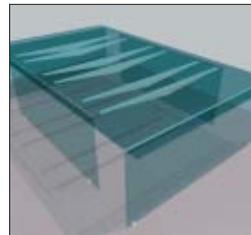
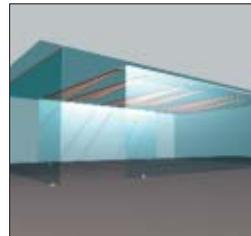
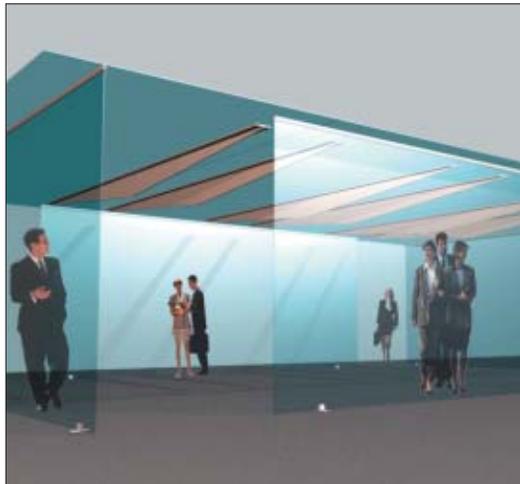
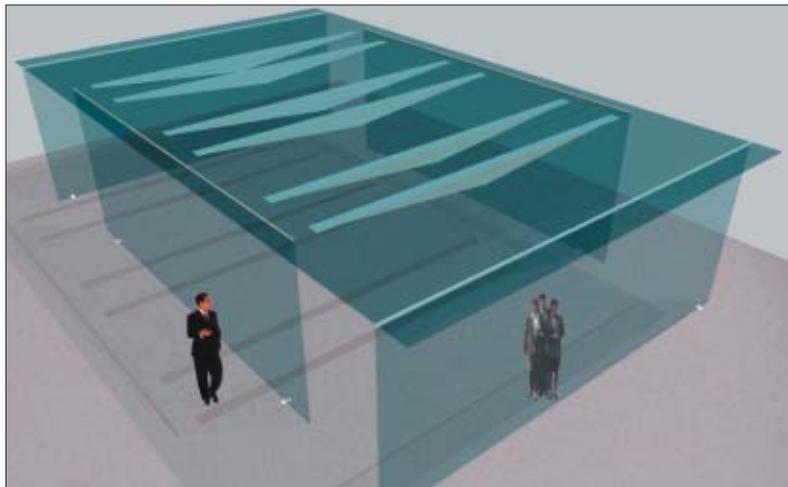




10/2014

**CREDITS - DESIGN**

Universität Stuttgart ITKE
Prof. Jan Knippers
Dipl. Ing. Stefan Peters

STUDENTS

S. Shhiber, Stefan Linder,
Jürgen Müller, Marc Remshardt,
Wolfgang Schnürch, Volker
Scholz

SPONSORING

Interpane Glasgesellschaft,
Fiberline Composites A/S,
Dow Corning GmbH,
Saint-Gobain Performance Plas-
tics SIPRO GmbH,
Mirotec Glas- und Metallbau

CONSULTING

LFK – Ingenieure GmbH

GLASS CUBE

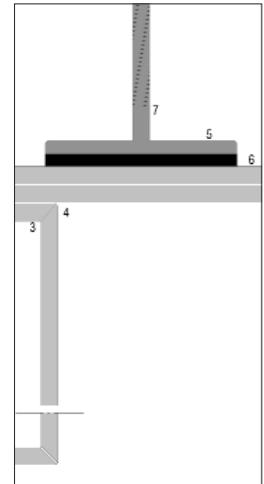
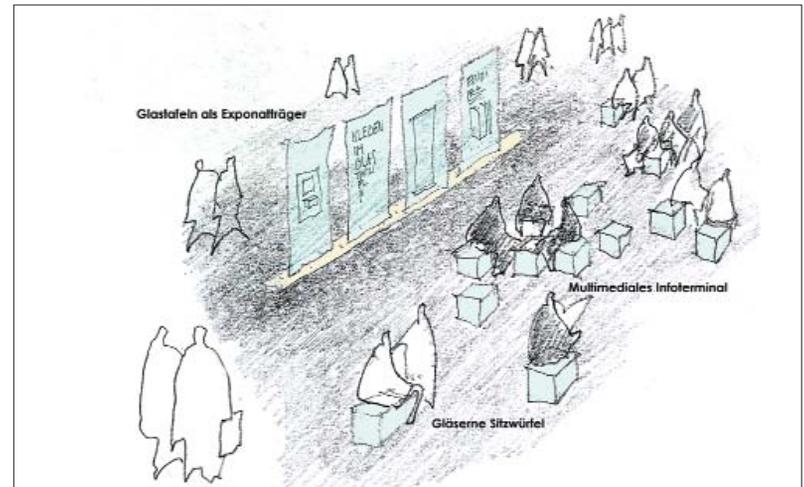
DIPL. ING. STEFAN PETERS

Am Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen der Universität Stuttgart entsteht zur Zeit ein Forschungsbereich auf dem Gebiet der Faserverstärkten Kunststoffe. Gemeinsam mit Studenten der Fachrichtung Architektur wird an einem Glaspavillon als Ausstellungsobjekt geplant. Der Pavillon hat eine Grundfläche von ca. 9x6m und soll die Idee demonstrieren, Glasscheiben mit aufgeklebten Profilen aus glasfaserverstärktem Kunststoff statisch zu verstärken.

GLASS CUBE

DIPL. ING. STEFAN PETERS

The Institute for Bearing Structures and Structural Design of the University of Stuttgart is in the process of developing a new research facility for glass fibre reinforced plastics. In association with students of the faculty of architecture, they are working on a glass pavilion for exhibition purposes. With an area of approx. 9x6m, the pavilion will demonstrate the principle of reinforcing glass panels with adhesive sections made from glass fibre reinforced plastic.

**KLEBTECHNIK IM KONSTRUKTIVEN GLASBAU**

DIPL. ING. U. POTENGIESSER

Der Lehrstuhl für Baukonstruktionslehre, das Institut für Produktionstechnik und das Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik präsentieren auf einem gemeinsamen Stand den Einsatz der Klebtechnik im Konstruktiven Glasbau. Hierbei sollen ausschließlich geklebte Verbindungen in Erscheinung treten und ein breites Spektrum an Klebstoffen und Fugungen repräsentieren. Der Stand bildet ein räumliches Ensemble aus Exponaten, Touchscreen-Terminals und Glaswürfeln, die als Sitzgelegenheiten dienen.

Die Exponate werden an einzelnen eingespannten Glastafeln befestigt und zeigen jeweils spezifische Fügetechniken. Hierzu gehören linienförmige und flächige Glas-Glas-Klebungen aus lichthärtenden Acrylaten sowie Metall-Glas-Klebungen mit Silikon.

ADHESIVE TECHNOLOGY IN ARCHITECTURAL GLAZING DESIGN

DIPL. ING. U. POTENGIESSER

The Faculty of Structural Mechanics, the Institute for Production Technology and the Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS have taken a joint stand to demonstrate the use of adhesives technology in architectural glazing design. The display will focus exclusively on adhesive connections, demonstrating a wide range of adhesive materials and joints. The stand is designed as a multi-dimensional group of exhibits, touchscreen terminals and glass cubes providing casual seating.

The exhibits are fixed on individually mounted glass panels and demonstrate different jointing systems. These include linear and plane glass-to-glass adhesive connections made from light curing acrylics and metal-to-glass adhesives with silicon.

