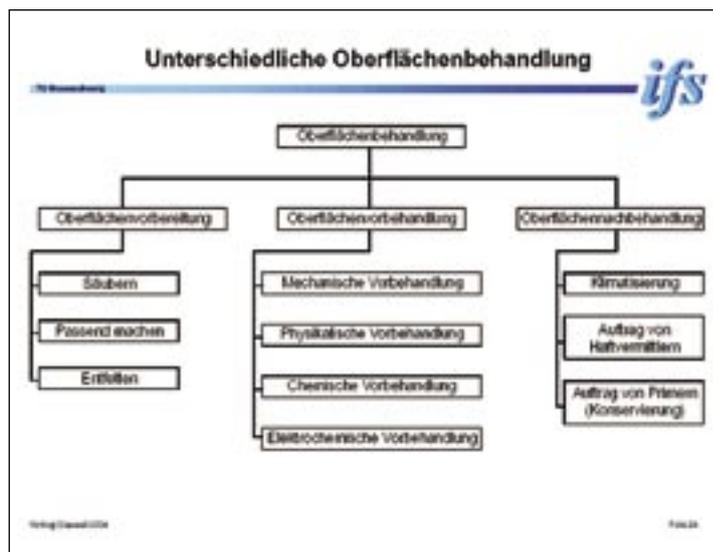


Konstruktiver Glas- und Fassadenbau:

Geklebte Glasfassaden

Prof. Dr.-Ing. Stefan Böhm

Der nachstehende Artikel basiert auf dem Vortrag „Die Rahmenbedingungen für den konstruktiven Glas- und Fassadenbau aus Sicht der Klebtechnik“, den Prof. Dr.-Ing. Stefan Böhm anlässlich des 2. **glaswelt**-Fachkongresses „Konstruktiver Glas- und Fassadenbau“ in Nürnberg hielt.



Geklebte Glasfassaden (Structural Sealant Glazing Systeme – SSGS) wurden fast ausschließlich in den USA entwickelt und 1963 zum ersten Mal eingebaut [Sch98]. Seit gut 10 Jahren wird diese Variante der Vorhangfassade auch in Deutschland verwendet. Fassaden aus geklebtem Glas zählen zu den leichten Vorhangwänden, d.h. es sind nichttragende Außenwände. Eigengewicht und Windlasten werden auf das tragende Skelett übertragen. Für Structural Sealant Glazing Systeme (SSGS) mit umlaufender Silikonverklebung, die nur geringe Spannungen aus Windlasten übertragen dürfen, existiert eine Leitlinie für die Europäische Technische Zulassung ETAG Nr. 002 (European Technical Approval Guidelines – ETAG). Die Leitlinie ETAG Nr. 002 Teil 1 gibt Anforderungen, Prüfverfahren und Beurteilungsmethoden für geklebte Glaskonstruktionen zur Verwendung in Fassaden und Dächern oder Teilen davon mit einer Verglasung in einem beliebigen Winkel zwischen der Vertikalen und 7° Neigung zur Horizontalen an und schreibt Silikon als Klebstoff vor [Eta98]. Structural Sealant Glazing-Elemente

tragen Verkehrslasten über die Klebung ab, wodurch eine bautechnische Zulassung erforderlich wird. Systeme, für die ein rechnerischer Nachweis der Standsicherheit geführt werden kann, sind die Ausnahme. SSG-Systeme, bei denen die Eigenlast nicht über die Rahmenkonstruktion aufgenommen wird, und die keine mechanischen Sicherungen besitzen, sind in Deutschland nicht zugelassen, können aber für den Einsatz in anderen europäischen Ländern über die EOTA (European Organisation for Technical Approvals) eine europäische Zulassung erhalten. Die Richtlinie „Draft guideline for European Technical Approvals for Structural Sealant Glazing Systems“ bildet hierfür die Grundlage [Sch00]. Bisher wird nur ein Typ von Structural Sealant Glazing, nämlich SSG mit mechanischer Unterstützung und mit mechanischer Windsog-Sicherung durch Klammern oder Profilübergriffen in Deutschland zugelassen [Eic97]. Die Windsog-Sicherung garantiert eine geringere Resttragfähigkeit für den Fall, dass die Verklebung versagt und erfordert eine sehr sorgfältige Randausbildung der äußeren Scheibe. Im einfachsten Fall bleibt von außen ein schmaler Glashalterahmen sichtbar, andernfalls nimmt eine in die Scheibe gefräste Stufe die mechanische Halterung auf, oder ein Y-Profil hält die auf Gehung geschnittenen äußeren Scheiben. Geklebte Konstruktionen mit mechanischer Unterstützung, jedoch ohne Sogsicherung, sind zur Zeit bis 8 m Höhe zugelassen [Sch98, Eic97].

