

TW Glas



Foto: Christoph Reichelt

Bemessungsprogramm für Verglasungen

DIN 18008-2 Linienförmige Lagerung
DIN 18008-3 Punktförmige Lagerung
DIN 18008-4 Absturzsichernde Verglasung
DIN 18008-5 Begehbare Verglasung

ÖNorm B 3716
TRLV, TRAV
Shen/Wörner
Individuelles Konzept (international)

Handbuch 09/2021

Glas bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Architektur, und wie kein anderer erlebte dieser Baustoff in den vergangenen Jahrzehnten einen enormen Innovationsschub. Für den Planer bedeutet dies die kontinuierliche Auseinandersetzung mit diesem Hochleistungsmaterial [1].

TW Glas ist ein Hilfsmittel für die Berechnung und prüffähige Bemessung von Verglasungen. Die Softwarelösung entstand aus den Erfahrungen unserer langjährigen Ingenieur Tätigkeit. Sowohl Einfach-, Verbund- und Mehrscheiben-Isolierglas mit unterschiedlichem Aufbau und Geometrie sind nachweisbar.

TW Glas unterstützt:

- Architekten bei der Vordimensionierung,
- Glashersteller bei der Beratung,
- Ingenieure bei der detaillierten Nachweisführung,
- Fassadenplaner bei der Optimierung,
- Prüfsachverständige bei der unabhängigen Vergleichsrechnung,
- Glaserhandwerker bei der Planung,
- Gutachter zur Analyse spezieller Problemstellungen,
- Studenten und Wissenschaftler bei Forschung und Lehre.

Durch den in TW Glas integrierten Katalog möglicher Verglasungen mit allen benötigten Kennwerten steht eine jederzeit aktualisierbare Stammdatenbank zur Verfügung. Hinweise und Festlegungen aus Normen und Richtlinien sowie Herstellerangaben sind somit abrufbar.

Für die Berechnung der Verformungen und Spannungen benutzt TW Glas die Finite-Elemente-Methode. Somit sind beliebige Einwirkungssituationen mit unterschiedlichen Lastbildern, bestehend aus Punkt-, Linien-, Teilflächen-, Flächen- und Klimlasten analysierbar.

Bei Isolierverglasungen mit mehreren Scheibenzwischenräumen führt TW Glas die Berechnung für Klimlasten mit dem exakten Verfahren der thermischen Zustandsgleichung des idealen Gases durch.

TW Glas lässt sich als Individualsoftware an außergewöhnliche Anforderungen anpassen. Für Ihre Hinweise zur Weiterentwicklung sind wir Ihnen sehr dankbar.

TragWerk Software
Döking + Purtak GbR
Prellerstraße 9
01309 Dresden

Tel. 0351/ 433 08 50
Fax 0351/ 433 08 55
e-mail info@tragwerk-software.de

Ansprechpartner:
Dr.-Ing. Frank Purtak
Dipl.-Ing. Thomas Gröschke

Inhalt

1	Einführung	5
1.1	Systemanforderungen	5
1.2	Installation	5
1.3	Freischaltung des Dongle (Hardlock) für Nachlizenzierung	6
1.4	Software-Lizenzmodell	6
1.5	Support	6
1.6	Symbole	7
2	Formelzeichen, Abkürzungen und Festlegungen	8
3	Programmbeschreibung	10
3.1	Position anlegen	10
3.2	Berechnungsvorschrift	10
3.3	Geometrie	11
3.4	Glasaufbau	13
3.5	Lagerung von Rändern	17
3.6	Verbundverhalten der Verbundsicherheitsverglasung (VSG)	20
3.7	Randverbund bei Isoliergläsern	23
3.8	Einwirkungen	25
3.9	Lasten	28
3.10	Modifikationsbeiwert k_{mod}	44
3.11	Einwirkungskombinatorik	48
3.12	Finite-Elemente-Modell	52
4	Nachweis der Tragfähigkeit	54
4.1	TRLV	54
4.2	DIN 18008-2 Linienförmige Lagerung	55
4.3	DIN 18008-3 Punktförmige Lagerung	56
4.4	ÖNorm B 3716	57
4.5	Shen/Wörner	59
4.6	Individuelles Konzept	60
4.7	Sonstige Nachweise	61
5	Nachweis der Stoßsicherheit	63
5.1	TRAV - Nachweis der Tragfähigkeit unter stoßartigen Einwirkungen	63
5.2	DIN 18008-4 Absturzsichernde Verglasung	66
5.3	Nichtlinear transiente Berechnung	67
6	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	68
6.1	Nachweis der Durchbiegungen	68
6.2	Nachweis des Scheibenabstandes bei Isolierglas	69
7	Glasdicken-Optimierung	70
8	Ergebnisse	72
8.1	Visualisierung	72
8.2	Nachweise	74

9	Ausgabe	76
9.1	Vorschau	77
9.2	Drucken und Exportieren	77
10	Literatur	78
10.1	Normen, Vorschriften und Richtlinien (Kurzbezeichnung)	78
10.2	Literatur im Handbuch zitiert	83

1 Einführung

1.1 Systemanforderungen

TW Glas ist getestet auf Systemen mit folgender Mindestanforderung:

- Betriebssystem ab Windows XP,
- Bildschirmauflösung von 1024 x 768 Pixel,
- Computer mit Chipsatz ab dem Jahr 2007.

1.2 Installation

Gelieferte CD in das CD-Laufwerk legen und den Installer TWSolution*.exe starten (sofern die Autostart-Funktion abgeschaltet ist) - Installationsanweisungen folgen!

Den Dongle-Treiber bitte für die Nutzung der Vollversion installieren.



Zur Installation des Netzwerk-Dongles führen Sie das Setup auf dem Server aus und wählen während der Installation des Dongle-Treibers die Option: „Netzwerk-Dongle“.

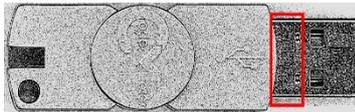


1.3 Freischaltung des Dongle (Hardlock) für Nachlizenzierung

TW Glas ohne Dongle ist eine Vollversion mit einer Flächenbegrenzung. Alle mitgelieferten Positionen (Templates) sind auch ohne Dongle voll funktionsfähig.

Für die uneingeschränkte Nutzung (Vollversion) ist ein Dongle erforderlich.

Bitte senden Sie uns die Dongle-Nr. (roter Kasten) ihres Schutzsteckers an die Adresse: support@twsolution.de zu.



Wir senden Ihnen umgehend die Freischaltung des Dongle. Die Freischaltdatei ist mit „Doppelklick“ zu aktivieren. Damit wird der Dongle freigeschalten.

1.4 Software-Lizenzmodell

TW Glas lässt sich auf verschiedene Weise installieren:

- Einzelplatzlizenz (Workstation),
- Netzwerklizenz (Bürolizenz),

und lizenzieren:

- Single-User,
- Multi-User,
- Software als Service.

Der Software-Service ist innerhalb von 3 Arbeitstagen nach Installation und Administration benutzbar. Die Mindestnutzungsdauer beträgt 1 Monat.

TW Glas lässt sich jederzeit kostenfrei über das Hilfemenü updaten. Die Neuerungen der „patches“ (Versionspflege) sind beschrieben. Für die Zusendung per CD stellen wir 5,00 EUR zuzüglich Versandkosten in Rechnung.

1.5 Support

Während der Geschäftszeiten ist ein telefonischer Support unter [Tel. 0049/ \(0\)351/ 4338050](tel:0049-351-4338050) möglich.

Jederzeit ist eine Unterstützung über die E-Mail-Adresse: support@twsolution.de mit einer Reaktionszeit bis zum nächsten Arbeitstag vorhanden.

Weiterhin unterstützt TragWerk alle Kunden mit dem [Teamviewer](http://www.teamviewer.com) (<http://www.teamviewer.com>), dessen kostenfreie Installation Voraussetzung ist. Der Kunde sieht direkt auf seinem Bildschirm die [Fernwartung](#) bzw. Bedienung durch TragWerk.

1.6 Symbole

Im Handbuch verwendete Symbole:

 Information,

 Tipp,

 Beispiel.

2 Formelzeichen, Abkürzungen und Festlegungen

Festlegungen nach verschiedenen Normen

Vertikalverglasung	Neigung $\leq 10^\circ$ bzw. $\leq 15^\circ$ zur Vertikalen
Horizontalverglasung	Neigung $> 10^\circ$ bzw. $> 15^\circ$ zur Vertikalen

Abkürzungen

SPG	Spiegelglas (alte Bezeichnung, nun Floatglas)
Float	Floatglas
VG	Verbundglas mit Verbund aus z. B. Gießharz
GH	Gießharz
VSG	Verbundsicherheitsglas mit Verbund aus PVB
PVB	Polyvinylbutyral (reißfeste Verbundfolie)
ESG	Einscheibensicherheitsglas (voll vorgespannt)
ESG-H	Einscheibensicherheitsglas mit Heißlagerungstest
TVG	Teilvorgespanntes Glas
MIG	Mehrscheiben-Isolierglas aus Einfachgläsern
MIG mit VSG	Mehrscheiben-Isolierglas mit VSG
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
NN	Höhe „Normal-Null“ (Bezugshöhe über Meeresspiegel)

Formelzeichen

x, y, z	Koordinaten im globalen Koordinatensystem
r, s, t	Koordinaten im lokalen Koordinatensystem
d, a, b	Geometriewerte
α_x, α_y	Neigung der Verglasung um globale Achse
c_t	Federsteifigkeit
w	charakteristischer Wert der Windlast
c_p	aerodynamischer Beiwert (Formbeiwert)
$c_{p,1}$	aerodynamischer Beiwert für Fläche von 1 m ²
$c_{p,10}$	aerodynamischer Beiwert für Fläche ab 10 m ²
q	Geschwindigkeitsdruck für die Bezugshöhe z
z	Bezugshöhe
s_i	Schneelast bezogen auf die Grundfläche
s_k	charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Boden
μ_i	Formbeiwert der Schneelast
T	Temperatur
ΔT	Temperaturdifferenz
ΔT_{add}	Temperaturdifferenz additiv zu ΔT
Δp_{met}	Differenz des meteorologischen Luftdrucks
ΔH	Höhendifferenz
p_0	isochorer Druck
E_d	Bemessungswert der Beanspruchung (z. B. Spannungen)

R_d	Bemessungswert des Tragwiderstandes (z. B. Spannungen)
γ	Sicherheitsbeiwert
ψ	Kombinationsbeiwert für Einwirkungen
k_c	Beiwert zur Berücksichtigung der Konstruktion
k_{mod}	Modifikationsbeiwert zur Berücksichtigung der Lasteinwirkungsdauer
σ_S	vorhandene Spannungen
σ_R	charakteristische Zugfestigkeit
σ_{zul}	zulässige Spannungen
ρ	Dichte
g	Erdbeschleunigung
E	Elastizitätsmodul (E-Modul)
μ	Querdehnzahl
f_l	Abminderungsfaktor der charakteristischen Festigkeit f_k (z. B. bei Emaillierung)
f_k	charakteristische Festigkeit (Vertrauensniveau 0,95 und Bruchwahrscheinlichkeit 5%)
t	Zeit
F	Kraft
f	Linienlast
G	Schubmodul für Verbundschicht (abhängig von T und t)
U_g	Wärmedurchgangskoeffizient

3 Programmbeschreibung

TW Glas führt eine Glasdickenbemessung für allgemeine Verglasungen durch. Bei Verbundgläsern erlaubt TW Glas mit den realen Werten zum Schubmodul der Verbund-Schicht eine sichere Bemessung und zudem kostengünstige Ausführung.

3.1 Position anlegen

Über den Menüpunkt Datei (Bild 1) lassen sich die Berechnungs-Positionen verwalten. Nach Anwahl [Neu...] wählt man das gewünschte Berechnungsmodul aus.

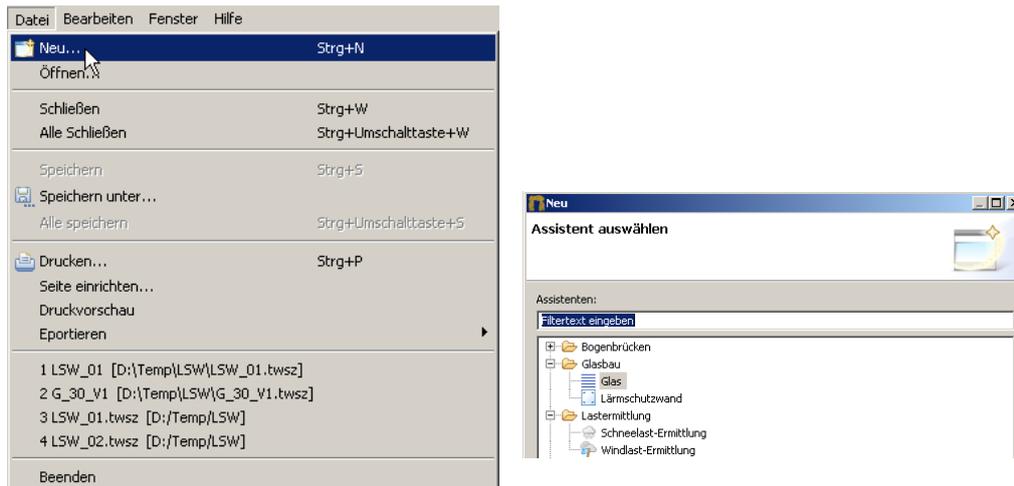


Bild 1: Position anlegen

3.2 Berechnungsvorschrift

Wahl der Berechnungsvorschrift (Bild 2) für den statischen Nachweis:

- TRLV, TRAV [2, 3]
- DIN 18008 [4, 5, 6, 7]
- ÖNORM B 3716-1 [8, 9, 10, 11]
- Shen/Wörner [12]
- Individuelles Konzept

Beim Nachweis nach „Norm“ wird die Einwirkungs-Kombinatorik (EWK) von TW Glas automatisch durchgeführt. Beim Nachweisverfahren nach Shen/Wörner und dem Individuellen Konzept lassen sich die Einwirkungs-Kombinationen auch frei definieren.



Bild 2: Wahl des Nachweisverfahrens

3.3 Geometrie

Die Verglasung ist in der x-y-Ebene ein Kreis bzw. Polygon (Bild 3). Die Koordinaten sind gegen den Uhrzeigersinn einzugeben. Die Bezeichnung der Ränder beginnt mit dem Anfangsknoten. Der Knoten 1 (Bild 4) liegt im Koordinatenursprung ($x=y=0$) und der Knoten 2 auf der x-Achse.

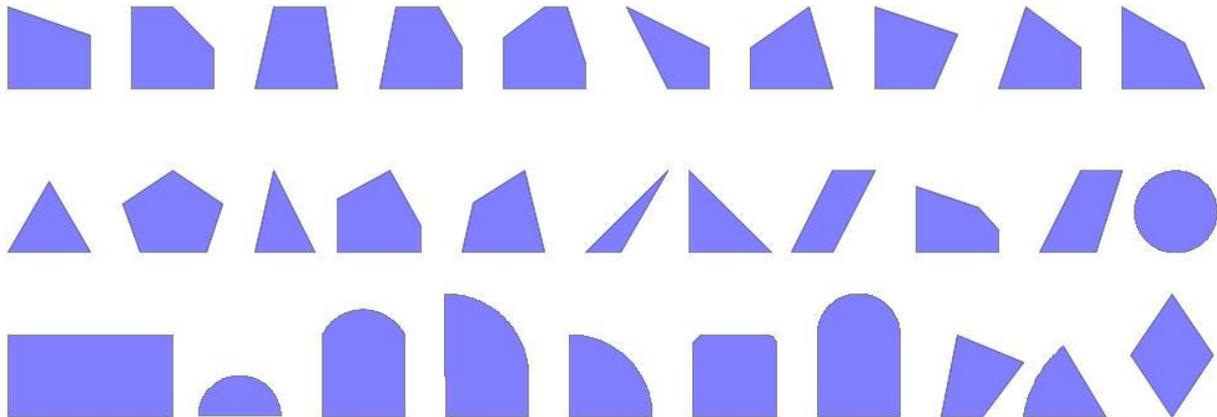


Bild 3: Beispiele möglicher Geometrien

Eine Übersicht über die Vielfalt von Modellscheiben bieten die Hersteller, z. B. [13].

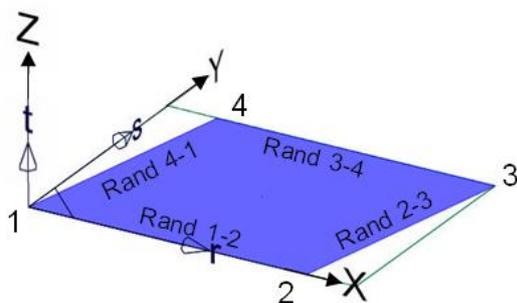


Bild 4: Geometrieeingabe in der x-y-Ebene

Bei einer Längsneigung (z. B. schräges Fensterband) lässt sich auch ein Parallelogramm modellieren. Die Verglasungsebene wird dann zuerst um die x-Achse und dann um die y-Achse geneigt.

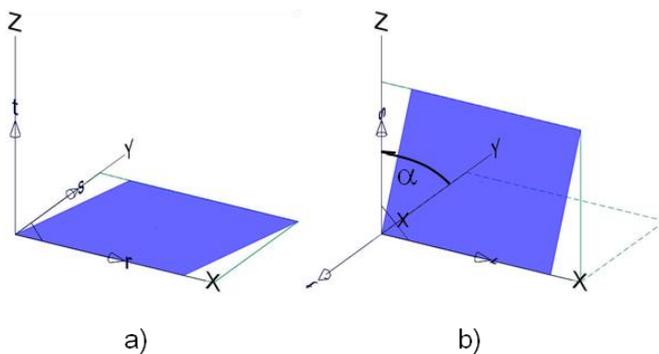


Bild 5: Neigung der Verglasungsebene
 a) Definitionsebene x-y der Geometrie (entspricht der lokalen r-s-Ebene)
 b) Neigung um die x-Achse, $\alpha_x = 90^\circ$ entspricht Vertikalverglasung

Bild 6 zeigt die Eingabe. Die Geometrie in der globalen x-y-Ebene entspricht vor dem Drehen der lokalen r-s-Ebene.

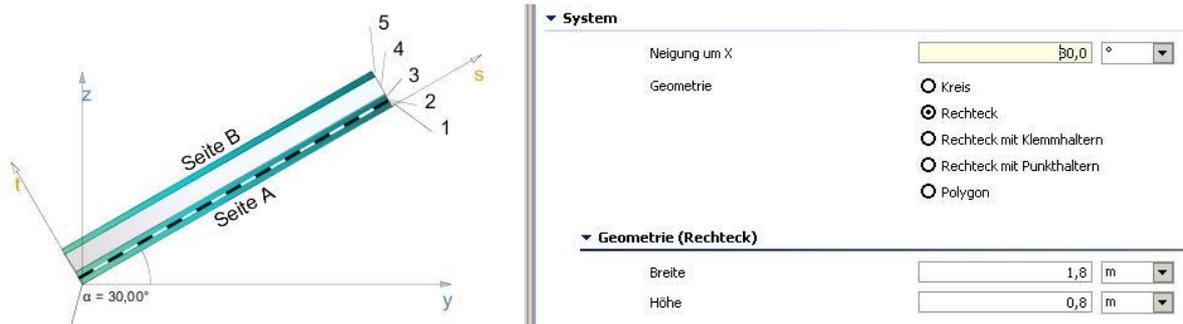


Bild 6: Eingabe der Neigung der Verglasungsebene

Entsprechend der Vorschriften sind bestimmte Restriktionen für Horizontalverglasungen (Überkopfverglasungen) zu beachten:

TRLV Horizontalverglasungen

Absatz 3.2.2: „VSG-Scheiben aus SPG und/oder aus TVG mit einer Stützweite größer 1,2 m sind allseitig linienförmig zu lagern. Dabei darf das Seitenverhältnis nicht größer als 3:1 sein.“

Absatz 3.2.5: „Drahtglas ist nur bei einer Stützweite in Hauptrichtung bis zu 0,7 m zulässig und der Glaseinstand muss mindestens 15 mm betragen.“

DIN 18008-2

Anhang B.1.2: Bei Überkopfverglasungen sind VSG Scheiben mit einer Stützweite von mehr als 1,2 m allseitig zu lagern.

ÖNORM B 3716-1

keine Einschränkungen

Shen/Wörner

keine Einschränkungen

Individuelles Konzept

keine Einschränkungen

3.4 Glasaufbau

TW Glas berechnet Verglasungen mit bis zu 21 Schichten (beispielhaft nach Bild 7) definierbar, womit auch vielschichtige Brandschutzverglasungen analysierbar sind.

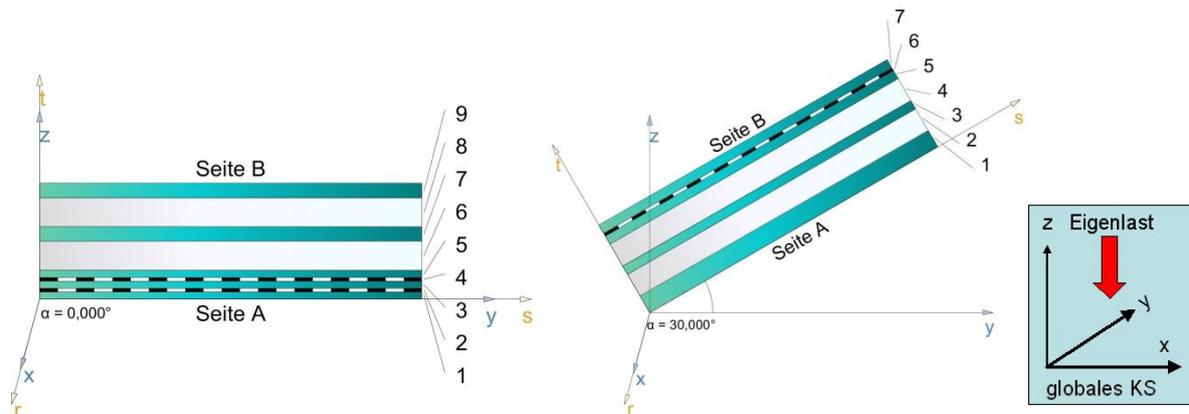


Bild 7: Schichtenaufbau und Neigung

Die einzelnen Schichten sind in der Stammdatenbank hinterlegt und individuell erweiterbar:

- Glasart,
- Verbund,
- Scheibenzwischenraum.

Für die **Glasart** ist beispielsweise zu wählen:

- Floatglas („Spiegelglas“),
- TVG (teilvergesspanntes Glas),
- ESG (voll vorgesspanntes Glas),
- ESG-H₁ (ESG mit Heißlagerungstest [14] oder „Heat-Soak-Test“),
- Drahtglas,
- Gussglas (z. B. Ornamentglas).

Die **Verbund**schicht ist in der Regel eine PVB-Folie (Polyvinylbutyral) oder ein Gießharz.

Der **Scheibenzwischenraum** (SZR) bei Isoliergläsern ist gewöhnlich mit Luft, Argon, Krypton, Xenon oder einem Gasgemisch gefüllt. Bild 8 zeigt am Beispiel die verbesserten Wärmedurchgangskoeffizienten bei größeren Scheibenzwischenräumen bis ca. 16 mm und der verwendeten Gasfüllung.

I Die Dicke des Isolierglases lässt sich durch die Verwendung höherwertiger Gase reduzieren. Dies kann bei 3-Scheiben-Isoliergläsern interessant sein, um die max. Klemmdicken in den Fassadenprofilen einzuhalten.

¹ Minimiert das Risiko eines Spontanbruchs durch Nickelsulfid-Einschlüsse: Die zu prüfenden ESG-Scheiben werden kontrolliert auf mindestens 280°C erhitzt und mindestens vier Stunden (international zwei Stunden) lang bei dieser Temperatur gelagert. Danach sind alle Scheiben bei Kantenverletzungen mit einer Tiefe über 5% der Glasdicke auszusortieren.

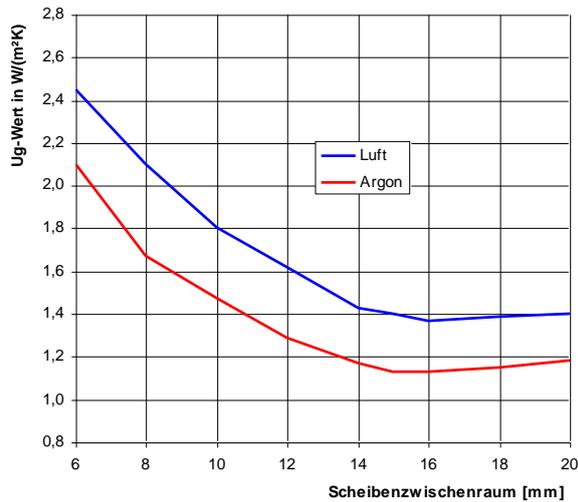


Bild 8: Wärmedurchgangskoeffizient (U_g) in Abhängigkeit von SZR und Gasfüllung [15]

Nach gewählten Vorschriften, Länderbauordnungen und Herstellerangaben gelten bestimmte Anwendungsbereiche für Verglasungen (Beispiele nach Tabelle 1).

Tabelle 1: Anwendungsbereiche

	Floatglas	TVG	ESG
Eigenschaften			
Biegezugfestigkeit	45 N/mm ²	70 N/mm ²	120 N/mm ²
Temperaturdifferenz-Beständigkeit über die Scheibenfläche	40 K	100 K	200 K
Schneiden	ja	nein	nein
Bruchbild	radiale Risse, große Stücke	radiale Anrisse, große Stücke	netzartige Risse, kleine Stücke
Spontanbruch möglich	nein	nein	ja
Vertikalverglasung			
ohne Sicherheitsanforderungen			
mit Sicherheitsanforderungen			
erhöhte mechanische Beanspruchung			
erhöhte thermische Beanspruchung			
Reststandsicherheit bei allseitiger Lagerung			
Horizontalverglasung			
Außenscheibe			
Innenscheibe monolithisch	unzulässig	unzulässig	unzulässig
Innenscheibe VSG (Resttragfähigkeit) bestehend aus 2 x			unzulässig
Umwehungen			
monolithisch			
VSG bestehend aus 2 x			
VSG mit Resttragfähigkeit bestehend aus 2 x			

Anwendung

Mit der Wahl der Glasdicken sind auch die Eigenschaften festzulegen. Für die statische Berechnung sind folgende Materialkennwerte notwendig:

B Beispiel ESG:

Dichte: $\rho = 2,5 \text{ kg/m}^3$
 E-Modul: $E = 70.000 \text{ N/mm}^2$
 Querdehnzahl: $\mu = 0,23$
 Charakteristische Festigkeit: $f_k = 120 \text{ N/mm}^2$

Die Vorbelegung bzw. Katalogwahl darf individuell angepasst werden.

