

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 155 (2004)
Heft: 12

Artikel: Verleimung von Laubholz für den tragenden Einsatz
Autor: Bernasconi, Andrea
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098149>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 11.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Verleimung von Laubholz für den tragenden Einsatz

ANDREA BERNASCONI

Keywords: Hardwood; gluing; timber engineering. FDK 82 : 83

1. Einleitung

Die Verleimung von Laubholz für den tragenden Einsatz im Bauwesen ist auch ausserhalb der Schweizergrenze ein sehr aktuelles Thema. Mehrere Forschungsprojekte wurden in den letzten Jahren zu diesem Thema lanciert, um die grundsätzliche Möglichkeit der Verwendung von einigen Laubhölzern im Bauwesen zu klären, um die Grundlagen in der dazu erforderlichen wissenschaftlichen Form zu erarbeiten und um die für die Bemessung nach den heutigen Kriterien erforderlichen Kenngrössen zu definieren. Der Absatz von Laubholz in den Bereichen der tragenden Strukturen wird teilweise auch mit Interesse von den Holzproduzenten zur Kenntnis genommen, sowohl bei Nischenprodukten – wie zum Beispiel der Herstellung von Produkten aus verleimter Robinie in Österreich – als auch bei der möglichen Erschliessung neuer Märkte – wie der Einsatz von Buchenholz im Hausbaubereich. Die in letzter Zeit feststellbare, zunehmende Aufmerksamkeit der Architekten für den Holzbau oder für den Einsatz des Holzes in der Gestaltung und im Entwurf von Bauwerken aller Art führt die Diskussion häufig auf die Möglichkeit des Einsatzes von anderen Holzarten als die üblichen Nadelhölzer.

Tatsächlich aber wird Laubholz im tragenden Bereich kaum verwendet, nicht zuletzt weil dem Planer nur in sehr geringem Mass die dazu erforderlichen Grundlagen zur Verfügung stehen. In diesem Zusammenhang bieten sich dem Planer in der Schweiz relativ gute Rahmenbedingungen an, da die einheimischen Normvorschriften als «entwicklungsoffen» bezeichnet werden können und somit der für die Ausarbeitung von unkonventionellen oder neuen Lösungen erforderliche Mehraufwand in vielen Fällen noch vertretbar ist. Zudem verfügen in der Regel auch die Betriebe und die Industrie des Holzbaus über keine praktische Erfahrung mit Laubholz. Deren Beteiligung an Pilotprojekten ist nur dann möglich, wenn die daraus entstehenden Risiken kalkulierbar und abgesichert sind.

Es ist also nicht überraschend, dass genau in der Schweiz die wenigen, einzelnen Bauobjekte, deren Tragstruktur teilweise aus verleimtem Laubholz besteht, zu finden sind. Es seien hier als Beispiele der Seeparksaal in Arbon aus dem Jahre 1984 und die Strassenbrücke in Eggwil aus dem Jahre 1985 genannt. In beiden Fällen wurde Brettschichtholz (BSH) aus Buche eingesetzt und Buche dort verwendet, wo grössere Beanspruchungen oder die Einleitung von grösseren Kräften ein leistungsfähigeres Material verlangten als das «übliche» Fichtenholz. In diesen Fällen muss man buchstäblich von Pilotobjekten sprechen. Die Grundlagen zur Bemessung wurden aufgrund von speziell dazu durchgeführten Forschungsuntersuchungen erarbeitet. Diese Pionierarbeit wurde von Prof. Gehri durchgeführt, damals am Lehrstuhl für Baustatik und Stahlbau der ETH von Prof. Dubas tätig. Weitere vereinzelte Anwendungen von verleimtem Laubholz folgten (Abbildung 1). Zu einem Durchbruch des Laubholzes ist es jedoch nicht gekommen. Die zwei genannten Objekte sind zur Zeit bereits 20 Jahre alt und gelten nach wie vor als gute Beispiele für die mögliche Verwendung von verleimtem Laubholz im Bauwesen für den tragenden Einsatz.

Die folgenden Ausführungen sollen einige Anhaltspunkte zum heutigen Stand des Wissens über die Verleimung von Laubholz und insbesondere über die mechanische Leistung von verleimtem Laubholz geben. Die Angaben beziehen sich auf mehrere Forschungsarbeiten, die unter anderem im Rahmen der mehrjährigen Tätigkeit des Verfassers an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) in Hamburg und der engen Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe von Prof. Schickhofer der Technischen Universität (TU) in Graz entstanden sind.

2. Grundfragen zur Verleimung von Laubholz

2.1 Klebstoffe

Im klassischen Holzleimbau werden zur Zeit – für die Verklebung von Nadelhölzern – verschiedene Klebstoffe eingesetzt, die sich in der chemischen Zusammensetzung, in der Handhabung bei der Herstellung und in den Anwendungsmöglichkeiten des fertigen Produktes zum Teil stark unterscheiden. Für die Verklebung von Laubhölzern stehen grundsätzlich die gleichen Klebstoffe zur Verfügung wie für Nadelhölzer, da eine Entwicklung von speziellen Klebstoffen für den Einsatz bei einer spezifischen Laubholzart einen zu grossen Aufwand zu verlangen scheint. Unterschiedliche Struktur und Inhaltsstoffe des Laubholzes lassen eine Voraussage über die Eignung einer Klebstoffart für eine bestimmte Holzart sehr schwierig werden. Zahlreiche, systematische Vergleichsuntersuchungen (PITZNER *et al.* 2001) haben deutlich gezeigt, dass sogar bei der Verwendung von Klebstoffen der gleichen Art grosse Unterschiede in der Qualität der Verklebung entstehen können. So führen gleichartige Klebstoffe unterschiedlicher Hersteller (z.B. verschiedene Resorcin-Klebstoffe oder verschiedene Polyurethanklebstoffe) bei der Verklebung des gleichen Holzsortimentes (gleiche Holzart, gleiche Herkunft, gleiche Bearbeitung, gleiche Lagerung usw.) teilweise zu gegenteiligen Ergebnissen in der Qualität der Verklebung des Endproduktes.

