

Glas in sicherheitsrelevanten Bauanwendungen | Der Weg zum erfolgreichen Nachweis der Standicherheit

Mascha Baitinger^{1,2}, Marius Goos², Jasmin Reichert²

¹Hochschule RheinMain, Kurt-Schuhmacher-Ring 18, 65197 Wiesbaden

²Contura Ingenieure GmbH, Im Niedergarten 18, 55124 Mainz

Zusammenfassung: Glas ist als sicherheitsrelevantes Element in Bauwerken nicht mehr wegzudenken. Gläserne Fassaden bilden das Stadtbild in Industrienationen, Glasstufen und Brüstungsverglasungen prägen unsere gebaute Umwelt. Gläserne Skywalks üben eine Faszination aus. Umfassende Kenntnisse zur statisch-konstruktiven Umsetzung sowie fundiertes bauaufsichtliches Wissen ist unumgänglich um sichere, ressourcenoptimierte und wirtschaftliche Bauwerke zu schaffen.

1 Einleitung

Bauteile aus Glas sind im Bauwesen heutzutage weit mehr als ein transparentes Ausfachungselement. Die stetige Entwicklung der normativen Grundlagen, ein immer fundierteres Verständnis hinsichtlich der Materialeigenschaften und die flexible Kombination mit Werkstoffen, wie z.B. Holz oder Beton, lassen Glaselemente immer häufiger zu einem tragenden Konstruktionselement werden. Das Erscheinungsbild von Gebäuden wird oftmals durch Glas entscheidend charakterisiert.

Bauen mit Glas bedeutet auf der einen Seite, den hohen architektonischen Ansprüchen der Planer und Architekten gerecht zu werden und auf der anderen Seite die technischen Anforderungen aus den einschlägigen technischen Baubestimmungen sowie bauaufsichtlichen Regelungen einzuhalten. Weitgespannte Konstruktionen, freigeformte Strukturen und daraus resultierende Beanspruchungen von Glasbauteilen müssen mit der technischen Machbarkeit und den spröden, linear-elastischen Werkstoffeigenschaften in Einklang gebracht werden.

Bei der Integration von Glas in sicherheitsrelevanten Bauanwendungen sind die Einhaltung bauphysikalischer Anforderungen und Langlebigkeit bzw. Dauerhaftigkeit genauso sicherzustellen wie die baurechtlich geregelte An- bzw. Verwendung der Bauprodukte und

Bauarten. In diesem Artikel soll das Nachweisprozedere für strukturelevante Glasbauteile vorgestellt und für konkrete Anwendungsfälle erläutert werden.

2 Regelung von tragenden Glasbauteilen

2.1 Allgemeine Regelungen

Die bauaufsichtliche Regelung von tragenden Glaskonstruktionen ist von zentraler Bedeutung, um die Standsicherheit, ggf. die Stoßsicherheit (Zusatzanforderungen z.B. Absturzsicherung) und Funktionalität (bauphysikalische Anforderungen) von modernen Bauwerken sicherzustellen.

Die Landesbauordnungen (LBO) der Länder, die auf der Musterbauordnung (MBO) basieren, bilden die Grundlage der bauaufsichtlichen Regelung und schreiben die allgemeinen Anforderungen an bauliche Anlagen vor. Den Landesbauordnungen ist die Anforderung an Zulassungs- bzw. Genehmigungsverfahren für Bauprodukte und Bauarten zu entnehmen.

Technische Baubestimmungen auf Landesebene, die auf Grundlage der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) erstellt werden, konkretisieren die allgemein definierten Anforderungen an bauliche Anlagen der Landesbauordnungen. Bezogen auf den konstruktiven Glasbau bedeutet dies: den Technischen Baubestimmungen sind die gültigen technischen Regelwerke und zusätzliche Anforderungen, die an Glaskonstruktionen gestellt werden, zu entnehmen. Wesentliche Konstruktionsregeln für die Planung und Bemessung von Glasbauteilen und -konstruktionen legt die deutsche Normenreihe DIN 18008 „Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln“ mit ihren Teilen 1 bis 6 fest.

