



Optimal verkuppelt

Innovative Klebtechnik von 3M ist die Grundlage einer in Stuttgart errichteten und bisher weltweit einmaligen freitragenden Glaskuppel. Ihr Durchmesser beträgt 8,50 Meter.

Von Dipl.-Ing. Uwe Manert

Es ist die Transparenz, die bei Design mit Glas gewollt ist und diesen Objekten die Optik eleganter Leichtigkeit verleiht. Störend wirkte dabei jedoch bisher die notwendige Unterkonstruktion, vor allem bei größeren Projekten. Sie degradierte das edle Material im wahrsten Sinne des Wortes zur „Verglasung“.

Ganz neue Dimensionen im Glas-Design eröffnet da eine gerade abgeschlossene Forschungsarbeit am Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren (ILEK) der Universität Stuttgart. In Kombination mit innovativer Klebtechnik wird Glas jetzt zum gleichberechtigten Werkstoff, dessen ästhetische Qualitäten sich optimal

nutzen lassen. Lucio Blandini, der sich in Italien, Deutschland und mittlerweile auch in den USA interdisziplinär Studien in Architektur, Bauingenieurwesen und Materialwissenschaft widmet, hat am ILEK im Rahmen seiner Dissertation die Möglichkeiten der Verbindung von Glas und Klebstoff erforscht.

Drei Jahre Forschungsarbeit

„In den vergangenen zwei Jahrzehnten sind bereits mehrere verglaste Kuppeln gebaut worden. Sie bestehen aber alle aus stählernen, lediglich verglasten Gitterschalen“, berichtet er. „Unser Ziel war es, Glas als strukturelles Material zu nutzen. Die Klebtechnik erschien uns da eine viel versprechende Alter-

native zu den bekannten Klemmsystemen.“

Vor drei Jahren begann er in Stuttgart mit unterschiedlichen Tests zu den Zug-, Schub- und Biegebelastungen entsprechender Verbindungen bei verschiedenen Temperaturen und Belastungszeiten. Aus den fünf dabei eingesetzten Klebstoffen kristallisierte sich ein Epoxidharz des Multi-Technologie-Unternehmens 3M als das für diese Anwendung am besten geeignete Produkt heraus. Zähelastizität, hohe Festigkeiten, eine erhöhte Wärmefestigkeit, ein gutes Alterungsverhalten und eine schnelle, einfache Verarbeitung sind seine wesentlichen Charakteristika. „Sicherlich gab es mit diesem Klebstoff in industriellen Anwendungen bereits vielfältige, positive Erfahrungen. Ob er aber auch in der Architektur einsetzbar sein würde, war die Fragestellung unserer Forschungsarbeiten“, betont Lucio Blandini. „In den bisher entwickelten Anwendungen wird das Produkt in einer Dicke von nur wenigen zehntel Millimetern verarbeitet. Das ist mit den gängigen Toleranzwerten in der Architektur nicht vereinbar. In vielen Fällen ist eine Mindestdicke von einem Millimeter notwendig. Zwischen Glaselementen muss der Klebstoff nicht nur eine starke und feste Verbindung aufbauen, sondern auch in der Lage sein, Material- und Bautoleranzen auszugleichen.“

Der Prototyp

Nach erfolgreichen Tests von Verbindungen zwischen Glas und Klebstoff entwarf der Forscher seinen Prototypen



Größtmögliche Transparenz: Die 44 Glaselemente aus 8 mm Float und 2 mm chemisch vorgespannten Glas sind insgesamt 1,5 Tonnen schwer und lediglich mit Klebstoff verbunden. Getragen wird das Gewicht von der 8 mm starken Scheibe.



Ein Foto aus der Bauphase: Die oberen und unteren Scheiben sind bereits aufgelegt.

durch seine kurze Verarbeitungszeit, seine schnelle Festigkeitszunahme und seine hohen Scher- und Schälzugfestigkeiten auszeichnet. Als Abstandhalter dienten 3M Bumpon Elastikpuffer aus Polyurethan. Nach der Aushärtungszeit konnte die Unterkonstruktion pneumatisch heruntergefahren und komplett abgebaut werden.