Schichten

Nummer	Typ	Material	Dicke	
1	Glas	TVG	6,0	mm
2	SZR	Floatglas	16,0	mm
3	Glas	TVG	6,0	mm
4	Verbund	ESG	1,52	mm
5	Glas	ESG-H	12,0	mm

Glas

Bezeichnung:

Charakteristische Festigkeit:

k₁:

Gamma_M:

E-Modul:

Querdehnzahl:

Dichte:

Temperatur-Ausdehnungskoeffizient:

Wärmeleitzahl:

Optimierung

Schichten

Nummer	Typ	Material	Dicke	
1	Glas	TVG	6,0	mm
2	SZR		16,0	mm
3	Glas	TVG	6,0	mm
4	Verbund		1,52	mm
5	Glas	TVG	12,0	mm

Verbund

Bezeichnung:

Dichte:

Temperatur-Ausdehnungskoeffizient:

Wärmeleitzahl:

Schichten

Nummer	Typ	Material	Dicke	
1	Glas	TVG	6,0	mm
2	SZR		16,0	mm
3	Glas	TVG	6,0	mm
4	Verbund		1,52	mm
5	Glas	TVG	12,0	mm

SZR

Bezeichnung:

Bild 9: Eingabe des Schichtenaufbaus mit Glas, Verbund, SZR

I Die Verbund-Schicht ist mit deren Dicke festzulegen. Die Dicke geht bei Wahl mit „Vollem Verbund“ in die Gesamtglasdicke ein. Bei Wahl „Nachgiebiger Verbund“ ist der Schubmodul bei der Einwirkung anzugeben, weil dieser neben der Temperatur auch von der Einwirkungsdauer abhängig ist.

3.4.1 Katalog

TW Glas nutzt eine Stammdatenbank mit allen Angaben zu den Schichten und Aufbauten. Im Schichtenkatalog werden alle zu verwendenden Schichten (Bild 10)

- Glasart,
- Verbund,
- Scheibenzwischenraum

eingetragen. Die Schichten stehen damit für die Zusammenstellung der Aufbauten zur Verfügung.

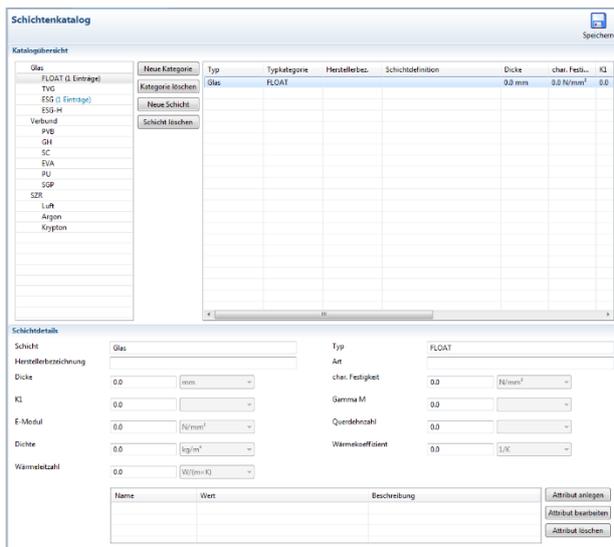


Bild 10: Katalogbearbeitung der Schichten

Die Aufbauten (Verglasungen Bild 11) bestehen beispielsweise aus:

- Einfachglas,
- Verbundglas,
- Isolierglas aus Einfachglas,
- Isolierglas aus Verbundglas.

Die Stammdaten lassen sich bei der Positionsbearbeitung herauskopieren.

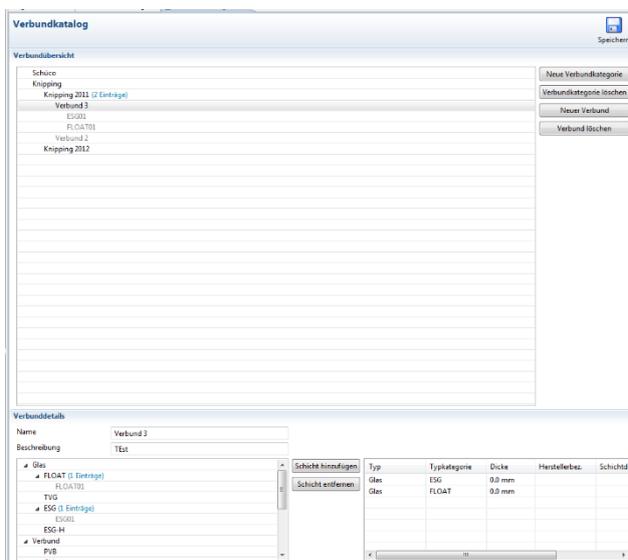


Bild 11: Katalogbearbeitung zum Aufbau der Verglasungen

3.5 Lagerung von Rändern

Die Verglasungen lassen sich eingespannt, gelenkig, frei oder mit Federn lagern (Bild 12).

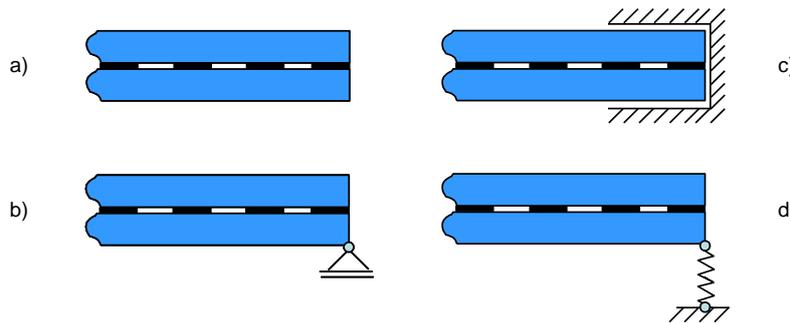


Bild 12: Randlagerung

- a) frei
- b) gelenkig gelagert
- c) eingespannt
- d) federgelagert

Bei der Federlagerung senkrecht zur Verglasung wird eine Federsteifigkeit c_t als Eingabe abgefragt (Bild 13). Die Größe ist problemabhängig und liegt zwischen:

- $c_t = 0$ (freier Rand) und
- $c_t = 1E20$ (unverschieblich in t-Richtung, also gelenkige Lagerung).

T Bei Verglasungen mit Polygonform und sehr spitzen oder stumpfen Winkeln sollten die Ränder federgelagert werden, damit keine numerischen Spannungsspitzen in den Eckknoten als maßgebend ausgewertet werden. Die Federsteifigkeit ist vereinfachend so zu wählen, dass sich die maximale Durchbiegung der Verglasung nicht wesentlich verändert.

Glas						
Eingabe	Nachweis	FE-Visualisierung	Ausgabe	Vorschau		
Name	Startpunkt	Endpunkt	Lagerung	f_t		
1-2	1	2	Gelenkig	-		
2-3	2	3	Gelenkig	-		
3-4	3	4	Frei	-		
4-1	4	1	Feder	1000,0	kN/m	
			Eingespannt			
			Gelenkig			
			Frei			
			Feder			

Bild 13: Definition der Ränder

3.5.1 Hinweise zu Lagerungen

Die Angaben der Hersteller z. B. [24]: „...bei Brandschutzgläsern hat sich ein Anpressdruck von 20 N/cm Scheibenrand bewährt“, sind bei der Ausführung zu berücksichtigen.

DIN 18008-2

Absatz 4.3: „Monolithische Einfachgläser aus grob brechenden Glasarten (z. B. Floatglas, TVG, gezogenem Flachglas, Ornamentglas) und Verbundglas (VG), deren Oberkante mehr als 4 m über Verkehrsflächen liegt, dürfen nur verwendet werden, wenn sie allseitig gelagert sind.“

3.5.2 Lagerung mit Klemmhaltern

Für die Anordnung von Klemmhaltern wird der Rand durch eine entsprechende Anzahl von Polygonpunkten definiert. Im Randabschnitt des Klemmhalters wird dieser vorzugsweise durch eine Federlagerung gehalten. Dadurch werden Spannungsspitzen im Gegensatz zur unrealistischen unverschieblichen Lagerung vermieden.

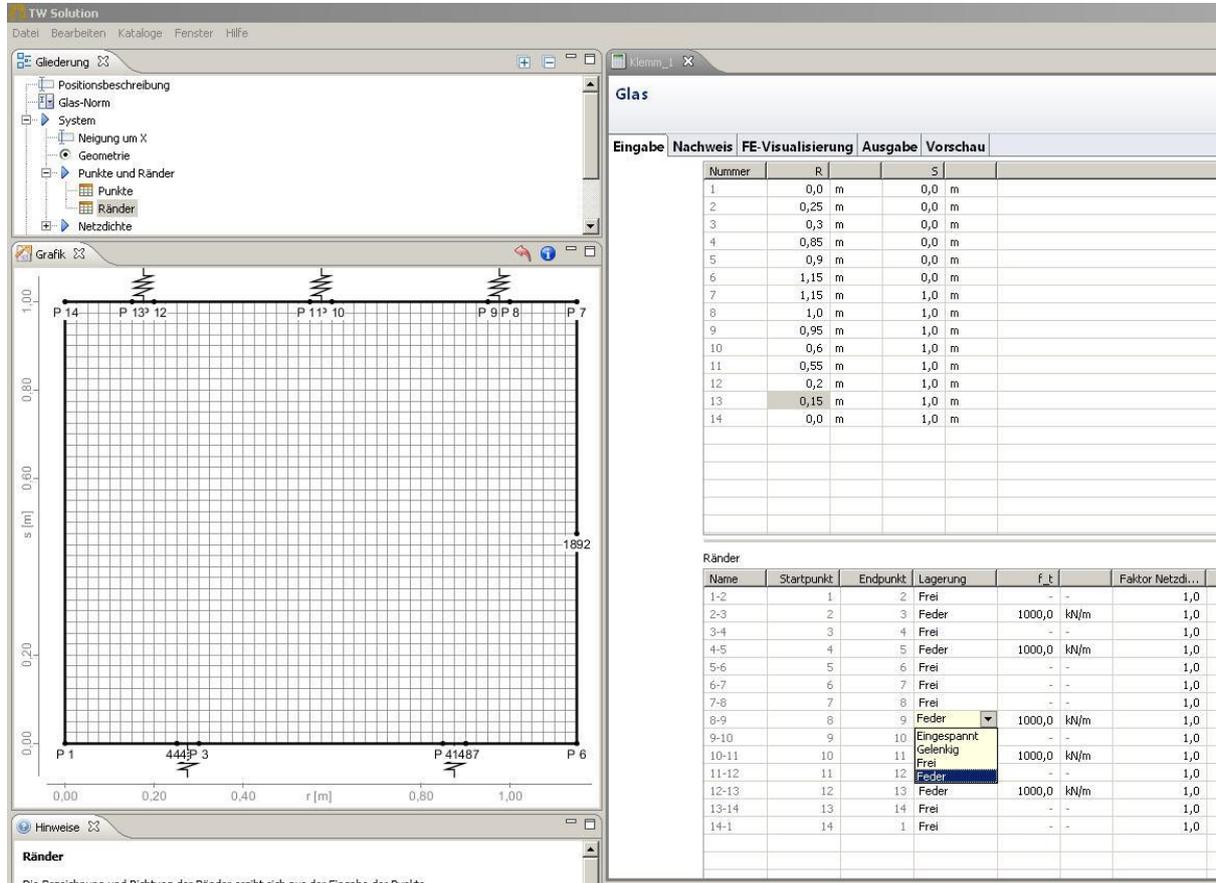


Bild 14: Individuelle Eingabe von Klemmhaltern (Darstellung der Federlager „herausgeklappt“)

3.5.3 Lagerung mit Punkthaltern

Punkthalter innerhalb der Verglasung werden mit dem realen Bohrloch berücksichtigt. Die Punkthalter sind mit einer „weichen“ Zwischenschicht (z. B. Elastomer) vom Glas zu entkoppeln. Mit den Werten zu Dicke und E-Modul der Zwischenschicht werden gleichwertige Federelemente automatisch im Modell eingebaut.

Jeder Punkthalter ist über Federsteifigkeiten an die Unterkonstruktion zu koppeln.

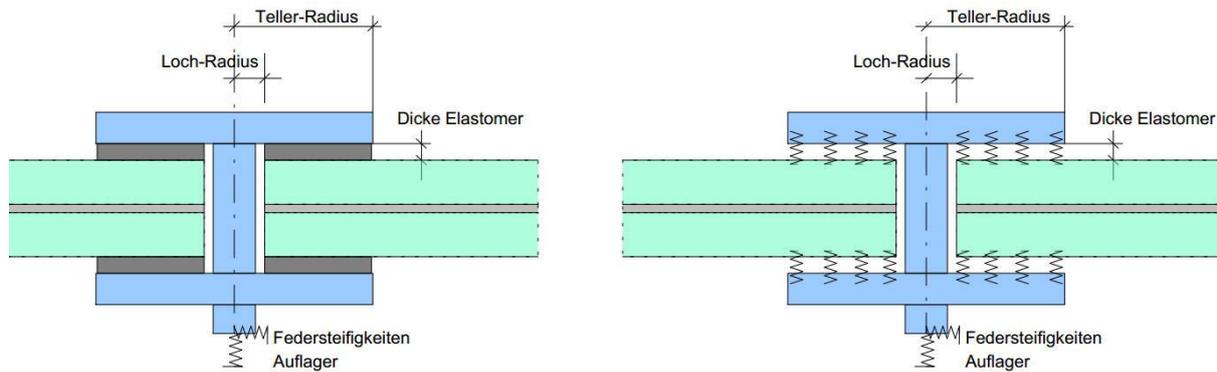


Bild 15: Punkthalter-Modell, Federmodell als Verknüpfung Punkthalter-Glas

Die Spannungsspitzen entwickeln sich im Lochbereich. Daher muss hier das FE-Netz entsprechend feiner ausgebildet sein, damit die Spannungsgradienten deutlich werden.

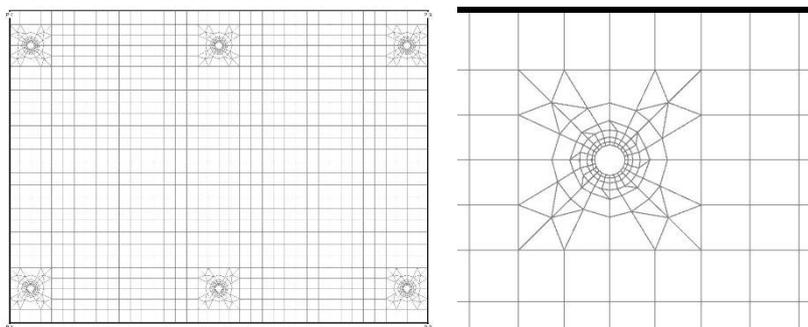


Bild 16: FE-Netz mit vergrößertem Lochbereich

3.6 Verbundverhalten der Verbundsicherheitsverglasung (VSG)

Das Verbundverhalten der z. B. PVB-Schicht zwischen den einzelnen Glasschichten bestimmt wesentlich den Durchbiegungs- und Spannungszustand der Verglasung. Durch den temperatur- und lastdauerabhängigen Schubmodul der Verbund-Schicht liegen die realen Ergebnisse zwischen den Grenzwerten:

- „ohne Verbund“ und
- „voller Verbund“.

TRLV

Die Nachweise bei VSG sind „ohne Verbund“ und bei vertikalen Isolierverglasungen mit VSG (Neigung von $\leq 10^\circ$ gegen die Vertikale) zusätzlich mit „vollem Verbund“ nachzuweisen.

DIN 18008-2

Siehe TRLV

Anhang B.1.2: „Die Nenndicke der Zwischenfolie von VSG muss mindestens 0,76 mm betragen. Bei allseitiger Lagerung von Scheiben mit einer maximalen Stützweite in Haupttragrichtung von 0,8 m darf auch eine Zwischenfolie mit einer Nenndicke von 0,38 mm verwendet werden.“

ÖNorm B 3716-1

Die Nachweise bei VSG sind „ohne Verbund“ und bei vertikalen Isolierverglasungen mit VSG (Neigung von $\leq 15^\circ$ gegen die Vertikale) zusätzlich mit „vollem Verbund“ nachzuweisen.

Bei VSG in Vertikalverglasungen (Neigung von $\leq 15^\circ$ gegen die Vertikale) darf bei kurzzeitigen Einwirkungen ein Schubmodul von $G = 0,4 \text{ N/mm}^2$ unabhängig von der Temperatur (Bild 17) angesetzt werden.

Shen/Wörner

Der Schubmodul ist wählbar zwischen den Grenzwerten „ohne Verbund“ und „vollem Verbund“.

Individuelles Konzept

Der Schubmodul ist wählbar zwischen den Grenzwerten „ohne Verbund“ und „vollem Verbund“.

3.6.1 VSG ohne Verbund

Die PVB-Schicht wird theoretisch für Schubbeanspruchung als komplett nachgiebig angenommen. Dieser Zustand wird bei höheren Temperaturen und längerer Lasteinwirkung erreicht. Dazu zählt beispielsweise die Eigenlast, wenn der Einbauwinkel von der Vertikalen abweicht. Eine aufgezwungene Verformung bewirkt ständige Zwängungsspannungen, die sich bei Erwärmung allmählich gegen den Grenzwert „ohne Verbund“ abbauen.

B Beispiel VSG 8/8 aus: 8 ESG / 1,52 PVB / 8 ESG

Die Ersatzdicke für Gegenrechnungen mit „Hand“ beträgt 8 mm bei der Hälfte der Einwirkungen (oberer Grenzwert für Verformungen).

3.6.2 VSG mit nachgiebigem Verbund

Die PVB-Schicht hat eine definierte Schubsteifigkeit. Der Schubmodul ist dabei abhängig von der Lasteinwirkungsdauer und der Temperatur. Somit muss für jede Einwirkung ein entsprechender Schubmodul nach Bild 17 ausgewählt und nach Bild 18 zugeordnet werden.

Den Werten liegen folgende Beziehungen zugrunde:

$$T \leq 10^\circ\text{C} \quad G = 2,0 - 0,2 \log(t)$$

$$T = 15^\circ\text{C} \quad \text{Beziehung wie bei } T > 20^\circ\text{C} \text{ gesetzt}$$

$$T > 20^\circ\text{C} \quad G = 0,008(100-T) - 0,0011(50+T)\log(t)$$

		Temperatur													
		T in [°C]													
	Beispiel	Zeit t in [sec]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
1 sec		1	2,00	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24
		2,5	1,92	0,65	0,61	0,57	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,31	0,27	0,23	0,19
5 sec	Windböe	5	1,86	0,63	0,59	0,54	0,50	0,45	0,41	0,37	0,32	0,28	0,24	0,19	0,15
		7	1,83	0,62	0,57	0,53	0,49	0,44	0,40	0,35	0,31	0,26	0,22	0,17	0,13
10 sec	Windböe	10	1,80	0,61	0,56	0,52	0,47	0,43	0,38	0,34	0,29	0,24	0,20	0,15	0,11
1 min		60	1,64	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,06	0,01
2 min		120	1,58	0,53	0,48	0,43	0,38	0,33	0,27	0,22	0,17	0,12	0,07	0,02	
		140	1,57	0,53	0,47	0,42	0,37	0,32	0,27	0,22	0,16	0,11	0,06	0,01	
5 min		300	1,50	0,50	0,45	0,40	0,34	0,29	0,23	0,18	0,13	0,07	0,02		
		400	1,48	0,49	0,44	0,39	0,33	0,28	0,22	0,17	0,11	0,06	0,01		
10 min	Wind	600	1,44	0,48	0,43	0,37	0,32	0,26	0,20	0,15	0,09	0,04			
		800	1,42	0,47	0,42	0,36	0,30	0,25	0,19	0,14	0,08	0,02			
		1000	1,40	0,47	0,41	0,35	0,30	0,24	0,18	0,13	0,07	0,01			
		1500	1,36	0,45	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,11	0,05	-0,01			
1 h		3600	1,29	0,43	0,37	0,31	0,25	0,19	0,13	0,07	0,01				
		6000	1,24	0,41	0,35	0,29	0,23	0,17	0,11	0,05					
		12000	1,18	0,39	0,33	0,26	0,20	0,14	0,08	0,01					
		24000	1,12	0,37	0,30	0,24	0,17	0,11	0,05						
		50000	1,06	0,34	0,28	0,21	0,15	0,08	0,01						
1 Tag		86400	1,01	0,33	0,26	0,19	0,13	0,06							
2 Tage		172800	0,95	0,31	0,24	0,17	0,10	0,03							
3 Tage		259200	0,92	0,29	0,22	0,15	0,08	0,01							
1 Woche		604800	0,84	0,27	0,19	0,12	0,05								
3 Wochen		1814400	0,75	0,23	0,16	0,08	0,01								
1 Monat		2419200	0,72	0,22	0,15	0,07									
		4112640	0,68	0,21	0,13	0,05									
2 Monate		4838400	0,66	0,20	0,13	0,05									
3 Monate	Schnee	7257600	0,63	0,19	0,11	0,03									
6 Monate		14515200	0,57	0,17	0,09	0,01									
1 Jahr		29030400	0,51	0,15	0,07										
		58060800	0,45	0,12	0,04										
		87091200	0,41	0,11	0,03										
		101606400	0,40	0,11	0,02										
		116121600	0,39	0,10	0,02										
		145152000	0,37	0,10	0,01										
		174182400	0,35	0,09	0,01										
		203212800	0,34	0,09											
		232243200	0,33	0,08											
		261273600	0,32	0,08											
10 Jahre	Vorverformung	290304000	0,31	0,07											
100 Jahre	Eigenlast	2903040000	0,11	0,00											

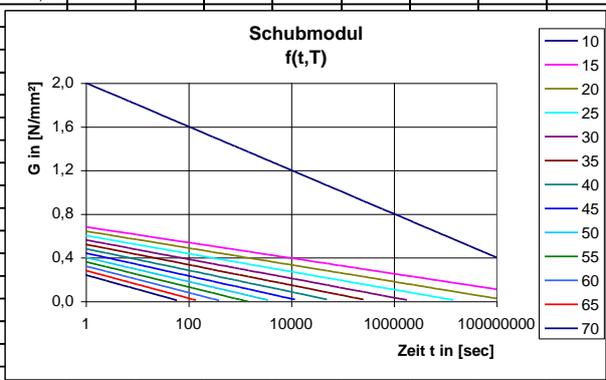


Bild 17: Schubmodul G [N/mm²] der PVB-Schicht als Funktion von Temperatur und Lasteinwirkungsdauer, nach [16] zusammengestellt

B Beispiele:

- Wind als 10 min Mittelwert im Sommer bei 50°C: $G = 0,09 \text{ N/mm}^2$
- Wind als 10 min Mittelwert im Winter bei < 10°C: $G = 1,44 \text{ N/mm}^2$
- Schnee als 3 Monats-Mittelwert bei < 10°C: $G = 0,63 \text{ N/mm}^2$
- Schnee aus Schneeräumung
als 1 min Mittelwert bei < 10°C: $G = 1,64 \text{ N/mm}^2$
- Eigenlast $G = 0,00 \text{ N/mm}^2$
- Vorverformung (aufgezwungen beim Einbau) $G = 0,00 \text{ N/mm}^2$

- I** In der ÖNorm darf bei Vertikalverglasungen für kurzzeitige Einwirkungen immer $G = 0,4 \text{ N/mm}^2$ angenommen werden.



Bild 18: Eingabe des Schubmoduls bei „Nachgiebigem Verbund“

3.6.3 VSG mit vollem Verbund

Die Verbund-Schicht wird mit gleicher Steifigkeit wie das Glas behandelt. Die Dicke der Verglasung folgt dann aus der Summe der einzelnen Schichten.

- B** $d = 8 + 1,52 + 8 = 17,52 \text{ mm}$ (unterer Grenzwert für Verformungen).

3.7 Randverbund bei Isoliergläsern

Bei Isolierglas muss der Randverbund (Bild 19) die zug- und druckfeste Verbindung zwischen den Schichten sichern. Die Dichtung aus Butyl sorgt vornehmlich für den gasdichten Abschluss. Die Polysulfiddichtung übernimmt den wesentlichen Anteil der Koppelkräfte zwischen den Glasschichten. Dicht- und Klebstoffe müssen dafür ihre Eignung nach ETAG 002 [17] nachweisen. Weitere Hinweise durch den Klebstoffhersteller sind zu beachten, z. B. [18]. Genauere Ausführungen zu den Abstandhaltern sind in [19] zu finden.

Bei einigen Herstellern (z. B. [20]) sind aufnehmbare Kräfte pro m Randlänge angegeben:

- 0,95 kN/m für Kanten in Falzen oder unter Abdeckungen und
- 0,65 kN/m für freie und geklebte Kanten.

In der Schweiz [21] gelten beispielsweise für Polysulfid-Randverbund folgende Regeln:

3 mm Polysulfid-Randverbund nach Tabelle 2

Standardrandverbund mit Butyl und Thiokol für 2-fach Isolierglas mit SZR von 6 bis 22 mm Breite sowie 3-fach Isolierglas mit SZR von 6 bis 12 mm Breite.

6 mm Polysulfid-Randverbund nach Tabelle 3

Isolierglasrandverbund mit Butyl und Thiokol für 2-fach Isolierglas mit SZR > 22 mm Breite sowie 3-fach Isolierglas mit SZR > 12 mm Breite, sowie bei allen Isoliergläsern, bei denen beide Kantenlängen 250 cm überschreiten.

Tabelle 2: Polysulfid-Randverbund bei 2-fach und 3-fach Isolierglas

Abstandhalter Material	Abstandhalter Tiefe [mm]	minimale Versiegelungstiefe Dichtstoff [mm]	Totale Rand-verbundtiefe [mm]	Toleranzen [mm]
Alu	6,5	≥ 2	≤ 13	+2 / -1
Edelstahl	7,0	≥ 2	≤ 13	+2 / -1
TGI	7,0	≥ 2	≤ 13	+2 / -1
ECO-Spacer	7,3	≥ 2	≤ 13	+2 / -1

Tabelle 3: Polysulfid-Randverbund bei 2-fach und 3-fach Isolierglas

Abstandhalter Material	Abstandhalter Tiefe [mm]	Minimale Versiegelungstiefe Dichtstoff [mm]	Totale Rand-verbundtiefe [mm]	Toleranzen [mm]
Alu	6,5	≥ 5	≤ 16	+2 / -1
Edelstahl	7,0	≥ 5	≤ 16	+2 / -1
TGI	7,0	≥ 5	≤ 16	+2 / -1
ECO-Spacer	7,3	≥ 5	≤ 16	+2 / -1

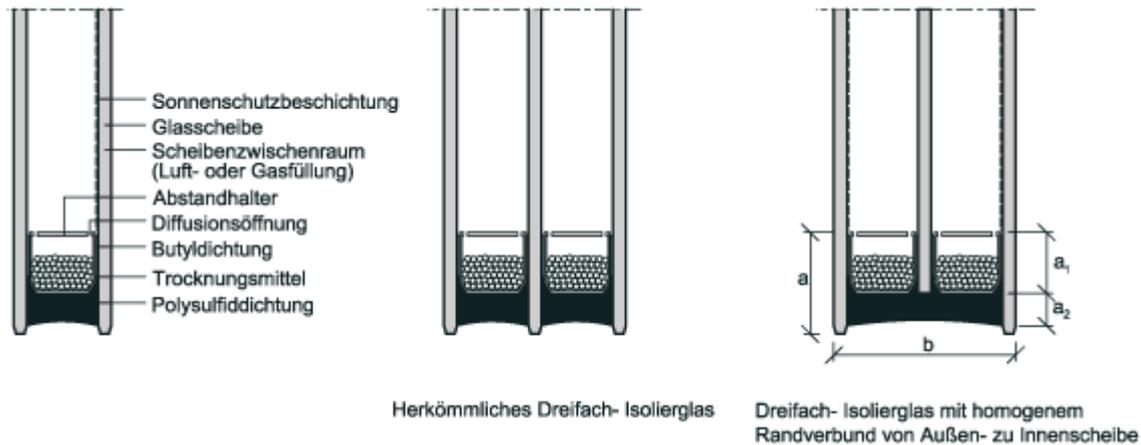


Bild 19: häufiger Randverbund bei Isoliergläsern

Mit der Nutzereingabe (Bild 20) „Klebetiefe a_2 “ (3 mm ist Standardbelegung) und der aufnehmbaren Spannung (Bemessungsfestigkeit) lässt sich nachweisen, ob der Randverbund bei jeder Einwirkungskombination zuverlässig hält. Punktuelle mechanische Belastungen führen zu lokalen Spannungsspitzen, die das Glasbruchrisiko erhöhen.