2.2 An- und Verwendbarkeitsnachweise

Bauprodukte und Bauarten aus Glas sind in Deutschland nach den geltenden technischen Baubestimmungen im Sinne der Landesbauordnung an- bzw. verwendbar zu machen. Das deutsche Baurecht unterscheidet zwischen Verwendbarkeitsnachweisen für Bauprodukte und Anwendbarkeitsnachweisen für Bauarten (siehe Abb.1).

Bei Bauprodukten handelt es sich u.a. um Produkte, Baustoffe, Bauteile und Anlagen sowie Bausätze, die werkseitig hergestellt werden, um dauerhaft in baulichen Anlagen eingebaut werden. Bei Bauarten handelt es sich um bauliche Anlagen oder um Teile von baulichen Anlagen, die durch das Zusammenfügen von Bauprodukten i.d.R. am Einbauort entstehen.

Bauprodukte, die ein CE-Kennzeichen oder ein Ü-Kennzeichen besitzen oder nach den geltenden technischen Baubestimmungen ausgeführt werden, werden als „geregelte“ Bauprodukte bezeichnet. Bei Bauprodukten und Bauarten, für die keine technischen Regeln vorliegen bzw. für solche die von diesen technischen Regeln abweichen, handelt es sich um „nicht geregelte“ Bauprodukte bzw. Bauarten.

Bei Abweichungen zu den vorhandenen technischen Regeln ist zwischen wesentlichen und nicht wesentlichen Abweichungen zu unterscheiden. Bei wesentlichen Abweichungen sind

die An- bzw. Verwendbarkeitsnachweise durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) bzw. den obersten Bauaufsichtsbehörden zu erwirken. Bei nicht wesentlichen Abweichungen zu den technischen Regelwerken und bei Bauprodukten bzw. Bauarten, bei denen ein anerkanntes Prüfverfahren vorliegt, kann der An-/Verwendbarkeitsnachweis durch eine vom DIBt (bzw. in einzelnen Bundesländern von der Obersten Bauaufsichtsbehörde) nach Landesbauordnung anerkannte Prüfstelle erfolgen (siehe auch Abb.1). Als Grundlage für die Erwirkung der An- bzw. Verwendbarkeitsnachweise dienen u.a. statische Berechnungen, gutachterliche Stellungnahmen und experimentelle Untersuchungen.

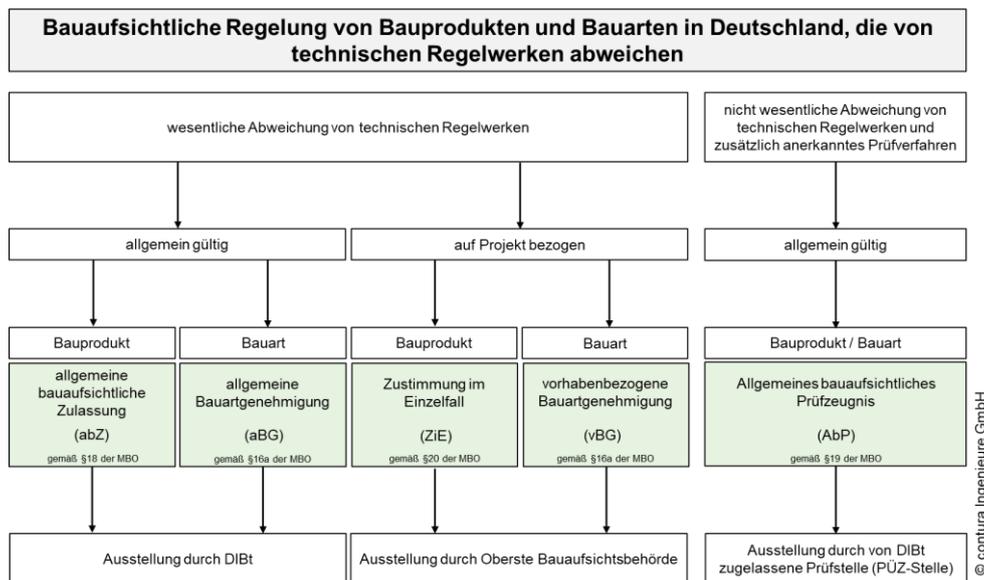


Abbildung 1: An- und Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte und Bauarten in Deutschland

