

Glastechnologie

Schaltende und schaltbare Gläser

Die neue Glasgeneration nutzt die Schaltbarkeit von Gläsern in Fenstern und Glasfassaden, um Strahlungseinflüsse regulierbar zu machen. Bisher waren schaltbare Gläser (Privta-Lite, Vegla GmbH, vgl. 134/135 ARCH⁺, S. 127) lediglich für den Innenbereich verfügbar. Hierbei spielten jedoch energetische Überlegungen keine Rolle, sondern der Wunsch, für bestimmte Räume den Wechsel zwischen transparenter und geschlossener Wand per Knopfdruck zu ermöglichen.

Bei den neuen Gläsern wird eine Entkopplung von Energieeintrag und Lichteinfall, zwischen g-Wert und Lichtdurchlässigkeit, die konventionelle Gläser nicht bieten, angestrebt. Man unterscheidet zwischen schaltenden (thermotropen, thermochromen) und schaltbaren (elektrochromen, gasochromen) Beschichtungen. In ihrem jeweiligem Ansatz sind sie grundverschieden. Sie machen sich unterschiedliche physikalische Prinzipien zunutze.

Thermotrop

Eine thermotrope Schicht besteht aus einer Mischung zweier Kunststoffe (Polymere) mit unterschiedlichem Brechungsindex. Bei niedrigen Temperaturen sind die beiden Polymere vermischt. Die Schicht ist homogen, transparent und erlaubt freie Durchsicht bei hoher Lichtdurchlässigkeit.

Bei höheren Temperaturen wenden sich die Polymere voneinander ab, werden 'entmischt' und trennen sich in Bereiche submikroskopischer Größe. In diesem Zustand wird das Licht stark gestreut und die Scheibe erscheint milchig weiß. Ein geringer Teil des Lichtes wird transmittiert, der größte Teil diffus reflektiert. Überhitzung wird somit vermieden. Dieser Prozeß ist reversibel: Bei sinkender Temperatur vermischen sich die Kunststoffe wieder.

Im einfachsten Anwendungsfall werden in eine Verbundglasscheibe sogenannte Polymerblends einlaminiert. Diese werden als äußere Scheibe angeordnet und damit ausschlaggebend von der Außentemperatur beeinflusst, um unerwünschte Schaltungen im Winterhalbjahr zu vermeiden.

Der Aufbau wird durch eine Edelgasgefüllte Wärmeschutzverglasung ergänzt, um insgesamt einen niedrigen k-Wert zu erreichen.

Mit der Überprüfung und Verbesserung des Alterungsverhaltens ist vor der Markteinführung noch eine Hürde zu überwinden. Daher werden zur Zeit am Fraunhofer-Institut ISE die mechanischen und elastischen Eigenschaften der Folie unter verschiedenen Klimaeinflüssen, Temperaturen und UV-Strahlungen getestet. Die Entwicklung von Prüfmethode für ein sich veränderndes System ist noch nicht abgeschlossen. Industrielle Partner des Fraunhofer-Instituts ISE sind Interpane, BASF AG, Sto AG und Okalux Kapillarglas GmbH.

Als Gebäudeverglasung sind thermotrope Verglasungen für Situationen vorgesehen, bei denen eine diffuse Beleuchtung annehmbar oder sogar von Vorteil ist. Denkbar sind hier Dachverglasungen für Fabrikhallen oder Fensterelemente in Brüstungs- oder Oberlichthöhe. Auch im Zusammenhang mit großflächigen Dämmsystemen (z.B. TWD) zur Vermeidung von Hitze Problemen im Sommer ist der Einsatz vorgesehen. Bisher mußten zusätzliche mechanische Systeme wie Rollos oder Faltbleche vor Solarwänden eingesetzt werden. Beim Einsatz der neuen Gläser sorgt Hitze für Schatten, da bei hohen Temperaturen die Durchlässigkeit für Sonnenlicht drastisch sinkt.

Thermochrom

Die Grundlage von thermochromen Gläsern stellen Verbindungen dar, deren Schmelztemperatur im Bereich der idealen Wohnraumtemperatur liegt. Das Transmissionsverhalten ändert sich temperaturabhängig. Die von den Giessener Wissenschaftlern Bruno Meyer und Dirk Schalch entwickelten Gläser sind mit dotiertem Vanadiumdioxid beschichtet. Der Funktionsweise liegt die Herabsetzung des Schmelzpunktes von Vanadiumdioxid auf Zimmertemperatur zugrunde. Physikalisch spricht man dabei von einem Metall-Halbleiter-Phasenübergang, mikroskopisch betrachtet ist die Anordnung der Atome in beiden Phasen unterschiedlich. Oberhalb des Schmelzpunktes ist Vanadiumdioxid ein Metall, das Wärmestrahlung reflektiert, unterhalb dessen ein Halbleiter, der infrarotes Licht transmittiert.

Dazu wird Vanadiumdioxid mit Wolfram und Fluoriden dotiert: Wolfram senkt die Schmelztemperatur, die Fluoride kompensieren den Verdunklungseffekt des Wolframs und sorgen für erhöhte Transmission

im sichtbaren Spektralbereich. Durch zusätzliches Aufbringen einer Antireflexbeschichtung erzielten diese Gläser einen Lichttransmissionswert von 65 %. Um für die Wirkung günstigere, größere Kristalle in den Schichten zu bilden, muß die Beschichtung bei hohen Temperaturen aufgebracht werden. Die Maximaltemperatur von 500 °C bei der Floatglasherstellung bildet hier die obere Grenze. Eine weitere Optimierung erfolgt durch die Herstellung in geringen Schichtdicken im Bereich von etwa 65 Nanometer. Die Anwendung thermochromer Gläser ist zum Beispiel als Schutzabdeckung bei Sonnenkollektoren zur Regelung des Energieeintrages sinnvoll.

Für schaltbare Gläser wird Wolframoxid eingesetzt. Es kann reversibel von einem transparenten in einen Zustand blauer Färbung mit geringer Transmission geschaltet werden. Diese Eigenschaft nutzen gasochrome und elektrochrome Prinzipien auf unterschiedliche Weise.

Gasochrom

Gasochrome Gläser lassen sich per Knopfdruck oder automatisch gesteuert rasch tiefblau einfärben und wieder entfärben. Dies geschieht durch Gaswechsel im Scheibenzwischenraum des Isolierglasverbunds. Die Beschichtung auf der Innenseite des Glases wird damit geschaltet. Man bezeichnet dieses Verfahren als 'katalytisch', weil das Gas als Katalysator für die Reaktion erforderlich ist.

Gasochrome Gläser bilden atomaren Wasserstoff aus einer geringfügig wasserstoffhaltigen Gasatmosphäre. Der Wasserstoff diffundiert in die Wolframoxid-Beschichtung. Eine Reaktion von Wolframoxid mit den Wasserstoffionen (Protonen) färbt dieses blau. Die verursachte Absorption von rotem Licht läßt das Wolframoxid blau erscheinen. Das Einströmen von Wasserstoff führt zur Einfärbung. Ein Wasserstoffanteil im Promillebereich genügt. Das Einströmen von Luft, bzw. Sauerstoff bewirkt die Entfärbung. Der Prozeß ist reversibel und benötigt im Gegensatz zu elektrochromen Verglasungen keine Stromzufuhr. Die Geschwindigkeit der Einfärbung ist über die Wasserstoffkonzentration und die Strömungsgeschwindigkeit des Gases steuerbar. Dies soll ein Versorgungsgerät leisten, das diese Gase liefert.

Gasochrome Gläser sind wie folgt aufgebaut: Auf das Glas ist eine Wolframoxid-Beschichtung aufgebracht, danach folgt eine Katalysator-Schicht (Platin), dahinter liegt der Zwischenraum, in den Wasserstoff oder Sauerstoff im Träger-Gas eingelassen werden, abgeschlossen von einer zweiten Schicht Glas. Eine dritte, low-e-beschichtete Scheibe und ein zweiter, mit Edelgas gefüllter Scheibenzwischenraum, sorgen für einen ausreichend niedrigen k-Wert.

Das Aufbringen der Schichten erfolgt auf konventionelle Art wie bei herkömmlicher low-e-Beschichtung mit Hilfe eines Sputterverfahrens auf Basis der Sol-Gel-Technik.

Das Versorgungsgerät ist problematisch. Es muß die Gasflüsse regeln, also den Wasserstoff zurückholen und Sauerstoff einspeisen können und umgekehrt. Ob dies mit einem automatischen Sensor, der auf Innentemperatur oder Sonnenstrahlen reagiert, oder manuell per Knopfdruck geschehen soll, ist noch offen. Letztlich bedingt dies auch die Beschichtung des marktreifen Produkts.

Elektrochrom

Elektrochrome Isoliergläser nutzen eine über den Controller steuerbare variable Transmission. Die Transmissionsänderung wird durch geringe elektrische Spannungsimpulse unter 5 Volt ange-regt.

Ein elektrochromer Aufbau besteht aus transparenten leitfähigen Elektroden und oxidischen Beschichtungen, die Ionen und Elektronen aufnehmen und abgeben können. Den Kern des Glasaufbaus bildet eine leitfähige Polymerfolie in festem Verbund mit den Gläsern. Sie wirkt als Elektrolyt bzw. Ionen-Leiter: Sie verfügt über eine hohe Durchlässigkeit für Ionen und ist nahezu undurchlässig für Elektronen. Legt man eine geeignete Spannung an die transparenten Elektroden, fließen die eingebrachten Ionen (Lithium) - je nach Stromrichtung - nach dem Prinzip der galvanischen Zelle von der einen in die andere Schicht. Da sich entgegengesetzte Ladungen anziehen, entsteht durch das Einbringen der Ionen ein ladungsausgleichender Elektronenrückfluß. Da die Polymerfolie für Elektronen nahezu undurchlässig ist, vollzieht sich der Elektronenrückfluß über den externen Stromkreis und führt zu einer veränderten Elektronendichte. Diese bewirkt in der elektrochromen Schicht eine Veränderung ihrer optischen Eigenschaften:

Werden Lithium-Ionen in die Wolframoxidschicht eingebracht, färbt sich diese dunkelblau. Die Umkehrbarkeit dieses Vorgangs ermöglicht eine einfache Steuerung der Licht- und Energie-durchlässigkeit. Auch nach Abschalten der externen Spannung bleibt der jeweilige Zustand stabil, weil die Polymerfolie nahezu undurchlässig für Elektronen ist. Man spricht hier von einem 'open circuit memory'. Deshalb benötigen elektrochrome Gläser nur zur Transmissionsänderung eine elektrische Spannung. Die zum Ändern der Transmissionseinstellung der Gläser erforderliche elektrische Energie ($< 2 \text{ W/qm}$) ist im Verhältnis zu den möglichen Energieeinsparungen durch Minimierung des Klimatisierungs- und Beleuchtungsenergiebedarfs gering. Die Veränderung der Färbung des Glases verläuft lautlos und langsam und entzieht sich damit der Aufmerksamkeit der Raumnutzer.

Voraussetzung der praktischen Nutzbarkeit des elektrochromen Prinzips ist die Haltbarkeit der Beschichtungen, die Effizienz der Einfärbung im Verhältnis zur angelegten Spannung und die Geschwindigkeit des Entfärbungsvorganges.

Bisher gab es elektrochrome Gläser in serieller Fertigung nur als Kfz-Rückspiegel, seit einiger

Zeit ist elektrochromes Isolierglas auch für großflächige Anwendung im Baubereich vorhanden. An der fünfjährigen Forschungs- und Entwicklungsarbeit sind neben der Universität Erlangen, dem Fraunhofer-Institut Holzkirchen und dem Institut für Fenster-technik in Rosenheim die Firmen Pilkington und Flabeg beteiligt.

Jedes Glas kann, ausgestattet mit einem separaten Steuergerät, individuell eingestellt werden. In der Praxis werden jedoch Gruppensteuerung und damit Synchronisierung mehrerer Fenster bevorzugt werden.

Vergleich

Der gasochrome Schichtenaufbau ist einfacher als der fünf-schichtige Aufbau der elektrochromen Scheiben. Gasochrome Gläser benötigen dafür aber ein Versorgungsgerät. Elektrochrome Schichten sind hinsichtlich der Steuerung einfacher: Sie brauchen nur ein Gerät, das Spannung liefert und einen Schalter, jedoch ist ihre Beschichtung komplizierter. Theoretisch kann man bereits heute mit gasochromen Fenstern ökonomisch große Flächen realisieren. Bei Einsatz der neuen steuerbaren Gläser kann auf ein zusätzliches Sonnenschutzsystem mit den damit einhergehenden Wartungskosten verzichtet werden. Alle vier Vertreter der neuen Glas-Generation

sind eine Herausforderung für herkömmliche Sonnenschutz-Systeme. Daher besteht die Möglichkeit, daß dieser Innovations-schub den nächsten bedingt.

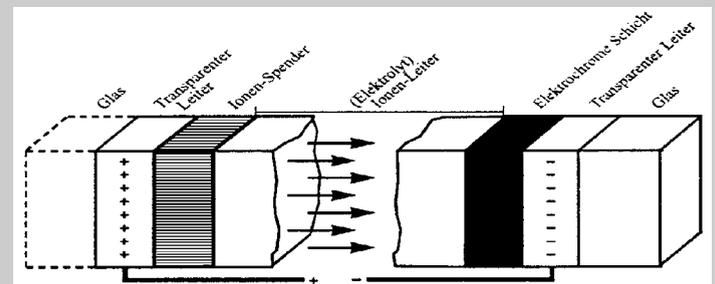
Ipasol platin Interpane International

Der Prototyp dieses ersten gasochromen Glases wurde auf der glastech '98 der Öffentlichkeit vorgestellt. Derzeit gibt es Ipasol platin noch nicht in Serienproduktion.

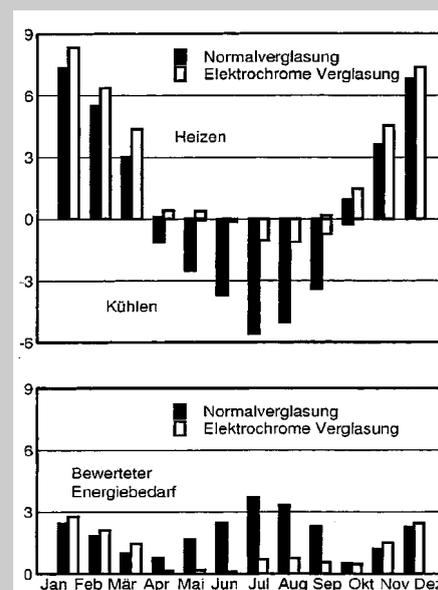
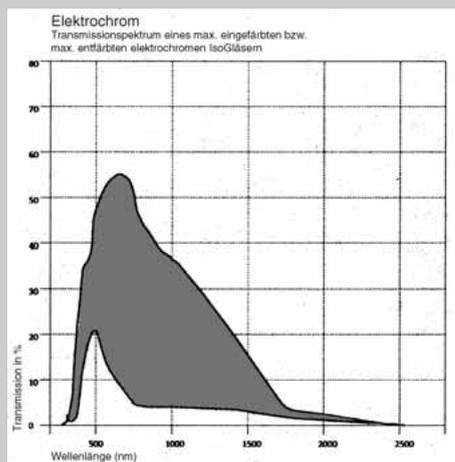
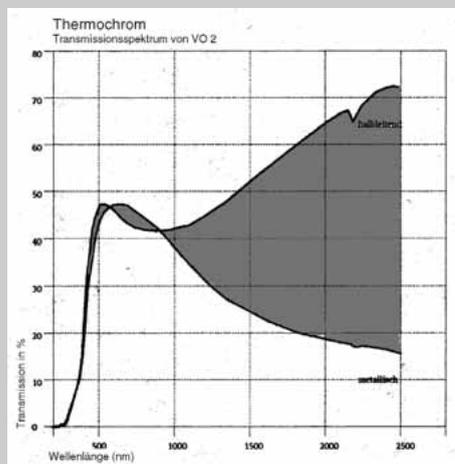
E-Control Pilkington Deutschland GmbH, Flabeg GmbH

Der Prozeß der Transmissionsänderung von der hellsten bis zur intensivsten Einstellung einer Standardscheibe dauert zwölf Minuten. Freie Durchsicht bleibt in jedem Zustand erhalten. Gegenwärtig wird das Glas in Kombi-

nation mit dem Wärmeschutzglas Optitherm S angeboten, kann aber auf Wunsch auch mit anderen Wärmeschutzbeschichtungen kombiniert werden. E-Control läßt sich in handelsüblichen Rahmenprofilen für 29 mm Isolierglasdicke einsetzen. Die maximale Scheibengröße beträgt derzeit 90 x 200 cm. Wie bei Alarmverglasungen benötigt jede Scheibe eine separate Zuleitung. Die Einstellung kann manuell am Bedienfeld der Gruppensteuerung oder integriert über ein Hausbus-System erfolgen. In Abstimmung mit den anderen Komponenten der Gebäudetechnik im Bussystem werden die besten Energie-Einspar-Resultate für Klimatisierung und Beleuchtung erzielt.



oben: Transmissions-Spektrum thermo-chromer Isoliergläser; unten: Transmission eines maximal eingefärbten bzw. eines maximal entfärbten elektrochromen Isolierglases



oben: Schichtenaufbau des elektrochromen Glases E-Control; darunter: E-Control im 'dunklen' Zustand, Lichttransmission 15 % (links), im 'hellen' Zustand, Lichttransmission 50 % (rechts); Diagramm: Versuche von Pilkington in zwei identischen Testzimmern - das eine mit normaler Isolierverglasung, das andere mit E-Control, ergeben: Aufgrund des höheren g-Wertes für elektrochromes Glas ist hier ein etwas höherer Heizenergiebedarf (Winter) vorhanden. Durch den wesentlich geringeren Kühlenergiebedarf (Sommer) wird jedoch insgesamt Energie eingespart.

