

Verkleben von Glas – Geht denn das?

Aktuelle Forschungsaktivitäten im Fachverband Konstruktiver Glasbau (FKG)
Bericht von Dipl.-Ing. (FH) Anneliese Hagl, Leiterin AK Verkleben

Tragende Verklebungen im Bauwesen werden aus verschiedenen Gründen zunehmend attraktiver [1]. Vorteile des Verklebens ergeben sich vor allem hinsichtlich neuer konstruktiver Spielräume und deren besonderer Wirtschaftlichkeit. Ein Vorreiter auf dem Gebiet dieser Verbindungstechnik im Bauwesen stellt das Verkleben von Glas und Stahl mit Hilfe von Silikonklebstoffen. „Structural Silicone Glazing“ - SSG dar.

SSG erlaubt, Gebäuden eine Vollglasfassade nahezu ohne sichtbare tragende Strukturen zu verleihen. Hier sind es vor allem die optischen Vorteile von Ganzglasfassaden, die dem tragenden Verkleben zum großen Durchbruch verholfen haben. Unter ästhetischen Gesichtspunkten ergeben sich nahezu unbegrenzte Gestaltungsmöglichkeiten für Architekten und Bauherren. Aber auch unter den Aspekten der Wirtschaftlichkeit zeichnet sich das Verkleben vor anderen Verbindungstechniken durch besondere Wirtschaftlichkeit aus.

Eine bessere Lasteinleitung als bei punktförmigen Verbindungstechniken, wie z. B. ins Glas eingebaute Punkthalter, führt zu geringeren Bauteildicken. Hieraus ergibt sich eine bessere Materialausnutzung sowie eine Reduktion von kleineren Bauteilen. Dies führt zu kostengünstigen und damit zu konkurrenzfähigen konstruktiven Lösungen.

Dieses große Potential und die dahinter stehenden Entwicklungsmöglichkeiten haben auf europäischer Ebene zu Normungsaktivitäten geführt, die in die europäische technische Regel ETAG 002 [2] mündeten. Das Regelwerk der ETAG 002 in ihrer momentanen Fassung deckt die tragende, linienförmige Verklebung einer Glaseinheit mit einer darunter liegenden Metallkonstruktion ab, wobei von einem Silikonwerkstoff als Klebstoff ausgegangen wird. Trotz ihres beachtlichen Umfangs weist die ETAG 002 zahlreiche Einschränkungen in der Anwendung auf. Die Bemessungsregeln für die Klebefuge gehen von einer groben Idealisierung der Klebung aus, wobei die Materialeigenschaften des Werkstoffs Silikon lediglich durch zulässige Spannungswerte charakterisiert ist. Aufgrund dieser Vereinfachungen ist die ETAG 002 ungeeignet für eine allgemeine Anwendung auf tragende Verklebungen. Komplexe Verklebungsgeometrien lassen sich so nicht erfassen, da die hierbei entstehenden mehrdimensionalen Spannungszustände hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit nicht beurteilt werden können. Deshalb schließt die ETAG 002 beispielsweise dreiseitige Verklebungen ausdrücklich aus. Um das volle Potential tragender Verklebungen über dieses stark einschränkende Regelwerk hinaus zu nutzen, wurde im „Fachverband Konstruktiver Glasbau“ (FKG) [3] im Jahr 2003 ein Arbeitskreis gegründet, der sich mit der Fortentwicklung tragender Verklebungen über die ETAG 002 hinaus beschäftigt.



Bild 1: Tragende Glasfassade der Herz-Jesu Kirche

Startschuss für diese Forschungsaktivitäten im FKG war der erfolgreiche Einsatz einer U-förmigen tragenden Verklebung [4], welche für die Herz-Jesu Kirche in München entwickelt wurde [Bild 1]. Aufgrund des Fehlens eines hierfür anwendbaren technischen Regelwerks waren umfangreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen notwendig. So wurden neben den H-Prüfkörpern nach ETAG 002 auch Versuche mit der geplanten Verklebungsgeometrie durchgeführt. Die Versuchsergebnisse wiesen dabei auf ein überragendes Verhalten der tragenden Verklebung auch im Versagensfall durch einen redundanten Lastübertragungsmechanismus hin. Dieser Umstand ist umso höher zu bewerten, da normalerweise einer sichtbaren Schrauben- oder Bolzenverbindung aus etablierten Erfahrung heraus eine hohe Festigkeit zubilligt wird, während einer eher unsichtbaren Verbindungstechnik wie dem Kleben mehr Skepsis entgegengebracht wird. Bei dieser subjektiven Beurteilung spielen sicher auch psychologische Gründe eine Rolle, mit denen sich das Fügeverfahren Kleben offensiv auseinanderzusetzen hat, wenn es eine weitergehende Verbreitung erfahren soll.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen stützen sich die Forschungsaktivitäten des Arbeitskreis Verklebens des FKG auf die folgenden Schritte, die sich durch eine gelungene Synthese zwischen Experiment und Theorie auszeichnen:

- Ermittlung von Materialkennwerten des Klebstoffs Silikon durch geeignete Werkstoffversuche
- Abbildung des Werkstoffverhaltens von Silikon durch fortschrittliche Materialmodelle und Berechnungsmethoden
- Erarbeitung allgemeinerer Versagenshypothesen, um den Anwendungsbereich über die ETAG 002 hinaus abzudecken
- Erstellen praxisgerechter Anwendungsregeln für tragende Verklebungen, basierend auf den verbesserten Versagenshypothesen

Mit dem Ziel verallgemeinerter Anwendungsregeln soll der tragenden Verklebung im Glasbau eine stärkere Verbreitung und hieraus einen weiteren Impuls in der technischen Entwicklung erfahren.