Ausblick

Konstruktionen dieser Art könnten sich in Zukunft nicht nur in der modernen Architektur, sondern auch für die Sanierung historischer Bauwerke hervorragend eignen, ist Lucio Blandini sicher. „Glas und Klebstoff, das ist eine wunderschöne Symbiose“, schwärmt er. Und die sichtbaren Fugen? „Die stören die Gesamtoptik fast gar nicht“, sagt der Forscher. „Elemente, die auf der Glasoberfläche störend wirken wie bei Klemmsystemen, gehören der Vergangenheit an.“ Und warum gibt es dann nicht schon längst viel mehr geklebte Verbindungen dieser Art? „Da gibt es eine gewisse Angst vor dem Material“, betont er. „Wer kleben will, muss sich sehr gut auskennen, um eine gute Qualität zu erreichen. Schrauben ist einfacher.“ Hinzu komme aber auch, dass in der Ausbildung von In-

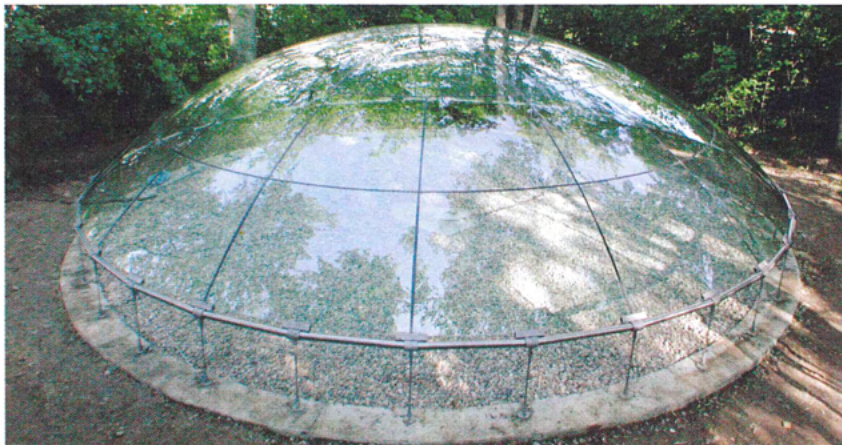
genieuren die Klebtechnik oft immer noch vernachlässigt werde.

„Wir haben das mechanische Verhalten von Verbindungen zwischen Glas und Klebstoff bei diesem Projekt umfassend erforscht durch Tests von Zug-, Schub- und Biegebelastungen“, resümiert Lucio Blandini. „Jetzt sind weitere Untersuchungen notwendig, etwa zum Kriechverhalten oder zur Alterungsbeständigkeit, bevor diese innovative Art des Glas-Designs umfassend eingeführt werden kann. Dennoch ist dieser erste Schritt vielversprechend für alle künftigen Anwendungen, in denen Glas als strukturelles Material eine Hauptrolle spielen wird.“

Informationen: 3M Deutschland GmbH, Carl-Schurz-Straße 1, 41453 Neuss, Telefon 02131/14-2921, Telefax 02131/14-3912, E-Mail kleben.de@mmm.com, Internet www.3M-Klebeteknik.de

Der Autor

Dipl.-Ing. Uwe Manert ist bei der 3M Deutschland GmbH, Neuss, als Anwendungsingenieur für Klebänder und Klebstoffsysteme tätig.



Gehalten wird die Glaskuppel von einem umlaufenden Titanring. Das Material hat die selben Dehnungswerte bei Temperaturveränderungen wie Glas.



Vor dem Verkleben wurden die Unterseiten der Fugen mit 3M Weichaluminiumband verschlossen.



36 Kilogramm des thixotropen Klebstoffs von 3M wurden verarbeitet.



Nach dem Abziehen ermöglichte das Aufbringen eines Polyester-Klebbandes die Sichtkontrolle der Fugen während der Aushärtung.



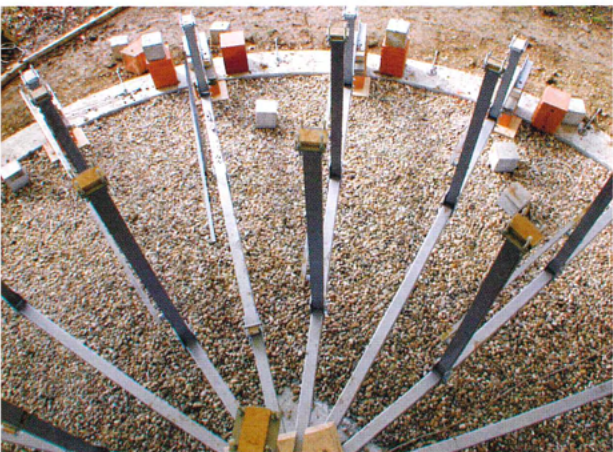
Die Verbindung zum Titanring wurde mit 3M Klebstoff auf Acrylbasis hergestellt. Als Abstandhalter dienten 3M Bumpon Elastikpuffer.



Als Fundament musste zunächst ein Betonring gegossen werden.



Über Verbindungselemente wurde ein Titanring mit den Aufnahmeelementen für das Glas positioniert.



Auf dem sternförmigen Unterbau konnten punktgenau Stahlstützen montiert werden.



