

## DIN CEN/TR 16999



ICS 27.160

**Solare Energiesysteme für Dächer –  
Anforderungen an konstruktive Verbindungen zu Sonnenkollektoren;  
Deutsche Fassung CEN/TR 16999:2019**

Solar energy systems for roofs –  
Requirements for structural connections to solar panels;  
German version CEN/TR 16999:2019

Systèmes d'énergie solaire pour les toits –  
Exigences relatives aux raccordements des panneaux solaires à la charpente;  
Version allemande CEN/TR 16999:2019

Gesamtumfang 77 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)  
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (CEN/TR 16999:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 128 „Dachdeckungsprodukte für überdeckende Verlegung und Produkte für Außenwandbekleidung“, dessen Sekretariat von NBN (Belgien) gehalten wird, in Zusammenarbeit mit CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“, CEN/TC 254 „Abdichtungsbahnen“, CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ und CLC/TC 82 „Photovoltaische Solar-Energiesysteme“ erarbeitet.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-02-01 AA „Dachdeckungsprodukte für überdeckende Verlegung und Produkte für Außenwandbekleidung (SpA zu CEN/TC 128)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Technische Reports sind nicht Bestandteil des Deutschen Normenwerks.

Zum vorliegenden Technischen Report wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Erfahrungen mit diesem Technischen Report sind erbeten:

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an [nabau@din.de](mailto:nabau@din.de) in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin).

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Deutsche Fassung

**Solare Energiesysteme für Dächer —  
Anforderungen an konstruktive Verbindungen zu  
Sonnenkollektoren**

Solar energy systems for roofs —  
Requirements for structural connections to solar panels

Systèmes d'énergie solaire pour les toits —  
Exigences relatives aux raccordements des panneaux  
solaires à la charpente

Dieser Technische Report wurde vom CEN am 26. November 2018 angenommen. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 128 erstellt.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

## Inhalt

|                                                                                                   | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                                                        | 5     |
| Einleitung .....                                                                                  | 6     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                         | 7     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                    | 7     |
| 3 Begriffe .....                                                                                  | 8     |
| 4 Symbole .....                                                                                   | 8     |
| 5 Konfiguration der Sonnenkollektoren-Anlage .....                                                | 8     |
| 6 Verantwortung für Bemessung und Konstruktion .....                                              | 8     |
| 7 Thermische Sonnenkollektoren und PV-Module .....                                                | 9     |
| 8 Grundsätze der Tragwerksplanung anhand von Grenzzuständen .....                                 | 9     |
| 8.1 Allgemeines .....                                                                             | 9     |
| 8.2 Bei der Bemessung und Konstruktion zu berücksichtigende Situationen .....                     | 9     |
| 8.3 Grenzzustand der Tragfähigkeit .....                                                          | 10    |
| 8.4 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....                                                  | 10    |
| 9 Bestimmung der Einwirkungen .....                                                               | 10    |
| 9.1 Ständige Einwirkungen (G) .....                                                               | 10    |
| 9.2 Veränderliche Einwirkungen (Q) .....                                                          | 10    |
| 9.2.1 Allgemeines .....                                                                           | 10    |
| 9.2.2 Nutzlasten .....                                                                            | 10    |
| 9.2.3 Schneelasten .....                                                                          | 10    |
| 9.2.4 Windlasten .....                                                                            | 11    |
| 9.2.5 Kritische Lastkombinationen .....                                                           | 11    |
| 9.2.6 Lastkombinationsbeiwert $\psi$ .....                                                        | 12    |
| 9.2.7 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen .....                                              | 12    |
| 9.2.8 Auswirkungen von Strukturversagen .....                                                     | 12    |
| 10 Strukturfestigkeit von Verbindungen .....                                                      | 12    |
| 10.1 Konfiguration und Art von Verbindungselementen .....                                         | 12    |
| 10.2 Bemessung und Konstruktion durch Berechnung .....                                            | 12    |
| 10.3 Durch Prüfung unterstützte Bemessung und Konstruktion .....                                  | 13    |
| 11 Bemessung und Konstruktion für außergewöhnliche Einwirkungen .....                             | 14    |
| 12 Bemessung und Konstruktion für seismische Einwirkungen .....                                   | 15    |
| Anhang A (informativ) Beispiele für die Bemessung und Konstruktion von Verbindungen .....         | 16    |
| A.1 Befestigungshaken für PV-Sonnenkollektoren, die über einem Pfannendach befestigt werden ..... | 16    |
| A.1.1 Beschreibung der Anlage .....                                                               | 16    |
| A.1.2 Klimazone .....                                                                             | 17    |
| A.1.3 Lasten .....                                                                                | 17    |
| A.1.4 Gewichtete Lastkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit .....                   | 19    |
| A.1.5 Gewichtete Lastkombinationen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....           | 21    |
| A.1.6 Strukturfestigkeit (durch Prüfung ermittelt) .....                                          | 22    |

|        |                                                                                                                              |           |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A.1.7  | Verifizierung der Bemessung und Konstruktion – Ableitung der Anzahl der erforderlichen Haken .....                           | 25        |
| A.2    | Thermischer Sonnenkollektor auf Flachdach, stabilisiert mit Eigengewicht.....                                                | 27        |
| A.2.1  | Beschreibung der Anlage.....                                                                                                 | 27        |
| A.2.2  | Klimazone.....                                                                                                               | 28        |
| A.2.3  | Lasten.....                                                                                                                  | 28        |
| A.2.4  | Lastfall für den Grenzzustand der Tragfähigkeit bei Sog- und Rutschlast .....                                                | 28        |
| A.2.5  | Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....                                                                                  | 29        |
| A.2.6  | Festigkeit am Grenzzustand der Tragfähigkeit gegenüber Sog- und Rutschlast .....                                             | 29        |
| A.2.7  | Auslegungs-Abwärtslast auf dem Dach (Betonblöcke + Kollektor + Abwind + Schnee, ohne Eigengewicht der Dachkonstruktion)..... | 30        |
| A.2.8  | Überprüfung der Bemessungslast und Druckfestigkeit des Aluminiumelements BD.....                                             | 31        |
| A.2.9  | Zusammenfassung der Verifizierung der Bemessung und Konstruktion für das druckbeanspruchte Element BD .....                  | 36        |
| A.3    | Verbindungen für eine in das Dach integrierte PV-Solaranlage .....                                                           | 36        |
| A.3.1  | Beschreibung der Anlage.....                                                                                                 | 36        |
| A.3.2  | Klimazone.....                                                                                                               | 36        |
| A.3.3  | Lasten.....                                                                                                                  | 36        |
| A.3.4  | Vektorlastkomponenten.....                                                                                                   | 38        |
| A.3.5  | Lastkombinationen am Grenzzustand der Tragfähigkeit .....                                                                    | 38        |
| A.3.6  | Lastkombinationen am Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....                                                            | 40        |
| A.3.7  | Strukturfestigkeit von Verbindungen.....                                                                                     | 40        |
| A.3.8  | Verifizierung der Bemessung und Konstruktion (Festigkeit $\geq$ Lasten).....                                                 | 43        |
| A.4    | Erdbebensichere Auslegung der Verbindungen von PV-Sonnenkollektoren .....                                                    | 44        |
| A.4.1  | Beschreibung der Anlage.....                                                                                                 | 44        |
| A.4.2  | Seismische Zone .....                                                                                                        | 44        |
| A.4.3  | Berechnung der auf die Kollektoren wirkenden Erdbebenlast.....                                                               | 45        |
| A.4.4  | Erdbebenlast und andere Lasten, die auf einen einzelnen Kollektor wirken.....                                                | 46        |
| A.4.5  | Lastkombination.....                                                                                                         | 47        |
|        | <b>Anhang B (normativ) Ergänzende Informationen zu Windeinwirkungen.....</b>                                                 | <b>48</b> |
| B.1    | Allgemeines .....                                                                                                            | 48        |
| B.2    | Begriffe (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.0).....                                                                                   | 48        |
| B.2.1  | Rückwand (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.1) .....                                                                                  | 48        |
| B.2.2  | Gebäudekonstruktion (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.2) .....                                                                       | 48        |
| B.2.3  | Traufhöhe (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.3) .....                                                                                 | 48        |
| B.2.4  | Photovoltaikelement (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.4) .....                                                                       | 48        |
| B.2.5  | kombiniertes Element (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.5).....                                                                       | 48        |
| B.2.6  | geschlossene Unterkonstruktion (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.6) .....                                                            | 48        |
| B.2.7  | Fassade (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.7).....                                                                                    | 49        |
| B.2.8  | Schrägdach (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.8).....                                                                                 | 49        |
| B.2.9  | Hochseite (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.9).....                                                                                  | 49        |
| B.2.10 | Montageverfahren (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.10).....                                                                          | 49        |
| B.2.11 | Montageverfahren 1 (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.11) .....                                                                       | 49        |
| B.2.12 | Montageverfahren 2 (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.12) .....                                                                       | 51        |
| B.2.13 | Montageverfahren 3 (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.13) .....                                                                       | 53        |
| B.2.14 | Montageverfahren 4 (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.14) .....                                                                       | 53        |
| B.2.15 | Montageverfahren 5 (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.15) .....                                                                       | 54        |
| B.2.16 | Niedrigseite (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.16).....                                                                              | 55        |
| B.2.17 | Unterkonstruktion (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.17).....                                                                         | 55        |
| B.2.18 | offene Unterkonstruktion (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.18) .....                                                                 | 55        |
| B.2.19 | Flachdach (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.19).....                                                                                 | 55        |
| B.2.20 | thermisches Element (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.20).....                                                                       | 55        |
| B.2.21 | äußere Trennkonstruktion (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.21) .....                                                                 | 56        |
| B.2.22 | Solarelement (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.22) .....                                                                             | 56        |
| B.2.23 | Solaranlage (NEN 7250:2014/A1:2015, 3.23) .....                                                                              | 56        |

