

# Erweiterte Anwendung der DIN 1055–4:2005–03 mit Windgutachten – Teil 1

R.-D. Lieb, W. Mertens

## Zusammenfassung

Der Ansatz von Windlasten für die Gebäudebemessung erfolgt heute international bewährt durch die Bestimmung eines charakteristischen Staudrucks, der das Potenzial des Windes zum Lastaufbau am Standort beschreibt und anschließende Multiplikation mit Form- oder Druckbeiwerten, die die typische Reaktion des Windes am jeweiligen Baukörper beschreiben. Im einfachsten Fall lassen sich dazu beide erforderlichen Größen aus einer Windlastnorm, wie der seit Januar 2007 bauaufsichtlich eingeführten DIN 1055–4:2005–03 entnehmen. In komplexeren Fällen kann es erforderlich sein, Beiwerte im Windkanalversuch zu bestimmen oder meteorologische Eigenschaften des Standorts genauer zu berücksichtigen. Daneben gibt es eine Reihe von Anwendungen, in denen Windgutachten vielleicht nicht unbedingt erforderlich aber mit lohnenden wirtschaftlichen Einsparungen verbunden sein können. Einen Einblick in die Hintergründe solcher Windgutachten sollen die beiden Teile des nachstehenden Artikels liefern.

## 1 Bemessungsgröße charakteristischer Windstaudruck

Die lokale Windsituation wird durch den Bemessungsstaudruck beschrieben. Dieser kann von einer Windzone innerhalb des Landes abhängig sein, welche durch eine Grundwindgeschwindigkeit bzw. einen Referenzstaudruck gekennzeichnet wird. Beide Größen beziehen sich in der Regel auf das maximale Windereignis in 50 Jahren, den sogenannten 50-Jahreswind. Für sehr langlebige Bauwerke kann auch ein 100-Jahreswind herangezogen werden, der in der Regel nochmals 5–10% höhere Drücke aufweist. Im Gegenzug sind für temporäre Bauten auch Abminderungen zulässig, wie sie bereits in einem früheren Artikel an dieser Stelle diskutiert wurden. Das amerikanische Lastkonzept, bereits im Staudruck für besondere Gebäude (z.B. öffentliche oder kritische Infrastrukturen oder Industrien) bereits durch den „Importance Factor“ zusätzliche Sicherheiten aufzuschlagen hat sich in Europa aber nicht durchgesetzt. Dieses Konzept wurde in Deutschland vor Jahren erstmals in

### Dipl.-Ing. Rolf-Dieter Lieb

Institut für Industrieaerodynamik GmbH  
Institut an der Fachhochschule Aachen  
Welkenrather Strasse 120  
52074 Aachen  
Tel: +49 (0)241 879708–16  
lieb@ifi-aachen.de

### Dipl.-Ing. Wilfried Mertens, M.Sc.

Institut für Industrieaerodynamik GmbH  
Tel: +49 (0)241 879708–22  
mertens@ifi-aachen.de

der nie eingeführten Vornorm DIN V 1055–40 entworfen und ist später in die Entwicklung des europäischen Entwurfs ENV 1991–2–4 übernommen worden. Als klar war, dass keine allein verbindliche Euronorm verabschiedet würde, sind diese Ansätze in die Weiterentwicklung zur DIN 1055–4:2005–03 übernommen worden, finden sich aber systematisch gleichlautend auch in der Endfassung des Eurocodes EN 1991–1–4:2005–07, an dem sich auch viele andere Staaten, nicht nur der EU, bis hin zu Russland und der Ukraine im Osten für ihre neuen Normen orientiert haben. Dies erlaubt dem Fachmann eine einfache Übertragung der unten beschriebenen Verfahrensweisen auch über Europa hinaus.

Der Ansatz einer der vier Windzonen für eine Stadt oder ein Gebiet erfolgt in Deutschland nach der amtlichen Liste des DiBt, kann aber grob auch der Karte in Anhang A der DIN entnommen werden. Wie stets in der Normenarbeit sind die Windlastzonen als Einhüllende gewählt worden, so dass in ihrem Ansatz bereits für die meisten Standorte eine erste Sicherheitsmarge enthalten ist. Ausnahmen bilden Städte, die wie Berlin, Hamburg oder Köln auf der Grenze zwischen zwei Windzonen in der unteren Zone liegen.

