

## Bauen mit Holz-Glas-Verbundelementen

Überraschung bei der Preisverleihung des Niederösterreichischen Holzbaupreises 2009: ein Außenseiter gewinnt in der Kategorie "Einfamilienhaus". Das Haus der Familie Hasenauer in Eichgraben, in der Nähe von Wien, ist von der statischen Konzeption her eine Weltpremiere: das Holzhaus bezieht einen Teil der Gebäudeaussteifung über Holz-Glas-Verbundelemente (HGV), die von der Holzforschung Austria (HFA) entwickelt wurden. Dabei waren die Juroren nicht nur von dem hochqualitativen Massivholzbau aus CLT-Elementen und der Innovationskraft der HGV-Elemente beeindruckt, sondern auch von der Wohnqualität, die bei diesem Haus offensichtlich ist. "Ein überzeugendes Holzwohnhaus mit einem modernen Wohnkonzept", erklärte die Jury unter Vorsitz von Univ. Prof. Hubert Rieß. Der Preis wurde am 5. November 2009 in Wien von Landesvize Wolfgang Sobotka überreicht.



Oben: Preisverleihung in Wien  
(3.v.l.: Bauherr Hasenauer mit Frau)



Rechts: Das prämierte Gebäude

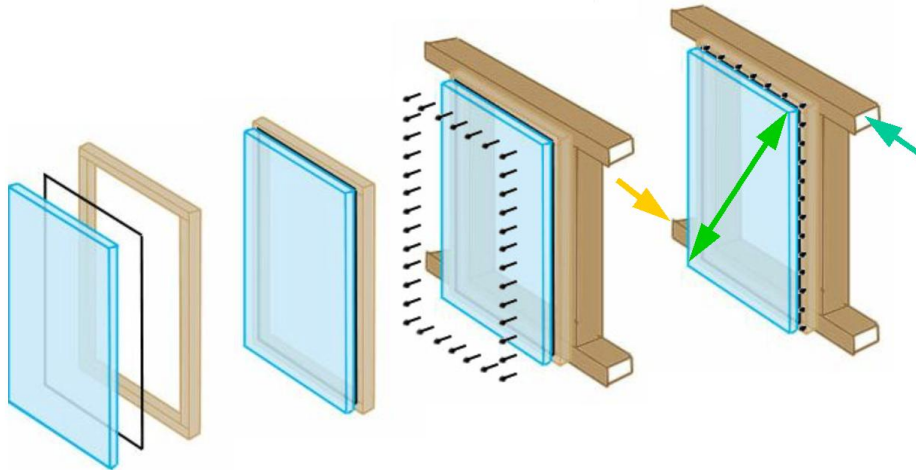
Das Massivholzhaus "Schattenbox" von Johanna und Christian Hasenauer in Eichgraben (Nähe Wien) erhielt den Niederösterreichischen Holzbaupreis in der Kategorie "Einfamilienhaus". Dabei spielen die von der Holzforschung Austria entwickelten Holz-Glas-Verbundelemente (HGV) einen Beitrag zur Gebäudeaussteifung. Weiter waren die Juroren von dem lichtdurchfluteten Wohnbereich beeindruckt.

Bei diesem Gebäude wurden erstmals Holz-Glas-Verbundelemente in zweigeschossiger Bauweise eingesetzt - zwei eingeschossige Testobjekte gibt es bereits: eines steht seit einigen Jahren auf dem Forschungs-Gelände der Holzforschung Austria in Wien, das zweite bei einem Fensterhersteller. Beide zeigen, dass der Gedanke der HFA, Glas als Gebäudeaussteifung einzusetzen, realistisch und praxisbezogen ist. Und Bauherr Christian Hasenauer ging ganz und gar nicht unbedarft an die Realisation seines Hauses: als Inhaber der Firma Superreal-Superlab arbeitet er an Designlösungen im Baubereich und war in diesem Zusammenhang an den Einsatzmöglichkeiten der Holz-Glas-Verbundelemente sehr interessiert.

