





## **AH-010 Einwirkungen auf Tragwerke**

*Arbeitshilfe für Metallbauer*

### **Inhaltsverzeichnis**

Einleitung	3
Einwirkungsarten	3
Ständige und veränderliche Lasten nach DIN EN 1991-1	4
Wichten und Eigengewichte	4
Nutzlasten	5
Schneelasten	8
Windlasten	14
Teilsicherheitsbeiwerte, Lastkombinationsbeiwerte	17
Weitere Beispiele für die Ermittlung von Einwirkungen	20

### **Einleitung**

Tragwerke werden durch Einwirkungen beansprucht. Bei statischen (oder auch dynamischen) Berechnungen wird unter Berücksichtigung von Sicherheiten nachgewiesen, dass diese Einwirkungen kleiner oder höchstens gleich der Beanspruchbarkeit des Tragwerks gegen diese Einwirkungen ist.

Diese Arbeitshilfe soll erläutern, wie man nach den gültigen Normen Einwirkungen auf einfache, gängige Tragwerke bestimmen kann. Grundlage sind die europäisch harmonisierten Normen DIN EN 1990 (Eurocode 0) und DIN EN 1991 (Eurocode 1).

Die Begriffe Flächenlast, Linienlast, Einzellast, Ständige Last, Veränderliche Last, Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkungsseite und Lastkombinationsbeiwert werden erläutert.

Für einfache Bauteile werden beispielhaft Lastzusammenstellungen ermittelt.

### **Einwirkungsarten**

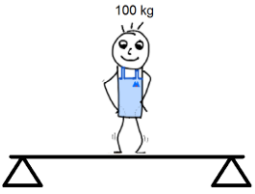
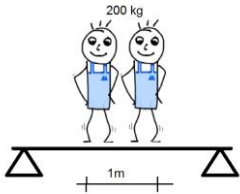
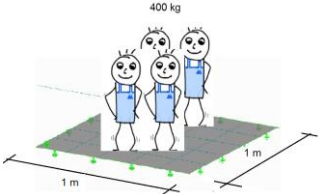
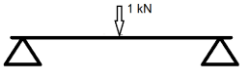
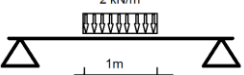
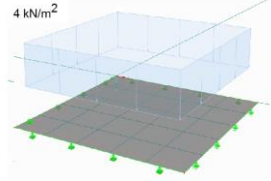
Folgende Einwirkungen auf Tragwerke gibt es:

1. Statische (quasi-statische) Lasten (Kräfte)
2. Dynamische Lasten (Erdbeben, Eisenbahnzüge, Krane)
3. Temperatureinwirkungen
4. Verformungen des Tragwerks (z. B. Planmäßige Stützensenkungen)

Metallbaukonstruktionen werden im Allgemeinen durch äußere statische Kräfte beansprucht. In wenigen Fällen (lange und/oder ausgedehnte Bauteile) sind Temperatureinwirkungen zu untersuchen. In der klassischen Physik versteht man unter dem Begriff „Kraft“ eine Einwirkung, die einen festgehaltenen Körper verformen und einen beweglichen Körper beschleunigen kann. Die physikalische

Einheit einer Kraft ist [N] (Newton). In statischen Berechnungen ist die Einheit [kN] zweckmäßig (1 kN = 1000 N). Auf der Erde entspricht eine Kraft von 1 kN einer Masse von 100 Kg (z. B. 1 Mannlast)

Kräfte können an einem Bauteil an einem Punkt, auf einer Länge oder auf einer Fläche angreifen.

Einzellast	Linienlast	Flächenlast
[kN]	[kN/m]	[kN/m <sup>2</sup> ]
		
		

Die Einwirkungen, die auf Bauteile wirken, resultieren meistens aus folgenden Belastungen:

- Eigengewicht des Bauteils
- Ständige Lasten aus aufgelagerten anderen Bauteilen (z.B. Stahlbetondecke)
- Ausbaulasten (z. B. Trennwände, Estrich, Bodenbeläge)
- Nutzlasten (z. B. Personen, Fahrzeuge, Lagergüter...)
- Windlasten
- Schneelasten
- .....



## Ständige und veränderliche Lasten nach DIN EN 1991-1

Die Einwirkungen auf Tragwerke regelt die europäisch harmonisierte Norm DIN EN 1991. Diese Norm ist in folgende Teilnormen aufgeteilt, wobei die für den Metallbau wichtigsten drei Teilnormen fett gedruckt sind:

<b>EN 1991-1-</b>	<b>1</b>	<b>Wichten, Eigengewicht und Nutzlast im Hochbau</b>
	2	Allgemeine Einwirkungen, Brandeinwirkung auf Tragwerke
	<b>3</b>	<b>Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten</b>
	<b>4</b>	<b>Allgemeine Einwirkungen, Windlasten</b>
	5	Allgemeine Einwirkungen, Temperatureinwirkungen
	6	Allgemeine Einwirkungen, Einwirkung während der Bauausführung
	7	Allgemeine Einwirkungen, Außergewöhnliche Einwirkungen
<u>EN 1991-2</u>		Verkehrslasten auf Brücken
<u>EN 1991-3</u>		Einwirkung infolge Krane und Maschinen
<u>EN 1991-4</u>		Einwirkung auf Silos und Behälter

Im Weiteren beschränkt sich diese Arbeitshilfe auf die Ermittlung einfacher Einwirkungen aus

- Eigengewicht und anderen ständigen Lasten
- Nutzlasten
- Schnee
- Wind

In der bereits erwähnten DIN EN 1991 sind charakteristische Einwirkungen angegeben. Sicherheiten sind hier noch nicht berücksichtigt.

### 1. Wichten und Eigengewichte

In DIN EN 1991-1-1, Anhang A (informativ) sind in einer großen Anzahl von Tabellen Wichten von Baustoffen und anderen Materialien gelistet. In der nachfolgenden Tabelle ist ein kleiner Auszug gegeben.

Für Materialien, die nicht in DIN EN 1991-1-1 genannt sind, können die Wichten auch anderen Literaturstellen entnommen werden

Die Eigengewichte von handelsüblichen Stahlbauprofilen sind in gängigen Tabellenwerken (Profiltafeln) gelistet.



<i>Stoffart</i>	<i>Stoff</i>	<i>Wichte [kN/m<sup>3</sup>]</i>
Metalle	Stahl	77,0 - 78,5
	Aluminium	27,0
	Messing, Bronze	83,0 - 85,0
	Zink	71,0 - 72,0
	Blei	112,0 - 114,0
Beton	Leichtbeton (je nach Rohdichte)	9,0 - 20,0
	Normalbeton	24,0
	Stahlbeton	25,0
	Frischbetonzuschlag	1,0
Steine	Mauersteine	siehe EN 771
	Kalksandsteine	
	Betonsteine	
Natursteine	Granit	27,0 - 30,0
	Basalt	24,0
	Kalkstein	20,0
	Schiefer	28,0
Holz	je Festigkeitsklasse	3,5 - 10,8
Brettschichtholz	je Festigkeitsklasse	3,7 - 4,2
Sperrholz	Weichholz-Sperrholz	5,0
	Birken-Sperrholz	7,0
	Laminate, Tischplatten	4,5
Spanplatten	Spanplatten	7,0 - 8,0
	Zementgebunden	12,0
	Sandwichplatten	7,0
Glas	gekörnt	22,0
	Glasscheiben	25,0
Kunststoffe	Acrylscheiben	12,0
	Glasschaum	1,4
Baustoffe	Kies, Sand, geschüttet	14,0 - 19,0
	Kalk	13,0
	Gips (Gemahlen)	15,0
Flüssigkeiten	Süßwasser	10,0
	Bier	10,0
	Milch	10,0
	Wein	10,0
	Benzin	7,4



## 2. Nutzlasten

In DIN EN 1991-1-1 und im zugehörigen nationalen Anwenderdokument DIN EN 1991-1-1/NA sind u. a. lotrechte Nutzlasten für Decken, Treppen und Balkone angegeben. Es sind Flächenlasten [kN/m<sup>2</sup>] und Einzellasten [kN] tabelliert, die alternativ von den Bauteilen aufzunehmen sind. Einzellasten werden im Allgemeinen bei kleinen Bauteilen (z. B. Gitterroste) maßgebend. In den meisten Fällen ist die Flächenlast maßgebend (z. B. Decken, Deckenträger, Treppenwangen).