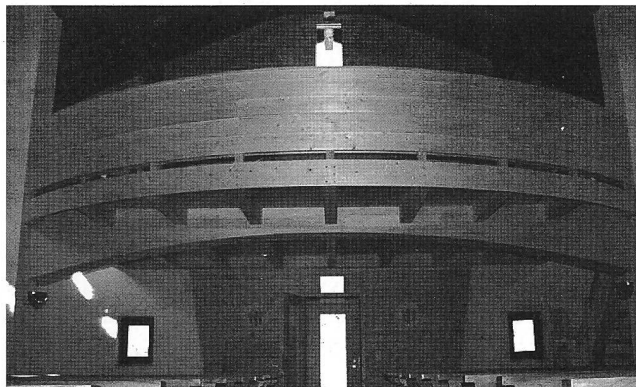


Abbildung 1: Empore der Kirche Samnaun (Kanton Graubünden), Baujahr 1994.

Der Unterzug besteht aufgrund der hohen Festigkeit und Steifigkeit aus Buchen-BSH.

Es würde den Rahmen dieser Darstellung deutlich sprengen, die Ergebnisse von Vergleichsuntersuchungen im Detail darzustellen. Es scheint aber wichtig, zumindest darauf hinzuweisen, dass die Eignung eines bestimmten Klebstoffes zur Verklebung einer Laubholzart einzeln untersucht und überprüft werden soll.

2.2 Holzarten

Mehrere Laubholzarten sind im Hinblick auf die Herstellung von geklebten Holzprodukten für den tragenden Bereich im Bauwesen von Interesse. Auf BSH aus Robinie und Buche wird in den nächsten Kapiteln vertiefter eingegangen. Die folgenden Hinweise stellen eine Zusammenfassung mehrerer Untersuchungen dar, die zur Klärung der Verklebbarkeit der einzelnen Laubholzarten und zur Bestimmung der mechanischen Leistung der geklebten Verbindungen durchgeführt wurden.

2.2.1 Buche

Buchenholz ist nicht zuletzt wegen der sehr guten mechanischen Eigenschaften von Interesse. Aus diesem Grund wurde es bereits mit Erfolg eingesetzt. Seine Verklebung bietet in der Regel kaum Probleme und die meisten Klebstoffe führen zu positiven Ergebnissen (WALTHER 2002).

Buchenholz kann sehr gut technisch getrocknet werden, was im Hinblick auf die Verklebung und auf die Anwendung im Innenbereich von grossem Interesse ist. Das Buchenholz weist eine sehr geringe biologische Resistenz auf, was eine Anwendung im Aussenbereich ohne besondere Behandlung praktisch ausschliesst.

Die Herstellung von verklebtem Buchenholz ist nicht nur möglich, sondern auch viel versprechend, wie weiter unten dargestellt wird.

2.2.2 Eiche

Eichenholz hat in der Zimmermannskunst eine sehr grosse Tradition, die auf seine gute Resistenz bei feuchtem Klima, auf seine guten mechanischen Eigenschaften senkrecht zur Faserichtung und auf seine hohe Rohdichte zurückgeführt werden kann. Diese Merkmale sind nämlich für viele Anwendungen in der klassischen Holzbauweise unerlässlich.

Die Anwendung auf die moderneren Techniken und Bauweisen ist aber weniger zu empfehlen. Eichenholz ist nur mit grossem Aufwand technisch zu trocken, wodurch die Verklebung erschwert wird. Dazu konnte bei den meisten getesteten Klebstoffen keine einwandfreie Verklebung erreicht werden. In vielen Fällen wurde die Verklebung als sehr problematisch beurteilt.

Die mechanische Untersuchung an Eichenlamellen zur Herstellung von Brettschichtholz zeigt zudem, dass Eichenholz ähnliche Kennwerte der Biege- und Zugfestigkeit aufweist wie Fichtenholz. Die deutlich aufwendigere und problematischere Herstellung von BSH aus Eiche würde somit zu einem Produkt führen, das im Vergleich zu Fichtenholz eine bessere Dauerhaftigkeit und ein höheres Gewicht bei gleichen Abmessungen, aber keine besseren mechanischen Eigenschaften aufweisen würde. Ob ein solches Produkt mit Erfolg auf dem breiten Markt abgesetzt werden kann oder lediglich zu einem Nischenprodukt für spezielle Anwendungen werden kann, soll hier nicht weiter untersucht werden.

2.2.3 Esche

Das Holz der Esche wurde nur selten als Bauholz eingesetzt. Es sind einige Untersuchungen aus dem Verbindungsbereich

in der Schweiz (MISCHLER 1998) und erste Untersuchungen in Zusammenhang mit der Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften von Laubholz in Österreich zu nennen. Aus beiden lässt sich schliessen, dass das Holz der Esche im Hinblick auf eine Verwendung im tragenden Bereich zumindest aufgrund der erreichbaren mechanischen Leistungen von Interesse sein könnte. Über die Verklebung von Esche sind jedoch noch kaum Ergebnisse vorhanden.

2.2.4 Robinie

Das Holz der Robinie ist wegen seiner ausgezeichneten Dauerhaftigkeit von grossem Interesse. Die Beschaffenheit des Holzes lässt die Herstellung von Elementen in Bauteilgrösse sehr aufwendig werden, weshalb die Verklebung interessant ist.

Obwohl eine optimale Verklebung zur Zeit kaum möglich ist, wurde die Entwicklung mit dieser Holzart so weiterverfolgt, dass Produkte aus verklebtem Robinienholz in Österreich hergestellt werden.

In den nächsten Kapiteln wird auf die Eigenschaften von verleimtem Robinienholz weiter eingegangen.