### Die Arbeiten an der Holzforschung Austria

Bis es zum Bau der Schattenbox kam, waren einige anspruchsvolle Vorarbeiten nötig. Über den Stand der Forschung in Sachen HGV berichteten am 27. und 28. Oktober 2009 in Weinfelden im Rahmen des 41. Fortbildungskurses der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung (SAH) gleich vier Referenten: Prof. Wolfgang Winter, Institut für Architekturwissenschaften an der TU-Wien und sein Mitarbeiter Werner Hochhauser; Prof. Dr. Klaus Kreher, Hochschule Luzern - Technik & Architektur, sowie Klaus Peter Schober, Leiter der Abteilung Bautechnik bei der HFA und dort verantwortlich für die Forschung an den Holz-Glas-Verbundelementen. Die HFA ging mit den eben genannten

Hochschulen und der TU-München (Prof. Dr. Kreuzinger) sowie FH-Rosenheim (Prof. Dr. Niedermaier) eine Forschungs-Kooperation ein, um für diese Technologie einen Bemessungsansatz zu entwickeln.



Oben: Wirkungsweise der Holz-Glas-Verbundelemente

Schober zeigte in Weinfeldern die neuen Möglichkeiten auf, die geklebte Glasfassaden bieten. Aus seinem Vortrag "Tragende Holz-Glas-Verbundelemente" einige gekürzte Passagen:

"Geklebte Glasfassadenkonstruktionen werden bereits seit langer Zeit eingesetzt und entsprechen dem Stand der Technik. Bei diesen Lösungen übernimmt das Glas jedoch keine statisch tragende Funktion, sondern dient lediglich als äußere Hülle. Sollen verglaste Fassaden noch eine Gebäudeaussteifung übernehmen, sind bis dato aufwändige und teure Konstruktionen aus biegesteifen Rahmen erforderlich, oder sichtbare Lösungen mit optischer Beeinträchtigung, wie z.B. das Anbringen von Winddiagonalen. Zielsetzung des jüngsten Projektes der Holzforschung Austria in Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern aus der Wirtschaft und Wissenschaft war es zu untersuchen, wie unter Verzicht auf diese Hilfs-Konstruktionen Glas eine tragende Funktion im Gebäude zugewiesen und die Scheibentragwirkung der Glasfassaden zur Gebäudeaussteifung genutzt werden kann.

### HGV: Der Trick mit der Koppelleiste

Glas weist eine hohe Druckfestigkeit bei gleichzeitiger Sprödigkeit und geringer Zugfestigkeit auf. Im Vergleich zu Fichtenholz beträgt die Zugfestigkeit von Floatglas ca.  $45 \text{ N/mm}^2$  (Holz  $14 \text{ N/mm}^2$ ) und die Druckfestigkeit  $700 - 900 \text{ N/mm}^2$  (Holz  $21 \text{ N/mm}^2$ ). Die Glasscheiben müssen also auf eine Art und Weise mit dem Gebäude verbunden werden, die Spannungsspitzen vermeidet und eine gleichmäßige Krafteinleitung von der Gebäudetragestruktur in die Glasscheibe und umgekehrt gewährleistet. Vorausgegangene Forschungsprojekte, die sich bereits mit der Aktivierung der Scheibentragfähigkeit von Glas beschäftigt haben, zeigen, dass ein solch schonender Lasteintrag in die Glasscheibe mittels umlaufender Verklebung der Glasscheibe erreicht werden kann. So wurde in einem Vorgängerprojekt von der Holzforschung Austria ein inzwischen patentiertes Tragsystem (HFA Patent-Nr. 502470) entwickelt, bei dem eine umlaufende Koppelleiste auf alle vier Glasränder geklebt wird. Die Verklebung kann hoch qualitativ im Werk geschehen. Die Koppelleiste wird dann vor Ort in die Tragstruktur verschraubt. Das Scheibensystem ist damit austauschbar. Die Koppelleiste kann mit einer Verzahnung ausgeführt werden, um eine schmalere Ansichtsbreite zwischen zwei Glasscheiben zu ermöglichen."