Beschichtete Gläser

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

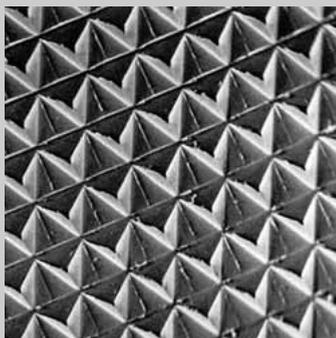
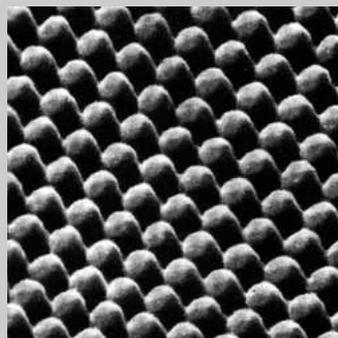
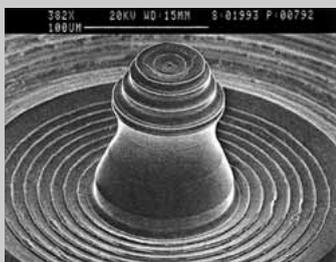
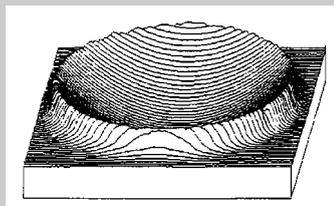
Einen Forschungsschwerpunkt von Industrie und einigen wissenschaftlichen Instituten stellt derzeit der Bereich Oberflächentechnik dar. Dabei stehen verschiedene Forschungsziele im Mittelpunkt: Im Bereich der Analyse kann bei zweidimensionalen Verfahren mit bildverarbeitenden Systemen Aufschluß über ganze, dreidimensionale Werkstücke und deren Zustand, also auch eventuelle Defekte, gewonnen werden. Mustererkennungsverfahren über Oberflächenanalyse sind im Bereich Sicherheitstechnik relevant.

Neben der Analyse wird das Herstellen neuartiger High-Tech-Werkstoffe angestrebt, die sich durch optimal auf die jeweilige Anwendung abgestimmte, speziell maßgeschneiderte Werkstoffeigenschaften mit hochspezialisierten Funktionen auszeichnen. Derartige Oberflächenwerkstoffe für vielfältige Industrieanwendungen stehen bereits zur Verfügung.

oben: Im Prägeverfahren auf einem Nanofilm hergestellte, hier mit Profilometer vermessene, Oberflächenstruktur aus Mikrolinsen: Die durch leichten Druck der Prägestempel auf der Sol-Gel-Beschichtung entstandenen Strukturen werden durch Gelieren fixiert, von den Formen getrennt und bei 500 Grad erhitzt; Mitte und unten: spanabhebende Komponentenfertigung

ung. Für den Baubereich bedeutet dies zukünftig Möglichkeiten zur Verbesserung mechanischer Eigenschaften von Oberflächen oder entsprechender Schichten als Schutz etwa gegen Korrosion und Verwitterung.

Das aktuelle Thema der Oberflächentechnik ist die Mikrostrukturierung großer Oberflächen. Hierbei geht es um die präzise Herstellung von Millionen winziger Erhebungen und Vertiefungen, die nur ein zehntel bis ein zehntausendstel Millimeter groß sind. Kleine, zentimetergroße Flächen sind inzwischen gut herstellbar, jedoch stellt das Erzeu-



gen von homogenen Mikrostrukturen auf großen Flächen bzw. die großflächige Vervielfältigung von Strukturen, wie sie in der Bauindustrie benötigt werden, nach wie vor eine technologische Herausforderung dar.

Die Herstellung der Mikrostrukturen kann auf verschiedene Weise erfolgen:

- durch klassische spanabhebende Ultrapräzisionsmaschinen (fräsen, drehen, hobeln, schleifen, bohren)
- durch sogenannte 'Zerspanung'
- durch Laser als Universalwerkzeug in der Mikrotechnik: Laser können abtragen, hinzufügen und verbinden
- durch lithographische Verfahren, beispielsweise Grautonlithographie und holographische Belichtung von Fotolack in Verbindung mit verschiedenen Ätztechniken.

Lithographische Verfahren übertragen komplexe Strukturen in einem Schritt von einer Maske auf einen lichtempfindlichen Lack. Beim Grautonlithographie-Verfahren können so dreidimensionale Strukturen übertragen und mit Ätztechniken anschließend in das Grundmaterial eingegraben werden. Damit können verschiedene Effekte erzielt werden. Im optischen Bereich werden etwa Gläser entspiegelt oder umgekehrt wird durch winzige Prismen (Katzenauge) Totalreflexion erzeugt, um etwa Straßenschilder besser sichtbar zu machen. Auch selbstreinigende Oberflächen können hergestellt werden. Eine künstliche 'Haifischhaut', versehen mit feinen Rillen, verringert den Strömungswiderstand von Flugzeugen und spart so Treibstoff.

Selbstreinigende Oberflächen

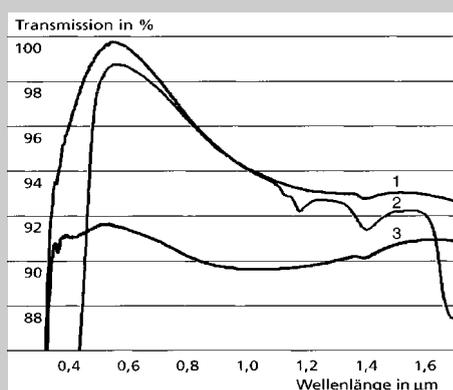
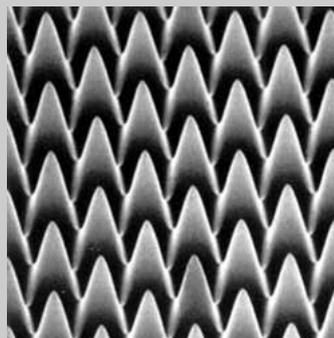
Hier bleiben die Schmutzpartikel auf den Mikroerhebungen liegen, werden von Regentropfen unter-spült und abgewaschen. Der nach dem Blatt der Blume benannte Lotus-Effekt wird mit winzigen Noppen erzeugt.

Clear-Shield Systemtechnik GmbH

Die Clear-Shield-Technologie beruht auf einem High-Tech-Polymer, das sich dauerhaft mit den Glasmolekülen der Glasoberfläche oder anderer glasartiger Produkte verbindet. Es ist ein Oberflächenschutzsystem zur Behandlung von neuem und Nachbehandlung von altem Glas. Idealerweise wird die Veredelung direkt bei der Produktion des Glases aufgebracht. Der Clear-Shield-Schutz bildet eine absolut glatte Oberfläche mit geschlossener Struktur, in der sich kein Schmutz ansammeln kann. Durch teflonartige Eigenschaften entsteht ein Antihafteffekt, der die Glasoberfläche resistent macht gegen Korrosion und Anhaften von Schmutz. Die aufgetragene Schicht wirkt antibakteriell. Der Auftrag der Beschichtung geschieht mit einer Sprühvorrichtung oder auf kleinen Flächen mit der Hand. Bei bereits beschädigter Oberfläche schafft ein 'Conditioner' Abhilfe. Zum System gehört ein Clear-Shield-Reiniger, der anfallende Verschmutzungen entfernt und zugleich die Beschichtung auffrischt. Der Einsatz ist seit 15 Jahren erprobt. Die Reinigungshäufigkeit kann laut Herstellerangabe um ca. 50 % und mehr reduziert werden. Das Mittel greift, anders als herkömmliche aggressive Reinigungsmittel, die photometrischen Eigenschaften von Sonnen- und Wärmeschutzgläsern nicht an, ist vollkommen transparent, chemisch inert und hitze- und UV-beständig.

Mikrostrukturierte Oberflächen, links: periodische Struktur mit filigranen Noppen ('Mottenaugeneffekt') zur Entspiegelung von Gläsern; Mitte und rechts: Nanostrukturen von 100 Nanometern Größe zur Entspiegelung von Glas

rechts: Transmissionspektren von entspiegelten Gläsern durch eine poröse Sol-Gel-Schicht (1), durch Ormocer-Mottenaugen (2), im Vergleich zu nichtentspiegelten Gläsern (3)



BI-Antisoil BGT Bischoff Glastechnik

Das Glas mit hauchdünner Easy-to-Clean-Beschichtung, vergleichbar mit Teflon, hat wasser- und ölabweisende Eigenschaften und kann auf alle Basisgläser aufgebracht werden, die im Floating-Verfahren erstellt werden. Die Haftkraft des Schmutzes wird deutlich reduziert bzw. ein Entfernen des Schmutzbelages vereinfacht. Die Wirkung der Beschichtung beruht auf Veränderung der Benetzungseigenschaften von Glas durch Anreicherung von perfluorierten Gruppen. Die Beschichtung ist kratzfest, abriebfest, gut witterungsbeständig und hat keinerlei Eigenfärbung.

Easy-to-clean-Beschichtungen Institut für Neue Materialien, Saarbrücken

Die optisch transparente Beschichtung wird im Sol-Gel-Verfahren hergestellt. Es handelt sich chemisch um anorganisch-organische Nanokomposit-Gradientenschichten mit fluorierten organischen Seitenketten. Der Effekt der Beschichtung ist eine reduzierte Haftung beliebiger Komponenten auf dem Trägermaterial (Glas, Kunststoff, Lackoberfläche oder Metall). Die Schicht bewirkt darüber hinaus erhöhte Abriebfestigkeit, hohe UV-Stabilität und - bei Aufbringung auf Metall - hohen Korrosionsschutz.

Entspiegelte Flächen, Reflexmodulation

Eine entspiegelte Fläche in der Größe eines A4-Blattes besteht aus etwa einer Billion Kegel, die alle gleich groß und regelmäßig angeordnet sind, eine retroreflektierende Oberfläche in A4-Größe enthält 1,5 Millionen Tripelspiegel. Ein effizientes und verhältnismäßig preisgünstiges Verfahren zur Entspiegelung von Glasoberflächen ist das zur Anwendungsreife entwickelte Verfahren der holographischen Belichtung von Fotolack. Damit können große Flächen mit extrem feinen, periodischen Strukturen von nur 100 Nanometern Größe versehen werden. Deren Wirkung wird als 'Mottenaugen-Effekt' bezeichnet. Die nachtaktiven Augen von Motten sind mit feinsten Noppen übersät, die Reflexion von Licht unterdrücken. Dabei handelt es sich um einen doppelten Effekt: Die Motten sehen selbst mehr und werden nicht gesehen. Physikalisch beruht dieser Effekt darauf, daß diese feinen Noppen kleiner als die Wellenlänge des Lichts sind. Die Mischung aus Werkstoff und Luft wirkt wie ein homogenes Medium und es entsteht ein gleitender Übergang von Luft zu Glas- oder Kunststoffoberflächen.

Bei den bisherigen Proben mit periodischen Mikrostrukturen von weniger als 300 Nanometern Größe konnte die Restreflexion

im sichtbaren auf 0,9 und im solaren Bereich auf 2,2 Prozent gedrückt werden.

Luxar-Interferenz Glas Trösch AG

Luxar-Interferenz ist ein optisch entspiegeltes Glas ohne störende Spiegelungen und Lichtreflexe. Die Entspiegelung ist ebenfalls bei allen Glasarten ausführbar. Optional kann ein- oder zweiseitig beschichtet werden, bei VSG jedoch nur an den Außenseiten. Die Farbe der Reflexion ist neutral, bei der Farbwiedergabe in der Transmission ergeben sich keine Verschiebungen.

SGG Vision-Lite VEGLA GmbH

Vision Lite ist ein neues Anti-Reflex-Glas, geeignet für Schaufensterverglasung, das mit einer hauchdünnen, unsichtbaren und witterungsbeständigen Interferenzschicht überzogen ist und in diesem Bereich lästigen

Spiegeleffekt verhindert. Die Reflexion wird gegenüber Normalglas auf ein Achtel reduziert. Ausgeführt als Verbund-Sicherheitsglas bietet es ein hohes Maß an Sicherheit und Verletzungsschutz.

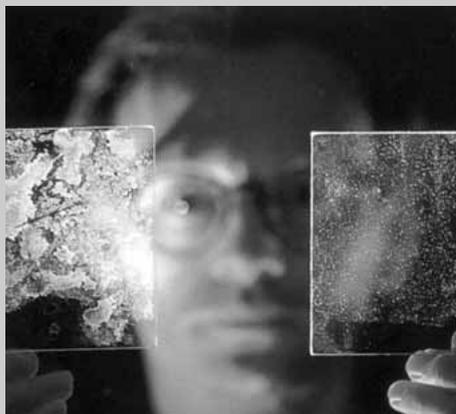
SGG Miralite-Evolution VEGLA GmbH

Das Glas ist mit einer neuartigen Beschichtung versehen und widerstandsfähiger gegen Wasser- und Reinigungsmittelrückstände. Hergestellt und aufgetragen wird die Beschichtung in einem umweltfreundlichen Produktionsverfahren, bei dem auf Kupfer und Zink verzichtet wird und ausschließlich bleifreie Lacke verwendet werden.

Glas-Reparatursystem

3-M-Trizact-Reparatur-Kitt 3M Deutschland GmbH

Das Reparatur-System für Kratzer, Ablagerungen und Verätzungen ist geeignet für Glas-Oberflächen im Bereich von Architektur- und Autogläsern, technischen Gläsern, Kunstgegenständen, Möbeln und Lampen. Im Vergleich zu herkömmlichen Systemen ist wenig Wasser erforderlich. Die Sanierung erfolgt in Abhängigkeit von der Kratzertiefe mit Schleifscheiben anfangs starker Körnung bis zu einem Poliervorgang am Ende. Die Besonderheit des Verfahrens liegt in der eingesetzten Polierscheibe, die aus einem regelmäßigen Muster von kleinsten Pyramiden im Hundertstel Millimeter-Bereich besteht. Auf unebener Fläche setzt die Polierscheibe das enthaltene Ceroxid frei, das eine kittartige weiße Paste bildet. Ist die Glasfläche nicht rau genug, bricht die Oberfläche der Polierscheibe nicht auf und es bildet sich keine Paste. So werden nur die tatsächlich betroffenen Stellen behandelt.



rechts: Verschmutzungsverhalten von Floatglas ohne und mit Antisoil-Beschichtung;
unten: Easy-to-Clean-Beschichtung im Schmutzwassertest



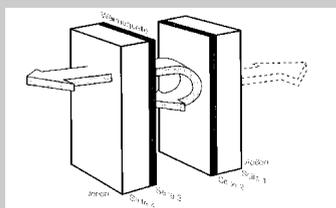
rechts: Glas-Reparatursystem in der Anwendung mit Glasschleifer und Polierscheibe



Beheiztes Glas

IQ-Glass
IQ-Glass GmbH

Eine Weiterentwicklung der Low-Energy-Gläser stellt IQ-Glass dar. Die wärmerreflektierende Metallbeschichtung wird an die 5 mm dicke Außenscheibe verlegt, die 4 mm dicke Innenscheibe erhält eine unsichtbare mehrschichtige Metallbeschichtung. Durch das Anlegen von elektrischer Spannung wird über den Flächenwiderstand der Schichtenfolge Wärme erzeugt und dabei an der Innenscheibe eine Oberflächen-temperatur von 35 °C erreicht. Durch das Temperaturgefälle entsteht Wärmestrahlung vom Fenster zum angrenzenden Raum. Mit dem Schichtenaufbau von 5 - 13 - 4 mm ist das Isolierglas in alle gängigen Fensterkonstruktionen integrierbar. Beide Scheiben sind Sicherheitsglas, eine Kopplung an Alarmsysteme ist möglich.



BI-Thermic

BGT Bischoff Glastechnik
 Das beheizbare Glas ist als Basisprodukt ein Einscheibensicherheitsglas oder teilvorgespanntes Glas, das mit einer eingebrannten Leiterschleife und entsprechenden Kontaktstellen versehen ist. Es kann als monolithisches Glas, aber auch als VSG eingesetzt werden. Im Einsatz bei Glasdächern kann so bei besonders tiefen Temperaturen Kältestrahlung auf den Innenraum vermieden werden.

rechts: Okatech, Metallgewebe in Isoliergläsern;
 unten: Stopsol. Das Funktionsschema zeigt die Wirkung der Metalloxydschichten auf Lichtdurchlässigkeit und Energieeintrag.

