

NORMEN VERSTÄNDLICH: DIN 1055

IN DEM ZWEITEN TEIL DES FACHBEITRAGES WIRD AUF DIE WICHTIGEN KOMBINATIONSLASTFÄLLE DER SCHNEELAST BEZUG GENOMMEN, SOWIE DER ANGRIFF VON WINDLASTEN AUF EINE SOLARENERGIEANLAGE ERÖRTERT.



Sturmschaden an einer Photovoltaikanlage durch Windsog im Randbereich

Die DIN 1055 ist Deutschlands wichtigstes Regelwerk für Lastannahmen auf Tragwerke, sie ist eine anerkannte Regel der Technik und beinhaltet alle Lastannahmen auf bauliche Strukturen, so dass hierunter auch Solaranlagen fallen. Dies sind alle Gebäude oder Konstruktionen die ihrer Eigenlast sowie den Naturgewalten wie Wind, Schnee oder Regen ausgesetzt sind. Schon der Name Einwirkungen auf Tragwerke suggeriert nichts, das auf Solartechnik hinweist. Folgerichtig findet sich im ganzen Text des umfangreichen Regelwerkes auch kein Wort über Solaranlagen, gleich ob Sie für Sonnenstrom oder Solarwärme errichtet werden. Trotzdem ist jeder Anlagenplaner und Installateur verpflichtet die Anforderungen der DIN 1055 einzuhalten, will er nicht in der persönlichen, eventuell sogar strafrechtlichen Haftung für aufgetretene Schadensfälle stehen.

Anlagenplanung und Bemessung – Risikomanagement für den Angriff der Naturgewalten

Es wäre wünschenswert, jedes Risiko aus Naturgewalten gegenüber Solaranlagen vollständig zu vermeiden. Dieses

Ziel ist jedoch in der Praxis nicht erreichbar, weil die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt eines Schadens durch Naturereignisse auch durch größten Aufwand bei der Herstellung der Gestelle und Solarprodukte nicht auf Null gebracht werden kann. Für diesen auf den ersten Blick unbefriedigenden Sachverhalt gibt es zwei wesentliche Ursachen: Erstens die Eingangsparameter. Dies sind Annahmen von natürlichen Einwirkungen auf Konstruktionen, die naturgemäß statistisch streuen. Es kann von daher nicht ausgeschlossen werden, dass die freigesetzten Kräfte der realen Naturereignisse, die regulären Annahmen der Auslegung überschreiten. Dies kann z. B. bei starken Windhosen der Fall sein. Zweitens sind die eingesetzten Modelle für die statische und dynamische Berechnung zur Abbildung der Lasten infolge von Wind, Schnee, Temperaturen und Erdbeben vereinfacht und damit im Einzelfall auch fehlerbehaftet. Ebenfalls können aber auch weitere Ursachen für einen Schaden vorliegen, die nicht theoretisch abgebildet werden können. Dies sind vor allem Ausführungsmängel bzw. menschlicher Irrtum bei Planung, Lastannahme und

Herstellung der Konstruktion, wie sie im Falle einer Verschraubung des Montagegestells in einen statisch weitestgehend unbekanntem Untergrund wie einem Holzbalken leicht geschehen können.

Kosten-Nutzen Betrachtung – Schadensfreiheit als Maßeinheit

Im Hintergrund der Tragwerksplanung steht die Aufgabe, das Risiko eines Bauwerks gegenüber den Kosten für Bau und Betrieb zu optimieren. Risiko wird hier als Produkt der Kosten einer Schädigung oder des Totalverlusts und der Wahrscheinlichkeit, dass er in der planmäßigen Lebensdauer eines Bauwerks eintritt, verstanden. Für eine Solaranlage heißt dies, dass das Montagegestell die PV-Module oder Solarkollektoren die gesamte Betriebsdauer lang in der geplanten Position hält. Witterungseinflüssen wie Schnee, Regen oder Wind muss durch die Kombination der Anlagentechnik, des Gestells und des Daches schadensfrei getrotzt werden. Wichtig hierbei ist, dass auch die Kosten von Unterhaltung und Ertüchtigung in dieser allgemeinen Definition unter dem Begriff des Risikos erfasst sind. Das Ziel der Optimierung besteht also darin, die Gesamtkosten für das Tragwerk zu minimieren. Nicht nur bei Freilandanlagen aus Holzgestellen auch eine Frage des Korrosionsschutzes.

Gültigkeit von Musterstatiken prüfen – RAL GZ 966 prüft Verlässlichkeit von Herstellerangaben

Wenn sich ein Handwerker auf Musterstatiken für Standardsysteme verlässt, sollte er stets im Auge behalten, mit welchen Rahmenbedingungen diese vom Hersteller errechnet wurden. Deutschland besitzt unterschiedliche Lastannahmen für Schnee und Wind, diese sind in der DIN 1055 Norm durch Karten vorgegeben. Schneelasten werden einerseits durch die regionale Lage vorgegeben, andererseits spielt die Höhe des Anlagenstandortes eine wichtige Rolle. Im Windbereich ist

es ähnlich. Windzonen sind regional kartiert, aber auch über die Gebäudehöhe, sowie über die Geländetopographie definiert. In den Montageanleitungen vieler Hersteller und Systemhäuser findet man den Hinweis „gerechnet nach DIN 1055“, dies ist für den Installateur eine trügerische Sicherheit. In vielen Fällen hat der Hersteller dabei zwar gerechnet, den notwendigen Nachweis der statischen Sicherheit für den vorliegenden Montagefall aber nicht erbracht. Als Fachmann haftet der ausführende Installateur nun voll für alle Mängel und Schäden die hieraus resultieren. Die RAL Gütegemeinschaft Solarenergieanlage RAL GZ 966 achtet bei den Prüfungen von Mitgliedern, die Montagesysteme anbieten, besonders auf den rechnerischen Nachweis der Sicherheit nach DIN 1055 sowie die akkurate und offene Ausweisung der Berechnungs- und Systemgrenzen (Geländehöhe, Schneelast- und Windzone) dieser Musterberechnung. Eine Ausschreibung von Montagesystemen nach RAL GZ 966 umfasst dabei die Sicherheit, dass die für den Planer und Handwerker notwendigen Daten auch rechtsverbindlich vorliegen. Hierbei ist für Handwerker besonders die transparente Ausweisung der maximalen Abstände von Haltepunkten (Dachhaken) entscheidend, da nur er diese verantwortlich auf das Dach setzt und etwaige Überschreitungen von Herstellerzulassungen erkennen kann.