TW Glas erwartet bei Isoliergläsern Angaben zum Randverbund:

▼ **Randverbund**

Spezifische Masse kg/m

▼ **Randverbund**

Klebetiefe mm

Bemessungsfestigkeit N/mm²

Bild 20: Eingaben zum Randverbund

I Unabhängig von Norm-Anforderungen an den Glaseinstand muss verhindert werden, dass im eingebauten Zustand natürliches Tageslicht auf die Bereiche „a“ oder „b“ einwirken kann. Gegebenenfalls ist das Mehrscheiben-Isolierglas mit einem „UV-beständigen Randverbund“ auszuführen bzw. der Randverbund vor UV-Strahlung zu schützen [15]. Nach [22, 23, 24] bezieht sich der angegebene Anpressdruck von 5 kN/m auf die Haltbarkeit des hermetischen Randverbundes.

3.8 Einwirkungen

Für die Einwirkungen sind nach dem Teilsicherheitskonzept (z. B. nach DIN 18008, ÖNorm) die charakteristischen Größen mit den dazugehörigen Teilsicherheits-, Kombinations- und Modifikationsbeiwerten zu verwenden.

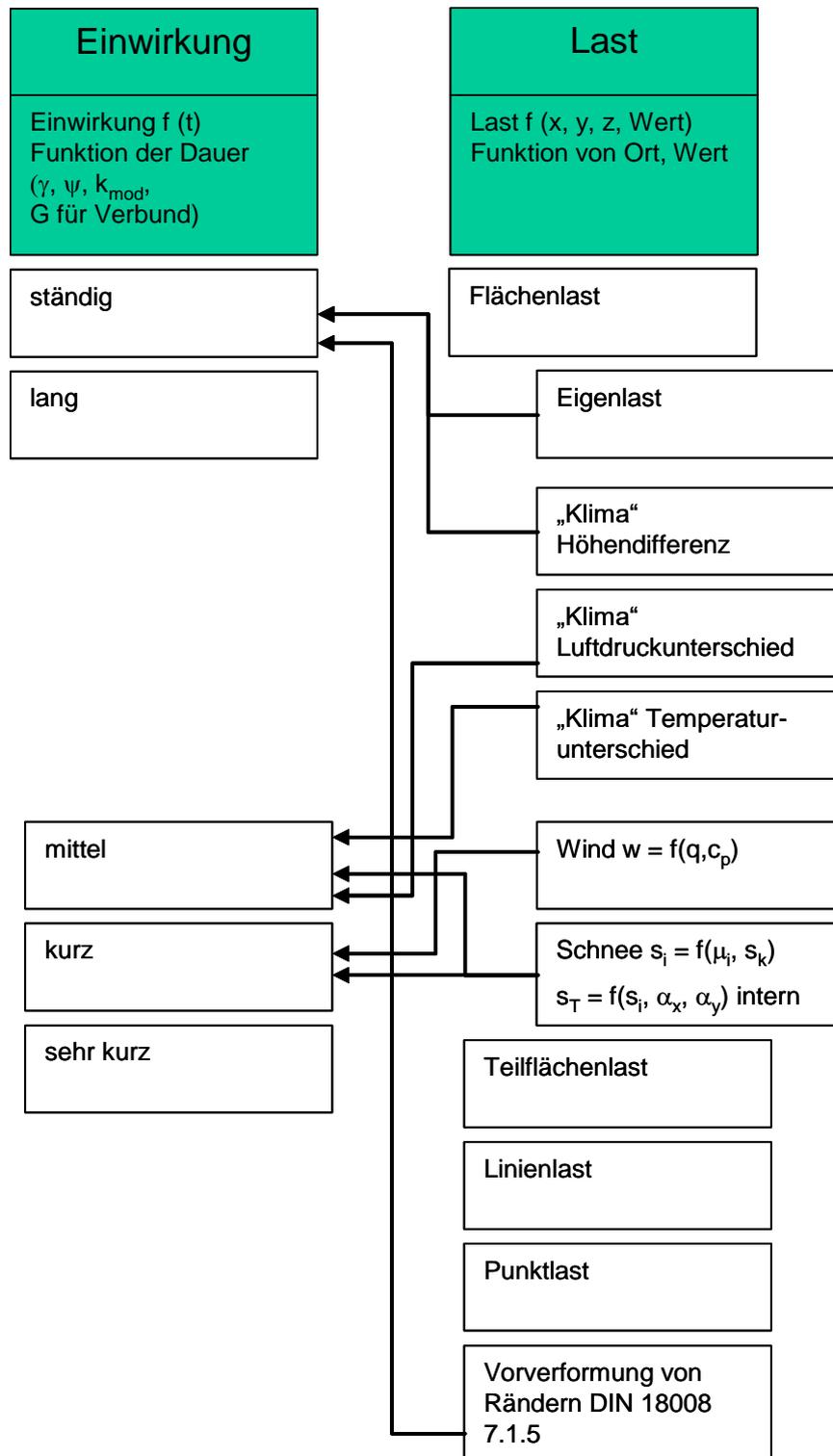


Bild 21: Einwirkungen und Lasten (Verknüpfung nach DIN 18008)

Für das Verfahren mit globalem Sicherheitskonzept (TRLV) betragen alle „Lastfaktoren“ 1,0 und brauchen daher nicht weiter berücksichtigt zu werden.

TW Glas unterscheidet zwischen Einwirkungen und Lasten (Bild 21). Die Einwirkungen sind eine Funktion der Zeit (Dauer der Lasteinwirkung). Die Lasten sind hingegen als eine Funktion, welche den Angriffsort und den Wert umfasst, definiert.

Die Bearbeitung der Einwirkungen ist über die Eingabefelder nach Bild 22 möglich. Die Vorbelegungen lassen sich verändern. Sollte bei VSG-Verglasungen mit Schubverbund gerechnet werden, ist der Schubmodul anzugeben, weil dieser auch von der Einwirkungsdauer abhängt.

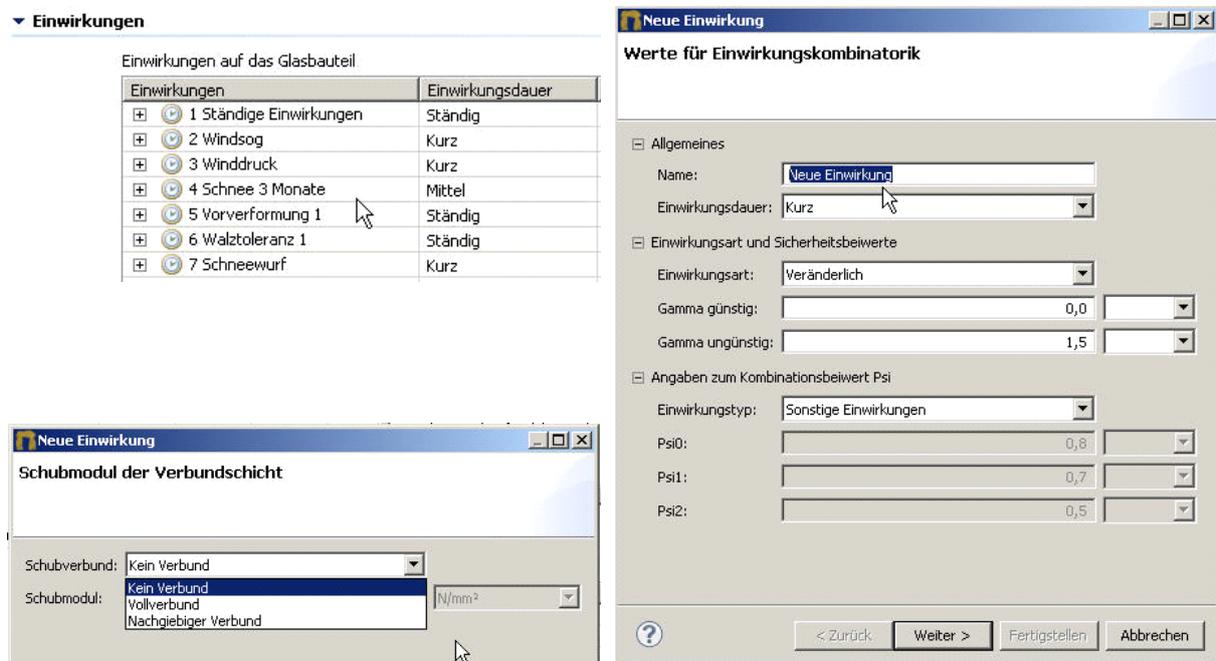


Bild 22: Bearbeitung der Einwirkungen

DIN 18008

In Bild 23 sind für einige Lasten die übergeordneten Einwirkungen mit den Beiwerten zusammengestellt.

Einwirkungsart	Lasten	Einwirkungsdauer	Modifikationsbeiwert	Sicherheitsbeiwert		Kombinationsbeiwert		
				γ_{MIN}	γ_{MAX}	ψ_0 (Psi0)	ψ_1 (Psi1)	ψ_2 (Psi2)
			k_{mod}					
ständig	Eigenlast	ständig	0,25	1,00	1,35	1,00	1,00	1,00
	"Klima": Ortshöhendifferenz ΔH	ständig	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
	Vorverformung (ein Montagezustand)	ständig	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
veränderlich	Windlast	kurz	0,70	0,00	1,50	0,60	0,50	0,00
	Schneelast bis 1000 m	mittel ²	0,40	0,00	1,50	0,50	0,20	0,00
	Schneelast über 1000 m	mittel	0,40	0,00	1,50	0,70	0,50	0,20
	"Klima": Temperaturänderung ΔT	mittel	0,40	0,00	1,50	0,60	0,50	0,00
	"Klima": Änderung meteorologischer Luftdruck Δp_{met}	mittel	0,40	0,00	1,50	0,60	0,50	0,00
	Holm- und Personenlast	kurz	0,70	0,00	1,50	0,70	0,50	0,30
	Vorverformung ¹ (mehrere Montagezustände)	lang	0,25	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Schneewurf (Sonstige Einwirkung)	kurz	0,70	0,00	1,50	0,80	0,70	0,50

¹ Die Vorverformungen sind bei verschiedenen Verformungszuständen "veränderlich", damit sich diese gegenseitig ausschließen können.

² In DIN 1052 (Holzbau) ist hier die Einwirkungsdauer "kurz".

Bild 23: Einwirkungen mit Beiwerten nach DIN 18008

I Für die ständige „Klimalast“ aus Höhendifferenz sollte der Sicherheitsbeiwert $\gamma_{MIN} = \gamma_{MAX} = 1,0$ gewählt werden, da die Höhe bekannt ist und keinen Streuungen unterliegt. Gleiches gilt für eine aufgezwangene Vorverformung.

ÖNorm

In Bild 24 sind für einige Lasten die übergeordneten Einwirkungen mit den Beiwerten zusammengestellt.

Einwirkungsart	Lasten	Einwirkungsdauer	Modifikationsbeiwert k_{mod}	Sicherheitsbeiwert		Kombinationsbeiwert		
				γ_{MIN}	γ_{MAX}	ψ_0 (Psi0)	ψ_1 (Psi1)	ψ_2 (Psi2)
ständig	Eigenlast	lang	0,60	1,00	1,35	1,00	1,00	1,00
	Vorverformung (ein Montagezustand)	lang	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
veränderlich	Windlast	kurz	1,00	0,00	1,50	0,60	0,50	0,00
	Holmlast, Personenlast: betretbare Verglasung	kurz	1,00	0,00	1,50	0,70	0,50	0,30
	Schneelast	mittel	0,60	0,00	1,50	0,70	0,50	0,20
	Klimalast ¹	lang	0,60	0,00	1,50	0,60	0,50	0,00
	Personenlast: begehbare Verglasung	mittel	0,60	0,00	1,50	0,80	0,70	0,50
	Personenlast: befahrbare Verglasung	mittel	0,60	0,00	1,50	0,80	0,70	0,50
	Vorverformung ² (mehrere Montagezustände)	lang	0,60	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Schneewurf	kurz	1,00	0,00	1,50	0,80	0,70	0,50

¹ Die Klimalasten sind wie Temperaturlasten zu behandeln.

² Die Vorverformungen sind bei verschiedenen Verformungszuständen "veränderlich", damit sich diese gegenseitig ausschließen können.

Bild 24: Einwirkungen mit Beiwerten nach ÖNorm

 Für die ständige „Klimalast“ aus Höhendifferenz sollte der Sicherheitsbeiwert $\gamma_{MIN} = \gamma_{MAX} = 1,0$ gewählt werden, da die Höhe festgelegt ist und keinen Streuungen unterliegt. Gleiches gilt für eine aufgezwungene Vorverformung.

3.9 Lasten

TW Glas berücksichtigt:

- Flächenlasten,
- Teilflächenlasten,
- Linienlasten,
- Punktlasten und
- „Vorverformungen“.

Die Lasten sind der jeweiligen Einwirkung (Funktion der Lasteinwirkungsdauer) nach Bild 21 und Bild 25 zuzuordnen.

I Vorverformungen werden in TW Glas als Lasten bezeichnet, obwohl es sich eigentlich um Auflagerbedingungen handelt. Somit kann aber die Einwirkungs-Kombinatorik genutzt werden.

4 Windsog	Kurz			
↳ 1 Vollflächenlast		Außen / Oben	-1,2	kN/m ²
5 Winddruck	Kurz			
↳ 1 Vollflächenlast		Außen / Oben	0,64	kN/m ²
6 Schnee 3 Monate	Lang			
7 Vorverformung 1	Ständlin			

Bild 25: Eingabe der Lasten unter der jeweiligen Einwirkung

3.9.1 Flächenlasten

Flächenlasten sind beispielsweise:

- Eigenlast,
- Windlast,
- Schneelast,
- Klima "Höhendifferenz",
- Klima "Luftdruckunterschied",
- Klima "Temperaturunterschied".

Eigenlast

Die Verglasung kann eine Neigung zur Vertikalen besitzen. Damit führen auch Eigenlasten [25] zu Biegebeanspruchungen in der Verglasung. Mit der Erdbeschleunigung von $g = 10 \text{ m/s}^2$ und der Dichte von z. B. 2500 kg/m^3 folgt die Wichte mit 25 kN/m^3 .

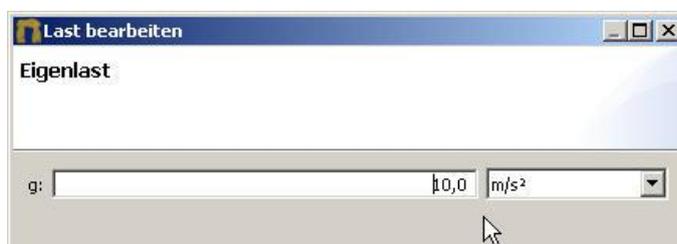


Bild 26: Eingabe der Eigenlast

T Der Lastfall Eigenlast braucht bei vertikaler Anordnung ($\alpha_x = 90^\circ$) nicht berücksichtigt zu werden. Damit reduziert sich die Lastkombinationsmatrix.

T Für die Einwirkungs-Kombinatorik wirkt die Eigenlast „ständig“. Die Sicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkungen sind in der Regel $\gamma = 1,0$ für günstige und $1,35$ für ungünstige Beanspruchung.

Windlast

Der charakteristische Wert der Windlast w ergibt sich in Abhängigkeit des Einbauorts und der Windlastzone. Die Wirkrichtung geht in die positive lokale t -Richtung. Die Windlast lässt sich direkt in TW Glas eingeben oder über das Modul TW Windlast ermitteln.

$$w = c_p \cdot q(z)$$

Gl. 1

c_p ... aerodynamischer Beiwert
 q ... Geschwindigkeitsdruck für die Bezugshöhe
 z ... Bezugshöhe

Der Angriffsort dient der Orientierung und geht bei Isoliergläsern wegen des Kopplungseffektes in die Berechnung mit ein.

Angriffsort der Windlast bei TW Glas

- „außen“ liegt im lokalen Koordinatensystem bei $t = 0$,
- „innen“ liegt bei $t > 0$ entsprechend Schichtenaufbau.

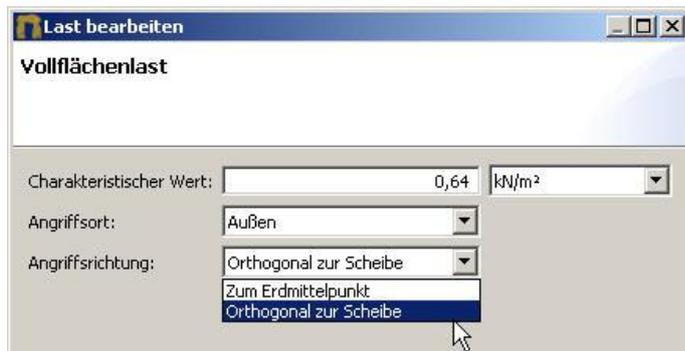


Bild 27: Eingabe der Windlast

T Für die Einwirkungs-Kombinatorik wirkt die Windlast „veränderlich“. Die Sicherheitsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen sind in der Regel $\gamma = 0$ für nicht vorhandene und $1,5$ für vorhandene Beanspruchung. Die Kombinationsbeiwerte ψ zur Berücksichtigung des gleichzeitigen Auftretens von mehreren veränderlichen Einwirkungen lassen sich entsprechend der gewählten Vorschrift anpassen.

Windlast - Ermittlung der Formbeiwerte c_p

TW Glas ermittelt mit dem Modul TW Windlast den Formbeiwert nach DIN EN 1991-1-4 [26]. Die Struktur ist in (Bild 28) angegeben.

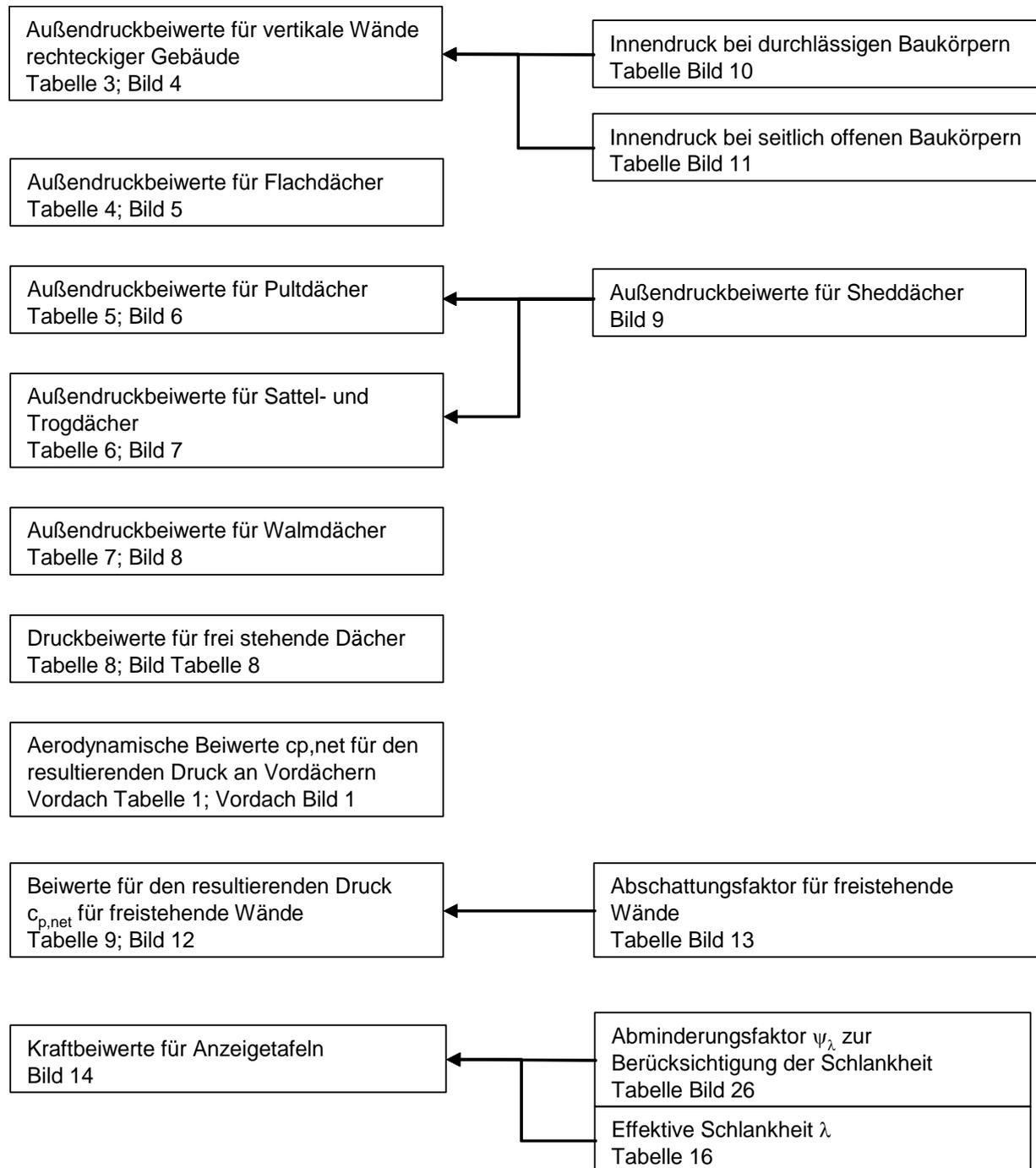


Bild 28: Ermittlung der Formbeiwerte c_p nach DIN EN 1991-1-4 (siehe Tabellen und Bilder)

Beispielhaft ist für vertikale Gebäudewände die Ermittlung der Formbeiwerte aus den Wandbereichen dargestellt (Bild 29 und Tabelle 4).

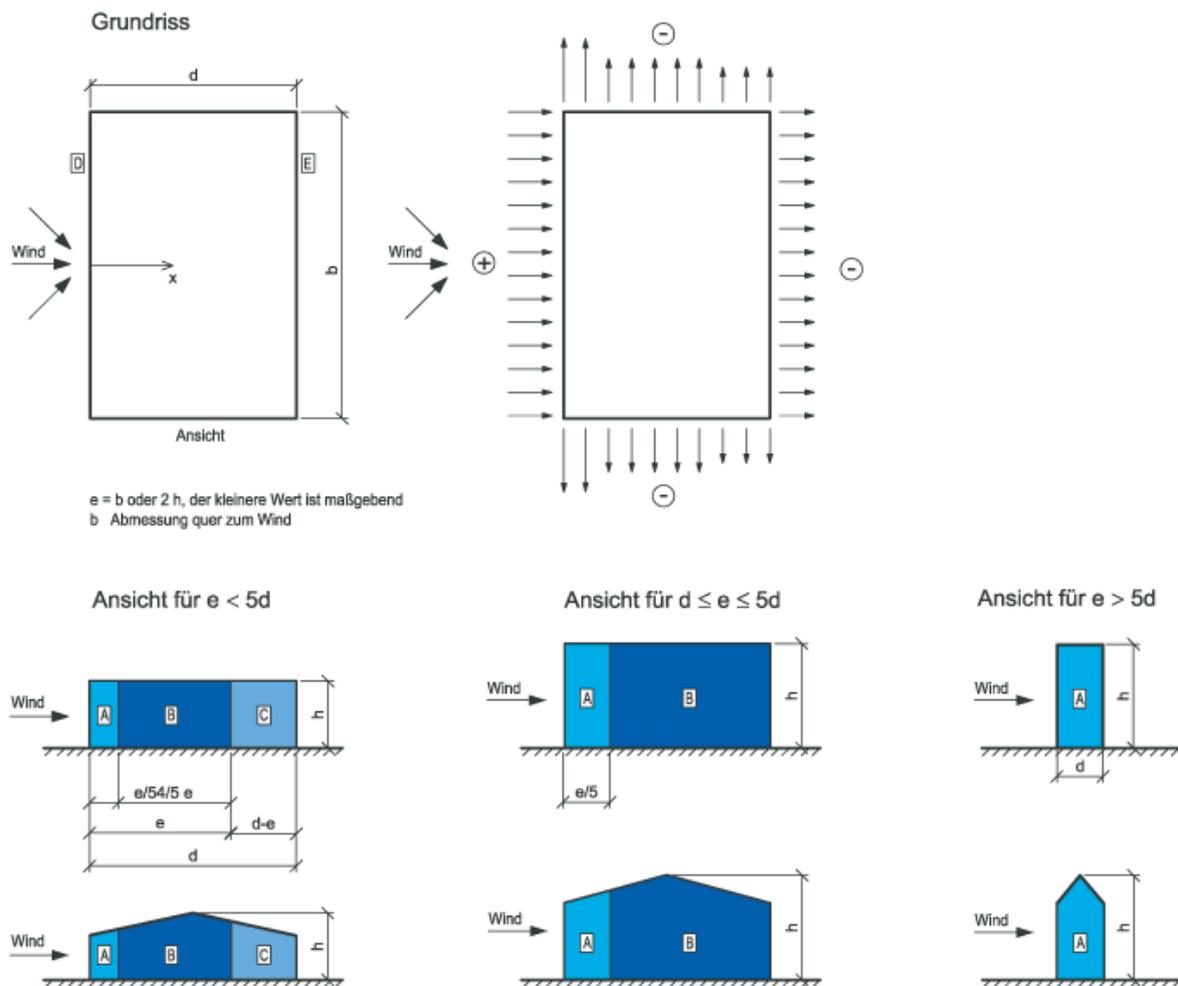


Bild 29: Ermittlung der Bereiche bei vertikalen Gebäudewänden

Tabelle 4: Formbeiwerte $c_{p,1}$ und $c_{p,10}$ für vertikale Gebäudewände

Bereich	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
$= 5$	- 1,4	- 1,7	- 0,8	- 1,1	- 0,5	- 0,7	+ 0,8	+ 1,0	- 0,5	- 0,7
1	- 1,2	- 1,4	- 0,8	- 1,1	- 0,5		+ 0,8	+ 1,0	- 0,5	
$= 0,25$	- 1,2	- 1,4	- 0,8	- 1,1	- 0,5		+ 0,8	+ 1,0	- 0,3	- 0,5

Für einzeln in offenem Gelände stehende Gebäude können im Sogbereich auch größere Sogkräfte auftreten.

