

Vergleich der Normansätze – Hintergrund – Korrekturen

Dachschneelasten bei geneigten Solarpaneelen

Im neuen Nationalen Anhang DIN EN 1991-1-3/NA: 2019 wurden erstmals konkrete Berechnungsanweisungen für Flachdächer mit aufgeständerten PV- und Solaranlagen genormt. Das Modell ist in den Arbeitsentwurf der neuen Eurocode-Generation prEN 1991-1-3: 2022 übernommen worden, jedoch mit Änderungen und Erweiterungen, die in diesem Beitrag vorgestellt und auf Stichhaltigkeit überprüft werden, vor allem im Licht von zwischenzeitlich erschienenen internationalen Forschungsarbeiten (Versuche im Strömungskanal, thermodynamisches Computermodell und meteorologische Daten).

Wegen verbliebener Fehler, Inkonsistenzen und Unklarheiten der Eurocode-Regelung nach prEN 1991-1-3, 7.5.2 (3) und (4) sind später nationale Regelungen über NDP und NCI möglich, die in diesem Beitrag vorgeschlagen und begründet werden. | Ina Pertermann, Wolfgang Schwind

24



Abb. 1: Manuell vom Schnee befreite PV-Anlage auf großer Dachfläche in Baden-Württemberg

Die Berechnung der Dachschneelast nach DIN EN 1991-1-3: 2010 + A1: 2015 basiert auf folgendem Format:

DIN EN 1991-1-3: 2010: Dachschneelast:

$$s_{i,n,t} = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{k,n}$$

Dabei ist μ_i der Formbeiwert für die Position i , mit $\mu_i = 0,8$ als Referenzwert für das Flachdach mit Dachneigungswinkel $\alpha \leq 5^\circ$

C_e der Umgebungsbeiwert

C_t der Temperaturbeiwert

$s_{k,n}$ die charakteristische Schneelast am Boden* für den Bezugszeitraum n

Anmerkung: * Außergewöhnliche Schneelasten $s_{Ad} = C_{est} \cdot s_{k,n}$ können ebenso verwendet werden.

Mit prEN 1991-1-3: 2022 erfolgte die Verschiebung des Umgebungsbeiwerts C_e von der Gleichung der Dachschneelast in den Formbeiwert μ_i . Dort ist er für verschiedene Dachformen in verschiedenen Funktionen anwendbar, im Zähler für Verwehungsverluste, im Nenner für Verwehungszuschläge; auch Summen sind möglich.

prEN 1991-1-3: 2022:

Dachschneelast: $s_{i,n,t} = \mu_i \cdot C_t \cdot s_{k,n}$

Dabei ist μ_i der Formbeiwert für die Position i , mit

$\mu_1 = 0,8 \cdot C_e$ als Referenzwert

für das Flachdach mit Dachneigungswinkel $\alpha \leq 5^\circ$

Andere Teile der neuen Regelungen zu Dachschneelasten sind allerdings gar nicht neu, sondern stammen aus der Vorgängerversion. Beim Versuch, den Umgebungsbeiwert C_e in den Formbeiwert zu integrieren, sind systematische Fehler aufgetreten, die auch nicht durch Kommentare ausgeräumt werden konnten - Verständnisprobleme. Bei der Regelung zu den Flachdachschneelasten mit PV- und Solar-Paneelen nach 7.5.2 (3) und (4), die aus Deutschland stammt, ist das nicht der Fall. Allerdings ist der Temperaturbeiwert C_t nicht korrekt berücksichtigt worden.

Vergleichende Berechnungen und Auswertungen über den gesamten praktisch relevanten Parameterbereich zeigen Inkonsistenzen und Sprünge. Viele dieser offensichtlich fehlerhaften Formeln und Grenzwerte sind jedoch nicht normativ, sondern Empfehlungen (engl. „recommen-

dations“), da die Verben „should“, „may“ und „can“ gebraucht werden. Nach prEN 1991-1-3: 2022, Paragraph 0.4 ist dafür nun eindeutig festgelegt:

„The verb „should“ expresses a highly recommended choice or course of action. Subject to national regulation and/or any relevant contractual provisions, alternative approaches could be used/adopted where technically justified.“

Das erlaubt nationale Regelungen dort, wo es technisch gerechtfertigt ist (z. B. als NCI). Viele Ausgangswerte und Grenzen sind ohnehin Gegenstand nationaler Regelungen (NDP). Dieser Beitrag enthält Hintergrundinformationen zu möglichen nationalen Regelungen für Flachdächer mit parallelen Reihen geneigter PV- und Solaranlagen nach prEN 1991-1-3: 2022, 7.5.2 (3) und (4) des zukünftigen Eurocodes.

Vergleich der Neuregelung für den Eurocode nach prEN 1991-1-3: 2022 mit der deutschen Normung nach DIN EN 1991-1-3/NA: 2019

Die Neuregelung nach prEN 1991-1-3: 2022, 7.5.2 (3) und (4) gilt nur für Flachdächer ($\alpha \leq 5^\circ$), nicht auch für gering geneigte Dächer ($\alpha \leq 10^\circ$) wie in DIN EN 1991-1-3/NA: 2019, NCI zu 5.3.1 (2). Es handelt sich um eine ungleichmäßige Schneelastverteilung nach Fall (ii) („unbalanced snow loads“) zusätzlich zum Fall (i) für gleichmäßig verteilte Basis-Dachschneelasten, die jedoch in diesem Fall nicht mehr maßgebend wird.