2.2.5 Edelkastanie

Das Holz der Edelkastanie weist eine ähnliche Dauerhaftigkeit auf wie das der Robinie. Auch in diesem Fall stellt die Verklebung eine wesentliche Voraussetzung für die Verwendung im tragenden Bereich dar. Die Gruppe von Prof. Gehri, gemeinsam mit der Gruppe der Holzabteilung der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) in Dübendorf, hat erste Untersuchungen in diesem Zusammenhang vor über zehn Jahren durchgeführt. Obwohl das Kastanienholz in den letzten Jahren immer wieder aktuell geworden ist und die Produkte aus den Kastanienwäldern des Kantons Tessin zur Zeit wieder entdeckt werden, wurde die Umsetzung von Produkten aus verleimtem Kastanienholz (noch) nicht weiter verfolgt.

2.3 Untersuchung und Prüfung der Verklebung

2.3.1 Kleinproben

Die Prüfung und Untersuchung der Holzverklebung wird im Rahmen der Qualitätsprüfung und der Zulassungsverfahren in der Produktion von BSH und weiteren Produkten regelmässig eingesetzt und ist durch Normen und Richtlinien geregelt. Dazu werden in der Regel – und nicht zuletzt aus Kostengründen – einfache Prüfverfahren eingesetzt, die aus der Laborprüfung von Kleinproben bestehen. Zu nennen sind hier insbesondere die Querkzug- und Scherproben an kleinen Prüfkörpern. Dabei werden aus einem verklebten Holzelement

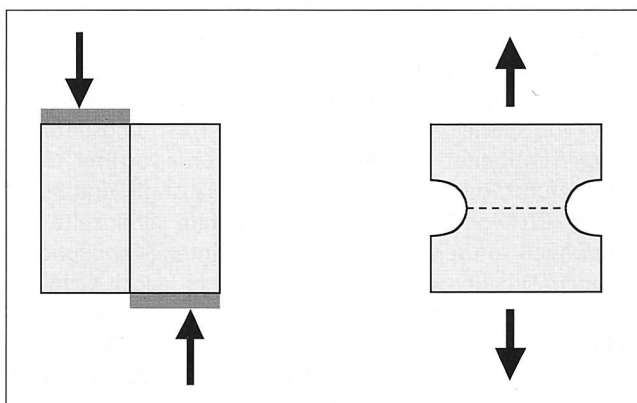


Abbildung 2: Kleinproben aus Würfeln 50 x 50 x 50 mm.

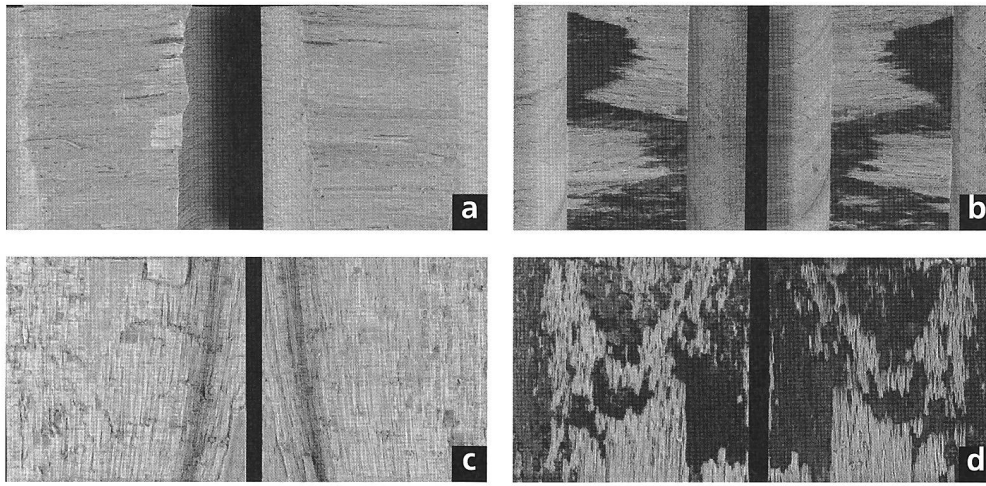


Abbildung 3: Bruchflächen der Kleinproben.

a: Querzugprobe mit 100% Holzbruch;
 b: Querzugprobe mit teilweisem Klebstoffbruch;
 c: Scherprobe mit 100% Holzbruch;
 d: Scherprobe mit teilweisem Klebstoffbruch.

Proben entnommen, die etwa 50 x 50 x 50 mm aufweisen und mittig eine Klebfuge beinhalten (Abbildung 2). Die Querzug- und die Scherprüfung erlauben die Bestimmung der Bruchfestigkeit des Holzes und der Klebfuge sowie die prozentuale Einteilung des Bruches in die zwei Kategorien des «Bruches in der Klebstofffuge» und des «Holzbruches». Diese letzte Feststellung ist von grosser Bedeutung für die Beurteilung des Gesamtergebnisses, da sie eine sofortige Aussage über das Einhalten der einfachen Anforderung «kein Bruch in der Klebstofffuge» erlaubt (Abbildung 3). Diese einfache Bedingung gewährleistet, dass die Verklebung keine Schwachstelle des verklebten Produktes darstellt. Sie gibt dadurch eine erste Aussage über die Eignung des betrachteten Klebstoffes. Da diese Art der Prüfung grundsätzlich nicht an die Einhaltung von vordefinierten Festigkeitswerten gebunden ist, kann sie grundsätzlich bei jeder Holzart eingesetzt werden.

Diese Prüfverfahren sind für die Vorabklärung der Eignung bestimmter Klebstoffe zur Verklebung von einzelnen Holzarten sehr gut geeignet, da ohne zu grossen Aufwand die Qualität der Verklebung unter verschiedenen Bedingungen untersucht werden kann und die ungeeigneten Kombinationen von Klebstoffen und Holzarten auf einfache Art und Weise erkannt werden können.

2.3.2 Herstellung von Elementen in Bauteilgrösse

Im Hinblick auf die Produktion von verklebten Holzprodukten für den tragenden Bereich und auf die Bestimmung deren mechanischer Eigenschaften ist die Herstellung und Prüfung von Elementen in der so genannten Bauteilgrösse unumgänglich.