B.3 Anforderungen an die Konstruktion (NEN 7250:2014/A1:2015, 6) ..... 56

B.3.1 Allgemeines (NEN 7250:2014/A1:2015, 6.1) ..... 56

B.3.2 Windlast (NEN 7250:2014/A1:2015, 6.2)..... 56

B.3.3 Bestimmung des Auslegungswertes für die Windlastfestigkeit von Solaranlagen nach  
Montageverfahren 1 und 2 durch Prüfung (Forschungsprototyp)  
(NEN 7250:2014/A1:2015, 11.2) ..... 72

Literaturhinweise..... 75

## **Europäisches Vorwort**

Dieses Dokument (CEN/TR 16999:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 128 „Dachdeckungsprodukte für überdeckende Verlegung und Produkte für Außenwandbekleidung“, dessen Sekretariat von NBN gehalten wird, in Zusammenarbeit mit CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“, CEN/TC 254 „Abdichtungsbahnen“, CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ und CLC/TC 82 „Photovoltaische Solar-Energiesysteme“ erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

## Einleitung

Im Folgenden werden die Anforderungen an die Tragwerksplanung für die konstruktive Verbindung zwischen Sonnenkollektoren und der Dachkonstruktion, wie sie in diesem Technischen Bericht beschrieben sind, zusammengefasst.

- a) Sonnenkollektor-Typ: Thermische oder photovoltaische Sonnenkollektoren, die den mechanischen Widerstandsanforderungen von EN 12975-1 (thermische Sonnenkollektoren) oder EN 61215 (PV-Module) entsprechen.
- b) Bestimmung der Lasten und Lastkombinationen: Eigengewicht der Sonnenkollektoren und relevante Schneelasten und Windeinwirkungen in Übereinstimmung mit EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 und EN 1991-1-4. Hinsichtlich zusätzlicher Daten über Schneelasten und Windeinwirkungen auf Sonnenkollektoren wird auf die französische Norm NF P78-116 und die niederländische Norm NEN 7250 verwiesen.
- c) Bestimmung der Bemessungslasten für die Sonnenkollektoren: Multiplikation der einzelnen Lasten mit ihrem jeweiligen Teilbeiwert  $\gamma_G$  oder  $\gamma_Q$  für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und separat für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach EN 1990.
- d) Identifizierung von Kombinationen der ungünstigsten Auslegungslasten, die gleichzeitig wirken, für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Modifizierung der Lasten durch Anwendung eines Lastkombinationsbeiwerts  $\psi$  auf eine der beiden gleichzeitig wirkenden veränderlichen Lasten.
- e) Bestimmung der Tragfähigkeit der Verbindungen zwischen den Sonnenkollektoren und der Dachkonstruktion nach Berechnungsverfahren einer oder mehrerer der folgenden Europäischen Normen:

Normenreihen EN 1992 bis EN 1996 sowie Normenreihe EN 1999 für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit:

- 1) Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit Bestimmung der strukturellen Festigkeit bei der angegebenen maximalen Verformung, die die Funktion der Verbindung einschränkt;  
oder
- 2) Bestimmung des Widerstandswertes durch Gebrauchstauglichkeits- und Tragfähigkeitsprüfungen.
- f) Überprüfung der Bemessung und Konstruktion durch Bestätigung, dass der abgeminderte Widerstandswert nicht geringer ist als die kritischen Kombinationen der Bemessungswerte der Einwirkungen für beide Grenzzustände.

Vier Beispiele von Auslegungsberechnungen für verschiedene Sonnenkollektoren-Verbindungen sind in Anhang A aufgeführt.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält Leitlinien zu den Prinzipien für und Anforderungen an die Tragwerksplanung zur Sicherstellung der Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit der konstruktiven Verbindung zwischen Sonnenkollektoren (thermisch oder photovoltaisch) und der Konstruktion von Flach- oder Schrägdächern.

Dieses Dokument enthält keine Anforderungen für:

- die Witterungsbeständigkeit des Daches, der Sonnenkollektoren und der Anschlüsse;
- elektrische, thermische oder mechanische Eigenschaften der Sonnenkollektoren;
- Vorkehrungen gegen einen Brand der Anlage.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1990:2002, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*<sup>1</sup>

EN 1991-1-1, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke — Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*

EN 1991-1-3:2003, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen — Schneelasten*

EN 1991-1-4:2005, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen — Windlasten*

EN 1992 (alle Teile), *Eurocode 2 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*

EN 1993 (alle Teile), *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1994 (alle Teile), *Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*

EN 1995 (alle Teile), *Eurocode 5 — Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*

EN 1996 (alle Teile), *Eurocode 6 — Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*

EN 1998-1:2004, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten*<sup>2</sup>

EN 1998 (alle Teile), *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*

EN 1999 (alle Teile), *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*

---

1 Dieses Dokument ist von der überarbeiteten Fassung EN 1990:2002/A1:2005 betroffen.

2 Dieses Dokument ist von der überarbeiteten Fassung EN 1998-1:2004/A1:2013 betroffen.

EN 1999-1-1:2007, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln*<sup>3</sup>

### **3 Begriffe**

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe für die Tragwerksplanung nach EN 1990 sowie nach den Normenreihen EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1996, EN 1998 und EN 1999.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

### **4 Symbole**

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole für die Tragwerksplanung nach EN 1990 sowie nach den Normenreihen EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1996, EN 1998 und EN 1999.

### **5 Konfiguration der Sonnenkollektoren-Anlage**

Die Konfiguration von Sonnenkollektoren-Anlagen wird nach dem in Anhang B beschriebenen Verfahren zur Montage auf der Dachkonstruktion klassifiziert.

### **6 Verantwortung für Bemessung und Konstruktion**

Der Verantwortliche für Bemessung und Konstruktion sollte sicherstellen, dass:

- die Wahl des Tragwerksystems und die Auslegung der konstruktiven Verbindungen durch entsprechend qualifiziertes und erfahrenes Personal erfolgen;
- eine angemessene Überwachung und Qualitätskontrolle in Konstruktionsbüros, Werken und vor Ort gewährleistet wird;
- die Konstruktion angemessen gewartet wird;
- die Konstruktion in Übereinstimmung mit den Planungsannahmen verwendet wird;
- das Gebäudetragwerk die Sonnenkollektoren in Übereinstimmung mit den Eurocode-Normen sicher tragen kann; auch ein nachträglich mit Sonnenkollektoren ausgestattetes Gebäude sollte überprüft werden.

---

<sup>3</sup> Dieses Dokument ist von den überarbeiteten Fassungen EN 1999-1-1:2007/A1:2009 und EN 1999-1-1:2007/A2:2013 betroffen.

## 7 Thermische Sonnenkollektoren und PV-Module

Thermische Sonnenkollektoren und PV-Module werden in diesem Technischen Bericht gemeinsam als Sonnenkollektoren bezeichnet.

Thermische Sonnenkollektoren sollten in Übereinstimmung mit den Herstellerangaben die Anforderungen von EN 12975-1 erfüllen.

PV-Module sollten die Anforderungen der EN 61215 oder EN 61646 erfüllen.

Die Strukturfestigkeit des Körpers von Sonnenkollektoren wird in diesem Technischen Bericht nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass ihre Strukturfestigkeit angemessen ist. Es wird auf hohe Schneelasten in bestimmten Gebieten Mittel- und Nordeuropas hingewiesen (siehe EN 1991-1-3:2003, Anhang C), die zusammen mit Fallwindlasten wirken. Diese Lasten sollten mit der Strukturfestigkeit von Sonnenkollektoren verglichen werden, die durch „mechanische Lastprüfungen“ mit angemessenen Sicherheitsbeiwerten bestimmt wird.

## 8 Grundsätze der Tragwerksplanung anhand von Grenzzuständen

### 8.1 Allgemeines

Die Tragwerksplanung sollte nach den Grundsätzen von Grenzzuständen nach EN 1990 durchgeführt werden. Sowohl der Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sollten für die bei der Bemessung und Konstruktion maßgebenden Situationen berücksichtigt werden.

Für jeden Grenzzustand:

- ist der Bemessungswert einer Einwirkung ihr charakteristischer Wert multipliziert mit dem entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung;
- ist der Bemessungswert der Festigkeit ihr charakteristischer Wert geteilt durch den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert für den Werkstoff. Dieser Auslegungswert sollte nicht kleiner sein als der Auslegungswert der Einwirkung.

### 8.2 Bei der Bemessung und Konstruktion zu berücksichtigende Situationen

Bei der Bemessung und Konstruktion zu berücksichtigende Situationen sind Einwirkungen, die:

- ständig vorhanden sind (Bedingungen bei üblichem Gebrauch, durch Eigenlasten, Wind- und Schneelasten und andere Nutzlasten);
- Nutzlasten durch thermische Einwirkungen aufgrund von Temperaturschwankungen darstellen (z. B. bei Befestigungsbalken für Sonnenkollektoren);
- vorübergehende Lasten darstellen (z. B. während der Installation oder Reparatur);
- außergewöhnlich sind (Ausnahmebedingungen, z. B. Explosion, Stoßeinwirkung, unverhältnismäßige Auswirkungen eines lokalen Versagens);
- seismischer Natur sind (nur an erdbebengefährdeten Orten).

Bei der Bemessung und Konstruktion sollten die ungünstigsten Kombinationen von Einwirkungen, die gleichzeitig zusammenwirken, berücksichtigt werden. Sie können Lasten beinhalten, die in verschiedene Richtungen einwirken.

### 8.3 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Der Grenzzustand der Tragfähigkeit betrifft die Sicherheit von Personen und/oder der Konstruktion, wenn das Versagen der Konstruktion durch übermäßige Verformung, Umwandlung in einen Mechanismus oder Stabilitätsverlust auftritt.

### 8.4 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit betrifft die Verformung, Schwingung oder Beschädigung der Konstruktion bei üblichem Gebrauch, wenn dadurch ihre Funktion oder ihr Aussehen beeinträchtigt werden oder sich Personen unbehaglich fühlen.

## 9 Bestimmung der Einwirkungen

### 9.1 Ständige Einwirkungen (G)

Als charakteristischer Wert des Eigengewichts des Sonnenkollektors und seiner konstruktiven Verbindung sollte sein Mittelwert betrachtet werden.

Indirekte Einwirkungen, z. B. durch irreversible Verformung, werden ebenfalls als ständige Einwirkungen eingestuft.

### 9.2 Veränderliche Einwirkungen (Q)

#### 9.2.1 Allgemeines

Veränderliche Einwirkungen sind Nutzlasten, Wind- und Schneelasten sowie Lasten, die durch thermische Bewegung (z. B. bei Befestigungsbalken) verursacht werden.

Die charakteristischen Lastwerte für Schnee und Windgeschwindigkeiten können je nach Standort variieren und sind in den Nationalen Anhängen der Norm angegeben.

#### 9.2.2 Nutzlasten

Nutzlasten in Übereinstimmung mit EN 1991-1-1.

#### 9.2.3 Schneelasten

##### 9.2.3.1 Allgemeines

Schneelasten in Übereinstimmung mit EN 1991-1-3 und dem maßgebenden Nationalen Anhang. Zusätzliche Informationen über die erhöhte Schneelast auf Sonnenkollektoren an der Traufe von Schrägdächern unter klimatischen Bedingungen, bei denen es zum Schmelzen, Rutschen und erneutem Gefrieren von Schnee kommen kann, sind in NF P78-116 (nur für Frankreich) enthalten.

##### 9.2.3.2 Wiederholungsperiode

Der charakteristische Wert der Schneelast auf den Boden darf entsprechend der angenommenen Wiederholungsperiode angepasst werden (siehe EN 1991-1-3:2003, Anhang D), wenn dies im Nationalen Anhang festgelegt ist. Die Wiederholungsperiode darf sich auf die geplante Nutzungsdauer der Sonnenkollektorenverbindungen stützen.

### 9.2.3.3 Rutschende Schneelasten auf Schrägdächern

Rutschende Schneelasten, die auf den Rahmen und die Verbindungen von Sonnenkollektoren wirken, die über die Schrägdachfläche hinausragen, sollten nach EN 1991-1-3:2003, 6.4 bestimmt werden. Sie können gleichzeitig mit vertikalen Schneelasten und Schneedriflasten auftreten. Sonnenkollektorelemente sind nicht darauf ausgelegt, einer rutschenden Schneelast zu widerstehen.

Um die über die Dachfläche hinausragenden Sonnenkollektoren vor schweren rutschenden Schneelasten von einer großen Schrägdachfläche zu schützen, wird empfohlen, oberhalb der Sonnenkollektoren Schneefanggitter zu installieren. Wenn die veranschlagte Höhe der Sonnenkollektoren größer ist als die des Schneefanggitters, sollte davon ausgegangen werden, dass die Schneedriflasten auf den Unterschied in der veranschlagten Höhe wirken.

## 9.2.4 Windlasten

### 9.2.4.1 Allgemeines

Die Modellierung der Windgeschwindigkeit und des Spitzengeschwindigkeitsdrucks ist in EN 1991-1-4 beschrieben. Standortspezifische Daten zu Klimainformationen, Windzonenkarten und Höhenlagen sind im jeweiligen Nationalen Anhang zu EN 1991-1-4 angegeben.

Der dynamische Winddruck sollte in Übereinstimmung mit EN 1991-1-4 aus dem Spitzengeschwindigkeitsdruck abgeleitet werden. Die charakteristische Windlast ist der dynamische Druck, der durch Gelände-, Höhen- und Winddruckbeiwerte entsprechend der Form und Ausrichtung der Konstruktion modifiziert wird.

Die Druckbeiwerte für Dächer bestimmter Gebäudekonfigurationen sind in EN 1991-1-4 angegeben. Informationen aus der niederländischen Norm NEN 7250:2014/A1:2015 über Druckbeiwerte für verschiedene Montagekonfigurationen von Sonnenkollektoren auf Dächern und Fassaden sind in Anhang B angegeben.

Die Auswirkungen von Windlasten auf die Dachfläche mit darüber installierten Sonnenkollektoren sollten berücksichtigt werden.

### 9.2.4.2 Wiederholungsperiode

Die Windgeschwindigkeit darf entsprechend der angenommenen Wiederholungsperiode (siehe EN 1991-1-4) angepasst werden, die üblicherweise nicht weniger als 25 Jahre beträgt, sofern im Nationalen Anhang keine anderslautenden Festlegungen bestehen.

## 9.2.5 Kritische Lastkombinationen

Die folgenden Lastkombinationen können gleichzeitig auf Sonnenkollektoren und deren Verbindungen wirken:

- Eigenlast + Nutzlast;
- Eigenlast + Schneelast (einschließlich rutschenden Schneelasten auf Schrägdächern) + Wind (Fallwind);
- Eigenlast + Windlast (Aufwind);
- Lasten, die durch thermische Einwirkung verursacht werden [bei Befestigungsbalken].

Bei der Bemessung und Konstruktion sollten die ungünstigsten Lastkombinationen hinsichtlich Größenordnung und Lastrichtung angenommen werden.

### 9.2.6 Lastkombinationsbeiwert $\psi$

Wenn die hauptsächliche veränderliche Einwirkung gleichzeitig mit anderen veränderlichen Einwirkungen auftritt, darf der Wert der anderen veränderlichen Einwirkungen durch Multiplikation mit den Kombinationsbeiwerten  $\psi$  verringert werden (siehe EN 1990 und Beispiele für Bemessung und Konstruktion in A.1 und A.2).

### 9.2.7 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen

Der Bemessungswert einer Einwirkung ist der charakteristische Wert multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G$  oder  $\gamma_Q$ .

Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit:

- ständige Einwirkungen: in günstiger Lastkombination gilt  $\gamma_G = 1,0$ ;
- im Gleichgewichtszustand, z. B. Eigenlast, die ausschließlich für Stabilität sorgt, gilt  $\gamma_G = 0,9$ ;
- in ungünstiger Lastkombination gilt  $\gamma_G = 1,35$ ;
- veränderliche Einwirkungen:  $\gamma_Q = 1,50$ .

Wird die Bemessung und Konstruktion durch Windkanalversuche mit einem geeigneten Modell des Tragwerks und des natürlichen Windes unterstützt (siehe EN 1991-1-4), darf der Wert von  $\gamma_Q$  für die Windeinwirkung als 1,35 angenommen werden.

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit:

- ständige und veränderliche Einwirkungen:  $\gamma_G = 1,0$ ;  $\gamma_Q = 1,0$ .

### 9.2.8 Auswirkungen von Strukturversagen

Soweit national zulässig, dürfen Sonnenkollektoren, die auf Gebäuden unter üblichen Nutzungsbedingungen installiert werden, mit einer Schadensfolgeklasse CC1 (EN 1990:2002, Tabelle B.1) entsprechend der Zuverlässigkeitsklasse RC1 gekennzeichnet werden.

Für RC1 sollte ein multiplizierender Auswirkungsfaktor  $K_{FI} = 0,9$  bei ungünstigen Einwirkungen angewendet werden (nur Grenzzustand der Tragfähigkeit).

Für Anlagen, bei denen ein höheres Risiko zu berücksichtigen ist, siehe EN 1990:2002, B.3.

## 10 Strukturfestigkeit von Verbindungen

### 10.1 Konfiguration und Art von Verbindungselementen

Die Anordnung in Bezug auf Anzahl, Position und Abstand der Verbindungselemente von Sonnenkollektoren sollte nicht ungünstiger sein als die in der mechanischen Lastprüfung für den Körper des Sonnenkollektors gewählte Anordnung.

### 10.2 Bemessung und Konstruktion durch Berechnung

Der Widerstandswert der Konstruktion sollte durch Berechnung in Übereinstimmung mit einem oder mehreren Eurocodes der Normenreihen EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1996 und EN 1999

sowohl für den Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bestimmt werden, damit die ungünstigsten Lastkombinationen adäquat unterlegt werden.

Der Bemessungswert ist der kleinere Wert der charakteristischen Festigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit oder im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, dividiert durch einen werkstoffbezogenen Teilbeiwert  $\gamma_M$ .

Die Werte von  $\gamma_M$  im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind im entsprechenden Eurocode für Konstruktionswerkstoffe angegeben: Normenreihen EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1996 und EN 1999 (siehe Beispiele für Bemessung und Konstruktion in Anhang A). Der Wert von  $\gamma_M$  für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist 1,0.

### 10.3 Durch Prüfung unterstützte Bemessung und Konstruktion

In Übereinstimmung mit EN 1990:2002, Anhang D darf die Bemessung und Konstruktion auf einer Kombination von Prüfungen und Berechnungen basieren.

Prüfungen zur Bestimmung des Widerstands des Tragwerks oder eines Teils des Tragwerks können beispielsweise unter folgenden Umständen durchgeführt werden:

- es sind keine adäquaten Berechnungsmodelle verfügbar;
- es soll eine große Anzahl von Komponenten verwendet werden;
- die bei der Bemessung und Konstruktion getroffenen Annahmen müssen durch Kontrollen bestätigt werden.

Probekörper sollten so spezifiziert oder durch Probenahme erhalten werden, dass sie die Bedingungen der realen Konstruktion darstellen und eine statistisch repräsentative Probe erhalten wird.

Die Lasthöhe sollte nach Möglichkeit den tatsächlichen Bedingungen entsprechen. Wenn der Konstruktionswerkstoff erhebliche zeitabhängige Auswirkungen auf die Festigkeit und Verformung hat (z. B. Holz – siehe EN 1995-1-1), sollten die Prüfergebnisse geändert werden, um die Unterschiede bei der Lastdauer zwischen Prüfung und Auslegungsbedingungen zu berücksichtigen. Die Prüfungen sollten fortgesetzt werden, bis es zu einem Versagen kommt, wobei Lastschritte und -auslenkungen aufzuzeichnen sind.

Der charakteristische Widerstandswert sollte der charakteristische 5%-Wert sein, der statistisch auf der Normalverteilung einer Grundgesamtheit von Prüfergebnissen basiert (EN 1990:2002, Tabelle D1). Die Mindestmenge der Prüfergebnisse sollte 3 sein.

Der Bemessungswert des Widerstandes im Versagensfall ist der charakteristische Wert dividiert durch  $\gamma_M > 1,0$ . Die Werte von  $\gamma_M$  variieren je nach Art des Konstruktionswerkstoffs (siehe maßgebenden Eurocode: EN 1990 sowie Normenreihen EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1996, EN 1998 oder EN 1999).

Der Bemessungswert des Widerstandes für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sollte ebenfalls der charakteristische 5%-Wert sein.

Der Bemessungswert des Widerstandes für den Grenzwert der Gebrauchstauglichkeit ist der charakteristische Wert dividiert durch  $\gamma_M = 1,0$ .

Der minimale Bemessungswert des Widerstandes ist der geringere der beiden Werte für Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.

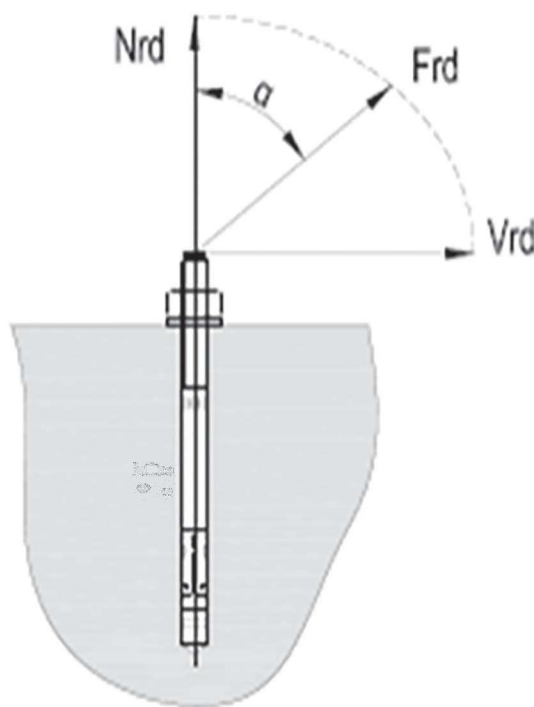


**Bild 1 — Ergebniswert für die Last**

Werden getrennte Prüfungen mit zwei Lasten durchgeführt, die jeweils in unterschiedliche Richtungen wirken, so darf der resultierende Wert für die zusammenwirkenden Lasten vektoriell nach Gleichung (1) ermittelt werden:

$$F_{rd} = \frac{1}{\sqrt{(\cos[\alpha/V_{rd}])^2 + (\sin[\alpha/N_{rd}])^2}} \quad (1)$$

Dabei ist

$N_{rd}$  der Bemessungswert des Widerstandes des Verankerungspunktes, der senkrecht zum Dach wirkt;

$V_{rd}$  der Bemessungswert des Widerstandes des Verankerungspunktes, der parallel zum Dach wirkt;

$F_{rd}$  der resultierende Bemessungswert des Widerstandes, welcher unter einem Winkel  $\alpha$  wirkt.

Ein Prüfverfahren zur Bestimmung des Windauftriebswiderstandes enthält B.4.2.

## 11 Bemessung und Konstruktion für außergewöhnliche Einwirkungen

Solaranlagen würden üblicherweise keinen fortschreitenden Einsturz des Gebäudes verursachen, an dem sie befestigt sind, weshalb keine besonderen Maßnahmen gegen außergewöhnliche Einwirkungen für die konstruktiven Verbindungen erforderlich sind.

Unter außergewöhnlichen Bedingungen, bei denen ein Versagen große Auswirkungen hat, bietet EN 1991-1-7 Anleitung für Bemessung und Konstruktion.

## 12 Bemessung und Konstruktion für seismische Einwirkungen

Die Bemessung und Konstruktion für seismische Einwirkungen sollte in Übereinstimmung mit der Normenreihe EN 1998 erfolgen und ist nur in Erdbebengebieten erforderlich, wie in den entsprechenden Nationalen Anhängen der Normenreihe EN 1998 oder in den nationalen Bauvorschriften angegeben.

Nationale Bemessungsregeln und Normen in Bezug auf Erdbeben sollten ebenfalls übernommen werden. Die Bemessung und Konstruktion sollte sowohl seismische als auch nicht-seismische Auslegungssituationen validieren.

Sonnenkollektoren, die mit der Dachkonstruktion verbunden sind, sollten üblicherweise als „nicht-konstruktive Elemente“ oder „Anhänge“ von Gebäuden im Sinne der Normenreihe EN 1998 betrachtet werden.

Sofern keine anderslautenden Festlegungen bestehen, darf die Auswirkung der seismischen Einwirkung bestimmt werden, indem auf das nicht-konstruktive Element eine Horizontalkraft  $F_a$  angewendet wird, die in der Normenreihe EN 1998 definiert ist als:

$$F_a = S_a W_a \gamma_a / g_a \quad (2)$$

$$S_a = \alpha S (3(1 + z/H) / (1 + (1 - T_a/T_i)^2) - 0,5) \text{ aber } S_a \geq \alpha S \quad (3)$$

Dabei ist

$F_a$  die horizontale seismische Kraft, die im Massenschwerpunkt der nicht-konstruktiven Elemente in der ungünstigsten Richtung wirkt;

$W_a$  das Gewicht des Elements;

$S_a$  der Erdbebenkoeffizient für nicht-konstruktive Elemente, definiert in Gleichung (3);

$\gamma_a$  der Bedeutungsfaktor des Elements, angenommen als 1,0;

$q_a$  der Verhaltensfaktor des Elements, angenommen als 1,0;

$\alpha$  das Verhältnis der Auslegungs-Bodenbeschleunigung für Baugrundklasse A,  $a_g$ , zur Fallbeschleunigung  $g$ ;

$S$  der Bodenfaktor;

$T_a$  die Grundswingungsdauer des nicht-konstruktiven Elements;

$T_i$  die Grundswingungsdauer des Gebäudes in der maßgebenden Richtung;

$z$  die Höhe des nicht-konstruktiven Elements über der Ebene der Erdbebeneinwirkung (Fundament oder höchster Punkt eines starren Kellergeschosses);

$H$  die Gebäudehöhe, gemessen vom Fundament oder vom höchsten Punkt eines starren Kellergeschosses.

## Anhang A (informativ)

### Beispiele für die Bemessung und Konstruktion von Verbindungen

#### A.1 Befestigungshaken für PV-Sonnenkollektoren, die über einem Pfannendach befestigt werden

##### A.1.1 Beschreibung der Anlage

Ein Solarhaken wird verwendet, um Sonnenkollektoren über einer Dachpfannendeckung zu verbinden. Verschiedene bekannte Verbindungsarten sind in Bild A.1 dargestellt. Die Unterkonstruktionen der Dachhaken in Bild A.1 (a) und Bild A.1 (b) werden mit den Sparren verschraubt. Der Haken läuft dann um die Dachpfannen herum, üblicherweise am Überdeckungsbereich der Dachpfannen. Um dies zu erleichtern, werden die Falzrippen der Dachpfannen von Hand so verändert, dass der Solarhaken um die Dachpfannen herum verläuft, ohne den Spalt zwischen den Dachpfannen zu vergrößern und somit die Wetterfestigkeit des Daches zu beeinträchtigen. Bei Bedarf wird ein langlebiger Schaumgummistreifen um den Haken gelegt, um die Wetterfestigkeit zu gewährleisten. Für andere Arten von Dachhaken, die in Bild A.1 (c) dargestellt sind, kann eine Dachpfanne durch eine Metallpfanne mit einem integrierten Metallaufsatz ersetzt werden. Anschließend wird eine zusätzliche Verstärkungsplatte hinzugefügt.

Der obere Abschnitt des Hakens wird an einem Tragschienensystem festgeklemmt, das wiederum die Sonnenkollektoren sichert. Pro Sonnenkollektor sind mindestens zwei Tragschienen erforderlich und pro Modul können mehrere Haken erforderlich sein.

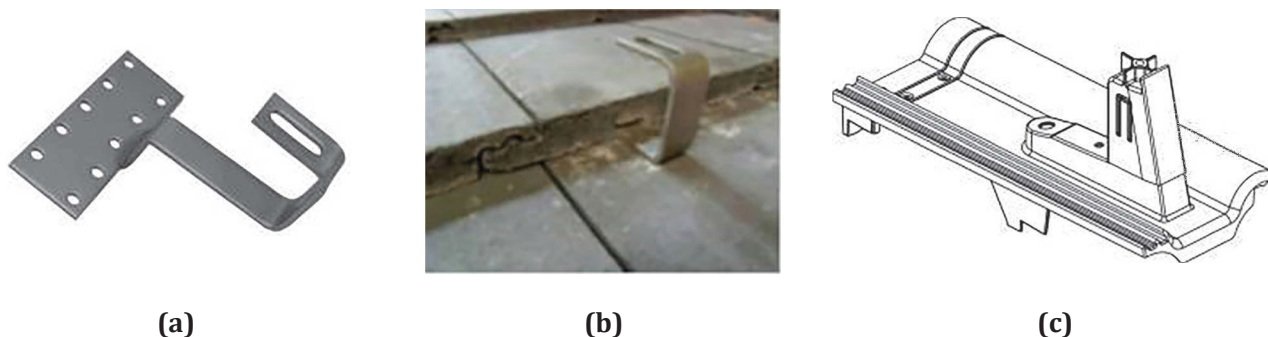


**Bild A.1 — Allgemeine Ausführungen von Dachhaken für Sonnenkollektoren**

Die Bemessung und Konstruktion bestimmt, wie viele Haken pro Sonnenkollektor benötigt werden, um die Dachlast sicher zu tragen. Versagen wird als tatsächlicher Ausfall eines oder mehrerer Teile der Anlage (Grenzzustand der Tragfähigkeit) oder als Wegfall der Gebrauchstauglichkeit (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit) klassifiziert. Beispiele für den Wegfall der Gebrauchstauglichkeit sind: 1) Bruch von Dachpfannen und 2) dauerhafte übermäßige Durchbiegung der Dachpfannen, wodurch die Wetterfestigkeit des Daches beeinträchtigt wird.

In diesem Beispiel wird ein Dach mit einer Sparrenneigung von 30° betrachtet, wobei die Sonnenkollektoren über dem Dach mit der in Bild A.1 (a) und Bild A.1 (b) dargestellten Hakenlösung parallel zu den Sparren und mit einem Abstand von  $\leq 300$  mm zwischen den Elementen und der Dacheindeckung befestigt werden.

## A.1.2 Klimazone

Die Solarhaken müssen auf dem deutschen Markt eingesetzt werden.

## A.1.3 Lasten

### A.1.3.1 Eigenlasten

Die Kollektoren haben jeweils eine Fläche von 1,386 m<sup>2</sup>. Das kombinierte Eigengewicht der Kollektoren und Schienen beträgt 18,5 kg/m<sup>2</sup>.

### A.1.3.2 Nutzlast

Eine konzentrierte Nutzlast  $Q_k = 1,0$  kN wird berücksichtigt (siehe 9.2.1). Diese Bemessungslast simuliert das Gewicht einer Person, die auf den Kollektoren arbeitet. Da es nicht üblich ist, dass Sonnenkollektoren betreten werden, gilt dies als außergewöhnliche Last. Außerdem ist es unwahrscheinlich, dass diese Last in Kombination mit erheblichen Schnee- oder Windlasten auftritt. Es wird daher davon ausgegangen, dass sie nur in Verbindung mit dem Eigengewicht der Anlage wirkt. Die Nutzlast muss an der ungünstigsten Stelle aufgebracht werden.

### A.1.3.3 Wind- und Schneelasten

Die einmal in 50 Jahren auftretenden Wind- und Schneelasten werden für den Standort oder die Region in Deutschland aus den Daten der folgenden Eurocodes zusammen mit dem jeweiligen Nationalen Anhang abgeleitet.

EN 1991-1-3, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen — Schneelasten* (Nationaler Anhang: DIN EN 1991-1-3/NA)

EN 1991-1-4, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen — Windlasten* (Nationaler Anhang: DIN EN 1991-1-4/NA)

ANMERKUNG Einige Mitgliedstaaten gestatten die Verwendung durchschnittlicher Wiederholungsperioden, die geringer sind als einmal in 50 Jahren. Weitere Informationen sind den Nationalen Anhängen zu entnehmen.

Diese werden anfänglich zur Berechnung des Bemessungswinddrucks  $q_p$  und der charakteristischen Schneelast  $S_k$  verwendet. Die folgenden Werte, Tabelle A.1, wurden für dieses Beispiel abgeleitet und decken eine Reihe von Gebieten in Deutschland ab, darunter die Nordseeküste mit den höchsten Windlasten, aber geringen Schneelasten, sowie die südlichen Teile Deutschlands mit hohen Schneelasten und geringen Windlasten.

**Tabelle A.1 — Beispielwerte für den charakteristischen Winddruck und die charakteristische Schneelast**

| WIND                  |               |                           | SCHNEE        |                |                            |
|-----------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------|----------------------------|
| Zone                  | Gebäudehöhe   | $q_p$<br>N/m <sup>2</sup> | Zone          | Höhenlage<br>m | $S_k$<br>kN/m <sup>2</sup> |
| Zone 3 einschl. Küste | ≤ 10 m        | 1 050                     | Zone 2        | ≤ 250          | 0,85                       |
| <b>Zone 2, Inland</b> | <b>≤ 10 m</b> | <b>800</b>                | <b>Zone 2</b> | <b>≤ 400</b>   | <b>1,21</b>                |
| Zone 2, Inland        | ≤ 10 m        | 650                       | Zone 2a       | ≤ 1 000        | 5,68                       |

In den folgenden Berechnungen wird die zweite dieser Bedingungen verwendet (fettgedruckt,  $q_p = 800 \text{ N/m}^2$ ,  $S_k = 1,21 \text{ kN/m}^2$ ). In der Praxis würde eine Reihe von Bedingungen berechnet werden.

#### A.1.3.4 Berechnung der auf die Kollektoren wirkenden Windlast

Zum besseren Verständnis dieses Dokuments wird Folgendes wiederholt:

$q_p$  = einmal in 50 Jahren auftretender Winddruck basierend auf einer kurzzeitigen Böe in 10 m Höhe über flachem, offenem Gelände. Andere Bodenrauigkeitswerte, Entfernungen vom Meer, Gebäudehöhen oder das Vorhandensein von Topographie beeinflussen diesen Wert.

Die (charakteristische) Windlast, die auf den Kollektor senkrecht zur Oberfläche wirkt, wird wie folgt berechnet:

$$F = q_p \times c_{p,net} \times A \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

$F$  die Windlast;

$c_{p,net}$  der Nettodruckbeiwert oder Kraftbeiwert;

$A$  die Fläche des Sonnenkollektors.

Negative Werte bedeuten eine Kraft, die senkrecht zum Dach nach oben wirkt. Positive Werte bedeuten eine Kraft, die senkrecht zum Dach nach unten wirkt. In diesem Beispiel wurden die Werte aus NEN 7250:2014/A1:2015 übernommen (siehe Anhang B, B.3.2.3.1). Die in Tabelle A.2 genannten Dachzonen sind diejenigen aus EN 1991-1-4. Zone F bezieht sich auf die Traufenecken-Bereiche (größte Soglasten), die Zonen H und I sind Bereiche in der Mitte.

**Tabelle A.2 — Werte von  $c_{p,net}$  und berechnete Windlasten**

|                                                             | Soglasten      |                       | Drucklasten    |                       |
|-------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
|                                                             | Dach<br>Zone F | Dach<br>Zonen H und I | Dach<br>Zone F | Dach<br>Zonen H und I |
| Werte von $c_{p,net}$ für<br>Abstände $\leq 300 \text{ mm}$ | −2,0           | −0,5                  | 1,0            | 0,70                  |
| $F / A \text{ (Pa)}$                                        | 1 600          | 560                   | 800            | 560                   |
| $F \text{ (N)}$                                             | −2 218         | −776                  | 1 109          | 776                   |

In diesem Beispiel wird nur die Dachzone F (Traufenecken) berücksichtigt. In Wirklichkeit würden alle Dachzonen auch dort berücksichtigt werden, wo die Sonnenkollektoren einen großen Teil des Daches bedecken.

#### A.1.3.5 Schneelasten

Zum besseren Verständnis dieses Dokuments wird der Leser daran erinnert, dass  $S_k$  ein charakteristischer Wert ist, der mit mehreren Faktoren aus Eurocode EN 1991-1-3 und dessen Nationalem Anhang multipliziert werden muss. Das Ergebnis ist dann die einmal in 50 Jahren auftretende Schneelast, die auf ein waagrechtes Dach einwirkt.

$$S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k \quad (\text{A.2})$$

Dabei ist

$\mu_i$  der Formkoeffizient in Abhängigkeit von der Dachgeometrie und -neigung (z. B. gilt für ein übliches Satteldach bei 30°:  $\mu_i = 0,8$ ; bei 60°:  $\mu_i = 0$ );

$C_e$  der Topographiefaktor (bei „üblicher“ Topographie ist dieser als 1,0 anzunehmen). An geschützten Standorten beträgt der Faktor  $C_e = 1,2$ ; an starkem Wind ausgesetzten Standorten  $C_e = 0,8$ ; in diesem Beispiel ist  $C_e = 1,0$ ;

$C_t$  der Wärmekoeffizient, gegebenenfalls unter Berücksichtigung der reduzierten Lasten durch Wärmeübertragung (falls zutreffend). Ein Wert  $C_t = 1,0$  wurde verwendet.

Diese Werte ergeben Folgendes:

$$S_{\mu=0,8} = 0,968 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{A.3})$$

Die vertikal auf einen Sonnenkollektor wirkende Schneelast ist dann:

$$S_L = S_{\mu=0,8} \times A \times \cos \alpha = 1\,162 \text{ N} \quad (\text{A.4})$$

Dabei ist

$\alpha$  = Dachneigung = 30° in diesem Beispiel.

#### A.1.3.6 Zusammenfassung der Lasten, die auf einen einzelnen Kollektor senkrecht zum Dach und entlang des Daches nach unten wirken

Diese ergeben sich aus der Multiplikation der Lasten mit  $\sin 30^\circ$  bzw.  $\cos 30^\circ$ . Siehe Tabelle A.3.

**Tabelle A.3 — Lasten, die auf einen einzelnen Sonnenkollektor wirken (N)**

|                | Kraft senkrecht zum Dach |              | Kraft entlang des Daches nach unten |              |
|----------------|--------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|
|                | Bei Aufwind              | Bei Fallwind | Bei Aufwind                         | Bei Fallwind |
| Nutzlast (N)   | 866                      | 866          | 500                                 | 500          |
| Eigenlast (N)  | 218                      | 218          | 126                                 | 126          |
| Schneelast (N) | 1 006                    | 1 006        | 581                                 | 581          |
| Windlast (N)   | −2 218                   | 1 109        | 0                                   | 0            |

Die Zeichenkonvention ist +ve für Abwärtslast, −ve für Aufwärtslast.

#### A.1.4 Gewichtete Lastkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Basierend auf EN 1990:2002, 9.2.4, Tabelle A1.1 und Tabelle A1.2 werden die folgenden Lastfälle betrachtet. Dazu gehören die entsprechenden Lastkombinationsbeiwerte und lastseitigen Teilsicherheitsbeiwerte:

- Lastfall 0:  $[1,35 \times \text{Eigenlast} + 0,9 \times 1,50 \times \text{Nutzlast}]$ ;
- Lastfall 1:  $[1,35 \times \text{Eigenlast} + 0,9 \times 1,50 \times \text{Schneelast}]$ ;

- Lastfall 2:  $[1,35 \times \text{Eigenlast} + 0,9 \times 1,50 \times \text{Windlast}]$ ;
- Lastfall 3:  $[1,35 \times \text{Eigenlast} + 0,9 \times 1,50 (\text{Windlast} + 0,5 \text{ Schneelast})]$ ;
- Lastfall 4:  $[1,35 \times \text{Eigenlast} + 0,9 \times 1,50 (\text{Schneelast} + 0,6 \text{ Windlast})]$ ;
- Lastfall 5:  $[1,0 \times \text{Eigenlast} + 0,9 \times 1,50 \times \text{Wind-Soglast}]$ .

**ANMERKUNG** Der Teilsicherheitsbeiwert für die Eigenlast (eine ständige Einwirkung) beträgt 1,35, wenn die Eigenlast in die gleiche Richtung wie veränderliche Einwirkungen (Schnee- und Drückwindlasten) wirkt, und 1,0, wenn die ständige Last die veränderliche Last entlastet (z. B. Aufwind).

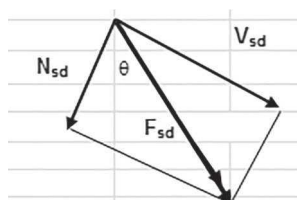
In einigen Fällen müssen auch thermische Effekte berücksichtigt werden. Ein solcher Fall ist beispielsweise die Verwendung langer Schienen oder das Auftreten extremer Temperaturen. Lastfall 1 wird dann beispielsweise wie folgt berechnet: Lastfall 1:  $[1,35 \times (\text{Eigenlast}) + 0,9 \times 1,50 \times (\psi_1 \times \text{Schneelast} + \psi_2 \times \text{Wärmelast})]$ . Es müssen zwei Fälle berücksichtigt werden:  $\psi_1 = 1,0$  mit  $\psi_2 = 0,6$  sowie  $\psi_1 = 0,5$  (bei Standorten in einer Höhenlage  $H \leq 1\,000\text{ m}$ ) mit  $\psi_2 = 1,0$ . Thermische Effekte werden in diesem Beispiel nicht berücksichtigt.

Der Faktor 0,9 in jedem Lastfall ist der Auswirkungsfaktor  $K_{FI}$ , beschrieben in EN 1990:2002, 11.2.7. Diese Lasten treten in orthogonalen Paaren auf und können durch Vektoraddition zu einer einzigen resultierenden Last zusammengefasst werden.

$$F_{sd} = \sqrt{(V_{sd}^2 + N_{sd}^2)} \quad (\text{A.5})$$

$$\tan \theta = \frac{V_{sd}}{N_{sd}} \quad (\text{A.6})$$

Diese resultierenden Werte von  $F_{sd}$  werden später mit den aus der Messung abgeleiteten effektiven Festigkeitswerten verglichen (siehe Bild A.2).



### Legende

- $N_{sd}$  = Kraft auf den Verankerungspunkt, die senkrecht zum Dach wirkt  
 $V_{sd}$  = Kraft auf den Verankerungspunkt, die parallel zum Dach wirkt  
 $F_{sd}$  = resultierende Kraft, die bei einem Winkel  $\theta$  wirkt

**Bild A.2 — Resultierende Kraft  $F_{sd}$**

Die Werte sind nachfolgend zusammengefasst und wurden für jeden Lastfall abgeleitet.

**Tabelle A.4 — Resultierende Kraft, die auf die Dachhaken für Sonnenkollektoren wirkt – Berechnungen des Grenzzustands der Tragfähigkeit**

| Lastfall                                                                                                                                | Windlast, die senkrecht zum Dach nach oben wirkt |                 |                 |              |                      | Windlast, die senkrecht zum Dach nach unten wirkt |                 |                 |             |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------------|---------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------|----------------------|
|                                                                                                                                         | N <sub>sd</sub>                                  | V <sub>sd</sub> | F <sub>sd</sub> | θ°           | Vorherrschende Last  | N <sub>sd</sub>                                   | V <sub>sd</sub> | F <sub>sd</sub> | θ°          | Vorherrschende Last  |
|                                                                                                                                         | N                                                | N               | N               |              |                      | N                                                 | N               | N               |             |                      |
| LF 0 <sup>a</sup>                                                                                                                       | 1 463                                            | 845             | <b>1 690</b>    | <b>30,0</b>  | Senkrecht nach unten | 1 463                                             | 845             | <b>1 690</b>    | <b>30,0</b> | Senkrecht nach unten |
| LF 1                                                                                                                                    | 1 652                                            | 954             | <b>1 908</b>    | <b>30,0</b>  | Senkrecht nach unten | 1 652                                             | 954             | <b>1 908</b>    | <b>30,0</b> | Senkrecht nach unten |
| LF 2                                                                                                                                    | −2 776                                           | 126             | <b>2 779</b>    | <b>−2,60</b> | Senkrecht nach oben  | 1 791                                             | 170             | <b>1 799</b>    | <b>5,4</b>  | Senkrecht nach unten |
| LF 3                                                                                                                                    | −2 097                                           | 518             | <b>2 160</b>    | <b>−13,9</b> | Senkrecht nach oben  | 2 470                                             | 562             | <b>2 533</b>    | <b>12,8</b> | Senkrecht nach unten |
| LF 4                                                                                                                                    | 79                                               | 910             | <b>914</b>      | <b>−85,0</b> | Parallel nach unten  | 2 401                                             | 954             | <b>2 583</b>    | <b>21,7</b> | Senkrecht nach unten |
| LF 5                                                                                                                                    | −2 776                                           | 126             | <b>2 779</b>    | <b>−2,6</b>  | Senkrecht nach oben  | 1 791                                             | 170             | <b>1 799</b>    | <b>5,4</b>  | Senkrecht nach unten |
| <sup>a</sup> Für LF 0 wird angenommen, dass sowohl die Eigenlast als auch die Nutzlast von einem einzigen Dachhaken aufgenommen werden. |                                                  |                 |                 |              |                      |                                                   |                 |                 |             |                      |

### A.1.5 Gewichtete Lastkombinationen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die Lastfälle sind die gleichen wie in A.1.4, mit der Ausnahme, dass alle lastseitigen Teilsicherheitsbeiwerte den Wert 1,0 haben und  $K_{FI}$  nicht gilt und daher ebenfalls auf 1,0 festgelegt ist (siehe 9.2.7).

- Lastfall 0: Eigenlast + Nutzlast;
- Lastfall 1: Eigenlast + Schneelast;
- Lastfall 2: Eigenlast + Windlast;
- Lastfall 3: Eigenlast + (Windlast + 0,5 Schneelast);
- Lastfall 4: Eigenlast + (Schneelast + 0,6 Windlast);
- Lastfall 5: Eigenlast + Wind-Soglast.

Diese Fälle werden in gleicher Weise analysiert wie die Bemessungswerte am Grenzzustand der Tragfähigkeit.

**Tabelle A.5 — Resultierende Kraft, die auf die Dachhaken für Sonnenkollektoren wirkt – Berechnungen des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit**

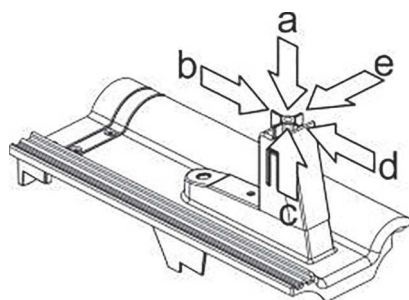
| Lastfall          | Windlast, die senkrecht zum Dach nach oben wirkt |          |          |                |                      | Windlast, die senkrecht zum Dach nach unten wirkt |          |          |                |                      |
|-------------------|--------------------------------------------------|----------|----------|----------------|----------------------|---------------------------------------------------|----------|----------|----------------|----------------------|
|                   | $N_{sd}$                                         | $V_{sd}$ | $F_{sd}$ | $\theta^\circ$ | Vorherrschende Last  | $N_{sd}$                                          | $V_{sd}$ | $F_{sd}$ | $\theta^\circ$ | Vorherrschende Last  |
|                   | N                                                | N        | N        |                |                      | N                                                 | N        | N        |                |                      |
| LF 0 <sup>a</sup> | 1 084                                            | 626      | 1 252    | 30,0           | Senkrecht nach unten | 1 084                                             | 626      | 1 250    | 30,0           | Senkrecht nach unten |
| LF 1              | 1 224                                            | 707      | 1 413    | 30,0           | Senkrecht nach unten | 1 224                                             | 707      | 1 297    | 30,0           | Senkrecht nach unten |
| LF 2              | –2 000                                           | 126      | 2 004    | –3,6           | Senkrecht nach oben  | 1 327                                             | 126      | 1 333    | 5,4            | Senkrecht nach unten |
| LF 3              | –1 497                                           | 416      | 1 554    | –15,5          | Senkrecht nach oben  | 1 830                                             | 416      | 1 876    | 10,6           | Senkrecht nach unten |
| LF 4              | –115                                             | 707      | 716      | –80,7          | Parallel nach unten  | 1 778                                             | 707      | 1 914    | 21,7           | Senkrecht nach unten |
| LF 5              | –2 000                                           | 126      | 2 004    | –3,6           | Senkrecht nach oben  | 1 327                                             | 126      | 1 333    | 5,4            | Senkrecht nach unten |

<sup>a</sup> Für LF 0 wird angenommen, dass sowohl die Eigenlast als auch die Nutzlast von einem einzigen Dachhaken aufgenommen werden.

## A.1.6 Strukturfestigkeit (durch Prüfung ermittelt)

### A.1.6.1 Allgemeines

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit der Solarhaken wird durch Belastungsprüfungen gemessen, um die Bruchlasten in jeder Richtung zu bestimmen, in der wirkende Lasten erwartet werden (siehe Bild A.3).



#### Legende

- a Lastrichtung nach unten senkrecht zum Dach
- c Lastrichtung nach oben senkrecht zum Dach
- b Lastrichtung entlang des Daches nach unten (von First zu Traufe)
- d Lastrichtung entlang des Daches nach oben (von Traufe zu First)
- e Lastrichtung längs über das Dach

**Bild A.3 — Messrichtungen**