



Forschungsprojekt

HOCHWERTIGES BRETTSCHICHTHOLZ AUS BUCHENHOLZ

Gefördert durch



Abschlussbericht

**Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes
Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft**

**Prof. Dr. A. Frühwald
Prof. Dr. J. B. Ressel (ab 01.04.02)
Dr. A. Bernasconi (bis 30.03.02)**

Unter Mitarbeit von Dr. P. Becker
Dipl.-Holzwirtin B. Pitzner
Dipl.-Ing (FH) R. Wonnemann
Prof. Dr. U. Mantau
Dipl.-Holzwirt C. Sörgel
Prof. Dr. C. Thoroe
Dr. M. Dieter
Dipl.-Forstwirt H. Englert

Hamburg, Juli 2003

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben

"Hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz"

gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderschwerpunkt: "Integrierter Umweltschutz im Bereich der Holzwirtschaft").

Förderkennzeichen: 0339827

Der Berichtszeitraum umfasst die gesamte Dauer der Forschungsvorhabens vom 1.10.2001 bis zum 31.03.2003.

Danksagung

Zu diesem hier abschließend dargestellten Projekt haben, schon von der Zielsetzung her so vorgegeben, sehr unterschiedliche Arbeitsgruppen, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Universität Hamburg **und** der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, sehr erfolgreich beigetragen. Ohne alle Beteiligten hier namentlich aufzuführen sind fachübergreifende Zusammenarbeit und Engagement hervorzuheben, mit der das Vorhaben von allen begleitet und durchgeführt wurde. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Hervorheben möchte ich Herrn Dr. A. Bernasconi, der uns dieses Forschungsvorhaben nach seinem beruflichen Ausscheiden hier gut vorbereitet hinterlassen hat, uns aber auch danach immer mit großer Hilfsbereitschaft und Offenheit in dieser Angelegenheit beratend zur Seite stand.

Auch den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses aus Wirtschaft und Forschung ist hier für Ihre Bereitschaft zur Mitarbeit zu danken, insbesondere dafür, dass sie sich die Zeit für die Teilnahme an den Sitzungen genommen haben.

Herr Dipl.-Ing. R. Bahmer ermöglichte uns die Herstellung der Brettschichtträger in seinem Betrieb in Dietzenbach. Herr Univ.-Prof. Dr. G. Schickhofer, Technische Universität Graz, unterstützte uns tatkräftig bei verschiedenen Prüfungsaufgaben im Bautechnikzentrum der Universität.

Auch Ihnen gilt hier mein besonderer Dank für interessante Diskussionen, wertvolle Beiträge und die bereitwillig gewährte Unterstützung.

Letztlich möchte ich auch die Förderung des Projektes durch Mittel des BMBF hervorheben, ohne die diese Arbeiten nicht hätten durchgeführt werden können – auch hierfür ist an dieser Stelle zu danken.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Projektziele und –inhalte.....	1
2 Kurzfassung.....	3
3 Rohstoffaufkommen.....	7
3.1 Durchschnittliches jährliches potenzielles Buchen-Rohholzaufkommen	7
3.1.1 Daten und Methoden	7
3.1.2 Ergebnisse	10
3.2 Eingrenzung des durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholz- aufkommens im Hinblick auf die Produktion von Brettschichtholz.....	12
3.2.1 Eingrenzung des durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholz- aufkommens über den Preis für das eingesetzte Rohholz	12
3.2.2 Eingrenzung des durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholz- aufkommens über die technologische Eignung des eingesetzten Rohholzes	16
3.2.2.1 Ergebnis der Eingrenzung des durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen- Rohholzaufkommens im Hinblick auf die Produktion von Brettschichtholz.....	16
3.3 Zusammenfassung - Rohstoffaufkommen	18
3.4 Literatur - Rohstoffaufkommen	19
4 Schätzung des Absatzpotenzials für Buchen-Brettschichtholz.....	21
4.1 Schätzung des aktuellen Brettschichtholz-Marktvolumens.....	21
4.1.1 Ziel und Anlage der Studie	21
4.1.1.1 Ziel der Studie.....	21
4.1.1.2 Versand der Fragebögen und Rücklauf.....	21
4.1.2 Die Brettschichtholzproduktion	23
4.1.2.1 Aktuelles Produktionsvolumen für BSH	23
4.1.2.2 Weitere Unterteilung der erfassten BSH- Produktion	24
4.1.2.3 Schnittholzeinsatz und Holzartenanteil.....	27
4.1.2.4 Sortimentsstruktur und Vertrieb	28
4.1.3 Das Marktpotenzial von Buchen-BSH aus Sicht der Hersteller	30
4.1.3.1 Geschätzte Absatzentwicklung für Brettschichtholz	30
4.1.3.2 Entwicklung des Marktanteils von BSH und anderen Holzbaumaterialien	32
4.1.3.3 Zum Einsatz von Laubholz in der BSH-Herstellung.....	35
4.1.3.4 Bewertung der Marktchancen von BSH aus Buchenholz	37
4.2 Befragung bei Verarbeitern und Planern	41
4.2.1 Ziel und Anlage der Studie	41
4.2.1.1 Ziel der Studie.....	41
4.2.1.2 Versand der Fragebögen und Rücklauf.....	41
4.2.2 Umsatzstruktur der Betriebe und Verwendung von Holzbaumaterialien	43
4.2.3 Anwendungsbereiche für Brettschichtholz.....	48
4.2.4 Brettschichtholz aus Buche	54
4.3 Zusammenfassung - Absatzpotential	62
4.3.1 Ergebnisse der Herstellerbefragung	62

4.3.2	Ergebnisse der Befragung bei Architekten sowie Holzbaubetrieben	66
4.4	Literatur - Absatzpotenzial	69
5	Technologie der Brettschichtholzherstellung aus Buche	71
5.1	Kennzeichnende Merkmale des Buchenholzes	71
5.1.1	Rundholzeinschnitt bzw. Rohlamellenherstellung	71
5.2	Sortierung der Rohlamellen zur BSH-Herstellung	75
5.2.1	Aufnahme der Holzmerkmale	75
5.2.2	Ranking der Lamellen	78
5.2.3	Auswahl einzelner Lamellen für Zugproben	78
5.2.4	Zusammenstellung der Prüfträger	79
5.3	Herstellung von Buchen-Brettschichtholz	81
5.3.1	Keilzinkenverbindung	82
5.3.2	Balkenherstellung	83
5.3.3	Kombinierte BSH-Balken aus Buchen- und Fichtenlamellen	85
5.4	Zusammenfassung – Brettschichtholzherstellung	86
5.5	Literatur - Brettschichtholzherstellung	87
6	Eigenschaften von Buchen-Brettschichtholz	89
6.1	Physikalische und mechanische Eigenschaften von Buche (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	89
6.2	Klimalagerung und Delaminierung von Buchen-Brettschichtholz	90
6.2.1	Delaminierungsprüfung nach DIN EN 391:2001 - Verf. B	91
6.2.1.1	Versuchsablauf	93
6.2.1.2	Ergebnisse der Delaminierungsprüfungen	94
6.2.2	Klimalagerung	100
6.2.2.1	Ergebnisse der Klimalagerung	101
6.2.2.2	Lagerung in der Klimakammer	102
6.2.2.3	Lagerung auf dem Holzplatz	104
6.2.2.4	Lagerung auf dem Dachboden	107
6.2.2.5	Schlussfolgerungen der Klimalagerungen	108
6.3	Mechanische Eigenschaften	109
6.3.1	Vorversuche mit Kleinproben	109
6.3.1.1	Klebstoffe	109
6.3.1.2	Herstellung der Prüfkörper	110
6.3.1.3	Druckscherfestigkeit	112
6.3.1.4	Querzugfestigkeit	113
6.3.1.5	Auswertung der Untersuchungen an Kleinproben	114
6.3.1.6	Ergebnisse der Scherprüfungen	117
6.3.1.7	Ergebnisse der Querzugprüfungen	118
6.3.1.8	Erkenntnisse	120
6.3.2	Zugversuche (Buche - Einzellamellen)	121
6.3.3	Prüfung der Biegeträger	123
6.3.3.1	Versuchsaufbau und -durchführung	124
6.3.3.2	Beobachtungen und Ergebnisse der Biegeprüfung	125
6.3.3.3	Auswertung	134

6.3.4	Prüfung der keilgezinkten Lamellen.....	137
6.3.5	Zusammenhänge unterschiedlicher Eigenschaften	140
6.3.5.1	Korrelation von Sortierparametern und mechanischen Eigenschaften.....	140
6.3.5.2	Zugfestigkeit der Lamellen und Biegefestigkeit der Träger	143
6.4	Zusammenfassung - Eigenschaftsprüfung	145
6.5	Vergütung von Buche mit methanolveretherten Melamin-Formaldehyd-Harzen....	147
6.5.1	Herstellung und Verwendung von Melamin	148
6.5.2	Methanolveretherte Melamin-Formaldehyd-Harze	148
6.5.3	Tränkung mit Melaminharzen	149
6.5.4	Dimensionsstabilität.....	150
6.5.5	Physikalische Eigenschaften vergüteten Holzes	151
6.5.6	Dauerhaftigkeit.....	152
6.5.7	Zusammenfassung – Behandlung des Holzes mit Melaminharzen.....	153
6.5.8	Imprägnierung von Buchenholz mit MMF-Harzen	154
6.6	Literatur – Eigenschaftsprüfung und Vergütung	154
7	Kosten der Herstellung von Buchen-Brettschichtholz.....	159
7.1	Kostenabschätzung	159
7.2	Literatur – Kosten der Herstellung von Buchen-Brettschichtholz	164
8	Empfehlungen und Schlussfolgerungen	165
8.1	Rundholzpotential	165
8.2	Absatzpotential	165
8.3	Rohlamellenherstellung, Sortierung und Trägerherstellung	167
8.4	Mechanische Eigenschaften, erreichbare Festigkeiten	167
8.5	Anwendungs- bzw. Einsatzbereiche von Buchen-Brettschichtholz	169
8.6	Ausblick, zukünftige Entwicklungen.....	171
9	Anhang	173
9.1	Projektbegleitende Expertengruppe aus der Wirtschaft	173
9.2	Fragebogen zur Erfassung des Absatzpotentials	174
9.3	Ergebnisse der Eigenschaftsuntersuchungen	181

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1.1: Projektablauf - Projektphasen	2
Abbildung 3.1: Preise für Buchenstammholz der Güteklasse B nach Stärkeklassen.....	13
Abbildung 3.2: Preise für Buchenstammholz der Güteklasse C nach Stärkeklassen	13
Abbildung 3.3: Preise für Fichtenstammholz der Güteklasse B nach Stärkeklassen	14
Abbildung 4.1: Struktur des Rücklaufs	22
Abbildung 4.2: Produktionsanteile der einzelnen Oberflächenqualitäten	26
Abbildung 4.3: Holzartenanteile in der BSH-Herstellung.....	28
Abbildung 4.4: Vertriebsstruktur der BSH-Hersteller.....	30
Abbildung 4.5: Bewertung der Marktchancen - Zusammenfassung.....	40
Abbildung 4.6: Rücklauf der Befragung bei Zimmereien und Fertighausherstellern	42
Abbildung 4.7: Hauptarbeitsgebiete der befragten Architektur- und Statikerbüros	43
Abbildung 4.8: Umsatzstruktur der befragten Zimmerei- und Fertighausbetriebe.....	44
Abbildung 4.9: Eigenschaften Feuchtebeständigkeit und Dimensionsstabilität.....	46
Abbildung 4.10: Eigenschaften Optik und Festigkeit.....	47
Abbildung 4.11: Tragende Bauteile für eine Konstruktion mit sichtbaren Tragwerken.....	55
Abbildung 4.12: Substitution tragender Bauteile durch BSH aus Buche	56
Abbildung 4.13: Beeinflusst das höhere Eigengewicht die Weiterverarbeitung ?	57
Abbildung 4.14: Ergebnisse der Kreuzauswertung Fragen 1 und 13	66
Abbildung 4.15: Ergebnisse der Kreuzauswertung Fragen 11 und 13	67
Abbildung 5.1: Brettschichtholz aufgebaut aus gleich breiten Lamellen	72
Abbildung 5.2: Brettschichtholz aus unterschiedlich breiten Lamellen.....	73
Abbildung 5.3: Ritzgerät	76
Abbildung 5.4: Ultraschallmessung (Bild von KATZENGRUBER, TU Graz, 2002).....	77
Abbildung 5.5: DEB Einzelast (FRÜHWALD 2001, nach DIN 4074-1:1989).....	77
Abbildung 5.6: DAB Astansammlung (FRÜHWALD 2001, nach DIN 4074-1:1989).....	78
Abbildung 5.7: Trägeraufbau	79
Abbildung 5.8: Produktionsablauf im Brettschichtholzwerk.....	81
Abbildung 5.9: Keilzinkenverbindung mit geraden Zinken (DIN 68140-3:1999).....	82
Abbildung 5.10: Keilzinkenverbindung	82
Abbildung 5.11: Leimplan	83
Abbildung 5.12: Zusammenlegung der Lamellen zu Trägern im Werk	83
Abbildung 5.13: Lamellen im offenen Pressbett	84
Abbildung 5.14: Manuelles Schließen der Presse.....	84
Abbildung 5.15: Aushärtung im geschlossenen Pressbett	85
Abbildung 5.16: Aufbau und Querschnitt eines kombinierten Balkens (<i>Mix-Träger</i>)	85
Abbildung 6.1: Balken mit drei unterschiedlichen Lamellenstärken für Klimalagerung	91

Abbildung 6.2:	Druckgefäß und Trockenofen	92
Abbildung 6.3:	Prüfkörperentnahme	92
Abbildung 6.4:	Prüfkörper für die Delaminierungsprüfung.....	92
Abbildung 6.5:	Fotokopie delaminierter Prüfkörper	94
Abbildung 6.6:	Delamierte Prüfkörper (Lamellenstärke 18 mm).....	95
Abbildung 6.7:	Delamierte Prüfkörper (Lamellenstärke 18 mm).....	96
Abbildung 6.8:	Delaminierte Prüfkörper (Lamellenstärke 30 mm).....	97
Abbildung 6.9:	Ergebnisse der Delaminierungsprüfung nach DIN EN 391:2001, Verf. B ..	98
Abbildung 6.10:	Delaminierte Mix-Prüfkörper	99
Abbildung 6.11:	Positionierung der Messelektroden (Prüfkörper mit offenen Hirnenden in der Klimakammer)	100
Abbildung 6.12:	Positionierung der Messelektroden (Prüfkörper mit versiegelten Hirnenden in der Klimakammer)	101
Abbildung 6.13	Klimalagerung – Balkenabschnitte im Freien unter Dach („Holzplatz“).....	101
Abbildung 6.14:	Fugenöffnungen in der Klimakammer	102
Abbildung 6.15:	Balkenabschnitte aus der Klimakammer mit Messelektroden (versiegelte Hirnenden).....	103
Abbildung 6.16:	Balkenabschnitte aus der Klimakammer mit Messelektroden (offene Hirnenden).....	103
Abbildung 6.17:	Verschiedene Balkenabschnitte aus der Klimakammer	104
Abbildung 6.18:	Holzplatz-Klimaversuche	105
Abbildung 6.19:	Holzplatz–Klimaversuche; drei Balkenabschnitte von beiden Seiten	106
Abbildung 6.20:	Fugenöffnungen auf dem Dachboden	107
Abbildung 6.21:	Klimaversuche auf dem Dachboden; Balkenabschnitt von drei Seiten	107
Abbildung 6.22:	Druckscherprüfung	112
Abbildung 6.23:	Querzugprüfung.....	113
Abbildung 6.24:	Verschiedene Bruchbilder von Druckscher- und Querzugprüfungen	116
Abbildung 6.25:	Scherfestigkeiten nach Gruppen (alle Kleber in Werten enthalten).....	118
Abbildung 6.26:	Scherfestigkeiten nach Klebern (Gruppen B1 bis B4 enthalten)	118
Abbildung 6.27:	Querzugfestigkeiten nach Gruppen.....	120
Abbildung 6.28:	Querzugfestigkeiten nach Klebern (Gruppen B1 bis B4).....	120
Abbildung 6.29:	Zugprüfung der Lamellen	121
Abbildung 6.30:	Lamellenzugversuche - Zusammenhang zwischen Ranking-Parameter und Zugfestigkeit (SG → Sortiergruppe)	123
Abbildung 6.31:	Biegeprüfung	124
Abbildung 6.32:	Versuchsaufbau nach DIN EN 408:1996.....	124
Abbildung 6.33:	Versuchsdurchführung bei den Biegeprüfungen	125
Abbildung 6.34:	Typischer Kraft-Weg-Verlauf einer Biegeprüfung	126
Abbildung 6.35:	Druckbruch	126

Abbildung 6.36: Erreichen der Maximallast unter starken Druckfalten	126
Abbildung 6.37: Typisches Schubversagen	127
Abbildung 6.38: Zugversagen aufgrund von Fehlstellen	128
Abbildung 6.39: Zugversagen aufgrund von globaler Faserabweichung	129
Abbildung 6.40: Typischer Splitterbruch.....	130
Abbildung 6.41: Kombiniertes stumpfes und langfasriges Zugversagen.....	130
Abbildung 6.42: Verteilungen von Biege-E-Modul und Festigkeit	130
Abbildung 6.43: Reines Klebstoffversagen.....	138
Abbildung 6.44: Kombiniertes Versagen	138
Abbildung 6.45: Teilversagen der Keilzinkenverbindung.....	138
Abbildung 6.46: Holzversagen mit Anriss an der Keilzinkung	139
Abbildung 6.47: Reines Holzversagen	139
Abbildung 6.48: Versuchsergebnisse bei den Keilzinkenprüfungen.....	139
Abbildung 6.49: Lamellenzugprüfung: Zugfestigkeiten in Abhängigkeit zum Rankingwert	143
Abbildung 6.50: Biegefestigkeiten in Abhängigkeit zum Rankingwert.....	144
Abbildung 6.51: Zusammenhang von Zugfestigkeit der Lamellen und Biegefestigkeit der BSH-Träger	145
Abbildung 6.52: Möglichkeiten der biozidfreien Vergütung von Holz (RAPP ET AL. 2000b).	147
Abbildung 6.53: Strukturformel Melamin (NIST 2001).....	148
Abbildung 6.54: Verwendung von Melamin (AGROLINZ MELAMIN GmbH 2002)	148
Abbildung 7.1: Schematischer Ansatz zur Ermittlung der Produktionsverluste in den einzelnen Fertigungsabschnitten bei der Herstellung von Brettschichtholz aus Buche unter Verwendung mittlerer Ausbeutewerte	159