Während der dreiwöchigen Aushärtungszeit des Klebers hielten die Stützen die Kuppel stabil.

einer Glaskuppel: 44 sphärisch gebogene Verbundglasscheiben aus je einem acht Millimeter dicken Floatglas, laminiert mit einem zwei Millimeter starken, chemisch vorgespannten Glas. Sie sollten an ihren mittels Wasserstrahljet geschnittenen Kanten entlang mit Klebstoff verbunden werden. „Diese Kombination ermöglicht zum einen ein möglichst geringes Eigengewicht, berücksichtigt andererseits aber auch den Sicherheitsfaktor“, so Lucio Blandini. Gehalten werden sollte die gesamte Konstruktion rundherum nur von einem Titanring, „weil dieses Material dieselben Dehnungswerte hat wie Glas.“ Mit Hilfe eines speziellen FEM (Finite Elemente Methode) Berechnungsprogramms prüfte und optimierte er seine Planung am Computer. Vorgabe dabei war, dass nur die acht Millimeter starke Scheibe das gesamte Gewicht von rund 1,5 Tonnen tragen, während die andere quasi nur als Sicherheitsschicht dienen sollte.

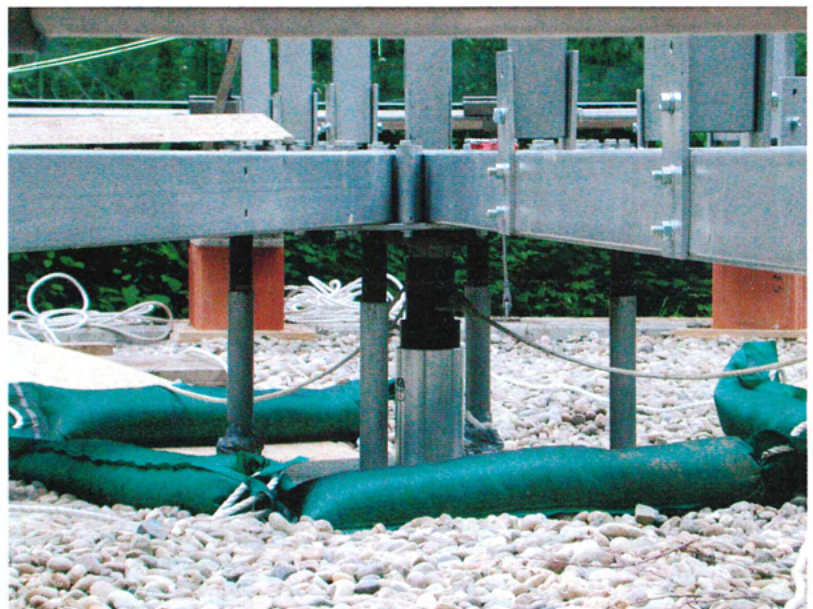
Drei Monate Bauzeit

Drei Monate dauerte insgesamt die Fertigstellung der Kuppel. Als Baugerüst dienten Stahlträger, die vom äußeren Ring in ein zentrales Hubsystem führten, und daran vertikal befestigte Stahlstützen. Darauf wurden die Glasscheiben aufgelegt. Sie wurden dem Forscher von einem

weiteren Sponsor des Projekts, der italienischen Isoclima S.p.A., zur Verfügung gestellt.

Um den zähelastischen Klebstoff bis zur Aushärtung zu positionieren, wurde die Klebfuge von unten zunächst mit dem 0,09 Millimeter dicken 3M Weichaluminium-Klebeband 433 verschlossen. Dann brachte Lucio Blandini mit Hilfe eines zusätzlichen Gerüsts nach Reinigung der Glasscheiben mit Isopropanol von oben den thixotropen Klebstoff ein. Als Verarbeitungsgerät für die 400-Milliliter-Gebinde diente ihm eine pneumatische Handpistole. Zusätzlich zum Membrandach über der Baustelle wurden die frischen Klebstoffugen zum Schutz vor Feuchtigkeit und Schmutz mit dem 3M Polyester-Klebeband 8402 abgedeckt. Seine Transparenz ermöglichte eine gute optische Kontrolle während der etwa dreiwöchigen Aushärtung. Heizgeräte hielten die Temperatur unter der nach unten abgeschotteten Glaskuppel stabil. Beide Klebebänder konnten danach dank ihres Silikonklebstoffs leicht wieder entfernt werden. Klebstoffreste auf dem Glas ließen sich mit Hilfe des 3M Industrie-Reinigers auf Limonenbasis unkompliziert entfernen.

Für die Verbindung zwischen der Glaskuppel und dem Titanring kam ein weiterer 3M Klebstoff auf Acrylatbasis zum Einsatz, der sich vor allem



Die Trägerkonstruktion mit pneumatisch abnehmbarem Zentrum ermöglichte den einfachen Abbau nach dem Aushärten des Klebers.