3 Experimentelle Nachweise für tragende Glaskonstruktionen nach DIN 18008

3.1 Nachweisverfahren

Für Verglasungen, die in den Anwendungsbereich der Normenreihe DIN 18008 fallen, sind statische Einwirkungen immer getrennt von etwaigen stoßartigen Belastungen zu betrachten. Nachweise unter statischen Einwirkungen erfolgen in Deutschland immer rechnerisch. Der rechnerische Nachweis erfolgt in der Regel objektbezogen. Systembezogene Nachweise erfolgen häufig über eine System-/ Typenstatik, die dann auf den konkreten Anwendungsfall zu übertragen sind.

Zusatzanforderungen, z.B. für absturzsichernde Verglasungen, sind gesondert nachzuweisen. Die Nachweise unter statischen und stoßartigen Lasten sind immer für die gesamte

Verglasungskonstruktion und somit für das Glaselement, für die Lagerkonstruktion und deren weitere Befestigung am Bauwerk, zu führen.

Bei experimentellen Nachweisen an Glaskonstruktionen ist zwischen Versuchen für Horizontalverglasungen und Vertikalverglasungen zu unterscheiden. Beide Anwendungsarten müssen das Schutzziel, Verkehrsbereiche vor herabfallenden Teilen zu schützen bzw. Absturz bzw. Durchsturz von Personen zu verhindern, erfüllen.

3.2 Versuchstechnischer Nachweis für resttragfähige Verglasungen

Unter Resttragfähigkeitsversuchen versteht man ein experimentelles Nachweisverfahren von Verglasungen, welches vor allem bei Verbundsicherheitsglas (VSG) in horizontaler Lage durchgeführt wird. Die Resttragfähigkeit wird als Tragwiderstand definiert, der einem Totalversagen (beispielsweise ein unter Last stehendes Verbundsicherheitsglas, mit defekten Teilscheiben) entgegenwirkt. Der Nachweis der Resttragfähigkeit einer Verglasungskonstruktion darf gemäß DIN 18008-1 Anhang B.1 experimentell geführt werden. In Abhängigkeit der konstruktiven Randbedingungen muss die Resttragfähigkeit von Glaskonstruktionen nachgewiesen werden.

Die Resttragfähigkeitsversuche sind grundsätzlich an der nachzuweisenden Konstruktion / Einbausituation an mindestens zwei identischen Probekörpern durchzuführen. Die im Versuch aufzubringenden Lasten ergeben sich aus dem jeweiligen Anwendungsfall der Konstruktion und den technischen Regelwerken (DIN EN 1990), mindestens jedoch $0,5 \text{ kN/m}^2$. Die äußeren Glasscheiben sind mit einem Hammer und Körner zu brechen. Hierzu sind die Anschlagpunkte nach DIN 18008-1 Bild B.1 zu wählen. Der Versuch gilt als bestanden, wenn die Verglasungskonstruktion 24h nicht aus der Lagerkonstruktion herausfällt bzw. keine Bruchstücke herabfallen, die darunter liegende Verkehrsflächen gefährden könnten.

3.3 Versuchstechnischer Nachweis für absturzsichernde Verglasungen

Bei absturzsichernden Verglasungen spricht man von vertikalen Glaskonstruktionen die Menschen vor einen Absturz aus einer Höhe $> 1,0\text{m}$ schützen sollen. Unterschiedlichste Konstruktionen finden als absturzsichernde Verglasungen ihre Anwendung, folgende Beispiele seien hier exemplarisch genannt:

- Bodentiefe Fenster- oder Fassadenverglasung
- Ganzglasgeländer oder Brüstungsverglasungen
- Verglasungen von Aufzugsschächten, etc.