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 3.1: Verwendete Ertragstafeln und Umtriebszeiten.....	9
Tabelle 3.2: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen (1.000 m ³) der Baumartengruppe Buche im Zeitraum 2001 bis 2020 nach Bundesländern und Stärkeklassen	10
Tabelle 3.3: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen (1.000 m ³) der Baumartengruppe Buche nach fünfjährigen Zeitabschnitten und Stärkeklassen	11
Tabelle 3.4: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen (1.000 m ³) der Baumartengruppe Buche nach Bundesländern; fünfjährige Zeitabschnitte	11
Tabelle 3.5: Durchschnittliche Buchenstamm- und Industrieholzpreise in der Bayerischen Staatsforstverwaltung nach Stärke- und Güteklassen im Jahr 2001 [€/m ³].....	14
Tabelle 3.6: Güteklassenanteile nach Stärkeklassen, berechnet für die in der Bayerischen Staatsforstverwaltung im Jahr 2001 verkaufte Buchenstammholzmenge	15
Tabelle 3.7: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen [1.000 m ³] für die Buchen-Brettschichtholzproduktion nach Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz im Zeitraum 2001-2020	15
Tabelle 3.8: Anteile der nach technologischer Eignung brettschichtholzfähigen Sorten an den Mengen je Sorte insgesamt [%] (nach vorheriger Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz).....	16
Tabelle 3.9: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen [1.000 m ³] für die Buchen-Brettschichtholzproduktion nach Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz und die technologische Eignung; im Zeitraum 2001-2020	17
Tabelle 3.10: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen [1.000 m ³] für die Buchen-Brettschichtholzproduktion nach Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz und die technologische Eignung; im Zeitraum 2001-2020, nach Bundesländern und Stärkeklassen	17
Tabelle 3.11: Experteneinschätzung zur Eignung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens für die Brettschichtholzproduktion.....	18
Tabelle 4.1: Rücklauf der erfolgten Befragung	22
Tabelle 4.2: Erfasste Produktionsstandorte für Brettschichtholz nach Regionen	23
Tabelle 4.3: Erfasste BSH-Produktion des Jahres 2001 nach Betriebsgrößenklassen	24
Tabelle 4.4: Standard- und Kommissionsware nach Betriebsgrößenklassen.....	25
Tabelle 4.5: Verteilung der erfassten BSH-Produktion auf die Festigkeitsklassen	25
Tabelle 4.6: Anteile der Festigkeitsklassen pro Betriebsgrößenklasse.....	26
Tabelle 4.7: Schnittholzeinsatz der BSH-Hersteller nach Größenklassen.....	27
Tabelle 4.8: Verarbeitete Schnittholzmenge nach Holzarten.....	28
Tabelle 4.9: Zur Ergänzung des eigenen Sortiments zugekaufte BSH-Mengen	29
Tabelle 4.10: Anteile der einzelnen Vertriebswege.....	29
Tabelle 4.11: Entwicklung des Inlandsabsatzes von Brettschichtholz	31

Tabelle 4.12:	Entwicklung des Exports	32
Tabelle 4.13:	Entwicklung des Marktanteils von Brettschichtholz.....	33
Tabelle 4.14:	Entwicklung der Marktanteile von Schnittholz und KVH	33
Tabelle 4.15:	Die Marktanteile von Trägersystemen und Balkenschichtholz.....	34
Tabelle 4.16:	Die Marktanteile von Furnierschicht- und Furnierstreifenholz.....	35
Tabelle 4.17:	Bedeutung verschiedener Rohmaterialien zur BSH-Herstellung	36
Tabelle 4.18:	Marktchancen von Buchen-BSH in Wohn- und Repräsentativbauten	38
Tabelle 4.19:	Buchen-BSH in Zweckbauten, Fassadenbau und Wintergärten.....	39
Tabelle 4.20:	Marktchancen für die Bereiche Sonderkonstruktionen und Export.....	40
Tabelle 4.21:	Größenklassenverteilung der befragten Architektur- und Planungsbüros	43
Tabelle 4.22:	Verwendung verschiedener Holzbauprodukte, Zimmerei u. Fertighaus	44
Tabelle 4.23:	Verwendung Holzbauprodukte, Architekten und Statiker.....	45
Tabelle 4.24:	Baumaterialien für Repräsentativbauten.....	48
Tabelle 4.25:	Baumaterialien für Decken- und Wandkonstruktionen in Wohnbauten.....	49
Tabelle 4.26:	Baumaterialien für Dachkonstruktionen in Wohnbauten	50
Tabelle 4.27:	Baumaterialien für Zweck- und Industriebauten.....	51
Tabelle 4.28:	Fassaden- und Wintergartenbau.....	52
Tabelle 4.29:	Sonderkonstruktionen	53
Tabelle 4.30:	Potenzielle Einsatzbereiche für BSH aus Buche	54
Tabelle 4.31:	Aufpreis für besondere Optik	58
Tabelle 4.32:	Aufpreisspanne in Wohnbauten, Zimmerer und Fertighaushersteller	59
Tabelle 4.33:	Aufpreisspanne in Repräsentativbauten, Zimmerer und Fertighaushersteller	60
Tabelle 4.34:	Aufpreis in Wohnbauten, Sichtbereich, Planer.....	60
Tabelle 4.35:	Aufpreis in Repräsentativbauten, Sichtbereich, Planer	61
Tabelle 4.36:	Aufpreis in Wohnbauten, verdeckte Konstruktion, Planer.....	61
Tabelle 4.37:	Aufpreis in Repräsentativbauten, verdeckte Konstruktion, Planer	62
Tabelle 4.38:	Favorisierte Anwendungsgebiete für Buchen-BSH.....	68
Tabelle 5.1:	Qualitätsanforderungen an die zu bestellenden Rohlamellen.....	74
Tabelle 5.2:	Anzahl der homogenen und kombinierten BSH-Träger	80
Tabelle 6.1:	Vergleich der Eigenschaften von fehlerfreien Proben aus Buche und Fichte (Grosser, Zimmer 1998).....	90
Tabelle 6.2:	Probenverteilung bei der Delaminierungsprüfung	93
Tabelle 6.3:	Verklebte Kleinproben mit Abkürzungsschlüssel	109
Tabelle 6.4:	Lamellenpaare für Herstellung von Druckscher- und Querkzugprüfkörpern.	111
Tabelle 6.5:	Probenanzahl der Druckscher- und Querkzugversuche	112
Tabelle 6.6:	Druckscherfestigkeit - Anzahl untersuchter Prüfkörper	113
Tabelle 6.7:	Querkzugfestigkeit - Anzahl untersuchter Prüfkörper	114

Tabelle 6.8:	Scherfestigkeiten der verwendeten Hölzer	114
Tabelle 6.9:	Ergebnisse der Scherprüfungen	117
Tabelle 6.10:	Ergebnisse der Querkzugprüfung	119
Tabelle 6.11:	Lamellen-Zugversuche: Eigenschaften der Sortiergruppen	122
Tabelle 6.12:	Geprüfte Biegebalken	132
Tabelle 6.13:	Auswertung der Biegeprüfung – Biegefestigkeit $f_{m,korr}$ [N/mm ²]	135
Tabelle 6.14:	Auswertung der Biegeprüfung – Elastizitätsmodul [N/mm ²]	135
Tabelle 6.15:	Korrelationskoeffizienten von mechanischen Eigenschaften und Sortierparametern	140
Tabelle 6.16:	Korrelationsverhalten bei Zugversuchen.....	142
Tabelle 7.1:	Kostenabschätzung bei der Herstellung von Brettschichtholz aus Buche ..	162
Tabelle 7.2:	Ausbeuteberechnung für BSH 14/24 aus 30 mm starken Lamellen	163
Tabelle 7.3:	Ermittlung der Fertigungskosten für Brettschichtholz aus Buche.....	163

1 Projektziele und –inhalte

A. Frühwald, J. B. Ressel

Hauptziel des Projektes ist die Erarbeitung einer Entwicklungsstrategie für hochwertige BSH-Produkte aus Buchenholz für den vorgefertigten Wohnungsbau, für Ein-/Zweifamilienhäuser und den mehrgeschossigen Wohnungsbau.

Daraus ergeben sich, gemäß Forschungsantrag, folgende **Teilziele**:

- A. Kenntnis des Rohholzaufkommens (mittel- und langfristig) hinsichtlich Mengen- und Preisrelationen unter Berücksichtigung der Qualitätsvariationen.
- B. Kenntnis der potenziellen Absatzmärkte für BSH-Produkte aus Buchenholz im Wohnungsbau und in anderen Sektoren: z.B. Messebau, Werkbänke etc. - auch im Vergleich mit herkömmlichem BSH aus Nadelholz.
- C. Abschätzung des Marktpotentials.
- D. Kenntnis der erzielbaren Eigenschaften der Produkte in Abhängigkeit der einzusetzenden Holzqualität, der in den Verwendungsbereichen erwarteten Produkteigenschaften, insbesondere der Tragfähigkeit.
- E. Kenntnis möglicher Verfahrenstechniken zur Herstellung von BSH-Produkten aus Buche, einschließlich Qualitätssicherung.
- F. Kenntnis der zu erwartenden Produktionskosten.

Rückblickend wurden das genannte Hauptziel und die aufgeführten Teilziele des Projektes erreicht. Seit Antragstellung ist die Holzart Buche verstärkt in das Interesse für tragende Holzbauteile gelangt; dies belegen weitere, teilweise noch laufende bzw. bereits abgeschlossene Projekte mit teils ähnlichen bzw. überwiegend ergänzenden Fragestellungen:

- Maschinellen Sortierung von Laub-Schichtholz (TU München, Institut für Holzforschung),
- Verleimung von Buchenholz zu Bauteilen für tragende Zwecke (FMPA Stuttgart),
- Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Buche (Universität Karlsruhe, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine),
- Regionales Vermarktungsprojekt rotkernige Buche (Unique – Weyerhäuser und partner, Freiburg im Breisgau; Abgeschlossen Dezember 2002).

Die **Projekthinhalte** (Arbeitsplan und Lösungsweg des Projektes) betrafen folgende Arbeitsabschnitte (vgl. Projektantrag):

1. Informationen über Rohstoffverfügbarkeit,
2. Abschätzung des Absatz- bzw. Substitutionspotenzial für Buchen-BSH,
3. Zusammenhang Rundholzqualitäten - erzielbare Schichtholzqualitäten im Hinblick auf die Herstellung von Buchen-BSH,
4. Herstellung typischer BSH-Produkte (Labor und Industrie) und die Prüfung ihrer Gebrauchseigenschaften,
5. Prüfung/Untersuchung der Verfahrenstechnik der Herstellung von Buchen-BSH,
6. Einschaltung eines Fachbeirates (projektbegleitende Expertengruppe).

Die Projektinhalte bzw. Arbeitsschritte wurden planmäßig, mit geringfügigen, nicht ergebnisrelevanten Umstellungen abgearbeitet (Abbildung 1.1). Insgesamt waren keine inhaltlichen Modifikationen erforderlich. Die erwähnten Projekte an der TU München und der FMPA Stuttgart ergänzen das hier berichtete Vorhaben; es werden keine Inhalte ersetzt.

Das Projekt konnte aus Gründen der Beschaffung von Buchenholz¹ und auch wegen der Rekrutierung von Mitarbeitern erst am 01.10.2001 begonnen werden. Darauf wurde im 1. Zwischenbericht bereits ausführlich eingegangen. Diese Verschiebung des Projektbeginns beeinflusste nicht den geplanten inhaltlichen Projektablauf.

Zum **Verwertungsplan** ergaben sich keine Abweichungen. Die einschlägigen Wirtschaftszweige waren in das Projekt einbezogen.

Projektphasen	Projektlaufzeit (lfd. Monate)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	
Rohstoffanalyse ¹⁾																			
Absatzpotentiale ²⁾						Verschiebung →													
Produktherstellung, -prüfg. ... ³⁾																		→	
Verfahrensbewertung																			
Marktpotential, Umsetzung																			
Wirtschaftsgespräche ⁴⁾	x						x							x					
Berichte	1. ZB →						2. ZB →						AB →						

- 1) Grundlegende Ergebnisse erarbeitet, Interpretation im Hinblick auf übrige Projektinhalte erfolgt noch.
- 2) Rekrutierung von Mitarbeitern, Umfrage im Holzbausektor, bei Architekten und Produzenten erfordert mehr Zeit für Rücklauf und die vergleichende Auswertung.
- 3) Klimalagerung ausgewählter Proben wird fortgesetzt bis zum Projektabschluss, nur sehr langsamer Feuchteausgleich!
- 4) Das erstes Wirtschaftsgespräch wurde als Abstimmungsgespräch in kleinerem Rahmen durchgeführt; an der zweiten bzw. dritten Gesprächsrunde – sog. *Expertentreffen* (x) – waren alle interessierten Wirtschaftskreise beteiligt (vgl. **Anhang 9.1**).

Abbildung 1.1: Projektablauf - Projektphasen

¹ Während der Sommermonate wird i.d.R. keine frische Buche eingeschlagen bzw. in den Sägewerken eingeschritten. Unvermeidbare Lagerzeiten und Transporte unter warmen Witterungsbedingungen führen zu Verstockung und Pilzbefall und damit zu einer u.U. erheblichen Entwertung des Holzes, so dass der Projektbeginn zwangsläufig um drei Monate verschoben werden musste.

2 Kurzfassung

J. B. Ressel

Projekthintergrund

Brettschichtholz bezeichnet aus Brettern (Lamellen) zusammengeleimte, gerade oder gekrümmte Träger für die konstruktive Verwendung im Baubereich. Vorzugsweise wird derzeit Nadelholz, insbesondere Fichte eingesetzt. Laubhölzer, wie die einheimische Buche, Eiche oder Esche, werden bislang nicht bzw. nur in Einzelfällen verwendet. Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Verfügbarkeit stärkerer Buchenvorkommen wird in dem hier zusammengefassten Projekt die Eignung der Buche für diesen Verwendungsbereich untersucht.

Vorteilhaft - im Vergleich zur Fichte - ist die höhere Tragfähigkeit des Buchenholzes; nachteilig sind u.a. die größeren feuchtebedingten Formänderungen und die geringe natürliche Dauerhaftigkeit. Stärkere Buchen bilden oftmals einen Rotkern aus, der wegen seiner typischen Verfärbungen in der Praxis weniger gefragt ist. Gerade für dieses Material gilt es eine höherwertige Verwendungsmöglichkeit aufzuzeigen. Weitere charakteristische Merkmale der Buche sind Faserabweichungen bis hin zu Drehwuchs sowie große Äste. Helle, nicht verfärbte Buche wird bevorzugt im Innenausbau, für Möbel und andere Ausstattungsgegenstände verwendet. Hierzu weniger gefragte rotkernige Schnittholzabschnitte finden als Verpackungsmaterial (Paletten, Kisten) Verwendung, dienen als Rohstoff für die Holzwerkstoff- oder die Zellstoffindustrie oder werden verbrannt.

Ausgehend von wenigen positiven Erfahrungen beim langjährigen Einsatz von Buchen-Brettschichtholz für tragende Zwecke, wird dieser Ansatz hier auf breiterer Basis untersucht. Dabei erfordert schon die Herstellung der Rohlamellen, d.h. der Bretter, die später mit ihren Breitseiten zu Trägern verleimt werden, besondere Strategien, die wesentlich von der üblichen Herstellung von Nadelholz-Brettschichtholz abweichen können und bei denen zusätzliche Faktoren zu berücksichtigen sind. Der Einschnitt im Sägewerk mit dem Ziel eines maximalen Erlöses bzw. einer maximalen Ausbeute an hochwertigen Schnittholzsortimenten wird einerseits bestimmt durch holzspezifische Merkmale (Rotkern, Äste, Faserabweichungen), andererseits durch die Verfahrenstechnik der Brettschichtholzherstellung. Letztendlich entscheidend für einen Erfolg ist die Wirtschaftlichkeit der Trägerherstellung und der auf dem Markt dafür erzielbare Preis.

Parallel zur Beschaffung der Rohlamellen werden die mittel- und langfristige Rohstoffversorgung und das Absatzpotenzial untersucht.

Rohstoffversorgung

Die Abschätzung des potenziellen Rohstoffaufkommens für die Herstellung von hochwertigem Brettschichtholz aus Buche erfolgt in zwei Schritten:

1. Abschätzung des gesamten durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens,
2. Untersuchung des Gesamtpotenzials nach für die Buchen-Brettschichtholzproduktion geeigneten Sortimenten.

Grundlage hierfür ist ein Simulationsmodell mit dem Waldzustandsdaten unter Berücksichtigung forstlicher Nutzungen in den Prognosezeitraum von 2001 bis 2020 fortgeschrieben werden. Eingangsdaten für das Simulationsmodell sind für das Gebiet der alten Bundesländer die Daten der Bundeswaldinventur (Stichtag 1.10.1987), für das Gebiet der neuen Bundesländer Forsteinrichtungsdaten aus verschiedenen Datenspeichern, insbesondere dem Datenspeicher Waldfonds (Stichtag 1.1.1993).

Die Eingrenzung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens nach technologischen Kriterien erfolgt anhand von Annahmen über die eingesetzten Rohholz-Stärkeklassen sowie anhand von Annahmen über spezifische Güteanforderungen von Brettschichtholzproduzenten in Bezug auf die Sortierung des Rohholzes nach Handelsklassen. Im Ergebnis ergibt - nach Eingrenzung über den Rohholzpreis und über die technologische Eignung des Rohholzes - ein jährliches Rohholzaufkommen von durchschnittlich etwa 2 Mio. m³ für den Zeitraum 2001-2020. Demnach ist rohstoffseitig für die nächsten Jahre hier kein Engpass zu erwarten.

Absatzpotenzial

Zur Ermittlung des Absatzpotenzials werden Umfragen bei den Herstellern von Brettschichtholz, bei Zimmereien und Fertighausherstellern und bei Architekten und Planern durchgeführt.

