

Stitch!

Vernähte Furniere zur Unterbindung von Rollschubversagen und Delamination

Programm / Ausschreibung	THINK.WOOD, THINK.WOOD Innovation, THINK.WOOD Innovation - Holz als Werkstoff/Holzbaustoff	Status	laufend
Projektstart	01.05.2022	Projektende	30.10.2025
Zeitraum	2022 - 2025	Projektlaufzeit	42 Monate
Keywords	Verbindungstechnik; Laminat; Composite; Funktionalisierung		

Projektbeschreibung

Holz zeigt ein weites Spektrum an Festigkeiten. Bei Zugbelastungen in Längsrichtung weist ein Laubholz wie Birke eine Festigkeit von bis zu 140MPa auf. Unter Schubbelastungen quer zur Längsrichtung, genannt Rollschub, weist es jedoch nur eine Festigkeit von rund 4MPa auf. Gerade bei Werkstoffen aus Schäl furnieren wird dieses Versagen durch fertigungsinduzierte Schäden ("Lathe Checks") provoziert. Bei Sperrhölzern bzw. Furnierschichthölzern kommt es daher unter Biegebelastungen häufig zu einem Rollschubversagen in jenen Bereichen, die eine hohe Schubbelastung aufweisen. Insbesondere tritt dieses Versagen in den Vordergrund, wenn das Sperrholz hochfeste Decklagen, z.B. aus faserverstärkten Kunststoffen, aufweist.

Im Bauingenieurwesen wird dem Zugversagen von Betonstrukturen oder dem Querkzugversagen von Holzstrukturen durch das Einbringen von Zugstäben (Bewehrungen) bzw. Schrauben begegnet. Ein vergleichbarer Ansatz bei Furnier-Werkstoffen nicht zur Anwendung. Dabei könnten Zugstäbe auch hier ein Rollschubversagen und ein Delaminieren unterbinden.

Im Projekt "Stitch!" wird untersucht, ob durch Nähte solche Zugstäbe eingebracht werden können. Die Forschungshypothesen vom Projekt "Stitch!" sind: Durch das Vernähen von Furnieren kann ein Schubversagen sowie eine Delamination an den Außenlagen von Furnier-Laminaten vermieden werden. Dadurch wird die Biegefestigkeit und auch die Energie-Aufnahme bei Biegeschlagbelastungen wesentlich erhöht.

Das Vernähen von Furnieren wird im Möbeldesign schon jetzt als Verbindungstechnik bzw. aus ästhetischen Gründen eingesetzt. In "Stitch!" wird die gezielte Werkstoffertüchtigung durch das Vernähen von Furnieren untersucht.

Abstract

Wood shows a wide range of strengths. Under longitudinal tensile loads, a hardwood such as birch has a strength of up to 140MPa. However, under shear loads transverse to the longitudinal direction, called rolling shear, it only exhibits a strength of around 4MPa. Especially with materials made of rotary cut veneers, this failure is provoked by production-induced damage ("lathe checks"). In the case of plywoods or laminated veneer lumber, rolling shear failure therefore frequently observed - in particular when the plywood features high-strength face layers, e.g. of GRP or CFRP.

In civil engineering, the tensile failure of concrete structures or the transverse tensile failure of wooden structures is tackled by inserting tension rods (reinforcements) or bolts. Though tension rods could prevent rolling shear failure and delamination

in veneer laminates, a similar approach was so far not adopted here.

The "Stitch!" project is investigating whether tension rods can be inserted through sewing-threads. The research hypotheses of the project "Stitch!" are: By sewing veneers, a shear failure in the middle layers as well as a delamination on the outer layers of veneer laminates can be avoided. This significantly increases the bending strength and also the energy absorption in the case of bending impact loads.

The sewing of veneers is already used in furniture design as a joining technique or for aesthetic reasons. In "Stitch!", the targeted strengthening of materials through sewing of veneers is investigated.

Endberichtkurzfassung

Ergebnisse des Projekts "Stitch!"