CREDITS - DESIGN

Technische Universität Dresden,
Lehrstuhl für Baukonstruktion,
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller,
Dipl. Ing U. Potengiesser

PARTNERS

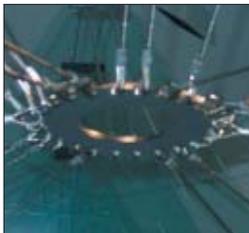
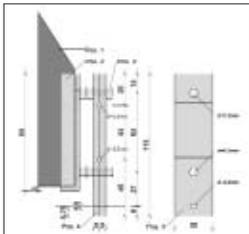
Technische Universität Dresden,
Institut f. Produktionstechnik und das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik,
Prof. Dr.-Ing. habil. E. Beyer

CONSULTING

GARTNER GmbH & Co. KG, Verroplan GmbH, Bretten Wacker-Chemie GmbH, Nünchritz

SPONSORING

BGT Bischoff Glasstechnik, DELO Industrieklebstoffe, DORMA-Glas GmbH, Häfele GmbH & Co., Nagold Schlosserei Köchy, SCHOLL GLASTECHNIK GMBH, SCHOLL GLASTECHNIK SACHSEN, Wacker-Chemie GmbH, Nünchritz



GLASS SKY
DIPL.- ING. JAN WURM

Bei der Ausstellung „showreiff“ präsentierte der Lehrstuhl ein radiales Tragsystem, das sich aus 16 Glasscheiben und 24 Edelstahlseilen der Stärke 4mm zusammensetzt. Von dem zentralen Zugring ausgehend wird in die Ecken und zur Mitte der Längsseite ein Seilbinder geführt, die aus jeweils zwei parallel geführten Seilscharen, die in den Diagonalen durch drei, auf den Längsseiten durch zwei dreiecksförmige Glasscheiben aufgespreizt werden, bestehen. Es entsteht ein tensegres Tragsystem. Die Scheiben sind zur Mitte hin geneigt. Aufgrund dieser Anordnung legt sich ein facettenreiches Lichtspiel netzartig über den Innenraum.

GLASS SKY
DIPL.- ING. JAN WURM

At the DAM ShowReiff exhibition in 2001, the faculty exhibited a radial bearing system comprising 16 panes of glass and 24 stainless steel cables each 4mm thick. Cable ties, each consisting of two parallel sets of cables, are taken from the central tension ring to the corners and to the middle of the long side. The diagonal cables hold three — the longitudinal cables two — triangular panes of glass respectively. The result is a tensegra bearing system with the panes inclined to the centre at an increasing angle of inclination. The arrangement causes a sparkling network of light to play over the interior space.

Das Projekt Solar Bridge sollte zeigen, daß das Tragsystem des unterspannten Trägers die Vorteile des durchgehenden Biegeträgers mit dem des Fachwerkträgers kombinieren kann. Die Konstruktion dieses Projektes will neue Anwendungsmöglichkeiten der Laminierungstechnik aufzeigen und bei Integration von Photovoltaikmodulen „monolithische“ Glaselemente entwickeln. Gläserne Dächer über einem entsprechenden Raumvolumen können mit einer Belegungsichte von ca. 75% so auf einen zusätzlichen Sonnenschutz verzichten.



CREDITS – GLASS SKY – DAM 2001

Prof. Dr.-Ing. Wilfried Führer, Dipl.-Ing. Jan Wurm, Rüdiger Schmidt at Lehrstuhl für Baukonstruktion (Tragwerklehre), RWTH Aachen

STRUCTURAL CALCULATIONS

and. arch. Rüdiger Schmidt

ERRECTION

Dr.-Ing. Hans-Willi Heyden, u.a.

CABLES & FITTINGS

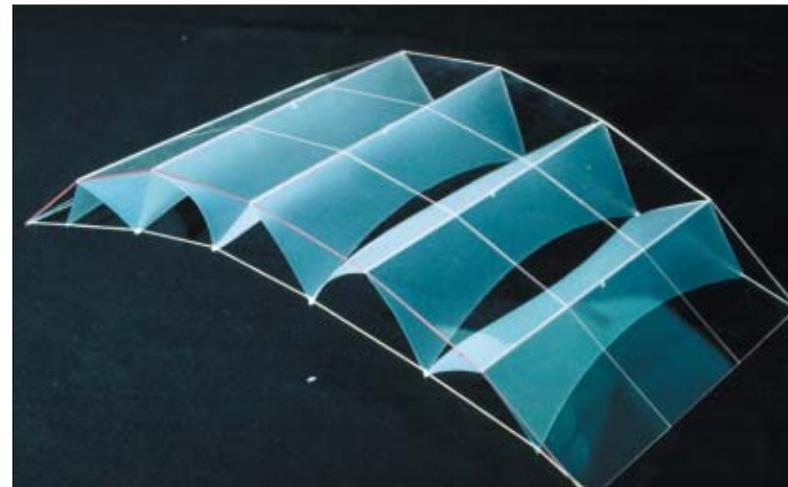
Brugg Drahtseil AG, Birr (CH)

GLASS

Saint-Gobain Glas Deutschland

STEEL

Kerschgens Stahlhandel GmbH



Beim Projekt GLASS TEX sollte ein Tragsystem entwickelt werden, das dem Baustoff Glas zum einen bei allen Lastfällen Druckkräfte zuweist und sich zum anderen weitgehend aus Flächen und Kanten zusammensetzt. Bei dem Projekt GlasTex entschieden wir uns für ein beschichtetes EthylenTetrafluorethylen (ETFE) Gewebe. Da das Material ausschließlich diffuses und blendungsarmes Licht durchlässt, ist es geeignet, als Sonnen- und Blendschutz in das Tragsystem integriert zu werden. An dem Prototyp zeigt sich, dass das Zusammenspiel des druckfesten und transparenten Glases und des zugfesten, durchscheinenden Gewebes zu einer konstruktiven und funktionalen Einheit führt.

The aim of the GLASS_TEX project was to develop a bearing system in which the glass accepted the compressive forces under all design loads and which consisted largely of planes and edges. For the GlasTex project, we opted for a coated ethylene tetra-fluorethylene (ETFE) mesh. As the material only transmits diffuse light with a low glare factor, it was suitable for use as solar and anti-glare protection in the bearing system. The prototype demonstrates that the compressive strength and transparency of the glass combined with the tensile strength and light-transmitting property of the mesh produce a satisfactory structural unit.

CREDITS GLASS-TEX-ARCH

Prof. Dr.-Ing. Wilfried Führer, Dipl.-Ing. Jan Wurm, Ralf Herkrath at Lehrstuhl für Baukonstruktion (Tragwerklehre), RWTH Aachen

STUDENTS

Henrike Bosbach
Sabine Einhäuser
Michael König
Agnes Sobotta

GLASS

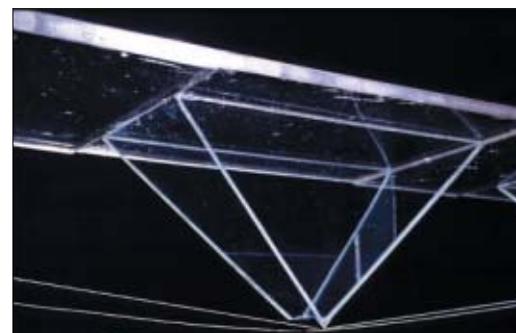
Flachglas Wernberg

TEXTILE

Aeronautec, Seon

STEEL

Scheins Eisenwaren, Aachen;
Weber Metallgestaltung, Aachen;
Wilhelms Industriebedarf, Aachen



The Solar Bridge project demonstrates that the bridge-type bearing system can combine the advantages of the single flexural member with those of the trussed girder. The project design sets out to present new applications for

laminated systems and develop monolithic glass elements with integrated photovoltaic modules. With glass roofs over a spatial volume of this size with approx. 75% density, additional solar insulation can be dispensed with.

