



*Prof. Dr.-Ing. Peer Haller
Institut für Baukonstruktionen
und Holzbau
Technische Universität
Dresden*

Innovative Verbindungen aus technischen Textilien und Pressholz

Innovative Verbindungen aus technischen Textilien und Pressholz

Einführung

Holz hat gegenüber anderen Baustoffen ein ausgeglichenes Materialprofil mit hoher spezifischer Steifigkeit und Festigkeit bei geringen Kosten und herausragenden Umwelteigenschaften. Holz ist jedoch spröde und weist eine ausgeprägte Anisotropie auf, welche insbesondere durch geringe Quer- und Schubfestigkeit gekennzeichnet ist. Darüber hinaus ist es als organischer Stoff biologischen und physikalischen Abbauprozessen unterworfen.

Eine interessante Möglichkeit diese Nachteile zu kompensieren besteht im Aufbringen textiler Schichten zur strukturellen Verstärkung bzw. zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit. Textilien haben gegenüber herkömmlichen Verstärkungsmitteln viele Vorteile: Sie weisen eine hohe spezifische Festigkeit auf, sind leicht, dünn, drapierbar und preisgünstig. Sie können für Bauteile und Verbindungen maßgeschneidert werden oder als konstruktiver Schutz gegen Feuchte und Brand dienen.

Zur Herstellung der textilen Strukturen werden Glas-, Aramid- und Kohlefasern verwendet. Aramid- und Kohlefasern weisen deutlich bessere mechanische Eigenschaften auf als Glas, sind jedoch wesentlich teurer [1]. Für tragende Anwendungen, werden durchgehende Rovings zu zwei- oder dreidimensionalen textilen Strukturen verarbeitet. In Anbetracht der Vielfalt dieser Produkte und ihrer unterschiedlichen Eigenschaften werden textile Erzeugnisse wie Gewebe, Gelege, Gestricke etc. unter dem Oberbegriff der textilen Struktur zusammengefasst [2, 3, 12].

Die gängigsten Textilien sind Gewebe mit Leinwand-, Atlas- oder Panama-Bindung, die als Massenartikel sehr preisgünstig erhältlich sind. Die wellenförmig verlaufenden Kett- und Schussfäden führen besonders bei der Leinwandbindung zu geringer Steifigkeit. Die anderen Bindungsarten sind steifer, aber wegen der geringeren Zahl der Bindungspunkte weniger gut handhabbar. Zudem ist die orthogonale Anordnung der Fasern nicht optimal der Beanspruchungssituation angepasst.

Der Holz-Textil-Verbund

Faserverbunde können auf zwei verschiedene Arten hergestellt werden. Die erste Methode besteht darin, fertige Lamine mit geeigneten Harzen auf die Bauteile aufzubringen, was besonders bei der Längsverstärkung von Biegeträgern angewandt wird. Diese Technik wird zur Erhöhung der Biegesteifigkeit und Festigkeit bei der nachträglichen Verstärkung hölzerner Tragwerke eingesetzt.

Bei der zweiten Methode werden Textilien ebenfalls mit Hilfe von Harzen auf die Holzoberfläche aufgezogen, so dass das Komposit auf dem Bauteil entsteht. Dies verbessert die Quer- und Schubfestigkeit des Holzes und stellt zusätzlich einen Schutz gegenüber Witterungseinflüssen dar. Die textile Struktur kann mit einfachem Handwerkszeug wie Pinsel, Rolle oder Spachtel aufgebracht werden [14]. Die Qualität des Verbundes wird mit Scher- und Schälproben bestimmt [4, 5].

Vorhergehende Versuche an Holzverbindungen

Im Rahmen der europäischen Forschungsaktion COST C1 [4, 5, 7] wurde das Tragverhalten von Holzverbindungen untersucht, welche mit Glasfaser-Geweben verstärkt wurden. Unverstärkte Verbindungen wurden in einer speziellen Versuchsanordnung geprüft und zeigten spröde Scher- und Spaltbrüche bei geringer Traglast. Im Gegensatz hierzu wiesen die Glasfaser-verstärkten duktile (zähe) Brüche bei deutlich höherer Traglast auf und ein Spalten des gespreizten Gurtquerschnittes wurde vermieden. Die Duktilität ist der Bildung von Fließgelenken in den stabförmigen Verbindungsmitteln zuzuschreiben. Erste praktische Umsetzungen dieser Versuchsreihen sind in der Schweiz erfolgt [11].

