

Tech-News Nr. 2009/5 Folge 3 Fachgebiet: Glasbau

Dr.-Ing.
Markus Hauer
Prüfingenieur für Baustatik VPI
Rastatter Str. 25
76199 Karlsruhe

Linienförmig gelagerte tragende Glasbrüstung und begehbare Glas

1. Allgemeines

Glasbrüstungen und begehbare Verglasungen zählen bei Einhaltung der in den Technischen Richtlinien des DIBt zusammengefassten Randbedingungen zu den geregelten Bauarten. Eine Zustimmung im Einzelfall ist nur dann erforderlich, wenn sie von den technischen Regeln wesentlich abweichen. Die maßgebenden Richtlinien sind:

- für absturzsichernde Verglasungen die TRAV (Fassung Januar 2003)
- für begehbare Verglasungen die TRLV (Schlussfassung August 2006)

In der Regel sind die statischen Nachweise für Punkt- und Flächenlasten zu führen. Für einige Regelausführungen liegen von den Glasherstellern Typenstatiken vor.

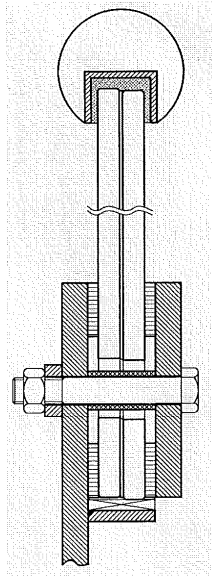
Der Geltungsbereich der TRLV und der TRAV wurde in den bisher erschienenen Tech-News zum Thema Glasbau bereits behandelt. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die besonderen Regelungen für absturzsichernde Verglasungen mit linienförmiger Lagerung über Klemmkonstruktionen am unteren Rand sowie für begehbare Verglasungen.

2. Linienförmig gelagerte tragende Glasbrüstung

2.1 Vorgaben für absturzsichernde Verglasungen Kategorie B gemäß TRAV

Als absturzsichernde Verglasungen Kategorie B werden tragende Glasbrüstungen mit durchgehendem Handlauf bezeichnet, die an ihrem unteren Rand in einer Klemmkonstruktion linienförmig gelagert sind. Neben dem Schutz der oberen Glaskante muss der Handlauf die sichere Übertragung der Holmlasten auch beim Ausfall eines Glasfeldes gewährleisten.

Im Geltungsbereich der TRAV ist zum Schutz der Verkehrsflächen vor Glassplittern (Splitterbindung durch die PVB-Folie) die Verwendung von VSG vorgeschrieben. Für die Herstellung des VSG dürfen alle auch in der TRLV zugelassenen Glaserzeugnisse verwendet werden. Das Dickenverhältnis der Glastafeln darf den Faktor 1,5 nicht überschreiten. Sind Bohrungen in der Verglasung z.B. für die Klemmkonstruktion vorgesehen, ist die Verwendung auf VSG aus ESG oder VSG aus TVG beschränkt.



Schematische Darstellung,
nicht maßstäblich

Konstruktionsmerkmale Handlauf:

- Tragendes U-Profil mit beliebigem nichttragenden Aufsatz oder tragender metallischer Handlauf mit integriertem U-Profil
- Verhinderung von Glas-Metall-Kontakt durch in das U-Profil eingelegte druckfeste Elastomerstreifen (Abstand ca. 200 bis 300 mm)
- Verbindung des Handlaufs mit den Scheiben durch Verfüllung des verbleibenden Hohlraums im U-Profil mit Dichtstoffen nach DIN 18 545-2 Gruppe E
- Glaseinstand im U-Profil ≥ 15 mm

Konstruktionsmerkmale Einspannung:

- Einspannhöhe ≥ 100 mm
- Klemmblech aus Stahl (Dicke ≥ 12 mm)
- Verschraubungsabstand ≤ 300 mm
- Klotzung am unteren Ende der Scheiben
- Kunststoffhülse über Verschraubung
- Glasbohrungen mittig zum Klemmblech ($25\text{mm} \leq d \leq 35$ mm)
- In Längsrichtung durchgehende Zwischenlagen aus druckfestem Elastomer
- Die Klemmung der Scheiben darf auch über hinreichend steife andere Haltekonstruktionen realisiert werden

Bild 1 Konstruktive Vorgaben für von Versuchen freigestellte Brüstungen der Kategorie B
(Abbildung aus: TRAV, Anhang B, Seite 11)

Freie Glaskanten müssen durch die Geländerkonstruktion oder angrenzende Scheiben vor unbeabsichtigten Stößen geschützt sein. Ein ausreichender Kantenschutz ist gegeben, wenn zwischen benachbarten Scheiben oder angrenzenden Bauteilen ein Abstand von 30 mm nicht überschritten wird.

