

SCHRIFTENREIHE
FREIBURGER FORSTLICHE FORSCHUNG

BAND 43

Denny Ohnesorge

**VERKLEBUNGSEIGENSCHAFTEN VON
BRETTSCHICHTHOLZ AUS BUCHE**

**Untersuchungen zur Verbesserung der Klebefugenfestigkeit und
Klebefugenbeständigkeit von Brettschichtholz
aus rotkernigem und nicht rotkernigem
Buchenholz (*Fagus sylvatica* L.)**

INSTITUT FÜR FORSTBENUTZUNG UND FORSTLICHE ARBEITSWISSENSCHAFT
ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG

2010

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar

Zitiervorschlag:

OHNESORGE, DENNY (2009): Verklebungseigenschaften von Brettschichtholz aus Buche - Untersuchungen zur Verbesserung der Klebefugenfestigkeit und Klebefugenbeständigkeit von Brettschichtholz aus rotkernigem und nicht rotkernigem Buchenholz (*Fagus sylvatica* L.). Freiburg (Breisgau): Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg und Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg, 2009. (Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung, Bd. 43). Zugl.: Freiburg (Breisgau), Univ., Diss., 2009. 118 S.

ISSN 1436-0586

ISBN 978-3-933548-44-3

Die Herausgeber:

Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Redaktionskomitee:

Prof. Dr. J. Huss

Prof. Dr. W. Konold

Dr. K. v. Wilpert

Umschlaggestaltung:

Bernhard Kunkler Design, Freiburg

Druck:

Eigenverlag der FVA, Freiburg

Bestellungen an:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Wonnhaldestraße 4

79100 Freiburg i. Br.

Tel. 0761/4018-0

Fax 0761/4018-333

E-Mail: fva-bw@forst.bwl.de

Internet: www.fva-bw.de

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten.

Gedruckt auf 100 % chlorfrei gebleichtem Papier

VORWORT

Die vorliegende Dissertation entstand in den Jahren 2005 bis 2009 während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau. Sie war eingebunden in das Europäische CRAFT (Co-operative Research)-Projekt „INNOBEECH – Innovative solutions for improved processing of Beech“ (Förderkennzeichen: COOP-CT-2004-508137) und in das BMBF-Verbundprojekt „Starkholz – Teilprojekt Buchenstarkholz“ (Förderkennzeichen: 0330625).

An dem Gelingen dieser Arbeit waren eine ganze Reihe von Personen beteiligt, denen ich in den folgenden Zeilen meinen Dank ausspreche. Beginnen möchte ich mit Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Gero Becker, dem ich sehr für die lehrreiche Zeit an seinem Institut und die strukturierte Anleitung dieser Arbeit danke. Weiterhin danke ich ihm für die jahrelange fachliche und finanzielle Unterstützung sowie für das mir entgegengebrachte Vertrauen bei der Projektbearbeitung. Er gab mir ferner immer die Möglichkeit, meine Arbeiten auf nationalen und internationalen Tagungen und Konferenzen vorzustellen, mit Experten zu diskutieren und wertvolle Kontakte zu knüpfen. Auch dafür gilt ihm mein ganz besonderer Dank.

Wesentliche Teile der holztechnologischen Versuche wurden in den Laboren der Abteilung Holzbau der Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA Stuttgart, Otto-Graf-Institut) sowie in den Laboren der Abteilung Holz der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) in Dübendorf durchgeführt. Ich möchte mich daher ganz besonders bei Herrn Dr. Simon Aicher von der MPA Stuttgart und Herrn Dr. Klaus Richter von der Empa in Dübendorf bedanken, die mir die Durchführung der Versuche in den von ihnen geleiteten Einrichtungen ermöglichten. Weiterhin unterstützten sie mich während der gesamten Zeit mit wertvollen Ratschlägen zu den Experimenten und insbesondere zu den daraus entstandenen Publikationen. Ich danke Herrn Dr. Klaus Richter darüber hinaus für die Korrektur des Manuskripts und die Übernahme des Koreferats. In diesem Zusammenhang möchte ich auch den Mitarbeitern beider Institute für ihre Hilfe bei der Durchführung und Auswertung der Versuche meinen herzlichen Dank aussprechen – insbesondere Herrn Dr. Gerhard Dill-Langer, Frau Dr. Consuelo Russell und Herrn Andreas Bäder von der MPA Stuttgart sowie Herrn Daniel Herr und Herrn Walter Risi von der Empa. Herrn Prof. Dr. Heinrich Spiecker danke ich für die Übernahme des zweiten Koreferats.

