Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 134 (2008)
Heft: 29-30: Gegenwind

Artikel: Massgebend
Autor: Zimmerli, Bruno / Hertig, Jacques-André
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-108949

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 18.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

MASSGEBEND

Bei der Berechnung der Windeinflüsse gibt es konzeptionelle Unterschiede zwischen der SIA-Norm 261 und der Euronorm. Die Dokumentation D 0188[1] zeigt die wichtigsten Differenzen und soll als Bindeglied dienen. Sie beschreibt zudem das Konzept, die Neuerungen und die Grenzen der in der SIA 261 verwendeten Methoden. So ist die spektrale Dichtefunktion (Windspektrum) in diese Norm eingerechnet und wird bei der Bestimmung des dynamischen Faktors explizit verwendet. Damit wird die Böentätigkeit des Windes bis hin zum Sturm in den Staudrücken und in den verwendeten Druckbeiwerten berücksichtigt.[2]

Nebst dem Erddruck wirken Wind und Erdbeben horizontal auf Tragwerke und erzeugen die massgebenden horizontalen Kräfte. Dabei stehen die beiden letztgenannten Lastfälle in Konkurrenz zueinander. Reine Mauerwerksgebäude ohne Bewehrung können ab vier Geschossen die Bemessungswerte der Erdbebenkraft nur noch bei spezieller Anordnung der Tragwände im Grundriss aufnehmen. Bei massiven Stahlbetonbauten dominieren die Erdbebenkräfte die Bemessung bis zu 40 m Höhe. Erst bei Gebäudehöhen von annähernd 100 m und mehr ist der Wind in der Bemessung massgebend. Die Höhe, bei der die massgebende Einwirkung wechselt, hängt von spezifischen Faktoren ab: beim Wind von der Rauigkeit des umgebenden Geländes, vom Standort gemäss der Windkarte nach SIA, von der Schlankheit und der Form des Gebäudes – bei Erdbeben von der Gefährdungszone, der Steifigkeit des Gebäudes, der Bauwerks- und Baugrundklasse.

BEDEUTUNG DER WINDKRÄFTE

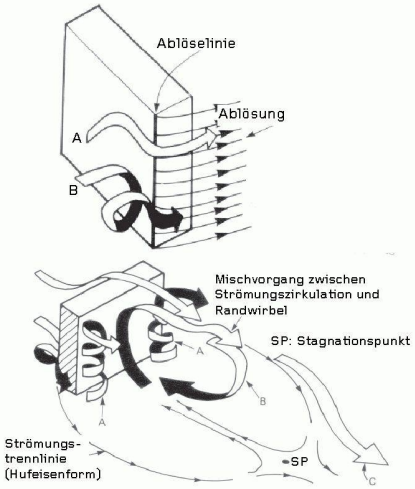
Wenn Planer Leichtbauten entwerfen, müssen sie den Wind als Einwirkung bereits ab kleinen Höhen über Terrain beachten. In der sogenannten Grenzschicht, die den Bereich zwischen der praktisch ungestörten Strömung in der Höhe (Gradientenwind) und der Erdoberfläche umfasst, sind nicht nur heftige Winde in der Höhe zu berücksichtigen, auch der Wind mit den sich ergebenden Böen knapp über dem Boden darf als Einwirkung nicht unterschätzt werden. Hier wirken etwa weit gespannte, schlanke Dachkonstruktionen, wie sie zum Beispiel bei neueren Stadionbauten üblich sind, durchaus als Windfang. Gewisse Dachformen nehmen wie Flügel Energie aus dem Wind auf und reagieren empfindlich auf Windeinwirkungen. In diesen Fällen sind Untersuchungen im Windkanal empfehlenswert. Oft ist aber auch die Gebrauchstauglichkeit, im Speziellen der Komfort, mit ein Grund, Windkanalversuche durchzuführen (siehe Artikel «Unkomfortabel»). Ebenso sind numerische Untersuchungen durch Windingenieure denkbar. Bei konventionellen Dach- und Fassadenkonstruktionen sind in den kritischen Randzonen generell genauere Untersuchungen der Windlasten erforderlich. Das trifft selbst für Dächer mit Ziegeleindeckungen zu, die trotz den im Vergleich zu anderen Dacheindeckungen höheren Eigenlasten abgehoben werden können. Entsprechende Normen des SIA geben Werte für solche Lasten an.