Folgerichtig setzt sich der Arbeitskreis Verkleben aus verschiedenen Interessenten zusammen. Auf der einen Seite unterstreichen verschiedene Glashersteller und –verarbeiter durch ihre Präsenz die Wichtigkeit dieser Forschungsaktivitäten und ihrer Ergebnisse. Auf der anderen Seite beteiligen sich verschiedene namhafte Ingenieurbüros, um den theoretischen Teil der Arbeiten zu koordinieren und durchzuführen. Die experimentellen Aktivitäten wie beispielsweise Werkstoffversuche wurden von drei verschiedenen Instituten mit großem Know-how auf diesem Gebiet durchgeführt. Unterstützung auf jeder Ebene erhält der Arbeitskreis durch die zwei marktführenden Silikonklebstoffhersteller, die dem Arbeitskreis mit Rat und Material zur Seite stehen.

Die Forschungsaktivitäten im Arbeitskreis Verkleben haben mit der Definition und Durchführung geeigneter Werkstoffversuche für den Silikonklebstoff begonnen, siehe Bild 2.



Bild 2: Zerstörte Materialprüfkörper Zug (hier FH München)

Zug-, Druck- und Schubversuche dienen dazu, das komplexe Verhalten von Silikon zu erfassen und für die Erstellung von mathematischen Materialmodellen nutzbar zu machen. Silikon, wie Gummi ein Elastomer, zeichnet sich durch hohe Elastizität und nahezu perfekter Inkompressibilität aus. Diese besonderen Werkstoffeigenschaften sind bei der Anwendung von Silikon als Klebstoff zu berücksichtigen. Die im Arbeitskreis Verkleben durchgeführten Versuchsreihen

zeichnen sich durch die hohe Anzahl an Versuchen unter Einbeziehung von drei Forschungsinstituten aus, wodurch eine umfangreiche Datenbasis erstellt werden konnte, die in dieser Form weltweit wohl einmalig ist. Mit den verschiedenen Testanordnungen und -methoden der beteiligten Institute konnte ein hoher Grad an Konsistenz der Versuchsergebnisse erreicht werden.

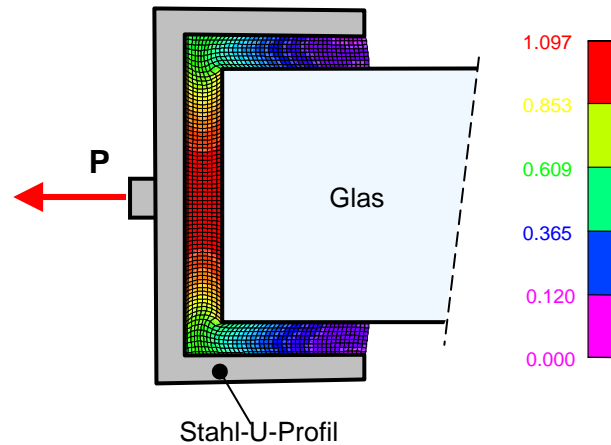


Bild 3: U-förmige Verklebung mit Zugspannungsverteilung [N/mm²] in Klebefuge

Aufbauend auf diesen Ergebnissen haben sich die Arbeitskreisteilnehmer mit der Abbildung des Materialverhaltens in theoretische Materialmodelle beschäftigt [Bild 3]. Aufgrund der Komplexität des Verhaltens ist die übliche Beschreibung eines Materials wie z. B. Stahl über Elastizitätsmodul und Querkontraktionszahl in diesem Fall nicht zutreffend. Die Berechnungen wurden mit hyperelastischen Materialgesetzen (Neohook und Mooney-Rivlin) mit der Methode der Finiten Elemente innerhalb der Arbeitsgruppe durchgeführt. Nach der erfolgreichen Werkstoffmodellierung standen verschiedene potentielle Verklebungsgeometrien im Interesse der Arbeitsgruppe, die mit den theoretischen Verfahren untersucht wurden, siehe Bild 3.

Vergleichende Betrachtungen punktförmiger, bandförmiger und U-förmiger Verklebungen haben gezeigt, dass für eine vorteilhafte Auslegung der Verklebungsgeometrie, der nahezu perfekten Inkompressibilität von Silikon – d.h. der Werkstoff ändert unter Belastung sein Volumen nicht – eine große Rolle zukommt. Die geplante praxisgerechte Aufbereitung der Ergebnisse aus der Arbeitsgruppe soll zu einem verhältnismäßig einfachen Regelwerk führen, welches umfangreiche theoretische und experimentelle Untersuchungen für Hochleistungsverklebungen mit komplexer Geometrie ersetzen kann.

Als weiterer Schritt ist die Übertragung der gewonnenen Ergebnisse auf Verbindungen denkbar, die Glas als Fügepartner durch Metall oder andere Werkstoffe ersetzen. Die ETAG 002 und der Arbeitskreis Verkleben beziehen sich auf die Fügepartnerpaarung Glas – Stahl oder Glas – Aluminium. Stellvertretend für erweiterte Anwendungsmöglichkeiten sei das Guggenheim-Museum in Bilbao genannt, bei dem die Titan-Fassade mit Silikon verklebt wurde.

Literatur

- [1] Kuhlmann U. (Hrsg.): Stahlbaukalender 2005, Verlag Ernst & Sohn
- [2] ETAG 002 Guideline for European Technical Approval for Structural Sealant Glazing System (SSGS) - Part 1 Supported and unsupported systems: www.eota.be/pdf/ssgs-fin-am3.pdf
- [3] Fachverband Konstruktiver Glasbau FKG: Homepage www.glas-fkg.org
- [4] Hagl, A.: Synthese aus Glas und Stahl: Die Herz-Jesu Kirche, München. Stahlbau 71 (2002), S.498-506