Glasfassaden zum Einsatz kommen. Bei den bisweilen eingesetzten Punkthalterkonstruktionen werden die in der Scheibenebene wirkenden Lasten in der Regel über Lochleibung an die Unterkonstruktion weitergegeben, senkrecht dazu wirkende Kräfte werden über aufgeschraubte Teller oder Konusse aufgenommen. Begrenzt wird die konstruktive Glaseinwendung durch die Anschlussstellen, die die Scheiben an die Unterkonstruktion oder an weitere Scheiben anbinden. Bedingt durch die besonderen mechanischen Eigenschaften des Flachglases – im Hochbau werden heute vorzugsweise Kalk-Natron-Flachgläser eingesetzt –, zu nennen sind hier die Sprödigkeit und die große Kerbempfindlichkeit sowie die starke Kriechneigung unter punktueller Belastung, führen Punkthalter und Schraubanschlüsse mit Lochbohrung zu hohen Spannungskonzentrationen. Rein geklebte punktförmige Verbindungen von Trägerkonstruktion und Glas ohne zusätzliche mechanische Halter, die ständig wirkende Kräfte übertragen, werden derzeit nicht eingesetzt. Ursachen für die Zurückhaltung beim Einsatz der als Fügeverfahren im Glasfassadenbau neuen Klebtechnik sind hauptsächlich die nicht ausreichende Kenntnisse zur Langzeitstabilität der Verbindungsstellen [Gra02]. Aufgrund der im Baubereich üblichen Lebensdauernerwartungen von mindestens 30 Jahren und den im Betrieb auftretenden Dauerbelastungen kann es zu schwerwiegenden Langzeitschäden der Klebverbindungen bis zur völligen Delamination kommen [Qu00]. Zu den reversiblen Schäden ist dabei die Wasseraufnahme durch das Polymer zu zählen. Irreversible Schäden können das Auswaschen von Weichmachern aus dem Polymer, die Degradation des Polymers selbst, die

Auf einen Blick:

- Glasfassaden mit umlaufender Silikonverklebung und punktförmigen mechanischen Haltersystemen sind in Deutschland zugelassen
- Systeme ohne mechanische Sicherung über Höhen von 8 m sind in Deutschland prinzipiell nicht zulässig
- Es ist möglich, alterungsstabil Glas zu verkleben

Punktförmig mechanisch

Neben den genannten SSG-Systemen sind es vor allem punktgehaltene, mechanisch fixierte Glaselemente, die in modernen

Zerstörung chemischer Bindungen zwischen Klebstoff und Substrat sowie die Korrosion der Glasoberfläche sein [Bro00].

Punktförmig geklebt

Für geklebte Punkthalter ohne mechanische Halterung müssen jedoch im Gegensatz zu der in ETAG Nr. 002 geforderten Verklebung mit Silikon höherfeste Klebstoffe, wie z. B. Polyurethane, Acrylate und Epoxydharze, eingesetzt werden und zusätzliche Lasten aus Eigengewicht oder Schnee beachtet werden. Für konventionell verklebte Glasfassadenelemente, die ausschließlich mit Silikonklebstoffen verklebt werden dürfen, existieren Prüfverfahren, die eine bauaufsichtliche Zulassung ermöglichen (ETAG Nr. 002). Diese Tests sind allerdings nicht auf die beschriebene Befestigung der Fassadenelemente mit punktuellen Elementen übertragbar, da in diesem Fall andere Beanspruchungen und ein anderes Flächen-/Lastverhältnis vorliegen. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass höherfeste Klebstoffe andere maßgebende Schädigungskriterien als Silikone besitzen (z. B. UV-Alterung) und die mechanische Beanspruchbarkeit innerhalb der Tempera-

