

Diploma Thesis

Accessible Glass Constructions (Calculation, Requirements, Specifications)

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieurin
Of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Betretbare Glaskonstruktionen (Rechenansätze, Anforderungen, Vorgaben)

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer
Diplom-Ingenieurin
Eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Almira Poric
Matr. Nr.: 01429850

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Kolbitsch
Mag.- Phil. Barbara Bucher

Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/ 208-02, 1040 Wien, Österreich

Wien, im April 2019

Danksagung

Ich möchte mich sehr herzlich bei Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Kolbitsch bedanken, der mein Interesse für den Glasbau geweckt hat und mir ermöglichte diese Diplomarbeit zu schreiben. Ein großer Dank gilt auch Frau Mag. Phil. Barbara Bucher für die Unterstützung während meiner Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei Anna-Laura Bund bedanken für das hervorragende Korrektur lesen und Unterstützung im Studium.

Ein besonderer Dank gilt auch Frau Renate Metzger für die langjährige Unterstützung.

Der größte Dank gebührt meiner Familie, meiner Mutter Sadika und Schwester Emina, wie auch meinem Freund Sandro, die in schwierigen Zeiten immer für mich da waren und stets meine größte Unterstützung und Stolz sein werden.

Zum Schluss möchte ich mich bei all meinen Freunden bedanken, die mich während meiner Studienzeit unterstützt haben.

Kurzfassung

Der Entwicklungsprozess für die Erstellung des neuen Eurocodes befindet sich in der Endphase. Dieser neue Teil wird sich mit dem Thema der Glaskonstruktionen beschäftigen. Trotz der zunehmenden Forschungstätigkeiten in den letzten Jahren zum strukturellen Einsatz von Glas in der Praxis fehlt noch immer eine vereinheitlichte Vorgehensweise bzw. Normung in diesem Bereich. Zum jetzigen Zeitpunkt sind in Europa für die Berechnung von Glaskonstruktionen nur nationale Normen bzw. Regelwerke im Einsatz.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, den Leserinnen und Lesern die Rechenansätze, Anforderungen und Vorgaben für das komplexe Thema der betretbaren Glaskonstruktionen näher zu bringen. „Betretbare Glaskonstruktionen“ ist eines der Themen des neuen Eurocodes. Dabei ist anzumerken, dass dieses Thema in den momentan gültigen nationalen Normen mancher europäischen Länder eine noch eher untergeordnete Rolle hat.

Diese Arbeit basiert auf der Untersuchung und dem Vergleich der österreichischen, deutschen, britischen und italienischen Standards für Glaskonstruktionen. Es wird ein Einblick in alle relevanten Aspekte dieser Konstruktionen gegeben. Als Grundreferenz dient die österreichische ÖNORM B 3716-Serie und deutsche Norm DIN 18008-Serie, da in diesen Werken das Thema der betretbaren Glaskonstruktionen bis jetzt am umfassendsten bearbeitet wurde.

Das Kapitel „Einführung“ dieser Arbeit beschäftigt sich mit den verschiedenen Verglasungsarten, deren Strukturen und jenen Regelwerken, die sich auf relevante Art und Weise mit dem Thema befassen. Weiters wird im Laufe der Arbeit auf Anforderungen, die an die Bauprodukte gestellt werden, die Eigenschaften der verschiedenen Produkte sowie auf die Art der Ausführung eingegangen. In weiterer Folge werden dann die Berechnungsverfahren aufgeführt und an Hand von Beispielen verdeutlicht.

Mit dieser Arbeit und dem darin enthaltenen Vergleich der verschiedenen Normen wird gezeigt, wie notwendig eine einheitliche Vorgehensweise in dem behandelten Thema ist und welche Ausführungsmöglichkeiten es für betretbare Glaskonstruktionen gibt.

Abstract

The development process for the creation of the new Eurocode is in the final phase. This new part will discuss the subject of accessible glass constructions. Despite the increasing research in recent years on the structural use of glass in practice, there is still a lack of united approach of standardization in this topic. At this moment, only national standards or regulations are used in Europe for the calculation of glass constructions.

The goal of this MA thesis is to help the reader understand the calculation approaches, requirements and specifications for the complex topic of accessible glass constructions. "Accessible glass constructions for maintain purposes" is one of the topics of the new Eurocode. It should be noted that this topic has a rather subordinate role in the current national standards.

This work is based on the analysis of Austrian, German, British and Italian standards and their comparison. It gives an insight into all relevant aspects of these constructions.

The basic reference are the Austrian (ÖNORM B 3716-Series) and German Norms (DIN 18008-Series), because in these standards the topic of accessible glass constructions has so far been most carefully processed.

The chapter "Introduction" of this work discusses the different types of glazing, their structures and the rules that deal with the topic in a relevant way.

Furthermore, in the course of the work, the considered themes will be the requirements of the products, their characteristics and execution of the mentioned. Finally ending with, determination and clarification of the calculation methods.

The purpose of the work is to show how important a united approach on the topic of accessible glass constructions is, by compering of the various European designs.

Inhalt

1.	Einleitung.....	9
2.	Glas als Bauprodukt.....	10
2.1.	Begriffsbestimmung	11
2.2.	Regelwerke.....	12
2.2.1.	ÖNORM B 3716.....	13
2.2.2.	DIN 18008.....	13
2.2.3.	Deutsches Technisches Regelwerk	14
2.3.	Anforderungen an Überkopfverglasungen	16
2.3.1.	Einscheibensicherheitsglas (ESG)	17
2.3.2.	Verbundsicherheitsglas (VSG)	18
3.	Länderspezifische Anforderungen in den Normen.....	21
3.1.	DIN 18008	21
3.2.	ÖNORM B 3716.....	21
3.3.	BS 5516 – BS 6262	22
3.4.	Italienisches Technisches Regelwerk CNR-DT 210.....	23
3.5.	Vergleich der Anforderungen	23
3.6.	CE-Kennzeichnung.....	24
3.6.1.	Aufgaben der Hersteller	26
3.6.2.	Erstellung der CE-Kennzeichnung	27
4.	Einsatz in der Praxis	29
4.1.	Lagerungsarten	32
4.1.1.	Linienförmige Lagerung.....	32
4.1.2.	Punktförmige Lagerung.....	33
4.2.	Anforderungen an Lagerungsarten	35
4.2.1.	Anforderungen nach ÖNORM B 3716.....	35
4.2.1.1.	Linienförmige Lagerung	35
4.2.1.2.	Punktförmige Lagerung.....	36
4.2.2.	Anforderung nach DIN 18008.....	37
4.2.2.1.	Linienförmige Lagerung	37
4.2.2.2.	Punktförmige Lagerung.....	37
4.2.3.	Anforderung nach CNR-DT 210.....	39
4.2.4.	Anforderung nach British Standards.....	39

4.3. Verbindungsarten	40
4.3. Fugetechnik.....	41
4.5. Wartung und Reinigung	42
5. Bemessung von betretbaren Glaskonstruktionen	43
5.1. Einwirkungen.....	44
5.1.1. Eigengewicht	45
5.1.2. Nutzlasten.....	46
5.1.3. Schneelasten	46
5.1.4. Windlast.....	49
5.1.5. Klimatische Einwirkungen	52
5.2. Kopplungseffekt bei Mehrscheiben-Isolierglas	53
5.2.1. Bemessung von Mehrscheiben-Isolierglas	54
5.2.1.1. Bemessung von doppelt verglastem Mehrscheiben-Isolierglas	54
5.2.1.2. Bemessung von dreifach verglastem Mehrscheiben-Isolierglas	56
5.3. Berechnung von Spannung, Durchbiegung und Volumenänderung	58
5.4. Schubverbund	59
5.5. Einwirkungskombinationen.....	60
5.6. Tragfähigkeit	61
5.6.1. Grenzzustand der Tragfähigkeit	61
5.6.2. Vergleich der Berechnungen	63
5.6.2.1. DIN 18008.....	63
5.6.2.2. CNR-DT 210.....	64
5.6.2.3. prEN 16612	65
5.7. Resttragfähigkeit	66
5.7.1. Anforderungen an die Resttragfähigkeit	66
5.7.2. Nachweis der Resttragfähigkeit durch Bauteilversuche	67
5.7.3. Rechnerischer Nachweis der Resttragfähigkeit.....	69
5.7.4. Rutschfestigkeit.....	70
5.7.4.1. Pendelprüfung.....	70
6. Rechenbeispiel	73
7. Schlussfolgerung.....	81
Literatur	83
Abbildungen und Tabellen	87

Kurzzeichen und deren Bedeutung

ESG	Einscheibensicherheitsglas
FG	Floatglas
PUR	Polyurethane
PVB	Polyvinylbutyral
TVG	Teilvorgespanntes Glas
VG	Verbundglas
VSG	Verbundsicherheitsglas
ZiE	Zustimmung im Einzelfall
BSI	British Standards Institution
TRAV	Technische Regeln für absturzsichernde Verglasungen
TRLV	Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen
TRPV	Technische Regeln für die Verwendung von punktförmig gelagerten Verglasungen

Symbole

a	Kantenlänge
b	längere Kantenlänge
d	Glasscheibendicke
E	Elastizitätsmodul
g_k	Eigengewicht charakteristisch
k_w	Verformungsfaktor
k_σ	Spannungsfaktor
p^*	normierte Flächenlast
S_k	Schneelast
S_e	Schneeüberhänge
l	Länge des Schneeüberhanges
μ	Beiwert für die Lastverteilung
σ	maximale Hauptzugspannung
C_e	Umgebungsfaktor
C_t	Temperaturbeiwert
k_w	Verformungsfaktor
ψ_o	Kombinationsbeiwert
ψ_1	häufiger Wert
ψ_2	quasi-ständiger Wert
W_e	Außendruck
W_i	Innendruck
C_{pe}	Außendruckbeiwert
C_{pi}	Innendruckbeiwert
$C_e(z)$	Geländefaktor

q_p	Spitzengeschwindigkeitsdruck
ΔT	Temperaturdifferenz
Δp_{met}	Differenz des Luftdruckes
Δp_0	resultierender Isochorer Druck
R_d	Bemessungswert des Tragwiderstandes
S_d	Bemessungswert der Beanspruchung
C_d	Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums
f_k	Zugfestigkeit
$\gamma_{()}$	Teilsicherheitsbeiwerte
k_{mod}	Abminderungsfaktor für die Einwirkung
k_b	Abminderungsfaktor für die Beanspruchung
γ_m	Materialwiderstandsbeiwert
S_{di}	Bemessungswert der einzelnen Einwirkungen
k_c	Beiwert für die Berücksichtigung der Art der Konstruktion
k_{sf}	Koeffizient des Oberflächenprofils
k_{ed}	Koeffizient der Spannung
λ_{gA}	Skalierungsfaktor
k_v	Reduktionsfaktor
δ_a	Steifigkeitsfaktor der Außenscheibe
δ_i	Steifigkeitsfaktor der Innenscheibe
φ	Isolierglasfaktor
a^*	charakteristische Kantenlänge
B_v	Beiwert
F_d	Last
d^*	Ersatzdicke
ϕ_k	Beiwert für Scheibenzwischenraum k
p_{ex}	externe Last
σ_{max}	maximale Hauptzugspannung
w_{max}	maximale Durchbiegung
V	Volumen

1. Einleitung

Das Bauelement Glas wird immer mehr in der architektonischen Planung verwendet. Dies zieht natürlich auch die Notwendigkeit der Überprüfung und Berechnung dieser Konstruktionen seitens der Bauingenieurinnen und Bauingenieure mit sich.

Um die Verwendung von Glas in der Praxis erleichtern zu können ist eine Übereinstimmung dieser diversen Vorschriften notwendig.

Aus diesem Grund wurde auch die Herausgabe des neuen Eurocodes CEN/TC 250 beschlossen, welche sich mittlerweile schon in der Endphase befindet. Dieser neue Teil des Eurocodes wird ausschließlich Glaskonstruktionen behandeln und hat das Thema dieser Masterarbeit motiviert.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Rechenansätzen, Anforderungen und Vorgaben für betretbare Glaskonstruktionen. Da dieses Thema bis jetzt in den Normen und Regelwerken etwas vernachlässigt wurde, gibt es viele Themenpunkte die im neuen Eurocode aufgearbeitet werden müssen.

Die europäischen Normenwerke haben noch keine übereinstimmenden Ansätze für diese Art von Konstruktionen. Diesbezüglich basiert diese Arbeit auf der Analyse und dem Vergleich dieser Regelwerke. Es werden vier verschiedene Normenwerke verglichen. Einerseits die österreichische und die deutsche Norm, welche als Basis dieser Arbeit dienen sollen und andererseits die britischen und italienischen Normen bzw. Regelwerke. Diese Normen wurden gewählt, da sich diese als die ausführlichsten ergeben haben und da diese Arbeit an einer österreichischen Universität geschrieben wird. Normen für Glas sind an sich verhältnismäßig „jung“ und müssen noch verfeinert werden. Für das leichtere Verständnis wird der Fokus der Arbeit zunächst auf die Basisbegriffe, die Bauprodukte und die Regelwerke, die man für betretbare Glaskonstruktionen verwendet, gelegt. Danach werden schrittweise die Rechenansätze erläutert.

2. Glas als Bauprodukt

Glas ist aus der architektonischen Planung kaum noch wegzudenken. Es ist ein amorpher nicht-kristalliner Feststoff, der künstlich hergestellt wird. Die Rohstoffe, die zur Glaserzeugung zu verwenden sind, sind Quarzsand, Kalk und Soda [14]. Glas besteht aus vielen verschiedenen zusammengesetzten Verbindungen und kann nicht durch eine chemische Formel beschrieben werden. Nach der chemischen Zusammensetzung der Gläser, unterscheidet man: Kalk-Natron-Silicatglas, Borosilicatglas und Erdkali-Silicatglas. Im Bauwesen wird vorwiegend Kalk-Natron-Glas verwendet. Kalk-Natron-Glas besteht aus: [14]

– Siliciumdioxid	(SiO_2)	69% - 74%
– Calciumoxid	(CaO)	5% - 14%
– Natriumoxid	(NaO)	10% - 16%
– Magnesiumoxid	(MgO)	0% - 6%
– Aluminiumoxid	(Al_2O_3)	0% - 3%
– Andere		0% - 5%

Glas besitzt im Bauwesen ein sehr breites Anwendungsspektrum. Sein größtes Attribut ist die Eigenschaft der Transparenz. Neben dieser funktionalen Eigenschaft, verfügt es über zahlreiche Zusatzfunktionen als Gestaltungselement, Lichtquelle, Sonnenschutz usw. Diese Vielfalt an Eigenschaften führte dazu, dass Dachverglasungen in der architektonischen Planung an Bedeutung gewannen.



Abb. 1: Dachverglasung - SCS Wien (eigene Aufnahme)



Abb. 2: Dachverglasung - Museum Louvre, Paris (eigene Aufnahme)

2.1. Begriffsbestimmung

Wichtige Terme, Bezeichnungen und Abkürzungen die häufig in der Literatur, wie auch in dieser Arbeit verwendet werden, sind im Folgenden kurz beschrieben¹ und in Abbildung 3 dargestellt:

- 1) **Horizontalverglasung**, auch Überkopfverglasung genannt, befindet sich in horizontaler Lage über dem Kopf von Personen. Zu Horizontalverglasungen zählen auch Verglasungen mit Neigungen bis 15 Grad gegen die Horizontale (Schrägverglasungen). Horizontalverglasungen werden weiters in **begehbare Verglasungen (1a)** und **betretbare Verglasungen (1b)** aufgeteilt. Begehbare Glaskonstruktionen ermöglichen das zeitunabhängige Betreten von Glaskonstruktionen (das heißt, Personenverkehr ist jederzeit möglich). Unter dem Begriff betretbare Glaskonstruktionen, auf dem auch der Fokus dieser Arbeit liegt, versteht man diejenigen Konstruktionen aus Glas, die nur zu Wartungs- und Reinigungszwecken kurzzeitig betreten werden dürfen und zwar von nicht mehr als einer Person. Unter dem Begriff betretbare Glaskonstruktionen sind in der Literatur meist Glasdächer gemeint.
- 2) **Vertikalverglasungen** werden, wie schon der Name besagt, vertikal eingebaut. Dazu gehören auch Verglasungen mit einer Neigung, die 15 Grad gegen die Vertikale nicht überschreitet.

¹ Wichtig: Die genannte Aufteilung bezieht sich auf die Begriffe, die in der österreichischen Norm vorzufinden sind.

- 3) **Absturzsichernde Verglasungen** sind diejenigen, die den Absturz von Personen verhindern.

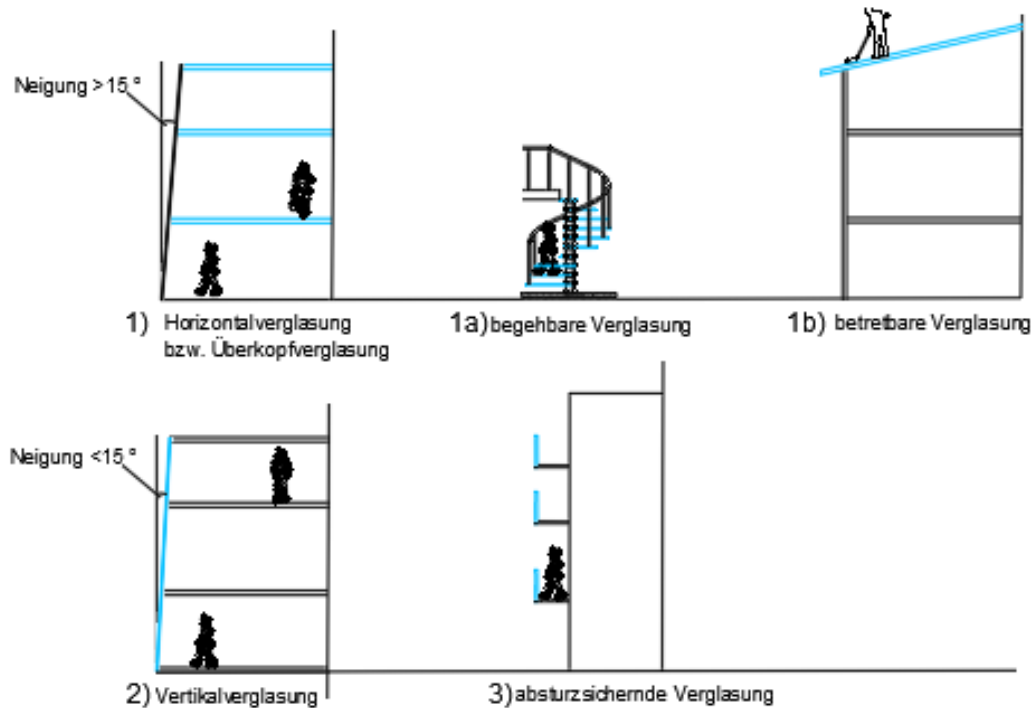


Abb. 3: Verglasungsarten (eigene Abbildung)

2.2. Regelwerke

Wegen der stark zunehmenden Verwendung von Glas in den letzten Jahrzehnten ist für das Jahr 2020 seitens des Technischen Komitees CEN/TC 250 die Erscheinung des Eurocodes für Glas geplant.

Der Eurocode wird sich mit mehreren Themen auseinandersetzen. Beginnend mit den Materialeigenschaften, den Anwendungsgebieten sowie den Sicherheitsanforderungen bis hin zu den Prinzipien der Planung und den Rechenansätzen von Glaskonstruktionen. Nach [13] ist im neuen „Glas-Eurocode“ auch ein Kapitel, das sich mit betretbaren Verglasungen beschäftigen wird, zu erwarten. Dieses wird ausgehend vom momentanen Wissensstand, unter dem Kapitel für Horizontale Verglasungen angeordnet sein.

Bis zu der Veröffentlichung des neuen Eurocodes verwendet man für die Berechnung von Glaskonstruktionen die länderspezifischen Landesnormen. Diese Arbeit ist, daher auf dem Vergleich (der gleichen wie auch ungleichen Ansätzen) der deutschen, österreichischen, britischen und italienischen Normwerken bzw. technischen Regeln aufgebaut. In Österreich gilt die ÖNORM B 3716 Serie, in Deutschland die DIN 18008 Serie, in Italien das italienische

Technische Regelwerk CNR-DT 210:2014 und in Großbritannien die British Standards (BS 5516-1:2004, BS 5516-2:2004 und BS 6261-1:2017).

2.2.1. ÖNORM B 3716

Die Norm, die sich in Österreich ausschließlich mit dem Glasbau beschäftigt ist die ÖNORM B 3716. Sie gilt an sich nicht selbstständig, sondern nur in Kombination mit anderen Normenwerken.

Für die Einwirkungen und Lasten ist der Eurocode 1 für Österreich (ÖNORM EN 1991-1-1, 1991-1-3 und 1991-1-4) und seine nationalen Anhänge (ÖNORM B 1991-1-1, B 1991-1-3 und B 1991-1-4) zu verwenden.

Die ÖNORM B 3716 ist in mehrere Teile gegliedert:

- **ÖNORM B 3716-1:2016:** Grundlagen
- **ÖNORM B 3716-2:2013:** Linienförmig gelagerte Verglasung
- **ÖNORM B 3716-3:2015:** Vertikale Verglasung mit absturzsichernder Funktion
- **ÖNORM B 3716-4:2009:** Betretbare, begehbare und befahrbare Verglasungen
- **ÖNORM B 3716-5:2013:** Punktförmig gelagerte Verglasungen und
Sonderkonstruktionen
- **ÖNORM B 3716-7:2014:** Glasanwendung

Für die Bemessung von betretbaren Glaskonstruktionen ist es notwendig fast alle Teile dieser Normenreihe zu verwenden. Teil 4 der Norm, der betretbare Glaskonstruktionen definiert, ist erstmals 2006 erschienen. Von dem Österreichischen Institut für Normung, dem „*Austrian Standard International*“ wurde ein Beiblatt entwickelt, welches verschiedene Beispiele der Glasstatik in einem Dokument vereint. Dieses wurde im Jahr 2012 zurückgezogen und stattdessen entstand der siebte Teil der ÖNORM B 3716-7:2014 – Glasanwendung.

2.2.2. DIN 18008

Bis zum Jahr 2015 wurden in Deutschland für die Verwendung bzw. für den Einbau von Glaskonstruktionen, alle Nachweise nach folgenden Technischen Regeln geführt:

- **TRLV** – Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten
Verglasungen
- **TRAV** – Technische Regeln für absturzsichernde Verglasungen

- **TRPV** – Technische Regeln für die Verwendung von punktförmig gelagerten Verglasungen

In diesen Regeln wurden die Anforderungen für linienförmig bzw. punktförmig gelagerte, wie auch absturzsichernde Verglasungen definiert. Sie wurden im Jahr 2015 durch die DIN 18008 Normungsreihe ersetzt. Die einzelnen Teile der DIN 18008 gliedern sich wie folgt:

- **DIN 18008-1:2010:** Begriffe und allgemeine Grundlagen
- **DIN 18008-2:2011:** Linienförmig gelagerte Verglasungen
- **DIN 18008-3:2013:** Punktförmig gelagerte Verglasungen
- **DIN 18008-4:2013:** Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen
- **DIN 18008-5:2013:** Zusatzanforderungen an begehbare Verglasungen
- **DIN 18008-6:2018:** Zusatzanforderungen an bei Instandhaltungsmaßnahmen betretbare und durchsturzsichernde Verglasungen

Auch die DIN 18008 kann nur in Kombination mit anderen Normenwerken wie z.B. der DIN EN 1990 angewendet werden. Die Endfassungen der Teile 1-5 wurden zwischen Dezember 2010 und Juli 2013 veröffentlicht. Teil 6 ist im Jahr 2016 in Kraft getreten und wurde 2018 erneuert.

2.2.3. Deutsches Technisches Regelwerk

Die Vorgänger der heute bekannten Serie der DIN 18008 waren die deutschen technischen Regelwerke. Obwohl sie nicht mehr als Stand der Technik gelten, bleiben sie die Basis, auf der die DIN 18008 beruht. In Tabelle 1 sind alle technischen Regelwerke, die bis zum Jahr 2015 für die verschiedenen Verglasungsarten verwendet wurden, sowie die dazugehörigen DIN-Normen aufgeführt.

Wie man klar in Tabelle 1 erkennen kann, waren damals betretbare Glaskonstruktionen in diesen Regelwerken ungenügend geregelt.

Für die Ausführung von Prüfverfahren waren die DIN 4426:2017 und die GS-BAU-18:2001 die Vorreiter. Die Letztausgabe der DIN 4426:2017- „*Sicherheitstechnische Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswegeplanung und Ausführung*“ regelte damals nicht nur kurzfristig betretbare Glasflächen für Reinigungszwecke, sondern auch die Ausführung und Planung von dauerhaften Einrichtungen wie Fenstern und Türen.

Die Resttragfähigkeit und die Stoßsicherheit mussten unter Beachtung der GS-BAU-18:2001 „*Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von betretbaren und bedingt betretbaren Bauteilen*“ durchgeführt werden.

