



Untersuchung von Buchenschnittholz (L.) hinsichtlich der Eignung für Brettschichtholz

Matthias Frese, Thomas Riedler

► To cite this version:

Matthias Frese, Thomas Riedler. Untersuchung von Buchenschnittholz (L.) hinsichtlich der Eignung für Brettschichtholz. European Journal of Wood and Wood Products, 2009, 68 (4), pp.445-453. 10.1007/s00107-009-0385-2 . hal-00568259

HAL Id: hal-00568259

<https://hal.science/hal-00568259>

Submitted on 23 Feb 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Draft Manuscript for Review

**Untersuchung von Buchenschnittholz (*Fagus sylvatica* L.)
hinsichtlich der Eignung für Brettschichtholz**

Journal:	<i>Holz als Roh- und Werkstoff</i>
Manuscript ID:	HRW-09-0058.R1
Manuscript Type:	ORIGINALARBEITEN / ORIGINALS
Date Submitted by the Author:	02-Jul-2009
Complete List of Authors:	Frese, Matthias; Universität Karlsruhe, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen Riedler, Thomas
Keywords:	Buchenschnittholz, <i>Fagus sylvatica</i> , Brettschichtholz, National Hardwood Lumber Association, Festigkeitssortierung, Visuelle Sortierung, DIN 4074



Untersuchung von Buchenschnittholz (*Fagus sylvatica* L.) hinsichtlich der Eignung für Brettschichtholz

M. Frese (Korrespondenzautor)

Universität Karlsruhe, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen,
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe, Germany

Matthias.Frese@holz.uka.de

T. Riedler

Ehemals Diplomand am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen

Zusammenfassung Buchenbrettschichtholz für tragende Zwecke muss aus festigkeitssortierten Brettern bestehen. Es ist gegenwärtig davon auszugehen, dass solche Buchenbretter noch nicht verfügbar sind: Es mangelt nicht nur an praktischen Erfahrungen hinsichtlich der Sortierung, sondern auch an definiertem Ausgangsmaterial für Brettschichtholz. Dieser Beitrag zeigt, dass Buchenschnittholz, sortiert in Anlehnung an die Regeln der National Hardwood Lumber Association, ein Potenzial als Ausgangsmaterial für Brettschichtholz besitzt. 218 Bretter, die je zur Hälfte einer hochwertigen und einer durchschnittlichen Qualität entsprachen, wurden hinsichtlich der visuellen Laubholzsortierung in DIN 4074-5 (2003) untersucht. Die Ergebnisse belegen, dass 90% der hochwertigen und 50% der durchschnittlichen Qualität die Anforderungen der Sortierklasse LS10 nach DIN 4074-5 (2003) erfüllen; das ist Voraussetzung für Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL28. Eine zusätzliche maschinelle Sortierung nach dem Elastizitätsmodul ermöglicht es, 80% bzw. 40% für GL40 zu sortieren.

Investigation of beech lumber (*Fagus sylvatica* L.) in regard to suitability for glulam

Abstract Beech glulam for structural purposes has to be manufactured from strength graded beech lumber. At present one can assume that such material is not available on the market: There is not only a lack of practice in strength grading of beech lumber but also a lack of clearly defined raw material to be strength graded for beech glulam. This article aims to show, that beech lumber graded following the Rules of the Measurement and Inspection of Hardwood and Cypress (published by the National Hardwood Lumber Association) has a potential as raw material for beech glulam. 218 beech boards approximately complying with two different grades, an upper and a common grade, were examined in regard to visual strength grading according to DIN 4074-5 (2003). The results show, that 90% of the upper grade and 50% of the common grade boards fulfil the requirements for grade LS10 in DIN 4074-5 (2003). This finally enables the manufacture of

beech glulam in accordance with strength class GL28. In addition, mechanical strength grading taking into account the modulus of elasticity even enables grading of 80% of the upper and 40% of the common grade boards for GL40.

Einleitung

Allgemeines

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Buche (Blaß et al. 2005) führte zu einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ), Nr. Z-9.1-679. Diese regelt homogenes Brettschichtholz aus Buche (*Fagus sylvatica* L.) und hybrides aus Buche und Nadelholz ([Abb. 1](#)).

Deleted: Abb. 1

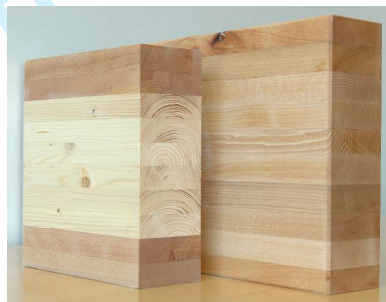


Abb. 1 Hybrides, mit Kernlamellen aus Nadelholz (links) und homogenes Buchenbrettschichtholz (rechts)

Fig. 1 Combined beech-spruce (left-hand side) and homogeneous beech glulam (right-hand side)

Auf der Grundlage dieser Zulassung ist Brettschichtholz aus Buche für tragende Zwecke verwendbar. Weitere wegbereitende oder themenbezogene Arbeiten finden sich im einschlägigen Schrifttum (z.B. Egner und Kolb 1966, Gehri 1985, [Aicher](#) et al. 2001, Frühwald et al. 2003, Blaß und Frese 2006, Frese und Blaß 2006 a, b, Aicher und Reinhardt 2007).