BEWEGUNGEN IN DER ATMOSPHÄRE

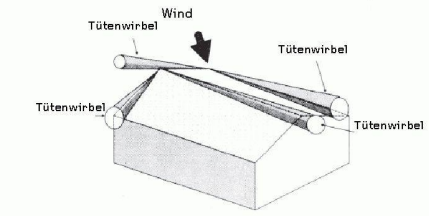
Die 2003 in Kraft getretene SIA-Norm 261 und ihre ergänzenden Festlegungen 261/1 führten in Bezug auf die Einwirkung Wind zu drei Problemen: Die Staudrücke wurden neu für das ganze Territorium der Schweiz festgelegt, was vor allem im Gebirge nicht mit einfachen Regeln zu lösen ist und gewisse Grundkenntnisse der Strömungsmechanik erfordert. Hinzu kommt, dass neue Bezeichnungen in der Euronorm eine gewisse Verwirrung ausgelöst haben: So wurden etwa die Druckbeiwerte ohne Änderung der Bedeutung von c_q in c_p umbenannt. Ausserdem konnte der dynamische Teil nicht eingearbeitet werden, da die Zeit für die Ausarbeitung der neuen Norm extrem kurz bemessen war.

01 In einem Dorfweiler im Vallée de Joux hat ein Tornado 1971 schwere Verwüstungen angerichtet. Im Hintergrund erkennt man eine Waldschneise, die der Tornado auf seinem Weg geschlagen hat (Bild: J.-A. Hertig)
02 Windströmungen um das Gebäude. Wo Ablösungen und Wirbel entstehen, sind negative Druckbeiwerte (Sog) zu erwarten (Bild: N. J. Cook[3])
03 Gebäude in der turbulenten Grenzschicht werden mit verschiedenen Strömungsbildern hinterlegt. Bei schiefer Anströmung sind vor allem die Tütenwirbel zu beachten – in den betroffenen Zonen treten höhere Sogwerte auf (Bild: N. J. Cook[3])
04 Vergleichende Messungen in der Natur und im Windkanal: Sie zeigen eine sehr gute Übereinstimmung (Bild: National Physical Laboratory[5])

