Neues aus der Schneelastnormung

4. Ausgabe

Prolog

Der neue Eurocode und ein alter Nationaler Anhang

Inhalt

1. Schlussentwurf FprEN 1991-1-3: 2023

2. Nationaler Anhang DIN EN 1991-1-3/NA: 2019

3. Dach-Bodenschneelast-Konversion und Teilsicherheitsbeiwert

4. Neuberechnung der Bodenschneelasten

5. Der vergessene Klimaeinfluss auf die Dachschneelasten

6. Klassifizierungssystem: sehr bescheiden und trotzdem misslungen

Allgemeines:

Im Vergleich zur 1. Ausgabe vom 28.07.2018 sind in der 2. Ausgabe die zwischenzeitlich veröffentlichten Endfassungen des Eurocode-Entwurfs und des Nationalen Anhangs zur noch eingeführten Norm berücksichtigt. Neu erschienene / rezipierte Normen / Literatur / Quellen dazu wurden ebenfalls einbezogen.

Im Vergleich zur 2. Ausgabe vom 12.04.2020 sind in der 3. Ausgabe Infos aus ausländischen Normen aktualisiert worden, ebenso der Fahrplan Richtung 2. Generation des Eurocodes.

Im Vergleich zur 3. Ausgabe vom 21.09.2021 ist in dieser 4. Ausgabe der im Zuge der Einspruchsphase entsprechend den Kommentaren der Mitgliedsländer korrigierte Schlussentwurf des zukünftigen Eurocodes berücksichtigt. Über diesen wird noch einmal abgestimmt (Formelle Abstimmung), wobei noch redaktionelle Fehlerkorrekturen möglich sind. Inhaltlich wird sich nicht mehr viel ändern. Danach werden Nationalen Anhänge zu erstellen sein.

Autoren:

Dr.-Ing. I. Pertermann, Ingenieurbüro Puthli, Schüttorf

Prof. Dr.-Ing. R. Puthli, KIT Karlsruhe

Datum: 17.09.2023

1. Schlussentwurf FprEN 1991-1-3:2023

Der Eurocode soll bis 2027 grundlegend überarbeitet werden, so auch EN 1991, Teil 1-3 für Schneelasten, in deutscher Ausgabe **DIN EN 1991-1-3:2010 + A1:2015**. Nach dem bereits kommentierten ersten Arbeitsentwurf ist inzwischen ein Schlussentwurf **FprEN 1991-1-3:2023** erschienen, dessen Einzelthemen noch separat kommentiert werden. In **Tabelle 1** wird zunächst das neue Format vorgestellt und mit den Dachschneelastformaten anderer moderner Normen verglichen.

Norm	Dachschneelast	Flachdach	Referenzwerte	Bereiche
DIN EN 1991-1-3	$s_i = C_e \cdot C_t \cdot \mu_i \cdot s_k$	$\mu_i = \mathbf{0{,}8}$	$C_e = 1$; $C_t = 1$	$0{,}8 \le C_e \le 1{,}2$
FprEN 1991-1-3:2023	$s_i = C_t \cdot \mu_i \cdot s_k$	$\mu_i = \mathbf{0{,}8}\ C_{e,F}$ $C_{e,F} = f(C_e)$	$C_e = 1$; $C_t = 1$	$0{,}8 \le C_{e,F} \le 1{,}25$ $C_t \le 1{,}2$
ISO 4355:1998	$s = s_b + s_d + s_s$ $s_b = C_e \cdot C_t \cdot \mu_b \cdot s_0$ $s_d = C_e \cdot C_t \cdot \mu_b \cdot \mu_d \cdot s_0$ $s_s = C_e \cdot C_t \cdot \mu_s \cdot s_0$	$s_d = 0$ $s_s = 0$ $s = s_b$ $\mu_b = 1$	$C_e = \mathbf{0{,}8}$ $C_t = 1$	$0{,}5 \le C_e \le 1{,}2$ $C_t \le 1{,}2$ $C_t < 1$: Annex D+F
ISO 4355:2013	$s = s_b + s_d + s_s$ $s_b = \mathbf{0{,}8}\ C_e \cdot C_t \cdot \mu_b \cdot s_0$ $s_d = \mu_b \cdot \mu_d \cdot s_0$ $s_s = \mu_s \cdot s_0$		$C_e = 1$ $C_t = 1$	
NBCC 2015 Kanada	$s = s_0 \cdot C_b \cdot C_w \cdot C_s \cdot C_a$	$C_s = 1$; $C_a = 1$ $C_b = \mathbf{0{,}8}$	$C_w \cong C_e = 1$	$0{,}5 \le C_w \le 1$
ASCE 7-16 USA	$p_s = C_s \cdot p_f$ $p_f = \mathbf{0{,}7}\ C_e \cdot C_t \cdot p_g$	$C_s = 1$	$C_e = 1$ $C_t = 1$	$0{,}7 \le C_e \le 1{,}2$ $0{,}85 \le C_t \le 1{,}3$
A.I.J. Japan 2010	$s = \mu_0 \cdot s_0$ $\mu_0 = \mu_b + \mu_d + \mu_s$ $s_0 = k_{env} \cdot d_o \cdot p_0$	$\mu_d = 0$; $\mu_s = 0$ $\mu_b\ (v_m < 2\text{m/s}) = \mathbf{0{,}9}$ $\mu_b\ (v_m > 4{,}5\text{m/s}) = \mathbf{0{,}4}$	$k_{env} \cong C_e = 1$	Klimagutachten: k_{env} $\mu_b = f(v_m)$
SNiP 2.01.07-85: 2011 Russland	$S_0 = \mathbf{0{,}7}\ c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g$	$\mu = 1$	$c_e = 1$ $c_t = 1$	$0{,}7 \le c_e \le 1{,}2$ $0{,}7 \le c_t \le 1$

s_k, s_0 - charakteristische Schneelast am Boden

$s_0 = k_{env} \cdot d_o \cdot p_0$ - Bodenschneelast, berechnet aus: charakteristische Schneehöhe x charakteristische Schneedichtefunktion x Umwelteinfluss

μ_i, μ_b, μ_d, μ_s, C_s, C_a - Formbeiwert, Formbeiwert der Basis- oder Bezugsschneelast (μ_b), Formbeiwert Verwehungszuschlag (μ_d), Formbeiwert Abrutschlast (μ_s), Formbeiwert für Dachneigungseinfluss (C_s), Formbeiwert für Umverteilung und Akkumulationen (C_a)

s_i, s, s_b, s_d, s_s, p_f - Dachschneelast, Basisschneelast (s_b), Verwehungsschneelast (s_d), Gleitschneelast (s_s), Flachdachschneelast (p_f)

C_e, c_e, $C_{e,F}$, C_w - Umgebungsbeiwert, Flachdach-Umgebungsbeiwert, Umgebungsbeiwert für Windeinflüsse und Windexposition

C_t, c_t - Temperaturbeiwert

Tabelle 1: Formate zur Dachschneelastberechnung in der Normung

Im Vergleich zur ersten wird in der zweiten Generation der Eurocodes der **Umgebungsbeiwert C_e** aus der Gleichung zur Berechnung der Dachschneelast heraus in den Formbeiwert transferiert, wo er für jede Dachform in seiner Funktion angepasst werden könnte. Trotz entsprechender Kommentare verbliebene Inkonsistenzen im Schlussentwurf zeigen jedoch, dass dies nicht einfach ist - Verständnisprobleme bzw. Desinteresse bei den zuständigen NA.