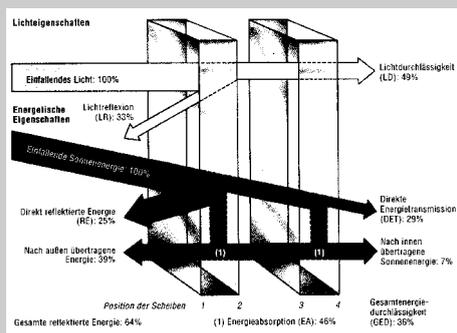
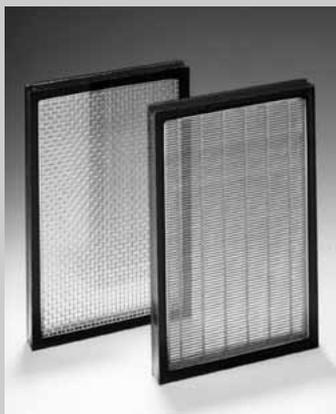
Sonnenschutz

Okatech
Okalux Kapillarglas GmbH
GKD Gebrüder Kufferath

Unterschiedliche Geflechte aus gezogenen Metalldrähten in unterschiedlichen Seil- oder Drahtstärken werden in Mehrscheiben-Isoliergläser integriert. Es gibt lichtdurchlässige, flexible Geflechte (Sambesi vgl. 143 ARCH⁺, S. 98), und engmaschige Drahtgeflechte (Mandarin). Okatherm, als Grundlage der Konstruktion, bietet in erster Linie Schutz gegen Splitterbildung, Wärme- und Sonnenschutz sowie Brand- und Schallschutz. Der Einsatz von Metallgittern stellt neben den funktionalen auch ästhetische Aspekte in den Vordergrund. So können neben der reduzierten Blendung bei intensiver, hochstehender Sommersonne durch die Lichtbrechung verschiedene Reflexionen und somit Gegenlichtreflexe am Metallgitter erzeugt werden. Das dabei entstehende Schattenmuster verringert die direkte solare Transmission. Der Gesamtenergie durchlaß wird von der Absorption der Metalldrähte bestimmt und kann bis zu 30 % betragen. Der transparente Sonnenschutz ist gleichzeitig ein wartungsarmer, ästhetischer Sichtschutz.

Stopsol: Classic, Supersilver Glaverbel

Stopsol ist ein reflektierendes Glas aus klarem oder getöntem Floatglas, das einseitig mit einer feinen, transparenten Schicht Metalloxyde versehen ist. Es wurde besonderes Gewicht auf erweiterte Möglichkeiten der Farbgestaltung gelegt. So stehen zwei



Beschichtungsarten zur Verfügung: Classic ist ein silbriges Glas mit leichtem Bernstein-schimmer und Supersilver hat leichte silber-blaue Einfärbung. Durch die Kombination von Stopsol mit Planibel-Floatglas, das in fünf verschiedenen Nuancen (klar-bronze-grau-grün-blau) erhältlich ist, können viele Tönungen gemischt werden. Da die Metalloxydschicht nach innen oder außen orientiert werden kann, verdoppeln sich die Farbwahlmöglichkeiten. Bei Einsatz als Isolierglas muß die beschichtete Seite jedoch stets nach außen auf Position 1 oder 2 orientiert werden. Stopsol kann gleichzeitig als Sicht- und Brüstungsglas verwendet werden.

Rohrglas

Recusit Glasschornstein
Schott Rohrglas GmbH

Der Werkstoff Borosilikatglas ist im Apparate- und Rohrleitungsbau seit vielen Jahren für aggressive Medien im Einsatz. Der gläserne Schornstein ist in allen Einzelteilen - Rohren, Bögen, Feuerstättenanschlüssen, Reini-



großes Foto: Glasschornsteine für die Backöfen einer Bäckerei;
 darunter: Steckmuffensystem und Abdichtung mit anorganischer Vergußmasse

Anschlußstutzen und Rohrbögen aus Glas; alle Fittings abgestimmt auf das System Recusit

gungsöffnungen - aus diesem Material gefertigt. Er wird montagetäglich vorkonfektioniert am Einbauort angeliefert.

Hinsichtlich der Verbindung der einzelnen Teile gibt es zwei verschiedene Systeme: Die Verbindung beim Typ M erfolgt über ein Steckmuffensystem, wobei der Muffenspalt mit einer hochhitzebeständigen anorganischen Vergußmasse aufgefüllt wird und auf diese Weise dauerhaft druckdicht bleibt. Recusit M kann sowohl im Über- als auch Unterdruckbereich für Abgase von maximal 400 °C für Abgasleitungen von Niedertemperaturkessel Öl/Gas eingesetzt werden. Bei Recusit S erfolgt die Verbindung der Bauteile über eine stumpfe Stoßverbindung, die Druckdichtigkeit wird über eine Viton-Dichtmanschette sichergestellt. Die Obergrenze der Abgastemperaturen liegt bei 200 °C. Beim Außeneinsatz wird eine neue Viton-Dichtung angewandt. Viton ist ein von DuPont hergestellter Flourkautschuk, der speziell gegenüber aggressiven Medien auch bei hohen Temperaturen beständig ist. Der Vorteil des Glasschornsteins gegenüber konventionellen Schornsteinen liegt in erster Linie in der sehr glatten, porenfreien Oberfläche. So werden Verwirbelungen vermieden und es entstehen günstige Strömungsverhältnisse im Kamin. Korrosionsbeständigkeit, sehr hohe Temperaturbeständigkeit, Gas- und Kondensatdichtigkeit und gute Reinigungsfähigkeit sind die Folgen. Für die Wartung spielt insbesondere im industriellen Bereich die gute Kontrollierbarkeit durch die Transparenz eine Rolle. Die geringe Wärmeausdehnung des Materials, etwa 3,25 mm bei einer Schornsteinhöhe von 10 m bei einer Temperaturdifferenz von 100 Kelvin schont die Verbindungsstücke und macht Dehnfugenbleche wie bei herkömmlichen Anlagen überflüssig. Das Spezialglas wirkt elektrisch als guter Isolator, benötigt daher keinen Blitzschutz oder Erdung.

Randverbund im Isolierglas

Die zunehmende Verbesserung der k-Werte von Isolierglas durch die verschiedenen Methoden der Oberflächenbehandlung und Edelgasfüllungen im Luftzwischenraum von $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf Werte um $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ wird bisher insbesondere im Bereich kleinformatiger Fenster durch einem hohen Anteil an Rand im Verhältnis zu Fläche konterkariert. Die Ursache ist der schlechte k-Wert im Bereich des Scheiben-Randverbundes. Damit wird die Gesamtbilanz des Fensters erheblich gemindert. Durch das geringere Gefälle zwischen den kv-w-Werten in Glasmitte und am Rand wird zudem Kondensatproblemen begegnet.

In der geplanten Energieeinsparungsverordnung wird das Vermeiden von Wärmebrücken belohnt. Ein neues Verfahren zur k-Wert-Ermittlung ist vorgesehen, welches Wärmebrücken mit einbezieht. Bei Fenstern wird nach prEN 10077 die Wärmebrücke des Glasrandverbundes über einen linearen k-Wert, den 'Wärmebrücken-Verlust-Koeffizienten', mit berücksichtigt werden.

Die angestrebte Verbesserung des k-Wertes des Randverbundes wird von mehreren Firmen auf verschiedene Art gelöst. Die Zahlenangaben zur Verbesserung gegenüber konventionellen Isoliergläsern können derzeit nicht firmenübergreifend verglichen werden. Der Arbeitskreis 'Warme Kante', englisch 'warm edge', hervorgegangen aus dem gleichnamigen Symposium des Bundesverbandes Flachglas in Troisdorf, arbeitet unter Leitung von Herrn Feldmeier derzeit an einem Regelwerk zur Standardisierung der Angaben der verschiedenen Hersteller.

Thermo System ITS

Interpane International
Die Technik des zweistufigen Randverbundes wird durch Einsatz eines speziellen schwarzen Edelstahlprofiles als Abstandhalter weiterentwickelt. Edelstahl ist das Metall mit der geringsten Wärmeleitfähigkeit, im Vergleich zu Aluminium wird die Wärme 13 mal schlechter geleitet. Der Wärmeverlust in der Verbindung zwischen Glas, Abstandhalter

und Rahmen wird damit minimiert. Die Temperatur im gesamten Fensterelement ist gleichmäßiger. Das schwarze Profil im Scheibenzwischenraum tritt optisch stärker zurück als Aluminium. Es paßt damit häufig besser zu Fensterrahmen und Dichtung. Das Edelstahlprofil ist ausgesprochen dünnwandig und könnte zu Stabilitätsproblemen im Randverbundbereich führen.

Thermix Abstandhalter Thermix GmbH

Der Thermix-Abstandhalter ist aus modifiziertem Polycarbonat gefertigt. Die Wärmeleitfähigkeit des hochwertigen, robusten Kunststoffes ist etwa 1000 mal geringer, als die von herkömmlichen Aluminium-Abstandhaltern. In das Kunststoffprofil ist eine hauchdünne Edelstahlfolie als Diffusionssperre eingebettet. Beide Materialien werden gleichzeitig in einem Coextrusionsverfahren hergestellt. Die Primär-Abdichtung erfolgt mit Butyl-Kleber. Der Wärmebrücken-Verlust-Koeffizient ist bei Thermix-Abstandhaltern laut Angabe etwa 50 bis 60 % niedriger als bei herkömmlichen Aluminium-Abstandhaltern.

Nach demselben Bauprinzip werden bei den sogenannten Wiener Sprossen die Wärmebrücken durch innenliegende Sprossen deutlich reduziert.

Thermoplus TIS

Pilkington Deutschland GmbH
Thermoplus TIS zeichnet sich ebenfalls durch ein innovatives Verbundsystem aus. Thermisch isolierte Abstandhalter aus Kunststoff mit geringer Wärmeleitfähigkeit führen zu einem ausgeglichenen Verhalten bis in den Randbereich. Dabei wird als Glasqualität Thermoplus S mit entsprechend niedrigem k-Wert verwendet.

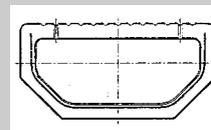
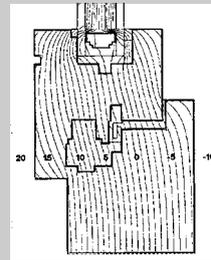
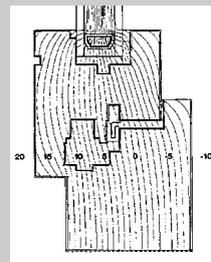
TPS-Abstandhalter Chemetal GmbH

Auch hier werden die Abstandhalter aus Aluminium ersetzt durch ein thermoplastisches Material mit der Typenbezeichnung TPS.

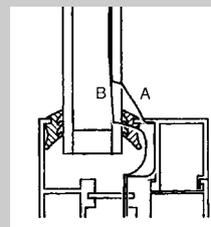
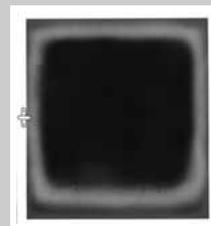
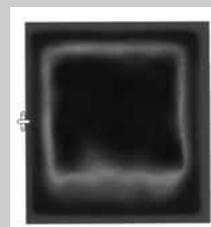
Nirotec Helima GmbH & Co.

Auch bei Nirotec ist der neue Abstandhalter aus Edelstahl gefertigt.

Hannelore Huber



ganz oben: Temperaturverlauf beim herkömmlichen Abstandhalter;
Mitte: Temperaturverlauf bei Thermix;
unten: Thermix-Abstandhalter aus Kunststoff mit hauchdünner Edelstahleinlage



oben und Mitte: Der Vergleich des Isothermenverlaufes beim konventionellen Abstandhalter und bei Thermoplus TIS, Pilkington, zeigt eine deutliche Verringerung des kritischen Bereiches;
unten: TIS-Randverbund

Hersteller

BGT Bischoff Glastechnik
Alexanderstraße 2
D-75015 Bretten
fon 07252-5030
fax 07252-503283

James Carpenter Design Associates Inc.
145, Hudson Street
USA-New York, NY10013
fon 001-212-4314318
fax 001-212-4314425

Chemetal GmbH
Reuterweg 14
D-60271 Frankfurt a.M.
fon 069-1590
fax 069-1593652

Clear-Shield D-Systemtechnik GmbH
Römersteige 13
7873 Epfendorf
fon 07404 91342
fax 07404 91343

3M Deutschland GmbH
Carl-Schurz-Straße 1
D-41453 Neuss
fon 02131-142683
fax 02131-143856

Flabeg GmbH
Siemensstraße 3
D-90766 Fürth
fon 0911-9974251
fax 0911-9974373

Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme
Oltmannstraße 5
D-70100 Freiburg
fon 0761-45880
fax 0761-4588100

GKD Gebrüder Kufferath GmbH & Co. KG
Metallweberstraße 46
D-52348 Düren
fon 02421-8030
fax 02421-803211

Glas Trösch AG
Industriestr. 12
CH-4922 Bützberg
fon 0041-62-9585400
fon 0041-62-9585394

Glaverbel
Chaussée de la Hulpe 166
B-1170 Brüssel
fon 0032-11-6743111
fax 0032-11-6724462

Götz GmbH
Delpstraße 4-6
D-97084 Würzburg
fon 0931-6678292
fax 0931-6678200

Helima Helmut Lingemann GmbH & Co.
Am Deckershäuschen 62
D-42111 Wuppertal
fon 0202-70940
fax 0202-7094288

INM Institut für Neue Materialien gGmbH
Im Stadtwald, Geb.43
D-66123 Saarbrücken
fon 0681-9300313
fax 0681-9300223

Interpane International
Sohnreystraße 21
D-37697 Lauenförde
fon 05273-8090
fax 05273-809238

IQ Glass GmbH
Liegnitzer Straße 32
D-58454 Witten
fon 02302-9145433
fax 02302-9145454

KFG Klaus Fischer Glas
Im Brühl 58
D-74348 Lauffen o.N.
fon 07133-959940
fax 07133-959955

Ulrich Knaack, Wilfried Führer
Lehrstuhl für Baukonstruktion
Fakultät für Architektur
RWTH Aachen
Schinkelstraße 1
D-52062 Aachen
fon 0241-805004
fax 0241-8888205

Okalux Kapillarglas GmbH
D-97828 Markttheidenfeld-Altfeld
fon 09391-9000
fax 09391-900100

Pilkington Deutschland GmbH
Auf der Reie 2
D-45884 Gelsenkirchen
fon 0209-1680
fax 0209-1682053

Pilkington Solar International GmbH
Mühlengasse 7
D-50667 Köln
fon 0211-92597040
fax 0211-2581117

Schott Glaswerke
Hattenbergstraße 10
D-55122 Mainz
fon 06131-660
fax 06131-662427

Schott Rohrglas GmbH
Theodor-Schmitt-Str.25
D-95448 Bayreuth
fon 0921-287281
fax 0921-287233

Seele GmbH & Co. KG
Gutenbergstraße 19
D-86368 Gersthofen,
fon 0821-24940
fax 0821-2494100

Werner Sobek Institut für Leichte Flächentragwerke
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 14
D-70569 Stuttgart
fon 0711-685 3599
fax 0711-685 3789

Thermix GmbH
Goetheplatz 4
D-88214 Ravensburg
fon 0751-3630140
fax 0751-3630141

VEGLA GmbH
Viktoriaallee 3-5
D-52066 Aachen
fon 0241-5160
fax 0241-5162224

Experimenteller Glasbau

Glasfachwerke und Glassandwiche

Ulrich Knaack
Lehrstuhl für Baukonstruktion I
RWTH Aachen
Beteiligte Firmen: Vegla GmbH,
Flachglas AG, Schott

Die architektonische Faszination von Glas liegt in seiner steuerbaren Transparenz: Das Spiel mit dem Licht ist ohne Glas als architektonischem Gestaltungsmittel kaum denkbar. Aber von Glas geht auch eine ingenieure Faszination aus: Als moderner Werkstoff von enormer Festigkeit gepaart mit hoher Sprödigkeit, erfordert es höchst anspruchsvolles Konstruieren. Ist für den Entwerfer die Auflösung der Raumgrenzen durch immer filigranere und transparentere Systeme das Ziel, so kann für den Konstrukteur die Neuentwicklung solcher Tragwerke und der nötigen Details

der Antrieb sein. Bauen mit Glas ist geprägt durch das Wechselspiel zwischen Entwurf und Konstruktion: Alles ist sichtbar, jedes Detail beeinflusst die gesamte Erscheinung.

Hintergrund unserer experimentellen Arbeit am Lehrstuhl bildet das Forschungsprojekt 'Konstruktiver Glasbau', gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Hier wurden realisierte Glaskonstruktionen analysiert und anhand einer eigenen Tragwerk-Typologie zukünftige Entwicklungslinien herausgearbeitet: Derzeitige Konstruktionen, bei denen Glas konstruktiv und damit planmäßig lasttragend eingesetzt wird, bestehen meist aus einfachen eindimensionalen Balken-Träger-Systemen. Erst wenige der jüngsten Konstruktionen schaffen den Sprung zu den effizienteren, räumlichen Glastragwerken, so auch die in diesem Heft vorgestellten Bogen- oder Kuppelkonstruktionen. Ziel unserer Arbeit ist es, das Potential des Konstruierens mit Glas auszuloten und durch Versuchsbauten zu demonstrieren.