Die Anlagenhöhe h ist unbegrenzt, im Gegensatz zu DIN EN 1991-1-3/NA: 2019, wo sie auf 50 cm beschränkt ist. Andernfalls muss das Dachschneelastniveau um 10 % erhöht werden, um Verwehungen abzudecken. Das gibt es im Eurocode nicht.

Stattdessen wird in Satz (4) auf 8.2 ($w < 2h$) und 8.3 ($w \geq 2h$) für örtliche Effekte an der ersten und letzten Reihe verwiesen.

Satz (3) definiert in Gleichung (7.5) einen globalen Formbeiwert μ_p für die mit Paneelen bedeckte Dachfläche einschließlich Verwehungslängen von $l_s = 4h / C_e$ (Gleichung (7.6)) an allen vier Seiten:

$$\mu_p = \gamma \cdot h / s_k \quad \text{in den Grenzen von } \mu_1 \leq \mu_p \leq 1$$

mit der Empfehlung $\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$ in der Anmerkung (NDP).

Formbeiwert und Grenzen entsprechen der nationalen Regelung nach DIN EN 1991-1-3/NA: 2019, NCI zu 5.3.1 (2), wonach über die gesamte Verteilungsbreite von

$$l_s = l_1 + 2h \text{ gilt:}$$

$$\mu_s = \min(1; \gamma \cdot h / s_k > \mu_1 \text{ bzw. } \mu_2)$$

mit der Schneewichte $\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$.

In Abbildung 2 ist das sich mit dieser Regelung ergebende Dachschneelastniveau s_k/s_k für die belegte Dachfläche für das Verhältnis von Bodenschneehöhe zu Höhe der Anlage von $h_{s,0}/h$ bis 2 zu sehen. Gemeint ist hier nicht die tatsächliche Schneehöhe am Boden, sondern der mit einer äquivalenten Wichte von $\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$ umgerechnete Referenzwert $h_{s,0} = s_k/\gamma$ für das entsprechende maximale Dach-

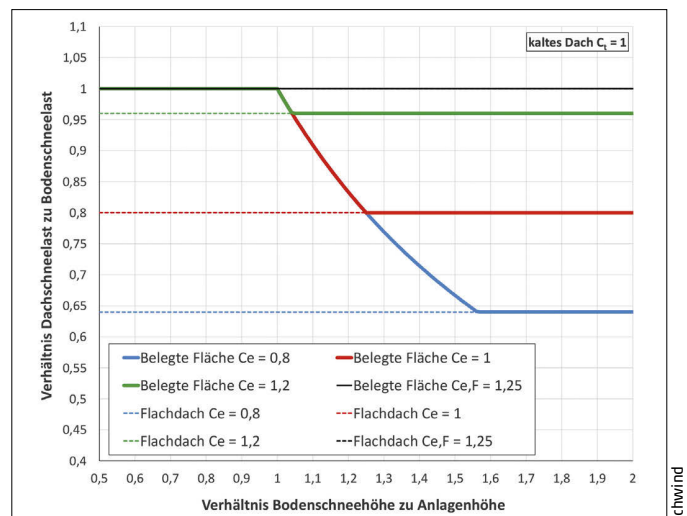
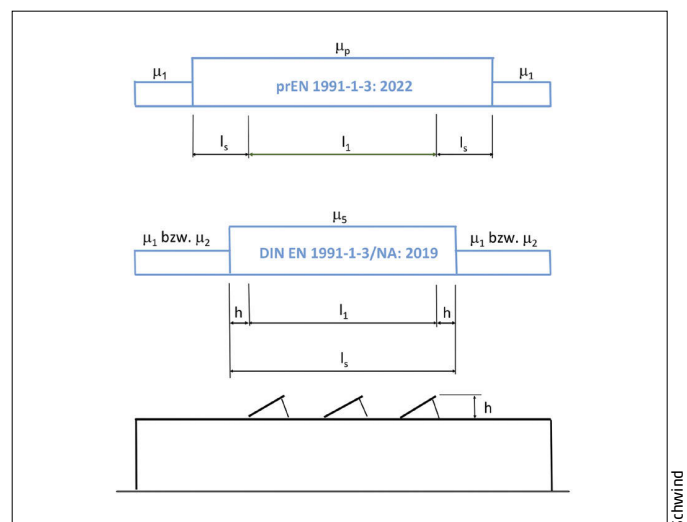


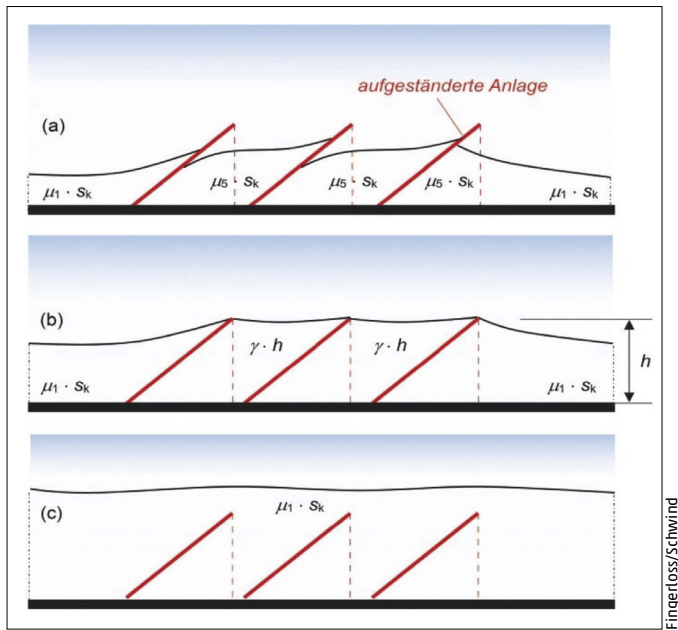
Abb. 2: Verhältnis von Dach- zu Bodenschneelast s_k/s_k im Bereich der belegten Fläche für verschiedene Verhältnisse von Bodenschneehöhe zu Höhe der Anlage $h_{s,0}/h$ für kalte Flachdächer ($C_e = 1$) mit verschiedenen C_e nach prEN 1991-1-3: 2022, 7.5.2 (3)



