

# Tech-News Nr. 2009/5 Folge 1 Fachgebiet: Glasbau

Dipl.-Ing.  
Jürgen Lorch  
Nebelhornstrasse 78  
71083 Herrenberg

## Linienförmig gelagerte Verglasungen

### 1. Allgemeines

Es darf die Frage gestellt werden, warum eine Tech-News für das Fachgebiet Glasbau als erforderlich erachtet wird, obwohl der Glasbau ein Nischendasein führt. Sogar die Normenverfasser haben den Glasbau vom Bazillus des probabilistischen Wahnsinns verschont. Man rechnet immer noch mit den zul. Biegespannungen oder um auf dem Niveau des semi-probabilistischen Teilsicherheitskonzept zu bleiben, man rechnet nach dem deterministischen Sicherheitskonzept.

In letzter Zeit muss festgestellt werden, dass bei der Schlussüberwachung durch den Prüfenieur oder durch die Baurechtsbehörde oftmals die Standsicherheitsnachweise für absturzsichernde Verglasungen, für Überkopfverglasungen und für begehbare Verglasungen nachgefordert werden. Der Trend geht eindeutig zu immer aufwändigeren Konstruktionen, die oftmals den so genannten „*Siemens Lufthaken*“ benötigen.

Der Tragwerksplaner wird häufig in die Planung dieser Konstruktionen nicht mit einbezogen. Das Leistungsverzeichnis wird ohne ihn vom Architekten erstellt. Das Kind ist in den Brunnen gefallen und der Tragwerksplaner wird nachträglich aufgefordert die Konstruktion im wahrsten Sinn des Wortes hinzurechnen, nur weil es versäumt wurde, eindeutig eine statische Berechnung zu beauftragen oder einen Ausschluss dieser Sonderleistung vertraglich zu fixieren.

Der Autor vertritt die Auffassung, dass der Tragwerksplaner beim Glasbau mehr als beratender Ingenieur auftreten sollte. Er ist dem Architekten behilflich bei der Erstellung des Leistungsverzeichnisses für die Glasbauteile. Die Spezialisten der Lieferanten können die Nachweise kostengünstiger erstellen, weil die Dienstleistung Standsicherheitsnachweis nur einen geringen Bruchteil der Gesamtleistung darstellen.

Der Tragwerksplaner muss sich deshalb mit den Randbedingungen des Glasbaues beschäftigen, um eine sichere Beratung durchführen zu können. Der Standsicherheitsnachweis für eine Wendeltreppe mit Stahlwangen und einer absturzsichernden Verglasung unter Beachtung des Holmdrucks in Verbindung mit Trittstufen aus Glas ist eine Doktorarbeit und hinsichtlich des Honorars im oben angeführten Fall einer unverhofften Nachforderung ein Alptraum.

Die Landesbauordnung von Baden-Württemberg unterscheidet zwischen geregelten und nicht geregelten Bauprodukten und Bauarten. Sie gelten als nicht geregelt, wenn es für sie keine technischen Baubestimmungen oder allgemeine baurechtlichen Regeln der Technik gibt oder wenn sie von den technischen Baubestimmungen wesentlich abweichen. Wenn auch keine allgemeine bauaufsichtliche

Zulassung oder kein baurechtliches Prüfzeugnis vorliegt oder wenn wesentliche Abweichungen von der Zulassung oder dem Prüfzeugnis bestehen, so ist für die Verwendung dieser Bauprodukte oder Bauarten eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erforderlich. Dies ist leider im Glasbau oft der Fall.

Für diesen Fall haben Sie die Möglichkeit die Merkblätter der Landestelle für Bautechnik herunter zu laden. Diese 5 Merkblätter – Fachgebiet Glasbau - geben Ihnen einen Einblick in das ZiE – Verfahren. Die Internetseite lautet: [www.bautechnik-bw.de](http://www.bautechnik-bw.de)

Erfreulicher Weise gibt es Bereiche für die keine Nachweise erforderlich sind:

- Vertikalverglasungen, deren Oberkante nicht mehr als 4,0 m über einer Verkehrsfläche liegt, nicht heißgelagertes Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) darf in diesem Fall nur eingesetzt werden, wenn Personen nicht direkt unter die Verglasung treten können.
- Dachflächenfenster in Wohnungen und Räumen ähnlicher Nutzung mit einer Lichtfläche bis zu 1,6 m<sup>2</sup>
- Für Vertikalverglasungen bis zur einer Einbauhöhe von  $\leq 20$  m über Gelände ist kein Nachweis erforderlich, wenn die klimatischen Einwirkungen der Tabelle 1 der TRLV zutreffen und folgende Randbedingungen eingehalten werden:
  - a) SPG; TVG oder ESG
  - b) Fläche der Scheibe  $\leq 1,6$  m<sup>2</sup>
  - c) Scheibendicke  $\geq 4$  mm
  - d) Differenz der Scheibendicke  $\leq 4$  mm
  - e) Scheibenzwischenraum  $\leq 16$  mm
  - f) Windlast  $\leq 0,80$  kN/m<sup>2</sup>

Wir werden uns mit den Richtlinien TRLV, TRAV und TRPV befassen. Diese Richtlinien werden vom DIBt herausgegeben. Der Autor wird auch einige Berechnungsbeispiele einbinden, damit Sie den Aufwand besser einschätzen können. Die Tech-News wird voraussichtlich vier Teile aufweisen.

Wir wollen mit den Technischen Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen (TRLV Ausgabe 08/2006) beginnen. Die TRLV kann unter der oben angeführten Internetadresse herunter geladen werden.

## 2. Geltungsbereich

Die Technischen Regeln gelten für Verglasungen, die an mindestens zwei gegenüberliegenden Seiten durchgehend linienförmig gelagert sind. Scheibenränder gelten im Lastfall Sog nur dann als linienförmig gelagert, wenn die Verglasung durch Abdeckleisten gehalten ist.

Man unterscheidet zwischen Überkopf- und Vertikalverglasung, als Kriterium gilt die Neigung zur Vertikalen: Neigung  $> 10^\circ$  bedeutet Überkopfverglasung, Neigung  $\leq 10^\circ$  bedeutet Vertikalverglasung.

Ausnahme: wird die Vertikalverglasung nicht nur von kurzfristigen veränderlichen Einwirkungen wie z.B. Windeinwirkung belastet, so ist sie wie eine Überkopfverglasung zu berechnen. Dazu zählen Shedverglasungen, die häufig mit Schneeanhäufungen belastet werden.

Verglasungen, die planmäßig zur Aussteifung herangezogen werden, begehbare Verglasungen, die nicht dem Abschnitt 3.4 der TRLV entsprechen, gekrümmte Überkopfverglasungen und absturzsichernde Verglasungen werden durch die TRLV **nicht** geregelt. Eine Kombination aus punkt- und linienförmig gelagerten Verglasungen ist durch die TRLV nicht abgedeckt.

Zusätzlich zur TRLV sind eventuell besondere baurechtliche Anforderungen zu beachten:

- Angriffshemmende Verglasung nach DIN 52 290 Teile 1 bis 4
- Ballwurfsichernde Gläser nach DIN 18 032-3
- Heihscheiben
- Gebogenes Glas
- Brandschutzgläser
- Schallschutzgläser

### 3. Glasprodukte

Unter dem Sammelbegriff **Flachglas**, werden alle Gläser zusammengefasst, die in Form flacher Tafeln hergestellt werden, deren Dicke im Verhältnis zu Länge und Breite gering ist und deren Oberfläche sowohl glatt und planparallel ist. **Profilbauglas** ist nicht Gegenstand dieser Tech-News.

Es gibt zahlreiche Glaserzeugnisse wie Betongläser, Drahtglas, Fensterglas (früher Tafelglas), Floatglas, Glasbausteine und Gussglas. Im Bauwesen werden jedoch folgende Glasprodukte häufig eingesetzt:

**Floatglas** ist das häufigste Basisglas. Das Rohmaterial wird über die Schmelzwanne und über das Zinnbad in den Kühlbereich transportiert (Verfahren nach Pilkington) Durch dieses Herstellverfahren wird eine schlierenfreie und verzerrungsfreie planparallele Oberfläche erzeugt.

**Spiegelglas** (SPG) nach Bauregelliste A Teil 1 lfd. Nr. 11.1 und die Veredelungsprodukte, die aus Spiegelglas hergestellt werden. Die Technischen Regeln für Spiegelglas sind in den Normen DIN 1249-3:1980-02, DIN 1249-10:1990-08 und DIN 1249-11:1986-09 aufgeführt. Für dieses Produkt muss der Hersteller eine Übereinstimmungserklärung (ÜH) abgeben. Spiegelglas wird aus Floatglas hergestellt.

