

Windlasten

Der zweite Teil der Artikelsrie zum Thema „Statik in der Veranstaltungstechnik“ widmet sich ausschließlich dem Thema „Windlasten auf Konstruktionen der Veranstaltungstechnik“. Wiederum ist Feedback erlaubt und gewünscht!

Bis zu welcher Windstärke müssen Bühnendächer stand-sicher sein? Was muss ein Betreiber eines Bühnendachsystems bei aufkommendem Sturm beachten? Kann eine Konstruktion bei Gefahr abgebaut werden? Können Planenflächen abgetakelt werden?

All diese Fragen werden aktuell viel diskutiert. Aus diesem Grund widmen wir den zweiten Teil unserer Reihe ausschließlich dem Thema Windlasten auf Konstruktionen der Veranstaltungstechnik.

Grundsätzlich stellt sich zunächst einmal die Frage, warum sind Windlasten auf Konstruktionen der Veranstaltungstechnik anders als auf herkömmliche Bauwerke? Die physikalischen Zusammenhänge sind natürlich für alle Bauwerke gleich. Der Hauptunterschied liegt darin, dass aufgrund der temporären Aufstellung der Konstruktion eine Windlastreduzierung unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist.

Windlasten sind in Normen geregelt. Für Konstruktionen in der Veranstaltungstechnik sind insbesondere zwei Normen von besonderer Bedeutung:

DIN 4112 (02-1983): Fliegende Bauten

DIN 1055-Teil4 (03-2005 + Erg. 03-2006): Windlasten

DIN 1055-Teil4 (08-1986): Windlasten (vorher gültige Norm)

Die DIN 1055 regelt die Windlasten für Bauwerke im Allgemeinen, während die DIN 4112 besondere Regelungen für Fliegende Bauten beinhaltet, wobei diese zur Zeit nur in Verbindung mit der alten DIN 1055 Teil 4 + auf Vorschlag der ARGE BAU gilt. Weitere Normen, die Windlasten regeln, sind die europäischen Normen:

EN 1991-1-4 (07-2005): Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen, Windlasten

DIN EN 13781 (05-2006): Fliegende Bauten - Zelte

DIN EN 13814 (06-2005): Fliegende Bauten und Anlagen für Veranstaltungsplätze und Vergnügungsparks

Diese Normen sind in Deutschland noch nicht eingeführt, und sind gerade in der Diskussion auch in Bezug auf die Windlastansätze.

Warum wird aktuell soviel über Windlasten diskutiert? Hierfür gibt es zwei Gründe:

1. Die Auslegung der DIN 4112 wird strenger interpretiert
2. Die DIN 1055 ist komplett überarbeitet worden.

1. Warum wird die Auslegung der DIN 4112 strenger interpretiert? Nach DIN 4112 ist es möglich, für Fliegende Bauten im Betriebszustand die Windlasten zu reduzieren.

„4.5.3 Bei Fliegenden Bauten im Betriebszustand darf die Windlast mit einem Staudruck von $0,15 \text{ kN/m}^2$ bis $5,0 \text{ m}$ Höhe über Erdboden und darüber mit $0,25 \text{ kN/m}^2$ angesetzt werden, wenn ab Windstärke 8 bzw. ab Windgeschwindigkeiten von 20 m/s der Betrieb eingestellt wird.“

In Bezug auf Bühnendächer und Zelte gibt es folgende Auslegung nach DIBt Mitteilung 5/2000:

„Der reduzierte Lastansatz für Windlasten gemäß DIN 4112 Abs. 4.5.3 gilt nur für Fahrgeschäfte und vergleichbare Anlagen, er gilt nicht für Zelte, Tribünen und ähnliche Bauten. Abweichungen hiervon sind auf Einzelfälle zu beschränken und erfordern besondere Maßnahmen, die auf Durchführbarkeit hin überprüft werden müssen (z.B. Tag- und Nachtbereitschaftsdienst mit Verbindung zum Wetteramt, Abtaketungsmöglichkeiten u.a.)“

Für Bühnendächer wird diese Abweichung in der Regel akzeptiert, während für Zelte eine Abminderung nicht zugelassen wird. Zelte sind Zufluchtsstätten und müssen für die volle Windlast stand-sicher sein.

Mögliche Reduzierung der Windlasten: Für Bühnen dürfen „im Betriebszustand“ reduzierte Windlasten angesetzt werden, wenn sichergestellt ist, dass die Planen ab Windstärke 8 abgetakelt werden können. „Außer Betrieb“ muß die restliche Konstruktion, also alles was nicht abgebaut oder abgetakelt werden kann, für die vollen Windlasten berechnet werden.