sneehöheniveau. Für kleine Verhältnisse von $h_{s,0}/h \leq 1$ gilt $\mu_p = 1$. Mit zunehmender Schneelast wird die Anlagenhöhe erreicht. Der Formbeiwert μ_p entspricht der Anlagenhöhe (abfallende Linien). Das ist eine feste Grenze. Deshalb hat der Umgebungsbeiwert C_e keinen Einfluss darauf. Der darüber hinausgehende Schneelastanteil wird verweht bis die vom Umgebungsbeiwert C_e abhängige Flachdachschneelast μ_1 erreicht ist. Für $C_e = 1$ ist das für Bodenschneehöhen über der 1,25-fachen Anlagenhöhe der Fall.

Die Lastverteilungsfläche für die erhöhte Dachschneelast ist hingegen anders geregelt als im Nationalen Anhang (NA). Bei der Verwehungslänge $l_s = 4h / C_e$ nach Eurocode handelt es sich um einen Zuwachs zur mit Modulen belegten Länge, nicht zu verwechseln mit der gesamten sog. Verwehungslänge $l_s = l_1 + 2h$ (eigentlich: Verteilungsbreite) nach DIN EN 1991-1-3/NA: 2019, Bild NA.3. Im Unterschied dazu summiert sich der gesamte Bereich

Abb. 3: Ablagerungsbereiche nach prEN 1991-1-3: 2022 und DIN EN 1991-1-3/NA: 2019 im Vergleich



26 Abb. 4: Mögliche Schneeverteilungen bei Flachdächern mit aufgeständerten PV- oder Solaranlagen nach Fingerloos & Schwind (2019), Bild 2



Abb. 5: PV-Anlage auf einer Skihütte in den Alpen.

mit erhöhter Schneelast nach prEN 1991-1-3: 2022, 7.5.2 (3) auf $l_{s, \text{gesamt}} = l_1 + 2 l_s = l_1 + 8 h / C_e$. Der von h abhängige Randbereich neben der belegten Fläche nach Eurocode (l_1 nach NA) ist somit um den Faktor $4/C_e$ größer als in der nationalen Regelung. In Abbildung 3 sind die unterschiedlichen Lastverteilungsflächen gegenübergestellt.

Hintergrund und Bewertung der Neuregelung

Diese Neuregelung basiert noch nicht auf jüngeren Forschungsergebnissen von Brooks et al. (2014) oder Grammou (2015), sondern auf dem Entwurf zur nationalen Regelung in DIN EN 1991-1-3/NA: 2019.

Die nationale Regelung ist das Resultat ingenieurmäßiger Überlegungen gewesen, siehe Fingerloos & Schwind (2019). Nach DIN EN 1991-1-3/NA: 2019 (NDP zu 5.2(7)

und NDP zu 5.2(8)) gilt in Deutschland im Regelfall immer $C_e = 1$ und $C_t = 1$. Daher vereinfacht sich die Dachschneelast auf $\mu_1 \cdot s_k$ bzw. $\mu_5 \cdot s_k$, wie in Abbildung 4 dargestellt.

Für den Eurocode prEN 1991-1-3: 2022 wurde die Verwehungsfläche l_s anders definiert. Dabei standen die Verwehungsflächen bei örtlichen Verwehungen an längeren Dachaufbauten nach prEN 1991-1-3: 2022, 8.3 Pate. Dabei wird die Verwehungsfläche von $l_s = 2 h$ auf $l_s = 4 h / C_e$ erhöht.

Das dient zwar der Konsistenz innerhalb der Norm, ist jedoch auf Stichhaltigkeit zu prüfen.

In Satz (4) wird zusätzlich dazu auf die örtlichen Verwehungen für die erste und letzte Reihe verwiesen. Eine Erhöhung um 10 % zur Abdeckung von Verwehungen bei Anlagenhöhen $> 50 \text{ cm}$ gibt es nicht. Das ist grundsätzlich zu begrüßen, da es in Deutschland schneereiche Gebiete gibt, in denen gern steiler geneigte PV-Paneele verwendet werden, um das Abrutschen von Schnee zu fördern, siehe Abbildung 5.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass für das allgemeine Format nach Eurocode prEN 1991-1-3: 2022 der Umgebungsbeiwert C_e zu integrieren war. Das ist gelungen, wie in Abbildung 2 gezeigt. Der Temperaturbeiwert C_t wurden dagegen nicht angemessen berücksichtigt, wie die folgende Nachrechnung beweist.