Frau PD Dr. Ute Seeling möchte ich dafür danken, dass sie mir die Bearbeitung und Koordination des EU CRAFT-Projekts „INNOBEECH“ anvertraute und damit den Anstoß für diese Arbeit gab. Weiterhin danke ich ihr sehr herzlich für ihre wertvolle Unterstützung und Betreuung ganz besonders in der wichtigen Orientierungsphase dieser Arbeit.

Bei Herrn Christian Burgbacher und seinen Mitarbeitern der Burgbacher Holztechnologie GmbH möchte ich mich bedanken, für die uneingeschränkte Bereitstellung der betrieblichen Anlagen und Einrichtungen, für die gewissenhafte Herstellung der Versuchsträger und vor allem für die praxisrelevanten Hinweise zur Herstellung von Brettschichtholz aus Laubholz.

Herrn Dr. Rüdiger Mutz danke ich für die angenehmen und ergiebigen Beratungen zur statistischen Datenanalyse. Frau Helen Desmond-Bauhus sowie Nicole De Cuir und Gordian Stapf danke ich für die Korrektur der englischsprachigen Texte.

Meinen Kolleginnen und Kollegen des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft danke ich herzlich für das freundschaftliche Arbeitsatmosphäre und die sehr angenehme und hilfsbereite Zusammenarbeit. Ich danke besonders den Herren Uwe Uhlich, Erwin Hummel und Lothar Fischer für ihre Hilfe bei vielen Projektarbeiten wie z.B. der Sortierung der Buchenlamellen, für die Anfertigung der Prüfkörper und für ihre Unterstützung bei den holztechnologischen Prüfungen. Auch danke ich Herrn Christian Karsch für seinen unermüdlichen Einsatz nach gelegentlichem Kollabieren von IT-Technik und Software. Frau Beate Albrecht, Frau Monika Wirth-Lederer und Frau Joanna Norek danke ich für ihre tatkräftige Unterstützung bei den administrativen Angelegenheiten der Forschungsprojekte.

Eine solche Arbeit ist nicht möglich, ohne den Fleiß von wissenschaftlichen Hilfskräften und Diplomanden, denen ich hiermit ebenfalls meinen Dank ausspreche. An erste Stelle denke ich hierbei an die Herren Maximilian Henning und Sascha Schröder, welche mir zudem die Daten ihrer Abschlussarbeiten für weitere Auswertungen zur Verfügung stellten. Ganz besonders möchte ich Dr. Matthias Holzmann für die vielen geselligen, erfrischenden Abende und für die daraus entstandene Freundschaft danken.

Von ganzem Herzen danken möchte ich meiner Freundin, meinen Eltern und meinem Bruder, die mich während des Studiums und der Promotionsphase unentwegt durch ihren Zuspruch und ihr Interesse unterstützt und motiviert haben.

Denny Ohnesorge

Freiburg im Breisgau, Juli 2009

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	III
ABSTRACT	IV
PROMOTIONSRELEVANTE PUBLIKATIONEN	V
1 EINLEITUNG	1
1.1 PROBLEMSTELLUNG	1
1.2 ÜBERGEORDNETE FRAGESTELLUNG.....	2
2 STAND DES WISSENS.....	3
2.1 BAURECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN.....	3
2.2 KONSTRUKTIVE VERWENDUNG VON BUCHENHOLZ	4
2.2.1 Physikalische und mechanische Eigenschaften.....	4
2.2.2 Biegefestigkeit von Buchen-BSH und der Einfluss der Festigkeitssortierung	6
2.2.3 Verfahren zur Ermittlung der Schubfestigkeit von BSH-Trägern.....	7
2.3 ZUR VERKLEBUNG VON BUCHEN-BSH.....	9
2.3.1 Prüfverfahren und Leistungsanforderungen von Klebstoffen und Klebeverbindungen im konstruktiven Holzbau.....	10
2.3.2 Untersuchungen zur Verklebung von Buchenholz unter konstruktiven Aspekten	14
2.4 VERKLEBUNGSQUALITÄT	16
2.4.1 Die Verklebungsqualität beeinflussende Faktoren.....	17
2.4.2 Verfahren zur Verbesserung der Verklebungsqualität	20
3 ZIELE UND AUFBAU DER ARBEIT	21
4 MATERIAL UND METHODEN	23
4.1 VERKLEBBARKEIT VON ROTKERNIGEM BUCHENHOLZ.....	23
4.2 SCHUBFESTIGKEIT VON BUCHEN-BSH.....	25
4.3 DELAMINIERUNGSBESTÄNDIGKEIT VON BUCHEN-BSH.....	27
4.4 STATISTISCHEN DATENANALYSE	29
4.5 SCHRIFTLICHE BEFRAGUNGEN DER AKTEURE DER PRODUKTKETTE BSH.....	30
5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	33
5.1 VERKLEBBARKEIT VON ROTKERNIGEM BUCHENHOLZ.....	33
5.1.1 Ergebnisse der Blockscherversuche	33
5.1.2 Ergebnisse der Querzugversuche	35
5.1.3 Hypothesenprüfung.....	36
5.2 SCHUBFESTIGKEIT VON BUCHEN-BSH.....	38
5.2.1 Ergebnisse Schubfestigkeit	38