turbereiche im Fassadenbau stark variiert. Als Belastung der Verklebungsstellen gelten heute hauptsächlich erhöhte Temperatur und Feuchtigkeit bei nicht ausreichend hinterlüfteten Bauteilen, aggressive, teilweise tensidhaltige Reinigungsflüssigkeiten und die bei transparenten Substraten in die Klebfläche gelangende UV-Strahlung. Ebenfalls offen sind bis heute Fragen zu geeigneten Prüfverfahren zur Simulation dieser Belastungen. Obwohl es eine Vielzahl von Normen über Prüfverfahren gibt, stehen noch keine verbindlichen Vereinbarungen über die Ermittlung der Langzeitbeständigkeit von Klebungen im Fassadenbereich zur Verfügung [Qu00]. Ein weiterer wichtiger Punkt ist das bis heute oft nicht befriedigend beherrschte Brandverhalten geklebter Verbindungen. Die heute eingesetzten organischen Kleb- und Dichtstoffe versagen schon bei Temperaturen, die bereits bei kleinen, lokal begrenzten Bränden auftreten, sehr schnell. Die Furcht vor großen Bränden hat im europäischen Raum schon immer die staatlichen Regelungen für das Bauwesen besonders einschränkend geprägt. Dies ist bis in die heutige Zeit deutlich zu spüren. Die europäische Kommission hat bei ihren

neuen Regelungen den Gesichtspunkten des Brandschutzes höchste Priorität eingeräumt [Ein00]. Auch dieser Punkt hemmt den Einsatz der Klebtechnik im Fassadenbau in Westeuropa deutlich.

Klebtechnischer Fügepartner

In der Realität besteht eine Glasoberfläche, wie bei vielen anderen Werkstoffen auch, nicht aus dem Grundwerkstoff selbst, sondern einer für den Werkstoff typischen Oberflächenschicht (hier: Gelschicht), die je nach der atmosphärischen Zusammensetzung der Umgebung von organischen Kontaminationen, einem Wasserfilm und einer ausgelaugten Korrosionsschicht gebildet wird. Sobald die Glasoberfläche eines Kalk-Natron-Glases Umgebungsluftatmosphäre mit der in ihr enthaltenen Luftfeuchtigkeit ausgesetzt wird, hydrolisiert sie an ihrer Oberfläche. Diese chemisorbierte Wasserschicht aus SiOH-Gruppen adsorbiert wiederum molekulares Wasser, welches seinerseits mit den zugänglichen Alkali-Ionen unter Laugenbildung reagieren kann [Bro93]. So entsteht eine Sperre zwischen dem festen Glasgefüge und einem organischen Kleb-