Einführung des Temperaturbeiwerts C_t

In Deutschland ist der Temperaturbeiwert im Regelfall $C_t = 1$ (NDP zu 5.2.8 in DIN EN 1991-1-3/NA: 2019). Das ist in anderen Ländern nicht unbedingt der Fall. Deshalb sollte der Temperaturbeiwert an der richtigen Stelle eingeführt werden.

Darüber hinaus ist folgendes zu beachten: Bei aufgeständerten PV-Anlagen fällt ein Teil des Schnees zunächst auf die Paneele, von denen er zum Teil auf das Dach abrutscht, je nach dafür vorhandenem Platz, vgl. Schwind & Pertermann (2022). Daher kann die Abtauwirkung einer warmen Dacheindeckung beeinträchtigt sein. Aus diesem Grund ist zu empfehlen, den Temperaturbeiwert nur gemäß dem Anteil der Dachfläche mit Direktkontakt zum Schnee zu berücksichtigen.

Die Dachschneelasten werden nach Gleichung (7.1) berechnet mit $s_i = \mu_1 \cdot C_t \cdot s_k$. Daraus resultiert die Dachschneehöhe $h_s = s_i / \gamma$, wobei die äquivalente Wichte der Dachschneedecke $\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$ angenommen wird, es sei denn, im NA ist etwas anderes geregelt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass sich über warmen Dächern die Schneedichte ändert. Bevor Schnee schmilzt, wird er zunächst auf 0°C erwärmt. Die Schneedichte reifen Schnees steigt auf über 120 kg/m^3 (siehe Model Snowmelt.pdf). Unter Abtaubedingungen fällt an der Unterseite der Schneedecke Tauwasser an. Die Retentionshöhe für das Wasser bleibt bei unbehinderter Entwässerung klein, z.B. bei geschlossenen und beheizten Innenräumen von modernen Gewächshäusern. Daher ist nach DIN EN 13031-1: 2019 für $C_t < 1$ eine äquivalente Wichte von $\gamma = 3,5 \text{ kN/m}^3$ geregelt. Darin sind Frischschneedichten bis 150 kg/m^3 an der Oberseite und eine dünne Schicht Nassschnee mit 600 kg/m^3 an der Unterseite abgedeckt.

Die Dachschneehöhe wird von C_t direkt beeinflusst, sinkt unter thermischen Einwirkungen. Die Anlagenhöhe bleibt gleich. Um C_t entsprechend zu integrieren, werden noch einmal die drei verschiedenen Fälle nach Fingerloos & Schwind (2019) betrachtet, siehe *Abbildung 4*. Wegen der Bedeutung für das europäische Schneeklima entspricht hier Fall 1 dem Fall (c), Fall 2 dem Fall (b) und Fall 3 dem Fall (a). Das war der für die Einarbeitung von C_t verantwortlichen Eurocode-Arbeitsgruppe leider nicht möglich. Das nährt Zweifel an der Verlässlichkeit dieser Norm.

Fall 1: Dachschnee höher als Anlage: $h_s > h$: $\mu_p = \mu_1$

Im Fall 1 wird angenommen, dass Verwehungsverluste wie für ein Flachdach möglich sind, wenn die Dachschneehöhe $h_s = s_p / \gamma = \mu_1 \cdot C_t \cdot s_k / \gamma$ die Höhe der Anlage überragt. Für ein kaltes Dach mit $C_t = 1$ und $\mu_1 = 0,8$ C_e ist der Verwehungsanteil $(1 - 0,8 C_e) \cdot s_k$. Für normale Verhältnisse mit $C_e = 1$ liegt Fall 1 vor, wenn das Verhältnis von Bodenschneehöhe $h_{s,0} = s_k / \gamma$ zu Anlagenhöhe h größer ist als $h_{s,0} / h > 1,25 = 1 / \mu_1$, siehe rechter Abschnitt der roten Kurve in *Abbildung 2*. Der Formbeiwert für Fall 1 wird dann $\mu_p = \mu_1$ mit der Dachschneelast $s_p = \mu_1 \cdot C_t \cdot s_k$ (Flachdachschneelast).

Die Grenze $h_{s,0} / h > 1,25$ verschiebt sich jedoch, wenn an der Unterkante der Schneedecke thermische Einflüsse vorliegen. Dann ändert sich die Dachschneehöhe mit $h_s = \mu_1 \cdot C_t \cdot s_k / \gamma = \mu_1 \cdot C_t \cdot h_{s,0}$. Die Anlagenhöhe h bleibt gleich. Die Grenze zwischen Fall 1 und Fall 2 muss daher wie folgt angepasst werden: $C_t \cdot h_{s,0} / h > 1 / \mu_1$ oder $h_{s,0} / h > 1 / (C_t \cdot \mu_1)$.

Fall 2: Dachschnee auf Anlagenhöhe: $h_s = h$: $\mu_1 < \mu_p < 1$.

In Fall 2 werden die Verwehungen durch die Höhe der Anlage begrenzt. Dachschnee oberhalb der Paneele kann verwehen; unterhalb der Paneele gibt es keine Verluste. Das gesamte Verwehungspotenzial aus den Niederschlägen (bzw. der Bodenschneelast als Referenzwert) beträgt $(1 - 0,8 C_e)$. Die thermischen Einflüsse an der Unterkante der Schneedecke sind unabhängig von den Verwehungen oberhalb der Schneedecke.