Falls im Einzelfall auf einen Kantenschutz verzichtet wird, so ist im statischen Nachweis von einem Totalausfall des betreffenden Brüstungselementes auszugehen und nachzuweisen, dass der durchgehende Handlauf in der Lage ist, die Holmlast auf Nachbarelemente, Endpfosten oder Gebäudeverankerungen allein zu übertragen. Bei ausreichendem Kantenschutz darf für den Nachweis davon ausgegangen werden, dass nur die der Verkehrsfläche zugewandte VSG-Schicht stoßbedingt ausfällt. Für den Nachweis der beschädigten Brüstungskonstruktion darf für die Verglasung der 1,5 fache Wert der zulässigen Biegezugspannungen angesetzt werden.

Für den Spannungsnachweis sind ggf. vorhandene Windlasten mit den Holmlasten zu überlagern. Es ist jeweils der ungünstigere Bemessungsfall aus $w + h/2$ oder $h + w/2$ anzusetzen.

Die unter statischer Last auftretenden Verformungen sind so zu begrenzen, dass die Gebrauchstauglichkeit der absturzsichernden Verglasung gewährleistet ist.

Der Nachweis der Tragfähigkeit unter stoßartiger Einwirkung kann alternativ geführt werden als:

- Experimenteller Nachweis (Pendelschlagversuch)
- Verwendung von Verglasungen mit nachgewiesener Stoßsicherheit
- Rechnerischer Nachweis mit Spannungstabellen

Für Geländerkonstruktionen der Kategorie B mit einer Breite von 500 bis 2000 mm, einer Höhe von 900 bis 1100 mm und VSG-Tafeln aus

- 10 mm ESG/1,52 mm PVB/10 mm ESG bzw.
- 10 mm TVG/1,52 mm PVB/10 mm TVG

ist der Nachweis der Stoßsicherheit gemäß Tab. 4 der TRAV gegeben. Aus der Regelbemessung der Verglasung können sich jedoch größere Glasdicken ergeben. Zu Einschränkungen für die Anwendung der Tabelle 4 siehe Punkt 6.3.4 der TRAV.

2.2 Rechenbeispiel für eine absturzsichernde Verglasungen Kategorie B gemäß TRAV

Es ist der Nachweis für eine Glasbrüstung in öffentlichen Gebäuden zu erbringen. Die Brüstung befindet sich im Innenraum. Es sind keine Windlasten zu berücksichtigen. Die Scheiben sind am unteren Rand über Klemmleisten gelagert. Die Verglasung wird durch Elastomerlager (EPDM) gegen direkten Kontakt mit dem Stahl getrennt. Die Fugen zwischen den Einzelscheiben betragen 20 mm.