Deleted: Aicher

Buchenbretter, als Ausgangsprodukt für Brettschichtholz, müssen festigkeitssortiert sein. In der abZ ist dafür die visuelle Sortierung nach [DIN 4074-5](#) (2003) vorgesehen, die fallweise um zusätzliche Grenzwerte für die Ästigkeit und den Elastizitätsmodul erweitert ist. Über die Entwicklung der visuellen Sortierung für Buche, die heute in [DIN 4074-5](#) (2003) geregelt ist, berichten Glos und Lederer (2000), über ihre grundsätzliche Wirksamkeit [Frühwald](#) und Schickhofer (2004) sowie Glos und Näher (2005). Es ist

Deleted: DIN 4074-5

Deleted: DIN 4074-5

Deleted: Frühwald

gegenwärtig davon auszugehen, dass festigkeitssortierte Buchenbretter am Markt kaum erhältlich sind. Die in DIN 4074-5 (2003) geregelte visuelle Sortierung von Buchenbrettern für Brettschichtholz ist noch nicht gängige Praxis; es fehlt an Erfahrungen und an definiertem Ausgangsmaterial, das einer Festigkeitssortierung gezielt zugeführt werden kann. Noch stärker als bei der visuellen Sortierung mangelt es an Rahmenbedingungen für eine maschinelle Festigkeitssortierung. Zurzeit befindet sich Buchenbrettschichtholz also in einer Phase, in der es zwar baurechtlich geregelt ist, aber am Markt, auch wegen der fehlenden Nachfrage, des höheren Preises für Buche und der schwachen wirtschaftlichen Vernetzung von Laubholzsäge- und Brettschichtholzindustrie noch nicht verfügbar ist. Könnte die Lücke zwischen Säge- und Brettschichtholzindustrie durch die Benennung von geeignetem oder sogar festigkeitssortiertem Buchenschnittholz geschlossen werden, ließe sich Buchenbrettschichtholz zügiger auf dem Markt anbieten. Es wäre für architektonisch anspruchsvolle Tragwerke im Innenbereich wie Emporen, weit gespannte Treppen oder sichtbare tragende Deckenbalken und Stützen ein geeigneter Baustoff. Vor allem die hohen Werte der Festigkeit, des Elastizitätsmoduls, auch quer zur Faser, der Abriebfestigkeit und der Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln (Ehlbeck und Werner 1992) könnten Buchenbrettschichtholz teilweise zum Ersatz von Stahl und Beton machen.

Deleted: DIN 4074-5

Dieser Aufsatz möchte an der Schnittstelle Laubholzsäge-Brettschichtholzindustrie dazu beitragen, Ausgangsmaterial für Buchenbrettschichtholz zu benennen, und vorrangig die visuelle Sortierung von Buchenschnittholz für Brettschichtholz in der praktischen Umsetzung stärken. Auslöser für die Arbeit war die Überlegung, ob Buchenschnittholz, das in Anlehnung an die Sortierregeln der National Hardwood Lumber Association (2007), NHLA-Sortierregeln, visuell in unterschiedliche Qualitäten vorsortiert wird, auch für die Herstellung von Buchenbrettschichtholz für tragende Bauteile geeignet ist.

Deleted: National

Bei Buchenschnittholz haben sich mittlerweile aus den NHLA-Sortierregeln weiterentwickelte Anwendungssortierungen etabliert, die gezielt auf den Möbel-, Treppen-, und Innenausbau sowie auf die Parkett-, Dielen- und Massivholzplattenherstellung abgestimmt sind. Ihre Bezeichnungen „Superior“, „Cabinet“ und „Custom Shop“ stehen für Schnittholzqualitäten mit hohen, mittleren bzw. geringen Anteilen an langen fehlerfreien Nutzlängen. Bei der

Sortierung, die in Anlehnung an die NHLA-Sortierregeln erfolgt, wird ein Stück Buchenschnittholz nicht als Ganzes bewertet, wie es beim Nadelschnittholz die Regel ist, sondern unter genauer Berücksichtigung seines nutzbaren „Inhalts“. Die Sortierung und schließlich die Qualität des Schnittholzes werden damit insbesondere den Bedürfnissen des Verarbeiters gerecht: Beispielsweise benötigt ein Hersteller von Stühlen eine Schnittholzqualität, die so beschaffen ist, dass kurze rundum fehlerfreie Holzzuschnitte wirtschaftlich hergestellt werden können; derjenige von anspruchsvollen Tischplatten benötigt eine Schnittholzqualität, um lange einseitig fehlerfreie Bretter ohne nennenswerten Verschnitt herzustellen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen Zusammenhänge zwischen festigkeitsrelevanten Eigenschaften, die bei Buchenschnittholz der Qualitäten „Superior“ und „Cabinet/Custom Shop“ beobachtet werden, und Anforderungen an Bretter in DIN 4074-5 (2003) auf. Des Weiteren werden günstige Voraussetzungen für eine zusätzliche maschinelle Festigkeitssortierung des Schnittholzes nach dem Elastizitätsmodul nachgewiesen.

Deleted: DIN 4074-5

Anforderungen an Buchenbretter für Brettschichtholz

Tabelle 1 gibt auszugsweise die Anforderungen an Bretter für Brettschichtholz bis zu einer charakteristischen Biegefestigkeit von 40 N/mm² wieder. Darüber hinaus sind Biegefestigkeiten bis einschließlich 48 N/mm² geregelt. Die in Tabelle 1 angegebenen Anforderungen müssen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit von einem beachtlichen Teil eines Ausgangsmaterials erfüllt werden, damit für entsprechende Brettschichtholz-Festigkeitsklassen erfolgreich sortiert werden kann. Geeignetes Ausgangsmaterial ist folglich eine zwingende Voraussetzung.