Schober wies in Weinfeldern darauf hin, dass insbesondere der elastische Klebeverbund bei Holz-Glas-Verbundelementen den Vorteil der schonenden, gleichmäßigen und linienförmigen Spannungseinleitung in die Glasscheibe und damit die Aktivierung der Eigenschaften des Glases biete. Als Klebstoffe kämen heute in erster Linie Silikone, Silane, Polyurethane oder

Acrylate zum Einsatz. "An 260 Kriechversuchen an der Holzforschung Austria konnte die Leistungsfähigkeit dieser neuen modernen Klebstoffsysteme nachgewiesen werden. Entsprechende Langzeiterfahrungen liegen insbesondere für Silikone aus dem Structural-Glazing-Fassaden vor, aber auch von anderen Klebstoffsystemen, da sie für den statisch tragenden Klebeverbund seit fast einem Jahrzehnt erfolgreich eingesetzt werden", erläuterte Schober. Und weiter zum statischen Potential: "Im Forschungsprojekt der Holzforschung Austria wurden unterschiedliche Konstruktionsvarianten entwickelt und deren statische Leistungsfähigkeit in Versuchen nachgewiesen. Dabei zeigte sich, dass selbst mit sehr elastischen Klebstoffverbindungen, wie z.B. Silikone, ausreichend hohe Lasten übertragen werden können, und mit semielastischen Klebstoffen (z.B. Acrylat) hohe Lasten auch über dem Niveau von z.B. Holzrahmenwänden übertragen werden können. Aufgrund dieser Versuche lässt sich ein hohes statisches Potential dieser Klebeverbindungen ableiten, welche durch entsprechende Berechnungs- und Bemessungsmodelle zu erweitern sind." Zur Konstruktion der HGV-Elemente und deren Umsetzung führte er aus: "Aufbauend auf den Ergebnissen dieses Vorgängerprojektes sollte im jüngsten Forschungsprojekt ein praktisch anwendbares, statisch berechenbares, wirtschaftlich herstell- und montierbares, baurechtlich vertretbares Wandscheiben-Element aus Holz und Glas im statisch wirksamen Verbund durch Verklebung entwickelt werden. Die so gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse sollen es ermöglichen, der Wirtschaft ein Werkzeug für eine Serienproduktion von tragenden Holz-Glas-Fassaden zur Verfügung zu stellen sowie einzelne Prototypengebäude im Rahmen des Projektes zu errichten. Die Arbeit setzte ihr Hauptaugenmerk auf die Klebstoff-Fuge und deren Bruchverhalten sowie Wandscheiben mit normalen Breiten: Höhenverhältnis (1:2 bis 2:1). Dazu wurden drei verschiedene Klebstoffe auf ihre Eignung zum Einsatz in Holz-Glas-Verbundelementen (HGV) untersucht: Zwei neutrale, condensationsvernetzende Silikonklebstoffe (Silikon A und Silikon B) sowie ein durch Polymerisation aushärtender Acrylatklebstoff (Acrylat). Im Ergebnis stellte sich heraus, dass die beiden Silikonklebstoffe sich sehr ähnlich verhalten. Sie zeigen im Vergleich zum Acrylatklebstoff weniger Steifigkeit und geringere Bruchspannungen. Hinsichtlich Feuchtigkeits- und Temperatureinfluss weisen sie ein wesentlich gleichbleibenderes, kontinuierlicheres Tragverhalten auf als der Acrylatklebstoff, und auch das Kriechverhalten ist deutlich geringer. Hinsichtlich der dauerhaften Eignung unter Bedingungen, wie sie in Fassadenkonstruktionen auftreten können, sind Silikonklebstoffe zu bevorzugen; nicht zuletzt, weil das Langzeitverhalten von Silikonklebstoffen durch den jahrzehntelangen Einsatz in Structural-Glazing-Fassaden weitgehend bekannt ist.



Links: Klaus Peter Schober vor zwei HGV-Elementen in der Holzforschung Austria.