In unserem zweisemestrigen Oberstufenseminar 'Konstruktiver Glasbau' versuchen wir seit 1994 den Studenten den Baustoff Glas

mit seinen gestalterischen Möglichkeiten und konstruktiven Abhängigkeiten nahezubringen und so Lehre, Forschung und Praxis miteinander zu verbinden. Zum Einstieg in das Thema dient zunächst die theoretische Beschäftigung mit dem Baustoff, seinen entwurfsbestimmenden Parametern sowie historischen und aktuellen Glaskonstruktionen. Der

zweite Teil des Seminars besteht aus einer Entwurfs-, Planungs- und Ausführungsphase und wird durch den Lehrstuhl für Stahlbau unterstützt. Die tatsächliche Realisierung der Projekte wurde durch Materialsponsoring verschiedener Glashersteller möglich und erfolgte in Kompaktveranstaltungen mit dem gesamten Seminar.



Glasdach: Horizontales Fachwerk aus Stahlseilen und Glasdruckgurt über Mauerwerksruine

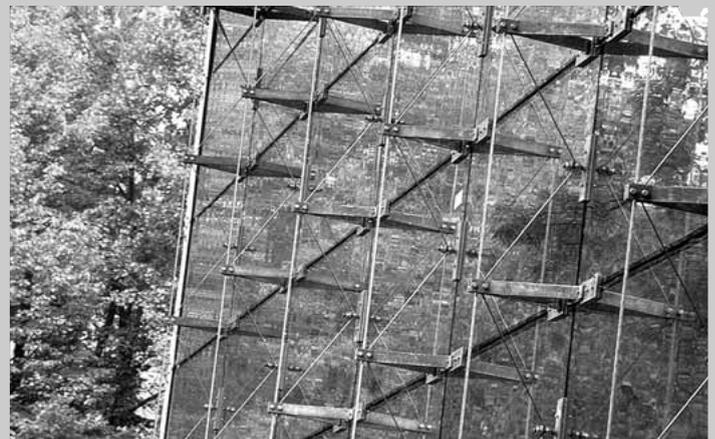
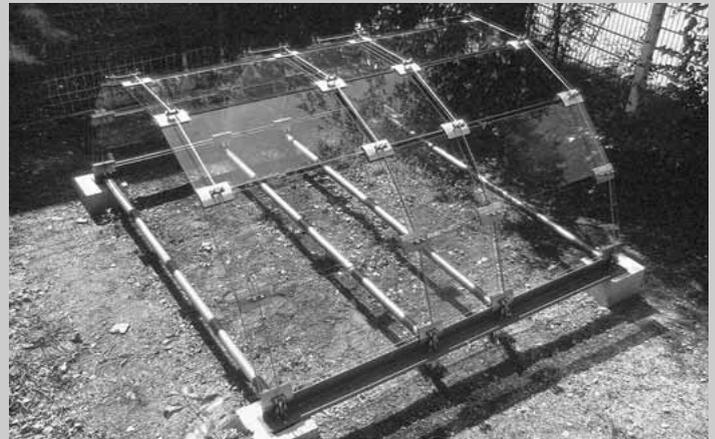


Aufsicht Glasdach: Die Verbindung der ESG-Glasscheiben durch Klemmplatten und Verschraubung in den Fugen

ist strukturell sinnvoller als Bohrungen und auch kostengünstiger. Durch das Glas sind die gespreizten Druckstäbe und die Seilverspannung sichtbar.



Glastonne aus gegeneinander gelehnten ESG-Scheiben (Druckelemente), außenliegender 'Seilverspannung' (Zugelement) und verbindenden Klemmplatten mit Schrauben



Glas-Stahltragwerk: Die Frontfassade der Fakultätsbibliothek der RWTH Aachen besteht aus einem 6 m hohen Glasfachwerk mit mittigem Druckgurt aus seilverspannten Isolierglasscheiben (links). Die außenliegende zweifache Seilverspannung verläuft entlang der gespreizten Stahl Druckstäbe (oben).

Als Annäherung an das Thema wurde 1994 mit dem 'Glaspavillon zur 125-Jahrfeier der RWTH Aachen', einem einfachen Balken- und Stützenträgerwerk, begonnen. Mit der 'Glastonne' gelang schon 1997 ein erstes gekrümmtes Flächenträgerwerk.

Entsprechend der theoretischen Überlegungen zur Effizienz von Glasträgerwerken folgte die Auflösung der Biegebelastungen in fachwerkartig zerlegte Normalkräfte, wobei das Glas wegen der einfacheren Detaillierung und der beim Fachwerk möglichen kurzen Knicklängen mit Druck belastet wird.

Als erstes Glasfachwerk wurde das 'Glasdach' realisiert, eine fachwerkartig unterspannte Glasfläche von ca. 3 x 2,5 m auf seitlichen Glaswänden über einer Mauerwerksruine auf dem lehrstuhleigen Versuchsgelände. Es folgte das 'Glas-Stahlträgerwerk' der Bibliotheks-Fassade der Fakultät Architektur / RWTH Aachen. Das von uns entwickelte System ist prinzipiell mit der menschlichen Wirbelsäule vergleichbar: Äußere vorgespannte Seile belasten die mittig in der Konstruktion liegenden Glasscheiben mit Druckkräften, wobei die Vorspannkraft vollständig in die Glasscheiben eingeleitet wird und eine Form-

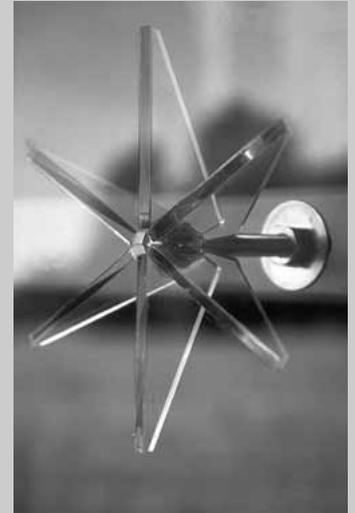
gebung durch Längenänderung der Zugelemente einfach möglich ist. Die realisierte Fassade hat eine Größe von ca. 140 m² und besteht aus stehenden Seilfachwerken mit jeweils einem sieben-teiligen mittleren Druckgurt aus Isolierglaselementen. Der Vorteil dieses Prinzips liegt darin, daß alle inneren Kräfte im System selbst aufgenommen werden und keine Vorspannkräfte in das umgebende Gebäude einzuleiten sind.

Nach diesen positiven Erfahrungen konnte die Idee des Glasfachwerkes für die Eingangsfassade eines Neubaus der FH Aachen/Abteilung Jülich auch unter kom-

merziellen Bedingungen weiterentwickelt werden - zwei miteinander verspannte Glas-Fachwerkebenen von 7 m Höhe befinden sich gerade in Ausführung.

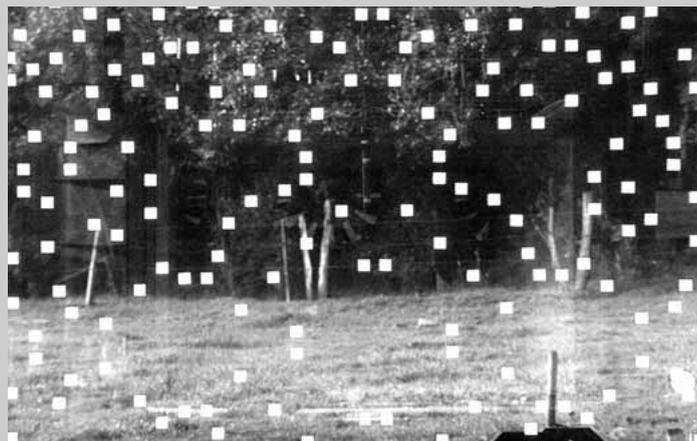
Weitere Entwicklungsfelder sind zur Zeit Glas-Sandwich-Konstruktionen als eine neue Form von ebenen Flächenträgerwerken sowie verschiedene Vari-

anten geklebter Punkthalter. Ebenfalls fertiggestellt werden konnte im Rahmen verschiedener Arbeiten zu räumlichen Glasträgerwerken eine Baumstützenstruktur aus Glasrohren.

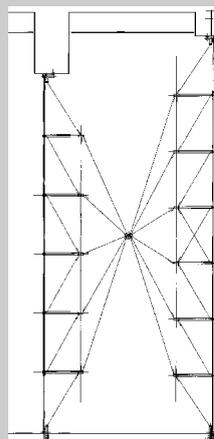
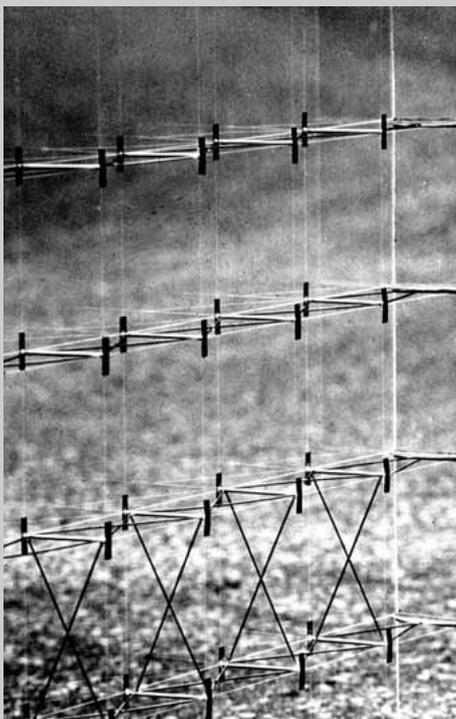


Geklebte Punkthalter: Der Plexiglas-Stern fixiert eine Stahlkugel und gewährleistet so die gelenkige Lagerung der Glasscheibe. Die Plexiglasrippen werden mit UV-Aktivkleber fixiert (oben). Bei dem Gußhalter mit Hartgummilagerung zur gelenkigen Fixierung der Glasscheiben werden die Wind- und Druckkräfte durch eine Silikonverklebung übertragen. Das Eigengewicht der Scheiben wird in die Auflagerkonsolen eingeleitet (links oben).

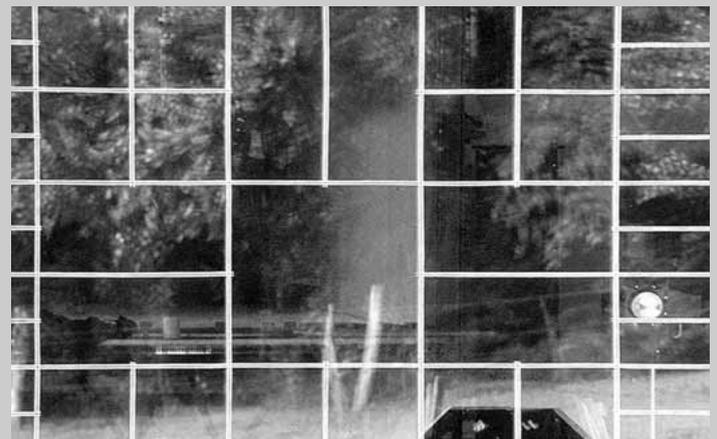
Glas-Sandwich mit 4 x 4 cm großen Aluminiumwürfeln zur Übertragung der Schubkräfte: Die Verteilung der Würfel wird entsprechend der Belastung aus Wind und möglichen Verkehrslasten ermittelt (unten).



Modell für ein 6 x 6 m großes, selbsttragendes Glasfachwerk mit äußerer Glasebene und Seilverspannung im klimatisch genutzten Zwischenraum



Glasfachwerk: Eingangsfassade des Neubaus der FH Aachen/Abteilung Jülich. Das 6 x 6 m große selbsttragende Glasfachwerk besteht aus zwei Fachwerkebenen.



Holzlamellen-Glas-Sandwich: Das 3 x 3 m große Sandwich erhält erst durch die sich kreuzenden Holzlamellen zur Übertragung der Schubkräfte die notwendige Tragfähigkeit.

Glasbogen

Werner Sobek

Institut für leichte Flächentragwerke
Stuttgart

Planung: Mathias Kutterer, Bern-

hard Sill, Frank Maier

Beteiligte Firmen: KFG Klaus Fischer

GmbH, BGT Bischoff Glastechnik,

Hero-Glas GmbH, Rodan GmbH

Beratung: Institut für Baukon-
struktion und Entwerfen Stuttgart

Nach den früheren Sonderfor-
schungsbereichen 'Weitgespannte
Flächentragwerke' und 'Natürliche
Konstruktionen' wurde neben ande-
ren im Jahr 1995 der Forschungs-
bereich 'Bauen mit Glas' am Institut
für Leichte Flächentragwerke ein-
gerichtet. Hier werden Möglich-
keiten untersucht, Glas nicht nur
als transparente Hülle, sondern
als tragenden Werkstoff einzuset-
zen. Ziel der Glasbogenprojekte
ist es, das Tragverhalten von Glas
im Druckbereich besser kennen-
zulernen. Dabei wird angestrebt,
flächige Beanspruchung auf ent-
sprechend geringem Spannungs-
niveau zu erreichen. Lokale Span-
nungsspitzen sollen vermieden
werden. Als Glaserzeugnisse sind
gering vorgespannte Gläser mit
speziellen Verbundformen vorge-
sehen. Mögliche Bauformen sind
einfach oder gleichsinnig doppelt
gekrümmte Flächentragwerke
(Gewölbe, Kuppeln) mit Seilver-
spannung oder auch ebene Platen
mit Unterspannung. Einige
dieser Konstruktionen sind aus
historischen Vorbildern bekannt,

müssen aber angesichts heutiger
Berechnungsmethoden und Sicher-
heitsanforderungen neu entwickelt
werden.

Das Projekt Glasbogen ist die
Weiterentwicklung eines Studen-
tentwurfs von Bernhard Sill.
Versuche am ausgeführten Glas-
bogen sollten über die Stabilität
des vorgespannten Glases sowie
über das Langzeitverhalten von
Kontaktstößen Aufschluß geben.
Die Kombination der Glaseigen-
schaften Transparenz und hohe
Druckfestigkeit führt zu einer
Konstruktion, bei der die trans-
parente Hülle gleichzeitig Trag-
werk ist.

Der erste, 'kleine' Glasbogen
mit einer Größe von 10,0 x 2,0 x
2,0 m wurde erstmals auf der
Glaskon im April '98 und später
auf der glastech '98 der Öffent-
lichkeit vorgestellt und steht nun
auf dem Campus der Universität
Stuttgart in unmittelbarer Nähe
des von Frei Otto 1969 erbauten
Institutes für Leichte Flächen-
tragwerke.

Nach der großen Resonanz des
ersten Versuchsbaus wurde der
Bau eines zweiten, größeren und
technisch verbesserten Bogens
beschlossen. Der zweite, 'große'
Glasbogen mit verdoppelten
Maßen von 20,0 x 4,0 x 5,0 m in
leicht überhöhter Konstruktion
wurde auf der glastech '98 gezeigt.

Bestandteile

Der zweite Glasbogen besteht aus
14 ebenen Glasplatten mit 50 cm
breiten Kontaktstößen aus zwei-
bzw. dreifachem Verbundsicher-
heitsglas mit Stahlverstärkung,
die über Keilplatten gestoßen

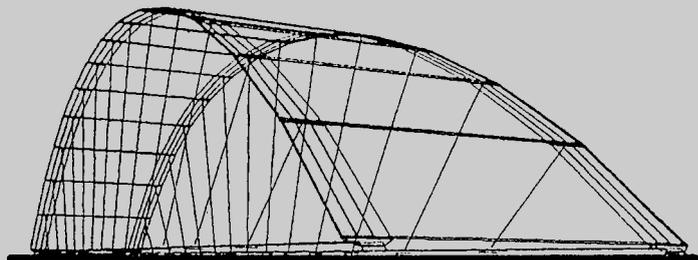
werden. Die Endauflager ruhen
auf einem geschlossenen Rahmen
aus U-Profilen, der auf einem
ebenen Untergrund verlegt und
durch Stahlplatten ballastiert
wird. Der Bogen wird durch radi-
al angeordnete vorgespannte
Zugstäbe, die zwischen den Keil-
platten und dem Stahlunterbau
gespannt sind, stabilisiert. Der
Glasbogen besteht aus folgenden
Elementen:

- Glaselement, bestehend aus
VSG 1620 x 4000 aus 2 x TVG je
10 mm, im Randbereich verstärkt
durch jeweils drei Streifen 160 x
1620 aus 12 mm TVG. Die ver-
stärkten Randbereiche sind mit
Stahlwinkeln eingefaßt. Zwischen
den Verstärkungsstreifen verlau-
fen vorgespannte Armierungsstäbe,
die an den Stahlwinkeln ver-
schraubt sind. Die Stahlwinkel
sind über ein Keilblech gestoßen,
an dem auch die radialen 'Spei-
chenstäbe' angeschlossen sind.
- Keilblech mit Lagesicherung
- Klemmteller
- U-Profil mit Endauflager
- Zugstab
- Montaggestützen.

