

Allgemeines

Die mechanischen Eigenschaften von Holz erfordern oft Querkzug-, Biegezug- oder Schubverstärkungen an Bauteilen, um adäquate Querschnittsdimensionen zu technischen Profilen anderer Materialien zu erreichen. Im HHT-Projekt wurden Biege- und Längskraftverstärkungen von Holzbauteilen, Verstärkungen von Anschlüssen und Krafteinleitungsbereichen sowie Verstärkungen von Formholzprofilen untersucht. Dabei haben sich als Verstärkungsmaterial für Holzbauteile unter anderem Faserkunststoffverbunde (FKV) als sehr geeignet erwiesen, deren Einsatz in vielfältigen Anwendungen über die aktuellen Forschungsergebnisse hinaus bereits gezeigt wurden, jedoch fehlt es oft an in der Baupraxis ökonomisch einsetzbaren und geregelten Lösungen. In der vorliegenden Praxisempfehlung soll ein Überblick aus den derzeitigen Forschungsergebnissen [1] gegeben werden. Ein FKV ist ein Werkstoff bestehend aus Verstärkungsfasern und einer Kunststoffmatrix. Durch das Einbetten der Fasern in die Matrix werden die Fasern räumlich fixiert und die Lastein- und Lastausleitung ermöglicht. Die Matrix schützt die Fasern gegen Umgebungseinflüsse und stützt sie z.B. gegen Ausknicken bei faserparallelem Druck. Die FKV werden beeinflusst durch den Werkstoff (Fasern, Matrix, Halbzeuge), die Fertigungstechnik (Umformen, Pressen, Laminieren, Wickeln) und die Konstruktion (Platten, Profile, Rohre, Formteile). Zu den wichtigsten Materialien wurden spezielle HHT-Materialmerkbücher erarbeitet, vgl. auch dort.

Biege- und Längskraftverstärkung von Holzbauteilen

FKV weisen hohe spezifische Steifigkeiten und Festigkeiten auf. Im Holzbau sind CFK-Lamellen bzw. Stangen zur Biege- und Längskraftverstärkung von Holzbauteilen in zunehmendem Maß für den Einsatz im Neubau und in der Sanierung interessant. In Abhängigkeit vom eingesetzten Material und dem erzielten Bewehrungsgrad (~0,5 %) führt diese Art der Verstärkung von BSH-Biegeträgern zu einem Anstieg von Festigkeit und Steifigkeit zwischen 20...55 %. Eine erweiterte Berechnung und Bemessung von verstärkten Bauteilen z. B. BSH-Biegeträger mit Lamellen aus FKV wird in der „HHT-Praxisempfehlung: Hybridbauteile“ detailliert vorgestellt.

Textile Verstärkungen von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

Textile Verstärkungen von Anschlüssen und Krafteinleitungsbereichen stellen neben der Querkzug-, Biegezug- und Schubverstärkung von kompletten Bauteilen eine der wichtigsten Einsatzmöglichkeiten für FKV im Holzbau dar. Mit beanspruchungsgerecht verstärkten Holzbauteilen (z. B. mit ringförmigen Mehrlagengestricken, vgl. Abb. 2) lassen sich die Traglast und die Steifigkeit der Verbindung erhöhen. Durch das veränderte Bruchverhalten textilverstärkter Anschlüsse tritt das für konventionelle Holzverbindungen mit einer geringen Anzahl von Verbindungsmitteln typisch spröde Versagen nicht mehr auf, dadurch werden Tragreserven in der Verbindung erschlossen. Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass Schlaufen, Spiralen und sternförmige Gelege aus Glasfaserrovings, die dem Kraftverlauf um den Dübel im Anschluss am besten angepasst sind, die größte Verstärkungswirkung zeigen (vgl. [2]). Im HHT-Projekt fanden Versuche zur Lochleibungsfestigkeit und Verbindungssteifigkeit nach DIN EN 383 an beanspruchungsgerecht verstärkten Holzbauteilen mit einem Einzeldübel unter Belastung parallel zur Faser statt (siehe auch Abb. 1).

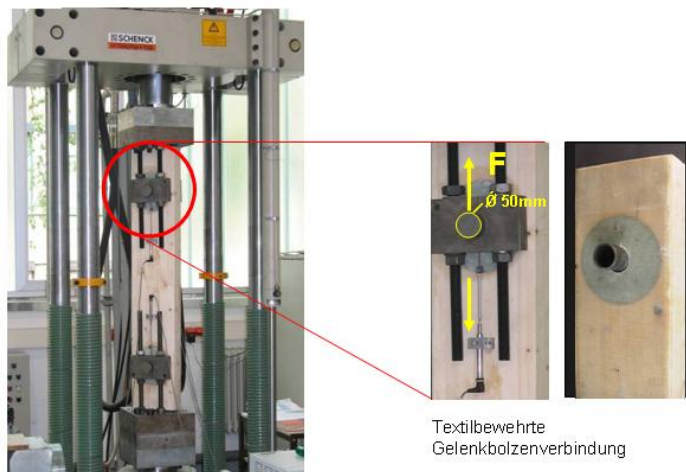
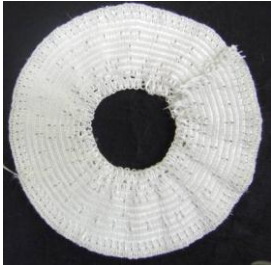


Abb. 1: Lochleibungsversuch nach DIN EN 383, Zugprobe in Prüfmaschine mit Anschlussdetail

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Fr. Schäcke	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de

Dazu wurden neben Referenzproben aus Holz Proben mit GF-Gestrickverstärkungen und GFK-Gelegeverstärkungen untersucht. Die GF-Gestrickverstärkung entsteht aus einem kreisringförmigen Mehrlagengestrick (MLG), das mit einem duromeren Epoxid Harzsystem im Handlaminierungsverfahren, später auch mittels RTM-Werkzeug (s.u.) in die kreisrunde Einfräsung geleimt wird (vgl. Abb. 2).



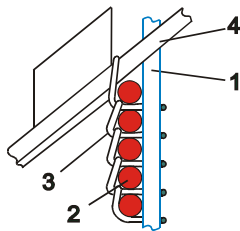
(a) Kreisringförmiges Mehrlagengestrick



(b) Applikation der Glasfasergestricke

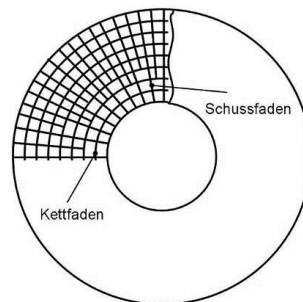
Abb. 2: Verstärkter Lochbereich einer stiftförmigen Verbindung mit eingeklebtem MLG

Dabei erreichte die beschriebene glasfaserverstärkte Verbindung eine Traglast von 220 kN, was einer Steigerung der Traglast um 384 % und der Steifigkeit um 233 % gegenüber der unverstärkten Referenzverbindung bedeutete. Das Verhalten der Verbindung im Versuch ist duktil, welches auf das Lochleibungsversagen der Bewehrung zurückzuführen ist. Problematisch bei der Herstellung der Verbindung war dabei der unzureichende Glasfasergehalt des Laminats direkt am Bohrloch. Dies führte dazu, dass die Glasfaserbewehrung erst nach relativ großen Bohrlochdeformationen (ca. 3 mm) zum Tragen kam.



1 Kettfaden, 2 Schussfaden, 3 Maschenfaden, 4 Stricknadel

(a) Schema Herstellung



(b) Schema kreisringförmiges MLG

Abb. 3: Schematische Darstellung von Mehrlagengestricken (MLG)

Im weiteren Verlauf des HHT-Projekts sind daher ringförmige Mehrlagengestricke für praxistaugliche Bauteile zur Verstärkung von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmittel (Stabdübel, Passbolzen) entwickelt und umgesetzt worden (Abb. 3 und Abb. 4). Mit der Flachstrickmaschine und Maschenfäden aus Glas können Innendurchmesser von minimal ca. 20 mm (Verbindungsmitteldurchmesser) bei einer Gestrickbreite von 50 mm realisiert werden. Praxistaugliche Bauteile (Patches) entstehen durch Imprägnierung der Gestricke mit einem Harzsystem. Als Matrixsystem wurde ein duromeres Epoxid-Harzsystem gewählt.



(a) Patch (FKV, Form eines Tellers)

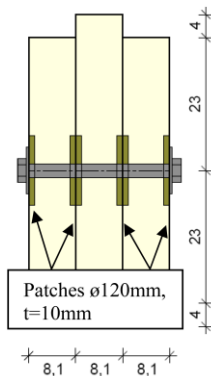
(b) Einleimung des Patches

(c) Eingeklebtes Patch im Bauteil

Abb. 4: Ausführung einer stiftförmigen Verbindung mit eingeklebtem Patch (a) - (c)

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Fr. Schäcke	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de

Als Verfahren zur Bauteilherstellung wurde ein Harzinjektionsprozess z. B. im Handlaminierungsverfahren oder mit dem RTM- Werkzeug (Flüssigimprägnierverfahren) untersucht. Die entwickelten Patches haben einen Außendurchmesser von 120 mm und eine Dicke von 10 mm mit einem vorgesehenen Dübelloch von 20 mm. Der Faservolumengehalt der Bauteile liegt derzeit bei etwa 20%. Dieser Anteil ist in Zukunft zu erhöhen, um die Traglast weiter zu steigern. Es war geplant, diese Bauteile im HHT-Pilotprojekt „Hess-Innenhofüberdachung“ für die Verstärkung der Passbolzenverbindung in einigen Kreuzungsknoten einzusetzen (vgl. HHT-Dokumentation zum Pilotprojekt: „Hess-Innenhofüberdachung“). Daher wurden Scherversuche an stiftförmigen Verbindungen mit und ohne Verstärkungsmaßnahmen durchgeführt (siehe Abb. 5). Hierbei wurde festgestellt, dass die Verstärkung von Bolzenverbindungen mit Patches eine Erhöhung der Traglast von mehr als 200 % gegenüber den nichtverstärkten Referenzbauteilen bewirkt. Die Steifigkeit der Verbindung wächst dabei auf etwa 240 % an (vgl. [3]).



(a) Aufbau der verstärkten Scherproben



(b) Scherversuch

Abb. 5: Aufbau und Durchführung der Scherversuche

Für die Konzipierung der mehrteiligen Biegeträger aus dem Pilotprojekt war es notwendig, gezielte Bauteilversuche durchzuführen, um Traglastuntersuchungen vorzunehmen und den Biege-Elastizitätsmodul verschiedener Verbindungen zu bestimmen. Abb. 6 zeigt die Konstruktion eines Bauteilversuches. Die 3-Punkt-Biegeprüfungen am zweiteiligen BSH-Träger mit nachgiebigem Verbund erfolgten entsprechend DIN EN 26891. Der Verbund wird durch je eine Passbolzenverbindung mittels Zwischenholz an den Trägerenden realisiert. Um eine gleichmäßige Verteilung der Versuchslast auf die beiden Gurte zu gewährleisten, liegt in der Mitte des Trägers ein loses Zwischenholz.

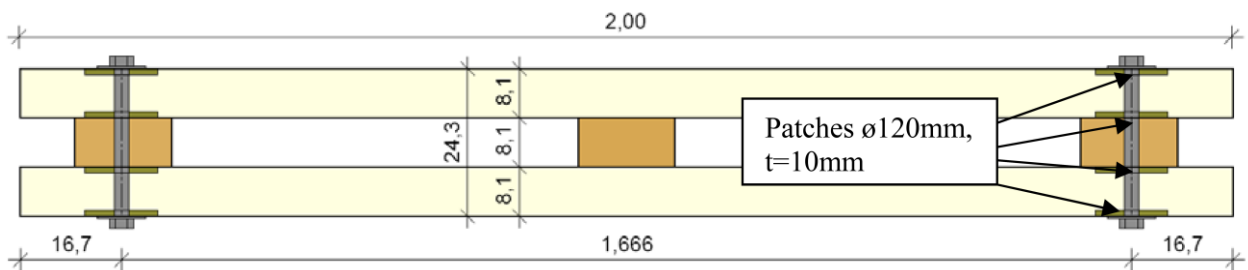


Abb. 6: Konstruktion der verstärkten Versuchsträger mit Patches für die Biegeprüfung

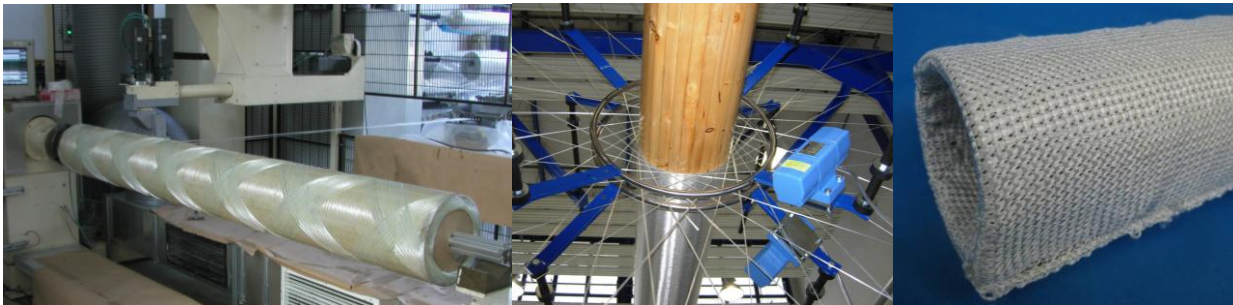
Die Versuchsergebnisse zeigen einen Verbundwirkungsgrad von 15 % für den Träger ohne Verbindungsverstärkung. Der Wirkungsgrad wird durch das Verhältnis der im Versuch erzielten Biegesteifigkeit zum imaginären losen, reibungsfreien Verbund der beiden Gurte (keine Verbindung entspricht 0 %) ermittelt. Durch die Verstärkung der Verbindung mit Patches in jeder Scherfuge kann der Wirkungsgrad auf 20 % in Relation zum nichtverstärkten Träger gesteigert werden [3]. Die durchgeführten Biegeversuche an mehrteiligen Biegeträgern haben gezeigt, dass die Nachgiebigkeit der Verbundfugen entscheidenden Einfluss auf die Deformation und die Traglast der Träger haben.

Ein Bemessungsvorschlag für stiftförmige Verbindungen mit Verstärkungen aus FKV wurde in Anlehnung an die Herleitung von Werner [4] für stiftförmige Verbindungen mit Verstärkungen aus Holzwerkstoffplatten erarbeitet und wird in der gleichnamigen HHT-Praxisempfehlung vorgestellt, vgl. dort.

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Fr. Schäcke	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de

Textile Bewehrung / Verstärkung auf Formholzröhren

Durch eine Faserbewehrung kann die Traglast einer Formholzröhre gegenüber einer nicht verstärkten signifikant verbessert werden, und im Bereich der Anschlussmittel lässt sich die Duktilität zusätzlich erhöhen. Außerdem verbessert sich das Nachbruchverhalten maßgeblich. Die textile Bewehrung kann die Querzug-, Schub- und Lochleibungsfestigkeit des Holzes erhöhen und bietet in Kombination mit der Matrix Schutz vor Witterung und anderen äußeren Einflüssen. Im HHT-Projekt wurden drei verschiedene Technologien der textilen Verstärkung auf Formholzröhren untersucht. Sowohl die Wickel- und Flechttechnik, als auch Rundgestricke (Schläuche) mit einem Flächengewicht von insgesamt jeweils ca. 800 g/m² lassen sich praxisnah einsetzen (vgl. Abb. 7). Alle drei Varianten zeigten eine gute Übereinstimmung mit den mechanischen Anforderungen an die Verstärkungsschicht. Es wurde eine vergleichbare Qualität von allen in der Ausführung erreicht.



(a) Umfangswickelverfahren an der 5-Achsen-Wickelmaschine

(b) Herstellung der textilen Verstärkung mit dem Flechtrad

(c) flachgestricke Schlauchstruktur mit biaxialer Verstärkung

Abb. 7: Textile Verstärkung auf Formholzröhren mit (a) Wickel- und (b) Flechttechnik (c) Rundgestricke (Schläuche)

In den durchgeführten Versuchen erzielten Formholzrohre mit CFK-Wickelung deutlich höhere Traglasten (Steigerungen um über 50 %) und ein duktileres Verhalten im Vergleich zu unverstärkten Referenzproben. Ferner belegen die Versuche, dass bereits ein geringer Bewehrungsgrad Traglast und Duktilität der Formholzrohre signifikant steigert. Verstärkungsgrad, Faserwinkel und Material lassen sich der statischen Beanspruchung anpassen. Bei schlanken Rohrprofilen mit geringer Wandungsstärke und axialer Druckbeanspruchung lassen sich Faserbewehrungen als Verstärkung sehr wirtschaftlich einsetzen. Zum Thema Formholzprofile wurde vom laFB eine „HHT-Praxisempfehlung: Formholzprofile“ erarbeitet.

Literatur

- [1] Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 0330722A-C Hochleistungsholztragwerke – HHT, Februar 2011
- [2] Haller, P.; Birk, T.: Der Einsatz von multiaxialen Nähgewirken und Biaxialgestricken zur Verstärkung von Holzkonstruktionen. In: Curbach, M.; Hegger, J. (Editor). 2. Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS2). TU Dresden. 2003. S. 235-246
- [3] Weise, M.: Traglastuntersuchungen an nachgiebig verbundenen Bauteilen mit verstärkten Knotenpunkten am Beispiel einer Gitterrostkonstruktion, Diplomarbeit unveröffentlicht, TU Dresden, 2010
- [4] Werner, H.: Stiftverbindungen – Spalteffekte und Verstärkungsmaßnahmen, Holzbauwerke nach Eurocode 5, Grundlagen Entwicklungen Ergänzungen Step 3, S.9/1-9/29, Informationsdienst Holz, Fachverlag Holz, 1995

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Fr. Schäcke	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de