Nähverstärkte Holzfurnier-Lamine: mechanischen Eigenschaften und Anwendungspotenziale

1. Einleitung und Projektmotivation

1.1. Kontextualisierung der Herausforderung

Die Weiterentwicklung hochleistungsfähiger Holzwerkstoffe erfordert eine gezielte Überwindung materialspezifischer Schwachstellen. Während Holz in bestimmten Belastungsrichtungen exzellente mechanische Eigenschaften aufweist, begrenzen inhärente Anisotropien sein volles Leistungspotenzial in komplexen Anwendungen. Die strategische Bewehrung dieser Schwachpunkte ist daher ein entscheidender Faktor für die Erschließung neuer Einsatzgebiete und die Steigerung der Materialeffizienz.

Holzwerkstoffe, insbesondere solche aus Schäl furnieren, weisen eine signifikante Schwäche unter Schubbelastung quer zur Faserrichtung auf, die als Rollschub bezeichnet wird. Die Festigkeitsunterschiede sind gravierend: Ein Laubholz wie Birke kann bei Zugbelastung in Längsrichtung Festigkeiten von bis zu 140 MPa erreichen, während die Rollschubfestigkeit lediglich bei ca. 4 MPa liegt. Diese Diskrepanz wird durch fertigungsbedingte Vorschädigungen, sogenannte "Lathe Checks" (Schälrisse), die bei der Furnierherstellung entstehen, zusätzlich provoziert. In Sperrhölzern und Furnierschichthölzern führt dies unter Biegebelastung häufig zu einem vorzeitigen Rollschubversagen in Zonen hoher Schubbeanspruchung. Das Problem tritt besonders dann in den Vordergrund, wenn hochfeste Decklagen, beispielsweise aus faserverstärkten Kunststoffen, zum Einsatz kommen, da diese die Belastung in die schwächere Kernstruktur leiten.

1.2. Lösungsansatz und Forschungshypothese

In Anlehnung an etablierte Bewehrungsstrategien aus dem Bauingenieurwesen – wie dem Einsatz von Stahl in Betonstrukturen oder Schrauben zur Übertragung von Querkraften – verfolgte das Projekt "Stitch!" einen vergleichbaren Ansatz für Furnierwerkstoffe. Die zentrale Forschungshypothese wurde zweigeteilt formuliert: Es sollte erstens untersucht werden, ob das gezielte Einbringen von Nähten als zugfeste Verstärkungselemente ein Schubversagen und eine Delamination verhindern kann. Zweitens sollte ermittelt werden, welche resultierenden Effekte diese Verstärkung auf die mechanischen Eigenschaften hat, insbesondere im Hinblick auf die statische Biegefestigkeit und die dynamische Energieaufnahme bei schlagartigen Belastungen.

1.3. Projektziele

Das übergeordnete Ziel des Projekts war die Übertragung der genannten Bewehrungsprinzipien auf Holzfurnier- und Holz-Hybrid-Lamine, um Delaminationen sowie Rollschubversagen zu unterbinden und die Toleranz gegenüber Schlagschäden sowie die Schlagzähigkeit zu erhöhen. Um diese Ziele zu erreichen, wurde ein strategischer Ansatz der systematischen Untersuchung der Prozessparameter verfolgt, der drei Kernbereiche umfasste: das Substrat (z.B. Holzfeuchte), den Verbinder (z.B. Garnmaterial, -aufbau) und die Maschine (z.B. Nadelgeometrie, Prozessgeschwindigkeit).

2. Analyse der Prozessparameter und Fertigungsaspekte

2.1. Nadel, Garn und Substrat

Nadelgeometrie: Die Form der Nadelspitze hat einen direkten Einfluss auf die Schädigung des Holzsubstrats. Es zeigte sich ein klarer Zielkonflikt: Schneidende Spitzen (LR, LL, DH, P, S, aber auch die D-Spitzen) erforderten die geringsten Eindringkräfte (insbesondere die LL-Spitze), führten jedoch in manchen Fällen zu ausgedehnten Spaltungen im Furnier. Als ideal erwies sich die D-Spitze (Dreikantspitze). Ihre Geometrie verdrängte - zumindest in diesem Anwendungsfall - die Holzfasern anstatt sie zu durchtrennen, minimiert dadurch die Bildung von Mikrorissen und kombiniert eine geringe Spaltwirkung mit einer hohen Verschleißfestigkeit.

