windgeschwindigkeit ab. Gleichzeitig wächst die Turbulenzintensität an. In rauerem Gelände sinkt also die statische Grundlast, gleichzeitig steigt der relative Anteil der von den Böen verursachten Last an. Im Ergebnis vermindert Rauigkeit die gesamte, aus beiden Anteilen resultierende Windlast. Nur bei ausgeprägter Resonanz kann der dynamische Anteil vorherrschen und dadurch in rauerem Gelände zu höheren Beanspruchungen führen.

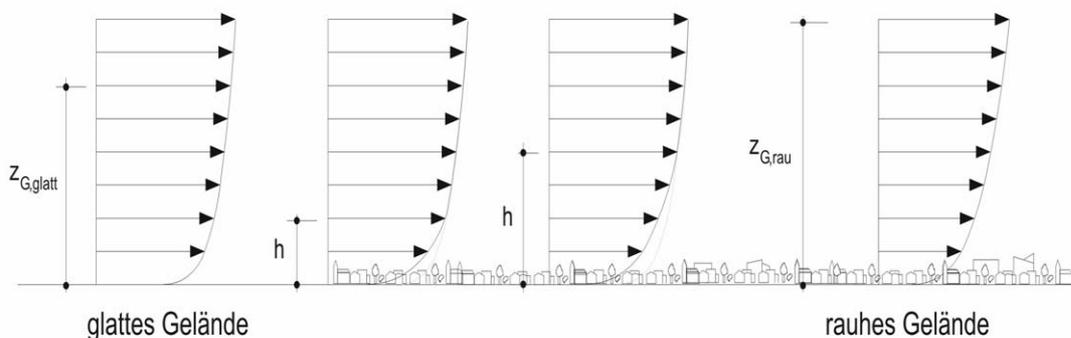


Bild 3.1: Entstehung eines Mischprofils bei Wechsel von glattem zu rauem Gelände

Der Bauwerksbestand liegt überwiegend in rauem Gelände wie Vorstädten, Industrie- oder Gewerbegebieten entsprechend Geländekategorie III oder in Stadtgebieten mit Geländekategorie IV. Die Bauwerke sind dabei mehr oder weniger weit von der Grenze entfernt, an der das Gelände rauer wird. In einer Übergangszone nach einem Rauigkeitswechsel stellen sich Mischprofile der Windgeschwindigkeit ein, denen sich die unterschiedlichen Geländerauigkeiten, die im Anlauf der Strömung vorliegen, aufprägen. Bild 3.1 zeigt das Entstehen eines Mischprofils nach einem Wechsel von glattem zu rauem Gelände. Ist das Bauwerk von unterschiedlich rauem Gelände umgeben, so hängen diese Effekte zusätzlich von der Windrichtung ab. Man liegt auf der sicheren Seite, wenn man den Windrichtungssektor mit der geringsten Rauigkeit für alle Windrichtungen zu Grunde legt.

Die Norm bietet in 3 Verfahren an, um den Einfluss der Bodenrauigkeit mit der jeweils gewünschten und erforderlichen Genauigkeit erfassen zu können.

Tabelle 3.1: Böengeschwindigkeitsdruck in den Windzonen in Abhängigkeit vom Geländetyp: I – offene See; II – offen, wenige niedrige Hindernisse; III - Vorstadt, Wald; IV – Stadtgebiete

Windzone mit v_{ref} in m/s		Böengeschwindigkeitsdruck in z m Bodenabstand $q(z)$ in kN/m^2 in Geländekategorie			
		I	II	III	IV
1	22,5	---	$0,67 (z/10)^{0,24}$	$0,51 (z/10)^{0,31}$	$0,35 (z/10)^{0,40}$
2	25,0	---	$0,82 (z/10)^{0,24}$	$0,63 (z/10)^{0,31}$	$0,43 (z/10)^{0,40}$
3	27,5	---	$0,99 (z/10)^{0,24}$	$0,76 (z/10)^{0,31}$	$0,52 (z/10)^{0,40}$
4	30,0	---	$1,18 (z/10)^{0,24}$	$0,91 (z/10)^{0,31}$	$0,62 (z/10)^{0,40}$
4	30,0	$1,46 (z/10)^{0,19}$	---	---	---

1. Sie definiert 4 Geländekategorien, wie sie in Tabelle 3.1 angegeben sind, und legt die zugehörigen Profile der Böenwindgeschwindigkeit und des Mittelwindes fest. Die Geländekategorie I ist ein sehr glattes Gelände wie z.B. Grasland ohne Bewuchs oder Bebauung, die Geländekategorie IV dagegen ein Gebiet mit dichter Bebauung, bei der wenigstens 15% der Oberfläche bebaut ist und die Gebäudehöhe im Mittel 15 m übersteigt. Der Tragwerksplaner kann mit diesen Vorgaben das Windprofil für den Bauwerksstandort bei Bedarf sehr genau festlegen und z.B. Lastminderungen in rauem Gelände wie Vorstädten oder Stadtzentren ausnutzen. Wenn der Standort in der Nähe eines Rauigkeitswechsels liegt, muss die Auswirkung erfasst werden.
2. Als Regelfall sind in der Norm Mischprofile nach Bild 3.2 angegeben, die ohne genauere Beurteilung der Geländerauigkeit am Bauwerksstandort und ggf. von Rauigkeitswechseln benutzt werden dürfen. Im Binnenland gilt ein Mischprofil II/III für den Wechsel vom glatten zu mäßig rauem Gelände. Für einen 5 km breiten Küstenstreifen gilt das Mischprofil I/II. Auf den Inseln der Deutschen Bucht gilt als Regelprofil die Geländekategorie I.
3. Für Bauwerke bis zu 25 m Höhe sind über die Höhe konstante Geschwindigkeitsdrücke angegeben. Sie beruhen auf den o.a. Regelprofilen und dienen der vereinfachten Anwendung bei häufig vorkommenden Fällen. Tabelle 3.2 ist der Norm entnommen. Die Werte hängen von der Windzone und dem Geländetyp ab. Sie sind für drei Bereiche von Gebäudehöhen angegeben. Beispielsweise findet man für ein 20 m hohes Gebäude in Hannover (Windzone 2, Binnenland) den Böengeschwindigkeitsdruck $q = 0,90 kN/m^2$. Er gilt konstant über die Bauwerkshöhe und darf nicht gestaffelt werden.