Das Ergebnis dieser Befragungen zeigt, dass – entgegen offiziellen statistischen Angaben – das jährliche Marktvolumen bei stagnierender Baukonjunktur im Bereich Nadelholz-Brettschichtholz insgesamt ca. 700.000 m³ beträgt (Stand 2001). Herstellerseitig wird ein neues Produkt Brettschichtholz aus Buche eher skeptisch beurteilt (höherer Herstellungsaufwand, höhere Kosten, fehlende Erfahrungen mit dem Material). Für kleinere Betriebe bietet sich jedoch durchaus die Möglichkeit hier eine Marktnische auszufüllen, eine entsprechende Nachfrage vorausgesetzt. Aus Sicht der Hersteller liegen die Marktchancen für Brettschichtholz aus Buche besonders in zwei Anwendungsgebieten: Einsatz im Wohnungsbau und in Repräsentativbauten, vorzugsweise im sichtbaren Bereich.

Nach Ansicht Anwender ist Brettschichtholz im Vergleich mit den Werkstoffen Vollholz, KVH, Trägersystemen sowie Furnierschichtholz sehr gut positioniert. Besonders die ansprechende Optik und ein recht gutes Preis-Leistungsverhältnis sprechen für eine Verwendung von Brettschichtholz. Sowohl Architekten als auch Holzbaubetriebe sehen den Einsatz von Brettschichtholz aus Buche vor allem im sichtbaren Bereich. Potenzielle Anwendungsgebiete sind neben Repräsentativ- und Wohnbauten auch Sonderkonstruktionen sowie Fassaden- und Wintergartenbau. Vor dem Hintergrund höherer Herstellkosten konnte gezeigt werden, dass im Wohnbaubereich 61%, im Bereich Repräsentativbau sogar 84% der Befragten einen Aufpreis für realisierbar halten. Nach Meinung eines Großteils der befragten Statiker und Architekten ist ein Aufpreis für Buchen-Brettschichtholz nur im Bereich sichtbarer Konstruktionen realisierbar. Hier würden die Auftraggeber nach Einschätzung der Planer durchschnittlich 14% Aufpreis in Wohnbauten und 17% Aufpreis in Repräsentativbauten akzeptieren.

Trägerherstellung und Prüfung

Der erste Projektabschnitt befasst sich hier mit der Herstellung der Rohlamellen aus dem Rundholz; je nach Sägewerksausstattung und Einschnittstrategie bieten sich verschiedene Einschnittmöglichkeiten (Rund- bzw. Scharfschnitt, Modelschnitt, Schnitt "um den Kern herum"). Unmittelbar anschließend wird das Schnittholz gedämpft, wobei sowohl eine Farbänderung (Farbvertiefung, -angleichung) als auch ein Spannungsabbau erfolgt. Dieser Prozessabschnitt beeinflusst nur geringfügig die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Holzes. Vorteilhaft ist das Dämpfen für die anschließende Trocknung, die schneller erfolgt und zu geringeren Verformungen führt, sowie für die spätere Verklebung.

Als Ausgangsmaterial für die herzustellenden Prüfkörper werden Rohlamellen aus drei deutschen Sägewerken verwendet. Diese werden nach festigkeitsrelevanten Merkmalen sortiert und ihrer potenziellen Tragfähigkeit nach geordnet. Zur Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften werden 70 Rohlamellen einer Zugprüfung unterzogen. Parallel erfolgen an ca. 2000 Querschug- und Scherproben Untersuchungen zur Verleimbarkeit mit verschiedenen Klebstoffen (MUF, PRF, PU und Epoxidharz); verwendet werden hierzu weiße und rotkernige Buche, gedämpft und ungedämpft sowie Fichte. Mit drei ausgewählten Klebstoffen (MUF,

PRF und PU) erfolgt anschließend die Herstellung von insgesamt 101 Probekörpern (Maße: 15 x 18 x 342 cm³), wobei weitgehend auf Keilzinkenstöße verzichtet wird bzw. – wenn unumgänglich – keilgezinkte Lamellen nur in den mittleren Trägerbereichen eingesetzt werden. Ergänzend werden inhomogene Träger (Mix-Träger) mit zwei Mittellamellen aus Fichte gefertigt. Zur Delaminierungsprüfung und Klimalagerung werden ca. 1 m lange Trägerabschnitte mit unterschiedlicher Lammellenstärke (18 mm, 24 mm und 30 mm) hergestellt.

Die anschließenden Biegeversuche an den gefertigten Trägern zeigen das Leistungspotential des Materials und ausgezeichnete Festigkeitswerte. Die erreichte Biegefestigkeit liegt im Mittel bei f_m , korr = 78 N/mm² (Spannweite 43,7 ... 106,7 N/mm²) bei einem 5%-Fraktilwert von 55,8 N/mm²; die Steifigkeit beträgt im Mittel 14.362 N/mm² (Spannweite 11.748 ... 17.804 N/mm²) bei einem 5%-Fraktilwert von 12.253 N/mm². Unterschiede zwischen den homogenen Buchenträgern und den Buche-Fichte-Trägern ergeben sich nicht. Damit erscheinen hochwertige Festigkeitsklassen auf Basis des ermittelten Datenmaterials durchaus möglich. Im Vergleich zu Brettschichtholz aus Fichte ist allerdings nur eine geringe Erhöhung der Steifigkeit zu erwarten.

Offen bleibt der Einfluss der Keilzinkenstöße auf die Tragfähigkeit der Brettschichtholzträger aus Buche. Hochwertiges Brettschichtholz aus Buche ist nur möglich, wenn die Keilzinkenstöße die hohe Qualität des Materials widerspiegeln. Während die Verklebung der Lamellen mit allen untersuchten Klebern sehr gut funktioniert, zeigen die Zugversuche mit keilgezinkten Lamellen, dass die Tragfähigkeit der Stöße in Abhängigkeit vom verwendeten Kleber erheblich variieren kann. Auch andere Parameter wie Zinkengeometrie, Klebstoffmenge oder Anpressdruck könnten das Ergebnis beeinflussen, so dass hier weitere systematische Untersuchungen erforderlich sind.

Die Auswertung der Sortierdaten im Hinblick auf die mechanische Leistung von Tragelementen zeigt, dass durch die Erfassung weniger Parameter eine zuverlässige maschinelle Sortierung möglich ist vor dem Hintergrund noch ausstehender, intensiver Untersuchungen zur Sicherstellung einer effektiven Sortierung. Die Überprüfung der Zusammenhänge zwischen der Zugfestigkeit der Lamellen und der dazugehörigen Biegefestigkeit von Brettschichtholz zeigt eine erste grobe Übereinstimmung mit dem für Fichtenholz gültigen Tragmodell für Brettschichtholz. Die experimentell fundierte Hypothese einer allgemeinen Gültigkeit dieses Modells ist somit korrekt.

Nicht geklärt bleiben Feuchteeinwirkungen auf die Verklebung. Da Buchenbrettschichtholz jedoch eher für die Innenanwendung vorgesehen ist, besteht hier kein unmittelbarer Forschungsbedarf. Nach einer Recherche zur Vergütung von Brettschichtholz aus Buche mit MUF-Harzen zur Verbesserung der Dimensionsstabilität ist eine solche Behandlung aufgrund einer nur geringen Reduzierung des Quell-/Schwindverhaltens, der Massenerhöhung und der schwierigen Imprägnierbarkeit des Rotkerns nicht sinnvoll.

Kostenbetrachtung

Die Kostenabschätzung der Trägerherstellung basiert – mangels ausreichender praktischer Erfahrungen – auf der Herstellung von Nadelholz-Brettschichtholz. Werden Träger aus Buche gefertigt, ist demgegenüber mit einem höheren Bearbeitungsaufwand, geringerer Ausbeute und einer geringeren Produktionsleistung zu rechnen. Entsprechende Annahmen gehen hier in die Kostenbetrachtung ein. Von großer Bedeutung sind die Kosten für die Rohlamellen, die, bei einer Konzentration auf geringwertige, rotkernige Ware gegenüber den getroffenen Annahmen hier noch gesenkt werden können. Nur im konkreten Einzelfall, am Beispiel einer realen Anlage, sind Aussagen zu den Kosten von Buchenbrettschichtholz aus querverleimten Lamellen möglich. Die bei der Massivholzplattenherstellung übliche Profilierung der Stablängsseiten vor der Querverleimung bzw. dem Fügen erscheint für die Brettschichtholzherstellung zu aufwendig und damit zu teuer. Zu berücksichtigen sind bei dieser

verfahrenstechnischen Variante die deutlich geringeren Holzkosten, sofern vorzugsweise rotkernige Buchenbrettsabschnitte eingesetzt werden.

In dem dargestellten Projekt konnte Brettschichtholz aus Buche erfolgreich hergestellt und experimentell untersucht werden. Die Ergebnisse zeigen die potenzielle Leistung dieses Produktes, geben aber auch fundierte Anhaltspunkte für weitere Untersuchungen. Somit können die Ziele dieser Untersuchung als erreicht betrachtet werden.

3 Rohstoffaufkommen

H. Englert, M. Dieter, C. Thoro

Die Abschätzung des potenziellen Rohstoffaufkommens für die Herstellung von hochwertigem Brettschichtholz aus Buche erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Arbeitsschritt wird das gesamte durchschnittliche jährliche potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen abgeschätzt. Im zweiten Arbeitsschritt wird dieses Gesamtpotenzial nach den für die Buchen-Brettschichtholzproduktion geeigneten Sortimenten abgeschichtet.

3.1 Durchschnittliches jährliches potenzielles Buchen-Rohholzaufkommen

In den alten Bundesländern (ABL) stockt die Buche auf einer Fläche von rd. 1,2 Mio. ha. Sie ist mit einem Anteil von 16% die wichtigste Laubbaumart (Datenbasis: Bundeswaldinventur). In den neuen Bundesländern (NBL) nimmt die Buche mit rd. 0,2 Mio. ha nur einen Anteil von 7% an der Waldfläche ein und ist dort, nach der Baumartengruppe ALN (andere Laubbäume mit niedriger Lebensdauer) die zweitwichtigste Laubbaumart (Datenbasis: Datenspeicher Waldfonds). Für die Bundesrepublik insgesamt ergibt sich demnach eine Buchenfläche von rd. 1,4 Mio. ha und ein Buchenanteil, gemessen an der Waldfläche, von 14%.

3.1.1 Daten und Methoden

Waldzustand

Die Berechnung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens in den alten Bundesländern basiert auf den Daten der Bundeswaldinventur (Stichtag 01.10.1987). Mit der Bundeswaldinventur (BWI) wurden Waldfläche und Vorrat sowie weitere forstlich relevante Informationen nach Baumartengruppen und Altersklassen in einem Stichprobenverfahren im 4 km x 4 km Raster erhoben (vgl. BICK, DAHM, 1992). Jeder Stichprobenpunkt ist eindeutig einem Land- oder Stadtkreis zugeordnet. Die Daten der BWI werden für das vorliegende Projekt so aufbereitet, dass sie die Baumarten- und Altersklassenstruktur in einem Landkreis widerspiegeln. Die Altersstruktur ist in fünfjährigen Altersstufen erfasst. Für die Potenzialberechnung wird lediglich die Fläche des Wirtschaftswaldes berücksichtigt.

Informationen über Zustand und Struktur des Waldes in den neuen Bundesländern können verschiedenen Datenspeichern entnommen werden. Der wichtigste Datenspeicher, der Datenspeicher Waldfonds, enthält die Forsteinrichtungsdaten (Stichtag 1.1.1993) aller Bestände der ehemaligen staatlichen Forstwirtschaftsbetriebe. Daneben stehen die Forsteinrichtungsdateien der ehemaligen Militärforstbetriebe sowie der Kirchenforsten zur Verfügung. Die Daten der Militärwälder, die sich im Besitz der Gemeinschaft unabhängiger Staaten (GUS) befinden haben, werden auf Basis der Daten der staatlichen Militärforstbetriebe hochgerechnet. Die Bestandesinformationen werden auf der Ebene von Forstämtern bzw. für Brandenburg auf der Ebene von Oberförstereien aggregiert.

Die Nutzung von Holz unterliegt teilweise auch institutionellen oder rechtlichen Restriktionen. Sowohl in Nationalparks als auch in Biosphärenreservaten sind Kernzonen ausgewiesen, in denen land- und forstwirtschaftliche Nutzung untersagt ist. Die Größe der Kernzonen sowie deren Waldanteil variieren vor allem zwischen den einzelnen Nationalparks erheblich. Für Biosphärenreservate gilt die Vorgabe, dass mindestens 3 % der Gesamtfläche als Kernzone ausgewiesen sein muss (DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DAS UNESCO-PROGRAMM MAB, 1996, S. 7).

Für die vorliegende Untersuchung wurden digitalisierte Datensätze zu Lage und Grenzen der Nationalparke und Biosphärenreservate vom Bundesamt für Naturschutz zur Verfügung gestellt. Durch Verschneidung mit den CORINE-Land-Cover-Daten (StBA, 1997) ist es damit möglich, den Waldanteil in den jeweiligen Nationalparks und Biosphärenreservat zu bestimmen. Die Datensätze enthalten jedoch keine Angaben zur Lage oder Größe der Kernzonen.

Angaben zur Waldfläche in den Kernzonen der Nationalparke können SCHLOTT (2000, S. 160) entnommen werden. Da die Baumarten- und Altersklassenstruktur eines Landkreises nicht weiter regionalisiert werden kann, wird für die Kernzonen die gleiche Waldstruktur unterstellt, wie sie für den Landkreis insgesamt ermittelt wurde.

Eine Übersicht über die Größe und den Waldanteil von Kernzonen in Biosphärenreservaten in Deutschland existiert unter anderem deshalb nicht, weil in einigen Biosphärenreservaten die Planungen zur Zoneneinteilung noch nicht abgeschlossen sind. Für Biosphärenreservate wird ein Anteil der Kernzone an der Gesamtfläche in Höhe von 4 % angenommen. Es wird unterstellt, dass die Kernzonen die gleiche Landnutzungsformenverteilung besitzen wie die jeweiligen Biosphärenreservate.

Simulation der Waldentwicklung

Die naturale Datenbasis für die Berechnung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens liegt für die alten und neuen Bundesländer zu unterschiedlichen Stichtagen vor. Zur Abschätzung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens für den Zeitraum 2001 bis 2020 müssen die Waldinformationen zunächst bis zum Jahr 2000 fortgeschrieben werden. Darauf aufbauend kann die Potenzialberechnung bis 2020 erfolgen.

Die Fortschreibung der durch Aggregation auf Landkreis- bzw. Forstamtsebene entstandenen ideellen Bestände geschieht mit Hilfe von Ertragstafeln. Tabelle 3.1 zeigt die verwendeten Ertragstafeln, deren Anwendungsbereich sowie die gewählten Umtriebszeiten. Die Umtriebszeiten sind POLLEY et al. (1996, S. 200 ff.) entnommen und über Eigentumsarten und Bundesländer gemittelt. Für aggregierte Bestände, die zum Stichtag bereits älter als die Umtriebszeit sind, müssen die Ertragstafeln über das maximale Alter hinaus extrapoliert werden. Dabei gilt die vereinfachende Annahme, dass die dendrometrischen Kennwerte Höhe, Mitteldurchmesser und verbleibender Vorrat gleich bleiben, während Zuwachs und in gleichem Maße Nutzung mit dem Alter exponentiell abnehmen.

Die aggregierten ideellen Bestände werden über ihre Mittelhöhe auf Zehntel Ertragsklassen bonitiert. Der Bestockungsgrad wird über das Verhältnis gemessener Vorrat zu Ertragstafelvorrat ermittelt. Der Bestockungsgrad bestimmt, um welchen Anteil Zuwachs und Nutzung aus der Ertragstafel reduziert bzw. erhöht werden müssen. Die Zuwachs- und Nutzungsveränderung erfolgt linear proportional zum Bestockungsgrad (vgl. KRAMER, AKCA, 1987, S. 202). Zur Vermeidung unplausibel hoher Zuwächse wird jedoch maximal der Faktor 1,3 zugelassen. Ertragsklasse und Bestockungsgrad eines Bestandes werden über den Simulationszeitraum beibehalten.

In den Fällen, in denen Datensätze wegen fehlender Informationen zur Höhe nicht bonitiert werden können, muss für die Fortschreibung eine Ertragsklasse exogen bestimmt werden. Insbesondere für Bestände der ersten Altersklasse, für die häufig weder Ertragstafelangaben existieren noch eine Mittelhöhe empirisch bestimmt werden kann, besteht die Notwendigkeit der Ertragsklassenzuweisung. Jedem Datensatz ohne berechnete Bonität wird die durchschnittliche Ertragsklasse derselben bzw. nächstmöglichen Altersklasse im Landkreis zugeordnet. Ist dies nicht möglich, erhält der Datensatz die durchschnittliche Ertragsklasse derselben bzw. nächstmöglichen Altersklasse, berechnet über alle Baumartengruppen im Landkreis. Sollte die Berechnung einer durchschnittlichen Ertragsklasse auch auf diesem Weg nicht möglich sein, erhält der Datensatz die durchschnittliche Ertragsklasse derselben bzw.

nächsthöheren Altersklasse im Bundesland. Mit diesem Vorgehen wird dem Umstand Rechnung getragen, dass jüngere Altersklassen in der Regel bessere Ertragsklassen aufweisen als ältere. Zudem wird berücksichtigt, dass die Standortvariabilität innerhalb eines Landkreises in der Regel geringer ist als die Variabilität der Standorte in einem Bundesland.

Tabelle 3.1: Verwendete Ertragstafeln und Umtriebszeiten

Baumarten- gruppe	Region	Ertragstafel	Umtriebs- zeit [Jahre]
Buche	ABL	Rotbuche - mäßige Durchforstung - Schober 1967	140
Buche	NBL	DDR-Buchenertragstafel - Dittmar, Knapp, Lembcke 1983	150

Bei der Fortschreibung wird der gemessene Vorrat um den laufenden Zuwachs aus der Ertragstafel erhöht und um das ausscheidende Volumen nach Ertragstafel verringert. Der ausscheidende Vorrat einer Periode wird anhand seines Mitteldurchmessers, der ebenfalls der Ertragstafel entnommen wird, nach der Bestandessortentafel (SCHÖPFER, DAUBER, 1990, S. 241 ff.) auf die üblichen Sorten aufgeteilt. Die Sortierung erfolgt für Vor- und Endnutzungen nach den gleichen Tafeln. Während die Mitteldurchmesser für Endnutzungen den Ertragstafeln aber direkt entnommen werden können, müssen die Mitteldurchmesser für Vornutzungen zum Teil aus verschiedenen Ertragstafelgrößen hergeleitet werden.