Prinzipiell gilt, bei Verwehungsverlusten, wie z.B. von Flach-, Pult-, Sattel- und Tonnendächern, steht der Umgebungsbeiwert C_e im Zähler, bei Verwehungszuschlägen, z.B. auf die Leeseite eines Sattel- oder Tonnendachs, im Trog eines Sheddachs oder bei Schneeansammlungen an Hindernissen, im Nenner. Gib es sowohl Verluste (am Dach insgesamt) als auch Zuschläge (lokal im Windschatten), entstehen Summen. Das ist eigentlich der Normalfall sein - alles andere sind Näherungen - über die sich trefflich streiten lässt.

Nach wie vor wird im Format von **FprEN 1991-1-3:2023** nicht klar unterschieden zwischen Verwehung (drift load: s_d) und Abrutschen (slide load: s_s). Daher ist die Anpassung im Detail schwierig.

Das Niveau der Flachdachschneelast bleibt unverändert bei **80% der Bodenschneelast** als Referenzwert für sog. „übliche Verhältnisse". Alle modernen Normen haben einen solchen Referenzwert, der für möglichst viele Orte zutreffen sollte, siehe **Tabelle 1**. Für davon abweichende Verhältnisse muss differenziert werden.

Differenzierungsmöglichkeiten sind im Eurocode jedoch traditionell begrenzt. Es gibt Wahlmöglichkeiten, aber konkrete Hinweise zu einer fachgerechten Auswahl fehlen oft. Die neue Regelung für sehr große Flachdächer, die das Dachschneelastniveau bis auf das Niveau der Bodenschneelast erhöhen kann, ist ein erster Schritt in Richtung fachgerechte Differenzierung.

2. Nationaler Anhang DIN EN 1991-1-3/NA:2019

Gleichzeitig ist in Deutschland der Nationale Anhang zum noch geltenden Eurocode **DIN EN 1991-1-3:2010+A1:2015** noch einmal erneuert worden. Dieser neue Nationale Anhang ist inzwischen als **DIN EN 1991-1-3/NA:2019** veröffentlicht. Im Vergleich zum früheren NA enthält er im informativen Anhang NA.F wieder die bereits aus der **DIN 1055 Teil 5:2005** bekannten Eislasten.

Der neue Anhang bezieht sich noch auf das alte EN-Format, enthält aber eine neue Regelung für große Flachdächer, die aus der kanadischen Norm stammt und in ISO und EN übernommen wurde. Der Vergrößerungsfaktor wird in **DIN EN 1991-1-3/NA, NDP zu 5.3.1 (3)** jedoch „vereinfacht" und im Formbeiwert untergebracht, nicht im Umgebungsbeiwert. Die Regelung gilt dadurch nur für $C_e = 1$. Weitere Details werden noch kommentiert. Allgemein ist anzumerken, dass der Größeneinfluss auf seinem Weg von einer Norm in die nächste jedes Mal konservativer und unökonomischer wurde, ohne irgendwelche zusätzliche Nachweise.

Neu eingeführt wird eine Regelung für **auf Flachdächer aufgeständerte Solaranlagen (NCI zu 5.3.1 (2))**. Wegen massiver Einsprüche der Solarindustrie und fehlender Messdaten oder anderer Belege wurde das an die gereihten Sattel- und Scheddächer angelehnte, geplante Dachschneelastniveau von 120% der Bodenschneelast für $s_k \leq 1$ kN/m^2 (100% für $s_k > 3$ kN/m^2) auf 100% für alle Schneelastzonen gesenkt, wenn die Höhe der Anlage 50 cm nicht überschreitet. Für höhere Anlagen gilt 110%. Bemerkenswert war erstens die Anerkennung des Klimaeinflusses, der nun natürlich wieder fehlt. Bemerkenswert ist außerdem die Anerkennung des Bodenschneelastniveaus als Obergrenze, wenn auch nur für kleine Hindernisse. Diese Einsicht wünschte man sich dann aber auch für größere Hindernisse, sowie für gereihte Sattel- und Scheddächer, die immer noch für bis zu 120% der Bodenschneelast bemessen werden müssen. Würde man hier eine Solaranlage aufsetzen, so könnte argumentiert werden, dass die Schneelast nun auch um bis zu 25% zu reduzieren sei. Das ist natürlich absurd.

Es bleibt unklar, warum dieser Anhang zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch veröffentlicht werden musste, wenn viele der im **PRB-Endbericht (2015) Abschnitt 7** bereits festgestellten Probleme nicht einmal ansatzweise gelöst werden.

3. Dach-Bodenschneelast-Konversion und Teilsicherheitsbeiwert

In Zusammenhang mit der Entwicklung der Normung und den geführten Diskussionen ist auf folgendes hinzuweisen:

① Nicht erst mit **DIN 1055, Teil 5: 2005-07** sind auf Dächer mit bis zu 30° Dachneigung „nur" 80% der charakteristischen Bodenschneelast angesetzt worden. Die zuvor genormten Regelschneelasten oder Grundwerte waren ebenso Dachschneelasten mit einer **Dach-Bodenschneelast-Konversion von 0,8** und sogar bis **0,5 für hohe Schneelasten** in Westdeutschland. Ostdeutschland ging **von 0,7** aus **(Gränzer & Riemann (1980); Späthe (1992))**. Das und mehr konnte man damals den Erläuterungen der **DIN 1055 Teil 5: 1975-06** entnehmen. Die Meteorologischen Dienste haben von Anfang an Dach-Bodenschneelast-Konversionen verwendet und diese von Zeit zu Zeit auch überprüft.

② Die seit 2005 genormten charakteristischen Bodenschneelasten sind auch keine echten charakteristischen Größen, sondern auf **Zielwerte für Entwurfsschneelasten** hin entwickelt worden **(Gränzer (1989))**. Man könnte auch sagen, die charakteristischen Werte sind **kalibriert mit dem Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 als zweitem Zielwert**. Deshalb muss der Teilsicherheitsbeiwert auch nicht erhöht werden, wenn der Variationskoeffizient zu groß ist. Das ist bei Schneelasten nicht ungewöhnlich. Die Variationskoeffizienten der Schneeklimazonen in Deutschland sind zudem sehr unterschiedlich, so dass sie nicht über nur einen einzigen konstanten Teilsicherheitsbeiwert zu erfassen wären. Das Problem ist nicht neu. Dafür hat man schon in der Vergangenheit passende Lösungen gefunden (Stichwort Kalibrierung, später: Sockelschneelasten). Das wird dem Statiker in der modernen Norm leider nirgendwo mehr erläutert. In **DIN 1055 Teil 5: 2005-07,** Anhang B wird er sogar noch auf die falsche Fährte geführt, indem allein von charakteristischen Werten gesprochen wird.

Wie im **PRB-Endbericht (2015) Abschnitt 7** festgestellt, ist die Bereitstellung von Hintergrundinformationen nicht vollständig, „*was bei der Schneelastnorm zu Problemen führt, da es in Deutschland bezogen auf die Schneelasten keine frei zugängliche Literatur gibt.*“ Deshalb muss man sich **anderswo** umschauen. Das hätte auch bei der Neuregelung für auf Flachdächer aufgeständerte PV-Anlagen weitergeholfen, vgl. **Brooks et al. (2014)** und **Grammou et al. (2019)**.

