

Basiswissen für Dachhandwerker

Windsog

Teil 2: DIN 1055 Teil 4

Autor: Dipl.-Ing. Markus Friedrich, 15732 Eichwalde

© Copyright Markus Friedrich Datentechnik
Bahnhofstraße 74
D - 15732 Eichwalde bei Berlin

www.friedrich-datentechnik.de

Alle Rechte sind geschützt.
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Autors.

Sogberechnung

Die Formel

$$\begin{aligned}
 W &= q * cp * SF & [1a] \\
 &= \frac{1}{2} * \text{Luftdichte} * v^2 * (cp_e + cp_i) * SF & [1b] \\
 &= \frac{1}{2} * (1,25 \text{ kg/m}^3) * v^2 * (cp_e + cp_i) * 1,5 & [1c]
 \end{aligned}$$

ist allgemeingültige Physik und daher auch Grundlage für die DIN 1055-4. Die Formel gibt an, wie der Staudruck des Windes (q) auf die Dachfläche übertragen wird (cp). In der DIN 1055-4 ist der cp -Wert im Eck des Flachdaches für scharfkantige Gebäude mit 2,5 angegeben (Seite 25, Tabelle 4). Damit ist der Windsog im Eck 2,5-mal so hoch wie der Winddruck in Höhe des Flachdaches. Der **Sicherheitsfaktor** SF wird fest mit 1,5 angewendet und stellt sicher, dass die Unterschiede zwischen Theorie und Praxis ausgeglichen werden.

Zur Bemessung eines Daches lt. DIN 1055-4 benötigen wir

- 1.) den Staudruck q bzw. die Windgeschwindigkeit v in Höhe der Dachfläche
- 2.) die Formbeiwerte cp_e für Eck, Außenrand, Innenrand und Innenbereich
- 3.) den Innendruckbeiwert cp_i
- 4.) die Flächeneinteilung des Daches (Ecken, Randbereiche, Innenbereich)

Staudruck

Der Staudruck q ergibt sich aus der Windgeschwindigkeit v ($q = \frac{1}{2} * \text{Luftdichte} * v^2$). Die Windgeschwindigkeit v wiederum ist abhängig von Gebäudehöhe, Windzone und Geländerauhigkeit.

Die Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit von der Höhe resultiert aus der Luftreibung an der Erdoberfläche. Aufgrund der Reibung ist die Windgeschwindigkeit in Bodennähe geringer als weiter oben. Mit zunehmender Höhe nimmt dieser Effekt ab. Wie stark der Effekt wirkt, ergibt sich aus der Geländerauhigkeit. Über dem Meer ist die Bodenreibung am geringsten, in Innenstädten mit eng aneinander gebauten Hochhäusern am größten.