Fall 2 liegt zwischen Fall 1 und 3 innerhalb der Grenzen $1 / C_t < h_{s,0} / h < 1 / (C_t \cdot \mu_1)$. Im Beispiel in *Abbildung 2* mit $C_t = 1$, $C_e = 1$ und $\mu_1 = 0,8$ C_e liegt dies innerhalb der Grenzen $1 < h_{s,0} / h < 1,25$. Innerhalb dieser Grenzen ändert sich die Dachschneelast nicht, sie bleibt bei $s_p = \gamma \cdot h$ mit dem Dachschnee einschließlich thermischer Einflüsse. Der Dachschnee füllt den Abstand bis zur Oberkante der Paneele. Die Dachschneehöhe bleibt konstant bei $h_s = s_p / \gamma = h$. Aus der Dachschneelast $s_p = \gamma \cdot h = \mu_p \cdot C_t \cdot s_k$ kann der Formbeiwert im Fall 2 abgeleitet werden mit $\mu_p = \gamma \cdot h / (C_t \cdot s_k)$.

Fall 3: Dachschnee niedriger als Anlage:

$h_s < h$: $\mu_p = 1$.

Im Fall 3 gibt es weniger Verwehungsverluste als vom Flachdach. Auf der sicheren Seite liegend wird angenommen, es gäbe gar keine Verwehungsverluste. Für kalte Dächer mit $C_t = 1$ gilt damit: Dachschneelast = Bodenschneelast, siehe linker Abschnitt der Kurven in *Abbildung 2*.

Durch Einführung des Temperaturbeiwerts C_t würden sich die Kurven je nach Temperaturbeiwert $C_t < 1$ oder $C_t > 1$ nach unten oder oben verschieben. Der Formbeiwert bleibt $\mu_p = 1$. Die Dachschneelast wird mit $s_p = 1 \cdot C_t \cdot s_k$ kleiner oder größer als s_k . Die Dachschneehöhe entspricht $h_s = C_t \cdot s_k / \gamma = C_t \cdot h_{s,0}$. Fall 3 ist begrenzt durch die Bedingung $C_t \cdot h_{s,0} < h$ oder $h_{s,0} / h < 1 / C_t$.

Korrektur von Satz (3) bzgl. Einbeziehung des Temperaturbeiwerts C_t

Um den Temperaturbeiwert C_t zu integrieren, wird der Formbeiwert μ_p auf die veränderte Bezugsschneelast $C_t \cdot s_k$ bezogen, denn im Fall 2 muss gelten: $\mu_p \cdot C_t \cdot s_k = \gamma \cdot h$. Ober- und Untergrenze für den Formbeiwert (nicht die Fallunterscheidung s.o.) bleiben unverändert mit $\mu_1 \leq \mu_p \leq 1$, denn in beiden Fällen wird der Temperaturbeiwert über die Dachschneelastgleichung $s = \mu_t \cdot C_t \cdot s_k$ eingeführt. Im Fall 1 gilt: $s_1 = \mu_1 \cdot C_t \cdot s_k$; im Fall 2 gilt $s_1 = C_t \cdot s_k$.

Das ist im Allgemeinen korrekt. Wird jedoch der auf das Niveau $\mu = 0,8$ kalibrierte Temperaturbeiwert nach ISO 4355, Annex D (basierend auf Niederschlagsdaten) gebraucht, so ist das Bodenschneelastniveau bereits bei $\mu_p = 0,8$ erreicht. Da in diesem Fall auch immer $C_e = 1$ gilt, gibt es keinen Niveauunterschied beim Flachdach mit oder ohne PV, ebenso wenig wie im Fall sehr großer Dächer $L_c > 400$ m mit $C_{e,f} = 1,25$. Das sind zwei Sonderfälle.

Um den Temperaturbeiwert C_t zu berücksichtigen, ist 7.5.2 (3), Gleichung (7.5) wie folgt zu korrigieren:

$$\mu_p = \gamma \cdot h / (C_t \cdot s_k)$$

Überall im Dokument, wo der thermische Einfluss die Dachschneedecke verändert, und die Hindernishöhe gleichbleibt, ist C_t auf diese Weise zu integrieren: $\gamma \cdot h / s_k$ wird ersetzt durch $\gamma \cdot h / (C_t \cdot s_k)$.

Zur äquivalenten Wichte des Dachschnees (NDP)

Der Eurocode empfahl von Beginn an zur Berechnung von Dachschneehöhen eine äquivalente Wichte von $\gamma = 2$ kN/m², erlaubte dazu jedoch eine nationale Regelung (NDP). Diese Wichte entspricht nach DIN EN 1991-1-3: 2010, Anhang E, Tabelle E.1 gesetztem, mehrere Tage altem Schnee, nicht jedoch völlig durchfeuchtem Schnee. Es ist auch davon auszugehen, dass die bemessungsrelevanten Schneelasten in einem kalten Winter mit mehreren Schneefallereignissen unmittelbar nach einem Starkschneefall auftreten. Dabei wird die äquivalente Wichte der Dachschneedecke stark von der oberen Lage mit Frischschneedichte dominiert. Die Frischschneedichte liegt zwischen 50 kg/m³ und 150 kg/m³. Der äquivalente Wert von 200 kg/m³ deckt daher dichter gelagerte, relativ dünne untere Lagen mit Dichten von 350 kg/m³ bis 500 kg/m³ mit ab.

Bei unterbemessenen, verschmutzten oder vereisten Abflüssen, d. h. schlecht geplanten und noch schlechter unterhaltenen Flachdächern in Gegenden mit geringer Schneelast und warmem Winterklima in Europa, mag die äquivalente Wichte $\gamma = 2$ kN/m² zu klein sein.