01



02



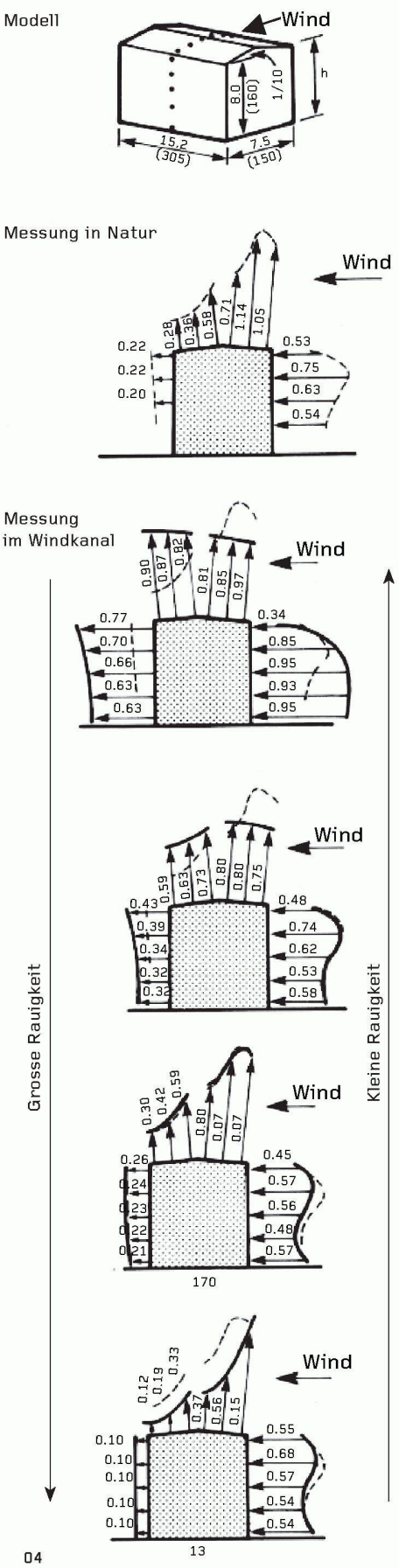
03

Die Dokumentation D 0188, 2006 herausgegeben, vereinfacht nun den Umgang mit den komplexen Einwirkungen des Windes auf Tragkonstruktionen. Um die physikalischen Prozesse des Windes zu verstehen und damit auch die Grundlage der Einwirkung zu erklären, werden verschiedene Zirkulationsmechanismen der Atmosphäre in der Sprache der Ingenieure diskutiert. Bedeutende Sturmphänomene wie Gewitter und Föhn werden erläutert. Alle diese Phänomene sind mit den Staudruckwerten der Norm abgedeckt und damit kontrollierbar – die üblichen Windprobleme der Praxis sind so mit den Normunterlagen abgedeckt. Wenn Planer und Bauherren diese Norm einhalten, ist die von der Gesellschaft geforderte Sicherheit erfüllt.

Ein aussergewöhnliches Ereignis wie ein Tornado (Bild 1) wird in unseren Breiten als akzeptiertes Risiko betrachtet. Dabei geht es nicht mehr nur um die Stabilität der Bauwerke und die Frage, ob sie den Winden standhalten, sondern auch um die zahlreichen durch den Wirbelsturm umhergeschleuderten Gegenstände, die mit grosser Kraft auf Gebäude einwirken. Viele Schäden sind also nicht auf Fehler oder unzureichende Kenntnisse der Ingenieure zurückzuführen, sondern basieren vielmehr auf politischen und ökonomischen Überlegungen sowie vor allem auf einer Unterschätzung der Gefahren.

WINDSTRÖMUNGEN IN DER GRENZSCHICHT

Windströmungen müssen für die Bemessung von Tragelementen rechnerisch erfasst und in Lasten umgerechnet werden – ein komplexer und schwieriger Vorgang, der in der Planung häufig zu Fehlern führt. Die SIA-Norm 261, die ergänzenden Festlegungen 261/1 und die Dokumentation D 0188 bieten den Ingenieuren Instrumente, die Realität zu abstrahieren und die Einwirkungen für die Bemessung vereinfacht, aber doch realitätsnah aufzubereiten. Die Dokumentation geht dafür erklärend auf die die Windströmung beeinflussenden Aspekte ein: Hindernisse wie Gebäude, Wälder und Hügel verursachen Wirbel, die in ihrer Gesamtheit die



04

mechanische Turbulenz bilden und den Windstrom bremsen. Abhängig von der Bodenrauigkeit stellen sich mit der Höhe über Boden unterschiedliche Geschwindigkeitsprofile ein (wird mit dem Profilwert c_h berücksichtigt). Dementsprechend unterscheiden sich die Druckverteilungen auf ein Gebäude in der turbulenten Grenzschicht von der in der laminaren Anströmung[4]. Für die Druckverteilung auf die Gebäudeoberfläche ist es darum wichtig, das Verhältnis von Gebäudehöhe zu Bodenrauigkeit (h/z_0) in der Anströmung des Gebäudes richtig zu erfassen. Dies hat M. Jensen[5] 1963 an einer Windkonferenz in Teddington demonstriert. Die Messungen in der Natur und im Windkanal haben bei gleichen Verhältnissen eine sehr gute Übereinstimmung gezeigt (Bild 4).