Gemäß TRLV und Bauregelliste A Teil 1 lfd. Nr. 11.4.1 kann **Einscheiben – Sicherheitsglas** (ESG) aus Spiegelglas oder Gussglas hergestellt werden. Die zugehörige Norm ist die DIN 1249-12:1990-09. Der Hersteller muss eine Übereinstimmungserklärung nach vorheriger Prüfung des Bauproduktes durch eine anerkannte Prüfstelle (ÜHP) abgeben. ESG-Scheiben sind im Bauwesen in der Regel thermisch vorgespannt.

Thermisch vorgespanntes ESG entsteht durch langsames Erhitzen der Glastafel und anschließendes rasches Abkühlen der Oberflächen. Aufgrund dieses Vorganges ergibt sich im Glas ein Eigenspannungszustand bei dem an den Oberflächen im Bereich von  $0,2 \cdot t$  ( $t$ = Glasdicke) Druckspannungen auftreten. Wird die Glasscheibe nun durch eine äußere Last senkrecht zur Scheibenebene beansprucht, muss erst die Druckspannung abgebaut werden bevor eine resultierende Zugspannung in diesem Bereich auftreten kann. Vorgespannte Gläser können also höhere Belastungen aufnehmen. Beim Bruch zerspringt die Scheibe in kleine würfelförmige Teile.

Heißgelagertes Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG-H) nach Bauregelliste A lfd. Nr. 11.13 einschließlich Anlage 11.11 wird für hinterlüfteten Außenwandbekleidungen nach DIN 18516 eingesetzt. In dieser Anlage werden die Anforderungen und die Herstellung definiert. Thermisch vorgespannte Gläser neigen infolge Nickel-Sulfid-Einschlüsse zu einem spontanen und lastunabhängigen Versagens. Der Heißlagerungstest soll im Vorfeld diese Schwachpunkte aussortieren. Das ESG wird beim Test einer 8-stündigen Lagerung bei 290° C unterzogen, die Scheiben müssen diesen Test schadlos überstehen.

Chemisch vorgespannte Gläser werden im Bauwesen nur selten eingesetzt. Bei mehrfach gebogenen Gläsern kommen sie zum Einsatz, weil diese nicht thermisch vorgespannt werden können.

Bei der Herstellung von **Teilvorgespannten Glas** (TVG) wird der Abkühlungsprozess ebenfalls gesteuert, d.h. die Abkühlung geht langsamer vonstatten als beim ESG. Das zul. Spannungsniveau liegt zwischen ESG und thermisch vorgespannten ESG. Das teilvorgespannte Glas wird in Deutschland durch eine bauaufsichtliche Zulassung geregelt.

**Verbundsicherheitsglas** (VSG) ist eine Glaseinheit aus mindestens zwei Flachgläsern und einer Zwischenfolie aus Polyvinyl-Butyral (PVB) nach Bauregelliste A Teil 1 lfd. Nr. 11.8 (DIN ISO 12543-2, -5, -6: 1998-08). Andere Gläser und Zwischenschichten sind möglich, müssen aber eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung haben. Beim Versagen haften die Bruchstücke an der Folie und durch den Folienverbund ist eine Resttragfähigkeit vorhanden. Die Foliendicke liegt im Bereich von 0,38 mm bis 2,28 mm. Absturzsichernde Verglasungen, Überkopferverglasungen und begehbare Verglasung werden ausschließlich mit Verbundsicherheitsglas hergestellt.

Bei **Verbundglas** (VG) aus Spiegelglas wird die 1 bis 4 mm Zwischenschicht aus Reaktionsharzen hergestellt. VG-Gläser eignen sich gut für Schallschutzfenster. Hier besteht die Zwischenschicht aus weichen Gießharzen, die Innen- und Außenscheibe weisen unterschiedliche Dicken auf und spezielle Gase im SZR unterstützen den Schallschutz.

Bei **Isoliergläsern** (Mehrscheibenglas – MIG) wird mindestens ein Scheibenzwischenraum (SZR, meist zwischen 8 – 16 mm) mit eingeschlossenem Gasvolumen angeordnet. Innere und äußere Scheiben können aus unterschiedlichen Gläsern bestehen. Bei Wärmeschutzglas ist mindestens eine Scheibenseite zum SZR mit reflektierenden Metallen beschichtet. Für die Bemessung sind Klimalasten zu beachten.