Normschneelast plus Anhäufungen – Berechnungen müssen Lastfall $S_k + S_e$ berücksichtigen

In der letzten SONNENENERGIE wurden die allgemeinen Elemente der Norm aufgearbeitet und die Anforderungen beschrieben, die im Zusammenhang mit dem Bereich Schneelasten stehen. Zusammenfassend wurde in der letzten Ausgabe festgestellt, dass die Normschneelast S_k nicht das alles entscheidende Kriterium für die Gesamtlast auf Montagesysteme für Solarenergieanlagen ist. Der kombinierte Lastfall $S_k + S_e$ (Normschneelast + zusätzliche Linienlast durch Schneeanhäufung) ist für den unteren Bereich des Montagesystems die relevante Belastung. Dieser Lastfall entsteht immer am hangunteren Ende der Solaranlage, da sich der abrutschende Schnee staut und einen zusätzlichen Druck auf das Montagesystem aufbaut. Diese durch den Lastfall S_e sich aufbauende Schneelast liegt in geringen Höhen bei etwa einem Viertel des Lastfalles S_k . Mit zunehmender Schneelastzone und auch mit zunehmender Höhe steigt seine Bedeutung jedoch rapide an. Er erreicht dann rasch die gleiche Höhe wie der des Normschneelastfalls und geht speziell in Schneelastzone 3 ab 800 m Höhe sogar deutlich darüber hinaus. Seriöse Musterberechnungen von Herstellern müssen diese Kombination der Schneelasten beinhalten, sonst bleibt der Handwerker im Schadensfall auf der Haftung sitzen.

Zusätzliche Linienlast S_e infolge Schneelast

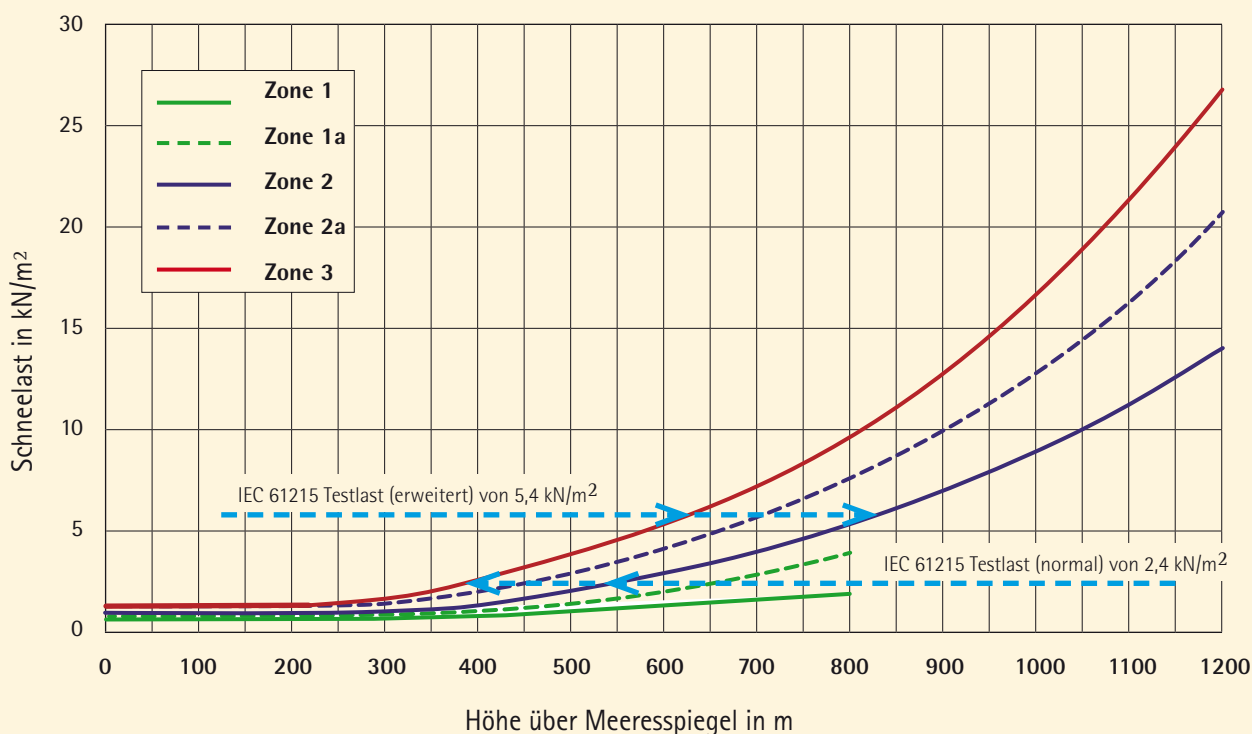
$$S_e = \frac{(\mu_i \cdot S_k)^2}{\gamma}$$

- S_e = Zusatzlast bei Schneeüberhang oder Anhäufung, Last greift entlang der unteren Modulkante
- μ_i = Formbeiwert der Schneelast entsprechend der Dachform
- S_k = charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Boden [kN/m²]
- γ = Wichte des Schnees in diesem Fall 3,0 kN/m³

DIN 1055, Teil 4: Windlasten – Sog und Druck greifen an

Der vierte Teil der Norm DIN 1055 dient zur Ermittlung ungünstiger Wirkungen des Windes auf die Tragkonstruktionen von baulichen Anlagen und ihrer Teile, wie eine auf dem Dach oder im Freiland installierte Solaranlage. Die Norm liefert damit die Grundlage für die Bemessung der Tragfähigkeit und für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit, also der Sicherheit vor einem Versagen der Konstruktion durch Windlasten. Diese Versagenssicherheit sollte bei Solaranlagen über den ganzen Nutzungszeitraum vorhanden sein, schließlich ist das In-

Kombinationslastfall $S_k + S_e$



www.scsolutions.de



Modulverlust durch Windsog auf einem exponiertem Walmdach

vestment unmittelbar ruiniert, wenn die Haltekonstruktion nachgibt. Bei Photovoltaikanlagen beträgt der angestrebte Nutzungszeitraum in der Regel 20 Jahre, also auch nach menschlichem Ermessen ein recht langer Zeitraum. Die Normkräfte in der DIN 1055 Teil 4 Windlasten dienen zur rechnerischen Abbildung der ungünstigsten Kräfte, die der natürliche Wind in der Überlagerung mit anderen Einwirkungen auf die tragenden Teile von Baukonstruktionen ausübt. Hiermit kann der Sicherheitsnachweis für Solaranlagen erbracht werden. Die genaue Ermittlung der Windlasten ist wegen des geringen Eigengewichtes und der großen Fläche von Solaranlagen für die Bemessung der Haltekräfte der Montagesysteme wesentlich.