Unter Anwendung zweier Berechnungsmodelle, welche gemeinsam mit den Kollegen der Technischen Universität Wien, der Technischen Universität München, der Hochschule Rosenheim und der Hochschule Luzern erfolgten, zeigte sich, dass die im System auftretenden Bruchlasten und Verformungen mit ausreichender Genauigkeit reproduziert werden können. Unter Berücksichtigung der geeigneten Teilsicherheitsbeiwerte für den Klebstoff, welche im Projekt als Vorschlag definiert wurden, kann die statische Leistungsfähigkeit von HGV-Elementen mit Gebäude aussteifender Wirkung quantifiziert werden. Vergleichsrechnungen zeigen, dass mit silikonverklebten HGV-Elementen die Aussteifung von bis zu zweigeschoßigen Gebäuden möglich wird. Bei ungünstigen Grundrissgeometrien

werden Sekundärtragsysteme wie tragende Innenwände mit Beplankungen aus Holzwerkstoffplatten notwendig, welche aber in den meisten Fällen im Holzhausbau ohnehin vorhanden sind und durch ein ähnliches Steifigkeitsverhalten eine gute Ergänzung bieten. Unter Berücksichtigung aller durchgeführten Klebstoff- und HGV-Untersuchungen sowie vorliegender Erfahrungswerte empfehlen wir zur Zeit für tragende HGV-Fassadenelemente, hinsichtlich der dauerhaften Eignung unter Bedingungen wie sie in Fassadenkonstruktionen auftreten können, Silikonklebstoffe. Für das Glas selbst kann je nach baurechtlichen Vorgaben, normales Floatglas, TVG oder VSG eingesetzt werden.“

Hochschulen entwickeln ein Bemessungskonzept

“Bei Bauelementen unterscheidet man zwischen den nicht tragenden und den tragenden Bauteilen, zwischen den sicherheitsrelevanten Bauteilen und den nicht sicherheitsrelevanten. Das Fenster, das normalerweise den größten Einsatzbereich von Glas im Bauen darstellt, ist a priori ein nicht tragendes Element, wenn man es öffnen und auswechseln kann“, erläutert Prof. Wolfgang Winter. Heute gäbe es aber immer mehr Fälle, bei denen dem Glas mehr Belastungen zugemutet würden, beispielsweise bei Fixverglasungen für Wintergärten oder bei großflächigen Verglasungen bei kleineren Gebäuden.

Ein neuerer Ansatz sei es, heutige hochwertige Verbundgläser auch für die Übertragung von Kräften einzusetzen. Dazu müssten sicherheitsrelevante Kenntnisse über die statische Leistungsfähigkeit von Glas errungen werden. “Wie kann ich z.B. bei einem Ganzglasgebäude die Lastfälle durch tragende Glasscheiben beantworten?”, fragt Winter. Dazu sei ein normiertes Bemessungskonzept notwendig, das von Prüfsingenieuren anerkannt werde.

“Die Holzforschung Austria, die sich unter anderem auch mit Fenstertechnik und vorgefertigten Holzhäusern beschäftigt, hat die tragenden Holz-Glas-Verbundelemente auch fertigungstechnisch betrachtet und in diesem Zusammenhang festgestellt, dass die Verklebung von Scheiben mit den Rahmen eine Optimierung der Fertigung darstellen, im Gegensatz zum arbeitsaufwändigen Verklotzen. Beim Einsatz von Klebtechnologien sind industrialisierbare Fertigungsprozesse möglich. Dafür wurden bei der HFA die Qualität der Klebefuge und die produktionstechnischen Bedingungen erforscht. Bei fortschreitender Qualität der Scheibenverklebung ist es ein weiterer Schritt gewesen, das Tragverhalten geklebter Gläser zu untersuchen und ein Bemessungsmodell zu erarbeiten.

Dazu lud die HFA die oben erwähnten Hochschulen zu einer Kooperation ein. Ziel ist eine normierbare statische Berechnungsmethode zu entwickeln, die auf die Baubranche zugeschnitten ist“, sagte Winter.