2. Die Windlastnorm DIN 1055 wurde 2005 grundlegend überarbeitet und neu eingeführt.

Windzonen und zugehörige Staudrucke

Die wesentliche Änderung ist dabei, dass Deutschland in Windzonen mit zugehörigen Staudrücken unterteilt wurde, während früher für Deutschland ein einheitlicher Windstaudruck galt.



Windzonenkarte

Für herkömmliche ortsgebundene Bauwerke wird für jede Windzone ein entsprechender Staudruck ermittelt. Die zur Zeit gültige DIN 4112 bezieht sich auf die „alte“ DIN 1055 Teil 4 - 1986, die keine Windzonen kannte. Da Fliegende Bauten nun in verschiedenen Windzonen zum Einsatz kommen können, ergibt sich ein Problem, für das von der Arge Bau folgende Vorgehensweise vorgeschlagen, und die auch in die Musterliste der technischen Baubestimmungen aufgenommen wurde.

- Bemessung der Konstruktion im „Betriebszustand“ für reduzierte Windstaudrucke nach DIN 4112

$$\begin{array}{lll} \text{bis Höhe} & h < 5 \text{ m} & q = 0,15 \text{ kN/m}^2 \\ \text{ab Höhe} & h \geq 5 \text{ m} & q = 0,25 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$

- Für die Windzonen 1+2 und 3+4 Binnenland: Bemessung der Konstruktion im Zustand „außer Betrieb“ nach DIN 4112 und alter DIN 1055

bis Höhe	$h < 5 \text{ m}$	$q = 0,30 \text{ kN/m}^2$
ab Höhe	$h \geq 5 \text{ m}$	$q = 0,50 \text{ kN/m}^2$
ab Höhe	$h \geq 8 \text{ m}$	$q = 0,80 \text{ kN/m}^2$
ab Höhe	$h \geq 20 \text{ m}$	$q = 1,10 \text{ kN/m}^2$

- Für die Windzonen 3+4 Küste+Inseln: Bemessung der max. 10 m hohen Konstruktion im Zustand „außer Betrieb“ mit den 1,4-fachen Werten der Windzonen 1+2 u. 3+4 Binnenland. Für Bauten höher 10 m gilt DIN 1055-4 2005-03.

Beaufortskala

Um klarer zu machen, was sich hinter diesen Zahlen versteckt, wirft man am besten einen Blick auf die so genannte Beaufortskala (siehe Seite 66). Dabei handelt es sich um eine Tabelle, die 1806 von Francis Beaufort entwickelt wurde und 12 Stufen umfasst. Dabei gelten folgende physikalische Zusammenhänge:

$$V \text{ [m/s]} = v \text{ [km/h]} / 3.6 \quad q \text{ [kN/m}^2\text{]} = V^2 / 1600$$

Beispiel Windstärke 10: *schwerer Sturm*
 Windgeschwindigkeit: 28,4 m/s
 Staudruck: $28,4^2 / 1600 = 0,50 \text{ kN/m}^2$

Beispiel Windstärke 12: *schwerste Verwüstungen*
 Windgeschwindigkeit: 36,9 m/s
 Staudruck: $36,9^2 / 1600 = 0,85 \text{ kN/m}^2$

Das Beispiel zeigt, dass ein Geschwindigkeitserhöhung um ca. 30 % aufgrund der quadratischen Abhängigkeit eine Staudruckerhöhung von 70 % zur Folge hat.

Die in der Beaufortskala angegebenen Windgeschwindigkeiten beziehen sich nicht auf einzelne Windböen, sondern auf einen zehnmütigen Mittelwert, gemessen in 10 m Höhe. Auf Bühnendächer mit Konstruktionshöhen $h \geq 8 \text{ m}$ übertragen heißt das:

- Bemessung „Betriebszustand“ (voll verplant) für Windstärke 8 = stürmischer Wind

- Bemessung „Außer Betrieb“ der Restkonstruktion nach Abtakeln der zu entfernenden Flächen für Windstärke 11-12 = Orkan bzw. 35,8 m/s (130 km/h).