Die Handhabung und Verwendung von Laubholz in der Leimholzindustrie sind zum heutigen Zeitpunkt nicht üblich. Die beim Laubholz unterschiedlichen Bedingungen (Gewicht des Holzes, Steifigkeit der Lamellen, schnellere Abnutzung der Werkzeuge, teilweise unterschiedliche Presszeiten und Pressdruck für die Verklebung usw.) sorgen häufig zu Beginn der Produktion für komplizierte und aufwendige Abläufe. Die für Nadelholz geltenden Erfahrungen und daraus abgeleiteten Einstellungen in der Produktion müssen zuerst für die verwendete Laubholzart neu gesammelt werden. Bereits die Beschaffung von Lamellen in den für die Produktion von BSH aus Nadelholz üblichen Abmessungen kann bei Laubhölzern zum Problem werden, da derartige Sortimente auf dem Markt einfach nicht vorhanden sind.

Trotz dieser Schwierigkeiten, die keineswegs verschwiegen oder unterschätzt werden dürfen, zeigen die in den nächsten Kapiteln dargestellten Ergebnisse, dass die Produktion von BSH aus bestimmten Laubholzarten grundsätzlich mit den heute bestehenden Einrichtungen und Erfahrungen durchaus möglich ist.

2.3.3 Mechanische Eigenschaften der Produkte

Die Bestimmung mechanischer Eigenschaften von Bauelementen hat an Prüfelementen in Bauteilgrösse zu erfolgen. Die Untersuchung derartiger Elemente ist auch für den Fall des Produktes BSH unerlässlich. Die Prüfanordnung und die Durchführung sind z.B. in der EN 408 geregelt.

Im Hinblick auf die Produktion von BSH ist die leistungsfähige Verklebung keilgezinkter Stösse von grosser Bedeutung. Die Umsetzung der Ergebnisse aus Untersuchungen von geklebten Stössen an Kleinproben auf die Lamellengrösse scheint kaum möglich zu sein, so dass die Überprüfung der Leistung keilgezinkter Stösse an Laubholzlamellen unbedingt auf experimentellem Weg stattfinden muss.

Die mechanischen Eigenschaften von BSH-Elementen sind direkt von den Eigenschaften der dazu verwendeten Lamellen abhängig. Die Entwicklung von BSH aus Laubholz setzt somit die mechanische Charakterisierung der Lamellen und zumindest die Bestimmung ihrer Zugfestigkeit und Zugsteifigkeit voraus. Die experimentelle Untersuchung der mechanischen Eigenschaften der BSH-Elemente erlaubt dann die Bestimmung der mechanischen Leistung des fertigen Produktes und die Überprüfung der für Nadelholz bekannten Gesetzmässigkeiten.

3. BSH aus Robinienholz

Im Rahmen der bereits erwähnten Forschungsarbeiten wurden zwischen 1996 und 1999 verschiedene Untersuchungen an BSH und weiteren verleimten Produkten aus Robinienholz durchgeführt (JAUERNIG 1997, SCHICKHOFER 1999, JEREMIAS 1999). Obwohl die Verklebung von Robinienholz sich als alles andere als einfach erwiesen hat und insbesondere die Herstellung von leistungsfähigen keilgezinkten Stössen besonders problematisch scheint, konnten verschiedene Platten- und Balkenprodukte hergestellt und erfolgreich getestet werden.

Für den Aufbau von Brettschichtholz wurden Lamellen mit geringer Dicke (20 mm) und Breite (100 mm) verwendet. Diese für BSH-Verhältnisse eher kleine Abmessungen sind durch die Beschaffenheit und die Bereitstellung der Lamellen bedingt gewesen. Als Beispiel für die mögliche Leistung von verklebten Produkten aus Robinienholz werden hier lediglich die Ergebnisse aus der Herstellung und Prüfung von BSH-Elementen mit kleinen Querschnitten dargestellt. Die Prüfung und die Auswertung erfolgten gemäss EN 408.

Die Untersuchung von BSH-Biegebalken erfolgte unter anderem an Balken mit kleinen Querschnittsabmessungen von 300 mm x 100 mm. Dabei wurde ein charakteristischer Wert der Biegefestigkeit von 40,0 N/mm² und ein Mittelwert des

Biege-E-Modul von $18,5 \text{ kN/mm}^2$ festgestellt. Obwohl diese Werte auf die genannten geringen Querschnittsabmessungen bezogen sind, handelt es sich um durchaus interessante Werte, wenn man die Werte für das übliche BSH aus Fichte von 24 N/mm^2 für den charakteristischen Wert der Beigefestigkeit und von $11,0 \text{ kN/mm}^2$ für den Mittelwert des E-Moduls als Vergleich hinzuzieht. Ein Einsatz im tragenden Bereich könnte nicht nur zur Ausnutzung der ausgezeichneten Dauerhaftigkeit des Robineinholzes, sondern auch im Hinblick auf die guten mechanischen Eigenschaften sinnvoll sein.

4. BSH aus Buche

Wie bereits erwähnt wurde die Verwendung von BSH aus Buchenholz bereits vor Jahren erfolgreich in einzelnen Ingenieurbauwerken umgesetzt. Systematische Untersuchungen über BSH aus Buche – und im Allgemeinen über die Verwendung von Buchenholz für den tragenden Bereich – sind jedoch erst in den letzten Jahren entstanden. Im Rahmen eines umfangreichen Projektes über Buchenholz der BFH in Hamburg wurde unter der Leitung des Verfassers BSH aus Buche hergestellt und im Hinblick auf die mechanische Eigenschaften untersucht (FRÜHWALD *et al.*, 2002). Das Hauptziel dieser Untersuchung lag darin, die potentiellen Möglichkeiten des Produktes BSH aus Buche für den Einsatz im tragenden Bereich zu beschreiben. Die wesentlichen Aspekte dieser Untersuchung¹ und deren Ergebnisse werden hier in gekürzter Form dargestellt.