4. Neuberechnung der Bodenschneelasten

Ausschließlich auf internationalen Konferenzen, deren Beiträge im Internet erscheinen, erfuhr man z.B. auch, dass sogar für Deutschland die Bodenschneelasten bereits mit modernen, verfeinerten statistischen Methoden überprüft worden sind, siehe **Kasperski (2012)**, **Czwikla & Kasperski (2016 a; 2016 b)**. Dabei ging es immer um **Entwurfswerte**.

Die Auswertungen ergaben, dass die Entwurfsschneelasten in **Schneelastzone SLZ 1** (einschließlich der Messwerte von 1978/79) vorwiegend auf der sicheren Seite liegen, selbst dann, wenn das Niveau der außergewöhnlichen Schneelast (mit C_{esl} = 2,3) gar nicht separat betrachtet wird. Daraus folgt, dass außergewöhnliche Schneelasten in SLZ 1 überflüssig sind.

Für die **Schneelastzone SLZ 2** gäbe es Überschreitungen, wenn die mit dem Faktor von 2,3 erhöhte außergewöhnliche Schneelast im Norddeutschen Tiefland nicht zum Vergleich mit herangezogen wird. Mit den außergewöhnlichen Schneelasten ist jedoch ebenfalls alles abgedeckt. In den o.g. Publikationen wird der Eindruck erweckt, die Schneelasten in SLZ 2 seien nicht ausreichend, indem die außergewöhnlichen Schneelasten einfach weggelassen werden. Berücksichtigt man sie jedoch, so zeigt sich an den Auswertungen, dass eine Neuberechnung mit größerer räumlicher Auflösung auch für SLZ 2 ökonomische Vorteile bringen würde. SLZ 1 bis SLZ 2 decken bereits ca. 80% des deutschen Gesamtterritoriums ab.

Angestoßen durch **Schwind (2009)** arbeitet der Deutsche Wetterdienst (DWD) für Bayern bereits seit 2011 an der Überarbeitung der Schneelasten und der Schneelastzonenkarte. Das von Schwind betreute Gutachten des DWD hat in einer 2018 abgeschlossenen Pilotstudie für 5 Landkreise in Bayern nachgewiesen, dass nur 30% aller Schneelasten richtig angesetzt sind. **70% erwiesen sich als falsch. Bei 53% davon wäre eine niedrigere Schneelastzone möglich**, 17 % davon gehören in eine höhere, darunter eine neue Schneelastzone SLZ 3a. Die Ergebnisse sind in der aktuellen Version 07.02.2023 in die Excel-Tabellen „***Zuordnung der Schneelastzonen nach Verwaltungsgrenzen.xlsx***“ integriert. Nun ist die Neuberechnung der Bodenschneelasten vollständig abgeschlossen. Sockelschneelasten fehlen noch. Über die Veröffentlichung wird im NA noch diskutiert.

Für **Dachschneelasten** scheint aber nach wie vor kein Differenzierungsbedarf gegeben, siehe **DIN EN 1991-1-3/NA: 2019**. Das ist unzureichend, da mit hochwertigen Gläsern, Kunststoffen, Teflon-Folien, beschichteten Membranen, Solar-PV und sogar BIPV (Building Integrated Photovoltaik) neue Dacheindeckungen auf den Markt kommen, die unter Schnee andere Eigenschaften haben als traditionelle Eindeckungen wie Dachziegel, Bitumenpappe, Holzschindeln, Schiefer und Metalltrapezbleche. Sie sind deutlich glatter. Die Schneelastverteilungen in den

Normen wurden für die eher rauen traditionellen Dacheindeckungen entwickelt und bedürfen einer Korrektur. Belege, Messwerte und statistische Auswertungen dafür gibt es, siehe **Background Snow EN 13031 Part II** - frei verfügbar unter https://www.greenhousecodes.com. Details daraus, die für alle Dächer interessant sind, nicht nur für Gewächshäuser, werden in dieser Reihe noch kommentiert.

Hinzu kommt, dass die Wahrscheinlichkeit von Nassschnee-Ereignissen zunimmt, nachgewiesen regional z.B. für das Münsterland und für Deutschland generell (**Deutschländer & Wichura (2005); Nikolov & Wichura (2009)**). Damit wird das Abrutschen von Schnee und Eis auf allen Eindeckungen relevant.

5. Der vergessene Klimaeinfluss auf die Dachschneelast

Høibø (1988) führte in Norwegen über 20 Jahre (1966-1986) durchgehende Dachschneelastmessungen an 200 freistehenden, unbeheizten landwirtschaftlichen Gebäuden durch. Die Gebäude hatten mittelgroße Satteldächer mit durchschnittlich 300 m^2 Dachfläche und 6 m Traufhöhe. Die Dachneigungen reichten von 5° bis 45°. Vorherrschend waren zu 80% raue Dacheindeckungen mit Ziegeln, Asbestzement, Holzschindeln und Bitumenpappe. Zu 20% waren auch schon glatte Metalldacheindeckungen vertreten, die ein anderes Abrutschverhalten zeigten. Für sie wurde der Oberflächenmaterialbeiwert C_m = 1,2 in ISO 4355: 1998 eingeführt.

Die mehr als 1300 Messwerte erlauben statistische Auswertungen zu Dachschneelasteinflüssen. Vor allem findet sich ein deutlicher Klimaeinfluss, den Høibø an der maximalen Bodenschneelast pro Jahr festmachen konnte. Unter den Messwerten sind solche für sehr flach geneigte Dächer mit DNG α < 15°. **Bild 1** Bild zeigt den Trend der Dach-Bodenschneelast Konversion auf den beiden Dachseiten dieser fast flachen Dächer und den Mittelwert.