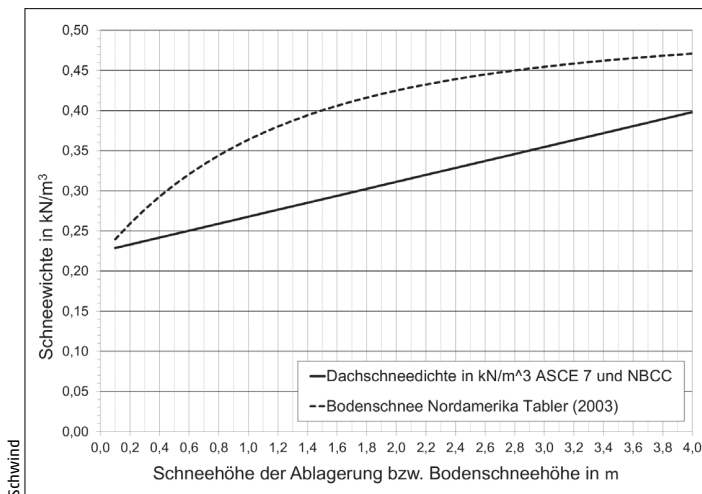


Abb. 6: Äquivalente Dichte (in deutscher Sprache "Wichte") des verwehten Schnees in kN/m^3 in Abhängigkeit von der Höhe der Ablagerung.



Abb. 7: PV-Module auf Garagendach in den Alpen.

In der älteren DIN-Normung wurde zur Berechnung der Schneelastumverteilung im Trogdach auch noch eine äquivalente Wichte in Höhe von 5 kN/m^3 festgelegt, siehe z.B. DIN 1055-5: 1975, Erläuterungen. Mit der sog. „*Schneerohwichte von 500 kp/m^3 soll die Möglichkeit einer stärkeren Vereisung und/oder Durchnässung berücksichtigt werden*“.

Bei adäquater Planung der Entwässerung und Wartung der Abflüsse bleiben die äquivalenten Wichten jedoch unter diesem Wert, insbesondere, wenn während und kurz nach einem bemessungsrelevanten Starkschneefall gleichzeitig Verwehungsbedingungen herrschen. Es kommt auch darauf an, wofür die äquivalente Wichte verwendet werden soll.

Auf Basis der durch Tabler (2003) über Jahrzehnte gemessenen äquivalenten Schneedichten an Schneefangzäunen in Nordamerika werden in der US-amerikanischen (ASCE-7) und kanadischen Normung (NBCC) ebenfalls kleinere Werte für Verwehungen auf Dächern verwendet, siehe auch *Abbildung 6*.

Da die Höhe der Ablagerung mit der äquivalenten Wichte ermittelt werden soll und dadurch eine Iteration nötig wäre, wird die Dachsneehöhe durch die gut mit ihr korrelierende Bodenschneehöhe s_k ersetzt. Damit ergibt sich für die internationale Normung:

Äquivalente Schneewichte für Dachsneee mit Verwehungseinfluss in Abhängigkeit von s_k :

$$\gamma = 2,2 + 0,426 \cdot s_k \leq 4 \text{ kN/m}^3 \text{ (NBCC) bzw. } \leq 4,7 \text{ kN/m}^3 \text{ (ASCE)}$$

Liegen in Europa keine eigenen Messreihen vor, so kann man sich daran orientieren. In den nationalen Anhängen mancher Länder gibt es solche Regelungen. ISO 4355: 2013 empfiehlt einen konstanten Wert der äquivalenten Wichte von Schnee auf Dächern von $\gamma = 3 \text{ kN/m}^3$, der bei etwa $s_k = 1,9 \text{ kN/m}^2$ mit $0,63 \text{ m}$ Schneehöhe im Mittelfeld liegt. Für kleinere Schneehöhen, wie sie in weiten Teilen Deutschlands vorliegen, ist die ISO-Regelung konservativ. In *Abbildung 7* ist eine über mehrere Schneefälle hinweg

unter Windeinwirkung aufgebaute Dachsneedecke zu sehen.

Kritik von Satz (4) für örtliche Verwehungen

Der Ansatz von örtlichen Verwehungen nach prEN 1991-1-3: 2022, Kapitel 8, für die erste und letzte Reihe des Dachs kann zu Problemen führen. Für den Tragwerksplaner ist unklar, ob dies ein zusätzlicher Lastfall ist, der alternativ zu betrachten ist. Dafür fehlen dann aber weitere Hinweise. Wo sollen die Verwehungen herkommen (Verwehungs-potenzial), wo die Verwehungszuschläge platziert werden (auf einer Seite hinter dem Paneel, beidseitig, über dem Paneel, unter dem Paneel) und welche Verwehungslängen l_s sind anzusetzen? Haben die Verwehungen die Form eines Dreiecks oder eines Plateaus? Bei langen Paneelen mit $w/h \geq 2$ ist zwischen den Paneelen oder am Rand nicht einmal genügend Platz für $\min l_s = 5 \text{ m}$. Formbeiwerte auf dem Niveau $\max \mu_f = 4$ ($w/h \geq 2$) würden damit immer zu einem Plateau auf dem Niveau der vierfachen Bodenschneelast tendieren. Wird das Abrutschen von Schnee von den Modulen dabei mitberücksichtigt?