Die Zuordnung des Windes erfolgt dabei unabhängig von der Windrichtung, um die Anwendung der Norm zu vereinfachen, da auch die Beiwerte des Normenkatalogs, wie unten noch erläutert, nicht windrichtungsabhängig aufgebaut sind. Lässt man das Windklima eines Standortes amtlich genauer bestimmen – zuständig ist eine Abteilung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Potsdam – ergibt die Statistik aufgeschlüsselt nach Windrichtungen allerdings, dass die den Windzonen zugrunde liegenden maximalen Sturmstärken aufgrund der Zugbahnen der Tiefdruckgebiete durchweg aus westlichen (240° – 300°) Windrichtungen auftreten. Für östliche Windrichtungen, welche meteorologisch dem so genannten Rückseitenwetter entsprechen, sind die auftretenden Stürme im Schnitt nur halb so stark. Selbst wenn man diese statistisch belegbaren Verteilungen nicht in vollem Umfang zu einer Abminderung der Lasten heranzieht, lassen sich daraus interessante Windlastreduktionen begründen, zumal auch nördliche und südliche Winde deutlich schwächer als westliche sind. Nur in Alpennähe sind aus Süden Föhnstürme, z.B. in München, bemessungsrelevante Ereignisse. Daneben werden in der Fachwelt immer wieder Sommerstürme diskutiert, welche überall und je nach Lage zum Bauplatz, aus quasi jeder Richtung auftreten können. Wie aber die Abminderung für ungesicherte temporäre Sommerbauten in der Tabelle 1 der DIN zeigt, welche solche Stürme natürlich umfassen muss, braucht ihre Stärke mit nicht mehr als 50% der 50-Jahresstürme angesetzt zu werden.

Da die Windreferenzwerte in der Meteorologie und auch in der DIN 1055–4 stets bezogen auf 10 m Höhe angegeben werden, muss für höhere Gebäude eine Umrechnung erfolgen. Diese wird üblicherweise für die Dachhöhe des Gebäudes

durchgeführt, da man sich international geeinigt hat, die in Grenzschichtwindkanälen bestimmten Lastbeiwerte auf die Anströmung in Dachhöhe zu beziehen. Das in der DIN in Kapitel 12.1 noch aufgeführte Stufenprofil des Windstaudrucks stammt aus früheren Systematiken mit Messwerten aus Windkanälen ohne Grenzschicht (siehe unten) und wird in Verbindung mit Windkanalmessungen nicht mehr verwendet, da die passende Bereitstellung von Beiwerten unnötig komplizierter ist und die Vergleichbarkeit der Beiwerte abnimmt. Obwohl diese Stufenfunktion auch in EN 1991-1-4 noch enthalten ist, haben sie viele EU-Länder in ihren nationalen Normen bereits gestrichen.

Die Zunahme des Windes mit der Höhe kann entweder durch einen Potenzialansatz wie in der DIN oder durch einen logarithmischen Ansatz, wie z.B. in der SiA 261, beschrieben werden. In jedem Fall ist er aber abhängig von der Geländerauigkeit im Vorlauf des Windes zum Gebäude. Dies beschreiben die vier Geländekategorien (GK) in Anhang B der DIN, welche mit römischen Ziffern zur besseren Unterscheidung von den vier Windzonen angegeben werden. Hierbei ist für Gebäude bis 50 m Höhe mindestens ein Umkreis von 5 km zu betrachten. Da das Umfeld oft mehrere Geländekategorien umfasst, erlaubt Anhang B ausdrücklich eine in 30°-Sektoren vorgenommene Differenzierung der Geländekategorie, die insbesondere bei Standorten an Gewässern Vorteile bringen kann. Allerdings erfordert dies tiefere Kenntnisse der Windrichtungsabhängigkeit der Normbeiwerte oder windrichtungsabhängige Beiwerte eines entsprechenden Gutachtens anzuwenden. Auch die meist für verschiedene Höhen ausgewerteten Daten in einem DWD-Gutachten berücksichtigen das standortspezifische Rauigkeitsprofil windrichtungsabhängig. Da die Ermittlung aber auf weiterführenden Berechnungen auch der umgebenden Topografie beruht, findet man hier meist kein eindeutiges Profil im Sinne der Geländekategorien mehr in den Daten.