Neben den lotrechten Verkehrslasten enthält die Norm auch horizontale Nutzlasten (Holmlasten) auf Geländer und Umwehrungen. Die nachfolgende Tabelle enthält Flächenlasten, Einzellasten und horizontale Nutzlasten nach DIN EN 1991-1-1 und DIN EN 1991-1-1/NA:

Zeile	Kategorie		Nutzung	Beispiele	Vertikale Last $q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Vertikale Last $Q_k^e$ [kN]	Horizontale Last auf Geländer [kN/m]
1	A	A1	Spitzböden	Für Wohnraumzwecke nicht geeignet, aber zugänglicher Dachraum bis 1,80 m lichte Höhe	1,0	1,0	0,5
2		A2	Wohn- und Aufenthaltsräume	Decken mit ausreichender Querverteilung der Lasten, Räume und Flure in Wohngebäuden, Bettenräume in Krankenhäusern, Hotelzimmer einschl. zugehöriger Küchen und Bäder	1,5	-	0,5
3		A3	Wohn- und Aufenthaltsräume	Wie A2, aber ohne ausreichende Querverteilung der Lasten	2,0 <sup>c</sup>	1,0	0,5
4	B	B1	Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	Flure in Bürogebäuden, Büroflächen, Arztpraxen <b>ohne schweres Gerät</b> , Stationsräume, Aufenthaltsräume einschl. der Flure, Kleinviehställe	2,0	2,0	0,5
5		B2		Flure und Küchen in Krankenhäusern, Hotels, Altenheimen, Flure in Intensivstationen usw., Behandlungsräume in Krankenhäusern, einschl. Operationsräume ohne schweres Gerät; Kellerräume in Wohngebäuden	3,0	3,0	1,0
6		B3		Alle Beispiele von B1 u. B2, jedoch mit schwerem Gerät	5,0	4,0	1,0
7	C	C1	Räume, Versammlungsräume und Flächen, die der Ansammlung von Personen dienen können (mit Ausnahme von	Flächen mit Tischen; z.B. Kindertagesstätten, Kinderkrippen, Schulräume, Cafés, Restaurants, Speisesäle, Lesesäle, Empfangsräume, Lehrerzimmer	3,0	4,0	1,0



8		C2	unter A, B, D und L festgelegten Kategorien).	Flächen mit fester Bestuhlung; z.B. Flächen in Kirchen, Theatern oder Kinos, Kongresssäle, Hörsäle, Wartesäle	4,0	4,0	1,0
9		C3		Frei begehbare Flächen; z.B. Museumsflächen, Ausstellungsflächen, Eingangsbereiche in öffentlichen Gebäuden, Hotels, nicht befahrbare Hofkellerdecken, sowie die zur Nutzungskategorie C1 bis C3 gehörigen Flure	5,0	4,0	1,0
10		C4		Sport- und Spielflächen; z.B. Tanzsäle, Sporthallen, Gymnastik- und Kraftsporträume, Bühnen	5,0	7,0	1,0
11		C5		Flächen für große Menschenansammlungen; z.B. in Gebäuden wie Konzertsäle, Terrassen und Eingangsbereiche, sowie Tribünen mit fester Bestuhlung	5,0	4,0	2,0
12		C6		Flächen mit regelmäßiger Nutzung durch erhebliche Menschenansammlungen, Tribünen ohne feste Bestuhlung	7,5	10,0	2,0
13		D		D1	Verkaufsräume	Flächen von Verkaufsräumen bis 50 m <sup>2</sup> Grundfläche in Wohn, Büro- und vergleichbaren Gebäuden	2,0
14	D2		Flächen in Einzelhandelsgeschäften und Warenhäusern	5,0		4,0	1,0
15	D3		Flächen wie D2, jedoch mit erhöhten Einzellasten infolge hoher Lagerregale	5,0		7,0	1,0
16	E	E1.1	Lager, Fabriken und Werkstätten, Ställe, Lagerräume und Zugänge	Flächen in Fabriken <sup>a</sup> und Werkstätten <sup>a</sup> mit leichtem Betrieb und Flächen in Großviehställen	5,0	4,0	1,0
17		E1.2		Allgemeine Lagerflächen, einschließlich Bibliotheken	6,0 <sup>b</sup>	7,0	1,0
18		E2.1		Flächen in Fabriken <sup>a</sup> und Werkstätten <sup>a</sup> mit mittlerem oder schwerem Betrieb	7,5 <sup>b</sup>	10,0	1,0
19	T <sup>d</sup>	T1	Treppen und Treppenpodeste	Treppen und Treppenpodeste in Wohngebäuden	3,0	2,0	0,5
20		T2		Alle Treppen und Treppenpodeste, die nicht in T1 oder T3 eingeordnet werden können	5,0	2,0	1,0



21		T3		Zugänge und Treppen von Tribünen ohne feste Sitzplätze, die als Fluchtweg dienen	7,5	3,0	2,0
22	Z <sup>d</sup>		Zugänge, Balkone und ähnliches	Dachterrassen, Laubengänge, Loggien, usw., Balkone, Ausstiegspodeste	4,0	2,0	0,5/1,0'

\*Anmerkung zur Zeile 17-19 (DIN EN 1991-1-1/NA2010-12), H-Lasten: Bei Flächen [...] die nur zu Kontroll- und Wartungszwecken begangen werden, sind die Lasten in Abstimmung mit dem Bauherrn festzulegen, jedoch mindestens 0,5 kN/m.

Die Flächen der Kategorie C2 bis C4 können durch den Bauherrn, in Abhängigkeit von ihrer Nutzung, auch der Kategorie C5 zugeordnet werden.

\*Zuordnung der Kategorie Z entsprechend der zugehörigen maßgeblichen Nutzungskategorie

- a Nutzlasten in Fabriken und Werkstätten gelten als vorwiegend ruhend. Im Einzelfall sind sich häufig wiederholende Lasten je nach Gegebenheit als nicht vorwiegend ruhend einzuordnen.
- b Bei diesen Werten handelt es sich um Mindestwerte. In Fällen, in denen höhere Lasten vorherrschen, sind die höheren Lasten anzusetzen.
- c Für die Weiterleitung von Lasten in Räumen mit Decken ohne ausreichende Querverteilung auf stützende Bauteile darf der angegebene Wert um 0,5 kN/m<sup>2</sup> abgemindert werden.
- d Hinsichtlich der Einwirkungskombinationen sind die Einwirkungen der Nutzungskategorie des jeweiligen Gebäudes oder Gebäudeteils zuzuordnen.
- e Falls der Nachweis der örtlichen Mindesttragfähigkeit erforderlich ist (z. B. bei Bauteilen ohne ausreichende Querverteilung der Lasten), so er mit den charakteristischen Werten für die Einzellast  $Q_k$  ohne Überlagerung mit der Flächenlast  $q_k$  zu führen. Die Aufstandsfläche für  $Q_k$  umfasst ein Quadrat mit einer Seitenlänge von 50 mm.

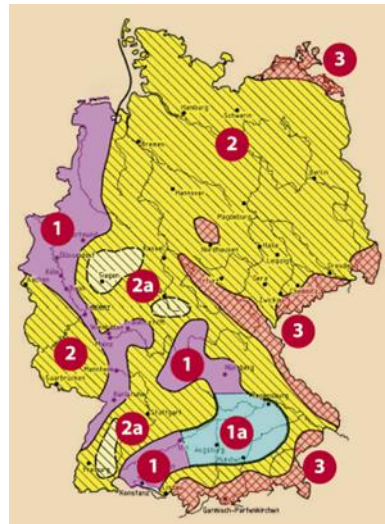
In DIN EN 1991-1-1 und DIN EN 1991-1-1/NA sind noch weitere Nutzlasten gegeben, auf die hier nicht weiter eingegangen wird (z. B. Lagerflächen, Parkflächen, Gabelstapler...).

### 3. Schneelasten

Die Tragkonstruktion von Dächern, Vordächern, Überdachungen, außenliegenden Treppenanlagen, usw. werden durch Schneelasten beansprucht.

DIN EN 1991-1-3 und DIN EN 1991-1-3/NA regeln den Ansatz von Schneelasten. In DIN EN 1991-1-3 (europäische Norm!) sind europäische Landkarten enthalten, aus denen der charakteristische Wert der Schneelast auf dem Boden für die einzelnen Teilbereiche der Länder abgelesen werden können. Für Deutschland gilt zusätzlich das nationale Anwenderdokument DIN EN 1991-1-3/NA. Hier ist Deutschland über eine Landkarte in 5 Schneelastzonen eingeteilt.





Die Schneelast auf dem Boden ist grundsätzlich abhängig von

- der Schneelastzone 1, 2, 3, 1a oder 2a und
- der Höhe über Meeresspiegel.

Für bestimmte Lagen der Schneelastzone 3 (Oberharz, Hochlagen des Fichtelgebirges, Reit im Winkel, Obernach) können sich höhere Werte als mit der Norm ermittelbar ergeben. Hier sind die Werte von den örtlichen Behörden einzuholen. Ähnliches gilt in seltenen Fällen für Schneelasten in der norddeutschen Tiefebene.