Deleted: Tabelle 1

Deleted: Tabelle 1

Tabelle 1 Ausgewählte Brettclassen und Anforderungen an Buchenbretter für Brettschichtholz

Table 1 Selected board grades and terms used in beech glulam

Bezeichnung der Brettklasse	Sortierkriterien <u>DIN 4074-5</u>	Zusätzlich Ästigkeit	E _{dyn} in MPa	Brettschichtholz-Festigkeitsklasse
LS10	LS10			GL28
LS13	LS13			GL32
LS13+A	LS13	DEB ^a ≤ 0,04		GL36
LS13+E14	LS13		14.000 < E _{dyn} ^b	GL40
^a Ästigkeit nach <u>DIN 4074-5</u> (2003), Kriterium Einzelast bei Brettern ^b dynamischer Elastizitätsmodul, aus Längsschwingungen und Bruttoreohdichte ermittelt				

Formatted: Font: 10 pt

Deleted: DIN 4074-5

Formatted: Font: 10 pt

Deleted: DIN 4074-5

Material und Methoden

Ausgangsmaterial

Ausgangsmaterial für diese Untersuchung waren 218 zum Teil unbesäumte Buchenbretter, die hinsichtlich ihrer festigkeitsrelevanten Holzmerkmale zwei grundsätzlich unterschiedlichen Schnittholzqualitäten zugeordnet werden konnten: 119 Bretter erfüllten die Anforderungen der Anwendungssortierung „Superior“ und 99 diejenigen der Anwendungssortierung „Cabinet/Custom Shop“ (Tabelle 2). Die Bretter der beiden Qualitäten unterschieden sich hinsichtlich der Ausprägung der Holzmerkmale Ästigkeit, Faserabweichung, Vorhandensein von Markröhre oder Baumkante, Rissen, mechanischer Schäden, Fäule, Rotkern und sonstiger Verfärbungen. Die Bretter wurden mit einem Blockbandsägen-Einschnitt, tangential um den Stamm herum, hergestellt, vgl. Abb. 2. Sie hatten daher ausschließlich liegende Jahrringe.

Deleted: Tabelle 2

Tabelle 2 Angaben zum Ausgangsmaterial
Table 2 Details on the raw material

Bezeichnung der Anwendungssortierung bzw. Schnittholzqualität	Vergleichbare Klasse der NHLA-Sortierregeln	Beschreibung	Nutzlänge	Anzahl Bretter
Superior ^a	Selects	ein- und zweiseitig weitgehend frei von Holzmerkmalen	lang	119
Cabinet/Custom Shop ^b	No. 2A Common	einseitig mäßig frei von Holzmerkmalen	mittel bis kurz	99
Genaue Zusammensetzung im Einzelnen: ^a 40 Vol% Superior Colour (ohne Farbanforderung) 60 Vol% Superior 1 Face (Anforderungen einseitig erfüllt) ^b 50 Vol% Colour (entspricht Cabinet/Custom Shop, ohne Farbanforderung) 50 Vol% Cabinet/Custom Shop 1 Face (Anforderungen einseitig erfüllt)				

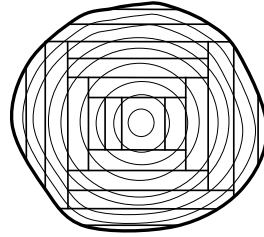


Abb. 2 Schematische Darstellung des Blockbandsägen-Einschnitts, tangential um den Stamm herum, mit der Folge von „liegenden“ Jahrringen bei den Brettern

Fig. 2 Schematic drawing of the band saw cutting method: The log is cut all around causing in particular lumber with “horizontal” annual rings

Die Brettbreite (b_1), aus vier Messwerten (entlang der Brettlänge) gemittelt, lag zwischen 100 und 440 mm, die Brettlänge (ℓ_1) und -dicke (d_1) betrugen einheitlich 3400 mm bzw. 29,5 mm. Das Material war leicht gedämpft. Die Brettoberflächen wurden beim Hersteller nach dem Trocknen und vor der visuellen Vorsortierung geschliffen. Die Oberflächen waren dadurch, im Gegensatz zu traditioneller Blockware, planparallel. Durch die geschliffenen Oberflächen waren visuelle Merkmale sehr gut und eindeutig erkennbar.

Am Ausgangsmaterial wurden die Brutorohdichte ($\rho_{\text{brutto},1}$ = Brettvolumen geteilt durch Brettmasse) und mit dem in kommerziellen Sortiermaschinen eingesetzten Modul ViSCAN, das die Frequenz berührungslos am Hirnholz mittels Laser-Interferometrie ermittelt, die Frequenz einer Längsschwingung ($f_{0,1}$) bestimmt und mit Gleichung (1) der dynamische Elastizitätsmodul ($E_{\text{dyn},1}$) berechnet. Werte, die sich auf das Ausgangsmaterial beziehen, sind mit dem Index 1 bezeichnet.

$$E_{\text{dyn},1} = (2 \cdot f_{0,1} \cdot \ell_1)^2 \cdot \rho_{\text{brutto},1} \quad (1)$$

Für die weitere Untersuchung war es dann erforderlich, das Ausgangsmaterial im Sinne einer wirklichkeitsnahen Verwendung für Buchenbrettschichtholz vorzubereiten. Dazu wurde das Ausgangsmaterial in die drei Gruppen A, B und C eingeteilt, s. Schema in Abb. 3:

(A) 28 offensichtlich unbrauchbare Bretter wie z.B. Bretter mit starken Krümmungen, Markröhre, groben Ästen, Fäule oder langen Schwindrissen (Anzeichen für hohe Eigenspannungen) wurden aussortiert. Dieses Material hätte auch unter Berücksichtigung einer Bearbeitung wie Auskappen von Ästen oder von Fehlstellen nicht die Anforderungen an LS10 oder LS13 erfüllt.

Deleted: (1)

Deleted: Abb. 3

(B) 97 Bretter mit einer Breite über 240 mm, für die Untersuchung generell als zu breit erachtet, und unbesäumte oder spitz zulaufende Bretter wurden aufgetrennt bzw. parallel besäumt. Im Falle von Überbreite wurden so lange 120 mm breite Bretter abgetrennt, bis die verbleibende Breite unter 240 mm lag. Risse und Fehlstellen an den Brettenden wurden durch Kappschnitte entfernt, um wirklichkeitsnahe Voraussetzungen für Keilzinkenverbindungen an den Brettenden zu schaffen. Die teilweise unterschiedlichen Brettlängen (ℓ_2) wurden gemessen. Die Gruppe B umfasste schließlich 145 Bretter.