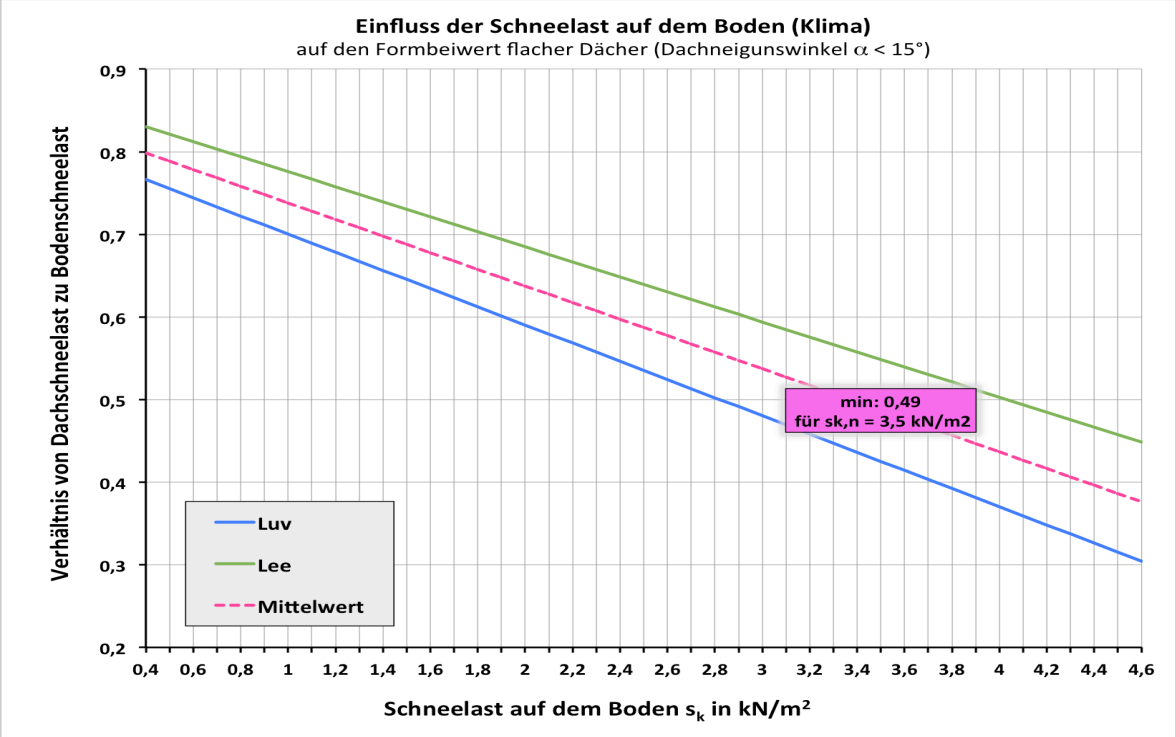

Bild 1: Einfluss des Klimas auf die Dach-Bodenschneelast Konversion

Høibø (1988) schlug eine Untergrenze von 0,49 vor. Eine Dach-Bodenschnee-Konversion von 0,5 für große Schneelasten in Oberbayern ist auch vom DWD festgestellt worden, siehe Erläuterungen in **DIN 1055-5:1975**.

Die von **Høibø (1988)** von 1966 bis 1986 gemessenen Bodenschneelasten reichten von 0,44 kN/m^2 bis 4,58 kN/m^2. Die charakteristischen Bodenschneelasten Norwegens liegen gegenwärtig bei 1,5 kN/m^2 bis 9 kN/m^2. Das deutsche Klima hat Überschneidungen damit, wobei aber große Teile von Deutschland ein anderes Klima haben.

Größere Schneelasten auf Dach und Boden werden über einen längeren Zeitraum von 3 bis 5 Monaten akkumuliert. Kleine Bodenschneelasten sind das Resultat eines Schneefallereignisses von mehreren Tagen oder mehrerer kleiner Schneefallereignisse über wenige Wochen. Wind, Sonne, Temperaturen über 0°C und Regen haben bei größeren Schneelasten länger Zeit, mehr Schnee von den Dächern zu entfernen als am Boden. Neben den Verwehungen sind dafür aber auch Sublimation / Verdunstung, Abtauen und bei geneigten Dächern vor allem das Abrutschen verantwortlich. Daher sinkt das Verhältnis von Dach- zu Bodenschneelast (Konversionsfaktor) mit steigender Schneelast. Es wird nicht alles nur „vom Winde verweht". Auch der Einfluss der Sonneneinstrahlung ist deutlich.

Der größte Mittelwert von 0,8 für die kleinste Bodenschneelast von 0,44 kN/m^2 wird heute in vielen Schneelastnormen (NBC, ISO, EN) als allgemeiner Konversionsfaktor verwendet, siehe auch **Tabelle 1**. Dieser allgemeine Bezugswert kann ein numerischer Faktor sein, wie in ISO 4355:2013 oder ASCE 7-10 (Faktor 0,7), oder im Formbeiwert untergebracht werden, wie in EN 1991-1-3, NBC Kanada oder in A.I.J. Japan (variabel an das Klima angepasst), oder im Umgebungsbeiwert, wie in ISO 4355:1998. Oft gibt es keinen Hintergrund dazu.

Wichtig ist die Einsicht, dass es ein Mittelwert ist für „übliche Verhältnisse", der durch weitere Faktoren an die tatsächlich vorliegenden Verhältnisse angepasst werden muss. Der Eurocode hat dafür nur drei weitere Faktoren, den Formbeiwert μ_i, den Temperaturbeiwert C_t und den Umgebungsbeiwert C_e.

In Deutschland werden zwei dieser drei Faktoren gar nicht differenziert. Nach **DIN EN 1991-1-3/NA: 2019** gilt weiterhin für alles: C_t = 1 und C_e = 1. Das passte nicht zu Norwegen und es passt erst recht nicht zu den Schneeklimavariationen in Deutschland. In einigen Normen wird der klimatisch bedingte Trend zu kleineren Konversionsfaktoren mit zunehmender Schneelast nur über Umgebungsbeiwerte C_e berücksichtigt. Im Eurocode fehlt sogar der Klimabezug, indem C_e nur über die Windabschattung bzw. Exposition des Standorts definiert wird, siehe **DIN EN 1991-1-3:2003, Tabelle 5.1** und **FprEN 1991-1-3:2023, Tabelle 7.1**, zusammengefasst in **Tabelle 2. Das reicht nicht aus.**

Außerdem ist es ein Rückschritt von älteren Normen, in deren Dachschneelasten die Meteorologischen Dienste bereits passende Konversionsfaktoren eingebaut hatten. Das scheint nun alles vergessen worden zu sein.

Ganz vergessen worden ist der Klimaeinfluss auf Dachschneelasten jedoch nicht. Für Schneeverwehungen an Höhensprüngen nach **DIN EN 1991-1-3/NA, NDP zu 5.3.6** gibt es eine Dämpfung des Anstiegs des relativen Verwehungszuschlags für Schneelasten zwischen s_k = 3 kN/m^2 und 6,5 kN/m^2, siehe **Bild 2**.

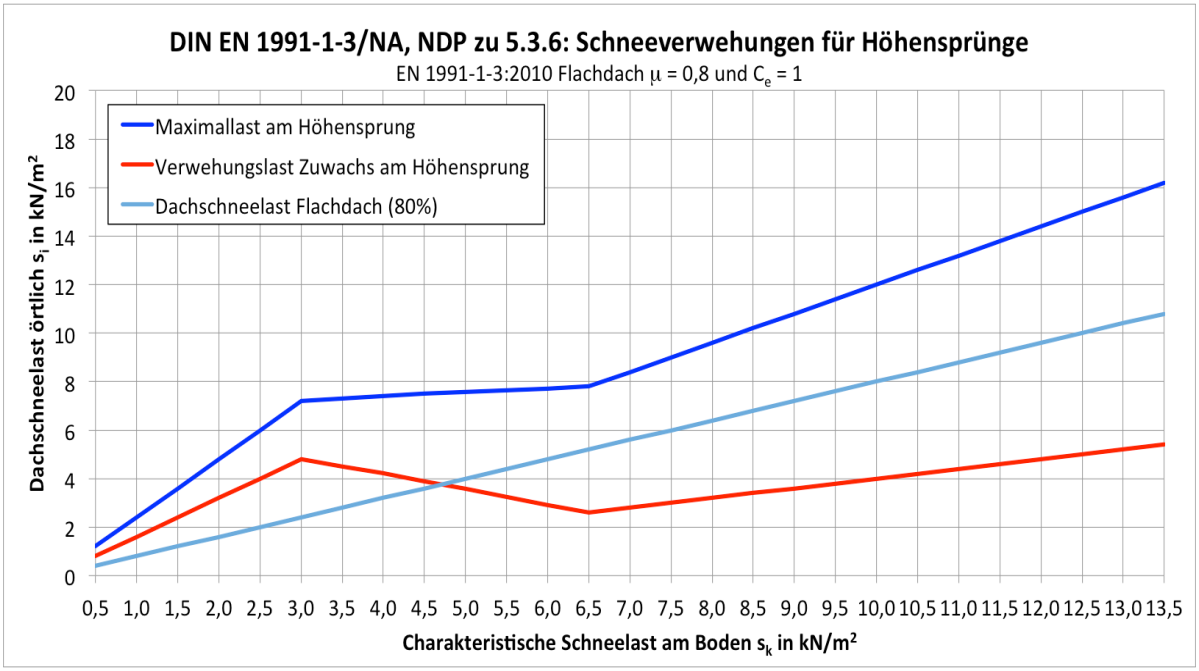

Bild 2: Verwehungslasten an Höhensprüngen – Verlauf des Verwehungszuschlags

Anmerkung zu Bild 2:

