

DIN EN 16612

ICS 81.040.20

Entwurf

Einsprüche bis 2017-06-28
Ersatz für
E DIN EN 16612:2013-06

**Glas im Bauwesen –
Bestimmung des Belastungswiderstandes von Glasscheiben durch
Berechnung und Prüfung;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16612:2017**

Glass in building –

Determination of the lateral load resistance of glass panes by calculation;
German and English version prEN 16612:2017

Verre dans la construction –

Détermination de la résistance des feuilles de verre par calcul et par essai;
Version allemande et anglaise prEN 16612:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-04-28 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 115 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16612:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 129 „Glas im Bauwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NBN (Belgien) gehalten wird.

Das zuständige Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-09-25 AA „Bemessungs- und Konstruktionsregeln für Bauprodukte aus Glas (SpA zu CEN/TC 129/WG 8 und CEN/TC 250/WG 3)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Glas im Bauwesen — Bestimmung des Belastungswiderstandes von Glasscheiben durch Berechnung und Prüfung

Verre dans la construction — Détermination de la résistance des feuilles de verre par calcul et par essai

Glass in building — Determination of the lateral load resistance of glass panes by calculation

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.8f

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	8
5 Anforderungen	15
5.1 Grundlage für die Bestimmung des Belastungswiderstands von Glas	15
5.2 Allgemeine Anforderungen	16
5.3 Werkstoffbezogener Teilsicherheitsbeiwert	16
5.4 Verfahren zur Bestimmung des Belastungswiderstands von Glas	17
6 Mechanische und physikalische Eigenschaften von Glas	17
6.1 Werte	17
6.2 Näherungswerte	17
7 Einwirkungen	17
7.1 Annahmen in Bezug auf Einwirkungen und Kombinationen von Einwirkungen	17
7.2 Kombinationen von Einwirkungen	17
8 Festigkeit und Spannung	19
8.1 Bemessungswert für die Festigkeit von normal gekühltem Glas	19
8.1.1 Gleichung	19
8.1.2 Kantenfestigkeitsfaktor	20
8.1.3 Beiwert für das Oberflächenprofil des Glases	20
8.1.4 Beiwert für die Lasteinwirkungsdauer	20
8.2 Bemessungswert der Biegefestigkeit für vorgespanntes Glas	21
8.2.1 Gleichung	21
8.2.2 Charakteristische Biegefestigkeit	22
8.2.3 Härtingsbeiwert	22
9 Grundsätze und Bedingungen für die Berechnung	23
9.1 Allgemeine Berechnungsverfahren	23
9.1.1 Auslegungslast	23
9.1.2 Berechnung von Spannung und Durchbiegung	23
9.1.3 Bemessungswert der Biegefestigkeit	23
9.1.4 Bemessungswert der Durchbiegung	23
9.1.5 Vergleiche von Spannung und Durchbiegung	24
9.2 Berechnungsverfahren für Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas	24
9.3 Berechnungsverfahren für Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten	25
Anhang A (informativ) Gleichungen für die Berechnung der Spannung und Durchbiegung bei hohen Durchbiegungen von rechteckigen Glasscheiben, die auf allen Kanten aufliegen	26
Anhang B (informativ) Berechnungsverfahren für Mehrscheiben Isolierglas	29
B.1 Doppelt verglaste Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten	29
B.1.1 Vorzeichenregelung für Einwirkungen und Auswirkungen	29
B.1.2 Allgemeines	29

B.1.3	Verteilung von externen Lasten (Lastverteilung)	30
B.1.4	Auswirkung interner Lasten	30
B.1.5	Berechnung der Scheibenzwischenraumtemperatur einer doppelt verglasten Mehrscheiben-Isolierglaseinheit.....	31
B.2	Dreifach verglaste Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten.....	32
B.2.1	Vorzeichenregelung für Einwirkungen und Auswirkungen.....	32
B.2.2	Berechnungsverfahren.....	32
B.2.3	Berechnung der Scheibenzwischenraumtemperatur einer dreifach verglasten Mehrscheiben-Isolierglaseinheit.....	37
B.3	Berechnung der Krafteinwirkung am Randverbund einer Mehrscheiben- Isolierglaseinheit.....	38
Anhang C (informativ) Parameter.....		39
C.1	Beschreibungen der in diesem Anhang verwendeten Begriffe	39
C.1.1	Haupttragwerk.....	39
C.1.2	Sekundärtragwerk.....	40
C.1.3	Ausfachungen.....	40
C.1.4	Versagensfolgeklassen	40
C.1.5	Charakteristische Last.....	40
C.2	Teilsicherheitsbeiwerte.....	40
C.2.1	Werkstoffbezogene Teilsicherheitsbeiwerte.....	40
C.2.2	Teilbeiwerte für Lasten.....	44
C.3	Randbeanspruchungsfaktor.....	45
C.4	Beiwerte für die Lasteinwirkungsdauer k_{mod}	46
Anhang D (informativ) Vereinfachte Berechnungsmethode für Verbundglas		50
D.1	Einleitung	50
D.2	Verfahren.....	50
D.3	Bestimmung von ω	51
Anhang E (informativ) Bestimmung des Schubübertragungskoeffizienten für Zwischenschichten aus dem Zwischenschicht-Modul.....		54
E.1	Zusammenfassung der Beurteilung.....	54
E.2	Bestimmung $\omega(\theta, t)$	54
E.2.1	Finite-Element-Berechnung unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Zwischenschicht.....	54
E.2.2	Ober- und Untergrenzen.....	55
E.2.3	Bestimmung der äquivalenten Dicke.....	55
E.2.4	Bestimmung von ω aus h_{mono}	56
Literaturhinweise.....		57

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16612:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 129 „Glas im Bauwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NBN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben.

Einleitung

Die Europäische Norm prEN 16612 legt die Grundsätze zur Bestimmung des Querbelastungswiderstands linear gestützter Glaselemente fest.

Die Grundsätze für die Bestimmung des Belastungswiderstandes von Glas beruhen auf dem Eurocode EN 1990, Grundlagen der Tragwerksplanung. Die Einwirkungen werden in Übereinstimmung mit der Eurocode-Reihe 1 über Einwirkungen auf Tragwerke, wie etwa EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 und EN 1991-1-4, einschließlich der nationalen Anhänge bestimmt.

Während des Entwurfsprozesses unterliegt die Betriebssicherheit zum Teil nationalen Zuständigkeiten. Aus diesem Grund sieht diese Europäische Norm vor, dass zur Erfüllung der durch die Eurocodes angewendeten Regeln die folgenden Parameter landesintern festgelegt werden:

- Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{M;A}$ und $\gamma_{M;v}$;
- Beiwerte für die Lasteinwirkungsdauer k_{mod} ;
- Teileinwirkungsbeiwert γ_G , γ_Q und ψ ;
- Kantenbelastungsbeiwert k_e

Diese Werte können dem nationalen Anhang zum Eurocode für Glas entnommen werden, sobald dieser verfügbar ist.

Bis zu dem Zeitpunkt, zu dem der Eurocode für Glas verfügbar wird oder wenn ein Mitgliedsstaat nicht von seinem Vorrecht Gebrauch macht und keine Werte für die oben angegebenen Beiwerte festlegt, sollten die in dieser Europäischen Norm empfohlenen Werte verwendet werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die Grundsätze zur Bestimmung der Bemessungswerte für die Biegefestigkeit von Glas fest. Sie legt Folgendes fest:

- allgemeine Berechnungsverfahren; und
- eine Leitlinie für den Querbeltungswiderstand von linear gestützten verglasten Elementen.

ANMERKUNG Beispiele für Querbeltungen sind Wind- und Schneelasten sowie das Eigengewicht schräg installierter Glaselemente.

Diese Europäische Norm legt nicht die Gebrauchstauglichkeit fest. Der Querbeltungswiderstand ist nur ein Teil des Konstruktionsprozesses, bei dem eventuell auch Folgendes berücksichtigt werden muss:

- Belastungen in der Ebene, Beulen, seitliches Torsionsknicken und Schubspannungskräfte;
- umgebungsbezogene Faktoren (z. B. Schalldämmung, thermische Eigenschaften);
- Sicherheitsmerkmale (z. B. Brandverhalten, Bruchverhalten in Bezug auf den Schutz von Personen, Sicherheit).

Diese Europäische Norm gilt nicht für U-Glas.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 410, *Glas im Bauwesen — Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen*

EN 572-1, *Glas im Bauwesen — Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas — Teil 1: Definitionen und allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften*

EN 673, *Glas im Bauwesen — Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) — Berechnungsverfahren*

EN 1279-5, *Glas im Bauwesen — Mehrscheiben-Isolierglas — Teil 5: Konformitätsbewertung*

EN 1288-2, *Glas im Bauwesen — Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas — Teil 2: Doppelring-Biegeversuch an plattenförmigen Proben mit großen Prüfflächen*

EN 1748-1-1, *Glas im Bauwesen — Spezielle Basiserzeugnisse — Borosilicatgläser — Teil 1: Definitionen und allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften*

EN 1748-2-1, *Glas im Bauwesen — Spezielle Basiserzeugnisse — Glaskeramik — Teil 2-1: Definitionen und allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften*

EN 1863-1, *Glas im Bauwesen — Teilvorgespanntes Kalknatronglas — Teil 1: Definition und Beschreibung*

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

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

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

EN 12150-1, *Glas im Bauwesen — Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheiben-Sicherheitsglas — Teil 1: Definition und Beschreibung*

EN 12337-1, *Glas im Bauwesen — Chemisch vorgespanntes Kalknatronglas — Teil 1: Definition und Beschreibung*

EN 13024-1, *Glas im Bauwesen — Thermisch vorgespanntes Borosilicat-Einscheibensicherheitsglas — Teil 1: Definition und Beschreibung*

EN 14178-1, *Glas im Bauwesen — Basiserzeugnisse aus Erdalkali-Silicatglas — Teil 1: Floatglas*

EN 14179-1, *Glas im Bauwesen — Heißgelagertes thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas — Teil 1: Definition und Beschreibung*

EN 14321-1, *Glas im Bauwesen — Thermisch vorgespanntes Erdalkali-Silicat-Einscheibensicherheitsglas — Teil 1: Definition und Beschreibung*

EN 14449, *Glas im Bauwesen — Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas — Konformitätsbewertung/Produktnorm*

EN 15681-1, *Glas im Bauwesen — Basiserzeugnisse aus Alumo-Silicatglas — Teil 1: Definitionen und allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften*

prEN 16613:2017, *Glas im Bauwesen — Verbundglas und Verbundsicherheitsglas — Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Zwischenschichten*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

normal gekühltes Glas

Glas, das während der Herstellung behandelt wurde, um Restspannungen auf ein Mindestmaß zu verringern, damit es geschnitten werden kann (durch Anritzen und Brechen)

ANMERKUNG Beispiele hierfür sind Floatglas, gezogenes Flachglas, Ornamentglas und Drahtglas.