Da für Plenterwälder keine Ertragstafeln existieren, wird die Fläche des Plenterwaldes in einem Landkreis auf die Baumarten, die den Plenterwald bilden, altersstufenweise flächenproportional verteilt. Für Unter- bzw. Nebenbestand sind ebenfalls keine Angaben über Zuwachs und Nutzung verfügbar. Sie werden aus der Potenzialberechnung ganz ausgeklammert.

Auswertungen der Bundeswaldinventur und des Datenspeichers Waldfonds zeigen, dass die bei den Landesforstverwaltungen und Waldbesitzervereinigungen erfragten Umtriebszeiten in der Praxis nicht strikt eingehalten werden. Zum Teil können Bestandesalter festgestellt werden, die erheblich über den genannten Umtriebszeiten liegen. Um diese Erscheinung abbilden zu können, werden Übergangswahrscheinlichkeiten im Modell implementiert. Die Wahrscheinlichkeit für eine Nutzung verläuft glockenförmig im Bereich um die angegebene Umtriebszeit. Die Parameter der Wahrscheinlichkeitsverteilung werden entsprechend dem Vorgehen von ENGLERT, SASSE (1994, S. 10 ff.) auf der Basis der Untersuchung von GEROLD (1986, S. 130 ff.) berechnet.

Simulationszeitraum

Das potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen wird für vier fünfjährige Zeitabschnitte im Zeitraum von 2001 bis 2020 ermittelt und in Jahreswerte umgerechnet.

Darstellungseinheit

Die Ergebnisse der Bestandesfortschreibung werden auf Ebene der Raumordnungsregionen zusammengefasst. Dies sind, mit Ausnahme der Stadtstaaten, großräumige, funktional abgegrenzte Raumeinheiten für die Raumberichtserstattung des Bundes. Sie entsprechen in der Regel den Planungsregionen der Länder und bestehen jeweils aus etwa vier Landkreisen. Aus statistischen Gründen wurde auf eine Auswertung auf kleineren geographischen Einheiten verzichtet. Die Raumordnungsregionen lassen sich jeweils eindeutig einem Bundesland zuordnen.

3.1.2 Ergebnisse

Tabelle 3.2 bis Tabelle 3.5 zeigen das durchschnittliche jährliche potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland strukturiert nach Bundesländern, Stärkeklassen und 5-jährigen Zeitabschnitten. Das potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland im Durchschnitt des gesamten Untersuchungszeitraumes beträgt jährlich rd. 9,8 Mio. m³. Davon entfallen etwa 8,4 Mio. m³ auf die alten Bundesländer und rd. 1,4 Mio. m³ auf die neuen Bundesländer.

Innerhalb der alten Bundesländer ist das potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen in Baden-Württemberg, Bayern, und Hessen mit Aufkommenswerten von je rd. 1,7 bis 1,8 Mio. m³ am höchsten. Danach folgen die Bundesländer Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz mit Aufkommenswerten jeweils um 900 bis 950 Mio. m³. Unter den neuen Bundesländern ist das Buchen-Rohholzaufkommen in Thüringen mit rd. 625 Mio. m³ und in Mecklenburg-Vorpommern mit 357 Mio. m³ am höchsten.

Tabelle 3.2: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen (1.000 m³) der Baumartengruppe Buche im Zeitraum 2001 bis 2020 nach Bundesländern und Stärkeklassen

Bundesland	IH	Stärkeklasse							Gesamt
		L2a	L2b	L3a	L3b	L4	L5	L6	
Baden-Württemberg	1.051	47	127	161	149	189	68	19	1.811
Bayern	1.107	54	136	157	133	153	52	14	1.805
Hessen	857	33	101	152	161	245	104	33	1.686
Niedersachsen	490	23	65	84	78	105	41	12	897
Nordrhein-Westfalen	569	25	68	86	78	97	34	9	966
Rheinland-Pfalz	566	24	64	81	77	104	41	13	971
Schleswig-Holstein	113	5	15	20	19	24	9	2	208
Saarland	48	2	6	10	11	15	5	2	98
Früheres Bundesgebiet	4.801	213	582	751	707	932	354	103	8.442
Brandenburg	71	3	10	15	15	23	10	3	151
Mecklenburg-Vorpommern	167	7	22	32	35	58	27	9	357
Sachsen	40	2	4	6	6	10	4	1	73
Sachsen-Anhalt	94	4	12	17	17	24	9	3	180
Thüringen	317	13	40	58	61	90	36	11	625
Neue Bundesländer	689	29	87	127	135	206	86	27	1.386
Gesamt	5.490	242	669	879	841	1.138	440	130	9.828

Strukturiert nach Holzsorten entfallen rd. 5,5 Mio. m³ (56%) auf Industrieholz (IH) und 4,3 Mio. m³ (44%) auf Stammholz. Innerhalb des Stammholzes liegt der höchste Sortenanfall bei den Sorten L3a, L3b und L4. Den Aushaltungsgewohnheiten in der Praxis entsprechend wird Stammholz der Stärkeklassen 1a und 1b dem Industrieholz zugerechnet.

Tabelle 3.3 zeigt die Entwicklung des durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens strukturiert nach Stärkeklassen innerhalb des Untersuchungszeitraums von 2001 bis 2020. Danach fällt das potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen im Zeitverlauf geringfügig von rd. 10,3 Mio. m³ im Zeitabschnitt von 2001-2005 auf rd. 9,5 Mio. m³ im Zeitabschnitt von 2016-2020. Der Rückgang des Buchen-Rohholzaufkommens vollzieht sich dabei gleichmäßig über alle Stärkeklassen. Er lässt sich in erster Linie mit der zum Zeitpunkt der Inventuren vorgefundenen Überausstattung der oberen Altersklassen erklären.

Tabelle 3.3: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen (1.000 m³) der Baumartengruppe Buche nach fünfjährigen Zeitabschnitten und Stärkeklassen

Zeitabschnitt	Stärkeklasse								Gesamt
	IH	L2a	L2b	L3a	L3b	L4	L5	L6	
2001 - 2005	5.817	244	686	914	883	1.203	467	138	10.353
2006 - 2010	5.561	243	667	870	828	1.116	431	128	9.844
2011 - 2015	5.374	241	660	861	818	1.102	424	125	9.605
2016 - 2020	5.209	240	662	870	836	1.131	439	129	9.515
Durchschnitt	5.490	242	669	879	841	1.138	440	130	9.829

In Tabelle 3.4 ist die Entwicklung des Buchen-Rohholzaufkommens im Untersuchungszeitraum von 2001 bis 2020 nach Bundesländern dargestellt. Der abnehmende Trend des Buchen-Rohholzaufkommens im Zeitverlauf ist in allen Bundesländern zu erkennen. Die durchschnittliche Abnahme des Buchen-Rohholzaufkommens ist jedoch in den neuen Bundesländern mit 21% deutlich höher als in den alten Bundesländern mit 6%. Die Altersklassenverteilung der Buche in den neuen Bundesländern zum Stand 1.1.1993 ist relativ gleichverteilt, allerdings mit einer Überausstattung in den Altersklassen über 140 Jahren. Deren Nutzung im Modell erstreckt sich in den Untersuchungszeitraum mit hinein und verursacht damit einen Rückgang des Aufkommens im Zeitablauf in Richtung des Niveaus einer gleichmäßig aufgebauten Altersklassenstruktur. Innerhalb der neuen Bundesländer weist Brandenburg mit rd. 30% den höchsten prozentualen Rückgang auf, innerhalb der alten Bundesländer das Saarland mit 36%.

Tabelle 3.4: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen (1.000 m³) der Baumartengruppe Buche nach Bundesländern; fünfjährige Zeitabschnitte

Bundesland	Zeitabschnitt				Durchschnitt
	2001 bis 2005	2006 bis 2010	2016 bis 2020	2016 bis 2020	
Baden-Württemberg	1.808	1.786	1.801	1.849	1.811
Bayern	1.796	1.791	1.805	1.827	1.805
Hessen	1.887	1.723	1.607	1.526	1.686
Niedersachsen	940	888	878	883	897
Nordrhein-Westfalen	991	971	954	947	966
Rheinland-Pfalz	998	972	960	955	971
Schleswig-Holstein	224	211	202	194	208
Saarland	121	105	90	78	98
Früheres Bundesgebiet	8.766	8.447	8.297	8.259	8.442
Brandenburg	184	153	138	129	151
Mecklenburg-Vorpommern	404	359	338	327	357
Sachsen	78	74	71	69	73
Sachsen-Anhalt	214	178	166	160	180
Thüringen	704	632	594	572	625
Neue Bundesländer	1.585	1.396	1.307	1.256	1.386
Gesamt	10.351	9.843	9.604	9.515	9.828

3.2 Eingrenzung des durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens im Hinblick auf die Produktion von Brettschichtholz

Mit neuen Produkten können sowohl neue Märkte erschlossen als auch auf bisher bestehenden Märkten Marktanteile gewonnen und damit Veränderung in der Marktstruktur hervorgerufen werden. Im Fall von Buchenbrettschichtholz wird erwartet, dass dessen Hauptpotenzial in der Substitution anderer Baustoffe liegt, in erster Linie Brettschichtholz aus dem Holz von Nadelbaumarten. Da ein neues Produkt nur dann Erfolgsaussichten besitzt, wenn die eingesetzten Produktionsfaktoren gegenüber ihrer bisherigen Verwendung eine größere Wertschöpfung erfahren, liegt es nahe, das potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen für die Brettschichtholzproduktion auf diejenigen Sortimente zu beschränken, die bisher einen vergleichsweise geringen Marktpreis erzielen und daher ein hohes Wertschöpfungspotenzial besitzen. Zusätzlich ist bei der Eingrenzung des Buchen-Rohholzpotenzials für die Brettschichtholzproduktion auch die technische Eignung der jeweiligen Sortimente im Auge zu behalten.

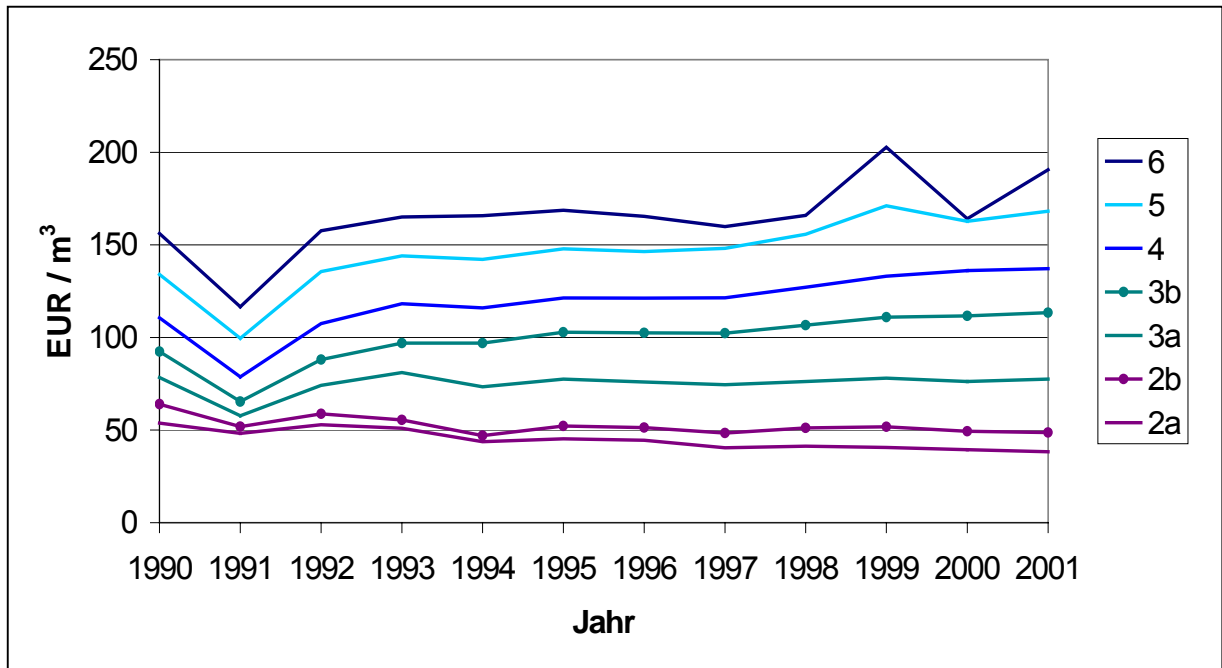
3.2.1 Eingrenzung des durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens über den Preis für das eingesetzte Rohholz

Die Eingrenzung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens über den Preis für das eingesetzte Rohholz geschieht in erster Linie im Hinblick auf das Konkurrenzprodukt Brettschichtholz aus Nadelhölzern. Zwar besteht auch die Möglichkeit, andere Baustoffe wie Stahl oder Beton zu substituieren; über dieses Potenzial liegen zur Zeit jedoch nur unzureichende Kenntnisse vor. Es wird neben den technischen Eigenschaften und dem Preis auch entscheidend von den Präferenzen der Bauherren mitbestimmt. Da Stahl oder Beton bereits heute durch Brettschichtholz substituiert werden können, erscheint eine Orientierung am Rohstoffpreis der Nadel-Brettschichtholzproduktion zur Eingrenzung des potenziellen Aufkommens für die Buchen-Brettschichtholzproduktion sinnvoll.

Brettschichtholz aus Buchenholz kann auf dem Markt für konstruktive Baustoffe nur dann bestehen, wenn es gegenüber anderen Produkten Preis- oder Qualitätsvorteile besitzt. Qualitätsvorteile von Brettschichtholz aus Buchenholz gegenüber Brettschichtholz aus Nadelhölzern sind derzeit noch nicht abzusehen; ihre Untersuchung ist Gegenstand der anderen Projektteile. Buchenholz besitzt zwar eine höhere Dichte als das Holz von Nadelbäumen. Wegen der schlechteren Ausstattung mit langen, elastischen Holzfasern und den damit verbundenen, in Bezug auf die Dichte, schlechteren technischen Eigenschaften wie z. B. Biegefestigkeit, müssen jedoch für vergleichbare technische Eigenschaften größere Querschnitte hergestellt und damit ein höheres Gewicht des Produktes in Kauf genommen werden. Zusätzlich quillt und schwindet Buchenholz stärker als Nadelholz und stellt auch höhere Ansprüche an die Verleimung, insbesondere im Fall von Rotkernigkeit.

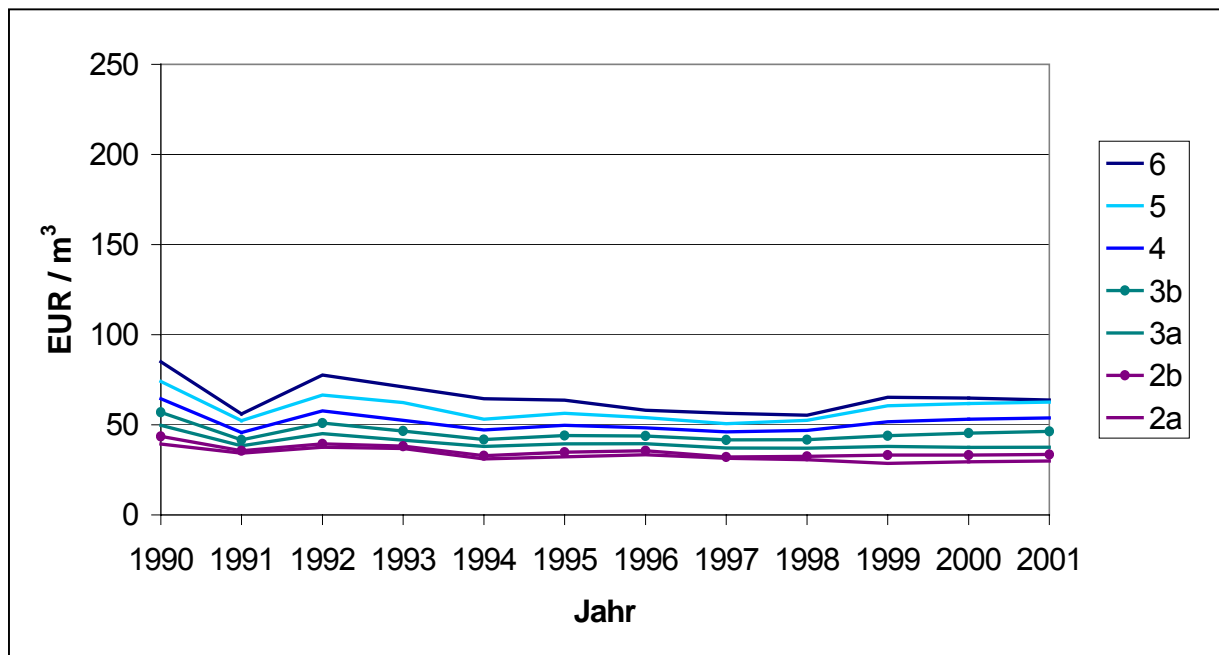
Die Vorteilhaftigkeit von Brettschichtholz aus Buchenholz gegenüber Brettschichtholz aus Nadelhölzern muss daher in erster Linie über den Preis für das Endprodukt erzielt werden. Unter der Annahme ähnlicher Produktionskosten - die bestehenden Probleme bei der Beileimung seien behoben - können die Preise für den eingesetzten Rohstoff direkt miteinander verglichen werden.

Für eine derartige Analyse bietet sich die jährliche Holzpreisstatistik der Bayerischen Staatsforstverwaltung an, die aufgrund ihrer inhaltlichen Untergliederung sowie der großen Verkaufsmengen eine hinreichend differenzierte und statistisch abgesicherte Datenbasis darstellt. bis Abbildung 3.3 zeigen exemplarisch die Entwicklung der Preise für Buchenstammholz der Güteklassen B und C nach Stärkeklassen sowie stellvertretend für Nadelholz, diejenige für Fichtenstammholz der Güteklasse B. Brettschichtholz aus Nadelholz wird zu einem Großteil aus Fichtenstammholz der Güteklasse B, insbesondere der schwächeren und mittleren Dimensionen, hergestellt.