Sicher sollte der in **Bild 2** gezeigte Verlauf stetig sein, der Zuwachs nicht sinken und die Reduktion sich nicht auf einen Maximalwert von 6,5 kN/m² beschränken. Das Prinzip ist jedoch richtig, wie ein Vergleich mit **ISO 4355:2013, B.3** beweist. In **Bild 3a** und **3b** ist die stetige Degression des Anstiegs des Verwehungszuschlag gezeigt, wie er sich aus jahrzehntelangen Messungen, Untersuchungen und statistischen Auswertungen für das nordamerikanische Schneeklima ergeben hat, vgl. **O`Rourke & Cocca (2016)**. Entscheidend ist auch das Verwehungspotential, deshalb wird der Verlauf für zwei unterschiedliche Lasteinzugsflächen vom oberen Dach von 25 m² und 100 m² dargestellt.

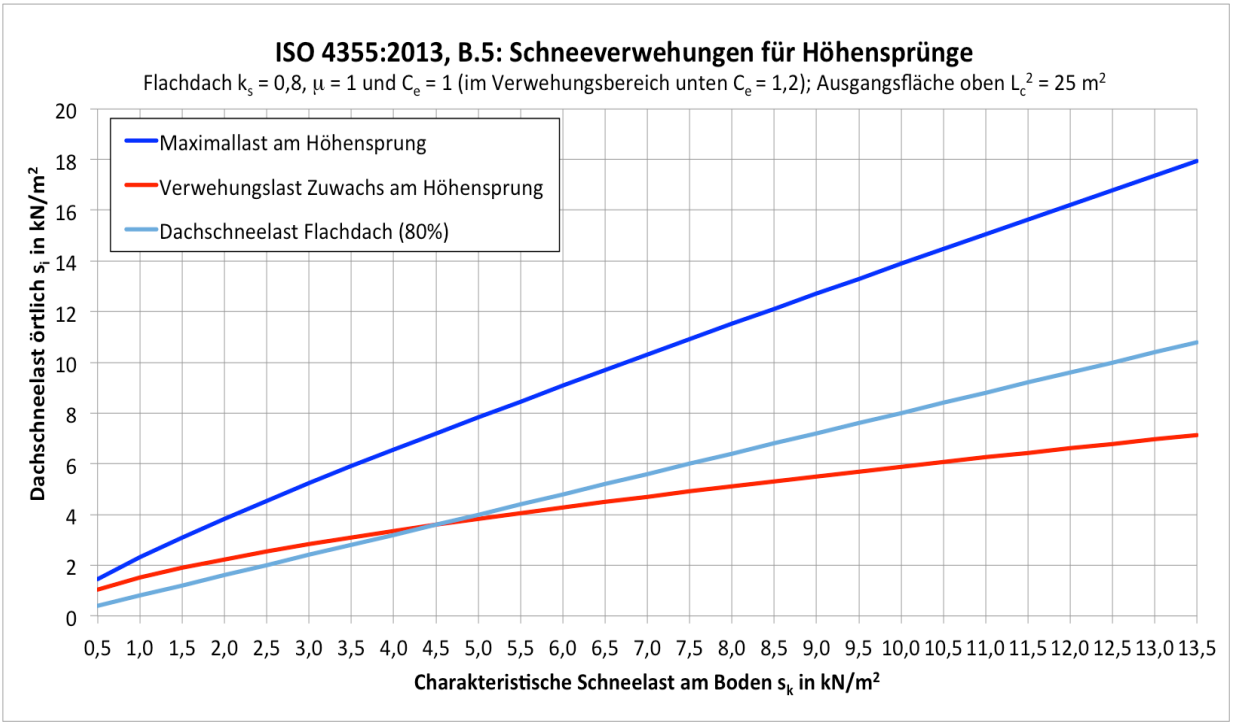

Bild 3a: Verwehungslasten an Höhensprüngen mit 25 m² Lasteinzugsfläche

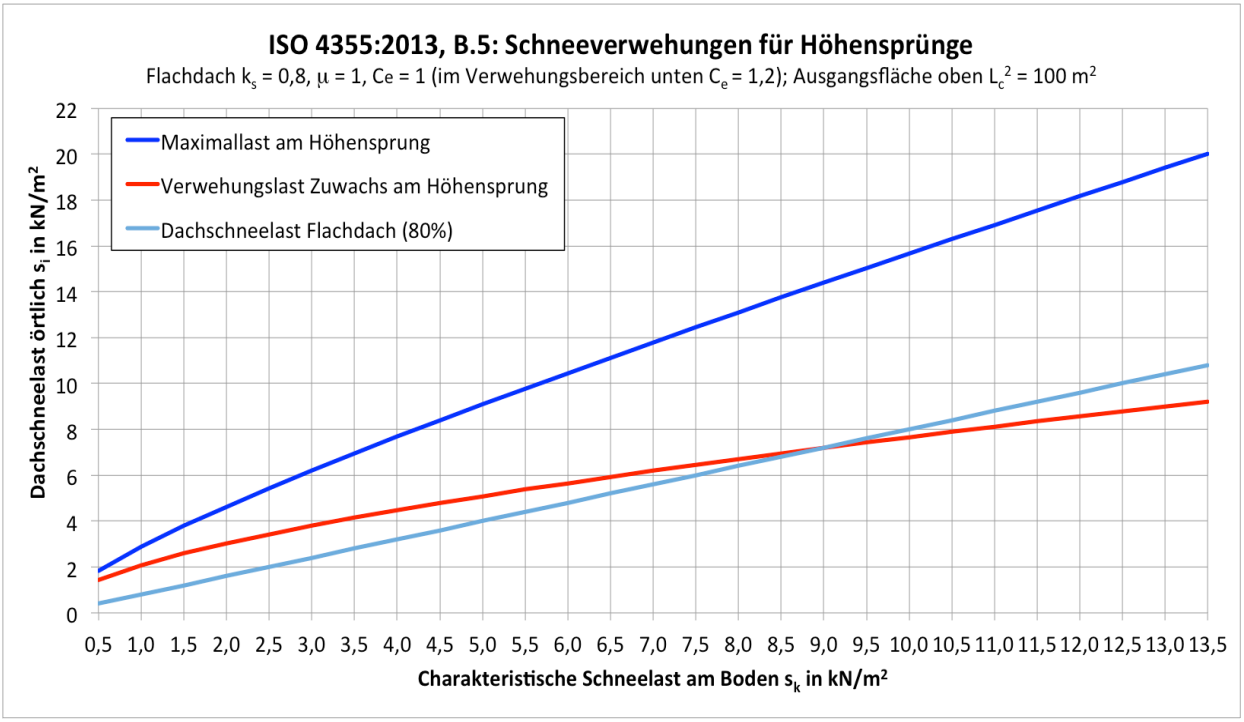

Bild 3b: Verwehungslasten an Höhensprüngen mit 100 m² Lasteinzugsfläche

Der Vergleich der **Bilder 2, 3a** und **3b** zeigt, dass das Verwehungspotential in Deutschland eher als gering einzuschätzen ist. Die **Bilder 3a** und **3b** sind nur 2 Beispiele, die zeigen, dass der Verlauf stetig ist. Darüber hinaus lohnt sich eine detaillierte Auswertung aller weiteren Einflüsse auf die Schneeverwehungsmodelle nach **ISO 4355:2013**, siehe auch **Comments to ISO 4355**.

