

Ein Beitrag zum Einsatz von höherfesten Klebstoffen bei Holz-Glas-Verbundelementen

Application of high-modulus adhesives
in load-bearing timber-glass-composite elements

An der Fakultät Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Felix Nicklisch

geboren am 09.04.1978 in Dresden

Erster Gutachter	Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller Technische Universität Dresden
Zweiter Gutachter	Prof. Erik Serrano Lund University
Tag der Verteidigung	15.03.2016

Kurzfassung

Bestärkt durch das gesellschaftliche und wirtschaftliche Interesse an nachhaltigen und ressourcenschonenden Formen des Bauens gewinnen Holzkonstruktionen wieder unverkennbar an Bedeutung. Mit dieser Entwicklung bilden sich neue Konstruktionsprinzipien und Materialkombinationen im Bauwesen heraus, zu deren ingenieurtechnischer Beurteilung zum Teil keine ausreichenden Erkenntnisse vorliegen.

Verbundkonstruktionen aus Holz und Glas sind eine innovative Bauweise, die zu einer höheren Materialeffizienz in Fassaden beiträgt, deren Wirkungsweise aber noch nicht ausreichend hinterfragt wurde. Werden Holz und Glas durch eine tragende Klebung verbunden, lässt sich das vielfach ungenutzte Tragpotenzial ausschöpfen, das eine in Scheibenebene belastete Verglasung aufweist. Die Qualität der Klebung entscheidet dabei über die Eigenschaften und das Leistungsvermögen des Bauteils.

Die üblicherweise an dieser Schnittstelle eingesetzten Silikonklebstoffe weisen eine hohe Nachgiebigkeit und eine vergleichsweise geringe Festigkeit auf. Wenn die Verbundelemente als Aussteifung mitwirken sollen, bleibt ihr Einsatz deswegen auf Gebäude mit höchstens zwei Geschossen limitiert. Die vorliegende Arbeit trägt entscheidend zur Erweiterung der baulichen Möglichkeiten bei, indem sie der Anwendbarkeit von hochfesten Klebstoffen, die für den Einsatz im Bauwesen nur wenig erforscht sind, auf vielschichtige Weise nachgeht.

Im Fokus stehen aussteifende Holz-Glas-Verbundelemente für die Fassade. Weder die Bauart noch das Bauprodukt Klebstoff sind derzeit in Deutschland in einer Norm erfasst. Das Klären der baurechtlichen Rahmenbedingungen ist daher unerlässlich und erfolgt mit engem Bezug zum konstruktiven Glasbau. Zusätzlich zur wissenschaftlichen Interpretation wird dadurch eine praxisnahe Bewertung der Versuchsergebnisse möglich, was ein Alleinstellungsmerkmal dieser Arbeit darstellt.

Das Verformungsvermögen des Klebstoffs spielt eine zentrale Rolle bei der Materialauswahl und Gestaltung der Holz-Glas-Verbundelemente. Der Einfluss der Klebstoffsteifigkeit auf das Tragverhalten eines Einzelements und auf dessen

Interaktion mit den anderen Bestandteilen des Tragwerks wird an einem Modellgebäude untersucht. Auf Basis dieser Parameterstudie lassen sich drei Steifigkeitsbereiche definieren, auf die sich die Klebstoffauswahl für die weiteren Untersuchungen stützt.

Der experimentelle Teil der Arbeit beginnt mit der ausführlichen Charakterisierung von sieben Klebstoffen. Davon werden zwei höherfeste Klebstoffe als geeignet identifiziert. Ein Silikonklebstoff wird als Referenzmaterial zur aktuellen Anwendungspraxis festgelegt. Das Hauptaugenmerk der folgenden Experimente richtet sich auf Aspekte der Alterungsbeständigkeit und des zeitabhängigen Materialverhaltens unter langandauernder mechanischer Beanspruchung.

In labormaßstäblichen Alterungsprüfungen werden die Klebstoffproben unterschiedlichen Schadeinwirkungen ausgesetzt, die im Glas- und Fassadenbau relevant sind. Darüber hinaus erfolgen Kriechversuche an kleinen und großen Scherprüfkörpern. Letztere stellen einen besonderen Mehrwert dar, da sie eine realistische Klebfugegeometrie aufweisen und die Ergebnisse dadurch dem tatsächlichen Bauteilverhalten nahekommen. Für diese Zeitstandversuche wurde eine bislang einzigartige Versuchsanlage aus sechs Prüfrahen mit Gasdruckfederbelastung entwickelt.