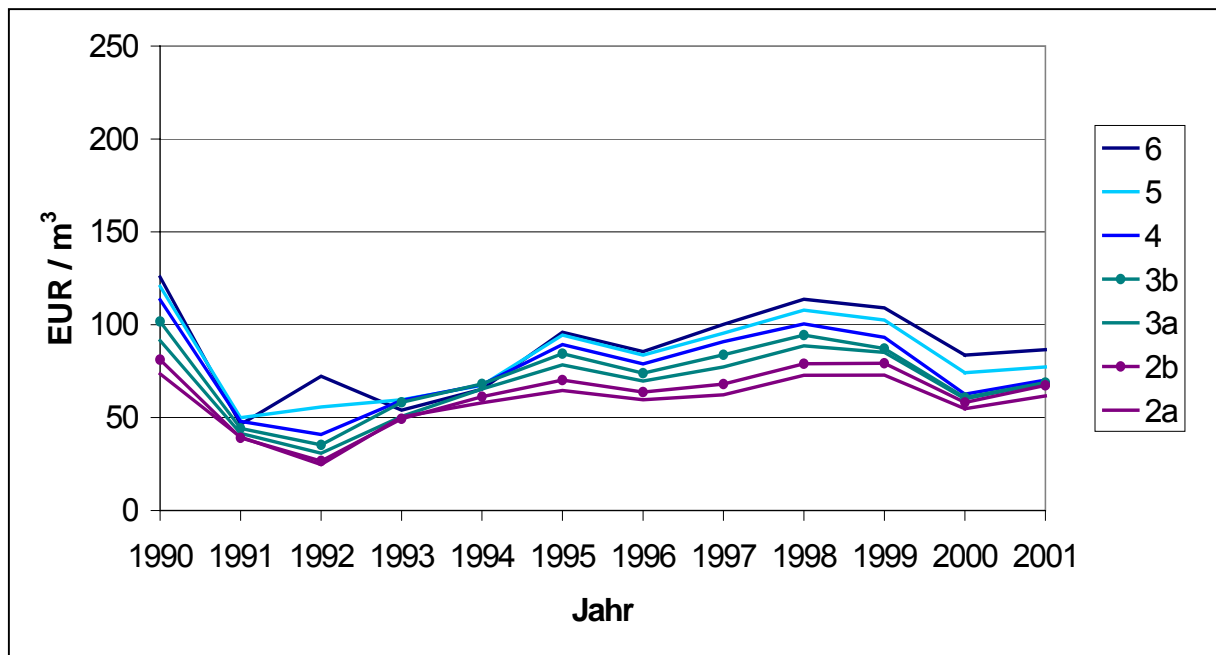
Quelle: Bayerische Staatsforstverwaltung, Holzpreisstatistiken

Abbildung 3.1: Preise für Buchenstammholz der Güteklasse B nach Stärkeklassen



Quelle: Bayerische Staatsforstverwaltung, Holzpreisstatistiken

Abbildung 3.2: Preise für Buchenstammholz der Güteklasse C nach Stärkeklassen



Quelle: Bayerische Staatsforstverwaltung, Holzpreisstatistiken

Abbildung 3.3: Preise für Fichtenstammholz der Güteklasse B nach Stärkeklassen

Die Abbildungen zeigen, dass die Preise für Buchenstammholz der Güteklasse B wesentlich stärker ausdifferenziert sind als diejenigen der Güteklasse C und auch als diejenigen von Fichtenstammholz der Güteklasse B. Sie liegen zum Teil deutlich über den Preisen vergleichbarer Fichtenstammholzsortimente. Die Preise für Buchenstammholz der Güteklasse C sind relativ stärkeklassenunabhängig und liegen durchweg unter den Preisen für Fichtenstammholz der Güteklasse B. Aus diesem direkten Vergleich folgt, dass der Preis für das eingesetzte Buchenrohholz bei der gegenwärtigen Holzmarktlage ca. 70 EUR/m³, das ist der Preis für schwächeres und mittleres Fichtenstammholz, nicht überschreiten darf. Tabelle 3.5 zeigt für das Jahr 2001 die Buchenstamm- und Industrieholzpreise detailliert gegliedert nach Güte- und Stärkeklassen. Als Rohstoff für die Brettchichtholzproduktion aus Buchenholz werden damit nur Industrieholz und Stammholz der Güteklassen C und schlechter sowie aus den Güteklasse B und BC nur Holz der Stärkeklassen 2a und 2b bzw. 2a bis 3b in Betracht gezogen (weißer Bereich in Tabelle 3.5).

Tabelle 3.5: Durchschnittliche Buchenstamm- und Industrieholzpreise in der Bayerischen Staatsforstverwaltung nach Stärke- und Güteklassen im Jahr 2001 [€/m³]

Güteklasse	IH	Stärkeklasse						
		L2a	L2b	L3a	L3b	L4	L5	L6
A			81	109	153	183	225	250
B		38	49	78	113	137	168	190
BC		34	37	42	50	77	102	108
C		30	34	38	46	54	63	64
CD		27	27	29	32	32	33	32
D		28	27	30	32	32	32	30
Industrieholz (NFK)	24							

IH: Industrieholz

Für die Eingrenzung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens über den Preis für das eingesetzte Rohholz bedeutet dies, dass das Modell um Güteklassenmerkmale erweitert und mit einem entsprechenden Filter versehen werden muss. Diesen Filter dürfen nur die vorstehend ausgeschiedenen Sortimente passieren. Die in dieser Untersuchung verwendeten forstlichen Inventurdaten enthalten jedoch keine Informationen über Güteklassenmerkmale; diese können auch aus anderen Datenquellen nicht für das gesamte Untersuchungsgebiet gewonnen werden. Daher muss das durchschnittliche jährliche potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen in der Bundesrepublik Deutschland gutachtlich auf Güteklassen aufgeteilt werden. Dafür bietet sich ebenfalls die Holzpreisstatistik der Bayerischen Staatsforstverwaltung an. Tabelle 3.6 zeigt die Güteklassenanteile nach Stärkeklassen, berechnet für die verkaufte Buchenstammholzmenge im Jahr 2001.

Tabelle 3.6: Güteklassenanteile nach Stärkeklassen, berechnet für die in der Bayerischen Staatsforstverwaltung im Jahr 2001 verkaufte Buchenstammholzmenge

Güteklasse	Stärkeklasse								Gesamt
	IH	L2a	L2b	L3a	L3b	L4	L5	L6	
A		0	0	0	0	4	25	42	5
B		10	30	34	35	34	19	11	29
BC		41	24	6	2	2	6	8	8
C		10	27	52	54	50	39	30	44
CD		36	17	8	9	10	10	7	12
D		3	2	1	1	1	1	2	1
Gesamt Stammholz		100	100	100	100	100	100	100	100
Industrieholz (NFK)	100								

IH: Industrieholz

Nach Übertragung der Güteklassenanteile aus Tabelle 3.6 auf das gesamte durchschnittliche jährliche potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen aus Tabelle 3.2 und anschließendem Ausschluss der zu hochpreisigen Sortimente (graue Felder in Tabelle 3.5) ergibt sich das in Tabelle 3.7 dargestellte durchschnittliche jährliche potenzielle Rohholzaufkommen [1.000 m³] für die Buchen-Brettschichtholzproduktion nach Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz. Es beträgt für den Zeitraum 2001-2020 durchschnittlich etwa 8,5 Mio. m³ pro Jahr und liegt damit nur wenig unter dem errechneten Aufkommen insgesamt, was insbesondere an dem großen Mengenanteil des Industrieholzes liegt.

Tabelle 3.7: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen [1.000 m³] für die Buchen-Brettschichtholzproduktion nach Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz im Zeitraum 2001-2020

Güteklasse	Stärkeklasse								Gesamt
	IH	L2a	L2b	L3a	L3b	L4	L5	L6	
A									0
B		24	200						224
BC		98	161	52	16				327
C		25	180	453	451	568	171	39	1.887
CD		88	115	69	76	112	42	10	512
D		7	12	6	7	11	6	2	51
Gesamt Stammholz		242	669	580	550	690	219	51	3.001
Industrieholz (NFK)	5.490								5.490
Gesamt									8.490

IH: Industrieholz

3.2.2 Eingrenzung des durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens über die technologische Eignung des eingesetzten Rohholzes

Die Berücksichtigung des Preises für das eingesetzte Rohholz führt zu einer ersten Abschichtung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens insgesamt im Hinblick auf den Verwendungszweck. Neben dem Aspekt der Konkurrenzfähigkeit ist jedoch auch die technologische Eignung des eingesetzten Rohholzes ein wichtiges Kriterium für die Einschätzung des Potenzials. Aus produktionstechnischen Gründen kann nur Rohholz ab der Stärkeklasse 2b eingesetzt werden. Für Industrieholz, das sich zum überwiegenden Teil aus schwachen Dimensionen zusammensetzt, werden daher pauschal nur 10% des Aufkommens als nach technologischen Gesichtspunkten für die Brettschichtholzproduktion geeignet angesehen.

Auch an die Qualität des eingesetzten Rohholzes werden bei der Produktion von Brettschichtholz relativ hohe Anforderungen gestellt. Starke Drehwüchsigkeit, Krümmung, Astigkeit und Fäule sind Ausschlussgründe. Holz schlechterer Qualität als Güteklasse C wird daher aus dem potenziellen Rohholzaufkommen ausgeklammert. Aber auch innerhalb der Güteklasse C sind die Qualitätsunterschiede noch so stark, dass nur von einem Teil des Aufkommens eine Eignung für die Brettschichtholzherstellung erwartet werden kann. Dieser Anteil lässt sich jedoch anhand der vorliegenden Angaben nicht quantifizieren, so dass für die weitere Eingrenzung mit der pauschalen Annahme von 50% gerechnet wird. Tabelle 3.8 zeigt die Anteile der nach technologischer Eignung brettschichtholzfähigen Sorten an den Mengen je Sorte insgesamt, nach vorheriger Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz.

Tabelle 3.8: Anteile der nach technologischer Eignung brettschichtholzfähigen Sorten an den Mengen je Sorte insgesamt [%] (nach vorheriger Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz)

Güteklasse	IH	Stärkeklasse						
		L2a	L2b	L3a	L3b	L4	L5	L6
A								
B			100					
BC			100	100	100			
C			50	50	50	50	50	50
CD								
D								
Industrieholz (NFK)	10							

IH: Industrieholz

3.2.2.1 Ergebnis der Eingrenzung des durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens im Hinblick auf die Produktion von Brettschichtholz

Anhand der in Tabelle 3.8 eingegrenzten brettschichtholzfähigen Sorten bzw. deren Anteil am jeweiligen Sortenaufkommen insgesamt kann abschließend das potenzielle Rohholzaufkommen [1.000 m³] für die Buchen-Brettschichtholzproduktion nach Eingrenzung sowohl über den Preis für das eingesetzte Rohholz als auch über die technologische Eignung berechnet werden. Es beträgt im Zeitraum 2001-2020 jährlich durchschnittlich knapp 2 Mio. m³. Die Industrieholzsortimente tragen darin mit knapp 30% zum Aufkommen bei. Die zweitwichtigste Sorte ist Stammholz der Stärkeklasse 2b. Nach Güteklassen betrachtet stellt die Güteklasse C mit knapp 50% den größten Anteil des Aufkommens.

Tabelle 3.9: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen [1.000 m³] für die Buchen-Brettschichtholzproduktion nach Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz und die technologische Eignung; im Zeitraum 2001-2020

Güteklasse	IH	Stärkeklasse						Gesamt	
		L2a	L2b	L3a	L3b	L4	L5		L6
A									0
B			200						200
BC			161	52	16				229
C			90	226	226	284	85	20	931
CD									0
D									0
Gesamt Stammholz			451	278	242	284	85	20	1.360
Industrieholz (NFK)	549								549
Gesamt									1.909

IH: Industrieholz

Die Verteilung des für die Buchen-Brettschichtholzproduktion eingegrenzten Aufkommens auf die Bundesländer (Tabelle 3.10) entspricht nahezu genau der regionalen Verteilung des Buchenrohholzaufkommens insgesamt auf die Bundesländer (Tabelle 3.2). Mit jeweils ca. 18% Anteil besitzen die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Hessen die höchsten Aufkommen. Auf die alten Bundesländer insgesamt entfallen 86% des Aufkommens. Unter den neuen Bundesländern besitzt Thüringen mit 6% den höchsten Anteil.

Tabelle 3.10: Durchschnittliches jährliches potenzielles Rohholzaufkommen [1.000 m³] für die Buchen-Brettschichtholzproduktion nach Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz und die technologische Eignung; im Zeitraum 2001-2020, nach Bundesländern und Stärkeklassen

Bundesland	IH	Stärkeklasse						Gesamt	
		L2a	L2b	L3a	L3b	L4	L5		L6
Baden-Württemberg	105	0	86	51	43	47	13	3	348
Bayern	111	0	91	50	38	38	10	2	340
Hessen	86	0	68	48	46	61	20	5	335
Niedersachsen	49	0	44	26	22	26	8	2	177
Nordrhein-Westfalen	57	0	46	27	23	24	7	1	185
Rheinland-Pfalz	57	0	43	26	22	26	8	2	184
Schleswig-Holstein	11	0	10	6	5	6	2	0	41
Saarland	5	0	4	3	3	4	1	0	20
Früheres Bundesgebiet	480	0	393	238	203	233	69	16	1.630
Brandenburg	7	0	7	5	4	6	2	0	31
Mecklenburg-Vorpommern	17	0	15	10	10	15	5	1	73
Sachsen	4	0	3	2	2	2	1	0	14
Sachsen-Anhalt	9	0	8	5	5	6	2	0	36
Thüringen	32	0	27	18	17	22	7	2	125
Neue Bundesländer	69	0	59	40	39	51	17	4	279
Gesamt	549	0	451	278	242	284	85	20	1.909

IH: Industrieholz

Unabhängig von der vorstehenden Eingrenzung des durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens im Hinblick auf die Produktion von Brettschichtholz wurde die projektbegleitende Expertengruppe um eine grobe Experteneinschätzung gebeten. Die Anteile der brettschichtholzfähigen Sortimente am potenziellen Buchen-Rohholzaufkommen wurden dabei nur pauschal eingeschätzt. Eine differenzierte Herleitung, z. B. nach Preisen

und Güteklassen, wurde nicht vorgenommen. Im Ergebnis (Tabelle 3.11) liegt diese Schätzung mit 2,4 Mio. m³ um etwa 0,5 Mio. m³ über dem hergeleiteten Volumen. Sie bestätigt damit aber die Größenordnung des berechneten Aufkommens an Buchenrohholz für die Brettschichtholzproduktion in der Bundesrepublik Deutschland. Inwiefern dieses potenzielle Aufkommen in Zukunft wirtschaftlich genutzt werden kann, wird unter anderem auch von den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens sowie deren Umsetzung abhängen.

Tabelle 3.11: Experteneinschätzung zur Eignung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens für die Brettschichtholzproduktion

	IH	Stärkeklasse							Gesamt
		L2a	L2b	L3a	L3b	L4	L5	L6	
Aufkommen insgesamt [1.000 m3]	5.490	242	669	879	841	1.138	440	130	9.829
Eignung für Brettschichtholz [%]	5	0	100	65	50	30	30	30	
Aufkommen für Brettschichtholz [1.000 m3]	275	0	669	571	421	341	132	39	2.448

3.3 Zusammenfassung - Rohstoffaufkommen

Die Abschätzung des potenziellen Rohstoffaufkommens für die Herstellung von hochwertigem Brettschichtholz aus Buche erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Arbeitsschritt wird das gesamte durchschnittliche jährliche potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen abgeschätzt. Im zweiten Arbeitsschritt wird dieses Gesamtpotenzial nach den für die Buchen-Brettschichtholzproduktion geeigneten Sortimenten abgeschichtet.

Grundlage für die Abschätzung des gesamten durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens ist ein Simulationsmodell mit dem Waldzustandsdaten unter Berücksichtigung forstlicher Nutzungen in den Prognosezeitraum von 2001 bis 2020 fortgeschrieben werden. Eingangsdaten für das Simulationsmodell sind für das Gebiet der alten Bundesländer die Daten der Bundeswaldinventur (Stichtag 1.10.1987), für das Gebiet der neuen Bundesländer Forsteinrichtungsdaten aus verschiedenen Datenspeichern, insbesondere dem Datenspeicher Waldfonds (Stichtag 1.1.1993).

Die Ergebnisse der Abschätzung des gesamten durchschnittlichen jährlichen potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens werden nach Bundesländern, Stärkeklassen und 5-jährigen Zeitabschnitten strukturiert dargestellt. Das potenzielle Buchen-Rohholzaufkommen auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland im Durchschnitt des gesamten Untersuchungszeitraumes beträgt jährlich rd. 9,8 Mio. m³.

Im zweiten Arbeitsschritt werden aus dem potenziellen Buchen-Rohholzaufkommen die für die Buchen-Brettschichtholzproduktion geeigneten Rohholzsortimente nach wirtschaftlichen und technologischen Kriterien abgegrenzt.

Die Eingrenzung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens nach wirtschaftlichen Kriterien erfolgt über den Preis für das eingesetzte Rohholz, insbesondere im Vergleich zu dem wichtigsten Konkurrenzprodukt Brettschichtholz aus Nadelhölzern und unter der Annahme von ähnlichen Produktionskosten für die Brettschichtholzherstellung aus Buche und aus Nadelhölzern. Grundlage für die Eingrenzung über den Preis für das eingesetzte Rohholz ist eine Analyse der jährlichen Holzpreisstatistik der Bayerischen Staatsforstverwaltung für das Jahr 2001.

Die Eingrenzung des potenziellen Buchen-Rohholzaufkommens nach technologischen Kriterien erfolgt anhand von Annahmen über die eingesetzten Rohholz-Stärkeklassen sowie anhand von Annahmen über spezifische Güteanforderungen von Brettschichtholzproduzenten in Bezug auf die Sortierung des Rohholzes nach Handelsklassen.

Das jährliche Rohholzaufkommen für die Buchen-Brettschichtholzproduktion nach Eingrenzung über den Rohholzpreis und über die technologische Eignung des Rohholzes beträgt für den Zeitraum 2001-2020 durchschnittlich etwa 2 Mio. m³.

Mit jeweils ca. 18% Anteil besitzen die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Hessen die höchsten Aufkommen. Auf die alten Bundesländer insgesamt entfallen 86% des Aufkommens. Unter den neuen Bundesländern besitzt Thüringen mit 6% den höchsten Anteil.

Hinsichtlich der Rohholzsorten tragen die Industrieholzsortimente mit knapp 30% am stärksten zum Aufkommen bei. Die zweitwichtigste Sorte ist Stammholz der Stärkeklasse 2b. Nach Güteklassen betrachtet stellt die Güteklasse C mit knapp 50% den größten Anteil des Aufkommens.

