

Auf den Punkt gebracht

Albrecht Burmeister

Eine Tendenz in der Architektur der letzten Jahre ist, mehr Transparenz wahrzunehmen. Atrien und Glasfassaden sind Zeichen dieser Entwicklung. Außer Glas sollen dabei am besten keine anderen Materialien sichtbar sein. Ist das nicht möglich, werden minimalisierte Stützkonstruktionen bevorzugt. In diesem Zusammenhang wird Glas zunehmend auch als lastabtragende Strukturkomponente eingesetzt. Im Extremfall entstehen so Ganzglaskonstruktionen. Dieser Trend führt dazu, dem Glas eine Haupttragwirkung als Scheibe bzw. Membran zuzuweisen. Oft werden die Glasscheiben nur noch an Punkten gestützt, wodurch örtlich sehr hohe Spannungen im Glas entstehen.

Diese „Punktstützung“ bedeutet häufig eine Stützung bzw. Lastausleitung über den Rand einer Glasbohrung hinaus. Dieser Aspekt – zusammen mit den besonderen Eigenschaften von Glas – erfordert eine höhere Aufmerksamkeit bei der Konstruktion, den Nachweisen, in der Fertigung und bei der Montage. Auch in baurechtlicher Hinsicht sind besondere Bestimmungen zu beachten.

Glas, als extrem spröder Werkstoff, verliert beim Erreichen von Grenzspannungen seine Tragfähigkeit. Im Gegensatz zu dehn- oder formbaren Werkstoffen wie Stahl oder Stahlbeton können Glassysteme selten „umlagern“. Anders ausgedrückt: Es kommt auf die genaue Höhe der Spannungen an. Diese Eigenschaft trifft nun bei Punktstützungen mit hohen Spannungskonzentrationen zusammen, die dann in der Regel maßgebend für die

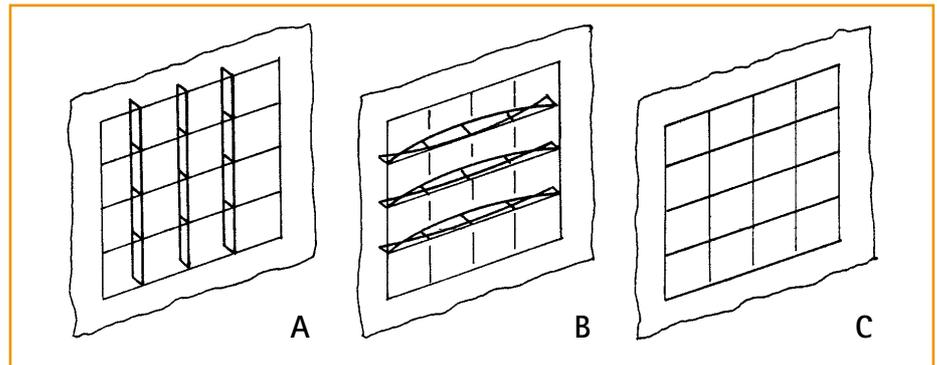


Bild 1: Möglichkeiten der seitlichen Aussteifung: Längsstreifen/„Schwerter“ (A), Hinterspannungen (B), vorgespanntes Seilsystem (C)

Dimensionierung werden. Mit thermisch vorgespanntem ESG bzw. TVG mit geringerem Vorspanngrad, liegen vergütete Gläser mit höheren Biegefestigkeiten vor, im Gegensatz zu reinem Floatglas (Amstock 1997). Dazu kommt, daß der lokale Spannungszustand an den Stützungen positiv beeinflusst wird. Die Ermittlung des lokalen Vorspannzustands im Lochbereich ist Gegenstand der aktuellen Forschung. Aus dieser Situation heraus erwachsen einige Hauptforderungen an Glassysteme und ihren Tragfähigkeitsnachweis:

- Spannungskonzentrationen sind so gering wie möglich zu halten; hieraus folgen die Anforderungen an die Konstruktion der Punkthalterungen (Exzentrizitäten, Einspannwirkungen, Gelenkbedingungen). Im Idealfall werden durch Gelenkanordnungen keine oder nur geringe Momente in die Gläser eingeleitet, was sich in reiner Form nicht immer erreichen läßt.

