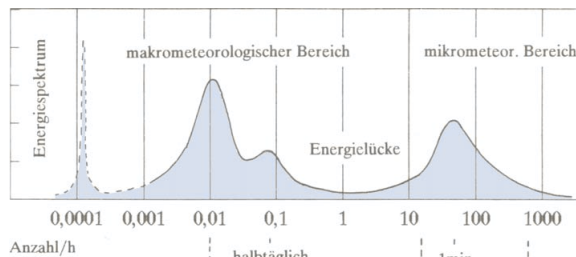


Windlasten

Windkräfte am Bauwerk schwanken zeitlich und räumlich. Sie wirken direkt auf die Außenflächen geschlossener Gebäude und indirekt über Öffnungen auch auf innen liegende Wände. Eine windgerechte Auslegung einer Tragstruktur - hier ausschließlich bezogen auf die gebäudeaerodynamische Problemstellung - erfordert eine Beurteilung folgender Aspekte:

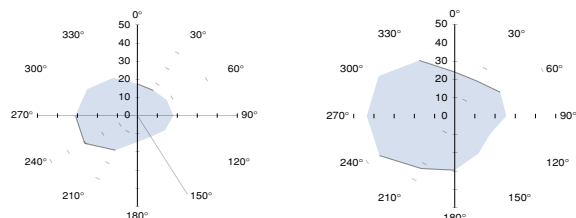
Extremwindklima

Das Spektrum des natürlichen Windes weist in der Regel drei charakteristische, energiereiche Frequenzbereiche auf, welche von den Jahreszeiten, den Großwetterzyklen (*makrometeorologisch, Stürme*) herrühren und durch Bodenreibung in der Grenzschicht erzeugt werden (*mikrometeorologisch, Böigkeit*).



Energie der Wirbelströmungen in der der Atmosphäre für verschiedene Frequenzbereiche, Jahresgang spekulativ, nach Davenport1963, Daten nach v. d. Hoven, 1957.

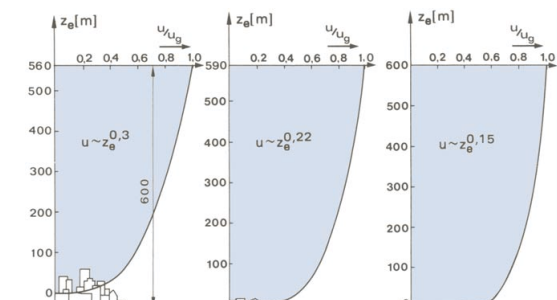
Bei der Beschreibung des Extremwindklimas eines betrachteten Standortes gilt es, die von der bodennahen Windströmung unabhängigen, klimatischen Extremwindereignisse zu prognostizieren (im Bild oben ist dies der Bereich links von der *Energierücke*). Die Maximalwerte der Windgeschwindigkeit werden als *Referenzwind* spezifizierter Dauer und Häufigkeit definiert.



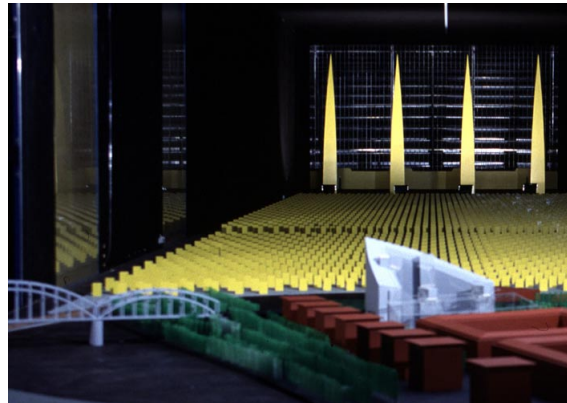
Unterschiedlich hohe 10-Min.-Mittelwerte (links) und 5s-Böenspitzenwerte (rechts) der Windgeschwindigkeit für verschiedene Windrichtungen an einem mitteldeutschen Standort für eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren bestimmt, Datenquelle: DWD.

Grenzschichtströmung

Die Erdoberfläche verzögert den ungestörten atmosphärischen Wind bis zum Stillstand am Boden. Einflussfaktoren sind die lokale Topographie sowie die natürliche oder künstliche Bodenrauigkeit. Für die Windlastberechnung sind Höhenprofile von Windgeschwindigkeit und Turbulenzintensität bereitzustellen.



Je nach Beschaffenheit des umgebenden Geländes oder der umgebenden Bebauung lassen sich zur Bemessung der Windlasten unterschiedliche Windprofile heranziehen, Sockel, 1984.



In Experimenten werden die Beiwerte für den Winddruck an der Gebäudehülle unter realistischen Bedingungen gemessen, Abb.: Modell 1:200 im Windkanal der ETH Zürich, 1997.