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Für Gebäude mit $h/d > 5$ ist die Gesamtwindlast anhand der Kraftbeiwerte aus 12.4 bis 12.6 und 12.7.1 zu ermitteln.

T Bei Verglasungen in Innenräumen werden mindestens $w = 0,45 \text{ kN/m}^2$ angesetzt, wenn nicht durch mögliche Querlüftung größere Werte entstehen können.

Windlast - Ermittlung des Staudruckes q

Der Staudruck nach DIN EN 1991-1-4 [26] lässt sich durch TW Glas (Bild 30) mit dem Modul TW Windlast ermitteln. Dazu stehen drei Verfahren bereit:

- Vereinfachte Böengeschwindigkeitsdrücke für Bauwerk bis 25 m Höhe nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12, NA.B.3.2 und Tabelle NA.B.3,
- Geschwindigkeitsdruck über Mischprofile nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12, NA.B.3.3 (3) und NA.B.3.3 (4),
- Geschwindigkeitsdruck über Geländekategorie nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12, NA.B.3.3 (5) und NA.B.1, Tabelle NA.B.2

Die Windzone lässt sich aus Bild 30 ablesen oder nach der Postleitzahl ermitteln.

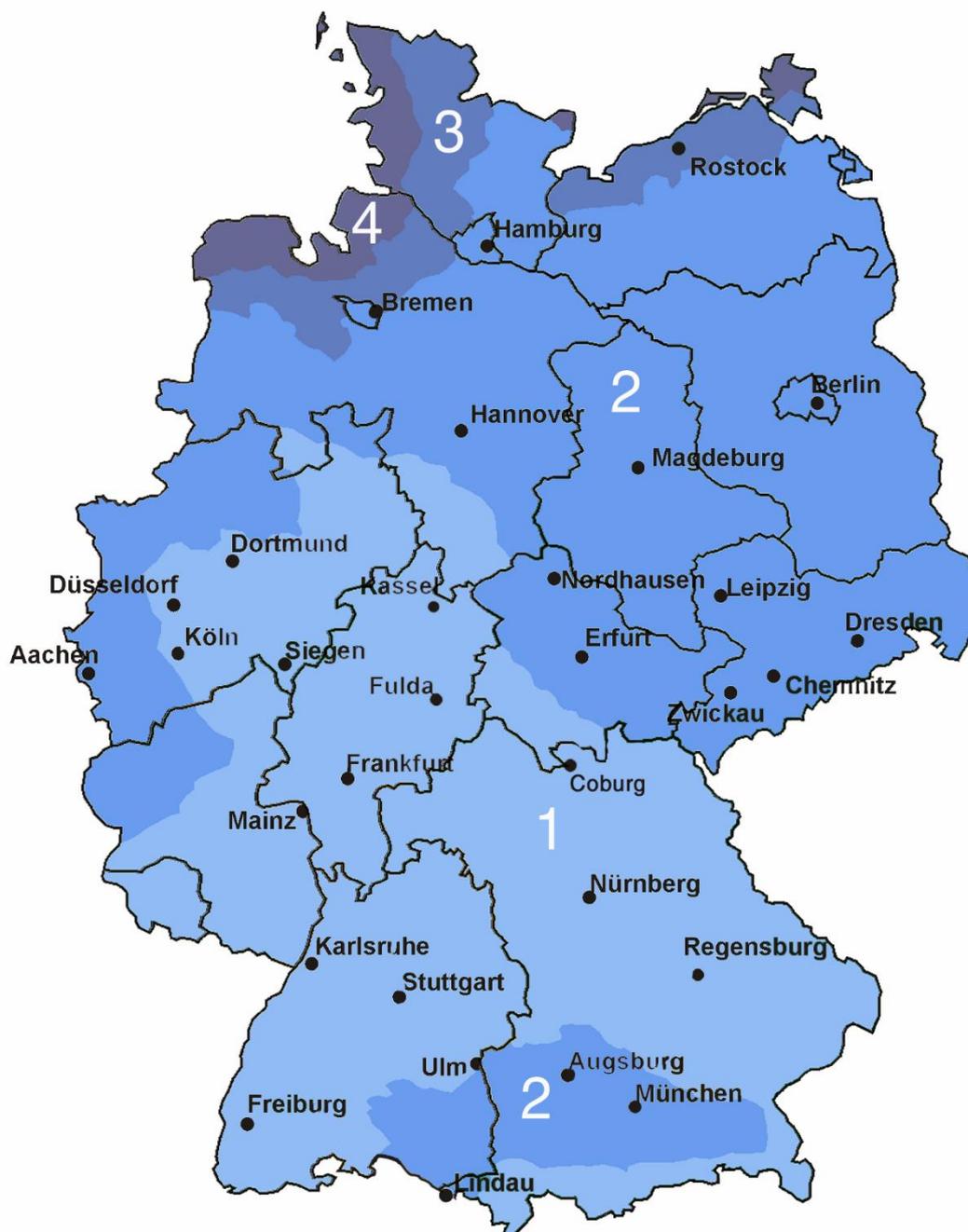


Bild 30: Zuordnung der Windzonen (in TW Windlast nach Postleitzahlen)

Schneelast

Bis zu einem Neigungswinkel von 60° gegen die Horizontale wirken Schneelasten. Ab 60° rutscht der Schnee komplett ab.

TW Glas erwartet die Eingabe der charakteristischen Schneelast s_i bezogen auf die Grundfläche in Abhängigkeit der örtlichen Situation und der Schneelastzone. Der Wert ist mit negativem Vorzeichen einzugeben, da die Last gegen die globale z-Achse wirkt.

Die Schneelast s_i bezogen auf die Grundfläche:

$$s_i = \mu_i \cdot s_k$$

Gl. 2

s_k ... charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Boden (x-y-Ebene)
(negatives Vorzeichen für Wirkungsrichtung gegen globale z-Achse)

μ_i ... Formbeiwert der Schneelast

Für die Bemessung ermittelt TW Glas aus der Schneelast s_i den lotrechten Anteil (s^\perp) als Belastung auf die Verglasung nach folgender Gleichung:

$$s^\perp = s_i \cdot \cos^2 \alpha_x \cdot \cos^2 \alpha_y$$

Gl. 3

s^\perp ... lotrechte Belastung auf die Verglasung

$\alpha_x; \alpha_y$... Neigung der Verglasung um die x- und y-Achse

T Der Lastfall Schnee braucht bei „vertikaler“ Anordnung der Verglasung ($\alpha_x > 60^\circ$ oder $|\alpha_y| > 60^\circ$) nicht angelegt werden. Damit reduziert sich die Einwirkungs-Kombinationsmatrix.



Bild 31: Eingabe der Schneelast s_i mit negativem Vorzeichen („zum Erdmittelpunkt“)

T Für die Einwirkungs-Kombinatorik wirkt die Einwirkung mit Schneelast „veränderlich“. Die Sicherheitsbeiwerte für veränderliche Lasten sind in der Regel $\gamma = 0$ für nicht vorhandene und $\gamma = 1,5$ für vorhandene Einwirkung. Die ψ -Beiwerte zur Berücksichtigung des gleichzeitigen Auftretens von mehreren veränderlichen Einwirkungen lassen sich entsprechend der gewählten Vorschrift anpassen.

Schneelast - Ermittlung des Formbeiwertes μ_i

TW Glas unterstützt über das Modul TW Schneelast die Berechnung des Formbeiwertes μ_i .

In der Regel ist der μ_1 Wert maßgebend, der nur von der Neigung ($\alpha_x; \alpha_y$) der Verglasung abhängt:

$$\mu_1 = \begin{cases} 0,8 & \text{für } 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \\ 0,8 \cdot (60^\circ - \alpha) / 30^\circ & \text{für } 30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ \\ 0 & \text{für } \alpha > 60^\circ \end{cases}$$

$$\alpha = \text{MAX}(\alpha_x; \alpha_y)$$

$$\beta = \text{MIN}(\alpha_x; \alpha_y)$$

$\alpha_x; \alpha_y \dots$ Neigung der Verglasung um die x- und y-Achse

Schneelast - Ermittlung der charakteristischen Schneelast s_k

Die charakteristische Schneelast lässt sich nach DIN EN 1991-1-3 [27] durch TW Glas (Bild 32) mit dem Modul TW Schneelast nach der Postleitzahl ermitteln. Die Angabe zur Höhe am Bauort über dem Meeresspiegel ist mit der Postleitzahl bekannt. Eine genauere Angabe lässt sich über z. B. Google Earth[®] ermitteln.

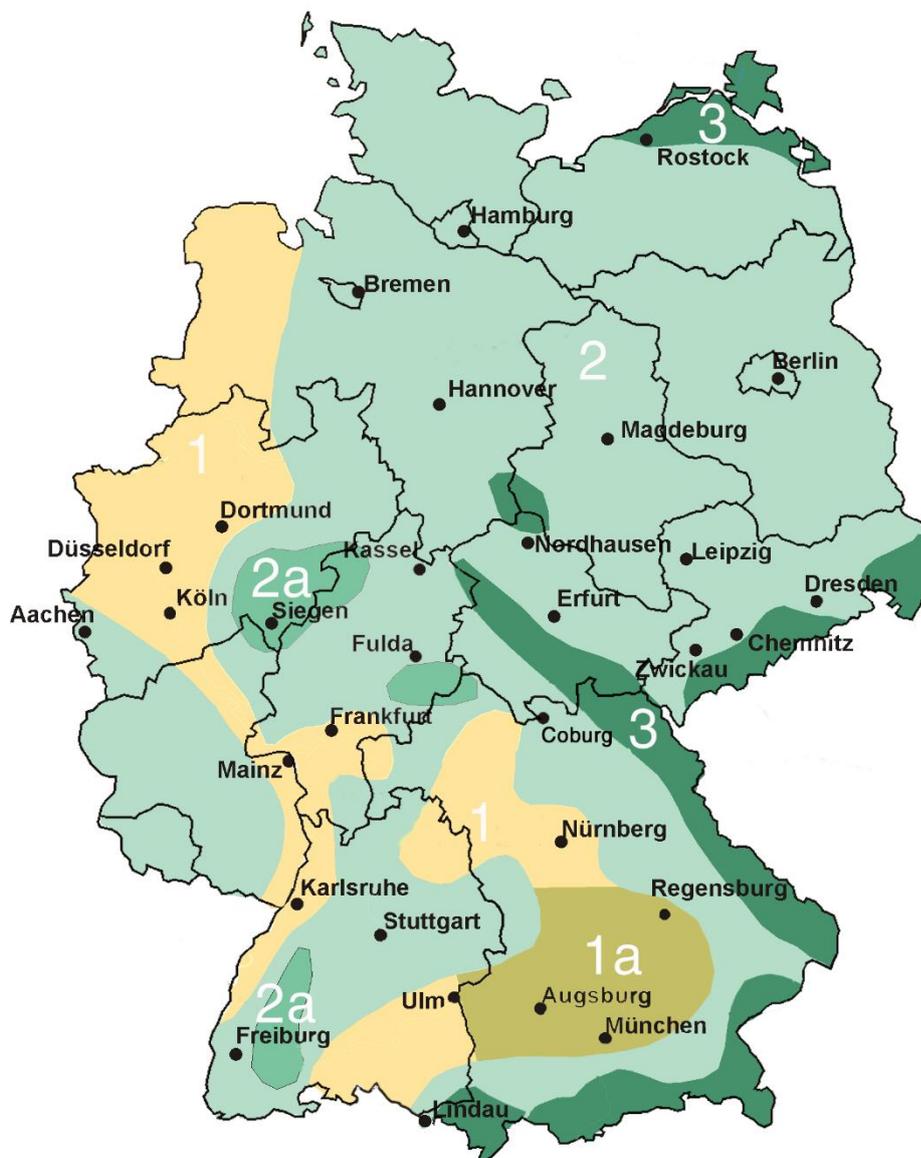


Bild 32: Zuordnung der Schneelastzonen

Klimalasten bei Isolierverglasungen

Wenn sich Einbauhöhe, Temperatur im SZR und meteorologischer Luftdruck gegenüber den Herstellungsbedingungen ändern, dann hat dies Auswirkungen auf den Druck und das Volumen im SZR [28]. Die daraus resultierenden Verformungen (Bild 33) und Spannungen müssen berücksichtigt werden.

Bei Einbau

- in größerer Höhe,
 - steigender Temperatur im SZR aus Sonneneinstrahlung und einem
 - Tiefdruckgebiet
- wird die Isolierverglasung „ausbauchen“.

Bei Einbau

- in geringerer Höhe,
 - geringerer Temperatur im SZR und einem
 - Hochdruckgebiet
- wird sich die Isolierverglasung „zusammenziehen“.

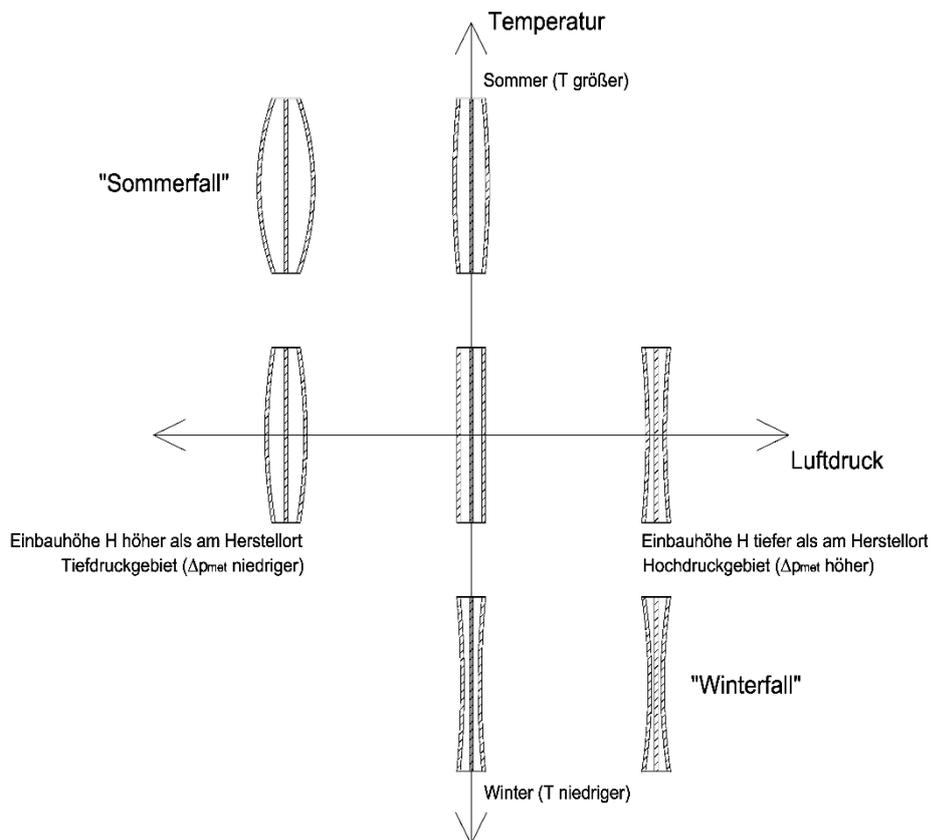


Bild 33: Verformungen aus Klimalasten

Bei Isolierverglasungen gilt der Herstellungsort (Produktionsort) für die geografische Höhe, an dem der Isolierrandverbund geschlossen wird.

I Bei sehr großen Höhenunterschieden können auch Druckausgleichsventile eingebaut werden, die erst am Einbauort zu verschließen sind. Weiterhin liefern einige Hersteller auf Anfrage Isoliergläser bei Einbauhöhen bis 1200 m über NN mit entsprechender Druckeinstellung. Auch der Einbau von Kapillarröhrchen ist möglich. Die Beanspruchung aus dem Höhenunterschied entfiel in solchen Fällen.

I Mit dem Hersteller ist Rücksprache zu halten, wenn der Höhenunterschied über 400 m ist [19]:

- bei Gläsern mit hoher Absorption,
- bei kleinformatischen Isoliergläsern mit einem Seitenverhältnis > 2:1,
- bei langen, schmalen Isoliergläsern, wenn die kurze Kante weniger als ca. 50 cm beträgt,
- bei großen Scheibenzwischenräumen,
- bei asymmetrischem Glasaufbau.

Da die entstehende Beanspruchung von den Steifigkeiten der beteiligten Glasschichten abhängt, sollten bei Verbundgläsern die Grenzwerte: „voller Verbund“ und „ohne Verbund“ untersucht werden. Rechnet man allerdings mit dem realen Schubmodul für die Verbundschicht (Bild 17), liegen die Ergebnisse zwischen diesen beiden Grenzwerten.

TRLV

Wenn keine Angaben zum Herstell- und Einbauort vorliegen, müssen folgende Rechenwerte für den Sommer- und Winterfall berücksichtigt werden:

Tabelle 5: Rechenwerte für klimatische Einwirkungen und dem resultierenden isochoren Druck

Einwirkungskombination	ΔT [K]	Δp_{met} [kN/m ²]	ΔH [m]	p_0 [kN/m ²]
Sommer	+ 20	- 2	+ 600	+ 16
Winter	- 25	+ 4	- 300	- 16

ΔT ... Temperaturdifferenz zwischen Herstellung und Gebrauch

Δp_{met} Differenz des meteorologischen Luftdrucks zwischen Einbauort und Herstellungsort □

ΔH ... Differenz der Ortshöhe zwischen Einbauort und Herstellungsort

p_0 ... resultierender isochorer Druck

$$p_0 = 0,34 \cdot \Delta T - \Delta p_{met} + 0,012 \cdot \Delta H$$

Gl. 4

Der isochore Druck wurde im Normenwerk für Sommer und Winter mit gleichem Betrag festgelegt. Diesen Extremwerten liegen für die Einwirkungskombination Sommer und Winter jeweils folgende Bedingungen nach Tabelle 6 zugrunde:

Tabelle 6: Mindestwerte für klimatische Einwirkungen

Einbaubedingungen		Einwirkungskombination	
		Sommer	Winter
Einstrahlung	[W/m ²]	800	-
U _g -Wert des Glases	[W/ m ² K]	-	1,8
Einstrahlwinkel	[°]	45	-
Absorption der Scheibe	[%]	30	-
Lufttemperatur innen	[°C]	+ 28	+ 19
Lufttemperatur außen	[°C]	+ 28	- 10
Luftdruck	[hPa]	1010	1030
Wärmeübergangswiderstand innen	[m ² K/ W]	0,12	0,13
Wärmeübergangswiderstand außen	[m ² K/ W]	0,12	0,04
resultierende Temperatur im SZR	[°C]	+ 39	+ 2
Produktionsbedingungen			
Herstelltemperatur im Winter	[°C]	+ 19	
Herstelltemperatur im Sommer	[°C]		+ 27
Luftdruck	[hPa]	1030	990

Sind besondere Einbaubedingungen zur Absorption und Ventilation oder ein unbeheiztes Gebäude nach Tabelle 7 zu berücksichtigen, dann gilt zusätzlich der jeweils angegebene Wert ΔT_{add} .

Tabelle 7: Zusätzliche Werte für ΔT und Δp_0 zur Berücksichtigung besonderer Temperaturbedingungen am Einbauort.

Einwirkungs-kombinationen	Ursache für erhöhte Temperaturdifferenz	ΔT_{add} [K]	Δp_0 [kN/m ²]
Sommer (Absorption)	Absorption zwischen 30 % und 50 %	+ 9	+ 3
	Absorption größer 50 %	+ 18	+ 6
Sommer (Ventilation)	innenliegender Sonnenschutz (ventiliert)	+ 9	+ 3
	innenliegender Sonnenschutz (nicht ventiliert)	+ 18	+ 6
	dahinterliegende Wärmedämmung (Paneel)	+ 35	+ 12
Winter	unbeheiztes Gebäude	- 12	- 4

DIN 18008

Wie bei der TRLV mit folgenden Änderungen:

In Tabelle 5 und Tabelle 7 kann p_0 nicht mehr angegeben werden, da die Einwirkungen mit Teilsicherheitsfaktoren zu belegen sind.

Die Einwirkung „Ortshöhendifferenz“ ist als ständige Einwirkung mit $k_{mod} = 0,25$ definiert. Nun ist es nach DIN 18008 nicht mehr möglich, den Sommer- und Winterfall in einer Position zu berechnen, da es somit zwei ständige Anteile aus „Sommer“ und „Winter“ gibt. Diese „ständigen Einwirkungen“ lassen sich nicht ausschließen!

T TW Glas lässt es zu, dass alle Anteile der Klimalast als veränderliche Einwirkungen auftreten dürfen. Damit dürfen „Klima-Sommer“ und „Klima-Winter“ in einer Einwirkungs-Ausschlussgruppe sein; die jeweils ungünstige wird dann bei der Bemessung herangezogen und die Lösung in einer Berechnungsposition möglich.

ÖNorm B 3716

Wie bei den TRLV, aber die Klimalasten sind wie Temperaturlasten zu behandeln.

Shen/Wörner

individuell wählbar

Individuelles Konzept

individuell wählbar

3.9.2 Teilflächenlasten (Blocklasten)

TW Glas unterstützt eine polygonal begrenzte Teilflächenbelastung.

Personenlasten nach TRLV

Begehbare Verglasungen (Nutzlast bis $3,5 \text{ kN/m}^2$) müssen zu Wartung- und Reinigungszwecken zusätzlich für eine Personenlast von $1,5 \text{ kN}$ auf einer Wirkungsfläche von $10 \times 10 \text{ cm}^2$ an ungünstiger Stelle nachgewiesen werden. Bei einer maximalen Nutzlast von $5,0 \text{ kN/m}^2$ gilt eine Personenlast von $2,0 \text{ kN}$. Vorbemessungstabellen sind beispielsweise in [29] zu finden.

Personenlasten nach DIN 4426

Abweichend von der Normenreihe DIN EN 1991-1 ist für den rechnerischen Nachweis als Verkehrslast an ungünstigster Stelle je Person eine Einzellast von $1,5 \text{ kN}$, verteilt auf eine Aufstandsfläche von $10 \times 10 \text{ cm}^2$, anzusetzen [30].

Blocklasten nach ÖNorm

Zusätzlich zu den Verkehrslasten sind Einzellasten in ungünstigster Stellung anzusetzen. Bei befahrbaren Gläsern sind gemäß ÖNorm B 1991-1-1 [31] entsprechend der Kategorie die Aufstandsflächen nach Tabelle 8 zu wählen.

Tabelle 8: Aufstandsflächen für Einzellasten

	Kategorie F	Kategorie G
Aufstandsfläche	$15 \times 15 \text{ cm}^2$	$25 \times 50 \text{ cm}^2$

Schneelast aus Schneeräumung nach EN 1794-1

Beispielsweise wirken bei Lärmschutzwänden vorübergehende Schneelasten, welche aus der Schneeräumung [32] resultieren. Die Last ist nach Bild 34 auf einer Fläche von $2 \times 2 \text{ m}^2$ mit der resultierenden Kraft (F) in der Regel $1,5 \text{ m}$ oberhalb der Straßenoberfläche anzusetzen.

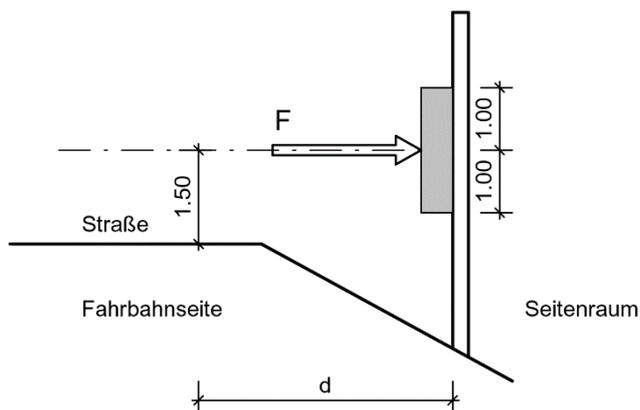


Bild 34: Lastbild aus Schneeräumung [32]

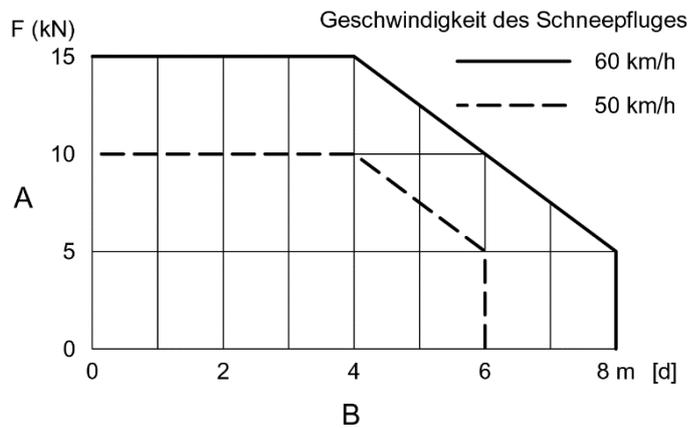


Anmerkung in [32]: Es kann auch erforderlich sein, bei der Bemessung niedrigere Lagen der resultierenden Kraft zu berücksichtigen.

Das Lastbild nach Bild 34 kann als viereckige (konkave) Teilflächenlast angesetzt werden. Die vier Punkte sind gegen den Uhrzeigersinn in der x-y-Ebene einzugeben und müssen in der Verglasungsfläche liegen. Der charakteristische Wert der Flächenlast ist in Abhängigkeit der

Geschwindigkeit des Räumfahrzeuges und dessen Abstand zur Verglasung nach Bild 35 zu ermitteln.

T Für die Einwirkungs-Kombinatorik wirkt die Schneelast aus Räumung als „veränderliche“ Einwirkung, braucht aber nicht gleichzeitig mit der Windlast überlagert werden (siehe Einwirkungs-Ausschluss-Gruppe Abschnitt 3.11.1). Die Sicherheitsbeiwerte sind in der Regel $\gamma = 0$ für nicht vorhandene und $\gamma = 1,5$ für vorhandene Beanspruchung.



Legende

- A Dynamische Last auf eine Fläche von 2 m x 2 m
- B Abstand d vom Rand der vom Schneepflug geräumten Fläche

Bild 35: Resultierende Kraft in Abhängigkeit von Pfluggeschwindigkeit und Abstand d des Pflugs zur Lärmschutzwand [32]

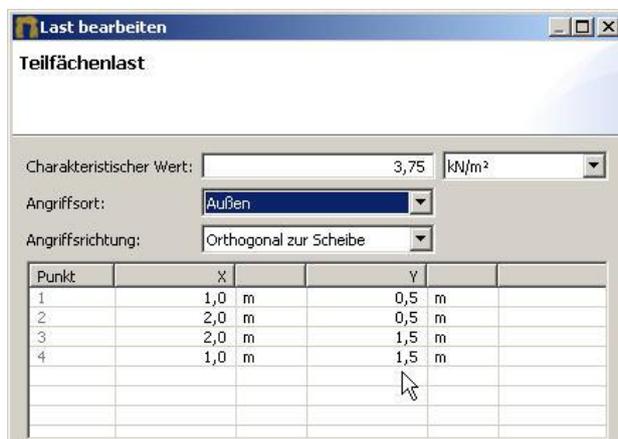


Bild 36: Eingabe der Teilflächenbelastung bei Schneeräumung

3.9.3 Linienlasten

Bei absturzsichernden Verglasungen sind zusätzliche Linienlasten (f) in Holmhöhe (Holmlasten) zu berücksichtigen. Beispielsweise regelt DIN EN 1991-1-1 [25]:

$f = 0,5 \text{ kN/m}$...in Bereichen ohne nennenswerten Publikumsverkehr,

$f = 1,0 \text{ kN/m}$...in Bereichen mit nennenswertem Publikumsverkehr,

$f = 2,0 \text{ kN/m}$...in Bereichen mit großen Menschenansammlungen.