5.2.2	Ergebnisse Blockscherversuche	39
5.2.3	Hypothesenprüfung	40
5.3	DELAMINIERUNGSBESTÄNDIGKEIT VON BUCHEN-BSH	41
5.3.1	Ergebnisse der Delaminierungsversuche	42
5.3.2	Ergebnisse der Blockscherprüfungen	44
5.3.3	Hypothesenprüfung	44
5.4	EIGNUNG VON BLOCKSCHERTESTS ZUR GÜTEÜBERWACHUNG DER KLEBEFUGEN.....	45
5.5	BUCHEN-BSH AUS SICHT DER AKTEURE DER PRODUKTKETTE.....	47
5.5.1	Bereitstellung von Buchenbrettlamellen durch Laubholzsägewerke	47
5.5.2	Produktion von Buchen-BSH aus Sicht der Hersteller.....	48
5.5.3	Akzeptanz von Buchen-Brettschichtholz bei Bauwerksplanern.....	49
6	SYNOPTISCHE DISKUSSION	51
6.1	KURZZEITFESTIGKEIT	51
6.2	BESTÄNDIGKEIT GEGEN DELAMINIERUNG	53
6.3	BARRIEREN EINER EINFÜHRUNG VON BUCHEN-BSH.....	58
6.4	METHODISCHE ASPEKTE.....	59
6.4.1	Versuche zur Verklebbarkeit rotkernigen Buchenholzes	59
6.4.2	Versuche zur Schubfestigkeit.....	59
6.4.3	Delaminierungsprüfung.....	60
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN	61
7.1	INDUSTRIELLE HERSTELLUNG UND QUALITÄTSKONTROLLE	61
7.2	FORSCHUNGSBEDARF.....	61
8	VERZEICHNISSE.....	63
8.1	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	63
8.2	TABELLENVERZEICHNIS	65
8.3	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	66
8.4	NORMEN UND MERKBLÄTTER.....	68
8.5	LITERATURVERZEICHNIS.....	69
9	ANHANG	77
9.1	PUBLIKATIONEN UND MANUSKRIPTE.....	77
9.2	ERGÄNZENDE INFORMATIONEN	110

KURZFASSUNG

Die Entwicklung und Einführung innovativer Produkte wie Brettschichtholz (BSH) aus Buche könnte dazu beitragen, der Ressource Buchenstarkholz neue Märkte zu erschließen. In den letzten Jahren wurden durch mehrere Forschungsprojekte wichtige Grundlagen für eine baupraktische Realisierung von Buchen-BSH gelegt. Es blieben jedoch wesentliche Fragen zur Gewährleistung von zuverlässigen und beständigen Klebefugen, insbesondere bei rotkernigem Buchen-BSH, unbeantwortet. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, wichtige Einflussgrößen der Verklebungsqualität von Buchen-BSH zu analysieren, und Lösungsvorschläge zur Optimierung der Verklebung von Buchen-BSH zu erarbeiten. Dazu wurden drei experimentelle Teilstudien sowie ergänzenden Befragungen von Akteuren der Produktkette Buchen-BSH durchgeführt.

Die erste Teilstudie befasste sich mit dem Einfluss des Rotkerns, dem verwendeten Klebstoff, dem Dämpfungsgrad des Holzes und dem Alterungsverfahren auf die Klebefugenfestigkeit von verklebten Buchenbrettlamellen. Die varianzanalytisch ausgewerteten Ergebnisse aus Blockscher- und Querzugfestigkeitsprüfungen zeigten einen deutlichen Einfluss des verwendeten Klebstoffs und des Alterungsverfahrens. Jedoch wurde kein nachteiliger Effekt des Rotkerns auf die Klebefugenfestigkeit festgestellt.