Die Geometrie des Glasbogen 2
wird durch ein Polygon beschrie-
ben, das auf einem Kreisabschnitt
mit einem Radius von 12,5 m
und einer Sehnenlänge von 20 m
liegt. Alle Glastafeln und Kno-
tenelemente sind baugleich. Die
radial angeordneten Zugstäbe
und die hierzu parallel verlaufen-
den Montaggestützen sind eben-
falls alle baugleich. Sie besitzen
lediglich unterschiedliche Län-
gen.

Tragverhalten

Aufgrund der radialen Verspan-
nung ist die Bogenkonstruktion
sehr steif. Die sichere Auflage-
rung des U-Profiles auf einem
festen Untergrund und die aus-
reichende Ballastierung sind
jedoch Voraussetzungen. Die
Vorspannung betrug ca. 1 kN pro
Zugstab, die entsprechende Bal-
lastierung machte eine Gesamt-
masse des U-Profiles von ca.
150 kg/m erforderlich. Nutzlasten
und ungleichförmige Einwirkun-
gen waren nicht eingeplant. Um
trotzdem eine solide Konstruktio-
n zu gewährleisten, wurden
Lastfälle mit 1 kN/qm in ungün-
stigen Kombinationen angesetzt.



Der große Glasbogen, auf-
gebaut auf der glastech
'98 in Düsseldorf; rechts
oben: konstruktives Prinzip



Versuche zur Reststandsicherheit unter axialer Druckkraft und Querbelastung am Element, beispielsweise einer Mannlast, sind vorgesehen.

Montage

Die Glastafeln werden, vom unteren Auflager beginnend, sukzessive auf die Hilfsstützen montiert. Jeder Zwischenzustand stellt ein statisch bestimmtes System dar und ist vollständig tragfähig. Zur Lagesicherung werden die Hilfsstützen oben und unten verschraubt. Die ca. 300 kg schweren Glastafeln werden im Schwerpunkt hängend, frei beweglich eingehoben, zuerst einseitig auf das

bereits feste Auflager abgesetzt und fixiert und dann auf die Hilfsstützen abgelassen und dort fixiert.

Großversuch

Aus Sicherheitsgründen wurden die parallel zu den Zugspeichen verlaufenden Hilfsstützen erst nach Abschluß der Messe entfernt, da trotz der rechnerischen Sicherheit und der vorausgegangenen positiven Erfahrungen mit dem kleineren Bogen äußerste Vorsicht geboten war. Glastragwerke dieser Größenordnung stellen absolutes Neuland dar. Vor Freigabe der Konstruktion wurde deshalb ein Großversuch zur Untersuchung des Tragverhaltens und der Robustheit als

erforderlich angesehen. Das Entfernen der Hilfskonstruktion wurde vom Zentrallabor des Konstruktiven Ingenieurbaus der Universität Stuttgart überwacht. Zunächst wurde beim Entfernen der Montagestützen die vorgesehene Tragwirkung eines wie ein Speichenrad vorgespannten Bogens hergestellt. Beim Übergang vom gestützten zum ungestützten Zustand wachen die Druckkräfte von 14 auf 54 kN in der untersten Scheibe an. Durch das Absenken des Scheitels wird allmählich die Bogentragwirkung aktiviert, die Kontaktstöße vollständig geschlossen, die Montagestäbe ent- und die Zugstäbe belastet. Der Bogen kann sich nun frei bewegen und seine Gleichgewichtsform annehmen. Fertigungstoleranzen werden vollständig absorbiert, da das System in diesem Zustand statisch bestimmt ist.

Bei Aufbringen einer relativ niedrigen Vorspannung von ca. 1 kN pro Speiche erhöht sich die Bogendruckkraft weiter von 54 auf ca. 70 kN, d.h. auf jeder Seite eines Glaselementes wirken zuletzt ca. 35 kN in den verstärkten

Randbereichen. Stufenweise wurde zunächst durch Aufbringen von immer größeren Einzellasten im unteren Bereich des Glasbogens, später durch gezielte Zerstörungsversuche die Beanspruchung erhöht. Unter genauer Beobachtung wurden die Scheiben des Bogens zunehmend fraktioniert, sukzessive wurde die Tragwirkung des Bogens durch Zerstören der Randstreifen bis zum Einsturz der Konstruktion geschwächt.

Der Großversuch ergab, daß nur durch gezielte und wiederholte Gewaltanwendung bei voller Zugänglichkeit die Konstruktion zerstört werden konnte. Die Tragfähigkeit im Bruchzustand und die Widerstandsfähigkeit gegenüber massiver Beschädigung sind als außerordentlich hoch zu bewerten.

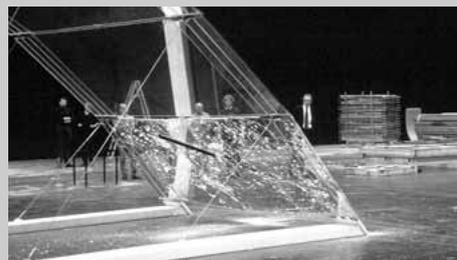
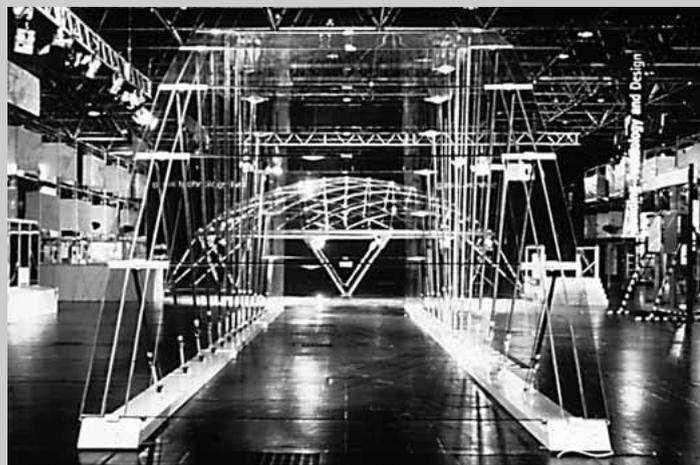


Foto links oben: Kontaktstoß mit Glasstreifen, Stahlwinkeln, Keilblech und Klemmteller; darunter: Blick in den großen Glasbogen auf der glastech '98
Zeichnung: statisches Prinzip Kontaktstoß

von links nach rechts: Detailaufnahmen beim Großversuch: erste sichtbare Schäden, Seitenstreifen beschädigt und nach dem Einsturz

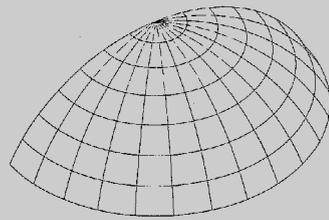
Kuppel aus gebogenem Glas-Doppelkuppel Glas

Planung: KFG Klaus Fischer GmbH
 Statik: Lehmann + Keller Ingenieure GmbH
 Beteiligte Firmen: Tambest Oy, HT Troplast, BSP Silikon-Profile, Glas Agentur Runkel
 Beratung: Institut für Baukonstruktion und Entwerfen Stuttgart

Die Kuppel stellt mit einem Durchmesser von 18,33 m und einer Stichhöhe von 6,0 m die bislang größte gebaute sphärische Glasstruktur dar. Sie besteht aus 70 zweiachsig gekrümmten 2 x 6 mm VSG-Glaselementen auf einem Basingring aus Stahlrechteckprofil. Die neuartigen Druckteller im Innen- und Außenbereich sind auf Detailebene gestaltprägend und bilden den Knotenpunkt für je vier zusammenstoßende Scheiben in diesem Bereich.

Flußpferdehaus im Berliner Zoo
 Architekt: Jörg Gribl
 Entwurf, Statik, Konstruktion: Schlaich Bergermann + Partner
 Beteiligte Firmen: Helmut Fischer GmbH, Okalux Kapillarglas GmbH

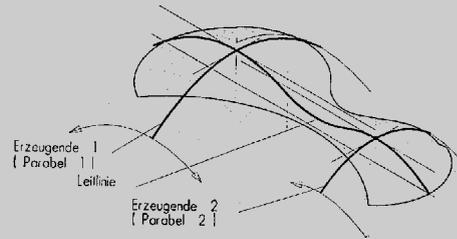
Die aus einem Wettbewerb 1993 hervorgegangene glasüberdachte Anlage mitten in Berlin ist mit Unterwasserschaufenstern ausgestattet, die den Besuchern von der Halle, gelegen etwa 1,50 m unter Niveau, Einblick in die Welt der Flußpferde geben. Die Konstruktion des leichten stüt-



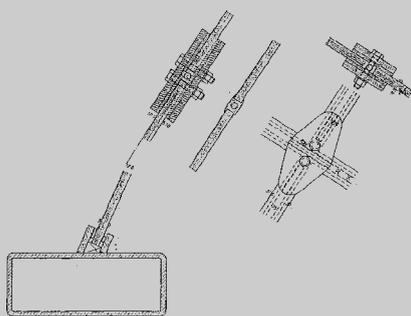
zenlosen selbsttragenden Netztragwerkes besteht aus 815 ebenen Vierecksscheiben. Die Tragfähigkeit resultiert aus der Konstruktion als Kuppel, d.h. das Vierecknetz aus nur 40 mm starken Flachstäben geht durch den Einbau von durchgehend vorgespannten Diagonalseilen in ein Dreiecknetz über und bildet damit ein echtes Schalentragwerk. Durch die doppelte Krümmung ist dieses in der Lage, Lasten vorwiegend über Membrankräfte abzuleiten. Als Verglasung wurde das Sonnen- und Wärmeschutzglas Okatherm 66/34 eingesetzt. Der Aufbau der Scheiben besteht aus zwei Glasscheiben mit hermetischem Randverbund aus Silikon, eingeschlossener getrockneter Luft, dazu einem oder mehreren Überständen der äußeren Scheibe. Eine hohe Lichtdurchlässigkeit von 66 % bei einem niedrigen Gesamtenergiedurchlassgrad von 34 % wird hier erreicht. Das Scheibenraster beträgt 1,20 x 1,20 m. Dies schloß eine Serienfertigung aus, obwohl die Differenz zum Teil lediglich Millimeter ausmacht. Der Flächenanteil des Glases liegt bei 94 %, der Anteil der Konstruktion bei 4 %.

Die große Kuppel mißt bei einem Durchmesser von 33 m im Stich 6,60 m, die kleine Kuppel hat bei einem Durchmesser von 24,5 m eine Stichhöhe von 4,90 m. Der Anschnitt der Doppelkugel erfolgt durch einen unter 8° Neigung dagegenelehnten Giebelbogen.

Der Isolierglasaufbau der senkrechten Verglasung besteht aus 6 mm ESG, 12 mm LZR und 8 mm VSG innen, zusammengesetzt aus 2 x 4 mm Floatglas.



oben: Blick durch die Kuppel während des Verglasungsprozesses; links und unten: Grundprinzip der geometrischen Figur der Doppelkuppel



oben: Die Kuppel auf der glastech '98; darunter: Schnitt durch den vertikalen Glasstoß (links), durch den horizontalen Glasstoß mit Aufsicht auf den Druckteller (rechts)



Das Äußere der Doppelkuppelanlage. Die Gehege für zweierlei Arten sind unter Bodenniveau abgesenkt.

Seele GmbH & Co. KG

Seele ist ein recht junges Unternehmen, das 1984 neu gegründet wurde. In den ersten Jahren wurden vor allem konventionelle Glasoberlichter hergestellt. Das Interesse der beiden Firmeninhaber für innovative Konstruktionen im Bereich besonderer Dach- und Fassadenkonstruktionen rückte jedoch bald in den Vordergrund, und ein eigenständiges Firmenprofil wurde ablesbar.

Gerhard Seele, zuständig für den Bereich Glas und Marketing, und Siegfried Goßner, Leiter Stahlbau und Technik, kommen beide aus der Gegend um Augsburg. Seele, gelernter Glasermeister, stammt aus einer Bauglaserfamilie, Goßner besaß vor 1984 ein Konstruktionsbüro für Stahlbau; er stieß ein halbes Jahr nach Firmengründung zu Seele. Inzwischen beschäftigt das Unternehmen knapp 300 Mitarbeiter, organisiert in sieben Büros und Tochterfirmen in Mittel- und Osteuropa (Berlin, Gmunden, London, Tschechien) und Südostasien (Hongkong, Singapur, Shanghai).

Heute werden bei Seele in enger Zusammenarbeit mit Architekten, der Glasindustrie und Forschungsinstituten innovative Lösungen entwickelt. Anders als die meisten Stahl- und Fassadenbauunternehmen, ist Seele nicht ausschließlich ausführende Firma, sondern beteiligt sich früh an der Planung, schlägt Alternativen hinsichtlich Konstruktion und Ausführung vor, testet diese und wertet gemeinsam mit den Architekten die Vorschläge aus.

So ist Seele an den Entwicklungen der letzten 10 Jahre im Bereich der Glasfassaden, ausgehend von konventionellen Pfosten-Riegel-Fassaden bis zu den jüngsten seilverspannten, hochtransparenten Glashüllen maßgeblich beteiligt. Eine besondere Stärke liegt in der Verbesserung der konstruktiven Details. Ausgehend von primären Stahlstrukturen mit punktgehaltenen Gläsern über Fassaden nach dem Kettenhemdprinzip (Musée d'Art Moderne, Straßburg, Architekt Adrien Fainsilber, Bundesdruckerei Berlin, Architekt BHHS) zu seilverspannten Konstruktionen wie etwa dem Grand Theatre Shanghai (Architekt Jean-Marie Charpentier) mit vertikalem Hänge- und horizontalem Stabilisierungsseil werden verschiedene Befestigungssysteme, Glashalterungen und -bohrungen zunehmend perfektioniert und auf den Einzelfall abgestimmt. Mock-ups für einzelne Detailpunkte und Musterfassaden zum Testen der

konstruktiven und gestalterischen Auswirkungen sind gängige Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung.

Neue Erkenntnisse aus den Bereichen Materialforschung, Bauphysik und Energietechnik fließen hier mit ein und werden in gebaute Projekte umgesetzt. So war zunächst für die Kuppel des Weltbildverlags eine konventionelle Stahltragstruktur vorgesehen. Durch die Initiative von Seele wurde zusammen mit den Architekten Nigg und Kögl aus Augsburg eine Ganzglaskuppel mit Glas als tragendem Baustoff entwickelt. Auch das 'Tennischlägerprinzip', realisiert beim Gebäude für Datapec mit den Architekten Kauffmann + Theilig, stellt eine neuartige Seilkonstruktion für die Überdachung eines Atriums dar, (s. 124/125 ARCH+, S. 108)

Die kontinuierliche Entwicklung bestimmter konstruktiver und technischer Themen bedingt auch das Überprüfen bereits gefertigter Konstruktionen. Bei der Lindener Volksbank in Hannover (Architekten Bertram, Bünenmann + Partner) ergaben Testreihen in Gersthofen, daß bereits die Hälfte der als Primärtragwerk unter den Edelstahlträgern verwendeten Glasschwertern der Tragkonstruktion ausreichende Standsicherheit gewährleistet hätten. Die entsprechende Genehmigung war zum Zeitpunkt der Herstellung nicht zu bewirken. Nachdem die Prüfreihe nun vorliegt, können ähnliche Konstruktionen in Zukunft ökonomischer und eleganter realisiert werden.

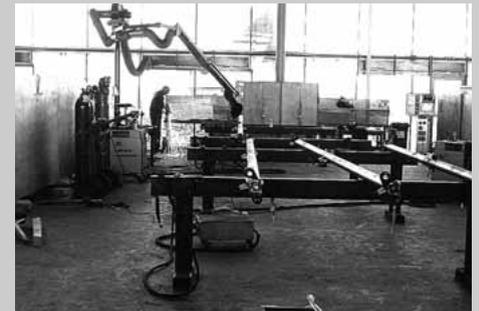
Wie bei diesem Beispiel ist bei Seele die 'Zulassung im Einzelfall' eher der Regelfall, da für die neuartigen Konstruktionen meist keine bauaufsichtlichen Zulassungen vorliegen. Hierbei haben sich mehrere Partner in langjähriger Zusammenarbeit qualifiziert. Die 'Hausstatiker' Ludwig und Weiler in Augsburg, zwei ehemalige Seele-Mitarbeiter, gehören wie auch die Fachhochschule München mit Prof. Bucak und den zugehörigen Prüfinstitu-

ten zum festen Planungsteam. Darüber hinaus arbeitet Seele je nach Projekt mit wechselnden Partnern zusammen. Der Anteil der Ingenieurleistungen, Arbeiten zur Qualitätssicherung, logistische Planung und Kontrollfunktionen nehmen gegenüber der reinen Fertigung am Stammsitz beständig zu. Gerade im Bereich der seilverspannten Konstruktionen, einem Schwerpunkt von Seele, sind zunehmend Teile aus der Zerspanungstechnik erforderlich. Häufig kommen solche gefrästen, gedrehten bzw. an Bearbeitungszentren entstandenen hochpräzisen Halbzeuge und Fittings mehrfach nach Gersthofen zurück, der Zwischenstand wird überprüft, die Weiterbearbeitung mit assoziierten Firmen koordiniert und schließlich an die Montageteams vor Ort geliefert. Die Gußspider für die Fassade des Flughafens Köln/Bonn werden etwa in der Türkei gefertigt, da ihre Größe die maximalen Fertigungsmaße herkömmlicher Schmelzöfen sprengt und daher nur Betriebe, die die Formen ohnehin in Handarbeit im Ausschmelzverfahren herstellen, in Frage

kamen.