CREDITS - SOLAR BRIDGE

Prof. Dr.-Ing. Wilfried Führer, Dipl.-Ing. Jan Wurm, Ralf Herkrath at Lehrstuhl für Baukonstruktion (Tragwerklehre), RWTH Aachen

CONSULTING

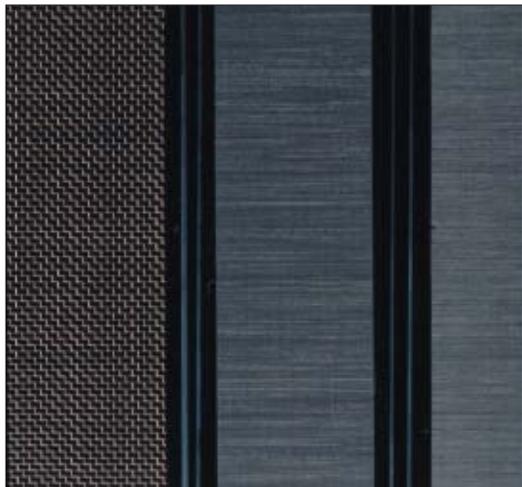
Dipl.-Ing. Christof Erban, Saint-Gobain Glass Solar

DESIGN AND PLANNING

and. arch Jan Cyrary,
and. arch Ron Heiringhoff,
and. arch Dalibor Hlavacek,
and. arch Florian Nietzsche

ERRECTION

Saint-Gobain Glass Solar, Aachen



BEWEHRTES VSG-GLAS

DIPL.-ING. ROBERT BRIXNER

Ziel vieler Studien und Untersuchungen am ILEK der Universität Stuttgart ist die Verbesserung der Resttragfähigkeit von VSG Tafeln. Wichtige Aspekte für die Auswahl von Bewehrungsmaterialien sind hohe Zugfestigkeit, dünne Verarbeitungsformen und Transparenz der Materialien.

Auf der glastec 2002 werden verschiedene Probekörper vorgestellt: mit Metalldrahtgeweben aus hochfestem nichtrostendem Stahl, einlamierte Drahtgewebe etc.. Eine Verwendungsmöglichkeit von Bewehrtem VSG ist im Sonnenschutz. Je nach Wahl der Gewebedichte, lässt sich der Lichtdurchgang durch die Scheibe steuern. Bewehrungsmaterialien können auch als gestalterisches Element genutzt werden, - wenn z. B. eine mit Kohlefasern bewehrte VSG- Scheibe als halbttransparentes Bauteil eingesetzt wird.

REINFORCED GLASS

DIPL.-ING. ROBERT BRIXNER

The Institute of Lightweight Structures (ILEK) at the University of Stuttgart has undertaken extensive research and investigation into improving the residual loadbearing capability of laminated glass sheets. Important factors in selecting reinforced materials are high tensile strength, the possibility of producing thin sheets and their transparency.

A number of different test pieces are exhibited at glastec 2002, some containing high-strength stainless steel wire mesh, others with a wire mesh laminate, etc. One possible application of reinforced laminated glass is as a solar insulation material. The amount of light transmitted by the pane is controlled by the density of the mesh chosen. Reinforced materials can also be used as a design feature, for example, by using a laminated pane reinforced with carbon fibres as a semi-transparent component.



CREDITS - DESIGN

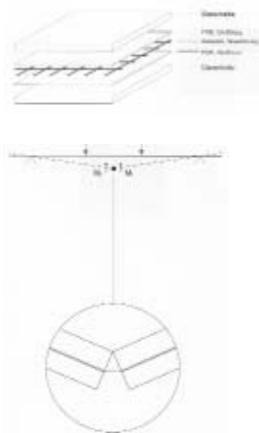
ILEK, Universität Stuttgart,
Prof. Dr. Werner Sobek
Dipl. Ing. Robert Brixner
Dipl. Ing. F. Maier

GLASS

BGT Fa. Birschoff Glastechnik

STEEL MESH

Haver und Boecker



FAÇADE SYSTEM

DIPL.-ING. BETTINA VOLZ

Development of a façade system of superior architectonic quality for active utilisation of solar energy and daylight. The new façade is divided into three zones. In the overhead lighting area, it incorporates prismatic glass ribs which function as a transparent solar insulation while transmitting a diffuse light. By deflecting diffuse illumination into the interior space, the ribs reduce the need for artificial light. There is no solar gain in the interior, so cooling air is dispensed with because the direct irradiation is deflected outwards by reflectance inside the glass sections. The adjacent window area has sunshades which occupants can draw aside as required to reveal the view outside. In the parapet area of the façade, there are vacuum tube collectors for active utilisation of solar energy. Here, the façade design actively encourages penetration of media. Both the prismatic ribs and the solar collectors allow partial glazing effects. There are virtually no limitations to the design potential.

CREDITS

Dipl. Ing. Bettina Volz IBKL2,
Prof. S. Behling, IBKL2,
SCHOTT Rohrglas, Mitterteich,
Metallbau Früh

SYSTEMFAÇADE

DIPL.-ING. BETTINA VOLZ

Entwicklung eines Fassadensystems, mit hoher architektonischer Qualität, zur aktiven Solarenergie- und Tageslichtnutzung. Die entwickelte Fassade gliedert sich in drei Zonen. Im Oberlichtbereich befinden sich Prismenstäbe aus Glas, die als transparenter Sonnenschutz bei gleichzeitiger Diffuslichtlenkung funktionieren. Diese reduzieren die sonst notwendigen Kunstlichteinsatz durch das Umlenken der Diffusenstrahlung in die Raumtiefe. Eine Aufheizung des Rauminneren und damit eine eventuell notwendige Kühlung der Räume entfällt, da die direkte Strahlung durch Reflektion innerhalb der Glasprofilen nach außen gelenkt wird. Der sich anschließende Fensterbereich erhält einen Blendschutz, den der Benutzer je nach Bedarf verfahren kann und somit der freie Ausblick gewährleistet wird. Im Brüstungsbereich der Fassade sind Vakuumröhrenkollektoren zur aktiven Solarenergienutzung angeordnet. Hier soll die Fassadenkonstruktion der Medienführung dienen. Sowohl die Prismenstäbe, als auch die gläsernen Kollektoren ermöglichen eine Teildurchsicht mit reizvollen Glaseffekten. Den Gestaltungsmöglichkeiten sind nur wenige Grenzen gesetzt.



GLAS PAVILLON
DIPL. ING. JÖRG HIEBER
DIPL. ING. JÜRGEN MARQUARDT

Die Stadt Rheinbach hat zusammen mit Vertretern aus der Glasbranche die Sommerakademie Glaspavillon Rheinbach ins Leben gerufen. Die Architekten Jörg Hieber und Jürgen Marquardt entwarfen hier in Kollaboration mit dem Institut für Baukonstruktion und Entwerfen L2, Professor Stefan Behling, der Universität Stuttgart ein in dieser Art einzigartiges Ganz-Glas-Gebäude, bei dem die Tragkonstruktion völlig aus Glas besteht. Der Glaserinnungsverband unter Vorsitz von Herrn Nagel konnte für die Montage ca. 20 Fachbetriebe aus der Region gewinnen.

GLAS PAVILLON
DIPL. ING. JÖRG HIEBER
DIPL. ING. JÜRGEN MARQUARDT

Together with representatives of the glass industry, the city of Rheinbach founded the summer academy Glass Pavilion Rheinbach. In collaboration with Stefan Behling, professor at the Institut für Baukonstruktion und Entwerfen L2 at the University of Stuttgart, the architects Jörg Hieber and Jürgen Marquardt designed a one-of-a-kind building made entirely of glass, right down to the support structure. Mr. Nagel, director of the Glazier Craftsman Association, was able to win the support of approx. twenty regional craftsman companies which were willing to help free of charge.

Wesentlicher Bestandteil des Rheinbacher Glaspavillons sind acht rechteckige Glaswürfel aus großformatigen Glasscheiben. Sie sind zugleich Ausstellungsvitrinen und Fassade, führen Licht überdacht in den Raum und – was das einmalige an diesem Entwurf ausmacht – sie tragen das fast 500m² große Dach.