#### **4. Allgemeine Anwendungsbedingungen gemäß TRLV**

Für Spiegelglas, Gussglas und ESG ist ein Elastizitätsmodul von  $E = 70\,000 \text{ N/mm}^2$ , eine Querdehnungszahl von 0,23 und ein thermischer Längendehnungskoeffizient von  $9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$  anzunehmen.

Der Glaseinstand  $f$  der Scheiben wird nach DIN 18516-4 in Verbindung mit der TRLV festgelegt. Bei allseitiger linienförmiger Lagerung der Scheiben ist ein Glaseinstand  $\geq 10 \text{ mm}$  erforderlich. Andererseits sollte der Glaseinstand wegen Vermeidung von Temperaturzwängen nicht größer als 20 mm gewählt werden. Bei zwei- oder dreiseitiger Lagerung der Scheiben muss der Glaseinstand

mindestens 15 mm betragen oder  $f = d + l/500$ , wobei  $l$  die Stützweite in mm ist (Beispiel: Stützweite  $l = 1100$  mm, Scheibendicke  $d = 16$  mm,  $f = 16 + 1100/500 = 18,2$  mm  $> 15$  mm)

Die Durchbiegung der Auflagerprofile der Scheiben darf nicht mehr als  $l/200$  der Spannweite der Scheibe betragen, jedoch nicht mehr als 15 mm.

## **5. Besondere Anwendungsbedingungen bei Überkopfverglasungen gemäß TRLV**

Für Einfachverglasungen und für die untere Scheibe von Isolierverglasungen darf nur Drahtglas, oder VSG aus SPG, oder VSG aus teilvorgespannten Glas (TVG nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung) verwendet werden.

VSG- Scheiben oder TVG- Scheiben mit einer Spannweite  $> 1200$  mm sind allseitig zu lagern. Das Seitenverhältnis darf nicht größer als 3:1 sein.

Bei VSG- Scheiben als Einfachverglasung oder als untere Scheibe von Isolierverglasungen muss die Nenndicke der PVB- Folie mindestens 0,76 mm betragen. Bei allseitiger Lagerung der Scheibe und einer Spannweite von  $\leq 800$  mm darf die Foliendicke 0,38 mm betragen.

Für die Sogbelastung kann die linienförmige geforderte Abdeckleiste durch punktförmige Randklemmung ersetzt werden. Der Abstand der Halter muss  $\leq 300$  mm, die Klemmfläche  $\geq 1000$  mm<sup>2</sup> und die Glaseinstandstiefe  $f \geq 25$  mm betragen.

Die Auflagerung von zweiseitig gelagerten Verglasungen ist mit Dichtstoffen nach DIN 18545-2 Gruppe E auszuführen.

## **6. Besondere Anwendungsbedingungen bei Vertikalverglasungen gemäß TRLV**

Einfachverglasungen aus SPG, Ornamentglas oder VG müssen allseitig linienförmig gelagert werden. Die Verwendung von nicht heißgelagertem ESG ist nur in Einbausituationen unterhalb von vier Metern Einbauhöhe, in denen Personen nicht direkt unter die Verglasung treten können. In allen anderen Fällen ist ESG-H zu verwenden.

Bohrungen und Ausschnitte sind nur in vorgespannten Scheiben wie ESG, ESG-H und TVG zulässig, sie müssen aber bevor thermisch vorgespannt wird, ausgeführt werden.

## **7. Zusätzliche Regelungen für begehbare Verglasungen gemäß TRLV**

Begehbare Verglasung muss aus VSG mit mindestens drei Schichten bestehen. Die oberste Scheibe muss 10 mm dick sein und aus ESG oder TVG bestehen. Die beiden unteren Scheiben müssen mindestens 12 mm dick sein und aus SPG oder TVG bestehen. Die maximale Länge beträgt 1500 mm und die maximale Breite beträgt 400 mm. Eine allseitige linienförmige Lagerung wird vorausgesetzt. Die Dicke der PVB-Folie je Zwischenschicht muss  $\geq 1,52$  mm betragen.

Beim Nachweis darf die oberste Scheibe nicht angesetzt werden und ein günstig wirkender Schubverbund darf nicht angesetzt werden.

Die zulässigen Einzellasten pro Stufe sind der TRLV zu entnehmen.