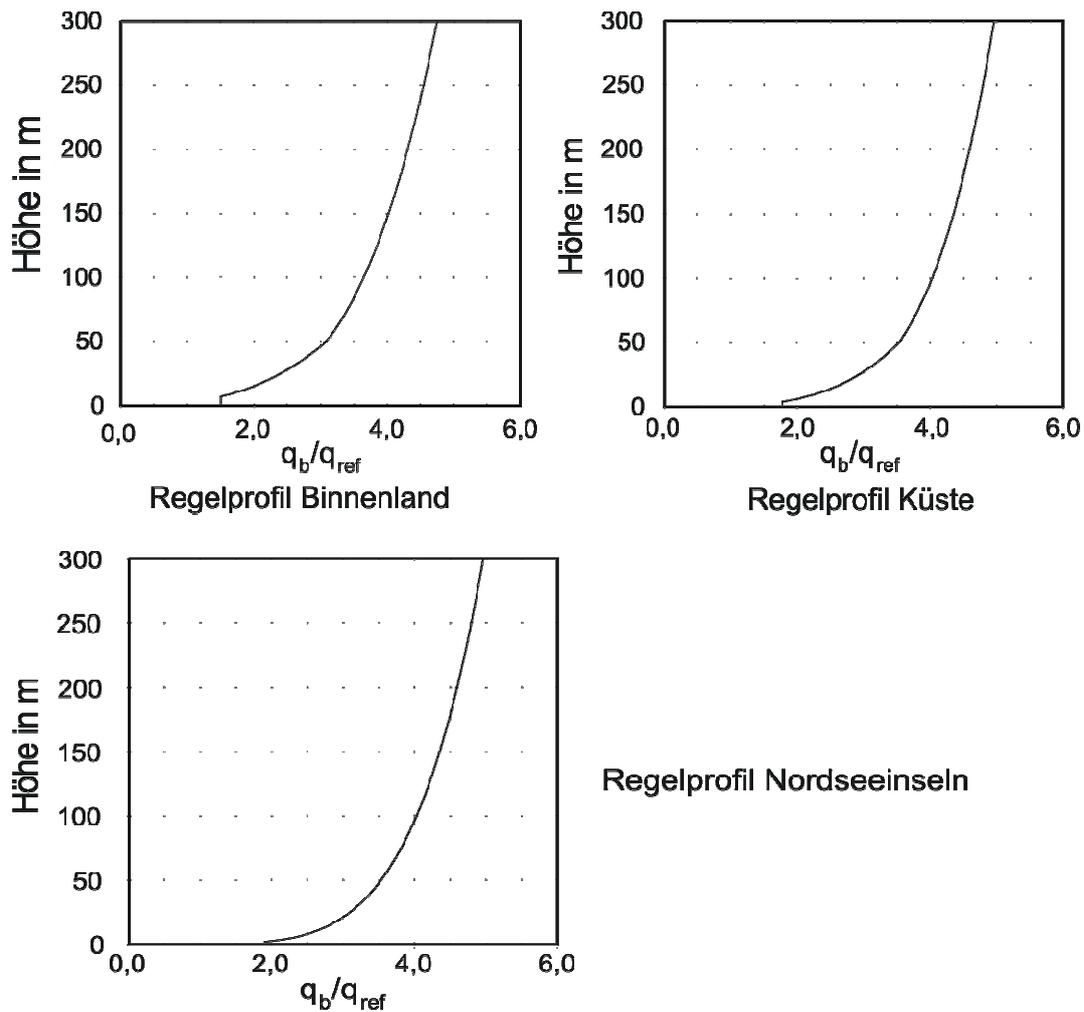


Bild 3.2: Regelprofile des Böengeschwindigkeitsdrucks

Tabelle 3.2: Vereinfachte Böengeschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 25 m Höhe

Windzone		Geschwindigkeitsdruck q in kN/m^2 bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
		$h \leq 10\text{m}$	$10\text{ m} < h \leq 18\text{ m}$	$18\text{ m} < h \leq 25\text{ m}$
1	Binnenland	0,50	0,65	0,75
2	Binnenland	0,65	0,80	0,90
	Küste und Inseln der Ostsee	0,85	1,00	1,10
3	Binnenland	0,80	0,95	1,10
	Küste und Inseln der Ostsee	1,05	1,20	1,30
4	Binnenland	0,95	1,15	1,30
	Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	1,25	1,40	1,55
	Inseln der Nordsee	1,40	–	–

Die Tabelle 3.3 zeigt einen Vergleich der 3 Verfahren zur Bestimmung des Böengeschwindigkeitsdruckes. Man erkennt, dass der Geschwindigkeitsdruck mit wachsender Geländekategorie erheblich abnimmt. Die Regelprofile sind Zwischenwerte. Bei Standorten am Rande großer Wasserflächen, z. B. am Rand des Bodensees, reicht das Mischprofil Binnenland oder der Wert der vereinfachten Annahmen nicht aus. Bei Wind über den See ist ein Windprofil der Geländekategorie I zu erwarten.

Tabelle 3.3: Böengeschwindigkeitsdruck in 15 m Höhe über Grund

Standort	Binnenland Windzone 1 $q_{ref} = 0,32 \text{ kN/m}^2$	küstennahe Gebiete Windzone 4 $q_{ref} = 0,56 \text{ kN/m}^2$
Geländekategorie I <i>Regelprofil Küste</i>	0,90 kN/m ² -	1,57 kN/m ² 1,44 kN/m ²
Geländekategorie II <i>Regelprofil Binnenland</i>	0,74 kN/m ² 0,63 kN/m ²	1,30 kN/m ² -
Geländekategorie III	0,58 kN/m ²	1,02 kN/m ²
Vereinfachte Annahmen für Gebäude bis 25m Höhe	0,65 kN/m ²	1,40 kN/m ²

4. Klimaänderung

Die Frage liegt nahe, ob eine mögliche globale Klimaänderung zu größeren Sturmstärken in Deutschland führt. Die langfristigen Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes wurden daraufhin geprüft, ob sich in ihnen ein Trend mit zunehmender Tendenz andeutet. Bild 4.1 zeigt als Beispiel die Aufzeichnungen der Messstation Düsseldorf Flughafen. Sie liefern offensichtlich keine Argumente, um Lasterhöhungen zu begründen. Sicherlich sind die Jahresextremwerte der Windgeschwindigkeit kein stationärer stochastischer Prozess, wenn man große Zeiträume von hunderten von Jahren betrachtet. Für eine absehbare Zukunft ist die Annahme jedoch tragfähig, dass die 50-Jahres Werte der Windgeschwindigkeit in der Windzonenkarte Bestand haben werden.