(C) Bei insgesamt 93 Brettern, die nicht zu den Gruppen A und B zählten, wurde lediglich die effektiv nutzbare Länge (ℓ_{ef}), wo erforderlich, ermittelt.

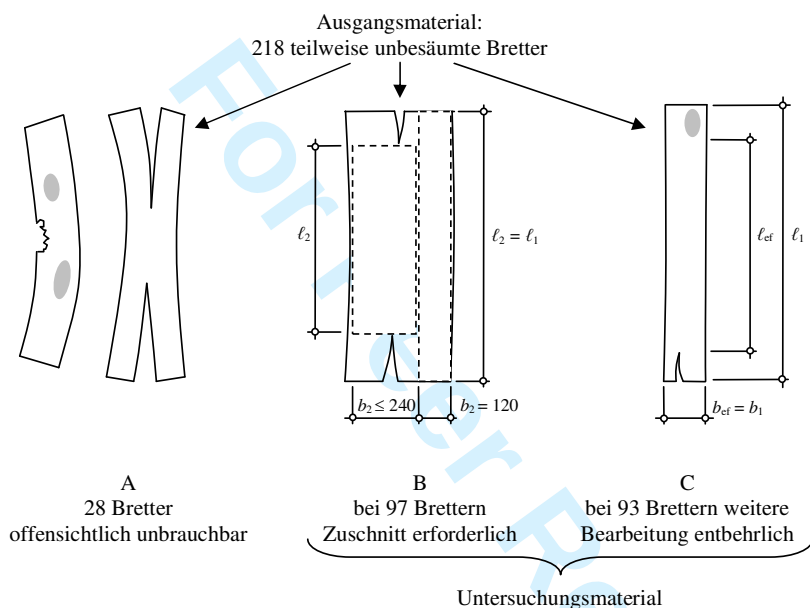


Abb. 3 Schaubild zur Vorbereitung des Untersuchungsmaterials
Fig. 3 Diagram showing preparation of the testing material

Durch diese Maßnahmen verringerte sich das Volumen des Ausgangsmaterials von 4,58 m³ auf den für Brettschichtholz prinzipiell nutzbaren Teil von 3,38 m³, also auf 74%, s. [Tabelle 3](#). Diesen Teil, das endgültige Untersuchungsmaterial, bildeten schließlich die Bretter der Gruppen B und C.

Die Werte in [Tabelle 3](#) machen einen wesentlichen Unterschied deutlich: Von der Qualität „Superior“ sind 91% und von der Qualität „Cabinet/Custom Shop“ nur 53% prinzipiell nutzbar. Die Anzahl der Bretter des Untersuchungsmaterials

Deleted: Tabelle 3

Deleted: Tabelle 3

erhöhte sich auf 238 Stück (145+93), weil im Vergleich mit der Anzahl unbrauchbarer Bretter durch das fallweise Auftrennen mehr Stücke hinzukamen. Die 238 Bretter erfüllten bereits die Sortierkriterien für LS10 und besser – Ästigkeit noch ausgenommen.

Tabelle 3 Volumina des Ausgangs- und Untersuchungsmaterials

Table 3 Volumes of the raw material and the testing material

Anwendungssortierung bzw. Schnittholzqualität	Ausgangs-material in m ³	Untersuchungs-material in m ³	prinzipiell nutzbarer Teil
Superior	2,50	2,27	91%
Cabinet/Custom Shop	2,08	1,11	53%
	Σ 4,58	Σ 3,38	74%

Untersuchungsmaterial

An einer Stichprobe mit 40 Probekörpern, von denen 20 Probekörper jeweils der Qualität „Superior“ bzw. „Cabinet/Custom Shop“ entsprachen, wurde die Holzfeuchte bestimmt. An den Brettern wurde nach ~~DIN 4074-5~~ (2003) die Ästigkeit, Kriterium Einzelast (DEB-Wert) und Kriterium Astansammlung (DAB-Wert), erfasst. An den 145 Brettern der Gruppe B, die durch paralleles Besäumen in ihrer Form verändert wurden, die durch Auftrennen neu hinzukamen oder die durch Kappschnitte kürzer wurden, wurden ein zweites Mal die Bruttoreohdichte ($\rho_{\text{brutto},2}$) und mit dem Messgerät GRINDO-SONIC (Görlacher 1990), das identische Werte wie der ViSCAN lieferte, die Frequenz einer Längsschwingung ($f_{0,2}$) ermittelt und damit der dynamische Elastizitätsmodul ($E_{\text{dyn},2}$) berechnet. Werte, die sich auf das Untersuchungsmaterial beziehen, werden zur Unterscheidung von den am Ausgangsmaterial gemessenen Werten mit dem Index 2 bezeichnet.

Deleted: DIN 4074-5

Ergebnisse

In ~~Abb. 4~~ sind die Häufigkeitsverteilungen der Brettlänge (ℓ_2 und ℓ_{ef}) bzw. -breite (b_2 und b_{ef}) dargestellt. Durch die Kappschnitte an den Brettenden bzw. durch die Festlegung der effektiven Brettlänge, nur bei Brettern der Gruppe C, beträgt die mittlere Länge des Untersuchungsmaterials 3120 mm. Das entspricht 92% der Ausgangslänge. Bei 75% der Bretter liegt die Länge über 3000 mm. Das Mittel

Deleted: Abb. 4

von 3120 mm ist hinsichtlich der Häufigkeit von Keilzinkenverbindungen im Brettschichtholz günstig, denn der Modellierung der Brettschichtholz-Biegefestigkeit liegt eine mittlere Brettlänge von etwa 2600 mm zugrunde (Blaß et al. 2005). Das Auftrennen des Ausgangsmaterials mit der Maßgabe, dass abgeschnittene Bretter eine Breite von 120 mm aufweisen, bedingte die Häufung von Brettern in der Klasse mit der Klassenmitte 110 mm, vgl. [Abb. 4](#) b.