## 8. Standsicherheitsnachweise und Durchbiegungsnachweise

Beim Standsicherheitsnachweis darf bei VSG- und VG- Einfachverglasungen ein günstig wirkender Schubverbund nicht angesetzt werden. Bei Vertikalverglasungen aus Isolierglas mit VSG oder VG ist aber beim Nachweis für veränderliche Einwirkungen zusätzlich der volle Schubverbund zu berücksichtigen.

Die zul. Biegezugspannungen in N/mm<sup>2</sup> sind in Tabelle 2 der TRLV geregelt, hier ein Auszug:

Glassorte	Überkopfverglasung	Vertikalverglasung
ESG aus SPG	50	50
SPG	12	18
VSG aus SPG	15 (25)	22,5

Die untere Scheibe einer Überkopfverglasung aus Isolierglas ist außer für den Fall der planmäßigen Einwirkungen auch für den Fall des Versagens der oberen Scheibe mit deren Belastung zu bemessen. Ein Durchbiegungsnachweis ist für diesen Fall nicht erforderlich.

Durchbiegungsbeschränkungen nach Tabelle 3 der TRLV:

Lagerung	Überkopfverglasung	Vertikalverglasung
Vierseitig	1/100 der Scheibenstützweite in Haupttragrichtung	Keine Anforderung, Herstellerrichtlinien beachten
2-oder 3-seitig	Einfachverglasung : 1/100 der Scheibenstützweite in Haupttragrichtung	1/100 der freien Kante *)
2-oder 3-seitig	Isolierverglasung: 1/200 der freien Kante	1/100 der freien Kante, Herstellerrichtlinien beachten

\*) Auf die Einhaltung dieser Begrenzung kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass unter Last ein Glaseinstand von 5 mm nicht unterschritten wird.

## 9. Rechenbeispiel für eine linienförmig gelagerte Überkopfverglasung nach TRLV

Es ist der Nachweis für eine Hofüberdachung zu erbringen. Die Stahlunterkonstruktion ist nicht Gegenstand der Berechnung, sie erfüllt aber die Durchbiegungsbeschränkung der TRLV (1/200 der gelagerten Scheibenkante bzw.  $\leq 15$  mm). Die Scheiben sind vierseitig gelagert, für den Lastfall Sog liegt eine zweiseitige Lagerung vor, weil nur an den Längsseiten der Einzelscheiben Klemmleisten vorhanden sind. Die Verglasung wird durch ein Elastomerlager (EPDM) gegen direkten Kontakt mit dem Stahl getrennt. Die Fugen zwischen den Einzelscheiben betragen 10 mm und werden mit Silikon abgedichtet.

Die Scheibenabmessungen betragen im Grundriss 2150 mm x 1050 mm. Als Material wird ein Verbundsicherheitsglas (VSG) aus 2 x 8 mm TVG mit einer 0,76 mm PVB-Folie in der Zwischenschicht. Die Gesamtabmessung der Überdachung beträgt 64,5 x 6,30 m. Die Einbauhöhe beträgt 5,0 m und die Überdachung liegt zwischen zwei Gebäuden, die die Überdachung um 5,0 m überragen. Die Dachneigung beträgt ca. 4 ° und wird bei der Bemessung vernachlässigt.

Der Glaseinstand beträgt 10 mm. Die Abweichungen zwischen Glasabmessung und tatsächlicher Spannweite ist im Glasbau gering. Es wird deshalb für die Bemessung mit den Glasabmessungen gerechnet.

#### Materialkennwerte:

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

#### Einwirkungen:

Die Einwirkungen werden gemäß DIN 1055 ermittelt, die Überlagerung wird mit den entsprechenden Kombinationswerten der DIN 1055-100 (Beiwerte  $\psi_0$  der Tabelle A2) ohne Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten vorgenommen. Siehe auch hierzu MLTB 2008-2 1.1/4 (3)

Eigengewicht:  $g = 2 \cdot 0,008 \cdot 25 = 0,40\text{ kN/m}^2$

Windlast: Geländekategorie III, Binnenland, Windzone 1

$q_{\text{ref}} = 0,32\text{ kN/m}^2$ ,  $q(\text{ze}) = 1,50 \cdot 0,32 = 0,48\text{ kN/m}^2$

Aus Vereinfachungsgründen wird im Rahmen dieser Berechnung nur die Flächen H (innen liegende Scheiben) betrachtet. Selbstverständlich müssen in der Praxis alle Teilbereiche (Randbereiche) überprüft werden. Das Dach ist an zwei Seiten offen, es wird näherungsweise auf der sicheren Seite liegend ein freistehendes Dach angenommen. Der resultierende Winddruck wird zu  $w_D = (0,7 + 0,3) \cdot 0,48 = 1,0 \cdot 0,48 = 0,48\text{ kN/m}^2$  angenommen, der Windsog  $w_S = -0,7 \cdot 0,48 = -0,34\text{ kN/m}^2$ .