B Beispiel (Bild 37):
In Holmhöhe $y = 0,9 \text{ m}$ wirkt eine „Holmlast“ von $1,0 \text{ kN/m}$.

TRAV

Absatz 5.3:

... Die Kopplung der Innen- und Außenscheibe von Isolierverglasungen bei nicht gleichmäßig verteilten Belastungen (z. B. Holmlasten) oder nicht allseitiger Scheibenlagerung ist in jedem Einzelfall unter Berücksichtigung der Scheibensteifigkeiten und der allgemeinen Gasgleichung zu berechnen. ...

I TW Glas führt die Berechnung durch Klimalasten generell mit der allgemeinen Gasgleichung (thermische Zustandsgleichung des idealen Gases [28]) durch.

Punkt	X	Y	Z
1	0,0 m	0,9 m	
2	1,5 m	0,9 m	

Bild 37: Eingabe einer beliebigen Linienlast (hier: $1,0 \text{ kN/m}$ in $0,9 \text{ m}$ Höhe)

3.9.4 Punktlasten

TW Glas unterstützt eine beliebige Anzahl von Punktlasten.

I Beim Nachweis mit nur einer Punktlast (Personenlast) entstehen aus numerischen Gründen Spannungsspitzen (Singularitäten) unter der Punktlast. Abhilfe schafft das Aufteilen in mehrere Punktlasten oder die Eingabe über gleichwertige Teilflächenlasten.

T Sollten viele Punktlasten ein „Lastbild“ ergeben, welches auch aus z. B. weiteren Linien- und Teilflächenlasten gebildet wird, gehören alle Lasten in eine Einwirkung mit gleicher Einwirkungsdauer und somit gleichen Beiwerten (γ , ψ , k_{mod})

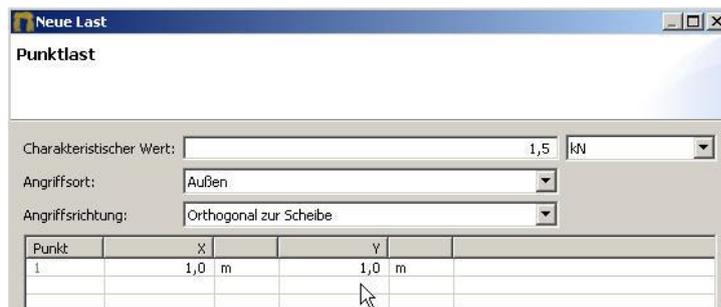


Bild 38: Eingabe einer beliebigen Punktlast (hier: 1,5 kN in y = 1 m Höhe)

3.9.5 Vorverformung der Ränder

Bei einer Lagerung der Ränder in ungewollt verformten Profilen, die auch in bestimmten Toleranzen flügelig (verschwenkt) angeordnet sein können (Bild 40), entstehen Zwängungsspannungen.

Hierbei würde eine rechteckige Verglasung an drei Punkten der Ebene angelegt und der vierte Punkt gegen ein Festprofil angepresst. Weiterhin lassen sich Walztoleranzen von Pfosten und Riegeln berücksichtigen.

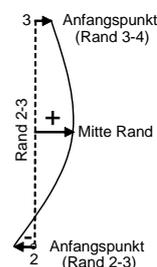


Bild 39: Eingabe der Vorverformung mit Absolutwerten (linear, parabelförmig)

Durch Eingabe der Absolutwerte am Randanfang und in Randmitten lassen sind für die begrenzenden Ränder (Eingabe gegen Uhrzeigersinn) auch parabelförmige Vorverformungen angeben. Die Figur des Randes ermittelt TW Glas mit den Stützstellen automatisch.

I Als statisches System kann bei Vorverformung nicht der fertige Zustand (z. B. gelenkige Lagerung) herangezogen werden. Vielmehr handelt es sich um ein statisches System, das sich über vorgegebene Verformungen am Rand einstellt. Dagegen gelten für die

angreifenden Lasten (z. B. Wind) die Lagerungsbedingungen des fertigen Zustandes und somit ein anderes statisches System.

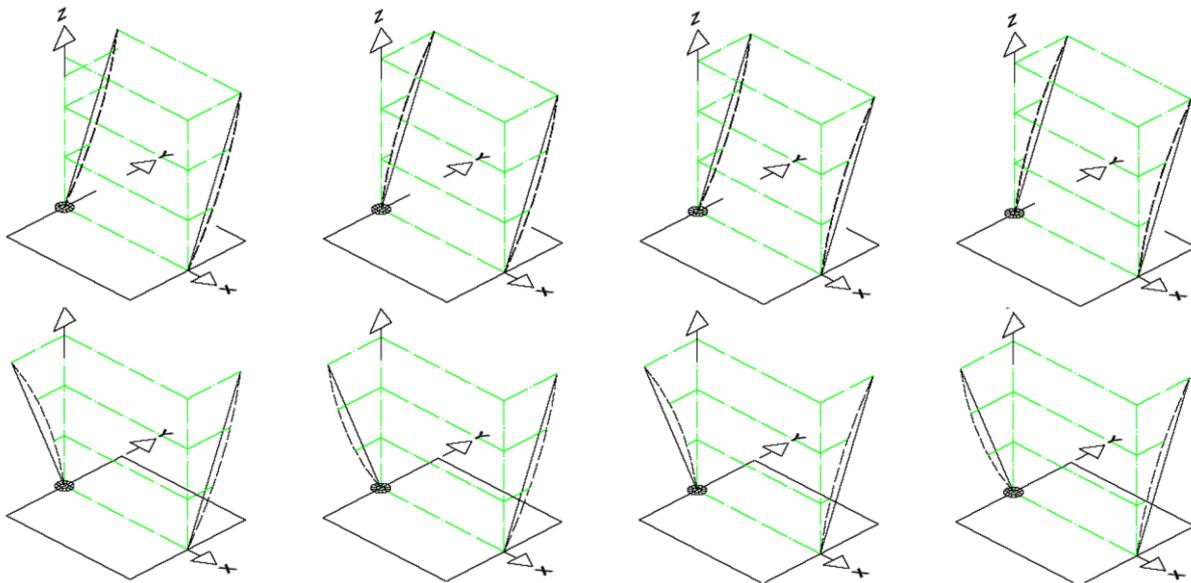


Bild 40: Verglasung beispielsweise einer Lärmschutzwand: einige Varianten für Figuren aus Vorverformung [33]

I TW Glas kann in einer Position verschiedene Vorverformungszustände gleichzeitig berücksichtigen. Dabei sind im Sinne der Einwirkungs-Kombinatorik die Vorverformungen als „veränderlich“ wirkend anzusetzen. Die Sicherheitsbeiwerte sind in der Regel $\gamma_{MAX} = \gamma_{MIN} = 1.0$, da die Maßtoleranzen normativ festgelegt oder mess- und kontrollierbar sind. Wird dagegen für die jeweilige Einwirkung bei mehreren Vorverformungsfiguren statt „veränderlich“ die Eigenschaft „ständig“ gewählt, lassen sich diese Einwirkungen definitionsgemäß nicht in eine Einwirkungs-Ausschlussgruppe zuordnen. Bei der Berechnung würden dann alle Vorverformungsfiguren gleichzeitig „wirken“.

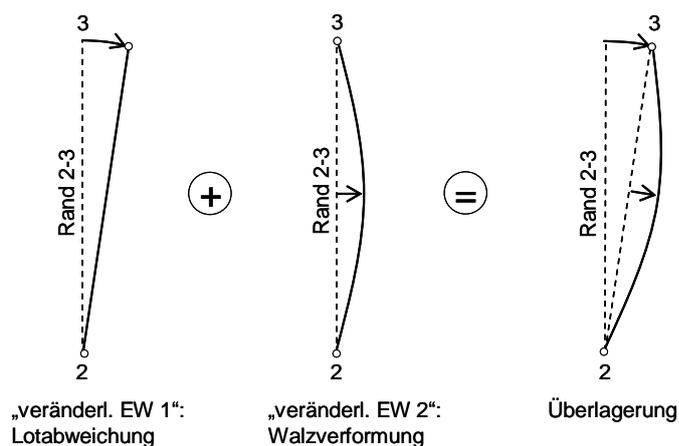


Bild 41: Beispiel der Überlagerung von Vorverformungen

T Für Vorverformungen bei VSG-Verglasungen sollte bei der Einwirkung „kein Schubverbund“ gewählt werden. Während des Einbaus können jedoch anfänglich höhere

Spannungen im Glas auftreten, die sich aber aufgrund des nachgiebigen Schubverbunds über die Zeit und unter Sonneneinstrahlung abbauen.

3.10 Modifikationsbeiwert k_{mod}

Mit der Einwirkungsdauer von vorhandenen Spannungen nimmt die Mikrorissbildung zu. Daher versagt eine Verglasung unter Eigenlast in horizontaler Lage wesentlich eher als in vertikaler Einbaulage (Bild 42).

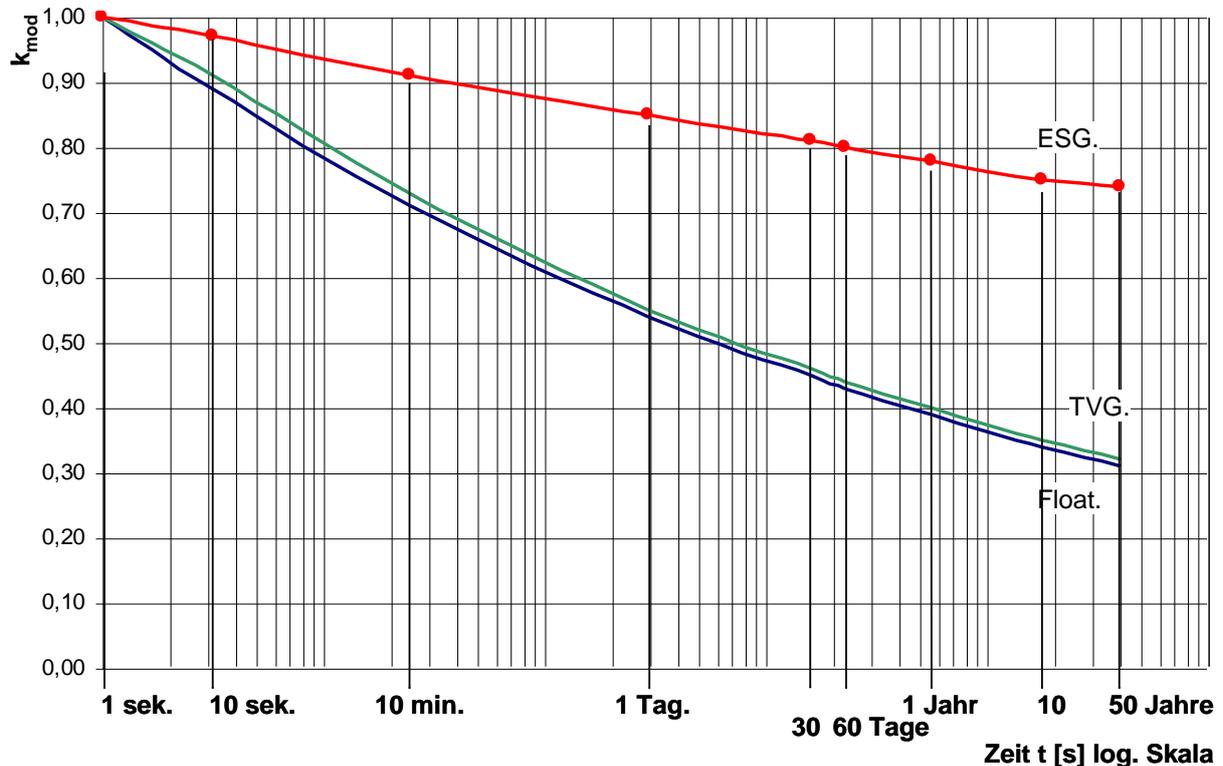


Bild 42: Festigkeitsminderung von Glas in Abhängigkeit von der Belastungsdauer (nach Gl. 5)

Bei Floatglas ist die Biegezugfestigkeit schon nach 24 Stunden auf etwa die Hälfte gefallen. Dies wird über den Modifikationsbeiwert k_{mod} berücksichtigt. Tabelle 9 zeigt Werte von k_{mod} für eine Luftfeuchtigkeit von 50%.

Tabelle 9: Modifikationsbeiwert k_{mod} jeweils für eine Einwirkung (nach Gl. 5)

Glasart	Biegefestigkeit [N/mm ²]	Einwirkungen (beispielhaft)								
		Stoß 1 s	Windböe 10 s	Wind 10 min	1 Tag	Schnee 30 Tage	Schnee 60 Tage	1 Jahr	Wasserdruck 10 Jahre	Eigenlast 50 Jahre
		1	10	600	86400	2592000	5184000	31536000	315360000	1576800000
Float	45	1,00	0,89	0,71	0,54	0,45	0,43	0,39	0,34	0,31
TVG	70	1,00	0,91	0,73	0,55	0,46	0,44	0,40	0,35	0,32
ESG	120	1,00	0,97	0,91	0,85	0,81	0,80	0,78	0,75	0,74

TRLV

Es ist kein Modifikationsbeiwert definierbar. Der globale Sicherheitsbeiwert und konstruktive Festlegungen erfassen alle Festigkeitsminderungen aufgrund der Einwirkungsdauer.

DIN 18008

Der Modifikationsbeiwert k_{mod} zur Berücksichtigung der Einwirkungsdauer ist nur für thermisch nicht vorgespannte Gläser (Floatglas) anzugeben:

Tabelle 10: Modifikationsbeiwert k_{mod} für Floatglas

Einwirkungsdauer	Beispiele	k_{mod}
ständig	Eigengewicht, Ortshöhendifferenz („Klima“)	0,25
mittel	Schnee, Temperaturänderung („Klima“), Änderung des meteorologischen Luftdrucks („Klima“)	0,4
kurz	Wind, Holmlast	0,7

ÖNorm

Der Modifikationsbeiwert k_{mod} zur Berücksichtigung der Lasteinwirkungsdauer ist nur für thermisch nicht vorgespannte Gläser (Floatglas) anzugeben:

Tabelle 11: Modifikationsbeiwert k_{mod} für Floatglas

Einwirkungsdauer	Beispiele	k_{mod}
lang	ständige Last, Klimalast	0,6
mittel	Schneelast, befahrbar, begehbar,	0,6
kurz	Wind, Holmlast, betretbar	1,0

Shen/Wörner

Das Bemessungskonzept nach [12] berücksichtigt für den Modifikationsbeiwert k_{mod} die effektive Dauer aller gleichzeitigen Einwirkungen über Gl. 5. mit dem so genannten Stufenlastmodell.

$$k_{mod} = \left(\frac{t_R}{t_{eff}} \cdot \frac{1}{1+n} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Gl. 5

t_R ... Referenzzeit
 Floatglas $t_R = 45/2_2 = 22,5$ s
 TVG $t_R = 70/2 = 35$ s
 ESG $t_R = 120/2 = 60$ s

n ... Floatglas, TVG: $n = 18,1_3$
 ESG: $n = 70_4$

² Prüfgeschwindigkeit 2 N/mm² pro Sekunde
³ Luft, relative Luftfeuchtigkeit 50%; $n = 16$, wenn unter Wasser gelagert
⁴ Vakuum, Oberflächenrisse unter ständiger Vorspannung geschlossen

t_{eff} ... effektive Einwirkungszeit

Mit den folgenden Summen von Spannungen über die verschiedenen Einwirkungszeiten:

$$a = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5)^n$$

$$b = (\sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5)^n$$

$$c = (\sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5)^n$$

$$d = (\sigma_4 + \sigma_5)^n$$

$$e = (\sigma_5)^n$$

ergibt sich die effektive Einwirkungszeit nach Gl. 6.

$$t_{\text{eff}} = \frac{a \cdot t_1 + b \cdot (t_2 - t_1) + c \cdot (t_3 - t_2) + d \cdot (t_4 - t_3) + e \cdot (t_5 - t_4)}{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5)^n} \quad \text{Gl. 6}$$

t ... Dauer der Einwirkung in Sekunden

sehr kurz	$t_1 = 10 \text{ s}$	(z. B. Windböe)
kurz	$t_2 = 600 \text{ s}$	(10 min z. B. Wind)
mittel	$t_3 = 5184000 \text{ s}$	(60 Tage z. B. Schnee)
lang	$t_4 = 31536000 \text{ s}$	(1 Jahr)
ständig	$t_5 = 1576800000 \text{ s}$	(50 Jahre z. B. ständige Einwirkung)

Individuelles Konzept

Individuelle Eingabe (Bild 43) des Modifikationsbeiwertes k_{mod} mit der Wahl, ob der zur jeweiligen Lasteinwirkungsdauer passende k_{mod} oder derjenige mit der kürzesten Einwirkungsdauer pro Kombination zu benutzen ist.

▼ Modifikationsbeiwerte

- Modifikationsbeiwert Modifikationsbeiwert k_{mod}
 Stufenlastmodell

▼ Modifikationsbeiwert k_{mod}

Modifikationsbeiwert k_{mod} je Material und Einwirkungsdauer

Glastyp	Sehr kurz (Stoß)	Kurz	Mittel	Lang	Ständig
Floatglas	0,7	0,7	0,4	0,4	0,25
TVG	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ESG	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ESG-H	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Gussglas	0,7	0,7	0,4	0,4	0,25

Anwendungsregel

eilige Einwirkungsdauer ▼

Bild 43: Modifikationsbeiwert k_{mod} in Abhängigkeit von Glasart und Einwirkungsdauer

Individuelle Zuordnung (Bild 44) der Einwirkungsdauer zu den Bezeichnungen:
 Vorbelegt sind:

- sehr kurz 10 s (z. B. Windböe)
- kurz 10 min (z. B. Wind)

- mittel 90 Tage (z. B. Schnee)
- lang 1 Jahr
- ständig 50 Jahre (z. B. ständige Einwirkung)

▼ **Modifikationsbeiwerte**

Modifikationsbeiwert

Modifikationsbeiwert k_{mod}

Stufenlastmodell

▶ **Modifikationsbeiwert k_{mod}**

▼ **Stufenlastmodell**

Definition der Einwirkungsauern

Sehr kurz (Stoß)		Kurz		Mittel		Lang		Ständig	
10,0	s	10,0	min	90,0	d	1,0	a	50,0	a

Bild 44: Definition der Einwirkungsauer für die Berechnung von k_{mod} nach dem Stufenlastmodell

Ermittlung von k_{mod} nach Gl. 6.

3.11 Einwirkungskombinatorik

Bei Wahl „nach Vorschrift“ führt TW Glas die Kombinatorik automatisch durch. Nach den verschiedenen Vorschriften sind einige besondere Festlegungen zu beachten:

TRLV

Für die gleichzeitige Einwirkung aus Wind (w) und Schnee (s) gelten folgende Kombinationsbeiwerte (ψ -Beiwerte nach DIN EN 1990):

- $w + 0,5 \cdot s$ (für Orte bis NN + 1000 m)
- $w + 0,7 \cdot s$ (für Orte über NN + 1000 m)
- $s + 0,6 \cdot w$

TRAV

Absatz 4.2:

Beim Nachweis von Isolierverglasung unter gleichzeitiger Einwirkung von Wind (w) und Holmlast (h) dürfen zusätzliche Beanspruchungen aus Klimalasten (d) vernachlässigt werden. Weiterhin darf in diesem Fall anstatt der vollen Überlagerung die jeweils ungünstigere der beiden Einwirkungs-Kombinationen

$$w + h/2$$

$$h + w/2$$

der Bemessung zu Grunde gelegt werden. Außerdem sind sowohl Holmlast als auch Windlast jeweils voll mit der Last aus Druckdifferenzen (Klimalasten) zu überlagern:

$$h + d$$

$$w + d.$$

DIN 18008

Berücksichtigt werden die γ - und ψ -Beiwerte für jede mögliche Einwirkungs-Kombination. Für die voneinander unabhängigen Einwirkungen dürfen die Kombinationsbeiwerte (ψ -Beiwerte) nach DIN EN 1990 [34] oder nach Tabelle 12 benutzt werden:

Tabelle 12: Beiwerte ψ

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Einwirkungen aus Klima ¹ (Änderung von Temperatur und meteorologischem Luftdruck) sowie thermische Zwängungen	0,6	0,5	0
Montagezustände	1,0	1,0	1,0
Holm- und Personenlasten	0,7	0,5	0,3

¹ Die Einwirkung aus Temperaturänderung und meteorologischem Druck dürfen als eine Einwirkung zusammengefasst werden. Klimalast aus Höhendifferenz (ΔH) stellt eine ständige Einwirkung dar.

 TW Glas lässt es zu, dass alle Anteile der Klimalast als veränderliche Einwirkungen auftreten dürfen. Damit lassen sich „Sommer“ und „Winter“ in einer Einwirkungs-Ausschlussgruppe definieren; die jeweils „ungünstige Konstellation“ wird dann bei der Bemessung herangezogen. Der „Fehler“ gegenüber der Norm liegt auf der sicheren Seite, da hiermit die Teilsicherheitsbeiwerte (γ -Werte) von:

- $\gamma = 0$ und $\gamma = 1,50$ statt
- $\gamma = 1,0$ und $\gamma = 1,35$ benutzt werden.

DIN 18008-2, Absatz 6.1.6: „Außer dem Nachweis des planmäßigen Zustandes ist für Horizontalverglasungen aus Mehrscheiben-Isolierglas auch der Ausfall der obersten Einzelscheibe mit deren Belastung für den verbleibenden Glasaufbau nachzuweisen. Diese

Bemessungssituation „Versagen der obersten Einzelscheibe“ stellt eine „außergewöhnliche“ Bemessungssituation (...) dar.“

I TW Glas bietet dafür eine Vorlagedatei (Template). Weitere Templates sind unter www.tragwerk-software.de zu finden.

ÖNorm B 3716

Grundlage ist die ÖNorm EN 1990, Anhang 1 [35] mit folgenden Ergänzungen:
Die Holmlasten sind wie Nutzlasten der Kategorie A zu behandeln.

I Die Klimalasten sind wie Temperatureinwirkungen zu behandeln. Damit kann die Klimalast als eine veränderliche Einwirkung betrachtet werden, mit dem Vorteil, dass „Klima Sommer“ und „Klima Winter“ in einer Einwirkungs-Ausschlussgruppe definierbar sind und somit die Berechnung in einer Position (im Gegensatz zu DIN 18008) möglich ist.

Bei „Horizontalverglasungen“ mit Isolierglas ist die Situation „Ausfall der oberen Scheibe“ als außergewöhnliche Einwirkung zu betrachten.

Shen/Wörner

„Benutzerdefinierte Kombination“: frei wählbar

Individuelles Konzept

„Benutzerdefinierte Kombination“: frei wählbar

Bei Wahl „Benutzerdefinierte Kombination“ lassen sich die gewünschten Faktoren für jede Einwirkung individuell festlegen. Bild 45 zeigt die Einwirkungs-Kombinationen im GZT und GZG.

B Beispiel (Bild 45)

GZG: Alle gleichzeitigen Einwirkungen erhalten den Faktor 1,0.

EWK 1: Eigengewicht + Wind-Sommer + Verwindung + Walztoleranzen
 EWK 2: Eigengewicht + Wind-Winter + Schnee-(t = mittel) + Verwindung + Walztoleranzen
 EWK 3: Eigengewicht + Schnee aus Räumung (Teilflächenlast) + Verwindung + Walztoleranzen

Für die Untersuchung der Spannungen im GZT werden die Einwirkungskombinationen EWK 4 bis EWK 6 angelegt. Die Faktoren sind für:

- Eigenlast: 1,35
- Wind Sommer: 1,50
- Wind Winter: 1,50
- Vorverformung: 1,00
- Schnee (Dauer mittel): $1,50 \times 0,7 = 1,05$ (bei gleichzeitigem Wind als Leiteinwirkung)
- Schnee aus Räumung: 1,50

T Für eine wirtschaftliche Glasdicken-Bemessung sollten bei gleichzeitiger Wirkung von mehreren „Veränderlichen“ die ψ -Beiwerte zur Lastabminderung benutzt werden.

▼ Benutzerdefinierte Kombinationen

Benutzerdefinierte Einwirkungskombinationen

EWK	GZ	1 Eig...	2 Wind S...	3 Wind W...	4 Schnee...	5 Schneewurf ...	6 Vorve...	7 Walzt...	8 Vorver...
EWK 1	GZG	1,0	1,0				1,0	1,0	
EWK 2	GZG	1,0		1,0	1,0		1,0	1,0	
EWK 3	GZG	1,0				1,0	1,0	1,0	1,0
EWK 4	GZT	1,35	1,5		1,0		1,0	1,0	
EWK 5	GZT	1,35		1,5	1,05	1,0	1,0	1,0	
EWK 6	GZT	1,35				1,5	1,0	1,0	1,0

Bild 45: Benutzerdefinierte Kombinationsmatrix für die beiden Grenzzustände: GZG und GZT

3.11.1 Einwirkungsausschluss-Gruppen

Mit der Festlegung von Lasten, die sich gegenseitig ausschließen (Einwirkungs-Ausschluss-Gruppe), sind unterschiedliche Einwirkungs-Situationen modellierbar. Damit führt TW Glas den Nachweis z. B. für Windsog und Winddruck in einer Berechnungsposition durch.

Die Kombinatorik wird bei Anwahl nach Vorschrift (Bild 46) für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) und Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) von TW Glas automatisch durchgeführt. Der größte Ausnutzungsgrad der Verglasung wird über alle Einwirkungskombinationen ermittelt. Sind sehr viele Einwirkungen definiert, steigt die Rechenzeit merklich an.