Mit Strömungsbildern (Bilder 2 und 3) lassen sich die Druckbeiwerte, die für die rechnerische Ermittlung der Kräfte auf Tragkonstruktionen erforderlich sind, im Anhang der Norm SIA 261 erklären: Sog- und Druckbeanspruchungen auf die Gebäudefassaden ergeben die negativen bzw. die positiven Beiwerte. In der SIA-Norm 261 sind erstmals in der Schweiz die Innen- und die Aussendrücke an einem Gebäude dargestellt (Bild 6).[6] Damit sollen künftig die häufigen Fehler in der für die Bemessung erforderlichen Überlagerung von Sog- und Druckkräften reduziert werden. Oft wurde bei Vordächern der von unten wirkende Druck in der Anströmrichtung vergessen.

Strömungseffekte auf Gebäudeformen sind zwar weitgehend bekannt, doch ist es schwer, die Strömung um das Gebäude rechnerisch zu erfassen. Das zeigen die unzähligen Publikationen aus dem Bereich Computational Fluid Dynamics (CFD), die oft nur Teillösungen liefern können. Die Hauptschwierigkeit liegt in der mathematischen Erfassung der Turbulenz in der Strömung. Die SIA-Norm 261 verzichtet hier sogar gänzlich auf Lösungsvorschläge. Instabilitäten der turbulenten Grenzschicht, wie Querschnittsdeformationsschwingung von grossen Zylindern, Galloping von Kabeln, Flattern oder auch das aeroelastische[7] Zusammenwirken bilden weitere Themen, die Gegenstand der Forschung und kontroverser Diskussionen sind. Das hat in der Euronorm dazu geführt, dass zwei Bemessungsvorschläge aufgenommen wurden, die um einen Faktor 10 voneinander differieren können. In der SIA-Norm 261 wird in diesem Bereich ebenfalls gänzlich auf Lösungsvorschläge verzichtet – Windingenieure können hier beratend wirken.

WIND IN DER SCHWEIZ

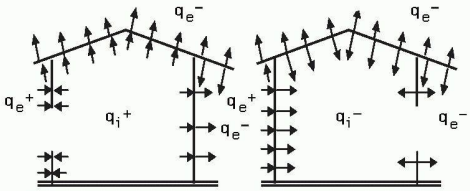
Geschwindigkeitsprofile und der dynamische Staudruck werden in der Praxis, abhängig von der Tradition und der Topografie, mit dem logarithmischen Gesetz oder dem Potenzialgesetz gerechnet. Die Schweiz verwendet bewusst das Potenzgesetz und nicht das logarithmische Gesetz, das im Windkanal und in der Natur bei konstanten Bodenrauigkeiten nur für den unteren Bereich der Grenzschicht zutrifft (innere turbulente Grenzschicht). Grund dafür ist der Jura, der den Verlauf der Windströmung bis weit ins Mittelland hinein stark beeinflusst. Zudem wechseln in der Schweiz Seen, Hügel und Ebenen so rasch, dass die Anlaufstrecken für neue Rauigkeiten kurz sind und man kaum grössere Landstriche findet, die nicht aus Übergangszonen unterschiedlicher Rauigkeiten gebildet werden.

Die Rauigkeit, die durch grossflächige Stadtgebiete entsteht, bremst den Wind ebenfalls. Der Profilwert c_h, der den Verlauf des dynamischen Staudrucks in der freien Anströmung zeigt, ist für Schweizer Städte aber nur bis 30 m Gebäudehöhe zugelassen, da ausgedehnte Gruppierungen von Hochhäusern fehlen. Bei höheren Gebäuden muss mit der Kurve für Ortschaften gerechnet werden (Figur 4 der SIA-Norm 261).