One of the essential components of the Glass Pavilion Rheinbach are eight rectangular glass cubes made of large sized glass panes. They are showcase and facade in one, allowing overhead light to flood the room, while making this design unique by supporting a roof of nearly 500 square meters.

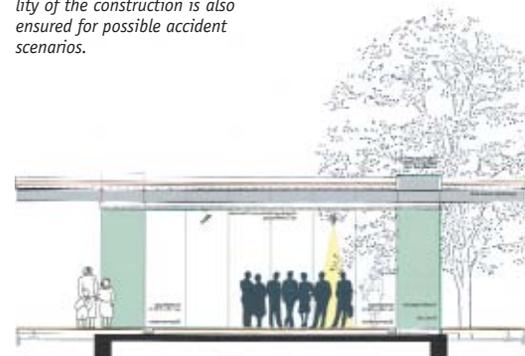
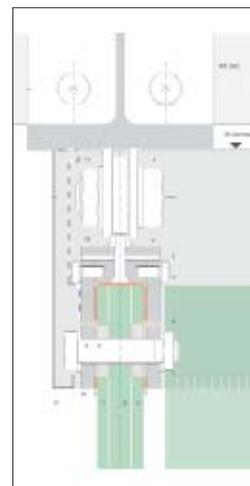
Die Fassadenelemente zwischen den Cubes bestehen völlig aus Glas und garantieren fließende Übergänge vom Gebäudeinneren zu dem angrenzenden Skulpturenpark und zur Wiesenlandschaft. Zudem sind die Glasschiebeflügel komplett zu öffnen und können in den Cubes verstaut werden, – der Glaspavillon wird zum „Cabrio-Haus“.

The cladding panels between the cubes are made entirely of glass and guarantee flowing crossovers between interior building and the adjacent sculpture park with its meadow landscape. In addition, sliding sashes made of glass can be completely opened and stored in the cubes, making the glass pavilion a „convertible“.

Das 32,5 x 15 m große Trägerrostdach (IPE 3600) wird auf ca. 3,80 m hohe Glasstützen gestellt, welche eine Breite von ca. 1,25 m aufweisen und jeweils in Winkelform eingebaut werden. Aufgrund sicherheitstechnischer Gesichtspunkte wurde ein Glastaufbau von 10 mm TVG/1,52 mm PVB-Folie/19 mm ESG/1,52 mm PVB Folie/10 mm TVG gewählt. In Verbindung mit einer geschützten Kantenausbildung wird die Standsicherheit der Konstruktion auch für mögliche Unfallszenarien gegeben sein.

The grid roof, with a size of 32.5 x 15.0 m (IPE 3600 beams), rests on glass supports of approx. 3.80 m in height and approx. 1.25 m in width which are each fitted as angular elements. A glass structure of 10 mm PPG/1.52 mm PVB foil/19 mm SLG/1.52 mm PVB foil/10 mm PPG was selected for security reasons. In connection with a protective edge formation, the stability of the construction is also ensured for possible accident scenarios.

ARCHITECTS
 Jürgen Marquardt
 Jörg Hieber am
 Institut für Baukonstruktion L2
 Universität Stuttgart
 Prof. Stefan Behling
STRUCTURAL ENGINEERING
 Ingenieurbüro Ludwig
GLASS CONSTRUCTION
 VEGLA Aachen
STEEL STRUCTURE
 RÜTER, Dortmund
SKYLIGHT GLASS
 BGT Bretten
MOVABLE FACADE
 DORMA Glas
 Flachglas Wernberg
 Glasid GmbH, Essen
 Hero-Glas, Dersum
 Scholl Glastechnik GmbH
 sitech.glas GmbH
PHOTOGRAPHY
 Manoel Nunes, Andreas Keller





VERBUNDGLASROHR ALS KONSTRUKTIVES ELEMENT
DIPL.-ING. JOACHIM ACHENBACH
PROFESSOR STEFAN BEHLING
DR. FRITZ-DIETER DOENITZ
DIPL.-ING. HERBERT JUNG

Glas besitzt eine sehr hohe, mit Stahl vergleichbare Druckfestigkeit. Dies inspirierte in jüngster Zeit Architekten und Ingenieure dazu, in ihren Projekten Glas als tragenden Baustoff einzusetzen. Schon auf der glasstec 1998 wurden zahlreiche Entwicklungen zu diesem Thema präsentiert, so z.B. eine gläserne Kuppel der Firma Seele (Durchm. 12,5m) sowie ein Glasbogen (Spannweite 20 m) des IL Instituts, Professor Werner Sobek mit Matthias Kutterer, Universität Stuttgart. Eine nennenswerte Weiterentwicklung ist der Glaspavillon der Glasfachschule Rheinbach. Inspiriert wurde er von Joachim Nagel, dem diesjährigen Präsidenten der glasstec 2002, - entworfen und realisiert von den Architekten J.Hieber und J. Marquardt, wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts für Baukonstruktion L2 der Universität Stuttgart.

Diese Projekte haben gemeinsam, dass ihr Tragwerk aus Flachglas besteht, das mit PVB-Folien zu Verbundsicherheitsglas zusammengefügt wurde. Würde man die viel zitierte Frage nach dem günstigsten Profil für tragende Elemente aus Glas stellen, bestünde die Antwort sicher nicht in der flachen Scheibe. Sie neigt wegen ihrer extremen Schlankheit leicht zum Auskni-

LAMINATED GLASS TUBES AS STRUCTURAL ELEMENTS
DIPL.-ING. JOACHIM ACHENBACH
PROFESSOR STEFAN BEHLING
DR. FRITZ-DIETER DOENITZ
DIPL.-ING. HERBERT JUNG

Glass exhibits a very high compressive strength similar to that of steel. In recent times, this has inspired architects and engineers to employ glass as a load-bearing material. At glasstec 1998, numerous developments were presented, such as a glass dome by Seele (diameter 12.5 m), and a glass arch (span 20 m) by the IL Institut (Institute for Light Surface Structures), Professor Werner Sobek with Matthias Kutterer, University of Stuttgart. A further development worthy of particular mention is the glass pavilion for the Rheinbach School of Glass Technology. This was inspired by Joachim Nagel, this year's president of glasstec 2002 – and was designed and implemented by architects Jörg Hieber and Jürgen Marquardt, scientific associates of the Institut für Baukonstruktion L2 (Institute for Building Technology) of the University of Stuttgart.

Common to all these projects is the fact that their supporting structure consists of flat glass joined in a laminated safety glass structure through the addition of PVB film interlayers. If one were to ask the oft-posed question as to the most favourable profile for load-bearing glass elements, the answer would certainly not be a flat pane. Owing to its extreme slenderness, such

cken. Dahingegen ist ein axial-symmetrisches (z. B. rundes) Profil statisch begünstigt und deshalb in der Regel bei Tragwerken aus Naturstein, Holz oder Beton zu finden. Vor dem Hintergrund dieser Überlegung begannen 1995 die ersten Versuche, Glasrohre als Druckelemente einzusetzen. In Seminaren am Institut für Baukonstruktion L2 der Universität Stuttgart wurden mit Studenten unter der Leitung von J. Achenbach die ersten Konstruktionen aus Glasrohren entwickelt. Im Zuge dieser Studien begann die Zusammenarbeit mit der Schott-Rohrglas GmbH, Mitterteich.

Schott Rohrglas hatte etwa zeitgleich und unabhängig von den Stuttgarter Aktivitäten damit begonnen, das Konzept eines Verbundglasrohrs zu verwirklichen. Dem lag das Prinzip eines verklebten Doppelrohrs zu Grunde, bei dem das Innenrohr die Last aufnehmen und das Außenrohr den Schutz übernehmen sollte. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf den Kräfteeinleitungsbereich am Rohrende gerichtet. Schott Rohrglas verfügt als Weltmarktführer auf dem Gebiet der Glasrohrherstellung als einziges Unternehmen über das Wissen, hoch präzise Glasrohre bis 400 mm Außendurchmesser, 10 mm Wandstärke und 4 m Länge zu ziehen. Das für diese Rohre eingesetzte Borosilikatglas mit der Markenbezeichnung DURAN hat sich seit Jahrzehnten in der chemischen und pharmazeutischen Industrie bewährt. Es

an element easily buckles. On the other hand, an axially symmetrical (e.g. round) profile offers certain static advantages and is thus frequently encountered in supporting structures of natural stone, timber or concrete.