In den Formeln des Anhang B der DIN wird der Bemessungstaudruck für den Böengeschwindigkeitsdruck  $q$  ermittelt, der daher in deutschen Windgutachten meist  $q_b$  oder  $q_{b\text{öe}}$  genannt wird. Die Formel enthält dazu nicht nur die Höhenkorrektur, sondern auch einen Faktor für die durch die Turbulenz bestimmte zusätzliche Intensität einer kurzen Gewitterböe (3 – 5 s Länge) über die Höhe. Daher sind die Exponenten für die mittlere und die Böengeschwindigkeit in den Tabellen B1 und B2 der DIN unterschiedlich. Die mittlere Windgeschwindigkeit ist dabei noch immer das maximale 10-min-Mittel des Windes in einem 50-Jahressturm, da aber das Böenspektrum oberhalb 10 Minuten Länge kaum Intensität zeigt, wird dieser Wert als Mittelwert bezeichnet. Dies ist wichtig für die unten beschriebene Auswertung von Messungen mit der Spitzenfaktormethode, weshalb auch der DWD in seinen Gutachten stets mittlere und maximale Geschwindigkeiten und Staudrücke auswertet. Leider wird die Anwendung dieser Gutachten durch die geringe Personalkapazität des DWD am Standort Potsdam hierfür leider stark beschränkt. Nach dem Sturm Kyrill war die Wartezeit für ein Gutachten zeitweise auf fast neun Monate angestiegen, was für normal verlaufende Planungsprozesse die Anwendung quasi ausschließt. Würde die Wartezeit unter drei Monaten liegen, ließe sich bei mindestens doppelt so vielen Projekten durch ein DWD-Gutachten ein wirtschaftlicher Bemessungsvorteil sichern. Kandidaten sind dabei Hochhäuser ebenso wie Stadien oder Brücken.

## 2 Ermittlung und Anwendung von Beiwerten für die Windwirkung

Wie eingangs beschrieben, wird die Wirkung des Windes auf einen Baukörper durch die Druck- oder Formbeiwerte beschrieben. Diese dimensionslosen Kennzahlen beschreiben die relative Druckwirkung auf einen Bereich der Gebäudehülle, den Innendruck oder im Fall der Formbeiwerte gleich die resultierende Kraft an einem ganzen Bauteil, etwa einem Fahnenmast. Sie beruhen durchgängig auf Versuchen in Windkanälen, für die die lokal gemessenen Druckwirkungen in Bezug zum Staudruck der Anströmung im Windkanal gesetzt wurden. Da allerdings beide Größen teilweise starken zeitlichen Schwankungen (schon bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken, die schwingungsanfälligen seien einem künftigen Beitrag überlassen) unterliegen kommt es auf die statistische Auswertung an, um nachher zeitunabhängige Kennwerte zu erhalten. Man unterscheidet hierzu die quasistatische und die Spitzenfaktormethode, die daher unten näher erläutert werden.

Die Windlastnormen bedienen sich als Grundlage der Bemessung der quasistatischen Methode. Die Beiwerte liegen als zeitliche Mittel richtungsunabhängig vor und werden mit dem Böenstaudruck multipliziert. Der Beiwertekatalog der DIN ist über die Jahre gewachsen und nach Einführung der Grenzschichtwindkanäle weiter verfeinert worden. Dennoch ist er keinesfalls abschließend. Er enthält weder komplexere noch zusammen gesetzte Baukörper und macht keine Aussage zur Wirkung der benachbarten Bebauung! Immerhin kennt die britische Norm BS 6399-2:1997 die Anwendung eines Aufschlags für Düsenwirkungen („funneling effect“) in Straßenzügen. Dies begründet sich aus der meist größeren Exposition eines einzelnen Gebäudes, als Solitär (ohne Umgebungsbebauung) in Windgutachten bezeichnet. Im Windkanal wird daher stets mit und ohne Umgebungsbebauung gemessen, wenn Windlasten bestimmt werden sollen. Die jeweils ungünstigeren Ergebnisse sind dann auf der sicheren Seite für die Bemessung heran zu ziehen. Dennoch liegen die Windkanalergebnisse für die gemittelten Beiwerte der Tragstruktur, wie die Beispiele am Ende zeigen, meist deutlich unter den Normansätzen und können insbesondere bei hohen oder verschachtelten Baukörpern wesentliche Einsparungen begründen.