An absturzsichernde Verglasungen werden Zusatzanforderungen gestellt, die in dem Teil 4 „Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen“ der DIN 18008 geregelt sind. Neben statischen Lasten wie beispielsweise Wind-, Holm- und Klimalasten bei Mehrscheiben-Isolierglasscheiben müssen zusätzlich dynamische Lasten aus stoßartiger Belastung berücksichtigt werden. Bei Abweichungen zur DIN 18008-4 kann der Nachweis unter stoßartiger Belastung u.a. versuchstechnisch durch Pendelschlagversuche nach DIN 18008-4, Anhang A.1, geführt werden.

Die DIN 18008-4 ordnet die Glaskonstruktionen in drei Absturzkategorien Kat. A, Kat. B und Kat. C ein (siehe Abb. 2). Die Anforderungen an die drei Kategorien variieren.

Bei absturzsichernden Verglasungen der Kat. A handelt es sich um raumhohe Verglasungen, die horizontale Nutzlasten abtragen müssen und keinen Brüstungsriegel oder Holm in bauaufsichtlich erforderlicher Höhe besitzen (Abb.2 – links).

Bei Kategorie B Verglasungen handelt es sich um unten eingespannte Glasbrüstungen, deren Einzelscheiben durch einen durchgehenden Handlauf miteinander verbunden sind (Abb. 2 – Mitte).

Verglasungen, die lediglich als ausfachende Elemente eingesetzt werden und keine horizontalen Nutzlasten in erforderlicher Höhe abtragen müssen, werden der Kategorie C zugeordnet (Abb. 2 – rechts).

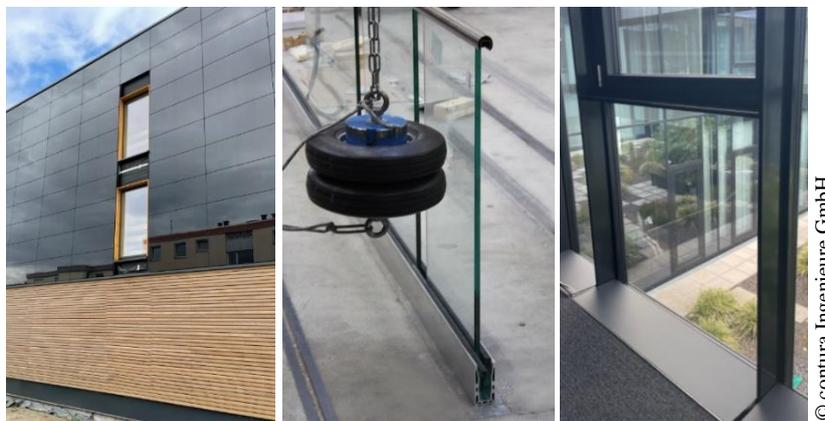


Abbildung 2: Beispiele für absturzsichernde Verglasungen (v.l.n.r.: Kategorie A, Kategorie B und Kategorie C)

Der versuchstechnische Nachweis zur Ermittlung der absturzsichernden Wirkung einer Verglasungskonstruktion erfolgt durch Pendelschlagversuche nach DIN 18008-4, Anhang A. Als Pendelschlaggerät wird ein Zwillingsreifen der Masse 50 kg und einen Reifendruck von 3,5 bar verwendet. Die Fallhöhe Δh in [mm] des Zwillingsreifens variiert je nach Anforderungen bzw. Kategorie (Kat. A = 900 mm, Kat. B = 700 mm und Kat. C = 450 mm). Der Pendelfallkörper ist durch eine geeignete Aufhängevorrichtung auf die jeweilige Auftreffstelle auszurichten und auf die entsprechende Fallhöhe auszulenken.

