

Glasrohr als konstruktives Element im Bauwesen (I)

# Transparentes Tragwerk

Fritz-Dieter Doenitz, Stefan Behling

Der Einsatz von Glas als konstruktivem Werkstoff erschließt im Bauwesen neue ästhetische und statische Möglichkeiten. Die „glaswelt“ will in einer dreiteiligen Serie am Beispiel von Glasrohren zeigen, wie in der Praxis dem Vorurteil „Glück und Glas, wie leicht bricht das“ Paroli geboten wird. Außerdem soll die fruchtbare Zusammenarbeit von Architekten, Industrie und Universitäten näher beleuchtet werden, die sich bemühen glasgerechte Konstruktionen auszuloten und umzusetzen, um dem Glas – als „Baustoff des 21. Jahrhunderts“ gerecht zu werden.

Voraussetzungen für die konstruktive Glasanwendung im Architekturbereich sind eine möglichst hohe, garantierte Druckfestigkeit, eine hohe Knicksteifigkeit und eine ausreichende Reststandfestigkeit im Schadensfall. Zusätzliche Splitterbindung ist dabei erwünscht.

Daraus leiten sich zwei Hauptaufgaben ab:

- Gewährleistung des Zusammenhalts des Glaskörpers im Schadensfall.
- Schadensfreie Einleitung großer Druckkräfte in den Glaskörper.

Glasrohre als konstruktives Element führen zwei technologische Linien zusammen, die sich gegen Ende des vorigen Jahrhunderts herausgebildet haben:

- die Fähigkeit zur Fertigung großer Glasrohre in gleichbleibend guter Qualität;
- die Tendenz in Architektur und Bauwesen zu höherer Transparenz der Gebäude.

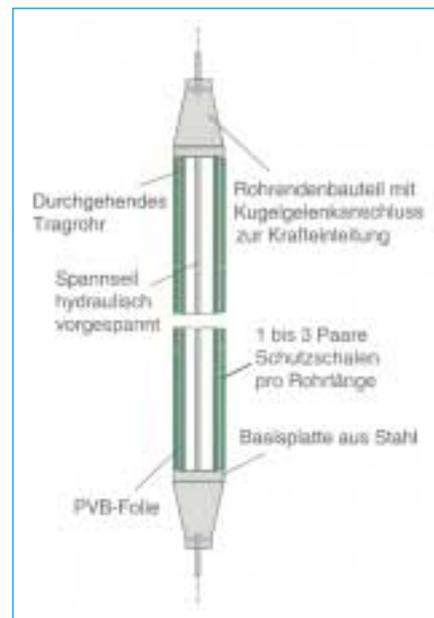
## Zusammenhalt des Glaskörpers im Schadensfall

Nahezu unbemerkt ist in den letzten Jahrzehnten das Vertrauen in die Bruchsicherheit von Glas gewachsen. So sind für uns große, gehärtete Glasscheiben in Fassaden mittlerweile ein Standardprodukt ohne erkennbares Risiko geworden. Genauso wie wir unbesorgt hinter der Windschutzscheibe unseres Autos sitzen.

Es liegt in der Natur der Sache, nach Flachglas nun auch Glasrohre mit Eigenschaften auszustatten, die sie zu einem unbedenklichen Einsatz im Bauwesen befähigen. Als Vorbild kann die erwähnte Windschutzscheibe dienen, die durch die Verklebung zweier gekrümmter Glasscheiben mittels einer Kunststoffolie entsteht.

Dieses Konzept läßt sich jedoch nicht ohne weiteres auf ein Doppelrohr aus Glas übertragen, da das im Klebeprozess unvermeidliche Schrumpfen, anders als bei der Verbundglasscheibe, nicht durch das Aufeinanderzubewegen der beiden Rohre kompensiert werden kann. Dadurch entstehen extreme Kräfte, die entweder zum Aufreißen der Klebeschicht oder zur Selbstzerstörung des Doppelrohrsystems führen.