Gewebe können den Beanspruchungszustand des Anschlussbereiches um die stabförmigen Verbindungsmittel nicht optimal aufnehmen, so dass das Verschiebungsfeld sehr stark vom Verlauf der Rovings abhängt. Diese Betrachtungen sind Gegenstand laufender Untersuchungen des Autors.

Ziele

Mit den hier dargestellten experimentellen Untersuchungen an Längsverbindungen wurde das Ziel verfolgt, die Festigkeit des Holzquerschnittes durch ein höheres Tragvermögen des Anschlusses besser auszunutzen sowie dessen Steifigkeit und Duktilität zu erhöhen.

Ausgehend von einer Verbindung mit eingesetzten Blechen und Stabdübeln wird bei gleichbleibender Geometrie die Herstellung alternativ mit Glasfaserverstärkung und Pressholz ausgeführt.

In Versuchen wurde der Beitrag der Verstärkungsmaßnahmen zum Tragverhalten getrennt und zusammen für unterschiedliche Beanspruchungen - Normalkraft, Querkraft und Moment - bestimmt. Dazu wurden Probekörper aus gewöhnlichem Brettschichtholz (BSH), (Gewebe-) verstärktem BSH sowie verstärktem und verdichtetem BSH untersucht. Die Versuche dienen auch als Vergleichsbasis für kommende Untersuchungen an Textilien mit beanspruchungsgerechter Fadenführung.

Material und Methoden

Für die Herstellung der Versuchskörper wurden Fichtenbretter (2000 x 135 x 26 mm) der Güteklasse GK II gemäß [DIN 1052] verwendet. Diese wurden zuvor technisch getrocknet und teilweise in einer Etagenpresse auf 50% des Ausgangsquerschnittes verdichtet. Die verdichteten Lamellen wurden vollständig zu BSH verleimt oder alternativ durch Keilzinkung mit den unverdichteten verbunden und beim Biegestoß um jeweils 100 mm versetzt zu BSH verleimt, so dass sich ein vergüteter, kegelförmiger Anschlussbereich ergab. Die Verklebung erfolgte mit einem formaldehydfreien Ein-Komponenten Polyurethan-Klebstoff (Hersteller Collano: Purbond HB 110). In Tabelle 1 sind die Durchschnittswerte für Holzfeuchte und Rohdichte vor und nach der Verdichtung aufgeführt.

Darüber hinaus wurden Versuchskörper aus handelsüblichem Brettschichtholz hergestellt, welche bewehrt und unbewehrt als Referenzversuche dienen.

Materialien	Darrdichte [kg / m ³]	Feuchtigkeit [m%]
BSH, GK II	370 ... 430	10 ... 14
Fichtenholz vor Verdichtung	450 ... 480	14 ... 16
nach Verdichtung (auf 50%)	880 ... 980	6 ... 8

Tabelle 1 Darrdichte und Holzfeuchte der Fichtenbretter [17]

Verdichtung der Fichtenbretter

Die Verdichtung der Lamellen erfolgte in drei Schritten: Aufheizen, Verdichten und Rückkühlen. In der ersten Phase wurden die Lamellen unter leichtem Anpressdruck von 0,2 bis 0,3 MPa über die Heizplatten der Presse erwärmt. Zur Abschätzung der Durchwärmung von Vollholz wurden 1 bis 2 mm/min angenommen. Nachdem die Temperatur in der Mitte des Probekörpers einen Wert von 140 °C erreicht hatte, begann der Verdichtungsprozess. Bei weiterer Erwärmung auf 150 °C wurde der Pressdruck kontinuierlich auf 2,5 MPa erhöht. Um ein zu starkes Austrocknen des Holzes zu verhindern, wurde eine relativ hohe Schließgeschwindigkeit der Presse von 1mm/min gewählt. Nach dem Verdichtungsprozess von zirka 40 min begann die Rückkühlung der Holzproben auf 60 °C, wofür die gleiche Zeit wie zur Erwärmung veranschlagt wurde (Abbildung 1).

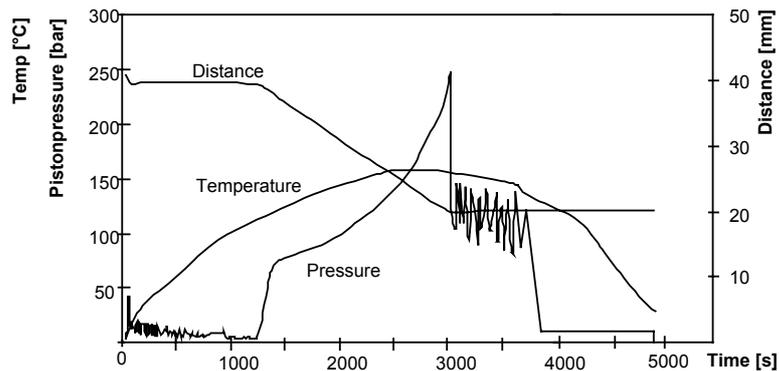


Abb. 1 Verdichtung von Fichtenbrettern (Querschnitt: 120 x 40 mm) [17]

Verstärkung der Probekörper mit Glasfasergeweben

Die textile Bewehrung der Holzbauteile erfolgte mit einem Glasfasergewebe Typ E mit Leinwandbindung und einem Flächengewicht von 200 g/m². Zur Steigerung der Klebefestigkeit wurde zuvor ein Haftvermittler (Hersteller: Vosschemie; G4 - Grundierung) aufgetragen. Es wurden zwei Lagen mit einem Zwei-Komponenten Epoxydharz (Hersteller: Vosschemie; LN-1 Epoxy A + B) im Handlaminierungsverfahren aufgebracht, wobei das Nassverfahren [14] zur Anwendung kam, bei dem das Gewebe ohne vorheriges Tränken mit der Walze auf die beleimte Holzoberfläche gedrückt wird. Ein zusätzlicher Anpressdruck ist bei Epoxydharzen nicht notwendig. Zur vollständigen Aushärtung wurden die Bauteile 10 Tage im Raumklima gelagert. Die Festigkeiten und Materialkennwerte des Gewebes und des Klebstoffes sind in Tabelle 2 dargestellt.

Materialkennwerte	Glasfaser Typ E	Epoxydharz	Komposit
E - Modul [MPa]	73000	3700	25 ... 30000
Dichte [kg/m ³]	2600	1040 / 1150 (Härter / Harz)	ca. 2000
Biegefestigkeit [MPa]		123	
Druckfestigkeit [MPa]		130	
Zugfestigkeit [MPa]	2400		150... 200

Tabelle 2 Materialkennwerte der Komponenten und des Komposits

Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Biegebeanspruchung

Die Traglastuntersuchungen erfolgten im Vier-Punkt-Biegeversuch. Der Brettschichtholzquerschnitt betrug 120 x 200 x 1550 mm und wies zwei 6 mm Stahlbleche und neun rechteckig angeordnete Stabdübel auf. Die leichte textile Bewehrung bewirkte eine Erhöhung der Bruchlast um den Faktor 1,6 gegenüber der unverstärkten Verbindung.

Beim Einsatz von verdichtetem BSH mit Bewehrung wurde eine Steigerung um das 2,5-fache erreicht. Unbewehrte Holzverbindungen versagten spröde in der unteren Dübelreihe. Die bewehrten Holzverbindungen zeigten bei Erreichen der Traglast große Verformungen (Duktilität). Gleiche Verformungen bei höherer Traglast wurden mit verdichtet-bewehrten Verbindungen erreicht. Im Gegensatz zu den unverdichteten Verbindungen zeigten die Verbindungsmittel bereits starke plastische Verformungen.

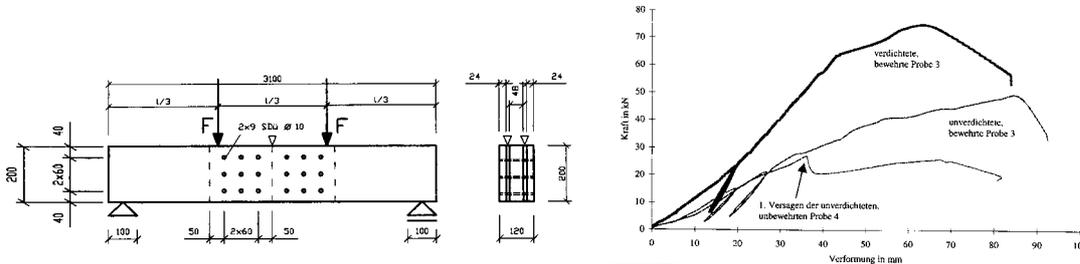


Abb. 2 Vier-Punkt-Biegeversuch (links) und Momenten-Verschiebungs-Kennlinien (rechts) [17]

Querkraftbeanspruchung

Das Versagen der unbewehrten Verbindung trat infolge Aufspaltens in der unteren Dübelreihe ein. Bei den bewehrten Versuchskörpern begann der Bruch in der oberen und unteren Dübelreihe gleichzeitig, wobei die Lastübertragung noch vom Gewebe übernommen wurde. Nach weiterer Laststeigerung versagte der Haftverbund und teilweise das Gewebe selbst. Eine deutliche Erhöhung der Traglast um etwa 100% konnte bei dem glasfaserbewehrten, verdichteten Querschnitt aufgezeichnet werden.

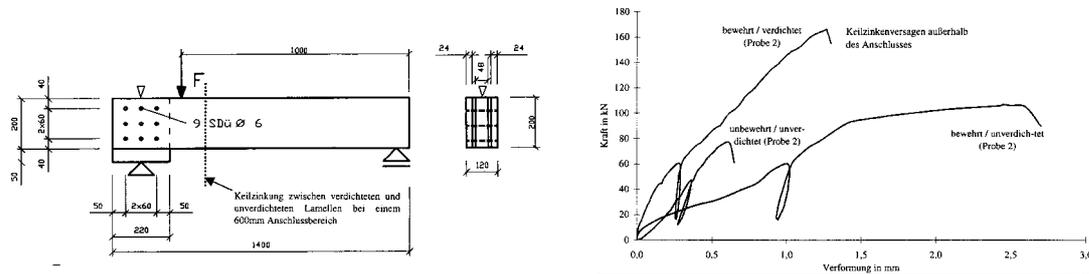


Abb. 3 Querkraftversuch (links) und Last-Verformungs-Kennlinien (rechts) [17]

Zugbeanspruchung

Die Verbindung wies zwei 6 mm Stahlbleche und rechteckig angeordnete Stabdübel mit $\varnothing 8$ mm auf. Eine GF-Bewehrung ist sehr vorteilhaft bei kleinen Verbindungsmittelgruppen, da hier das Versagen von der Lochleibungsfestigkeit und nicht vom Blockscherbruch bestimmt wird, der mit der untersuchten Anordnung des Laminates nicht wirkungsvoll bewehrt ist. Beim Einsatz von verdichtetem BSH mit GF-Verstärkung versagte das Bauteil sehr oft infolge Keilzinkenbruches im Anschlussbereich. Die besten Verbindungen übertrafen den Durchschnittswert der Referenzproben um mehr als das Zweifache.

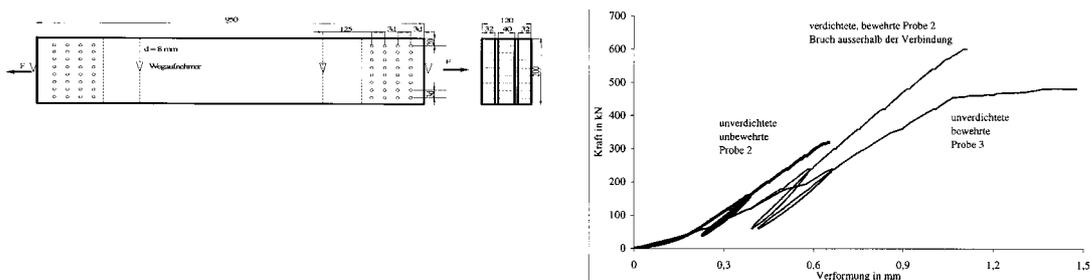


Abb. 4 Zugversuch (links) und Last-Verformungs-Kennlinien (rechts) [17]

Schlussfolgerung und Ausblick

Die experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verstärkung von Holzverbindungen mit Glasfaserstrukturen und Pressholz die Tragfähigkeit von Holzverbindungen etwa um den Faktor 2 erhöht. Ebenso wird durch die Bewehrung ihre Steifigkeit verbessert. Holzverbindungen mit Bewehrung verhalten sich im hohen Maße duktil und können plötzliches Versagen einzelner Holzbau- oder Tragwerksteile unterbinden.