In der GS-BAU-18:2001 wurden die Anforderungen bezüglich der Tragfähigkeit und Sicherheit von Glas definiert. Der Nachweis für betretbare Verglasungen konnte in dieser Verordnung nur experimentell erbracht werden, da sie als nicht eingeordnete Bauteile und

Bauprodukte galten. Der Begriff der Resttragfähigkeit und der Stoßsicherheit wird in Kapitel (5.7. Resttragfähigkeit) erläutert.

Tab. 1: Deutsches Technisches Regelwerk

Funktion der Verglasung	linienförmige Lagerung		punktförmige Lagerung	
	Bis 2015	Nach 2015	Bis 2015	Nach 2015
Vertikal	TRLV	DIN 18008-2	TRLV	DIN 18008-3
Horizontal	TRLV	DIN 18008-2	TRPV	DIN 18008-3
Absturzsichernd	TRLV	DIN 18008-4	TRAV	DIN 18008-4
Begehbar	TRLV	DIN 18008-5	-	DIN 18008-5
Betretbar	-	DIN 18008-6	-	DIN 18008-6
Tragelement	-	DIN 18008-7	-	DIN 18008-7

2.2.4. BS - British Standards

Die British Standard Institution (BSI) wurde im Jahr 1901 vom Engineer Standard Comitee gegründet. Die BSI hat mehrere Normenwerke, die sich auf Glas beziehen veröffentlicht. In den nachfolgenden Kapiteln werden nur diejenigen untersucht die sich auf betretbare Verglasungen beziehen. Es handelt sich um folgende Normen:

- **BS 5516-1:2004:** Patent glazing and sloping glazing for buildings: Code of practice for design and installation of sloping and vertical patent glazing
- **BS 5516-2:2004:** Patent glazing and sloping glazing for buildings: Code of practice for sloping glazing
- **BS 6261-1:2017:** Glazing for buildings: General methodology for the selection of glazing

Unter dem Begriff "Sloping Glazing" versteht man in der britischen Norm, alle Verglasungen, die nicht vertikal gerichtet bzw. in 15 Grad Neigung von der Vertikale sind.[33] Dieser Begriff wird oftmals auch als „Skylight“ bezeichnet. Skylight entspricht dabei einer lichtdurchlässigen Struktur, wozu auch ein Glasdach gehört.

2.2.5. Italienisches Technisches Regelwerk

Das italienische Technische Regelwerk CNR-DT 210:2014 wurde vom italienischen nationalen Forschungsrat (National Research Council) herausgegeben. Der italienische nationale Forschungsrat hatte seine Anfänge im Jahr 1924.

Dieses Technische Regelwerk ist eines der wenigen Regelwerke, außer den oben genannten, dass sich mit dem Thema der betretbaren Verglasungen beschäftigt. Obwohl dieses Technische Regelwerk kein rechtsverbindlicher Standard ist, wurde es veröffentlicht um einen vollständigen Überblick über die verschiedenen Aspekte die beim Konstruieren mit Glas zu berücksichtigen sind, zu geben. So sind in diesem Regelwerk für betretbare Verglasungen, Empfehlungen für die Glasarten und Glaskombinationen die zu verwenden sind, vorzufinden. Des Weiteren sind Vorgaben für Lasten, wie auch Rechenbeispiele für betretbare Dachverglasungen, zu finden.

2.2.6. Entwurf prEN 1662

Noch im Jahre 2013 entstand der erste Entwurf des Eurocodes unter dem Titel prEN 1662 – „*Glass in Buildings–Determination of the Lateral Load Resistance of Glass Panes by Calculation*“. Dieses ist laut [12] der erste Versuch die Sacharbeit im Sinne der Harmonisierung auf europäischen Niveau zu regeln und dabei alle politischen Randbedingungen zu berücksichtigen. In diesem Entwurf wird nicht explizit auf das Thema der betretbaren Verglasungen eingegangen, jedoch wird das Berechnungsverfahren für Verbundsicherheitsglas bzw. Mehrscheiben-Isolierglas bearbeitet.

2.3. Anforderungen an Überkopfverglasungen

An jedes Material werden Anforderungen gestellt, die zu erfüllen sind. Im konstruktiven Glasbau müssen betretbare Glaskonstruktionen so ausgeführt werden, dass bei eventuellem Bruch eine verminderte Verletzungsgefahr besteht.[14]

Wird Glas als Überkopfverglasung eingesetzt, muss gewährleistet sein, dass auch bei Einwirkung von schlagartigen Stößen, die darunter befindlichen Personen geschützt sind. Das zieht mit sich, dass eine erhöhte vorgeschriebene Resttragfähigkeit des Glases gefordert wird. (Der Begriff Resttragfähigkeit wird ausführlicher im Kapitel 5.7. definiert)

Wegen der ausgeprägten Spröbruchgefahr werden in allen Normenwerken für die Verwendung von betretbaren Glaskonstruktionen Sicherheitsgläser vorgeschrieben. Zu den Sicherheitsgläsern zählen:

- Einscheibensicherheitsglas (ESG) und
- Verbundsicherheitsglas (VSG)

Für betretbare Verglasungen dürfen nur Glasarten mit einem „sicheren Bruchverhalten“ verwendet werden. Diese Verglasungsarten müssen, falls sie als Einfachverglasung ausgeführt werden, aus Verbundsicherheitsglas bestehen. Die zulässigen Glasarten für VSG sind ESG, Floatglas und TVG. Andere Materialien sind zulässig, wenn die geforderten Eigenschaften hinsichtlich der Resttragfähigkeit nachgewiesen werden können.

Betretbare Verglasungen können auch als Mehrscheiben-Isolierglas ausgeführt werden. Nach ÖNORM B 3710:2016 ist ein Mehrscheiben-Isolierglas, eine mechanisch stabile, haltbare Einheit aus mindestens zwei Glasscheiben. Diese Glasscheiben sind mit Abstandhaltern voneinander getrennt und in den Randbereichen hermetisch versiegelt. Die unterste Schicht von Mehrscheiben-Isolierglas muss aus VSG ausgeführt werden. Die obere Scheibe darf auch aus Flachglas bestehen.

2.3.1. Einscheibensicherheitsglas (ESG)

Einscheibensicherheitsglas ist ein thermisch vorgespanntes Glas, dass entweder aus Floatglas oder aus Guss-, Roh- oder Fensterglas besteht. [14] Nach ÖNORM B 3710:2016 ist ESG widerständig gegen Schlag, Verwindung und Temperaturwechsel.

Beim Herstellungsprozess von ESG wird das Glas auf einem horizontalen Band liegend in einen Heizofen eingefahren. Es wird auf über 600 °C erhitzt und anschließend schlagartig abgekühlt (siehe Abbildung 4). Dabei kühlt die Oberfläche des Glases schneller ab als der Glaskern. Bei diesem beschriebenen Vorgang entstehen im Glasinneren, wegen der schnelleren Abkühlung, Druck- und an der Glasoberfläche Zugspannungen. Wie hoch die Vorspannung des Glases ist, hängt von der Abkühlungszeit ab.

Gläser, die vorgespannt werden, weisen einen höheren Widerstand gegen mechanische und thermische Beanspruchungen auf. Mit dem Vorgang des Vorspannens wird entweder die Tragfähigkeit erhöht oder ein bestimmtes Bruchbild des Glases angestrebt.

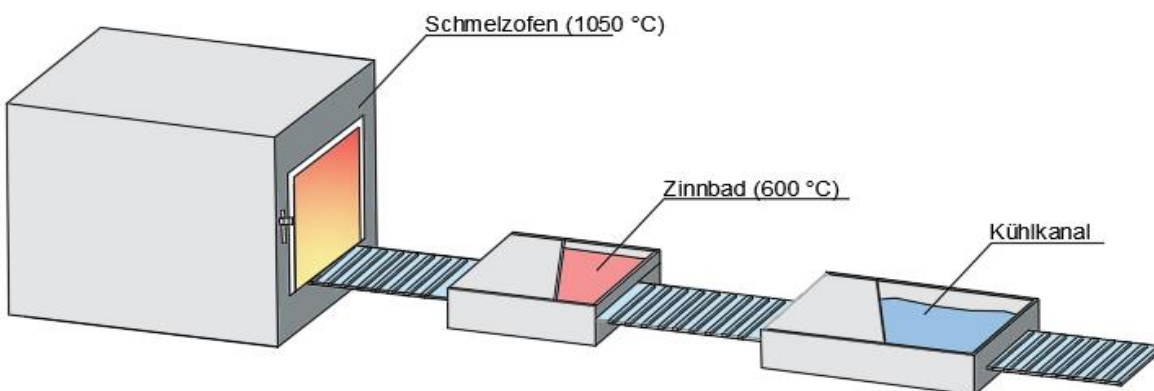


Abb. 4: Floatglas – Prozess nach Pilkington 1952 (eigene Abbildung, gemäß [4])

Die Struktur des Bruchbildes und die Bruchstückgröße hängen von der im Glas gespeicherten Energie ab. Je geringer die thermische Vorspannung im Glas ist, desto größer sind die Bruchstücke. Wegen der verhältnismäßig hohen Vorspannung, sind die Glasbruchstücke von ESG klein.[8] Hierdurch wird das Risiko von Schnittverletzungen

gesenkt. In Abbildung 5 ist der Vergleich des Bruchbildes von ESG, TVG und nicht vorgespanntem Glas, graphisch dargestellt.

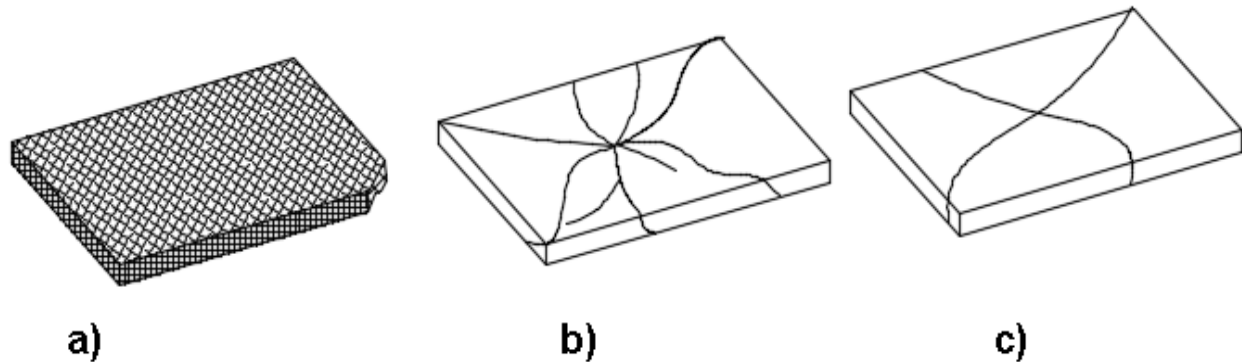


Abb. 5: Nachbruchverhalten von a) ESG, b) TVG und c) nicht vorgespanntem Glas
(eigene Abbildung)

Der Vorgang des Vorspannens kann neben dem thermischen auch durch ein chemisches Verfahren ausgeführt werden. Das Bohren oder Schneiden der Konstruktion bzw. des Materials ist nach dem thermischen Vorspannen nicht möglich.

2.3.2. Verbundsicherheitsglas (VSG)

Verbundsicherheitsglas wird in ÖNORM B 3710:2016 als Verbundglas definiert, welches aus einer oder auch aus mehreren Scheiben Glas, sowie einer Zwischenschicht besteht. Diese Zwischenschicht gewährleistet die notwendige Resttragfähigkeit, falls es zu einem Bruch der Glasscheiben kommt. Damit ermöglicht diese Schicht Glasbruchstücke zurückzuhalten und Risiken von Verletzungen zu verringern.

Die Leistungsanforderungen an Verbundsicherheitsglas werden in Österreich in der ÖNORM EN ISO 12543-2:2011 beschrieben. Laut dieser Norm hängt die Beständigkeit des Glases von mehreren Faktoren ab:

- Art der Zwischenschicht
- Vorhandensein von Verglasungsmaterialien aus Kunststoff
- Vorhandensein von eingeschlossenem Material

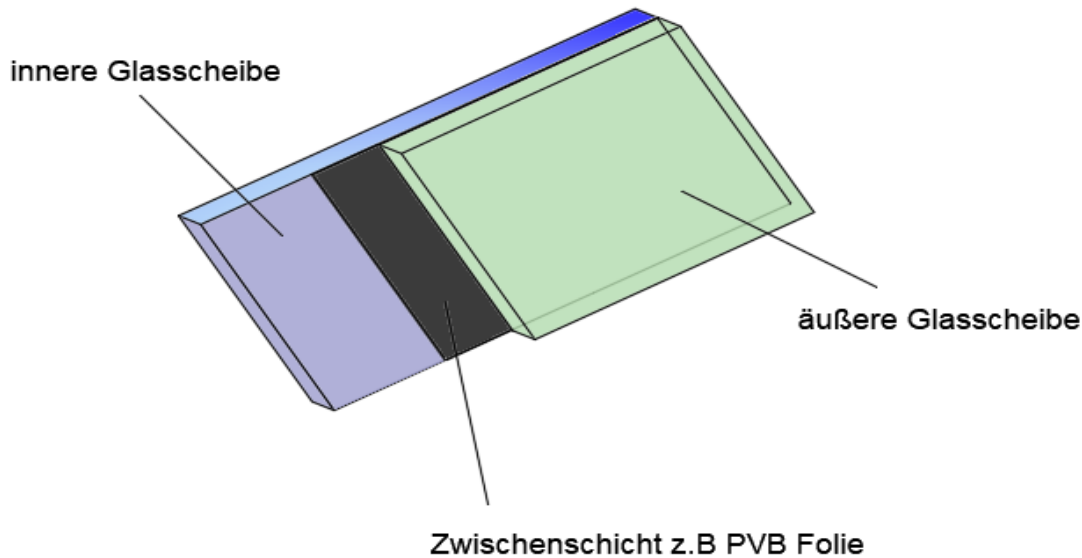


Abb. 6: Aufbau von VSG (eigene Abbildung)

2.3.2.1. Teilvorgespanntes Glas (TVG)

TVG wird nach demselben Prinzip wie Einscheibensicherheitsglas hergestellt. Der Unterschied liegt nur in der Abkühlungszeit. So wird TVG langsamer abgekühlt. Durch die langsamere Abkühlung wird eine geringere Vorspannung erreicht. Nach [14] ist wie auch für ESG, Bohren und Schneiden nach dem thermischen Vorspannungsverfahren nicht möglich.

Das Bruchbild von TVG ist in Abbildung 5 dargestellt. Es ähnelt dem Bruchbild von nicht vorgespanntem Glas. Häufig zeigen sich Risse, die vom Bruchsprung radial verlaufen. Im Gegensatz zu nicht vorgespanntem Glas kann es zu sogenannten „Inselbildungen“ mit kleinen Bruchstücken kommen. [43]

2.3.2.2. Zwischenschicht

Damit das Glas bei Bruch nicht in tausend Stücke zerspringt, wird bei der Verwendung von VSG, für das Verbinden von Glasscheiben eine reißfeste, elastische Folie verwendet. Die in den Normenwerken am meisten genannte Zwischenschicht ist die PVB-Folie. PVB ist eine Abkürzung und steht für Polyvinyl-Butyral. Wie auch VSG, wird PVB in der ISO12543-2:2011 definiert.

Da die PVB-Folie elastisch ist, dehnt sie sich bei einem Aufprall. So wird eine mögliche Entstehung von Rissen verringert. Für den Einsatz in VSG ist es vorgeschrieben, dass die:

- Zugfestigkeit $> 20 \text{ N/mm}^2$ und die
- Bruchdehnung $> 250 \%$ ist.

Die Dicken der Folie variieren von 0,38 mm bis zu 1,52 mm. Für die Verwendung in Verbundsicherheitsglas, dass für betretbare Verglasungen verwendet werden soll, ist nach ÖNORM B 3716-4:2016 eine Dicke von 0,76 mm vorgeschrieben.

3. Länderspezifische Anforderungen in den Normen

In diesem Kapitel wird kurz auf die Anforderungen für die Bauprodukte, die nach Norm für betretbare Verglasungen vorgeschrieben sind, eingegangen. Von Land zu Land sind andere Vorschriften, Anforderungen und Anmerkungen zu beachten.

Wie in [13] erwähnt wird, haben einige Ländern sehr strikte Vorgaben, welche Glasarten für betretbare Verglasungen zu verwenden sind. Im Gegensatz zu den deutschsprachigen Normen werden, z.B. in Großbritannien die Anforderungen bezogen auf die Ausführungshöhe der Glasstruktur definiert. In Italien wird die Entscheidung, welche Verglasungsart zu wählen ist, entweder nach Vorgaben oder von Fall zu Fall entschieden.

3.1. DIN 18008

Nach DIN 18008-2:2018 sind für Überkopfverglasungen, zu denen auch betretbare Verglasungen gehören, folgende Anforderungen zu erfüllen:

„Zum Schutz von Verkehrsflächen darf für Einfachgläser bzw. das untere Einfachglas von Mehrscheiben-Isoliergläser nur Verbundsicherheitsglas (VSG) aus Floatglas oder VSG aus teilvorgespanntem Glas (TVG) oder Drahtglas verwendet werden.“ [29]

Die Oberseite von betretbaren Verglasungen dürfen aus ESG oder VSG ausgeführt werden. In DIN 18008-3:2013 ist zusätzlich angemerkt, dass die Glasdicken der einzelnen Schichten im VSG höchstens um den Faktor von 1,7 voneinander abweichen dürfen. Bei der Verwendung von einer PVB-Folie ist die Mindestdicke von 0,76 mm einzuhalten. Andere Verbundmaterialien sind nur im Fall einer nachgewiesenen Resttragfähigkeit zulässig.

3.2. ÖNORM B 3716

Bezogen auf die zulässigen Glasarten für betretbare Verglasungen sind die Vorschriften die in der DIN 18008 ausgeführt sind, auch in Österreich anzuwenden.

In ÖNORM B 3716-4:2009 wird darauf Aufgewiesen das betretbare Verglasungen ausschließlich in VSG mit einer Mindestdicke der Zwischenschicht von 0,76 mm ausgeführt werden darf. Andere Verbundmaterialien sind zulässig, jedoch muss für diese die Resttragfähigkeit nachgewiesen werden.

3.3. BS 5516 – BS 6262

In der britischen Norm werden die Anforderungen etwas anders definiert. Es wird auf Verglasungen für Dächer hingewiesen.

Es gibt 3 Kategorien. Diese Kategorien werden in Bezug auf die Verletzungen, die bei eventuellem Bruch erlitten werden könnten, aufgeteilt.

Die Kategorien sind wie folgt definiert [34]:

- Risiko von Verletzungen durch herabfallende Glasteile,
- Risiko von Verletzungen durch Gegenstände, die durch die Glasstruktur fallen könnten und
- Risiko vom Durchbrechen durch die Glaskonstruktion, wenn man darauf stehen würde.

Auf Grund der genannten Risiken wird in der Norm auf Verbundsicherheitsglas, Drahtglas, verstärktes Glas und die Verwendung von Beschichtungen verwiesen.

In [34] sind Empfehlungen für die Wahl der Verglasung von Glasdächern vorzufinden. Diese werden wie folgt in Tabelle 2 gegliedert:

Tab.2 Zulässige Glasarten, je nach Höhe der Glaskonstruktion nach BS 5516-2:2004

Kategorien nach BS 5516-2:2004		
Kategorie	Einfachverglasung	Mehrscheiben-Isolierglas
<i>Verglasungen bis zu einer Höhe von 5 m über dem Erdgeschoß</i>	-VSG -ESG -Drahtglas	Unterste Scheibe aus entweder: -VSG -ESG -Drahtglas
<i>Verglasung in einer Höhe von 5 bis 13 m über dem Erdgeschoß</i>	- VSG - Drahtglas - ESG nur falls die verglaste Fläche nicht größer als 3 m ² und die Dicke kleiner gleich ≤ 6 mm ist.	Unterste Scheibe aus entweder: -VSG -ESG -Drahtglas
<i>Verglasungen ab einer Höhe von mehr als 13 m über dem Erdgeschoß</i>	-VSG -Drahtglas	Unterste Scheibe aus entweder: -VSG -ESG - Drahtglas

3.4. Italienisches Technisches Regelwerk CNR-DT 210

In dem italienischen Regelwerk sind keine strikten Vorgaben bezüglich der Art der Verglasung zu finden, wie es in den deutschsprachigen Normen der Fall ist. Es wird entweder von Fall zu Fall entschieden oder man folgt den in [40] erwähnten Empfehlungen. Diese Art der Vorgehensweise erinnert an die „Zustimmung im Einzelfall“², die lange in Deutschland und Österreich praktiziert wurde.

In [40] sind Empfehlungen bezüglich der Wahl der Verglasungsschicht, nach z.B. Art der Lagerung und Gegebenheiten der Konstruktion aufgeführt. Betretbare Glaskonstruktionen werden nicht explizit bei der Wahl der Glaselemente erwähnt. Jedoch hat das Regelwerk Angaben für verglaste Böden, die nur Verbundsicherheitsglas, das aus drei Schichten besteht, zulässt. Weiters ist vorgeschrieben, dass ein eventueller Ausfall von einer Glasschicht vorzusehen ist bzw. für größere Flächen auch Versuche durchzuführen sind. Bezüglich der Schichten des Verbundglases sind laut [40] thermisch vorgespannte Gläser zu wählen.

Weitere Angaben, die sich auf die Lagerungsart beziehen, werden im Kapitel (4.1.Lagerungsart) erwähnt.

3.5. Vergleich der Anforderungen

In Tabelle 3 ist ein Vergleich der Normenwerke bezogen auf die Wahl der Glaserzeugnisse für betretbare Verglasungen in Österreich, Deutschland, Großbritannien und Italien dargestellt. Die deutschen Normenwerke zeigen dabei idente Anforderungen wie die österreichischen. Großbritannien und Italien weichen davon ab.

Bei Mehrscheibenisolierverglasung ist in allen Ländern auf die unterste Schicht des Verbundes Acht zu geben. In Österreich und Deutschland ist sie als VSG aus TVG oder Floatglas auszuführen, in Großbritannien kann es auch aus Drahtglas sein.

² Die Zustimmung im Einzelfall (ZiE) ist verkürzt eine „kleine Baugenehmigung“ für Sonderanfertigungen oder Verfahren. Sie wird im Glasbau angewendet, falls neue Baustoffe und Bauarten im Einzelfall eingesetzt werden **sollen**. Die Rechtsgrundlage für eine ZiE bieten die jeweiligen Landesordnungen.

Tab. 3: Zulässige Glasarten für betretbare Verglasungen

Zulässige Glasarten für betretbare Verglasungen				
Land	Zuständige Normen	Bezogen auf:	Einfachverglasung	Mehrscheibenisolierglas
Österreich	ÖNORM B 3716-2:2013	linienförmige und punktförmige Lagerung	VSG Float/TVG	1.Schicht alle
	ÖNORM B 3716-3:2015			2.Schicht alle
	ÖNORM B 3716-7:2014			3.Schicht VSG Float/TVG
Deutschland	DIN 18008-1:2010	linienförmige und punktförmige Lagerung	VSG Float/TVG	1.Schicht alle
	DIN 18008-2:2011			2.Schicht alle
	DIN 18008-3:2013			3.Schicht VSG Float/TVG
Großbritannien	BS 5516-1:2004	Verglasungen bis 5 m ü.EG	TVG, VSG oder Drahtglas	Die Schichten sollten aus ESG, VSG oder Drahtglas bestehen
	BS 5516-2:2004	Verglasungen in 5 m-13 m ü. EG	TVG, VSG oder Drahtglas mit $d \leq 6$ mm und $A=3 \text{ m}^2$	Die Schichten sollten aus ESG, VSG oder Drahtglas bestehen
	BS 6262-1:2017	Verglasungen ab 13 m ü.EG	Drahtglas oder VSG	Die Schichten sollten aus ESG, VSG oder Drahtglas bestehen
Italien	CNR-DT 210:2014	Allgemein	Nicht explizit definiert	Nicht explizit definiert

3.6. CE-Kennzeichnung

Die CE-Kennzeichnung wird an allen Produkten angebracht, für die eine Leistungserklärung gemäß Bauproduktenverordnung seitens des Herstellers erstellt wurde. Die neue Bauproduktenverordnung trat am 1. Juli 2013 in Kraft. Nach Bauproduktenverordnung müssen alle Hersteller von Bauprodukten, für die eine harmonisierte Norm (hEN) im Amtsblatt der EU veröffentlicht wurde, für Bauprodukte die in keiner harmonisierten Norm vollständig erfasst wurden oder für die eine Technische Bewertung ausgestellt wurde, eine Leistungserklärung erstellen. [49]

Harmonisierte Normen (hEN) werden durch die Organisationen CEN³, CENELEC⁴ und ETSI⁵, im Auftrag der Europäischen Kommission und der EFTA⁶, erarbeitet. Damit es zur Erstedung solcher Normen kommt, muss ein Normungsauftrag (Mandat) an die europäische Normungsorganisation gestellt werden. Die aktuellen, veröffentlichten harmonisierten Normen werden im aktuellen Amtsblatt der EU aufgeführt.