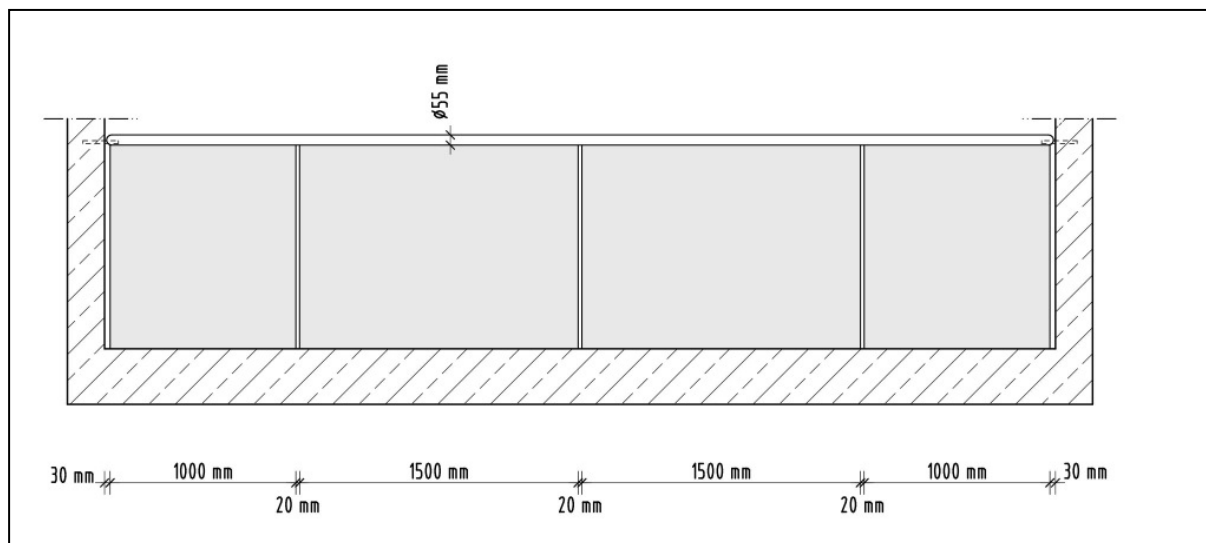


Bild 2 Ansicht Glasbrüstung

Die Regelabmessungen der Verglasungsfelder betragen 1500 mm x 1100 mm. Die Endfelder haben eine verminderte Breite von 1000 mm. Als Material wird ein VSG aus 2 x 12 mm TVG mit einer 1,52 mm PVB-Folie in der Zwischenschicht verwendet. Die Gesamtlänge der Brüstung beträgt 5,0 m. Die Einbauhöhe beträgt 5,0 m über Verkehrsflächen. Ein ausreichender Splitterschutz ist durch die Verwendung von VSG gegeben.

Der Glaseinstand im Klemmprofil beträgt 100 mm. Die Ausführung der Klemmleiste erfolgt in Anlehnung an die konstruktiven Vorgaben gemäß Anhang B, TRAV.

Als Handlauf wird ein Rundstab aus Buche $\varnothing 55$ mm verwendet. Der Handlauf ist über eine Nut auf den Verglasungsfeldern aufgesteckt und dauerhaft mit Dichtstoffen nach DIN 18545-2, Gruppe E mit der Verglasung verbunden. Der Anschluss des Handlaufes an den seitlichen Rändern der Brüstung erfolgt am Gebäude.

Materialkennwerte:

$E = 70\,000 \text{ N/mm}^2$, $\mu = 0,23$, $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, $\sigma_{\text{zul. TVG}} = 29 \text{ N/mm}^2$

Einwirkungen:

Die Einwirkungen werden gemäß DIN 1055 ermittelt.

Eigengewicht:	Glas	$g = 2 * 0,012 * 25 * 1,10 = 0,60 \text{ kN/m}$
	Handlauf Buche $\varnothing 55$ mm	$g = \pi/4 * 0,055^2 * 6 = 0,02 \text{ kN/m}$
	Klemmprofil Stahl	$g = 2 * 0,012 * 0,15 * 78,5 = 0,28 \text{ kN/m}$

Holmlast: $p = 1 \text{ kN/m}$

Die Brüstung befindet sich im Innenbereich. Es ist keine Lastfallkombinationen z.B. mit Windlasten erforderlich.

Bemessung:

Beim VSG darf kein Schubverbund angesetzt werden. Die Belastung muss deshalb entsprechend den Biegesteifigkeiten der Einzelscheiben verteilt werden. Im vorliegenden Fall mit gleicher Scheibendicke erhält jede Scheibe 50 %. Wenn Scheiben unterschiedliche Dicken vorliegen, kann der Anteil pro Scheibe wie folgt ermittelt werden:

$$\mu_i = d_i^3 / \sum d_i^3 = 12^3 / 2 * 12^3 = 0,50$$

Bei der Ermittlung der Durchbiegung kann mit der Ersatzdicke nach folgender Formel gerechnet werden:

$$d^* = (\sum d_i^3)^{0,333} = (2 * 12^3)^{0,333} = 15,1 \text{ mm}$$

Widerstandsmoment der Einzelscheibe: $W = 100 * 1,2^2 / 6 = 24,0 \text{ cm}^3$

Biegemoment: $M = 1,0 \text{ kN/m} * 1,10 \text{ m} = 1,10 \text{ kNm/m}$

Biegezugspannung $\sigma = 0,5 * 1,10 * 1000 / 24,0 = 22,9 \text{ N/mm}^2 \leq 29,0 \text{ N/mm}^2$