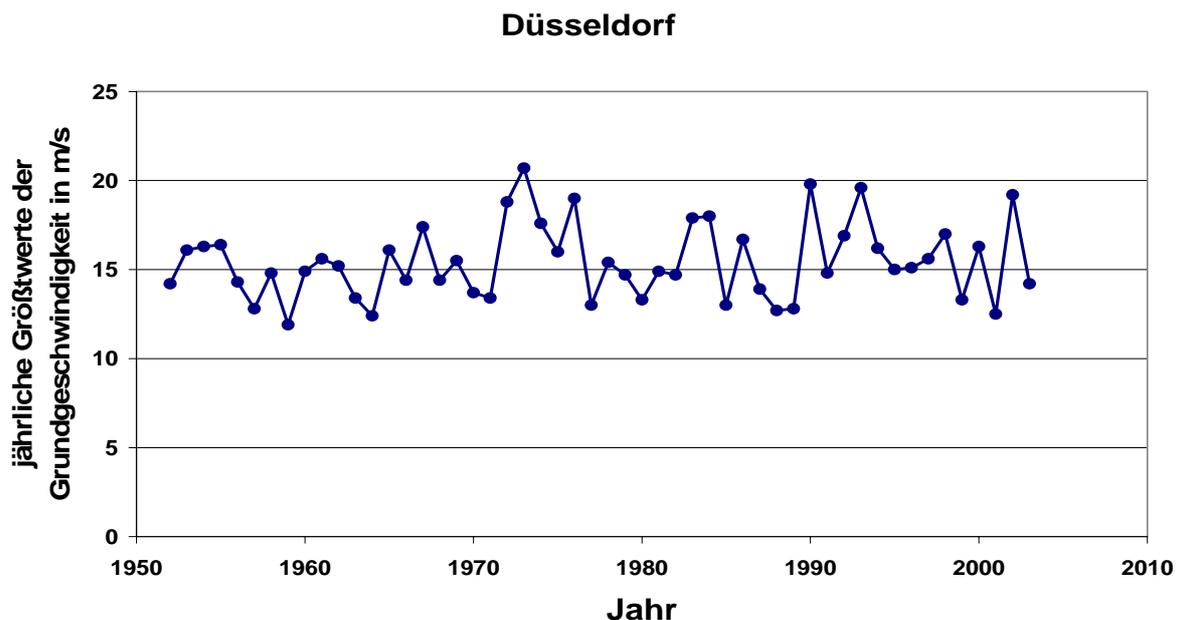


Bild 4.1: Jahresextremwerte der Windgeschwindigkeit am Flughafen Düsseldorf

5. Winddrücke

5.1 Allgemeines

Winddrücke erfassen die Verteilung der Windeinwirkung in den Flächen der Gebäudehülle. Sie sind immer dann zu benutzen, wenn die Art der Lastabtragung es erfordert, d.h. wenn die von der Windeinwirkung erzeugten Beanspruchungen nicht zutreffend mit Hilfe der Windlastresultierenden berechnet werden können. Typische Beispiele, in denen der Ansatz der resultierenden Windkraft nicht ausreicht, sind Fassaden, Hallenbinder, Dachtragwerke oder Schalenkonstruktionen. Bei schlanken Bauwerken wie Schornsteinen, Masten usw. oder stabartigen Bauteilen wie Fachwerkstäben u. ä. reicht es dagegen aus, die Einwirkungen als Gesamtwindkräfte oder verteilte Windkräfte, d.h. in Form von Einzel- oder Streckenlasten anzusetzen.

Bild 5.1 zeigt einige Fälle für den Winddruck auf Bauwerksflächen. Der Druck auf eine Körperoberfläche ist prinzipiell positiv, wenn sein Vektor auf die Fläche hin gerichtet ist. Er wirkt stets normal zur Kontur der Oberfläche. Der von Vorder- und Rückseite einer Wand resultierende Druck ist daher als Differenz der jeweiligen Drücke zu bilden. Im Fall c) gilt zum Beispiel:

$$W_{\text{net}} = W_{e1} - W_{e2}$$

wobei als positive Wirkungsrichtung des resultierenden Druckes die positive Richtung von w_{e1} definiert ist. Hierin ist man frei.