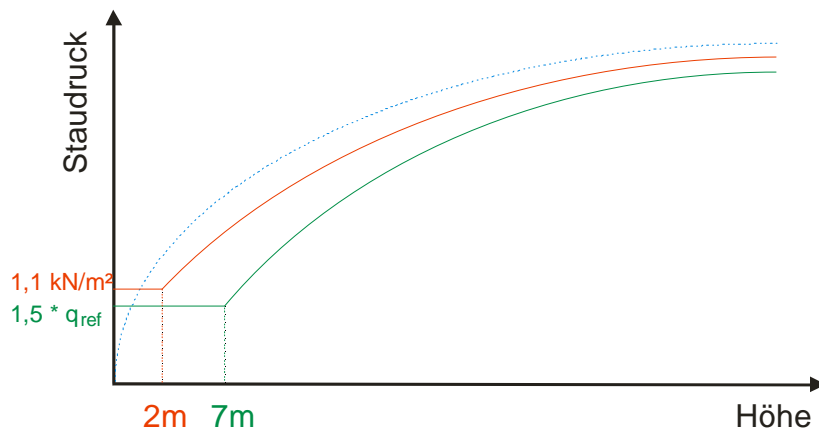


Bild 1: Windprofile für **offene See** und **Binnenland**

Die DIN 1055-4 bildet in Abschnitt 10.3 die Zusammenhänge von Höhe und Geländerauhigkeit zur Windgeschwindigkeit in mehreren Formeln ab. Ab einer Höhe von 2 m (Inseln der Nordsee), 4 m (küstennahe Gebiete) oder 7 m (Binnenland) errechnet sich der höhenabhängige Staudruck mit Exponentialfunktionen. Für geringere Höhen wird der Staudruck direkt angegeben, da die Exponentialfunktionen (Bild 1, blaue Linie) zu Windstille an der Erdoberfläche führen würden. Da dies erfahrungsgemäß nicht sein kann und ernahe Verwirbelungen von den Formeln nicht erfasst werden können, ist dieses Vorgehen sinnvoll.

Die Exponentialfunktionen beziehen sich auf einen Bezugsstaudruck q_{ref} in 10 m Höhe, welcher seinerseits von der Windzone abhängt.

Den Bezugsstaudruck q_{ref} entnimmt man der Windzonenkarte in Anhang A1. Diese weist 4 Windzonen auf:

1. Süddeutschland ($v_{ref} = 22,5 \text{ m/s} \rightarrow q_{ref} = 0,32 \text{ kN/m}^2$)
2. Norddeutschland, westl. NRW, Voralpenland ($v_{ref} = 25,0 \text{ m/s} \rightarrow q_{ref} = 0,39 \text{ kN/m}^2$)
3. Nordsee-Küstenregion, nördl. Mecklenburg... ($v_{ref} = 27,5 \text{ m/s} \rightarrow q_{ref} = 0,47 \text{ kN/m}^2$)
4. Nordsee, Nordseeküste, Fehmarn, nördl. Rügen ($v_{ref} = 30,0 \text{ m/s} \rightarrow q_{ref} = 0,56 \text{ kN/m}^2$)

Beispielrechnung 1

Gebäudestandort: Stuttgart
Geländekategorie: Binnenland
Gebäudehöhe: 16 m

Aus dem Gebäudestandort ergibt sich die Windzone = 1, der Referenzstaudruck $q_{ref} = 0,32 \text{ kN/m}^2$
Der Staudruck am Dach berechnet sich lt. DIN 1055-4 Seite 18, Formel (11) wie folgt:

$$\begin{aligned} q &= 1,7 * q_{ref} * (h / 10)^{0,37} \\ &= 1,7 * 0,32 \text{ kN/m}^2 * (16\text{m} / 10\text{m})^{0,37} \\ &= 0,647 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Formbeiwerte am Flachdach

Die Formbeiwerte am Flachdach (Dachneigung $< 5^\circ$) sind für 4 Dachbereiche zu ermitteln:
Eck, Außenrand, Innenrand und Innenbereich.

Die Länge und Breite der Bereiche ergeben sich aus dem Wert e , welcher das Minimum von windwirksamer Fassadenbreite und doppelter Gebäudehöhe darstellt.