Eine Europäische Technische Bewertung (ETA⁷) kann für jedes Bauprodukt, für das keine oder keine vollständige harmonisierte Norm definiert wurde, beantragt werden. Auf Antrag vom Hersteller wird ein Europäisches Bewertungsdokument (EAD) ausgestellt. Dieser Antrag wird seitens der Europäischen Organisation für Technische Bewertung bearbeitet.

Die CE-Kennzeichnung dient zur Vereinheitlichung von Standards und wird durch Harmonisierungsvorschriften der EU geregelt. [51] Die möglichen Wege zur Erlangung einer CE-Kennzeichnung sind Abbildung 7 zu entnehmen.

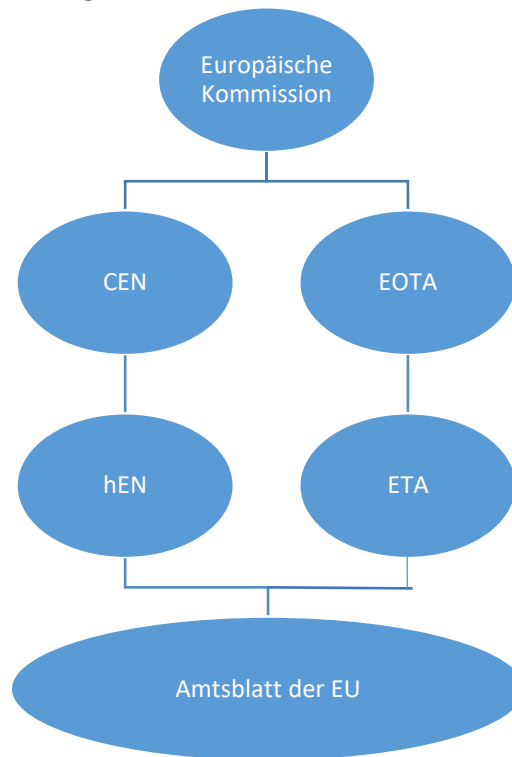


Abb. 7: Möglichkeiten für die CE-Kennzeichnung (eigene Abbildung)

³ CEN – Das Europäische Komitee für Normung (französisch: Comité Européen de Normalisation, englisch: European Committee for Standardization)

⁴ CENELEC – Das Europäische Komitee für elektronische Normung (französisch: Comité Européen de Normalisation Électrotechnique, englisch: European Committee for Electrotechnical Standardization)

⁵ ETSI – Das Europäische Institut für Telekommunikationsnormen (französisch: Institut Européen de Normalisation des Télécommunications, englisch: European Telecommunications Standards Institute)

⁶ EFTA – Die Europäische Freihandelsassoziation (englisch: European Free Trade Association, französisch: Association européenne de libre-échange)

⁷ ETA – Europäische Technische Bewertung (englisch: European Technical Assessment)

In Abbildung 7 sind zwei mögliche Wege für die CE-Kennzeichnung dargestellt. Für Bauprodukte, für die eine Leistungserklärung erstellt wurde, ist eine CE-Kennzeichnung verpflichtend. Dies betrifft alle Bauprodukte, die in einer harmonisierten Norm definiert wurden. Im Amstblatt der Europäischen Union ist festgelegt, ab wann die Anwendung der harmonisierten Norm verpflichtend ist und zu welchem Zeitpunkt die Koexistenzperiode endet.

Falls ein Produkt, dass veröffentlicht werden soll, noch nicht von einer harmonisierten Norm erfasst wurde, kann es mit einer freiwilligen CE-Kennzeichnung versehen werden. Diese wird von der EOTA⁸ durchgeführt.

Ausnahmen für die CE-Kennzeichnung sind möglich, falls es sich bei dem Produkt um eine Sonderanfertigung handelt, bzw. wenn das Produkt individuell gefertigt wird. Wenn zur Herstellung des Produktes traditionelle Verfahren eingehalten werden müssen, weil es zum Schutz des Bauwerkes notwendig ist, darf ebenfalls auf eine CE-Kennzeichnung verzichtet werden.[51]

3.6.1. Aufgaben der Hersteller

In Bezug auf die CE-Kennzeichnung ist die Leistungserklärung eines der wichtigsten Begleitdokumente. In diesem Dokument sind sämtliche Angaben über den Hersteller und das Produkt vorzufinden.

Zu den Aufgaben des Herstellers zählen die Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit (englisch: assessment and verification of constancy of performance - AVCP) durchzuführen. Dabei können fünf unterschiedliche AVCP-Systeme zur Anwendung kommen. Der Unterschied zwischen den Systemen liegt in der Aufteilung der Verantwortlichkeiten zwischen Hersteller, Zertifizierungsstelle und Prüflabor. Je nach AVCP-System fallen für die Hersteller und die Zertifizierungsstelle unterschiedliche Aufgaben an.[51]

Voraussetzung für die Bewertung der Leistungsbeständigkeit ist eine Definition aller wesentlichen Merkmale des Produktes. Auf Grund dieser Merkmale, wird festgelegt welche Prüfungen durchzuführen sind. Jedem Merkmal wird ein AVCP-System zugeordnet. Die Prüfungen müssen entweder durch eine notifizierte Stelle, oder durch den Hersteller durchgeführt werden. Je nach AVCP-System können die vorgeschriebenen Aufgaben von mehr als einer notifizierten Stelle ausgeführt werden. In Tabelle 4 sind mögliche AVCP-Systeme aufgelistet.

⁸ EOTA – Organisation technischer Bewertungsstellen (englisch: European Organisation for Technical Assessments)

Tab.4: AVCP-Systeme (eigene Abbildung, nach [51] – N.S-Notifizierte Stelle; HS-Hersteller)

Elemente der Kontrolle der Konformität	AVCP- System				
	1+	1	2+	3	4
Werkseigene Produktionskontrolle	HS	HS	HS	HS	HS
Zusätzliche Prüfung von durch den Hersteller entnommenen Proben	HS	HS	HS		
Bewertung der Leistung	N.S	N.S	HS	N.S	HS
Erstinspektion	N.S	N.S	N.S		
Kontinuierliche Überwachung, Bewertung, und Evaluierung der WPK	N.S	N.S	N.S		
Stichprobenprüfung	N.S				

3.6.2. Erstellung der CE-Kennzeichnung

Nach Fertigstellung der Leistungserklärung erfolgt die CE-Kennzeichnung. In Tabelle 5 sind alle notwendigen Informationen, die für eine CE-Kennzeichnung festgelegt werden müssen, angeführt.

Mithilfe der CE-Kennzeichnung verfügt das Produkt über eine europaweit einheitliche Kennzeichnung und ist für den freien Warenverkehr in allen EU-Mitgliedstaaten freigegeben.

Die der Tabelle 5 zu entnehmenden Informationen zu den Angaben können in allen beliebigen Reihenfolgen ausgeführt werden, solange alle Punkte vorhanden sind. Der Hersteller ist dazu verpflichtet, die CE-Kennzeichnung dauerhaft und gut sichtbar auf dem Produkt anzubringen.

Tab. 5: Inhalte einer CE-Kennzeichnung

Symbol der CE-Kennzeichnung	
Angabe der letzten beiden Ziffern des Jahres in dem die CE-Kennzeichnung erstmals angebracht wurde	19
Name und Anschrift des Produktes	Firma XY
Eindeutiger Kenncode des Produktes	1234
Nummer der Leistungserklärung, falls sich diese vom Kenncode unterscheidet	123456-XXX-YYYY
Erklärte Leistung des Produktes	Kies 16/32 Gesteinskörnung für Beton
Nummer der hEN oder ETA/ETB	EN 1620
Kennnummer der N.S.	0011-XXX-11.22.33
Produktspezifische Eigenschaften (entsprechend der betreffenden hEN)	Zusätzliche Angaben gemäß Anhang der hEN bzw. der ETA/ETB

Die CE-Kennzeichnung muss für die, in Tabelle 5 aufgeführten Glasprodukte verpflichtend durchgeführt werden.

Tab.6: Glasprodukte, für welche die CE-Kennzeichnung verpflichtend ist

Produktbezeichnung	Norm	CE verpflichtend ab:
Teilvorgespanntes Glas	ÖNORM EN 1863:2011	01.09.2016
Verbundsicherheitsglas	ÖNORM EN 14449:2005	01.03.2007
Einscheibensicherheitsglas	ÖNORM EN 12150:2015	01.09.2016
Mehrscheibensicherheitsglas	ÖNORM EN 1279:2018	01.03.2007

4. Einsatz in der Praxis

Glas ist aus der heutigen Architektur kaum wegzudenken. Das Bedürfnis nach mehr Licht, mehr „Offenheit“ im Raum, wie auch die positiven Aspekte bezüglich der energetischen Überlegungen, machen Glas zu einem beliebten Produkt in allen Bereichen des Hochbaus. Am häufigsten wird es im Fassaden- und Dachbau eingesetzt.

In diesem Kapitel werden einige, bereits fertiggestellte, Glasdächer gezeigt. Es handelt sich dabei um Glaskonstruktionen in Wien (AT), München (DE), Paris (FRA) und Bihac (BiH).

Glasdächer gehören zu den betretbaren Glaskonstruktionen, da sie, abhängig von der Art der Ausführung, nur kurzfristig zu Reinigungs- und Wartungsarbeiten betreten werden können. Glasdächer können in verschiedenen Varianten ausgeführt werden. Es kann sich um Glasdächer über Atrien, zwischen zwei Baukörpern, in Einkaufszentren oder Büroflächen handeln.



Abb. 8: Glasdach zwischen zwei Baukörpern (München, DE) - (eigene Aufnahme)



Abb. 9: Glasdach im Einkaufszentrum (Ringstraßen-Galerien, Wien, AT) - (eigene Aufnahme)



Abb. 10: Glasdach zwischen zwei Gebäuden-Fußgängerdurchgang (Wien, AT) - (eigene Aufnahme)



Abb. 11: Glasdach über Büroflächen (Bihac, BiH) - (eigene Aufnahme)



Abb. 12: Glaspypamide, Museum Louvre (Paris, FR) - (eigene Aufnahme)

4.1. Lagerungsarten

Im vorherigen Kapitel wurde ein kleiner Überblick über die Glaserzeugnisse gegeben, die bei Glaskonstruktionen, bzw. betretbaren Verglasungen verwendet werden. In diesem Kapitel wird auf die Art der Lagerung, sowie auch die Vorgaben in Bezug auf die Lagerungsart für betretbare Verglasung eingegangen.

Grundsätzlich wird zwischen linienförmiger und punktförmiger Lagerung unterschieden. Laut den Normen (ÖNORM B 3716 und DIN 18008) ist auch eine Kombination beider Lagerungsarten möglich.

Die punktförmige, wie auch die linienförmige Lagerung, sind in den deutschsprachigen Normen ausführlich in jeweils einer Norm beschrieben: In Österreich sind das ÖNORM B 3716-2:2013 für linienförmige und ÖNORM B 3716-5:2013 für punktförmig gelagerte Verglasungen. In Deutschland ist für die linienförmige DIN 18008-2:2011 und DIN 18008-3:2013 für punktförmig gelagerte Verglasungen zuständig.

Während im italienischen Technischen Regelwerk beide Lagerungsarten in der CEN-DT 210:2014 beschrieben sind, zerstreuen sich die Anforderungen in Großbritannien die in den in Kapitel 2.2.4. genannten Normen.

4.1.1. Linienförmige Lagerung

Glas wird aus statischer Sicht prinzipiell entweder als Platte oder als Scheibe eingesetzt. Dabei steht die plattenförmige Anwendung für eine raumschützende Funktion. Für betretbare Verglasungen, bzw. Überkopfverglasungen, liegt der Fokus auf der Platte. Alle auftretenden Einwirkungen auf die Platte (Wind, Schnee, Nutzlast usw.) werden über die Biegesteifigkeit zu den Auflagern abgetragen.

Abbildung 13 zeigt die häufigsten Varianten der linienförmigen Lagerungen. Statisch sind allseitige Linienlagerungen am günstigsten, da sie größere Stützweiten als beispielsweise punktförmige Lagerungen ermöglichen.

Aus statischer Sicht können Linienlager entweder:

- einseitig eingespannt,
- zweiseitig gelenkig,
- dreiseitig gelenkig oder
- allseitig gelenkig gelagert ausgeführt werden.

Nach [8] heißt es, dass aus statischer Sicht für die Berechnung und die Modellierung in FEM-Programmen bei linienförmig gelagerten Verglasungen eine freie Verdrehbarkeit über den Lagern anzunehmen ist. Weiters wird erwähnt, dass bei dieser Art der Lagerung mindestens zwei gegenüberliegende Seiten beidseitig (Druck wie auch Sog) senkrecht zur Scheibenebene die Lasten abtragen müssen.

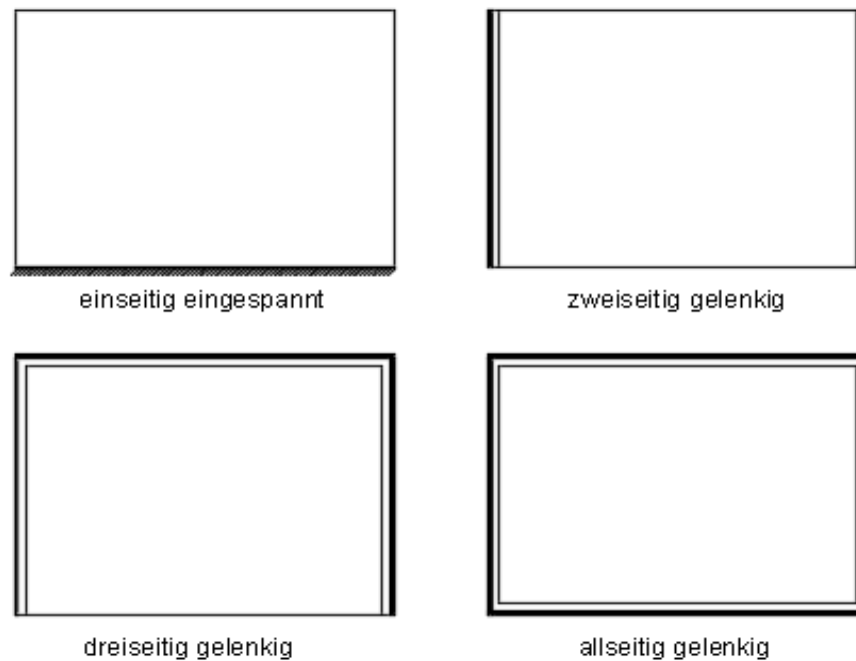


Abb. 13: Arten der Linienlagerung (eigene Abbildung)

Die Berechnung von linienförmig gelagerten Verglasungen ist in der Regel sehr einfach möglich. Es wurden für diese Art der Verglasungen in tabellarischer Form analytische Lösungen dargestellt.

Diese Tabellen wurden in Form von Bemessungsdiagrammen für die leichtere Berechnung von allseitig linienförmig gelagerten Glasbauteilen entwickelt. Anhand dieser Tabellen⁹ kann man leicht die Biegemomente, sowie die Durchbiegungen an Vertikal- und Überkopfverglasungen ablesen. Die Diagramme gelten nur für allseitig linienförmig gelagerte Glasplatten unter Vollflächenlast.

4.1.2. Punktförmige Lagerung

Die zweite Art der Lagerung ist die punktförmige. Die Berechnung von punktförmig gelagerten Verglasungen ist um einiges komplexer, als die von linienförmig gelagerten Verglasungen. Die Lasteinleitung hat große Auswirkungen auf die Spannungsverteilung im spröden Glas, deshalb kommt es bei Punkthalterungen oft zu unregelmäßigen Lastkonzentrationen und zu einer geringen Ausnutzung des Querschnittes.

Bei Berechnungen von punktförmig gelagerten Verglasungen sollte bei FE-Berechnungen bzw. Modellbildungen, den möglicherweise vorhandenen Bohrungen große

⁹ Die Tabellen können aus der Literatur, aus z.B. [8] entnommen werden.

Sorgfalt gewidmet werden. All das hat das Erreichen einer realitätsnahen Abbildung der Spannungen und Verformungen zum Ziel.

Der Querschnitt im Bereich der Glasbohrungen und der Feldmitte wird hier hauptsächlich auf Biegung und Membranwirkung beansprucht. Dies dient zur Vermeidung von hohen Spannungskonzentrationen im Bereich der Bohrungen. Nicht nur Bohrungen führen zu Spannungsspitzen im Glas, auch mechanische Beschädigungen der Glasoberfläche, die als Oberflächendefekte bekannt sind (z.B. Kratzer), können zu Spannungskonzentrationen und sogar, in manchen Fällen, zu Bruch der gesamten Glaskonstruktion führen.

Punktlager werden in folgende Lagerungsmöglichkeiten gegliedert:

- Punktlager mit Klemmhalterungen,
- Systeme, die aus Glasbohrungen bestehen und
- geklebte Punktlagerungen.

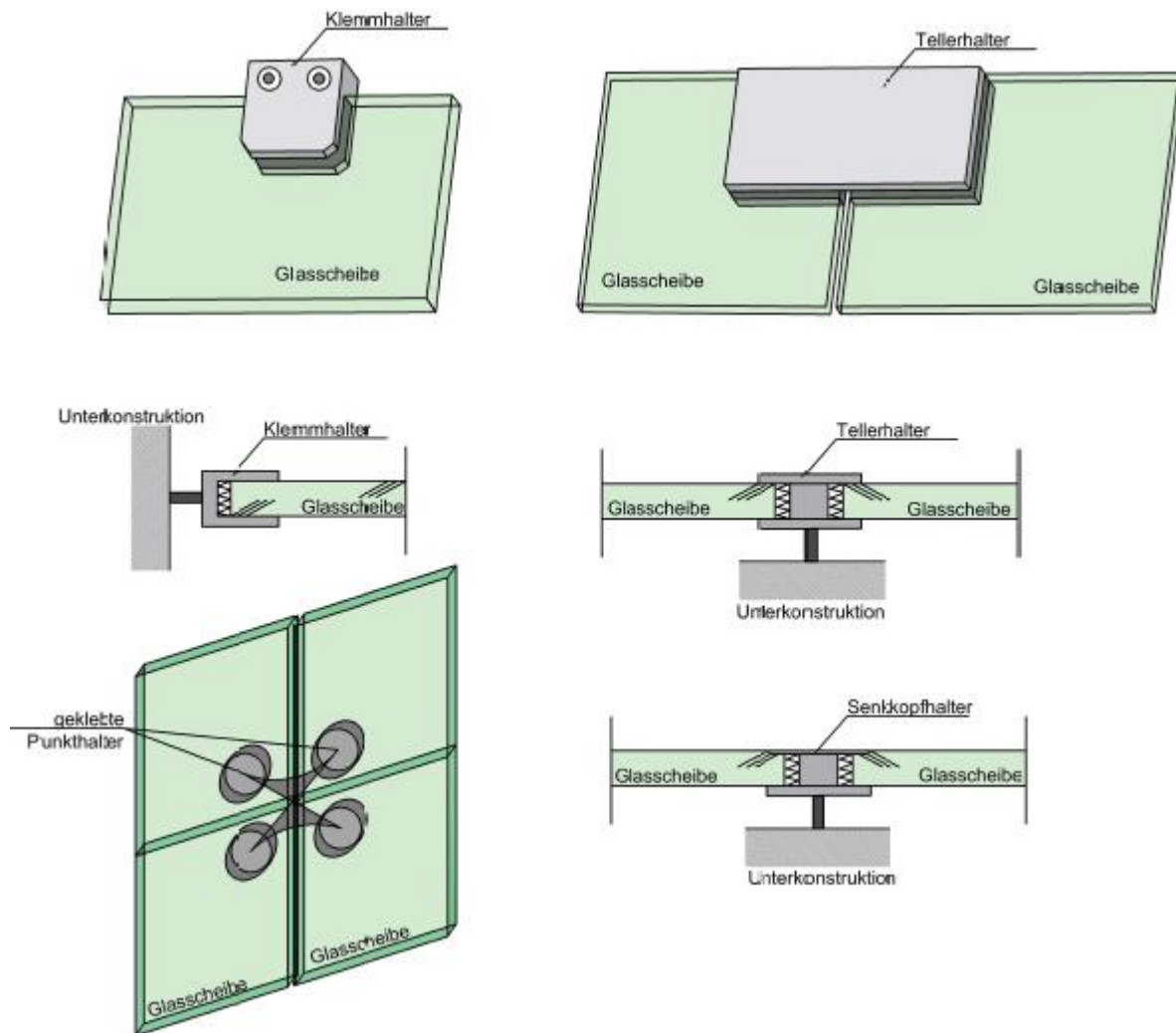


Abb. 14: Verschiedene Arten von Punkthaltern (eigene Abbildung)

Punkthalter können noch in weitere Kategorien unterteilt werden. Wie in Abbildung 14 zu sehen ist, können Punkthalter mit Tellerhaltern, Klemmhaltern oder Senkkopfhaltern ausgeführt werden. Alle diese Halterungen können verdrehbar oder verdrehsteif ausgeführt werden.

4.2. Anforderungen an Lagerungsarten

In den folgenden Kapiteln sind alle Anforderungen, die sich auf die Lagerungsart der Glaskonstruktion beziehen, angegeben. Dabei werden Gemeinsamkeiten, wie auch Unterschiede, in den deutschen, österreichischen, italienischen und britischen Normen, die sich auf betretbare Verglasungen beziehen, gegeben.

4.2.1. Anforderungen nach ÖNORM B 3716

Die ÖNORM B 3716-1:2016 stellt folgende allgemeine Anforderungen:

„Es darf kein Kontakt zwischen Glas und Metall oder Glas und Glas auftreten. Die Baustoffe und Konstruktionssteile für die Lagerung der Scheiben müssen der Nutzungsdauer entsprechend verwendbar sein. Die Konstruktion muss so ausgeführt werden, dass die Kanten von Verbundglas sowie Verbundsicherheitsglas (VSG) nicht ständig der Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Eine Abtrocknung freiliegender Kanten darf nicht behindert werden.“ [15]

Der Kontakt Glas-Glas, bzw. Glas-Metall wird ausgeschlossen, unabhängig davon ob es sich dabei um eine punktförmige, linienförmige, oder kombinierte Lagerungsart handelt. Diese Anforderung ist nicht nur in den ÖNORM, sondern auch in den restlichen Vergleichsnormen (Deutschland, Italien und Großbritannien), vorzufinden. Der Kontakt zwischen Glas und anderen Materialien wird wegen seines spröden Materialverhältnisses vermieden.

4.2.1.1. Linienförmige Lagerung

Die Anforderungen an die linienförmige Lagerungsart beziehen sich zum einen auf die schon in Kapitel 3 angegebenen zulässigen Glaserzeugnisse. Horizontalverglasungen dürfen als Einfach- oder Isolierverglasungen ausgeführt werden. Die dabei zulässigen Glaserzeugnisse sind VSG aus Floatglas/Gussglas oder TVG. [16]

Andere Verbundmaterialien werden zugelassen, wenn ihre Eigenschaften bezogen auf die Resttragfähigkeit nachgewiesen werden können.

Des Weiteren sind Horizontalverglasungen mit VSG bei einer Stützweite $\geq 1,20$ m allseitig gelagert auszuführen. (siehe Abbildung 15)

Für VSG, die mit PVB-Folien ausgeführt werden sollen, muss deren Dicke mindestens 0,76 mm betragen.

Berechnungen der Horizontalverglasung, aus Mehrscheiben-Isolierglas, sind außer den in ÖNORM B 3716-1:2016 angegebenen Einwirkungen, auch für den Fall des Versagens aller oberen Glasscheiben, mit deren Belastung zu bemessen. Bei Einfachverglasungen mit VSG gilt auch die Anforderung damit bei Versagen mindestens eine Glasscheibe unbeschädigt bleiben kann.

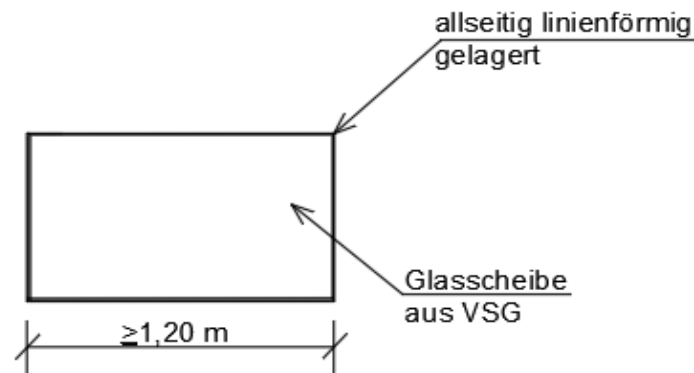


Abb. 15: Anforderungen an die linienförmige Lagerung nach ÖNORM B 3716-2:2013
(eigene Abbildung)

4.2.1.2. Punktförmige Lagerung

Für punktförmige Lagerungen sind gleiche Anforderungen für die Verwendung von VSG für Horizontalverglasungen, wie für linienförmig gelagerte Verglasungen, in ÖNORM B 3716-5:2013, vorgeschrieben.