Für die zweite Generation des Eurocodes **EN 1991-1-3** war ein informativer **Anhang F** geplant, der bei der klimabezogenen Definition des Umgebungsbeiwertes helfen sollte. Dazu hat es jedoch am Ende nicht gereicht. Stattdessen wurde die **Tabelle 7.1** durch Anmerkungen zur Geländekategorie nach EN 1991-1-4 ergänzt. Für windige Verhältnisse wird ein Mindestwert der mittleren Windgeschwindigkeit im kältesten Monat von 4,5 m/s gefordert. Angaben zur Temperaturabhängigkeit fehlen. Es ist vorstellbar, dass die dafür ausgeschlachtete alte Definition nach ISO 4355, Annex C kontrovers diskutiert wurde. Sie ist auch für sehr mildes feuchtes Klima nicht geeignet und war sogar für Norwegen in der Diskussion, siehe **Meløysund (2006)**. Nun liegt auch eine Neuberechnung für das deutsche Klima vor (**Thiis et al., 2022**). Beide Auswertungen zeigen, dass der Vorschlag nach ISO 4355, Annex C nicht das beste Beispiel für eine konsistente Klassifikation darstellt.

6. Klassifizierungssystem: sehr bescheiden und trotzdem misslungen

Nach Eurocode können die Referenzwerte durch geeignete Faktoren für C_e, C_t und μ_i an tatsächlich vorliegende Verhältnisse angepasst werden. Was der Eurocode in **FprEN 1991-1-3:2023**, **7.1** und **7.2** mit **Tabelle 7.1** dafür empfiehlt, ist jedoch weder ausreichend noch gründlich durchdacht, siehe **Tabelle 2**.

Klassifizierung Geländegegebenheiten / Exposition		
Temperaturbeiwert **C_t**	**1,2**	Bauwerke, die aktiv unter 0°C gekühlt werden (Eissporthallen, Kühlhäuser), sofern die thermische Isolierung den Anstieg der Dachschneelast nicht verhindert
	1	Alle anderen Fälle
	< 1	Dächer mit hoher Wärmedurchlässigkeit (> 1 W/m²K) für Gegenden mit $s_k \geq 1{,}5$ kN/m² (z.B. Gewächshäuser, einige anderen Glasdächer)
Umgebungsbeiwert **C_e**	**1,2**	Bauwerke beträchtlich niedriger als umgebendes Gelände oder abgeschirmt durch hohe Bäume oder Gebäude
	1	Übliche Verhältnisse, kein wesentlicher Schneeabtrag durch Wind, z.B. Geländekategorie III in DIN EN 1991-1-4
	0,8	Windig, flaches Gelände, durch Gebäude, Bäume oder Gelände nach allen Seiten nur gering abgeschirmt, z.B. Geländekategorie 0, I und II in DIN EN 1991-1-4; Durchschnittswindgeschwindigkeit in 10 m Höhe während kältestem Monat größer als 4,5 m/s
Norm	**Flachdachschneelast**	
DIN EN 1991-1-3 (alt)	$s_1 = C_e \cdot C_t \cdot \mu_1 \cdot s_k$ (für Formbeiwert $\mu_1 = 0{,}8$): $\mathbf{s_1 = 0{,}8\ C_e \cdot C_t \cdot s_k}$	
FprEN 1991-1-3:2023 (neu)	Kleine Dächer: $s_1 = C_t \cdot \mu_1 \cdot s_k$ (für Formbeiwert $\mu_1 = 0{,}8\ C_{e,F}$): $\mathbf{s_1 = 0{,}8\ C_e \cdot C_t \cdot s_k}$ Großes Dach: $C_{e,F} = C_e + (1{,}25 - C_e) \cdot (L_c - 50\text{ m}) / 350\text{ m} \leq 1{,}25$: $\mathbf{\max s_1 = C_t \cdot s_k}$	

Dach-Bodenschneelast-Konversion $s_1 / s_k = 0{,}8 \cdot C_e \cdot C_t$				
Temperatur-beiwert **C_t**	***Umgebungsbeiwert*** **C_e**			
	Großes Dach: für $L_C \geq 400$ m: Maximalwert: **1,25**	Kleine Dächer ($L_c \leq 50$ m): $\mathbf{C_{e,F} = C_e}$		
		1,2	**1**	**0,8**
1,2 (neu)	**1,2**	**1,152**	0,96	0,768
1	**1**	0,96	**0,8**	0,64

Tabelle 2: Klassifizierung und resultierende Dachschneelasten nach Eurocode FprEN 1991-1-3:2023

Bemerkenswert ist, dass Mitglieder des NA mit ihrer Software und frei verfügbaren DWD-Wetterdaten bereits eine **klimaabhängige C_e-Berechnung** für Deutschland unternommen haben, vgl. **Thiis et al. (2022)**. Mit dieser Rechenübung sollte gezeigt werden, dass eine solche Auswertung möglich ist! Das ist eine nationale Aufgabe.

Die Voraussetzungen und Betriebsbedingungen für Gewächshäuser oder andere Glasdächer, bei deinen ein **Temperaturbeiwert C_t < 1** berechnet und berücksichtigt werden könnte, sind in **FprEN 1991-1-3:2023, 7.4** nicht annähernd korrekt beschrieben. Offensichtlich ist auch eine ständige und hinreichend abgesicherte Beheizung (Back-Up) mit einer gewissen Mindesttemperatur erforderlich. Das anfallende Schmelzwasser muss abfließen

können und darf nicht wieder anfrieren. Die Schneelastgrenze von $s_{k,min}$ = 1,5 kN/m² hat allerdings damit nichts zu tun. Das ist nur die kleinste charakteristische Schneelast Norwegens. Die Anforderungen an eine sog. „kontrollierte Beheizung“ zum Abschmelzen von Dachschnee bei Gewächshäusern sind in **DIN EN 13031-1:2021** genormt und werden in den zugehörigen Hintergrunddokumenten auf https://www.greenhousecodes.com technisch begründet.

Die Schneelasten für große Dächer mit bis zu **120% der Bodenschneelast** sind unrealistisch. Schneelastzuschläge über das Bodenschneelastniveau hinaus sind auf dem großen Dach nur durch Resublimation von Wasserdampf aus der Umgebung möglich. Sublimationsraten sind jedoch klein, besonders über Dächern ohne große Gradienten von Temperatur und Luftfeuchte.

> ***Anmerkung zu Tabelle 2:*** Diese Zuschläge sind wahrscheinlich gar nicht beabsichtigt, sondern nur das Ergebnis der Übernahme des Temperaturbeiwertes C_t = 1,2 von ISO 4355:2013 und von dort aus der amerikanischen Norm. Diese Norm differenziert jedoch viel besser und hat einen kleineren Referenzwert von 0,7, siehe **Tabelle 3**.