Schneelast: Schneelastzone 1, Geländehöhe 500 m NN,

$s_k = 0,96\text{ kN/m}^2$ ,  $s_1 = 0,80 \cdot 0,96 = 0,76\text{ kN/m}^2$

Der Formbeiwert  $\mu_1 = 0,80$  ist eigentlich nur gültig für ausreichend wärme gedämmte Dachkonstruktionen mit üblicher Dacheindeckung gültig. Soweit im Einzelfall keine zusätzlichen Erkenntnisse vorliegen, kann man diese m.E. auch für Glaskonstruktionen anwenden. Dies ist im Vorfeld auf jeden Fall mit dem Prüfenieur abzustimmen. Es wird deshalb auf der sicheren Seite liegend mit dem Wert  $0,96\text{ kN/m}^2$  weitergerechnet.

Auch hier gilt, dass in den Randbereichen durch die Höhensprünge Schneeanhäufungen auftreten können, da aber nur die Innenbereiche aus Vereinfachungsgründen nachgewiesen werden, wird dies nicht weiter verfolgt.

Mannlast:

Das Dach wird zu Reinigungszwecken betreten. Es wird eine Mannlast von 1,5 kN mit einer Verteilungsfläche von 0,10 x 0,10 m in Feldmitte angesetzt. Es wird für diesen Lastfall kein Schnee und Wind gleichzeitig wirkend angenommen, siehe hierzu DIN 4426 Abschnitt 4.1 (Einrichtung zur Instandsetzung baulicher Anlagen). Auch dies sollte im Vorfeld mit dem Prüfenieur abgestimmt werden.

Für die Erfüllung weiterer Anforderungen an bedingt begehbare Verglasungen hinsichtlich Stoßsicherheit und Resttragfähigkeit muss mit dem Hersteller der Verglasung abgeklärt werden, ob die entsprechende Bauteilversuche nachgewiesen wurde. Es wird angeraten, diesen Umstand in das Leistungsverzeichnis aufzunehmen.

Lastfallkombinationen, charakteristische Werte

$$\text{LF1: } 0,40 + 0,96 + 0,60 * 0,48 = 1,65 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LF2: } 0,40 + 0,50 * 0,96 + 0,48 = 1,36 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LF3: } 1,50 \text{ kN und } g = 0,40 \text{ kN/m}^2$$

Es werden LF1 und LF3 nachgewiesen. Der Nachweis für die abhebenden Sogkräfte erübrigt sich, die Klemmleisten werden konstruktiv angeordnet.

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 mehr als zwei Scheiben und unterschiedliche Dicken vorliegen, was häufig bei Trittstufen aus Glas vorkommt, kann der Anteil pro Scheibe wie folgt ermittelt werden:

$$\mu_i = d_i^3 / \sum d_i^3 = 8^3 / 2 * 8^3 = 0,50$$

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

$$d^* = (\sum d_i^3)^{0,333} = (2 * 8^3)^{0,333} = 10,1 \text{ mm}$$

$$\text{Widerstandsmoment : } W = 1 * 0,008^2 / 6 = 1,067 * 10^{-5} = \text{m}^3 / \text{m}$$

Die Biegemomente können mit einschlägigen Tafelwerken oder mit einer FEM-Berechnung ermittelt werden.

$$\text{LF1 : } m = 0,197 \text{ kNm/m}$$

$$\text{LF3 : } m = 0,48 + 0,048 \text{ ( Blocklast + Eigengewicht) } = 0,528 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Biegezugspannung } \sigma = 0,5 * 0,528 * 1000 / 1,067 * 10^{-5} = 24,7 \text{ N/mm}^2 \leq 29,0 \text{ N/mm}^2$$

Die Durchbiegungen wurden mit einer FEM-Berechnung ermittelt:

LF1:  $f = 3,1 \text{ mm}$

LF3:  $f = 5,1 + 0,9 = 6,0 \text{ mm} \leq 1050/100 = 10,9 \text{ mm}$

Fortsetzung Teil 2: Vertikalverglasung aus Isolierglas gemäß TRLV