$$e = \text{Minimum} (2 * h, b)$$

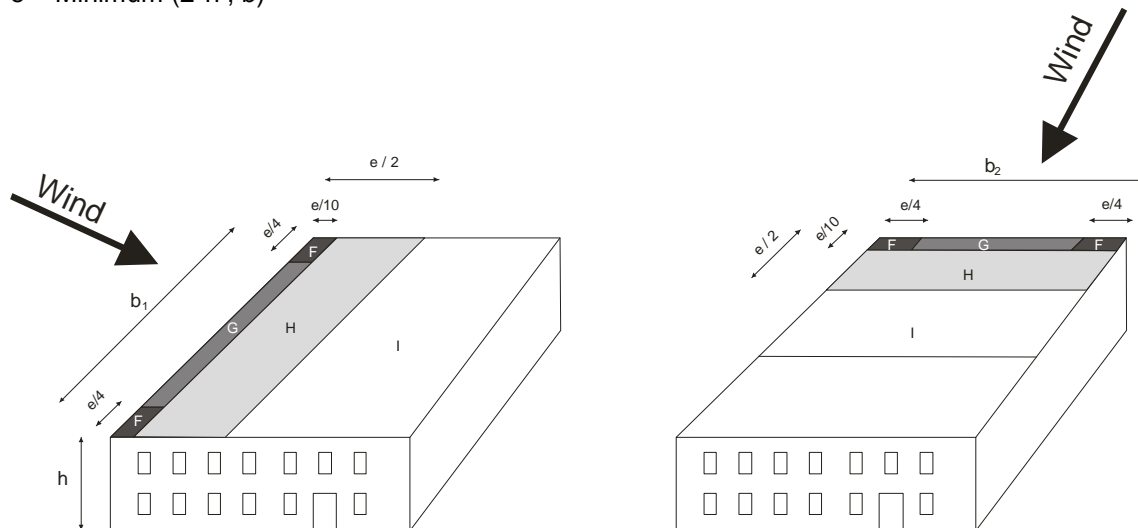


Bild 2: Dachbereichseinteilung

Beispiel:

Gebäudehöhe = 8 m, Gebäudelänge $b_1 = 32 \text{ m}$, Gebäudebreite $b_2 = 10 \text{ m}$

Bei Anströmung auf b_1 : $e = \min (2 * 8 \text{ m}, 32\text{m}) = 16 \text{ m}$

Bei Anströmung auf b_2 : $e = \min (2 * 8 \text{ m}, 10\text{m}) = 10 \text{ m}$

Aus den 2 Werten für e ergeben sich für die Längs- und Breitseite unterschiedliche Randtiefen und Eckschenkellängen. Die jeweiligen Werte können mit den Angaben aus Bild 2 bestimmt werden.

Durch Überlagerung aller 4 Windanströmrichtungen ergibt sich die Gesamtbereichseinteilung.

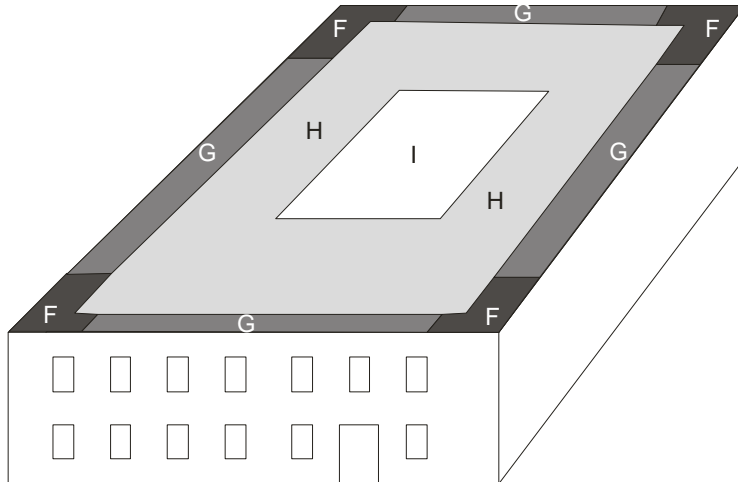


Bild 3: Dachflächeneinteilung nach Überlagerung

Für die Bemessung eines Flachdaches mit luftundurchlässiger Tragdecke müssen nur noch die Formbeiwerte aus Tabelle 4 (Seite 25) entnommen werden. Es gelten die Werte in der Spalte $cp_{e,1}$, da die Lasteinzugsfläche für Dachbauschrauben $< 1 \text{ m}^2$ ist.

Hintergrundinfo Lasteinzugsfläche:

Wenn der Wind mit seinen Wirbeln an einer Oberfläche saugt, tut er dies an verschiedenen Stellen unterschiedlich stark. Evtl. bilden sich an einer Oberfläche sogar mehrere Wirbel. Der Randwirbel bildet starken Sog nahe der Dachkante. Weiter innen strömen die Gasteilchen in Richtung der Dachoberfläche und können dort sogar Druck bewirken. Je größer eine Oberfläche, desto besser ist die Lastverteilung, da sich Bereiche mit mehr bzw. weniger Sog auf ein Mittelmaß ausgleichen. Dieser Ausgleich kann aber nur wirken, wenn die zugehörigen Lasteinzugsflächen mind. 1 m^2 , idealerweise $> 10 \text{ m}^2$, groß und ausreichend ausgesteift sind. Dies ist bei Dachbahnen nicht der Fall. Die Lasteinzugsfläche je Dachbauschraube ist $\leq 0,5 \text{ m}^2$ (wg. Mindestanzahl 2 Befestiger / m^2 aus der Fachregel) und eine Dachbahn ist nicht starr genug um die unterschiedlichen Sogkräfte ausgemittelt auf die einzelnen Schrauben zu verteilen. Daher gilt für die Bemessung von Dachbauschrauben immer der Wert $cp_{e,1}$!