**Dem Fachregelwerk für Metallbaupraxis ist die Rechenhilfe „Minikalk“ beigefügt, mit der man nach Eingabe des Ortsnamens oder der Postleitzahl die Schneelastzone einfach bestimmen kann.**

Schneelastzone	charakteristische Bodenschneelast	mindestens jedoch
1	$s_{k,1} = 0,19 \text{ kN/m}^2 + 0,91 \cdot \left( \frac{A+140}{760} \right)^2 \text{ kN/m}^2$	Sk,1 min = 0,65 kN/m <sup>2</sup>
1a	$s_{k,1a} = 0,24 \text{ kN/m}^2 + 1,14 \cdot \left( \frac{A+140}{760} \right)^2 \text{ kN/m}^2$	Sk,1a min = 0,81 kN/m <sup>2</sup>
2	$s_{k,2} = 0,25 \text{ kN/m}^2 + 1,91 \cdot \left( \frac{A+140}{760} \right)^2 \text{ kN/m}^2$	Sk,2 min = 0,85 kN/m <sup>2</sup>
2a°	$s_{k,2a} = 0,31 \text{ kN/m}^2 + 2,39 \cdot \left( \frac{A+140}{760} \right)^2 \text{ kN/m}^2$	Sk,2a min = 1,06 kN/m <sup>2</sup>
3	$s_{k,3} = 0,31 \text{ kN/m}^2 + 2,91 \cdot \left( \frac{A+140}{760} \right)^2 \text{ kN/m}^2$	Sk,3 min = 1,10 kN/m <sup>2</sup>

Bodenschneelasten in Deutschland (A: Geländehöhe über Meeresspiegel in [m])



Die Berechnungsformeln in Spalte 2 müssen erst ab folgenden Höhen über dem Meeresspiegel ausgewertet werden. Darunter gelten die Mindestwerte in Spalte 3

- Schneelastzone 1 (1a): ab 400 m ü. d. M.
- Schneelastzone 2 (2a): ab 285 m ü. d. M.
- Schneelastzone 3: ab 255 m ü. d. M

Die Schneelast  $s$ , die als charakteristische Einwirkung anzusetzen ist ergibt sich aus:

$$s = \mu_i \cdot s_k \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$\mu_i$ : Formbeiwert für Schneelasten nach DIN EN 1991-1-3, Abschnitt 5.3 und Anhang B

$s_k$ : Charakteristischer Wert der Bodenschneelast

Der anzusetzende Formbeiwert ist im Wesentlichen von der Neigung, der Form der Dachfläche und der Lage am Bauwerk abhängig. So ist z. B. bei Pultdächern mit Dachneigungen zwischen 0 und 30°  $\mu_1 = 0,8$  (Anzusetzende Schneelast beträgt nur 80 % der Bodenschneelast).

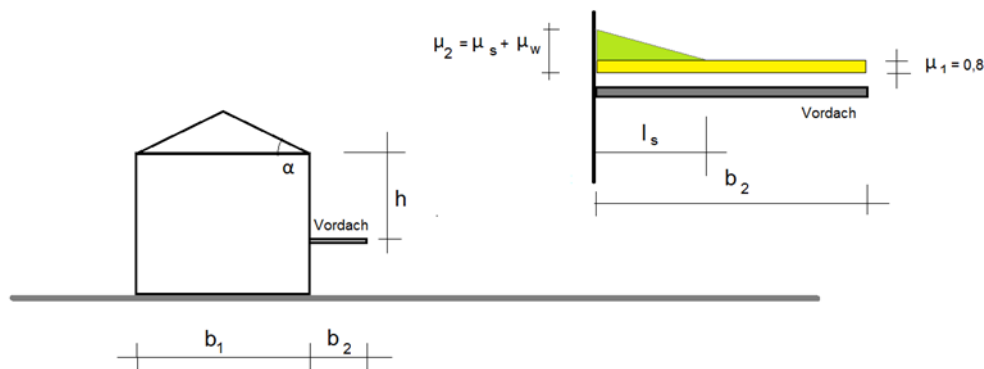
Beispiele: Schneelast, z. B. auf Carports oder Terrassenüberdachungen, an verschiedenen Orten in Deutschland (ohne Ansatz von Schneeverwehungen):

Ort	PLZ	Höhe über NN [m]	Schnee- last- zone	Schneelast $s_k$ auf dem Boden [kN/m <sup>2</sup> ]	Anzusetzende Schnee- last auf dem Dach $S = \mu_1 \cdot s_k$ $= 0,8 \cdot s_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Hamburg	20095	6	2	0,85	0,68
Essen	45138	80	1	0,65	0,52
Siegen	57072	280	2a	1,06	0,85
Willingen	34508	550	2a	2,28	1,82
Augsburg	86150	495	1a	1,04	0,83
Oberwiesent- hal	09484	914	3	5,91	4,73

Schneeverwehungen:

Sind Dächer an Höhengsprüngen angeordnet, dann kann vom darüber liegenden Dach, je nach Dachneigung, Schnee auf das tiefe liegende Dach fallen und/oder es kann durch Wind zu Verwehungen kommen. Bei Vordächern wird dies meistens der Fall sein. Die Höhe der Last wird, wie oben, über Formbeiwerte aus der Bodenschneelast errechnet.

Bei seitlich offenen und zugänglichen Vordächern mit einer Breite kleiner oder gleich 3 m sind die Formbeiwerte zwischen 0,8 (80 % der Bodenschneelast) und 2,0 (2-fache der Bodenschneelast) begrenzt.



Formbeiwert  $\mu_s$  für abrutschenden Schnee:

$$\alpha \leq 15^\circ: \quad \mu_s = 0$$

$\alpha > 15^\circ$ :  $\mu_s$  errechnet sich aus 50 % der Schneelast des angrenzenden höheren Dachteils unter Ansatz des Formbeiwertes  $\mu = 0,8$  und dreiecksförmiger Anordnung des Schnees

Formbeiwert  $\mu_w$  für verwehten Schnee (nur, wenn  $h > 0,5$  m):

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \frac{\gamma \cdot h}{s_k} - \mu_s$$

$\gamma$ : Wichte des Schnees:  $2 \text{ kN/m}^3$

$s_k$ : Bodenschneelast in  $[\text{kN/m}^2]$

$h$ : Höhe des Dachsprungs in  $[\text{m}]$

DIN EN 1991-1-3/NA begrenzt die Formbeiwerte für Schneeanhäufungen wie folgt:

Allgemein bei ständigen und vorübergehenden Situationen:

$$0,8 \leq \mu_s + \mu_w \leq 2,4$$

Bei Vordächern mit  $b_2 \leq 3\text{m}$ :

$$0,8 \leq \mu_s + \mu_w \leq 2,0$$

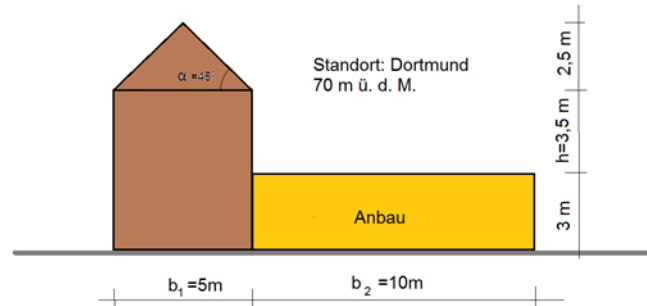
Für das norddeutsche Tiefland und die alpinen Regionen gibt DIN EN 1991-1-3/NA weitere Begrenzungen an.

Die Berechnung der Schneelastanhäufung bei allgemeinen Situationen ist relativ aufwendig, wie das nachfolgende Beispiel 1 zeigt.