Die Pendelschlagversuche sind grundsätzlich an der zu bewertenden Einbausituation (Originalbauteilen) und an mindestens zwei identischen Probekörpern durchzuführen. Die Auftreffstellen sind nach Norm so zu wählen, dass durch den Aufprall die maßgebende bzw. ungünstigste Beanspruchung für das Glaselement und die Lagerkonstruktion erzielt wird.

Der Pendelschlagversuch gilt als bestanden, wenn die Verglasungskonstruktion nicht durch den Pendelkörper durchschlagen wird oder aus der Lagerkonstruktion gerissen wird. Außerdem dürfen dahinterliegende Verkehrsflächen nicht durch herabfallende Bruchstücke gefährdet werden bzw. dürfen Verbundsicherheitsglasscheiben (VSG) keine Risse mit einer Öffnungsweite $> 76\text{mm}$ aufweisen.

3.4 Versuchstechnischer Nachweis für begehbare Verglasungen

Bei begehbaren Verglasungen handelt es sich um planmäßig begehbare Horizontalverglasungen wie z.B. Glasstege, Treppen oder Podeste aus Glas. Begehbare Glaskonstruktionen sind unter statischen Lasten (je nach Nutzungskategorie), dynamischen Lasten (Stoßeinwirkungen) und hinsichtlich der Resttragfähigkeit zu bewerten. Die Stoßsicherheit und die Resttragfähigkeit sind i.d.R. durch Versuche nach DIN 18008-5 nachzuweisen.

Die Stoßversuche werden mit einem Stoßkörper aus Stahl (sogenannter Torpedo, siehe Abb. 3 rechts) mit einer Masse von 40kg durchgeführt. Die Verglasung ist während dem Fallversuch mit der halben planmäßigen Nutzlast in Form von Personenlasten mit 1,0 kN je Personenersatzlast auf einer Fläche von 200 x 200 [mm] in ungünstigster Position zu belasten. Die Auftreffstellen sind so zu wählen, dass die ungünstigste Beanspruchung für die Konstruktion erzielt wird. Bei begehbaren Verglasungen wird nicht in Kategorien unterschieden, die Fallhöhe beträgt immer 800 mm.



Abbildung 3: Beispielhaftes Glastpaket aus 4-fach VSG (links) und Stoßkörper (rechts)

Der Versuch gilt als bestanden, wenn die Verglasungskonstruktion nicht durch den Stoßkörper durchschlagen wird, die Glaselemente nicht aus der Lagerkonstruktion rutschen oder darunterliegende Verkehrsflächen nicht durch herabfallende Bruchstücke gefährdet werden. Im Anschluss an die Stoßversuche sind Resttragfähigkeitsversuche mit einer Standzeit von mind. 30 Minuten durchzuführen.

3.5 Versuchstechnischer Nachweis für betretbare und durchsturzsichernde Verglasungen

Glaskonstruktionen, die ausschließlich zu Wartungs- und Reinigungszwecken betreten werden, werden als betretbare Verglasungen bezeichnet. Zusammen mit durchsturzsichernden (nicht betretbaren) Verglasungen werden diese in Teil 6 „Zusatzanforderungen an zu Instandhaltungsmaßnahmen betretbare Verglasungen und an durchsturzsichere Verglasungen“ der DIN 18008 geregelt. Zusätzlich zu den planmäßigen

Einwirkungen ist die Glaskonstruktion mit einer Personenlast in Höhe von 1,5 kN statisch nachzuweisen.

Die Zusatzanforderungen an die Stoßsicherheit und Resttragfähigkeit kann durch Belastungsversuche nach DIN 18008-6, Anhang A, erbracht werden. Hier wird eine Fallvorrichtung mit einem Zwillingstreifen (nach DIN 18008-4) mit einer Masse von 50kg und einem Reifendruck von 3,5bar eingesetzt (siehe Abb. 4). Zur Vereinfachung dürfen geneigte Verglasungen je nach Neigungswinkel vertikal (bis zu einem Winkel von 45° zur Vertikalen) bzw. horizontal (Neigung 45° bis 90° zur Vertikalen) geprüft werden. Die Fallhöhe für betretbare Verglasungen beträgt in der Regel $H_s = 900$ mm und ist je nach Anwendungsfall für durchsturzsichernde Verglasungen zu reduzieren bzw. zu erhöhen. Die Aufprallpunkte sind so zu wählen, dass ein möglichst ungünstiges Belastungsszenario für Glasscheibe und Lastkonstruktion entsteht. Bei betretbaren Verglasungen ist die obere Glasscheibe mit entsprechenden Hilfsmitteln zu brechen. Hierbei sind möglichst ungünstige Rissverläufe zu erzeugen.

