

Untersuchungen zum Tragverhalten einer Holzverbindung aus Formvollholz mit einer Bewehrung aus formgerechten, räumlichen Gestricken

Leitung Prof. Dr.-Ing. Peer Haller

Institut für Stahl- und Holzbau

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und baukonstruktives Entwerfen

Mitarbeiter Dipl.-Ing. Tilo Birk

Ziele

Das Ziel besteht in der Entwicklung und Untersuchung einer Holzverbindung, die erstmalig mit einer räumlichen, formgerechten textilen Struktur verstärkt wird. In einem neuen Verbindungskonzept werden die entscheidenden Schwachstellen des Holzbaus aufgegriffen und grundlegende Lösungen dafür vorgeschlagen.

Neben Anisotropie und biologischer Resistenz gilt die Aufmerksamkeit der unbefriedigenden Materialeffizienz, infolge geringer Rohholzausbeute und "naturgegebener" Vollholzquerschnitte. Das thermomechanische Formen von Holzquerschnitten stellt eine grundlegende Neuerung für das Bauen mit Holz dar, die auch in anderen Disziplinen wie Leicht-, Anlagen- oder Möbelbau etc. genutzt werden kann. Das Formholzprofil gestattet im Vergleich zum Vollquerschnitt einen höheren Verstärkungsgrad und damit einen effizienteren Einsatz der Bewehrung.

Verzweigte Kerne aus gestauchtem Buchenholz oder textilverstärkten Zwickeln dienen als Verbindungsstück, an das die Hohlquerschnitte über eine Schäftung geleimt werden, wobei das Gestrick mit zur Lastübertragung herangezogen wird. Dadurch entstehen baumartig verzweigte Verbindungspunkte von hoher Leistungsfähigkeit, deren Quer- und Schubfestigkeit durch eine Verstärkung mit räumlichen Gestricken gesteigert wird.

Als sehr wesentlich wird nicht nur das Tragverhalten der Verbindung betrachtet, sondern auch das ästhetische Erscheinungsbild, das von den heutigen Lösungen des Hallen- und Industriebaus geprägt ist. Die organische Gestalt, der Verzicht auf mechanische Verbindungsmittel sowie die Möglichkeit des sparsamen Einsatzes von Edelholzarten sollen neue Perspektiven für anspruchsvolle Architektur eröffnen. Zur Herstellung der Knotenelemente wird auf moderne Werkzeugmaschinen wie die HEXAPOD zurückgegriffen, welche durch leichte Anpassung Werkstücke der Größe des massiven Verbindungskernes räumlich bearbeiten kann und dadurch konstruktive und gestalterische Freiräume schafft.

Der Kern des Projektes besteht in der Entwicklung und Untersuchung einer gestrickverstärkten Schrägverbindung, die in Zusammenarbeit mit dem Institut für Textil- und Bekleidungstechnik [Teilprojekt A4](#) entwickelt wird. Für den Aufbau der Verbindung wird die Technik des thermomechanischen Formens verwendet, welche zwar eine beträchtliche Neuerung, jedoch nicht Gegenstand der Forschung darstellt.

Die dabei auftretenden Quer- und Schub- sowie Witterungsbeanspruchungen lassen sich durch nachträgliches Bewehren mit einem räumlichen Gestrick aufnehmen. Die Geometrie der Verbindung wird als geschlossene Struktur in Zusammenarbeit mit dem Institut für Textil-

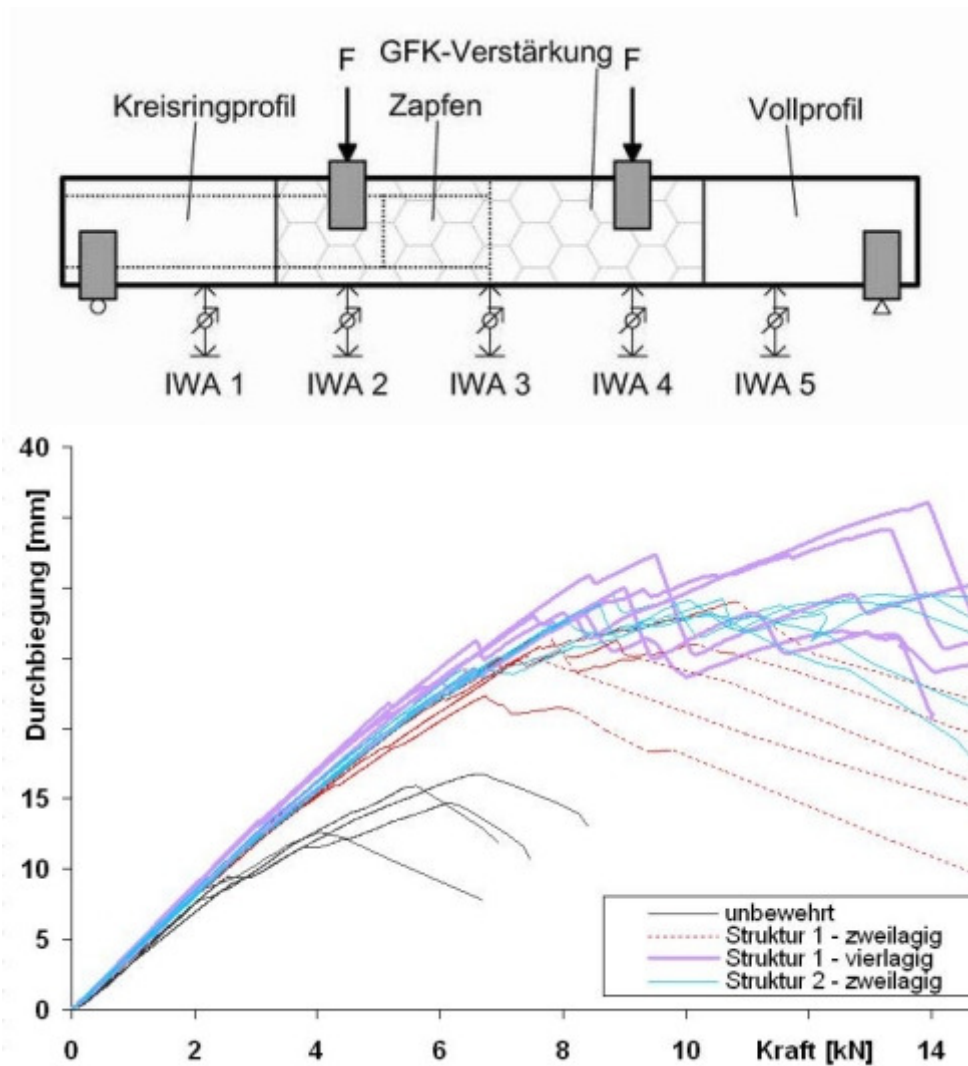
und Bekleidungstechnik, [Teilprojekt A4](#) als eigentlicher Projektgegenstand in ein Verstärkungsgestrick mit eingearbeiteten Verstärkungsrovings umgesetzt. Zur Unterstützung der Konfektionierung der textilen Struktur stehen die CAD-Daten der Bearbeitung in HEXAPOD zur Verfügung.

Räumliche Gestricke sind sehr gut drapierbar, weshalb sie sich für formgerechte Strukturen eignen. Die geringe Steifigkeit wird durch Strecken der Maschen kompensiert. In Anbetracht der Komplexität der Aufgabe wird zunächst von einer zusätzlichen beanspruchungsgerechten Optimierung der Bewehrung abgesehen. Sie kann bei größerer Routine zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt werden. Zur Bewertung des Tragverhaltens von Verstärkungsgestrieken finden in Vorversuchen Untersuchungen an ebenen Gestrick statt. Die Maschen sind dabei so ausgebildet, dass sie in Längsrichtung möglichst hohe Steifigkeit und Festigkeit aufweisen.

Ergebnisse

Die Untersuchungen der ersten Projektphase haben gezeigt, dass die Verstärkung von Holz und Holzwerkstoffen mit flächigen textilen Strukturen die Tragfähigkeit von Verbindungen positiv beeinflussen kann. Darüber hinaus stellt die Beschichtung mit faserverstärkten Kunststoffen einen wirksamen Schutz gegenüber klimatischen und biotischen Einflüssen auf das Holz dar.

In der zurückliegenden Projektphase wurden Formholzrohre mit textiler Bewehrung hinsichtlich des Einflusses von Gestrieken auf Steifigkeit und Tragfähigkeit der Verbindung untersucht. Die textilen Strukturen unterschieden sich hinsichtlich Rovingfeinheit, Herstellung und textilem Flächengewicht.



Vierpunktbiegeversuch: Versuchsaufbau und Ergebnisse

Die Interpretation der Versuchsergebnisse läßt folgende Schlüsse zu: Es gibt eine deutliche Abhängigkeit zwischen Höchstzugkraft einerseits und Fadenfeinheit, Dichtefaktor (Anzahl der Maschen in Maschenreihen- bzw. Maschenstäbchenrichtung) und Bindungselement andererseits. Die Höchstzugkraft erhöht sich mit steigender Fadenfeinheit sowohl in Maschenreihen- als auch in Maschenstäbchenrichtung. Der Zuwachs der Zugkraft ist in Maschenreihenrichtung linear abhängig von der Fadenfeinheit, wobei der Anstieg bei größeren Dichtefaktoren höher ist als bei kleineren. Enthält die Maschenstruktur das Bindungselement Henkel, reduziert sich die Höchstzugkraft bei gleichzeitig deutlich erhöhter Dehnung. Im Gegensatz dazu erhöht das Bindungselement Flottung die aufnehmbare Höchstzugkraft gegenüber der einfachen Maschenstruktur bei gleichzeitig Verringerung der Dehnung. Die mit Abstand vorteilhaftesten Ergebnisse lassen sich durch eine Kombination von Flottung und Henkel erzielen. Bei der Umsetzung der schlauchförmigen Verstärkungsstrukturen wurden Gestricke mit höherer Feinheit und größeren Maschendichte hergestellt.

Serie	Materialien	Traglast F_{max} [kN]	Durchbiegung f_{max} [mm]	E-Modul E_B [N/mm ²]	Biegesteifigkeit EI [Nmm ²]
1	unbewehrt	14,81	5,61	9474,79	17 892
2	Gestrickstruktur 1, zweilagig	26,08	8,89	9886,64	18 670
3	Gestrickstruktur 1, vierlagig	32,12	11,39	10479,23	19 789
4	Gestrickstruktur 5, zweilagig	28,89	10,36	9904,08	18 703

Tabelle 1: Ergebnisse der Bauteilversuche (Vierpunktbiegeversuch, kraftgesteuert)

Das Bruchverhalten der unbewehrten Rohrverbindung war erwartungsgemäß spröde. Das Versagen tritt im Biegeversuch in der Rohrmitte und damit im Bereich der größten Schubspannung auf. Die theoretische Biegetragfähigkeit wird deshalb nicht erreicht. Eine zweilagige Bewehrung (Serie 2) ändert das Bruchverhalten nicht grundsätzlich. Ein Versagen tritt jedoch erst bei einer um 100% erhöhten Versagenslast ein. Auch hier kommt es zum Aufspalten des Rohrquerschnittes in der Bauteilmitte. Die Gründe hierfür liegen in der noch zu schwachen Bewehrung in Umfangsrichtung, die aus der Forderung resultiert, das Gestrick geschlossen fertigen und applizieren zu können. Eine Verbesserung der Verstärkungswirkung in tangentialer Richtung durch schlauchförmige biaxial verstärkte Gestricke ist das Ziel zukünftiger Arbeiten. Die Bruchlasten der Serien 3 und 4 lassen erkennen, dass auch hier die Zunahme der Traglast unmittelbar mit dem Flächengewicht der Bewehrungsstruktur korreliert. Für die Biegesteifigkeit des Gesamtbauteils lassen sich ähnliche Aussagen treffen. Auch wurde mit einer Zunahme des Bewehrungsanteils eine höhere Steifigkeit gemessen.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen werden die Auswirkungen der Bewehrung eines Knotenelements aus gebogenen Laubholzlamellen mit biaxialverstärkten Gestricken untersucht. Erwartet wird hierbei, daß die Glasfaserverstärkung einen Großteil der auftretenden Querkraft abtragen und somit die Tragfähigkeit dieses Verbindungselements positiv beeinflussen kann.



Berarbeitung des Knotens im HEXAPOD



Knotenelement mit Glasfasergestrick



Textilverstärkte Formholzröhren

Veröffentlichungen

2007

- Hartig, J.; Lepenies, I.; Haller, P.; Zastrau, B.W.: Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Tragverhalten von Verbindungen aus Laubholzzwieseln und textilbewehrten Formholzröhren. In: *Holztechnologie* **48** (2007) 2, S. 11-18

2006

- Hartig, J. U.; Lepenies, I. G.; Haller, P.; Zastrau, B. W.: Modelling of natural grown tree crotches considering the material orientation of the wood in the branching zone. In: Salmén, L. (Hrsg.): *Proceedings of the Fifth Plant Biomechanics Conference. STFI-Packforsk AB, 28.08.-01.09.2006, Stockholm (Schweden)*, Vol. 1, pp. 67-72

2005

- Hartig, J.; Lepenies, I.; Haller, P.; Zastrau, B. W.: Traglastuntersuchungen an natürlichen Wuchsformen und Formholzröhren. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): *3. Symposium "Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen"*. Dresden : Eigenverlag, Institut für Massivbau, TU Dresden, 2005, S. 53-67
- Ünal, A.; Offermann, P.; Haller, P.: Development of glass fibre weft knits for textile reinforced wood construction. In: *5. International Textile Conference: Recent Advances and Innovations in Textile and Clothing. Istanbul, Mai 19-21, 2005*
- Haller, P.: From Tree Trunk to Tube or the Quadrature of the Circle. In: *Proceedings, COST C12: Improvement of Buildings' Structural Quality by New Technologies, Innsbruck, Austria, 2005*. S. 741-747
- Heiduschke, A.; Haller, P.; Kasal, B.: Moment Resisting Timber Frames with Densified and Reinforced Beam-To-Column Connections under Seismic Loads. In:

2004

- Ünal, A.; Offermann, P., Birk, T.; Haller, P.: Entwicklung von Glasfasergestrieken für die Bewehrung von Holzbauteilen unter Berücksichtigung der gestreckte Maschenstruktur. In: *7. Dresdner Textiltagung*. – Dresden: Technische Universität Dresden, 2004
- Haller, P.; Birk, T.; Ünal, A.; Offermann, P.: Textilbewehrte Holzkonstruktionen. In: *7. Dresdner Textiltagung*. – Dresden: Technische Universität Dresden, 2004
- Haller, P.; Birk, T.; Offermann, P.; Ünal, A.: Verbindungskonzept für textilverstärkte Formvollholzprofile - Entwicklung, Fertigung und Prüfung. In: *11. Internationale Chemnitzer Tagung – Stoffliche Verwertung nachwachsender Rohstoffe, Chemnitz*. Technische Universität Chemnitz, Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik, Kompetenzzentrum Strukturleichtbau, 2004
- Haller, P.; Kasal, B.; Pospisil, I.; Jirovsky, M.; Heiduschke, A.; Drdacky, M.: Seismic performance of laminated timber frames with fiber-reinforced joints. In: *Earthquake Engineering and Dynamics*. 2004. John Willey & Sons Ltd. London. UK. Vol. 33. (5): 633-646
- Haller, P.; Ziegler, S.: From Tree Trunk to Tube: How to improve the efficiency of wood in two steps. In: *Proceedings, Third International Conference of the ESWM 2004*, Vila Real, Portugal, 2004
- Haller, P.: Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises. In: *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* **53** (2004) Nr. 1-2, S. 100 - 104
- Haller, P.: Formholzprofile und textilbewehrter Beton - Ein neuer Verbundquerschnitt. In: *Beton und Stahlbetonbau* **99** (2004) Nr. 6, S. 488 - 489
- Haller, P.; Kasal, B.; Heiduschke, A.: Heavy timber laminated frames with composite material reinforced beam-to-column connections under earthquake loads. In: *Proceedings, 8th World Conference on Timber Engineering*, Lahti, Finland, 2004. Volume 2. 383 - 388.
- Haller, P.; Wehsener, J.: Festigkeitsuntersuchungen an Fichten-Preßholz. In: *Holz als Roh- und Werkstoff* **62** (2004) 6, 452-454 – [doi:10.1007/s00107-004-0516-8](https://doi.org/10.1007/s00107-004-0516-8)
- Heiduschke, A.; Haller, P.; Kasal, B.: Zum Tragverhalten textilbewehrtverdichteter Rahmenecken unter zyklischer Beanspruchung. In: *Bautechnik* **81** (2004) Nr. 9, S. 658-662 – [doi:10.1002/bate.200490154](https://doi.org/10.1002/bate.200490154)
- Haller, P.: Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises, Fachhochschule Potsdam (Hrsg.). In: *Sinn + Form, 8. Fachtagung Holzbau Berlin und Brandenburg*, 2004, S. 16 – 29
- Haller, P.: Load and Shape Oriented Textile Reinforcements in Timber Construction. In: *proceedings, COST E29: Innovative Timber and Composite Elements for Buildings*, Florence, 2004 (in press)
- Haller, P.: From Tree Trunk to Tube or the Quadrature of the Circle. In: *Proceedings, The Third International Conference of the European Society for Wood Mechanics*, Vila Real, Portugal, 2004. S. 269-276
- Haller, P.: Tailor Made Textile Reinforcements in Wood Construction. In: *Proceedings, 8th International Conference on Timber Engineering*, Lahti, Finland, 2004, Volume 1, S. 365 – 370

- Haller, P.; Birk, T.; Offermann, P.; Cebulla, H.: Fully fashioned biaxial weft knitted and stitch bonded textile reinforcement for wood connections - In: *Composite Part B: Engineering* **37** (2005) 4-5, S. 278-285

2003

- Haller, P.; Birk, T.: Research and application of stitch bonded and knitted technical textiles in wood constructions. *12. Internationales Techtexil-Symposium, 7.-10. April 2003, Frankfurt/Main 2003*
- Haller, P.; Birk, T.: Research and application of stitch bonded and knitted technical textiles in wood constructions. In: *Proceedings, 12. Techtexil-Symposium, Frankfurt/M., Deutschland, 2003*
- Haller, P.; Birk, T.: Der Einsatz von multiaxialen Nähgewirken und Biaxialgestriicken zur Verstärkung von Holzkonstruktionen. In: *Curbach, M. (Hrsg.) Proceedings, 2nd Colloquium on Textile Reinforced Structures*. Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland, 2003
- Haller, P.; Wehsener, J.: *Entwicklung innovativer Verbindungen aus Pressholz und Glasfaserarmierung für den Ingenieurholzbau, Forschungsbericht AiF Nr 11164 B*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart. 2003
- Haller, P. Beitrag für: Natterer, J.; Winter, W.; Herzog, T.; Schweitzer, R.; Volz, M. In: Institut für internationale Architektur-Dokumentation (Hrsg.): *Holzbauatlas*. vierte Auflage, 2003, S. 105
- Haller, P.: Design and Optimization in Wood Construction – Further Developments. In: Zarka, J. (Hrsg.): *Proceedings of the Workshop on Optimal Design of Materials and Structures*. Laboratoire de Mécanique des Solides, Ecole Polytechnique, Palaiseau ; France, 2003
- Haller, P.: Ist Holz dem Leichtbau gewachsen? In: *MIKADO – Unternehmensmagazin für Holzbau und Ausbau* 2003, Nr. 11, S. 52–56
- Haller, P.: Technical textiles in joining technology of woodwork. In: New Trade Fair Center (Hrsg.): *Proceedings of the 21st International Symposium on Bonding Technology*. Munique, Germany: New Trade Fair Center, 2003, S. 52–55

2002

- Haller, P.; Wehsener, J.; Offermann, P.; Franzke, G.: Verstärkung von Holzverbindungen mit beanspruchungsgerechten textilen Strukturen. In: *75. Tagung des wissenschaftlichen Beirates der AiF, Magdeburg, November 2002*. s. Abstracts NW 03, S. 21 – <http://www.aif.de/igf/dokumente/WR-Abstracts.pdf>
- Haller, P.; Wehsener, J.; Offermann, P.; Franzke, G.: *Verstärkung von Holzverbindungen mit beanspruchungsgerechten textilen Strukturen*. Institut für Baukonstruktionen und Holzbau der TU Dresden, Institut für Textil- und Bekleidungstechnik der TU Dresden – Forschungsbericht zum AiF-Forschungsprojekt Nr. 14 ZBR 1, 2002
- Haller, P.; Birk, T.: Produktinnovation mit Formvollholz-Konstruktionselemente für den Holzbau, Gestaltungs- und Anwendungsmöglichkeiten, Bearbeitungsanforderungen. In: *5. WZM-Fachseminar: Holzbearbeitung auf Parallelkinematiken, Dresden, 05.-06. Dezember 2002*.
- Haller, P.; Birk, T.: Produktinnovation mit Formvollholz-Konstruktionselemente für den Holzbau. In: *Tagungsband zur 5. Dresdner Werkzeugmaschinen Fachseminar –*

Holzbearbeitung auf Parallelkinematiken. Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik, Technische Universität Dresden, 2002

- Haller, P.; Wehsener, J.; Birk, T.: Verstärkung von Holzverbindungen mit technischen Textilien. In: *Internationales Klebtechnik Symposium*, Rosenheim, Deutschland, Januar 2002
- Haller, P.: Les assemblages de structure bois - typologie, différents types d'assemblages: comportement et modélisation. In: *Traité Mécanique et Ingénierie*, Edition Hermes
- Haller, P.; Birk, T.; Putzger, R.: Physikalische und mechanische Untersuchungen an textilbewehrtem Holz und Holzbauteilen. In: *Arbeits- und Ergebnisbericht für die Periode II/1999 - I/2002 des SFB 528 "Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung"*. Technische Universität Dresden, Institut für Baukonstruktionen und Holzbau, 2002, S. 283–322 – [urn:nbn:de:swb:14-1127469230731-24201](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:swb:14-1127469230731-24201)
- Aicher, S.; Gustaffsson, P. J. (editor); Haller, P.; Petersson, P.: *Fracture mechanics models for strength analysis of timber beams with a hole or a notch*. a report from RILEM TC-133, LTH Lund, Division of structural mechanics (publisher), Sweden, 2002
- Haller, P.: Neue Technologien für das Bauen mit Holz. In: *Tagungsband zum 8. Internationales Holzbauforum*. Garmisch Partenkirchen, 2002
- Haller, P.; Design and Optimization in Wood Construction. In: Zarka, J. (Hrsg.): *Proceedings of the Workshop on Optimal Design of Materials and Structures*. Laboratoire de Mécanique des Solides, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France, 2002
- Kasal, B.; Pospisil, I.; Jirovsky, I.; Drdacky, M.; Heiduschke, A.; Haller, P.: Shake table tests of laminated timber frames with fiber reinforced joints. In: *Proceedings of 12th European Conference of Earthquake Engineering*. Elsevier Science, Ltd. London, 2002

2001

- Haller, P.; Wehsener, J.; Offermann, P.; Franzke, G.; Engler, Th.: Reinforcement of wood joints with load-adapted textile structures. In: *Techtextil-Symposium 2001*. Frankfurt/ Main, April 24th 2001, Lecture No. 328
- Haller, P.; Wehsener, J.; Offermann, P.; Franzke, G.; Engler, T.: Reinforcement of timber joints with tailored-fibre-placements. *Tagungsband: 11th Internationales Techtextil-Symposium, Frankfurt a.M., April 2001*.

Birk, T.; Haller, P.: Textile Verstärkung von Holzbauteilen. In: *1. Fachkolloquium Textilbeton. RWTH Aachen, 2001, S. 293-304 PDF-Datei, 2372 kB*