*Empfehlung:*

*Um den nicht unerheblichen Rechenaufwand bei Vordächern zu vermeiden, kann auf der sicheren Seite liegend an der aufgehenden Wand gleich ein Formbeiwert  $\mu_2 = 2,0$  (doppelte Bodenschneelast) angesetzt werden und die trapezförmig verlaufende Schneelast auf dem Vordach für die weiteren Berechnungen gleichmäßig verteilt werden (siehe Beispiel 2).*

Beispiel 1: Allgemeine Situation



Bodenschneelast

Standort Dortmund, Schneelastzone 1

$$s_k = 0,65 \frac{kN}{m^2}$$

Schneelast am rechten Rand des Anbaus.

$$s_1 = \mu_1 \cdot s_k = 0,8 \cdot 0,65 \frac{kN}{m^2} = 0,52 \frac{kN}{m^2}$$

Schneelast aus abrutschendem Schnee:

$$\alpha = 45^\circ > 15^\circ$$

Schneelast auf rechtem Satteldachteil:

$$s_A = \mu \cdot s_k \cdot \frac{b_1}{2} = 0,8 \cdot 0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 2,5 m = 1,3 \frac{kN}{m}$$

50 % davon als abrutschender Schnee:

$$s_{\left(\frac{A}{2}\right)} = 0,5 \cdot 1,3 \frac{kN}{m} = 0,65 \frac{kN}{m}$$

Länge des Verwehungskeils:

$$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 3,5 m = 7,0 m \begin{cases} > 5 m \\ < 15 m \end{cases} \text{ (Grenzwerte nach Anhang B.4 DIN EN 1991-1-3)}$$

Schneelastordinate  $s_{links}$  abrutschender Schnee bei dreiecksförmiger Anordnung:

$$s_{links} = \frac{s_{\left(\frac{A}{2}\right)} \cdot 2}{l_s} = \frac{0,65 \frac{kN}{m} \cdot 2}{7 m} = 0,186 \frac{kN}{m^2}$$

Errechnung des Formbeiwerts  $\mu_s$  aus dem abrutschenden Schnee:

$$s_{links} = \mu_s \cdot s_k \rightarrow \mu_s = \frac{s_{links}}{s_k} = \frac{0,186 \frac{kN}{m^2}}{0,65 \frac{kN}{m^2}} = 0,286$$

Verwehter Schnee

$$\mu_W = \frac{b_1 + b_2}{2h} = \frac{5 \text{ m} + 10 \text{ m}}{2 \cdot 3,5 \text{ m}} = 2,14 \leq \frac{\gamma \cdot h}{s_k} - \mu_s = \frac{2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 3,5 \text{ m}}{0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} - 0,286 = 10,4$$

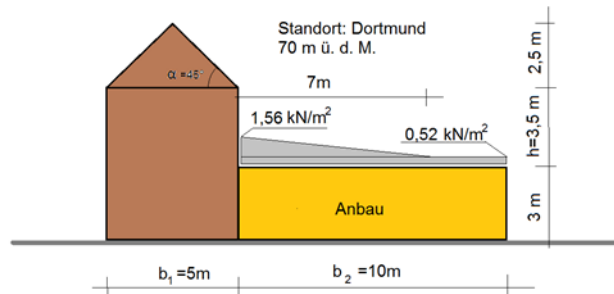
Begrenzung:

$$0,8 \leq \mu_s + \mu_W = 0,286 + 2,14 = 2,42 > 2,4$$

Somit:

$$\mu_s + \mu_W = 2,4$$

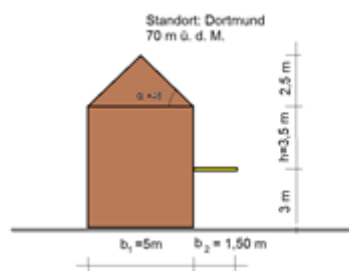
Schneelast im Eckbereich:



$$s_2 = 2,4 \cdot 0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

*Schneelast mit Verwehungskeil*

Beispiel 2: Vordach (Berechnung mit oben empfohlener Vereinfachung)



Um den oben aufgezeigten Rechenaufwand zu minimieren wird, auf der sicheren Seite liegend, der Formbeiwert an der aufgehenden Wand mit  $\mu_2 = 2,0$  angesetzt.

Bodenschneelast:

Standort Dortmund, Schneelastzone 1

$$s_k = 0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Schneelast am rechten Rand des Vordachs:

$$s_1 = \mu_1 \cdot s_k = 0,8 \cdot 0,65 \frac{kN}{m^2} = 0,52 \frac{kN}{m^2}$$

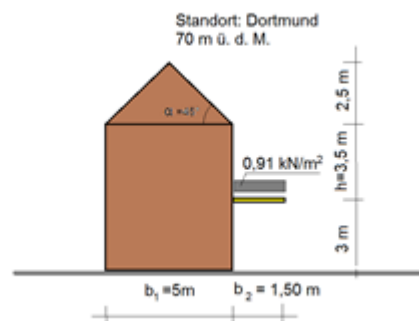
Schneelast der aufgehenden Wand (auf der sicheren Seite):

$$s_2 = \mu_2 \cdot s_k = 2,0 \cdot 0,65 \frac{kN}{m^2} = 1,30 \frac{kN}{m^2}$$

Mittlere Schneelast:

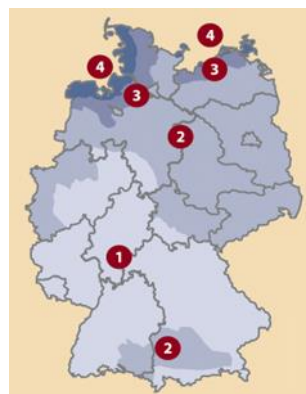
Die trapezförmig anzusetzende Schneelast wird als mittlere Schneelast  $s$  gleichmäßig auf dem Vordach verteilt angesetzt (vereinfachend und auf der sicheren Seite)

$$s = \frac{s_1 + s_2}{2} = 0,91 \frac{kN}{m^2}$$



#### 4. Windlasten

Die Ermittlung der anzusetzenden Windlasten regelt DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-4/NA. In DIN EN 1991-1-4/NA ist Deutschland in 4 Windzonen eingeteilt.



**Dem Fachregelwerk für Metallbaupraxis ist die Rechenhilfe „Minikalk“ beigefügt, mit der man nach Eingabe des Ortsnamens oder der Postleitzahl die Windlastzone einfach bestimmen kann.**

In DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-4/NA werden die Windlasten auf der Grundlage von kartografischen Windzonen ermittelt. Zusätzlich findet man Regelungen für schwingungsanfällige Tragwerke, eine Erweiterung der Beispiele für aerodynamische Beiwerte, Regelungen für den Einfluss der Geländerauhigkeit und spezielle Regelungen für wirbelerregte Querschwingungen. Für eine praxisgerechte Anwendung sind die formulierten Regelungen der Norm oft kompliziert und nur schwer handhabbar. Deshalb hat man für Wohn-, Büro- oder Industriegebäude mit einer Höhe von bis zu



25 m über Grund, Erleichterungen festgelegt, die nur die Windzone und die Standortsituation berücksichtigen.

Windzone		Basis- Geschwindigkeitsdruck $q_{b,0}$ in [kN/m <sup>2</sup> ]	Böen- geschwindigkeitsdruck $q_p$ in [kN/m <sup>2</sup> ]	Böen- geschwindigkeitsdruck $q_p$ in [kN/m <sup>2</sup> ]	Böen- geschwindigkeitsdruck $q_p$ in [kN/m <sup>2</sup> ]
			Gebäudehöhe $h \leq 10$ m	Gebäudehöhe $10$ m < $h \leq 18$ m	Gebäudehöhe $18$ m < $h \leq 25$ m
1	Binnenland	0,32	0,50	0,65	0,75
	Binnenland		0,65	0,80	0,90
2	Küste und Inseln der Ostsee	0,39	0,85	1,00	1,10
	Binnenland		0,80	0,95	1,10
3	Küste und Inseln der Ostsee	0,47	1,05	1,20	1,30
	Binnenland		0,95	1,15	1,30
4	Küste der Nord- und Ostsee	0,56	1,25	1,40	1,55
	Inseln der Nordsee		1,40	-	-

In der obigen Tabelle sind die Basisgeschwindigkeitsdrücke und Böen-Geschwindigkeitsdrücke nach DIN EN 1991-1-4/NA nebeneinandergestellt.

Bei dem Basisgeschwindigkeitsdruck (2. Spalte) handelt es sich um einen Mittelwert über 10 Minuten in 10 m Höhe in ebenem offenem Gelände mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2 %. Die Basisgeschwindigkeitsdrücke sind nur die Grundlage für die Windzoneneinteilungen. Grundlage für die statischen Berechnungen sind die Böengeschwindigkeitsdrücke (3.-5. Spalte).

Die in den statischen Berechnungen auf Außenflächen anzusetzenden charakteristischen Winddrücke werden unter Ansatz dieser Böengeschwindigkeitsdrücke ermittelt, wobei Druckbeiwerte  $c_{pe}$  zu berücksichtigen sind (Gl. 5.1 DIN EN 1991-1-4)

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$w_e$ : Winddruck auf Außenfläche

$q_p(z_e)$ : Böengeschwindigkeitsdruck

$z_e$ : Bezugshöhe für den Außendruck

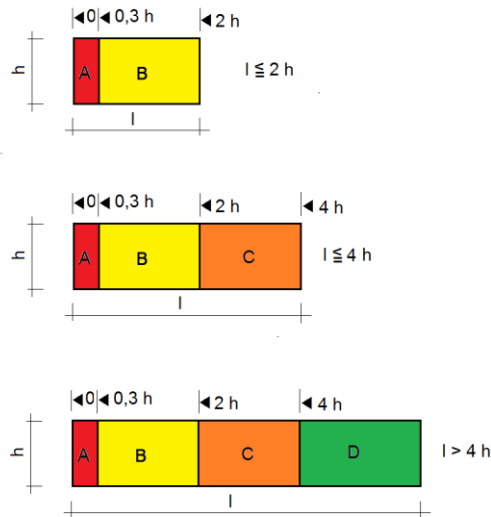
$c_{pe}$ : aerodynamischer Beiwert

Die aerodynamischen Beiwerte sind von der Art des Bauwerks, von der Lage am Bauwerk, von der Art des Bauteils, von Höhenverhältnissen, u.v.m. abhängig und können nach der Norm ermittelt werden. Im Weiteren sind aerodynamische Beiwerte für

- gerade, vollflächige und freistehende Brüstungen und Wände und
- Vordächer

nach DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-4/NA gegeben.