Die Inkonsistenz in **ISO 4355:2013** und **FprEN 1991-1-3:2023** liegt außerdem an der **ungenügenden, nicht gut aufeinander abgestimmten Differenzierung**. Im Eurocode wird das Verwehungspotential für warmes und moderates Klima überschätzt. Ein Beispiel für ein gut gelungenes Klassifizierungssystem von Umgebungs- und Temperaturbeiwert ist in der amerikanischen Norm **ASCE 7-16** zu finden, siehe **Tabelle 3**.

Klassifizierung der thermischen Bedingungen und Geländekategorie / Klima / Exposition		
Temperatur-beiwert **C_t**	**1,3**	Bauwerke, die aktiv gekühlt werden (Eislaufhallen, Kühlhäuser)
	1,2	Nicht beheizte (nicht heizbare) und offene Gebäude, Überdachungen
	1,1	Bauwerke mit Innentemperaturen knapp über Gefrierpunkt; belüftete Dächer, wenn U < 0,23 W/m²K zwischen beheiztem und belüftetem Raum
	1	Andere Bauwerke
	0,85	Ständig geheizte Gewächshäuser (θ_i > 10°C; Dach mit U > 2,5 W/m²K; zus. Sicherheitsanforderungen)
Umgebungs-beiwert **C_e**	**1,2**	Geländekategorie B, abgeschattetes Dach [1)]
	1,1	Geländekategorie C, abgeschattetes Dach [1)]
	1	Geländekategorie D, abgeschattetes Dach [1)]; Geländekategorie B + C, **normal exponiertes Dach**
	0,9	Geländekategorie B + C, exponiertes Dach [2)], Geländekategorie D, **normal exponiertes Dach**
	0,8	Geländekategorie D, exponiertes Dach [2)]; sehr kaltes Klima / Umgebung [3)], **normal exponiertes Dach**
	0,7	sehr kaltes Klima / Umgebung [3)], exponiertes Dach [2)]
[1)] Abgeschattetes Dach: höheres Gelände, höhere Bauwerke oder Nadelbäume in einer Entfernung von weniger als 10-mal Hindernishöhe oberhalb Dachniveau, anwesend während geplanter Nutzungsdauer [2)] Exponiertes Dach: allseitig keine Abschattung, keine Attika höher als Schneehöhe, keine Hindernisse s.o. [3)] Sehr kaltes Klima / Umgebung: Alaska, keine Bäume innerhalb 3 km Radius; Dach oberhalb Baumkronen im windigen Gebirge		
Geländekategorie B: Stadt, Vorstadt, Waldgebiet u.a. mit vielen, dicht zusammenstehenden Hindernissen (z.B. Einfamilienhäuser) Geländekategorie C: einzelne verstreut angeordnete Hindernisse < 9,1 m hoch, Flachland, Grasland Geländekategorie D: Flachland ohne Hindernisse, Seen, Wasser- oder Eisflächen		
Flachdachschneelast	**$p_f = 0{,}7 \cdot C_e \cdot C_t \cdot p_g$**	(für Bedeutungsbeiwert I_s = 1 und Dachneigungsfunktion C_s = 1)

Dach-Bodenschneelast-Konversion $p_f / p_g = 0{,}7 \cdot C_e \cdot C_t$

Temperatur-beiwert **C_t**	***Umgebungsbeiwert*** **C_e**					
	1,2	**1,1**	**1**	**0,9**	**0,8**	**0,7**
1,3	**1,092**	**1,001**	0,91	0,819	0,728	0,637
1,2	**1,008**	0,924	0,84	0,756	0,672	0,564
1,1	0,924	0,847	0,77	0,693	0,616	0,517
1	0,84	0,77	**0,7**	0,63	0,56	0,4704
0,85	0,714	0,6545	0,595	0,5355	0,476	0,3998

Tabelle 3: Klassifizierung und resultierendes Dachschneelastniveau nach amerikanischer Norm ASCE 7-16

Tabelle 3 zeigt unter der Klassifizierung das sich mit diesem System ergebende Dachschneelastniveau. Die grundlegende Dach-Bodenschneelast-Konversion (**Referenzwert**) liegt bei **0,7**. Es wird anerkannt, dass der Wärmestrom von unten (oder sein Fehlen bzw. eine Umkehr) einen größeren Einfluss auf die Dachschneelast haben als der Wind. Eissporthallen und Kühlhäuser bekommen trotz C_t = 1,3 auch bei Abschattung und wenig Wind in Geländekategorie B und C (C_e = 1,2 und 1,1) nur geringfüge Schneelastzuwächse infolge Resublimation über das Niveau der Bodenschneelast hinaus.

Anmerkung zu Tabelle 3:

Für beheizte Gewächshäuser mit C_t = 0,85 ist die Abnahme der Dachschneelast für kleinere C_e nicht das Ergebnis von Verwehungsverlusten, sondern stellt die Korrelation zu einzelnen Schneefällen her. Die Größe der Restschneelast nach Abtauen richtet sich nach der Intensität und Länge einzelner Schneefälle. Diese steigen nicht im selben Maße wie die Bodenschneelasten. Daher ist die abnehmende Tendenz in Tabelle 3 letzte Zeile korrekt.

Aber Achtung: Im Gegensatz dazu besitzt der Temperaturbeiwert C_t nach ISO 4355, Annex D einen Faktor $f_s(s_k)$ zur Berücksichtigung der statistisch belegten Korrelation von Schneefallereignissen und charakteristischer Bodenschneelast. Per Definition ist bei Verwendung eines solchen bereits korrelierten Temperaturbeiwerts $C_t < 1$, der mit steigender Bodenschneelast kleiner wird, ein konstanter Umgebungsbeiwert von $C_e = 1$ zu verwenden unabhängig vom tatsächlichen Umgebungsbeiwert C_e. Auch ein Formbeiwert von $\mu_1 = 0{,}8\ C_e$ kann damit verwendet werden, auch für große Dachflächen, da der Temperaturbeiwert für den Formbeiwert $\mu = 0{,}8$ kalibriert wurde. Die Berechnungsformel für den Temperaturbeiwert C_t nach ISO 4355, Annex D basiert auf direkt gemessenen Daten einzelner Niederschlagsereignisse. Spätere Verwehungsverluste vom Dach spielen dabei keine Rolle.

Ein einfacheres, aber auch stimmiges System hat die kanadische Norm **NBCC 2015**, siehe **Tabelle 4**. Hier fehlen die Temperaturbeiwerte, von der Berücksichtigung thermischer Effekte wird in NBCC 2015 immer noch abgeraten. Deshalb wäre diese Norm auch nicht für Gewächshäuser geeignet.

Die Oberflächenrauigkeit der Dacheindeckung wird aber durch Differenzierung der Formbeiwerte berücksichtigt.