Eine weitere Herausforderung ergibt sich für Tragwerke, welche sensibel auf asymmetrische Lasten reagieren, da hierfür die Beiwerte windrichtungsabhängig aufbereitet sein müssen. Dies ist wiederum nur mit großer Erfahrung oder einem Windkanalversuch möglich. Um die sichere Anwendung von Windgutachten zu unterstützen, haben sich die entsprechenden Fachleute Deutschlands, Österreichs und der Schweiz in der Windtechnologischen Gesellschaft WtG zusammen geschlossen. Diese fördert nicht nur den fachlichen Austausch und ist Mitglied entsprechender internationaler Vereine, sondern beschreibt mit den WtG-Richtlinien klare Anforderungen an Windgutachten und Windkanalversuche und sichert mit Ringversuchen gleiche Ergebnisse zwischen den Windkanälen der Mitglieder. Daher wird die Anwendung der WtG-Richtlinien auch in der DIN 1055-4:2005-03 für die Einbeziehung von Windkanalergebnissen in eine Normbemessung gefordert.

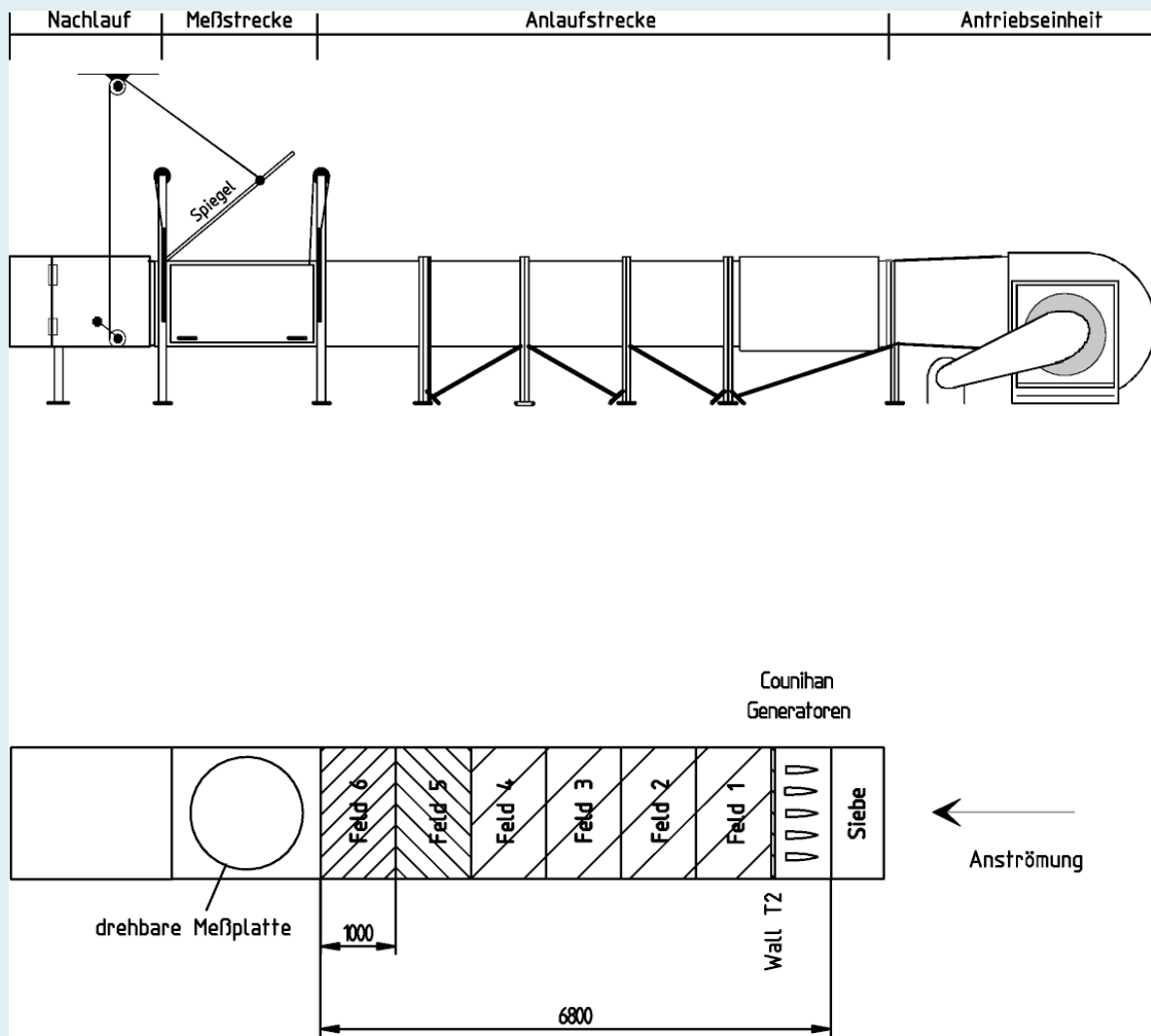


Bild 1. Schnitt und Grundriss eines kleinen Grenzschichtwindkanals; gut erkennbar der lange Vorlauf zur Sicherung von Turbulenz- und Grenzschichtprofil vor dem Untersuchungsbereich mit der Drehplatte.

### 3 Durchführung eines Windkanalversuchs

Internationaler Standard ist heute die Verwendung von sogenannten Grenzschichtwindkanälen für die Messung von lokalen Drücken an den Fassaden und Gesamlasten an ganzen Bauwerken. Durch den Einbau spezieller Turbulenzgeneratoren im Anlauf sowie von Rauigkeitsplatten und kleinen Zäunen in einer längeren Vorlaufzone werden Grenzschichtprofil und Turbulenzgrad des Windkanals in Übereinstimmung mit der Natur gebracht. Das Auswechseln der Rauigkeitsplatten erlaubt zudem eine Anpassung an die jeweils zu untersuchende Geländekategorie. Auf einem Drehteller (Bild 1) wird dann der zu untersuchende Baukörper und seine Umgebungsbebauung aufgebaut und für jede Windrichtung ausgerichtet. Ggf. muss