Garnauswahl: Die Analyse von Nähdefekten ergab, dass nicht Nadelbruch, sondern Fadenbruch das primäre prozesstechnische Problem darstellte. Überraschenderweise besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der Garnstärke/spezifischem Gewicht (TEX) und der Häufigkeit von Fadenbrüchen. Sowohl zu dicke als auch zu dünne Garne neigen zu Fadenbrüchen – im ersten Fall durch zu hohe Reibung zwischen Substrat und Faden – im zweiten Fall durch zu hohe Spannungen im Faden. Entscheidend ist auch der Fadenaufbau: Besonders günstig ist das Vorhandensein einer sogenannten Innenbondierung, um ein Ausfasern zu unterbinden. Ein vorteilhaftes Eigenschaftsprofil des Fadens kombiniert geringe Steifigkeit mit hoher Bruchdehnung und mittlerer Festigkeit – wie das etwa bei Nylon der Fall ist.

Holzfeuchte: Eine höhere Holzfeuchte wirkte sich positiv auf die Prozessstabilität aus. Sie reduzierte sowohl die Häufigkeit von Garnbrüchen als auch die direkte Schädigung des Substrats durch die Nadelpenetration. Insbesondere bei unverleimten und ungesperrten Furnieren führte ein zu trockener Zustand zu ausgedehnten und kritischen Schädigungen.

2.2. Untersuchung der Maschinenparameter

Nahtführung und Nähgeschwindigkeit: Der Prozess erlaubt eine präzise Platzierung der Nähte, die bis auf 2–3 mm an die Bauteilkante herangeführt werden können, ohne ein Ausreißen des Holzes zu verursachen. Mit einer Stichfrequenz von 150 Stichen pro Minute konnte eine durchschnittliche Nähgeschwindigkeit von 1 m/min erreicht werden, was eine gute Grundlage für eine skalierbare Fertigung darstellt.

Prozesslimitationen: Eine verfahrenstechnische Herausforderung stellt der Substratförderer dar. Trotz präziser Führungen kann es zu ungleichen Stichweiten kommen, was die Homogenität der Verstärkung beeinträchtigen kann und eine kontinuierliche Prozessüberwachung erfordert.

3. Mechanische Eigenschaften

3.1. Schäl- und Schubbelastung

Die Versuche zur Rissausbreitung zwischen den Furnierlagen (Mode I und Mode II) zeigten ein stark differenziertes Bild der Wirksamkeit der Nähverstärkung.

Schälversuch (Mode I): Bei Versuchen mit sogenannten nDCB (gekerbter Doppel-Kragarm-Balken) Proben wurde eine Erhöhung der Spitzenkraft um das 4 fache und eine Erhöhung der Bruchenergie um das 14-fache ermittelt. Insbesondere Nylon erwies sich als geeignet. Bei schwelender Mode I- Belastung (50 bis 90% der Bruchfestigkeit) wurde eine wesentliche Erhöhung der Dauerfestigkeit nachgewiesen.

Schubversuch (Mode II): Bei Versuchen mit ENF Proben wurde keine signifikante Verhaltensänderung bei der Standardkonfiguration beobachtet. Numerische Modelle zeigten ein maximales Potenzial zur Steigerung der Spitzenkraft um 1/3 an – jedoch nur bei Einsatz sehr dicker, steifer und schräg eingebrachter Fäden (z.B. Aramid, 0,5 mm oder Carbon, 0,8 mm unter 45° Vernähung).

3.2. Biege- und Schlagbelastung

Statischer Biegeversuch: Die Vernähung führte zu einem Abfall der Biegefestigkeit . Dies lässt sich auf die unvermeidbare Schädigung der zug- und druckbelasteten Deckfurniere durch den Nähprozess zurückführen. Der negative Effekt war dabei stark von der Vorschädigung der Furniere aus dem Schälprozess abhängig.

