

Bühnendächer

Der dritte Teil der Artikelsrie zum Thema „Statik in der Veranstaltungstechnik“ widmet sich dem Thema „Bühnendächer“. Wiederum ist Feedback erlaubt und gewünscht!

Besonderheiten bei Bühnendächern:

Ein Bühnendach muss hohe Lasten aus Beleuchtung und Beschallung aufnehmen, sollte aber aus Einzelelementen leichter Bauart zusammengesetzt werden. Sinnvollerweise kommen hier hauptsächlich Aluminiumtraversen zum Einsatz.



Die leichte Konstruktionsart dieser Bauwerke hat wiederum zur Folge, dass diese sehr windanfällig sind, und in der Regel ballastiert werden müssen. Neben Eigengewicht und Nutzlasten sind diese Konstruktionen also noch zusätzlichen Belastungen ausgesetzt.

Schneelasten werden in der Regel nicht berücksichtigt, da man bei einem Bühnendach sicherstellen kann, dass die Konstruktion nur bei entsprechender Witterung aufgebaut wird, oder Dachflächen schneefrei gehalten werden. Eine Schneelast müsste im günstigsten Fall mit 68 kg/qm Dachfläche angesetzt werden, und das kann von keinem üblichen Bühnendachsystem aufgenommen werden.

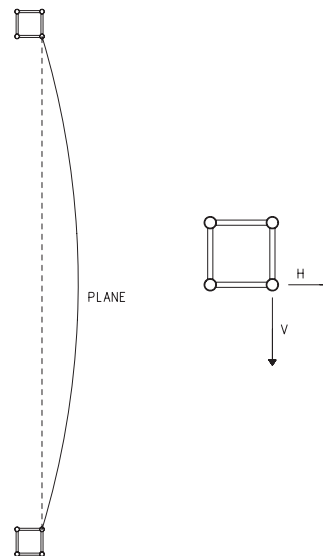


So sollte es also nie aussehen

Windlasten stellen neben den Nutzlasten die wichtigste Belastung eines Bühnendaches dar. Eine ausgiebige Betrachtung der Windlasten finden Sie im 2. Teil unserer Reihe, der im VPLT Magazin Nr. 46 (Juni 2008) veröffentlicht wurde.

Die Rück- und Seitenwände einer Bühnenkonstruktion werden üblicherweise mit einer Plane oder Gaze geschlossen. Planen sind als undurchlässig anzusehen, während eine Gaze nur unter bestimmten Voraussetzungen eine gewisse Winddurchlässigkeit besitzt. Bei der Berechnung kann man diese Winddurchlässigkeit allerdings nur dann ansetzen, wenn für dieses spezielle Gewebe eine Bescheinigung des Herstellers oder Ergebnisse aus Windkanalversuchen vorliegt. Nur wenn der so genannte aerodynamische Kraftbeiwert c_f aus Versuchen ermittelt wird, kann eine Abminderung der Windlasten innerhalb der Statik erfolgen.

Planen oder Gaze bezeichnet man als Membranen. Diese Tragelemente können wie auch Seile nur Zugkräfte in Ihrer Verformungslinie aufnehmen. Die Windlast auf eine Plane bewirkt für die belastete Traverse also nicht nur eine Belastung in Windrichtung sondern gleichzeitig eine dazu senkrechte Komponente (beide Komponenten zusammen genommen nennt man Planenzug)



Gewebe, das durch Wind belastet wird, verformt sich nach der oben stehenden Skizze.

Das zeigt, dass neben der horizontalen Kraft, der Windlast, auch ein vertikaler Kraftanteil wirkt. Je straffer eine Plane gespannt ist, bzw. je weniger sie sich unter Last dehnt, desto größer ist der Planenzug. Die Windkraft erzeugt also eine vertikale Last, die größer als die horizontale Last ist.

Betriebsbedingungen

Bühnendächer in der Veranstaltungstechnik sind in der Regel „fliegende Bauten“, da der Aufbau nur temporär und an verschiedenen Orten erfolgt, d.h. die DIN 4112 (Norm für fliegende Bauten) kann angewendet werden.

Es 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.