Des Weiteren ist angemerkt, dass eingelassene Halterungen, geklebte Halterungen, Klemmhalterungen, Senkkopfhalter, Tellerhalter oder eine Kombination der genannten Halterungen mit linienförmigen Lagerungen zulässig sind.

Für Fälle, bei denen die Glasscheiben zweiseitig gelagert sind, und bei Verwendung von Klemmhalterungen, ist das System gegen eventuelles Rutschen zu sichern.

Falls Klemmhalterungen mit Bohrungen ausgeführt werden, wird für das Verbundsicherheitsglas vorgeschrieben, dass es aus TVG bestehen muss.

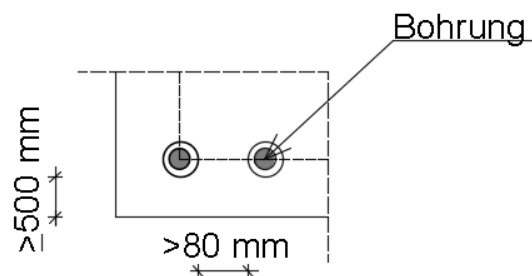


Abb. 16: Anforderungen auf punktförmige Lagerung nach ÖNORM B 3716-5:2013
(eigene Abbildung)

Der Lochabstand muss mindestens 50 mm von der Scheibenkante betragen. Die Ränder der Bohrungen müssen mindestens 80 mm voneinander entfernt sein. (siehe Abbildung 16)

4.2.2. Anforderung nach DIN 18008

4.2.2.1. Linienförmige Lagerung

Nach DIN 18008-1:2010 sind folgende Anforderungen für linienförmig gelagerte Konstruktionen zu befolgen, da sie in den österreichischen Normen nicht vorgeschrieben sind:

„Die linienförmige Lagerung muss beidseitig (Druck und Sog) normal zur Scheibenebene wirksam sein. Dabei muss bei mehrscheibigem Aufbau die linienförmige Lagerung für alle Scheiben wirksam sein.

Eine Seite gilt als linienförmig gelagert, wenn bezogen auf die aufgelagerte Scheibenlänge der Bemessungswert der Durchbiegung der Unterkonstruktion nicht größer als $l/200$ ist. Vereinfachend darf der Bemessungswert der Beanspruchung nach DIN EN 1990 und DIN EN 1990/NA, Gleichung (6-14-c), ermittelt werden.

Die Verglasungen sind fachgerecht zu verklotzen¹⁰. [28]

Falls nichts anderes angegeben wurde, ist ein Mindestglaseinstand von 10 mm einzuhalten.

4.2.2.2. Punktförmige Lagerung

Das Deutsche Normenwerk DIN 18008-3:2013 hat etwas konkretere Angaben, die sich auf punktförmige Halterungen beziehen. So ist, zum Beispiel, für Tellerhalterungen vorgeschrieben, dass diese, falls sie mit Bohrungen durchgeführt werden, mit einem Durchmesser, der nicht kleiner als 50 mm ist, ausgeführt werden müssen. Des Weiteren muss bei Tellerhaltern im verformten Zustand ein Glaseinstand von mindestens 12 mm sichergestellt sein.

Die Anordnungen von Bohrungen sind geregelt. So ist, z.B. vorgeschrieben, dass der Abstand zwischen zwei benachbarten Bohrungen eine Breite von 80 mm einhalten muss (Abbildung 17).

¹⁰ Laut [6] wird um den Kontakt zu vermeiden, zwischen Glas und der Unterkonstruktion (die z.B. aus Stahl, Aluminium oder anderen harten Stoffen) Klotzungen aus Kunststoff, Gummi, Silikon oder Weichaluminium angeordnet.

Verbundsicherheitsglas darf nur aus zwei gleichdicken, mindestens zwei Mal 12 mm TVG, Scheiben bestehen. Die Anforderungen gegenüber der Resttragfähigkeit ist mit einer PVB-Folie mit einer Dicke von 1,52 mm einzuhalten.

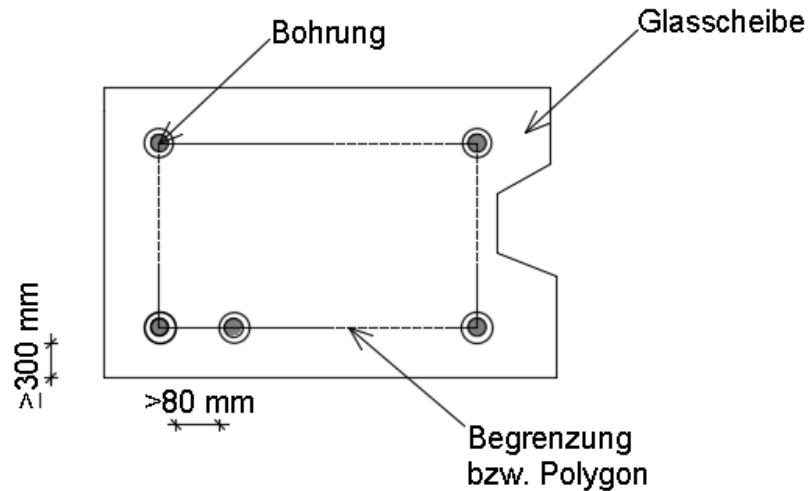


Abb. 17: Anforderungen an punktförmige Lagerung (eigene Abbildung Gemäß [29])

Eine Kombination zwischen linienförmigen und punktförmigen Lagerungen ist zugelassen, jedoch ist zu beachten, dass die Innenwinkel zwischen den Lagerungsarten 120° nicht überschreiten (Abbildung 18).

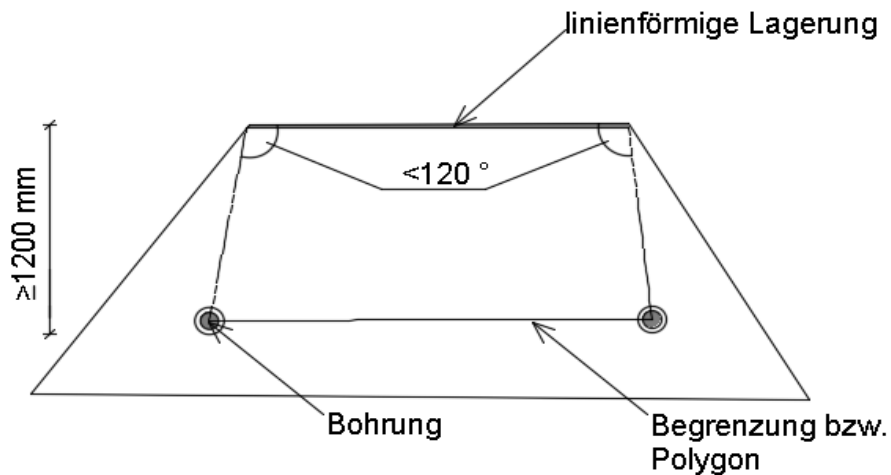


Abb. 18: Anforderungen an kombinierte Lagerungsarten (eigene Abbildung Gemäß [29])

4.2.3. Anforderung nach CNR-DT 210

Das italienische technische Regelwerk erschwert es eine Aufteilung auf linienförmige, bzw. punktförmige Lagerung, wie in den vorherigen Kapiteln, durchzuführen.

Betrachtet man die Angaben der punktförmigen Lagerungsart in [40], so erkennt man, dass zwischen zwei Formen unterschieden wird, die mit oder ohne Öffnungen/Bohrungen.

Horizontale punktförmig gelagerte Verglasungen dürfen nur aus Mehrscheibenisolier- oder Verbundsicherheitsglas bestehen. Die Schichten müssen entweder aus Floatglas, teilvorgespanntem oder vorgespanntem Glas sein. Die Kombination der Schichten darf nicht aus zwei Schichten Floatglas bestehen, alle anderen Kombinationen sind zulässig.

Für punktförmige Horizontalverglasungen ohne Öffnungen sind nur Kombinationen mit vorgespanntem, bzw. teilvorgespanntem Glas zulässig. Obwohl keine konkrete Aufteilung der Anforderungen nach der Lagerungsart gegeben wird, sind in tabellarischer Form in [40] Hinweise darüber zu finden wie sich Verbundsicherheitsglas, je nach Lagerungsart, im Falle eines Bruches verhalten sollte. Auf diese wird hier nicht eingegangen, es werden lediglich ein paar Beispiele in Tabelle 7 gegeben.

Tab. 7: Indikatoren für Verhalten bei eventuellen Versagen nach [40]

Lagerungsart	Zu erwartende Leistung lt. [40]
allseitig gelagert	Es ist mit einer allgemein guten Leistung zu rechnen
Lagerung an nur zwei Seiten	Mit Vorsicht zu beachten. Die Tiefe/Dicke der Verglasung muss sorgfältig bemessen werden, da nach eventuellem Bruch Absturzgefahr besteht.
Punktförmige Lagerung mit Halterung (z.B. Tellerhalter) und zylindrischen Löchern	Gute Leistung, da die Halterung verhindert, dass sich das zerbrochene Glas löst. Die Leistung verbessert sich mit zunehmender Festigkeit der Zwischenschicht.

4.2.4. Anforderung nach British Standards

In den britischen Normen BS 5516-1:2004, BS 5516-2:2004 und BS 6262-1:2017, die sich mit Überkopfverglasungen beschäftigen, wird keine explizite Aufteilung auf die Lagerungsarten gegeben. Der Begriff der Überkopfverglasung bzw. Dachverglasung, ist unter der Bezeichnung „Sloping Glazing“ zu finden.

In den genannten Normen sind die Informationen für betretbare Verglasungen unter den Begriffen der „Glazing Systems“ und dem Begriff „Maintenance“ vorzufinden.

In BS 5516-2:2004 sind Angaben für Glassysteme mit Klemmhalterungen oder Druckplatten definiert. Nach Norm sollte die Falztiefe dieser Systeme so gestaltet werden, dass ein Randabstand von 6 mm (um die Verglasung) gewährleistet ist. Des Weiteren wird eine Randabdeckung von min. 10 mm vorgeschrieben. Bei einer Verwendung von Mehrscheiben-Isolierglas wird, um die Kantenversiegelung vor UV-Strahlen zu schützen, eine Randkantenabdeckung von 12-16 mm angestrebt.

Geklebte Glaskonstruktionen sind nach BS 5516-2:2004 entweder zweiseitig gelenkig, oder allseitig gelenkig auszuführen. Es wird empfohlen dieses System im Fertigstellungswerk vorzubereiten. Bei Verwendung von Mehrscheiben-Isolierglas sollte die untere Scheibe nicht aus ESG bestehen.

Für punktförmige Lagerungen mit Bohrungen gibt es keine Angaben in Bezug auf die Dimensionen. Es wird jedoch auf die Verglasungsarten, die zu verwenden sind, eingegangen. Für Glaskonstruktionen die betreten werden ist empfohlen ESG oder TVG zu verwenden.

BS 5516-1:2004 und BS 5516-2:2004 unterscheiden sich in einem Punkt von den restlichen Normen, weil sie auch das Brandschutzverhalten, den Schallschutz usw. detaillierter festlegen.

4.3. Verbindungsarten

Da laut Vorschrift der Kontakt zwischen Glas und Glas, bzw. Glas und anderen „harten“ Materialien verboten ist, ist es notwendig, fachgerechte Verbindungen zu verwenden. Das wichtigste bei allen Arten der Verbindungen ist es, diese so auszuführen und zu planen, dass eine gleichmäßige Kraftverteilung bzw. Krafteinleitung zwischen Glas und Verbindungsmaterial geschaffen wird.

Die linienförmige Art der Lagerung wird meist so ausgeführt, dass die Scheiben direkt an der Glaskante oder in der Glasfläche geklemmt werden.[1] So kann mit Hilfe von verschiedenen Arten der Klemmhalterungen, auch in statischer Hinsicht z.B. eine gelenkige oder drehsteife Lagerung geschaffen werden. Die linienförmige Art der Lagerung wird vielseitig verwendet: von Fensterscheiben bis zu komplexen Dachkonstruktionen.

Wie bereits erwähnt, können punktförmige Lagerungsarten (wie z.B. Klemmhalter) ohne Bohrungen, ganz einfach an den Rändern und Ecken befestigt werden. Ohne Bohrungen werden auch geklebte Punkthalter ausgeführt.

Tellerhalter und Senkkopfhalter gehören zu der „Familie“ der gebohrten Punkthalter. Sie ermöglichen eine Krafteinleitung über Reibung. Die Glasplatte, bzw. Scheibe, wird zwischen den sogenannten Tellern „eingeklemmt“. Eine Zwischenschicht verhindert den Kontakt zwischen den Materialien.

4.4. Fugetechnik

Ein wichtiger Aspekt bei der Lagerungsart und den Auflagerbedingungen ist auch die Fugetechnik. Die Aufgabe der Fuge ist es zwischen Glas und Glas, bzw. Glas und Unterkonstruktion, unerwünschte Angriffe von Luft und Feuchtigkeit zu verhindern. Mit den Jahren sind auch die Anforderungen gewachsen und umfassen jetzt auch Schallschutz, sowie Wärmedämmfähigkeiten.

Die Fuge muss imstande sein, mechanische Bewegungen der Konstruktion, die unter den Einwirkungen von Schnee, Wind, Erschütterungen und Wetter entstehen, zu übernehmen und abzuleiten. Für die Tragwerksplanenden heißt das, dass sie darauf achten müssen, etwaige auftretende Temperaturschwankungen in die Berechnung von betretbaren Verglasungen einzubeziehen. In der Praxis sollte man mit Schwankungen zwischen ca. -20 °C und +5 °C rechnen. Weiters sollten mögliche Sonneneinstrahlungen, die zu Erwärmungen führen (bis zu 100 °C), auch in Betracht gezogen werden.

Alle Eigenschaften der Fuge haben auch Einfluss auf das Tragverhalten der Platte, bzw. Scheibe.

Da Glas sehr spröde Materialverhältnisse aufzeigt, ist es von Vorteil Fugen mit hohen Druckfestigkeiten und mit hohen Dauerhaftigkeiten zu wählen. Erwähnte Klebetechniken werden meist nur bei linienförmigen Lagerungen verwendet, sind aber bei punktförmigen Lagerung nicht ausgeschlossen.

4.5. Wartung und Reinigung

Da heutzutage viel Wert auf die Wartung und Reinigung von Konstruktionen gelegt wird, ist das Thema der betretbaren Glaskonstruktionen ein sehr aktuelles.

Auch Glaskonstruktionen benötigen innerhalb ihres Lebenszyklus regelmäßige Instandhaltungsmaßnahmen. Betretbare Verglasungen werden meist als Glasdächer ausgeführt. Sie besitzen eine Vielzahl an positiven Aspekten, haben jedoch auch negative Eigenschaften. Positiv ist das natürliche Tageslicht und der spektakuläre Anblick der Konstruktion. Um die guten Eigenschaften zu erhalten ist jedoch viel Aufwand in Bezug auf Wartung und Reinigung von Nöten.

Die Reinigungsarbeiten beziehen sich nicht nur auf die Dachkonstruktion, sondern auch auf die Verbindungselemente und die Unterkonstruktion. Bei Glasdächern ist eine ausreichende Neigung anzustreben, um die Abführung des Niederschlagwassers sicherzustellen. So wird auch verhindert, dass Feuchtigkeit die Möglichkeit hat, in die Elemente einzudringen. Je geringer die Neigung, desto schlechter wird die Eigenschaft der „Selbstreinigung“. Gemäß [6] betragen die Reinigungsintervalle zwischen 3 und 6 Monaten, abhängig von der Lage und dem Klima.

Die Wartungsarbeiten werden in verschiedenen Intervallen ausgeführt, abhängig davon, welche Art von Glas verwendet wurde. Für z.B. Isolierverglasungen kann man für Wartungsarbeiten einen Zeitraum von ca. 5 Jahren vorsehen.

Neben den schon genannten, werden auch Dachinspektionen alle 2-3 Jahre vorgeschrieben. Bei diesen Überprüfungen sind die Zustände der Dachabdichtung, sowie die An- und Abschlüsse zu überprüfen und zu dokumentieren. Weiters sind auch Fugen als „sensible“ Elemente der Konstruktion zu betrachten, da sie verschiedenen chemischen und mechanischen Einflüssen ausgesetzt sind. Da bei Glasdächern Fugen am meisten der Bewitterung und Temperatureinwirkungen ausgesetzt sind, sind diese auch regelmäßig zu kontrollieren.

5. Bemessung von betretbaren Glaskonstruktionen

Im konstruktiven Glasbau verwendet man bei der Bemessung das semiprobabilistische Sicherheitskonzept. Die Nachweisführung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit erfolgt grundsätzlich durch den Vergleich der Bemessungswerte. Die Teilsicherheitsbeiwerte der maßgebenden Einwirkungen sind in den Anwendungsnormen geregelt. Des Weiteren werden für die Berechnung der Verformung, bzw. der Gebrauchstauglichkeit und der Schnittgrößen, die allgemein bekannten Ansätze aus der Statik verwendet. Diese werden heutzutage in FEM-Programmen zusätzlich geprüft und berechnet.

Für die Dimensionierung von Glas im Bauwesen ist es erforderlich, die Anforderungen an die

- Tragfähigkeit
- Gebrauchstauglichkeit
- Sicherheit und Ausführung und
- Resttragfähigkeit

zu erfüllen.



Abb. 19: Nachweise für Glaskonstruktionen (eigene Abbildung)

In erster Linie ist es für betretbare Verglasungen notwendig eine ausreichende Tragfähigkeit zu gewährleisten. Bei Glaskonstruktionen basieren diese Nachweise auf jenen für die Hauptzugspannungen.

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit werden die Durchbiegungen und Verformungen mit den festgelegten Grenzwerten aus der Norm verglichen.

Da Glas ein sprödes Material ist, ist es bei betretbaren Verglasungen notwendig eine ausreichende Resttragfähigkeit sicherzustellen. Diese Resttragfähigkeit wird mit verschiedenen Anforderungen, in Form von konstruktiven Randbedingungen, in dem ersten, zweiten und fünften Teil der ÖNORM B 3716, definiert. Falls diese Anforderungen erfüllt sind, ist es nicht notwendig weitere Nachweise für die Resttragfähigkeit durchzuführen. Bei Abweichungen werden experimentelle Nachweise gefordert.

Für den experimentellen Nachweis müssen Versuche durchgeführt werden, bei denen die Glaskonstruktion entweder mit einer vorgegebenen Last beaufschlagt oder mit wechselnden Lasten zu Bruch gebracht wird. Das Ziel ist es, im Nachhinein, die vorhandene Sicherheit zu ermitteln.

Nachweise für die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit für betretbare Verglasungen sind in Österreich auf der Grundlage der ersten vier Normteile der ÖNORM B 3716 statisch nachzuweisen. Im Gegensatz zu anderen Glaskonstruktionen müssen betretbare Verglasungen für den Nachweis zusätzlich für eine Vertikallast Q_k nachgewiesen werden.

5.1. Einwirkungen

In den folgenden Kapiteln wird kurz auf alle Einwirkungen, die bei der Berechnung von betretbaren Glaskonstruktionen berücksichtigt werden, eingegangen. Da es den Umfang dieser Arbeit sprängen würde, betreffend der Einwirkungen sämtliche nationalen Festlegungen einzeln auszuführen, werden in dieser Arbeit nur die Lastansätze aus Österreich angegeben.

In Abbildung 20 sind die jeweils anzuwendenden nationalen Dokumente, bei der Ermittlung der maßgebenden Einwirkungen der einzelnen Länder (Österreich, Deutschland, Großbritannien und Italien) aufgeführt.

Die Gliederung der Lasten ist wie folgt:

- Ständige Lasten (Eigengewicht)
- Veränderliche Lasten (Nutzlasten, Schneelasten, Windlasten und Klimlasten)

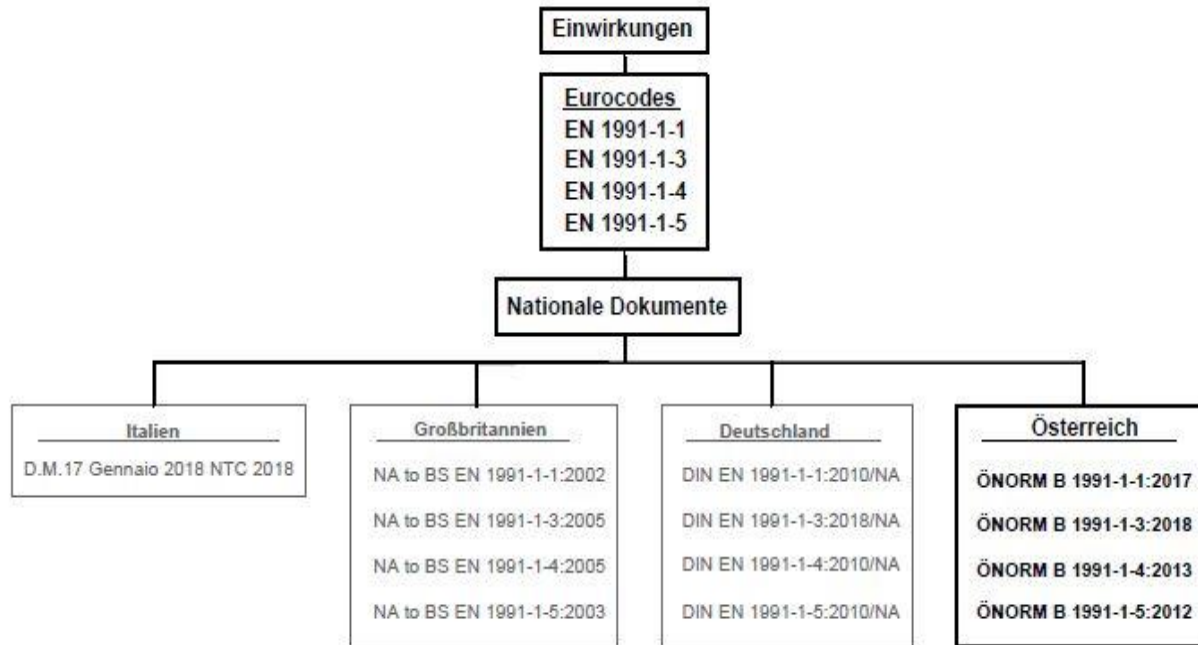


Abb. 20: Anzuwendende nationale Dokumente zu Ermittlung der Einwirkungen (eigene Abbildung)

5.1.1. Eigengewicht

Im Allgemeinen gelten für die Berechnung des Eigengewichtes von Glaskonstruktionen entweder die Nennwerte, die in der Norm vorgegeben sind oder jene Werte, die von den Herstellern der Glasprodukte angegeben werden. Die Nennwerte bzw. Wichten werden in kN/m^2 bzw. kN/m^3 angegeben.

In Tabelle 8 sind Nennwerte für einige Glassorten die der ÖNORM EN 1991-1-1:2017 entnommen wurden, aufgeführt:

Tab. 8: Nennwerte verschiedener Glassorten für Dachabdeckungen (Gemäß [21])

Glassorten	Nennwert
	kN/m^2
<i>Drahtglas</i>	0,35
<i>VSG (Dicke: 8 mm)</i>	0,40
<i>- Zuschlag je 1 mm Mehrdicke</i>	0,03

Das Eigengewicht von Glasscheiben wird mit einer Wichte von $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ bis 30 kN/m^3 angenommen.

Das Eigengewicht wird wie folgt berechnet:

$$g_k = 25 \cdot d \quad (1)$$

d – Dicke der Glasscheibe in [m]

g_k – Eigengewicht der Glasscheibe in [kN/m²]

5.1.2. Nutzlasten

Da es sich bei betretbaren Verglasungen um Flächen handelt, die nur für Reinigungszwecke kurz betreten werden, wird in den meisten Fällen angenommen, dass es sich um Dächer und Vordächer handelt. In der Literatur, wie auch in den Normen, sind Dächer in der Nutzungskategorie H vorzufinden.

Bei der Berechnung von betretbaren Verglasungen wird nach ÖNORM B 3716-1:2016 mit einer Einzellast von $Q_k = 1,5$ kN berechnet. Diese ist lotrecht auf die Kanten des Daches an der ungünstigsten Stelle anzusetzen. Die angesetzte Einzellast wirkt auf eine Fläche von 100*100 mm.

Nach [22] müssen für die Berechnung von Dächern der Kategorie H die Nutzlasten nicht in Kombination mit Schneelasten und/oder Windwirkung berechnet werden. Wird doch mit einer Überlagerung von Lasten gerechnet, ist ein Kombinationsbeiwert von $\psi_0 = 1,1$ anzusetzen.