3.4 Literatur - Rohstoffaufkommen

- BICK, U., DAHM, S., 1992 - Bundeswaldinventur 1986-1990. Band I: Inventurbericht und Übersichtstabellen für das Bundesgebiet nach dem Gebietsstand vor dem 3.10.1990 einschließlich Berlin (West). Band II: Grundtabellen für das Bundesgebiet nach dem Gebietsstand vor dem 3.10.1990 einschließlich Berlin (West). Bonn: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.)
- DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DAS UNESCO-PROGRAMM „DER MENSCH UND DIE BIOSPHÄRE“ (MAB) [HRSG.], 1996 - Kriterien für Anerkennung und Überprüfung von Biosphärenreservaten der UNESCO in Deutschland. Bonn: Bundesamt für Naturschutz
- ENGLERT, H., SASSE, V., 1994 - Zur regionalen Wettbewerbsstellung der forstlichen Produktion. Entwicklung eines Simulationsmodells. Hamburg: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft = Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Nr. 94/1
- GEROLD, D., 1986 - Zielwälder und Prognosen für Nachhaltseinheiten (Dissertation). Dresden: Technische Universität Dresden
- KRAMER, H., AKCA, A., 1987 - Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur. Frankfurt am Main: Sauerländer's
- POLLEY, H., SASSE, V., ENGLERT, H., 1996 - Entwicklung des potentiellen Rohholzaufkommens bis zum Jahr 2020 für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Hamburg: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft = Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Nr. 183
- SCHLOTT, W., 2000 - Schutzgebiete, Waldwirkungen und Forstwirtschaft (Dissertation). München: Forstliche Fakultät der Technischen Universität
- SCHÖPFER, W., DAUBER, E., 1990 - Bestandessortentafeln 82/85. In: Hilfstafeln für die Forsteinrichtung, zusammengestellt für den Gebrauch in der Bayerischen Staatsforstverwaltung. München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.)
- STATISTISCHES BUNDESAMT (StBA), 1997 - Daten zur Bodenbedeckung für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden

4 Schätzung des Absatzpotenzials für Buchen-Brettschichtholz

Udo Mantau, Christian Sörgel

4.1 Schätzung des aktuellen Brettschichtholz-Marktvolumens

4.1.1 Ziel und Anlage der Studie

4.1.1.1 Ziel der Studie

Zielsetzung dieser Befragungsaktion war die Bestimmung des aktuellen Marktvolumens von Brettschichtholz. Zu diesem Zweck wurden durch eine Befragung der Hersteller die im Jahr 2001 produzierten Brettschichtholz mengen ermittelt. Der Fragebogen liefert neben der produzierten Gesamtmenge Angaben hinsichtlich Standard- bzw. Kommissionsfertigung, Anteile der einzelnen Festigkeitsklassen sowie der lieferbaren Oberflächenqualitäten. Ebenfalls erfasst wurden die eingesetzte Schnittholzmenge sowie Anteile einzelner Holzarten am Schnittholz- bzw. Rohmaterialeinsatz. Um die Charakterisierung des aktuellen Brettschichtholz-Angebotes zu vervollständigen, wurde zusätzlich die Vertriebsstruktur der BSH-Hersteller erfasst.

Die Erhebung des Brettschichtholz-Marktvolumens sollte gleichzeitig dazu genutzt werden, erste Einschätzungen der Chancen des neuen Werkstoffes Brettschichtholz aus Buchenholz aus Sicht der Hersteller zu gewinnen. Zu diesem Zweck erhielt der Fragebogen einen zweiten Teil, der neben Angaben zur Absatzentwicklung von BSH-Produkten und zu möglichen Konkurrenzprodukten auch mögliche Einsatzgebiete für den neu entwickelten Werkstoff aufzeigen sollte.

Um die Zielgruppe der Brettschichtholz-Hersteller möglichst vollständig zu erfassen, wurde als Grundlage das Herstellerverzeichnis der Mitgliedsbetriebe der Studiengemeinschaft Holzleimbau gewählt, das derzeit 33 Betriebe ausweist. Dieses Verzeichnis wurde durch eigene Recherchen (Internet-Recherche, Gelbe Seiten, Verzeichnis der Betriebe mit Herstellgenehmigung nach DIN 1052/A) um 54 Adressen ergänzt.

4.1.1.2 Versand der Fragebögen und Rücklauf

Nach beendeter Adressrecherche standen 87 Adressen potenzieller Brettschichtholz-Hersteller zur Verfügung. Der Versand der 87 Fragebögen erfolgte am 06.06.2002. Bis zum Start der Nachfassaktion am 25.06.2002 betrug der Rücklauf 37%, so dass nochmals 55 Fragebögen verschickt werden mussten. Da versucht werden sollte, die Zielgruppe möglichst vollständig zu erfassen, wurde knapp vier Wochen nach Beginn der schriftlichen Nachfassaktion nochmals telefonisch bei denjenigen Betrieben nachgefragt, die bis dato nicht geantwortet hatten. Im Rahmen dieser vom 17.-19. Juli erfolgten Telefonbefragung wurde lediglich das Produktionsvolumen der befragten Betriebe ermittelt, da der Rücklauf der schriftlichen Befragung mit mehr als 50% ausreichend gesicherte Strukturdaten für spätere Hochrechnungen liefern konnte.

Nach Beendigung der telefonischen Nachfassaktion lagen 73 auswertbare Fragebögen vor. Der Rücklauf der Herstellerbefragung betrug somit 84%.

Tabelle 4.1: Rücklauf der erfolgten Befragung

	Anzahl	%
versandte Fragebögen	87	100%
keine Beteiligung	14	16%
Rücklauf	73	84%
davon:		
aus schriftlicher Befragung	53	61%
telefonisch erfasst	20	23%
Rücklauf	73	100%
davon:		
kein BSH-Hersteller	21	29%
Produktion stillgelegt	5	7%
Produktion erst 2002 angelaufen	2	3%
BSH-Produzenten 2001	45	61%
davon:		
Mitglieder eines Konzerns	6	8%
ausgewiesene Einzelbetriebe	39	53%

In 21 der 87 befragten Betriebe wurde kein Brettschichtholz produziert. Weitere fünf Betriebe waren als Hersteller verzeichnet, hatten jedoch zwischenzeitlich die Produktion stillgelegt. Zwei der angeschriebenen Betriebe haben die Produktion erst im Laufe des Jahres 2002 aufgenommen und konnten daher keine vollständigen Angaben liefern. Sechs Produktionsstätten konnten nicht separat ausgewertet werden, da sie einer Herstellergruppe angehören. Bei diesen Herstellergruppen lieferte jeweils das Stammwerk die Produktionszahlen für die ganze Gruppe. 14 der befragten Betriebe wollten sich an der Befragung nicht beteiligen, so dass letztendlich auf die Angaben von 39 Betrieben bzw. Herstellergruppen zur Brettschichtholzproduktion zurückgegriffen werden konnte.

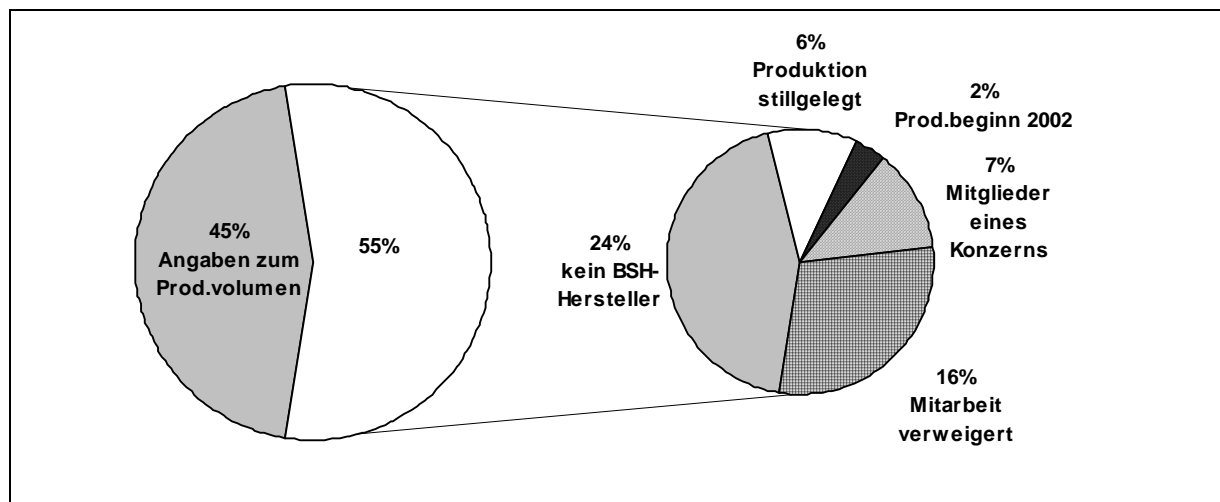


Abbildung 4.1: Struktur des Rücklaufs

Abbildung 4.1 zeigt die Struktur des Rücklaufs ausgehend von der Einteilung in Betriebe, die Angaben zum Produktionsvolumen lieferten sowie die Aufteilung der Betriebe, deren Produktion nicht separat erfasst werden konnte.

4.1.2 Die Brettschichtholzproduktion

Im Rahmen der Befragung konnten insgesamt 47 Produktionsstandorte für Brettschichtholz identifiziert werden. Im Jahr 2001 wurde nachweislich an 45 Standorten BSH hergestellt, zwei Standorte haben die Produktion im Laufe des Jahres 2002 aufgenommen.

4.1.2.1 Aktuelles Produktionsvolumen für BSH

Die *erfassten* 39 Brettschichtholz-Hersteller produzierten im Jahr 2001 insgesamt 593.879 m³ Brettschichtholz. Im folgenden werden jeweils 40 Betriebe ausgewiesen, da die sechs Produktionsstätten, die einem Konzern angehören, nicht separat ausgewertet werden konnten. Die Angaben zu einem Produktionsstandort in der Region Nord wurden der Fachliteratur entnommen, da dieser Hersteller sich nicht an der Befragung beteiligte. Tabelle 4.2 zeigt die Produktionsstandorte sowie die Produktionsmenge für die einzelnen Regionen.

Tabelle 4.2: Erfasste Produktionsstandorte für Brettschichtholz nach Regionen

Region	Produktionsstandorte	Produktion	
		[m ³]	[%]
Nord	7	162.800	24
Ost	5	195.010	28
West	5	27.830	4
Mitte	4	37.470	5
Süd	19	270.769	39
Insgesamt	40	693.879	100

Frage: Wie groß war die Gesamtproduktion an BSH im Jahr 2001?

Aufgrund der Tatsache, dass sechs Produktionsstandorte nicht separat ausgewiesen werden konnten, ergeben sich auch in der Darstellung der Produktion nach Regionen leichte Verschiebungen. Die für eine Herstellergruppe mit mehreren Einzelstandorten ausgewiesene Produktionsmenge konnte folgerichtig nur dem jeweiligen Stammsitz des Konzerns und damit auch nur einer Region zugeordnet werden. Sind die einzelnen Produktionsstandorte eines Konzerns auf verschiedene Regionen verteilt, so konnte dies in Tabelle 4.2 nicht dargestellt werden.

Mit 248.000 m³ entfällt der größte Anteil an der Produktion auf eine Betriebsgröße von 10.000 bis unter 50.000 m³ Produktionsvolumen. Dieser Betriebsgröße konnten insgesamt 13 Produktionsstandorte zugeordnet werden. Die Größenklassen über 50.000 m³ umfassen 4 Betriebe. Auf diese vier Produktionsstandorte entfallen mit 352.000 m³ gut 51% der erfassten Gesamtproduktion. Fast die Hälfte aller Betriebe entfällt auf die Größenklassen unter 10.000 m³ Jahresproduktion. Die Produktion dieser Betriebe beträgt jedoch weniger als ein Fünftel der Gesamtproduktion.

Tabelle 4.3: Erfasste BSH-Produktion des Jahres 2001 nach Betriebsgrößenklassen

Betriebsgrößenklasse [m ³]	Produktion [m ³]	Anzahl Betriebe	Produktion anteilig
unter 1.000 m ³	855	4	<1%
1.000 b. u. 5.000 m ³	32.000	10	5%
5.000 b. u. 10.000 m ³	60.824	9	9%
10.000 b. u. 50.000 m ³	248.000	13	36%
50.000 b. u. 100.000 m ³	132.000	2	19%
100.000 m ³ und mehr	220.000	2	32%
INSGESAMT	693.879	40	100%

Frage: Wie groß war die Gesamtproduktion an BSH im Jahr 2001?

Als Richtwert für das Produktionsvolumen der Brettschichtholz-Hersteller in Deutschland werden in der Literatur ca. 700.000 m³ genannt. Diese Zahl konnte mit der erfolgten Befragung bestätigt werden.

Die beiden im Laufe des Jahres 2002 angelaufenen Produktionslinien verfügen zusammen über eine Produktionskapazität von ca. 90.000 m³ [vgl. hierzu ANONYMUS, 2002 B bzw. ANONYMUS, 2002 C]. Betriebsstart der beiden Anlagen ist nach Literaturhinweisen April bzw. August des Jahres 2002. Die Produktionskapazität für BSH in Deutschland dürfte daher im Jahr 2002 die 700.000 m³-Marke deutlich übersteigen.

4.1.2.2 Weitere Unterteilung der erfassten BSH- Produktion

Nach den Angaben zum Produktionsvolumen des Jahres 2001 wurden die befragten Hersteller noch gebeten, ihre Produktion hinsichtlich Standard- bzw. Kommissionsware, Festigkeitsklassen sowie Oberflächenqualitäten zu spezifizieren.

Zum jeweiligen Anteil kommissionierter bzw. Standardware machten insgesamt 31 Hersteller Angaben. Auf Basis des erfassten Verhältnisses wurden die fehlenden Angaben auf die erfasste Gesamtmenge (40 Hersteller) hochgerechnet. Der Anteil der Standardware an der BSH-Produktion des Jahres 2001 beträgt 40%. Kommissioniert wurden demnach 60 % des insgesamt produzierten BSH.

Die Produktion an Standardware betrug im Jahr 2001 280.000 m³, an Kommissionsware wurden 414.000 m³ produziert. Der bereits im Verlauf der letzten Jahre zu beobachtende Trend zu einer stärkeren Kommissionierung der produzierten Ware lässt sich durch die Befragungsergebnisse bestätigen². Lediglich in der Betriebsgrößenklasse mit 50.000 bis 100.000 m³ Produktionsvolumen überwiegt die Standardwarenproduktion deutlich.

² s. hierzu EUWID – holz spezial, Nr. 2/99

Tabelle 4.4: Standard- und Kommissionsware nach Betriebsgrößenklassen

Betriebsgrößenklasse [m ³]	Stand.ware		Kom.ware	
	[m ³]	in %	[m ³]	in %
unter 1.000 m ³	63	7	793	93
1.000 b. u. 5.000 m ³	13.444	42	18.756	58
5.000 b. u. 10.000 m ³	19.739	33	41.085	77
10.000 b. u. 50.000 m ³	111.908	45	136.092	55
50.000 b. u. 100.000 m ³	82.400	62	49.600	38
100.000 m ³ und mehr	52.300	24	167.700	76
INSGESAMT	279.854		414.025	

Frage: Wie verteilt sich die BSH-Produktion auf Standard- und Kommissionsware?

Tabelle 4.5: Verteilung der erfassten BSH-Produktion auf die Festigkeitsklassen

Betriebsgrößenklasse [m ³]	BS 11	BS 14	BS 16	BS 18
	in %	in %	in %	in %
unter 1.000 m ³	<1	<1	0	0
1.000 b. u. 5.000 m ³	5	3	2	1
5.000 b. u. 10.000 m ³	8	12	7	25
10.000 b. u. 50.000 m ³	33	39	59	58
50.000 b. u. 100.000 m ³	20	19	0	0
100.000 m ³ und mehr	33	27	32	17
Summe	510.160 m³	147.200 m³	34.702 m³	1.818 m³

Frage: Wie verteilt sich die BSH-Produktion auf die Festigkeitsklassen?

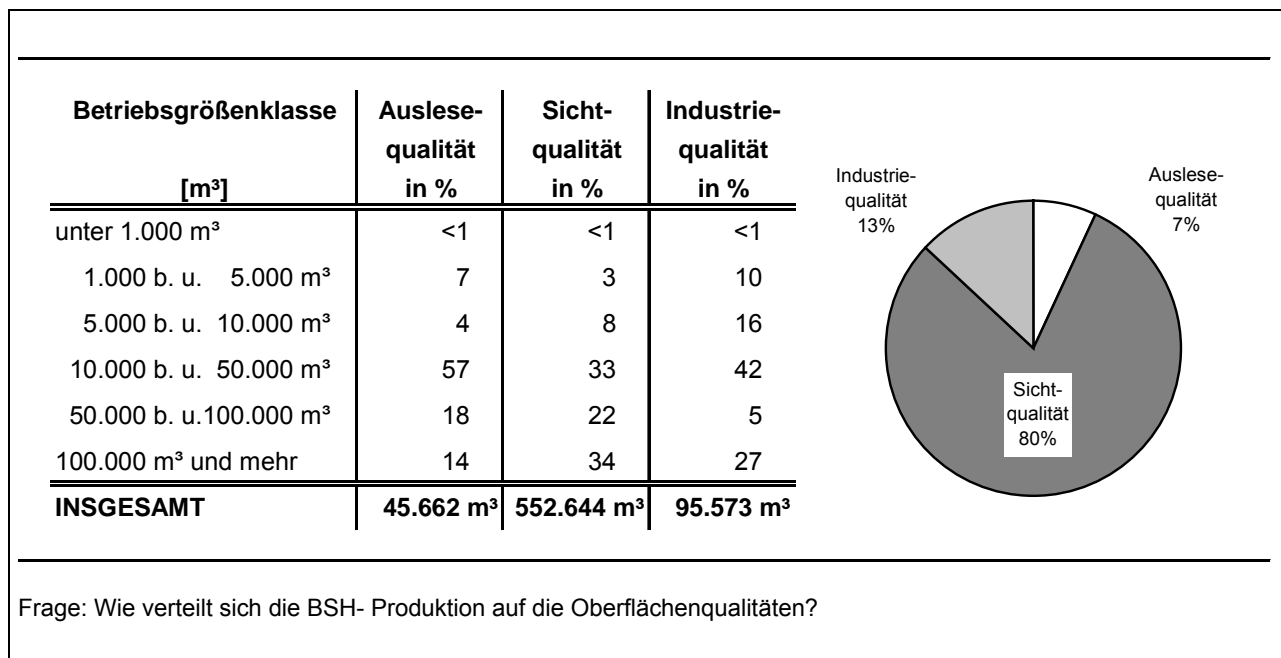
Die Verteilung der BSH-Produktion auf die einzelnen Festigkeitsklassen zeigt Tabelle 4.5. Knapp drei Viertel der erfassten Gesamtproduktion entfallen auf die Festigkeitsklasse BS 11, BS 14 folgt mit einem Anteil von gut einem Fünftel. BS 16 und BS 18 weisen zusammen nur einen Anteil von gut 5% an der Gesamtproduktion auf. Auffällig ist, dass in der Betriebsgrößenklasse zwischen 50.000 und 100.000 m³ kein BS 16 produziert wurde. 60 % der Produktion in der Festigkeitsklasse BS 16 entfallen auf Betriebe mit 10.000 bis 50.000 m³ Produktionsvolumen. Die in der jeweiligen Betriebsgrößenklasse produzierten Anteile der Festigkeitsklassen von BS 11 bis BS 18 zeigen insgesamt eine recht homogene Verteilung. Der Schwerpunkt der BS 18-Produktion liegt mit gut 1.000 m³ in der Größenklasse der Betriebe zwischen 10.000 und 50.000 m³ Jahresproduktion.