auf dem Drehteller auch ein Teil der umgebenden Geländetopografie nachgebaut werden, um zu korrekten Ergebnissen zu gelangen. Eckige Baukörper brauchen im Windkanal nur maßstäblich platziert zu werden. Da die Strömung und insbesondere der Strömungsabriss am Gebäude durch dessen Kanten vorgegeben sind, verhält sich das Druckfeld nahezu unabhängig von der Anströmgeschwindigkeit und die dimensionslosen Druckbeiwerte können auf alle Windfragen übertragen werden. Runde Baukörper sind eine größere Herausforderung,

da die Lage der Ablöselinien der Strömung mit den dahinter liegenden Wirbelbereichen vom Verhältnis des Durchmessers zur Anströmgeschwindigkeit und Zähigkeit der Luft abhängt, welche durch die Reynoldszahl ( $Re$ , das Verhältnis der Trägheits- zu den Reibungskräften in der Strömung) beschrieben werden. Runde Türme können im Sturmfall  $Re$ -Zahlen bis weit über  $10^7$  aufweisen. Die Strömung wird dann als transkritisch bezeichnet und ergibt wesentlich niedrigere Formbeiwerte als eine laminare Strömung ( $Re < 10^5$ ). Im Windkanal ist aber meist nur eine aufgrund des Vorlaufs gerade turbulente (bezeichnet als überkritische) Strömung ( $10^7 > Re > 10^5$ ) erzielbar. Nur in großen Tieftemperaturwindkanälen lassen sich tatsächlich transkritische Verhältnisse erzeugen. Man kann jedoch zeigen, dass die transkritische Strömungsform sich auch durch zusätzliche Rauigkeit der Modelloberfläche nachbilden lässt. Die WtG-Richtlinien sehen dies vor und beschreiben die Methodik um zu überprüfen, dass die Strömungsform tatsächlich der  $Re$ -Zahl der Großausführung entspricht. Um sowohl die lokalen, als auch die globalen Lasten an einem Gebäude sicher bestimmen zu können, ist es erforderlich die Modelle mit einem an die Aufgabe angepassten Messstellennetz zu versehen. Dazu wird das meist aus Plexiglas oder Metall, in besonderen Fällen auch unter Verwen-