Die Produkte aus dem klassischen, schweren Stahlbau werden in der Regel nicht mehr in Gersthofen gefertigt, sondern in Billiglohnländern, zum Beispiel im firmeneigenen Metallbaubetrieb in Tschechien oder auch bei assoziierten Firmen.

Mit dieser kontinuierlichen Verschiebung von Fertigung zu Planung wuchs die Entwicklungsabteilung auf inzwischen mehr als 50 Techniker und Ingenieure an. Sie stehen in direktem, visuellem Kontakt mit den Schlossern durch Sichtbeziehung



unten: Blechbearbeitungsabteilung mit Kantbänken, dazwischen Lagerung vorkonfektionierter Profile



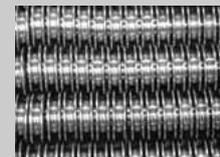
Oben: Planungs- und Konstruktionsabteilung, teamorientiertes Arbeiten in Projektgruppen; oben: liegende Vormontage einer Fassade in der Produktionshalle



Verschiedene 'Spider'-Prototypen aus der Modellbau- und Konstruktionsabteilung



Obere und untere Seilklemmenteller sowie Seilumlenkrolle, Projekt Eingangsüberdachung West Expo Hannover, zur Zeit in Montage, Architekt: Ackermann + Partner, München



zwischen den Gruppenbüros und der Fertigungshalle. Hier herrscht reger Austausch, es wird direkt vor Ort geprüft, diskutiert, getestet. Musterfassaden, Testkonstruktionen und knifflige Arretierungs- und Vormontagearbeiten werden hier ausgeführt. Ganze Fassaden- und Dachkonstruktionen werden in der großen Halle komplett aufgebaut und anschließend für Transport und Montage nochmal aufgetrennt. Für übergroße Elemente, die mit Standardmaschinen nicht zu bewältigen sind, stehen Lackie-

rungs- und Trocknungskammern in Sondergrößen, angedient über Kranbahnen, zur Verfügung. Dem innovativen Anspruch und Selbstverständnis entsprechend ist auch der Auftritt des Unternehmens Seele, die Selbstdarstellung in Firmenarchitektur und Firmenbroschüren. So ist Seele als Auslober von Architekturwettbewerben bereits mehrfach in Erscheinung getreten. Die Erweiterung der Werksanlagen durch die Architekten Kauffmann

und Theilig wurde in deutschen und internationalen Architekturzeitschriften breit veröffentlicht. Auch für die Erweiterung der Produktionshalle und für einen neuen Verwaltungsneubau fanden Wettbewerbe statt.

Die neu herausgegebene Firmenbroschüre geht über die Dokumentation konstruktiver Lösungen weit hinaus und formuliert bereits im Titel 'Das Schöne ist der Glanz des Wahren' (nach Augustinus, 500 v. Chr.) den Anspruch.

Flughafen Köln/Bonn
Architekten Murphy/Jahn
Beteiligte Firmen: ARGE Seele GmbH, Stahlbau Plauen GmbH, Helmut Fischer GmbH, Wolf Stahlbau GmbH

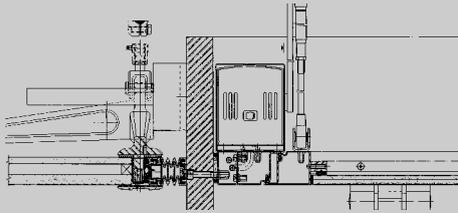
Für das Projekt des Flughafens wurde neben den auf Baumstützen liegenden gereihten Satteldachelementen eine spezielle Seilfassade von 20.000 qm entwickelt. Zwischen Pylonen im Abstand von 7,50 m sind liegende, vorgespannte Seilbinder geplant. Seele schlug vor, bei der Ganzglasseilfassade aus Kostengründen auf Bohrungen der Isoliergläser für die Punkthalter zu verzichten. Zudem wollte man gestalterisch eine diagonale Ausrichtung der Fassade vermeiden, wie sie durch herkömmliche Vierpunkthalter, die in einem Knotenpunkt zusammenlaufen, entsteht. So erfolgt die Glashalterung mit vertikal an Hängestäben abgehängten 'Spidern', welche an den Seilbindern der Pylone befestigt sind. Die neu entwickelten Glashalter sind Tragkreuze aus

Edelstahl-Feinguß, hergestellt im Feingußwachsaußschmelzverfahren in der Türkei. Durch die Wärmeausdehnung der 300 m langen Fassade aus Scheibengrößen von 2,6 x 1,875 m entstehen Schrägstellungen, daher sind die Glashalter pendelig positioniert. Sie greifen direkt an dem Punkt, an dem vier Scheiben zusammenkommen, in der Fuge zwischen den Scheiben sowohl vertikal als auch horizontal durch die Verglasungsebene durch und werden von der Vorderseite befestigt. Derzeit mit einer sichtbaren Kappenabdeckung an der Außenseite geplant, wäre die Konstruktion auch denkbar mit einer Kontierung, die nach den Abdichtungsarbeiten unsichtbar in der Silikonfuge verschwindet. Anhand einer Musterfassade, aufgebaut in der Halle in Gersthofen, wurden die Dimensionen, Abdeckungen und Glasfarben in Abstimmung mit den Architekten festgelegt. Die Verglasungsarbeiten sollen Ende März 1999 abgeschlossen werden.

Eine weitere Besonderheit wird derzeit zur Montage vorbereitet: Da die auf die jeweiligen Tor- und Türanlagen wirkenden Kräfte nicht durch die filigrane Fassade übernommen werden können, werden alle Portale als selbsttragende Rahmenkonstruktionen aus 40 mm starkem massivem Edelstahl gefertigt. Eingefräste Dichtungsprofile schließen die Seilfassade an die Rahmen flexibel an. Hierzu wurde ein Ziehharmonika-Silikon-Profil entwickelt, das Längendehnungen und Verformungen durch Windkräfte in der Dehnfuge abpuffern kann.

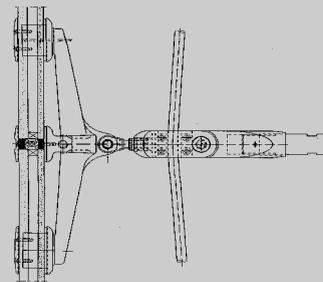
Weltbild-Verlag in Augsburg,
Architekten Niggli + Kögl

Die Ganzglaskuppel, die den Veranstaltungssaal des Verlags überspannt, ist in Form einer Kugelkalotte mit einem Durchmesser von 12,3 m und einer Stichhöhe von 2,5 m ausgebildet. Die Kuppel war ursprünglich als konventioneller Stahlrost geplant. Seele überarbeitete das Projekt mit dem Ziel, den Rost durch den Einsatz von Glas als druckbelastbaren Werkstoff zu ersetzen. Die Fläche von ca. 137 qm wurde mit Isolierglas verglast. Die innere VSG-Scheibe des dreiteiligen Isolierglaselementes bildet die Druckebene. Parallel unter der Silikonfuge des Scheibenstoßes geführt, übernehmen Seile die Zugkräfte der Konstruktion. In die Ecken der vorgespannten Isolierglas-



Musterfassade für den Flughafen Köln/Bonn
rechts: Ausschnitte aus der Musterfassade

oben: Detail Anschluß der Edelstahlportale mit Ziehharmonika-Profilen beim Flughafen Köln/Bonn (Schnitt 90° gedreht)
darunter: Vorfertigung der Portale in Gersthofen als Schweißkonstruktion

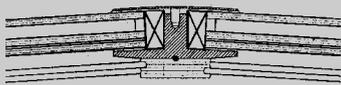


links: Gesamtansicht der Musterfassade, aufgebaut in der Produktionshalle von Seele;
oben: Vertikalschnitt durch die Glashalter ('Spider') der Fassade



Dreieckselemente sind form-schlüssige Stahlkappen eingearbeitet, die in den Knoten mit Stahltellern oberflächenbündig verspannt werden. In die Stahlbetonaufkantung des Daches wurden Ankerplatten zur Aufnahme des abschließenden Staudruckrings eingegossen. Die Scheibengröße beträgt ca. 1,30 m Dreiecksseitenlänge. Es wurden 27 verschiedene Scheibengrößen gefertigt.

Die Montage erfolgte auf einer Holzunterkonstruktion - einem 'Holziglu' aus Kanthölzern. Unter jedem Knoten der späteren Glaskuppel kam dabei das Ende eines Kantholzes zu liegen, in welches mit Einschlagmutterm höhenverstellbare Stützscheiben befestigt wurden. Die Glaselemente wurden von außen/unten nach innen/oben montiert und über axial in den Stahlkappen angeordnete Madenschrauben fixiert gegen den innenliegenden Schaft des unteren Stahl Tellers. Nach dem Prinzip eines Schlußsteines wurde das letzte Element eingesetzt und im Anschluß daran die Hilfskonstruktion abgesehen. Damit stand die Konstruktion unter Druck und wurde lediglich nachjustiert. Die unterseitige Verspannung der Kuppel mit 8 mm starken Stahlseilen erfolgte danach zur Sicherung. Für die Konstruktion war eine Genehmigung im Einzelfall bestehend aus einem theoretischen Gutachten und einer praktischen Versuchsreihe erforderlich. Nach Angaben von Seele sind basierend auf diesem Prinzip Konstruktionen bis zu einem Durchmesser von 20 m realisierbar.



Ganzglaskuppel
glastech '98 Düsseldorf
Konstruktion: Seele GmbH
Statik: Ludwig + Weiler GmbH
Beteiligte Firmen: Vegla GmbH, GTD Glas Technik Design, Hilti GmbH, Brugg Drahtseile AG, Stahlbau Queck
Beratung: Institut für Baukonstruktion und Entwerfen Stuttgart

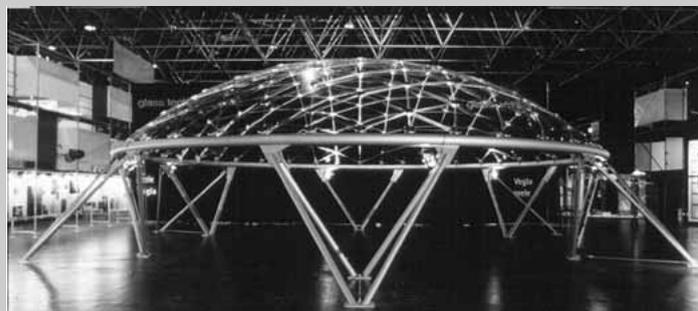
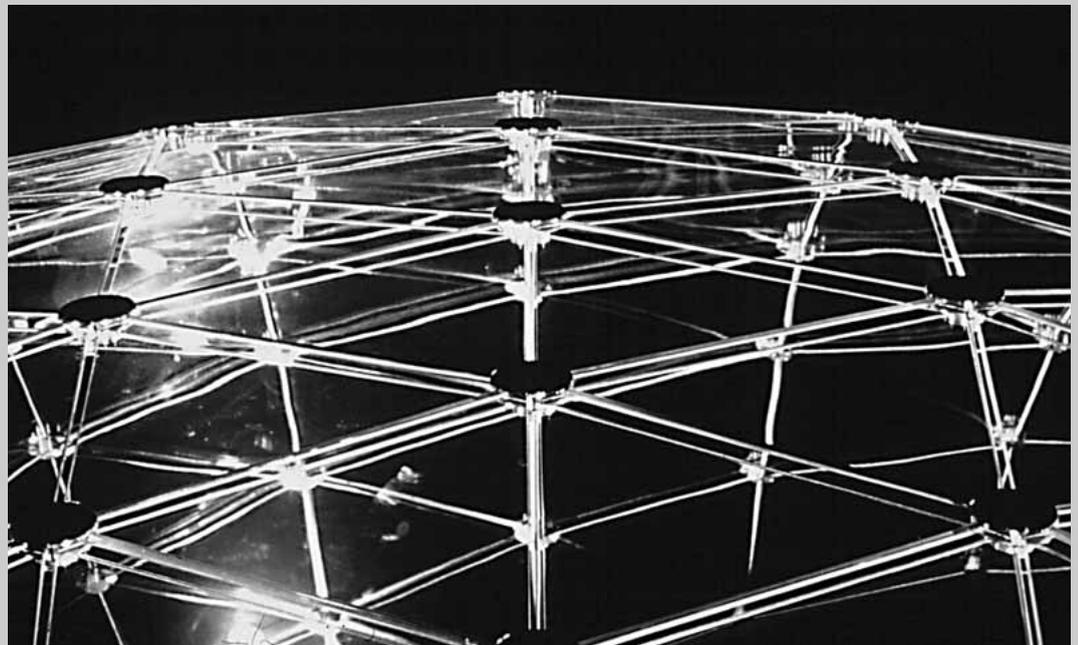
Bei der Kuppel des Weltbildverlags treten die Kanten der Glasdreiecke durch den erforderlichen Randverbund der Isolierglasseiben optisch wesentlich stärker in Erscheinung, als die statisch erforderlichen unterspannenden Stahlseile. Demgegenüber wirkt die Kuppel, die für die glastech '98 in Düsseldorf nach demselben Prinzip errichtet wurde, besonders ruhig und filigran, da auf die schweren Isolierglaselemente verzichtet wurde. Sie ist ein besonders gelungenes Beispiel des konstruktiven Glasbaus

sowie der Aufnahmefähigkeit von Glas für Druckkräfte. Das Fehlen einer stützenden Konstruktion mit Ausnahme der Unterspannungsseile wird hier gut sichtbar. Die Kuppel hat einen Durchmesser von 12,50 m, eine Stichhöhe von 2,50 m und besteht aus 283 Scheiben. Sie ruht auf einer vorgefertigten Stahlskelettbasis aus einem auf sechs Doppel-V-Stützen gelagertem Stahlrohrzugring. Insgesamt wird die Kuppel aus 68 x 6 gleichen dreiecksförmigen Scheiben aus 2 x ESG gebildet. Die Besonderheit auch hierbei ist, daß die Gläser integriert Hüll- und Tragfunktion übernehmen. In der Kuppel vorherrschende Druckkräfte werden nur über das Glas abgetragen. Ein parallel zu den Glasfugen verlaufendes Netz aus filigranen Edelstahlseilen sorgt für die stabilisierende Vorspannung der Gesamtkonstruktion. Als Voraussetzung für die baurechtliche Zulassung im Einzel-

fall wurde in Versuchen und Berechnungen nachgewiesen, daß bis zu sechs direkt benachbarte Scheiben ausfallen können, ohne die Systemreserven aufzuzehren. Wichtig erschien auch, daß einzelne Scheiben mit einfachen Mitteln ein- und ausgebaut werden können. Dies wird mit einzeln einstellbaren Lasteinleitungsbolzen gelöst, welche eine Schenkeländerung der Dreieckselemente erlauben. Diese Bolzen sind zugänglich über abnehmbare Abdeckteller der Knotenpunkte.

Die durch beide Kuppel-Projekte gewonnenen Erfahrungen sollen demnächst Anwendung bei der Glastonne für das Maximiliansmuseum in Augsburg finden. Dabei handelt es sich um eine Tonne mit Einfachglas und einer Seilunterspannung.

Hannelore Huber

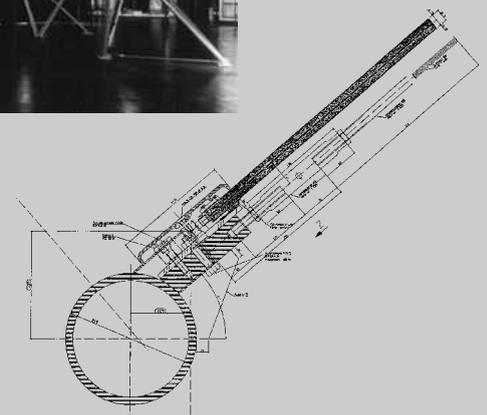


Kuppel auf der glastech; links: Stahlrohrzugring mit V-Stützen; unten: Detailausschnitt der unteren Befestigung am Ring

Kuppel des Weltbildverlags; ganz oben: Glashalterung und Rosette; oben: Blick Aufenthalts- und Empfangsbereich; rechts: Detail Rosette mit Isolierverglasung



Detail Glashalterung mit Einfachverglasung



Seilverspannte Glas-Rundfassade

IMAX-Gebäude

Potsdamer Platz Berlin

Bauherr: Daimler-Benz Konzern
Architekt: PG Renzo Piano Building
Workshop, Christian Kohlbecker

Fachingenieur: Emmer + Pfen-
ninger AG, Ingenieur-Zentrum für
Bauphysik

Metallbau: Fenster- und Fassaden-
technik Münchenstein

Keramikelemente: Agrob Buchtal
Keramik GmbH

Fassade: Götz GmbH

Fast vier Jahre nach dem ersten Spatenstich erfolgte am 2. Oktober 1998 die feierliche Eröffnung des Daimler-Benz Areals auf dem Potsdamer Platz in Berlin. Nach dem Masterplan von Renzo Piano und Christoph Kohlbecker erstellte ein hochkarätiges Architekten-team ein neues Stadtviertel mit 19 Gebäuden und 10 Straßen. Mehr als 600 Wohnungen, ein Cinemax-Kinozentrum mit 19 Sälen, ein IMAX-Theater, ein Spielcasino, ein Musicaltheater, eine Einkaufsstraße mit 110 Geschäften und 175.000 qm Bürofläche wurden für rund 2,7 Mrd. DM Baukosten innerhalb kürzester Zeit fertiggestellt. Eines der auffälligsten Gebäude hinsichtlich Architektur und Fassadenkonstruktion ist das Imax-Gebäude, direkt am neuen Marlene-Dietrich-Platz gelegen.