stoff. Diese Schicht ist sehr schwer dauerhaft zu entfernen, da sie sich durch Luftfeuchtigkeit sehr schnell wieder aufbaut. Deswegen ist beim Kleben von Glas nicht die Adhäsion des Klebstoffs an der idealen Glasoberfläche, sondern an der mit Hydroxylgruppen und molekularen Wasser besetzten realen Glasoberfläche zu betrachten. Die Oberflächenenergie von Glas ist mit 500 mN/m deutlich höher als die der Klebstoffe. Dadurch ist eine optimale Benetzung durch den Klebstoff rein theoretisch möglich. Bei der realen Glasoberfläche wird dies insoweit eingeschränkt, als diese Oberflächenenergie durch das adsorbierte Wasser je nach Dicke der Adsorptionsschicht herabgesetzt wird. Zusätzlich können Alkalien die Haftenergie vermindern, wenn sie sich an der Oberfläche befinden oder dorthin gelangen. Da das Alterungsverhalten einer Klebverbindung wesentlich durch die sich zwischen dem Klebstoff und dem Substrat ausbildende Grenzschicht bestimmt wird, sind die Ergebnisse von Verklebungen von Silicon nicht unbedingt auf das Verkleben von Glas mit anderen Klebstoffen übertragbar. Da bei der punktuellen Befestigung höhere zu ertragende Spannungen auftreten können, kann der Einsatz anderer höherfester Klebstoffe notwendig werden. Deshalb muss das Verhalten dieser Verklebungen bezüglich der Alterung untersucht werden. Neben der grundsätzlich an der Glasoberfläche anhaftenden Feuchtigkeit, die für viele Klebstoffe schon eine kaum überwindbare Hürde beim Aufbau von Haftungskraften darstellt, ist es die später in die Klebschicht eindiffundierende Feuchte, die durch einsetzende Glaskorrosion einen zerstörerischen alkalischen Angriff auf das Kunststoffpolymer auslöst [Koc96]. Der gewählte Klebstoff muss also die vorhandene Oberflächenfeuchte des Glases bei seiner Aushärtung zu nutzen wissen. Zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit muss die Glasoberfläche derart stabilisiert werden, dass Korrosion gar nicht erst einsetzen kann. Diese Stabilisierung erfolgt nach dem heutigem Stand der Technik idealerweise mit Hilfe multifunktionaler Silane, die entweder vor dem Klebstoff als Haftvermittler auf das Fügepart aufgebracht werden, oder die bereits herstellerseitig in den Klebstoff „eingebaut“ wurden [Bau92, Hab97, Bro98]. Diese Silanmoleküle verstehen es, unter Zuhilfenahme der an der Glasoberfläche anhaftenden Feuchte, stabile chemische Bindungen zum Glas aufzubauen, während sie sozusagen auf ihrer „Rückseite“ eine Anbindungsmöglichkeit für den verwendeten Klebstoff bereithalten. Lediglich Silicone können aufgrund ihrer den Silanen ähnlichen chemischen Struktur oft ohne den Einsatz weite-

rer Haftvermittler stabile Bindungen zur klebtechnisch „schwierigen“ Glasoberfläche aufbauen. Weitere allgemeine Randbedingungen für den Einsatz von Kunststoffen als Konstruktionswerkstoffe sind deren Temperatur- und UV-Beständigkeit sowie deren Widerstand gegen Chemikalien z.B. aus Reinigungsmitteln. Heute sind für unterschiedliche Glasklebung Klebstoffe verfügbar (z.B. UV-vernetzende Cyanacrylate für Glasklebung im Innenbereich) und Oberflächenbehandlungen (z.B. Verwendung von Silanhaftvermittlern, wässrige Reinigung) bekannt, die eine dauerhafte Funktion geklebter Bauteile bei den unterschiedlichen Beanspruchungen gewährleisten. Für das punktuelle Anbinden von Glaselementen mit den spezifischen bei der Fassadenverklebung vorliegenden Beanspruchungen und den langen Betriebszyklen liegen jedoch keine Erfahrungswerte vor, so dass eventuell modifizierte Klebstoffe zum Einsatz kommen müssen.

Forschungsbedarf

In Deutschland sind derzeit Glasfassaden mit umlaufender Silikonverklebung (Structural Sealant Glazing Systeme) und punktförmige mechanische Haltersysteme zugelassen, wobei ein System ohne mechanische Sicherung über Höhen von 8 m prinzipiell nicht zulässig ist. Für Glasfassaden mit geklebten Punkthaltern ist bisher keine Zulassung erteilt worden, obwohl im europäischen und transatlantischen Ausland entsprechende Systeme seit vielen Jahren eingesetzt werden. Durch den Einsatz geklebter Punkthalter zur Befestigung von Glasfassaden können diese in ihrem Design wesentlich freier gestaltet werden und durch die homogenere Lasteinleitung im Vergleich zu den mechanisch über Lochlaibung lastabtragenden Systemen dünnere Gläser eingesetzt werden. Aus diesem Grund sind derzeit verschiedene Forschungsstellen unterschiedlicher Standorte bei der Beantwortung und Initiierung von Forschungsprojekten, die sich mit geklebten Punkthaltern beschäftigen. ■