Deleted: Abb. 4

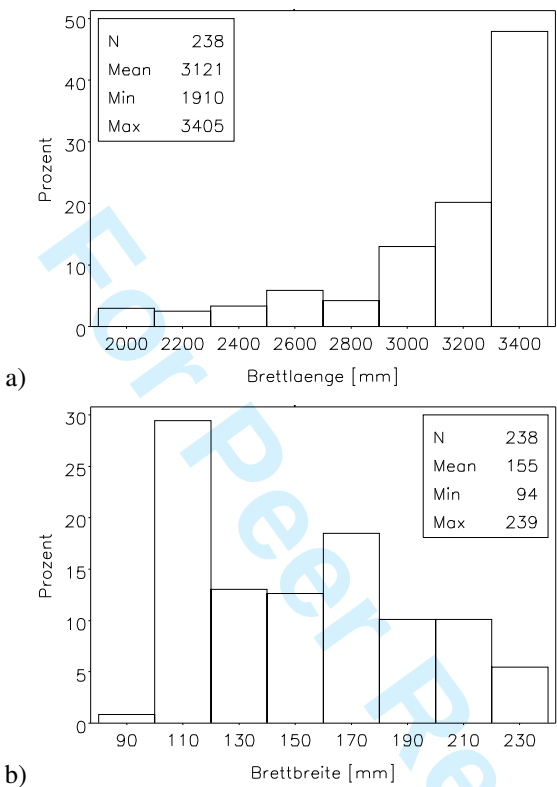


Abb. 4 Häufigkeitsverteilung (a) der Brettlänge und (b) der Brettbreite des Untersuchungsmaterials

Fig. 4 Frequency distribution of (a) board length and (b) board width of the testing material

In [Abb. 5](#) ist die Häufigkeitsverteilung der Holzfeuchte dargestellt: Der Mittelwert beträgt 8,4%.

Deleted: Abb. 5

[Abb. 6](#) verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem maximalen DEB- und dem maximalen DAB-Wert. Das Diagramm mit den Grenzwerten nach [DIN 4074-5](#) (2003) für Einzeläste und Astansammlungen zeigt einmal mehr (Glos und Lederer 2000, Blaß et al. 2005), dass für die visuelle Sortierung hinsichtlich der Ästigkeit

Deleted: Abb. 6

Deleted: DIN 4074-5

die Einzelast allein ausschlaggebend ist und dass diese Feststellung auch für Buchenschnittholz mit ausschließlich liegenden Jahrringen gilt.

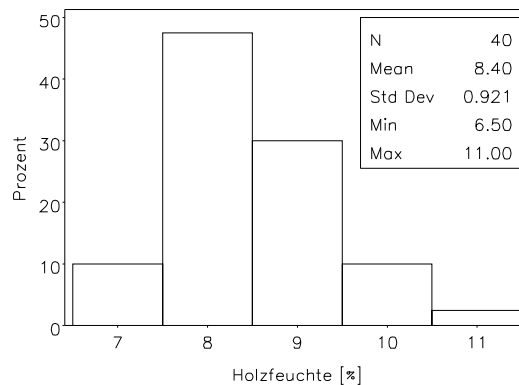


Abb. 5 Häufigkeitsverteilung der Holzfeuchte

Fig. 5 Frequency distribution of the moisture content

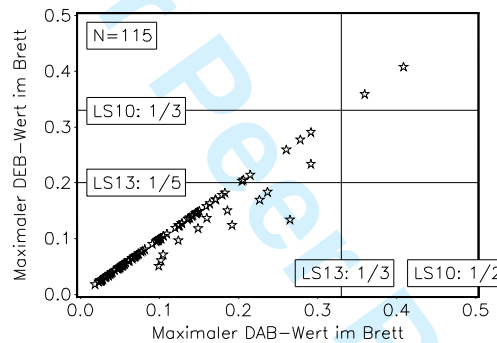


Abb. 6 Ästigkeit des Einzelastes und der Astansammlung: Für eine Sortierung nach [DIN 4074-5](#) (2003) ist hinsichtlich der Ästigkeit die Bewertung des Einzelastes ausreichend

Fig. 6 Knot ratio of the single knot and the knot cluster: For visual strength grading according to DIN 4074-5 (2003) the assessment of the single knot is sufficient

Deleted: DIN 4074-5

Dass der DEB-Wert, ein Verhältnis aus Astgröße und Brettbreite, mit der Brettbreite nur schwach korreliert ist ($r = -0,27$), zeigt Abb. 7. Bretter mit relativ kleinen Ästen sind im gesamten Breitenspektrum vorhanden. Die DEB-Werte sehr breiter Bretter ($170 < b < 230$) weisen ausreichend Spielraum hinsichtlich der Grenzwerte 1/5 und 1/3 auf, so dass diese Bretter durchaus noch aufgetrennt werden könnten. Die einfache Regel angewandt, dass eine Halbierung der Brettbreite höchstens zu einer Verdoppelung des DEB-Wertes in einer der beiden

anfallenden Hälften führt, würde für das Untersuchungsmaterial keinen nennenswerten Verlust an Ausbeute in LS10 bedeuten.