Against this notional background, the first tests using glass tubes as compression elements began in 1995. In seminars held at the Institut für Baukonstruktion L2 of the University of Stuttgart, students under the direction of Joachim Achenbach, developed first structures involving glass tubes. In the wake of these studies, cooperation began with Schott-Rohrglas GmbH, Mitterteich/Germany.

Around the same time Schott-Rohrglas had begun to implement the concept of a laminated glass tube. This was based on the principle of an adhesive-bonded double tube in which the internal tube supports the load and the outer tube performs the protective function. In this project, particular attention was paid to the area of force transmission at the tube end.

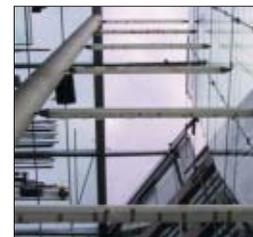
Schott-Rohrglas can be regarded as the world market leader in the field of glass tube manufacturing and is the only company with sufficient expertise to manufacture glass tubes of up to 400 mm in outside diameter, 10 mm in wall thickness and 4 m in length by high-precision drawing. The borosilicate glass with the brand-name DURAN used for these tubes has proven successful in the chemical and pharmaceutical industries. It is characterised by outstanding purity (and thus transparency), chemical resistance and resistance to cyclical thermal loading as well as offering the high degree of homogeneity that is indispensable for mechanical strength. Schott-Rohrglas GmbH of Mitterteich,



under the direction of Dr. Fritz-Dieter Doenitz (head of process and product development) and Herbert Jung, Dipl.-Ing. (head of tube system development) has been cooperating with the Institut für Baukonstruktion L2 of the University of Stuttgart under the leadership of Prof. Stefan Behling, Prof. Friedrich Wagner and Joachim Achenbach since 1998. The objective has been to investigate the previously completely unresearched performance limits of glass tubes under pressure. To this end, the following individual aspects have been carefully studied in a comprehensive range of tests and experiments.

- a. Performance limits of a glass tube under axial pressure.*
- b. Techniques of load application to the tube end.*
- c. The assurance of sufficient residual strength and stability with detailed investigations into fracture behaviour under accident conditions.*
- d. System development and production technology for laminated glass tubes. These investigations have now been successfully completed.*

Discussion of results: The great breakthrough lay in the combination of a force transmission technique appropriate for the material at the tube end and the safety character of the laminated glass tube. To this end, various test series with monolithic glass tubes were initially performed under compressive loads in the development laboratory of Schott-Rohrglas GmbH. Having tested well over 100 specimens, the scientists found that there was not a single case of material failure inside the tube; rather, fracture initiation always occurred from a nucleus at the tube end. Consequently, particular attention was given to the structure of the tube end and a new technology involving direct bearing contact and force transmission was developed.



zeichnet sich durch große Reinheit (und damit Transparenz), chemische Resistenz, Temperaturwechselbeständigkeit und eine für mechanische Beanspruchungen unerlässliche, hohe Homogenität aus.

Seit 1998 arbeiten die Schott Rohrglas GmbH Mitterteich unter Führung von Dr. Fritz-Dieter Doenitz (Leiter der Verfahrens- und Produktentwicklung) und Dipl.-Ing. Herbert Jung (Leiter Entwicklung Rohrsysteme) mit dem Institut für Baukonstruktion L2 der Universität Stuttgart unter der Leitung von Prof. Stefan Behling, Prof. Friedrich Wagner und Projektleiter Dipl.-Ing. Joachim Achenbach zusammen. Ziel war es, die bislang gänzlich unerforschten Leistungsgrenzen von Glasrohren unter Druck systematisch zu erkunden. Dazu sind in umfangreichen Versuchsreihen folgende Fragestellungen bearbeitet worden:

- a. Leistungsgrenzen eines Glasrohrs unter axialem Druck
- b. Technik der Lasteinleitung in das Rohrende
- c. Gewährleistung einer ausreichenden Reststandfestigkeit. Vertieftes Verständnis des Bruchverhaltens im Schadensfall.

d. Systementwicklung und Fertigungstechnik für Verbundglasrohre. Diese Arbeiten wurden inzwischen erfolgreich abgeschlossen. Zu den Ergebnissen: Der große Durchbruch besteht in der Kombination von materialgerechter Kräfteinleitung in das Rohrende und dem Sicherheitscharakter des Verbundglasrohres. Dazu wurden zunächst unter Drucklast verschiedene Testreihen mit monolithischen Glasrohren im Entwicklungslabor der Schott-Rohrglas GmbH durchgeführt. Dabei konnte bei weit über einhundert Prüflingen in keinem einzigen Fall ein Materialversagen im In-



ped. It was found that, with this solution, compressive loads of 400 N/m² and more could be applied without problem. By adopting conservative design assumptions, a permissible compressive strength of at least 60 N/m² was determined. This means that, for example, a glass tube with an outside diameter of 200 mm and a wall thickness of 9 mm (contact area 5,400 m²) would be able to bear a load of approx. 33 metric tons. (Note: This corresponds to a design load for a flat roof with a supporting grid of 10 m x 10 m (covered area 100 m²) and a weight per unit area of 2.5 kN/m² plus 0.75 kN/m² snow load (total load 3.25 kN/m²).)

These tests were continued with laminated glass tubes in the development laboratory of Schott-Rohrglas GmbH. It was proven that even after deliberate destruction of the outer shell and of the inner tube bearing the load through the application of different force and impact loads, the residual load bearing strength is still substantial. Thus, for example, test pieces with a length of 700 mm, an outside diameter of 140 mm and a total wall thickness of 7 mm bearing a load of 180 N/m² could be completely drilled through with a steel rod of 8 mm in diameter without failing. The subsequent tests with laminated glass tubes of columnar support size were performed at Munich University of Applied Sciences, Professor Bucak and the State Material Testing Authority

neren des Rohres festgestellt werden: vielmehr ging die Bruchauslösung stets vom Rohrende aus. Deshalb wurde der Gestaltung des Rohrendes besondere Aufmerksamkeit geschenkt und eine neue Technik der direkten Lagerung und Kräfteinleitung entwickelt. Es zeigte sich, dass damit Druckbelastungen von 400 N/mm und mehr problemlos aufgebracht werden können. Bei konservativen Annahmen leitet sich daraus eine zulässige Druckfestigkeit von mindestens 60 N/mm² ab. Damit kann beispielsweise ein Glasrohr von 200 mm Außendurchmesser und 9 mm Wandstärke (Kontaktfläche 5.400 mm²) ca. 33 Tonnen Last aufnehmen. (Dies entspricht der Lastaufnahme bei einem Flachdach mit einem Stützraster von 10m x 10m (Einzugsfläche 100 qm) und einem Flächengewicht von 2,5 KN/m² zzgl. 0,75 KN/m² Schneelast (Gesamtlast 3,25 KN/mm²)

Diese Tests wurden mit Verbundglasrohren im Entwicklungslabor der Schott-Rohrglas GmbH weitergeführt. Dabei wurde nachgewiesen, dass auch nach einer mutwilligen Zerstörung der äußeren Schale und des Last aufnehmenden Innenrohres durch unterschiedliche Kraft- und Gewaltanwendungen eine wesentliche Resttragfähigkeit erhalten bleibt. So können z.B. Teststücke von 700 mm Länge , 140 mm Außendurchmesser und 7 mm Gesamtwandstärke unter einer Belastung von 180 N/mm² von einem Stahlstab mit 8 mm

of the state of Baden-Württemberg. Residual stability was tested by determining the number of pendulum impacts with a 10 kg steel ball (drop height 1 m) at which the test tube loses its stability under its design load. At room temperature, this took 13 impacts. The residual strength of massively damaged tubes remained fully intact under the design load after 18 hours, and for four days at half the design load.