5.1.3. Schneelasten

Die Bemessung der Schneelasten wird mittels der Angaben der ÖNORM EN 1991-1-3:2013 und ÖNORM B 1991-1-3:2018 durchgeführt. Mit den Anforderungen in [23] wird die Schneelast in Bezug auf die Schneelastzone berechnet. Die charakteristische Schneelast auf dem Dach wird mit folgender Formel, die aus [23] entnommen wurde, berechnet:

$$S_k = \mu_i * C_e * C_t * S_k \quad (2)$$

Wobei:

S_k – charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Boden in [kN/m²]

μ_i – Beiwert für die Lastverteilung

C_e – Umgebungskoeffizient

C_t – Temperaturbeiwert

Da in Österreich die Werte für C_t und C_e mit 1,0 angenommen werden, vereinfacht sich die Formel wie folgt:

$$S_{k,Dach} = \mu_i * S_k \quad (3)$$

Tab. 9: Formbeiwerte für Schneelasten (Gemäß [24])

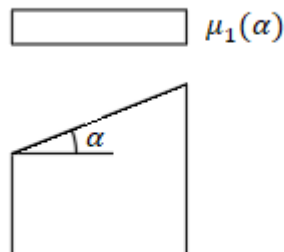
Formbeiwerte für Schneelasten	Neigungswinkel der Dachfläche			
	$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8		$0,8 \cdot (60^\circ - \alpha) / 30^\circ$	0,0
μ_2	0,8	$0,8 + 0,2 \cdot (\alpha - 15^\circ) / 15^\circ$	$1,0 \cdot (60^\circ - \alpha) / 30^\circ$	0,0
μ_3	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30^\circ$		1,6	

Die Formbeiwerte aus Tabelle 9 gelten für Pultdächer, Satteldächer, Kehldächer und Sheddächer. Für Höhengsprünge und Tonnendächer sind andere Werte heranzuziehen.

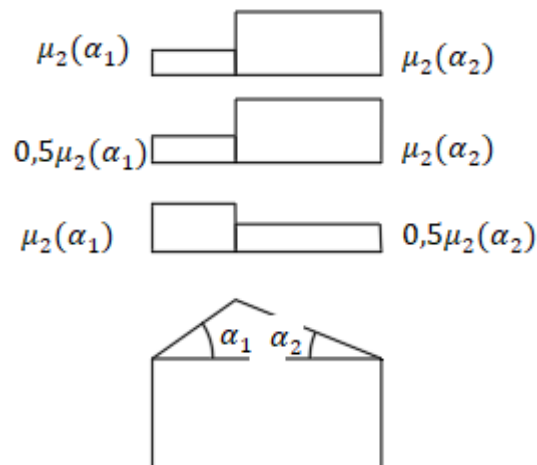
Die Beiwerte sind grafisch in Abbildung 21 dargestellt. Bei Tonnendächern gilt:

- wenn die Neigung größer ist als 60° , wird $\mu_i = 0$ angesetzt,
- ist die Neigung geringer/oder gleich 60° wird für $\mu_i = 0,2 + b/h$ angesetzt.

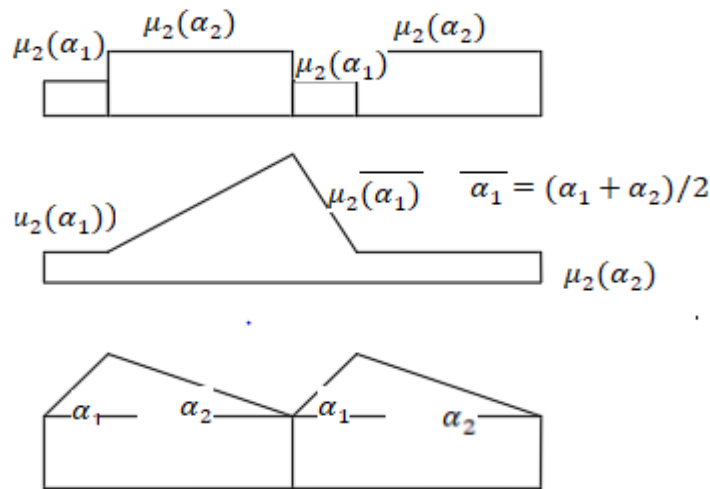
In Abhängigkeit der Region, ergeben sich für die charakteristischen Werte der Schneelasten, unterschiedliche Lastansätze. Die Schneelast in Wien (Zonengruppe 2) beträgt zwischen $1,09\text{--}2,2 \text{ kN/m}^2$.



a) Pultdächer



b) Satteldächer



c) Sheddächer

Abb. 21: Schneelasten auf a) Pultdächern, b) Satteldächern und c) Sheddächern
(eigene Abbildung nach [24])

Schnee gilt als eine veränderliche Last, die mit Hilfe von drei Beiwerten beschrieben wird:

ψ_o – Kombinationsbeiwert

ψ_1 – Häufiger Wert

ψ_2 – Quasi-ständiger Wert

Diese Werte werden in EN 1991-1-3:2016 beschrieben und sind aus Tabelle 10 zu entnehmen. Da es sich in Wien und auch in der weiteren Umgebung um Hochbauten handelt, die unter 1000 m Höhe liegen, sind die Werte wie folgt zu wählen:

Tab.10: Beiwerte für Schneelasten

Meeresspiegel	ψ_o	ψ_1	ψ_2
Bauwerke in einer Höhe $H \leq 1000$ m über dem Meeresspiegel	0,5	0,2	0,0

In Österreich wird nach ÖNORM B 1991-1-3:2018 der Schneeübergang wie folgt berechnet:

$$S_e = l * S_{k,Dach} \quad (4)$$

S_e – Schneeüberhänge je Traufenlänge in [kN]

$S_{k,Dach}$ – Schneelast auf dem angrenzenden Dach

l – Länge des Schneeüberhangs ($l=0,5$ anzusetzen)

5.1.4. Windlast

Die Berechnung der Windlasten wird mit Hilfe der Angaben aus EN 1991-1-4:2011 und ÖNORM B 1991-1-4:2013 durchgeführt.

Bei Windeinwirkungen ist zwischen Außendruck und Innendruck zu unterscheiden. Als Außendruck W_e wird jener Winddruck bezeichnet, der auf die Außenfläche eines Bauwerkes wirkt. Als Innendruck W_i wird jener Winddruck bezeichnet, der auf die Innenfläche des Bauwerkes wirkt. Der Außendruckbeiwert wird nach Gleichung (5) und der Innendruck nach Gleichung (6) berechnet.

$$W_e = q_{b,o} * c_e(z) * c_{pe} \quad (5)$$

$$W_i = q_{b,o} * c_e(z) * c_{pi} \quad (6)$$

$q_{b,o}$ – Spitzengeschwindigkeitsdruck

c_{pe} – Außendruckbeiwert

c_{pi} – Innendruckbeiwert

$c_e(z)$ – Geländefaktor

– Winddruck auf Dächern:

Unter Dächern mit einer Neigung kleiner als 5° versteht man Flachdächer (siehe Abbildung 22). Nach [25] dürfen die Randzonen vernachlässigt werden, falls die Flächen nicht größer als 20% der Gesamtfläche sind.

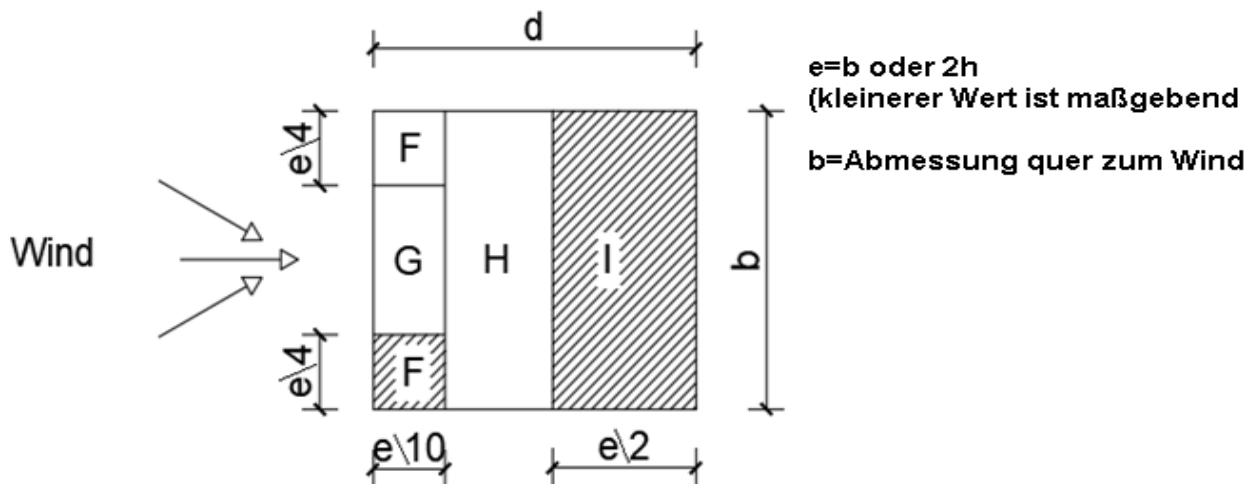


Abb. 22: Winddruck auf einem Dach mit 5° Neigung (eigene Abbildung nach [25])

Es wurde eine Vereinfachung der Berechnung der Außendruckbeiwerte vorgesehen. Diese werden entweder für den Bereich H oder I berechnet. Die Druckbeiwerte hängen von dem Traufbereich ab.

Der aerodynamische Druckbeiwert c_{pe} hängt von der Größe der Lasteinflussfläche ab. Er wird für Lasteinflussflächen von 1 m^2 als $c_{pe,1}$ und für Lasteinflussflächen von 10 m^2 als $c_{pe,10}$ angegeben. Die Außendruckbeiwerte für Flachdächer sind in Tabelle 11 aufgeführt.

Tab.11: Außendruckbeiwert für Flachdächer (nach [26])

$c_{pe,10}$		$c_{pe,1}$		
<i>H und I</i>	<i>G und F</i>	<i>H und I</i>	<i>G</i>	<i>F</i>
-0,7	-1,8	-1,2	-2,0	-2,5
0,2	-	0,2	-	-

Wird das Glasdach als Pultdach, Satteldach oder Trogdach ausgeführt, können die Werte in Bezug auf den Neigungswinkel der Dachkonstruktion aus Tabelle 12¹¹ entnommen werden.

Tab.12: Außendruckbeiwert für Pultdächer, Sattel- und Trogdächer (nach [26])

<i>Pultdach</i>					
<i>Neigungswinkel</i> α	$c_{pe,10}$			$c_{pe,1}$	
	<i>H und I</i>	<i>G und F</i>	<i>H und I</i>	<i>G</i>	<i>F</i>
5°	-0,8	-2,3	-1,2	-2	-2,6
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15°	-0,9	-2,5	-1,2	-2,5	-2,9
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
30°	-1,0	-2,1	-1,3	-2,0	-2,9
	0,4	0,7	0,4	0,7	0,7

¹¹ Für die genannten Dachformen sind nicht alle Werte in der Tabelle 13 vorzufinden. Für detailliertere Vorgaben sollte man ÖNORM B 1991-1-4:2013 beachten.

Sattel-Trogdach

Neigungswinkel α	$C_{pe,10}$			$C_{pe,1}$		
	<i>H und I</i>	<i>G und F</i>	<i>H und I</i>	<i>G</i>	<i>J</i>	<i>F</i>
-30°	-1,0	-1,5	-1,3	-2,0	-1,4	-2,1
-15°	-0,9	-2,5	-1,2	-2,0	-1,2	-2,8
-5°	-0,8	-2,3	-1,2	-2,0	-0,6	-2,5
	0,2	0,2	0,2	-	0,2	-
5°	-0,7	-1,7	-1,2	-2,0	-0,6	-2,5
	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0
15°	-0,6	-1,3	-1,2	-2,0	-1,5	-2,0
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,2
30°	-0,8	-1,4	-1,2	-2,0	-0,5	-1,5
	0,4	0,7	0,4	0,7	0,0	0,7

– Winddruck auf Dachflächen von Vordächern

Falls eine betretbare Glaskonstruktion als ein Vordach vorgesehen wird, sind nach ÖNORM B 1991-1-4:2013 mehrere Punkte zu befolgen. Aus der Norm wird für die Berechnung der aerodynamische Kraftbeiwert benötigt. Dieser wird auf Grund des Höhenverhältnisses gewählt. Außerdem werden zwei maßgebende Lastfälle untersucht.

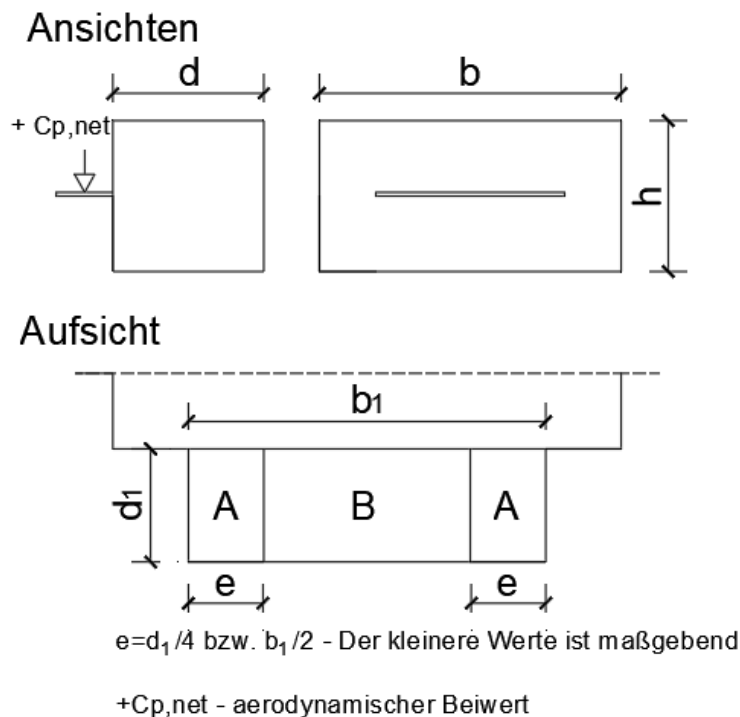


Abb. 23: Winddruck auf Vordächer (eigene Abbildung nach [26])

Es wird mit einer positiven (abwärts) gerichteten Windlast und einer negativen (aufwärts) gerichteten Windlast berechnet. Das Vordach wird in zwei Bereiche (A und B) eingeteilt (siehe Abbildung 23). Für die Dachbereiche sind in ÖNORM B 1991-1-4:2013 die resultierenden aerodynamischen Beiwerte für den Druck in Abhängigkeit von der Geometrie angegeben.

5.1.5. Klimatische Einwirkungen

Der Zwischenraum zwischen Glasscheiben bei Mehrscheiben-Isolierglas wird Scheibenzwischenraum genannt. Dieser Zwischenraum beträgt meist zwischen 8-16 mm und dient zur Trennung der Scheiben. Er ist mit Luft oder Edelgasen gefüllt. Diese Konstruktion wird nur von dem Randverbund gehalten.

Das Füllgas innerhalb des SZR verändert sein Volumen unter verschiedenen Temperaturen. Mit dieser Volumenänderung kommt es zur Erscheinung von Innenkräften im Verbundsystem. Dieses Phänomen, das unter Klimalasten entsteht, bildet einen neuen Lastfall der bei der Berechnung berücksichtigt werden muss. Die folgende Tabelle ist aus ÖNORM B 3716-1:2016 entnommen ¹²:

Tab.13: Rechenwerte für klimatische Einwirkungen und den resultierenden isochoren Druck p_0

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

ΔT – Temperaturdifferenz zwischen Herstellung und Gebrauch

ΔH – Höhendifferenz zwischen Herstellung und Gebrauch

Δp_{met} – Differenz des Luftdrucks zwischen Herstellung und Einbau

Δp_0 – resultierender isochorer Druck

Nach [2] ist der Zusammenhang zwischen Höhe der Klimalasten und Steifigkeit des Systems, wie folgt:

„Je steifer das System ist, desto geringer ist seine Nachgiebigkeit und desto größer ist die aus der Druckänderung entstehende Belastung.

Je weicher das System ist, desto größer ist seine Nachgiebigkeit und desto kleiner ist die aus der Druckänderung entstehende Belastung.“

¹² Anmerkung: Beide Einwirkungskombinationen sind zu berücksichtigen.

5.2. Kopplungseffekt bei Mehrscheiben-Isolierglas

Wie schon erwähnt, ist bei Isolierglas der SZR mit Edelgas oder Luft verfüllt. Durch dieses eingeschlossene Luft- oder Gasvolumen im SZR kommt es zum Entstehen von einem Koppeleffekt. Durch eine äußere Beanspruchung auf eine Scheibe verformt sich diese abhängig von ihrer Nachgiebigkeit bzw. Steifigkeit. Dieses führt zu Änderungen des abgeschlossenen Scheibenzwischenraumvolumens und damit auch des Drucks im Scheibenzwischenraum, wodurch auch eine Verformung der anderen Glasscheibe bewirkt wird.[1](siehe Abbildung 24 b)

Der Kopplungseffekt muss nach ÖNORM B 3716-1:2016 in der statischen Berechnung berücksichtigt werden. Des Weiteren wird bei der Verwendung von VSG eine vereinfachende Lastaufstellung ermöglicht. Es wird angenommen, dass die Lastaufteilung auf die Einzelscheiben für einen „vollen Schubverbund“ bzw. „keinen Schubverbund“ durchzuführen ist.

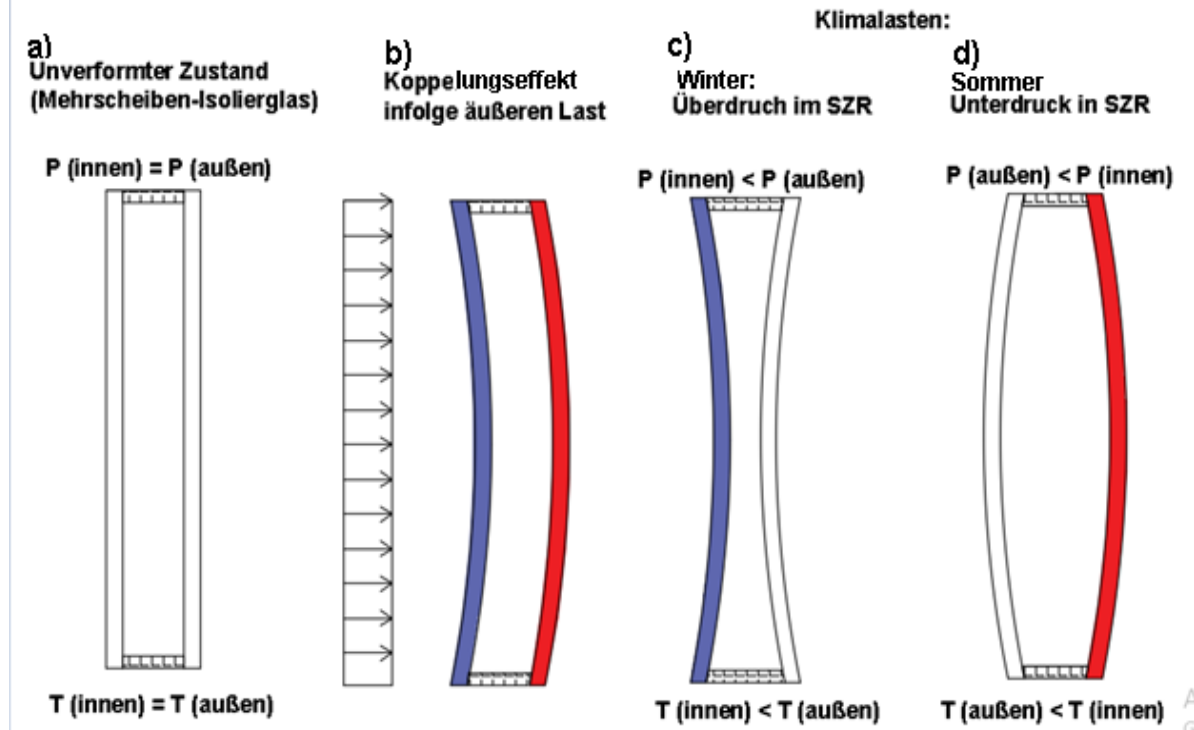


Abb. 24: Mehrscheiben-Isolierglas a) unverformter Zustand, b) Koppelungseffekt, c) Überdruck im SZR und d) Unterdruck im SZR (eigene Abbildung)

Eine zusätzliche Beanspruchung entsteht infolge klimatischer Verhältnisse (Temperaturänderungen, Änderungen des Luftdruckes). Aufgrund des hermetisch abgeschlossenen SZR, führt eine Temperaturänderung oder Luftdruckänderung, zu einer Druckdifferenz zwischen SZR und der außen liegender Atmosphäre (isochore Druckverhältnisse). Durch einen Temperaturstieg im Sommer (hohe Temperaturen und hoher Druck) erhöht sich der Druck im SZR. (siehe Abbildung 24 c). Durch

Temperaturabsenkungen im Winter verringert sich der SZR (siehe Abbildung 24 d). Dementsprechend verformt sich das Isolierglas unterschiedlich. Bei Druckerhöhungen dehnt sich der Randverbund und die Glasscheiben wölben sich nach außen, bei Drucksenkungen staucht sich der Randverbund und die Glasscheiben wölben sich nach innen. [43]

5.2.1. Bemessung von Mehrscheiben-Isolierglas

5.2.1.1. Bemessung von doppelt verglastem Mehrscheiben-Isolierglas

Nach ÖNORM B 3716-1:2016 ist es rechnerisch möglich, Nachweise für den Lastabtragungsanteil der äußeren und inneren Scheibe von doppelt verglastem Mehrscheiben-Isolierglas durchzuführen. Die Berechnung bezieht sich auf allseitig rechteckig gelagerte Glasscheiben, bei denen kleine Deformationen entstehen. Sie werden nach [15] wie folgt angegeben:

$$\delta_a = \frac{d_a^3}{d_a^3 + d_i^3} \quad (7)$$

$$\delta_i = \frac{d_i^3}{d_a^3 + d_i^3} = 1 - \delta_a \quad (8)$$

Wobei:

δ_a – Steifigkeitsfaktor der Außenscheibe (%)

δ_i – Steifigkeitsfaktor der Innenscheibe (%)

d_a – Die Dicke der äußeren Glasscheibe (mm)

d_i – Die Dicke der inneren Glasscheibe (mm)

Eine weitere Hilfsgröße zur Berechnung der Klimabelastung ist der Isolierglasfaktor φ , der nach [15], wie folgt zu berechnen ist:

$$\varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{a}{a^*}\right)^4} \quad (9)$$

$$a^* = 28,9 * \sqrt[4]{\frac{d_{SZR} * d_a^3 * d_i^3}{(d_a^3 + d_i^3) * B_v}} \quad (10)$$

Wobei:

a^* – charakteristische Kantenlänge

B_v – Beiwert

Die charakteristische Kantenlänge a^* und der Beiwert B_v aus Gleichung (10) sind dem Anhang der ÖNORM B 3716-1:2016 zu entnehmen. Sie werden in Abhängigkeit von dem Seitenverhältnis a/b angegeben.

In ÖNORM B 3716:2016 wird auch die Berechnung des isochoren Drucks p_o angegeben:

$$p_o = c_1 \cdot \Delta T - \Delta p_{met} + c_2 \cdot \Delta H \quad (11)$$

Mit:

$$c_1 = 0,34 \text{ kPa/K}$$

$$c_2 = 0,012 \text{ kPa/m}$$

Nach DIN 18008-2:2011 wird der isochore Druck p_o nach Gleichung (12) berechnet:

$$p_o = \Delta p_{geo} - \Delta p_{met} + 0,34 \text{ kN} / (\text{K} \cdot \text{m}^2) \cdot \Delta T \quad (12)$$

p_o – isochore Druck (kN/m^2)

Δp_{geo} – Änderung des atmosphärischen Drucks in Folge der Ortshöhenänderung (kN/m^2)

Δp_{met} – Änderung des atmosphärischen Drucks (kN/m^2)

ΔT – Temperaturdifferenz (K)

ΔH – Ortshöhendifferenz (m)

Für die Berechnung des isochoren Drucks wird im italienischen technischen Regelwerk, CNR-DT 210:2014 auch die Gleichung (11) verwendet. In BS 5516-2:2004 sind keine exakten Daten bzw. Gleichungen für die Berechnung vorhanden.

Nach ÖNORM B 3716-1:2016 ist bei VSG und VG mit Einzelscheiben, die Glasdicke als Ersatzdicke d^* nach Gleichung (13) für vollen Verbund und Gleichung (14) ohne Verbund, zu berechnen:

$$d^* = d_1 + d_2 + \dots \quad (13)$$

$$d^* = \sqrt[3]{d_1^3 + d_2^3 + \dots} \quad (14)$$

Die Verteilung der Lasten auf die einzelnen Scheiben des Mehrscheiben-Isolierglases werden in ÖNORM B 3716-1:2016, DIN 18008-1:2010, CNR-DT 210:2014 und der prEN 16612:2017 nach Tabelle 14 und 15 durchgeführt. Dabei gilt Tabelle 14 für die Verteilung der externen Lasten und Tabelle 15 für die Verteilung der internen Lasten. Zu den externen Lasten zählen

z.B. Wind und Schnee. Die internen Lasten entstehen durch den isochoren Druck. In den britischen Normen gibt es keine expliziten Angaben zu den Klimalasten.

Tab.14: Lastverteilung bei externen Lasten

Last	Glasscheibe unter Last	Last, getragen von der äußeren Glasscheibe	Last, getragen von der inneren Glasscheibe
F_d	Glasscheibe außen	$F_{d,i} = (\delta_i + \varphi * \delta_a) * F_d$	$F_{d,a} = (1 - \varphi) * \delta_a * F_d$
	Glasscheibe innen	$F_{d,i} = (1 - \varphi) * \delta_i * F_d$	$F_{d,a} = (\varphi * \delta_i + \delta_a) * F_d$

Tab.15: Lastverteilung bei internen Lasten

Einwirkung	Last, getragen von der äußeren Glasscheibe	Last, getragen von der inneren Glasscheibe
Isochorer Druck p_0	$-\varphi * p_0$	$\varphi * p_0$

5.2.1.2. Bemessung von dreifach verglastem Mehrscheiben-Isolierglas

Wird eine betretbare Verglasung aus einem dreifach verglastem Mehrscheiben-Isolierglas ausgeführt, ist nach prEN 11612:2017 folgendes Berechnungsverfahren zu berücksichtigen (Für das leichtere Verständnis der Gleichungen dient Abbildung 25):

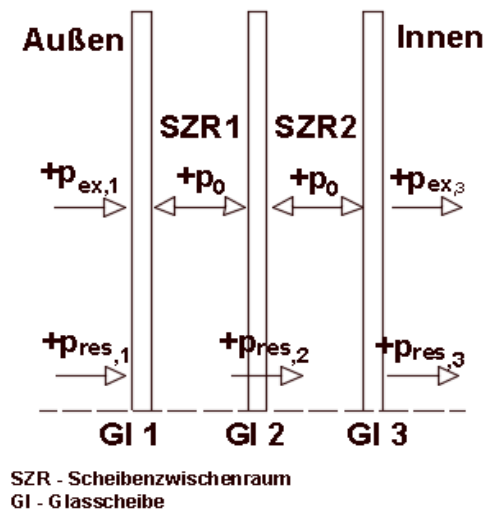


Abb. 25: Aufbau von dreifach verglastem Mehrscheiben-Isolierglas
(eigene Abbildung nach [39])

- Beiwert für Scheibenzwischenraum 1:

$$\phi_1 = \frac{1}{1 + \alpha_1 + \alpha_1^+} \quad (15)$$

- Beiwert für Scheibenzwischenraum 2:

$$\phi_2 = \frac{1}{1 + \alpha_2 + \alpha_2^+} \quad (16)$$

– Relative Volumenänderung des Scheibenzwischenraums k:

$$\alpha_k = \frac{v_{p:k} * p_{a:m}}{v_{pr:k}} > 0 \text{ und } \alpha_k^+ = \frac{v_{p:k+1} * p_{a:m}}{v_{pr:k}} > 0 \quad (17)$$

Dabei ist :

$v_{p:k}$ – Volumenänderung der Glasscheibe k, verursacht durch den Flächendruck (siehe Gleichung (20))

$p_{a:m}$ – Durchschnittlicher meteorologischer Luftdruck=100 kN/m²

Nach prEN 11612:2017 ist die Veränderung der inneren Druckwerte $\Delta p_{i,j}$ durch externe Lasten und klimatische Lasten nach Tabelle 16 anzusetzen. Die Berechnung der charakteristischen Werte variabler und dauerhafter Einwirkungen für alle Glasscheiben ist Tabelle 17 zu entnehmen.

Tab.16: Veränderung der inneren Druckwerte $\Delta p_{i,j}$ (nach[39])

	Isochorer Druck P_{0;1}	Isochorer Druck P_{0;2}	Externe Last P_{ex;1}	Eigengewicht Gl.2 G₂	Externe Last P_{ex;3}
Δp_{i,j}	Δp _{i;1}	Δp _{i;2}	Δp _{i;3}	Δp _{i;4}	Δp _{i;5}
SZR 1 (Δp_{1,j})	$\frac{\phi_1}{\beta} p_{0;1}$	$\frac{\phi_2 \alpha_1^+ \phi_1}{\beta} p_{0;2}$	$\frac{\alpha_1 \phi_1}{\beta} p_{ex;1}$	$(\phi_2 \alpha_2 - 1) \frac{\phi_1 \alpha_1^+}{\beta} G_2$	$-\frac{\phi_1 \alpha_1^+ \phi_2 \alpha_2^+}{\beta} p_{ex;3}$
SZR2 (Δp_{2,j})	$\frac{\phi_2 \alpha_2 \phi_1}{\beta} p_{0;1}$	$\frac{\phi_2}{\beta} p_{0;2}$	$\frac{\alpha_1 \phi_1 \alpha_2 \phi_2}{\beta} p_{ex;1}$	$(1 - \phi_1 \alpha_1^+) \frac{\phi_2 \alpha_2}{\beta} G_2$	$-\frac{\phi_2 \alpha_2^+}{\beta} p_{ex;3}$

Dabei ist: $\beta = 1 - \phi_1 \alpha_1^+ \phi_2 \alpha_2$

Tab.17: Charakteristische Werte von Einwirkungen (dauerhaft und variabel) für alle Glasscheiben (nach [39])

	Klimalast	Externe Last, Glasscheibe 1 P_{ex;1}	Eigengewicht, Glasscheibe 2 G₂	Glasscheibe 3 P_{ex;3}
p_{res,1}	$-\Delta p_{1;1} - \Delta p_{1;2}$	$P_{ex;1} - \Delta p_{1;3}$	$-\Delta p_{1;4}$	$-\Delta p_{1;5}$
p_{res,2}	$\Delta p_{1;1} + \Delta p_{1;2} - \Delta p_{2;1} - \Delta p_{2;2}$	$\Delta p_{1;3} - \Delta p_{2;3}$	$G_2 + \Delta p_{1;4} - \Delta p_{2;4}$	$\Delta p_{1;5} - \Delta p_{2;5}$
p_{res,3}	$\Delta p_{2;1} + \Delta p_{2;2}$	$\Delta p_{2;3}$	$\Delta p_{2;4}$	$\Delta p_{2;5} + P_{ex;3}$

5.3. Berechnung von Spannung, Durchbiegung und Volumenänderung

Nach prEN 11612:2017 sind Gleichungen für die Berechnung von Spannungen, Durchbiegung und Volumenänderung angegeben. Folgende Gleichungen sind gegeben:

- Maximale Hauptzugspannung:

$$\sigma_{max} = k_1 * \frac{a^2}{d^2} * F_d \quad (18)$$

- Durchbiegung:

$$w_{max} = k_4 * \frac{a^4}{d^3} * \frac{F_d}{E} \quad (19)$$

- Volumen:

$$V = k_5 * A * \frac{a^4}{d^3} * \frac{F_d}{E} \quad (20)$$

Dabei ist:

a – kürzere Seitenlänge der Glasscheibe

d – Dicke der Glasscheibe

F_d – einwirkende Last

E – Elastizitätsmodul

$k_{1^{13}}$ – Koeffizient

$k_{4^{14}}$ – Koeffizient

$k_{4^{15}}$ – Koeffizient

Die dimensionslosen Koeffizienten k_1 und k_4 hängen vom Seitenverhältnis $\lambda = a/b$ und der dimensionslosen Last p^* ab. Bei kleinen Durchbiegungen kann für p^* der Wert 0 eingesetzt werden. Die dimensionslose Last wird nach Gleichung 21 berechnet.

$$p^* = \left(\frac{A}{4 * d^2} \right)^2 * \frac{F_d}{E} \quad (21)$$

¹³ Der Koeffizient k_1 ist aus prEN 11612:2017 (Tabelle A.1- S.26) zu entnehmen.

¹⁴ Der Koeffizient k_4 ist aus prEN 11612:2017 (Tabelle A.2 -S.27) zu entnehmen.

¹⁵ Der Koeffizient k_5 ist aus prEN 11612:2017 (Tabelle A.3 -S.27) zu entnehmen.

5.4. Schubverbund

Schubverbund wird in der Glasstatik mit VSG in Verbindung gebracht. Im ungebrochenen Zustand eines Verbundglases bewirkt die Zwischenschicht eine Schubkopplung zwischen den Glasplatten, die zwischen den beiden Grenzfällen „voller Verbund“ und „kein Verbund“ liegen kann (siehe Abbildung 26).[43]

Je nach Temperaturbereich, der Belastungsdauer, wie auch dem Verformungszustand der Folienzwischenlage, besteht zwischen den Scheiben und der Folie entweder ein guter oder ein weniger guter Verbund.

Bei Verwendung von PVB-Folien als Zwischenschicht, ist bei Kurzzeitlasten (Wind oder Stöße) ein guter Verbund bzw. ein vollen Verbund zu erwarten. Bei Langzeitlasten wie es z.B. Schnee ist, ist bei kalten Temperaturen ein guter Verbund zu erwarten. Jedoch desto höher die Temperatur wird, wird der Schubverbund „schwächer“. Bei Raumtemperaturen ist ein Teilverbund, bei hohen Temperaturen ab etwa 50°C nahezu kein Verbund mehr.[3]

Die Schubsteifigkeit des ganzen „Systems“ hängt von der Steifigkeit der Zwischenschicht des VSG ab. Faktoren die Einfluss auf die Zwischenschicht haben sind: Temperatur, Belastung und Material welches für die Schicht gewählt wurde.

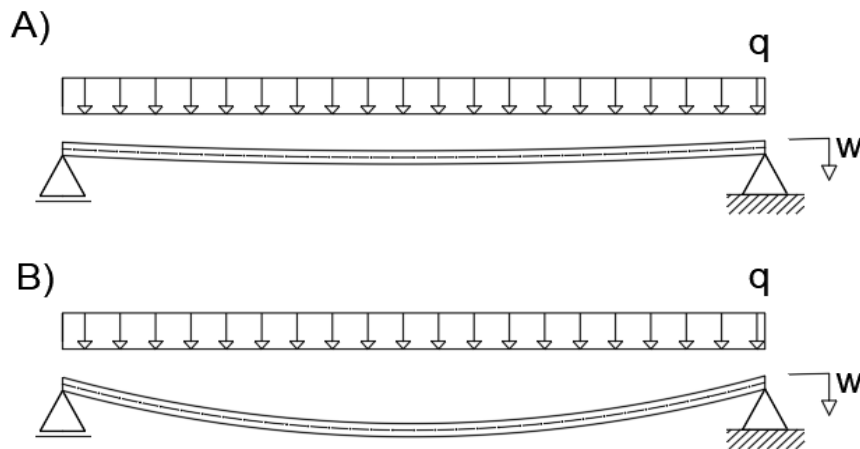


Abb. 26: Verformung eines Verbundes (A:voller Verbund; B:ohne Verbund) - (eigene Abbildung)

Nach ÖNORM B 3716-1:2016 ist folgendes zu beachten:

- Für den Lastfall Eigengewicht darf der Schubverbund nicht angesetzt werden
- Zwei Lastschritte sind bei der Kombination Schnee + Eigengewicht zu beachten:

1. Lastschritt 1: Eigengewicht ohne Verbund,

2. Lastschritt 2: Schneelast mit Verbund unter Berücksichtigung der Vorbelastung durch Eigengewicht

- Der Schubverbund darf mit $G = 0,4 \text{ N/mm}^2$ angesetzt werden, wenn PVB-Folien, eine Reißfestigkeit $\geq 20 \text{ N/mm}^2$ und Bruchdehnung $> 250 \%$ bei einer Temperatur von 23°C vorweisen.
- Bei Stoßbelastungen kann ein voller Schubverbund vorausgesetzt werden.

5.5. Einwirkungskombinationen

Die „Grundkombination“ zur Berechnung von Glaskonstruktionen, kann wie folgt aus der ÖNORM EN 1990:2013 entnommen werden:

$$S_d = \sum(\gamma_{G,j} * G_{k,j}) + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad \text{mit } j \geq 1 \text{ und } i > 1 \quad (22)$$

Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Ausfallszenario) ist wie folgt anzusetzen [20]:

$$S_d = \sum(\gamma_{G,j} * G_{k,j}) + \psi_{1,i} * Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad \text{mit } j \geq 1 \text{ und } i > 1 \quad (23)$$

Die Einwirkungskombination für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist wie folgt anzusetzen[20]:

$$E_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad \text{mit } j \geq 1 \text{ und } i > 1 \quad (24)$$

Da die Berechnungen mit Hilfe des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes durchgeführt werden, bedeutet das, dass die Einwirkungs- wie auch die Widerstandseite mit Teilsicherheitsbeiwerten versehen werden.

Die Teilsicherheitsbeiwerte aus den Gleichungen sind wie folgt anzusetzen:

- für ständige Lasten $\gamma_{G,j}=1,35$
- für veränderliche Lasten $\gamma_{Q,j}=1,5$

Dabei steht $G_{k,j}$ für ständige und $Q_{k,i}$ für veränderlichen Lasten. In Gleichungen (22),(23) und (24) sind $\psi_{0,i}$, $\psi_{1,i}$ und $\psi_{2,i}$ Kombinationsbeiwerte.

5.6. Tragfähigkeit

5.6.1. Grenzzustand der Tragfähigkeit

Für betretbare Verglasungen ist es notwendig, im Zuge des Nachweises für den Grenzzustand der Tragfähigkeit, einen ausreichenden Widerstand gegen Spannungsversagen nachzuweisen.

Für die Berechnung der Tragfähigkeit ist die maximale Hauptzugspannung an der Glasoberfläche zu berücksichtigen. Auf dem Spannungsniveau betrachtet, wird der Nachweis durch den Vergleich der vorhandenen und der zulässigen Spannungen durchgeführt.

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d muss größer sein als der Bemessungswert der Beanspruchung S_d . Die vorhandene Spannung wird mittels der charakteristischen Werte der Lasten, der Geometrie und des Materials, mit Hilfe von Sicherheitsfaktoren zusammengefasst. In Österreich gilt nach [15], wie folgt:

$$R_d > S_d \quad (25)$$

$$S_d = \sigma_{max,d} = \sigma_{max}(\gamma_G * G_k \pm \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} \pm \sum_{i>1}(\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i})) < \frac{\sigma_R}{\gamma_M} = R_d \quad (26)$$

In diesem Sinne, wird der Bemessungswert der Beanspruchung nach Gleichung (27) berechnet:

$$S_d = \gamma_f * S_k \quad (27)$$

γ_f – Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen

S_k – Beanspruchung charakteristisch

Der Bemessungswert des Widerstandes wird, nach [15], wie folgt berechnet:

$$R_d = \frac{f_k * k_{mod} * k_b}{\gamma_m} \quad (28)$$

f_k – charakteristische Festigkeit des Glases

k_{mod} – Abminderungsfaktor für die Einwirkungsdauer

k_b – Abminderungsfaktor für die Beanspruchung

γ_m – Materialwiderstandsbeiwert

Aus ÖNORM B 3716-1:2016 sind alle notwendigen Angaben für die Festigkeit zu entnehmen. Einige Werte für die charakteristische Festigkeit sind in Tabelle 18 aufgeführt.

Tab. 18: Charakteristische Festigkeiten verschiedener Glasarten (Gemäß [15])

Glasart	charakteristische Festigkeit f_k in $[N/mm^2]$
TVG	70
ESG	120
Drahtglas	25
Gussglas	25
TVG Gussglas	55
ESG Gussglas	90
Floatglas	45

Der Abminderungsfaktor für die wesentlichen Glasarten ist in Tabelle 19 aufgeführt. Für betretbare Glaskonstruktionen gelten die Werte, die einer kurzen Einwirkungsdauer entsprechen.

Tab. 19: Abminderungsfaktor k_{mod} (Gemäß [15])

Glasart	Einwirkungsdauer
	Kurz
Floatglas	1,0
ESG	1,0
TVG	1,0

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_m ist aus Tabelle 20 und der Abminderungsfaktor k_b aus Tabelle 21 zu entnehmen:

Tab. 20: Teilsicherheitsbeiwert γ_m (Gemäß [15])

Glasart	γ_m
Floatglas	1,5
VSG aus Floatglas	1,5
TVG	1,5
ESG	1,5
Drahtglas	2,0
Gussglas	2,0

Tab. 21: Abminderungsfaktor k_b (Gemäß [15])

Abminderungsfaktor	k_b
Plattenbeanspruchung	1,0
Scheibenbeanspruchung	0,8

Nach ÖNORM B 3716-1:2016, wird bei einer Bemessungssituation mit mehreren gleichzeitig wirkenden Belastungen unterschiedlicher Dauer, Gleichung (29) verwendet:

$$\sum_i \frac{S_{d,i}}{k_{mod}} * \left(\frac{\gamma_m}{f_k * k_b} \right)_i \leq 1 \quad (29)$$

$S_{d,i}$ – Bemessungswert der einzelnen Einwirkungen

5.6.2. Vergleich der Berechnungen

Nicht nur die Anforderungen für die Sicherheit, sondern auch die Berechnungen unterscheiden sich in den europäischen Ländern. In diesem Kapitel werden die verschiedenen rechnerischen Herangehensweisen, für die Berechnung des Tragwiderstandes von Glaskonstruktionen, verglichen.

5.6.2.1. DIN 18008

Der Unterschied zwischen der ÖNORM B 3716-1:2016 und DIN 18008-1:2010 ist, dass für die Ermittlung des Tragwiderstandes von Glas, nach DIN 18008-2010 zwei Gleichungen verwendet werden. Einerseits eine für den Bemessungswert des Tragwiderstandes gegen Spannungsversagen für planmäßig thermisch vorgespanntes Glas und andererseits für Gläser ohne planmäßige thermische Vorspannung.

Nach DIN 18008-1:2010 ist für Gläser ohne planmäßige Vorspannung der Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d äquivalent dem aus Gleichung (26). Jedoch unterscheiden sich die Werte für k_{mod} und γ_m .

Der Wert für k_{mod} ist für kurze Einwirkungsdauer mit 0,7 anzusetzen. Der Materialbeiwert γ_m ist für Gläser ohne thermische Vorspannung 1,8 und für Gläser mit Glasdicken von 2 mm 1,9.

Für Gläser mit thermischer Vorspannung lautet die Formel [28]:

$$R_d = \frac{k_c * f_k}{\gamma_m} \quad (30)$$

Wobei:

- k_c – Beiwert für die Berücksichtigung der Art der Konstruktion ist (wenn nichts anderes angegeben ist, ist $k_c = 1,0$ anzunehmen)
- γ_m – Materialsicherheitsbeiwert (für thermisch vorgespannte Gläser $\gamma_m = 1,5$; für Glasdicken von 2 mm $\gamma_m = 1,6$)

5.6.2.2. CNR-DT 210

Obwohl das italienische Technische Regelwerk eine andere Formel für die Berechnung des Bemessungswertes für den Tragwiderstand hat, hat sie eine Sache gemeinsam mit der ÖNORM B 3716-1:2016. Die Gleichung bezieht sich auf vorgespannte, wie auch nicht planmäßig vorgespannte Gläser. Die Formel ist wie folgt definiert [40]:

$$R_d = \frac{k_{mod} * k_{ed} * k_{sf} * \lambda_{gA} * \lambda_{gl} * f_{g,k}}{R_M * \gamma_M} + \frac{k'_{ed} * k_v * (f_{b,k} - f_{g,k})}{R_{M:v} * \gamma_{M:v}} \quad (31)$$

Wobei:

k_{sf} – Koeffizient für das Oberflächenprofil

Der Koeffizient wird entweder theoretisch oder analytisch ermittelt. Im technischen Regelwerk sind die Werte in Tabellen vorzufinden. Der Koeffizient für z.B. Floatglas = 1.

k_{ed} – Koeffizient der Spannung

Koeffizient der Spannung der auch als k'_{ed} bezeichnet wird.

λ_{gA} – Skalierungsfaktor

Dieser Skalierungsfaktor bezieht sich auf die Fläche auf der die Belastung wirkt. Es wird von der Annahme ausgegangen, dass eine größere Wahrscheinlichkeit besteht Defekte an der Struktur an größeren Flächen vorzufinden, als bei kleineren. Dabei wird λ_{gA} wie folgt berechnet:

$$\lambda_{gA} = \left(\frac{0,24}{k * A} \right)^{1/7} \quad (32)$$

Dieser Skalierungsfaktor ist ein Wert zwischen $0,75 \leq \lambda_{gA} \leq 1$. In Gleichung (32) bezieht sich A auf die ganze Glasfläche/-platte und k bezieht sich auf die effektive Fläche die in Tabellenformen vorzufinden ist.

λ_{gl} – weiterer Skalierungsfaktor

Dieser Skalierungsfaktor bezieht sich auf die Spannungen in den Kantenbereichen der Glasplatte.

In [40] wird er wie folgt aufgeteilt:

$$\text{– polierte Glaskante: } \lambda_{gl} = \left(\frac{0,1667 * 0,45}{k_b * l_b} \right)^{1/5} \quad (33)$$

$$- \text{ geschliffene Glaskante: } \lambda_{gl} = \left(\frac{0,0741 \cdot 0,45m}{k_b \cdot l_b} \right)^{1/12.5} \quad (34)$$

l_b – Gesamtlänge der Glaskante

k_b – Koeffizient, der von der Verteilung der Spannung an der Kante abhängig ist

$f_{g,k}$ – charakteristische Zugfestigkeit

k_v – Reduktionsfaktor bezogen auf die Erhöhung der Zugfestigkeit

$f_{b,k}$ – charakteristischer Wert der Glasfestigkeit, wenn nichts anderes angegeben ist sollte man tabellarische Werte aus [40] verwenden.

5.6.2.3. prEN 16612

Laut dem europäischen Entwurf prEN 16612:2017 ist die Gleichung für die Berechnung des Bemessungswertes für den Tragwiderstand für Gläser ohne thermische Vorspannung wie folgt [38]:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot k_{sp} \cdot f_{g,k}}{\gamma_{M,A}} \quad (35)$$

Dabei ist:

$f_{g,k}$ – charakteristische Zugfestigkeit ($f_{g,k} = 45 \text{ N/mm}^2$)

$\gamma_{M,A}$ – Materialbeiwert (empfohlener Wert $\gamma_{M,A} = 1,6$)

R_d für Gläser mit thermischer Vorspannung:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot k_{sp} \cdot f_{g,k}}{\gamma_{M,A}} + \frac{k_v \cdot (f_{b,k} - f_{g,k})}{\gamma_{M,v}} \quad (36)$$

Dabei ist:

$\gamma_{M,v}$ – Teilsicherheitsbeiwert für die Oberflächenvorspannung

k_v – der Beiwert zum Härten von vorgespanntem Glas

5.7. Resttragfähigkeit

Unter dem Begriff Resttragfähigkeit versteht man den Widerstand der Glaskonstruktion gegen vollständiges Versagen, auch nach Bruch. Wird Glas für betretbare Verglasungen verwendet, kann es durch schlagartige Belastungen zu Versagen der Glaskonstruktion und damit zur Gefährdung von darunter befindlichen Personen kommen. Glaskonstruktionen müssen deshalb so ausgeführt werden, dass eine ausreichende Resttragfähigkeit gewährleistet wird.

Im Glasbau ist dieser Begriff meist mit dem Tragverhalten von VSG/VG-Scheiben zu verbinden. Um Glasscheiben mit der geforderten Resttragfähigkeit zu erhalten, ist es notwendig zwischen den Glasscheiben eine Folie einzubauen. Diese Beschreibung entspricht der eines VSG. Bei solchen Glaskonstruktionen können nach Bruch, noch Lasten, wie z.B. das Eigengewicht über einen gewissen Zeitraum getragen werden.

Damit die Anforderungen an die Resttragfähigkeit erfüllt werden können, ist es notwendig mehrere Faktoren zu beachten, wie zum Beispiel:

- die verschiedenen Lagerungsarten,
- die Einflüsse innerhalb Einwirkungshäufigkeiten
- die Streuung der Materialparameter usw....

Für die statischen Berechnungen ist es notwendig auch mögliche Schädigungsszenarien zu überprüfen. Das bedeutet das man Schädigungen von einzelnen, mehreren oder sogar allen Scheiben des Verbundes untersucht. Kommt es zum Bruch von einer Scheibe, hängt die Resttragfähigkeit von der Biegefestigkeit der verbleibenden ganzen Scheiben ab. Kommt es aber zu dem Bruch von allen Scheiben hängt die Resttragfähigkeit dann von der Art der Lagerung, der Folienzwischenlage wie auch von dem Bruchbild der Glasscheibe ab.

5.7.1. Anforderungen an die Resttragfähigkeit

In allen Normen und technischen Regelwerken, die in dieser Arbeit untersucht wurden, (Österreich, Deutschland, Italien und Großbritannien) sind für betretbare Verglasungen Sicherheitsgläser vorgeschrieben. Bei allen Normenwerken und technischen Regelwerken wird bei der Auswahl der Glasarten auf die erforderliche Resttragfähigkeit hingewiesen. Doch nur in den deutschsprachigen Normen (ÖNORM B 3716-Serie und DIN 18008-Serie) wird neben Anforderungen vorgeschrieben Bauteilversuche bzw. auch rechnerische Nachweise für die Resttragfähigkeit durchzuführen. In Tabelle 22 sind die Anforderungen an die Resttragfähigkeit der verschiedenen Länder aufgeführt.