3.2

wirksame Dicke (von Verbundglas)

Eine berechnete Dicke für Verbundglas, die bei Verwendung anstelle der Glasdicke in einer Konstruktionsgleichung eine ausreichend genaue Bestimmung der Durchbiegung und/oder der Spannung im Verbundglas ergibt

3.3

Querbelastungswiderstand

Der Widerstand gegen normal auf die Glasoberfläche einwirkende Kräfte (d. h. im rechten Winkel zur Glasoberfläche)

3.4

vorgespanntes Glas

Glas, das mithilfe von Hitze oder Chemikalien gehärtet wurde und bei dem die daraus resultierende Druckspannung an der Oberfläche durch eine Zugspannung im Körper des Glases ausgeglichen wird

ANMERKUNG Beispiele sind thermisch vorgespanntes Sicherheitsglas, teilvorgespanntes Glas und chemisch vorgespanntes Glas.

3.5

emailliertes Glas

Glas, auf dessen Oberfläche eine Emulsion aus Glaspulver aufgetragen wurde, z. B. durch Anstrich oder Siebdruck, die anschließend in die Oberfläche des Glases eingebrannt wird

ANMERKUNG Beispiele sind emailliertes teilvorgespanntes Glas, emailliertes Einscheibensicherheitsglas und emailliertes heißgelagertes Einscheibensicherheitsglas.

4 Symbole und Abkürzungen

A	Flächeninhalt der Glasscheibe ($= a \times b$)
a	kürzere Seite der Glasscheibe
a^*	charakteristische Länge einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
b	längere Seite der Glasscheibe
C_d	begrenzender Bemessungswert des maßgeblichen Gebrauchstauglichkeitskriteriums
c_H	Koeffizient für die Auswirkung der Höhenänderung auf den isochoren Druck ($= 0,12 \text{ kPa/m}$)
c_T	Koeffizient für die Auswirkung der Änderung der Scheibenzwischenraumtemperatur auf den isochoren Druck ($= 0,34 \text{ kPa/K}$)
E	Elastizitätsmodul für Glas
E_L	Zugmodul des Zwischenschichtmaterials
$E_{SLS;d}$	Wert des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit der Auswirkung der Einwirkung(en)
$E_{ULS;d}$	Wert des Grenzzustands der Tragfähigkeit der Auswirkung der Einwirkung(en)
$E_{ULS;G}$	Wert des Grenzzustands der Tragfähigkeit der Auswirkung einer ständigen Einwirkung
$E_{ULS;i}$	Wert des Grenzzustands der Tragfähigkeit der Auswirkung einer nicht-dominanten Einwirkung
$E_{ULS;1}$	Wert des Grenzzustands der Tragfähigkeit der Auswirkung der dominanten Einwirkung
$E\{F_{SLS;d}\}$	Berechnung der Auswirkung des Bemessungswerts des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit
$E\{F_{ULS;d}\}$	Berechnung der Auswirkung des Bemessungswerts des Grenzzustands der Tragfähigkeit

F_d	Bemessungswert der Einwirkung
$F_{d;1}$	Bemessungswert der Einwirkung auf Glasscheibe 1 einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
$F_{d;2}$	Bemessungswert der Einwirkung auf Glasscheibe 2 einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
$F_{d;3}$	Bemessungswert der Einwirkung auf Glasscheibe 3 einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
$F_{SLS;d}$	Bemessungswert des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit einer Einzeleinwirkung oder einer Kombination von Einwirkungen
$F_{ULS;d}$	Bemessungswert des Grenzzustands der Tragfähigkeit einer Einzeleinwirkung oder einer Kombination von Einwirkungen
f	Schwingungshäufigkeit
$f_{b;k}$	charakteristischer Wert der Biegefestigkeit von vorgespanntem Glas
$f_{g;d}$	Bemessungswert der Biegefestigkeit der Oberfläche von Glasscheiben
$f_{g;k}$	charakteristischer Wert der Biegefestigkeit von normal gekühltem Glas
G	Wert der Belastung durch das Eigengewicht
G_1	Wert der Belastung durch das Eigengewicht von Glasscheibe 1
G_2	Wert der Belastung durch das Eigengewicht von Glasscheibe 2
G_3	Wert der Belastung durch das Eigengewicht von Glasscheibe 3
G_L	Schubmodul des Zwischenschichtmaterials
H	Höhenlage
H_p	Höhenlage bei der Herstellung von Mehrscheiben-Isolierglas
h	Nenndicke der Glasscheibe
h_1	Nenndicke von Glasscheibe 1 aus Mehrscheiben-Isolierglas oder von Schicht 1 bei Verbundglas
h_2	Nenndicke von Glasscheibe 2 aus Mehrscheiben-Isolierglas oder von Schicht 2 bei Verbundglas
h_3	Nenndicke von Glasscheibe 3 aus Mehrscheiben-Isolierglas oder von Schicht 3 bei Verbundglas
h_e	Wärmedurchgangskoeffizient nach außen
$h_{ef,w}$	wirksame Dicke von Verbundglas zur Berechnung der Biegung aus der Ebene heraus
$h_{ef,\sigma}$	wirksame Dicke von Verbundglas zur Berechnung der Biegespannung aus der Ebene heraus

$h_{\text{ef},\sigma;j}$	wirksame Dicke von Verbundglas zur Berechnung der Biegespannung von Schicht j aus der Ebene heraus
h_i	Wärmedurchgangskoeffizient nach innen
h_j	Nenndicke von Glasscheibe j einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit oder Schicht j von Verbundglas
h_k	Nenndicke von Glasscheibe k einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit oder Schicht k von Verbundglas
$h_{m;1}$	Abstand der Mittenebene von Schicht 1 zur Mittenebene des Verbundglases
$h_{m;2}$	Abstand der Mittenebene von Schicht 2 zur Mittenebene des Verbundglases
$h_{m;3}$	Abstand der Mittenebene von Schicht 3 zur Mittenebene des Verbundglases
$h_{m;j}$	Abstand der Mittenebene von Schicht j zur Mittenebene des Verbundglases
$h_{m;k}$	Abstand der Mittenebene von Schicht k zur Mittenebene des Verbundglases
h_{mono}	Nächstes Dickenäquivalent von Einscheibenglas zur effektiven Dicke von Verbundglas
h_s	Wärmedurchgangskoeffizient des Scheibenzwischenraums
h_{s1}	Wärmedurchgangskoeffizient des Scheibenzwischenraums — Scheibenzwischenraum 1
h_{s2}	Wärmedurchgangskoeffizient des Scheibenzwischenraums — Scheibenzwischenraum 2
J_A	Variable zur Berechnung von Scheibenzwischenraumtemperaturen bei dreifach verglastem Mehrscheiben-Isolierglas
J_B	Variable zur Berechnung von Scheibenzwischenraumtemperaturen bei dreifach verglastem Mehrscheiben-Isolierglas
J_C	Variable zur Berechnung von Scheibenzwischenraumtemperaturen bei dreifach verglastem Mehrscheiben-Isolierglas
J_D	Variable zur Berechnung von Scheibenzwischenraumtemperaturen bei dreifach verglastem Mehrscheiben-Isolierglas
k_1	Koeffizient zur Berechnung von hohen Biegespannungen
k_4	Koeffizient zur Berechnung von hohen Durchbiegungen
k_5	Koeffizient zur Berechnung von hohen Volumenänderungen bei Durchbiegungen
k_6	Koeffizient zur Berechnung der Kantendichtkraft von Mehrscheiben-Isolierglas
k_e	Faktor für die Kantenstärke

k_{FI}	Koeffizient der Versagensfolgeklasse, der die Sicherheitsminderung für Sekundärtragwerke und Ausfachungen im Vergleich zu Haupttragwerken darstellt
k_{mod}	Beiwert für die Lasteinwirkungsdauer
$k_{mod;1}$	Beiwert für die Lasteinwirkungsdauer der dominanten Einwirkung bei Lastkombination
$k_{mod;c}$	Beiwert für die Lasteinwirkungsdauer bei Lastkombination
$k_{mod;G}$	Beiwert für die Lasteinwirkungsdauer einer ständigen Einwirkung bei Lastkombination
$k_{mod;i}$	Beiwert für die Lasteinwirkungsdauer einer nicht-dominanten Einwirkung bei Lastkombination
k_{sp}	Beiwert des Oberflächenprofils des Glases
k_v	Beiwert zum Härten von vorgespanntem Glas
p	Druck
p_0	isochorer Druck einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
$p_{0;1}$	isochorer Druck für Zwischenraum 1 einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
$p_{0;2}$	isochorer Druck für Zwischenraum 2 einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
p_a	Meteorologischer Luftdruck (Luftdruck auf Meeresspiegelhöhe)
$p_{a;m}$	Durchschnittlicher meteorologischer Luftdruck = 100 kN/m ²
$p_{C;0}$	isochorer Druck durch Änderung der Scheibenzwischenraumtemperatur und des Luftdrucks
$p_{ex;1}$	externe gleichmäßig verteilte Last auf Glasscheibe 1 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$p_{ex;1;S}$	externe gleichmäßig verteilte Schneelast auf Glasscheibe 1 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$p_{ex;1;W}$	externe gleichmäßig verteilte Windlast auf Glasscheibe 1 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$p_{ex;3}$	externe gleichmäßig verteilte Last auf Glasscheibe 3 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$p_{H;0}$	isochorer Druck durch Änderung der Höhenlage
p_p	Meteorologischer Luftdruck (Luftdruck auf Meeresspiegelhöhe) zum Zeitpunkt der Herstellung einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
$p_{res;1}$	Verteilung der Last bei Glasscheibe 1 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$p_{res;2}$	Verteilung der Last bei Glasscheibe 2 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$p_{res;3}$	Verteilung der Last bei Glasscheibe 3 einer Dreifach-Isolierglaseinheit