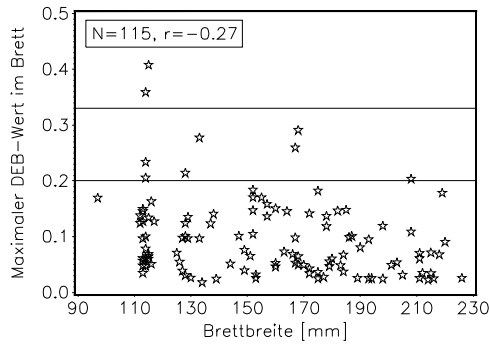


Abb. 7 Ästigkeit des Einzelastes in Abhängigkeit von der Brettbreite: Beide Werte sind mit $r = -0,27$ nur schwach korreliert

Fig. 7 Knot ratio of the single knot in dependency of the board width: Both values are low correlated with $r = -0.27$

In [Abb. 8](#) sind die Bruttorehdichte und der dynamische Elastizitätsmodul des Untersuchungsmaterials den Werten des Ausgangsmaterials gegenübergestellt. In beiden Fällen belegen die Korrelationskoeffizienten ($r = 0,97$ bzw. $r = 0,93$) und die in den Diagrammen eingezeichneten Regressionsgeraden, etwa mit den Winkelhalbierenden deckungsgleich, dass die Ermittlung des dynamischen Elastizitätsmoduls auch am unbesäumten Ausgangsmaterial erfolgen kann. Das begünstigt eine im Produktionsablauf der Bretter frühzeitige Beurteilung und Identifikation des Materials für Brettschichtholz; diese Überlegung wird dem grundsätzlichen Wunsch der Holz verarbeitenden Industrie gerecht, weitere Bearbeitungsschritte (z.B. Kappschnitte und Besäumen) nur dann durchzuführen, wenn danach das gewünschte Endprodukt auch realisiert werden kann. In Tabelle 4 sind die statistischen Kennwerte der Bruttorehdichte, des dynamischen Elastizitätsmoduls und der Ästigkeit (DEB-Wert) zusammengestellt. Die Mittelwerte bei den Qualitäten „Superior“ und „Cabinet/Custom Shop“ unterscheiden sich vergleichsweise gering bei Bruttorehdichte ($703/717=0,98$) bzw. Elastizitätsmodul ($16000/15400=1,04$); ausgeprägter ist der Unterschied bei der Ästigkeit ($0,092/0,106=0,87$).

Deleted: Abb. 8

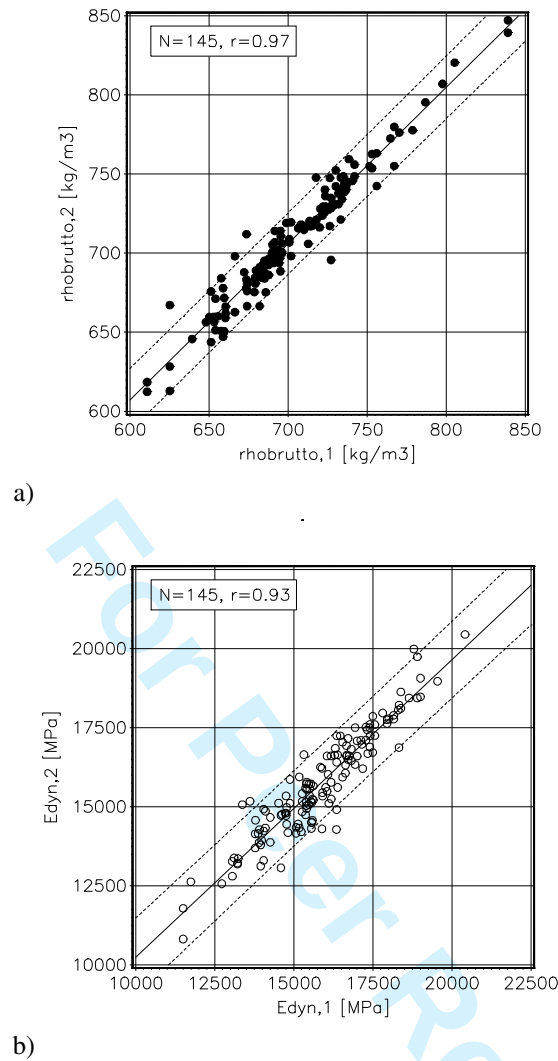


Abb. 8 (a) Bruttorechichte und (b) dynamischer Elastizitätsmodul des Untersuchungsmaterials (Index=2) und des Ausgangsmaterials (Index=1); Regressionsgerade und 95%-Vertrauensgrenzen

Fig. 8 (a) Apparent density and (b) dynamic MOE of the testing material (index=2) and the raw material (index=1); regression line and 95% confidence limits

Tabelle 4 Statistische Kennwerte der Bretteigenschaften

Table 4 Statistics of the board properties recorded

Anwendungssortierung bzw. Schnittholzqualität	Eigenschaft	N	$\bar{x}$	s	min	max
Superior	ρ_{brutto} in kg/m ³	154	703	39	612	820
Cabinet/Custom Shop		84	717	51	571	847
Superior	E_{dyn} in MPa	154	16000	1590	10800	20200

Cabinet/Custom Shop		84	15400	1820	11600	20500
Superior	DEB-Wert	69	0,092	0,068	0,019	0,409
Cabinet/Custom Shop		46	0,106	0,074	0,025	0,360

Die statistischen Kennwerte der drei Eigenschaften, Bruttorehichte, dynamischer Elastizitätsmodul und DEB-Wert, der beiden vereinigten Schnittholzqualitäten sind den Wahrscheinlichkeitsdiagrammen in Abb. 9 bis [Abb. 11](#) zu entnehmen.