Tab. 22: Anforderungen an die Resttragfähigkeit nach verschiedenen Normen

Land	Linienförmige Lagerung	Punktförmige Lagerung
ÖSTERREICH ÖNORM B 3716:2-2011 ÖNORM B 3716:5-2013 und DEUTSCHLAND DIN 18008-1:2010 DIN 18008-4:2013	- Bei Mehrscheiben-Isolierglas muss die unterste Schicht aus VSG sein. - Bei Versagen von VSG muss mindestens eine Scheibe die weiteren Lasten übernehmen. -Gesamtdicke der PVB-Folie =76 mm. -Verhältnis der lastabtragenden Scheiben bei VSG darf 1:1,5 nicht überschreiten. -Bei Isolierglas muss der Fall des möglichen Ausfalls der oberen Glasscheibe überprüft werden. (Teilsicherheitsbeiwert 1,1)	- Bei Mehrscheiben-Isolierglas muss die unterste Schicht aus VSG sein. - Bei Versagen von VSG muss mindestens eine Scheibe die weiteren Lasten übernehmen. -Bei Isolierglas muss der Fall des möglichen Ausfalls der oberen Glasscheibe überprüft werden. (Teilsicherheitsbeiwert 1,1)
GROßBRITANNIEN BS 5516: 2004	-Angaben für „Sloping Glazing“ beachten - nicht nach Lagerungsarten differenziert -Bei allseitig linienförmig gelagerten Verglasungen, darf $l/175$ (Mehrfachverglasung) und $l/125$ (Einfachverglasung) nicht überschritten werden(l=Spannweite) - Sicherheitsgläser erforderlich	
ITALIEN CNR-DT 210:2014	-Nicht explizit definiert	

5.7.2. Nachweis der Resttragfähigkeit durch Bauteilversuche

Der experimentelle Nachweis für die Resttragfähigkeit betretbarer Verglasungen ist in DIN 18008-6:2018 definiert. Für die Durchführung des Versuches wird ein Fallgewicht bzw. Stoßkörper benötigt. Das Fallgewicht sollte in Form eines 50 kg schweren Doppelreifens oder ein anderes Fallgewicht (mit $50 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$) sein. Dieses wird aus entsprechender Höhe auf die vorbereitete Glaskonstruktion fallen gelassen. Damit sollte in der oberen Glaslage ein Bruch eintreten (Abbildung 26 a).

Nachdem es zu Bruch in der oberen Glaslage gekommen ist, müssen innerhalb von fünf Minuten, Zusatzlasten auf den Prüfkörper angebracht werden. Die Masse der Zusatzlasten und des Stoßkörpers muss 100 kg betragen. Die Aufstandsfläche des Gewichtes soll $20 \times 20 \text{ cm}$ betragen. Die Prüfkörper müssen so positioniert werden, dass sie die größtmögliche Schädigung verursachen (Abbildung 26 b).

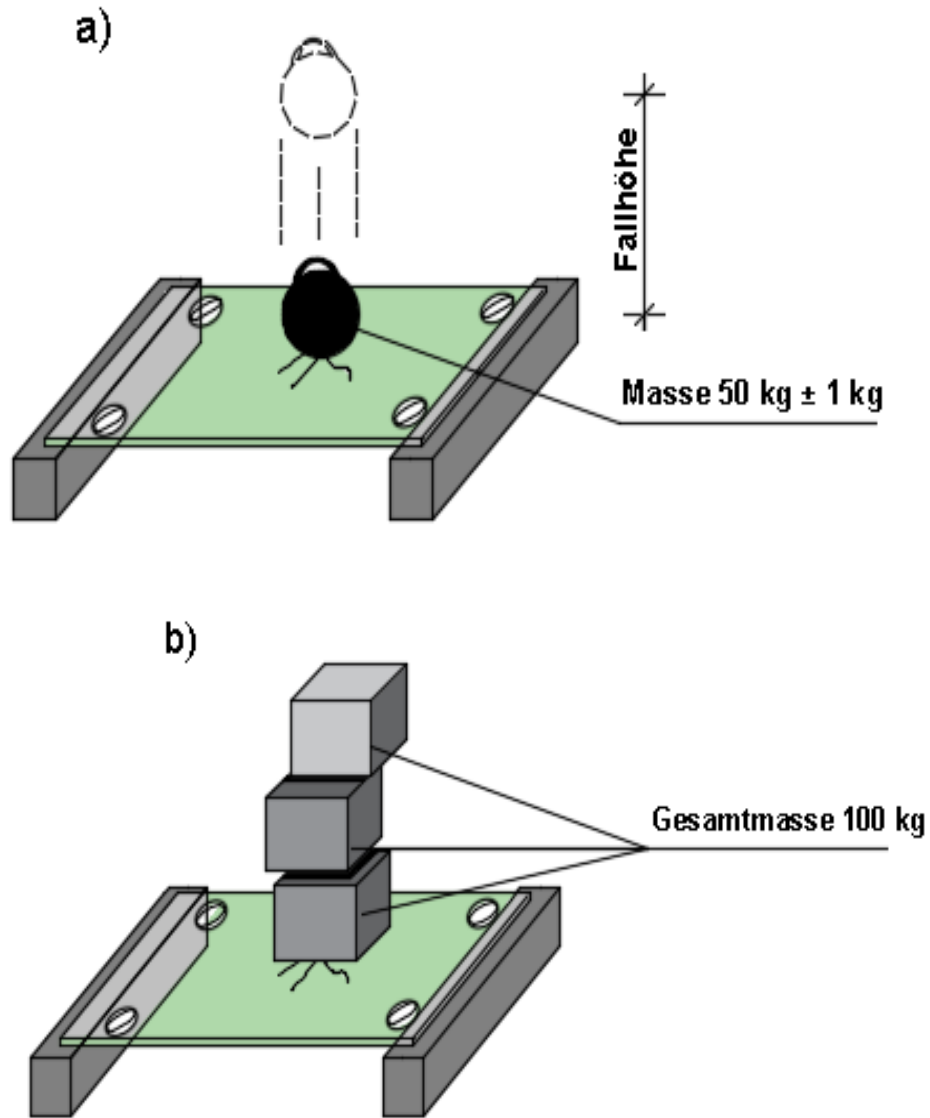


Abb. 26: Bauteilversuch: Ermittlung der Resttragfähigkeit (eigene Abbildung)

Der Nachweis über die Resttragfähigkeit ist erfüllt, wenn nach mindestens 30 Minuten die Glaskonstruktion nicht aus den Lagern herausfällt und keine Bruchstücke herunterfallen, die die Umgebung und die Verkehrsflächen in Gefahr bringen würden. Nach den durchgeführten Versuchen, sind diese in Form eines Prüfberichtes zu dokumentieren. Alle notwendigen Punkte des Prüfberichtes sind aus DIN 18008-6:2018 zu entnehmen.

5.7.3. Rechnerischer Nachweis der Resttragfähigkeit

Der Nachweis basiert auf den Vorschriften, die in DIN 18008-6:2018 angegeben sind. Im Folgenden wird das Grundprinzip erklärt.

Für zweiseitig linienförmig gelagerte Einfachverglasungen darf dieses rechenverfahren nicht angewendet werden.

5.7.3.1. Vereinfachtes Verfahren

Das vereinfachte Verfahren gilt, bei betretbaren Verglasungen, für:

- Vierseitig linienförmig gelagerte Konstruktionen (höchste zugelassene Abmessung ist $b \cdot h = 2,0 \cdot 4,0$ m)
- Bei Glasdicken von $t = 6$ mm bis zu max. $t = 38$ mm

Es sind folgende Konstruktive Bedingungen zu erfüllen:

- Der Glaseinstand darf bei allseitiger Lagerung der Verglasung 12 mm im unverformten Zustand nicht unterschreiten
- Der Mindestwert für den Scheibenzwischenraum beträgt 12 mm

Bei der Berechnung der Stoßwirkung bzw. der Resttragfähigkeit, müssen nicht alle Einwirkungen gleichzeitig berechnen werden. Für die Bemessungssituationen betretbarer Verglasungen geht man von zwei Lastfällen aus:

- Intakte Verglasung – alle Scheiben werden gleichzeitig angesetzt (Basisenergie $E_{basis} = 225$ Nm) und
- oberste Glasscheibe gebrochen (bei diesem Lastfall darf die oberste Glasscheibe nicht angesetzt werden – Basisenergie $E_{basis} = 100$ Nm).

5.7.3.2. Nachweis von Mehrscheiben-Isolierverglasungen

Wird eine betretbare Verglasung aus Mehrscheiben-Isolierglas ausgeführt, sind folgende Anforderungen, nach DIN 18008-6:2018, zu beachten:

- Die obere Glasscheibe darf nicht angesetzt werden. Die untere Einfachverglasung ist für 100 % der Basisenergie zu bemessen.
- Die im SZR angeordneten Glasscheiben müssen nicht nachgewiesen werden und dürfen nicht angesetzt werden

- Druckdifferenzen zwischen eingeschlossenem Glasvolumen und der Umgebungsluft sind nicht zu berücksichtigen

5.7.3.3. Nachweis von Verbundsicherheitsglas

Wird eine betretbare Verglasung aus VSG ausgeführt, darf unter Stoßbelastung ein voller Schubverbund bei dem rechnerischen Nachweis angesetzt werden.

5.7.4. Rutschfestigkeit

Glas wird bei Kontakt mit Nässe rutschig. Deswegen müssen (besondere) Maßnahmen getroffen werden falls es in einem Bereich eingesetzt wird, in denen sich Personen darauf fortbewegen müssen.

Das Aufbringen einer rutschfesten Schicht auf der Glasfläche, die für betretbare Anwendung ausgelegt ist, sollte daher immer in Betracht gezogen werden. Die Rutschfestigkeit wird unter Verwendung von den Prüfverfahren in CEN/TS 16165:2016 nachgewiesen. Betrachtet man z.B. ein Glasdach, dass zu Reinigungszwecken betreten wird, kann zwischen folgenden Prüfverfahren unterschieden werden:

1. Prüfverfahren auf Basis des Pendelns unter trockenem wie auch nassen Bedingungen mit Hilfe von festgelegten Gummigleitern und
2. Prüfverfahren auf Basis von Messungen mit einem Tribometer¹⁶

5.7.4.1. Pendelprüfung

Mit Hilfe der Pendelprüfung wird der Wert für den Gleitwiderstand definiert. Diese Prüfung kann im Labor oder in situ durchgeführt werden, entweder auf trockenen oder mit Wasser benetzten Flächen. Die Prüfeinrichtung ist in Abbildung 27 dargestellt.

Vor Beginn der Prüfung werden alle Einrichtungen optisch überprüft. Wenn sichergestellt ist, dass alle Bestandteile funktionell sind, wird das Prüfgerät an der Prüffläche mit den Fußschrauben montiert. Zum Beginn des Versuches wird der Pendelarm in waagrechte Position gebracht.

Durch die Aktivierung des Auslösemechanismus beginnt der Pendelarm frei über der Prüffläche zu schwingen. Das Prüfgerät bzw. der Fuß des Prüfgerätes muss bei den Bewegungen des Pendelarms standhaft bleiben. An dem Pendelarm ist ein Gummigleitkörper montiert.

Der Pendelarm wird so abgesenkt, dass eine leichte Berührung zwischen den Gleitkörpern und der Prüffläche besteht. Danach wird die Gleitlänge des Gummigleitkörpers überprüft.

¹⁶ Ein Tribometer ist ein Instrument für die Ermittlung des Reibungskoeffizienten.

Die Gleitlänge muss zwischen 123 und 125 mm betragen. In mehreren Versuchen wird der Pendelarm zum Schwingen gebracht. Einerseits in trockenen und andererseits in nassen Bedingungen.

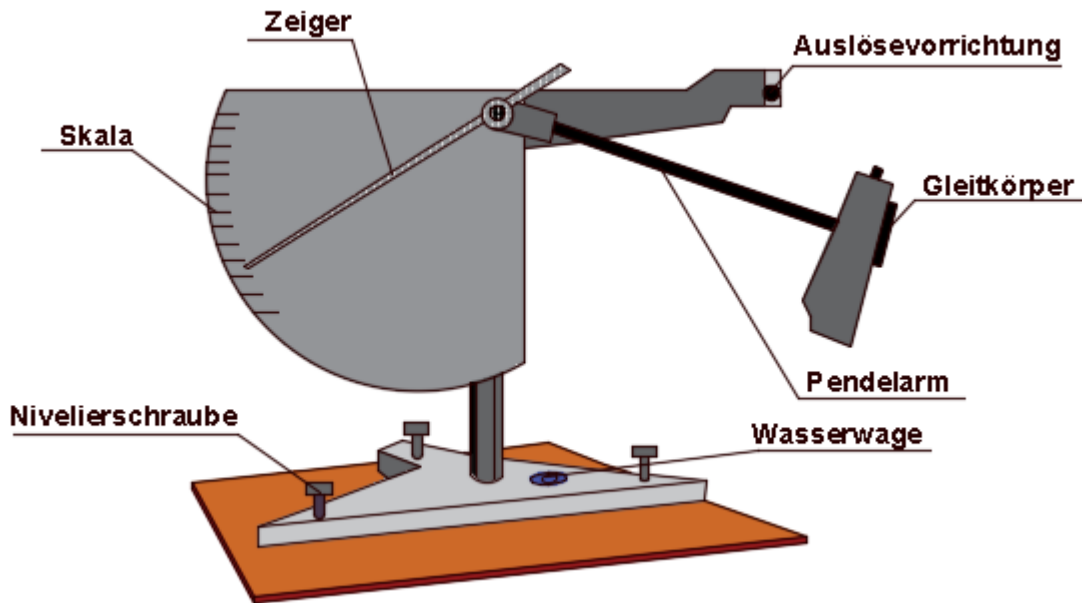


Abb. 27: Prüfeinrichtung für die Pendelprüfung (eigene Abbildung)

Nach jedem Versuch werden die Werte des Gleitwiderstandes von der Skala abgelesen. Je höher die Werte, desto größere Rutschgefahr besteht. Der Wert des mittleren Gleitwiderstandes (PVT) wird als Mittelwert der letzten fünf Ablesungen berechnet. In [41] sind alle notwendigen Voraussetzungen beschrieben, wie z.B. notwendige Dicken des Gleitkörpers, die Masse und Dimensionen des Prüfkörpers. In dieser Arbeit wird nicht tiefer auf diese Angaben eingegangen.

5.8. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Neben den notwendigen Nachweisen über die Tragfähigkeit und Resttragfähigkeit ist es auch vorgeschrieben, den Nachweis über die Gebrauchstauglichkeit durchzuführen.

Dabei muss der Bemessungswert der Beanspruchung E_d kleiner bzw. gleich dem Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriterium C_d sein [15].

$$C_d > E_d \quad (37)$$

Im Glasbau werden dazu zulässige Durchbiegungen vorgegeben. Für linienförmig gelagerte Verglasungen gelten nach [15] Durchbiegungsbeschränkungen zwischen $l/100$ und $l/200$ der freien Stützweite (siehe Tabelle 23). In [28] sind es explizit Einschränkungen

von $1/100$. Bei Isoliergläsern sind darüber hinaus die Durchbiegungsbegrenzungen der Hersteller zu beachten.

Tab. 23: Durchbiegungsbegrenzung für linienförmige Lagerung

<i>Lagerungsart</i>	<i>Überkopfverglasung</i>
<i>Vierseitig</i>	$1/100$ der Stützweite in der Hauptrichtung
<i>Zwei- und Dreiseitig</i>	Einfachverglasungen: $1/100$ der Stützweite in der Hauptrichtung
<i>Zwei und Dreiseitig</i>	Isolierverglasung: $1/200$ der Stützweite in Hauptrichtung

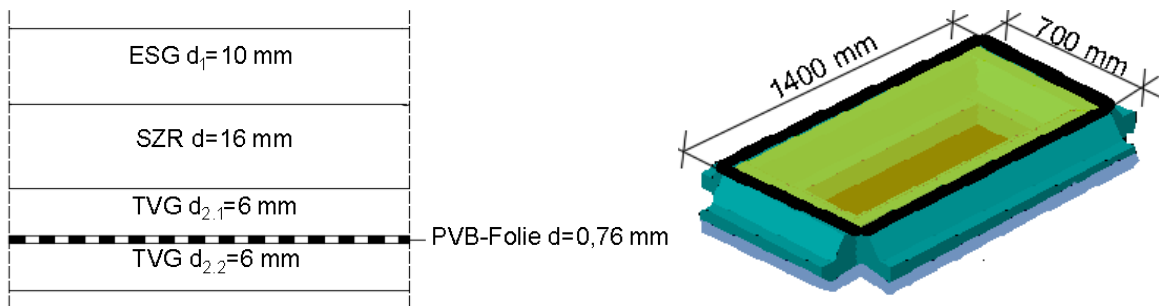
6. Rechenbeispiel

Im folgenden Rechenbeispiel wird die Berechnung einer horizontalen Zweifachisolierverglasung verdeutlicht. Diese Verglasung soll zu Reinigungszwecken betretbar ausgeführt werden.

Es handelt sich dabei um eine allseitig linienförmig gelagerte Glaskonstruktion mit den Abmessungen $a/b = 700/1400$ mm. Es sei Wind, wie auch Schnee zu berücksichtigen. Die Neigung der Dachkonstruktion ist $< 5^\circ$ (Flachdach).

Der Glasaufbau ist der Abbildung zu entnehmen.

AUFBAU :



6.1. Einwirkungen

– Eigengewicht:

$$g_{1,k} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * d_1 = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,010\text{m} = 0,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{2,k} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 2 * d_2 = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 2 * 0,008\text{m} = 0,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

– Klim alast-Sommer:

Es werden die Angaben aus ÖNORM B 3716-1:2016 befolgt. Resultierender isochorer Druck wird nach Formel (11) berechnet. Die Werte können aus Tabelle 2 (ÖNORM B 3716-1:2016) entnommen werden. (*Dieses gilt für die Werte für Sommer, wie auch Winter)

$$p_{o,s} = 0,34 \frac{\text{kPa}}{\text{K}} * 20 \text{ K} + 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,012\text{m} * 600\text{m} = 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

– Klim alast-Winter:

$$p_{o,w} = 0,34 \frac{\text{kPa}}{\text{K}} * (-25)\text{K} - 4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,012\text{m} * (-300)\text{m} = -16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

– **Schnee:**

Für die Berechnung wurde angenommen, dass sich die Überkopfverglasung in Wien in der Schneelastzone 2 (Umgebung - Stephansplatz) befindet.

$$S_k = \mu_i * C_e * C_t * S_k$$

$$S_k = 0,8 * 1 * 1 * 1,35 \frac{kN}{m^2} = 1,08 \frac{kN}{m^2}$$

– **Nutzlast:**

Betretbare Verglasungen werden zusätzlich mit einer Mannlast berechnet:

$$Q_k = 1,5 \text{ kN}$$

– **Windlast:**

Da es sich bei diesem Beispiel um ein Flachdach mit einer Neigung unter 5° handelt, werden die Außendruckbeiwerte aus Tabelle 8 der ÖNORM B 1991-1-4:2013 entnommen. Der Basisgeschwindigkeitsdruck q_b wurde Tabelle A.1 für Ort: Wien, aus der gleichen Norm entnommen.

Winddruck $W_{D,k}$ ergibt sich nur im Bereich I der (siehe Abbildung 7.6 in ÖNORM EN 1991-1-4:2011). Windsog $W_{S,k}$ ergibt sich nur für Bereich F (siehe Abbildung 7.6 in ÖNORM EN 1991-1-4:2011).

$$W_k = q_b * (c_{pe,1})$$

$$W_{D,k} = 0,39 \frac{kN}{m^2} * 0,2 = 0,078 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{S,k} = 0,39 \frac{kN}{m^2} * 2,5 = 0,975 \frac{kN}{m^2}$$

6.2. Resultierende Lastanteile für die Einzelscheiben

Die Berechnung ist Analog den Angaben aus Anhang A der ÖNORM B 3716-1:2016 durchzuführen. In der Berechnung wird für Scheibe 1 immer die Dicke d_1 angesetzt. Für Scheibe 2 sind zusätzlich Ersatzdicken $d_{2,vV}^*$ und $d_{2,oV}^*$ zu berechnen. (Die Abkürzungen im Index stehen für vV=voller Verbund und oV=ohne Verbund)

– **Ersatzdicken:**

$$d_{2,vV}^* = d_{2.1} + d_{2.2} = 12 \text{ mm}$$

$$d_{2,oV}^* = \sqrt[3]{d_{2.1}^3 + d_{2.2}^3} = \sqrt[3]{6^3 + 6^3} = 7,6 \text{ mm}$$

Tab. a) Ersatzdicken

Ersatzdicken	Voller Verbund [mm]	Ohne Verbund [mm]
Glasscheibe 1 (ESG)	10	10
Glasscheibe 2 (VSG)	12	7,6

– **Steifigkeitsfaktor:**

Es werden die Anteile δ_1 und δ_2 für die Einzelscheiben, nach Gleichung (7) und (8) der Gesamtsteifigkeit berechnet:

Gesamtsteifigkeit für die 1. Glasscheibe mit vollem und ohne Verbund:

$$\delta_{1,vV} = \frac{10^3}{10^3 + 12^3} = 0,37$$

$$\delta_{1,oV} = \frac{10^3}{10 + 7,6^3} = 0,7$$

Gesamtsteifigkeit der inneren Glasscheibe mit vollem und ohne Verbund:

$$\delta_{2,vV} = \frac{12^3}{12^3 + 10^3} = 0,63$$

$$\delta_{2,oV} = \frac{7,6^3}{7,6^3 + 10^3} = 0,30$$

Tab. b) Steifigkeitsfaktor

Steifigkeitsfaktor	Voller Verbund	Ohne Verbund
Glasscheibe 1 (δ_1)	0,37	0,70
Glasscheibe 2 (δ_2)	0,63	0,30

– **Charakteristische Kantenlänge a^* :**

Die Gleichung, für die charakteristische Kantenlänge ist unter Gleichung (10) vorzufinden. Es ist aber erst notwendig den Beiwert B_v zu bestimmen. Der Beiwert ist Tabelle A.1 der ÖNORM B 3716-1:2016 zu entnehmen.

$$a/b = 700/1400 \text{ mm} = 0,5 \quad \rightarrow B_v = 0,0501$$

$$a_{vV}^* = 28,9 * \sqrt[4]{\frac{16 * 10^3 * 12^3}{(10^3 + 12^3) * 0,0501}} = 612,91 \text{ mm}$$

$$a_{oV}^* = 28,9 * \sqrt[4]{\frac{16 * 10^3 * 7,6^3}{(10^3 + 7,6^3) * 0,0501}} = 509,16 \text{ mm}$$

Tab. c) charakteristische Kantenlänge

Charakteristische Kantenlänge	Voller Verbund [mm]	Ohne Verbund [mm]
a^*	612,91	509,16

– Isolierglasfaktor φ :

$$\varphi_{vV} = \frac{1}{1 + \left(\frac{700}{612,91}\right)^4} = 0,37$$

$$\varphi_{oV} = \frac{1}{1 + \left(\frac{700}{509,16}\right)^4} = 0,22$$

Tab. d) Isolierglasfaktor

Isolierglasfaktor	Voller Verbund	Ohne Verbund
φ	0,37	0,22

– Lastaufstellung für Scheibe 1:

Lastfälle	Formel	voller Verbund [kN/m ²]	ohne Verbund [kN/m ²]
LF1₁:Eigengewicht	$g_{1,k}$	0,25	0,25
LF2₁:Winddruck	$(\delta_1 + \varphi * \delta_2) * W_{D,k}$	0,586	0,745
LF3₁:Windsog	$(1 - \varphi) * \delta_1 * W_{S,k}$	0,225	0,532
LF4₁:Schnee	$(\delta_1 + \varphi * \delta_2) * S_k$	0,649	0,825
LF5₁:Isochorere Druck	$(- \varphi * p_o)$	5,923	3,499
LF6₁:Nutzlast - Druckdifferenz SZR*	-----	1,5 kN 0,596	1,5kN 0,353

Aufgespanntes Volumen Scheibe 1 (d=10 mm) in Folge einer Einheitslast von 1 kN:

$$V_{10\text{ mm}} = A * \frac{a^4}{d^3} * \frac{F}{E} * B_v = 0,000168 \text{ m}^3/\text{kN}$$

Relative Volumenänderung von Scheibe 1 unter Mannlast:

$$\alpha_{10\text{ mm}} = \frac{V_{10\text{ mm}} * p_a}{V_{SZR}} = \frac{0,000168 * 100}{0,01568} = 1,08 \frac{1}{\text{m}^3}$$

*Druckdifferenz Δp im SZR

$$\Delta p_{vV} = \varphi * \alpha_{10\text{ mm}} * Q_k = 0,596 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta p_{oV} = \varphi * \alpha_{10\text{ mm}} * Q_k = 0,353 \text{ kN/m}^2$$

– Lastaufstellung für Scheibe 2:

Lastfälle	Formel	voller Verbund [kN/m ²]	ohne Verbund [kN/m ²]
LF1₂:Eigengewicht	$g_{2,k}$	0,25	0,25
LF2₂:Winddruck	$(1 - \varphi) * \delta_2 * W_{D,k}$	0,586	0,745
LF3₂:Windsog	$(\varphi * \delta_1 + \delta_2) * W_{S,k}$	0,225	0,532
LF4₂:Schnee	$(1 - \varphi) * \delta_2 * S_k$	0,649	0,825
LF5₂:Isochorere Druck	$(\varphi * p_o)$	5,923	3,499
LF6₂:Druckdifferenz SZR	-----	0,596	0,353

6.3. Spannungsanteile

– Spannungsanteile für Scheibe 1:

Faktor k_1 ist der prEN 16612:2017 (Tabelle A.1/S.26), für den Wert a/b=0,5 und $p^*=0$ (lineare Platten Theorie) entnommen worden. ($k_4 = 0,600$)

$$\sigma_{max} = k_1 * \frac{a^2}{d^2} * F_d$$

Lastfall [σ_{LF}]	voller Verbund [N/mm ²]	ohne Verbund [N/mm ²]
LF 1.1:Eigengewicht	0,735	0,735
LF 2.1:Winddruck	1,723	2,19
LF 3.1:Windsog	0,662	1,56
LF 4.1:Schnee	1,908	2,423
LF 5.1:Isochorere Druck	17,413	10,28
LF 6.1:Nutzlast ** - Druckdifferenz SZR*	34,73	36,07

** - Werte wurden mit FEM Berechnet

– Spannungsanteile für Scheibe 2:

Lastfall [σ_{LF}]	voller Verbund [N/mm ²]	ohne Verbund [N/mm ²]
LF 1.2:Eigengewicht	0,882	0,882
LF 2.2:Winddruck	0,091	0,054
LF 3.2:Windsog	2,205	1,303
LF 4.2:Schnee	1,267	0,748
LF 5.2:Isochorere Druck	17,413	10,28

6.4. Verformungsanteile

– Verformungsanteile für Scheibe 1:

Faktor k_4 ist der prEN 16612:2017 (Tabelle A.2/S.27), für den Wert $a/b=0,5$ und $p^*=0$ (lineare Platten Theorie) entnommen worden. ($k_1 = 0,1148$)

$$\sigma_{max} = k_1 * \frac{a^2}{d^2} * F_d$$

Lastfall [w_{LF}]	voller Verbund [mm]	ohne Verbund [mm]
LF 1.1:Eigengewicht	0,098	0,098
LF 2.1:Winddruck	0,231	0,293
LF 3.1:Windsog	0,089	0,209
LF 4.1:Schnee	0,256	0,325
LF 5.1:Isochorere Druck	2,332	1,378
LF 6.1:Nutzlast ** - Druckdifferenz SZR*	2,92	3,13

** - Werte wurden mit FEM Berechnet

– Verformungsanteile für Scheibe 2:

Lastfall [w_{LF}]	voller Verbund [mm]	ohne Verbund [mm]
LF 1.2:Eigengewicht	0,118	0,118
LF 2.2:Winddruck	0,012	0,007
LF 3.2:Windsog	0,295	1,174
LF 4.2:Schnee	0,170	0,100
LF 5.2:Isochorere Druck	2,332	1,378

6.3. Nachweise

– Grenzzustand der Tragfähigkeit

Es ist nachzuweisen das $S_d \leq R_d$ ist.