Glass columnar supports do not just replace conventional supports of steel, timber or concrete. They can also be used as compressive elements in spatial structures or other constructions in which ideally the tension and compression forces are absorbed by different elements. This had already been demonstrated at glasstec 1996 in a tensegrity structure. At glasstec 2000, Professor Friedrich Wagner presented in cooperation with Schott-Rohrglas GmbH and MERO a 4,5 metre high tensegrity tower of glass tubes with integrated prestressing rods.

The development of a manufacturing process for the industrial scale production of laminated glass tubes constitutes a major success. In a patented process, glass semi shells are laminated around an internal core tube. As the joining layer, PVB films are heated in the space between the core tube and the outer protective shells – in a manner similar to that encountered in commercial laminated safety glass – and

Durchmesser vollständig durchbohrt werden, ohne zu versagen.

Die weiteren Versuche mit Verbundglasrohren in der Dimension von Stützen (Außendurchmesser 165 mm, Glasrohrlänge 3,6 m) erfolgten an der Fachhochschule München (Professor Bucak) und der Staatlichen Materialprüfanstalt des Landes Baden-Württemberg. Die Reststandfestigkeit wurde dabei in der Weise geprüft, dass die Anzahl von Pendelschlägen mit einer 10 kg schweren Stahlkugel (Fallhöhe 1 m) ermittelt wurde, bei der das Prüfrohr unter Bemessungslast seine Standfestigkeit verliert. Bei Raumtemperatur war dies erst nach 13 Schlägen der Fall. Die Reststandfestigkeit massiv geschädigter Rohre war unter Bemessungslast nach 18 Stunden und unter halber Bemessungslast nach 4 Tagen noch voll gegeben.

Selbstverständlich können Glasstützen nicht nur herkömmliche Stützen aus Stahl, Holz oder Beton ersetzen. Sie können auch als Druckelemente in räumlichen Tragwerken oder anderen Konstruktionen eingesetzt werden, bei denen idealerweise die Zug – und Druckkräfte in unterschiedliche Elemente aufgelöst werden. Schon auf der glasstec 1996 wurde dies in einer Tensegrity Struktur vorgeführt. (Entstanden im Zuge eines Seminars des Instituts für Baukonstruktion L2, ausgeführt von Stefan Gose und Patrick Teuffel.) Im Jahre 2000 präsentierte Professor Friedrich Wagner auf der glasstec in Zusammenarbeit mit Schott-Rohrglas GmbH und MERO einen 4,5 Meter hohen Raumtragwerksturm aus Glasrohren mit integrierten Vorspannstäben.

Die Entwicklung eines im industriellen Maßstab anwendbaren Herstellungsverfahrens für Glasverbundrohre ist ein großer Erfolg. Hierbei werden nach einer geschützten Methode Glashalbschalen um ein inneres Kernrohr laminiert. Als Verbindung werden PVB-Folien im Zwischenraum von Kernrohr und äußeren Schutzschalen - ähnlich wie bei handelsüblichen Verbundsicherheitsgläsern - erhitzt und unter Druck im Autoklaven mit den Glasteilen zu einem Verbundrohr zusammengepresst. Diese Technik hat sich über Jahrzehnte

pressed together in pressurised autoclaves with the glass components to produce a laminated tube. This technology has proven successful over the decades not only in the construction industry but also, particularly, in automobile manufacturing as the safest method for ensuring residual load bearing capacity and splinter containment. The inner tube bears the load and the outer tube protects the inner tube.

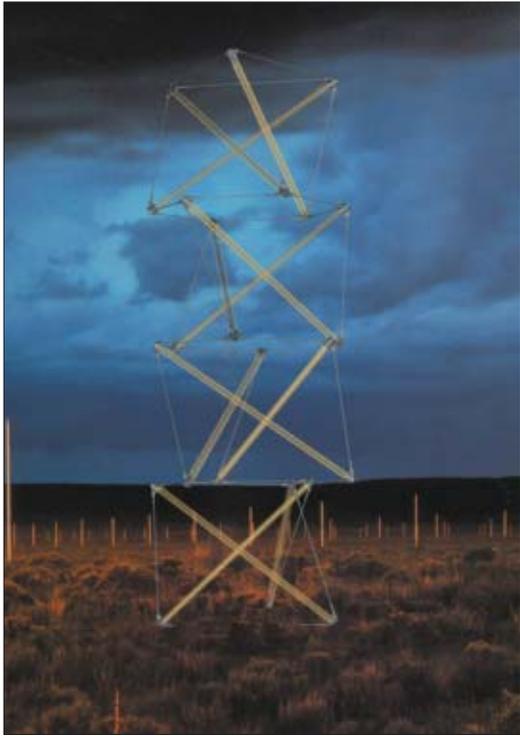
The first application of laminated glass tubes in architecture can be found in the atrium façade of the Tower Place office block of London, designed by Foster and Partners. One of the currently most innovative façade designers – Wagner Biro, Vienna under the leadership of Johann Sischka and Peter Luggner – assumed full responsibility for creating and constructing the spectacular atrium, so continuing their successful cooperation with Foster and Partners.

To summarise it can be said that laminated glass tubes open up unimagined design possibilities for those striving to create a transparent architectural effect. This new development could have a similar impact on architecture as was once the case following the invention of reinforced concrete. While this may not be a revolution, it nevertheless certainly constitutes an important and enriching development for architecture in general.

nicht nur im Bauwesen, sondern speziell auch im Automobilbau als die sicherste Methode zur Gewährleistung von Resttragfähigkeit und Splitterbindung bewährt. Das innere Rohr trägt, das äussere Rohr schützt. Die erste Anwendung von Verbundglasrohren in der Architektur ist in der Atriumsfassade des Bürogebäudes Tower Place, London von Foster and Partners zu sehen. Hierbei hat eine der zur Zeit innovativsten Fassadenfirmen „Wagner Biro, Wien – unter der Leitung von Johann Sischka und Peter Luggner die Gesamtrealisierung des spektakulären Atriums übernommen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, dass Verbundglasrohre für jeden, der eine transparente Architektur anstrebt, ungeahnte planerische Möglichkeiten eröffnen. Diese Neuentwicklung könnte die Architektur ähnlich beeinflussen wie einst die Erfindung des Stahlbetons. Vielleicht noch keine Revolution aber gewiss ein wichtiger Schritt und eine Bereicherung für die Architektur.





WEGE ZUM GLÄSERNEN SKELETT DIPL.-ING. JOACHIM ACHENBACH

Im letzten Jahrhundert gab es eine kurze Episode in der Glasrohrprofile im Bauen verwendet wurden. Bekanntestes Beispiel dürften die "Glasröhrenfenster" im Hauptverwaltungsgebäude der S.C Johnson & Son Company in Racine/Wisconsin 1936-1939 (Architekt: Frank Lloyd Wright) sein. Die damals als ornamentale, tageslichtstreuende, mit Glasröhren gestalteten Bauteile hatten jedoch keine strukturelle Funktion. Den allgemeinen Einzug von Glasröhren in das Bauen konnten diese kunstvoll gestalteten Elemente nicht nach sich ziehen, denn die aufwändigen Einzelanfertigungen waren kaum auf allgemeine Anwendungen übertragbar. Nicht zuletzt weil damit Sicherheitsaspekte nicht ausreichend abgedeckt werden konnten, gerieten diese frühen Beispiele von Glasrohrprofilen in der Architektur wieder in Vergessenheit.