Gerade, vollflächige und freistehende Brüstungen und Wände:

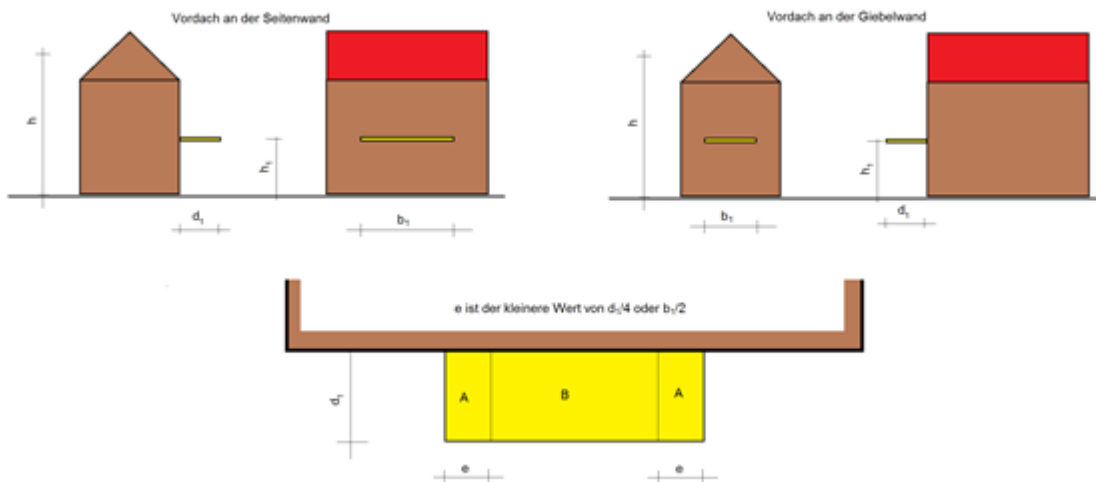


*Wandbereiche in Abhängigkeit von der Länge  $l$  und der Höhe  $h$*

$C_{p,net}$	Wandbereich			
	A	B	C	D
$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
$l/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2

*Aerodynamische Beiwerte für vollflächige, gerade und freistehende Brüstungen und Wände*

Vordächer:







Höhenverhältnis $h_1 / h$	Vordachbereich A			Vordachbereich B		
	Abwärtslast	Aufwärtslast		Abwärtslast	Aufwärtslast	
		$h_1 / d_1 \leq 1,0$	$h_1 / d_1 \geq 3,5$		$h_1 / d_1 \leq 1,0$	$h_1 / d_1 \geq 3,5$
≤ 0,1	1,1	-0,9	-1,4	0,9	-0,2	-0,5
0,2	0,8	-0,9	-1,4	0,5	-0,2	-0,5
0,3	0,7	-0,9	-1,4	0,4	-0,2	-0,5
0,4	0,7	-1,0	-1,5	0,3	-0,2	-0,5
0,5	0,7	-1,0	-1,5	0,3	-0,2	-0,5
0,6	0,7	-1,1	-1,6	0,3	-0,4	-0,7
0,7	0,7	-1,2	-1,7	0,3	-0,7	-1,0
0,8	0,7	-1,4	-1,9	0,3	-1,0	-1,3
0,9	0,7	-1,7	-2,2	0,3	-1,3	-1,6
1,0	0,7	-2,0	-2,5	0,3	-1,6	-1,9

Für Zwischenwerte  $1,0 < h_1 / d_1 < 3,5$  ist linear zu interpolieren. Zwischenwerte  $h_1 / h$  dürfen linear interpoliert werden.

*Aerodynamische Beiwerte für Vordächer nach DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.V.1*

*Empfehlung:*

*Für Zwischenwerte  $1,0 < h_1 / d_1 < 3,5$  ist linear zu interpolieren. Zwischenwerte  $h_1 / h$  dürfen linear interpoliert werden. Um den nicht unerheblichen Rechenaufwand bei den linearen Interpolationen zu vermeiden, kann man sich mit dem Ansatz der betragsmäßig größeren Werte aus der Tabelle auf die sichere Seite legen (siehe Beispiel).*

Beispiel: Ermittlung der abwärts gerichteten Windbelastung für das Vordach aus dem Beispiel Seite 13

Das Vordach krägt 1,50 m aus und sei 4 m lang. Insbesondere die abwärts gerichtete Windlast ist von Bedeutung, da diese mit der Schneelast, welche auf den Seiten 13 ff berechnet wurde, überlagert werden muss.

Standort Dortmund: Windzone 1, Höhe des Gebäudes < 10 m:

$$\rightarrow \text{Böengeschwindigkeitsdruck } q_p = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Vordachbereich A und B:

$$d_1 = 1,50 \text{ m}, b_1 = 4,0 \text{ m}, \quad h = 3,00 \text{ m} + 3,50 \text{ m} + \frac{2,50 \text{ m}}{2} = 7,75 \text{ m}, \quad h_1 = 3,00 \text{ m}$$

$$e = \min \begin{cases} \frac{d_1}{4} = \frac{1,50 \text{ m}}{4} = 0,38 \text{ m} \\ \frac{b_1}{2} = \frac{4,00 \text{ m}}{2} = 2,00 \text{ m} \end{cases}$$

Der Vordachbereich A ist somit 0,38 m lang. Der Vordachbereich B ist  $(4,0 \text{ m} - 2 \cdot 0,38 \text{ m}) = 3,24 \text{ m}$  lang.

Aerodynamische Beiwerte für die abwärts gerichtete Windlast:

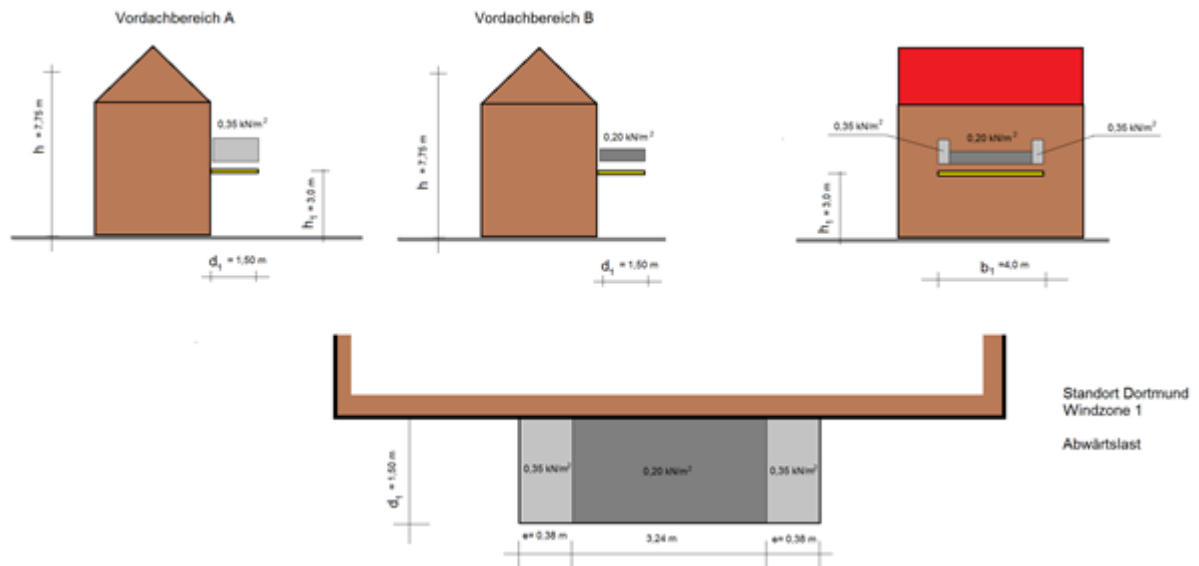
$$h_1/h = 3,0 \text{ m} / 7,75 \text{ m} = 0,387 \approx 0,4$$

Aus der obigen Tabelle sind folgende Werte ablesbar:

Vordachbereich A:  $c_{p,net} = 0,7$ , Vordachbereich B:  $c_{p,net} = 0,4$  (Sichere Seite)

Abwärts gerichtete Windlast im Bereich A:  $w_e = q_p \cdot c_{p,net} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,7 = 0,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Abwärts gerichtete Windlast im Bereich B:  $w_e = q_p \cdot c_{p,net} = 0,5 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,4 = 0,20 \frac{kN}{m^2}$



Anmerkung: Da bei dieser Geometrie des Vordaches die Länge Bereich A (0,38 m) gegenüber der Gesamtlänge des Vordaches von 4 m relativ klein ist, könnte es der Verfasser verantworten, die Windlast von 0,2 kN/m² auf der Gesamtfläche ansetzen, um doppelten Rechenaufwand bei den weiteren statischen Berechnungen zu sparen.