Im Ergebnis zeigt sich, dass mit den gewählten höherfesten Klebstoffen die Festigkeit der nicht gealterten Klebschichten erwartungsgemäß gesteigert werden kann. Der Bruch des Fügepartners Holz wird zum maßgebenden Versagenskriterium. Die Verformungen des Verbundelements reduzieren sich gegenüber einer Silikonklebung deutlich. Allerdings offenbaren sich in einzelnen Alterungsszenarien und unter langandauernder Belastung auch Schwachstellen dieser Klebstoffe. Ihre Verwendung kann daher nur mit konstruktiven Kompensationsmaßnahmen oder durch Abschirmen der kritischen Einwirkungsgrößen empfohlen werden. Entsprechende Vorschläge werden bei der abschließenden Bewertung der Ergebnisse unterbreitet.

Verfahren und Beurteilungsmethoden, die in dieser Arbeit angewendet und entwickelt werden, erleichtern die zukünftige Bewertung weiterer aussichtsreicher Klebstoffe für den Holz-Glas-Verbund.

Abstract

Wooden constructions are on the rise again – encouraged by a strong public and economic trend towards sustainable and resource efficient buildings. Spurred by this growing interest novel design principles and material assemblies in architecture and the building industry evolve. These developments require further research due to the absence of evaluation tools and insufficient knowledge about their design.

Load-bearing timber-glass composite elements could contribute to a more efficient use of materials in façade constructions. In this case a linear adhesive bond connects the glass pane to the timber substructure. This enables an in-plane loading of the glass whose capacity is not used to its full potential in conventional façades as it is solely applied as an infill panel. The quality of the adhesive bond defines the characteristics and the performance of the whole structural component.

Structural sealants such as silicones, which are typically used for the joint, provide a high flexibility and only a low load-bearing capacity. Considering such elements being part of a bracing system, the mentioned characteristics limit the application range to buildings with not more than two stories. This thesis widens the scope with an in-depth examination of high-modulus adhesives, which have not yet been evaluated for their use in building constructions.

Timber-glass composite elements used as a bracing component in façades are the focus of this work. Neither the full structural component nor the adhesive have yet been included into German building standards. Hence it is essential to assess the general requirements of their application. The relevant aspects are clarified in the context of glass constructions. In addition to the scientific discussion of the results, this approach facilitates also a practical evaluation of the findings, which is a unique feature of this work.

The deformability of the adhesive becomes a crucial criterion when selecting the individual materials and designing the timber-glass composite elements. A case study assesses the influence of the adhesive stiffness on the behavior of a single element and its interaction with other members of the

structural system. Based on the results, three different stiffness classes are introduced to support the selection process of the adhesives to be examined in further investigations.

The experimental part of this work is initiated by a comprehensive characterization of seven shortlisted adhesives. The results enable a further differentiation of suitable materials. Two adhesives qualified as suitable for the main experiments. A silicone adhesive complements the test series to serve as a reference material to the current practice. In the next phase attention is drawn to the ageing stability and on the time-dependent material behavior of the adhesives under long-term loading.

Small-scale specimens made from adhesively joint timber and glass pieces are exposed to different ageing scenarios which relate to the impacts typically encountered in façades. Beyond that, creep tests are carried out on small and large shear specimen. The latter provide extra benefit as they comprise long linear adhesive joints resembling virtually the situation in a real-size element. A specific long-term test rig was developed for this purpose comprising a loading unit with gas pressurized springs.

Based on the results it can be concluded that joints with adhesives of high and intermediate stiffness enable an increase of characteristic failure loads and a significant reduction of deformation. With the stiffer joint near-surface rupture of timber fibers becomes the prevailing failure mechanism. The timber strength limits further loading of the adhesive joint. However, ageing and creep testing reveal also shortcomings of the adhesives. Their application can only be recommended if redundant compensation measures are taken or the joint is protected against critical environmental impacts. Appropriate solutions are proposed with the final recommendations of this work.

Methods and assessment tools that have been developed and tested for this work offer the possibility of a more straight-forward evaluation of further promising adhesives and their use in load-bearing timber-glass composites.