In jüngster Zeit sind unter Verwendung von Flachglas als konstruktiver Werkstoff außerordentlich innovative und

THE ADVENT OF GLASS FRAMEWORK JOACHIM ACHENBACH, DIPL.-ING.

In the last century, there was a brief period when glass tube sections were used in construction. The most famous example are surely the glass tube windows at S.C. Johnson & Son's headquarters in Racine, Wisconsin, designed by Frank Lloyd Wright, 1936-1939. The elements designed from glass tubes, however, were meant to serve as decoration and let in light, but had no structural function. These artistic elements did not lead to the widespread use of glass tubes in construction, because their custom manufacture was painstaking and could not be universally applied. Not least due to lingering safety concerns, these prototype glass tube sections were retired to the annals of architecture.

In recent times, flat glass has been used as a structural element, opening the way for exceptionally innovative and attractive architecture that serves as an excellent example of the impact today's flat glass products have. The significance of structural ele-

ästhetische Architekturbeispiele entstanden, mit denen die Bedeutung der heute auf dem Markt erhältlichen Flachglasprodukte eindrucksvoll veranschaulicht wurde. Die Bedeutung Konstruktiver Elemente aus Glasrohrprofilen für die Architektur im 21. Jahrhundert ist dagegen erst noch zu entdecken. Zweifellos müssen noch vorhandene psychologische Barrieren abgebaut werden, um Glasrohrprofilen im Bauwesen zum Durchbruch zu verhelfen. Damit ist weniger unberechtigtes Mißtrauen in deren Leistungsfähigkeit gemeint, denn dieses ließe sich leicht widerlegen. Die Tatsache, daß mit konstruktiven Elementen aus Glasrohrprofilen neben der "Fläche aus Glas" nun auch die "Achse aus Glas" beim Entwerfen und Konstruieren zur Verfügung steht, erweitert das architektonische Repertoire ganz erheblich. Ich glaube deshalb: Wir stehen heute am Beginn eines neuen Zeitalters, dem des "GlasSkelettbaus". Auf die daraus entstehenden Fragen zur Struktur und Ästhetik von Raum und Konstruktion bedarf es nun des Forscherdrangs von Architekten und Ingenieuren gebaute Antworten zu finden, die auch über den schlichten Ersatz von Stahl, Holz oder Beton hinausgehen müssen.

Am Institut für Baukonstruktion und Entwerfen L2 der Universität Stuttgart setze ich mich mit Prof. Stefan Behling und Prof. Friedrich Wagner (IBK2) mit den Fragestellungen zum Thema "Konstruktive Elemente aus Glasrohrprofilen in Tragstrukturen" seit Mitte der 90er Jahre intensiv auseinander. In der fruchtbaren Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Fritz-Dieter Doenitz und Herrn Dipl.-Ing. Herbert Jung von der Schott-Rohrglas GmbH ist es jetzt gelungen die Systementwicklung und Fertigungstechnik für Verbundglasrohre als Komplettbauteil erstmals praktisch umzusetzen.

Ein weiteres wichtiges Interessensgebiet am IBK2 sind die planerischen Grundlagen der Anwendung dieser neuartigen Produkte in der Architektur. Daraus sind in meinen Lehrveranstaltungen über die Jahre einige bemerkenswerte Arbeiten entstanden, die erste wohlüber-



ments made from glass tube sections for 21st century architecture, however, remains to be seen. Undoubtedly, there are psychological barriers yet to be overcome before glass tube sections are widely accepted in construction. These barriers are not so much unfounded mistrust in the capabilities of glass tube sections – these fears can be easily allayed. The fact that glass construction options are not limited to "glass surfaces" any more, but that structural elements made from glass tube sections can serve as "glass axes" in design and construction, expands the architectural repertoire quite considerably. For this reason, I believe we are on the verge of a new age, the glass framework age. Of course, questions arise with regard to the structure and aesthetics of space and design: It takes the exploratory spirit of architects and engineers to develop solutions that are more than mere replacements for steel, wood or concrete.

At the Institute for Building Technology and Design at the University of Stuttgart, I have been working closely with Professors Stefan Behling and Friedrich Wagner (IBK2) on the issue of "glass tube sections as load-bearing structural elements" since the mid-90s. In a fruitful cooperation with Dr. Fritz-Dieter Doenitz and Herbert Jung, Dipl. Ing. of SchottRohrglas GmbH, we have now been able to implement system development and manufacturing techniques for lamina-

legte Schritte auf dem Weg zum glasernen Skelett darstellen. Diese und andere Arbeiten werden auf der glasstec 2002 ausführlich präsentiert. Einige werden in Zusammenarbeit mit Industriefirmen als gebaute Beispiele verwirklicht. Sie lassen erahnen, daß die Materialökonomie, das in schlanken Linien reflektierende Licht und die hohe Transparenz nicht als vordergründige Vorteile konstruktiver Elemente aus Glasrohrprofilen gegenüber dem Flachglas zu sehen sind. Flachglas und Rohrprofilglas können sich in der Architektur vielmehr synergetisch ergänzen, um die Vorzüge des Skelettbaus im konstruktiven Glasbau voll auszuschöpfen.

Anmerkung der Red. zum Verfasser: Dipl.-Ing. Joachim Achenbach bearbeitet am Institut für Baukonstruktion, Universität Stuttgart eine Dissertation zum Thema „Das gläserne Skelett – Systementwicklung, Herstellungsverfahren und Anwendung konstruktiver Elemente aus Glasrohrprofilen in Tragstrukturen“ als Promotionsvorhaben.

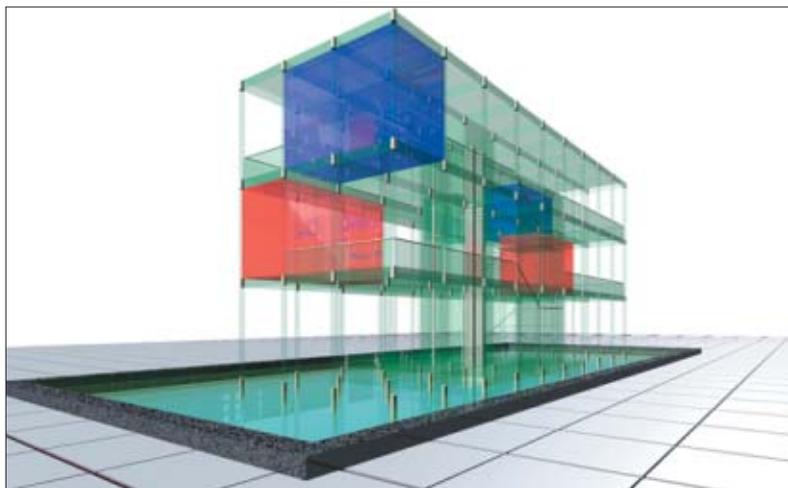
TensegrityStruktur: (Entwurf: Roland Haehnel). Wenngleich die Grenzen zwischen Skulptur und Konstruktion hier verschwimmen, wird damit besonders das ästhetische Potential von Glasrohrprofilen mit einem Projekt zur Schau gestellt, womit gedanklich an die TensegrityStrukturen von Kenneth Snelson angeschlossen werden soll. Während Snelson mit

ted glass tubes as an overall construction element.

A further significant point of interest at the IBK2 are the design fundamentals of these innovative products in architecture. In my courses over the years, students have presented some fascinating projects, which represent the first real steps on the way to glass framework. These and other projects will be presented in detail at glasstec 2002. Some will be on show as actual structures built in cooperation with industrial companies. They suggest that materials conservation, light reflected in slim lines and high transparency are not the uppermost advantages of glass tube structural elements when compared to flat glass. Flat glass and tube-shaped glass, rather, can complement one another, creating synergies and exploiting the benefits of frames in structural glass architecture to their full potential.

Editor's note on the author: Joachim Achenbach, Dipl.-Ing., is working on his dissertation, "Glass framework – system development, manufacturing processes and applications for glass tube sections as load-bearing structural elements" at the Institute for Building Technology and Design at the University of Stuttgart.