Biegeschlagversuch Holz-Laminate: Ebenso wie beim statischen Biegeversuch zeigte sich eine Abnahme der Biegeschlagarbeit infolge der Vernähung.

Biegeschlagversuch Holz-Hybrid Laminate, lokal vernäht: Eine gezielte, lokale Vernähung mit Geweben in Bereichen abseits des höchsten Biegemoments führte zu einer deutlichen Erhöhung der Bruchschlagarbeit. In Kombination mit Geweben, die außerhalb dieses kritischen Bereichs angenäht wurden, konnte die Bruchschlagarbeit sogar auf das Fünffache des Referenzwertes gesteigert werden. Voraussetzung ist jedoch der Einsatz von Textilien mit hoher Schiebefestigkeit, also einem großen Widerstand gegen das Verschieben von Kett- und Schussfäden gegenüber ihrer Ausgangslage.

3.3. Resttragfähigkeit und Querkzugverhalten

Weitere Versuche bestätigten das hohe Potenzial der Technologie zur Steigerung der Schadenstoleranz.

Compression after Impact (CAI): Bei reinen Holz-Furnierlaminaten wurde eine um +30 % höhere Resttragfähigkeit nach einer Stoßbelastung festgestellt. Bei Holz-EPS-Schaum-Sandwichlaminaten betrug die Steigerung der Resttragfähigkeit sogar +70 % .

Querzugversuche: Die Vernähung führte zu keiner Erhöhung der Spitzenkraft. Jedoch wurde eine deutliche Erhöhung der Bruchenergie beobachtet, insbesondere in Verbindung mit flexiblen Filmklebstoffen, was auf ein duktileres Versagensverhalten hindeutet.

4. Anwendungspotenziale und innovative Fertigungsansätze

Die im Projekt "Stitch!" gewonnenen Erkenntnisse gehen über die reine Materialverbesserung hinaus. Sie ermöglichen neue Design- und Fertigungsparadigmen, bei denen die Naht nicht nur als Verstärkung, sondern auch als funktionales und verbindendes Element dient.

Die Vernähung kann traditionelle Prozessschritte ersetzen und dadurch Fertigungsketten vereinfachen.

Ersatz für den Klebstoff-Pressvorgang: Sofern der für eine Verklebung erforderliche Anpressdruck unter 0,2 MPa liegt, kann dieser durch eine entsprechend dichte Vernähung aufgebracht werden, wodurch ein separater Pressvorgang entfallen kann.
Ersatz für Klebstoffe in Hybrid-Laminaten: Insbesondere bei der Anbindung von Geweben an Holzoberflächen kann die Vernähung als primäres Verbindungsmittel dienen und den Einsatz von Klebstoffen vollständig substituieren. In diesem Fall kann sich auch eine erhebliche Reduktion der Fertigungszeiten von Laminaten (z.B. bei Lamellengrößen eines Skateboards) einstellen – von rund 170 Minuten auf unter 60 Minuten (inkl. Sortierung, Schleifbearbeitung, Klebstoff-Aufbringung, Pressen, Aushärten, bzw. Vernähen, CNC Nachbearbeitung und finaler Schleifbearbeitung)

Die Technologie ermöglicht die Realisierung neuartiger Bauteilkonzepte und -Geometrien.

"Drop-Stitching": Dieses Konzept erlaubt das präzise Vernähen von zwei Holzplatten mit einem definierten Luftspalt (der hernach z.B. mit einem Schaum oder einem anderen fugenfüllenden Material aufgefüllt werden kann), wodurch leichte und gleichzeitig steife Sandwichstrukturen ohne einen klassischen Kernwerkstoff realisiert werden können.

Demonstrator-Projekte: Anhand von realisierten Demonstratoren, wie einer faltbaren Bank und mehreren Hockern (in Zusammenarbeit mit der Universität Innsbruck, Projekt Plates2Structures), wurden vier Kernanwendungen der Technologie erfolgreich validiert:

Verbindung unterschiedlicher Materialien: Fügen von Geweben, Polymerfolien und Holzlaminaten zu multifunktionalen Hybriden.