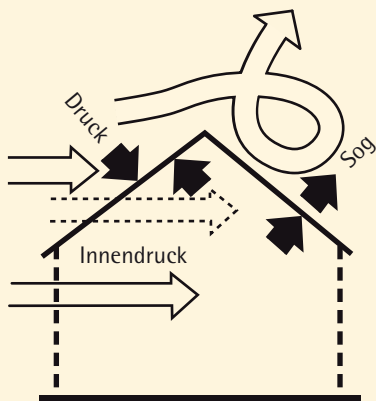
Windlasten – die technische Definition

Windlasten werden in Form von Winddrücken und Windkräften erfasst, die auf ein Bauwerk oder eine Solaranlage wirken. Die Berechnung der Windlast erfolgt unabhängig von der Himmelsrichtung mit dem vollen Rechenwert des Geschwindigkeitsdruckes. Winddrücke wirken auf die Außenflächen von Baukörpern (Außendruck) und sind bei Durchlässigkeit der äußeren Hülle auch auf die Innenflächen anzusetzen (Innendruck). Der Winddruck wirkt senkrecht zur betrachteten Oberfläche und wird bei Druckbeanspruchung als positiver Druck, bei Sogbeanspruchung als negativer Druck bezeichnet. Bei ausreichend stei-

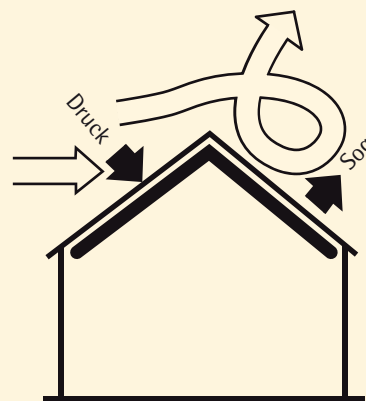
fen, nicht schwingungsanfälligen Tragwerken wird die Windbeanspruchung durch eine statische Ersatzlast erfasst. Bei schwingungsanfälligen Konstruktionen wird die Beanspruchung infolge böenerregter Schwingungen durch eine um den Böenreaktionsfaktor vergrößerte statische Ersatzlast berücksichtigt. Als nicht schwingungsanfällig gelten Bauwerke, deren Verformungen unter Windeinwirkungen durch Böenresonanz um nicht mehr als 10% vergrößert werden. Nachfolgend werden nur Regeln und Verfahren für die Ermittlung der Windlast von nicht schwingungsanfälligen Bauwerken behandelt, für schwingungsanfällige Konstruktionen wird auf die Norm verwiesen.

Schematische Darstellung verschiedener Fälle von Windsog und Winddruck an Gebäuden

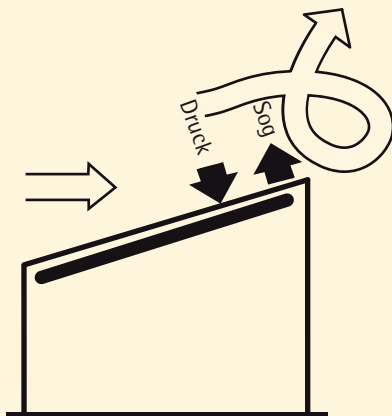
Fall 1
Offenes Gebäude
Innendruck und
leerseitiger
Sog addieren sich



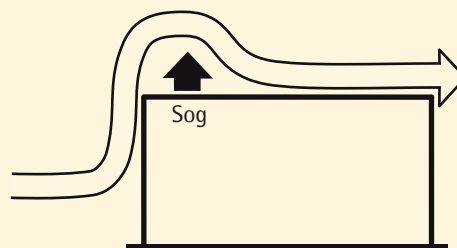
Fall 2
Gebäude mit
geschlossener
Deckunterlage
Luv-seitig: Druck
Lee-seitig: Sog



Fall 3
Gebäude mit
geschlossener
Deckunterlage
und Pultdach;
besondere Gefährdung
obere Pultkante



Fall 4
Flachdach;
Windsog entsteht
besonders in den
Randbereichen
und Ecken



Windkraft = Winddruck • Windwiderstandsbeiwert • Fläche

Die auf ein Bauteil wirkende Windkraft errechnet sich aus der Multiplikation von drei Elementen.

Ermittlung der Windkraft

$$F_w = q(z_e) \cdot c_f \cdot A_{ref}$$

$q(z_e)$ = Windgeschwindigkeitsdruck in kN/m^2 bei der relevanten Höhe Z in m

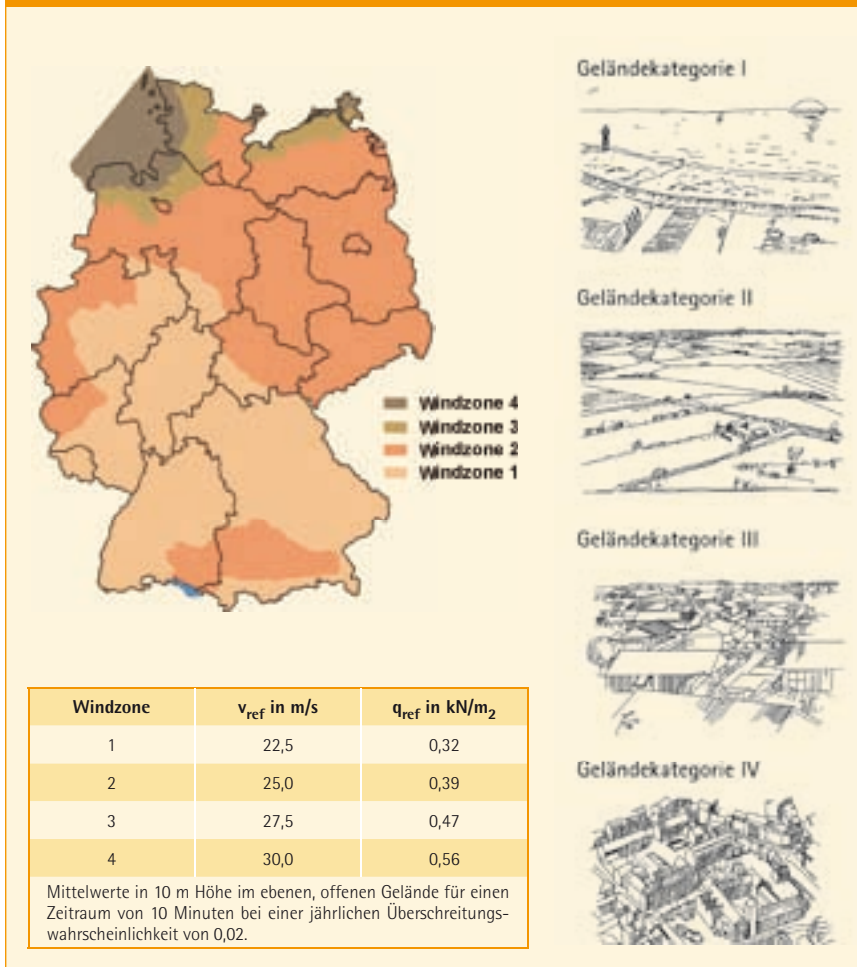
c_f = aerodynamischer Windwiderstandsbeiwert