Vorsicht ist geboten bei Anforderungen wie 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. Genau das sollte man 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 Erklimmen des Daches und Aufschneiden der Befestigungen.

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 muss vom Boden aus durchführbar sein.

Beispiele dafür sind:

- Wandplanen in Kederschienen
- lösbare Verbindungen wie Klettverschlüsse
- Knüpftchniken mit Auslösemechanismus

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

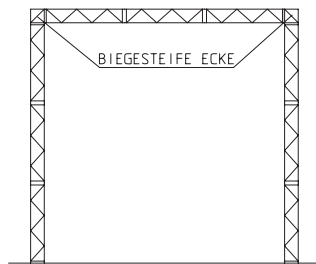
Bei jeder Konstruktion mit Windstärkenbegrenzung muss die Windgeschwindigkeit überprüft werden. Hierzu sollte an der Konstruktion ein Windmesser am höchsten Punkt der Konstruktion angebracht werden bzw. bei Konstruktionsgesamthöhen unter 8 m sollte der Ort und die zu messende Windgeschwindigkeit mit 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 „Abtaketungszeit“.

Aussteifung

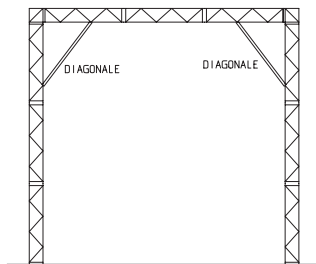
Um eine ausreichende Stabilität einer Konstruktion zu erreichen, ist jedes Bauwerk entsprechend auszusteißen. Dieses kann durch unterschiedliche Arten erfolgen.

1. Aussteifung durch biegesteife Ecken



Die Ecken müssen jeweils nachgewiesen werden, Ihre Biegetragfähigkeit ist in der Regel kleiner als die Tragfähigkeit der Traverse. Diese Aussteifung findet in der Regel nur bei indoor Konstruktionen Anwendung

2. Aussteifung durch Diagonalstreben



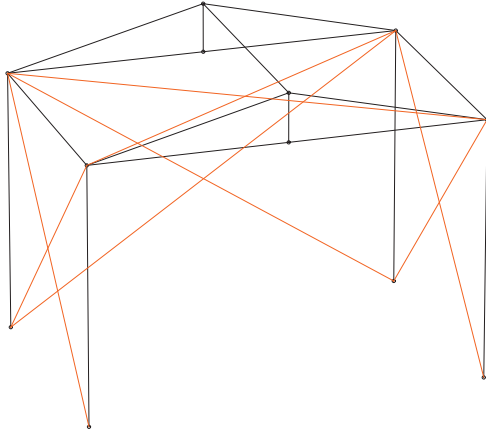
Diese Aussteifung findet bei indoor und bei kleineren Belastungen auch bei outdoor Konstruktionen Anwendung

3. Aussteifung durch Seilkreuz (Verbände)



Diese Aussteifung kann bei allen Konstruktionen eingesetzt werden und ist statisch mit Abstand die beste Lösung.

Bei Bühnenkonstruktionen mit Sleeveblock sind Seilkreuze immer notwendig, da ein Sleeveblock nur eine sehr geringe Biegetragfähigkeit besitzt. Um ein Bauwerk auszusteifen, benötigt man 4 Aussteifungsebenen



Zum Beispiel Bühnenbauten: In Dach, Rück- und Seitenwände werden Windverbände angeordnet.