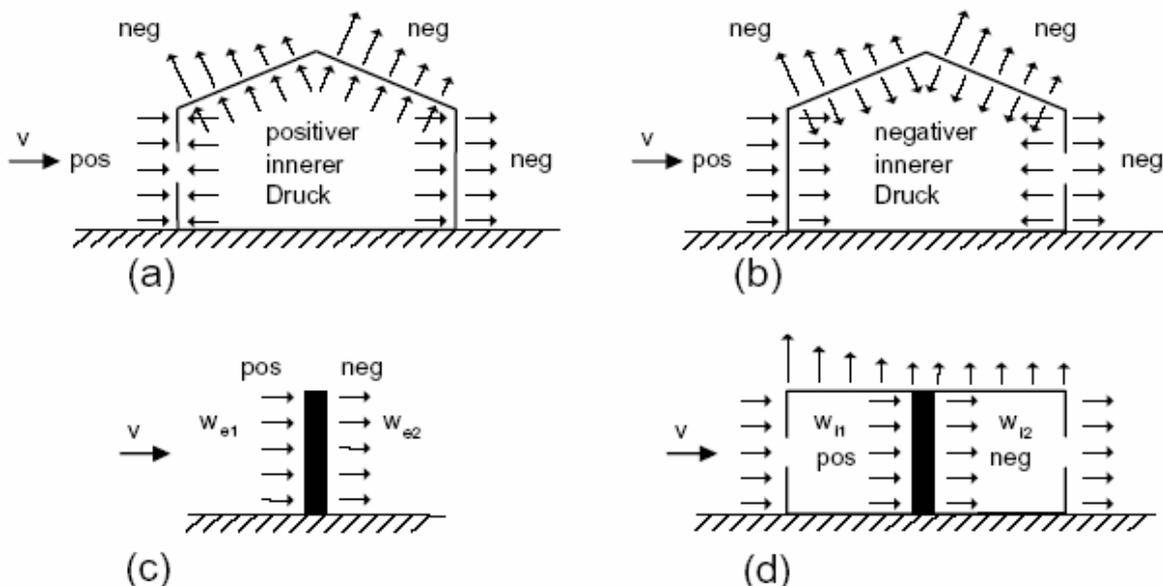


Bild 5.1: Winddruck auf innen und außen liegende Oberflächen

5.2 Innendruck w_i bei geschlossenen Baukörpern

In den Fällen a) und b) prägt sich der außen an einer Wandöffnung anliegende Druck dem gesamten Innenraum auf. Der Innendruck ist positiv, wenn die Wandöffnung im Bereich eines positiven Außendruckes liegt, Bild 5.1 (a). Er hängt also von der Größe und der Verteilung der Öffnungen ab. Die Norm enthält in Abschnitt 12.1.8 Regeln zur Ermittlung des aerodynamischen Beiwertes für den Innendruck. Sie legt im Übrigen folgendes Vorgehen fest:

- (1) Der Innendruck ist zu berücksichtigen, wenn seine Auswirkung ungünstig ist.

- (2) Er braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn der Öffnungsanteil der Außenwände unter 1% liegt. Türe und Tore werden in der Regel bei Sturm nicht offen stehen. Sie dürfen als geschlossen angesehen werden, es sei denn, es handelt sich um Fenster und Tore, die auch bei Sturm geöffnet werden, etwa in Krankenhäusern oder Feuerwachen.
- (3) Auf der anderen Seite gilt eine Wand mit mehr als 30% Öffnungsanteil als gänzlich offen und es greifen die Regeln für seitlich offene Baukörper in Abschnitt 12.1.9.
- (4) Der Ansatz des Innendrucks ist in der Regel nur dann erforderlich, wenn der Geschossgrundriss nicht unterteilt ist, wie z.B. bei Hallen, nicht jedoch bei üblichen Wohn- und Bürogebäuden.
- (5) Es ist möglich, dass eine Innenwand durch Winddruckunterschiede merklich belastet wird, s. den Fall (d). In einem solchen Falle empfiehlt die Norm für leichte Trennwände einen Nachweis.

Im Ergebnis dieser Regelungen wird es in den meisten Fällen ausreichen, nur den Außendruck zu berücksichtigen.

5.3 Außendrucke w_e

Die Außendrucke, die auf die äußere Oberfläche eines Bauwerks einwirken, berechnen sich aus dem Böengeschwindigkeitsdruck q in einer definierten Bezugshöhe z_e und dem dieser Bezugshöhe zugeordneten aerodynamischen Außendruckbeiwert c_{pe} :

$$w_e = c_{pe} \cdot q(z_e)$$

Die Erkenntnisse aus Winddruckmessungen in der Natur und in Grenzschichtwindkanälen haben zu folgenden Regelungen geführt. Für Winddrücke auf Dächer ist als Bezugshöhe z_e der höchste Punkt des Gebäudes, also die Firsthöhe oder die Höhe der OK-Attika, festgelegt. Im Gegensatz zum bisherigen Vorgehen wird der Winddruck auf das Dach also nicht mehr entsprechend dem Profil des Geschwindigkeitsdruckes q gestaffelt. Bei den Wanddrücken war die Anpassung an die experimentellen Ergebnisse schwieriger. Die Norm legt die Bezugshöhe in Abhängigkeit des Verhältnisses der Gebäudehöhe h zur Breite der Windangriffsfläche b fest, wie Bild 5.2 zeigt.

- (1) Bei gedungenen Baukörpern mit $h \leq b$ sind die Wanddrücke über die Gebäudehöhe konstant, und es ist der Geschwindigkeitsdruck in Höhe der Gebäude-OK, $q(h)$ anzusetzen.
- (2) Für $b < h \leq 2h$ werden die Wanddrücke einmal gestaffelt. Unterhalb einer Höhe $z_e = b$ ist der Geschwindigkeitsdruck $q(b)$ anzusetzen, oberhalb davon $q(h)$.
- (3) Ist $h > 2b$, so werden die Wanddrücke im Kopfbereich des Gebäudes von $z = (h-b)$ bis $z = h$ mit $q(h)$ berechnet, im Fußbereich von $z = 0$ bis $z = b$ mit $q(b)$ bestimmt und dazwischen in der Höhe z mit $q(z)$ ermittelt.