- Zwänge aus Temperaturbeanspruchungen und ungenügenden Fertigungstoleranzen sind zu vermeiden. Die hieraus abgeleitete Forderung nach einer statisch bestimmten Lagerung läßt sich in der Regel nicht ganz erfüllen. So wird eine Rechteckscheibe mindestens an vier Punkten gelagert.
- Besondere Aufmerksamkeit ist konzentrierten statischen und dynamischen Belastungen (Aufprall, Schläge) zu widmen.
- Harte Lagerungen sind durch elastische Zwischenelemente zu vermeiden, um Spannungsspitzen auszuschließen (Techen 1997).
- Die Nachweise haben den lokalen Spannungszustand sehr genau abzubilden; hierzu gehört eine 3D-Deformationsmodellierung (Bild 2) ebenso wie eine Berechnung des Gesamtsystems, um die Steifigkeit des stützenden Systems (z. B. Unterspannung) zu berücksichtigen. Die übliche grobe

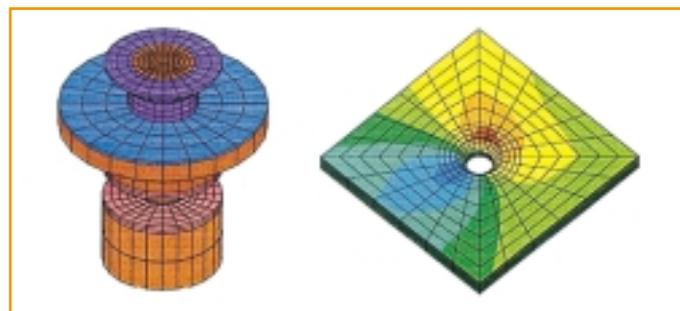


Bild 2: Idealisierung eines Punkthalters – maximale Hauptspannungen im Glas

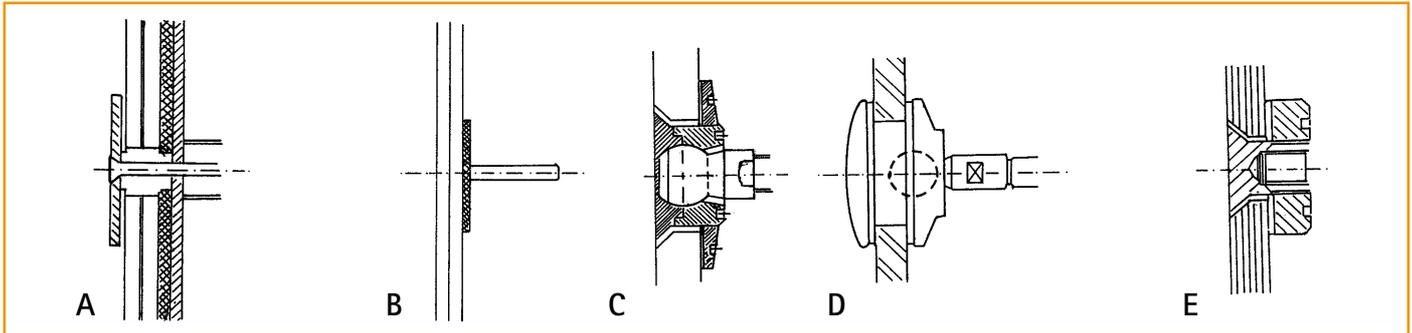


Bild 3: Punkthalter ohne Bohrungen: Sogteller (A), WBS (B) mit Bohrungen: SADEF (C), Eurocontrol (D), Litewall (E)

Idealisierung zur Erfassung des globalen Tragverhaltens sind hier unbrauchbar. Unzulängliche Spannungsberechnungen über zusätzliche Sicherheiten abzudecken, ist abzulehnen. Gegebenenfalls sind geometrische Nichtlinearitäten von Scheibe und Unterkonstruktion zu berücksichtigen.

- Mehr noch als für Konstruktion aus „klassischen“ Werkstoffen ist für die Nachweise ein probabilistisches Sicherheitskonzept zugrunde zu legen (Wörner 1998).
- Bei Glasbruch ist eine in Höhe und Dauer festzulegende Resttragfähigkeit zu garantieren; das gilt sowohl für das Gesamtsystem als auch für die Einzelscheibe. Hierzu wird VG bzw. VSG eingesetzt, das mit klaren, hochfeinen Polymer-Zwischenfolien ausgestattet ist. Der Ausfall von Teilsystemen, z. B. einer Glasscheibe, darf nicht zum Versagen der gesamten Konstruktion führen („fall safe“); dies ist besonders bei tragendem Glas von Bedeutung. Ausfallszenarien gehören zum festen Bestandteil der Dimensionierung.