Für die Hochschule Luzern sagte Prof. Klaus Kreher: “Das Bemessungskonzept hilft uns zu erkennen, unter welchen Voraussetzungen ein Schadensfall eintreten kann und beschreibt das Sicherheitskonzept mit den unterschiedlichen Einflussfaktoren. Die von uns präsentierten Formeln zeigen die exakte mathematische Lösung, wie die Last vom Holz über den Klebstoff in das Glas übertragen wird.“

Werner Hochhauser, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU-Wien, hat diese sehr exakten Angaben in eine einfacher zu berechnende Form gebracht. “Wir brechen das komplexe Tragverhalten von Holz-Glas-Verbundkonstruktionen so weit herunter, dass jeder Ingenieur und Baumeister es anwenden kann. Ziel ist es dem Baustoff Glas eine größere Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten zu bieten, um damit das Vertrauen in den Baustoff zu stärken. Dazu bedarf es simpler Berechnungs- und Bemessungsmethoden, die weg von Differentialgleichungen und hin zu Grundrechnungsarten führen, deren Unschärfe dann durch entsprechende Sicherheitsfaktoren ausgeglichen wird.“

Schober ist fasziniert, dass die Forschungen der HFA von den Hochschulen in ein handhabbares Zahlenmodell überführt wurden. “Die integralen Zahlenmodelle kommen zu den gleichen Ergebnissen, wie wir im Praxistest. Man kann dieses komplizierte Zahlenmodell so vereinfachen, dass es der Baumeister tatsächlich rechnen kann.

Das ist der große Erfolg“, sagt er.

Die Holz-Glas-Verbundelemente der ersten Generation sind gerade auf ihrem Weg in die Baupraxis: das zweistöckige Gebäude in Eichgraben, das seit einem Jahr bewohnt ist, ist das erste Beispiel für den erfolgreichen zweigeschossigen Einsatz. Und auf diese Höhe ist man bisher beschränkt, zusätzlich sind noch Innenwände zur Gewährleistung der

Resttragfähigkeit gefordert. Auch habe man bisher nur auf großenbeschränkte Glaselemente und auf Silikon-Klebstoffe zurück gegriffen, da dort hohe Sicherheiten durch Erfahrungen vorherrschen. Doch durch die Forschungen der beteiligten Hochschulen seien bereits die nächsten Generationen der HGV im Entstehen - mit robusteren Klebstoffen und der Kantenverklebung, die die Steifigkeit um den Faktor 5 erhöhen könnten.

Dazu Winter: "Wir sind uns sicher, dass die nicht öffnen baren Glaselemente in der Fassade durchaus in der Praxis so funktionieren würden, dass sie einen Teil der Aussteifung des Gesamtgebäudes übernehmen. Und dass das Risiko, dass eine Scheibe bricht, auf das Gesamtverhalten des Gebäudes überhaupt keinen ausschlaggebenden Einfluss hat." Er verweist auf die Baugeschichte und erinnerte daran, dass schon Paxton seine Glashäuser teilweise mit tragenden Glasscheiben ausgestattet hätte. "Sie waren eingekittet und der Kitt hatte die Eigenschaften, Kräfte zu übertragen. Damals herrschte 'try and error', heute sind wir in der Phase der Modellbildung, d.h., in der wir mit mathematischen Modellen die Realität abbilden und dem Prüfenieur über das mathematische Modell nachweisen, dass das, was wir vorschlagen, auch hält."

Die Beteiligten sind sich einig, dass für die HGV-Elemente in Deutschland eine bauaufsichtliche Zulassung angestrebt wird. In Österreich und der Schweiz könnten Bauobjekte mit diesen Elementen bereits heute realisiert werden.

Resümee von Peter Schober: "Was wir jetzt brauchen, sind Unternehmen, die diese Technologie in der Praxis umsetzen."

Was u.a. in Wien und Eichgraben bereits geschehen ist.

Jörg Pfäffinger