Die Modelle für örtliche Verwehungen sind für Flachdächer mit aufgeständerten PV-Modulen nicht geeignet. Die Module sind erheblich glatter als übliche Dacheindeckungen. Damit ist das Abrutschen wahrscheinlicher und die Verwehungen sind geringer. Der Eigentümer hat auch ein größeres Interesse daran, den Schnee von den Modulen zu entfernen, siehe *Abbildung 8*. Die Normung und das Bau-recht sollten kreative Lösungsansätze nicht behindern.

Die Bemessung der Module selbst ist auch noch nicht Gegenstand der Normung. Bei der Neuregelung geht es um die Lasterhöhung für das Flachdach. Die Auswirkungen von Schneeverwehungen auf dem Flachdach sind mit der großzügig gewählten Verwehungslänge von $l_s = 4 h / C_e$ hinreichend abgedeckt. Deshalb sollte Satz (4) ganz ent-fallen. Eine pauschale Erhöhung um 10% für größere Modulhöhen wie in DIN EN 1991-1-3/NA: 2019 ist auch keine Alternative, da dies bei größeren Flachdächern schnell zu



Abb. 8: Längs zur Dachneigung aufgestellte PV-Module in den Alpen.

Dachschneelasten oberhalb Bodenschneelastniveau führt. Gerade bei Bestandsbauten wird es dann schwierig, die dafür erforderlichen Tragreserven aufzuspüren. Auch wurden derartige Verwehungszuschläge für das Dach in allen bisherigen Forschungen über Schneelasten auf Flachdächern mit PV-Modulen widerlegt.

Übersicht über die Forschungsergebnisse

Aus sorgfältig kalibrierten Modellversuchen in einer 40 m langen, 2 m breiten und 1,5 m tiefen Wasserrinne mit geeigneten Messeinrichtungen ist bekannt, dass große örtliche Schneeablagerungen (Plateau bis zu $\mu = 1,57 < 2$) nur in Verbindung mit kleinen Ablagerungsflächen auftreten, wobei die seitlichen Ränder und große Teile der modulbedeckten Fläche schneefrei sind (siehe Gramou et al., 2019). Luv- und leeseitig lagerte sich der verwehte Schnee dagegen bis zum Außenrand ab. Die PV-Module im Modell hatten große Abstände von $b > 3$ h und große freie Ränder. Nur bei sehr kleinen Schneehöhen im Vergleich zur Modulhöhe ist $\mu = 2$ möglich (bei einer dreiecksförmigen Schneeverteilung zwischen den Modulen mit einem Mittelwert von $\mu = 1$).

Brooks et al. (2014) zeigten und erklärten an Wasserströmungsmodellen mit Sand Schneeverwehungen für alle vier Windrichtungen. Die Rückwände der Modell-Module waren geschlossen, die Paneele bedeckten das Dach fast vollständig, es gab kaum freie Ränder.

Beide Studien in Wasser-Strömungs-Modellen ergaben, dass die Nordanströmung, d. h. Wind senkrecht auf die Rückseite ideal südausgerichteter PV-Module (mit und ohne Rückwände), größere örtliche Verwehungen erzeugt als Wind aus anderen Richtungen. Das Vorhandensein der Paneele ändert nichts an der Bildung der Hufeisenwirbel um das gesamte Gebäude wie bei einem Flachdach. Die Tütchenwirbel bei Eckanströmung werden gestört. Es bilden sich Fingerwirbel. Die Paneele stören örtlich die

ABKÜRZUNGEN

NA	Nationaler Anhang
NDP	Abkürzung für „Nationally Determined Parameter“
NCI	Abkürzung für „Non-contradictory Complementary Information“

SYMBOLE

Lateinische Großbuchstaben:

C_e	Umgebungsbeiwert
$C_{e,F}$	Umgebungsbeiwert für Flachdächer
C_t	Temperaturbeiwert
L_c	effektive Flachdachlänge in m

Lateinische Kleinbuchstaben:

h	Panelhöhe; Hindernishöhe, Höhe des Dachsprungs in m
$h_{s,0}$	Bodenschneehöhe in m
h_s	Dachschneehöhe in m
h_p	Anlagenhöhe, Attikahöhe, Höhe der Schneefangeinrichtung in m
l_1	Länge der mit Modulen belegten Dachfläche in m
l_s	Länge der Schneeverwehung in m
s_k	charakteristische Schneelast am Boden in kN/m^2
s_i	Dachschneelast an der Position i in kN/m^2
w	Weite des Hindernisses; Weite der Attika in m (auch Tiefe, gemessen senkrecht zur Breite)

Griechische Kleinbuchstaben:

α	Dachneigungswinkel ebener Flächen in $^\circ$ (gemessen von der Horizontale)
γ	äquivalente Wichte der Dach- oder Bodenschneedecke in kN/m^3
μ_i	Formbeiwert für Dachschneelast an der Position i
μ_1	Formbeiwert für Flachdachschneelasten
μ_2	Formbeiwert der Dachschneelasten geneigter Dächer
μ_7	Formbeiwert für örtliche Verwehungen und Abrutschen an langen Dachaufkantungungen (z. B. Attika)
μ_p	Formbeiwert für Flachdächer mit geneigten PV- oder Solarpanelen

Schneeablagerung auf dem Dach und beeinflussen Größe und Position der Schneeansammlung. Die größten Verwehungen zwischen den Paneelen liegen etwas näher an der Dachkante als beim Flachdach.