Punkthalter

Zu unterscheiden sind Punkthalter mit und ohne Bohrungen im Glas; eine Auswahl ist in Bild 3 angegeben.

Die Lösung A stellt den Übergang von einer linienförmigen Lagerung (an der Innenseite) für Winddruck zu einer Punktstützung für Windsog (an der Außenseite über Glasfugen gehaltene Stahlplatten) dar. An Gebäudeecken sind aufgrund höherer Soglasten entweder dickere oder kleinere Glas tafeln erforderlich. Beim System 6 wird die Tafel durch innen auflami nierte Edelstahlbleche und daran angeschweißte Bolzen gehalten, so daß die Außenansicht ungestört ist. Bei

beiden Systemen wird das Eigenge wicht über die horizontalen Glasfugen durch Klotzungen abgetragen.

Halterungen mit Bohrungen sind für Einfachverglasungen (ESG, VSG) und Isolierverglasungen verfügbar [1, 2].

Die Achsabstände der Bohrungen von den Glaskanten liegen zwischen 100 und 300 mm; bei gesenkten Aus führungen ist auf die Versatzfreiheit zwischen dem konischem und dem zylindrischem Teil zu achten. Bei VSG können Versätze der Bohrungen in den Einzelscheiben entstehen.

Auch auf die Notwendigkeit von Montagetoleranzen in Bohrung und Halter zur Vermeidung von Zwängen ist hinzuweisen. Auf jeden Fall ist ein direkter Stahl-Glas-Kontakt durch weiche Schichten (Verguß, elastische Scheiben usw.) zu vermeiden. Darüber hinaus sind glasbündige Systeme (C, E) von solchen Systemen zu un terscheiden, die beidseitig mit Klemm-

tellern (D) versehen sind. Unter stati schen Gesichtspunkten ist zwischen gelenkigen und elastischen bzw. bie gesteiften Haltern zu differenzieren. Das in der Tafelebene liegende Gelenk des Systems C ist zwar aus Sicht der Statik vorteilhaft, erfordert aber auch Möglichkeiten zum Ausgleichen von Montageungenauigkeiten.

Mechanische Aspekte

Die wesentlichen Lastfälle für die Glastafel in der Fassade sind das Eigengewicht, der Wind und bei ab sturz sichernder Verglasung die An pralllasten; dazu kommen gegebenen falls Zwänge aus Temperaturwechseln, Montage und Verformungen der Un terkonstruktion. Um Zwangsbeanspru chungen zu vermeiden ist eine statisch bestimmte Lagerung anzustreben.