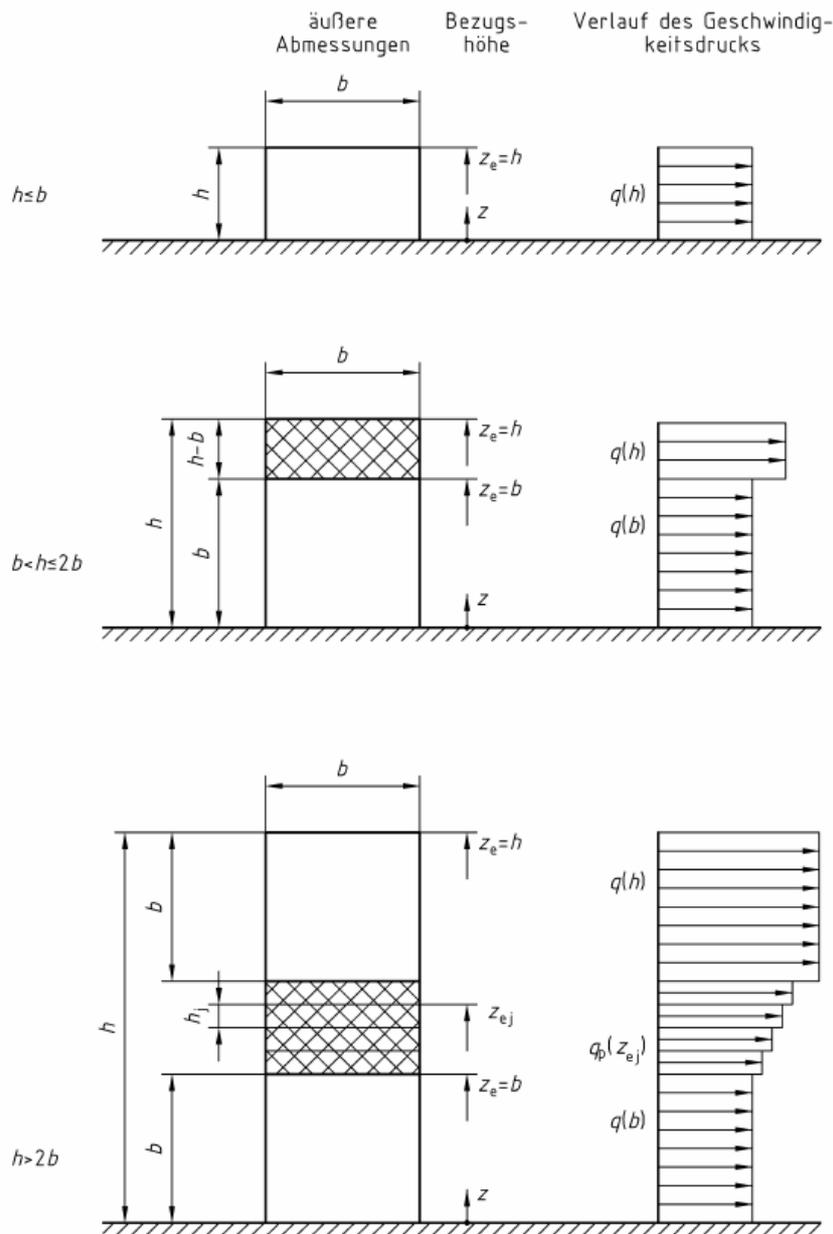


Bild 5.2: Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit der Schlankheit; b ist die Gebäudebreite quer zur Windrichtung, [1]

Die Wanddruckbeiwerte sind in Tabelle 5.1 zusammengestellt. Man unterscheidet die Beiwerte in Abhängigkeit der Lasteinzugsfläche A . Sie sind für lokale Lastspitzen auf eine Lasteinzugsfläche von $A = 1 \text{ m}^2$ und räumlich gemittelte Winddrücke auf $A = 10 \text{ m}^2$ angegeben. Die Unterschiede sind in den Randbereichen der Wand erheblich. Die Beiwerte für $A < 10 \text{ m}^2$ sind für die Verankerungen und Unterstützungen von unmittelbar vom Wind belasteten Bauteilen anzuwenden. Für die Fassadenelemente selbst können die Fachnormen auch auf die geringeren Lasten aus den $c_{pe,10}$ -Beiwerten zurückgehen. Für das Aussteifungstragwerk gelten die $c_{pe,10}$ -Beiwerte.

Tabelle 5.1: Wanddruckbeiwerte

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

Beispiel: Wanddrücke

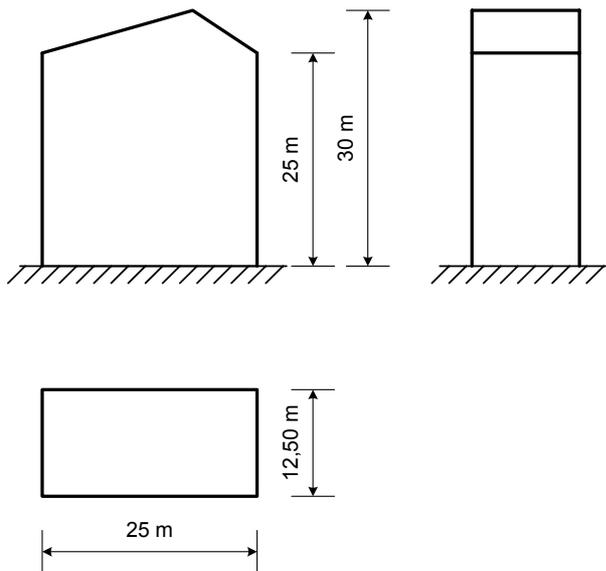


Bild 5.3: Beispiel für Wanddrücke: Gebäudeabmessungen

Bild 5.3 zeigt einen Baukörper mit Rechteckgrundriss. Es sollen die Winddrücke bei Wind in den beiden Hauptachsenrichtungen, die Druckverteilung zur Erfassung von Torsionseinwirkung und die Gesamtwindkraft ermittelt werden.

(1) Wind auf die Schmalseite

Bei Anströmung auf die Schmalseite entsteht die in Bild 5.4 gezeigte Belastung der Wände für den Nachweis des Tragwerks. Sie ergibt sich wie folgt:

Maßgebende Abmessungen

Höhe $h = 30$ m, Breite quer zur Windrichtung $b = 12,50$ m, windparallele Grundrisslänge $d = 25$ m.

Einteilung in Bereiche

$e = b$ oder $2h$, der kleinere Wert ist maßgebend: $e = b = 12,50$ m;

Breite des Bereichs A: $e/5 = 2,50$ m

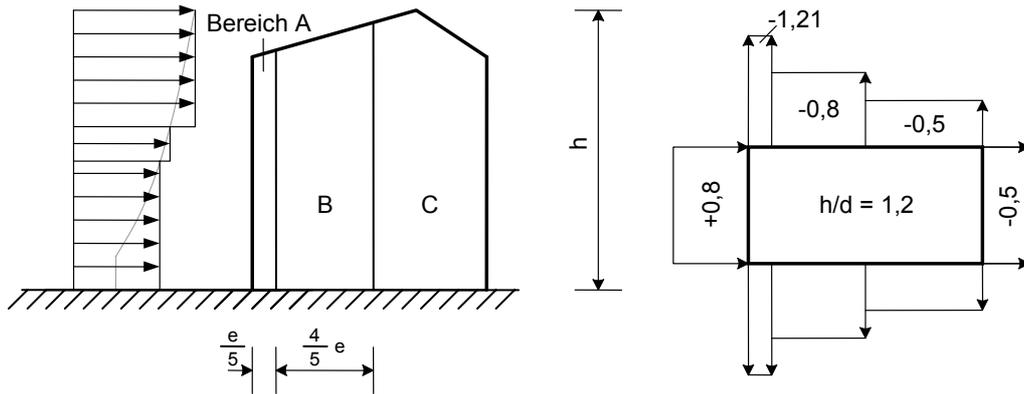
Breite des Bereichs B: $4e/5 = 10,00$ m

Breite des Bereichs C: $d - e = 25,00 - 12,50 = 12,50$ m

Außendruckbeiwerte $c_{pe,10}$ aus Tabelle 5.1:

Eingangsparameter $h/d = 30/25 = 1,20$:

Interpolation nur im Bereich A: $c_{pe,10} = -1,21$



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

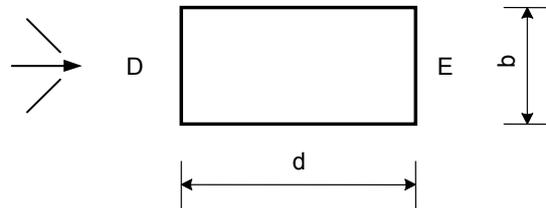


Bild 5.4: Aerodynamische Beiwerte $c_{pe,10}$ für die Winddrücke an den Wänden bei Anströmung auf die Schmalseite des Grundrisses

Bezugshöhe für den Geschwindigkeitsdruck

Die Bauwerkshöhe h ist $h = 2,40b > 2b$. Dafür ergibt Bild 5.2 eine Staffelung des Geschwindigkeitsdruckes in Abhängigkeit des Bodenabstands in 3 Bereiche wie in Bild 5.4 dargestellt.

(2) Wind auf die breite Grundrissseite

Bei Anströmung auf die breite Seite des Grundrisses zeigt sich das folgende Bild.

Maßgebende Abmessungen

Höhe $h = 30$ m, Breite quer zur Windrichtung $b = 25,00$ m, windparallele Grundrisslänge $d = 12,50$ m.

Einteilung in Bereiche

$e = b$ oder $2h$, der kleinere Wert ist maßgebend: $e = b = 25,00$ m;

Breite des Bereichs A: $e/5 = 5,00$ m

Breite des Bereichs B: $4e/5 = 20,00$ m ist größer als die maximal mögliche Breite. Die Breite des Bereichs B beträgt daher $d - e/5 = 7,50$ m

Breite des Bereichs C: C tritt nicht auf

Außendruckbeiwerte $c_{pe,10}$ aus Tabelle 5.1:

Eingangsparameter $h/d = 30/12,50 = 2,40$:

Interpolation nur im Bereich A erforderlich: $c_{pe,10} = -1,21$.

Bezugshöhe für den Geschwindigkeitsdruck:

Die Bauwerkshöhe ist $h = 1,20 \cdot b$. Es gilt in Bild 5.2 der Fall $b < h \leq 2b$. Dafür ergibt sich eine Staffelung des Geschwindigkeitsdruckes in Abhängigkeit des Bodenabstands in 2 Bereiche wie in Bild 5.5 dargestellt. Für die windparallelen Traufwände bleibt die Staffelung im Beispiel unwirksam, nicht jedoch für die Luv- und die Leewand.

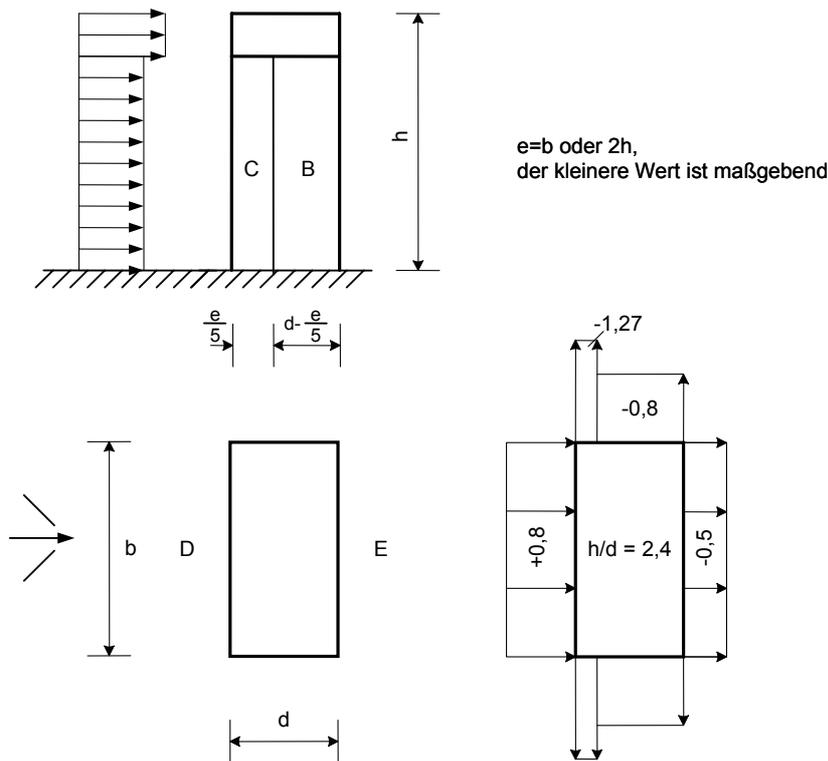


Bild 5.5: Aerodynamische Beiwerte $c_{pe,10}$ für die Winddrücke an den Wänden bei

(3) Windkraft

Bestimmt man die Windkraft als Resultierende der Winddrücke, so findet man häufig eine Abweichung zu dem Ergebnis, das man bei Verwendung des aerodynamischen Kraftbeiwertes nach Abschnitt 12.4 ff erhält. Wie eingangs erwähnt benutzt man Druckverteilungen, wenn die Windkraft nicht geeignet ist, die von der Windeinwirkung erzeugten Beanspruchungen zutreffend zu erfassen. Für schlanke, stabförmige Gebäude mit $h/d > 5$ ist die Verwendung von Kraftbeiwerten vorgeschrieben, um die Gesamtwindkraft zu berechnen (s. Anmerkung zu Tabelle 3 der Norm). Für gedrungene Gebäude mit $h/d < 5$ wird man in der Regel Winddrücke benutzen. Deren Resultierende kann von der Windlast, die mit Hilfe des Kraftbeiwertes berechnet wird, abweichen. Im hier untersuchten Beispiel zeigen sich folgende Unterschiede.