– Grenzzustand der Tragfähigkeit für Scheibe 1 (ESG d=10 mm)

Nach Analyse der Ergebnisse für die Spannungsanteile für Glasscheibe 1, ist klar zu erkennen dass die Lastfälle „Ohne Verbund“ maßgebend sein werden. Es wird mit einer Überlagerung von Schnee und Mannlast berechnet. Damit sind die Teilsicherheitsbeiwerte für Schnee und Mannlast als 1 anzunehmen. Für den Winddruck, und die Klimlasten sind diese nach den schlagartigen Normen gewählt.

$$S_d = 1,35 * LF1.1 + 1,5 * (LF6.1 + LF4.1 + 0,6 * LF2.1 + 0,6 * LF5.1) = 69,96 \text{ N/mm}^2$$

Für ESG gilt:

$$R_d = \frac{f_k * k_{mod} * k_b}{\gamma_m}$$

$$f_k = 120 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Tabelle 15})$$

$$k_{mod} = 1,0 \quad (\text{Tabelle 16})$$

$$k_b = 1,0 \quad (\text{Tabelle 17})$$

$$\gamma_m = 1,5 \quad (\text{Tabelle 18})$$

$$R_{d,ESG} = \frac{120 * 1,0 * 1,0}{1,5} = 80 \text{ N/mm}^2$$

Somit ist :

$$69,96 \text{ N/mm}^2 \leq 80 \text{ N/mm}^2$$

– **Grenzzustand der Tragfähigkeit für Scheibe 2 (ESG d=10 mm)**

Für Scheibe 2 ergab sich der Maßgebende Lastfall bei dem Fall „Ohne Verbund“.

$$S_d = 1,35 * LF 1.2 + 1,5 * (LF 5.2 + 0,6 * LF 3.2) = 17,9 \text{ N/mm}^2$$

Für TVG gilt:

$$f_k = 70 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Tabelle 15})$$

$$k_{mod} = 1,0 \quad (\text{Tabelle 16})$$

$$k_b = 1,0 \quad (\text{Tabelle 17})$$

$$\gamma_m = 1,5 \quad (\text{Tabelle 18})$$

$$R_{d,FG} = \frac{70 * 0,6 * 1,0}{1,5} = 46,6 \text{ N/mm}^2$$

Somit ist :

$$17,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 46,6 \text{ N/mm}^2$$

– **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

Es ist Nachzuweisen, dass $E_d \leq C_d$.

– **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für Scheibe 1 (ESG d=10 mm)**

Die Maßgebende Kombination, beim GZG bezieht sich auf den Grenzfall „mit Verbund“.

$$E_d = \text{LF } 1.1 + \text{LF } 5.2 + 0,6 * \text{LF } 2.2 + 0,7 * \text{LF } 6.1 = 4,6 \text{ mm}$$

$$C_d = \frac{700}{100} = 7 \text{ mm}$$

$$4,6 \text{ mm} \leq 7,0 \text{ mm}$$

– **Versagen der oberen Glasscheibe**

Nach Versagen von der oberen Glasscheibe werden die Klimalasten nicht mehr betrachtet. Die untere Scheibe wird für die Lastfälle: Schnee, Winddruck, Eigengewicht, Mannlast, wie auch des Eigengewichtes von der ausgefallenen Scheibe, betrachtet.

Je Einzelscheibe des VSG wirken :

$$q_{d1} = g_{1,k} + g_{2,k} + 0,2 * S_k$$

$$q_{d1} = \left(0,25 + \frac{0,3}{2}\right) + 0,2 * \left(\frac{1,08}{2}\right) = 0,508 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_d = 0,5 * Q_k = 0,5 * \frac{1,5}{2} = 0,375 \text{ kN}$$

$$\text{Aus FE-Berechnung } E_d = 21,35 \text{ N/mm}^2 \leq 46,6 \text{ N/mm}^2$$

7. Schlussfolgerung

Diese Arbeit hat einen kurzen Einblick in die „Glaswelt“ bzw. in das Themengebiet der betretbaren Verglasungen gegeben. In dieser Arbeit wurden vier verschiedene Normenwerke verglichen. Es handelt sich dabei um die österreichischen, deutschen, britischen und italienischen Normen bzw. die jeweiligen Technischen Regelwerke.

Die österreichische und die deutsche Normenreihe haben sich als die umfangreichsten betreffend des gewählten Themas herausgestellt. Obwohl sich Glas, von den Anfängen in den 1990er Jahren bis heute, zu einer selbstständigen Ingenieurdisziplin entwickelt hat, muss beim Einsatz dieses Materials Acht gegeben werden, da es sich um ein sprödes Material handelt, welches unangekündigt brechen kann.

Derzeit wird der „Eurocode for Structural Glass“ auf Basis der Vorarbeiten in entwickelt. Durch den Vergleich der oben genannten Normen ist klar zu erkennen, dass eine Harmonisierung der Normen in dieser Ingenieurdisziplin höchst notwendig ist, zumindest im Bereich der betretbaren Verglasungen.

Wie schon angesprochen, ist es wichtig die Bruchempfindlichkeit dieses Werkstoffes genauer zu untersuchen, wenn betretbare Glaskonstruktionen für ein Projekt in Betracht gezogen werden. Es ist notwendig eine einheitliche Vorgehensweise zu entwickeln, die mögliche Versagensszenarien unter Berücksichtigung von statischen wie auch dynamischen Beanspruchungen adäquat lösen bzw. verhindern kann.

In Bezug auf die Wahl der zu verwendeten Glasarten, sollte im neuen Eurocode eine Klarheit angestrebt werden, wie sie jetzt schon in den deutschsprachigen Normen vorzufinden ist. Hier wird bereits genau darüber informiert, welche Art von Aufbau ein Konstruktionselement aus Verbundsicherheitsglas besitzen muss, damit es für das Betreten durch Personen geeignet ist.

Weiters sollte eine Harmonisierung der verschiedenen Aspekte der Berechnung bzw. der Sicherheitsverfahren gegeben werden. Die deutsche und österreichische Normung zeigt an sich konkrete Anforderungen, Vorgaben und Rechenansätze. Es wird auf alle Aspekte der Glasnormung eingegangen, wie z.B. die Eigenschaften, die Lagerungsarten, die Anforderungen, die experimentellen Versuchen usw. Auch in den britischen und italienischen Normen wird auf Anforderungen und Rechenansätze eingegangen. Wobei an dieser Stelle bemerkt werden muss, dass bei diesen in Bezug auf die Vorgaben, ein großer Spielraum und kaum explizite Anforderungen, zu finden sind.

Schlussendlich ist noch anzumerken, dass in den hier verglichenen Normen, verschiedene Herangehensweisen bezüglich der Auswahl der zu verwendenden

Verglasungsarten verwendet werden. Die britische Norm verwendet für die Entscheidung, welche der Glasarten in welchen Situationen geeignet sind, ein komplett anderes Kriterium als die deutschsprachigen Normen. Obwohl mehrere Glasarten zugelassen sind, wird keine deutliche Aussage über die Dimensionierung dieser Strukturen gemacht. Die italienische Norm weist in Bezug auf dieses Thema dieselben Unstimmigkeiten wie die britische Norm auf. In [39] werden nur Empfehlungen für die verschiedenen „Szenarien“ vorgemerkt ohne definitive Werte vorzugeben.

Da sich die weitere Entwicklung der nationalen Normen in einer Ruhephase befindet, ist davon auszugehen, dass der neue Eurocode diese Unregelmäßigkeiten in Einklang bringen wird.

Bezogen auf die Berechnung der Struktur, weist jedes der vier Länder eine andere Vorgehensweise vor. Sehr ähnlich sind sich die deutsche und österreichische Norm. Es werden nicht nur die rechnerischen Verfahren angegeben, sondern auch Unfallszenarien spezifiziert, wie z.B. der Ausfall einer Scheibe aus VSG oder die experimentellen Nachweise bezogen auf die Resttragfähigkeit.

Summa Summarum, Glas ist ein Material mit enormem Potenzial, welches unbedingt weiterhin ausgenutzt werden muss. Damit es in der Praxis öfter und mit größerer Sicherheit verwendet werden kann, müssen bei der Konstruktion alle möglichen Versagungsszenarien in Betracht gezogen werden. Das Ziel sollte sein, die Schadenswahrscheinlichkeit auf ein akzeptables Maß zu senken. Dabei sind die deutschsprachigen Normen ein guter Vorreiter bezogen auf die Anforderungen, Vorgaben und Rechenansätze, die für betretbare Konstruktionen gegeben werden sollten.

Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig alle europäischen Normen in einem Werk zu harmonisieren, sodass alle Länder Zugriff auf eine standardisierte und sichere Vorgehensweise haben. Dies ermöglicht auch neue Wege das Material Glas weiter zu fördern und möglicherweise noch mehr Einsatzmöglichkeiten zu entdecken.

Literatur

Bücher

- [1] G. Siebert, I. Maniatis: *Tragende Bauteile aus Glas* (Grundlagen, Konstruktion, Bemessung, Beispiele), Ernst und Sohn, München, November 2000;
- [2] M. Feldman, R. Kasper, K. Langosch: *Glas für tragende Bauteile*, Werner Verlag, Achsen, Dezember 2011;
- [3] W. Bernhard, T. Silke: *Glasbau 2015* (Bauten und Projekte, Bemessung und Konstruktion, Forschung und Entwicklung), Ernst und Sohn, Dresden, März 2015;
- [4] G. Sedlacek, K. Blank, W. Laufs, J. Güssen: *Glas im Konstruktiven Ingenieurbau*, Ernst und Sohn, Achsen, Januar 1999;
- [5] W. Bernhard, M. Engelmann, F. Nicklisch, T. Weimar: *Glasbau Praxis* (Konstruktion und Bemessung – Band 2, Beispiele nach DIN 18008) Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, März 2013;
- [6] B. Weller, P. Krampe, S. Reich: *Glasbau Praxis* (Konstruktion und Bemessung – Band 1, Grundlagen) Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, März 2013;
- [7] R. Kasper, K. Pieplow, M. Feldmann: *Beispiele zur Bemessung von Glasbauteilen nach DIN 18008*, Ernst und Sohn, Achsen, März 2016;
- [8] J. Schneider, J. Kuntsche, S. Schula, F. Schneider, J-Dietrich Wörner: *Glasbau* (Grundlagen, Berechnung, Konstruktion) 2.Auflage, Springer Vieweg, Heidelberg, 2016;
- [9] R. Ofner: *Leichtbau und Glasbau*, Technische Universität Graz, Graz, Mai 2007;
- [10] J. Wurm: *Glas als Tragwerk* (Entwurf und Konstruktion selbsttragender Hüllen) Springer Verlag; Mai 2007;
- [11] F. Dehn, G. König, G. Marzahn: *Konstruktionswerkstoffe im Bauwesen*, Ernst und Sohn, Leipzig, April 2003;
- [12] W. Beller, S. Tasche, G. Siebert: *Glasbau 2016-Auflage 1: „Aktueller Stand der Glasnormung*, Ernst und Sohn, Dresden 2016;
- [13] Feldmann, M. et.al: *Guidance for European Structural Design of Glass Components*, JRC Scientific and policy Report, Report EUR 26439 EN, 2014;
- [14] A. Kolbitsch: *Glas und Glaswerkstoffe*, TU Verlag, Wien 2016;

Normen/Technische Regelwerke

- [15] ÖNORM B 3716-1: Glas im Bauwesen–Konstruktiver Glasbau-Teil1: Grundlagen, Austrian Standard, Januar 2016;
- [16] ÖNORM B 3716-2: Glas im Bauwesen–Konstruktiver Glasbau-Teil2: Linienförmig gelagerte Verglasungen, Austrian Standard, April 2013;

-
- [17] ÖNORM B 3716-4: Glas im Bauwesen–Konstruktiver Glasbau-Teil4: Betretbare, begehbare und befahrbare Verglasungen, Austrian Standard, November 2009;
 - [18] ÖNORM B 3716-5: Glas im Bauwesen–Konstruktiver Glasbau-Teil5: Punktförmig gelagerte Verglasungen, Austrian Standard, April 2013;
 - [19] ÖNORM B 3716-7: Glas im Bauwesen–Konstruktiver Glasbau-Teil7: Glasanwendung, Austrian Standard, September 2014;
 - [20] ÖNORM EN 1990: Eurocode-Grundlagen der Tragwerksplanung, Austrian Standard März 2013;
 - [21] ÖNORM EN 1991-1-1: Eurocode 1–Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 1, Austrian Standard; Februar 2017;
 - [22] ÖNORM B 1991-1-1: Eurocode 1–Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 1-Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen, Austrian Standard, Februar 2017;
 - [23] ÖNORM EN 1991-1-3: Eurocode 1–Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen-Schneelasten, Austrian Standard, Januar 2016;
 - [24] ÖNORM B 1991-1-3: Eurocode 1–Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen-Schneelasten-Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-1-3 und nationale Ergänzungen, Austrian Standard, Dezember 2018;
 - [25] ÖNORM EN 1991-1-4: Eurocode 1–Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen-Windlasten, Austrian Standard, Mai 2013;
 - [26] ÖNORM B 1991-1-4: Eurocode 1–Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen-Windlasten-Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen, Austrian Standard, Mai 2011;
 - [27] ÖNORM EN 1279-1: Glas im Bauwesen-Mehrscheiben-Isolierglas-Teil1: Allgemeines, Systembeschreibung, Austauschregeln, Toleranzen und visuelle Qualität, Austrian Standard, November 2018;
 - [28] DIN 18008-1: Glas im Bauwesen-Bemessung und Konstruktionsregeln–Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen, Deutsches Institut für Normung, Mai 2018;
 - [29] DIN 18008-2: Glas im Bauwesen-Bemessung und Konstruktionsregeln–Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasung, Deutsches Institut für Normung, Mai 2018;
 - [30] DIN 18008-3: Glas im Bauwesen-Bemessung und Konstruktionsregeln–Teil 3:Punktförmig gelagerte Verglasung, Deutsches Institut für Normung, Juli 2013;
 - [31] DIN 18008-6: Glas im Bauwesen-Bemessung und Konstruktionsregeln–Teil 6: Zusatzanforderungen an zu Instandhaltungsmaßnahmen betretbare Verglasungen und an durchstutzsichere Verglasungen, Deutsches Institut für Normung, Februar2012;
 - [32] DIN 4426-„Sicherheitstechnische Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswegeplanung und Ausführung“;

- [33] BS 5516-1:2004: Patent glazing and sloping glazing for Buildings-Part 1: Code of practice for design and installation of sloping and vertical patent glazing; British Standard;
- [34] BS 5516-2:2004: Patent glazing and sloping glazing for Buildings-Part 2: Code of practice for design and installation of sloping and vertical patent glazing; British Standard;
- [35] BS 6262-1:2017: Glazing for Buildings-Part1: General methodology for the selection of glazing; British Standard;
- [36] BS 7976-1:2002+A1:2013: Pendulum testers-Part1: Specification; British Standard;
- [37] BS 7976-2:2002+A1:2013: Pendulum testers-Part2: Method of operation; British Standard;
- [38] BS 7976-3:2002+A1:2013: Pendulum testers-Part2: Method of calibration; British Standard;
- [39] prEN 16612: Glass in building–Determination of the load resistance of glass panes by calculation and testing;
- [40] CNR-DT-210: CNR-DT 210/2013 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Costruzione con Elementi Strutturali di Vetro;
- [41] CEN/TS 1615:2016: Bestimmung des Gleitwiderstandes von Fußgängerbereichen–Ermittlungsverfahren; Europäisches Komitee für Normung, November 2016;
- [42] ÖNORM EN 14449:2005: Glas im Bauwesen-Verbundglas und Verbundversicherheitsglas-Konformitätsbewertung/Produktnorm; Austrian Standard, Juni 2005;

Online Sources

- [43] Baunetz Wissen (Stand:11.11.2018)
URL: <https://www.baunetzwissen.de/glas/fachwissen/>
- [44] Fraunhofer IRB (Stand:27.12.2018)
URL: <https://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung/baufolit.jsp?s=Konstruktiver+Glasbau>
- [45] Shen X, Lanzrath M: Tragende Glaskonstruktionen; Conference: Bauen mit Glas; Baden-Baden, Deutschland 2000
URL: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/BLCP%3ACN034220293/Tragende-Glaskonstruktionen/>
- [46] Glassproperties (Stand 05.01.2019)
URL: <http://glassproperties.com/de/>
- [47] Bohlin Cywinski Jackson (Stand 09.09.2018)
URL: <https://bcj.com/projects/apple-store-fifth-avenue-new-york>
- [48] Guardian Glass (Stand: 09.09.2018)
URL: <https://www.guardianglass.com/>

-
- [49] OIB – Österreichisches Institut für Bautechnik (Stand 02.02.2019)
URL: <https://www.oib.or.at/de/kennzeichnung-und-zulassung-von-bauprodukten/ce-Kennzeichnung>
- [50] WKÖ – Wirtschaftskammer Österreich (Stand 02.02.2019)
URL: <https://www.wko.at/service/innovation-technologie-digitalisierung/ce-kennzeichnung-normen.html>
- [51] Leitfaden: Schrittweise Anleitung zur CE-Kennzeichnung für Bauprodukte nach:
URL: <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/strasse/technik/bautechnik/cekennzeichnung.pdf>
- [52] Tragwerk Software (Stand 02.02.2019)
URL: <http://www.tragwerk-software.de/index.php/forschung/glasbau/54-kopplungseffekt-bei-mehrscheiben-isolierverglasung?showall=1&limitstart=>

Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

- Abbildung 1: Dachverglasung – SCS Wien
- Abbildung 2: Dachverglasung – Museum Louvre, Paris
- Abbildung 3: Verglasungsarten
- Abbildung 4: Floatglas – Prozess nach Pilkington 1952
- Abbildung 5: Nachbruchverhalten von a) ESG, b) TVG und c) nicht vorgespanntem Glas
- Abbildung 6: Aufbau von VSG
- Abbildung 7: Möglichkeiten für die CE-Kennzeichnung
- Abbildung 8: Glasdach zwischen zwei Baukörpern (München, DE)
- Abbildung 9: Glasdach im Einkaufszentrum (Ringstraßen-Galerien, Wien AT)
- Abbildung 10: Glasdach zwischen zwei Gebäuden-Fußgängerdurchgang (Wien, AT)
- Abbildung 11: Glasdach über Büroflächen (Bihac, BiH)
- Abbildung 12: Glaspyramide, Museum Louvre (Paris, FR)
- Abbildung 13: Arten der Linienlagerung
- Abbildung 14: Verschiedene Arten von Punkthaltern
- Abbildung 15: Anforderungen an die linienförmige Lagerung nach ÖNORM B 3716-2:2013
- Abbildung 16: Anforderungen auf punktförmige Lagerung nach ÖNORM B 3716-5:2013
- Abbildung 17: Anforderungen an punktförmige Lagerung
- Abbildung 18: Anforderungen an kombinierte Lagerungsarten
- Abbildung 19: Nachweise für Glaskonstruktionen
- Abbildung 20: Anzuwendende nationale Dokumente zu Ermittlung der Einwirkungen
- Abbildung 21: Schneelasten auf a) Pultdächern, b) Satteldächern und c) Sheddächern
- Abbildung 22: Winddruck auf einem Dach mit 5° Neigung
- Abbildung 23: Winddruck auf Vordächer
- Abbildung 24: Mehrscheiben-Isolierglas a) unverformter Zustand, b) Koppelungseffekt, c) Überdruck im SZR und d) Unterdruck im SZR
- Abbildung 25: Aufbau von dreifach verglastem Mehrscheiben-Isolierglas
- Abbildung 26: Verformung eines Verbundes (A: voller Verbund; B: ohne Verbund)
- Abbildung 27: Bauteilversuch: Ermittlung der Resttragfähigkeit
- Abbildung 28: Prüfeinrichtung für die Pendelprüfung

Tabellen

- Tabelle 1: Deutsches Technisches Regelwerk
- Tabelle 2: Zulässige Glasarten, je nach Höhe der Glaskonstruktion nach BS 5516:2004
- Tabelle 3: Zulässige Glasarten für betretbare Verglasungen

- Tabelle 4: AVCP-Systeme
- Tabelle 5: Inhalte einer CE-Kennzeichnung
- Tabelle 6: Glasprodukte, für welche die CE-Kennzeichnung verpflichtend ist
- Tabelle 7: Indikatoren für Verhalten bei eventuellen Versagen
- Tabelle 8: Nennwerte verschiedener Glassorten für Dachabdeckungen
- Tabelle 9: Formbeiwerte für Schneelasten
- Tabelle 10: Beiwerte für Schneelasten
- Tabelle 11: Außendruckbeiwert für Flachdächern
- Tabelle 12: Außendruckbeiwert für Pultdächer, Sattel- und Trogdächer
- Tabelle 13: Rechenwerte für klimatische Einwirkungen und den resultierenden isochoren Druck p_0
- Tabelle 14 : Lastverteilung bei externen Lasten
- Tabelle 15: Lastverteilung bei internen Lasten
- Tabelle 16: Veränderung der inneren Druckwerte $\Delta p_{i,j}$
- Tabelle 17: Charakteristische Werte von Einwirkungen (dauerhaft und variabel) für alle Glasscheiben
- Tabelle 18: Charakteristische Festigkeiten verschiedener Glasarten
- Tabelle 19: Abminderungsfaktor k_{mod}
- Tabelle 20: Teilsicherheitsbeiwert γ_m
- Tabelle 21: Abminderungsfaktor k_b
- Tabelle 22: Anforderungen an die Resttragfähigkeit nach verschiedenen Normen
- Tabelle 23: Durchbiegungsbegrenzung für linienförmige Lagerung