Deleted: Abb. 11

In Abb. 9 ist die empirische Verteilung der Bruttorehichte dargestellt, die einer Normalverteilung ähnelt. Die Bruttorehichte sei ein konservativer Anhaltswert für die Rohdichte nach EN 408 (bei etwa 12% Holzfeuchte), weil das Volumen, am ganzen Brett ermittelt, stets etwas größer als in Wirklichkeit vorhanden ausfällt. Der Normalverteilung entsprechend ist für die charakteristische Rohdichte des Untersuchungsmaterials anzunehmen:

$$\rho_k \approx 635 \text{ kg/m}^3.$$

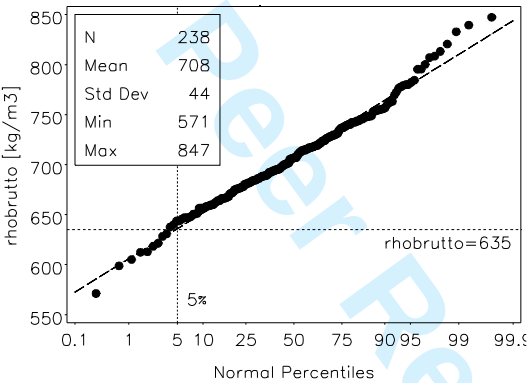


Abb. 9 Empirische Verteilung und angepasste Normalverteilung der Bruttorehichte; die horizontale Hilfslinie kennzeichnet einen Anhaltswert für die charakteristische Rohdichte ρ_k

Fig. 9 Empirical distribution and fitted normal distribution of the apparent density; the horizontal reference line indicates a guide value for the characteristic density ρ_k

In [Abb. 10](#) und [Abb. 11](#) sind die empirischen Verteilungen des dynamischen Elastizitätsmoduls und des maximalen DEB-Wertes dargestellt, in [Abb. 11](#) nur für Bretter mit DEB-Werten größer null. In den Wahrscheinlichkeitsdiagrammen sind darstellungsbedingt die horizontalen Achsen nach den Quantilen einer Beta- bzw. Normalverteilung skaliert.

Deleted: Abb. 10

Deleted: Abb. 11

Deleted: Abb. 11

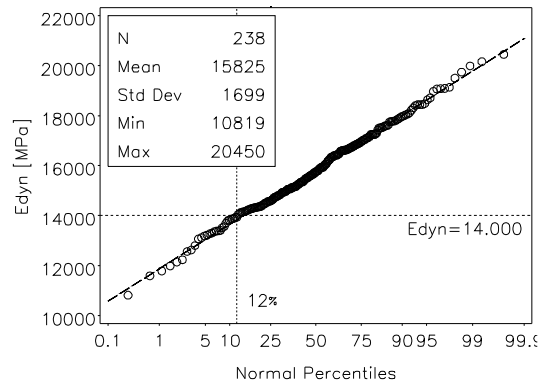


Abb. 10 Empirische Verteilungen des dynamischen Elastizitätsmoduls

Fig. 10 Empirical distribution of the dynamic MOE

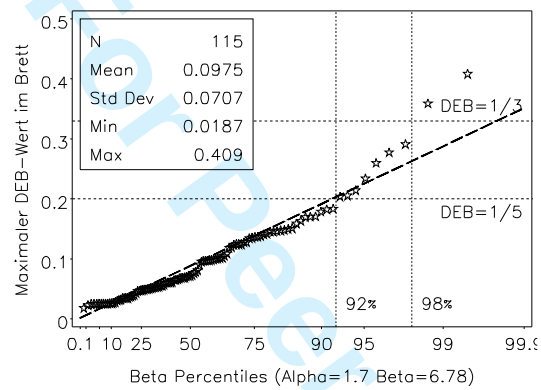


Abb. 11 Empirische Verteilungen des maximalen DEB-Wertes

Fig. 11 Empirical distribution of the maximum DEB-value, a knot ratio of the single knot according to DIN 4074-5 (2003)

Anhand dieser beiden Verteilungen und vor dem Hintergrund der Anforderungen an Buchenbretter in [Tabelle 1](#), wird deutlich:

1. Hinsichtlich einer Sortierung nach [DIN 4074-5](#) (2003) erfüllen von den 115 astbehafteten Brettern 92% die Anforderung an den Einzelast der Sortierklasse LS13 und sogar 98% diejenige der Sortierklasse LS10. Bezogen auf den Gesamtumfang des Untersuchungsmaterials von 238 Brettern betragen die prozentualen Verhältnisse dann etwa 95% bei LS13 und nahezu 100% bei LS10.

Deleted: Tabelle 1

Deleted: DIN 4074-5

2. Nur 115 von 238 Brettern besitzen Äste. Der Teil astfreier Bretter und damit auch von Brettern mit DEB-Werten $< 0,04$ liegt also deutlich über 50%. Dieser Teil erfüllt die Anforderungen an Bretter der Klasse LS13+A.

3. Bei 88% der Bretter übersteigt der dynamische Elastizitätsmodul 14.000 MPa. Da nahezu 95% der Bretter in LS13 einsortiert werden können, erfüllen etwa:

$$0,95 \cdot 0,88 \cdot 100 = 84\%$$

die Anforderungen an Bretter der Klasse LS13+E14.

Aufgrund der uneinheitlichen Brettlänge und -breite des Untersuchungsmaterials wird für eine exakte wirtschaftliche Bewertung die Ausbeute an Brettern in den vier Brettclassen der abZ auf das Volumen des Ausgangsmaterials bezogen (Abb. 12). In der Darstellung wird nach den beiden Anwendungssortierungen bzw. Qualitäten des Ausgangsmaterials unterschieden. Das Balkendiagramm verdeutlicht damit, welchen Anteil die Qualitäten „Cabinet/Custom Shop“ und „Superior“ am Ertrag in den vier Brettclassen haben. Demnach besitzen Bretter der Qualität „Superior“ außerordentlich gute Voraussetzungen für eine vergleichsweise hohe Ausbeute von 90 Vol% in LS10 oder LS13 für GL28 bzw. GL32; etwa 80 Vol% könnten mittels maschineller Sortierung für GL40 sortiert werden.