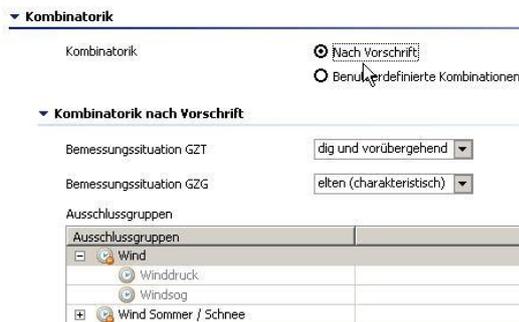


Bild 46: Wahl der Kombinatorik nach Vorschrift

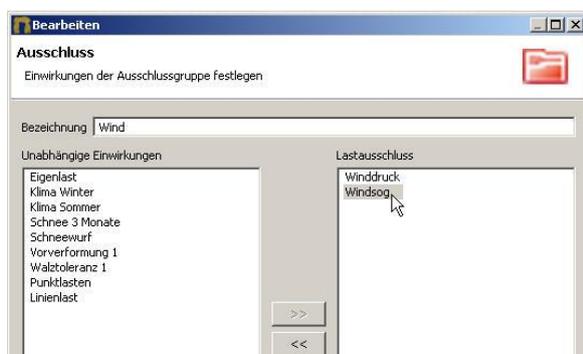


Bild 47: Belegung von Einwirkungs-Ausschluss-Gruppen z. B. Wind (Winddruck, Windsog)

B Beispielsweise kann bei dem Nachweis von Lärmschutzwänden der Einwirkungs-Ausschluss der Schneelast mit dem Lastfall Schneeräumung in einer Gruppe erfolgen. In eine weitere Ausschlussgruppe gehören alle Vorverformungen, die nicht gleichzeitig aufgebracht sind. Somit lassen sich alle Verwindungen aus Walz- und Montagtoleranzen in einem Berechnungsmodell berücksichtigen.

Die benutzerdefinierte Kombinatorik ist für den Grenzzustand der

- Tragfähigkeit (GZT) und
 - Gebrauchstauglichkeit (GZG)
- möglich (Bild 48).

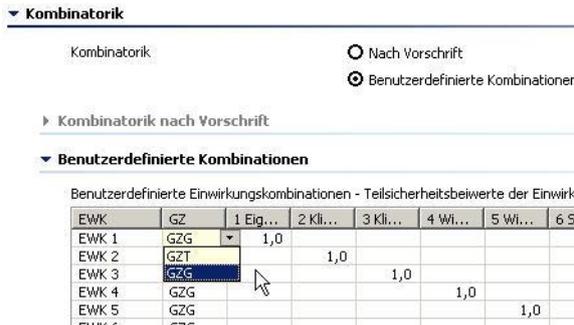


Bild 48: Wahl der Kombinatorik: Benutzerdefiniert

3.12 Finite-Elemente-Modell

TW Glas führt die Berechnung an einem geschichteten FE-Modell mit flachen hybriden Schalelementen durch. Jede Glasschicht wird im System vernetzt und separat berechnet. Die Vernetzungsdichte ist durch Wahl der Elementgröße festzulegen. Die Verbindung der Glasschichten untereinander wird am Rand über spezielle Verbindungselemente gewährleistet.

Bei der Wahl von „nachgiebigem“ Verbund der PVB-Schicht verknüpfen spezielle finite Elemente die Glasschichten mit der gewählten Schubsteifigkeit.

Durch die Verknüpfung der Verglasungseinheit am Rand sind die Spannungen für beide Glasschichten bei der Wahl „ohne Verbund“ nicht komplett identisch (Bild 49).

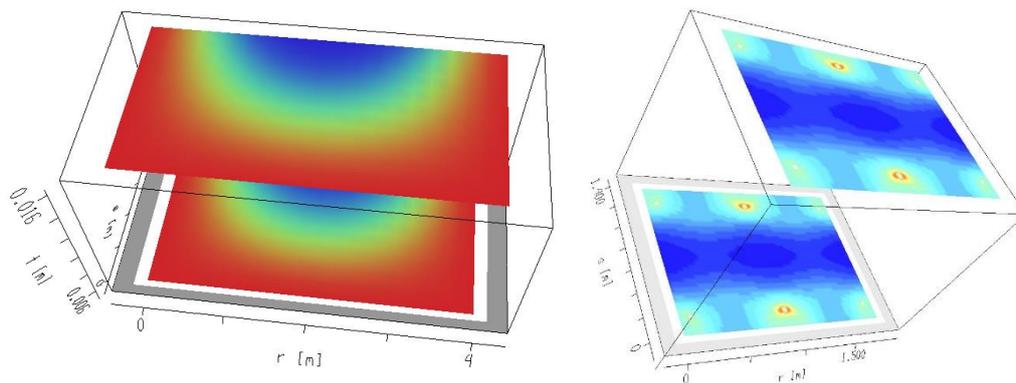


Bild 49: Berechnung mit geschichtetem FE-Modell

Optionen:

- Randverbund nachweisen,
- geometrische Nichtlinearität über Koeffizienten berücksichtigen,
- Glasdicken-Optimierung anwenden.

Bei den Berechnungsoptionen wird die zulässige Durchbiegung und bei Isoliergläsern der Scheibenabstand angegeben, die dem Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zugrunde liegen.

▼ **Berechnungsoptionen**

Randverbund nachweisen

▼ **Geometrische Nichtlinearität**

Über Koeffizienten berücksichtigen

Mit linearer Berechnung vergleichen

▼ **Verformungen**

Zulässige max. Durchbiegung (abs.) mm ▼

Zulässiger min. SZR mm ▼

▼ **Glasdicken-Optimierung**

Optimierung anwenden

Bild 50: Berechnungsoptionen

I TW Glas ermittelt die Schnittgrößen (Spannungen) mit linear-elastischem Verfahren. Somit sind die Ergebnisse nach verschiedenen Normen linear superponierbar (lineare Überlagerung). Beispielsweise hat ein vorverformtes System einen „Eigenspannungszustand“, der mit den üblichen Ergebnissen aus Wind- und Schneeeinwirkungen überlagerbar ist.

I Die Berücksichtigung der geometrischen Nichtlinearität erfolgt in Anlehnung an [39] und ist auf Sonderfälle beschränkt. Die anhand des linear-elastischen Verfahrens ermittelten Spannungen und Verformungen werden nachträglich mit Koeffizienten beaufschlagt. Dabei können nur senkrecht zur Scheibe wirkende Vollflächenlasten berücksichtigt werden. Weitere Anwendungsvoraussetzungen sind:

- Rechteckscheibe mit $1 \leq a/b \leq 3$ und maximal zwei Scheibenzwischenräumen,
- Kreisscheibe ohne Scheibenzwischenraum,
- umlaufend gelenkige Lagerung,
- Querdehnzahl $0,20 \leq \nu \leq 0,24$.

4 Nachweis der Tragfähigkeit

Nach Wahl der Bemessungsvorschrift wird das jeweilige Sicherheitskonzept [36] für den Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit herangezogen. Ein Vergleich verschiedener Bemessungsverfahren ist in [37] zu finden.

4.1 TRLV

Die Bemessung wird nach dem globalen Sicherheitskonzept durchgeführt. Der globale Sicherheitsbeiwert beinhaltet die anhaftenden Unsicherheiten (Streuungen) von Einwirkungen, Widerständen und dem Berechnungsmodell.

$$\sigma_S \leq \sigma_{zul} = \frac{\sigma_R}{\gamma}$$

σ_S ... vorhandene Spannungen (Biegezugspannungen)

σ_R ... charakteristische Zugfestigkeit (Tabelle 13)

σ_{zul} ... zulässige Spannungen (Tabelle 13)

γ ... globaler Sicherheitsfaktor (Tabelle 13)

Die zulässigen Biegezugspannungen sind in den TRLV in Abhängigkeit von Glasart und Einbauwinkel angegeben. Für Floatglas wird die alte Bezeichnung Spiegelglas (SPG) verwendet.

Tabelle 13: Globaler Sicherheitsfaktor und zulässige Biegezugspannungen

Glassorte	charakteristische Zugfestigkeit [N/mm ²]	Horizontalverglasung (Überkopfverglasung)		Vertikalverglasung ^{3,4}	
		globaler Sicherheitsbeiwert	zulässige Spannungen [N/mm ²]	globaler Sicherheitsbeiwert	zulässige Spannungen [N/mm ²]
ESG aus SPG	120	2,40	50	2,4	50
ESG aus Gussglas	90	2,40	37	2,4	37
Emailliertes ESG aus SPG ¹	70	2,40	30	2,3	30
SPG	45	3,75	12	2,5	18
Gussglas	25	3,10	8	2,5	10
VSG aus SPG	45	3,00 (1,8 ²)	15 (25 ²)	2,0	22,5
TVG ⁵	70	2,40	29	2,4	29
TVG emalliert ⁵	43	2,40	18	2,4	18
VSG aus TVG ⁵	70	2,40	29	2,4	29
VSG aus ESG ⁵	120	2,40	50	2,4	50

¹ Emaille auf der Zugseite

² Nur für die untere Scheibe einer Überkopfverglasung aus Isolierglas beim Lastfall "Versagen der oberen Scheibe" zulässig.

³ Erhöhung der Werte bei zusätzlichen Klimabelastungen um 15%.

⁴ Erhöhung der Werte bei Glasflächen aus SPG (Float) bis 1,6 m² um 25%.

⁵ Diese Spannungen sind nicht direkt in der TRLV ausgewiesen.

B Beispielsweise ergibt sich für die zulässige Biegezugspannung für Floatglas (SPG) bei einer charakteristischen Festigkeit von 45 N/mm² mit den globalen Sicherheitsbeiwerten für:

Horizontalverglasung $\sigma_{zul} = 45 / 3,75 = 12 \text{ N/mm}^2$,

Vertikalverglasung $\sigma_{zul} = 45 / 2,50 = 18 \text{ N/mm}^2$.

Damit ist die Abminderung der Festigkeit von Floatglas als Funktion der Lasteinwirkungsdauer (Einbauwinkel) über den globalen Sicherheitsfaktor abgedeckt.

4.2 DIN 18008-2 Linienförmige Lagerung

Die Bemessung der Verglasung erfolgt nach DIN 18008 mit dem semiprobabilistischen Nachweisverfahren (Teilsicherheitskonzept). Die Einwirkungen sind mit Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten zu behaften. In den Bemessungswert der Festigkeit fließen der Teilsicherheitsbeiwert für das Material γ_M und der Modifikationsfaktor k_{mod} (Klasse der Einwirkungsdauer, Abschnitt 3.10) ein.

$$E_d \leq R_d \quad \text{Gl. 7}$$

E_d ... Bemessungswert der Beanspruchung (z. B. Spannungen)

R_d ... Bemessungswert des Tragwiderstandes (z. B. einachsige Zugfestigkeit)

$$E_{d,ständig} \oplus E_{d,kurz} \oplus E_{d,mittel} \leq \frac{k_c \cdot k_{mod} \cdot f_k \cdot f_2 \cdot f_3}{\gamma_M} \quad \text{Gl. 8}$$

B Beispielsweise gilt für eine Einwirkungssituation aus Eigen-, Wind- und Schneelasten für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) [34] folgende Gleichung:

$$E_d \leq R_d \quad \text{Gl. 9}$$

"Eigengewicht \oplus Wind \oplus Schnee \leq Festigkeit"

$$(\gamma_g \cdot \psi_g \cdot g) \oplus (\gamma_w \cdot \psi_w \cdot w) \oplus (\gamma_s \cdot \psi_s \cdot s) \leq \frac{k_c \cdot k_{mod} \cdot f_k \cdot f_2 \cdot f_3}{\gamma_M}$$

γ_g ... Teilsicherheitsbeiwert für Eigenlast (Ständige Einwirkung $\gamma_g = 1,0$ bzw. 1,35)

ψ_g ... Kombinationsbeiwert für Eigenlast ($\psi_g = 1,0$, weil Ständige Einwirkung)

g ... z. B. Hauptzugspannungen aus Eigenlast

γ_w ... Teilsicherheitsbeiwert für Windlast (Veränderliche Einwirkung $\gamma_w = 0$ bzw. 1,5)

ψ_w ... Kombinationsbeiwert für Windlast ($\psi_w = 0,6$)

w ... z. B. Hauptzugspannungen aus Windlast

γ_s ... Teilsicherheitsbeiwert für Schneelast (Veränderliche Einwirkung

$\gamma_s = 0$ bzw. 1,5)

ψ_s ... Kombinationsbeiwert für Schneelast bis 1000 m über NN ($\psi_s = 0,5$)

s ... z. B. Hauptzugspannungen aus Schneelast

k_c ... Beiwert zur Berücksichtigung der Konstruktion

1. bei linienförmiger Lagerung:

(im Allgemeinen gilt $k_c = 1,0$;

ohne thermische Vorspannung gilt $k_c = 1,8$)

2. bei punktförmiger Lagerung:

$k_c = 1,0$ unabhängig von der Glasart

k_{mod} Modifikationsbeiwert (der kürzesten Einwirkungsdauer, hier „Wind“)

f_2 Erhöhung von f_k (bei Verbundglas $f_2 = 1,1$), wegen geringerem Bruchrisiko der Verglasungseinheit

- f_3 Abminderungsfaktor von f_k wenn freier Rand und Glas ohne thermische Vorspannung (Float-, Guss-, Drahtglas, $f_3 = 0,8$)
- f_k ... charakteristischer Wert der Biegezugfestigkeit (Tabelle 14)
- γ_M Material Sicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,5$ (ESG, TVG), $\gamma_M = 1,8$ (Float); für Scheiben von 2 mm Dicke gilt abweichend $\gamma_M = 1,6$ (ESG, TVG), $\gamma_M = 1,9$ (Float)

 Nach DIN 18008 wird beim Nachweis der Modifikationsbeiwert k_{mod} aus der kürzesten Einwirkungsdauer für alle Einwirkungen in der Kombination einheitlich angesetzt!

 In DIN 18008 ist die charakteristische Zugfestigkeit nicht genormt und muss der Produktnorm entnommen werden. Obwohl es keine Festlegung zur Festigkeit gibt, dürfen nach DIN 18008-1, Absatz 8.3.9 für Verglasungen aus VSG und VG die Bemessungswerte des Tragwiderstandes pauschal um 10% erhöht werden.

Tabelle 14: Charakteristische Zugfestigkeit in N/mm²

Glassorte	charakteristische Zugfestigkeit ² [N/mm ²]
Float	45
TVG	70
TVG emailliert ¹	45
ESG	120
ESG emailliert ¹	90
Drahtglas	25
Gussglas	25

¹ auch teilemailliert und siebbedruckt mit Keramikfarbe

² Bei planmäßig unter Zug stehenden Kanten (z.B. zweiseitig linienförmiger Lagerung) von Glas ohne thermische Vorspannung dürfen nur 80% der Tabellenwerte angesetzt werden.

4.3 DIN 18008-3 Punktförmige Lagerung

$$E_d \leq R_d \tag{Gl. 10}$$

E_d ... Bemessungswert der Beanspruchung (z. B. Spannungen)

R_d ... Bemessungswert des Tragwiderstandes (z. B. einachsige Zugfestigkeit)

$$R_d \leq \frac{k_c \cdot k_{mod} \cdot f_k \cdot f_2 \cdot f_3}{\gamma_M} \tag{Gl. 11}$$

k_c ... Beiwert zur Berücksichtigung der Konstruktion
 $k_c = 1,0$ unabhängig von der Glasart

sonst wie in Abschnitt 4.2.

4.4 ÖNorm B 3716

Die Bemessung der Verglasung erfolgt in Anlehnung an die ÖNorm B 3716. Diese beruht auf dem Teilsicherheitskonzept. Für die Bemessungsfestigkeit sind der Teilsicherheitsbeiwert für das Material γ_M und der Abminderungsfaktor k_{mod} (Klasse der Einwirkungsdauer) zu verwenden. Die Glasfestigkeit in Abhängigkeit der Einwirkungsdauer wird berücksichtigt, ist aber für TVG (teilverglastem Glas) für kurze, mittlere und lange Einwirkungsdauer mit dem Faktor $k_{mod} = 1,0$ nicht bemessungsrelevant.

$$E_d \leq R_d \tag{Gl. 12}$$

E_d ... Bemessungswert der Beanspruchung

R_d ... Bemessungswert des Widerstandes

$$E_d = \gamma_f \cdot E_k \tag{Gl. 13}$$

E_k ... charakteristische Beanspruchung

γ_f ... Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen

$$R_d = \frac{f_1 \cdot f_2 \cdot f_k \cdot k_{mod} \cdot k_b}{\gamma_M} \tag{Gl. 14}$$

f_1 Abminderungsfaktor von f_k (z. B. bei Emaillierung $f_1 = 0,6$)

f_2 Abminderungsfaktor von f_k (für freien Rand $f_2 = 0,8$)

f_k ... charakteristische Festigkeit (Tabelle 15)

γ_M ... Teilsicherheitsbeiwert der Widerstandsseite (Tabelle 16)

k_{mod} ... Abminderungsfaktor für die Einwirkungsdauer (Tabelle 11)

k_b ... Abminderungsfaktor für die Art der Beanspruchung
(Plattenbeanspruchung $k_b = 1,0$)

Tabelle 15: Charakteristische Zugfestigkeit in N/mm²

Glassorte	charakteristische Zugfestigkeit ² [N/mm ²]
Float	45
TVG	70
ESG	120
Drahtglas	25
Gussglas	25

² Bei planmäßig unter Zug stehenden Kanten (z.B. zweiseitig linienförmiger Lagerung) von Glas ohne thermische Vorspannung dürfen nur 80% der Tabellenwerte angesetzt werden.

Tabelle 16: Teilsicherheitsbeiwerte

Glasart	γ_M
Float	1,5
VSG aus Float	1,5
TVG	1,5
ESG	1,5
Drahtglas	2,0
Gussglas	2,0

Bei verschiedenen gleichzeitigen Einwirkungen ($E_{d,i=1\dots n}$) unterschiedlicher Dauer ist der Nachweis folgendermaßen zu führen:

$$\sum_i \frac{E_{d,i}}{k_{mod}} \cdot \left(\frac{\gamma_M}{f_1 \cdot f_2 \cdot f_k \cdot k_b} \right)_i \leq 1 \quad \text{Gl. 15}$$

Bei Kombinationen aus Einwirkungen, die zu verschiedenen Klassen der Einwirkungsdauer gehören, gilt die Einwirkung mit der kürzesten Dauer als maßgebend.

TW Glas benutzt folgende, umgestellte Gleichung:

$$\sum_i E_{d,i} \leq \frac{k_{mod} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_k \cdot k_b}{\gamma_M} \quad \text{Gl. 16}$$

$$E_d \leq R_d$$

"Eigengewicht \oplus Wind \oplus Schnee \leq Festigkeit"

$$E_{d,ständig} \oplus E_{d,kurz} \oplus E_{d,mittel} \leq \frac{k_b \cdot f_1 \cdot f_k \cdot k_{mod,i}}{\gamma_M} \quad \text{Gl. 17}$$

$E_{d,i} \dots$ Einwirkungen i (z. B. Spannungen aus ständiger, kurzer, mittlerer Dauer)

$k_{mod,i}$ Beiwert der kürzesten Dauer (z. B. aus ständiger, kurzer, mittlerer Dauer)

 Nach ÖNorm B 3716-2 brauchen allseitig gelagerte Isolierverglasungen mit Einbauhöhen bis 10 m über Gelände nicht nachgewiesen werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Fläche: $\leq 1,6 \text{ m}^2$
- Nenndicke des Glases: $\geq 4 \text{ mm}$
- Differenz der Scheibendicken: $\leq 6 \text{ mm}$
- SZR: $\leq 18 \text{ mm}$
- Belastung: nur Windlast

TW Glas dient hier beispielsweise zur Optimierung der Verglasung.

4.5 Shen/Wörner

TW Glas benutzt ein modifiziertes Stufenlastmodell nach SHEN/WÖRNER, worin fünf „Lasteinwirkungsdauern“ (Abschnitt 3.10) berücksichtigt sind.

$$E_d \leq R_d \tag{Gl. 18}$$

E_d ... Bemessungswert der Beanspruchung (z. B. maximale Hauptzugspannung)
 R_d ... Bemessungswert des Widerstandes

$$R_d = \frac{k_F \cdot f_1 \cdot f_k}{\gamma_M} \tag{Gl. 19}$$

- R_d ... Bemessungswert des Widerstandes
- k_F ... Flächenfaktor zur Berücksichtigung der höheren Versagenswahrscheinlichkeit von größeren Verglasungen aus Floatglas ($k_F = 1,0$ für Flächen bis $A \leq 4 \text{ m}^2$; $k_F = 0,9$ für Flächen $A > 4 \text{ m}^2$)
- k_{mod} Modifikationsbeiwert mit den gewichteten Einwirkungsdauern nach dem Stufenlastmodell (Gl. 5)
 (Funktion der beteiligten Einwirkungszeiten pro Einwirkungskombination an jedem FE-Knoten)
- f_1 Abminderungsfaktor von f_k (z. B. bei Emaillierung $f_1 = 0,6$)
- f_k ... charakteristische Festigkeit (5%-Fraktil)
- γ_M ... Teilsicherheitsbeiwert der Widerstandsseite ($\gamma_M = 1,25$ für alle Gläser)

$$E_d \leq R_d$$

"Eigengewicht \oplus Wind \oplus Schnee \leq Festigkeit"

$$\frac{E_{d,ständig}}{k_{mod}} \oplus \frac{E_{d,lang}}{k_{mod}} \oplus \frac{E_{d,mittel}}{k_{mod}} \oplus \frac{E_{d,kurz}}{k_{mod}} \oplus \frac{E_{d,sehrkurz}}{k_{mod}} \leq \frac{k_b \cdot f_k}{\gamma_M} \tag{Gl. 20}$$

 Das Nachweisverfahren ist auf 4-seitig gelagerte Rechteckscheiben von max. 10 m² unter gleichförmigen Flächenlasten abgestimmt.

4.6 Individuelles Konzept

TW Glas berücksichtigt beliebig wählbare Modifikationsbeiwerte k_{mod} auf der Einwirkungsseite mit dem Vorteil, dass die Festigkeiten für jede Einwirkungskombination gleich bleiben oder alternativ mit k_{mod} der kürzeste Einwirkungsdauer in der Kombination auf der rechten Seite.

$$E_d \leq R_d$$

"Eigengewicht \oplus Wind \oplus Schnee \leq Festigkeit"

$$\frac{E_{d,\text{ständig}}}{k_{\text{mod,ständig}}} \oplus \frac{E_{d,\text{kurz}}}{k_{\text{mod,kurz}}} \oplus \frac{E_{d,\text{mittel}}}{k_{\text{mod,mittel}}} \leq \frac{k_b \cdot f_1 \cdot f_k}{\gamma_M} \quad \text{Gl. 21}$$

Individuelle Festlegung:

$k_{\text{mod,ständig}}$	Modifikationsbeiwert für ständige Einwirkungen z. B. Eigenlasten
$k_{\text{mod,kurz}}$	Modifikationsbeiwert für veränderliche Einwirkungen z. B. Windlasten
$k_{\text{mod,mittel}}$	Modifikationsbeiwert für veränderliche Einwirkungen z. B. Schneelasten bis +1000m ü. NN

Der Schubverbund der PVB-Schicht wird nach [16] für die Bemessung berücksichtigt. Die Schubsteifigkeit ist von der Temperatur und Einwirkungsdauer abhängig und somit keine „reine“ Materialkonstante.

Damit sind die Schubsteifigkeiten von der Dauer der Einwirkung (Eigenlast, Wind, Schnee) abhängig und für jede Einwirkung (z. B. Wind im Sommer und Wind im Winter) entsteht folglich ein eigenes statisches System mit nachgiebigem Verbund. Die Beanspruchungen aus den einzelnen Einwirkungen werden überlagert (superponiert).

 TW Glas verwendet für die praktische Nutzung die lineare Superposition. Dabei wird unterstellt, dass die Beanspruchungen in der Verglasung aus verschiedenen Einwirkungen unabhängig voneinander sind.

4.7 Sonstige Nachweise

4.7.1 Nachweis des ^[AZ1] Randverbundes

TW Glas unterstützt für Isoliergläser den Nachweis des Randverbundes mit nutzerdefinierter Klebetiefe (a_2) (z. B. $a_2 = 3$ mm oder 6 mm) und Bemessungszugfestigkeit (z. B. $f_d = 0,11$ N/mm²) über die vereinfachte Gleichung:

$$E_d \leq R_d \quad \text{Gl. 22}$$

$$\sigma_d = Z_d / (a_2 \cdot 1 \text{ m}) \leq f_d$$

σ_d ... vorhandene Bemessungsspannung

Z_d ... Bemessungszugkraft

f_d ... Bemessungsfestigkeit (nach Zulassung oder Herstellerangaben)

a_2 ... Klebetiefe (Sekundärdichtung Polysulfid) nach Bild 19

B Unter einer Einwirkungskombination mit Klimalast wirkt eine Bemessungs-Zugkraft entlang eines Randes mit $Z_d = 0,64$ kN/m. Bei einer Klebetiefe von 6 mm ergibt sich die Bemessungsspannung von $\sigma_d = 0,64 / (0,006 \cdot 1) = 106$ kN/m² = 0,106 N/mm² < $f_d = 0,11$ N/mm².

Bei der Auslegung des Randverbundes sollte die „Kraft“ der Anpressleiste berücksichtigt werden, die z. B. die Lasten aus Windsog vollständig aufnimmt.

4.7.2 DIN 18516: Hinterlüftete Außenwandbekleidungen aus ESG

Mit dem globalen Sicherheitskonzept lassen sich hinterlüftete Außenwandbekleidungen nachweisen. Es gelten folgende zulässige Spannungen:

Tabelle 17: zulässige Spannungen für ESG

ESG aus	zul. Biegezugspannung
	σ_{zul} [N/mm ²]
Spiegelglas	40
Fensterglas, Gussglas	30
emailliertes Glas, wenn die Emaillierung direkt auf der Glasfläche und	
- in der Zugzone liegt	25
- in der Druckzone liegt	40

4.7.3 Verglasungen unter außerordentlichen thermischen Belastungen

Bei örtlichen Temperatureinwirkungen auf Glasscheiben [15] können sich durch ungleichmäßige Längenänderungen Spannungen ergeben, die bei Überlagerung mit anderen Einwirkungen zum Bruch führen können.

Folgende Hinweise:

- zwischen Heizkörper und Isolierglas gilt ein Minderstabsabstand von 30 cm,
- bei einem Innenglas aus ESG gilt ein Minderstabsabstand von 15 cm zum Heizkörper,

- Heizkörperbreite sollte der Breite der Isolierglaseinheit entsprechen,
- bei Einsatz eines Hitzenschutzschildes gilt ein Minderabstand von 10 cm,
- eine nachträglich anzubringende Sonnenschutzeinrichtung ist vor Einbau für deren Auswirkung auf die Verglasung im Hinblick auf ungleichmäßige Temperaturentwicklung zu untersuchen.