Das Imax-Gebäude

Der siebengeschossige Baukörper mit dreieckigem Grundriß und einer Gesamtfläche von 14.600 qm bietet neben dem Kinokomplex mit insgesamt 440 Sitzplätzen auch einem Einzelhandelsbereich und diversen gastronomischen Einrichtungen Raum. Der auffälligste Teil des Gebäudes ist die ovoidförmige Imax-Vorführrkuppel. Sie umschließt die Zuschauerränge und die bis zu 600 qm umspannende Leinwand des Kinos. Die Kuppelkonstruktion erwächst nahezu mittig aus dem Gebäudegrundriß und wölbt sich bis in 42 m Höhe. Die oberen 14 m zählen zum Außenbereich. Die Geometrie der Kuppel setzt sich

aus zwei unterschiedlichen Durchmessern zusammen, die fließend ineinander übergehen. Der obere Teil besitzt einen Radius von 16 m, dieser erweitert sich im unteren Teil auf 36 m. Die gesamte Konstruktion ist um 13,50 m aus der vertikalen Achse schräggestellt. Die Kuppelwand wird durch mehrere Zugänge unterbrochen. Vor der Imax-Kuppel ist eine transparente, seilverspannte Glas-Rundfassade angebracht. Diese erlaubt sowohl freien Blick von außen auf die Kinokuppel, als auch von innen auf die Straße und die Piazza. Der Südwest-Bereich des Gebäudes wird zusätzlich durch eine 33 m durchmessende Rotunde akzentuiert.

Die Kuppel

Die 2.000 qm umfassende Außenwandbekleidung der Imax-Kuppel besteht ausschließlich aus keramischem Material in Form einer hinterregneten, belüfteten Kaltfassadenkonstruktion mit 10 mm offenen Fugen. Im Detail besteht die Fassade aus einer Vielzahl von unterschiedlichen, sphärisch gebogenen Keramikplatten, die mit Hilfe eines CNC-gesteuerten Wasserstrahls zugeschnitten wurden. Aus planerischen Erwägungen wurde über die gesamte Kuppel, analog zur Erdkugel, ein Gradnetz, bestehend aus Breiten- und Längengraden angelegt. Die Meridiane unterteilen die Kuppel in 88 gleiche Abschnitte mit einem Winkel von jeweils 4,09°. Ausgehend vom 'Nullmeridian', der genau mittig zwischen den Gebäudeachsen L und M liegt, wurden die einzelnen Längengrade fortlaufend nummeriert, wobei die Zusätze 'W' und 'O' für die jeweilige Himmelsrichtung stehen.

Der 'Äquator' befindet sich genau an der Übergangslinie der beiden unterschiedlichen Kuppelradien. Von ihm aus werden die einzelnen Breitengrade numerisch fortlaufend nach Süden bzw. Norden der Kuppel gezählt.

Alle Keramikelemente auf einem Breitenkreis sind in ihren Abmessungen konstant. So haben etwa alle Keramikplatten des 3. nördlichen Breitenkreises die Größe 1273 x 1203 mm bei einer jeweiligen Stärke von 8 mm. Die Polabdeckung am 24. nördlichen Breitenkreises ist als 1200 mm durchmessende Keramikscheibe ausgeführt. Insgesamt bilden rund 1730 Keramikplatten die Außenwandbekleidung.

Die einzelnen Keramikelemente wurden im Innenbereich mit einer Vierpunkt-, im Außenbereich mit einer Achtpunkt-Befestigung montiert. Dafür sind auf der Plattenrückseite runde, keramische Verbundkörper mit integrierten, nichtrostenden Schrauben aufgebracht. Hierbei handelt es sich um eine nicht-lösbare und -brennbare Verbindungstechnik. Diese Befestigungselemente werden mit Hilfe eines Glaslotrings auf die Plattenrückseite aufgesintert. Die Mindestabriebfestigkeit der Sinterverbindung beträgt bei einem Stützringdurchmesser von 55 mm für zentrischen Zug 2 kN. Jeweils drei Keramikplatten werden an einen 1,2 m breiten und 3,6 m hohen Leichtmetall-Rahmen montiert, der von seiner Biegung dem jeweiligen Kuppelradius angepaßt wurde. Zur sicheren Befestigung der vormontierten Elemente am Baukörper wurden an der Betonkuppel mittels speziell angefertigter Lehren die Konsolen zur Aufnahme der Elemente positioniert. Die Oberfläche der Keramikplatten ist mit einer kunstvollen blau-weißgrün marmorierten Glasur versehen.

In einer Höhe von 26 m schließt eine Oberlichtverglasung in Form eines Glasrings an die Kuppel an und schließt den Atrium- und Foyerbereich nach oben. Die Pfosten-Riegel-Konstruktion ist in Teilbereichen festverglast bzw. mit offenbaren Flügeln ausgeführt. Die Ausfachung besteht dabei aus trapezförmigen Sonderscheiben: 30 mm Isolierglas bei 897/969 mm x

1807 mm (Festverglasung) und 31 mm starkes Verbundsicherheitsglas bei 873/969 x 1.975 mm (Öffnungsflügel).

Seilverspannte Glas-Rundfassade
Die transparente, seilverspannte Glas-Rundfassade begrenzt die Südwestseite des Imax-Gebäudes auf einer Länge von 56 m bei einer Höhe von 22 m und einem Radius von 125,6 m. Die Stahl-Primärkonstruktion der Fassade ist als seilverspanntes, bis zu 18 m freigespanntes Tragsystem ausgeführt. Die Seildurchmesser betragen je nach statischen Anforderungen 16 bis 24 mm bei einer Seilspannung von bis zu 120 kN. Die auftretenden Kräfte werden über filigrane Stahl-Seil-Fischbauchträger an insgesamt 156 Punkten in den Rohbau abgeleitet. Die eigentliche Glasfassade setzt sich aus insgesamt 986 Aluminium-Glaselementen der Größe 1702 x 750 mm zusammen, die an vertikalen Stahlträgern mittels Stahl-Gußteilen befestigt sind. Die Ausfachung der Elemente besteht aus 6 mm Einscheibensicherheitsglas. Im unteren Teil sind elektrisch betriebene Zuluftklappen aus 8 mm starkem ESG integriert. Ein innenliegender Blendschutz übernimmt die Verschattungs-funktion.

Die Außenwandbekleidung der Rotunde besteht vom 2. bis 5. OG aus geschoßhohen Aluminium-Warmfassaden-Elementen mit vorgehängten Keramik - 'Baguettes'. Die einzelnen Elemente sind polygonal in einem Winkel von jeweils 8° angeordnet und werden über Stahlgußteile an den Decken befestigt. Die Einrahmung der Rotunde besteht aus vollflächigen Keramikelementen.

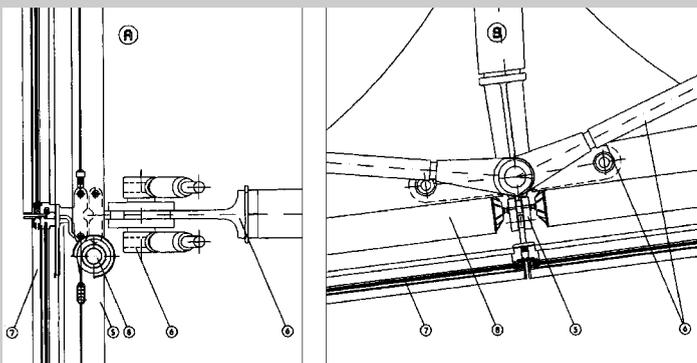
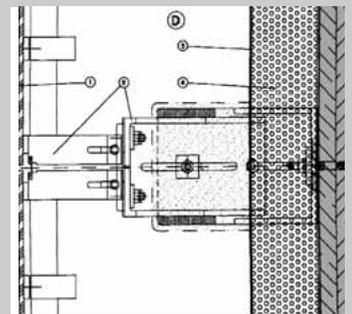
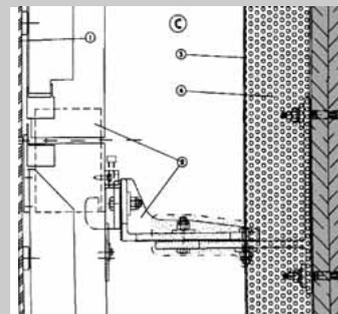
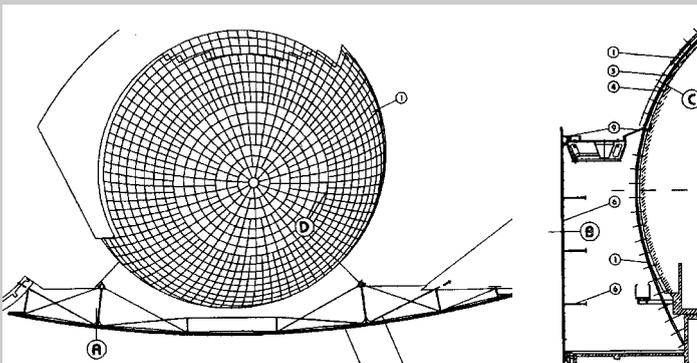
Thomas Lödel, Götz GmbH



Luftbefüllungsvorgang der Kuppelmembrane, die später in Beton aufspritzt wurde.



Fassadenkonstruktion der Vorführkuppel und seilverspannte Glas-Rundfassade aus 986 Aluminium-Glaselementen



- Fassadenkonstruktion:
- 1 sphärisch gebogene Keramikplatten
 - 2 Rahmenwerk, Konsole
 - 3 Dachdichtung
 - 4 Formglas
 - 5 vertikaler Stahlträger
 - 6 hinterspannter Träger aus Guß und Stahlseil
 - 7 gebogene ESG-Verglasung
 - 8 integrierter Blendschutz
 - 9 RWA-Glasring

Hängender Glasturm

Convention & Exhibition Center
Hongkong
Architekt James Carpenter
Projektteam: Richard Kress, Luke
Lowings, Rebecca Uss, Janet Fink
Ingenieure: Tony Broomhead,
Arup Ass.
Beteiligte Firmen: TriPyramid
Structures Inc.

Der hängende Glasturm soll mit
seinem subtilen und komplexen
Spiel des Lichts Besucher in das
zentrale Foyer an der Westseite
des Hong Kong Convention &
Exhibition Centers locken. Seine

mehrfach gebrochene Oberfläche
setzt sich aus vielen Facetten
zusammen, einzelne transluzente
Glasdreiecke mit prismatisch
geschliffenen Kanten, die das Licht
in Spektralfarben zerlegt in den
umgebenden Raum projizieren.
Die luzide Lichtsäule hat einem
Durchmesser von 2,5 m, mißt
19,5 m in der Höhe und ist bis
3,5 m über dem Boden an Edel-
stahlseilen von der Decke der
Lobby abgehängt. Da der Boden
freibleibt, kann die Skulptur auch
von unten aus betrachtet werden.

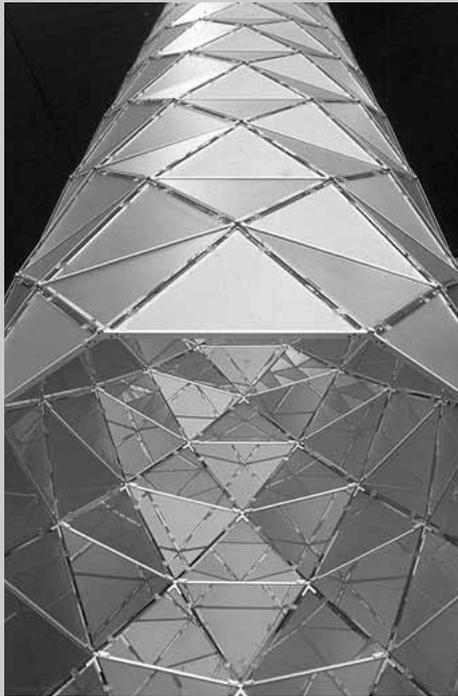
Der hängende Glasturm ent-
faltet seine Wirkung auf verschie-
denen Ebenen. Zunächst im städ-
tischen Maßstab als Landmarke

im Victoria Hafen, gut sichtbar
von den Tag und Nacht verkeh-
renden Fähren, die Hongkong mit
Kowloon verbinden. Dann im
Gebäudemaßstab als Lichtvolu-
men innerhalb des Convention
Centers, das die 43,5 m hohe Ein-
gangslobby hervortreten läßt.
Und schließlich auf der Ebene des
menschlichen Maßstabs: Beim
Blick hinauf in die Prismenspira-
le verstärkt die unmittelbare
Sicht auf die Einzelteile des Turms
seine perspektivische Wirkung.

Glas und Spannelemente aus
Edelstahl bilden eine komplexe
geometrische Form. Sie besteht
aus 26 übereinander geschichte-

ten Ringen mit jeweils 20 identi-
schen gleichseitigen Glasdreiecken.
Aus der vertikalen Anordnung
der Ringe taucht zwischen den
Glasflächen ein spiralförmiges
Muster auf, das den Säuleneffekt
betont. Diese säulenartige Röhre
wird durch ein spiralförmiges
Netz aus 20 Edelstahlseilen defi-
niert, die in eine Reihe von Alu-
miniumringen geklemmt sind,
wodurch sowohl der Abstand
zwischen den sich kreuzenden
Spannelementen als auch die
Position der Glashalterungen
fixiert ist. Das Glas hält durch
sein Eigengewicht das röhrenfö-
rmige Netz unter Spannung und
steift es aus; so entsteht eine star-
re Schalenkonstruktion.

Im Licht des Tages bietet die
gebogene, transluzente und volu-
metrische Oberfläche verschiede-
ne Lesarten, je nach Tages- oder
Jahreszeit. Nachts, von Schein-
werfern ringsum erleuchtet, ver-
wandelt sich die Skulptur in eine
ephemere Lichtsäule, die weithin
sichtbar als geheimnisvolles ver-
tikales Leuchtfeuer ihre Strahlen
in den Hafen wirft.



Die perspektivischen
Qualitäten des Glasturms
kommen voll zur Geltung
beim Blick in das Innere
der 'Prismenspirale'.



oben: Einpassen eines
Glasdreiecks zwischen
Aluminiumring und Seil-
verspannung; rechts:
Kreuzungspunkt zwischen
Edelstahlseilen und
Aluminiumdruckring mit
den Halterungen für die
Glasdreiecke



oben: Das Stützgerüst ist
für die Errichtung des
Glanturms erforderlich,
bevor er sich durch sein
Eigengewicht aussteift;
rechts: Abhängung vom
Foyer der Eingangslobby

Das neue Schwerlasttransportsystem wurde bereits ausführlich vorgestellt (vgl. 142 ARCH⁺, S. 88-92). Der Einsatz von Frachtluftschiffen von anfangs 160 t (2000) bis 450 t Tragkraft (2005) erlaubt erstmals punktgenaue Transporte für sehr große vorgefertigte Module. Die Technologie wird gegenwärtig in Deutschland speziell für Anlagenbau und Großindustrie entwickelt und soll langfristig Standortvorteile für den Export sichern.

Auch für das Bauen könnte das neue Transportmittel in vieler Hinsicht zu einem Paradigmenwechsel führen: Der Warenhandel könnte zunehmend die Vereinbarung von Werken oder Leistungen anhand von Mustern ersetzen. Isolierte punktförmige Siedlungskeime böten eine Alternative zum überkommenen 'urban corridor' um Schiene und Straße.

Unter dem Motto 'was wiegt Dein Haus?' (Fuller 1927) soll hier das Potential der Transportluftschiffahrt für das Bauen gefördert werden. Projekte und Vorschläge werden regelmäßig veröffentlicht:

Siedeln ohne feste Infrastruktur Diplomarbeit TH Darmstadt 1998

Anlaß zum Städtebaudiplom 'Neuland' gab die Verknüpfung zweier international bedeutsamer Ereignisse: "Die Entwicklung des 'Cargo-Lifter' als ökologisch schonendes Luftschiff-System für den Transport großer und schwerer Lasten und zweitens der Abschluß des ersten internationalen Vertrages zum Schutz vor Ausbeutung und zur ökologischen Schonung eines ganzen Kontinents: Der Antarktisvertrag von 1997.

Der Antarktisvertrag verpflichtet alle Staaten zu einem schonenden Umgang mit dem südlichsten Kontinent. Zugelassene Aktivitäten beschränken sich auf Forschung und einen sanften Tourismus. Hierzu gehört, daß nach Beendigung einer Tätigkeit keinerlei Rückstände zurückgelassen werden dürfen. Dieses Prinzip zwingt zu einem radikalen und systematischen Durchdenken aller baulich-konstruktiven Planungen und des zeitlichen Verlaufs von Bau-, Nutzungs- und Abbauprozessen.

