Herstellung mehrschichtiger hochverdichteter Faserverbundwerkstoffe aus Bambus und Fichte

Holz - ein natürlicher Faserverbundwerkstoff

Seit jeher wird Holz zur Konstruktion von Möbeln, Sportgeräten und Bauteilen verwendet. Dennoch ist das Potenzial dieses nachwachsenden Rohstoffs bisher nicht ausgereizt. Die Holzzellen bestehen aus zugfesten Cellulosefasern und druckbeständigem und formgebendem Lignin. Holz ist somit ein natürlicher Faserverbundwerkstoff.

Holz transportiert während des Wachstums Wasser, weshalb die Zellen hohl sind und "Kanäle" bilden. Diese begrenzen die mechanischen Eigenschaften insbesondere von schnellwachsenden heimischen Hölzern wie Fichte. Mechanisch belastbarere und dichtere Tropenhölzer sind ökologisch problematisch und stellen insofern keine Alternative dar. Hinzu kommt, dass Holz in Abhängigkeit der Feuchtigkeit quillt und schwindet und Inhomogenitäten aufweist.

Ansatz 1: Zweistufige Verdichtung

Eine kürzlich veröffentliche Nature-Studie beschreibt ein zweistufiges Verdichtungsfahren, mit dem die Hohlräume der Holzzellen annähernd vollständig komprimiert werden können. Dadurch verbessern sich die mechanischen Eigenschaften massiv da:

- ✓ Zusätzliche Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Cellulosefasern ausgebildet werden
- ✓ Das Faservolumenverhältnis durch die teilweise Delignifizierung verbessert wird
- ✓ Quell- und Schwindverhalten des Holzes fast vollständig eliminiert wird

Ansatz 2: Mehrschichtiger Aufbau

Holz ist ein stark anisotroper Werkstoff, d.h. die Belastbarkeit hängt wesentlich von der Faserrichtung ab. Mit klassischen Bearbeitungsmethoden kann der Faserverlauf nur sehr eingeschränkt an auftretende Kräfte angepasst werden. Für komplexere Bauteile werden deshalb naturfaserverstärkte Kunststoffe eingesetzt.

Die Idee war daher, mehrschichtige Proben aus dünnen Lagen herzustellen. Die prozess- und produkttechnischen Vorteile:

- ✓ Schadstellen im Rohmaterial sind besser vermeidbar
- ✓ Delignifizierung wird verkürzt und ist gleichmäßiger
- ✓ Faserrichtung kann in jeder Lage variiert und an auftretende Kräfte angepasst werden

Darüber hinaus wurde das Verfahren auf den besonders schnell nachwachsenden Rohstoff Bambus adaptiert. Das verholzende Süßgras zeichnet sich durch besonders zugfeste und parallel verlaufende Fasern aus.



unbehandelte Fichte

um 75 % komprimierte Fichte mehrschichtige hochverdichtete Fichte (Faserverlauf: 0°, 90°, ...)

1. Delignifizierung


Abb. 1

Die Proben wurden um ca. 45% delignifiziert. Hierzu wurde das in der Papier-Industrie bekannte Kraftverfahren angewendet (Abb.2). Prozessparameter für 44 x 44 x 120 mm Fichtenproben:

- 2,5 mol NaOH, 0,4 mol Na_2SO_3 wässriger Lösung
- 7 h Aufschluss bei leichtem Köcheln
- Auswaschung des gelösten Lignins

Je nach Probengeometrie und Holzart müssen diese angepasst werden. Das besonders saugfähige Stirnholz darf nicht direkt auf dem Gefäßboden stehen und somit verdeckt werden. Ziel der teilweisen Delignifizierung ist die Flexibilisierung der Zellwände - die Grundlage für die anschließende Komprimierung.