Das Orkantief Kyrill entwickelte im Januar 2007 Windgeschwindigkeiten von 120-130 km/h = Windstärke 12. Prinzipiell ist zu beachten, dass der Winddruck mit der Höhe über dem Gelände ansteigt. Ein „Bühnenaufbau“ auf dem Dach eines Gebäudes ist also in der „Regelstatik“ normalerweise nicht erfasst, da hier größere Windkräfte wirken.

Windkraft auf Konstruktionen

Bisher war die Rede von Staudruck. Um die Kraft auszurechnen, die auf einen Körper wirkt, ist die Form des Körpers von entscheidender Bedeutung. Die Windkraft auf eine Kugel ist wesentlich kleiner als die Windkraft auf eine gleichgroße Fläche bei gleicher Windgeschwindigkeit. Jede Fläche oder Form wird daher durch einen aerodynamischen Beiwert beschrieben, dem so genannten cf-Wert.



cf-Werte für unterschiedliche Baukörper

Für eine Bühne ergeben sich bei Wind von vorne folgende cf-Werte:



Beispiel für eine Berechnung der Windlasten auf ein Bühnendach in den Abmessungen: Breite = 12 m, Tiefe = 8 m und Höhe = 6 m

Vereinfachend wird auch für die Flächen $< 5 \text{ m}$ ein Staudruck von $0,25 \text{ kN/m}^2$ („Betriebswind“) angesetzt.

BEAUFORTSKALA				
WINDSTÄRKE [BEAUFORT]	GESCHWINDIG- KEIT [m/s]	STAUDRUCK q [kN/m ²]	BESCHREIBUNG	AUSWIRKUNG DES WINDES
0	0-0.2	≈ 0	Windstille oder sehr leiser Windzug	Windstille, Rauch steigt gerade empor, Blätter unbeweglich
1	0.3-1.5	≤ 0.001	Leiser Windzug	Windrichtung nur erkennbar durch Zug des Rauches aber nicht durch Windfahne
2	1.6-3.3	≤ 0.007	Leichte Brise	Wind am Gesicht fühlbar, Blätter säuseln, Windfahne bewegt sich
3	3.4-5.4	≤ 0.02	Schwache Brise	Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wind streckt einen Wimpel
4	5.5-7.9	≤ 0.04	Mäßige Brise	Hebt Staub und loses Papier, bewegt Zweige und dünne unbelaubte Äste
5	8.0-10.7	≤ 0.07	Frische Brise	Streckt große Flaggen. Kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumköpfe bilden sich auf Seen
6	10.8-13.8	≤ 0.12	Starker Wind	Starke Äste in Bewegung, Pfeifen in Telegraphen-Leitungen, Regenschirm schwierig zu benutzen
7	13.9-17.1	≤ 0.18	Steifer Wind	Ganze unbelaubte Bäume mittlerer Stärke in Bewegung, fühlbare Hemmungen beim Gehen im Freien
8	17.2-20.7	≤ 0.27	Stürmischer Wind	Starke Bäume in Bewegung. Bricht Zweige von den Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien
9	20.8-24.4	≤ 0.37	Sturm	Kleinere Schäden an Häusern
10	24.5-28.4	≤ 0.50	Schwerer Sturm	Entwurzelt frei stehende Bäume
	28.3	0.50	DIN 1055 0-8 m über Gelände	
11	28.5-32.6	≤ 0.67	Orkanartiger Sturm	Verbreitet schwere Sturmschäden (sehr selten im Binnenland)
	35.8	0.80	DIN 1055 8-20 m über Gelände	
12	32.7-36.9	≤ 0.85	Orkan	Schwerste Verwüstungen
≈13	42.0	1.10	DIN 1055 20-100 m über Gelände	
≈14	45.6	1.30	DIN 1055 über 100 m über Gelände	

$$V \text{ [m/s]} = v \text{ [km/h]} / 3.6$$

$$q \text{ [kN/m}^2\text{]} = V^2 / 1600$$

*Wind auf Dachfläche: $0,25 \times 1,40 = 0,350 \text{ kN/m}^2$
Dachfläche $12 \times 8 = 96 \text{ m}^2$; Windkraft: $96 \times 0,350 = 33,6 \text{ kN}$ (= 3,36 t)*

*Wind auf Rückwand: $0,25 \times 1,30 = 0,325 \text{ kN/m}^2$
Wandfläche $12 \times 6 = 72 \text{ m}^2$; Windkraft: $72 \times 0,325 = 23,4 \text{ kN}$ (= 2,34 t)*

Diese Werte zeigen, dass Windlasten schon bei Windstärke 8 erhebliche Kräfte erzeugen.