Es wird fast niemals wärmer als minus 30 °C am Südpol. Die Landschaft besteht aus einer meist gleichmäßigen Eiswüste. Es gibt keine Tageszeiten: Ein halbes Jahr herrscht ständige Dunkelheit, ein halbes Jahr ständige Helligkeit. Unter solchen extremen Bedingungen muß die Einbettung von Gehäusen in den topographischen und klimatischen Kontext neu durchdacht werden. Für das Programm einer internationalen Forschungs- und Rangerstation am Südpol im Rahmen des Antarktisvertrages gibt es keine Vorbilder. Die Verbindung von Forschung, geführten Entdeckungsreisen, nach außen in die Eiswüste und Selbsterfahrungstrips nach innen, allein und in der Gruppe, unter extremen klimatischen und sozialen Bedingungen, verlangt nach der Entwicklung von sozialen Szenarien unter Kenntnis anthropologischer Konstanten und unter Einsatz sozialer Phantasie.

Das Nichtvorhandensein von Transportstraßen, die radikale Forderung nach rückstandsloser Beseitigung aller Reste und der Standort 'Eiswüste' als einerseits meist im langsamen Fluß befindlichen Baugrund und andererseits als unerschöpfliche Quelle eines rückstandslosen Baustoffes stellt unkonventionelle Anforderungen an die Bauweise von Schutzgehäusen. Das Transportsystem Cargolifter bietet freilich in diesem Zusammenhang auch neue Möglichkeiten" (Thomas Sieverts).

Die Arbeiten reagieren allesamt verschieden auf die vorgefundenen Bedingungen. Neben technischen Fragen wie Faltbarkeit, modularer Addition, Adaption und Transportfähigkeit, Energieversorgung und -bewahrung werden Orte besetzt und Siedlungsmuster entwickelt.

Jan Friedrich

Die Arbeit mit dem Titel 'Nisten in Spalten' verfolgt einen gegensätzlichen Ansatz. Architektonisch wie technisch wird das Potential spezifisch antarktischer Orte genutzt: "Eine Gletscherspalte bildet die natürliche Schutzhülle der Station und entzieht sie den extremsten Klimaverhältnissen des Kontinents. Im Kontrast zur horizontalen Unendlichkeit der Eisfläche bietet der vertikale Eisraum in seiner Enge eine künstliche menschliche Lebenswelt aus vorgefertigten Wohn-, Arbeits- und Funktionseinheiten, die an und zwischen die Eiswände gehängt werden. Die entstehenden Räume können die Bewohner aus dem Inneren ihrer künstlichen, auf das Notwendigste reduzierten Welt erleben."

Technische Versorgung und Binnennutzung der Akademie sind getrennt angeordnet. Windenergieanlagen, Ankunftsseinheiten und Fahrzeughangars nutzen die offen zugängliche und den

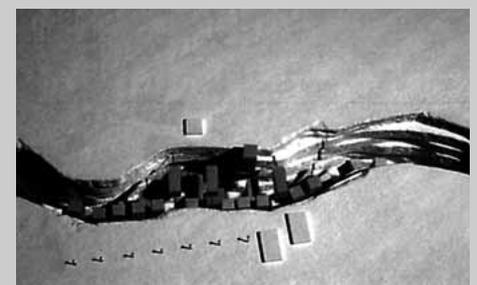
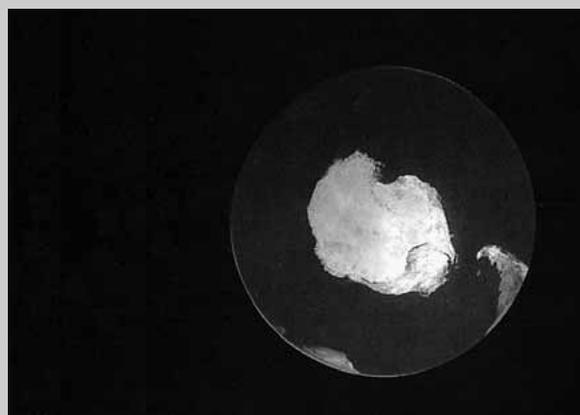
Elementen ausgesetzte Eisfläche, alle Aufenthaltszonen befinden sich in den Zwischenräumen.

Die technischen Mittel entsprechen den Konstruktionen der Luft- und Raumfahrt: Die einzelnen Raumzellen sind frei abgehängt und werden untereinander und mit der umgebenden Landschaft nur lose über Gangways oder bewegliche Stege verbunden. In einer Umgebung in ständigem langsamen Fluß kann die abgehängte Struktur Gefahren durch Bewegungen in der Gletscherspalte ausgleichen und erlaubt gleichzeitig Adaption und Erweiterung der Station ohne eigentliche konstruktive Eingriffe.

In einer weiteren Variante wären Stationen denkbar, welche wie riesige flexible Mobiles mit ihren Stegen an Tragerahmen mit dem Luftschiff fertig ausgebaut transportiert und zu Forschungs- oder Tourismuszwecken in die verschiedensten Spalten eingehängt würden.



links: Vorgefertigte Module windgeschützt in Gletscherspalten. Abhängungen kompensieren die Bewegungen des Gletscherflusses.



Oben: Auf den Rändern technische Versorgung, Hangars und Windräder

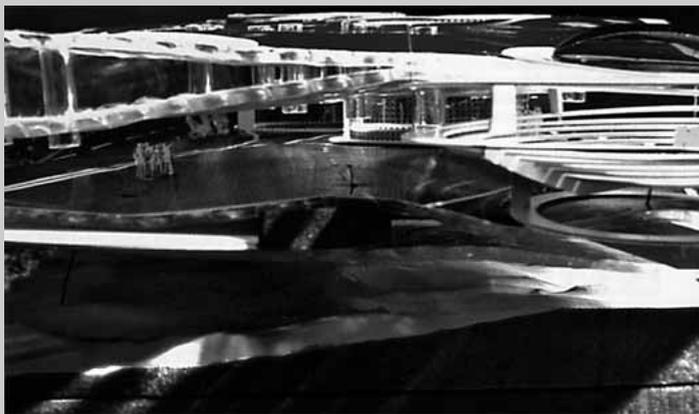
Hardware/Software

Juan C. Klug
Peter Bender

Eine Art bewohnbare, strukturalistische Luftmatratze wird für die Forschungsstation vorgeschlagen. Ein Innenraum von vollständiger Künstlichkeit gliedert sich in 'Hardware'- und 'Software'-Angebote für das komprimierte Zusammenleben in unwirtlicher Umgebung. Als Hardware ist eine mehrlagige polyzentrale pneumatische Struktur vorgesehen, welche durch sog. 'Infraports' gegliedert und erschlossen wird. 'Pins' als private Rückzugsbereiche in zylindrischen Röhren durchstoßen die verschiedenen Lagen und enthalten an der Oberseite der Konstruktion eine Schlafzelle mit Außenraumbezug. Die pneumatische Bauweise mit ihrem besonders geringen spezifischen



oben: Dreilagige pneumatische Struktur mit 'Pins', 'Infraports'; links: Perspektive Cargolifter



oben: Modellaufnahme 'soft-fields': öffentlicher Raum, Versorgung, Bewegung, Erholung, Freizeit; rechts: Rauminstallation virtueller Tag



Gewicht soll einerseits den interkontinentalen Transport per Frachtluftschiff erleichtern, andererseits könnte die gesamte Versorgung der Station mit Technik, Wasser, Nahrung und Energie sowie der Abtransport von Abfall über die 'Infraport'-Docks seriell per Container erfolgen.

In der völligen Abwesenheit natürlicher Gliederungselemente für Raum und Zeit (Polarnacht und -tag) erkennen die Verfasser eine Chance für einen phasenverschobenen Tagesablauf der Bewohner und damit eine intensivere Nutzung der begrenzten räumlichen und energetischen Ressourcen.

Der Bereich zwischen den weitgehend funktional determinierten oberen Wohn- und unteren Forschungsschichten bietet Raumüberfluß als Angebot für Aktivität und 'Events'. Der zunächst neutrale Ort wird durch Software zeitlich strukturiert, belebt und bleibt auch zur Stimulierung gleichmäßiger Phasenverschiebungen und Vermeidung von Lastspitzen im Energieverbrauch durch 'Software'-Angebote programmierbar.

Autarke Station

Alexandra Eichhorn
Stephan Riedel

Einzelne Rückgratmodule für eine kleine autarke Station werden in stark komprimierter Form nach Süden transportiert, abgelassen und aufgestellt. Wie ein Faltcaravan enthalten die Module bereits Struktur und Hülle für zusätzliche Zwischen- und Aufenthaltbereiche, welche nach Bedarf ausgefaltet werden können und mit deren Hilfe die Verbindung mehrerer Kerne zur vollständigen Station realisiert wird. Im Kernmodul ist eine dreigeschossige Struktur angelegt. Sie besteht aus einer zentralen öffentlichen Verkehrs- und Versorgungszone und zwei privaten Rückzugsebenen. Die gesamte Versorgung erfolgt über zwei horizontale Schächte im konstruktiven Doppelboden über bzw. unter der Mittelzone. Durch Zusammenkoppeln mehrerer entfalteter Kernmodule entsteht eine im Verhältnis 1/3 linear vorinstallierte Nutzebene mit flexibler Aufteilung. Durch justierbare Bockstützen kann die Station der vorgefundenen Topographie entsprechend auch direkt über Forschungszielen wie Spalten aufgebaut werden.

Die gewählte Zuordnung zweier Nebenzonen ober- und unterhalb der Hauptnutzfläche sorgt für kältepuffernde thermische Schichtung. Andererseits korrespondiert das Prinzip mit einer nur an den Polen ohne Einschränkungen möglichen, durch zeitlich phasenverschobene Überlagerung verdichteten Nutzung.

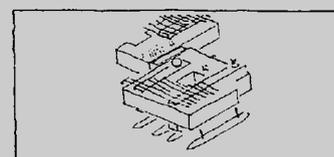
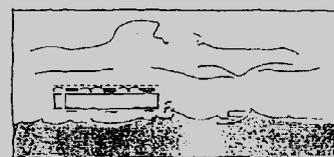
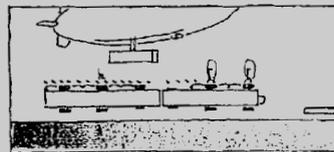
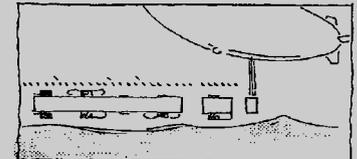
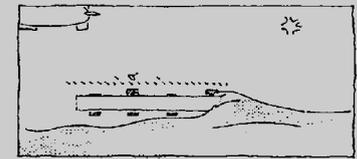
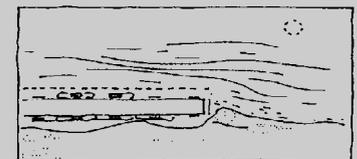
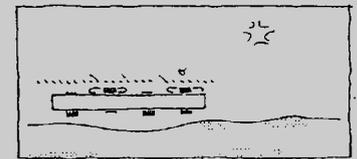
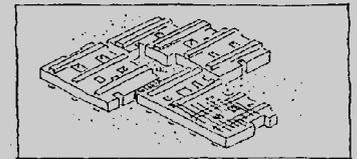
Auf gleichem Raum kann so beispielsweise ein Forschungslabor geführt, eine durchgängig besetzte Rangerstation oder die Versorgung für umweltschonenden Tourismus betrieben werden. Für die erforderliche Flexibilität sorgen neutrale räumliche Vorgaben sowie Technikzonen in Zwischendecke und -boden. Verschiedene Nutzungsprofile sind

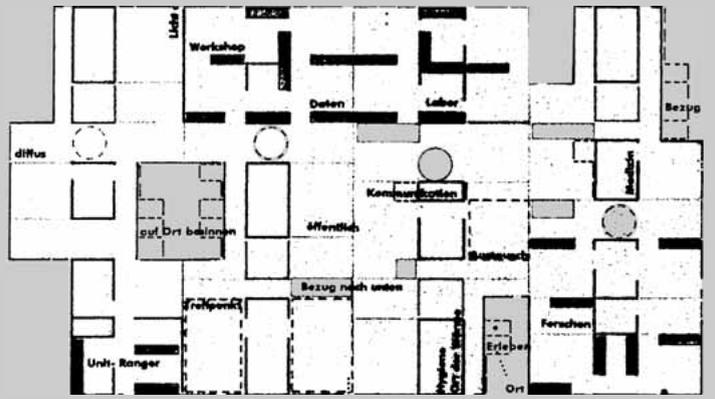
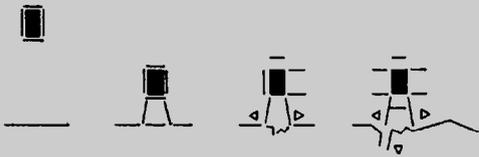
in unterschiedlichen Szenarien dargestellt. Aussichtskanzeln und Einstiegskanäle in Verbindung mit der vertikalen Erschließung für die Gemeinschaftsbereiche sowie Bullaugen nach oben oder unten ermöglichen Sichtbezug zur unwirtlichen Umgebung.

Die Stationen können auf die vorherrschenden Windverhältnisse ausgerichtet und mit einer Art textilen Spoiler vor Einschneien und Auskühlung geschützt werden. Die Zeltkonstruktionen bieten gleichzeitig Schutz für externe Versorgungs- und Speichereinrichtungen sowie Halt für Windenergieanlagen.

Der Titel der Arbeit 'Zu Gast sein' verdeutlicht das Anliegen, eine veränderliche, in jeder Größe funktionierende Einrichtung möglichst ohne bleibende Spuren in der natürlichen Umgebung einzurichten. Der konstruktivistische Ansatz erlaubt den Einsatz der erweiterbaren 'Backbones' auch für Stationen in anderen Extremsituationen ohne Infrastruktur, beispielsweise in der Wüste oder auf Pontons im offenen Meer.

Thomas Kaup



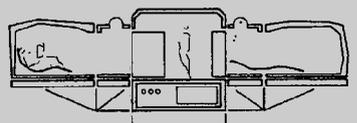
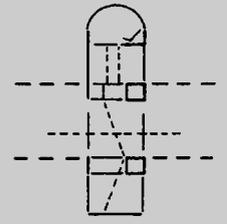
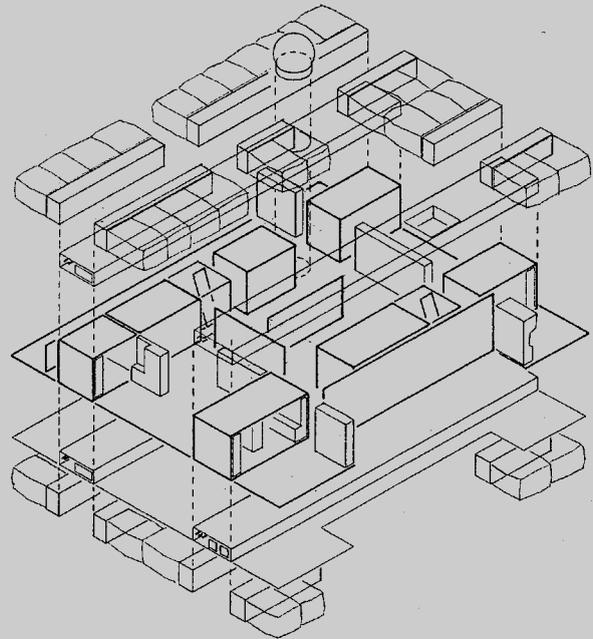


links: Einzelne Module werden abgesenkt, verankert, entfaltet. Bockstützen erlauben Einsatz in unwegsamem Gelände.

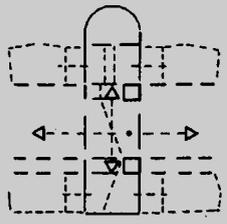
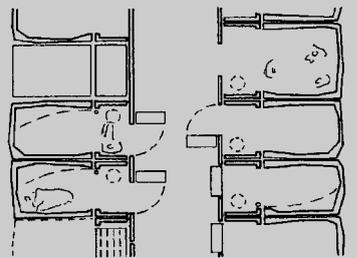
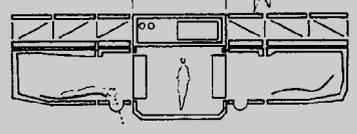
oben: Hauptnutzfläche in der Mittelzone erlaubt parallele oder phasenverschobene Nutzung



links: Linear vorinstallierte Bereiche entlang 'Backbones' erlauben flexible Nutzung für Labors, Ranger, Touristen



Dreigeschossige Struktur mit jeweils unten und oben angeordneten Rückzugsbereichen; Außenkontakt über Bullaugen; Vertikale Erschließung, Aussichtskuppel in Backbonezone; unten links: Die Station erzeugt mit Windkraft eigene Energie.



unten: Längsschnitt durch Forschungsstation. Nach Aufbau, Justieren der Böcke werden die Module verspannt.