Die zweite Teilstudie befasste sich mit der Ermittlung der Schubfestigkeit von Buchen-BSH. Die Versuche wurden mittels Vier-Punkt-Biegeprüfung an, mit Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz verklebten, bauteilgroßen I-Trägern durchgeführt. Die Untersuchung umfasste zwei Trägerkollektive mit je sieben Prüfkörpern, jeweils ohne bzw. mit hohem Rotkernanteil in den Steglamellen. Die Trägerkollektive unterschieden sich nicht signifikant in ihrer Schubfestigkeit. Das 5%-Quantil der Schubfestigkeiten aller Träger ergab sich zu 3,5 N/mm².

In der dritten Teilstudie wurden unter Verwendung des gleichen Klebstoffs kleinformatige Buchen-BSH-Träger hergestellt. Anschließend wurden ausgewählte Einflussfaktoren der Beständigkeit gegen Delaminierung unter Anwendung des Verfahrens C nach EN 391 untersucht. Die Ergebnisse zeigten einen maßgeblichen Einfluss der Lamellenstärke, der Jahrringlage innerhalb der Lamelle sowie der geschlossenen Wartezeit. Durch eine Begrenzung der Lamellenstärke auf maximal 30 mm und eine Verlängerung der geschlossenen Wartezeit auf etwa 40 Minuten wurden auch mit Buchen-BSH die aktuellen Leistungsanforderungen an Konstruktionen für Bauwerke der Nutzungsklasse 1 nach DIN 1052 erfüllt.

Die in allen drei Studien durchgeführten Blockscherversuche nach EN 392 zeigten, dass Klebeverbindungen von Buchen-BSH oft nicht die derzeitigen Mindestanforderungen an den Holzfasernbruchanteil nach EN 386 erfüllten. Unabhängig davon, erscheint die ausschließliche Anwendung dieses Prüfverfahrens für die laufende Güteüberwachung der Klebefugen bei der Produktion von Buchen-BSH nicht empfehlenswert.

Die Befragungen von Akteuren der Produktkette Buchen-BSH lassen zahlreiche Barrieren gegen eine Einführung von Buchen-BSH als konstruktives Bauprodukt erkennen. Insbesondere technische Informationen zur Herstellung und Verwendung, eine baurechtliche Regelung von Buchen-BSH und Pilotprojekte sind erforderlich, um die bestehenden Hemmnisse zu überwinden.

ABSTRACT

The development and introduction of innovative products such as glued-laminated timber (glulam) may help access new markets for large-sized beech wood. In recent years, fundamental information required for the structural use of beech glulams has been generated in a number of re-search projects. However, essential questions about ensuring reliable and durable adhesive joints, especially for beech glulam with red heartwood, remain unresolved. The objective of this study was to analyse important factors influencing the bonding performance and to make recommendations for the optimisation of beech glulam bonding. Thus, this experiment was conceived in three parts, and supplemented by a questionnaire for experts involved in the product chain of beech glulam.

In the first part, the influence of red heartwood, the adhesive used, the steaming level and the aging effects on the glue-line strength of beech lamellae was investigated. The analysis of variance of the results of block shear and transverse tensile strength tests showed a clear influence of the adhesive used, whereas no clear effect of the red heartwood on the glue-line strength could be observed.

In the second part, the shear strength values of beech glulams were investigated. The glulam shear strength was tested by four-point bending tests on structural-sized I-shaped beams and glued with a melamine-urea-formaldehyde resin. Two sample groups comprising seven beam specimens were investigated, where one group consisted of beams with a high red heartwood ratio and the other with no red heartwood in the web lamellae. The beam shear capacity tests revealed no influence of the red heartwood discoloration on shear strength. The fifth-percentile of shear strength of all beams was 3.5 N/mm².

The third part applied EN 391 procedure C to test selected factors influencing the delamination resistance of laboratory-manufactured beech glulams bonded with a melamine-urea-formaldehyde adhesive. The results showed a significant influence of lamellae thickness, growth ring angle and closed assembly time. However, by restricting lamella thickness to a maximum of 30 mm, and by extending the closed assembly time to about 40 minutes, it was possible to attain the bond durability required for use in service class 1 buildings.

In all three parts, beech glue-lines tested in block shear tests according to EN 392 often failed the current minimum wood failure percentage requirements stated in EN 386. Irrespective of this, the exclusive application of this method is not recommended for the routine quality control of adhesive joints in the production of beech glulam.

The survey of experts involved in beech gluelam product chain revealed several barriers to the introduction of beech glulams as a structural building product. Technical information about its production and use, beech glulam building regulations, and pilot projects in particular are necessary to overcome the existing obstacles.