Beispielrechnung 2

Gebäudestandort: Hannover
Geländekategorie: Binnenland
Gebäudehöhe: 8 m

Aus dem Gebäudestandort ergibt sich die Windzone = 2 mit Referenzstaudruck $q_{ref} = 0,39 \text{ kN/m}^2$.
Der Staudruck am Dach berechnet sich lt. DIN 1055-4 Seite 18, Formel (11) wie folgt:

$$\begin{aligned}q &= 1,7 * q_{ref} * (h / 10)^{0,37} \\ &= 1,7 * 0,39 \text{ kN/m}^2 * (8\text{m} / 10\text{m})^{0,37} \\ &= 0,61 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Formbeiwert* cp im Eck: F = 2,5
im Außenrand: G = 2,0
im Innenrand: H = 1,2
im Innenbereich: I = 0,6 (ungünstigerer Wert)

Sicherheitsfaktor SF = 1,5

Mit Formel [1a] ($W_{sog} = q * cp * SF$) berechnet sich der Windsog für die 4 Dachbereiche wie folgt:

$$\begin{aligned}W_{eck} &= 0,61 \text{ kN/m}^2 * 2,5 * 1,5 \\ &= 2,29 \text{ kN /m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{Rand\ außen} &= 0,61 \text{ kN/m}^2 * 2,0 * 1,5 \\ &= 1,83 \text{ kN /m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{Rand\ innen} &= 0,61 \text{ kN/m}^2 * 1,2 * 1,5 \\ &= 1,10 \text{ kN /m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{innen} &= 0,61 \text{ kN/m}^2 * 0,6 * 1,5 \\ &= 0,55 \text{ kN /m}^2\end{aligned}$$

*Anmerkung: Alle Formbeiwerte werden, tlw. entgegen der Originalschreibweise, ohne Vorzeichen dargestellt.

Dachrandausbildung

Hinter der Attika bildet sich ein Wirbel, welcher nur dann die Dachoberfläche erreichen kann, wenn er größer als die Höhe der Attika ist. Daher schützen Attiken insbesondere vor den kleinen Eckwirbeln und Wirbeln direkt an der Außenkante. Diesen Umstand berücksichtigt die DIN 1055-4 in Tabelle 4 (Seite 25). Dort werden, abhängig vom Verhältnis (Attikahöhe h_p / Gebäudehöhe h), verringerte c_{pe} -Werte für Dächer mit Attiken angegeben.

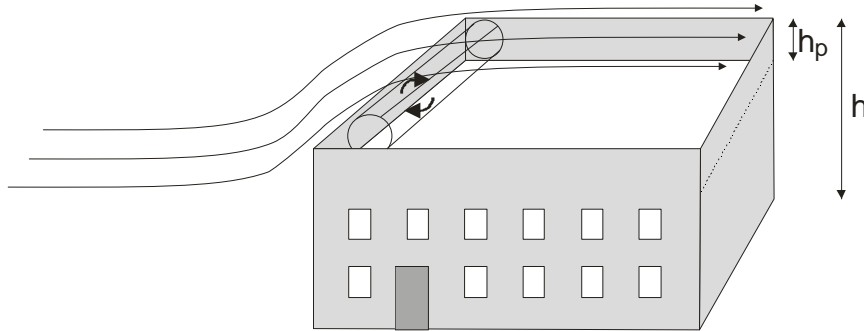


Bild 4: Wirbelbildung hinter Attika

Dächer mit abgeschrägten oder abgerundeten Dachkanten sind strömungstechnisch ebenfalls günstiger als scharfkantige Dachrandausbildungen. An Rundungen und schrägen Traufen „knickt“ der Luftstrom weniger scharf ab und führt zu einer sanfteren Umströmung der Traufe. Die verhindert kleine Wirbel und die damit verbundenen, hohen Soglasten.