Bild 4 zeigt den Fall einer exzentri schen Vierpunktstützung mit der mi-

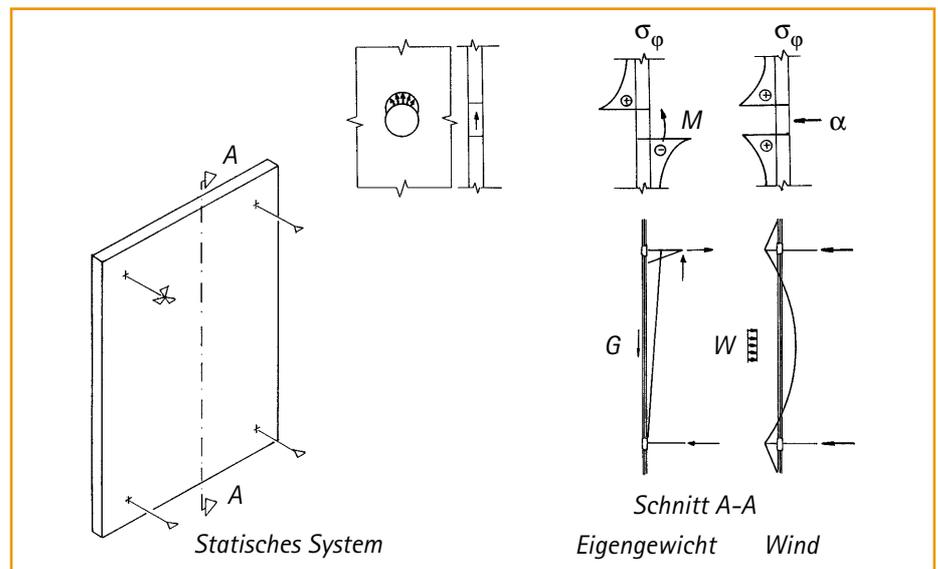


Bild 4: Mechanische Aspekte

nimalen und damit für Zwangslastfälle günstigsten Lagerbedingung an den Gelenkstellen der Halter. Das Bild zeigt, schematisch als Balken vereinfacht, die Verläufe der Biegemomente im Glas infolge von Eigengewicht und Wind sowie die resultierenden Lochleibungsspannungen aus Eigengewicht und die Umfangsspannungen aus der Einleitung von Querkräften und Momenten am Bohrungsrand. Während die Radialspannungen bei glasnormalen Belastungen am Rand verschwinden, sind die Umfangsspannungen maximal, klingen aber sehr schnell ab. Ihre Verteilung ist abhängig von der lokalen Situation des Punkthaltes (Burmeister 1998 a, b).

Tatsächlich wird von diesem quasi statisch bestimmten Idealfall abgewichen, z. B. durch eine mehrfache Querlagerung (je nach Plattengröße vier, sechs usw.), durch exzentrische Halterung mit Rahmenwirkung, bei Systemen mit Gelenken in der Mittelfläche der Glastafelebene und durch die konstruktive Anbindung an die Unterkonstruktion. Dabei sind durch konstruktive Maßnahmen Justiermöglichkeiten zur Anpassung an Fertigungsungenauigkeiten im Glas und der Unterkonstruktion vorzusehen. Verformungen der Unterkonstruktion haben bei weichen Tragstrukturen (z. B.: Deformationen $> 1/300$) einen Einfluß. Auf wechselnde Steifigkeiten, z. B. bei lokalen Abstützungen an steifen Einbauten, ist besonders zu achten. Die Interaktion von Glas und Tragstruktur ist durch ein kombiniertes, gegebenenfalls geometrisch nichtlineares Berechnungsmodell zu berücksichtigen.

Fassaden-Tragkonstruktionen

In Bild 1 sind die drei Hauptstützkonstruktionen dargestellt mit Queraussteifungen durch Längssteifen, mit Hinterspannungen bzw. mit vorgespanntem Seilnetz. Membranbeanspruchungen können gegebenenfalls durch die Glastafeln selbst übertragen werden. Längssteifen aus Stahl oder aus Glas („Schwerter“) sowie Hinterspannungen sind bei Sog gegen Kippen zu stabilisieren; für Winddruck kann die Glasfassade selbst diese Funktion