Tabelle 4.6: Anteile der Festigkeitsklassen pro Betriebsgrößenklasse

Betriebsgrößenklasse [m ³]	BS 11 in %	BS 14 in %	BS 16 in %	BS 18 in %	Summe [m ³]
unter 1.000 m ³	97	3	0	0	855
1.000 b. u. 5.000 m ³	82	16	2	<1	32.200
5.000 b. u. 10.000 m ³	67	28	4	1	60.824
10.000 b. u. 50.000 m ³	68	23	8	<1	248.000
50.000 b. u. 100.000 m ³	79	21	0	0	132.000
100.000 m ³ und mehr	77	18	5	<1	220.000
INSGESAMT					693.879

Frage: Wie verteilt sich die BSH-Produktion auf die Festigkeitsklassen?

Die auf die einzelnen Oberflächenqualitäten entfallenden Produktionsanteile zeigt Abbildung 4.2. Mit knapp 80% Anteil an der erfassten Gesamtproduktion stellen Sichtqualitäten das wichtigste Sortiment der befragten Brettschichtholz-Produzenten dar. Auslesequalitäten spielten mit 7% eine eher untergeordnete Rolle. 66% dieses Sortiments wurden in Betrieben der Größenklasse mit 10.000 bis unter 50.000 m³ Jahresproduktion hergestellt.



Frage: Wie verteilt sich die BSH- Produktion auf die Oberflächenqualitäten?

Abbildung 4.2: Produktionsanteile der einzelnen Oberflächenqualitäten

4.1.2.3 Schnittholzeinsatz und Holzartenanteil

Zur Berechnung des durchschnittlichen Ausbeutegrades der Brettschichtholzproduktion wurde der Schnittholzeinsatz der befragten Betriebe erfasst. In der Auswertung konnte auf die Angaben von 28 Herstellern zurückgegriffen werden, die bei einer Produktion von 468.000 m³ Brettschichtholz im Jahr 2001 insgesamt 661.000 m³ Schnittholz verarbeiteten. Zur Erzeugung eines m³ Brettschichtholz wurden somit durchschnittlich 1,41 m³ Schnittholz eingesetzt. Die Hochrechnung auf die gesamte erfasste Brettschichtholzproduktion von 694.000 m³ liefert einen Gesamt- Schnittholzeinsatz von 987.000 m³.

Die durchschnittliche Holzausbeute der BSH-Herstellung über alle Größenklassen beträgt 70%. Während in den Größenklassen zwischen 1.000 m³ bis mehr als 100.000 m³ Jahresproduktion die Ausbeute zwischen 69% und 75% schwankt, liegt sie in der Größenklasse unter 1.000 m³ Jahresproduktion lediglich bei 53%. An dieser Stelle muss hinzugefügt werden, dass es sich bei den angegebenen Ausbeutekennziffern um eine rechnerische Ausbeute handelt, die aus den beiden im Fragebogen angegebenen Posten *Gesamtproduktion* und *Schnittholzeinsatz* ermittelt wurde. Dabei ist zum einen die Verarbeitungsstufe des Produktes Brettschichtholz, zum anderen auch der Veredelungsgrad des eingesetzten Schnittholzes nicht exakt festgelegt. So kann beispielsweise nicht angegeben werden, ob die Verarbeiter bei ihren Angaben von Rohlamellen, vorgehobelter Ware, vor- oder fertig-getrockneter Ware ausgehen.

Tabelle 4.7: Schnittholzeinsatz der BSH-Hersteller nach Größenklassen

Betriebsgrößenklasse [m ³]	SH-Einsatz [m ³]
unter 1.000 m ³	1.598
1.000 b. u. 5.000 m ³	45.908
5.000 b. u. 10.000 m ³	85.426
10.000 b. u. 50.000 m ³	358.322
50.000 b. u. 100.000 m ³	177.000
100.000 m ³ und mehr	318.600
INSGESAMT	986.854

Erfolgt der Kauf vorgehobelter Lamellen, so entfällt der zusätzliche Arbeitsgang des Vorhobelns und die Ausbeute vom Schnittholz zum fertigen Binder steigt. Auch Trocknungsverluste müssten dann nicht mit berücksichtigt werden. RISTL (1996) ermittelte Ausbeuteverluste der BSH-Herstellung von ca. 45%, ausgehend von sägefrischem Schnittholz bis zum Abbund von Ingenieur-Leimholz.

Zur Darstellung der Holzartenverteilung in der Brettschichtholz-Herstellung konnte auf die Angaben von 26 Herstellern zurückgegriffen werden, die im Jahr 2001 eine Schnittholzmenge von 629.912 m³ verarbeitet haben. Die Hochrechnung der erfassten Anteile auf die Gesamtproduktion von 693.879 m³ liefert die in Tabelle 4.8 dargestellte Verteilung nach Betriebsgrößenklassen. In den befragten Betrieben mit einem Produktionsvolumen von 50.000 m³ und mehr wurde fast ausschließlich das Sortiment Fichte/Kiefer verarbeitet, während ins-

besondere die mittleren Größenklassen hinsichtlich verarbeiteter Holzarten eine höhere Vielfalt aufweisen.

Mit einem Anteil von nahezu 91% dominiert in der Brettschichtholzherstellung klar die Holzart Fichte. Auf Kiefer entfallen knapp 8%, Lärche und Douglasie weisen zusammen nur einen Anteil von gut 1% an der eingesetzten Schnittholzmenge auf. Keiner der befragten Betriebe gab an, die Holzart Tanne zu verwenden. Auch kann festgestellt werden, dass Laubholz derzeit in keinem der befragten Betriebe zur Produktion eingesetzt wird.

Tabelle 4.8: Verarbeitete Schnittholzmenge nach Holzarten

Betriebsgrößenklasse [m ³]	Fichte [m ³]	Kiefer [m ³]	Lärche [m ³]	Douglasie [m ³]	sonstige [m ³]
unter 1.000 m ³	1.375	0	178	0	45
1.000 b. u. 5.000 m ³	40.179	4.175	919	631	4
5.000 b. u. 10.000 m ³	81.743	1.172	1.437	909	164
10.000 b. u. 50.000 m ³	328.318	22.262	2.814	4.887	41
50.000 b. u. 100.000 m ³	166.500	10.500	0	0	0
100.000 m ³ und mehr	279.444	37.225	743	1.144	45
INSGESAMT	897.560	75.333	6.091	7.572	298

Frage: Welche Holzarten setzen Sie zu welchen Anteilen bei der BSH-Produktion ein?

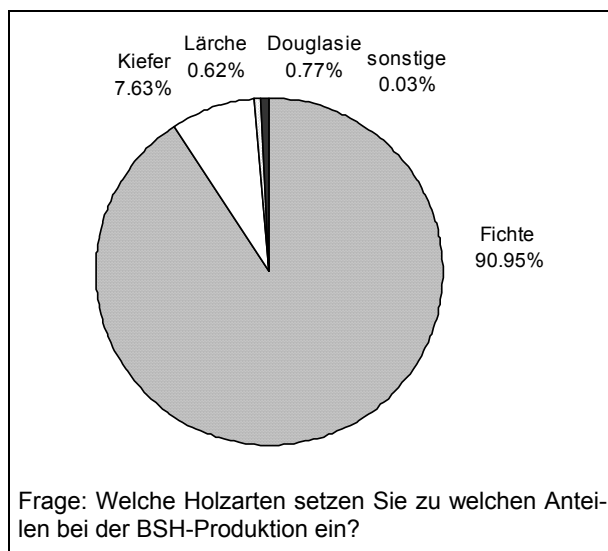


Abbildung 4.3: Holzartenanteile in der BSH-Herstellung

4.1.2.4 Sortimentsstruktur und Vertrieb

Zur Ergänzung des eigenen Sortiments wurden im Jahr 2001 von den befragten Herstellern insgesamt 16.422 m³ Brettschichtholz, entsprechend gut 2% der erfassten Gesamtproduktion, zugekauft. Bei der Darstellung des Zukaufs nach Größenklassen fällt der hohe Anteil zugekauften Brettschichtholzes in den Betrieben mit einer Jahresproduktion von weniger als 1.000 m³ auf. In der produktionsstärksten Betriebsgrößenklasse mit einer Jahresproduktion

zwischen 10.000 und 50.000 m³ wurden dagegen weniger als 1% der Gesamtproduktion zugekauft (s. hierzu Tabelle 4.9).

Tabelle 4.9: Zur Ergänzung des eigenen Sortiments zugekaufte BSH-Mengen

Betriebsgrößenklasse [m ³]	Zukauf [m ³]	in % der Produktion
unter 1.000 m ³	678	79
1.000 b. u. 5.000 m ³	1.150	4
5.000 b. u. 10.000 m ³	5.234	9
10.000 b. u. 50.000 m ³	1.860	<1
50.000 b. u. 100.000 m ³	2.500	2
100.000 m ³ und mehr	5.000	2
INSGESAMT	16.422	2

Frage: Wie viele Kubikmeter BSH wurden 2001 zur Ergänzung des eigenen Sortiments zugekauft?

Zur Darstellung der Vertriebsstrukturen für Brettschichtholz konnte auf die Angaben von 31 Herstellern zurückgegriffen werden, die insgesamt 493.789 m³ BSH produzierten. Um die Warenströme möglichst vollständig darzustellen, erfolgte auf Basis der ermittelten Anteile der einzelnen Vertriebswege wieder eine Hochrechnung auf die gesamte Produktionsmenge. Zunächst wurde nach den vier Vertriebswegen „Direktvertrieb“, „Handel“, „Export“ und „Sonstige“ unterschieden. Wichtigster Absatzpartner der Brettschichtholzhersteller war mit einem Anteil von 48% der Handel, gefolgt vom Direktvertrieb mit 38%. In den Export gelangten im Jahr 2001 mit 89.000 m³ 13% der erfassten Produktion.

Tabelle 4.10: Anteile der einzelnen Vertriebswege

Betriebsgrößenklasse	Direkt in %	Handel in %	Export in %	Sonstige in %	
unter 1.000 m ³	65	35	0	0	100 %
1.000 b. u. 5.000 m ³	64	24	7	5	100 %
5.000 b. u. 10.000 m ³	77	16	7	<1	100 %
10.000 b. u. 50.000 m ³	46	40	14	<1	100 %
50.000 b. u. 100.000 m ³	10	82	8	0	100 %
100.000 m ³ und mehr	34	49	17	<1	100 %
INSGESAMT	269.224 m³	333.195 m³	89.360 m³	2.100 m³	

Frage: An bzw. über wen erfolgt der Vertrieb Ihrer Produkte?

Vergleicht man die Vertriebsstruktur in den jeweiligen Betriebsgrößenklassen, so zeigt sich, dass dem Handel besonders im Vertrieb der Größenklassen ab 50.000 m³ Jahresproduktion eine entscheidende Rolle zufällt. Hersteller, die weniger als 10.000 m³ Brettschichtholz jährlich produzieren und damit absetzen müssen, wählen dagegen vorrangig den Direktvertrieb.

Eine weitere Aufgliederung des Direktvertriebs zeigt, dass knapp zwei Drittel der direkt vertriebenen BSH-Produktion von Zimmerei- und Holzbaubetrieben abgenommen werden. Industrielle Großabnehmer stellen mit 27% einen weiteren wichtigen Abnehmer im Direktverkauf dar. Ein Zehntel der unmittelbar vertriebenen BSH-Produktion wird vom Bauherrn direkt bezogen. Hier sind besonders kleinere und mittlere Hersteller bis 10.000 m³ Jahresproduktion bevorzugte Lieferanten.

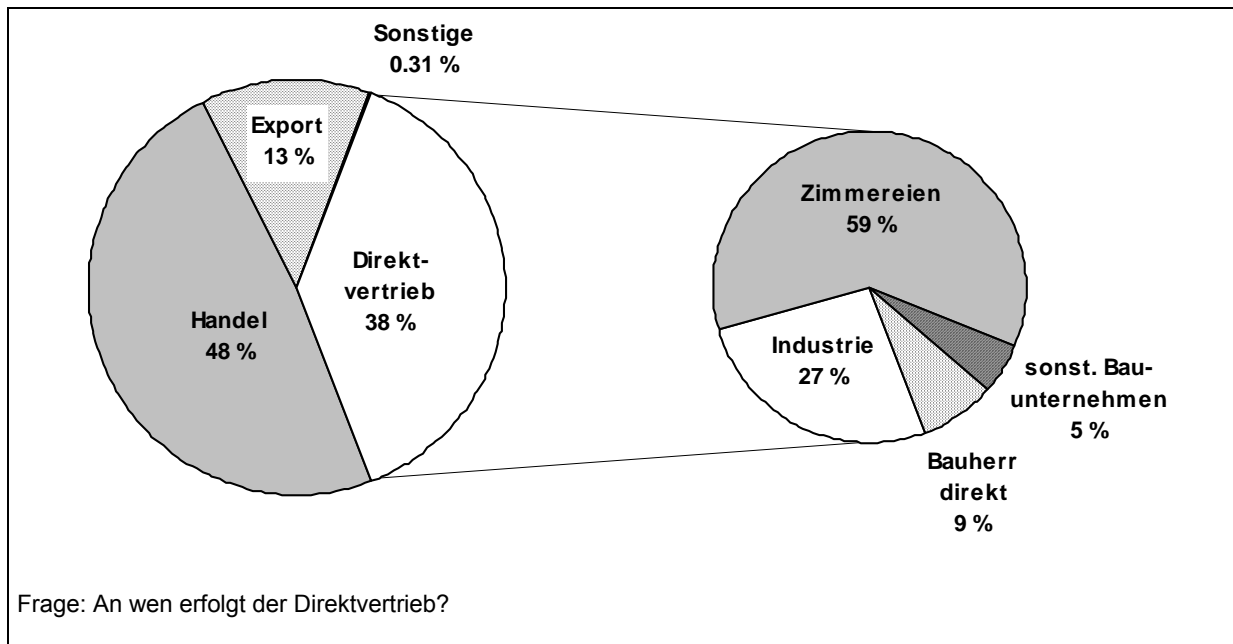


Abbildung 4.4: Vertriebsstruktur der BSH-Hersteller

4.1.3 Das Marktpotenzial von Buchen-BSH aus Sicht der Hersteller

Neben der Ermittlung des aktuellen Produktionsvolumens für BSH wurde die Befragung der Hersteller noch dazu genutzt, die Einschätzungen der Branche zu den Marktchancen des neuen Produktes Brettschichtholz aus Buchenholz zu erfragen. Hierzu wurde die Zielgruppe zunächst nach der geschätzten Absatzentwicklung für herkömmliches BSH der folgenden drei Jahre befragt, um Hinweise auf die Entwicklung des Marktes für BSH zu erhalten. Auch die Entwicklung der Marktanteile für Holzbaumaterialien sollte eingeschätzt werden, um den Stellenwert von BSH innerhalb des Holzbaus beschreiben zu können.

Die Aufgeschlossenheit der Produzenten gegenüber Laubholz, hier im Speziellen Buche, als Rohmaterial zur Brettschichtholzproduktion sowie die Einschätzung der Marktchancen für hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz in ausgewählten Anwendungsgebieten komplettieren die Angaben der Hersteller.

4.1.3.1 Geschätzte Absatzentwicklung für Brettschichtholz

Im Rahmen der Fragestellung nach der Absatzentwicklung erfolgte eine räumliche Abgrenzung nach In- und Ausland sowie eine Unterscheidung nach Standard- und Kommissionswa-

re. Zur Bewertung wurde eine bipolare Skala vorgegeben, die von „stark zunehmend“ bis „stark abnehmend“ fünf Wertungsmöglichkeiten vorgab. Während der Auswertung wurden die möglichen Wertungen mit „2“ für „stark zunehmend“ bis „-2“ für „stark abnehmend“ verschlüsselt. Diese Schlüssel finden sich auch in der Darstellung der Ergebnisse wieder. Um aus den teilweise sehr unterschiedlichen Bewertungen durch die Produzenten eine Tendenz ableiten zu können, wurde im Rahmen der Auswertung auch ein Mittelwert über die Häufigkeiten aller Wertungsmöglichkeiten gebildet, der in der Darstellung der Ergebnisse aufgeführt ist. Dieser Mittelwert soll lediglich als Ergebnis der Summe aller Wertungen verstanden werden und kann bestenfalls eine Tendenz in der Absatzentwicklung anzeigen³.

Die Befragungsergebnisse zur Entwicklung des Inlandsabsatzes von Brettschichtholz zeigen, dass die Produzenten mehrheitlich von einem stagnierenden Absatz für Standardware ausgehen. 45% aller Wertungen entfallen auf diese Kategorie. Immerhin 31% aller beteiligten Hersteller halten einen zunehmenden Absatz für möglich. Während keiner der befragten Produzenten einen stark zunehmenden Absatz für Standardware im Inland prophezeien wollte, gehen immerhin 17% der Zielgruppe von stark abnehmenden Absatzzahlen für die folgenden drei Jahre aus.