5 Nachweis der Stoßsicherheit

5.1 TRAV - Nachweis der Tragfähigkeit unter stoßartigen Einwirkungen

Nach den „Technischen Regeln für Absturzsichernde Verglasungen“ (TRAV) werden folgende Kategorien nach Bild 51 unterschieden:

- Kategorie A: Linienförmig gelagert, raumhohe Verglasungen ohne lastabtragenden Holm
- Kategorie B: Unten eingespannte Ganzglasbrüstung mit durchgehendem Handlauf
- Kategorie C2: Rein ausfachende Verglasung unterhalb eines tragenden Querriegels
- Kategorie C3: Raumhohe Verglasung mit vorgesetzter Umwehrung (z. B. Handlauf)

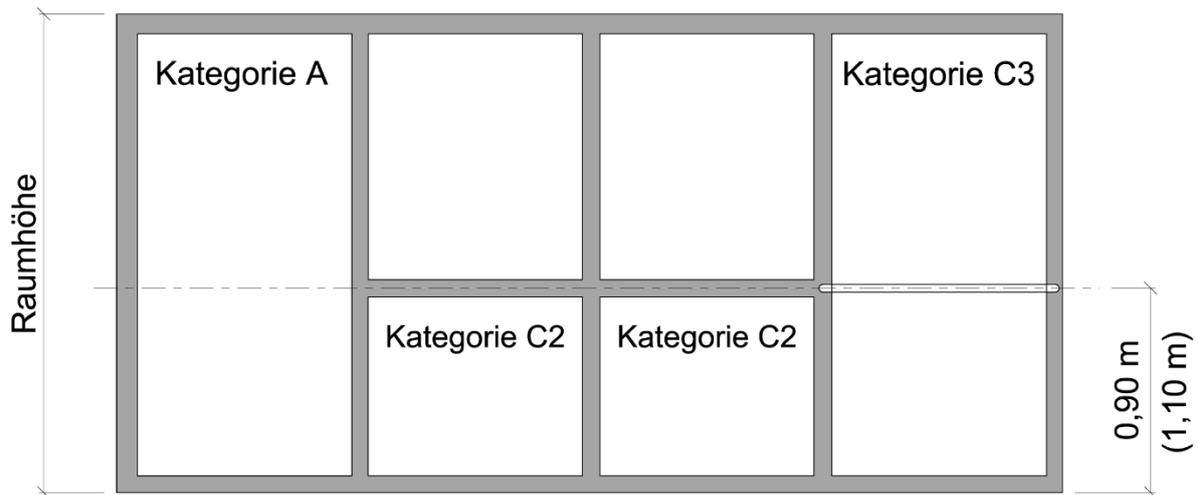


Bild 51: Kategorien zur Absturzsicherung

I Außer dem Nachweis des planmäßigen Zustandes sind für eingespannte Glasbrüstungen (Kategorie B) auch die Auswirkungen einer Beschädigung eines beliebigen Brüstungselementes (auch der Ausfall von Endscheiben) zu untersuchen. Zudem ist nachzuweisen, dass der durchgehende Handlauf in der Lage ist, die Holmlasten bei vollständigem Ausfall eines Brüstungselementes auf Nachbarelemente, Endpfosten oder Verankerungen am Gebäude zu übertragen. Für Nachweise der beschädigten Brüstungskonstruktion darf für die Verglasung der 1,5-fache Wert der zulässigen Biegezugspannung angesetzt werden.

Nach TRAV sind folgende Möglichkeiten dargelegt:

- Experimenteller Nachweis,
- Verglasung mit versuchstechnisch nachgewiesener Stoßsicherheit,
- Nachweis der Stoßsicherheit mittels Spannungstabellen,
- Nichtlinear transiente Berechnung.

5.1.1 Experimenteller Nachweis

siehe TRAV Absatz 6.2:

Eine versuchstechnische Prüfung unter stoßartiger Einwirkung ist durch eine bauaufsichtlich anerkannte Prüfstelle durchzuführen. Die Auftreffstellen des Stoßkörpers sind vom Prüfer festzulegen. Die Prüfung der Originalkonstruktion soll auch die hinreichende Tragfähigkeit der Anschlusskonstruktion, wie Rahmen und Beschläge nachweisen.

Tabelle 18: Pendelfallhöhen

Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C
900 mm	700 mm	450 mm

5.1.2 Verglasung mit versuchstechnisch nachgewiesener Stoßsicherheit

siehe TRAV Absatz 6.3:

Mit nachfolgender Tabelle ist die Stoßsicherheit der gelisteten Glasaufbauten gewährleistet. Ein weiterer Nachweis ist nicht erforderlich.

Tabelle 19: Glasaufbauten mit nachgewiesener Stoßsicherheit ⁵

Kat.	Typ	Linienförmige Lagerung	Breite [mm]		Höhe [mm]		Glasaufbau [mm] (von innen ¹ nach außen)			
			min.	max.	min.	max.				
1	2	3	4	5	6	7	8			
A	MIG	Allseitig	500	1300	1000	2000	8 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG	1		
			1000	2000	500	1300	8 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG	2		
			900	2000	1000	2100	8 ESG/ SZR/ 5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG	3		
			1000	2100	900	2000	8 ESG/ SZR/ 5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG	4		
			1100	1500	2100	2500	5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG/ SZR/ 8 ESG	5		
			2100	2500	1100	1500	5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG/ SZR/ 8 ESG	6		
			900	2500	1000	4000	8 ESG/ SZR/ 6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG	7		
			1000	4000	900	2500	8 ESG/ SZR/ 6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG	8		
			300	500	1000	4000	4 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG	9		
			300	500	1000	4000	4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG/ SZR/ 4 ESG	10		
	MIG ²	Allseitig	500	2100	1000	3000	5 SPG/ 0,76PVB/ 5 SPG/SZR/ 4 SPG/SZR/ 8 ESG			
			1000	3000	500	2100	5 SPG/ 0,76PVB/ 5 SPG/SZR/ 4 SPG/SZR/ 8 ESG			
			500	2100	1000	3000	8 ESG/SZR/ 4 SPG/SZR/ 4 SPG/0,76PVB/ 4 SPG			
			1000	3000	500	2100	8 ESG/SZR/ 4 SPG/SZR/ 4 SPG/0,76PVB/ 4 SPG			
			500	2100	1000	3000	5 SPG/ 0,76PVB/ 5 SPG/ SZR/ 8 ESG			
			1000	3000	500	2100	5 SPG/ 0,76PVB/ 5 SPG/ SZR/ 8 ESG			
			500	2100	1000	3000	8 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76PVB/ 4 SPG			
			1000	3000	500	2100	8 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76PVB/ 4 SPG			
			einfach	Allseitig	500	1200	1000	2000	6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG	11
					500	2000	1000	1200	6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG	12
	500	1500			1000	2500	8 SPG/ 0,76 PVB/ 8 SPG	13		
	500	2500			1000	1500	8 SPG/ 0,76 PVB/ 8 SPG	14		
	1200	2100			1000	3000	10 SPG/ 0,76 PVB/ 10 SPG	15		
	1000	3000			1200	2100	10 SPG/ 0,76 PVB/ 10 SPG	16		
	300	500			500	3000	6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG	17		
	C1 und C2	MIG			Allseitig	500	2000	500	1000	6 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG
			500	1300		500	1000	4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG/ SZR/ 6 ESG	19	
		einfach	Zweiseitig, oben u. unten	1000	bel.	500	1000	6 ESG/ SZR/ 5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG	20	
				Allseitig	500	2000	500	1000	5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG	22
			1000		bel.	500	800	6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG	23	
Zweiseitig, oben u. unten			800		bel.	500	1000	5 ESG/ 0,76 PVB/ 5 ESG	24	
			800		bel.	500	1000	8 SPG/ 1,52 PVB/ 8 SPG	25	
Zweiseitig, links u. rechts			500	800	1000	1100	6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG	26		
			500	1000	800	1100	6 ESG/ 0,76 PVB/ 6 ESG	27		
			500	1000	800	1100	8 SPG/ 1,52 PVB/ 8 SPG	28		
			500	1500	1000	3000	6 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG	29		
C3			MIG	Allseitig	500	1300	1000	3000	4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG/ SZR/ 12 ESG	30
	500	1500			1000	3000	5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG	31		

1: Mit "innen" ist die Angriffsseite, mit "außen" die Absturzsseite der Verglasung gemeint
MIG: Mehrscheiben-Isolierverglasung
SZR: Scheibenzwischenraum, mindestens 12 mm
SPG: Spiegelglas (Float-Glas)
ESG: Einscheiben-Sicherheitsglas aus Spiegelglas
PVB: Polyvinyl-Butyral-Folie
2: Rossa, M.; Sack, N.: Absturzsicherung von Dreifachverglasungen. ift Rosenheim, 2009

⁵ Die statischen Nachweise unter den „üblichen“ Einwirkungen sind stets zu führen.

5.1.3 Nachweis der Stoßsicherheit mittels Spannungstabellen

siehe TRAV Absatz 6.4:

Für den vereinfachten Nachweis für Rechteckscheiben unter stoßartiger Belastung sind in Tabelle 20 die zulässigen Kurzzeitspannungen angegeben. Die Tabellenwerte gelten für Pendelhöhen von 450 mm. Beim Nachweis für Pendelhöhen von 900 mm werden die Tabellenwerte mit dem Faktor 1,4 erhöht.

Tabelle 20: Maximal zulässige Kurzzeitspannungen in N/mm² bei einer Pendelhöhe von 450 mm

allseitig linienförmige Lagerung									
	L ₁ [m]	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0
	L ₂ [m]	1,0	2,0	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0
Glasdicke t [mm]	6	184	188	197	193	194	192	193	192
	8	154	159	163	157	158	151	152	151
	10	133	141	140	134	135	129	129	132
	12	95	106	104	95	97	93	93	95
	14	81	93	91	84	85	82	82	84
	15	74	86	84	81	82	76	76	77
	16	67	79	76	77	79	70	69	71
	20	37	45	44	50	52	48	46	47
	22	33	40	39	45	48	44	44	44
	24	29	36	35	40	43	40	40	41
	27	23	28	28	32	35	33	34	35
	30	17	21	20	24	26	25	27	28

zweiseitige Lagerung					
	L ₁ [m]	1,0	1,0	1,5	1,5
	L ₂ [m]	1,0	>= 2,0	1,0	>= 2,0
Glasdicke t [mm]	6	240	223	226	195
	8	192	183	167	157
	10	159	155	129	126
	12	136	134	110	105
	14	107	105	99	94
	15	96	94	94	89
	16	87	85	89	85
	20	62	60	75	71
	22	52	50	65	61
	24	44	43	58	54
	27	36	34	49	45
	30	29	28	43	39

L₁, L₂: Seitenlängen der Verglasung

t... Glasdicke der Verglasung (bei VSG ist t die Summe der Einzelscheibendicken)

5.2 DIN 18008-4 Absturzsichernde Verglasung

Der Stoßnachweis an einer Rechteckverglasung mit allseitiger Linienlagerung wird mit quasi-ständigen Ersatzlasten geführt. Auf der Fläche von 20 x 20 cm² wird eine Last von Q = 8,5 kN eingetragen.

 Flächenlast $q = 8,5 / (0,2 \times 0,2) = 212,5 \text{ kN/m}^2$

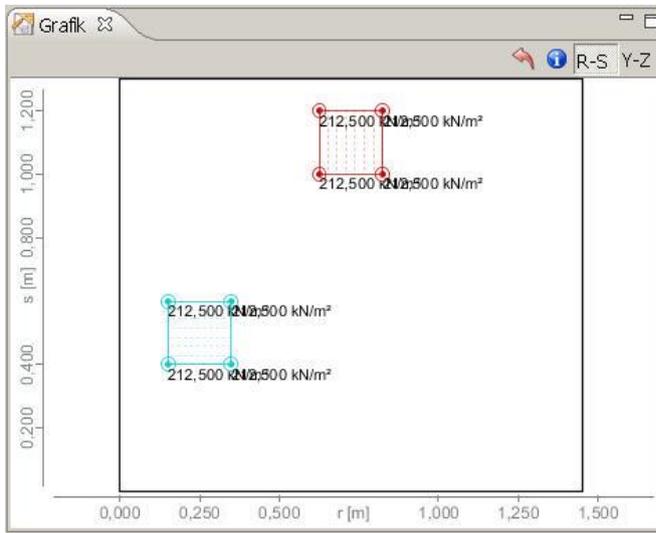


Bild 52: Laststellungen der Stoßlast nach Norm (nicht gleichzeitig wirkend)

Der Widerstand wird ermittelt mit:

$$R_d \leq \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_k}{\gamma_M} \quad \text{Gl. 23}$$

k_{mod} Modifikationsbeiwert (der kürzesten Einwirkungsdauer, hier „Wind“)

$k_{\text{mod}} = 1,4$ bei ESG

$k_{\text{mod}} = 1,7$ bei TVG

$k_{\text{mod}} = 1,8$ bei FG

f_k ... charakteristischer Wert der Biegezugfestigkeit (Tabelle 14)

γ_M ... Material Sicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,0$

Die Verglasungen aus VSG dürfen mit vollem Verbund berechnet werden.

5.3 Nichtlineare transiente Berechnung

Eine numerische Lösung des Pendelschlagversuches ist auch mit einer Berechnung im Zeitschrittverfahren möglich. Da es sich bei dem Pendelschlagkörper um einen bewegten Körper handelt, der gegen die Verglasung stößt, wird die Lösung einer Kontaktaufgabe (nichtlineare Aufgabe) benötigt.

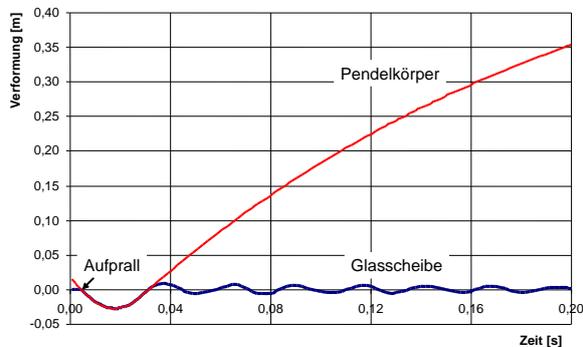


Bild 53: Zeit-Verformungs-Beziehung

Als Ergebnis ist beispielsweise die zeitabhängige Verformung des Pendelkörpers und der Glasscheibe zu sehen. Nach dem Aufprall auf die gewählte Stelle gleichen sich die Verformungen an; dann schwingt das System zurück und der Pendelkörper bewegt sich von der Glasscheibe weg. Die Glasscheibe schwingt als gedämpftes System in die Ausgangslage zurück. In Bild 53 ist zudem sichtbar, dass die gedämpfte Schwingung nicht ganz harmonisch ausläuft, da die Auftreffstelle nicht in der Scheibenmitte gewählt wurde; „Gegenschwingungen“ überlagern sich.



TW Glas wird zukünftig das Modul Pendelschlag zur Verfügung stellen.

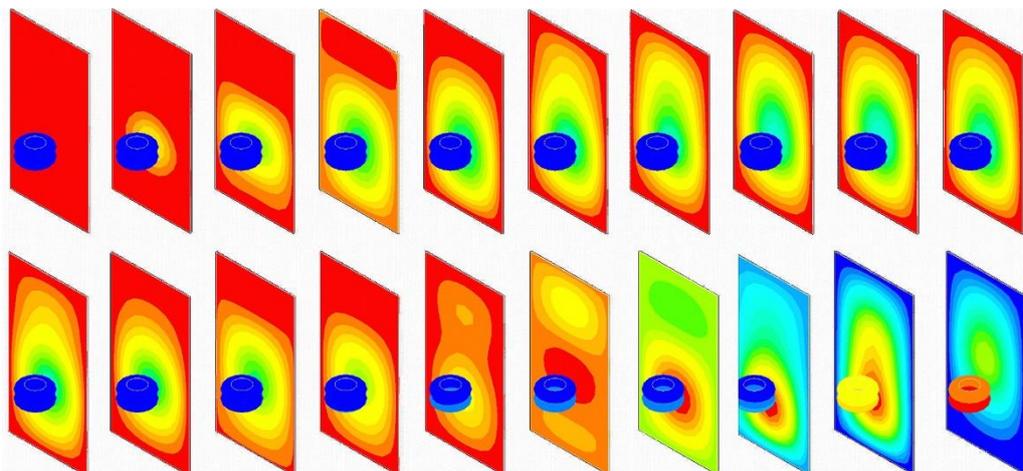


Bild 54: Verformungen beim Pendelschlag

Beim Nachweis müssen keine Kombinationen mit anderen Einwirkungen (z. B. Klimalasten) untersucht werden. Als zulässige Spannungen gelten folgende „Kurzzeit-festigkeiten“ gemäß Abschnitt 6.4.4 der TRAV:

- Float (SPG): 80 N/mm²
- TVG: 120 N/mm²
- ESG: 170 N/mm²

6 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Für die ausreichende Gebrauchstauglichkeit (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit GZG) werden in erster Linie die Durchbiegungen begrenzt. Da es sich bei Glas um einen nahezu elastischen Baustoff handelt, wird die Verglasung nach Entlastung wieder die Ausgangslage einnehmen.

Weiterhin gibt es für Isoliergläser bezüglich des Randverbundes einzuhaltende Grenzwerte, da die Einwirkungen mit Lasten aus z. B. Wind, Schnee oder Menschengedränge zur Durchbiegung des Glasrandes und der Auflagerprofile führt. Daraus folgen Kräften im Randverbund, die durch Einhaltung der Begrenzungen im zulässigen Bereich bleiben.

6.1 Nachweis der Durchbiegungen

TRLV

Die Durchbiegungen der Glasscheiben dürfen an ungünstigster Stelle nicht größer als die Werte nach Tabelle 21 sein:

Tabelle 21: Durchbiegungsbegrenzungen

Lagerung	Horizontalverglasung	Vertikalverglasung
vierseitig	1/100 der Scheibenstützweite in Haupttragrichtung	keine Anforderung ²
zwei- und dreiseitig	Einfachverglasung: 1/100 der Scheibenstützweite in Haupttragrichtung	1/100 der freien Kante ¹
	Scheiben der Isolierverglasung: 1/200 der freien Kante	1/100 der freien Kante ²

¹ Auf die Einhaltung dieser Begrenzung kann verzichtet werden, sofern nachgewiesen wird, dass unter Last ein Glaseinstand von 5 mm nicht unterschritten wird.

² Durchbiegungsbegrenzungen des Isolierglasherstellers sind zu beachten.

 Nach Herstellerangabe [15] und [38]: Die Durchbiegung des Mehrscheiben-Isolierglas-Randverbundes senkrecht zur Plattenebene im Bereich einer Kante darf bei maximaler Beanspruchung nicht mehr als 1/200 der Glaskantenlänge betragen, jedoch maximal 15 mm. Die Rahmen müssen dafür ausreichend bemessen sein.

DIN 18008-2

Absatz 6.1.3: ... „Als Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums ist im Allgemeinen 1/100 der Stützweite anzusetzen.“

Absatz 6.1.5: Auf den Nachweis der Durchbiegungsbegrenzung darf bei Vertikalverglasungen verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass „eine Mindestauflagerbreite von 5 mm auch dann nicht unterschritten wird, wenn die gesamte Sehnenverkürzung auf nur ein Auflager angesetzt wird.“ Bei Isoliergläsern sind die Anforderungen des Herstellers zu beachten.

ÖNorm B 3716-1

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Verglasungskonstruktionen wird durch die Festlegung der nachfolgenden Durchbiegungsbegrenzungen in Tabelle 22 sichergestellt:

Tabelle 22: Durchbiegungsbegrenzungen

Lagerung	Horizontalverglasung	Vertikalverglasung
vierseitig	1/100 der Scheibenstützweite in Haupttragrichtung	keine Anforderung ²
zwei- und dreiseitig	Einfachverglasung: 1/100 der Stützweite in Haupttragrichtung	1/50 der freien Kante ¹
	Isolierverglasung: 1/200 der freien Kante	1/70 der freien Kante ²

¹ Auf die Einhaltung dieser Begrenzung kann verzichtet werden, sofern nachgewiesen wird, dass unter Last ein Glaseinstand von 5 mm nicht unterschritten wird.

² Durchbiegungsbegrenzungen des Isolierglasherstellers sind zu beachten.

6.2 Nachweis des Scheibenabstandes bei Isolierglas

TW Glas prüft bei Isoliergläsern für jede Einwirkungskombination den Scheibenabstand. Sollten beispielsweise Verschattungselemente im SZR eingebaut sein, ist deren Mindestabstand einzuhalten.

TRAV

Absatz 5.3:

... Die Verformungen von Isolierverglasungen sind so zu begrenzen, dass sich Innen- und Außenscheibe unter planmäßiger statischer Belastung nicht berühren.

7 Glasdicken-Optimierung

TW Glas unterstützt per Nutzereingabe die Optimierung der Glasdicken (Bild 55). Folgende Kriterien zur Optimierung sind wählbar (Bild 56):

- Erfüllung Spannungsnachweis,
- Erfüllung Durchbiegungsnachweis,
- Erfüllung Abstand der Scheiben bei Isolierglas.

Die Glasdicken erhöhen sich von minimaler Dicke (d_{\min}) mit der gewählten Schrittweite bis zur Maximaldicke (d_{\max}) solange, bis die gewählten Kriterien erfüllt sind. Ist beim 1. Rechendurchlauf der Ausnutzungsgrad der Spannungen nur bei einer Scheibe überschritten, wird diese mit der nächstmöglichen Glasdicke nachgewiesen usw. Als Nutzerwunsch wird weiterhin für Verbundglas berücksichtigt, dass die einzelnen Glasdicken im Glaspaket gleichzeitig an Dicke mit den gewählten Schritten zunehmen.

Gamma_M	1,5	
E-Modul	70000,0	N/mm ²
Querdehnzahl	0,23	
Dichte	2500,0	kg/m ³
Temperatur-Ausdehnungskoeffizient	9,0E-6	1/K
Wärmeleitzahl	1,0	W/(m×K)
Optimierung		
Maximale Dicke	18,0	mm
Schrittweite	2,0	mm

Bild 55: Eingabe der Glasdicken-Optimierung für jede Schicht

T Die maximale Anzahl der Rechendurchläufe ergibt sich aus der Summe aller Glasscheiben mit den zugehörigen, möglichen Glasdicken. Die genaue Anzahl der Durchläufe ist vor der Berechnung nicht bekannt. Um Rechenzeit zu optimieren, sollten die Toleranzbereiche d_{\min} und d_{\max} das Zielgebiet gut eingrenzen.

Berechnungsoptionen	
Zulässige max. Durchbiegung	15,0 mm
Zulässiger min. SZR	1,0 mm
Optimierung anwenden	<input checked="" type="checkbox"/>
Optimierung	
nach Sigma_1	<input checked="" type="checkbox"/>
nach Max. W	<input type="checkbox"/>
nach Min. SZR	<input type="checkbox"/>
Scheibendicke immer paketweise erhöhen	<input checked="" type="checkbox"/>

Bild 56: Eingabe der Optimierungskriterien

8 Ergebnisse

Die mit TW Glas ermittelten Beanspruchungen und Durchbiegungen lassen sich für einfache Geometrie (z. B. Viereck, Kreis, rechtwinkliges und gleichseitiges Dreieck) mit den in [39] angegebenen Formeln „per Hand“ ermitteln und vergleichen.

Für Isolierglas mit polygonaler Geometrie ist in [40, 41] für Klima- und Vollflächenlasten ein Berechnungsverfahren mit Hilfe einer Excel© - Programmierung angegeben.

Für Rechteckverglasungen sind in [42] Bemessungstabellen für Flächen-, Linien- und Blocklasten dargestellt.

8.1 Visualisierung

Die Schaltfläche  öffnet die Steuerung. Die Ergebnisse lassen sich durch klicken der Glasschicht, Ergebnisgröße und Einwirkungskombination (EWK) anzeigen. Mit der Diagonalmatrix (Benutzerdefinierte Kombination) ist jede Einwirkung einzeln analysierbar.

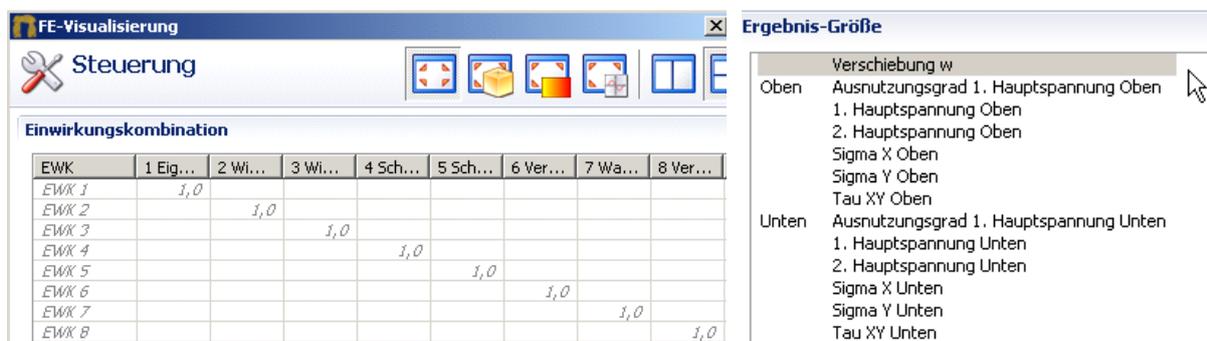


Bild 57: Diagonalmatrix zur Analyse einzelner Einwirkungen und Wahl der Ergebnisgröße

Durch ziehen der Ankerpunkte lassen sich die Schnitte durch die Verglasung anpassen. In Bild 58 wird die Vorverformung am Rand mit parabelförmigem Verlauf kontrolliert.

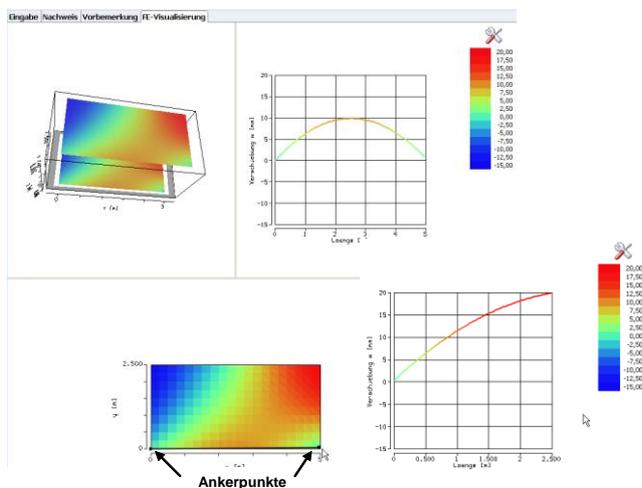


Bild 58: Visualisierung der Verformungen

Die Darstellung der Spannungen (Bild 59) erfolgt mit Hilfe von Isolinien oder durch Zahlenwerte.

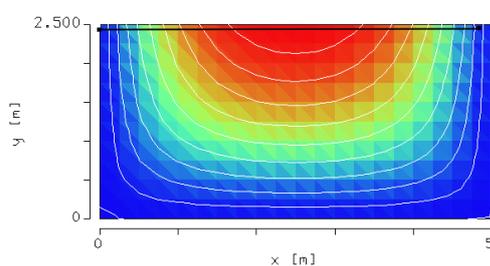
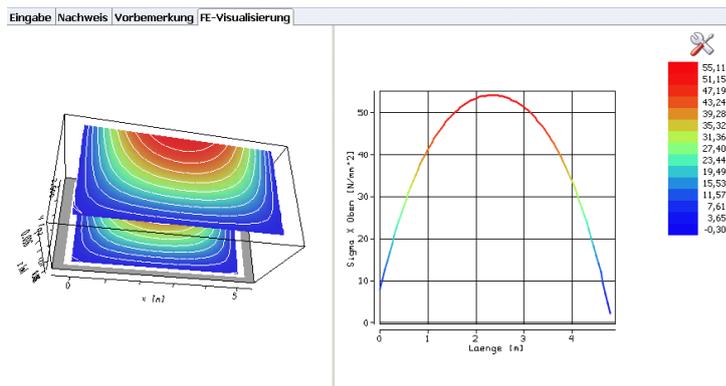


Bild 59: Visualisierung der Spannungen

Verschiedene Darstellungsarten stellt TW Glas (Bild 60) zur Verfügung:

- FE-Netz,
- Zahlenwerte,
- Color Plot,
- Isolinien,
- Color Plot + Isolinien,
- Vektorfeld.