Trennt man jedoch eines der beiden Rohre in der Mantellinie auf, können sich die entstehenden Halbschalen im Schrumpfprozess auf das Kernrohr zu bewegen. So entsteht ein in sich kräftefreies Verbundglasrohr (Bild 1). In ihm übernimmt das Kernrohr die von außen aufgebrachte Last, während die Halbschalen eine Schutz- und Stützfunktion ausüben. Das Ergebnis ist ein



**Bild 1:** Der Aufbau eines in sich kräftefreien Verbundglasrohrs. Hier übernimmt das Kernrohr die von außen kommende Last und die Halbschalen üben eine Schutz- und Stützfunktion aus

Bauelement mit sehr guter Splitterbindung und außergewöhnlicher Reststandfestigkeit. Man kann z. B. ein Verbundglasrohr unter Vollast mit einem Stahlnagel durchdringen, ohne daß ein Versagen zu erkennen wäre (Bild 2). Damit ist auch die Voraussetzung für einen Einsatz im öffentlichen Raum gegeben, der durch die Gefahr des Vandalismus und erhöhte Sicherheitsansprüche gekennzeichnet ist.

## Einleitung großer Druckkräfte in den Glaskörper

Angesichts der überaus hohen Druckfestigkeit des Glases überrascht es, daß sein konstruktiver Einsatz im Bauwesen bislang nur in sehr beschränktem Maße erfolgte. Gewöhnlich werden dafür Mehrfachverbunde aus Flachglasscheiben verwendet, die aber nur wenig mehr als ihr Eigengewicht zu tragen vermögen. Kommt es dabei zum Versagen des Glaskörpers, ist man aus dem bekannten Vorurteil heraus schnell geneigt,

### Verbund sicherheitsglasrohre besitzen, richtige Verarbeitung und Montage vorausgesetzt, eine:

- hohe Druckfestigkeit
- hohe Knicksteifigkeit
- hohe Reststandfestigkeit (im Bruchfall)
- hohe Splitterbindung (im Bruchfall)



**Bild 2:** Das Verbundglasrohr kann von einem Stahl Nagel (unter Vollast) durchdrungen werden, ohne daß es versagt

dem Glas die Schuld zu geben. Anstatt die Schuld bei der häufig nicht werkstoffgerechten Konstruktion zu suchen.

Glas ist als idealer Sprödwerkstoff bekanntlich nicht in der Lage, angreifende Zugkräfte durch plastische Verformung im atomaren Bereich aufzufangen. Eine werkstoffgerechte Konstruktion muß deshalb unter allen Umständen den Eintrag gefährlicher Zug- und Biegespannungen in den Glaskörper vermeiden.

Diese Grundvoraussetzung trifft wegen des erhöhten Sicherheitsanspruchs auf den Einsatz im Bauwesen sogar in besonderem Maße zu.

Die für das Verbundsicherheitsglasrohr gefundene Lösung des Krafteinleitungsproblems besteht in einer präzisen Bearbeitung des Rohrendes und der richtigen Wahl des Unterlagenmaterials. Darauf wird in einem Folgeartikel ausführlich eingegangen.

Dem Problem der Krafteinleitung wurde in der bisherigen Praxis des Bauwesens nur eine geringe Aufmerksamkeit geschenkt. Das liegt daran, daß von konstruktiv eingesetztem Flachglas aufgrund seiner geometrisch bedingten, niedrigen Knicksteifigkeit nur kleine Kräfte übertragen werden können. Eine Chance, mit Flachglas die tatsächlich für das Bauwesen nutzbare Glasfestigkeit auszuloten, besteht deshalb kaum. Man behilft sich zwar mit einem Mehrscheibenverbund, kann damit aber nur einen geringen Zuwachs an Knicksteifigkeit erreichen. Preis, Gewicht und die mit der Dicke rasch zunehmende Eigenfärbung des Glases setzen dieser Technik Grenzen.

## Günstige statische Eigenschaften

Gegenüber einer Scheibe weist das Rohr bei gleichem Materialeinsatz erheblich günstigere statische Eigenschaften auf. Formt man beispielsweise aus einem Flachglas mit der Abmessung 4100 mm × 454 mm × 5,5 mm ein Rohr von 150 mm Durchmesser, so erhöht sich die Knicksteifigkeit um das Tausendfache.

Unter Nutzung der weiter vorne beschriebenen Gestaltung des Rohrendes eröffnet

sich damit die Möglichkeit, hohe Druckfestigkeitswerte an großen Glaskörpern zu bestätigen und sie so für die Anforderungen im Bauwesen zu erschließen. Voraussetzung ist allerdings, daß Rohre mit hinreichender geometrischer Präzision und Werkstoffhomogenität in geeigneten Abmessungen zur Verfügung stehen.