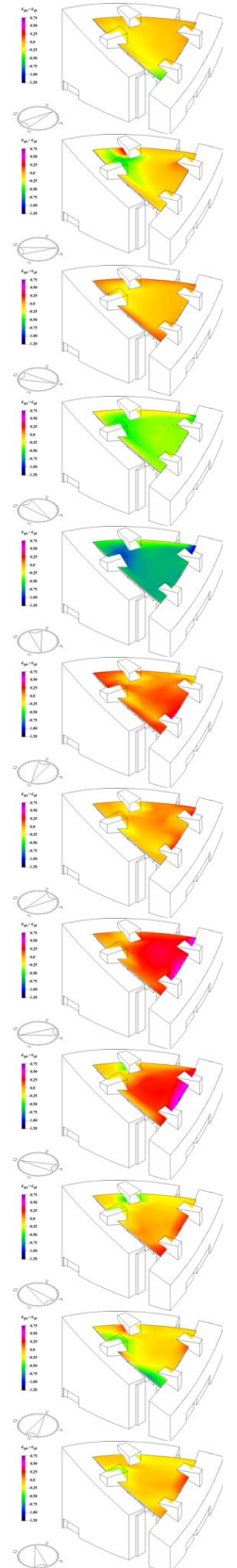
Gebäudeumströmung

Das Gebäude verdrängt die Grenzschichtströmung und erzeugt ein geometriespezifisches, bereichsweise instationäres Druckfeld. Von besonderem Interesse sind jene Bereiche des im allgemeinen komplexen Strömungsfeldes, wo starke Krümmungen der Stromlinien und Ablösungen der Strömungen von der Gebäudekontur auftreten. Je nach Art des Gebäudes ist mit echten Wechselwirkungen zwischen Druckschwankungen und Strukturverformungen bzw. Strukturbewegungen zu rechnen. Es wird grundsätzlich zwischen vier verschiedenen Wechselwirkungen von Grenzschichtströmung und Tragstruktur unterschieden: die statische Antwort und die statische Stabilität sowie die dynamische Antwort und die dynamische Stabilität.

Die Begriffe statisch und dynamisch beziehen sich dabei stets auf das Verhalten der Tragstruktur und dürfen nicht mit dem im allgemeinen instationären Grenzschichtströmung verwechselt werden. Als statisch wird die Wechselwirkung bezeichnet, wenn die Struktur als starr aufgefasst werden darf, als dynamisch, wenn durch Windwirkung wesentliche Trägheitskräfte innerhalb der Struktur wirksam werden. Beispiele der vier genannten Wechselwirkungen sind etwa das Druckfeld über einer Fassadenhaut (statische Antwort), die Torsionsdivergenz von Türmen (statische Stabilität), die Böenbeanspruchung eines weit gespannten Hallendaches (dynamische Antwort) oder die Lateralschwingung benachbarter Kühltürme (dynamische Stabilität).

Bei Antwortphänomenen geht es darum, die entsprechenden statischen Lasten oder dynamischen Beanspruchungen abzuschätzen und die Tragstruktur lastgerecht auszulegen. Im einfachsten Fall erschöpft sich diese Aufgabe in der Definition von aerodynamischen Druck- und Kraftkoeffizienten. Instabilitäten sucht man in der Regel gänzlich zu vermeiden, sei dies durch entsprechende modale Eigenschaften der Tragstruktur oder durch Beeinflussung der Strömungserregung.

Die Nachweisführung erstreckt sich im allgemeinen auf den Zustand des Versagens der Struktur (Tragfähigkeit), den Gebrauchszustand (Gebrauchsfähigkeit) sowie auf die wiederholte Nutzung (Ermüdungsfestigkeit). Für Auslegungszwecke werden alle an Gebäuden oder Bauteilen auftretenden Belastungen auf einen, dem Quadrat einer Windgeschwindigkeit proportionalen Vergleichsdruck, den Staudruck, bezogen. Der Staudruck dient als Referenz für den Druckbeiwert c_p , positive Beiwerte entsprechen einem Überdruck, negative Beiwerte bedeuten Unterdruck gegenüber der Umgebung.



Zur Ermittlung der maximal zu erwartenden Windlasten benötigt man den standortabhängigen Bemessungsstaudruck, d.h. den maximal innerhalb der Gebäudestandzeit zu erwartenden Staudruck, z.B. den, der statistisch gesehen einmal in 50 Jahren in einer Bö aufzutreten kann oder der innerhalb von 50 Jahren als Maximalwert des 10-Minuten Mittelwertes gemessen würde. Dieser Wert ist von der Höhe über Grund, der Mittelungszeit (z.B. 5s o. 10 min), und der angenommenen Wiederkehrperiode (z.B. 10, 50 oder 100 Jahre) abhängig und wird entweder den Normen entnommen oder z.B. aus örtlich verfügbaren Winddaten meteorologischer Institute nach den Methoden der Extremwertstatistik berechnet.

Die statische Windlast auf ein Fassadenelement ergibt sich aus der Summe aller wirksamen Druck- und Reibungskräfte. In den meisten Fällen sind die Reibungskräfte vernachlässigbar.