A_{ref} = Bezugsfläche für die Windkraft in m^2

Von besonderer Wichtigkeit ist der aerodynamische Windwiderstandsbeiwert c_f , der die Höhe und Wirkungsrichtung der Windkraft vorgibt. Dies kann ein Druck, aber auch ein Sog sein, so dass die installierten Solarmodule eine Kraft von unten erfahren und vom Dach weggerissen werden können. Der zweite wichtige Faktor ist der an dem Bauteil vorherrschende Windgeschwindigkeitsdruck $q(z_e)$ in kN/m^2 . Dieser legt die absoluten Kräfte fest, die am Einbauort der Solaranlage durch den Wind wirken. Dieser Druck ist abhängig von dem Standort in Deutschland, der geographischen Umgebung sowie der Einbauhöhe eines solartechnischen Bauteils. Der letzte Faktor ist die Bezugsfläche A_{ref} , die die Bauteilgröße darstellt, die von der Windkraft betroffen ist.

Ist die an einer Solaranlage angreifende Windkraft bekannt, muss diese von der Haltekonstruktion sowohl als resultierender Windsog, der eine Zugkraft darstellt, als auch als Winddruck, der eine Druckkraft darstellt, abgetragen werden können. Hierbei ist immer der ungünstigste Lastfall zu beachten, da sich Sogkräfte auf der einen Seite auch mit Druckkräften auf der anderen Seite der Anlage überlagern können. Die Montagekonstruktion ist dann richtig bemessen, wenn alle in der Norm möglichen Kraftkombinationen sicher abgetragen werden können. Erreicht wird dies in der Praxis, in dem man zum Beispiel durch eine Erhöhung der Anzahl der Dachhaken dem Montagesystem einen besseren Halt gegen das Abheben der Gesamtkonstruktion vom Dach verschafft. Wichtig hierbei ist deshalb als Installateur immer peinlich genau darauf zu achten, dass die Anzahl der vom Hersteller vorgeschriebenen Dachhaken bzw. deren Abstände zueinander niemals unterschritten werden darf.

Windzonenkarte mit den zugehörigen Windgeschwindigkeiten v_{ref} und Geschwindigkeitsdrücken q_{ref} nach DIN 1055-4, Anhang A (links) Geländekategorien nach DIN 1055-4, Anhang B (rechts)



Windzonen und Windgeschwindigkeiten und der resultierende Windgeschwindigkeitsdruck

Der für die Bemessung der Montagesysteme notwendige Windgeschwindigkeitsdruck q ist abhängig von der Windgeschwindigkeit und der Dichte der Luft ρ . Es gilt folgende ingenieurwissenschaftliche Formel:

Windgeschwindigkeitsdruck

$$q = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = \frac{v^2}{1600}$$

q = Geschwindigkeitsdruck in kN/m^2

v = Windgeschwindigkeit in m/s

ρ = Dichte der Luft in kg/m^3

($\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ bei 1013 hPa Luftdruck und $T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ in Meereshöhe)

In der obigen Tafel sind für die vier Windzonen Mittelwerte der Windgeschwindigkeiten v_{ref} und die zugehörigen Geschwindigkeitsdrücke q_{ref} angegeben. Die Werte gelten in einer Höhe von 10 m im ebenen, offenen Gelände für eine Mit-

telung über einen Zeitraum von 10 Minuten bei einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,02, dies ist eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren.

Für die Berechnung der Windlasten wird der Windgeschwindigkeitsdruck q benötigt. Für Bauwerke bis 25 m Höhe darf der Windgeschwindigkeitsdruck nach dem vereinfachten Verfahren bestimmt werden. Installationen außerhalb dieses Sicherheitsfeldes, beziehungsweise bei Installationen auf Nordseeinseln, muss die Bodenrauigkeit und die Geländekategorie zur Bestimmung des Windgeschwindigkeitsdrucks q verwendet werden. Die Profile der mittleren Windgeschwindigkeit sowie des Windgeschwindigkeitsdruckes sind abhängig von der Bodenrauigkeit und der Topografie.

Es werden vier Geländekategorien sowie zwei Mischprofile unterschieden

- **Geländekategorie I:** Offene See; Seen mit mindestens 5 km freier Fläche in Windrichtung; glattes flaches Land ohne Hindernisse.
- **Geländekategorie II:** Gelände mit Hecken, einzelnen Gehöften, Häusern oder Bäumen, z. B. landwirtschaftliches Gebiet.

- **Geländekategorie III:** Vorstädte, Industrie- und Gewerbegebiete; Wälder.
- **Geländekategorie IV:** Stadtgebiete, bei denen mindestens 15 % der Fläche mit Gebäuden bebaut sind, deren mittlere Höhe 15 m überschreitet.
- **Mischprofil Küste:** Übergangsbereich zwischen Geländekategorie I und II.
- **Mischprofil Binnenland:** Übergangsbereich zwischen Geländekategorie II und III.

Vereinfachend kann für die Berechnung in küstennahen Gebieten sowie auf den Inseln der Nord- und Ostsee die Geländekategorie I, im Binnenland die Geländekategorie II zu Grunde gelegt werden. Die Windgeschwindigkeitsdrücke gelten nur für ebenes Gelände. Bei exponierten Lagen des Bauwerkstandortes kann eine Erhöhung des Windgeschwindigkeitsdruckes erforderlich sein (DIN 1055-4, Anhang B); bei Standorten über 800 m NN ist der Wert um 10 % je 100 Höhenmeter zu erhöhen (Faktor = $0,2 + H_S / 1000$, Meereshöhe H_S in m; DIN 1055-4, Anhang A). Für Kamm- und Gipfellagen der Mittelgebirge sowie für Bauwerksstandorte, die über $H_S = 1100$ m liegen, sind besondere Überlegungen erforderlich.

Berechnung von $q(z_e)$ – das vereinfachte Verfahren

Bei Bauwerken bis 25 m Höhe darf der maßgebliche Windgeschwindigkeitsdruck vereinfachend konstant über die gesamte Bauwerkshöhe angesetzt werden. Für höher montierte Solarenergieanlagen oder solche, deren höchster Punkt hierüber hinausgeht, sowie für Anlagen auf den Inseln der Nordsee mit mehr als 10 m Bauhöhe ist der Windgeschwindigkeitsdruck nach dem Regelfall zu berechnen. Das vereinfachte Verfahren hat den Vorteil, dass es nicht nur schneller ist, sondern durch eine leicht erhöhte Lastannahme auch in den zulässigen Fällen eine zusätzliche Sicherheit bietet.