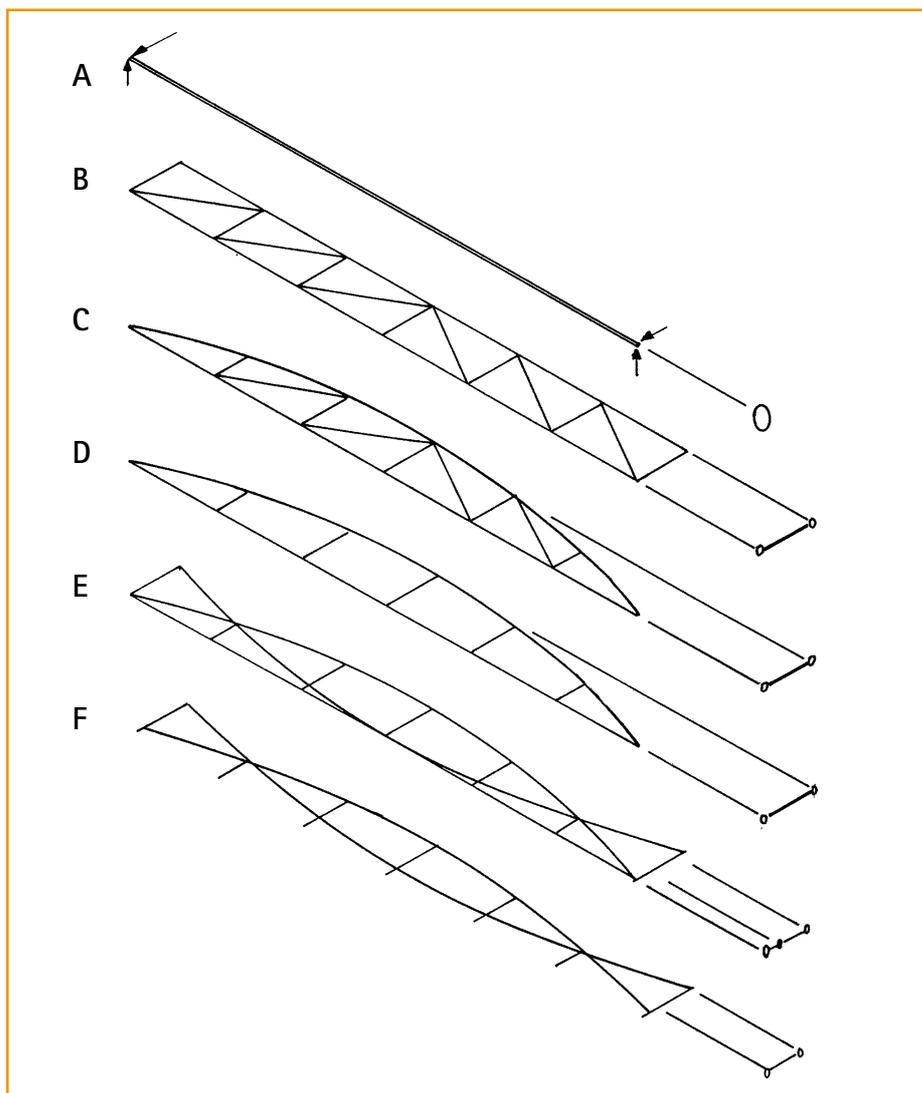


Bild 5: Tragwerkslösungen (sinngemäß für vertikale Träger)

übernehmen. Vorgespannte Seilnetze sind aber besonders weich (große Verformungen) und benötigen Anschlußbauteile zur Aufnahme der beachtlichen Vorspannkräfte.

In Bild 5 sind verschiedene Konstruktionen aufgeführt, die als Haupt- und auch als Nebenträger der Fassade in Frage kommen.

Walzprofile wie im Bild 5 (A) wirken relativ schwer; alternativ können parallelgurtige (B) bzw. der Momentenlinie folgende Fachwerk- (C) oder Rahmenträger (D) eingesetzt werden. Der doppelt hinterspannte Träger (E) besteht aus einem glasparallelen Rohr, Abspannungen aus Zugstäben oder Seilen mit geringem Querschnitt und Pfosten mit Kreisrohrquerschnitten. Mit dem „Kurzschluß“ durch das glasparallele Rohr können die Lagerreaktionen auf Eigengewicht und Wind

beschränkt werden; das bringt für die Montage Vorteile und hält die Anschlußbauteile frei von nennenswerten Vorspannkräften. Dieser Vorteil entfällt bei der Variante F, die durch den Wegfall des glasparallelen Tragelementes transparenter wirkt und sich für Systeme ohne Nebenträger anbietet.

Fassadenverglasung

Die Glastafeln stützen sich auf der Haupttragkonstruktion durch Punktlager ab. Große Spannweiten werden durch Zusatzlager oder durch Hinterspannungen unterstützt, bei der die Glastafel die Längskräfte aus der Un-