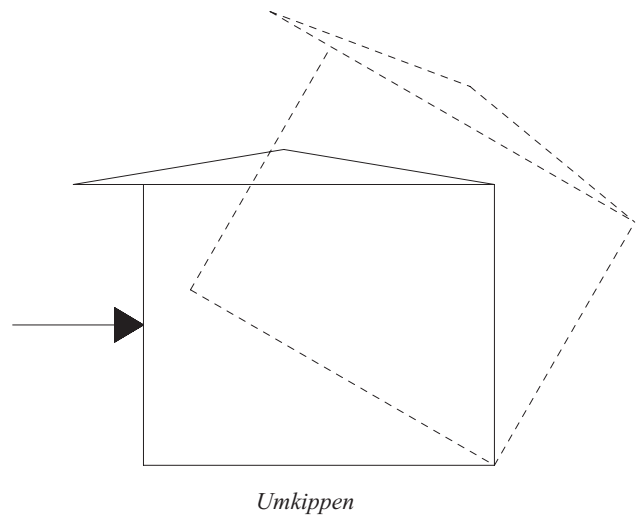
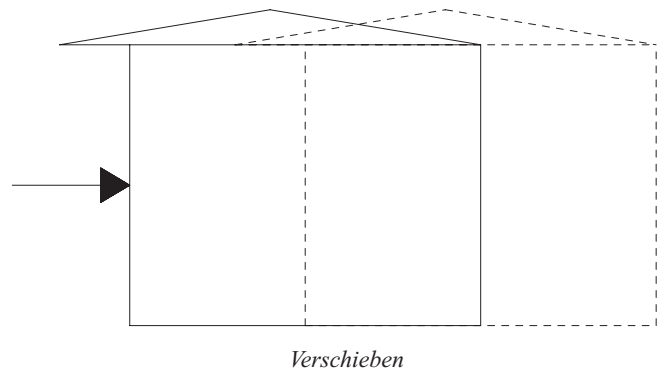
Hochfahren und Sicherung des Daches

Die üblichen Dachsysteme werden am Boden zusammengebaut und mittels Sleeveblöcken hochgefahren. Nach Erreichen der Endposition muss das Dach gesichert werden. Dafür gibt es unterschiedliche Systeme. Beispiele sind eingeschobene Riegel oder auch das so genannte Töthängen eines Daches. Dabei wird oft vergessen, dass ein leichtes Dach bei Unterwind abheben kann, und somit auch gegen Abheben gesichert werden muss.

Zum Thema Hochfahren des Daches ist noch wichtig zu wissen, ob das Dach mit Nutzlast oder nur unter Eigengewicht gefahren werden darf, und bis zu welcher Windstärke das Dach hochgefahren werden darf, da normalerweise die Aussteifung des Bühnendaches erst nach Hochfahren eingebaut wird. Beide Angaben können vom Statiker angegeben werden.

Ballastierung

Bei Fliegenden Bauten handelt es sich in der Regel um sehr leichte Bauwerke mit großen Windangriffsflächen. Da eine konventionelle Fundamentierung mittels Betonfundamenten im Normalfall nicht möglich ist, muss die gesamte Konstruktion durch andere Maßnahmen gegen Umkippen und Verschieben gesichert werden.



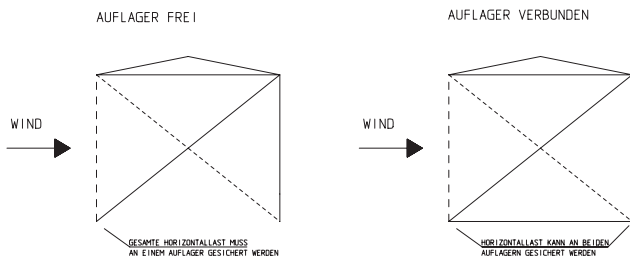
Die Sicherung der Konstruktion kann durch verschiedene Arten erfolgen

Gewichtsballast: Gewichte aus Stahl, Beton oder Wassertanks, die am Stützenfuß befestigt werden

Erdanker: Erdanker sind meistens Rundrohrprofile aus Stahl, die in den Erdboden eingetrieben werden.

Da die Gewichtsballastierung hauptsächlich zum Einsatz kommt, wird im Rahmen dieser Veröffentlichung nur diese Art der Sicherung angesprochen.

Die Größe des Ballastes ist aber nicht nur von den Windlasten abhängig, sondern auch von der Konstruktion der Bühne selbst. Eine ganz entscheidende Rolle spielt dabei, ob die Fußpunkte untereinander verbunden sind oder nicht.