Der Einsatz von verdichtetem Vollholz in Bauteilen aus BSH wirft Fragen hinsichtlich des Verbundes Holz - Holz und Holz - Textil auf. Neben den insgesamt positiven Untersuchungsergebnissen der glasfaserbewehrten und teilweise verdichteten Holzverbindungen sind Fragen zum Einfluss der Verklebungen, respektive der Keilzinkenverbindungen näher zu betrachten.

Damit der Wirkungsmechanismus der Bewehrung, insbesondere bei kraftgerechter Orientierung, exakt beschrieben werden kann, ist eine grundlegende mechanische Beschreibung des textilibewehrten Holzes erforderlich.

Literatur

- [1] GAY, D. *Matériaux composites*. Edition Hermes, Paris, 1991.
- [2] OFFERMANN, P.; FRANZKE, G.; DIESTEL, O. *Textile Verfahrensentwicklung für langfaserverstärkte Verbundwerkstoffe*. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, Vol. 46, 1997, pp. 27-33.
- [3] FLEMMING, M.; ZIEGMANN, G.; ROTH, S. *Faserverbundbauweisen - Halbzeuge und Bauweisen*. Springer Verlag, Berlin, 1996.
- [4] HALLER, P. (Ed.) *COST C1, Semi-rigid timber joints - structural behaviour, modelling and new technologies*. Research report, European Commission, 1999.
- [5] Maquoi, R. (Ed.) *Control of the semi-rigid behaviour of civil engineering structural connections*. Proceedings of the final conference of EUR 18854 EN, Liège, Belgium, 1998.
- [6] MARTIN, O. *Experimentelle Untersuchungen an glasfaserverstärkten Fachwerksknoten*. Diploma thesis, Technische Universität Dresden & Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1994.
- [7] DAYER, P.; HALLER, P. *Etude du comportement des assemblages en bois renforcés de fibres de verre*. Research report, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1994.
- [8] CHEN, C.J. *Study of mechanical behaviour and optimization of fiberglass reinforced timber joints*. Ph.D. thesis, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1999.
- [9] HALLER, P.; WEHSENER, J. *Use of technical textiles and densified wood of timber joints*. Proceedings, RILEM-Symposium on Timber Engineering, Stockholm, 1999.
- [10] HALLER, P. *Technische Textilien im Holzbau und ihre Möglichkeiten in der Verbindungstechnik*. Bauen mit Textilien, Vol. 1, 1997, pp. 11-12.
- [11] Gärtl, K. *Holzbrücke mit Rautenfachwerkträgern*. Schweizer Holzbau. No. 12. 1998, pp. 8-11.
- [12] OFFERMANN, P; FRANZKE, G. *Innovative Textilstrukturen für den Leichtbau*. In: Vortragsband zur DLR-Tagung, TU Dresden; 1996.

[13] HALLER, P.; CHEN, C.J.; NATTERER, J. *Experimental Study of Glass-Fibre Reinforced and Densified Timber Joints*. Proceedings, International Wood Engineering Conference, New Orleans, Louisiana, USA, 1996.

[14] GOUGEON BROTHERS; *Moderner Holzbootsbau*. Deutsche Ausgabe 1998; Verlag M. und H. von der Linden, Wesel, Germany.

[15] SUCZ, C. A. *Etude du renforcement du bois par fibre de verre*. Dissertation, Universität Metz, Frankreich, 1991.

[16] HALLER, P. *Experimentelle Untersuchungen an glasfaserverstärkten Verbindungen*. Ehrenkolloquium Prof. Dr.-Ing. habil. M. Gruber, Schriftenreihe des Institut für Baukonstruktionen und Holzbau, Heft 1, TU Dresden, 1994, S. 96-102.

[17] HALLER, P.; WEHSENER, J. *Entwicklung innovativer Verbindungen aus Pressholz und Glasfaserarmierung für den Ingenieurholzbau*. Forschungsbericht, AiF 11164 B, Institut für Baukonstruktionen und Holzbau, TU Dresden, 2000.