Berechnung von $q(z_e)$ – das allgemeingültige Regelfallverfahren

Für Bauwerke mit einer Höhe über 25 m über Grund ist bei der Berechnung des Windgeschwindigkeitsdruckes q zusätzlich zur geografischen Lage (Windzonen) auch der Einfluss der Bodenrauigkeit zu berücksichtigen. In der Regel werden hierbei drei Profile des Windgeschwindigkeitsdruckes unterschieden (Binnenland der Geländekategorien II und III, küstennahe Gebiete und Inseln der Ostsee der Geländekategorien I und II und Inseln der Nordsee der Geländekategorie I).

Windgeschwindigkeitsdruck für Bauwerke bis 25 m Höhe nach dem vereinfachten Verfahren			
Windzone	Geschwindigkeitsdruck q in kN/m^2 bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
	$h \leq 10$ m	$10 \text{ m} < h \leq 18$ m	$18 \text{ m} < h \leq 25$ m
1 Binnenland	0,50	0,65	0,75
2 Binnenland	0,65	0,80	0,90
3 Küste und Inseln der Ostsee	0,85	1,00	1,10
Binnenland	0,80	0,95	1,10
Küste und Inseln der Ostsee	1,05	1,20	1,30
4 Binnenland	0,95	1,15	1,30
Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	1,25	1,40	1,55
Inseln der Nordsee	1,40	–	–

Windgeschwindigkeitsdruck für Bauwerke über 25 m Höhe nach dem allgemeingültigen Regelfallverfahren			
Binnenland (Mischprofil der Geländekategorien II und III)		Küstennahe Gebiete sowie Inseln der Ostsee (Mischprofil der Geländekategorien I und II)	
$q(z) = 1,5 \cdot q_{\text{ref}}$	für $z \leq 7$ m	$q(z) = 1,8 \cdot q_{\text{ref}}$	für $z \leq 4$ m
$q(z) = 1,7 \cdot q_{\text{ref}} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,37}$	für $7 \text{ m} < z \leq 50$ m	$q(z) = 2,3 \cdot q_{\text{ref}} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,27}$	für $4 \text{ m} < z \leq 50$ m
$q(z) = 2,1 \cdot q_{\text{ref}} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$	für $50 \text{ m} < z \leq 300$ m	$q(z) = 2,6 \cdot q_{\text{ref}} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19}$	für $50 \text{ m} < z \leq 300$ m
Inseln der Nordsee (Geländekategorie I)		q_{ref} Mittlerer Geschwindigkeitsdruck in Abhängigkeit von der Windzone z Höhe über Grund bzw. Bezugshöhe z_e oder z_i	
$q(z) = 1,1 \text{ kN/m}^2$	für $z \leq 2$ m		
$q(z) = 2,6 \cdot q_{\text{ref}} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19}$	für $2 \text{ m} < z \leq 300$ m		

Berechnung von c_f – der aerodynamische Windwiderstandsbeiwert

Die aerodynamischen Windwiderstandswerte c_f sind abhängig von der Lasteinzugsfläche A . Bei allen nachfolgenden Tabellen werden die Windwiderstandsbeiwerte für Lasteinzugsflächen von $A \leq 1 \text{ m}^2$ ($c_{f,1}$) und $A > 10 \text{ m}^2$ ($c_{f,10}$) angegeben. Die Nutzung der Berechnungsformel zur Berechnung des Windwiderstandsbeiwertes c_f für die Bereiche zwischen 1 m^2 und 10 m^2 Windangriffsfläche ist zwar angegeben. Aus Gründen der Schnelligkeit für die Berechnungen ist es jedoch ratsam und erlaubt, in diesem Falle einfach den jeweils absolut größeren Wert zu nutzen und dadurch eine erhöhte Sicherheit zu erhalten.

Die Windwiderstandsbeiwerte für Lasteinzugsflächen $A > 10 \text{ m}^2$ sind nur für die Berechnung der Ankerkräfte von Bauteilen, die unmittelbar durch Wind belastet werden, sowie für den Nachweis der Verankerungen einschließlich deren

Unterkonstruktion zu verwenden. Bei Dachüberständen ist für den Windwiderstandsbeiwert auf der Unterseite der Wert der anschließenden Wandfläche und für den Windwiderstandsbeiwert auf der Oberseite der Wert der anschließenden Dachfläche anzusetzen. Generell werden die Dächer in Bereiche F bis I eingeteilt, die sehr unterschiedliche Beiwerte besitzen, da der Sog an Ecken und Rändern ungleich stärker ist als in der Mitte eines Daches.

maximale Windsogfaktoren bei einer Lasteinzugsfläche $A < 1 \text{ m}^2$		
Dachart	Eckbereich max. c_f	Randbereich max. c_f
Flachdach	–2,5	–2,0
Pultdach	–2,9	–2,5
Satteldach	–2,8	–2,0
Trogdach	–2,8	–2,0
Walmdach	–2,5	–2,0

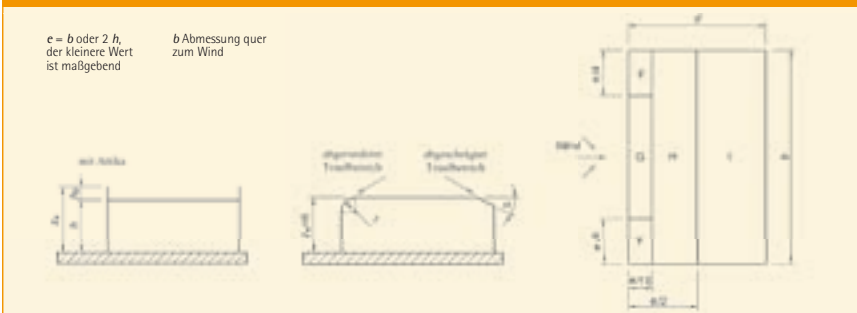
Zusammenhang zwischen Lasteinzugsfläche und Windwiderstandsbeiwert c_f		
Lasteinzugsfläche A	Windwiderstandsbeiwert c_f	Bemerkung
$A \leq 1 \text{ m}^2$	$c_f = c_{f,1}$	Verwendung nur für die Berechnung der Ankerkräfte und den Nachweis der Verankerungen
$1 \text{ m}^2 < A \leq 10 \text{ m}^2$	$c_f = c_{f,1} + (c_{f,10} - c_{f,1} \cdot \lg A)$	
$A > 10 \text{ m}^2$	$c_f = c_{f,10}$	