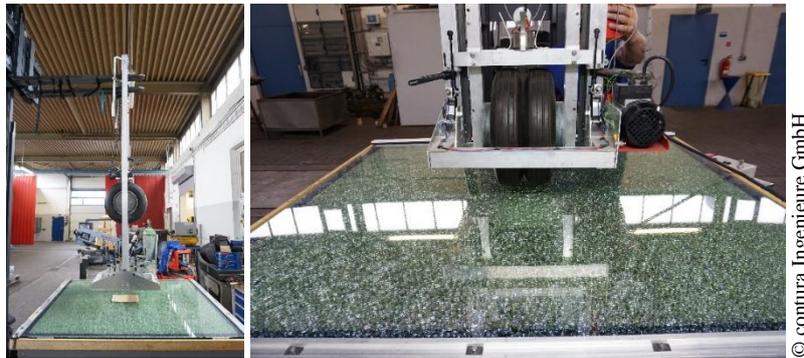


Abbildung 4: Versuchsvorrichtung für die Stoßversuche

Der Stoßkörper darf weder die Verglasung durchschlagen, noch darf die Verglasung aus der Lagerkonstruktion gerissen werden. Es dürfen keine Bruchstücke herabfallen, die darunter liegende Verkehrsflächen gefährden könnten. Nach erfolgreicher Stoßprüfung werden Resttragfähigkeitsversuche durchgeführt. Hierzu werden Zusatzlasten (Gesamtmasse 100 kg) an möglichst ungünstigen Stellen auf der Verglasung positioniert. Die Belastungsdauer beträgt mindestens 30 Minuten. Der Versuch gilt als bestanden, wenn die Verglasung die zuvor beschriebenen Anforderungen erfüllt.

4 PV-Module im Überkopfbereich

4.1 Bauaufsichtliche Regelungen von PV-Modulen

Bei der Verwendung und Anwendung von bauwerkintegrierten Photovoltaikmodulen in Deutschland sind bauordnungsrechtliche Produkt- und Anwendungsanforderungen zu beachten. Hierfür sind die Anforderungen der Landesbauordnung (LBO) und der

Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV-TB) des jeweiligen Bundeslandes einzuhalten.

PV-Module werden gemäß den technischen Baubestimmungen als Produkte der technische Gebäudeausrüstung nach EU-Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU eingeordnet und erhalten durch diese Richtlinie eine CE-Kennzeichnung als elektrisches Betriebsmittel. Die CE-Kennzeichnung beinhaltet jedoch nicht die wesentlichen Merkmale nach der Bauproduktenverordnung (u.a. mechanische Festigkeit, Standsicherheit und Brandschutz). Grundsätzlich ist deshalb für PV-Module ein gesonderter Verwendbarkeitsnachweis in Form einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) oder einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erforderlich. Die Ausnahme bilden hierbei PV-Module mit Glasdeckflächen bei einer Modulfläche $\leq 2 \text{ m}^2$ (zukünftig $\leq 3 \text{ m}^2$) im Aufdachbereich sowie PV-Module ohne Glasdeckflächen im Aufdachbereich (siehe Abb. 5). Es bietet sich an, für PV-Module einen Kombinationsbescheid (abZ/abG) beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) zu erwirken, um nicht nur die Produktebene, sondern auch die Anwendung zu regeln.