Tensegrity structure: (designed by Roland Haehnel) Although the line between sculpture and design appears blurred,



Metallrohren arbeitete, soll mit dieser "Tensegrity 2002" mit minimalistischen Mitteln die optische Leichtigkeit dieser aus diskontinuierlichen Druckelementen bestehenden Tragwerke mit einem Dutzend 3m langer Glasrohre auf die Spitze getrieben werden. Mit annähernd 8 Metern ist die Höhe dieser turmartigen Struktur lediglich durch die lichte Höhe der Ausstellungshalle begrenzt.

Glasrohrbrücke:
(Entwurf und Planung: Stefan Birk und Liza Heilmeyer)
Einen weiteren Schritt zur transparenten Konstruktion stellt eine Glasrohrbrücke dar, denn hier werden stabförmige Elemente aus Glasrohrprofilen exemplarisch in ein Tragwerk dort eingebunden, wo üblicherweise Stahlrohre Anwendung finden. Das im Entwurf mit 8 Feldern über 20m spannende Tragwerk wäre durchaus für größere Spannweiten geeignet und könnte z.B. ebenso eine Achse in einem Dachtragwerk für eine Atriumverglasung darstellen. Der Obergurt wird aus einzelnen begehbaren Verbundglasplatten gebildet die durch Stoßleisten gelenkig miteinander verbunden sind und die Druckkräfte in die Auflager führen. Das Besondere an der Glasrohrbrücke sind jedoch die die Vorspannung der Gesamtstruktur durch die Zugglieder die Glasrohre auch bei Lastwechselreaktionen unter Druckspannung hält. So wird jedes Material entsprechend seinen besonderen Leistungsmerkmalen eingesetzt

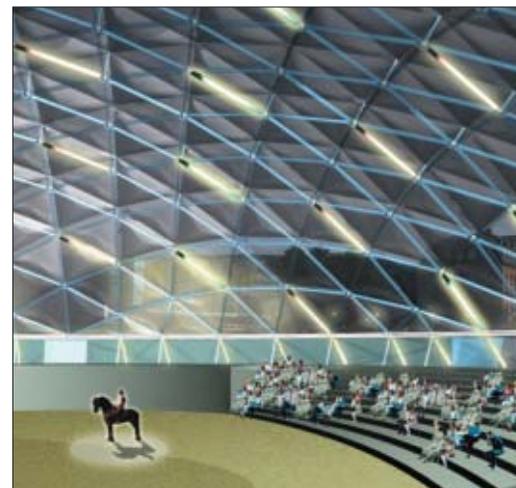
this project particularly highlights the aesthetic potential of glass tube sections. It is meant to remind the viewer of Kenneth Snelson's tensegrity structures. While Snelson worked with metal tubes, "Tensegrity 2002" uses a minimalist approach, intended as the culmination of visible lightness. This load-bearing structure is made from discontinuous compression members with a dozen glass tubes, 3 metres in length. At nearly 8 metres, the height of this tower-like structure is hindered only by the clear height of the exhibition hall.

Glass tube bridge:
(concept and design: Stefan Birk and Liza Heilmeyer)
A glass tube bridge is a further step toward increased transparency in building construction. Here, by way of example, rod-like elements of glass tubes have been placed in a load-bearing framework where one would normally find steel tubes. The structural design of the bridge with eight panels spanning more than 20 metres could be used for even wider spans and could also serve as an axis in a roof structure for glazing an atrium. The top chord is made from walk-on laminated glass panels, flexibly connected by butt-connecting glazing rails that transmit pressure to the bearing supports. The special feature of the glass tube bridge is that the entire structure is prestressed by tension members that keep the glass tubes in compression even under alternating load conditions. So each material is

und der Anteil nichttransparenter Elemente weiter minimiert.

Glashaus:
(Entwurf: Stefan Feifel)
Der Entwurf für ein mehrschichtiges Haus experimentiert mit Deckenscheiben aus Glas-Sandwichelementen, lastabtragenden Glasrohrstützen, ausstufenden Glasscheiben und einer Vorhangfassade. Farblich bedruckte Bereiche dienen als Sichtschutz für Rückzugsorte. Wenn gleich bisher noch keine technisch und wirtschaftlich erfolgversprechende Produktionsmethode für großformatige Glas-Sandwichplatten ausgereift ist, wird mit diesem Konzept anschaulich, was heute grundsätzlich möglich ist.

Gitterschale:
(Entwurf: Tobias Nischt)
Ungleich kühner und doch nah am technisch Möglichen ist das Konzept für eine Multifunktionshalle, deren Grundriß von einer 80 m spannende Gitterschale überbrückt wird. Die Dreiecksstruktur wird von ca. 5 Meter langen Glas-Verbundrohren und speziell entwickelten Knotenpunkten gebildet sowie einem aufgeständerten Seilnetz als 2. Ebene, das die Gitterschale zur Stabilisierung vordrückt. In den Endbauteilen der Glasrohre sind Lichtquellen integriert. Die Kräfte aus Druckebene (Glasrohre) und Zugebene (Seilnetz) schließen sich in einem aufgeständerten Traufring kurz. In die 2. Ebene ist das Hüllsystem aus pneumatischen Folienkissen



integriert. Diese Studie zeigt beispielhaft, wie konstruktive Elemente aus Glasrohrprofilen bei größeren Spannweiten materialgerecht in Tragwerken eingesetzt werden können und so ihr Leistungspotential entfalten.

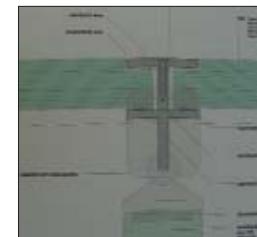
used for its special qualities, and the amount of non-transparent materials is further reduced.

Glass house:
(designed by Stefan Feifel)
This design for a multi-storey house experiments with ceiling panels made from sandwich glass, load-bearing glass tube pillars, rigid glass panels and a curtain façade. Coloured areas are used to provide privacy. Although a technologically and economically promising production method has yet to be found for oversized sandwich glass panels, this concept reveals what is theoretically feasible today. (Fig.: house. 3.12)

Gridshell:
(designed by Tobias Nischt)
Even more daring, but not far from technically feasible: a concept for a multipurpose hall, the layout of which is spanned by an 80-metre gridshell. The triangular structure is composed of approx. 5-metre laminated glass tubes and special nodes, as well as a raised rope net that serves as a second level and stabilises the gridshell by pushing it forward. Lighting is built into the glass tube ends. The compression (glass tubes) and tension (rope net) levels converge in a raised eave ring. The second level features a sheath system made from pneumatic foil cushions. This study is exemplary of the fact that structural elements made from glass tube sections can be used in load-bearing structures in keeping with the material's pro-

CREDITS - GLASS BRIDGE
University of Stuttgart, IBKL2, Prof. Stefan Behling, Prof. F. Wagner, Dipl. Ing. Joachim Achenbach
DESIGN
Stefan Birk & Liza Heilmeyer
CONSULTING
Xyfung Kong, Irmgard Lochner, ILEK Uni Stgt.
SPONSORING
SCHOTT Rohrglas GmbH, Saint Gobain Dt. Glas GmbH, Dorma GmbH, Böhmler Metallglasbau GmbH, Hilti GmbH

erties even for broader spans, exploiting their full potential.



CREDITS - TENSEGRITY STRUCTURE
University of Stuttgart, IBKL2, Prof. Stefan Behling, Prof. F. Wagner, Dipl. Ing. Joachim Achenbach
DESIGN
Roland Haehnel
CONSULTING
Mario Prskalo, Stefan Peters (ITKE Uni Stgt.)
SPONSORING
SCHOTT Rohrglas GmbH, Astec GmbH Designbeschläge, Pfeiffer Seiltechnik GmbH, Böhm, Glas-Metallbau GmbH