## Teilsicherheitsbeiwerte, Kombinationsbeiwerte

Die Belastungen, die nach DIN EN 1991 ermittelt werden (s. o.), sind charakteristische Einwirkungen, d. h. es sind keine Sicherheitsbeiwerte berücksichtigt. Charakteristische Lasten werden in statischen Nachweisen mit einem Index „k“ versehen. So erkennt man, dass noch keine Sicherheiten berücksichtigt sind.

Beispiel: Charakteristische Nutzlast  $q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$

Statische Nachweise werden unter „Bemessungslasten“ erbracht. Bei der Durchführung von Bauteilnachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden ungünstig wirkende Lasten mit Teilsicherheitsbeiwerten  $> 1,0$  multipliziert. Günstig wirkende Lasten, z. B. Eigengewichtslasten, die einen Biegeträger an einem Lager abheben lassen (Lagesicherheit), werden mit einem Teilsicherheitsbeiwert  $\leq 1,0$  multipliziert. Bemessungslasten werden mit einem Index „d“ (d=design) versehen. So erkennt man, dass Sicherheitsbeiwerte berücksichtigt sind.

Beispiel: Bemessungslast  $q_d$

### Teilsicherheitsbeiwerte:

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen können DIN EN 1990 und DIN EN 1990/NA entnommen werden. In dieser Arbeitshilfe werden die wichtigsten Teilsicherheitsbeiwerte benannt.

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit bei ständigen und vorübergehenden Situationen

Unabhängige ständige Einwirkungen	Ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup}$	<b>1,35</b>
	Günstig wirkend	$\gamma_{G,inf}$	1,00
Unabhängige veränderliche Einwirkungen	Ungünstig wirkend	$\gamma_Q$	<b>1,50</b>
	Günstig wirkend	$\gamma_Q$	-

*Teilsicherheitsbeiwerte für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit bei ständigen und vorübergehenden Situationen*

**Beispiel: Bemessungslastermittlung für eine Balkonplatte:**

Charakteristisches Gesamteigengewicht (16 cm Stahlbeton + Dichtungsbahnen + 3 cm Estrich + 1 cm Fliesen inkl. Verlegemörtel)

Gegenstand	Gewichtsangabe in DIN EN 1990	Dimension	Charakteristische Einwirkung
Stahlbetonplatte	25,0 kN/m <sup>3</sup>	0,16 m	25,0 kN/m <sup>3</sup> · 0,16m = 4,00 kN/m <sup>2</sup>
Dichtungsbahnen	0,07 kN/m <sup>2</sup>	-	0,07 kN/m <sup>2</sup>
Estrich	0,22 kN/m <sup>2</sup> je cm Dicke	0,03 m	0,22 kN/m <sup>2</sup> · 3 = 0,66 kN/m <sup>2</sup>
Fliesen	0,22 kN/m <sup>2</sup> je cm Dicke	0,01 m	0,22 kN/m <sup>2</sup> · 1 = 0,22 kN/m <sup>2</sup>
<b>Summe</b>			<b>g<sub>k</sub> = 4,95 kN/m<sup>2</sup></b>

Die ständige Einwirkung auf die Betonplatte beträgt somit  $g_k = 4,95 \text{ kN/m}^2$ .

Charakteristische Nutzlast: Gemäß Zeile 22 der Tabelle Seite 8 (analog DIN EN 1990-1-1) ist ein Wert

$$q_k = 4,00 \text{ kN/m}^2$$

anzusetzen. Das entspricht je Quadratmeter Balkonplatte also 4 Mannlasten.

Die Tragfähigkeit der tragenden Bauteile aus ständiger Einwirkung und veränderliche Einwirkung ist unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte für eine Bemessungslast  $p_d$  von

$$p_d = \gamma_{G,sup} \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k = 1,35 \cdot 4,95 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,50 \cdot 4,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = \mathbf{12,68 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}$$

auszulegen.

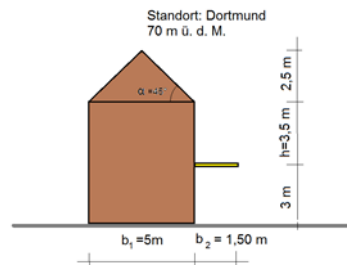
**Kombinationswerte  $\psi$ :**

Treten mehrere voneinander unabhängige veränderliche Lasten auf (z. B. gleichzeitig Schnee und Wind), dann ist es unwahrscheinlich, dass diese Lasten gleichzeitig in voller Höhe einwirken. Deshalb wird die Einwirkung auf das Bauteil unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte über sogenannte „Lastkombinationsbeiwerte  $\psi \leq 1,00$ “ errechnet, mit denen die Bemessungswerte multipliziert werden können.

Daraus resultiert, dass mehrere Lastkombinationen untersucht werden müssen. Dabei ist immer eine veränderliche Last die sogenannte „Leiteinwirkung“, welche nicht mit einem Lastkombinationsbeiwert multipliziert wird und die anderen veränderlichen Lasten die sogenannten „Begleiteinwirkungen“, die mit einem Lastkombinationsbeiwert multipliziert werden können, um die Bemessungseinwirkung zu erhalten. Im Weiteren werden einige Kombinationswerte  $\psi_0$  angegeben, die bei 2 gleichzeitig wirkenden und voneinander unabhängigen veränderlichen Einwirkungen angesetzt werden können.

Einwirkung		Kombinationsbeiwert $\psi_0$
Nutzlast	Kategorie A,B: Wohn-, Aufenthalts- Büroräume	0,7
	Kategorie C, D: Versammlungsräume, Verkaufsräume	0,7
	Kategorie E: Lagerräume	1,0
Verkehrslast	Kategorie F: Fahrzeuge < 3 t	0,7
	Kategorie G: Fahrzeuggewicht zwischen 3 und 10 t	0,7
	Kategorie H: Dächer	0,0
Windlast		0,6
Schneelast	Orte bis 1000 m über NN	0,5
	Orte über 1000 m über NN	0,7
Sonstige veränderliche Einwirkungen		0,8

Beispiel: Vordach: Gleichzeitiger Ansatz von Schnee und Wind



Das charakteristische Eigengewicht des Vordaches sei  $g_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$  Dachfläche.

Auf Seite 12f ist die Schneelast mit  $s_k = 0,91 \text{ kN/m}^2$  ermittelt worden.

Auf Seite 16f ist die charakteristische, abwärts gerichtete Windlast mit  $w_{e,k} = 0,2 \text{ kN/m}^2$  ermittelt worden (nur Vordachbereich B).

Lastfallkombination 1 (Ständige Last + Leiteinwirkung Schnee + Begleiteinwirkung Wind)

Bemessungslast  $p_d$ :

$$p_d = \gamma_{G,sup} \cdot g_k + \gamma_Q \cdot s_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot w_{e,k} = 1,35 \cdot 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 \cdot 0,91 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2,22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastfallkombination 2 (Ständige Last + Leiteinwirkung Wind + Begleiteinwirkung Schnee)

Bemessungslast  $p_d$ :

$$p_d = \gamma_{G,sup} \cdot g_k + \gamma_Q \cdot w_{e,k} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot s_k = 1,35 \cdot 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 \cdot 0,20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,91 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1,51 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Bei dem untersuchten Vordach ist somit die Lastfallkombination 1 mit Schnee als Leiteinwirkung und abwärts gerichtetem Wind als Begleiteinwirkung bei der Ermittlung der Bemessungslast  $p_d$  maßgebend.

Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass auch bei den Beanspruchbarkeiten von Bauteilen Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt werden. Die charakteristischen Beanspruchbarkeiten werden durch Teilsicherheitsbeiwerte dividiert (verkleinert).

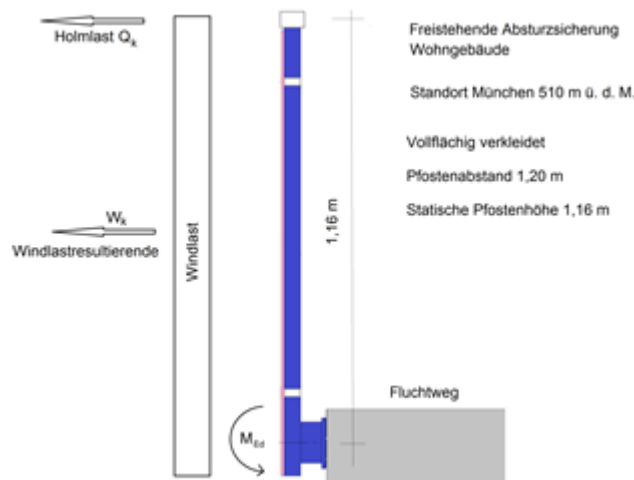
Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, meistens sind das Nachweise von Verformungen und Durchbiegungen, werden im Allgemeinen unter charakteristischen Lasten geführt, d. h. es werden keine Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt.