Innendruck

Bei Gebäuden mit luftdurchlässiger Tragdecke ist der Innendruck zu berücksichtigen. Die DIN 1055-4 unterscheidet beim Innendruck 3 Gebäudehüllentypen: geschlossen, durchlässig und offen.

- Geschlossen ist ein Gebäude bei einem Öffnungsanteil der Außenwände $< 1\%$. Verschließbare Fenster, Türen und Tore gelten nicht als Öffnung, sofern diese bei Sturm nicht betriebsbedingt geöffnet werden müssen (Rettungsdienste, Aufnahmepforte Krankenhaus...).
- Der Innendruckbeiwert c_{pi} für geschlossenen Gebäude ist 0.
- Ausnahme: luftdurchlässige Tragdecken erhöhen c_{pi} auf 0,2 (Siehe Basiswissen Windsog, Teil 1)
- Offen sind Gebäude bei denen mind. eine Wand fehlt oder die Fassade zu mehr als 30% offen ist. In diesen Fällen entnimmt man die Innendruckbeiwerte den Fallbeispielen in Kapitel 12.1.9.
- Durchlässige Gebäude sind alle Fälle zwischen offen und geschlossen.

Der Innendruckbeiwert durchlässiger Gebäude errechnet sich aus dem Verhältnis der windangeströmten Öffnungen zu den Gesamtöffnungen. Das ist sinnvoll, da die windparallele und windabgewandten Öffnungen den Innendruck abbauen. Bei völlig gleichmäßig verteilten Öffnungen wird der Innendruckbeiwert zu 0,15.

Sind alle Öffnungen zu einer Windanströmung hin gerichtet nimmt der Innendruckbeiwert c_{pi} sein Maximum von 0,8 an. Zwischen gleichverteilten und 1-seitigen Öffnungen wird der c_{pi} -Wert über den Hilfwert μ ermittelt:

$$\mu = (\text{windparallele} + \text{windabgewandte Öffnungen}) / \text{Gesamtöffnungsfläche} \quad [2]$$

Mit der Skizze in Bild 5 kann der c_{pi} -Wert über dem μ -Wert abgelesen werden. Diese Skizze ist ein Teil von Bild 10 aus der DIN 1055-4 Kapitel 12.1.8. Die in der DIN zusätzlich dargestellten Bereiche enthalten Anströmungen mit höherem windabgewandtem als windzugewandtem Flächenanteil. Diese sind für uns irrelevant, da der Wind um 180° drehen kann und damit der windzugewandte Öffnungsanteil wieder überwiegt.

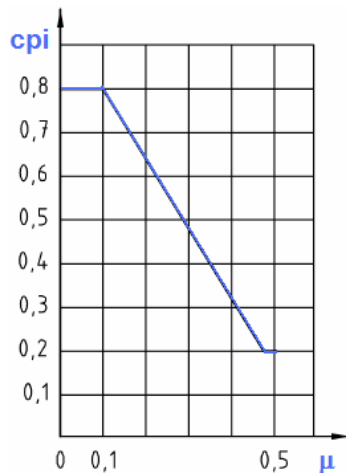


Bild 5: Ermittlung Innendruckbeiwert

An Bild 5 erkennt man, dass bei luftdurchlässiger Tragdecke der c_{pi} -Wert nicht unter 0,2 sinken kann. Das gilt, wie in Teil 1 Kapitel „Innendruck gezeigt, selbst bei luftdichter Fassade!

Die Kurve endet bei einem μ -Wert von 0,5. Höhere Werte sind nur möglich, wenn die windabgewandten und windparallelen Öffnungen größer den angeströmten Öffnungen sind.