4.1 Konzept der Untersuchung

Das Ausgangsmaterial bestand aus 20 m³ Buchenbrettern aus unterschiedlicher Herkunft in Deutschland. Die Bretter mit vier Metern Länge wurden aufgrund einer Spezifikationsliste eingekauft, die unter anderem einen Anteil bis 50% an Rotkern zugelassen hat und Äste mit einem Durchmesser über einem Drittel der Brettbreite ausgeschlossen hat. Die Abmessungen wurden im Rohzustand auf $4000 \times 165 \times 38 \text{ mm}$ festgelegt, um nach Trocknen und Hobeln ein Fertigmass $3800 \times 150 \times 30 \text{ mm}$ gewährleisten zu können. Es wurden sonst ähnliche Qualitätsanforderungen gestellt, wie bei der Lieferung von Fichtenlamellen zur Herstellung von BSH. Ein Teil des Materials ist gedämpft worden.

Die somit etwa 700 verfügbaren Buchenlamellen wurden einer Festigkeitssortierung unterzogen und in drei gleich grosse Festigkeitsgruppen eingeteilt. Die Gruppen wurden als A, B und C bezeichnet. Die Sortierung erfolgte im Rahmen einer weiteren und umfangreicheren Forschungsarbeit über die Festigkeitssortierung von Laubholz an der TU in Graz und wird hier nicht weiter beschrieben.

Aus jeder Gruppe wurden etwa 20 Lamellen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften herausgenommen. Dabei wurden repräsentative Stichproben der jeweiligen Gruppe gebildet. Diese Lamellen wurden einer Zugprüfung entsprechend EN 408 unterzogen und dabei die Zugfestigkeit und -steifigkeit bestimmt.

Aus den übrigen Lamellen wurde eine geringere Anzahl für die Herstellung und Prüfung von keilgezinkten Stössen herausgenommen, die jedoch im Rahmen dieser Untersuchung lediglich einen informativen Charakter aufwies.

Aus den in drei Festigkeitsgruppen eingeteilten Lamellen wurden Brettschichtholzträger hergestellt, die anschliessend einer Biegeprüfung nach EN 408 unterzogen wurden. Es

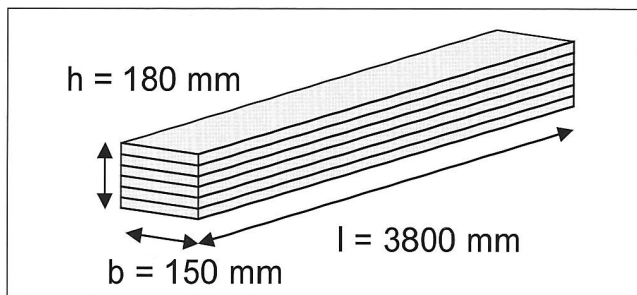


Abbildung 4: Träger aus Buchen-BSH zur Biegeprüfung.

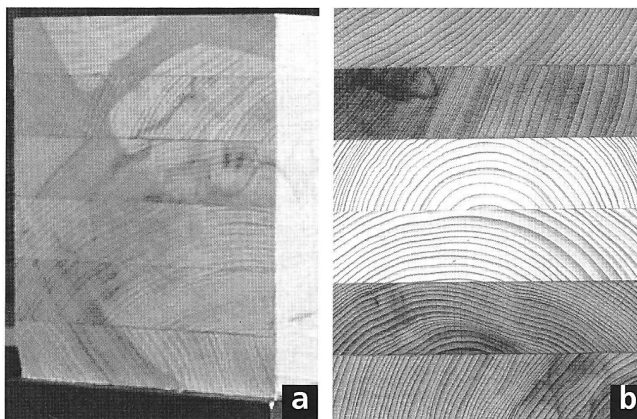


Abbildung 5: Untersuchte Querschnitte.

a: homogener Aufbau aus sechs Buchenlamellen; b: kombinierter Aufbau mit den zwei inneren Lamellen aus Fichte.

konnten insgesamt 101 Biegeträger hergestellt und geprüft werden, die hauptsächlich aus homogenem BSH aus Buchenlamellen und in einem geringeren Umfang aus einer Kombination von Buchen- und Fichtelamellen bestanden. Die hergestellten Träger hatten eine Länge von 3800 mm und Querschnittsabmessungen $150 \times 180 \text{ mm}$ (Abbildungen 4 und 5). Die für BSH-Träger eher kleinen Abmessungen sind mit der angestrebten Anwendung im Hausbaubereich zu begründen, wo derartige Abmessungen der Querschnitte durchaus üblich sind. Zur Verleimung wurden drei verschiedene Klebstoffarten verwendet, die im Rahmen von Voruntersuchungen ihre Eignung für die Herstellung von verklebten Elementen aus Buchenholz bestätigt hatten.

Der Einfluss von Klimaschwankungen wurde ebenfalls im Rahmen dieser Forschungsarbeit untersucht. Dazu wurden BSH-Elemente mit den gleichen Querschnittsabmessungen wie für die mechanischen Untersuchungen hergestellt und unterschiedlichen klimatischen Bedingungen ausgesetzt.

4.2 Materialeigenschaften

Die Rohlamellen zur Herstellung von BSH werden durch ihre mechanischen Eigenschaften charakterisiert, insbesondere durch die Zugfestigkeit (charakteristischer Wert der Zugfestigkeit gleich 5%-fraktile der Zugfestigkeit) und die Zugsteifigkeit (Mittelwert des Zug-E-Moduls).

Tabelle 1: Charakteristische Werte der untersuchten Lamellen aus Buche und Normwerte für BSH-Lamellen aus Fichte.

* Nur bei maschineller Sortierung möglich.

	Ergebnisse Buchenlamellen			Fichtenlamellen nach SIA 265/1		
	A	B	C	T14.5	T18	T26*
$f_{t,0,0,k}$ [N/mm ²]	16,7	21,2	40	14,5	18	26*
$E_{t,50,\epsilon}$ [kN/mm ²]	13,1	14,1	15,1	11	12	14

¹ Bernasconi, A. 2003: BSH aus Buchenbrettern. Untersuchungen an Biegebalken zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften. Ergebnisse und Feststellungen. Interner Bericht BFH-Hamburg, 40 S.