Die Durchbiegungen bei voller Holmlast beträgt:

$$I = 100 * 1,51^3 / 12 = 28,7 \text{ cm}^4$$

$$f = (15,9 * 3) * 1,10 * 1,10^2 / 28,7 = 2,20 \text{ cm}$$

Die Gebrauchstauglichkeit der Verglasung ist auch unter der maximalen Durchbiegung gewährleistet. Randbedingungen oder Zwängungen, die bei Verformungen zu unzulässigen Spannungsspitzen in der Verglasung führen könnten, sind in der Ausführungs- und Detailplanung zu vermeiden.

Nachweis der Stoßsicherheit:

Der Nachweis der Stoßsicherheit erfolgt durch Verwendung eines Glasaufbaus mit nachgewiesener Stoßsicherheit gemäß Tab. 4 TRAV:

$$12 \text{ mm TVG/ 1,52 mm PVB/ 12 mm TVG} > 10 \text{ mm TVG/ 1,52 mm PVB/ 10 mm TVG}$$

Die Randbedingungen für die Anwendung der Tabelle 4 werden eingehalten.

Nachweis durchgehender Handlauf bei Elementversagen in Feldmitte:

Querschnittswerte Handlauf: $W = 13,73 \text{ cm}^3$ Rundstab $\varnothing 55 \text{ mm}$, Nut 25/25 mm
Laubholz Buche: $\text{zul } \sigma = 1,25 * 11 = 13,75 \text{ N/mm}^2$ (außergewöhnliche Einw.)

Biegezugspannung (Randeinspannung 50 %):

$$\sigma = (1,0 * 1,5^2 * 1000) / 12 / 13,73 = 13,66 \text{ N/mm}^2 \leq 13,7 \text{ N/mm}^2$$

Auflagerkräfte: $A = 1,0 * 1,5/2 = 0,75 \text{ kN}$

Nachweis Nachbarerlement mit Auflagerkraft aus dem Handlauf:

Minimale Elementbreite $b = 1,00 \text{ m}$

Biegezugspannung in Folge der Auflagerkraft aus dem Handlauf:

$$\Delta\sigma = 0,75/2 * 1,10 * 1000 / 24,0 = 17,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma \sigma = 22,9 + 17,2 = 40,1 \text{ N/mm}^2 \leq 1,5 * 29,0 = 43,5 \text{ N/mm}^2$$

3. Begehbare Verglasungen

3.1 Vorgaben für begehbare Verglasung gemäß TRLV

Die technischen Regeln gelten für begehbare Verglasungen mit allseitiger, durchgehend linienförmiger Lagerung zur Verwendung als Treppenstufe sowie als Podestelemente. Die Verkehrslasten sind gemäß TRLV auf maximal 5 kN/m² beschränkt. Die nachzuweisenden Einzel- und Flächenlasten sind der TRLV zu entnehmen. Begehbare Verglasungen mit zweiseitig linienförmiger oder mit punktförmiger Lagerung sind in der TRLV nicht geregelt. Es darf aufgrund der Nutzungsbedingungen keine erhöhte Stoßgefahr vorliegen.

Für begehbare Verglasungen ist die Verwendung von VSG mit mindestens drei Schichten vorgeschrieben. Die oberste Scheibe muss 10 mm dick sein und aus ESG oder TVG bestehen. Die beiden unteren Scheiben müssen eine gleiche Dicke von mindestens 12 mm aufweisen und aus SPG, TVG oder ESG bestehen. Die maximale Seitenlänge im Geltungsbereich der TRLV beträgt 1500 mm und die maximale Breite 400 mm. Die PVB-Folie je Zwischenschicht muss $\geq 1,52$ mm betragen. Bohrungen oder Ausnehmungen sind nicht zulässig.

Der statische Nachweis ist unter der Annahme zu führen, dass die oberste Scheibe nicht mitträgt. Ein günstig wirkender Schubverbund zwischen den Scheiben darf nicht berücksichtigt werden.