## Weitere Beispiele für die Ermittlung von Einwirkungen

Beispiel 1. Bestimmung des auf einen Geländerpfosten einwirkenden Biegemomentes  $M_{Ed}$  einer 12 m langen ( $L = 12$  m) freistehenden Brüstung, die einen Fluchtweg absichert, Wohngebäudebereich, Standort München: Windzone 2, 510 m ü. d. M.

Bei Fluchtwegen müssen horizontale Nutzlasten und Windlasten überlagert werden. Das Eigengewicht wird hier vernachlässigt.

Pfostenabstand  $L_H = 1,20$  m, Pfostenhöhe  $L_P = 1,16$  m, vollflächige Verkleidung



### 1. Horizontale Nutzlast (Holmlast)

Bei Umwehrungen in Wohngebäudebereichen ist auf Holmhöhe über die gesamte Holmlänge eine horizontale Nutzlast von

$$q_k = 0,5 \frac{kN}{m}$$

anzusetzen (siehe Tab. 6.12DE, DIN 1991-1-1/NA). Bei einem Pfostenabstand  $L_H$  von 1,20 m beträgt die am Pfosten angreifende charakteristische Einzelast

$$Q_k = q_k \cdot L_h = 0,5 \frac{kN}{m} \cdot 1,20 m = 0,60 kN$$

Das charakteristische Biegemoment  $M_{Q,k}$ , das am Fußpunkt auf den Pfosten einwirkt, beträgt

$$M_{Q,k} = Q_k \cdot L_P = 0,60 kN \cdot 1,16 m = 0,696 kNm$$

### 2. Windlast:

Standort München, 510 m ü. d. M., Windzone 2, ( $h < 10$  über Gelände) Böengeschwindigkeitsdruck

$$q_P = 0,65 \frac{kN}{m^2}$$

Aerodynamischer Beiwerte für freistehende Wände und Umwahrungen nach Seite 15 (Wandbereich B wird hier angesetzt. Der Bereich A ist nur ca. 36 cm lang):

$$L/h \approx 15 \text{ m} / 1,16 \text{ m} = 12,9 > 10 \rightarrow c_{p,net} = 2,1$$

Charakteristische Windlast

$$w_e = q_p \cdot c_{p,net} = 0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2,1 = 1,37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Bei einem Pfostenabstand  $L_H = 1,20 \text{ m}$  und einer Pfostenhöhe  $L_P = 1,16 \text{ m}$  wirkt auf einen Pfosten eine charakteristische Windlast resultierende von

$$W = w_e \cdot L_H = 1,37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,20 \text{ m} \cdot 1,16 \text{ m} = 1,91 \text{ kN}$$

Der Hebelarm zum Pfostenfußpunkt beträgt  $1,16 \text{ m} / 2 = 0,58 \text{ m}$  und damit das einwirkende charakteristische Biegemoment aus der Windlast resultierenden

$$M_{W,k} = 1,94 \text{ kN} \cdot 0,58 \text{ m} = 1,125 \text{ kNm}$$

Gleichzeitige Einwirkung von horizontaler Nutzlast (Holmlast) und Wind:

Lastfallkombination 1: Holmlast ist Leiteinwirkung und Windlast (Kombinationsbeiwert:  $\psi_0 = 0,6$ ) ist Begleiteinwirkung:

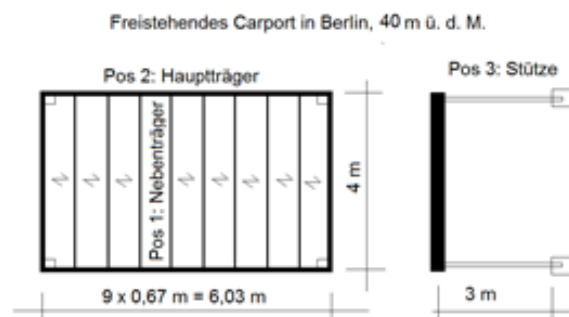
$$M_{Ed} = \gamma_Q \cdot M_{Q,k} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot M_{W,k} = 1,5 \cdot 0,696 \text{ kNm} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 1,125 \text{ kNm} = 2,057 \text{ kNm}$$

Lastfallkombination 2: Windlast ist Leiteinwirkung und Nutzlast (Kombinationsbeiwert:  $\psi_0 = 0,7$ ) ist Begleiteinwirkung:

$$M_{Ed} = \gamma_Q \cdot M_{Q,k} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot M_{W,k} = 1,5 \cdot 1,125 \text{ kNm} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 0,696 \text{ kNm} = 2,418 \text{ kNm}$$

Lastfallkombination 2 ist maßgebend. Für das einwirkende Biegemoment  $M_{Ed}$  kann der Pfosten bemessen werden.

Beispiel 2: Freistehendes Carport mit 4 eingespannten Stützen in Berlin, 70 m ü. d. M.: Ermittlung der Einwirkungen aus ständiger Last, Schnee und Wind.



Ständige Lasten, Eigengewichte:

Dachdeckung	0,25 kN/m <sup>2</sup>
Nebenträger Pos 1:	RR 150 x 50 x 3,2 DIN EN 10210: g=7,13 kg/m
Hauptträger Pos. 2:	RR 180 x 100 x 4 DIN EN 10210: g=16,9 kg/m
Stütze Pos. 3:	QR 70 x 3,2 DIN EN 10210: g = 6,6 kg/m

Lastfall Schnee: Berlin: Schneelastzone 2: Bodenschneelast 0,85 kN/m<sup>2</sup>, Formbeiwert Pultdach mit Dachneigung < 30 °:  $\mu_1 = 0,80$

$$s = \mu_1 \cdot s_k = 0,80 \cdot 0,85 \frac{kN}{m^2} = 0,68 \frac{kN}{m^2}$$

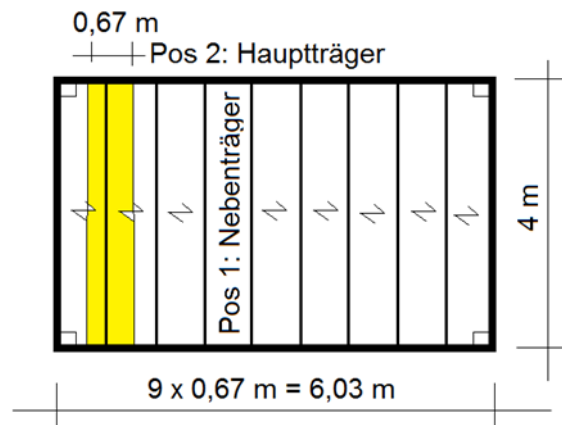
Lastfall Wind: Windzone 2, Binnenland, Gebäudehöhe < 10 m:  $q_p = 0,65 \text{ kN/m}^2$ :

Aerodynamischer Formbeiwert für freistehende Dächer nach DIN EN 1991-1-4, Tab. 7.6, Bereich B (Dachrandbereich), nach unten gerichtete Windlast:  $c_{p,net} = + 1,8$ . Hinweis: Der Ansatz des Formbeiwertes vom Randbereich liegt stark auf der sicheren Seite. Genauere und Betrachtungen sind möglich, führen aber zu deutlich höherem Rechenaufwand.

$$w_e = q_p \cdot c_{p,net} = 1,8 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,65 = 1,17 \frac{kN}{m^2}$$

Pos. 1 Nebenträger: Einfeldträger auf 2 Stützen, Spannweite 4 m

Ermittlung der Einflussbreite:



Bei einem gleichmäßigen Abstand der Nebenträger von 0,67 m hat jeder Nebenträger auch die Belastung aus einer anteiligen Dachlänge von 0,67 m zu tragen. Die Einflussbreite beträgt  $e = 0,67 \text{ m}$ .