Was tun bei Sturmwarnung

Wie bereits beschrieben, ist eine Reduzierung der Windlasten nur möglich, wenn besondere Maßnahmen ergriffen werden können. Hierin ist ein Hauptgrund der aktuellen Diskussionen zu finden. Früher wurden die angesetzten Windlastreduzierungen ohne Überprüfung auf Durchführbarkeit akzeptiert. Das führte zum Teil zu Anforderungen, die nicht realisierbar sind, z.B. „ab Windstärke 8 ist der Betrieb einzustellen und das Dach herunterzufahren.“

In der Regel ist ein Bühnendach durch Seilkreuze ausgesteift. Sobald das Dach heruntergefahren wird, werden die Seile schlaff und die gesamte Konstruktion verliert ihre Stabilität. Also sollte man genau das nicht tun.

Ein anderes Beispiel ist das Entfernen der Wandplanen. Bei Bühnen mit einer Höhe von 10 m oder mehr durchaus ein Problem, ohne lebensgefährliche Aktionen wie Erklettern des Daches und Aufschneiden der Befestigungen kaum möglich.

Abtakelungsmöglichkeiten

Die Windlastflächen (in der Regel die Wandplanen), die nur bis Windstärke 8 berücksichtigt sind, müssen innerhalb kurzer Zeit entfernt werden können. 10-15 Minuten scheint für uns dabei ein realistischer Zeitraum zu sein. Das Entfernen der Planen sollte vom Boden aus durchführbar sein.

Beispiele dafür sind Wandplanen in Kederschienen, lösbare Verbindungen wie Klettverschlüsse oder Knüpftechniken mit Auslösemechanismus. Die Arbeitsschritte und Maßnahmen zur Reduzierung der Windlasten müssen in einer Arbeitsanweisung beschrieben werden.

Tag- und Nachtbereitschaftsdienst mit Verbindung zum Wetteramt

Es muss sichergestellt werden, dass jederzeit Personal vor Ort ist, um etwaige Maßnahmen einzuleiten. Aktuelle Vorhersagen und Sturmwarnungen können z.B. beim Deutschen Wetterdienst abgerufen werden (www.dwd.de).

Messen der Windgeschwindigkeit

Bei jeder Konstruktion mit Windstärkenbegrenzung muss die

Windgeschwindigkeit überprüft werden. Hierzu sollte an der Konstruktion ein Windmesser am höchsten Punkt der Konstruktion angebracht werden bzw. bei Konstruktionsgesamthöhen unter 8 m sollte der Ort und die zu messende Windgeschwindigkeit mit dem Aufsteller der statischen Berechnung abgestimmt werden. Für Bühnen „im Betriebszustand“, bei denen z.B. die Seitenplanen ab Windstärke 8 entfernt werden müssen, sollte man natürlich bei vorliegender Sturmwarnung vorsorglich früh (also vor/mit Erreichen z.B. einer gemessenen Windstärke 7) mit den Maßnahmen beginnen; insbesondere in Abhängigkeit der notwendigen „Abtakelungszeit“.

Durchlässige Wandverkleidungen

Oft werden für Bühnendächer so genannte Gazen eingesetzt. Dabei handelt es sich um ein durchscheinendes Gewebe.



Seitenverkleidung mit Gaze

Dabei wird häufig auf die anscheinende Durchlässigkeit dieses Gewebes hingewiesen, und zum Teil werden Abminderungen der Windlasten angesetzt. Windkanalversuche haben gezeigt, dass eine Verminderung des Winddrucks erst bei sehr grobmaschigem Gewebe (5 x 5cm) zulässig ist. Bei den heute größtenteils benutzten Gazen ist eine Abminderung der Windlast nicht zulässig. Der oft angegebene Wert der Luftdurchlässigkeit bedeutet nicht zwangsläufig Winddurchlässigkeit. Eine Winddurchlässigkeit darf nur angesetzt werden, wenn vom Hersteller ein Windkanal-geprüfter cf-Wert für den Gazentyp angegeben wird.

Anforderungen an die Konstruktion

Wie sich die anzusetzenden Windlasten z.B. auf erforderliche Ballastierung usw. auswirken, wird in einem weiteren Teil dieser Artikelserie beschreiben.

Autoren: Frank Bastians, Stefan Krasenbrink, Jan Keppler, Ralf-Harald vom Felde. Weitere Informationen gibt es von den Autoren unter www.krasenbrink-bastians.de sowie www.vom-felde.de