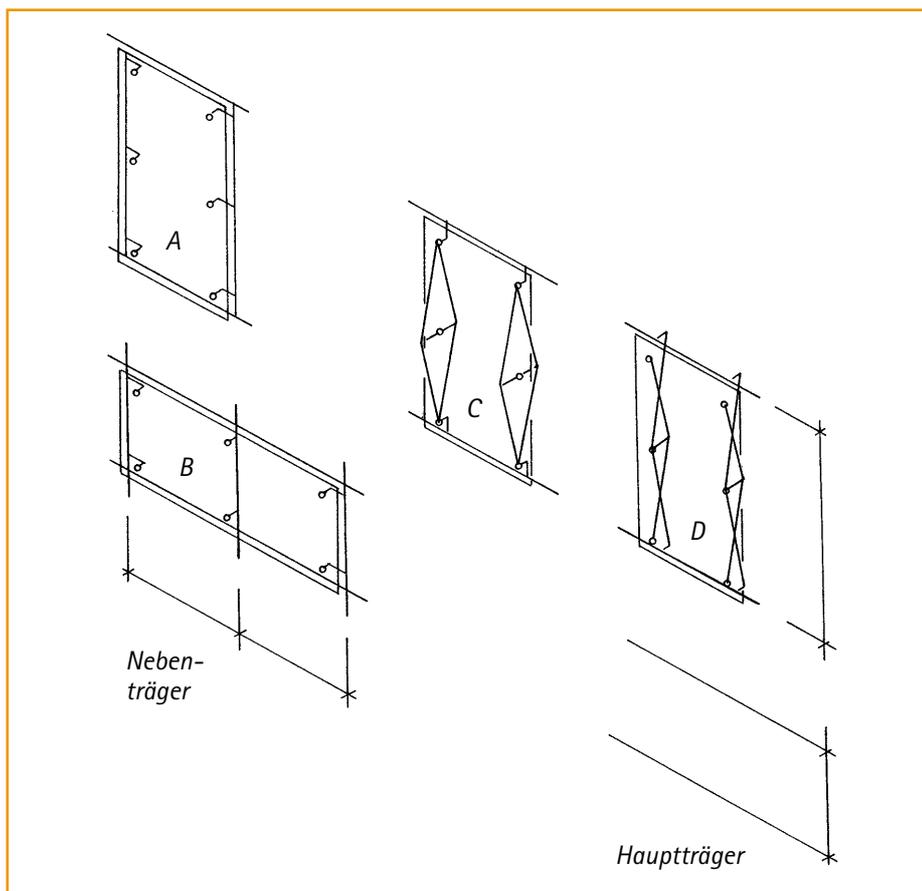


Bild 6: Fassadenverglasung – Stützvarianten

terspannung übernehmen kann. Exemplarisch sind in Bild 6 für ein horizontal/vertikal gespanntes Haupt-/Nebenträgersystem verschiedene Stützvarianten skizziert.

Fall A im Bild 6 zeigt über vertikal gespannte Nebenträger punktgelagerte Scheiben, die bis zu 2 m breit und 4 m hoch sein können. Die Anzahl der Punkthalter richtet sich nach deren lokalen statischen Eigenschaften und nach dem realisierten statischen Sy-

stem der Tafel. Diese vertikal angeordneten Glastafeln bieten im Unterschied zu den horizontal gespannten Gläsern, Fall B, den Vorteil gleichartiger Punkthalterkonsolen.

Dr. Ing. Albrecht Burmeister ist zusammen mit Prof. Dr. Ing. Ekkehard Ramm Geschäftsführender Gesellschafter der Delta-X GmbH Ingenieurgesellschaft, Stuttgart

Wird der Abstand der Hauptträger auf die Glasbreite reduziert, kann auf Nebenträger verzichtet werden. Alternativ kommen hinterspannte Glastafeln in Frage, entweder in der beidseitigen, symmetrischen Variante C oder nur mit der innenseitigen Unterspannung D. Die Variante C kann vormontiert werden, während im Fall D die Außenfläche leichter zu reinigen ist. □

Literatur

- [1] Burmeister, A.: Konzentrierte Lastenleitung im konstruktiven Glasbau. Münchner Fachseminar Workshop: Glas im konstruktiven Ingenieurbau, 1998. FH München, Fachbereich 02 Bauingenieurwesen/Stahlbau
- [2] Burmeister, A.: Bemessung punktgelagerter Fassadenkonstruktionen. Darmstädter Statikseminar: Glas im Bauwesen – Architektur und Konstruktion 1998. TU Darmstadt, Institut für Statik, Bericht Nr. 13
- [3] Ramm, E.; Burmeister, A.: Glass as Structure. International Association for Shell & Spatial Structures. International Symposium 97 on Shell & Spatial Structures, Design, Construction, Performance & Economics. 10.–14. November 1997, Singapore
- [4] Techerl, H.: Fügetechnik für den konstruktiven Glasbau. Technische Universität Darmstadt, Institut für Statik. D17 Dissertation 1997
- [5] Weißinger, S.: Mercedes Forum Stuttgart. Glasforum 4/98, Schorndorf: Verlag Karl Hoffmann
- [6] Kirchberg in Luxemburg, Glas 2/98, Stuttgart: DVA
- [7] Ramm, E.; Burmeister, A.: Punktgestützte Glasfassaden – konstruktive Aspekte und ausgeführte Projekte. VDI-Fachseminar Bauen mit Glas, 11/1998
- [8] Burmeister, A.; Reitingner, R.: EXPO 2000, Der Deutsche Pavillon – Konstruktion und Statik für Fassaden und glasversteifte Stützen. 7. Brandenburgischer Bauingenieurtag BBIT 2000, 4/2000
- [9] Amstock, J. 5.: Handbook of Glass in Construction. McGraw Hill
- [10] Wörner, J.-D.: Sicherheitskonzepte für tragende Glaskonstruktionen. Glaskon '98, Bauzentrum München, April 1998. Team 3 Architekten: Glasfassaden am Stadtteilzentrum

<http://www.glaswelt-net.de>