WINDLASTEN SIND KONSERVATIVE WERTE

Die über Jahre erfolgten Messungen im ANETZ (automatisches Wetterbeobachtungsnetz) von MeteoSchweiz haben ermöglicht, für alle Standorte in der Schweiz dynamische Staudrücke anzugeben. Diese fliessen mit den Druckbeiwerten in die Berechnung der Windlasten ein und sind in einer Karte in der SIA-Norm 261 erfasst (Bild 5). Das Konzept für die Ermittlung der Windlasten ist so gewählt, dass die Ingenieure ohne zusätzliche Überlegungen und ohne entsprechende Kenntnisse über Strömungen einen konservativen Wert für den Staudruck erhalten. Nur die strikte Befolgung der in der Dokumentation D0188

05



06

05 Da es unmöglich ist, jeden einzelnen Standort in der Natur mit einem Staudruckwert zu erfassen, wurden die speziellen Gegebenheiten von Gipfel- und Kammlagen mit zusätzlichen Hinweisen ergänzt. Die Übergangszonen sind nicht für Interpolationen gedacht

- Allgemein: 0.9 kN/m²
- Allgemein: 1.1 kN/m²
- Allgemein: 1.3 kN/m²
- Alpen: 1.1–3.3 kN/m²
- Alpen: 1.4–3.3 kN/m²
- Alpen: 3.3 kN/m²
- Jura: 2.4 kN/ m²

(Bild aus: SIA-Norm 261 «Einwirkungen auf Tragwerke» Anhang E «Referenzwert des Staudrucks»)

06 In der SIA-Norm 261 sind erstmals in der Schweiz die Innen- und die Aussendrücke an einem Gebäude dargestellt: Druckverteilung mit Vorzeichen auf zwei von links angeströmte Gebäude (Bild aus: SIA-Norm 261 «Einwirkungen auf Tragwerke», Seite 28)

beschriebenen einfachen «Regeln» und «Eigenschaften der Karte mit den Staudrücken der Norm SIA 261» erlauben es den Ingenieuren in Form einer verfeinerten Rechnung, realistischere Werte für den Staudruck zu bestimmen – die Ergebnisse sind jedoch meist immer noch konservativ. Wenn Sonderbauwerke zu lokalen meteorologischen Untersuchungen zwingen, sollte ein Windingenieur zugezogen werden. Das gilt auch für die bereits angesprochenen speziellen dynamischen Effekte wie Instabilitäten der turbulenten Grenzschicht, auf die die Dokumentation nur ansatzweise eingeht – es geht nur darum, die Ingenieure für diese Probleme zu sensibilisieren.

Bruno Zimmerli, Prof. Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, bruno.zimmerli@hslu.ch
Jacques-André Hertig, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, hertig@hetl.ch

Anmerkungen

1 J.-A. Hertig, B. Zimmerli: Dokumentation D 0188, Wind: SIA, Zürich 2006, Kommentar zum Kapitel 6 der Normen SIA 261 und 261/1, Einwirkungen auf Tragwerke (2003)
2 Lothar – der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Eidg. Forschungsanstalt WSL und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft Buwal (heute Bafu), 2001
3 N. J. Cook: The designer's guide to wind loading of building structures, Part 1 (1985) and Part 2 (1990). Butterworths, London
4 Laminare Strömungen sind nur für eine Reynoldszahl unter 2000 bis 3000 möglich
5 National Physical Laboratory: Proceedings of the Conference held at the National Physical Laboratory, Teddington, June 1963, Volumes I and II, London HMSO, 1965
6 Im Gegensatz zur Euronorm sind in der SIA 261 die Druck- und Sogbeiwerte auf die Dächer nicht nur von der Dachform abhängig. Die Höhe über Boden hat einen grossen Einfluss auf die Grösse der Werte auf dem Dach. Bei niedrigen Gebäuden streicht der Hauptteil der Strömung über das Dach, bei hohen vor allem auf den Seiten am Gebäude vorbei. Überlegungen zum Innendruck in der Euronorm wurden in der Dokumentation ergänzt
7 Schwingungen werden durch die Windströmung angeregt