$p_{\text{res};C;k}$	Verteilung der klimatischen Last bei Glasscheibe k einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$p_{\text{res};G;k}$	Verteilung der Eigenlast bei Glasscheibe k einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$p_{\text{res};S;k}$	Verteilung der Schneelast + Eigenlast bei Glasscheibe k einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$p_{\text{res};W;k}$	Verteilung der Windlast + Schneelast + Eigenlast bei Glasscheibe k einer Dreifach-Isolierglaseinheit
p^*	dimensionslose gleichmäßig verteilte Last
$Q_{k,1}$	Wert der einzelnen oder der dominanten Einwirkung
$Q_{k,i}$	Werte der Einwirkungen, die nicht dominant sind
R_d	Bemessungswert der Beständigkeit gegen Einwirkungen
s	Nennwert der Scheibenzwischenraumbreite einer doppelt verglasten Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
s_1	Nennbreite des Scheibenzwischenraums 1 in einer dreifach verglasten Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
s_2	Nennbreite des Scheibenzwischenraums 2 in einer dreifach verglasten Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
T_c	Scheibenzwischenraumtemperatur der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
$T_{c,1}$	Scheibenzwischenraumtemperatur der Mehrscheiben Isolierglaseinheit — Scheibenzwischenraum 1
$T_{c,2}$	Scheibenzwischenraumtemperatur der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit — Scheibenzwischenraum 2
T_{ext}	Außenlufttemperatur
$T_{\text{g;cen}}$	Temperatur der mittleren Glasscheibe einer dreifach verglasten Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
$T_{\text{g;ext}}$	Temperatur der äußeren Glasscheibe einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
$T_{\text{g;int}}$	Temperatur der inneren Glasscheibe einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
T_{int}	innere (Raum-)Lufttemperatur
T_p	Herstellungstemperatur der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
t	Lasteinwirkungsdauer (in Stunden)
V	Volumenveränderung durch Durchbiegung einer Glasscheibe
$V_{\text{pr};1}$	Nennvolumen des Scheibenzwischenraums 1 in einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit

$V_{pr;2}$	Nennvolumen des Scheibenzwischenraums 2 in einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
$V_{pr;k}$	Nennvolumen des Scheibenzwischenraums k in einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit
w_d	Bemessungswert der Durchbiegung
w_{max}	maximale für die Auslegungslast berechnete Durchbiegung
z_1	Koeffizient zur Näherungsrechnung von k_4
z_2	Koeffizient zur Näherungsrechnung von k_1
z_3	Koeffizient zur Näherungsrechnung von k_1
z_4	Koeffizient zur Näherungsrechnung von k_1
α_1, α_1^+	relative Volumenänderungen der Glasscheiben auf beiden Seiten des Scheibenzwischenraums 1 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
α_2, α_2^+	relative Volumenänderungen der Glasscheiben auf beiden Seiten des Scheibenzwischenraums 2 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
α_k, α_k^+	relative Volumenänderungen der Glasscheiben auf beiden Seiten des Scheibenzwischenraums k einer Dreifach-Isolierglaseinheit
α_{e1}	direkte Sonnenlichtabsorption der äußeren Glasscheibe einer MehrscheibenIsolierglaseinheit
α_{e2}	direkte Sonnenlichtabsorption der zweiten Glasscheibe einer MehrscheibenIsolierglaseinheit
α_{e3}	direkte Sonnenlichtabsorption der dritten Glasscheibe einer MehrscheibenIsolierglaseinheit
β	Faktor, der zur Berechnung der inneren Druckdifferenzen bei Dreifach-Isolierglaseinheiten verwendet wird
$\Delta p_{1;j}$	innere Druckdifferenz von Scheibenzwischenraum 1 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$\Delta p_{2;j}$	innere Druckdifferenz von Scheibenzwischenraum 2 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$\Delta p_{C;i;j}$	innere Druckdifferenz von Scheibenzwischenraum i einer Dreifach-Isolierglaseinheit aufgrund klimatischer Bedingungen
$\Delta p_{G;i;j}$	innere Druckdifferenz von Scheibenzwischenraum i einer Dreifach-Isolierglaseinheit aufgrund der Eigenlast
$\Delta p_{i;j}$	innere Druckdifferenz von Scheibenzwischenraum i einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$\Delta p_{S;i;j}$	innere Druckdifferenz von Scheibenzwischenraum i einer Dreifach-Isolierglaseinheit aufgrund der Schneelast + Eigenlast
$\Delta p_{W;i;j}$	innere Druckdifferenz von Scheibenzwischenraum i einer Dreifach-Isolierglaseinheit aufgrund der Windlast + Schneelast + Eigenlast

δ_1	Verteilung der Steifigkeit von Glasscheibe 1 einer Zweifach-Isolierglaseinheit
δ_2	Verteilung der Steifigkeit von Glasscheibe 2 einer Zweifach-Isolierglaseinheit
$\emptyset$	Beiwert der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit für eine Zweifach-Isolierglaseinheit
$\emptyset_1$	Faktor der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit von Scheibenzwischenraum 1 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$\emptyset_2$	Faktor der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit von Scheibenzwischenraum 2 einer Dreifach-Isolierglaseinheit
$\emptyset_e$	Strahlungsleistung
γ	Teilsicherheitsbeiwert
γ_G	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen unter Berücksichtigung von Modellunsicherheiten und Größenabweichungen
$\gamma_{M,A}$	werkstoffbezogener Teilsicherheitsbeiwert für normal gekühltes Glas
$\gamma_{M,v}$	werkstoffbezogener Teilsicherheitsbeiwert für die Vorspannung der Oberfläche
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen unter Berücksichtigung von Modellunsicherheiten und Größenabweichungen
λ	Seitenverhältnis der Glasscheibe (= a/b)
μ	Poissonzahl
$\nu_{p,1}$	Volumenänderung von Glasscheibe 1 bei gleichmäßiger Druckverteilung
$\nu_{p,2}$	Volumenänderung von Glasscheibe 2 bei gleichmäßiger Druckverteilung
$\nu_{p,3}$	Volumenänderung von Glasscheibe 3 bei gleichmäßiger Druckverteilung
$\nu_{p,k}$	Volumenänderung von Glasscheibe k bei gleichmäßiger Druckverteilung
$\nu_{p,k+1}$	Volumenänderung von Glasscheibe $k + 1$ bei gleichmäßiger Druckverteilung
θ	Temperatur
ρ	Glasdichte
σ_{all}	Zulässige Beanspruchung
$\sigma_{all,i}$	Zulässige Beanspruchung in Verbindung mit Lasttyp i
$\sigma_{calc,i}$	Berechnete Beanspruchung durch Lasttyp i
σ_e	Randverbundkraft der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit

σ_G	Berechnete Beanspruchung durch Eigenlast
$\sigma_{\max}$	maximale für die Auslegungslast berechnete Vorspannung
σ_S	Berechnete Beanspruchung durch Schneelast
σ_W	Berechnete Beanspruchung durch Windlast
ψ	Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen
ψ_0	Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen, die nicht dominant sind
$\psi_{0,i}$	Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen, die nicht dominant sind
ψ_1	Teilsicherheitsbeiwert für einen häufigen Wert einer veränderlichen Einwirkung

ANMERKUNG Dieser Wert wird so festgelegt — sofern er auf einer statistischen Grundlage beruht —, dass entweder der Überschreitszeitraum nur ein Teil des Bezugszeitraums ist oder die Überschreitungshäufigkeit innerhalb des Bezugszeitraums auf einen bestimmten Wert beschränkt ist. Der Wert kann mithilfe des Beiwerts $\psi_1 \leq 1$ als bestimmter Teil des charakteristischen Werts angegeben werden.

ψ_2	Kombinationsbeiwert für einen quasi-ständigen Wert einer veränderlichen Einwirkung
----------	--

ANMERKUNG Dieser Wert wird so festgelegt, dass der Zeitraum, in dem er überschritten wird, einen wesentlichen Teil des Bezugszeitraums ausmacht. Der Wert kann mithilfe des Beiwerts $\psi_2 \leq 1$ als bestimmter Teil des charakteristischen Werts angegeben werden.

$\psi_{2,i}$	Kombinationsbeiwert für einen quasi-ständigen Wert einer veränderlichen Einwirkung
--------------	--

ANMERKUNG Dieser Wert wird so festgelegt, dass der Zeitraum, in dem er überschritten wird, einen wesentlichen Teil des Bezugszeitraums ausmacht. Der Wert kann mithilfe des Beiwerts $\psi_{2,i} \leq 1$ als bestimmter Teil des charakteristischen Werts angegeben werden.

ω	Koeffizient für die Übertragung von Schubkräften in einer Zwischenschicht in Verbundglas
----------	--

5 Anforderungen

5.1 Grundlage für die Bestimmung des Belastungswiderstands von Glas

Das Verfahren muss den Anforderungen nach EN 1990: Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung entsprechen.

Die Bestimmung von Einwirkungen muss in Übereinstimmung mit den maßgeblichen Teilen der EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 und EN 1991-1-4 erfolgen. Sofern zutreffend oder erforderlich müssen weitere Normen berücksichtigt werden.

5.2 Allgemeine Anforderungen

Tabelle 1 — Tabelle der Anforderungen an verschiedene Grenzzustände

		Grenzzustand der Tragfähigkeit	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
Anforderung		$E_{ULS;d} \leq R_d$	$E_{SLS;d} \leq C_d$
wobei sich die Auswirkung der Einwirkungen folgendermaßen darstellt:		$E_{ULS;d} = E\{F_{ULS;d}\}$	$E_{SLS;d} = E\{F_{SLS;d}\}$
Dabei ist:		$F_{ULS;d}$ der Bemessungswert des Grenzzustands der Tragfähigkeit einer Einzeleinwirkung oder einer Kombination von Einwirkungen.	$F_{SLS;d}$ der Bemessungswert des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit einer Einzeleinwirkung oder einer Kombination von Einwirkungen.
Dabei ist:	$E_{ULS;d}$	der Bemessungswert der Auswirkung der Einwirkung(en), dargestellt als berechnete Spannung, die durch die Einwirkung(en) hervorgerufen wird.	
	R_d	der Bemessungswert des entsprechenden Widerstands, dargestellt als maximaler Tragfähigkeit-Bemessungsgrenzwert für die Biegefestigkeit $f_{g;d}$ unter Berücksichtigung des werkstoffbezogenen Teilsicherheitsbeiwerts für den Grenzzustand der Tragfähigkeit γ_M (siehe 5.3).	
	$E_{SLS;d}$	der Bemessungswert der Auswirkung der Einwirkung(en), dargestellt als berechnete Spannung oder Durchbiegung, die durch die Einwirkung(en) hervorgerufen wird.	
	C_d	der Bemessungsgrenzwert des maßgeblichen Gebrauchstauglichkeitskriteriums, dargestellt als maximaler Gebrauchstauglichkeits-Bemessungsgrenzwert der Biegefestigkeit $f_{g;d}$ oder Durchbiegungsgrenzwert w_d unter Berücksichtigung des werkstoffbezogenen Teilsicherheitsbeiwerts für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit γ_M (siehe 5.3).	

5.3 Werkstoffbezogener Teilsicherheitsbeiwert

Die empfohlenen Werte für den werkstoffbezogenen Teilsicherheitsbeiwert sind in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2 — Empfohlene Werte für den werkstoffbezogenen Teilsicherheitsbeiwert

	Grenzzustand der Tragfähigkeit
Normal gekühltes Glas ^a	$\gamma_{M;A} = 1,8$
Vorspannung der Oberfläche	$\gamma_{M;v} = 1,2$
^a Der werkstoffbezogene Teilsicherheitsbeiwert für normal gekühltes Glas gilt ebenfalls für ein Bauteil mit der Biegefestigkeit von vorgespanntem Glas, siehe Gleichung (6).	

Der informative Anhang C enthält weitere Erläuterungen zu den werkstoffbezogenen Teilsicherheitsbeiwerten.

5.4 Verfahren zur Bestimmung des Belastungswiderstands von Glas

Für jede Berechnung oder Prüfung müssen die mechanischen und physikalischen Eigenschaften von Glas nach Abschnitt 6 bestimmt werden.

Der Bemessungswert der Einwirkungen muss nach Abschnitt 7 bestimmt werden.

Der Bemessungswert für die Biegefestigkeit des Glases, für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (falls erforderlich) muss in Übereinstimmung mit Abschnitt 8 bestimmt werden.

Für Berechnungen müssen die Grundsätze und Bedingungen in Übereinstimmung mit Abschnitt 9 sein.

6 Mechanische und physikalische Eigenschaften von Glas

6.1 Werte

Die Werte der für die Berechnung benötigten mechanischen und physikalischen Eigenschaften wie Elastizitätsmodul E , Poissonzahl μ und Glasdichte ρ stammen aus den folgenden Produktnormen:

EN 572-1, EN 1748-1-1, EN 1748-2-1, EN 1863-1, EN 12150-1, EN 12337-1, EN 13024-1, EN 14178-1, EN 14179-1, EN 14321-1, EN 14449, EN 15681-1, EN 15682-1.

6.2 Näherungswerte

Wenn keine Unterscheidung zwischen den mechanischen und physikalischen Eigenschaften berücksichtigt werden kann (z. B. beim Zusammenbau von verschiedenen Glaswerkstoffen) oder wenn dies nicht notwendig ist, können die folgenden Werte (für Kalk-Natronsilikatglas) für alle Glasarten verwendet werden:

Glasdichte $\rho = 2\,500 \text{ kg/m}^3$;

Elastizitätsmodul $E = 70\,000 \text{ MPa}$;

Poissonzahl $\mu = 0,22$;

7 Einwirkungen

7.1 Annahmen in Bezug auf Einwirkungen und Kombinationen von Einwirkungen

Hinsichtlich der Einwirkungen und Kombinationen von Einwirkungen im Betriebs-Grenzzustand gelten die häufigen Kombinationen. (siehe EN 1990:2002 Abschnitte 6.5.3 und 4.1.3).

Hinsichtlich der Einwirkungen und Kombinationen von Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit gelten die Grundkombinationen. (siehe EN 1990:2002 Abschnitte 6.4.3 und 4.1.3)

7.2 Kombinationen von Einwirkungen

Die Werte der Einwirkungen müssen nach EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 und EN 1991-1-4 bestimmt werden.

Der Bemessungswert der Einwirkung (Auslegungslast) muss wie folgt berechnet werden:

für den Grenzzustand der Tragfähigkeit "+"

$$F_d = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \gamma_Q \sum_i \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

$$F_d = G + \psi_1 \cdot Q_{k,1} + \sum_i \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

Dabei ist:

- F_d der Bemessungswert der Kombination von Einwirkungen;
- G der Wert der ständigen Einwirkungen (z. B. Last des Eigengewichts, dauerhafte Ausrüstung);
- $Q_{k,1}$ der charakteristische Wert der veränderlichen Leiteinwirkung (z. B. Nutzlast auf dem Boden, bei Wind, bei Schnee);
- $Q_{k,i}$ der charakteristische Wert der veränderlichen Begleiteinwirkung (z. B. Wind, Schnee);
- $\psi_{0,i}$ Beiwerte für den Kombinationswert von veränderlichen Begleiteinwirkungen;
- ψ_1 der Beiwert für den häufigen Wert einer veränderlichen Einwirkung;
- $\psi_{2,i}$ der Beiwert für den quasi-ständigen Wert einer veränderlichen Einwirkung;
- γ_G der Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen unter Berücksichtigung von Modellunsicherheiten und Größenabweichungen;
- γ_Q der Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen unter Berücksichtigung von Modellunsicherheiten und Größenabweichungen.

Die empfohlenen Werte für die Teilsicherheitsbeiwerte der Last γ sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 — Teilsicherheitsbeiwerte der Last

Art des zu berechnenden Elements	γ_Q^a		γ_G^a	
	günstig	ungünstig	günstig	ungünstig
Ausfachung	0	1,1	1,0	1,1
^a Der niedrigere Wert wird verwendet, wenn die Einwirkung eine günstige Auswirkung in Kombination mit anderen Einwirkungen hat. Der höhere Wert wird verwendet, wenn die Einwirkung als alleine auftretend gilt oder eine ungünstige Auswirkung in Kombination mit anderen Lasten hat.				

Die empfohlenen Werte der Teilsicherheitsbeiwerte ψ sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4 — Lastkombinationsfaktoren

		Ausfachung
Wind	ψ_0	0,6
	ψ_1	0,8
	ψ_2	0,2
Schnee	ψ_0	0,6
	ψ_1	1,0
	ψ_2	0,2
Klimalasten	ψ_0	0,3
	ψ_1	0,3
	ψ_2	0

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen in Tabelle 3 und die Kombinationsfaktoren in Tabelle 4 gelten speziell für Einfachglasanwendungen. Für alle anderen Anwendungen sollten die Eurocodes beachtet werden.

Anhang C enthält weitere Erläuterungen zu Lastteilbeiwerten.

8 Festigkeit und Spannung

8.1 Bemessungswert für die Festigkeit von normal gekühltem Glas

8.1.1 Gleichung

Der Bemessungswert für die Biegefestigkeit von normal gekühltem Glas beliebiger Zusammensetzung wird wie folgt berechnet:

$$f_{g;d} = \frac{k_e k_{\text{mod}} k_{\text{sp}} f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} \quad (3)$$

Dabei ist:

$f_{g;k}$ der charakteristische Wert der Biegefestigkeit ($f_{g;k} = 45 \text{ N/mm}^2$ — siehe Anhang C);

$\gamma_{M;A}$ der werkstoffbezogene Teilsicherheitsbeiwert für normal gekühltes Glas (siehe 5.3 und Anhang C);

k_{sp} der Beiwert für das Oberflächenprofil des Glases (siehe 8.1.3);

k_{mod} der Beiwert für die Lasteinwirkungsdauer (siehe 8.1.4);

k_e der Verschwächungsgrad für die Kantenbiegefestigkeit von normal gekühltem Glas.

8.1.2 Kantenfestigkeitsfaktor

Sofern Glaskanten keiner Biegebeanspruchung unterliegen, wie beispielsweise im Fall einer Glasscheibe, bei der alle Kanten gestützt werden, gilt der Wert 1,0 für k_e . Sofern Glaskanten einer Biegebeanspruchung unterliegen, wie beispielsweise eine Glasscheibe mit zwei gegenüberliegenden gestützten Kanten oder drei gestützten Kanten, kann der Wert für k_e weniger als 1,0 betragen.

Anhang C enthält weitere Erläuterungen zum Kantenfestigkeitsfaktor.

8.1.3 Beiwert für das Oberflächenprofil des Glases

Der Beiwert für das Oberflächenprofil des Glases wird in Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5 — Beiwert für das Oberflächenprofil des Glases

Glaswerkstoff ^a (beliebige Glaszusammensetzung)	Beiwert für das Oberflächenprofil des Glases k_{sp}	
	Unbehandelt ^c	Sandgestrahlt ^c
Floatglas	1,0	0,6
Gezogenes Flachglas	1,0	0,6
Emailliertes Floatglas oder gezogenes Flachglas ^b	(1,0)	(0,6)
Ornamentglas	0,75	0,45
Emailliertes Ornamentglas ^b	(0,75)	(0,45)
Poliertes Drahtglas	0,75	0,45
Drahtornamentglas	0,6	0,36
^a Alle beschichteten und gefärbten Glasprodukte (ohne Emailleglas), Spiegelglasprodukte etc., bei denen das aufgetragene Material die Glasstruktur nicht verändert, können auf die gleiche Weise wie das Substratglas ohne aufgetragenes Material behandelt werden. ^b Diese Glasarten sind nicht immer als normal gekühltes Glas erhältlich, aber die Werte von k_{sp} werden auch für die Gleichungen für vorgespanntes Glas benötigt (siehe 8.2). ^c Bei säuremattiertem Glas sollte der „unbehandelte“ Wert für k_{sp} verwendet werden.		

8.1.4 Beiwert für die Lasteinwirkungsdauer

Der Beiwert für die Lasteinwirkungsdauer von normal gekühltem Glas ist

$$k_{mod} = 0,663t^{-\frac{1}{16}} \quad (4)$$

Dabei ist

t die Dauer der Lasteinwirkung in Stunden.

Bei normalen Gebäudelasten hat der Beiwert k_{mod} einen Höchstwert von $k_{mod} = 1$ und einen Mindestwert von $k_{mod} = 0,25$.

ANMERKUNG Bei außergewöhnlichen Lasten von sehr kurzer Dauer, z. B. Explosionen, können Werte für k_{mod} größer 1 verwendet werden. Die Formel in Gleichung (5) kann für eine Dauer von bis zu mindestens 20 ms als gültig betrachtet werden.

Typische Werte für k_{mod} sind in Tabelle 6 gegeben.

Tabelle 6 — Beiwerte für die Lasteinwirkungsdauer

Einwirkung	Lasteinwirkungsdauer	k_{mod}
Windstöße	5 Sekunden (oder weniger)	1,0
Kumulierter Starkwind	10 Minuten äquivalent ^a	0,74
Grenz-Personenlast — normale Personenzahl	30 Sekunden ^b	0,89
Grenz-Personenlast — Menschenmengen	5 Minuten ^b	0,77
Instandhaltungslast	30 Minuten	0,69
Schnee	3 Wochen ^c	0,45
Klimalasten bei Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten	8 Stunden ^d	0,58
Eigenlast, Eigengewicht, Höhenwirkung auf Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten	dauerhaft (50 Jahre)	0,29

^a Der Wert $k_{\text{mod}} = 0,74$ ist basiert auf einer kumulativ äquivalenten Dauer von 10 Minuten, die als repräsentativ für die Auswirkungen eines Sturms betrachtet wird, der mehrere Stunden dauern kann. Höhere Werte von k_{mod} können für Wind angenommen werden.

^b Der Wert $k_{\text{mod}} = 0,89$ basiert auf einer Personenlast mit einer Dauer von 30 Sekunden. Andere Werte können je nach Art der zu bewertenden Personenlast und der Art der Gebäudenutzung berücksichtigt werden.

^c $k_{\text{mod}} = 0,44$ kann als repräsentativ für Schneelasten mit einer Dauer von 5 Tagen ($k_{\text{mod}} = 0,49$) bis 3 Monaten ($k_{\text{mod}} = 0,41$) betrachtet werden. Andere Werte für k_{mod} können je nach örtlichen Klimabedingungen geeignet sein.

^d $k_{\text{mod}} = 0,58$ kann als repräsentativ für Klimalasten mit einer Dauer von 6 Stunden ($k_{\text{mod}} = 0,59$) bis 12 Stunden ($k_{\text{mod}} = 0,57$) betrachtet werden. Andere Werte für k_{mod} können je nach örtlichen Klimabedingungen geeignet sein.

Wo Lasten mit verschiedener Dauer zusammen behandelt werden, ist k_{mod} für die Lastkombination der höchste Wert aus Tabelle 6, der mit jeder Last in der Kombination verknüpft wird.

ANMERKUNG So werden beispielsweise bei Glas, das Wind, Schnee und seinem Eigengewicht ausgesetzt ist, die Auswirkungen einer Kombination von Schnee und Eigengewicht anhand k_{mod} mit dem Wert 0,44 und die Auswirkungen einer Kombination von Wind, Schnee und Eigengewicht anhand k_{mod} mit dem Wert 0,74 (oder 1,0) bewertet. Alle möglichen Kombinationen sollten überprüft werden.

Ausführliche Informationen zu den Werten von k_{mod} und den Methoden zur Behandlung kombinierter Lasten sind in Anhang C enthalten.

8.2 Bemessungswert der Biegefestigkeit für vorgespanntes Glas

8.2.1 Gleichung

Der Bemessungswert für die Biegefestigkeit von vorgespanntem Glas beliebiger Zusammensetzung wird wie folgt berechnet:

$$f_{g,d} = \frac{k_{\text{mod}} k_{\text{sp}} f_{g,k}}{\gamma_{M,A}} + \frac{k_v (f_{b,k} - f_{g,k})}{\gamma_{M,v}} \quad (5)$$

Dabei ist:

$f_{g,k}$, $\gamma_{M,A}$, k_{mod} und k_{sp} in 8.1 beschrieben.

$\gamma_{M;v}$ der werkstoffbezogene Teilsicherheitsbeiwert für die Oberflächenvorspannung (siehe 5.3 und Anhang C).

$f_{b;k}$ der charakteristische Wert der Biegefestigkeit von vorgespanntem Glas (siehe 8.2.2).

k_v der Beiwert zum Härten von vorgespanntem Glas (siehe 8.2.3).

8.2.2 Charakteristische Biegefestigkeit

Die Werte für die charakteristische Biegefestigkeit von vorgespanntem Glas sind in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7 — Werte für die charakteristische Biegefestigkeit von vorgespanntem Glas

Glaswerkstoff des Produkts (beliebige Zusammensetzung)	Werte für die charakteristische Biegefestigkeit $f_{b;k}$ von vorgespanntem Glas, das hergestellt wurde aus:		
	thermisch vorgespanntem Sicherheitsglas nach EN 12150-1 und heißgelagertem thermisch vorgespanntem Sicherheitsglas nach EN 14179-1	thermisch vorgespanntem Glas nach EN 1863-1	chemisch vorgespanntem Glas nach EN 12337-1
Floatglas oder gezogenes Flachglas	120 N/mm ²	70 N/mm ²	150 N/mm ²
Ornamentglas	90 N/mm ²	55 N/mm ²	100 N/mm ²
Emailliertes Floatglas oder gezogenes Flachglas	75 N/mm ²	45 N/mm ²	
Emailliertes Ornamentglas	75 N/mm ²	45 N/mm ²	
ANMERKUNG Die Werte für thermisch vorgespanntes Sicherheitsglas und heißgelagertes thermisch vorgespanntes Sicherheitsglas können auch für den Normen EN 13024-1, EN 14321-1 und EN 15682-1 entsprechendes Glas verwendet werden.			

8.2.3 Härtingsbeiwert

Das Vorhandensein von Aufhängepunkten in vertikal vorgespanntem Glas verringert die Wirksamkeit der Vorspannung im Vergleich zu horizontal vorgespanntem Glas, das keine Aufhängepunkte aufweist. Der Härtingsbeiwert für das Herstellungsverfahren ist in Tabelle 8 angegeben.

Tabelle 8 — Härtingsbeiwert

Herstellungsverfahren	Härtingsbeiwert, k_v
Horizontales Vorspannen (oder ein anderes Verfahren ohne die Verwendung von Zangen oder anderen Geräten, um das Glas einzuspannen)	1,0
Vertikales Vorspannen (oder ein anderes Verfahren, das Zangen oder andere Geräte verwendet, um das Glas einzuspannen)	0,6

9 Grundsätze und Bedingungen für die Berechnung

9.1 Allgemeine Berechnungsverfahren

9.1.1 Auslegungslast

Der charakteristische Wert der Bemessungslast F_d muss nach Abschnitt 7 bestimmt werden.

ANMERKUNG Um eine ausreichende Robustheit bei jeder Anwendung sicherzustellen, sollte das Glas zusätzlich zu den Auslegungslasten in der Lage sein, mindestens einer gleichmäßig verteilten Regellast von $0,4 \text{ kN/m}^2$ für eine kurze Dauer standzuhalten.

9.1.2 Berechnung von Spannung und Durchbiegung

Die Auslegungslast muss zum Berechnen der Zugspannung bzw. Zugbiegespannung und der Durchbiegung im Glas verwendet werden.

Das zur Bestimmung verwendete Verfahren muss eine Konstruktionsgleichung oder ein geeignetes Verfahren zur Berechnung der Lastverteilung, der Form des Glases und der Auflagerbedingungen sein.

Im Allgemeinen müssen die höchste Spannung $\sigma_{\max}$ und die höchste Durchbiegung $w_{\max}$ nach der linearen Theorie berechnet werden. Für an allen Kanten gestützte Glasscheiben, bei denen die durch Einwirkungen verursachte Durchbiegung die halbe Glasdicke überschreitet, können durch die lineare Theorie des Plattenbiegens die Spannungen und die maximale Durchbiegung stark überschätzt werden. In diesem Fall können die Spannungsverteilung und die maximale Durchbiegung nach der nichtlinearen Plattentheorie berechnet werden. Anhang A enthält Formeln für die nichtlinearen Berechnungen von rechteckigen, an vier Kanten gestützten Glasscheiben.

Bei Verbundglas muss die Spannung in jeder Schicht berechnet werden. Bei Mehrscheiben-Isolierglas muss die Spannung in jeder Glasscheibe berechnet werden. Ein Verfahren zur Bestimmung der auf jede Glasscheibe einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit angewendeten Lasten ist in Anhang B angegeben.

9.1.3 Bemessungswert der Biegefestigkeit

Der Bemessungswert der Biegefestigkeit $f_{g,d}$ muss nach Abschnitt 8 bestimmt werden. Der Wert des Beiwerts der Lasteinwirkungsdauer k_{mod} , welcher zur Berechnung des Bemessungswerts der Biegefestigkeit verwendet wird, muss für die angenommene Dauer der Einzellast oder Lastkombination geeignet sein.

9.1.4 Bemessungswert der Durchbiegung

Es gibt keine spezifischen Anforderungen an die Glasfestigkeit zur Begrenzung der Durchbiegung von Glas unter Last. EN 1279-5 schlägt Durchbiegungsgrenzwerte für Mehrscheiben-Isolierglas vor, um die Beanspruchungen an der Kantendichtung, die die Haltbarkeit beeinträchtigen können, zu minimieren. Andere Normen oder Richtlinien können Grenzwerte für Durchbiegungen bei speziellen Anwendungen erfordern.

Sofern erforderlich, muss der Bemessungswert der Durchbiegung w_d in Übereinstimmung mit der entsprechenden Norm oder Verordnung sein.

Es sollte sichergestellt sein, dass das Glas sich unter Last nicht übermäßig durchbiegt, da dies die Nutzer des Gebäudes beunruhigen könnte. Liegen keine spezifischen Anforderungen vor, müssen die Durchbiegungen auf eine Spanne von 65 mm oder 50 mm begrenzt sein, je nachdem welcher Wert niedriger Wert.

9.1.5 Vergleiche von Spannung und Durchbiegung

Die berechnete maximale Biegebeanspruchung für die Bemessungslast oder eine Kombination von Bemessungslasten darf nicht den Bemessungswert für die Biegefestigkeit überschreiten:

$$\sigma_{\max} \leq f_{g;d} \quad (6)$$

Wenn Anforderungen für die Beschränkung der Durchbiegung von Glas vorliegen, darf die berechnete maximale Durchbiegung für die ungünstigste Lastbedingung den Bemessungswert der Durchbiegung nicht überschreiten:

$$w_{\max} \leq w_d \quad (7)$$

Wenn Kombinationen von Lasten berücksichtigt werden müssen, kann es notwendig sein, die Verfahren in 9.1.1 bis 9.1.5 mit anderen als der vorherrschenden Last mehr als einmal durchzuführen, um die ungünstigste Bedingung zu ermitteln. Die ungünstigste Bedingung ist entweder:

- der höchste Wert der maximalen Spannung im Verhältnis zum Bemessungswert der Biegefestigkeit oder
- der größte Wert der maximalen Durchbiegung.

ANMERKUNG Die ungünstigste Bedingung kann für Spannung und Durchbiegung verschieden sein.

9.2 Berechnungsverfahren für Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas

Die Berechnungsmethode für Verbundglas nach EN 14449 muss berücksichtigen, dass, sofern in Verbundglas eine Schubspannung parallel zur Zwischenschicht entsteht, angenommen werden kann, dass die Zwischenschicht einen gewissen Schubwiderstand besitzt.

Die Biegefestigkeit von Verbundglas muss mithilfe einer geeigneten Konstruktionsformel oder eines Berechnungsverfahrens unter Berücksichtigung der plastischen und viskoelastischen Eigenschaften des Werkstoffs der Zwischenschicht und seiner Schwankungen in Abhängigkeit von Temperatur und Lasteinwirkungsdauer bewertet werden.

Die viskoelastischen Eigenschaften des Werkstoffs der Zwischenschicht werden nach prEN 16613:2017 bestimmt.

Eine geeignete Finite-Element-Methode muss in der Lage sein, die viskoelastischen Eigenschaften des Werkstoffs der Zwischenschicht zu berücksichtigen und muss außerdem in der Lage sein, das nichtlineare Ansprechvermögen von an vier Kanten getragenen Glasplatten, die einer gleichmäßig verteilten Last ausgesetzt sind, miteinzubeziehen. Es muss nachgewiesen worden sein, dass Ergebnisse vorliegen, die mit praktischen Prüfungen übereinstimmen.

Als Alternative zu den komplexeren Berechnungsmethoden kann die in Anhang E beschriebene vereinfachte Methode für Glasscheiben mit linear gestützten Kanten verwendet werden, sofern eine gleichförmige Lastverteilung besteht.

9.3 Berechnungsverfahren für Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten

Das Berechnungsverfahren für Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten nach EN 1279-5 muss die Folgen berücksichtigen, die durch eine hermetisch abgeschlossene und festgelegte Menge an Gas innerhalb des Scheibenzwischenraums oder der Scheibenzwischenräume der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit entstehen. Dies muss Folgendes miteinbeziehen:

- das Vorhandensein der festgelegten Menge an Gas, welches Einwirkungen auf nur eine Glasscheibe verursacht, die sich wiederum auf alle Glasscheiben der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit auswirken (dieses Phänomen ist auch als Lastverteilung bekannt);
- Änderungen der Luftdruckbedingungen in der Umgebung im Verhältnis zum Luftdruck zum Zeitpunkt der Abdichtung der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit, welche Einwirkungen zur Folge haben (interne Einwirkungen), die sich auf alle Glasscheiben auswirken;
- Änderungen der Temperatur des Gases im Scheibenzwischenraum, welche Einwirkungen zur Folge haben (interne Einwirkungen), die sich auf alle Glasscheiben auswirken.

Die Verfahren zur Ermittlung der Verhältnisse der auf die einzelnen Glasscheiben aus zweifach und dreifach verglastem Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten aufgebrachten Lasten sind in Anhang B angegeben.

Wenn die Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten EN 1279-5 entsprechen, dann verursachen die in der Abdichtung erzeugten Spannungen bei normalen Lasten (z. B. Wind, Schnee, Eigengewicht, Personenlast oder Klimabelastungen, jedoch ohne außergewöhnliche Lasten wie Explosionsdrücke) keine vorzeitigen Ausfälle der hermetischen Abdichtung, vorausgesetzt, dass die Durchbiegung des Glases nicht zu stark ist.

Anhang A (informativ)

Gleichungen für die Berechnung der Spannung und Durchbiegung bei hohen Durchbiegungen von rechteckigen Glasscheiben, die auf allen Kanten aufliegen

Von den Maßen a und b der Glasscheibe muss a als kürzere Seitenlänge verwendet werden. Das Seitenverhältnis ist durch $\lambda = a/b$ und der Flächeninhalt durch $A = ab$ angegeben.

Zur praktischen Ermittlung der Spannung, der Durchbiegung und der Volumenänderung (bei Scheibenzwischenräumen von Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten) sind folgende Gleichungen gegeben:

Maximale Zugbiegespannung:

$$\sigma_{\max} = k_1 \frac{a^2}{h^2} F_d \quad (\text{A.1})$$

Für Verbundglas sollte $h_{\text{ef};\sigma}$ anstelle von h in der Gleichung A1 verwendet werden.

Durchbiegung:

$$w_{\max} = k_4 \frac{a^4 F_d}{h^3 E} \quad (\text{A.2})$$

Für Verbundglas sollte $h_{\text{ef};w}$ anstelle von h in der Gleichung A2 verwendet werden.

Volumen:

$$V = k_5 A \frac{a^4 F_d}{h^3 E} \quad (\text{A.3})$$

Für Verbundglas sollte $h_{\text{ef};w}$ anstelle von h in der Gleichung A3 verwendet werden.

Die Werte der Koeffizienten sind in den Tabellen A.1 bis A.3 angegeben.

Bei Glasscheiben, die auf vier Kanten gestützt sind, hängen die dimensionslosen Koeffizienten k_1 und k_4 vom Seitenverhältnis λ und der dimensionslosen Last ab.

Dimensionslose Last:

$$p^* = \left(\frac{A}{4h^2} \right)^2 \frac{F_d}{E} \quad (\text{A.4})$$

Die Koeffizienten in den Tabellen A.1 bis A.3 gelten für eine Poissonzahl im Bereich von 0,20 bis 0,24. Diese können linear interpoliert werden. Bei kleinen Durchbiegungen (lineare Theorie) gelten die Werte für $p^* = 0$.

Tabelle A.1 — Koeffizient k_1 zur Berechnung der maximalen Spannung

$\lambda=a/b$	p^*										
	0	1	2	3	5	10	20	50	100	200	300
1,0	0,268	0,261	0,244	0,223	0,190	0,152	0,135	0,130	0,129	0,128	0,128
0,9	0,319	0,309	0,286	0,260	0,218	0,172	0,152	0,145	0,144	0,144	0,144
0,8	0,380	0,369	0,341	0,309	0,257	0,199	0,173	0,164	0,162	0,162	0,162
0,7	0,449	0,437	0,408	0,372	0,311	0,236	0,199	0,186	0,184	0,184	0,184
0,6	0,524	0,515	0,490	0,457	0,391	0,294	0,238	0,215	0,212	0,211	0,211
0,5	0,600	0,595	0,580	0,559	0,506	0,395	0,302	0,255	0,247	0,245	0,245
0,4	0,671	0,669	0,664	0,655	0,631	0,551	0,429	0,322	0,297	0,290	0,289
0,3	0,724	0,723	0,722	0,721	0,716	0,694	0,629	0,471	0,388	0,356	0,349
0,2	0,747	0,747	0,747	0,747	0,747	0,745	0,738	0,699	0,613	0,502	0,457
0,1	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,749	0,748	0,740	0,729

Zur Berechnung:

$$k_1 = \frac{1}{4 \left[\frac{1}{z_2^2} + \frac{p^*{}^2}{(z_3^2 + (z_4 p^*)^2)} \right]^{0.5}}$$

Dabei ist $z_2 = 24 \left[0.0447 + 0.0803 \left(1 - \exp \left(-1.17 \left(\frac{1}{\lambda} - 1 \right)^{1.073} \right) \right) \right]$

$$z_3 = \frac{1}{\lambda} \left(4.5 \left(\frac{1}{\lambda} - 1 \right)^2 + 4.5 \right)$$

$$z_4 = \frac{1}{\lambda} \left(0.585 - 0.05 \left(\frac{1}{\lambda} - 1 \right) \right)$$

Tabelle A.2 — Koeffizient k_4 zur Berechnung der maximalen Durchbiegung

$\lambda=a/b$	p^*										
	0	1	2	3	5	10	20	50	100	200	300
1,0	0,0461	0,0414	0,0354	0,0310	0,0255	0,0189	0,0137	0,0088	0,0062	0,0044	0,0036
0,9	0,0559	0,0505	0,0434	0,0381	0,0314	0,0233	0,0168	0,0108	0,0077	0,0054	0,0044
0,8	0,0683	0,0624	0,0540	0,0477	0,0395	0,0293	0,0213	0,0137	0,0097	0,0069	0,0056
0,7	0,0826	0,0769	0,0680	0,0607	0,0507	0,0380	0,0277	0,0178	0,0127	0,0090	0,0073
0,6	0,0984	0,0941	0,0858	0,0781	0,0666	0,0508	0,0373	0,0242	0,0172	0,0122	0,0100
0,5	0,1148	0,1125	0,1069	0,1005	0,0889	0,0703	0,0527	0,0345	0,0247	0,0176	0,0144
0,4	0,1303	0,1295	0,1273	0,1242	0,1166	0,0994	0,0781	0,0528	0,0382	0,0273	0,0224
0,3	0,1421	0,1419	0,1416	0,1410	0,1392	0,1324	0,1170	0,0872	0,0654	0,0477	0,0393
0,2	0,1474	0,1474	0,1474	0,1473	0,1472	0,1468	0,1452	0,1363	0,1195	0,0962	0,0822
0,1	0,1480	0,1480	0,1480	0,1480	0,1480	0,1480	0,1480	0,1479	0,1477	0,1471	0,1460

Zur Berechnung:

$$k_4 = \frac{\left[\left(\frac{\left(\frac{1}{z_1^4} + 4p^{*2} \right)^{0.5} - \frac{1}{z_1^2}}{2} \right)^{0.5}}{16\lambda^2 p^*} \right]}$$

Dabei ist $z_1 = 192(1 - \mu^2)\lambda^2 \left[0.00406 + 0.00896 \left(1 - \exp \left(-1.123 \left(\frac{1}{\lambda} - 1 \right)^{1.097} \right) \right) \right]$

ANMERKUNG Für $p^* = 0$, $k_4 = \frac{z_1}{16\lambda^2}$

Tabelle A.3 — Koeffizient k_5 zur Berechnung der Volumenänderung

$\lambda=a/b$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
k_5	0,0194	0,0235	0,0288	0,0349	0,0420	0,0499	0,0585	0,0676	0,0764	0,0858

Zur Berechnung:

$$k_5 = \left[\frac{z_1}{16\lambda^2} \right] [0.4198 + 0.22 \exp(-6.8(\lambda)^{1.33})]$$

dabei ist z_1 in Tabelle A.2 angegeben.

ANMERKUNG Die Werte in dieser Tabelle gelten nur, wenn die Berechnung auf einer einfachen linearen Durchbiegungstheorie basiert. Die Werte für k_5 mit p^* . Wenn bei der Simulation von Mehrscheiben-Isolierglas-Reaktionen hohe Durchbiegungen berücksichtigt werden, kann die Verwendung der Werte aus Tabelle 5 daher zu falschen Ergebnissen führen. Informationen zur Veränderung von k_5 in Abhängigkeit von p^* und λ sind im CEN-Bericht rrr [1] zu finden.

Anhang B (informativ)

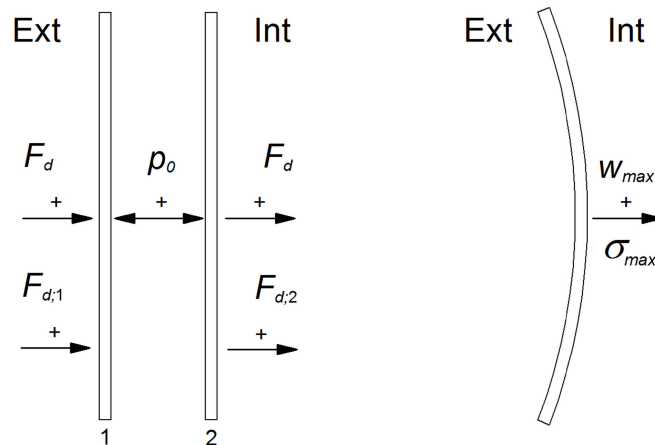
Berechnungsverfahren für Mehrscheiben Isolierglas

B.1 Doppelt verglaste Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten

B.1.1 Vorzeichenregelung für Einwirkungen und Auswirkungen

Bild B.1 gibt die Richtungen an, in die sich positive Werte der Last auswirken und die Richtung, in die eine Glasscheibe sich biegt, wenn die berechneten Durchbiegungen und Spannungen positiv sind.

Bild B.1 gibt ebenfalls die Regeln zur Benummerung der Glasscheiben an.



Legende

Ext Außenseite des Gebäudes

Int Innenseite des Gebäudes

1, 2 von der Außenseite ausgehend nummerierte Glasscheiben

Bild B.1 — Vorzeichenregelung für Einwirkungen und Auswirkungen

B.1.2 Allgemeines

Bei doppelt verglasten Scheiben mit den Dicken h_1 und h_2 ist die Verteilung (Aufteilung) von gleichmäßig verteilten Lasten von außen (z. B. durch Wind, Schnee, Eigengewicht) im Wesentlichen durch die Verteilung (Aufteilung) der Steifigkeit bestimmt, d. h.:

Verteilung der Steifigkeit von Glasscheibe 1 mit Dicke h_1 :

$$\delta_1 = \frac{h_1^3}{h_1^3 + h_2^3} \quad (\text{B.1})$$

Verteilung der Steifigkeit von Glasscheibe 2 mit Dicke h_2 :

$$\delta_2 = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3} = 1 - \delta_1 \quad (\text{B.2})$$

Zusätzlich dazu wird sowohl die Verteilung (Aufteilung) von externen Lasten als auch die Auswirkung von internen Lasten durch den Beiwert $\emptyset$ der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit bestimmt:

$$\emptyset = \frac{1}{1 + (a/a^*)^4} \quad (\text{B.3})$$

Die Länge a gibt die tatsächlichen Maße der Glasscheibe an (z. B. die Länge der kürzeren Seite einer rechteckigen Glasscheibe), während a^* die charakteristische Länge der Glasscheibe abhängig von der Dicke der Glasscheiben, dem Luftspalt s und der Form der Glasscheibe ist.

$$a^* = 28,9 \left(\frac{sh_1^3 h_2^3}{(h_1^3 + h_2^3)k_5} \right)^{0,25} \quad (\text{B.4})$$

Der Volumenkoeffizient k_5 hängt von der Form der Glasscheibe ab (siehe Tabelle A.3 in Anhang A).

Bei Verbundglas sollte die äquivalente Dicke $h_{\text{ef},w}$ anstelle von h_1 und h_2 in allen Gleichungen in Abschnitt B1 verwendet werden.

B.1.3 Verteilung von externen Lasten (Lastverteilung)

Über den Innendruck werden die externen Lasten (z. B. Wind auf Glasscheibe 1) auf beide Glasscheiben verteilt, wie in Tabelle B.1 dargestellt.

Tabelle B.1 — Lastverteilung bei externen Lasten

Last	Teil der Last, der von Glasscheibe 1 getragen wird	Teil der Last, der von Glasscheibe 2 getragen wird
Externe Last F_d , die sich auf Glasscheibe 1 auswirkt	$F_{d;1} = (\delta_1 + \emptyset\delta_2)F_d$	$F_{d;2} = (1 - \emptyset)\delta_2 F_d$
Externe Last F_d , die sich auf Glasscheibe 2 auswirkt	$F_{d;1} = (1 - \emptyset)\delta_1 F_d$	$F_{d;2} = (\emptyset\delta_1 + \delta_2)F_d$

B.1.4 Auswirkung interner Lasten

B.1.4.1 Interne Lasten, die auf die Glasscheiben einwirken

Die durch den isochoren Druck erzeugten internen Lasten werden durch die Biegsamkeit der Glasscheiben, beschrieben durch den Beiwert $\emptyset$ der Mehrscheiben-Isolierglaseinheit, reduziert, wie in Tabelle B.2 dargestellt.

Tabelle B.2 — Interne Lasten

	Last, die von Glasscheibe 1 getragen wird	Last, die von Glasscheibe 2 getragen wird
Isochorer Druck p_0	$-\emptyset p_0$	$\emptyset p_0$

ANMERKUNG Bei der Kombination von internen mit externen Lasten (Wind, Schnee usw.) sollte ein geeigneter Lastkombinationsbeiwert ψ verwendet werden.

B.1.4.2 Isochorer Druck

Der durch einen Höhenunterschied erzeugte isochore Druck errechnet sich wie folgt:

$$p_{H;0} = c_H \cdot (H - H_P) \quad (B.5)$$

Dabei ist:

$$c_H = 0,012 \text{ kPa/m}$$

Der durch einen Temperaturunterschied und/oder Luftdruckunterschied erzeugte isochore Druck errechnet sich wie folgt:

$$p_{C;0} = c_r \cdot (T_c - T_P) - (p_a - p_P) \quad (B.6)$$

Dabei ist:

$$c_r = 0,34 \text{ kPa/K}$$

ANMERKUNG Der Wert $c_T = 0,34 \text{ kPa/k}$ gilt für jede Art von Gasfüllung.

Der isochore Druck errechnet sich wie folgt:

$$p_0 = p_{H;0} + p_{C;0} \quad (B.7)$$

B.1.5 Berechnung der Scheibenzwischenraumtemperatur einer doppelt verglasten Mehrscheiben-Isolierglaseinheit

Im einfachen Fall einer Doppelverglasung ohne Abschluss oder sonstige Abschirmung kann die statische Temperatur des Scheibenzwischenraums T_c anhand der folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$T_c = \frac{T_{g;ext} + T_{g;int}}{2} \quad (B.8)$$

Dabei ist:

$$T_{g;ext} = \frac{\sigma_e \alpha_{e1} (h_i + h_s) + \sigma_e \alpha_{e2} h_s + h_e (h_i + h_s) T_{ext} + h_i h_s T_{int}}{h_e h_i + h_e h_s + h_i h_s} \quad (B.9)$$

$$T_{g;int} = \frac{\sigma_e \alpha_{e1} h_s + \sigma_e \alpha_{e2} (h_e + h_s) + h_e h_s T_{ext} + h_i (h_e + h_s) T_{int}}{h_e h_i + h_e h_s + h_i h_s} \quad (B.10)$$

Dabei ist:

α_{e1} und α_{e2} nach EN 410 bestimmt werden,

h_e , h_i und h_s nach EN 673 bestimmt werden.

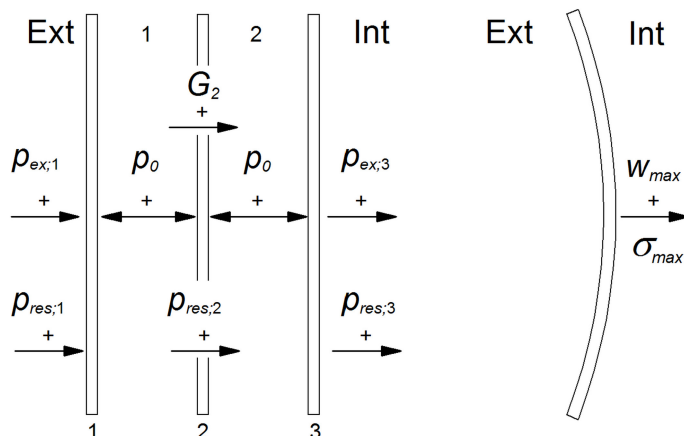
Die für h_e , h_i und h_s verwendeten Werte sollten für die Glas- und Zwischenraumtemperaturen und für die Windgeschwindigkeiten geeignet sein. Verfahren für genauere Bewertungen sind in EN 13363-2:2005 angegeben.

B.2 Dreifach verglaste Mehrscheiben-Isolierglaseinheiten

B.2.1 Vorzeichenregelung für Einwirkungen und Auswirkungen

Bild B.2 gibt die Richtungen an, in die sich positive Werte der Last auswirken und die Richtung, in die eine Glasscheibe sich biegt, wenn die berechneten Durchbiegungen und Spannungen positiv sind.

Bild B.2 gibt ebenfalls die Regeln zur Benummerung der Glasscheiben und Scheibenzwischenräume an.



Legende

Ext Außenseite des Gebäudes

Int Innenseite des Gebäudes

1, 2, 3 von der Außenseite ausgehend nummerierte Glasscheiben oder Scheibenzwischenräume

Bild B.2 — Vorzeichenregelung für Einwirkungen und Auswirkungen

B.2.2 Berechnungsverfahren

Beiwert für Scheibenzwischenraum 1 des Isolierglases: $\vartheta_1 = \frac{1}{1+\alpha_1+\alpha_1^+}$

Beiwert für Scheibenzwischenraum 2 des Isolierglases: $\vartheta_2 = \frac{1}{1+\alpha_2+\alpha_2^+}$

Relative Volumenänderung des Scheibenzwischenraums k : $\alpha_k = \frac{v_{p;k} p_{a;m}}{V_{pr;k}} > 0$ und $\alpha_k^+ = \frac{v_{p;k+1} p_{a;m}}{V_{pr;k}} > 0$

Dabei ist:

$v_{p;k} = k_5 A \frac{a^4}{h_k^3 E}$ die Volumenänderung der Glasscheibe k , verursacht durch den Flächendruck

$$p_{a;m} = 100 \text{ kN/m}^2$$

ANMERKUNG Für Verbundglas sollte die äquivalente Dicke $h_{ef,w}$ anstelle von h_k , h_1 , h_2 und h_3 in allen Gleichungen in Abschnitt B2 verwendet werden.

Tabelle B.3 — Veränderungen der inneren Druckwerte $\Delta p_{i,j}$ durch externe Lasten (Wind, Schnee, Eigengewicht) und klimatische Lasten (Änderungen der Höhe, der Temperatur, des barometrischen Luftdrucks)

	Isochorer Druck $p_{0;1}$	Isochorer Druck $p_{0;2}$	Externe Last $p_{ex;1}$	Eigengewicht der Glasscheibe 2 G_2	Externe Last $p_{ex;3}$
$\Delta p_{i,j}$	$\Delta p_{i;1}$	$\Delta p_{i;2}$	$\Delta p_{i;3}$	$\Delta p_{i;4}$	$\Delta p_{i;5}$
Scheibenzwischenraum 1 ($\Delta p_{1,j}$)	$\frac{\sigma_1}{\beta} p_{0;1}$	$\frac{\sigma_2 \alpha_1^+ \sigma_1}{\beta} p_{0;2}$	$\frac{\alpha_1 \sigma_1}{\beta} p_{ex;1}$	$(\sigma_2 \alpha_2 - 1) \frac{\sigma_1 \alpha_1^+}{\beta} G_2$	$-\frac{\sigma_1 \alpha_1^+ \sigma_2 \alpha_2^+}{\beta} p_{ex;3}$
Scheibenzwischenraum 2 ($\Delta p_{2,j}$)	$\frac{\sigma_2 \alpha_2 \sigma_1}{\beta} p_{0;1}$	$\frac{\sigma_2}{\beta} p_{0;2}$	$\frac{\alpha_1 \sigma_1 \alpha_2 \sigma_2}{\beta} p_{ex;1}$	$(1 - \sigma_1 \alpha_1^+) \frac{\sigma_2 \alpha_2}{\beta} G_2$	$-\frac{\sigma_2 \alpha_2^+}{\beta} p_{ex;3}$
Dabei ist: $\beta = 1 - \sigma_1 \cdot \alpha_1^+ \cdot \sigma_2 \cdot \alpha_2$					

Tabelle B.4 — Charakteristische Werte variabler und dauerhafter Einwirkungen für alle Glasscheiben

	Klimalast	Externe Last, Glasscheibe 1 $p_{ex;1}$	Eigengewicht, Glasscheibe 2 G_2	Glasscheibe 3 $p_{ex;3}$
pres;1	$-\Delta p_{1;1} - \Delta p_{1;2}$	$p_{ex;1} - \Delta p_{1;3}$	$-\Delta p_{1;4}$	$-\Delta p_{1;5}$
pres;2	$\Delta p_{1;1} + \Delta p_{1;2} - \Delta p_{2;1} - \Delta p_{2;2}$	$\Delta p_{1;3} - \Delta p_{2;3}$	$G_2 + \Delta p_{1;4} - \Delta p_{2;4}$	$\Delta p_{1;5} - \Delta p_{2;5}$
pres;3	$\Delta p_{2;1} + \Delta p_{2;2}$	$\Delta p_{2;3}$	$\Delta p_{2;4}$	$\Delta p_{2;5} + p_{ex;3}$

BEISPIEL

Parameter:

Gefälle 45°, Größe $a = 660 \text{ mm} \times b = 2\,200 \text{ mm}$.

Lasten: Wind $p_{ex;1;W} = 0,8 \text{ kN/m}^2$, Schnee $p_{ex;1;S} = 0,6 \text{ kN/m}^2$, isochorer Druck (Winter) $p_{0;1} = -4,3 \text{ kN/m}^2$, $p_{0;2} = -5,8 \text{ kN/m}^2$.

Aufgrund des Gefälles beträgt die effektive Schneelast $p_{ex;1;S} = 0,6 \times (\cos(45))^2 = 0,3 \text{ kN/m}^2$

Dicken: $h_1 = 6 \text{ mm}$ Glas, $s_1 = 12 \text{ mm}$ Scheibenzwischenraum, $h_2 = 4 \text{ mm}$ Glas, $s_2 = 12 \text{ mm}$ Scheibenzwischenraum, $h_3 = 8,8 \text{ mm}$ Glas.

Für die folgende Berechnung wird Verbundglas mit den Maßen $2 \times 4 \text{ mm}$ und einer Zwischenschicht mit niedrigem Elastizitätsmodul angenommen, die einen Koeffizienten zur Übertragung von Schubkräften mit dem Wert 0 und eine wirksame Dicke von 5,04 mm hat.