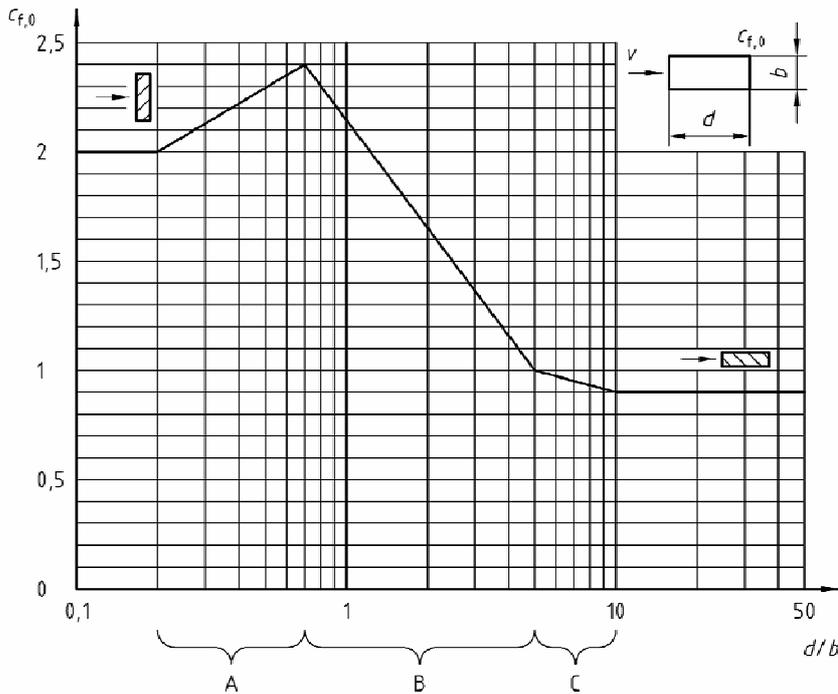
Resultierende der Drücke

Sowohl bei Anströmung auf die Schmalseite als auch auf die breite Seite des Gebäudegrundrisses ergibt sich derselbe Beiwert für die Windkraft als Resultierende der Drücke:

$$c_f = 0,80 - (-0,50) = 1,30$$

Windkraftbeiwert

Aus Abschnitt 12.4 der Norm erhält man Windkraftbeiwerte, die vom Seitenverhältnis des Grundrisses abhängen.

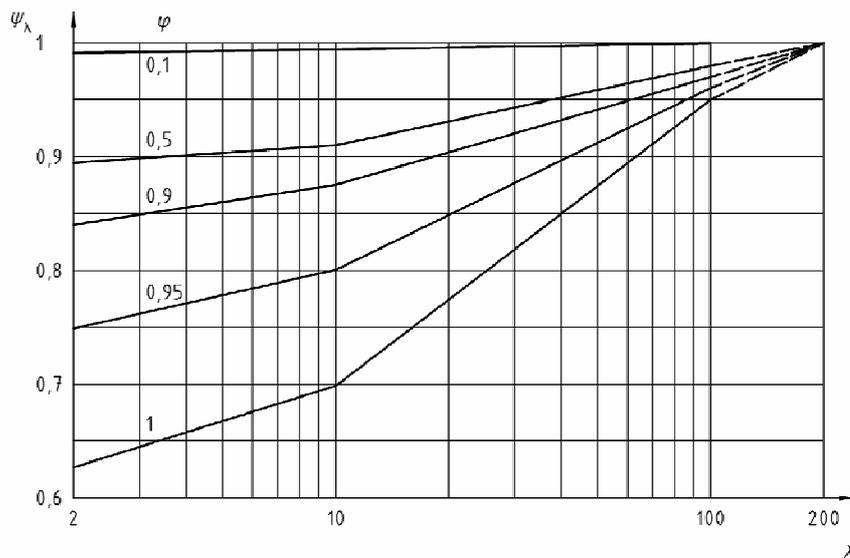


Gleichungen der Kurve in den Abschnitten:

$$\begin{aligned}
 \text{A} \quad c_{f,0} &= 0,3193 \cdot \ln(d/b) + 2,5139 \\
 \text{B} \quad c_{f,0} &= -0,7121 \cdot \ln(d/b) + 2,1460 \\
 \text{C} \quad c_{f,0} &= -0,1443 \cdot \ln(d/b) + 1,2322
 \end{aligned}$$

Bild 5.6: Grundkraftbeiwert $c_{f,0}$ von scharfkantigen Rechteckquerschnitten [1]

Hierbei handelt es sich um sogen. Grundkraftbeiwerte, s. Bild 5.6. Die Kurve ist aus Messungen an sehr schlanken Stäben abgeleitet, bei denen durch Endscheiben das Umströmen der freien Enden verhindert und auf diese Weise eine 2-dimensionale Strömung sichergestellt wurde. Die Grundkraftbeiwerte gelten daher für schlanke Bauteile wie Fachwerkstäbe o.ä. Im Gegensatz dazu wird bei Gebäuden das freie Ende 3-dimensional überströmt, die Strömung dringt ins Totwasser in Lee des Gebäudes ein und der Sog auf der Rückwand entspannt sich. Dieser Vorgang führt zu einer Abminderung der Windkraft gegenüber der 2-dimensionalen Umströmung, die umso größer ausfällt, je gedrungener das Gebäude ist. Die Windlastnorm führte in der Ausgabe 8/86 einen Abminderungsfaktor ψ_λ in Abhängigkeit der effektiven Schlankheit λ ein, der den Einfluss erfasst, s. Bild 5.7.



Gleichungen der Kurven

für $2 \leq \lambda < 10$: $\psi_\lambda = 0,7 + 0,10 \cdot (\lg \lambda - 1)$,

für $10 \leq \lambda < 100$: $\psi_\lambda = 0,7 + 0,25 \cdot (\lg \lambda - 1)$

Bild 5.7: Abminderungsfaktor des Grundkraftbeiwerts in Abhängigkeit der effektiven Schlankheit bei unterschiedlicher Völligkeit φ [1]

Wind auf die Schmalseite:

Der Grundkraftbeiwert bei $d/b = 25,00/12,50 = 2$ ergibt sich zu

$$c_{f,0} = 1,65 \quad c_{f,0} = -0,7121 \cdot \ln(d/b) + 2,1460 = 1,65.$$

Berücksichtigung der Schlankheit vermindert diesen Wert erheblich. Nach Tabelle 16 ist zu interpolieren:

$$l < 15\text{m}: \quad \lambda = 2 \cdot \frac{15,00}{12,50} = 2,40$$

$$l \geq 50\text{m}: \quad \lambda = 1,4 \cdot \frac{50,00}{12,50} = 5,60$$

$$l = 30\text{m}: \quad \lambda = 2,40 + (5,60 - 2,40) \frac{30,00 - 15,00}{50,00 - 15,00} = 3,77$$

Damit erhält man

$$\psi_\lambda = 0,65$$

$$c_f = \psi_\lambda c_{f,0} = 0,65 \cdot 1,65 = 1,07$$

Der Kraftbeiwert ist geringer als die Resultierende der Drücke. Davon unabhängig müssen die Einwirkungen, die sich aus dem Ansatz der Winddrücke ergeben, weitergeleitet und sicher in den Baugrund abgeleitet werden.