Die oberste Scheibe begehbarer Verglasungen ist stets mit einer rutschhemmenden Oberfläche zu versehen. Die erforderliche Oberflächenrauigkeit kann mit den folgenden Verfahren hergestellt werden:

- Aufrauen mittels Sandstrahlen
- Ätzen mittels einer Säure
- Siebdruck mit einem rutschhemmenden Email

Die Einstufung der Rutschhemmung erfolgt gemäß DIN 51130 / BGR (Berufsgenossenschaftliche Regel) 181 in Rutschhemmungsklassen R 9 bis R 13. Es ist zu beachten, dass angrenzende Oberflächen die gleiche Rutschhemmungsklasse aufweisen sollten, um ein „Stolpern“ von Passanten zu vermeiden.

Der Anwendungsbereich der TRLV für begehbare Verglasungen und damit die Zustimmungsfreistellung ist auf Grund der geringen zulässigen Glasbreite im Wesentlichen auf Treppenstufen mit vierseitigem Randprofil beschränkt. Für begehbare Podeste oder Abdeckungen mit maximalen Abmessungen von 1500 x 1500 mm und vierseitiger Lagerung sind jedoch vereinfachte Zustimmungsverfahren vorgesehen, die neben kürzeren Bearbeitungsfristen auch geringere Kosten beinhalten. Weitere Informationen hierzu finden sich auf der Internetseite der Landesstelle für Bautechnik: www.bautechnik-bw.de

Glaskonstruktionen, die nur zu Reinigungs- und Wartungszwecken betreten werden dürfen, sind nicht als begehbare Verglasungen zu behandeln. Dafür gelten die Anforderungen für betretbare Überkopfverglasungen der TRLV.

Werden brandschutztechnische Anforderungen gestellt, können in der Regel keine begehbaren Verglasungen ausgeführt werden.

3.2 Rechenbeispiel für eine allseitig linienförmig gelagerte begehbare Verglasung nach TRLV

Es ist der Nachweis für eine Treppe mit Glasstufen in öffentlichen Gebäuden zu erbringen. Die Abmessungen betragen 1500 mm x 400 mm. Der Regelaufbau ist gemäß TRLV von unten nach oben mit 12 mm SPG / 12 mm SPG / 10 mm TVG vorgegeben. Die Lagerung erfolgt vierseitig auf einem Stahlprofilrahmen.

Für den statischen Nachweis ist neben der Eigenlast eine Verkehrslast gemäß Kategorie T2, DIN 1055-3 von 5 kN/m² anzusetzen. Der Nachweis der örtlichen Mindesttragfähigkeit ist mit einer Einzellast in ungünstiger Laststellung von 2,0 kN zu führen.