Außendruckbeiwerte für Flachdächer

	Bereich							
	F		G		H		I	
	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$
Scharfkantiger Traufbereich	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2/-0,6	
mit Attika	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2/-0,6
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2/-0,6
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2/-0,6
Abgerundeter Traufbereich	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		$\pm 0,2$
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		$\pm 0,2$
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		$\pm 0,2$
Abgeschrägter Traufbereich	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		$\pm 0,2$
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		$\pm 0,2$
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		$\pm 0,2$

Bei Flachdächern mit Attika oder abgerundetem Traufbereich darf für Zwischenwerte h_p/h und r/h linear interpoliert werden. Bei Flachdächern mit mansarddachartigem Traufbereich darf für Zwischenwerte von $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ und 60° linear interpoliert werden. Für $\alpha > 60^\circ$ darf zwischen den Werten für $\alpha = 60^\circ$ und den Werten für Flachdächer mit rechteckigem Traufbereich interpoliert werden. Im Bereich I, für den positive und negative Werte angegeben werden, müssen beide Werte berücksichtigt werden. Für die Schräge des mansarddachartigen Traufbereichs selbst werden die Außendruckbeiwerte in der Übersicht „Außendruckbeiwerte für Sattel- und Trogdächer“ Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$, Bereiche F und G, in Abhängigkeit vom Neigungswinkel des mansarddachartigen Traufbereichs angegeben. Für den abgerundeten Traufbereich selbst werden die Außendruckbeiwerte entlang der Krümmung durch lineare Interpolation entlang der Kurve zwischen dem Wert an der vertikalen Wand und auf dem Dach ermittelt.

Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern



Berechnung von c_f für Flachdächer

Flachdächer im Sinne der Norm sind Dächer mit einer Dachneigung geringer als 5° . Die Einteilung der Dachflächen erfolgen nach nebenstehender Tafel. Für sehr flache Baukörper mit $h/d < 0,1$ darf der Bereich F entfallen.

Nach der Ermittlung der Dachflächeneinteilung im vorliegenden Bemessungsfall geht man bei Flachdächern in die nebenstehende Tabelle und kann hieraus den aerodynamischen Windwiderstandsbeiwert ablesen. Hierbei fällt auf, dass bei kleinteiligen Anlagen $A < 1 \text{ m}^2$ und scharfkantigen Traufbereichen im Eckbereich F des klassischen Flachdaches eine absolute Spitze beim aerodynamischen Windwiderstandsbeiwert c_f von $-2,5$ vorliegt. Zum Vergleich: der c_f im Randbereich G liegt bei $-2,0$, während der im Hauptbereich des Daches I anliegende c_f mit nur $-0,6$ zu Buche schlägt. Insgesamt sind die Randbereiche von Flachdächern besonders zu beachten, damit keine Schäden an den Photovoltaikanlagen durch Windsog entstehen.

Außendruckbeiwerte für Pultdächer

Neigungswinkel α ¹⁾	Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$ ²⁾						Anströmrichtung $\theta = 180^\circ$					
	Bereich F		Bereich G		Bereich H		Bereich F		Bereich G		Bereich H	
	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6/+0,2	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
10°	-1,3	-2,2	-1,0	-1,7	-0,4/+0,2	-0,7	-2,4	-2,6	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3	-0,2	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
30°	+0,2	-1,5	+0,2	-1,5	+0,2	-0,2	-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	-0,8
45°	+0,7	-1,5	+0,7	-1,5	+0,4	-0,2	-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	-0,8
60°	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,6	-0,6	-1,3	-1,3	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7
75°	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	-0,5	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
75°	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	-0,5	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5

Neigungswinkel α ¹⁾	Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$									
	Bereich F _{hoch}		Bereich F _{tief}		Bereich G		Bereich H		Bereich I	
	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6/+0,2	
10°	-2,2	-2,7	-1,8	-2,4	-1,8	-2,2	-0,7	-1,2	-0,6/+0,2	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2

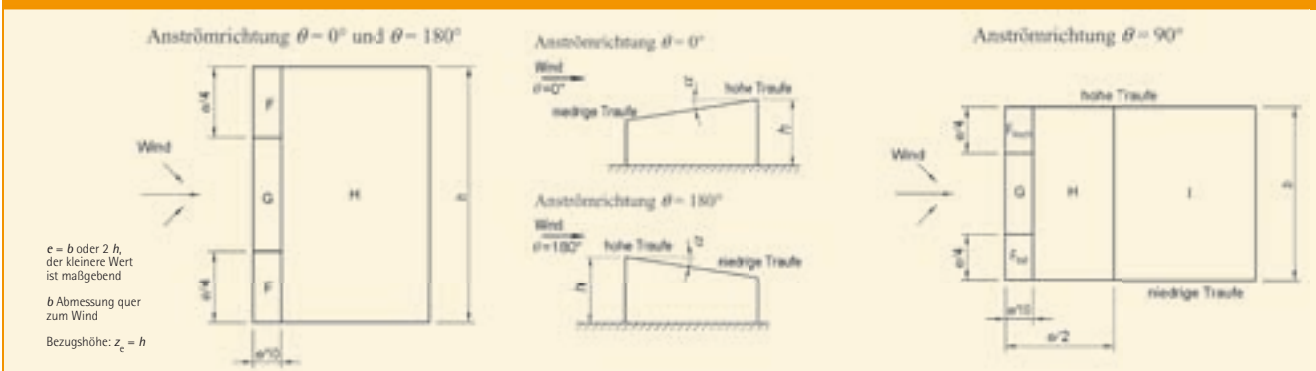
¹⁾ Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.
²⁾ Bei Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$ und bei Neigungswinkeln $15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ ändert sich der Druck schnell zwischen positiven und negativen Werten. Für diesen Bereich wird daher sowohl der positive als auch der negative Außendruckbeiwert angegeben.

Berechnung von c_f für Pultdächer

Bei Pultdächern sind drei Anströmrichtungen zu untersuchen ($\theta = 0^\circ$: Anströmung auf niedrige Traufe; $\theta = 180^\circ$: Anströmung auf hohe Traufe; $\theta = 90^\circ$: Anströmung parallel zu hoher und niedriger Traufe). Windwiderstandsbeiwerte nach nebenstehender Tabelle, Einteilung der Dachflächen wie in folgender Tafel dargestellt.

Nach der Ermittlung der Dachflächeneinteilung im vorliegenden Bemessungsfall geht man in die nebenstehende Tabelle und kann hieraus den aerodynamischen Windwiderstandsbeiwert ablesen. Auch bei Pultdächern sind besonders die Randbereiche zu beachten, damit keine Schäden an den Photovoltaikanlagen durch Windsog entstehen. Dies ist wie bei Flachdächern das größte Gefahrenpotenzial.