Literatur

[Bau92] Baumann, M.: Untersuchungen zur Langzeitbeständigkeit von Glas-Mikroklebungen in der Optoelektronik. Dissertation, Technische Universität München, 1992

Glasklebstoffsysteme		
Klebstoffsystem	Haftvermittler	Eigenschaften
Acrylate	kein Haftvermittler nötig	• hohe Festigkeit • hohe Elastizität • gute Beständigkeit
Epoxidharze	Haftvermittler empfehlenswert	• hohe Festigkeit • geringe Elastizität • gute Beständigkeit
MS-Polymere	kein Haftvermittler nötig	• geringe Festigkeit • hohe Elastizität • gute Beständigkeit
Polyurethane	Haftvermittler empfehlenswert	• geringe Festigkeit • sehr hohe Elastizität • geringe Beständigkeit
Silicone	kein Haftvermittler nötig	• geringe Festigkeit • sehr hohe Elastizität • gute Beständigkeit

[Bro93] Brockmann, W.; Roeder, E.; Lotz, S.: Aspects of adhesion between float glass and polymers. *Joining Ceramics, Glass and Metal, Proc. of the 4th Internat. Conf. ** (1993) Seite 287–294, Frankfurt am Main: Verlag d. Dt. Glastechn. Ges.

[Bro98] Brockmann, W.: Untersuchung der Langzeitbeständigkeit geklebter Verbindungen aus Floatglas. Kaiserslautern 1998. [19] Schenk, E.: Einfluss der Oberflächenbehandlung bei Glasklebung. Studienarbeit. Lehr- und Forschungsgebiet Klebtechnik, RWTH-Aachen, 2000

[Bro00] Brockmann, W.; Graf, M.: Kleben von Glas mit epoxidverstärkten MS-Polymeren. *Adhäsion – Kleben und Dichten*. Band 44. 2000. Heft 10. Seite 12–18

[Eic97] Eicker, U.: Scheibenkleister Structural Glazing – Geklebte Glaskonstruktion. *db 4* (1997)

[Ein00] Einsfeld, U.: Geklebte Verbindungen im Bauwesen – Widerstände und Möglichkeiten. *Adhäsion – Kleben & Dichten*. 2000. Nr. 1–2. S. 19–24

[Eta98] ETAG Nr. 002 Leitlinie für die Europäische Zulassung für Geklebte Glaskonstruktionen. EOTA European Organisation for Technical Approvals 1998

[Gra02] Graf, M.; Brockmann, W.: Vergleich der Alterungsbeständigkeit von Glasklebung mit verschiedenen Klebstofftypen. *Swiss Bonding 02. Kleben 2002 – Grundlagen, Technologie, Anwendung*. Rapperswill, Schweiz. 27.–29.5.2003. Seite 359–367

[Hab97] Habenicht, G.: *Kleben – Grundlagen, Technologie, Anwendungen*. Springer-Verlag (1997)

[Koc96] Koch, S.: *Elastisches Kleben im Fahrzeugbau*. Dissertation an der technischen Universität München 1996

[Qu00] Qu, Jun: Untersuchung der Langzeitbeständigkeit adhäsiver Verbindungen aus Floatglas und Kunststoffen. Deutsche Dissertation. Universität Kaiserslautern. 2000

[Sch00] Schmid, J.; Niedermaier, P.: Kleben von Glas auf Holz. *Mikado Heft 5*, 2000. S. 67–73

[Sch98] Schittich, C.; Staib, G.; Balkow, D.; Schuler, M.; Sobek, W.: *Glasbau Atlas*. Basel; Birkhäuser; München; Inst. F. Internationale Architektur-Dokumentation, 1998

Der Autor:

Prof. Dr.-Ing. Stefan Böhm arbeitet beim Institut für Füge- und Schweißtechnik, Fachgebiet Mikrofügen, in Braunschweig.