Das Zulassungsverfahren für PV-Module ist ein Prozess der in enger Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller, einer dafür anerkannten PÜZ-Stelle und dem DIBt erfolgt. Für alle verwendete Einzelprodukte sind Datenblätter sowie Produktprüfungen vorzulegen.

Lfd. Nr.	Bauprodukt	Maßgebende Harmonisierungsrechtsvorschriften	a: Konkreter Verwendungszweck b: Gemäß MBO ¹ bestehende Grundanforderung, ggf. mit Konkretisierung c: Fehlendes Wesentliches Merkmal d: Verfahren zum Nachweis des fehlenden Wesentlichen Merkmals
B 3.2.1.25	Photovoltaische Module mit mechanisch gehaltenen Glasdeckflächen mit einer maximalen Einzelmodulfläche bis 2,0 m ² für die Verwendung: - im Dachbereich mit einem Neigungswinkel < 75° ⁴⁵ - bei gebäudeunabhängigen Solaranlagen im öffentlich unzugänglichen Bereich	2014/35/EU	a: Stromerzeugung für Gebäude b: Brandschutz c: Brandverhalten der Bauteile, wenn schwerentflammbar oder nichtbrennbar gefordert
B 3.2.1.26	Photovoltaische Module ohne Glasdeckflächen für die Verwendung im Dachbereich	2014/35/EU	a: Stromerzeugung für Gebäude b: Brandschutz c: Brandverhalten der Bauteile, wenn schwerentflammbar oder nichtbrennbar gefordert
B 3.2.1.27	Photovoltaische Module abweichend von B 3.2.1.25 oder B 3.2.1.26	2014/35/EU	a: Stromerzeugung für Gebäude b.1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit b.2: Brandschutz c.1: Je nach Einbausituation sind die Bestimmungen von A 1.2.7 zu erfüllen c.2: Brandverhalten der Bauteile, wenn schwerentflammbar oder nichtbrennbar gefordert

5 Hinweis: Bei Verwendung über Verkehrsflächen, die durch herabfallende Glasteile gefährdet werden können (Überkopfverglasung), sind die Bestimmungen von Abschnitt A 1.2.7 zu beachten.

Abbildung 5: Auszug MVV TB 2023/1

4.2 Glas/Glas-PV-Module im Überkopfbereich

Im Überkopfbereich ist in Deutschland generell die Verwendung von Verbundsicherheitsglas (VSG) aus teilvorgespanntem Glas (TVG) erforderlich. Glas/Glas-PV-Module aus zwei monolithischen Einzelscheiben aus TVG mit Zwischenfolien (z.B. EVA-Folien oder POE-Folien) und eingebetteten PV-Zellen gelten aufgrund der eingelegten Solarzellen ohne entsprechende Produktnachweise nicht als Verbundsicherheitsglas (VSG). Es sind Nachweise gemäß DIN EN 14449 zu erbringen.

Darüber hinaus ist u.a. das Bruchbild des Glases und das Haftverhalten der Folie auf den Glasbauteilen zu untersuchen.

Um bei einem etwaigen Glasbruch das Risiko des Herunterfallens zu minimieren, sind PV-Module hinsichtlich ihrer Resttragfähigkeit zu untersuchen. Der Nachweis erfolgt experimentell wie bereits zuvor beschrieben nach DIN 18008-1 an den Originalmodulen mit Originalkonstruktion.



Abbildung 4: Resttragfähigkeitsversuch an einem PV-Modul

Literatur

- [1] Brandau, K.; Ensslen, F.; Hemmerle, C.; et al. Technische Baubestimmungen für PV-Module als Bauprodukte und zur Verwendung in Bauarten – Bauordnungsrechtliche Vorgaben zu Produkt- und Anwendungsregeln, Berlin, Allianz Bauwerkintegrierte Photovoltaik e.V., 2023
- [2] Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Ausgabe 2023/1
- [3] DIBt Das deutsche Regelungssystem für Bauprodukte und Bauarten, Berlin 10. August 2023
- [4] DIN 18008 Teile 1-6 – „Glas im Bauwesen“ Bemessungs- und Konstruktionsregeln