Mit einem thermodynamischen FEA-Programm sowie stündlichen und täglichen meteorologischen Daten (auch für die Windrichtung) berechneten Brooks et al. (2014) danach charakteristische Flachdachschneelasten mit und ohne PV-Module für sieben Flughafen-Standorte in Kanada. Je nach Winterklima wurden die Flachdachschneelasten im Bereich von $0,38 s_k$ bis $0,68 s_k$ durch die PV-Module um 15 % bis 45 % erhöht, blieben insgesamt jedoch immer noch deutlich unter dem Bodenschneelastniveau. Die örtlichen Formbeiwerte lagen zwischen $\mu = 0,7$ und $\mu = 1,12$.

Vorschläge für die kanadische Normung wurden nicht gemacht, da noch viele Fragen offen waren und noch erheblich mehr Analysen durchgeführt werden sollten, z. B. für andere Standorte und Klimazonen, für PV-Anlagen auf geneigten Dächern, für andere Dachformen und für steiler geneigte, größere PV-Anlagen.

Fazit für die Normung

In beiden Studien sind noch keine örtlichen Formbeiwerte von $\mu = 4$ beobachtet worden, $\mu = 2$ bei dreiecksförmiger Verteilung zwischen den Modulen ist jedoch möglich. Auch

plateauförmige Verteilungen sind möglich, jedoch nur örtlich über sehr geringe Lastverteilungsbreiten und nicht über die gesamte belegte Fläche.

Beide Studien stimmten in folgender Schlussfolgerung überein:

Für das gesamte Dach wird das Bodenschneelastniveau nicht überschritten. Je höher die Windgeschwindigkeit ist und je länger Verwehungsbedingungen andauern, desto kleiner wird das Verhältnis von Gesamtdach- und Bodenschneelast. Gleichzeitig werden örtliche Spitzenwerte erreicht.

Die Begrenzung der Gesamtschneelast ist korrekt umgesetzt in prEN 1991-1-3: 2022. Die unter Windeinfluss über das Dach wandernden örtlichen Spitzenwerte mit immer kleiner werdender Verteilungsbreite wurden in keinem der Ansätze bisher berücksichtigt. Sie haben jedoch mehr Bedeutung für die Paneele als für die Dachkonstruktion und das Gebäude darunter. ◀

LITERATUR UND QUELLEN

- (1) DIN EN 1991-1-3: 2010 + A1: 2015: Eurocode 1 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten
- (2) DIN EN 1991-1-3/NA: 2019: Eurocode 1 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten; nationaler Anhang.
- (3) prEN 1991-1-3: 2022: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads (Working Draft)
- (4) DIN 1055-Teil 5: 1975: Lastannahmen für Bauten – Verkehrslasten – Schneelast und Eislust.
- (5) ASCE 7-15, Chapter 7.7.1: Snow Loads – Lower Roof of a Structure.
- (6) NBCC 2015: Climatic and Seismic Information for Building Design in Canada. Chapter 4.1.6.13: Specific Weight of Snow.
- (7) ISO 4355: 2013: Bases for the design of structures – Determination of snow loads on roofs.
- (8) DIN EN 13031-1: 2021 Gewächshäuser – Bemessung und Konstruktion – Teil 1: Produktionsgewächshäuser.
- (9) Model Snowmelt.pdf: Snow Melt Process on a Roof with Snowfall and Heat Flux from Below. Zugänglich unter: <https://www.greenhousecodes.com>.
- (10) 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, S. 1-10.
- (11) Wissenschaftlich-technischer Bericht Brooks et al., 2014, Schneelast Flachdach mit PV-Anlage.pdf. Zugänglich unter: <https://www.greenhousecodes.com>.
- (12) 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, S. 352-359.
- (13) Grammou, N. (2015): Ermittlung von geometrischen Formbeiwerten für Flachdächer mit aufgeständerten Photovoltaikanlagen anhand eines physikalischen Analogiemodells. Dissertation TU Darmstadt, Germany.
- (14) 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, S. 364-371.
- (15) Grammou, N., Pertermann, I., Puthli, R. (2020): Corrigenda / Amendment, In: Steel Construction – Design & Research 13 (2020), No. 1, S. 8.
- (16) Tabler, R.D. (2003): Controlling Blowing and Drifting Snow with Snow Fences and Road Design. Final Report, National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board of the National Academies.
- (17) Schwind, W. & Pertermann, I. (2022): Das Abrutschen von Dachsnee auf eine horizontale Ebene. Modelle – Fallunterscheidungen – Grenzen. In: DIB 7-8-22, www.ingenieurbau-online.de, S. 58-66.



INA PERTERMANN

► Dr.-Ing.; Diplom-Bauingenieur; Partner im Ingenieurbüro Prof. Puthli, Schüttorf; Mitarbeiter DIN-Normenausschuss Gewächshausbau; Mitarbeiter CEN/TC 284 Spiegelausschuss Gewächshausbau, WG 1, 2 und 3



WOLFGANG SCHWIND

► Dipl.-Ing. (FH); Ingenieursenator (Senator e. h.); Beratender Ingenieur Bayerische Ingenieurekammer-Bau; Schwind Ingenieure GmbH & Co. KG; Besonders Sachkundiger, Metall-, Holz-, Stahlbetonbau; Mitarbeiter DIN, Unterausschuss Schneelasten; Mitarbeiter DIN, Hauptausschuss Einwirkungen auf Tragwerke; Stellvertretender Vorsitzender der AK-Normung der Bayerischen Ingenieurekammer-Bau