Zu beachten ist dabei, dass sich die Definitionen des Bezugstaudrucks, je nach verwendetem Windlastkonzept oder zugrunde gelegter Richtlinie unterscheiden können. Die an einer Bauteiloberfläche wirkenden örtlichen Über- und Unterdrücke errechnen sich als das Produkt aus örtlichem Druckbeiwert und dem Bezugstaudruck. Die Kraft auf ein einzelnes Bauteil lässt sich bestimmen, indem man die an allen (auch innen liegenden) Teilflächen wirkenden Teildrücke mit den entsprechenden Flächen multipliziert und die sich daraus ergebenden Druckkräfte unter Berücksichtigung ihrer Richtung aufsummiert. Nicht unerheblich ist dabei, dass auch im Innern der Gebäude Über- oder Unterdruck wirksam wird und für manche Bauteile (z.B. hinterlüftete Fassadenelemente oder an Doppelfassaden) die Differenz der an den gegenüberliegenden Seiten anliegenden Drücke maßgebend ist. Für die praktische Bemessung lassen sich für eine Vielzahl von Gebäudeformen die charakteristischen Beiwerte den geltenden Windlastnormen oder der Literatur entnehmen. Für dort nicht enthaltene Sonderfälle ist es sinnvoll, die benötigten Beiwerte in einem Modellversuch im Windkanal zu ermitteln. Geschoßlasten und Fundamentlasten können bei genügend dichter Messstellendichte durch flächen gewichtete Integration aus den externen Druckbeiwerten berechnet werden.

Windinduzierte Schwingungen können zu einem Versagen der Struktur führen, wenn ihre Amplituden groß genug werden. Allerdings treten besonders bei Hochhäusern unter Windeinfluss weitere Schwingungsformen auf, die zwar aufgrund ihrer geringen Amplituden und Beschleunigungen keine Gefahr für die Struktur darstellen, das Wohlbefinden der aber erheblich einschränken können. Als Grundlage für eine dynamische Analyse der Gebäudestruktur unter realistischen Bedingungen werden instationäre Messungen der Druckschwankungen an der Gebäudehülle im Grenzschichtwindkanal vorgenommen. Um Details der gebäudeinduzierten, periodischen Wirbelablösungen isoliert untersuchen zu können, bieten sich darüber hinaus Experimente in einem turbulenzarmen, aeronautischen Windkanal an. Mit geeigneten Waagen können dort auch die so entstehende n, anregenden Windkräfte von den Wirkungen der turbulenten Grenzschicht isoliert und zeitabhängig gemessen und aufgezeichnet werden.



Leistungen der GfA zum Thema Windlasten:

- **Extremwindklima:** Bereitstellung einer Extremwindstatistik für den Standort des Gebäudes für eine Bezugshöhe o. verschiedene Höhen.
- **Modellbau:** Herstellung geeigneter maßstäblicher Modelle für Experimente in Grenzschichtwindkanälen in Maßstäben von 1:500 bis 1:100 einschließlich der relevanten Umgebungsbebauung. Anbringen von Druckmessstellen an der Hülle der Modelle, geeignet für stationäre und in Sonderfällen für instationäre Messungen.
- **Winddruckbeiwerte:** Messung der maßgeblichen externen (in Sonderfällen zusätzlich internen) Winddruckbeiwerte an der Gebäudehülle im Grenzschichtwindkanal mit oder ohne Umgebungsbebauung gemäß den Vorgaben der einschlägigen Normen oder Richtlinien. Messung der Extrema der zeitabhängigen Winddruckbeiwerte nach der Quantilschwellen Methode zur Erfassung lokaler Spitzenlasten.
- **Gesamtlasten:** Flächen gewichtete Integration der im Grenzschichtwindkanal gemessenen, stationären Winddruckbeiwerte unter Berücksichtigung (soweit verfügbar) ermittelter Korrelationen und richtungsabhängiger Extremwindstatistik. Berechnung der maßgeblichen absoluten Beträge der windbedingten Fundament- und Geschoßlasten und -momente.
- **Einzellasten:** Zonierung der auf Fassadenelemente lokal absolut zu erwartenden Spitzenbelastungen durch Wind anhand der gemessenen Extremwerte (unter der Voraussetzung, dass Angaben über die Bauart der Fassade vorliegen).
- **Kraftmessungen:** Direkte statische und dynamische Messung der Fundamentkräfte- und Momente mit Hilfe von Waagen in turbulenzarmen Windkanälen zur Absicherung der integrierten Lasten und zur Detailuntersuchung von windinduzierten Schwingungsproblemen.
- **Dynamik:** Strukturdynamische Analyse von Gebäuden oder Gebäudeteilen als Grundlage zur Behandlung aeroelastischer Fragestellungen. Beurteilung der Schwingungsanfälligkeit und des Verhaltens des Gebäudes in böigem Starkwind. Untersuchung der Horizontalbeschleunigungen in den oberen Geschossen von Hochhäusern unter Berücksichtigung der Windstatistik zur Beurteilung des Komforts.

GfA – Gesellschaft für Aerophysik mbH

Aidenbachstraße 52
D-81379 München

Tel.: +49 89 7233081
Fax: +49 89 7233082
e-mail: info@gfa.de
Internet:
<http://www.gfa.de>