Die Kennwerte der Lamellen für die drei Gruppen A, B und C sind in der *Tabelle 1* dargestellt. Als Vergleichsmöglichkeit sind die Werte für BSH-Lamellen aus Fichte nach der SIA-Norm 265/1 ebenfalls dargestellt.

Die Kennwerte der Gruppe C, die aus einem Drittel des gesamten Sortimentes besteht, zeigen deutlich, welche mechanische Leistung mit Buchenholz erreicht werden kann. Auffallend ist ebenfalls die grosse Streuung der Festigkeitswerte sowohl allgemein als auch innerhalb der einzelnen Gruppen. Die Gruppe A, die aus dem schlechteren Drittel des Ausgangssortimentes besteht, weist Zugfestigkeiten auf, die dem normalen Bereich der Fichtenlamellen für BSH entsprechen. Daraus ist die Bedeutung einer effizienten Sortierung – hier insbesondere bei Buchenlamellen – zu erkennen. Innerhalb der einzelnen Gruppen ist die Streuung der Werte ebenfalls als gross zu bezeichnen, was bei der Auslegung der Untersuchung der Festigkeit der Biegebalken und deren Auswertung zu berücksichtigen ist.

4.3 Eigenschaften des BSH aus Buche

Die Biegebalken wurden in einem BSH-Werk mit den üblichen Einrichtungen und unter den üblichen Bedingungen hergestellt. Die Querschnitte wurden unter Berücksichtigung der Eigenschaften jeder Lamelle so aufgebaut, dass verschiedene Gruppen von Biegebalken gebildet wurden, die ähnliche Eigenschaften und somit eine möglichst geringe Streuung der Kennwerte aufweisen.

Wie erwartet konnte kein Einfluss des verwendeten Klebstoffes auf die mechanischen Eigenschaften festgestellt werden. Ebenfalls konnten keine nennenswerten Unterschiede in den Biegeigenschaften zwischen den homogenen und den kombinierten Querschnitten innerhalb der gleichen Gruppe festgestellt werden. Dies ist wenig überraschend, da die Biegefestigkeit und die Biegesteifigkeit der Träger von den äusseren Lamellen bestimmt werden, während die inneren Lamellen für die Schubeigenschaften zuständig sind. Es konnten bei den kombinierten Trägern teilweise Schubbrüche in den mittleren Fichtenlamellen festgestellt werden, die mit den zu erwartenden Schubfestigkeiten von BSH-Elementen aus Fichte gut übereinstimmen.

Während den Biegeversuchen (*Abbildungen 6 und 7*) konnten neben den bereits erwähnten Schubbrüchen auch einzelne Biegedruckbrüche beobachtet werden, wo das Versagen des Biegebalkens durch das Versagen der Biegedruckseite eingetreten ist. Da die Bestimmung der charakteristischen Eigenschaften von Biegeträgern in der Regel von einem Versagen der Biegezugseite ausgeht und die üblichen, im Allgemeinen anerkannten Tragmodelle für BSH eine Beziehung zwischen der charakteristischen Zugfestigkeit der Lamellen und der charakteristischen Biegezugfestigkeit des BSH angeben, wurden diese Ergebnisse aus der Auswertung herausgenommen.

Zur Auswertung wurden die ermittelten Festigkeitswerte auf die Referenzhöhe der Biegebalken von 600 mm entspre-

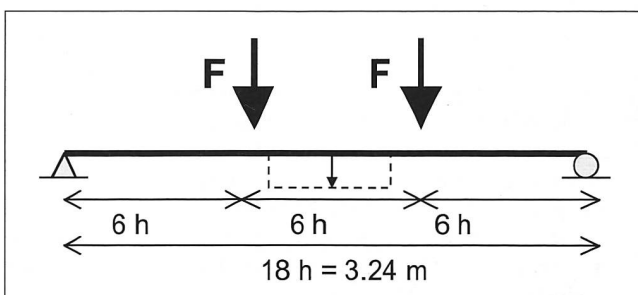


Abbildung 6: Prüfungsaufbau für die Biegeprüfung.

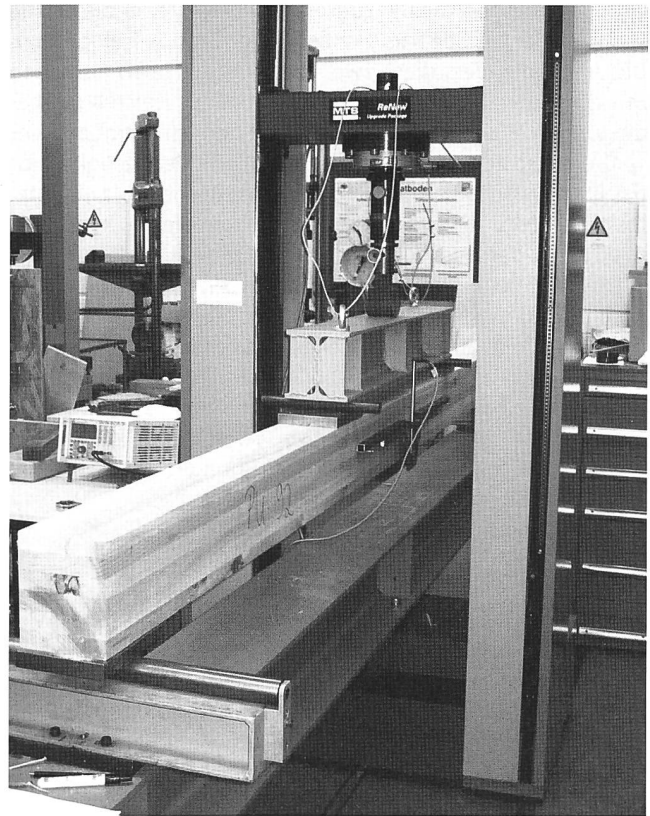


Abbildung 7: Prüfungseinrichtung.

chend der Umrechnungsformel für Nadelholz aus der pr EN 1194² (Exponentenfaktor 0,1) umgerechnet. Die Biegebalken wurden aufgrund der Eigenschaften und der Anordnung im Querschnitt der einzelnen Lamellen in zwei Festigkeitsgruppen zusammengefasst. Die Ergebnisse aus der Biegeprüfung sind in *Tabelle 2* dargestellt. Die Lamellen der geprüften Biegeträger sind in der Länge nicht gestossen worden und somit ohne keilgezinkte Stösse. Bei einzelnen Lamellen wurde eine Keilzinkung aus herstellungstechnischen Gründen notwendig. Diese sind aber beim Aufbau der Biegeträger stets in der Mitte des Querschnittes angeordnet worden, so dass sie keinen Einfluss auf die Biegeigenschaften haben.