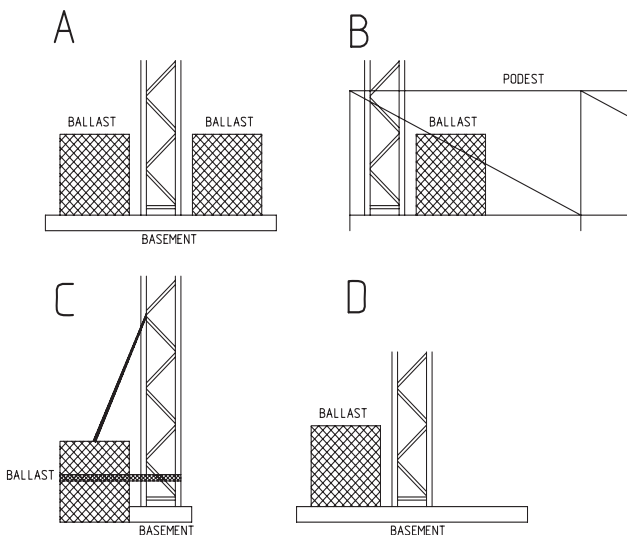
Eine Vergleichsrechnung einer Bühne mit vier Stützen, mit den Abmessungen Breite x Tiefe x Höhe = 10 x 10 x 8 m bringt folgende Ergebnisse

Erforderliche Ballastierung je Stütze:
 ohne Fußpunktverbindung: 4000 kg
 mit Fußpunktverbindung: 2000 kg

Es zeigt sich also, dass sich der Ballast durch Systemoptimierung extrem verringern lässt. Auf die ermittelten Ballastzahlen dürfte dann noch das Eigengewicht einer kraftschlüssig angeschlossenen Podestfläche oder auch ständig eingehängte Nutzlasten angerechnet werden.

Anordnung des Ballastes am Tower

Der Ballast dient zur Sicherung von vertikalen und horizontalen Kräften, und muss so aufgestellt und befestigt werden, dass diese Kräfte aufgenommen werden können.

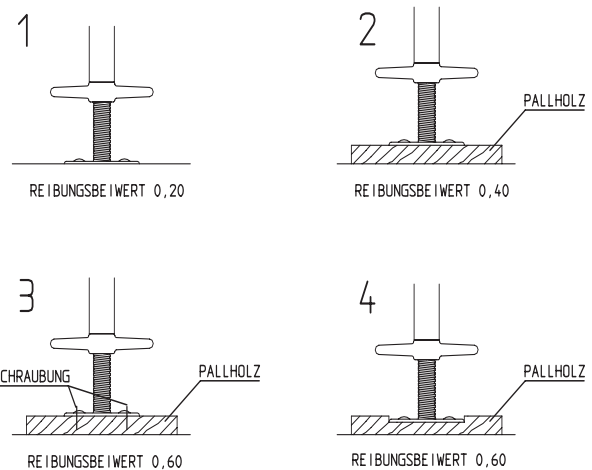


- A: Symmetrische Ballastanordnung; Basement muss für die Aufnahme des Ballastes nachgewiesen sein
- B: Einbindung der Stützen in eine Podestkonstruktion; Podest muss ausreichende Tragfähigkeiten besitzen
- C/D: einseitige Ballastanordnung; Stütze erfährt Zusatzbelastung (Moment) aus Außermitteigkeit.

Reibungsbeiwerte

Der Ansatz der Reibungsbeiwerte erfolgt nach DIN 4112. Für eine Stahlspindel auf Pallholz auf Beton/Asphalt sieht die DIN einen Reibungsbeiwert von 0,40 vor. Durch Verschraubung der Spindeln mit dem Pallholz lässt sich der Wert auf 0,60 erhöhen. Leider findet sich kein aussagekräftiger Reibungsbeiwert für die Verwendung von Gummimatten.

Praktische Beispiele für Reibungsbeiwerte:



erforderlicher Ballast für 1 kN = 100 kg horizontale Last

- | | | |
|--|--------------|----------------|
| 1. Stahlspindel auf Beton | $\mu = 0,20$ | 600 kg Ballast |
| 2. Stahlspindel auf Pallholz auf Beton | $\mu = 0,40$ | 300 kg Ballast |
| 3. Stahlspindel mit Pallholz verschraubt auf Beton | $\mu = 0,60$ | 200 kg Ballast |
| 4. Stahlspindel eingelassen in Pallholz auf Beton | $\mu = 0,60$ | 200 kg Ballast |

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