Beispielrechnung 3

Gebäudestandort:	Husum
Geländekategorie:	küstennahes Gebiet
Gebäudehöhe:	12 m
Öffnungsflächen gesamt:	30 m ²
größte windzugewandte Öffnungsflächen:	20 m ²

Aus dem Gebäudestandort ergibt sich die Windzone = 4 mit Referenzstaudruck $q_{ref} = 0,56 \text{ kN/m}^2$. Der Staudruck am Dach berechnet sich lt. DIN 1055-4 Seite 19, Formel (14) wie folgt:

$$q = 2,3 * q_{ref} * (h / 10)^{0,27} = 2,3 * 0,56 \text{ kN/m}^2 * (12\text{m} / 10\text{m})^{0,27} = 1,35 \text{ kN/m}^2$$

Formbeiwert c_p im Eck:	F = 2,5
im Außenrand:	G = 2,0
im Innenrand:	H = 1,2
im Innenbereich:	I = 0,6 (ungünstigerer Wert)

Innendruckbeiwert lt. Formel [2]: $\mu = 10 \text{ m}^2 / 30 \text{ m}^2 = 0,33$

Aus Bild 5: $c_{pi} = 0,42$

Sicherheitsfaktor $SF = 1,5$

Mit Formel [1a] $[W_{sog} = q * (c_{pe} + c_{pi}) * SF]$ berechnen sich die Windsogkräfte in den 4 Dachbereichen wie folgt:

$$W_{eck} = 1,35 \text{ kN/m}^2 * (2,5 + 0,42) * 1,5 = 5,91 \text{ kN /m}^2$$

$$W_{Rand \text{ außen}} = 1,35 \text{ kN/m}^2 * (2,0 + 0,42) * 1,5 = 4,9 \text{ kN /m}^2$$

$$W_{Rand \text{ innen}} = 1,35 \text{ kN/m}^2 * (1,2 + 0,42) * 1,5 = 3,28 \text{ kN /m}^2$$

$$W_{innen} = 1,35 \text{ kN/m}^2 * (0,6 + 0,42) * 1,5 = 2,07 \text{ kN /m}^2$$

Steildächer

Dächer mit einer Dachneigung $\geq 5^\circ$ gelten in der DIN 1055-4 als Steildächer. Unterschieden werden Pultdach, Satteldach, Walmdach und Sheddach. Schmetterlings- bzw. Trogdächer sind dabei eine Variante des Satteldaches. Sheddächer basieren auf Pult- oder Satteldach mit Abminderungsfaktoren für die innenliegenden Sheddachflächen. Mischformen wie Krüppelwalmdächer, Mansarddach, Berliner Dach (straßenseitig Mansarde, hofseitig Flachdach) u.s.w. sind aus den Grundformen abzuleiten.

Eine Beschreibung der Flächenaufteilung samt Interpretation der zugehörigen Formbeiwerte möchte ich hier nicht durchführen. Zum einen sind alle Angaben in der DIN 1055-4 ausführlich nachzulesen, zum anderen wäre die Flächenbildung durch Überlagerung der Teildachflächen bei bis zu 9 Teilflächentypen viel zu komplex, als dass hierbei noch eine manuelle Lösung machbar wäre. Interessierte können sich unter www.friedrich-datentechnik.de eine Test-Version von MF_Steildach herunterladen. Diese führt die Berechnung samt Flächenaufteilung, Überlagerung und Optimierung vollautomatisch durch und stellt die Ergebnisse grafisch dar.

Achtung: Wie bereits in Teil 1 dieser Schriftenreihe erwähnt, fallen Ziegeldächer nicht zwingend in den Geltungsbereich der DIN 1055-4. Metaldächer, Wellplattendächer und mit Dachbahnen abgedichtete Steildächer sind nach DIN 1055-4 zu bemessen, da hier der "Öffnungseffekt" nicht auftritt und die Deckung als hinreichend luftdicht anzusehen ist.

Anmerkung

Diese Schriftenreihe wendet sich an Leser, welche sich zum ersten mal mit dem Thema Windsog am Dach beschäftigen. Daher habe ich einige Details nicht vertieft oder schlicht und einfach unterschlagen. Dinge wie Vorzeichen bei Formbeiwerten, standzeitabhängige Sicherheitsfaktoren, Entfall von Eckbereichen bei relativ niedrigen Flachdächern u.a.m. habe ich der einfachen Lesbarkeit geopfert. Profis werden um ein detailliertes Studium der Original-Norm nicht herumkommen.