Lokale Verstärkung: Ertüchtigung von Zonen, die stark auf Schälung beansprucht werden.

Substitution von Klebstoffen: Einsatz der Naht als alleiniges Fügeelement.

Ausformung von Gelenken: Integration von flexiblen, gewebebasierten Scharnieren direkt in die Holzstruktur.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick für die Materialentwicklung

Das Projekt "Stitch!" hat gezeigt, dass die Nähverstärkung von Holzfurnier-Laminaten eine vielversprechende Technologie mit einem stark differenzierten, anwendungsspezifischen Potenzial ist. Sie ist kein universelles Mittel zur Steigerung aller mechanischen Eigenschaften, sondern ein Werkzeug zur gezielten Verbesserung von Schadenstoleranz, Zähigkeit und zur Realisierung neuartiger Hybridstrukturen.

Die folgende Tabelle fasst das Potenzial der Technologie für verschiedene Belastungsarten und Anwendungsfelder zusammen.

Anwendungsfeld / Belastungsart

Bewertung des Potenzials & Begründung

Schälbelastung (Mode I)

Sehr hohes Potenzial: Massive Steigerung von Festigkeit, Dauerfestigkeit und Energiefreisetzungsrate.

Schlagartige Biegebelastung

Sehr hohes Potenzial (in Holz-Hybrid-Laminaten mit Geweben): Signifikante lokale Verstärkung und massive Steigerung der Biegeschlagarbeit.

Stoßbelastung (Impakt)

Sehr hohes Potenzial: Reduzierung und Begrenzung des Schadensausmaßes in Sandwich- und Laminatstrukturen bei Schlägen rechtwinklig zur Laminebene.

Gelenke & Hybridverbindungen

Hohes Potenzial: Geeignet zur Ausbildung gewebebasierter Gelenke und als Ersatz für Klebstoffe, v.a. bei Geweben.

Querzugbelastung

Hohes Potenzial: Mechanische Ertüchtigung in Verbindung mit Filmklebstoffen (Erhöhung der Bruchenergie).

Pressdruck-Applikation

Situatives Potenzial: Einsetzbar, um geringe Pressdrücke (zwischen 0,2 und 0,4 MPa) aufzubringen.

Schubbelastung (Mode II)

Sehr begrenztes Potenzial: Kaum Verbesserung der Festigkeit oder Energiefreisetzungsrate unter Standardbedingungen.

Klebstoffersatz

Situatives Potenzial: Abhängig von der Größe des Bauteils, ist eine erhebliche Reduktion der Fertigungszeiten möglich.

Biegebelastung

Negativer Effekt Reduzierung der Festigkeit durch unvermeidbare Schädigung der Furniere. Jedoch: ein positiver Effekt kann bei Hybrid-Laminaten (z.B. Holz-Gewebe) herbeigeführt werden, wenn die Nähte nicht im Bereich der höchsten Biegebelastungen liegen.

Die kritische und wichtigste Erkenntnis des Projekts ist, dass das Einbringen von Nähten zwangsläufig zu einer Schädigung und damit zu einer Schwächung der Furniere führt. Die Technologie eignet sich daher nicht für eine globale, sondern für eine gezielte, lokale Verstärkung – zumeist quer zur Laminebene. Für jede spezifische Anwendung ist folglich eine lokalisierte, anwendungsfall-spezifische Abwägung unumgänglich: Überwiegen die Vorteile einer zonalen Ertüchtigung, wie eine drastisch erhöhte Schlagzähigkeit, die Nachteile einer reduzierten statischen Biegefestigkeit? Diese differenzierte Betrachtung bildet die Grundlage für die Entwicklung zukünftiger Fertigungsprozesse und die Konstruktion innovativer Holz-Hybrid-Lamine unter Anwendung von nahtbasierten Verbindern.

Projektkoordinator

- Technische Universität Graz

Projektpartner

- Weitzer Woodsolutions GmbH
- Fill Gesellschaft m.b.H.
- Groz-Beckert Kommanditgesellschaft
- W.E.I.Z. Forschungs & Entwicklungs gGmbH