Einteilung der Dachflächen bei Pultdächern



Berechnung von c_f für Sattel- und Trogdächer

Bei Sattel- und Trogdächern sind zwei Anströmrichtungen zu untersuchen ($\theta = 0^\circ$: Anströmung auf Dachfläche; $\theta = 90^\circ$: Anströmung parallel zur Dachfläche). Windwiderstandsbeiwerte nach nebenstehender Tabelle, Einteilung der Dachflächen wie in folgender Tafel dargestellt.

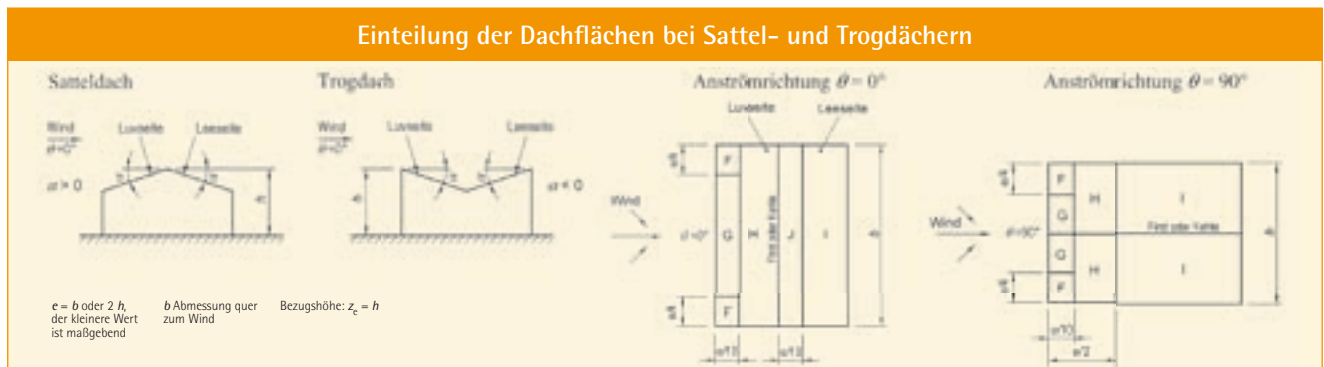
Nach der Ermittlung der Dachflächen-einteilung im vorliegenden Bemessungsfall geht man in die nebenstehende Tabelle und kann hieraus den aerodynamischen Windwiderstandsbeiwert ablesen.

Bei Sattel- und Trogdächern ist neben den Randbereichen auch der Dachrücken wichtig. Hier entsteht der maximale Sog, so dass die in diesem Bereich installierten Module besonderen Windlasten ausgesetzt sind. Planer und Installateure müssen dies bei der Ausführung unbedingt beachten.

Außendruckbeiwerte für Sattel- und Trogdächer											
Neigungswinkel α^1	Anströmwinkel $\theta = 0^\circ$ ²⁾										
	Bereich F		Bereich G		Bereich H		Bereich I		Bereich J		
	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0		-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8		-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7		-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,6 / +0,2		-0,6 / +0,2		
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6 / +0,2		-0,6 / +0,2		
10°	-1,3	-2,2	-1,0	-1,7	-0,4		-0,5 / +0,2		-0,8 / +0,2		
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0		-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2						
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5		
	+0,7		+0,7		+0,4						
45°	+0,7		+0,7		+0,6		-0,4		-0,5		
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,4		-0,5		
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,4		-0,5		

Neigungswinkel α^1	Anströmwinkel $\theta = 90^\circ$							
	Bereich F		Bereich G		Bereich H		Bereich I	
	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6 / +0,2	
10°	-1,4	-2,1	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6 / +0,2	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°, 75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

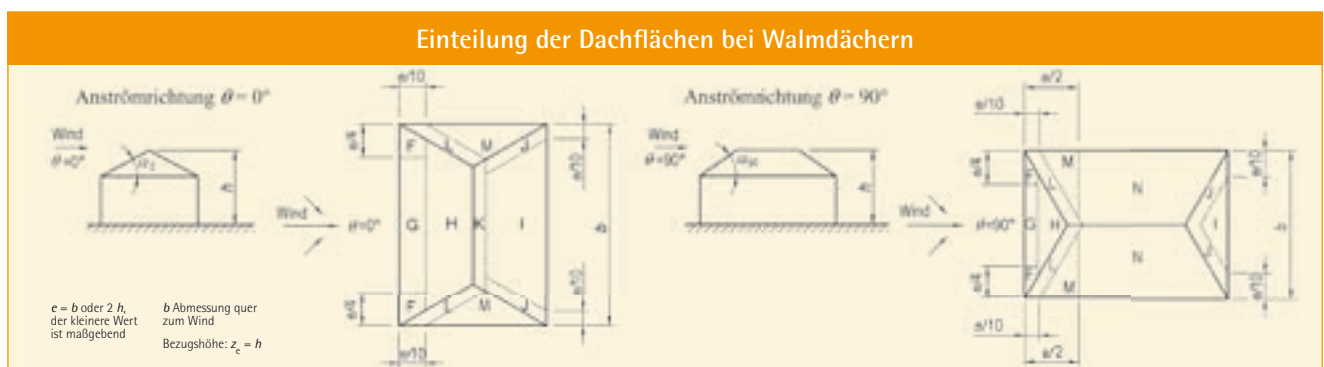
¹⁾ Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden, sofern nicht das Vorzeichen wechselt.
²⁾ Bei Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$ und bei Neigungswinkeln $15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ ändert sich der Druck schnell zwischen positiven und negativen Werten. Für diesen Bereich wird daher sowohl der positive als auch der negative Außendruckbeiwert angegeben.



Berechnung von c_f für Walmdächer

Bei Walmdächern sind zwei Anströmrichtungen auf die jeweilige Dachfläche zu untersuchen ($\theta = 0^\circ$: Anströmung auf Dachfläche; $\theta = 90^\circ$: Anströmung parallel zur Dachfläche). Windwiderstandsbeiwerte nach nebenstehender Tabelle, Einteilung der Dachflächen wie in folgender Tafel dargestellt. Für Dachneigungen zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden, sofern das Vorzeichen nicht wechselt.