Tabelle 2: Charakteristische Werte der untersuchten Biegeträger aus Buche und Normwerte für BSH aus Fichte.

* Nur bei maschineller Sortierung möglich.

	Ergebnisse Buchen-BSH		Fichte-BSH nach SIA 265/1		
	U1	U2	T14.5	T18	T26*
$f_{m,k}$ [N/mm ²]	41,5	55,8	24	28	36*
$E_{m,50}$ [kN/mm ²]	13,5	14,5	11	12	14*

Auch in diesem Fall sind die charakteristischen Werte für das Fichten-BSH gemäss der Norm SIA 265 als Vergleich dargestellt. Zur korrekten Betrachtung der Ergebnisse sind einige Angaben über die zwei Festigkeitsgruppen U1 und U2 notwendig. Die Einteilung der Biegeträger in diese zwei Gruppen erfolgte aufgrund der Eigenschaften der einzelnen Lamellen und des Aufbaus des Querschnittes jedes einzelnen Biegeträgers. Bei der Gruppe U1 wurden an der Zugseite der Biegeträger die besten Lamellen der Gruppe A eingesetzt. Bei der

² Europäische Norm: Holzbauwerke – Brettschichtholz – Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte. Normentwurf pr EN 1194: 1999.

Gruppe U2 wurden an der Zugseite der Biegeträger die besten Lamellen der Gruppe B und Lamellen der Gruppe C eingesetzt. Die Annahme, dass diese zwei Festigkeitsgruppen auf jeden Fall auch den praktischen und realistischen Herstellungsbedingungen entsprechen, scheint somit gerechtfertigt zu sein.

Die erreichten, charakteristischen Werte der Festigkeit für das BSH aus Buche zeigen deutlich, dass Buchenholz ein interessantes Potential im Ingenieurholzbau bieten kann: Die Gruppe U1 der Buchenträger erreicht bereits bessere Festigkeitswerte als die beste, in der Norm SIA 265 vorgesehene Festigkeitsklasse für Fichten-BSH.

Es ist jedoch auch festzustellen, dass die Steifigkeitswerte der Buchenträger nur leicht über denjenigen des Fichten-BSH liegen. Diese Feststellung mag möglicherweise einzelne hohe Erwartungen an das Buchenholz etwas zurückschrauben, widerspricht aber keineswegs den bisherigen Erkenntnissen aus der klassischen Holztechnologie.

4.4 Allgemeine Betrachtungen

Die technische und praktische Machbarkeit von BSH aus Buchenholz ist aufgrund der bestehenden Prototypbauwerken und der nun vorliegenden Ergebnisse auf jeden Fall als bewiesen zu betrachten. Es ist auf jeden Fall darauf hinzuweisen, dass die Herstellung schwieriger und aufwendiger ausgefallen ist als beim BSH aus Fichte. Inwieweit dies auf eine mangelnde Erfahrung diesbezüglich zurückgeführt werden kann, ist schwierig zu sagen und erst durch weitere Arbeiten und Entwicklungen im Bereich der Herstellung von Produkten aus Laubholz für den tragenden Bereich zu klären.

Es musste auch festgestellt werden, dass die Beschaffung von Rohlamellen aus Buche zur Herstellung von BSH alles andere als einfach ist. Die Erklärung dazu, dass dieses Produkt zur Zeit keine Abnehmer hat und darum auch nicht verfügbar ist, ist nahe liegend. Sie erlaubt aber keine konkreten Aussagen über eine mögliche künftige Entwicklung.

Die Herstellung im Werk ist auf jeden Fall aufwendiger und die Spielräume für Toleranzen und Ungenauigkeiten (Hobeln, Pressen, Leimauftrag usw.) sind geringer als bei Fichte. Die Herstellung konnte aber in einem üblichen, normal eingerichteten BSH-Werk erfolgreich durchgeführt werden.

Als Endergebnis dieser Arbeit können BSH-Biegebalken aus Buchenholz vorgestellt werden, die im homogenen oder mit Fichte kombiniertem Querschnittsaufbau deutlich höhere Festigkeitseigenschaften und bessere Steifigkeiten im Vergleich zum Fichten-BSH aufweisen.

Die Streuung der erfassten Werte ist teilweise grösser als erwartet gewesen und auf jeden Fall grösser als bei ähnlichen Untersuchungen an Nadelhölzern. Dies zeigt die wesentliche Bedeutung einer effizienten Festigkeitssortierung und soll bei künftigen Untersuchungen an Buchenholz sowie allgemein an Laubholz in Betracht gezogen werden.

5. Schlussfolgerungen

Dass Laubhölzer interessante Eigenschaften aufweisen, ist keine Neuigkeit. Ebenfalls sind die möglichen Vorteile verschiedener Laubhölzer im Vergleich zu den Nadelhölzern bekannt. Die Anwendung von Laubhölzern für den tragenden Bereich im Bauwesen hat zwar eine grosse Tradition in der klassischen Zimmermannskunst – man denke an die Verwendung von massiven Querschnitten in grossen Abmessungen aus Eiche – sie ist aber in der modernen Ingenieurholzbauweise wenig verbreitet und beschränkt sich auf wenige Prototypen.