Steuerung:

- Zoomen in der Grafik mit festgehaltener mittlerer Maustaste,
- Verschieben mit festgehaltener rechter Maustaste,
- Schriftgröße mit Schieberegler,
- Nachkommastellen eingeben.

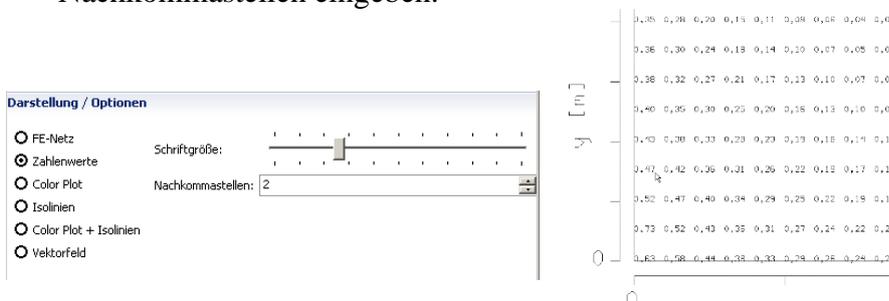


Bild 60: Darstellungsarten



Jede Visualisierung lässt sich über die Schaltfläche aufnehmen.



in die Ausgabe

8.2 Nachweise

Nach Wahl der Kombinatorik wird die Bemessung durchgeführt und für jede Glasschicht die maßgebende Einwirkungskombination herausgefiltert.

EWK	1 Eig...	2 Wi...	3 Wi...	4 Sch...	5 Sch...	6 Ver...	7 Wa...	8 Ver...
GZT-98	1,35			1,5		1,0	1,0	1,0
GZG-53	1,0		0,6	1,0		1,0	1,0	1,0
GZG-29	1,0		1,0	0,7		1,0	1,0	1,0

Bild 61: Maßgebende Einwirkungs-Kombinationen (nach Vorschrift) für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) und Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

Mit Angabe der Bemessungsspannung (σ_1) und der Bemessungsfestigkeit ($\sigma_{R,d}$) wird der Ausnutzungsgrad im Grenzzustand der Tragfähigkeit dokumentiert (Bild 62). Es erfolgt die Angabe, ob der jeweilige Nachweis „Erfüllt“ oder „Nicht erfüllt“ ist.

▼ **Ausnutzung der Glasschichten**

Maximaler Ausnutzungsgrad der 1. Hauptspannung (Einwirkungskombination GZT)

Schicht	Material	Bezeichnung	Dicke		σ_1		$\sigma_{R,d}$		Ausnutzung	EWK	Knoten	Nachweis
1	Floatglas		6,0	mm	11,993	N/mm ²	25,000	N/mm ²	0,480	2	116	Erfüllt
3	Floatglas		4,0	mm	0,854	N/mm ²	25,000	N/mm ²	0,034	2	115	Erfüllt
5	Floatglas		6,0	mm	7,714	N/mm ²	25,000	N/mm ²	0,309	2	116	Erfüllt
7	TVG		3,0	mm	50,805	N/mm ²	46,667	N/mm ²	1,089	2	209	Nicht erfüllt
9	TVG		3,0	mm	49,347	N/mm ²	46,667	N/mm ²	1,057	2	209	Nicht erfüllt

Bild 62: Ausnutzungsgrade im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Für den Randverbund wird der maximal beanspruchte Rand ausgewertet und mit der zugehörigen Einwirkungs-Kombination (EWK) tabelliert.

▼ **Ausnutzung des Randverbunds**

Bemessungsfestigkeit 0,110 N/mm²

Maximaler Ausnutzungsgrad Randverbund (Einwirkungskombination GZT)

Schicht	Material	Bezeich...	Dicke		σ_d		Ausnutzung	EWK	Nachweis
4			16,0	mm	0,034	N/mm ²	0,311	8	Erfüllt

Bild 63: Ausnutzungsgrad für den Randverbund

Für den Durchbiegungsnachweis erfolgt für jede Glasschicht ein Vergleich zur zulässigen Durchbiegung (Bild 64).

▼ **Durchbiegung der Glasschichten**

Zulässige max. Durchbiegung 15,000 mm

Maximale Durchbiegung (Einwirkungskombination GZG)

Schicht	Material	Bezeich...	Dicke		Max. W		EWK	Knoten	Nachwe
1	Floatglas		6,0	mm	5,796	mm	4	116	Erfüllt
3	Floatglas		4,0	mm	0,609	mm	4	116	Erfüllt
5	Floatglas		6,0	mm	3,732	mm	4	116	Erfüllt
7	TVG		3,0	mm	8,942	mm	4	116	Erfüllt
9	TVG		3,0	mm	9,007	mm	4	116	Erfüllt

Bild 64: Ausnutzungsgrade im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Bei Isolierverglasungen wird der verbleibende Scheibenzwischenraum mit dem geforderten Mindestabstand verglichen (Bild 65). Bei eingebauten Verschattungselementen ist deren Breite maßgebend.

▼ **Verjüngung des Scheibenzwischenraumes**

Zulässiger min. SZR 1,000 mm

Minimaler SZR (Einwirkungskombination GZG)

Schicht	Material	Bezeich...	Dicke		Min. SZR		EWK	Knoten	Nachweis
2		Luft	12,000	mm	12,000	mm	3	1	Erfüllt
4		Luft	10,000	mm	10,000	mm	3	1	Erfüllt
6		Argon	12,000	mm	12,000	mm	3	1	Erfüllt

Bild 65: Ausnutzungsgrade im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

9 Ausgabe

Die Ausgabe lässt sich mit einem Text als Vorbemerkung (Bild 66) zur Position ergänzen.

Eingabe | Nachweis | FE-Visualisierung | Ausgabe | Vorschau

▼ Vorbemerkung

Vorbemerkung für die Position

Text Text

▼ Visualisierung

Die folgenden Visualisierungen werden zusätzlich zum Nachweis ausgegeben.

Nummer	Name	Schicht	EWK	GZ	Darstellung
1	Verformung	1	EWK 4	GZT	Color Plot

Nachweise hinzufügen

Nach oben

Nach unten

Entfernen

Bild 66: Vorbereitung der Ausgabe

Weitere Benutzereingaben zur Position sind möglich. Die Daten erscheinen bei der Anwahl [Ausgeben] nach den Vorbemerkungen.

9.1 Vorschau

Eine Voransicht der geplanten Ausgabe ist unter dem entsprechenden Dateireiter anwählbar.

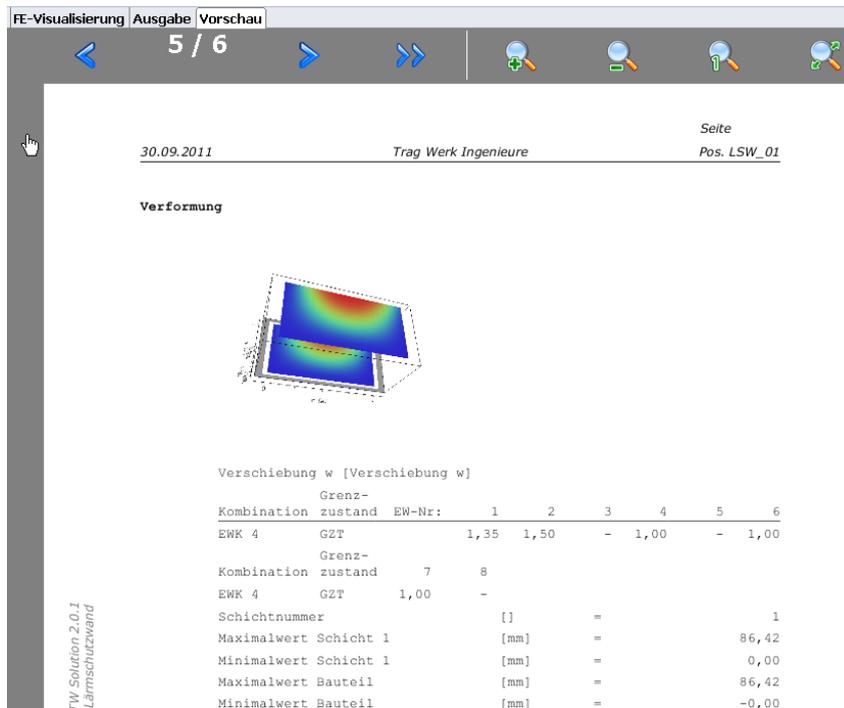
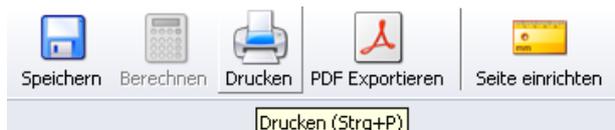


Bild 67: Vorschau der Ausgabe

9.2 Drucken und Exportieren

Die Ergebnisse werden mit den erforderlichen Informationen zu Ein- und Ausgabewerten über die Schaltfläche



ausgegeben.

Das Programm unterstützt die folgenden beiden Ausgabemöglichkeiten:

- Drucker,
- pdf-Datei.

10 Literatur

Die nachfolgende Auflistung unterscheidet zwischen zitierten und nicht zitierten Quellen.



Einige Normen sind zwischenzeitlich nicht mehr gültig oder sind bzw. werden teilweise durch „europäische Normen“ ersetzt.

10.1 Normen, Vorschriften und Richtlinien (Kurzbezeichnung)

DIN 1055 – 1	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN 1055 – 2	Lastannahmen für Bauten; Bodenkenngößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN 1055 – 3	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Eigen und Nutzlasten für Hochbauten, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN 1055 – 4	Lastannahmen für Bauten, Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN 1055 – 5	Lastannahmen für Bauten, Schnee- und Eislasten, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN 1055 – 7	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 7, Temperatureinwirkungen, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN 1055 – 100	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100, Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN 1036:	Spiegel aus silberbeschichtetem Floatglas für den Innenbereich; Deutsche Fassung EN 1036:1999-07
DIN 1249:	Flachglas im Bauwesen / zurückgezogen und ersetzt durch DIN EN 572 Teile 1 – 7
DIN 1259:	Glas: Begriffe für Glaserzeugnisse, Glasarten und Glasgruppen
DIN 1286:	Mehrscheiben-Isolierglas; Zeitstandverhalten
DIN 4102:	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Prüfungen
DIN 4108:	Wärmeschutz im Hochbau
DIN V 4108-4:	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte
DIN 4109:	Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise
DIN 4242:	Glasbaustein-Wände; Ausführung und Bemessung
DIN 5034:	Tageslicht in Innenräumen
DIN 6169:	Farbwiedergabe; Allgemeine Begriffe
DIN 7863:	Nichtzellige Elastomer-Dichtprofile im Fenster- und Fassadenbau; Technische Lieferbedingungen
DIN 11525:	Gartenbauglas; Gartenblankglas, Gartenklarglas

DIN V 11535:	Gewächshäuser – Teil 1: Ausführung und Berechnung
DIN 18032:	Sporthallen – Hallen für Turnen und Spielen und Mehrzwecknutzung – Teil 3: Prüfung der Ballwurfsicherheit
DIN 18055:	Fenster; Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtheit und mechanische Beanspruchung; Anforderungen und Prüfungen
DIN 18056:	Fensterwände; Bemessung und Ausführung
DIN 18095:	Türen; Rauchschutztüren; Begriffe, Prüfungen und Anforderungen
DIN 18361:	VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Verglasungsarbeiten
DIN 18516:	Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze
DIN 18545:	Abdichten von Verglasungen mit Dichtstoffen
DIN 32622:	Aquarien aus Glas – Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfungen
DIN 51097:	Prüfung von Bodenbelägen; Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft; Nassbelastete Barfußbereiche; Begehungsverfahren; Schiefe Ebene
DIN 52210:	Bauakustische Prüfungen, Luft- und Trittschalldämmung
DIN 52290:	Angriffhemmende Verglasung
DIN 52313:	Prüfung von Glas; Bestimmung der Temperaturwechselbeständigkeit von Glaserzeugnissen
DIN 52337:	Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Pendelschlagversuch
DIN 52338:	Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Kugelfallversuch für Verbundglas
DIN 52345:	Bestimmung der Taupunkttemperatur
DIN 52612:	Wärmetechnische Prüfungen
DIN 67507:	Licht-, Strahltransmissionsgrade und Gesamtenergiedurchlassgrade von Verglasungen
DIN 68121:	Holzprofile für Fenster und Fenstertüren; Maße, Qualitätsanforderungen
DIN EN (ISO) 140:	Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen
DIN EN (ISO) 20140:	Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 3: Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen (ISO 140-3:1995); Deutsche Fassung EN 20142-3:1
DIN EN (ISO) 356:	Glas im Bauwesen – Sicherheitssonderversglasung – Prüfverfahren und Klasseneinteilung des Widerstandes gegen manuellen Angriff; Deutsche Fassung EN 356:1999
DIN EN (ISO) 357:	Glas im Bauwesen – Brandschutzverglasungen aus durchsichtigen oder durchscheinenden Glasprodukten – Klassifizierung des Feuerwiderstandes; Deutsche Fassung EN 357:2000
DIN EN (ISO) 410:	Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen; Deutsche Fassung EN 410:1998

- DIN EN (ISO) 572: Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas – Teil 1: Definitionen und allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften; Deutsche Fassung EN 572-1:2004-09
- Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas – Teil 2: Floatglas; Deutsche Fassung EN 572-2:2004-09
- Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas – Teil 3: Poliertes Drahtglas; Deutsche Fassung EN 572-3:2004-09
- Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas – Teil 4: Gezogenes Flachglas; Deutsche Fassung EN 572-4:2004-09
- Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas – Teil 5: Ornamentglas; Deutsche Fassung EN 572-5:2004-09
- Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas – Teil 6: Drahtornamentglas; Deutsche Fassung EN 572-6:2004-09
- Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas – Teil 7: Profilbauglas mit oder ohne Drahteinlage; Deutsche Fassung EN 572-7:2004-09
- Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas – Teil 8: Liefermaße und Festmaße; Deutsche Fassung EN 572-8:2004-09
- Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas – Teil 9: Konformitätsbewertung; Deutsche Fassung EN 572-9:2004-09
- DIN EN (ISO) 673: Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Berechnungsverfahren (enthält Änderung A1:2000 + Änderung A2:2000); Deutsche Fassung EN 673:1997 + A1:2000 + A2:2002
- DIN EN (ISO) 674: Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) – Verfahren mit dem Plattengerät; Deutsche Fassung EN 674:1997
- DIN EN ISO 717: Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung (ISO 717-1:1996); Deutsche Fassung EN ISO 717-1:1996
- DIN EN (ISO) 1036: Glas im Bauwesen – Spiegel aus silberbeschichtetem Floatglas für den Innenbereich; Deutsche Fassung EN 1036:1999
- DIN EN (ISO) 1051: Glas im Bauwesen – Glassteine und Betongläser
- DIN EN (ISO) 1063: Glas im Bauwesen – Sicherheitssonderverglasung – Prüfverfahren und Klasseneinteilung für den Widerstand gegen Beschuss; Deutsche Fassung EN 1063:1999
- DIN EN (ISO) 1096: Glas im Bauwesen – Beschichtetes Glas Teil 1: Definitionen und Klasseneinteilung; Deutsche Fassung EN 1096-1:1999-1
- Glas im Bauwesen – Beschichtetes Glas Teil 2: Anforderungen an Prüfverfahren für die Beschichtung der Klassen A, B und S; Deutsche Fassung EN 1096-2:2001
- Glas im Bauwesen – Beschichtetes Glas Teil 3: Anforderungen an Prüfverfahren für die Beschichtung der Klassen C und D; Deutsche Fassung EN 1096-3:2001
- Glas im Bauwesen – Beschichtetes Glas Teil 4: Bewertung der Konformität; Deutsche Fassung prEN 1096-4:2001

- DIN EN (ISO) 1279: Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas - Teil 1: Allgemeines und Maßtoleranzen; Deutsche Fassung prEN 1279-1:2004-08
- Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas - Teil 2: Langzeitprüfverfahren und Anforderungen bezüglich Feuchtigkeitsaufnahme; Deutsche Fassung EN 1279-2:2003-06
- Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas - Teil 3: Langzeitprüfverfahren und Anforderungen bezüglich Gasverlustrate und Grenzabweichungen für die Gaskonzentration; Deutsche Fassung EN 1279-3:2003-05
- Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas - Teil 4: Verfahren zur Prüfung der physikalischen Eigenschaften des Randverbundes; Deutsche Fassung EN 1279-4:2002
- Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas - Teil 5: Konformitätsbewertung; Deutsche Fassung EN 1279-5:2005
- Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas - Teil 6: Werkseigene Produktionskontrolle und Auditprüfungen; Deutsche Fassung EN 1279-6:2002
- DIN EN (ISO) 1288: Glas im Bauwesen – Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas
- DIN EN 1363 Feuerwiderstandsprüfungen
- DIN EN 1364 Feuerwiderstandsprüfungen, Wände
- DIN EN 1634 Feuerwiderstandsprüfungen, Feuerschutzabschlüsse
- DIN EN (ISO) 1748: Glas im Bauwesen – Spezielle Basiserzeugnisse
- DIN EN (ISO) 1863: Glas im Bauwesen – Teilvorgespanntes Kalknatronglas – Teil 1: Definition und Beschreibung; Deutsche Fassung EN 1863-2:2004
- Glas im Bauwesen – Teilvorgespanntes Kalknatronglas – Teil 2: Konformitätsbewertung/Produktnorm; Deutsche Fassung EN 1863-2:2004
- DIN EN (ISO) 10204: Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigung (enthält Änderung A1:1995); Deutsche Fassung En 10204:1991 + A1:1995
- DIN EN (ISO) 12150: Glas im Bauwesen – Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas – Teil 1: Definition und Beschreibung; Deutsche Fassung EN 12150-2:2000
- Glas im Bauwesen – Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas – Teil 2: Konformitätsbewertung/Produktnorm Deutsche Fassung EN 12150-2:2004
- DIN EN (ISO) 12337: Glas im Bauwesen – Chemisch vorgespanntes Kalknatronglas-Teil 1: Definition und Beschreibung; Deutsche Fassung EN 12337-1:2000
- DIN EN (ISO) 12488: Glas im Bauwesen – Anforderungen an die Verglasung – Verglasungsrichtlinien; Deutsche Fassung prEN 12488:2003
- DIN EN (ISO) 12543: Glas im Bauwesen – Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas
- DIN EN (ISO) 12600: Glas im Bauwesen – Pendelschlagversuch – Verfahren für die Stoßprüfung und Klassifizierung von Flachglas; Deutsche Fassung EN 12600:2002
- DIN EN (ISO) 12758: Glas im Bauwesen – Gas- und Luftschalldämmung

DIN EN (ISO) 12898:	Glas im Bauwesen – Bestimmung des Emissionsgrades; Deutsche Fassung EN 12898:2001
DIN EN (ISO) 13022:	Glas im Bauwesen – Geklebte Verglasung: Glasprodukte für SSG-Systeme; Tragende und nichttragende Einfach- und Mehrfach-Verglasung; Deutsche Fassung prEN 13022-1:2003
DIN EN (ISO) 13024:	Glas im Bauwesen – Thermisch vorgespanntes Borosilicat-Einscheibensicherheitsglas
DIN EN (ISO) 14440:	Spezifikation für angriffhemmende Verglasungen – Sprengwirkungshemmende Verglasungen – Klasseneinteilung und Prüfverfahren
DIN EN (ISO) 14449:	Glas im Bauwesen – Verbundglas und Verbund - Sicherheitsglas – Konformitätsbewertung/Produktnorm; Deutsche Fassung EN 14449:2005
VDI 2078:	Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume
VDI 2719:	Schalldämmung von Fenstern
VDI 3722:	Wirkungen von Verkehrsgeräuschen
VdS 2110:	Richtlinien für Gefahrenmeldeanlagen, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
VdS 2163:	„Einbruchhemmende Verglasungen“
VdS 2164 und 2165:	„Einbruchhemmende Fenster und Fenstertüren“
VdS 2227:	Richtlinien für Einbruchmeldeanlagen, Alarmgläser, Teil 1: Anforderungen
VdS 2270:	Anforderungen an Alarmgläser
VdS 2303 und 2308:	„Sprengwirkungshemmende Fenster“
VdS 2534:	„Einbruchhemmende Fassadenelemente“
GUV-V S1	Unfallverhütungsvorschrift für Schulen
GUV-SR 2002	Richtlinien für Kindergärten
GUV-R 1/111	Sicherheitsregeln für Bäder
GUV-I 561	Merksblatt für Treppen
GUV-SI 8027	Mehr Sicherheit bei Glasbruch
GUV-V C9	Unfallverhütungsvorschrift Kassen der gesetzlichen Unfallversicherung
TRPV:	Technische Regeln für die Bemessung und Ausführung punktförmig gelagerter Verglasungen. Mitteilungen des DIBt, Berlin, Ausgabe 8/2006

10.2 Literatur im Handbuch zitiert

- [1] Schittich, Ch.; Staib, G.; Balkow, D.; Schuler, M.; Sobek, W.: Glasbau Atlas. Birkhäuser Architektur, 2006
- [2] TRLV: Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen. Ausgabe 9/1998 und Entwurf: 9/2005, Mitteilungen des DIBt, Berlin 1998/2005
- [3] TRAV: Technische Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen. Mitteilungen des DIBt, Berlin, Ausgabe 1/2003
- [4] DIN 18008-1: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 05/2020
- [5] DIN 18008-2: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 05/2020
- [6] DIN 18008-3: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 3: Punktförmig gelagerte Verglasungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 07/2013
- [7] DIN 18008-4: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 4: Zusatzerfordernungen an absturzsichernde Verglasungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 07/2013
- [8] ÖNorm B 3716-1: Glas im Bauwesen – Konstruktiver Glasbau. Teil 1: Grundlagen. Österreichisches Normungsinstitut (ÖN), Ausgabe: 2009-22-15
- [9] ÖNorm B 3716-2: Glas im Bauwesen – Konstruktiver Glasbau. Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen. Österreichisches Normungsinstitut (ÖN), Ausgabe: 2009-22-15
- [10] ÖNorm B 3716-3: Glas im Bauwesen – Konstruktiver Glasbau. Teil 3: Absturzsichernde Verglasungen. Österreichisches Normungsinstitut (ÖN), Ausgabe: 2006-09-01
- [11] ÖNorm B 3716-4: Glas im Bauwesen – Konstruktiver Glasbau. Teil 4: Begehbbare und befahrbare Verglasungen. Österreichisches Normungsinstitut (ÖN), Ausgabe: 2006-07-01
- [12] SHEN, X.; WÖRNER, J.-D.: Entwicklung eines Bemessungs- und Sicherheitskonzeptes für den Glasbau. In: Bauingenieur 73 (1998), Heft 1, S. 45-52
- [13] Flachglas (Schweiz) AG: Modellkatalog. 2011
- [14] DIN EN (ISO) 14179: Glas im Bauwesen – Heißgelagertes thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas – Teil 2: Konformitätsbewertung/Produktnorm; Deutsche Fassung EN 14179-2:2005

-
- [15] Interpane Glas Industrie AG: Interpane - Glas for Life. Gestalten mit Glas, 01/2011
 - [16] SOBEK, W., KUTTERER, M., MESSMER, R.: Untersuchungen zum Schubverbund bei Verbundsicherheitsglas - Ermittlung des zeit- und temperaturabhängigen Schubmoduls von PVB. Bauingenieur, 2000
 - [17] ETAG 002: Technische Zulassung für geklebte Glaskonstruktionen. EOTA-Richtlinie (für Deutschland DIBt)
 - [18] Dow Corning Corporation: Insulating Glass Technical Manual. 2007
 - [19] UNIGLAS GmbH & Co. KG: Technisches Kompendium. Montabaur 2010
 - [20] Saint-Gobain Glass Deutschland: Memento – Glashandbuch. 2005
 - [21] Flachglas (Schweiz) AG: Glashandbuch Schweiz Isolierglas. 2011
 - [22] Pilkington Flachglas AG: Das Glas-Handbuch. 1997
 - [23] Pilkington Flachglas AG: Das Glas-Handbuch. 2012
 - [24] Pilkington Deutschland AG: Das Glashandbuch. 2011
 - [25] DIN EN 1991-1-1 (2009): Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
 - [26] DIN EN 1991-1-4 (2010): Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
 - [27] DIN EN 1991-1-5 (2009): Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
 - [28] TODOROV, M.; PURTAK, F.: Zum statischen Nachweis von beliebigen Isolierverglasungen. unveröffentlichtes Manuskript 2012
 - [29] Flachglas Marken Kreis GmbH: Glas Handbuch 2012
 - [30] DIN 4426 (09/2001): Sicherheitstechnische Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege. Planung und Ausführung
 - [31] ÖNorm EN B 1991-1-1: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen
 - [32] EN 1794-1: Lärmschutzeinrichtungen an Straßen. Teil 1: Mechanische Eigenschaften und Anforderungen an die Standsicherheit
 - [33] LSW_Datenblatt_2GL_C: Datenblatt zu Vorverformungen für Lärmschutzwände. 2011
 - [34] DIN EN 1990 (2010): Grundlagen der Tragwerksplanung, Deutsches Institut für Normung e.V.

-
- [35] ÖNorm EN 1990: Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung
 - [36] WÖRNER, J.-D.; SCHNEIDER, J.; FINK, A.: Glasbau - Grundlagen, Berechnung, Konstruktion. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2001
 - [37] GRÖSCHKE, T.: Vergleich von Bemessungskonzepten im Glasbau. Masterarbeit, 11/2006
 - [38] MENKENHAGEN, J.: Glas im konstruktiven Ingenieurbau. in Schneider - Bautabellen für Ingenieure. 17. Auflage 2006
 - [39] SEDLACEK, G.; BLANK, K.; LAUFS, W.; GÜSGEN, J.: Glas im Konstruktiven Ingenieurbau. Ernst & Sohn, 1999
 - [40] LINKE, K.-P.: Berechnung liniengelagerter Isolierglasscheiben mit beliebigem polygonalen Grundriss unter Einwirkung von Gleichlast. Prüfamts für Baustatik Würzburg, 03/2003
 - [41] LINKE, K.-P.: Programmierung der Bemessung liniengelagerter Isolierglasscheiben mit beliebigem polygonalen Grundriss unter Einwirkung von Gleichlasten mit EXCEL. Prüfamts für Baustatik Würzburg, 03/2003
 - [42] WELLER, B.; NICKLISCH, F.; THIEME, S.; WEIMAR, TH.: Glasbau-Praxis, Konstruktion und Bemessung. Bauwerk Verlage GmbH, Berlin 2010