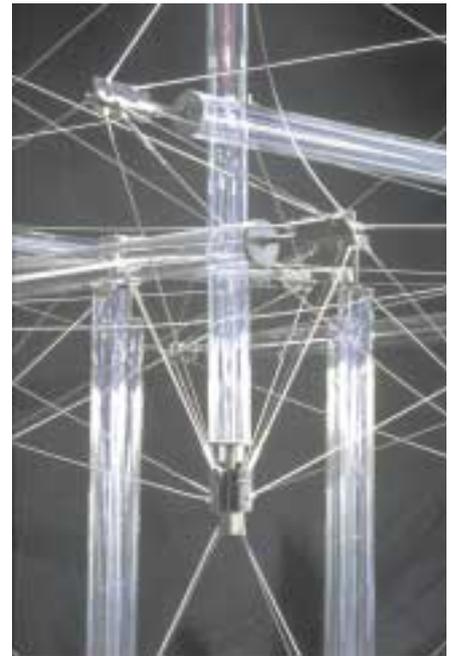
Das ist heute für Maße bis 400 mm Außendurchmesser und 10 mm Wanddicke der Fall.

Druckprüfungen an derartigen Proben ergaben unter Ausschöpfung der verfügbaren Prüfkräfte durchgängig Festigkeitswerte von mindestens 400 N/mm<sup>2</sup>. An Proben kleineren Durchmessers waren Messungen bis 800 N/mm<sup>2</sup> möglich, ohne daß jemals ein Versagen im Inneren des Materials zu beobachten gewesen wäre.

Das kommt den Erwartungswerten recht nahe. Und unter Beachtung der üblichen Sicherheitsfaktoren können daraus 60 N/mm<sup>2</sup> als garantierte Mindestdruckfestigkeit für Glasrohre diesen Typs abgeleitet werden. Bereits dieser konservativ abgeschätzte Wert eröffnet im Bauwesen völlig neue Perspektiven. Beispielsweise vermag ein Rohr von 200 mm Durchmesser und 9 mm Wanddicke eine Last von 32,4 t aufzunehmen, und damit mehr als das doppelte Gewicht einer Betondecke bei üblichem Stützenabstand, ohne daß die Gefahr des Einknickens besteht.

## Glasrohre im Bauwesen

Wenden wir uns dem ästhetischen Aspekt der Verwendung von Glasrohr in der Architektur zu. Im Bestreben, die Gebäudehülle transparenter zu gestalten, setzte als erster der amerikanische Architekt Frank Lloyd Wright um 1950 Glasrohre in der Fassade ein. Ziel war es, das von ihm errichtete Johnson-Wax-Gebäude in Racine/Wisconsin mit natürlichem, diffusen Licht



**Bild 4:** Das Tensegrity-Modell ist eine nach außen hin spannungsfreie Konstruktion, die 1996 auf der glas-tec großen Zuspruch fand. Alle Kräfte sollen in diesem Modell von den Glasrohren (Länge 1500 mm) aufgenommen werden

zu versorgen. Dieser Ansatz war von einer konstruktiven Verwendung der Rohre allerdings noch weit entfernt.

Ausgehend von den faszinierenden statischen Eigenschaften des Glasrohres begann Schott-Rohrglas Ende der 80er Jahre mit der Entwicklung von Glasschornsteinen. Diese waren ursprünglich für den Einsatz in Heizungs-schächten gedacht, um aggressive Rauchgase abzuleiten. Rasch wurde aber die ästhetische Wirkung im Außenbereich erkannt und in ansprechenden Lösungen umgesetzt (Bild 3). Bei geforderten Bauhöhen bis zu 30 m trat hier zum ersten Mal die Frage nach der statischen Belastbarkeit der Rohre auf. Die in der Folge erreichte baurechtliche Zu-



**Bild 3:** Schott-Rohrglas begann Ende der 80er Jahre mit der Entwicklung von Glasschornsteinen. Diese sind nicht nur sehr ansprechend in ihrem ästhetischen Erscheinen, sondern auch in der Lage, aggressive Rauchgase abzuleiten