Außendruckbeiwerte für Walmdächer																		
Neigungswinkel α_0 für $\theta = 0^\circ$, α_{90} für $\theta = 90^\circ$	Anströmwinkel $\theta = 0^\circ$ und $\theta = 90^\circ$																	
	Bereich F		Bereich G		Bereich H		Bereich I		Bereich J		Bereich K		Bereich L		Bereich M		Bereich N	
	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$	$c_{f,10}$	$c_{f,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	-0,6	-0,6	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4				
	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3													
15°		+0,2	+0,2	+0,2	+0,2		-0,5	-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	+0,4	-0,4	-0,7	-1,2	-0,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2			
	+0,5		+0,7															
45°	+0,7		+0,7		+0,6	-0,3	-0,6	-0,3	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2					
60°	+0,7		+0,7		+0,7	-0,3	-0,6	-0,3	-1,2	-2,0	-0,4	-0,2						
75°	+0,8		+0,8		+0,8	-0,3	-0,6	-0,3	-1,2	-2,0	-0,4	-0,2						



Vorsicht in den Ecken und am Rand – Windsog vervielfacht sich

Aus der Entwicklung des Windsoges in den beiden vorgelegten Berechnungsbeispielen zeigt sich deutlich, dass Ecken und Ränder von Dächern bei Wind viel stärker belastet werden. Montagesysteme müssen in diesen Bereichen weitaus stabiler ausgelegt werden und eine bessere Verankerung, ggf. mit mehr Dachhaken erfahren, als dies in der Mitte der Dächer notwendig ist.

Umsichtige Installateure halten deshalb speziell bei Flachdächern auf exponierten Gebäuden einen Randabstand, um die ungleich größeren Kräfte und damit eine kostspielige Verstärkung des Montagesystems in diesen Bereichen zu umgehen. Eck- und Randbereiche sind immer in den Dachbereichen gegeben, die weniger als ein Fünftel der Gebäudehöhe an Abstand zum Dachrand besitzen.

Schutz vor Windlasten ist wichtig – Schadenspotenzial: Totalverlust der Anlage

Die resultierende Windkraft auf ein Bauwerk oder Bauteil ergibt sich aus dem Produkt von Geschwindigkeitsdruck, aerodynamischen Kraftbeiwerten und Bauwerksflächen. Die Druckbeiwerte von Wind auf Flächen können theoretisch maximal nur 1,0 betragen, da die Windgeschwindigkeit auf der angeströmten Fläche auf Null abfällt. In der Praxis schwanken die Druckbeiwerte aber meist zwischen 0,6 und 0,8. Die für Solaranlagen jedoch besonders relevanten Sogbeiwerte sind in ihrer Größenordnung physikalisch nicht begrenzt. Je nach lokalem Einbaufall können diese im Bereich der Dachkanten bis zu -2,9 betragen.

Insbesondere die Sogkräfte sind für Windschäden an Solaranlagen auf Bauwerken verantwortlich. Schäden die hieraus entstehen münden zumeist unmittelbar in den Totalverlust von Modulen und ziehen folglich für das ausführende Unternehmen ein großes wirtschaftliches und bei Personenschäden auch strafrechtliches Haftungsrisiko nach sich.



Totalverlust von Photovoltaikmodulen



Photovoltaikanlage mit Randabstand zur Vermeidung zusätzlicher Windlasten

Planer und Installateure in der Verantwortung – Was prüft RAL Solar bei Windlasten?

Planer und Installateure sollten wegen der potenziellen Schadenshöhe beim Einbau besonders auf die genaue Einhaltung der Herstellervorgaben des Montagesystems achten. Ferner müssen sie sich zum eigenen Schutz überzeugen, dass der Hersteller und Lieferant für den vorliegenden Montagefall auch einen statischen Nachweis nach DIN 1055 vorlegen kann. In der Praxis ist diese Selbstverständlichkeit leider oftmals nicht gegeben, bzw. es erfolgt eine Einschränkung der Haftung durch den Hersteller. Dies geschieht oftmals, indem für die Praxis viel zu geringe Maximallasten zugelassen sind oder Dachhakenabstände direkt vorgeschrieben und nicht als Maximalabstände definiert werden. So kann der Hersteller durch die juristische Hintertür Planer und Installateur in die volle Verantwortung setzen, ohne dass die Betroffenen dies eigentlich merken.

In der Prüfung von Montagesystemherstellern nach RAL GZ 966 durch die RAL Gütegemeinschaft Solarenergiean-

lagen e.V. wird besonderer Wert auf die Kontrolle der Dokumentation von Montageanleitungen und Montagevorgaben gelegt. Hierbei wird einerseits kontrolliert, ob die vorgelegte Musterstatik einen statischen Nachweis nach DIN 1055 darstellt. Andererseits wird darauf geachtet, dass die Aussagen über Einsatzbereiche und -grenzen der geprüften Montagesysteme deutlich und für Solarfachleute verständlich angegeben werden. Bei Herstellern von Montagesystemen mit dem RAL GZ 966 Gütezeichen wurde durch unabhängige Prüfer verifiziert, dass diese in diesen sensiblen, rechtsrelevanten Bereichen belastbare und verbindliche Angaben machen. Wählt ein Planer oder Installateur einen solchen Anbieter aus und bestellt gemäß RAL GZ 966, ist er sicher, bei fachgerechter Montage nach Herstellervorgaben, die notwendige Rechtssicherheit durch eine unmittelbare Herstellerhaftung zu erlangen.

ZUM AUTOR

► Dr.-Ing. Jan Kai Dobelmann MSc MBA ist Bauingenieur und Präsident der DGS dobelmann@dgs.de

Hersteller mit dem RAL Gütezeichen Solarenergieanlagen im Bereich Montagesysteme

Mitgliedsnummer	Firmenname	Webadresse
G002	Phönix Sonnenwärme AG	www.sonnenwaermeag.de
G003	Leichtmetallbau Schletter GmbH	www.solar.schletter.de
G004	Dr. Sol Solarsysteme	www.drsol.de
G021	Systemhaus Corona GmbH	www.corona2000.de
G024	Ralos Vertriebs GmbH	www.ralos.de
G025	Soltech GmbH	www.solarotechniken.de
G051	Sandler Energietechnik GmbH&Co KG	www.sandler-energie.de
G052	EEG Erneuerbare Energien Großhandel GmbH	www.eegh.de
G060	Solar Markt GmbH	www.solarmarkt.com
G074	Solarzentrum Allgäu	www.solarzentrum-allgaeu.de
0082	General Solar Systems	www.generalsolar.com
0083	Sonnenkraft GmbH Deutschland	www.sonnenkraft.de
0084	ISISun Energiesysteme GmbH	www.isisun.com
0085	ProSolar GmbH	www.pro-solar.de
0094	Ideematec-Deutschland GmbH	www.ideematec.de
0095	Solare Energiesysteme Nord Vertriebsgesellschaft mbH	www.sen.eu
0105	Creotecc GmbH	www.creotecc.de