Methoden und Vorgehensweise

Zur Überprüfung der vorgestellten Ansätze wurden viele Proben hergestellt und deren mechanische Eigenschaften untersucht. Es waren Vorversuche notwendig, um die für die Holz-Verdichtung benötigten Prozessparameter zu ermitteln. Die Literatur hält sich hier knapp.

Die unbehandelten Fichtenrohlinge (120 x 44 x 44 mm) wurden allesamt aus einer Bohle geschnitten und so Unterschiede im Rohmaterial reduziert. Zur Herstellung der mehrschichtigen Proben wurden dünnere Rohlinge delignifiziert. Vor der Komprimierung wurden diese dann übereinander in der Pressvorrichtung gestapelt. Zwischen den einzelnen Lagen wurde Lignin als eine Art holzeigener Klebstoff hinzugegeben.

Außerdem wurden Tam-Vong-Bambus-Proben hergestellt (Herkunft Vietnam). Aufgrund des geringeren Rohrdurchmessers musste die Probengeometrie abgewandelt werden (120 x 32 x 22 mm).

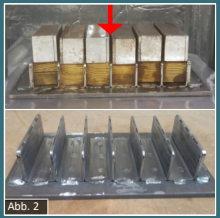
Versuche durchgeführt beim

Fraunhofer IFAM

2. Komprimierung

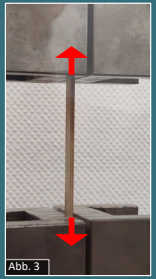
Mittels einer hydraulischen Laborpresse wurde mit folgenden Parametern eine Komprimierung von maximal 75% erreicht:

- 5 MPa bei 100 °C für 24 h
- 20 min Abkühlphase auf ca. 38 °C


Abb. 2

Bei Vorversuchen sind Proben lateral zerrissen, weshalb eine Pressvorrichtung (Abb. 2) angefetigt wurde. Die Jahresringe liegen horizontal. Bambusfasern sind nach der teilweisen Delignifizierung so flexibel, dass diese dazu neigen, sich während des Pressens gegeneinander zu verschieben. Es muss daher eine rundum geschlossene Pressvorrichtung verwendet werden.

3. Zugversuche


Abb. 3

Mit den hochverdichteten Proben wurden Zugversuche in Anlehnung an DIN EN 572-4 durchgeführt. Die Probengeometrie betrug 120 x 7 x 2 mm (Abb. 3). Zusätzlich wurden Flachfaserverstärkte PLA/PBS-Proben als Vergleich hergestellt und getestet. Hierzu wurden unidirektionale Flachsfasermatten mit PLA/PBS-Folien bei 150 °C und 4,2 MPa für 20 min verpresst.

Bisher wurde keine "Knochenform"-Geometrie verwendet, da diese per CNC-Fräse ausgefräst werden müsste. Daher waren Einspannbrüche kaum vermeidbar. Auch mit Bambusproben wurden Zugversuche und zusätzlich Dreipunkt-Biegeversuche durchgeführt. Bei der Komprimierung der Bambusproben sind teilweise Fasern gegeneinander verschoben worden, weshalb der Stichprobenumfang geringer als der der Fichtenproben ist.

4. Scherversuche mit zweifacher Kerbung

Die mehrschichtigen Proben wurden mit Lignin gefügt. Um die Scherfestigkeit der Einzellagen zu überprüfen, wurden die Proben zweifach gekerbt. Dadurch kann die interlaminare Scherfestigkeit in Anlehnung an DIN EN 1465 ermittelt werden :

- Kerbenabstand: 11,3 mm
- Kerbentiefe: 7,5 mm
- Kerbenbreite: 1 mm


Abb. 4

Es wurden zunächst zweilagige Proben hergestellt (Abb. 4), um die interlaminare Scherfestigkeit besser bestimmen zu können. Dabei wurde sowohl Laubbaum- als auch Nadelbaumlignin zur Fügung verwendet. Zum Vergleich wurden einlagige unbehandelte und verdichtete Proben getestet. Die Lignine lassen sich aus dem Restprodukt der Delignifizierung gewinnen.