Zur Anwendung von Laubhölzern im tragenden Bereich sind kaum vollständige Unterlagen vorhanden; erst in den

letzten Jahren sind die ersten systematischen Untersuchungen zu diesem Zweck entstanden, weitere befinden sich zur Zeit in Bearbeitung. Ebenfalls entstehen zur Zeit im europäischen Raum die ersten Produkte für den tragenden Bereich aus Laubholz. Die durchaus interessanten Eigenschaften von einigen Laubholzarten und ihre Eignung zur Entwicklung des Ingenieurholzbaus und des Holzbaus im Allgemeinen werden langsam bewiesen und bekannt gemacht. Betroffen sind auf jeden Fall die Holzarten Buche, Esche, Robinie und Edelkastanie. Die Liste könnte aber länger werden.

Die ersten Grundlagen und -kenntnisse in Form von Prototypen von Bauwerken und Ergebnissen aus Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind vorhanden und verfügbar. Viele Forschungsinstitutionen verfügen über die dazu erforderlichen Erfahrungen, Kompetenzen und Fähigkeiten. Die Entwicklung und Umsetzung von praxistauglichen Produkten als Zusammenarbeit der Holzproduzenten, der Holzindustrie und der angewandten Forschung können somit beginnen und in kurzer Zeit konkrete Resultate liefern.

Zusammenfassung

Die im Vergleich zu den Nadelhölzern besseren mechanischen Eigenschaften und teilweise auch die bessere Dauerhaftigkeit der Laubhölzer machen eine Verwendung von Laubhölzern im Ingenieurholzbau zumindest interessant. Voraussetzung für die Verwendung von Laubhölzern ist jedoch die Möglichkeit einer einwandfreien Verleimung, da nur dadurch Produkte hergestellt werden können, die die heutigen Ansprüche an Qualität und Leistung erfüllen. Obwohl der erfolgreiche Einsatz von verleimten Laubhölzern bereits vor Jahrzehnten in die Praxis umgesetzt wurde, werden systematische Untersuchungen auf diesem Gebiet erst seit wenigen Jahren durchgeführt. Es werden die Grundfragen im Zusammenhang mit der Herstellung und Anwendung von verleimtem Laubholz im tragenden Bereich erläutert, die dazu in Frage kommenden Holzarten angesprochen und einige Ergebnisse aus verschiedenen Forschungsprojekten über die Verleimung von Laubholz zur Herstellung von Bauelementen dargestellt. Daraus ergeben sich Aussagen über die mechanische Leistung und über die erreichbaren Kennwerte dieser Produkte.

Summary

Gluing of hardwood for supporting construction elements

The better mechanical characteristics and sometimes also the higher durability of hardwood compared to softwood render it useful in construction engineering. What is important when hardwood is used is that the possibility is given of a faultless adhesion, as only then can products be made that fulfil modern requirements with regard to quality and performance. Although the successful practical use of glued hardwood has existed for decades, it is only in the past few years that systematic analyses have been carried out. In the present work we examine fundamental questions regarding the production and use of glued hardwood for supporting construction elements, discuss the types of wood suitable for processing in this way and describe some results from various research projects on the gluing of hardwood to produce construction elements. From this we can draw conclusions on the mechanical properties, performance and the achievable characteristic values of these products.

Translation: ANGELA RAST-MAGERISON

Résumé

Le collage de bois de feuillus pour la production d'éléments porteurs

L'utilisation de produits de bois de feuillus collé peut être très intéressante à cause des caractéristiques mécaniques – et en partie de la durabilité – meilleures que celles du bois de conifères. La possibilité de produire un collage de qualité impeccable, possédant de bonnes performances mécaniques, est une condition importante de la production et de l'utilisation du bois de feuillus. Même si des éléments en bois de feuillus collé ont déjà été utilisés jadis avec succès dans des structures importantes, des études et des recherches systématiques sur la production industrielle et les performances mécaniques de tels produits n'ont commencé que récemment. L'article aborde les questions principales du collage du bois de feuillus pour la production d'éléments porteurs, les essences qui pourraient être utilisées et les résultats de divers projets de recherche. On dispose ainsi d'indications sur les performances mécaniques et les valeurs caractéristiques possibles des ces matériaux.

Literatur

- FRÜHWALD, A.; RESSEL, J.; BERNASCONI, A. 2002: Hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz. Forschungsprojekt. Stand der Arbeiten und Ausblick. Hrsg. BFH Hamburg, 51 S.
- JAUERNIG, H. 1997: Untersuchung über die Verklebung von Robinie bei höheren Holzfeuchten. Diplomarbeit Universität Hamburg, unveröffentlicht, 123 S.
- JEREMIAS, J. 1999: Mechanische Eigenschaften von Konstruktions-schichtholz aus Robinie. Diplomarbeit Universität Hamburg, unveröffentlicht, 74 S.
- MISCHLER, A. 1998: Bedeutung der Duktilität für das Tragverhalten von Stahl-Holz-Bolzenverbindungen. Diss. Nr. 12561, ETH Zürich, 158 S.
- PITZNER, B.; BERNASCONI, A.; FRÜHWALD, A. 2001: Verklebung einheimischer dauerhafter Holzarten zur Sicherung von Marktbe-reichen im Aussenbau. Arbeitsbericht 2001/5 der BFH Hamburg, 74 S.
- SCHICKHOFER, G. & A. 1999: Entwicklung widerstandsfähiger Holz-bauprodukte mit dem Hartholz Robinie. Mechanische und physikalische Kenngrößen von stabförmigen Robinienprodukten für den Einsatz im Baubereich. Hrsg.: TU Graz, Institut für Stahl-bau, Holzbau und Flächentragwerke und Lignum Research e.V. für Holzforschung, Graz, 35 S.
- WALTHER, T. 2002: Verleimung von Buchenholz unter verschiedenen Bedingungen. Diplomarbeit am Institut für Holzphysik und mechanischen Holztechnologie der BFH Hamburg, unveröffent-licht, 68 S.

Autor

Dr. ANDREA BERNASCONI, dipl. Bauing. ETH, Professeur de construction en bois, École d'Ingénieurs du Canton de Vaud, Route de Cheseaux 1, CH-1401 Yverdon-les-Bains. E-Mail: andrea.bernasconi@eivd.ch.