Belastungsart	Belastung	Einflussbreite	Charakteristische Einwirkung
Dachfläche	0,25 kN/m <sup>2</sup>	0,67 m	$0,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,67 \text{ m} = 0,17 \text{ kN/m}$
Trägereigengewicht	7,13 kg/m = 0,071 kN/m	-	0,071 kN/m
Summe ständige Last			<b><math>g_k = 0,24 \text{ kN/m}</math></b>
Schnee	0,68 kN/m <sup>2</sup>	0,67 m	$s_k = 0,68 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,67 \text{ m} = \mathbf{0,45 \text{ kN/m}}$
Wind	1,17 kN/m <sup>2</sup>	0,67 m	$w_k = 1,17 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,67 \text{ m} = \mathbf{0,78 \text{ kN/m}}$

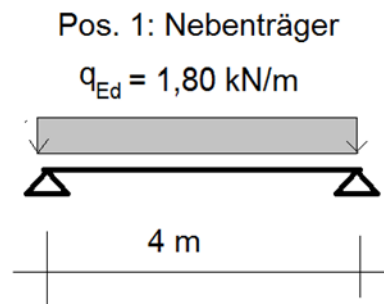
Lastfallkombination 1: Schnee ist Leiteinwirkung und Windlast (Kombinationsbeiwert:  $\psi_0 = 0,6$ ) ist Begleiteinwirkung:

$$\begin{aligned}
 q_{Ed} &= \gamma_{g,sup} \cdot g_k + \gamma_Q \cdot s_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot w_k \\
 &= 1,35 \cdot 0,24 \frac{kN}{m} + 1,5 \cdot 0,45 kN/m + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,78 kN/m \\
 &= 1,70 kN/m
 \end{aligned}$$

Lastfallkombination 2: Windlast ist Leiteinwirkung und Schneelast (Kombinationsbeiwert:  $\psi_0 = 0,5$ ) ist Begleiteinwirkung:

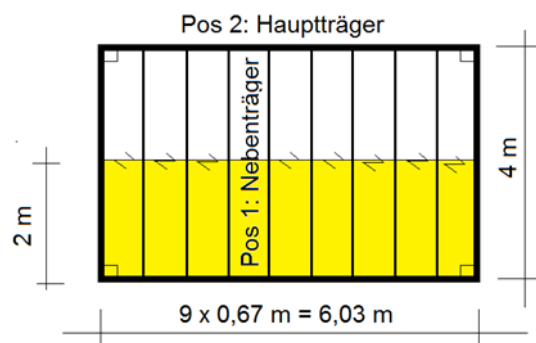
$$\begin{aligned}
 q_{Ed} &= \gamma_{g,sup} \cdot g_k + \gamma_Q \cdot w_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot s_k \\
 &= 1,35 \cdot 0,24 \frac{kN}{m} + 1,5 \cdot 0,78 kN/m + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,45 kN/m \\
 &= 1,80 kN/m
 \end{aligned}$$

Lastfallkombination 2 ist maßgebend. Für die einwirkende Linienlast  $q_{Ed}$  kann der Nebenträger bemessen werden.



Pos. 2 Hauptträger: Einfeldträger auf 2 Stützen, Spannweite 6,03 m

Ermittlung der Einflussbreite:



Jeder der beiden längslaufenden Hauptträger hat die Hälfte der Dachbreite von 4 m zu tragen. Die Einflussbreite beträgt  $e = 2,00 m$ .



Belastungsart	Belastung	Einflussbreite	Charakteristische Einwirkung
Dachfläche	0,25 kN/m <sup>2</sup>	2,00 m	0,25 kN/m <sup>2</sup> · 2,00 m = 0,50 kN/m
8 Stck. EG Pos. 1	7,13 kg/m = 0,071 kN/m	-	8 · 0,071 kN/m · 2,00m / 6,03 m = 0,19 kN/m
Trägereigengewicht	16,9 kg/m = 0,16 kN/m	-	0,16 kN/m
Summe ständige Last			<b>g<sub>k</sub> = 0,85 kN/m</b>
Schnee	0,68 kN/m <sup>2</sup>	2,00 m	s <sub>k</sub> = 0,68 kN/m <sup>2</sup> · 2,00 m = <b>1,36 kN/m</b>
Wind	1,17 kN/m <sup>2</sup>	2,00 m	w <sub>k</sub> = 1,17 kN/m <sup>2</sup> · 2,00 m = <b>2,34 kN/m</b>

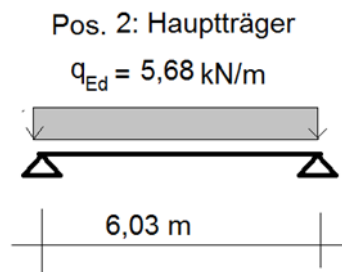
Lastfallkombination 1: Schnee ist Leiteinwirkung und Windlast (Kombinationsbeiwert:  $\psi_0 = 0,6$ ) ist Begleiteinwirkung:

$$\begin{aligned}
 q_{Ed} &= \gamma_{g,sup} \cdot g_k + \gamma_Q \cdot s_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot w_k \\
 &= 1,35 \cdot 0,85 \frac{kN}{m} + 1,5 \cdot 1,36 kN/m + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 2,34 kN/m \\
 &= 5,29 kN/m
 \end{aligned}$$

Lastfallkombination 2: Windlast ist Leiteinwirkung und Schneelast (Kombinationsbeiwert:  $\psi_0 = 0,5$ ) ist Begleiteinwirkung:

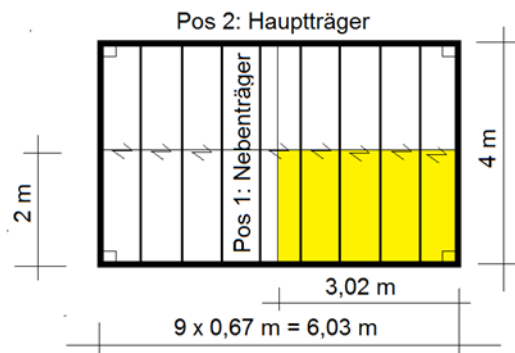
$$\begin{aligned}
 q_{Ed} &= \gamma_{g,sup} \cdot g_k + \gamma_Q \cdot w_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot s_k \\
 &= 1,35 \cdot 0,85 \frac{kN}{m} + 1,5 \cdot 2,34 kN/m + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,36 kN/m \\
 &= 5,68 kN/m
 \end{aligned}$$

Lastfallkombination 2 ist maßgebend. Für die einwirkende Linienlast  $q_{Ed}$  kann der Hauptträger bemessen werden.



Pos. 3 Stütze: Eingespannte Stütze, Länge 3 m

Ermittlung der Einflussfläche:



Jede der vier Eckstützen hat ein Viertel der Dachfläche zu tragen. Die Einflussfläche beträgt  $A = 2,00 \text{ m} \cdot 3,02 \text{ m} = 6,04 \text{ m}^2$ .

Belastungsart	Belastung	Einflussfläche	Charakteristische Einwirkung
Dachfläche	0,25 kN/m <sup>2</sup>	6,04 m <sup>2</sup>	0,25 kN/m <sup>2</sup> · 6,04 m <sup>2</sup> = 1,51 kN
10 Stck. EG Pos. 1	7,13 kg/m = 0,071 kN/m	-	10 · 0,071 kN/m · 4,00m / 4 = 0,71 kN
2 Stck Pos 2	16,9 kg/m = 0,16 kN/m	-	2 · 0,16 kN/m · 3,02 m = 0,97 kN
Stütze Pos. 3	6,6 kg/m = 0,07 kN/m		0,07 kN/m · 3m = 0,21 kN
Summe ständige Last			<b>g<sub>k</sub> = 3,4 kN</b>
Schnee	0,68 kN/m <sup>2</sup>	6,04 m <sup>2</sup>	s <sub>k</sub> = 0,68 kN/m <sup>2</sup> · 6,04 m <sup>2</sup> = <b>4,11 kN</b>
Wind	1,17 kN/m <sup>2</sup>	6,04 m <sup>2</sup>	w <sub>k</sub> = 1,17 kN/m <sup>2</sup> · 6,04 m <sup>2</sup> = <b>7,06 kN</b>

Lastfallkombination 1: Schnee ist Leiteinwirkung und Windlast (Kombinationsbeiwert:  $\psi_0 = 0,6$ ) ist Begleiteinwirkung:

$$\begin{aligned}
 q_{Ed} &= \gamma_{g,sup} \cdot g_k + \gamma_Q \cdot s_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot w_k \\
 &= 1,35 \cdot 3,4 \text{ kN} + 1,5 \cdot 4,11 \text{ kN} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 7,06 \text{ kN} \\
 &= 17,1 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Lastfallkombination 2: Windlast ist Leiteinwirkung und Schneelast (Kombinationsbeiwert:  $\psi_0 = 0,5$ ) ist Begleiteinwirkung:

$$\begin{aligned}
 q_{Ed} &= \gamma_{g,sup} \cdot g_k + \gamma_Q \cdot w_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot s_k \\
 &= 1,35 \cdot 3,4 \text{ kN} + 1,5 \cdot 7,06 \text{ kN} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,11 \text{ kN} \\
 &= 18,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Lastfallkombination 2 ist maßgebend. Für die einwirkende Normalkraft  $N_{Ed}$  kann die Stütze bemessen werden. Die Bemessung kann z. B. mit der BVM Arbeitshilfe BVM AH 008 durchgeführt werden.