**Bild 5:** Das gläserne Raumfachwerk entstand nach einem Entwurf von Friedrich Wagner zusammen mit der Firma Mero und wurde auf der glasstec 2000 vorgestellt

lassung gestattete eine Druckbelastung des Materials von  $60 \text{ N/mm}^2$ , was bei voller Ausschöpfung die (utopische) Schornsteinhöhe von über 100 m erlaubt hätte. Dieses ungenutzte Potential gab natürlich zu denken. Deshalb ergriff Schott Rohrglas gern die Chance, als das Institut für Baukonstruktion II der Universität Stuttgart auf das Unternehmen mit dem Wunsch zukam, es beim Bau eines sogenannten Tensegrity-Modells zu unterstützen. Der Begriff „tensegrity“ stammt von dem amerikanischen Architekten Buckminster Fuller und bedeutet letztlich eine nach außen hin spannungsfreie Konstruktion. Alle Kräfte sollten in diesem Modell von Glasrohren aufgenommen werden. Diese hatten eine Länge von 1500 mm und spannten ein eindrucksvolles Raummodell auf, das auf der glasstec 1996 in Düsseldorf großes Interesse fand (Bild 4). Aus dieser Aktion heraus entwickelte sich eine fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Schott und Prof. Behlings Institut, die bis zum heutigen Tage anhält. Die Ergebnisse der Kooperation sollen im zweiten Teil dieser Artikelserie näher erläutert werden. Auch am Institut für Baukonstruktion II entstand nach einem Entwurf von Friedrich

Wagner gemeinsam mit der Firma Mero ein Raumfachwerk, das in überzeugender Weise die Fähigkeit von Glasrohren demonstriert, bei sachgerechter Konstruktion und mechanischer Vorspannung durch eine innenliegende Zugstange Druck- und Zugkräfte aufzunehmen. Diese Konstruktion wurde auf der glasstec 2000 vorgestellt (Bild 5).

## Ausblick

Mit der Verfügbarkeit des Verbundglasrohres können dank seiner hohen Reststandfestigkeit nun auch Aufgaben in realen Gebäuden angegangen werden. Der erste Einsatzfall wurde im Herbst vergangenen Jahres am Tower-Place-Projekt in London von dem Architekten Sir Norman Foster verwirklicht. Zur Abstützung zweier großer Glasfassaden von  $22 \text{ m} \times 13 \text{ m}$  bzw.  $22 \text{ m} \times 60 \text{ m}$  Fläche gegen horizontale Windlast wurden Verbundglasrohre von 3600 mm Länge und 165 mm Außendurchmesser eingesetzt (Bilder 6 und 7). Die Rohre sind für extreme Windlasten ausgelegt und haben sich im November 2002 beim Jahrhundertsturm bewährt, ohne



**Bild 6:** Die ersten Verbundglasrohre wurden im Londoner Tower-Place-Projekt zur Abstützung zweier großer Glasfassaden eingesetzt

Schäden davongetragen zu haben. Dabei hatte eine innere Seilvorspannung die Rohre gegen mögliche Zug- und Biegespannungen geschützt.

Weitere Projekte mit Pilotcharakter, bei denen Verbundglasrohre auch als senkrechte Stützelemente eingesetzt werden, sind in Arbeit.

Mit der Lösung der eingangs gestellten Aufgaben einer hohen Reststandfestigkeit sowie der werkstoffgerechten Krafteinleitung, deren Ergebnisse im Verbundglasrohr zusammenfließen, eröffnen sich dem Glas völlig neue Anwendungsfelder. Es ist zu hoffen, daß damit die Vorbehalte verringert werden können, die diesem schönen und hoch-



Bilder: Schott

**Bild 7:** Die Rohre haben sich schon kurz nach ihrem Einbau beim Jahrhundertsturm im November 2002 bewährt und gezeigt, daß sie auch unter extremer Windeinwirkung problemlos funktionieren

wertigen Werkstoff noch immer entgegengebracht werden. Architekten, aber auch Bauingenieuren, Innenraumgestaltern, Beleuchtungstechnikern u. a. wird damit ein neues Element an die Hand gegeben, mit dem man transparenter, eleganter und möglicherweise auch leichter bauen und konstruieren kann. ■

## Autoren:

Dr. Fritz-Dieter Doenitz ist als Leiter Entwicklung bei Schott-Rohrglas, Mitterteich, tätig.

Prof. Stefan Behling leitet das Institut für Baukonstruktion II an der Universität Stuttgart.