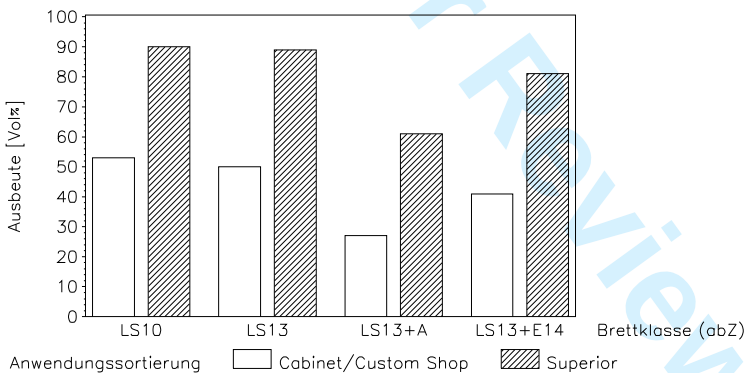


Abb. 12 Ausbeute in den Brettclassen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ)

Fig. 12 Individual yield in the four board grades, LS10, LS13, LS13+A and LS13+E14, of the general technical approval for beech glulam

Schlussfolgerung

4,6 m³ Buchenschnittholz wurde auf die Eignung für Brettschichtholz hin untersucht. Das Schnittholz wurde in einem Laubholzsägewerk in Anlehnung an die Sortierregeln der National Hardwood Lumber Association (NHLA) sortiert. 2,5 m³ entsprachen einer hochwertigen und 2,1 m³ einer durchschnittlichen Qualität. 90% der Bretter der hochwertigen und 50% der Bretter der durchschnittlichen Qualität sind für Buchenbrettschichtholz prinzipiell geeignet. Die Untersuchung dieses Materials ergab vor dem Hintergrund der Anforderungen an Buchenbretter für Brettschichtholz folgendes Ergebnis:

1. Das Untersuchungsmaterial erfüllt weitgehend die Voraussetzungen für Buchenbrettschichtholz der Festigkeitsklassen GL28 und GL32. Es kann ohne weitere nennenswerte Einbußen in die Klassen LS10 oder LS13 nach DIN 4074-5 (2003) einsortiert werden.
2. Aufgrund der etwa 50% astfreien Bretter und der günstigen Verteilung des dynamischen Elastizitätsmoduls bietet das Untersuchungsmaterial auch gute Voraussetzungen für eine Festigkeitssortierung für Brettschichtholz der Festigkeitsklassen GL36 und GL40. Weiterer Forschungs- und vor allem Entwicklungsbedarf besteht nun auf dem Gebiet der Herstellung von Buchenbrettschichtholz. Hier wären eine werkseitige Sortierung nach DIN 4074-5 (2003) und eine Verarbeitung von Buchenschnittholz, das in Anlehnung an die NHLA-Sortierregeln vorsortiert wurde, zu erproben.

Deleted: DIN 4074-5

Deleted: DIN 4074-5

Danksagung

Die Firma Pollmeier Massivholz GmbH & Co. KG, Creuzburg stellte das Buchenschnittholz für diese Untersuchung kostenlos zur Verfügung. Herr Martin Bacher, MiCROTEC srl - GmbH, Brixen ermittelte für die Untersuchung den dynamischen Elastizitätsmodul.

Literatur

Aicher S, Höfflin L, Behrens W (2001) A study on tension strength of finger joints in beech wood laminations. Otto-Graf-Journal Vol.12

Aicher S, Reinhardt HW (2007) Delaminierungseigenschaften und Scherfestigkeiten von verklebten rotkernigen Buchenholzlamellen. Holz Roh- Werkst 65:125-136

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-679: BS-Holz aus Buche und BS-Holz Hybridträger. Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Wuppertal

Blaß HJ, Denzler JK, Frese M, Glos P, Linsenmann P (2005) Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Buche, Bd. 1. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau. Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe

Blaß HJ, Frese M (2006) Biegefestigkeit von Brettschichtholz-Hybridträgern mit Randlamellen aus Buchenholz und Kernlamellen aus Nadelholz, Bd. 6. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau. Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe

Egner K, Kolb H (1966) Geleimte Träger und Binder aus Buchenholz. Bauen mit Holz 68:147-154

Ehlbeck J, Werner H (1992) Tragfähigkeit von Laubholzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe

Frese M, Blaß HJ (2006a) Characteristic bending strength of beech glulam. Materials and Structures 40:3-13

Frese M, Blaß HJ (2006b) Die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen aus Brettern der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Holz Roh- Werkst 64:433-443

Frühwald A, Ressel JB, Bernasconi A (2003) Hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz. Abschlussbericht des Instituts für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

Frühwald K, Schickhofer G (2004) Strength Grading of Hardwoods. Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering WCTE 2004, Volume III, Lahti, Finland

Gehri E (1985) Verbindungstechniken mit hoher Leistungsfähigkeit – Stand und Entwicklung. Holz Roh- Werkst 43:83-88

- Glos P, Lederer B (2000) Sortierung von Buchen- und Eichenschnittholz nach der Tragfähigkeit und Bestimmung der zugehörigen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte. Bericht Nr. 98508, Holzforschung München, TU München
- Glos P, Näher T (2005) Aufnahme der einheimischen Holzarten Buche (*Fagus sylvatica*), Eiche (*Quercus petraea*, *Quercus robur*) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) in die europäische Norm EN 1912. Bericht Nr. 05510, Holzforschung München, TU München
- Görlacher R (1990) Sortierung von Brettschichtholzlamellen nach DIN 4074 durch Messung von Longitudinalschwingungen. Bauingenieur 65:517-522
- National Hardwood Lumber Association (2007) Rules for the measurement and the inspection of hardwood and cypress. National Hardwood Lumber Association, Memphis, TN
- DIN 4074-5:2003 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit, Laubschnittholz
- EN 408:1996 Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften