

Ursachen und Wirkung

Die Orkane werden häufiger in Deutschland. Der erste Teil* unserer Serie über Windsog erläutert die physikalischen Grundlagen für Windsog.

Von Markus Friedrich

Anna, Anatol, Wibke und Lothar. Namen, die einem Dachdecker den Angstschweiß auf die Stirn treiben oder in lukrativen Zeiten schwelgen lassen. Orkane, die in den letzten Jahren immer häufiger unsere eigentlich gemäßigten Breiten heimsuchten, zuletzt am 26. Februar. Laut DIN 1055 sollte dies nur alle zehn Jahre in Norddeutschland und fünfzig Jahre in Süddeutschland geschehen. Der Klimawandel hat das Dachdeckerhandwerk vermutlich früher erreicht.

Grund genug sich mit dem Phänomen Wind und seiner Wirkung auf Dächer genauer zu befassen. In diesem und zwei weiteren Beiträgen werden zunächst physikalische Grundlagen geschaffen, darauf aufbauend die relevanten Normen erläutert und abschließend gezeigt, mit welchen Befestigungstechniken die Windkräfte sicher aufgenommen werden können.

Wind ist bewegte Luft und die wiederum ist ein Gasgemisch, bestehend aus achtzig Prozent Stickstoff, 16 Prozent Sauerstoff und diversen anderen Gasmolekülen. Gasmoleküle, die man sich als kleine Kugeln vorstellen kann,

welche im Raum umherschwirren und bei einer Kollision mit anderen Gasmolekülen elastisch aneinander abprallen. Ähnlich wie Billardkugeln, nur eben räumlich und alles viel kleiner. Physiker nennen dies das kinetische Gasmodell.

Könnte man Gasmoleküle sichtbar machen, wäre schnell klar, dass ruhende Luft alles andere als ruhend ist. In Wahrheit fliegen nahezu unendlich viele Gasmoleküle in wilden Bahnen kreuz und quer durch den Raum. Ruhend ist die Luft nur, weil genauso viele

Gasmoleküle nach links wie rechts, oben wie unten und nach vorne wie hinten fliegen. Schräge Flugbahnen werden im kinetischen Gasmodell auf diese sechs Flugrichtungen aufgeteilt. Wind ist somit nichts anderes als Luft, deren Gasmoleküle eine dieser sechs Richtungen bevorzugen. Bei Orkanen fast immer von West nach Ost.

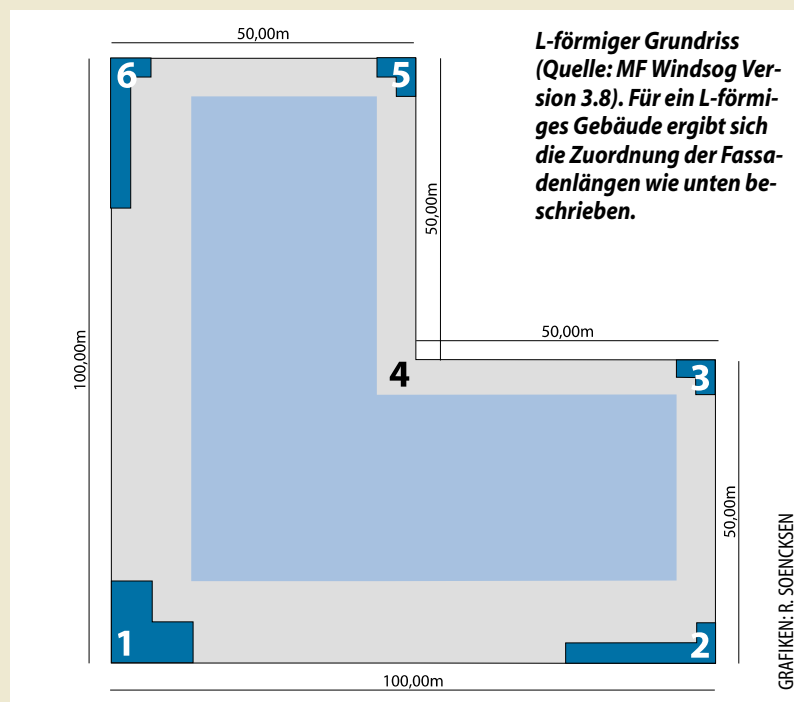
Steht diesen unendlich vielen, kleinen Gasgeschossen nun ein Hindernis im Weg, passiert das Gleiche, wie wenn Abertausende von Tennisspielern ihren Aufschlag an einer Wand trainieren.



➔ **Wind ist bewegte Luft, bestehend aus achtzig Prozent Stickstoff, 16 Prozent Sauerstoff und diversen anderen Gasmolekülen, und sorgt gelegentlich für viel Unruhe.**



*Im zweiten Teil unserer »Serie Windsog« im nächsten Heft berichten wir darüber, wie die physikalischen Grundlagen in den Normen umgesetzt wurden.



Für Ecke 1 sind die Fassaden mit jeweils Hundert Meter Länge maßgebend, da der hier anströmende Wind auf das Dach umgelenkt wird und dort verwirbelt. Für die wirksamen Fassadenlängen an den Ecken gelten folgende Zuordnungen:

	waagrecht	senkrecht
Ecke 1	100 m	100 m
Ecke 2	100 m	50 m
Ecke 3	50 m	50 m
Ecke 4	Innenneck	
Ecke 5	50 m	50 m
Ecke 6	50 m	100 m

Hinweis: Da sich über der Innenecke 3 keine tütenförmigen Wirbel ausbilden, wird dort nur ein Rand ausgebildet. Windkanaltests ergaben, dass im Innenbereich hinter dem Innenneck die geringsten Windsogkräfte entstehen. Ursache: die großräumige, »weiche« Umströmung.

Abgerundete Grundrisse, insbesondere zylindrische Gebäude, sind weniger kritisch, da mehr Wind um die Fassade geleitet wird und am Dach weniger Wirbel, insbesondere keine Eckwirbel, auftreten. Vorausgesetzt allerdings, der Radius ist groß genug.

lich gar keinen Sog, es gibt nur »weniger Druck«. Dies erklärt auch die große Windsogstandsicherheit von Dächern mit in Bitumen eingeschwemmter, geschlossenzelliger Dämmung wie Schaumglas. Hier gibt es kaum freie Gasmoleküle, welche die Abdichtungslage nach oben »abstoßen« könnten. Würde der Wind immer parallel zur Dachfläche strömen, hätten wir mit dem Bernoulli-Effekt im Wesentlichen alles erklärt. Halbwegs parallel strömt der Wind jedoch nur im Mittbereich der Dachfläche. Im Eck- und Randbereich sind Wirbel die Hauptverursacher erhöhten Windsogs.

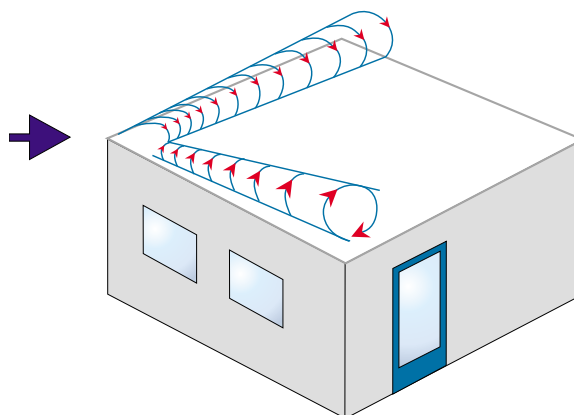
Strömt der Wind im senkrechten Winkel auf eine Fassade, staut er sich und übt einen Druck auf diese aus. Diesen Druck nennt man folglich Staudruck. Sofern das Gebäude daraufhin nicht einstürzt, wird der Wind umgelenkt und das Gebäude umströmt. Ein Teil des Windes wird dabei über das Dach gelenkt und an der vorderen Dachkante verwirbelt. Grundsätzlich gilt folgende Aussage: **Der Sog ist umso größer, je höher die Windgeschwindigkeit und je kleiner der Krümmungsradius des Wirbels ist.** Die Zunahme der Kräfte mit kleiner werdenden Wirbeln ergibt sich aus der geringeren Entfernung der nach oben fliegenden Gasmoleküle zur Dachoberfläche. Dies erklärt auch, weshalb die Sogspitzen bei Anströmung über Eck am stärksten sind. Dort geschieht nämlich Folgendes: Strömt der Wind über Eck an, bildet sich über jedem der beteiligten Dachränder ein Wirbel. Diese zwei Wirbel werden vom Eck ausgehend größer, wodurch sich eine

Die Wand stürzt ein. Dies begründet viele Orkanshäden, nicht jedoch Windsog auf flachgeneigten Dächern. Die Tennisbälle üben einen Druck auf die Mauer aus, Sog jedoch ist das Gegenteil von Druck. Druck mit negativem Vorzeichen.

Es ist nicht der Sog von außen, es ist der Druck aus der Konstruktion heraus, der Flachdächer bei Sturm abdeckt. Rein physikalisch gibt es näm-

Die Ursache für Windsog: der Bernoulli-Effekt

Vereinfacht kann man den Bernoulli-Effekt mit folgendem Satz beschreiben: »Der Druck im strömenden Medium ist geringer als im ruhenden Medium.« Auf den Wind übertragen und noch mal vereinfacht: »Der Luftdruck im Wind ist geringer als bei Windstille« (siehe hierzu den Kasten »Basiswissen: Der Bernoulli-Effekt«).



← Strömt der Wind über Eck an, bildet sich über jedem der beteiligten Dachränder ein Wirbel. Diese zwei Wirbel werden vom Eck ausgehend größer, wodurch sich eine trichterartige Form ergibt. Man spricht auch von tütenförmigen Wirbeln.

Basiswissen: Der Bernoulli-Effekt

Der Effekt des Windsoges (Bernoulli-Effekt) kann mit dem kinetischen Gasmodell und nachfolgendem Beispiel verständlich gemacht werden:

trichterartige Form ergibt. Man spricht auch von tütenförmigen Wirbeln. Im Eck entsteht somit aufgrund der kleinsten Wirbelradien die stärkste Sogwirkung. Hinzu kommt noch eine longitudinale Windkomponente, also ein Windanteil, der entlang der Rotationsachse strömt und dadurch die effektive Windgeschwindigkeit erhöht. Zusammenfassend kann man von drei Windphänomenen am Dach sprechen: Bernoulli-Effekt im Innenbereich, zylindrische Wirbel am Dachrand und tütenförmige Wirbelpaare über dem Eckbereich. Eine stark vereinfachende Idealisierung zwar, momentan jedoch das gebräuchlichste Modell für die Lastabschätzung.

Gebäudebemessung in zwei Schritten

Die windtechnische Bemessung von Gebäuden erfolgt in zwei Schritten:

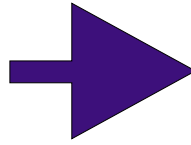
1. Bestimmung von Eck- und Randflächen. Rest = Innenfläche.
2. Bestimmung der Kräfte in den jeweiligen Flächen.

Zu 1.) Die Bestimmung der Flächen erfolgt anhand der zu erwartenden Wirbel am Dachrand. Nach DIN 1055 Teil 4 ist die Randbreite ein Achtel der kürzeren, am Eck anliegenden Wand. Physikalisch gesprochen: Der Durchmesser der zylindrischen Randwirbel beträgt ein Achtel der lokalen Gebäudebreite. Die Eckschenkel sind halb so breit und entweder ein Achtel (nahezu quadratische Grundrisse) oder halb (Länge > $1,5 \times$ Breite) so lang wie die kürzere Wand. Im nachfolgenden Beispiel sind die Ecken 1, 3 und 5 eher quadratischen Ursprungs, die Ecken 2 und 6 eher länglich.

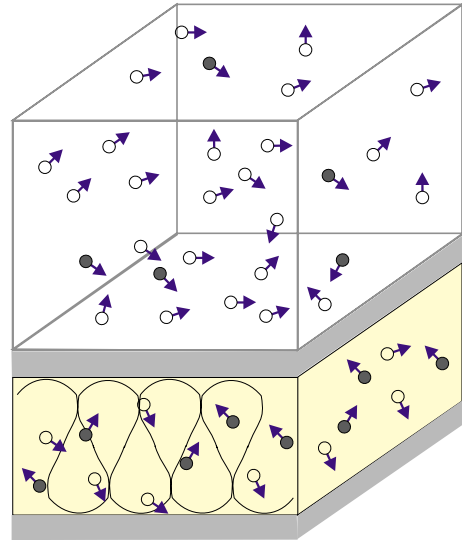
Zu 2.) Die Kräfte sind direkt abhängig von der Flächenausbildung. Die quantitative Berechnung der Kräfte erfolgt im nächsten Beitrag unserer »Serie Windsog«.

Die Bemessung nicht-quaderförmiger Gebäude ist alles andere als trivial und sollte nur von Spezialisten durchgeführt werden. Um mehrgliedrige Baukörper zu bemessen, betrachtet man Eck für Eck und Rand für Rand

Wind



Gasteilchen in nicht belüfteter Dachabdichtung und Luftsäule bei Wind. Schwarze Gasmoleküle drücken auf die Abdichtung.

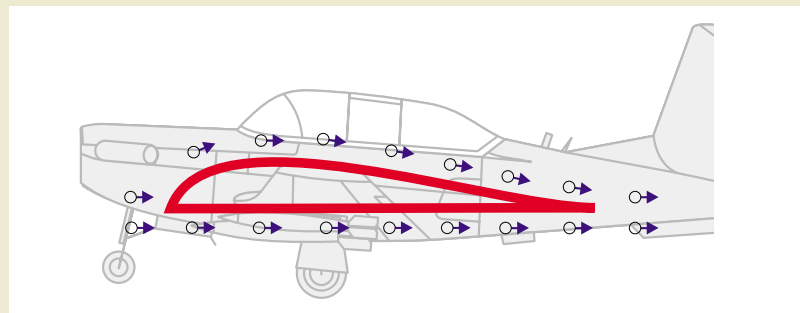


Wenn der Wind von links heranströmt, bewegen sich oberhalb der Dachabdichtung mehr Gasteilchen nach rechts als in die restlichen fünf Richtungen, also auch der Richtung nach unten. Innerhalb der Dämmung hingegen bewegen sich alle Gasteilchen gleichmäßig in alle sechs Richtungen.

Anders ausgedrückt: Innerhalb der Dämmung bewegen sich mehr Gasteilchen nach oben als in der Luftströmung des Windes. Resultat: Die Oberlage der Dachabdichtung wird von den Gasteilchen nach oben gedrückt.

Hintergrundwissen: Warum Flugzeuge fliegen

Der Bernoulli-Effekt bewirkt auch, dass Flugzeuge fliegen. Hierbei gilt: »Der Druck in der schnelleren Strömung ist geringer als der Druck in der langsameren Strömung.« Um einen Flügel herum gibt es zwei solcher Strömungen. Eine über und eine unterhalb des Flügels. Da die Gasteilchen oben in derselben Zeit einen längeren Weg zurücklegen als die Teilchen unterhalb des Flügels, muss deren Geschwindigkeit (Weg/Zeit) höher sein als unten. Folglich ist nach Bernoulli oben der Luftdruck geringer, womit der höhere Luftdruck unten den Flügel nach oben drückt. Das Flugzeug fliegt.



Anmerkung: An Flügeln von Verkehrsflugzeugen bildet sich erst bei Geschwindigkeiten über circa 200 Kilometer die Stunde eine derart laminare Strömung aus. Bei niedrigeren Geschwindigkeiten prallen zu viele Gasteilchen kreuz und quer auf den Flügel. Folge: Strömungsabriss und abrupter Absturz.

die Anströmung des Windes und schätzt ab, wie groß die zu erwartenden Wirbel sind. Die Größe der entstehenden Wirbel hängt ab von der Höhe des Gebäudes und der Länge der anlie-

genden Fassaden (siehe auch den Kästen »Berechnung: Windsog am L-förmigen Gebäude«).

Zusatzbelastung: Innendruck

Neben dem Sog von außen kann auch der Druck von innen das Dach nach oben drücken. Beide Effekte ergänzen sich und sind häufig gemeinsam für Schäden verantwortlich. Damit der Wind in das Gebäude eindringen und dadurch den Innendruck erhöhen kann, muss die Fassade luftdurchlässig sein. Mehr oder weniger sind dies fast alle Fassaden, was wiederum bedeuten würde, dass sich über kurz oder lang der Staudruck von der Fassade nach innen überträgt. Damit wären die meisten Gebäude als offen zu betrachten und der Innendruck zu berücksichtigen. Dem ist jedoch nicht so.

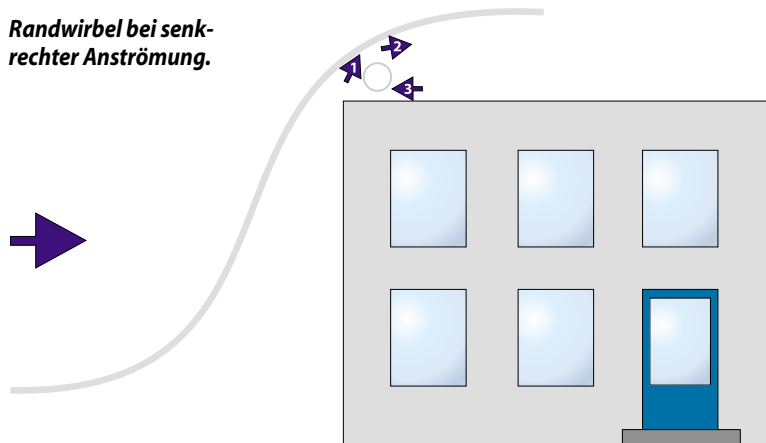
Der entscheidende Schadensverursacher ist normalerweise nicht der gleichmäßig strömende Wind. Schäden entstehen in der Regel durch Böen, also kurzzeitige Luftstöße mit stark erhöhten Spitzenwindgeschwindigkeiten. Für den Innendruck ist es nun entscheidend, dass während der Dauer einer Böe der Staudruck größtenteils in das Gebäudeinnere eindringen kann. Dies ist bei großen, geöffneten Toren der Fall, bei Ritzen und Fugen oder wenigen, gekippten Fenstern nicht. Eine weitere Voraussetzung für die Einbeziehung des Innendruckes ist natürlich eine luftdurchlässige Tragdecke.

Mehr Orkane durch Klimawandel

Wie eingangs erwähnt, häufen sich die Orkane in den letzten Jahren. Dies ist nicht darauf zurückzuführen, dass die Klimaerwärmung zu mehr Energie in der Atmosphäre und infolgedessen zu


Basiswissen: Windsog auf Flachdächern

Randwirbel bei senkrechter Anströmung.



Die Pfeile 1 und 2 geben die Hauptflugrichtung der Gasteilchen an, die als Folge der überströmenden Luft mitgerissen werden. An der Dachkante entsteht ein Unterdruck. Pfeil 3 kennzeichnet die nachströmenden Gasteilchen, welche diesen Unterdruck ausgleichen wollen. Die Summe der Gasteilchenbewegungen ergibt einen Wirbel, der nahe am Dachrand zu erhöhter Sogbelastung führt. Eine erhöhte Sogbelastung, die nicht, wie oftmals fälschlicherweise behauptet, aus einem »Ventileffekt« mit erhöhter Windgeschwindigkeit herrührt. Ursache ist auch hier die Vorzugsrichtung der Gasteilchen. Nahe am Dachrand strömen diese vorwiegend nach oben, was den Sog gegenüber dem reinen Bernoulli-Effekt mit paralleler Strömung noch vergrößert.

stärkeren Stürmen führt. Ursache sind die warmen Winter, welche wiederum auf fehlende, stabile Hochdruckwetterlagen über Osteuropa zurückzuführen sind. Diese Hochdruckwetterlagen bringen den Russen ihr Väterchen Frost und lenken gleichzeitig die stets vorhandenen Herbst- und Winterstürme um Mitteleuropa herum. Die Stürme treten dadurch in Schottland, der Nordirischen See und, vorwiegend um die Weihnachtszeit, im Mittelmeerraum

auf. Fehlt das »Russland-Hoch«, dringen diese Stürme nach Mitteleuropa ein. 

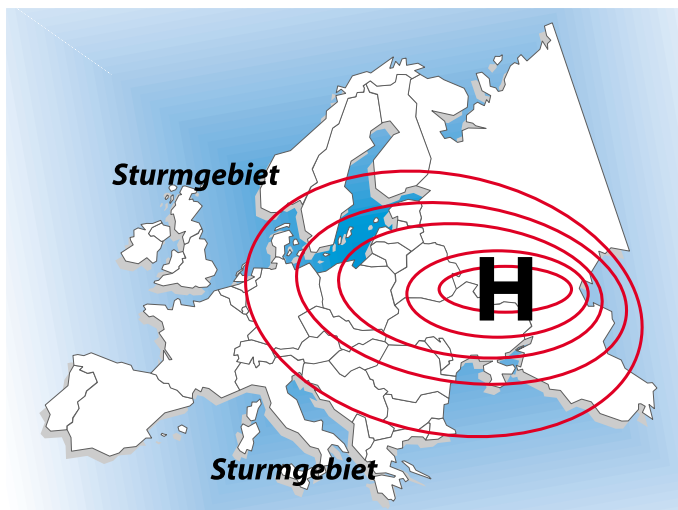
Schlagwort: Windsog.



Der Autor

Dipl.-Ing.
Markus

Friedrich ist Inhaber eines auf Dachsoftware spezialisierten EDV-Hauses in Eichwalde bei Berlin. Infos: www.friedrich-datentechnik.de.



← Da zwischen Mitteleuropa und dem Ural kein nennenswertes, größeres Gebirge liegt, ist das winterliche Osteuropa-Hoch sehr leicht verschiebbar. Bereits eine geringe Änderung des Klimas kann somit stürmische Auswirkungen auf unser immer noch sturmarmes Klima haben.