Wind auf die breite Grundrissseite

Seitenverhältnis $d/b = 12,50/25 = 0,50$ ergibt den Grundkraftbeiwert von

$$c_{f,0} = 0,3193 \cdot \ln(d/b) + 2,5139 = 2,29$$

Berücksichtigung der Schlankheit führt auf

$$l < 15\text{m}: \quad \lambda = 2 \cdot \frac{15,00}{25,00} = 1,20$$

$$l \geq 50\text{m}: \quad \lambda = 1,4 \cdot \frac{50,00}{25,00} = 2,80$$

$$l = 30\text{m}: \quad \lambda = 1,20 + (2,80 - 1,20) \frac{30,00 - 15,00}{50,00 - 15,00} = 1,89$$

Damit erhält man

$$\psi_{\lambda} = 0,63$$

$$c_f = \psi_{\lambda} c_{f,0} = 0,63 \cdot 2,29 = 1,44$$

Der Kraftbeiwert ist höher als die Resultierende der Drücke. Ursache ist der hohe Grundkraftbeiwert, der sich für den scheibenartigen Baukörper ergibt.

(4) Torsion

Eine Torsionswirkung der Windlast entsteht, wenn der Druck in den Außenwänden ungleichförmig verteilt ist. Ungleichförmige Druckverteilungen sind das Ergebnis der zeitlichen Abfolge der Böen, die mit unterschiedlicher Größe und räumlicher Verteilung auf das Bauwerk treffen. Um bei Verwendung von Windkräften das einwirkende Torsionsmoment zu ermitteln, gibt die Norm in Abschnitt 9.1 eine Ausmitte in Höhe von $e = b/10$ vor. Für Anzeigetafeln gilt eine höhere Ausmitte von $e = b/4$. Die Torsionswirkung ist natürlich auch dann zu berücksichtigen, wenn beim Nachweis des Haupttragwerks und der Gründung Winddrücke anstelle von Windkräften benutzt werden. Das Torsionsmoment ermittelt man in analoger Weise, indem man die aus den Winddrücken resultierende Windkraft berechnet und dafür die Ausmitte, wie sie für Kräfte vorgeschrieben ist, annimmt.

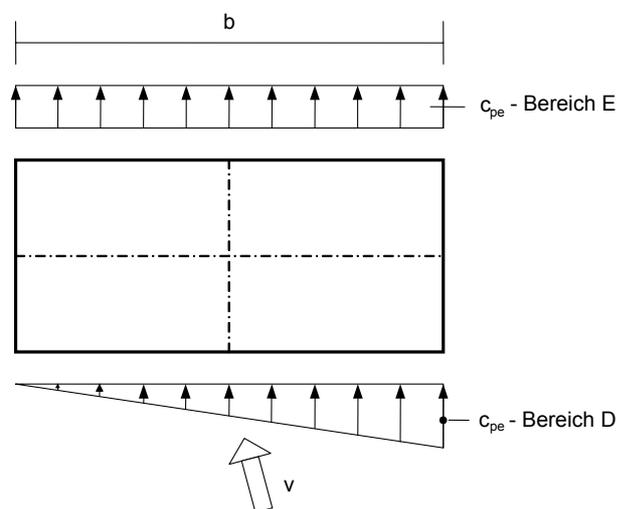


Bild 5.8: Wanddruckverteilung zur Erfassung der Torsionseinwirkung nach Eurocode [2]

Der Eurocode EN 1991-1-4 empfiehlt bei torsionsanfälligen Tragwerken den Lastansatz nach Bild 5.8. Da in diesem Fall die volle Windkraft nicht mehr zustande kommt, ist zusätzlich der Lastfall volle Windkraft ohne Torsion zu untersuchen. Der Eurocode bietet als alternatives Verfahren an, die günstig auf ein Tragwerksteil bzw. eine Tragwerksreaktion wirkenden Lastanteile zu vernachlässigen.

6. Abschließende Bemerkungen

Der Beitrag befasst sich mit der neuen Windlastnorm DIN 1055-4:2005-03, die seit dem 1.1.2007 eingeführt ist. Die Einführung von Windlastzonen stellt die in DIN 1055-100:2001-03 allgemein geforderte, operative Zuverlässigkeit in allen Baubereichen sicher. Sie führt in den Windzonen 3 und 4 zu einer Lasterhöhung, in den übrigen Gebieten Deutschlands zu gleich bleibenden oder sogar verminderten Windlasten.

Die erhebliche Auswirkung der Bodenrauigkeit auf die Windlasten kann der Tragwerksplaner je nach Windanfälligkeit des Bauwerks in verschiedenen Genauigkeitsgraden erfassen. Die Norm bietet dazu drei Verfahren an, um den Böengeschwindigkeitsdruck zu ermitteln.

Der Beitrag schließt mit einem Beispiel aus dem allgemeinen Hochbau für Winddrücke und Windkräfte. Dabei wird die Europäische Windlastnorm einbezogen. Die Norm erfasst auch turmartige Bauwerke aller Art. Weitergehende Darlegungen zu diesem Thema würden den Rahmen sprengen. Stattdessen wird auf den Beitrag [3] verwiesen.

Literatur

[1] DIN 1055-4:2005-03

Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten

[2] DIN EN 1991-1-4

Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen, Windlasten

[1] Niemann, H-J.: Windlasten für turmartige Bauwerke nach DIN 1055-4 neu. Betonkalender 2006, S. 365-406, Hrsg. K. Bergmeister und J.-D. Wörner, Ernst & Sohn, Berlin 2006