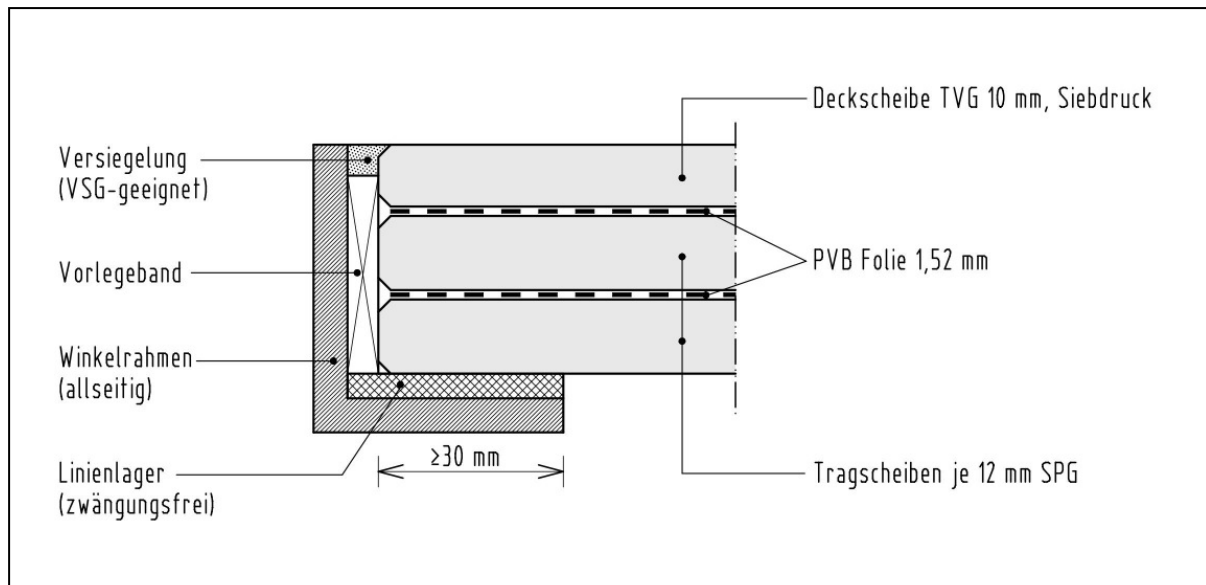


Bild 3 Treppenstufe gemäß TRLV

Materialkennwerte:

$$E = 70\,000 \text{ N/mm}^2, \mu = 0,23, \gamma = 25 \text{ kN/m}^3, \sigma_{\text{zul. SPG}} = 15 \text{ N/mm}^2$$

Einwirkungen:

Die Einwirkungen werden gemäß DIN 1055 ermittelt.

Eigengewicht: $g = (2 \cdot 0,012 + 0,01) \cdot 25 = 0,85 \text{ kN/m}^2$

Verkehrslast: $q_k = 5 \text{ kN/m}^2, Q_k = 2 \text{ kN}$

Die Treppenanlage befindet sich im Innenbereich. Es ist keine Lastfallkombinationen z.B. mit Schneelasten erforderlich.

Bemessung:

Auf Grund der vierseitigen Lagerung und der Spannungs- und Durchbiegungsbeschränkung für den Stahlrahmen erfolgt der Lastabtrag der Verglasung nahezu ausschließlich über die kurze Spannweite von 400 mm. Für die Bemessung wird der Nachweis der örtlichen Mindesttragfähigkeit maßgebend. Der Nachweis der gleichmäßig verteilten Verkehrslast führt zu wesentlich geringeren Beanspruchungen im Glas und braucht nicht berücksichtigt werden. Die Aufstandsfläche der Einzellast beträgt gemäß TRLV 10 x 10 cm. Die mitwirkende Breite wird wie folgt ermittelt:

$$\begin{aligned}b_{\text{eff}} &= t + 2,5 * x (1 - x/l) \\ &= 0,10 + 2,5 * 0,2 * (1 - 0,2/0,4) \\ &= 0,35 \text{ m}\end{aligned}$$

Biegemoment aus Eigenlasten: $M_g = 0,85 \text{ kN/m}^2 * 0,35 \text{ m} * 0,40^2 / 8 = 0,01 \text{ kNm}$
Biegemoment aus Verkehrslasten: $M_q = 2,0 \text{ kN} * 0,40 \text{ m} / 4 = 0,20 \text{ kNm}$

Die oberste Scheibe dient als Verschleißschicht und ist für die statische Bemessung nicht zu berücksichtigen. Für die Spannungsberechnung darf ein günstig wirkender Schubverbund nicht angesetzt werden. Die Belastungen werden entsprechend den Biegesteifigkeiten der Einzelscheiben zu je 50 % verteilt.

Widerstandsmoment des maßgebenden Plattenstreifens der Einzelscheibe:

$$W = 35 * 1,2^2 / 6 = 8,4 \text{ cm}^3$$

Biegezugspannung $\sigma = 0,5 * 0,21 * 1000 / 8,4 = 12,5 \text{ N/mm}^2 \leq 15,0 \text{ N/mm}^2$

Die Gebrauchstauglichkeit der Verglasung ist durch eine Glaseinstandtiefe auf dem Stahlrahmen von mindestens 30 mm zu gewährleisten. Die Kanten der Verglasung müssen geschützt sein. Die Verglasung ist in Scheibenebene durch geeignete Materialien zwängungsfrei in ihrer Lage zu sichern.

Der Nachweis der Stahlprofile wird nicht weiter verfolgt.

Glossar:

ESG	Einscheiben-Sicherheitsglas
ESG-H	Einscheiben-Sicherheitsglas mit Heißlagerung
LfB	Landesstelle für Bautechnik
PVB	Zwischenfolie in VSG aus Polyvinyl-Butyral
SPG	Spiegelglas
TRAV	Technische Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen
TRLV	Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen
TVG	teilverglastes Glas
VSG	Verbund-Sicherheitsglas
ZiE	Zustimmung im Einzelfall