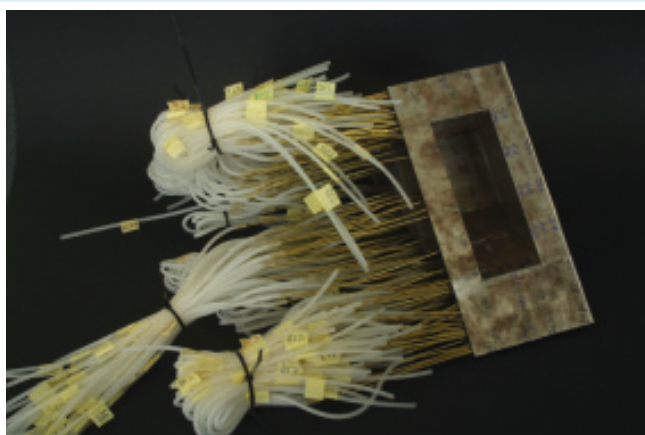


Bild 2. Blick auf ein fertig verschlauchtes Druckmessmodell vor Einbau in die Drehplatte.

derung von Rapid-Prototyping aus Gießharz oder Sintermaterial, bestehende Modell mit Messbohrungen versehen, die einen Durchmesser von 1 mm nicht überschreiten sollten. Die Strömungsablösung an den Gebäudekanten erzeugt viele kleine Wirbelstrukturen, die nur in unmittelbarer Nähe zur Kante in voller Stärke gemessen werden können. Daher sind in einem Abstand von 1–2 mm von den Kanten im Modell bereits die ersten Bohrungen angeordnet. Kurz dahinter ist eine zweite Reihe erforderlich, um die Abnahme dieser gebäudeerregten Turbulenz über die Fassade feststellen zu können. Ähnlich wird an Dachkanten oder Baukörperverschneidungen vorgegangen, bevor die restlichen Flächen gleichmäßig aber meist mit größeren Abständen mit Mess-

stellen versehen werden. Selten kommt ein nicht nur einfach kubisches Gebäude daher mit weniger als 200 Messstellen aus. Bei komplexeren Geometrien sind auch Vielfache dieser Anzahl nicht selten. Von jeder Messstelle führt ein dünner Schlauch zum Messaufnehmer. Um auch die schwankenden Drücke amplitudengetreu zu messen, sind typische Schlauchlängen ca. 200 bis 300 mm. Im Inneren der Modelle kann es bei vielen Messstellen dann mitunter reichlich eng werden. Ein Beispiel zeigt Bild 2.

Die eigentliche Messung wird dann im Grenzschichtwindkanal meist in 50°-Schritten (12 Windrichtungen), entsprechend der Einteilung der meteorologischen Windsektoren oder auch ausgerichtet auf Gebäudenord vorgenommen. Kleinere Winkelschritte, z.B. 15° sind möglich, erhöhen aber den Aufwand bei nur gering steigender Aussagekraft. Dies ist begründet aus der bereits turbulenten Anströmung im Windkanal und der mit den Turbulenzgeneratoren erzeugten Böenstrukturen. Diese kann man sich als große stehende Luftwalzen mit einem typischen Durchmesser von rund 50 m in der Natur vorstellen. Beim Durchlauf einer solchen Walze ändert sich nicht nur die (Böen-) Windgeschwindigkeit, sondern auch die Anströmrichtung lokal am Baukörper, sodass der Versuch bei einer Windrichtung im Grenzschichtkanal bereits Aussagen für einen ganzen Winkelbereich in den Beiwerten enthält. Hätte man laminare (z.B. Luftfahrt-) Windkanäle verwendet, wären die Windrichtungsschwankungen sehr viel geringer und es müsste in Schritten unter 10° untersucht werden, um alle Effekte sicher zu erfassen. Wie in der Auswertung der nun gemessenen Druckbeiwerte weiter verfahren wird und wie aus zeitlich schwankenden Werten die statistisch abgesicherten Maximallasten gewonnen werden behandelt der zweite Teil dieses Artikels.