ZUS

- 3,7-fache Erhöhung der absoluten Zugfestigkeit von hochverdichteter Fichte
- Lignin als holzeigener "Klebstoff" für mehrschichtigen Aufbau einsetzbar
- Gleichmäßigere Delignifizierung durch mehrschichtigen Aufbau
- Erhöhte Biege- und Zugfestigkeit bei Bambusproben
- Reduzierung der natürlichen Inhomogenität
- Quell- und Schwindverhalten stark verringert
- Anwendungsspektrum potenziell erweitert

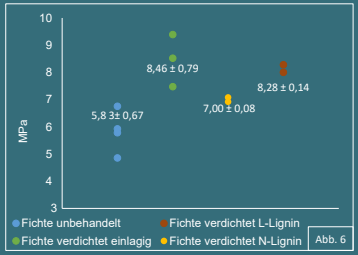


Abb. 6

INTERLAMINARE SCHERFESTIGKEIT

Die Lagen der mehrschichtigen Proben sind mit Lignin gefügt. Die Belastbarkeit dieser "Klebung" wird mit der interlaminare Scherfestigkeiten bestimmt. Mit Laubbaum-Lignin konnte eine interlaminare Scherfestigkeit erreicht werden, die nur knapp unter denen der einlagigen Kontrollproben liegen (Abb. 6). Der Stichprobenumfang muss allerdings noch vergrößert werden, um diese Ergebnisse abzusichern. Bei den Scherversuchen ist es bei 8,28 MPa zum Adhäsionsbruch gekommen. Um zukünftig die Adhäsion zu verbessern, soll das Eindringen des Lignins in die Holzzellen erleichter werden, durch Auftrag in gelöster Form.
Grundsätzlich sind Bauteile aus mehreren dünneren Lagen herstellbar. Der Faserverlauf kann somit an auftretende Kräfte angepasst werden. Aufgrund der dünneren Einzellagen ist die Delignifizierung gleichmäßiger und beschleunigt. Außerdem können Schadstellen im Rohmaterial besser vermieden werden.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

ZUGFESTIGKEIT VON FICHTE UND BAMBUS

Durch die Verdichtung konnte die absolute Zugfestigkeit von Fichte um den Faktor 3,5 auf 287 MPa gesteigert werden (Abb. 7). Auch die spezifische Zugfestigkeit konnte um den Faktor 1,4 gegenüber den unbehandelten Kontrollproben gesteigert werden. Beide Werte liegen deutlich über denen von flachsfaserverstärktem PLA. Dieses wird bereits im Leichtbau verwendet. Insbesondere bei den Proben aus komprimierter Fichte ist es zum Einspannbruch gekommen - es sind also noch höhere Zugfestigkeiten zu erwarten.

Auch die Zugfestigkeit von Bambus konnte durch die Verdichtung gesteigert werden. Die spezifische Zugfestigkeit scheint allerdings leicht gesunken. Der Stichprobenumfang muss jedoch noch vergrößert werden. Bei den Dreipunkt-Biegeversuchen ist die Biegefestigkeit von Bambus durch die Verdichtung gesteigert worden.

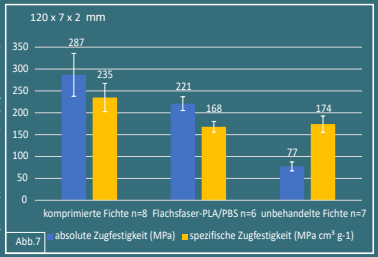


Abb.7

ZUKÜNFTIGE FORSCHUNG

- Genaue Bestimmung der Delignifizierungsdauer für unterschiedliche Hölzer und Probengeometrien
- Adhäsion zwischen Holz und Lignin verbessern (z.B. durch Lösen in Alkohol vor Auftrag).
- Stichprobenumfang der Bambusproben vergrößern und eine rundum schließende Pressform konstruieren.