Klassifizierung von Windexposition und Klima				
Wind-expositions-beiwert C_w	**1**	Normalfall		
	0,75	Exponiertes Bauwerk; allseitig exponiertes Dach; keine Abschattung höher als das Gebäude im Abstand von weniger als 10-mal der Höhe der Abschattung; keine Attika größer als die zu erwartende Dachschneehöhe $C_b \cdot C_w \cdot S_0 / \gamma$		
	0,5	Exponiertes Bauwerk und Dach s. o., aber nördlich der Baumgrenze		
Flachdachschneelast		**$S = S_0 \cdot C_b \cdot C_w$** (Dachneigungseinfluss C_s = 1; Akkumulation C_a = 1; Bedeutungsbeiwert I_s = 1 normal)		
Dach-Bodenschneelast-Konversion $S / S_0 = C_b \cdot C_w$				
Basis-Formbeiwert	Charakteristische Dachlänge in m	***Windexpositionsbeiwert* C_w**		
		1	**0,75**	**0,5**
C_b = 0,8	$L_c \leq 70/C_w^2$	0,8	0,6	0,4

Tabelle 4: Klassifizierung und resultierendes Dachschneelastniveau nach kanadischer Norm NBCC 2015

Anmerkung zu Tabelle 4:

Dargestellt ist das Flachdachschneelastniveau für kleine Dachflächen mit einer charakteristischen Dachlänge $L_c = 2\ W - W^2/L$ (mit W - kürzere der beiden Seiten des Grundrisses und L - längere Seite) von weniger als 70 m geteilt durch das Quadrat des Windexpositionsbeiwertes C_w. Für große Dächer $L_c > 70/C_w^2$ wird der Basis-Formbeiwert C_b erhöht. Das Produkt $C_b \cdot C_w$ nähert sich asymptotisch dem Bodenschneelastniveau.

Literatur und Normen

- DIN EN 1991-1-3/NA: 2019: Entwurf: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten.
- FprEN 1991-1-3: 2023-12: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads.
- DIN EN 1991-1-3: 2003 + A1: 2015: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten + DIN EN 1991-1-3/NA: 2010: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter.
- DIN EN 13031-1: 2021: Gewächshäuser – Bemessung und Konstruktion – Teil 1: Produktionsgewächshäuser
- DIN 1055-5: 2005-07: Einwirkungen auf Tragwerke, Schnee- und Eislasten.
- DIN 1055-5: 1975-06: Lastannahmen für Bauten, Verkehrslasten, Schneelast und Eislast.
- ISO 4355: 1998: Bases for design of structures – Determination of snow loads on roofs.
- ISO 4355: 2013: Bases for design of structures – Determination of snow loads on roofs.
- ASCE 7-16, 2010: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Chapter 7: Snow Loads.
- NBCC 2015: Climatic and Seismic Information for Building Design in Canada.
- A.I.J. (Architectural Institute of Japan), 2010: Recommendations for Loads on Buildings. Chapter 5: Snow Loads.
- Bayerisches Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr: Mitteilung vom 19.01.2018: Forschungsprojekt des Deutschen Wetterdienstes „Flächenhafte Analyse von Schneelastmesswerten in fünf Landkreisen und ihr Vergleich mit den Schneelastzonendaten der DIN 1055-5:2005 als Pilotuntersuchung für die Überarbeitung der Schneelastzonenkarte“, Tabelle Anhang M: Neuzuordnung der Schneelastzonen.
- Endbericht (2015-05-28) PRB-PG1 2012-2015- BBSR (Az. II 3-F20-10-1-085_PG1 / SWD-10.08-18.7-12.27) – Verbesserung der Praxistauglichkeit der Baunormung – Teilantrag 1: Sicherheitskonzept und Einwirkungen, Abschnitt 7: Schneelasten.
- Brooks, A.J., Gamble, S., Dale, J., Gibbons, M., Williams, R., Davies & Irwing Inc. (RWDI) (2014): Determining Snow Loads on Buildings with Solar Arrays. In: CSCE 2014, 14th International Structural Specialty Conference, Halifax, NS, Canada, pp. 1-10.
- Czwikla, B., Kasperski, M. (2016 a): Specification of oft the design value oft he ground snow load considering measurements of the snow height – Part 1: Single stations. In: 8th International Conference on Snow Engineering, Nantes, France, pp. 93-100.
- Czwikla, B., Kasperski, M. (2016 b): Specification of the design value of the ground snow load considering measurements of the snow height – Part 2: Regional approach. In: In: 8th International Conference on Snow Engineering, Nantes, France, pp. 152-159.
- Deutschländer, T., Wichura, B. (2005): Das Münsterländer Schneechaos am 1. Adventswochenende 2005. Klimastatusbericht 2005, DWD, pp.163-167.
- Fingerloos, F., Schwind, W. (2019): Zur Neuausgabe des Nationalen Anhangs DIN EN 1991-1-3/NA „Schneelasten“ in 2019-04. In: Bautechnik 96 (2019), Heft 4, pp. 352-359.
- Grammou, N. (2015): Ermittlung von geometrischen Formbeiwerten für Flachdächer mit aufgeständerten Photovoltaikanlagen anhand eines physikalischen Analogiemodells. Dissertation TU Darmstadt.
- Grammou, N., Pertermann, I., Puthli, R. (2019): Snow loads on flat roofs with mounted solar arrays – research results on wind-induced shape coefficients. In: Steel Construction – Design & Research 12 (2019), No. 4, pp. 364-371.
- Gränzer, M., Riemann, H (1980): Statistische Auswertung langjähriger Schneemessungen zur Ermittlung der Schneelastverteilung im Bundesgebiet. Schlussbericht, Landesstelle für Bautechnik, Baden-Württemberg, Tübingen.
- Gränzer, M. (1989): Angaben von Schneelasten, geographisch nach Zonen gegliedert für den Eurocode

„Lasten“ Teil 7. Schlussbericht. Landesstelle für Bautechnik, Baden-Württemberg, Tübingen.

- O`Rourke, M, Cocca, J. (2016): Improved design relations for roof snow drifts. In: 8th International Conference on Snow Engineering, Nantes, France, pp. 146-150.
- Kasperski, M. (2012): A consistent approach for estimating the design value of the snow load on the ground from confined ensembles. In: 7th International Conference on Snow Engineering, Fukii, Japan, pp. 216-230.
- Kasperski, M. (2016): Probabilistic concepts in snow engineering – from observations to specifications of consistent design values including climate change. In: In: 8th International Conference on Snow Engineering, Nantes, France, pp. 53-72.
- Meløysund, V., Lisø, K.R., Hygen, H.O., Høiseth, K.V, Leira, B. (2006): Effect of wind exposure on roof snow loads. In: ScienceDirect, Building and Environment 42 (2007) pp. 3726-3736.
- Meløysund, V. (2010): Prediction of local snow loads on roofs. Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Nikolov, D., Wichura, B. (2009): Analysis of spatial and temporal distribution of wet snow events in Germany. In: IWAIS XIII, Andermatt.
- Schwind, W. (2009): Die neue Schneelastnorm DIN 1055-5, kritisch hinterfragt. In: Bautechnik 86, Berlin, Germany, p.22-29.
- Späthe, G. (1992): Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen, 2. Auflage, Springer-Verlag, Wien / New York.
- Technischer Bericht - Brooks et.al. (2014): Schneelast Flachdach mit aufgeständerter PV-Anlage.pdf. In: https://www.greenhousecodes.com.
- Thiis, T.K., Formici, P., Landi, F., Sykora, M. (2022): Physical-based model for exposure coefficients and ist validation towards the second generation of Eurocode EN 1991-1-3 for roof snow loads. In: Journal of Building Engineering 55 (2022) 104665, pp. 1-17. Available online: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022104665