Tabelle 4.11: Entwicklung des Inlandsabsatzes von Brettschichtholz

	Anzahl Nennungen				Mittelwerte	
	Standard		Kommission		Standardware	-0.1
	absolut	in %	absolut	in %	Kommissionsware	0.3
stark abnehmend	5	17	2	6	6%	17%
abnehmend	2	7	4	13	7%	13%
stagnierend	13	45	9	29	29%	45%
zunehmend	9	31	15	48	31%	48%
stark zunehmend	0	0	1	3	3%	
gesamt	29	100	31	100		

Frage: Wie schätzen Sie die Absatzentwicklung Ihrer BSH-Produkte für die kommenden drei Jahre ein?

Für Kommissionsware im Inlandsabsatz zeigt sich eine andere Verteilung der Wertungen. 48% aller beteiligten Unternehmen gehen von zunehmenden Absatzzahlen für die kommenden drei Jahre aus. Im Unterschied zum Inlandsabsatz von Standardware sind hier alle Wertungsmöglichkeiten vertreten. Während das Mittel aller Bewertungen in beiden Fällen stagnierenden Absatz ergibt, ist bei Kommissionsware ein deutlicherer Trend zur Zunahme zu

³ Eine Verteilung, bei der jeweils die Hälfte aller Wertungen auf die beiden „Extrembereiche“ entfällt, kann in der Summe das gleiche Ergebnis liefern wie eine einheitliche Bewertung um das Merkmal „stagnierend“. Dennoch kann im ersten Fall aufgrund der Uneinigkeit der Befragten nicht von einer stagnierenden Absatzentwicklung gesprochen werden.

verzeichnen als bei Standardware. 51% aller Befragten halten zunehmende bis stark zunehmende Absatzzahlen für Kommissionsware im Inland für wahrscheinlich, lediglich 19% gehen von abnehmenden Zahlen aus.

Im Vergleich zum Inlandsabsatz wurde die Entwicklung des Exports für die folgenden drei Jahre durchweg positiver bewertet. Sowohl für Standard- als auch für Kommissionsware zeigt der errechnete Mittelwert tendenziell zunehmende Absatzzahlen an. Während bei Standardware immerhin noch 5% aller Nennungen auf abnehmende Exportzahlen entfallen, ist bei Kommissionsware keines der befragten Unternehmen der Meinung, dass sich die Exportmenge in den nächsten drei Jahren verringern wird. 58% aller Unternehmen gehen von zunehmenden bzw. stark zunehmenden Absatzmengen im Export von Standardware aus. Für Kommissionsware beträgt dieser Anteil sogar 63%.

Tabelle 4.12: Entwicklung des Exports

Export	Anzahl Nennungen				Mittelwerte	
	Standard		Kommission		Standardware	0.6
	absolut	in %	absolut	in %	Kommissionsware	0.8
stark abnehmend	0	0	0	0		
abnehmend	1	5	0	0	5%	
stagnierend	7	37	8	36	37%	36%
zunehmend	9	47	10	45	47%	45%
stark zunehmend	2	11	4	18	11%	18%
gesamt	19	100	31	100		

Frage: Wie schätzen Sie die Absatzentwicklung Ihrer BSH-Produkte für die kommenden drei Jahre ein?

4.1.3.2 Entwicklung des Marktanteils von BSH und anderen Holzbaumaterialien

Im Rahmen der Einschätzung des Marktpotenzials für Brettschichtholz aus Buche wurden die befragten Hersteller auch gebeten, die Entwicklung der Marktanteile verschiedener Holzbaumaterialien, unter anderem Brettschichtholz, einzuschätzen. Die Bewertung erfolgte anhand der bereits im vorherigen Abschnitt dargestellten bipolaren Skala.

Genau 50% aller antwortenden Unternehmen sind der Meinung, Brettschichtholz könne seinen derzeitigen Marktanteil halten. Für 47% der Betriebe hat Brettschichtholz das Potenzial, seinen Marktanteil zu vergrößern. Lediglich 3% aller Antwortenden waren überzeugt davon, Brettschichtholz werde in Zukunft Marktanteile verlieren. In der Summe aller Wertungen errechnet sich eine Stagnation der Marktanteile. Tabelle 4.13 zeigt den errechneten Mittelwert und die recht einheitliche Verteilung auf die beiden Wertungen „stagnierend“ bzw. „zunehmend“. Eine drastische Veränderung der Marktanteile von Brettschichtholz, sowohl im positiven wie auch im negativen Sinn, hielt keiner der befragten Hersteller für wahrscheinlich.

Tabelle 4.13: Entwicklung des Marktanteils von Brettschichtholz

Marktanteile			Mittelwert
	Anzahl Nennungen	in %	0.4
Brettschichtholz			
stark abnehmend	0	0	
abnehmend	1	3	
stagnierend	16	50	
zunehmend	15	47	
stark zunehmend	0	0	
gesamt	32	100	

Frage: Wie werden sich Ihrer Meinung nach die Marktanteile der folgenden Holzbaumaterialien entwickeln?

Tabelle 4.14: Entwicklung der Marktanteile von Schnittholz und KVH

Marktanteile	Anzahl Nennungen				Mittelwerte	
	Schnittholz		KVH		Schnittholz	-1.0
	absolut	in %	absolut	in %	KVH	1.0
stark abnehmend	7	22	0	0		
abnehmend	19	59	1	3		
stagnierend	5	16	4	13		
zunehmend	1	3	22	69		
stark zunehmend	0	0	5	16		
gesamt	32	100	32	100		

Frage: Wie werden sich Ihrer Meinung nach die Marktanteile der folgenden Holzbaumaterialien entwickeln?

Die Wertungen für die beiden Holzbaumaterialien konventionelles Schnittholz und Konstruktionsvollholz (KVH) zeigt Tabelle 4.14. Schnittholz wird nach Meinung der befragten Produzenten an Marktanteilen verlieren, während für KVH ein klarer Zuwachs prognostiziert wird. Die Verteilung der einzelnen Wertungen weist dabei durchaus ähnliche Strukturen auf, wenn auch mit unterschiedlichen Vorzeichen.

81% der Befragten sind der Meinung, dass Schnittholz abnehmende bis stark abnehmende Marktanteile verzeichnen wird. Von einem Zuwachs des Marktanteils für KVH sind 85% überzeugt. Auffallend sind in beiden Fällen die vergleichsweise hohen Anteile der Kategorien „stark zunehmend“ (im Fall KVH) bzw. „stark abnehmend“ (im Fall konventionelles Schnittholz). Die befragten Hersteller sind sich darüber einig, dass KVH konventionellem Schnittholz weiterhin Marktanteile abnehmen wird. KVH ist Schnittholz besonders dort überlegen,

wo Maß- und Formhaltigkeit gefordert sind. KVH konnte vom Aufschwung des Holzhauses der letzten Jahre profitieren. Seine Maß- und Formhaltigkeit und die durch die Herstellung bedingten besseren elastomechanischen Eigenschaften machen KVH zu einem idealen Material für die in der Holzhausfertigung bevorzugte Holzrahmenbauweise. Die Substitution von Schnittholz in diesem Bereich wird sich nach Ansicht der BSH-Produzenten also noch fortsetzen.

Stegträger wie das System von TJI oder KIT der Firma Kaufmann und Balkenschichtholz sollten als weitere Bestandteile von Holzkonstruktionen bewertet werden. Bei den Trägersystemen wurden dabei von allen beteiligten Unternehmen nur zwei Wertungen vergeben. Mit 63% entfiel die Mehrzahl der Nennungen auf die Kategorie „stagnierender Marktanteil“, 37% der BSH-Produzenten prophezeiten Systemträgern wachsende Marktanteile.

Tabelle 4.15: Die Marktanteile von Trägersystemen und Balkenschichtholz

Marktanteile	Anzahl Nennungen				Mittelwerte	
	Trägersysteme		Duo/Triolam		Trägersysteme	0.4
	absolut	in %	absolut	in %	Balkenschichtholz	0.7
stark abnehmend	0	0	0	0		
abnehmend	0	0	1	3		
stagnierend	19	63	11	35		
zunehmend	11	37	16	52		
stark zunehmend	0	0	3	10		
gesamt	30	100	31	100		

Frage: Wie werden sich Ihrer Meinung nach die Marktanteile der folgenden Holzbaumaterialien entwickeln?

Ein Grund für die eher verhaltene Bewertung der Zuwachschancen von Trägersystemen im deutschen Markt könnte in der derzeit noch als eher schlecht zu bezeichnenden Verfügbarkeit liegen. In einer Befragung von Zimmerei- und Holzbaubetrieben gaben nach KRUSE/VENSCHOTT (2001) die Mehrheit der Befragten die schlechtere Verfügbarkeit dieser Werkstoffe als Nachteil an [KRUSE/VENSCHOTT, 2001].

Für Balkenschichtholz lässt sich aus den erhaltenen Wertungen ein Trend zur Zunahme des momentanen Marktanteils errechnen. Mehr als die Hälfte der beteiligten Produzenten sieht für diesen Werkstoff zunehmende Marktanteile voraus, 10% der Hersteller gehen gar von einer starken Zunahme aus. Duo- und Triobalken dürfen nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung für alle Holzbauteile verwendet werden, für die die Verwendung von Vollholz oder Brettschichtholz nach DIN 1052 erlaubt ist.

Die Entwicklung der Marktanteile für Furnierschichtholz und Furnierstreifenholz aus Sicht der BSH-Produzenten ist in Tabelle 4.16 dargestellt. Im Mittel aller Wertungen ergibt sich für beide Holzwerkstoffe ein stagnierender Marktanteil. Jeweils mehr als die Hälfte aller Wertungen entfiel auf diese Kategorie. Die Bewertung für Furnierschichtholz fiel jedoch dahingehend positiver aus, als immerhin ein Drittel aller beteiligten Hersteller diesem Werkstoff zunehmende Marktanteile voraussagen. Drastische Veränderungen der Marktanteile für beide Werkstoffe sowohl in positiver wie auch in negativer Richtung hielt keiner der befragten Produzenten für wahrscheinlich.

Der Hauptgrund für die eher skeptische Haltung der BSH-Hersteller gegenüber Furnierschichtholz (im folgenden FSH) und Furnierstreifenholz (im folgenden PSL, „Parallel Strand Lumber“) könnte im derzeit noch schlechteren Preis-Leistungsverhältnis dieser Werkstoffe im direkten Vergleich zu BSH oder KVH begründet liegen. Nach KRUSE/VENSCHOTT (2001) ist der Einsatz der neuen Holzwerkstoffe mit höheren Kosten verbunden, da durch die Anwendung hochentwickelter Prozesstechnologien zur Herstellung von PSL und FSH neben der Optimierung der Produkteigenschaften auch die Produktionskosten erhöht wurden. Die Verbesserung der Produkteigenschaften reicht nach KRUSE/VENSCHOTT (2001) bei der derzeitigen Preissituation noch nicht aus, um den Einsatz dieser neuen Holzwerkstoffe wirtschaftlich attraktiv zu machen.

Tabelle 4.16: Die Marktanteile von Furnierschicht- und Furnierstreifenholz

Marktanteile	Anzahl Nennungen				Mittelwerte	
	Fu-schichtholz absolut	Fu-schichtholz in %	Fu-streifenholz absolut	Fu-streifenholz in %	Fu-schichtholz	Fu-streifenholz
stark abnehmend	0	0	0	0		
abnehmend	3	10	7	23		
stagnierend	17	57	19	61		
zunehmend	10	33	5	16		
stark zunehmend	0	0	0	0		
gesamt	30	100	31	100	0.2	-0.1

Kategorie	Fustreifenholz (%)	Fuschichtholz (%)
stark abnehmend	0	0
abnehmend	23	10
stagnierend	10	61
zunehmend	61	57
stark zunehmend	16	33

Frage: Wie werden sich Ihrer Meinung nach die Marktanteile der folgenden Holzbaumaterialien entwickeln?

4.1.3.3 Zum Einsatz von Laubholz in der BSH-Herstellung

Die Verwertung von Laubholz in der BSH-Herstellung ist bisher auf wenige Einzelprojekte beschränkt geblieben. Die Holzeigenschaften von Laubhölzern und Nadelhölzern unterscheiden sich. Dies führt auch zu anderen Ansprüchen an die Verarbeitungstechnologie im Produktionsbereich. Höhere Rohdichten sowie spezielle Inhaltsstoffe der Laubhölzer wirken sich auf die Standzeit der Maschinen im Betrieb aus. Hinsichtlich Trocknung und Verleimung müssen weitere Besonderheiten des Rohmaterials Laubholz beachtet werden. Um den Einfluss dieser Problematik auf die Einstellung der Hersteller gegenüber Brettschichtholz aus Laubholz, speziell Buche, zu berücksichtigen, wurde um eine Einschätzung der Bedeutung verschiedener Holzarten bzw. Holzwerkstoffe, darunter Laubholz, zur Produktion von BSH gebeten.

Die Befragung zeigt, dass BSH-Produzenten eher skeptisch sind, was die zukünftige Bedeutung von Laubholz in der BSH-Herstellung betrifft. Wie zu entnehmen ist, sind 69% der befragten Hersteller der Meinung, dass der Laubholzanteil am Rohmaterialeinsatz der BSH-Produktion weiterhin unbedeutend bleiben wird. Der rechnerische Mittelwert aller Wertungen zum Laubholzeinsatz von 0.2 zeigt dies an. Immerhin 24% der antwortenden Produzenten gehen von einer Zunahme des Laubholzanteils in der BSH-Herstellung aus, jedoch vertrat lediglich ein Hersteller die Ansicht, dass Laubholzlamellen zukünftig eine stark zunehmende Bedeutung in der BSH-Herstellung aufweisen werden.

Tabelle 4.17: Bedeutung verschiedener Rohmaterialien zur BSH-Herstellung

Rohmaterial			
	Anzahl Nennungen	in %	
einheimische NH			
stark abnehmend	0	0	<p>Mittelwert: 0.6</p>
abnehmend	0	0	
stagnierend	12	40	
zunehmend	17	57	
stark zunehmend	1	3	
gesamt	30	100	
nordamerikan. NH			
stark abnehmend	1	3	<p>Mittelwert: -0.1</p>
abnehmend	5	17	
stagnierend	20	69	
zunehmend	3	10	
stark zunehmend	0	0	
gesamt	29	100	
einheimische LH			
stark abnehmend	1	3	<p>Mittelwert: 0.2</p>
abnehmend	1	3	
stagnierend	20	69	
zunehmend	6	21	
stark zunehmend	1	3	
gesamt	29	100	
Holzwerkstoffe			
stark abnehmend	0	0	<p>Mittelwert: 0.2</p>
abnehmend	3	10	
stagnierend	17	59	
zunehmend	8	28	
stark zunehmend	1	3	
gesamt	29	100	

Frage: Wird die Bedeutung der folgenden Hölzer / Holzwerkstoffe in der BSH-Herstellung zunehmen?

Vergleicht man die errechneten Mittelwerte der einzelnen Rohmaterialsportimente, so zeigt sich, dass nach Einschätzung der Hersteller nur einheimische Nadelhölzer weiterhin an Bedeutung für die Produktion von BSH gewinnen werden. Immerhin 57% aller beteiligten Unternehmen sind der Meinung, dass einheimisches Nadelholz weiteres Wachstumspotenzial in

der BSH-Herstellung besitzt. Für Holzwerkstoffe, die beispielsweise in der Gurtung von Ingenieurleimholz zum Einsatz kommen, ist noch ein nennenswerter Anteil von 28% der Befragten zu verzeichnen, die dieser Werkstoffkombination Zuwachsraten zutrauen. Was den Einsatz nordamerikanischer Nadelhölzer betrifft, so zeigen sich die Hersteller auch hier eher skeptisch über deren zukünftige Bedeutung. Dies zeigt allein schon der Anteil der Wertung „stagnierende Bedeutung“ von fast 70%. Der errechnete Mittelwert von -0.1 deutet ebenfalls eher auf eine skeptische Haltung gegenüber diesem Sortiment hin.

4.1.3.4 Bewertung der Marktchancen von BSH aus Buchenholz

Zum Abschluss der Befragung im Rahmen der Einschätzung des Marktpotenzials von Brettschichtholz aus Buchenholz durch die Herstellerbetriebe wurde die Zielgruppe nach den Chancen des neuen Werkstoffes in verschiedenen Einsatzbereichen befragt.

Die Bewertung der Chancen von BSH aus Buchenholz in den jeweiligen Anwendungsgebieten sollte wiederum anhand einer Skala vorgenommen werden. Diese Skala wurde monopolär angelegt. Die Merkmale „sehr gut“ bis „schwach“, die zur Beurteilung zur Verfügung standen, wurden durch Zahlen von 1 für „sehr gut“ bis 4 für „schwach“ verschlüsselt. Auch im Rahmen der Auswertung dieser Fragestellung wurde aus der Häufigkeit der jeweils vergebenen Wertungen ein Mittelwert errechnet, der eine gewisse Tendenz in der Bewertung anzeigen soll⁴.

zeigt die Bewertung der Marktchancen von BSH aus Buche für den Einsatz in Wohn- und Repräsentativbauten. Ein Vergleich der errechneten Mittelwerte lässt zunächst erkennen, dass die befragten Hersteller eine Anwendung im sichtbaren Bereich eher für möglich halten als im nicht sichtbaren Bereich. Sowohl für den Wohnbau als auch für repräsentative Bauten wurden BSH aus Buche im nicht sichtbaren Bereich nur schwache Marktchancen eingeräumt. Das Ergebnis fällt hier mit einem Anteil der Bewertung „schwach“ von 77% bzw. 80% relativ eindeutig aus.

Die beste Bewertung im Vergleich der beiden Anwendungsgebiete Wohn- und Repräsentativbau hat der Einsatz im sichtbaren Bereich repräsentativer Bauwerke erhalten. Hier räumten 54% der befragten Unternehmen BSH aus Buche gute bis sehr gute Marktchancen ein. Größere Uneinigkeit herrscht bei der Bewertung der Marktchancen für den sichtbaren Bereich von Wohnbauten. Jeweils ein Drittel aller Wertungen entfiel auf „gute“ bzw. „eher geringe“ Marktchancen. Obwohl 10% der Befragten der Meinung waren, in diesem Bereich bestünden sehr gute Marktchancen für BSH, überwiegt in der Gesamtrechnung doch der Anteil der negativen Einschätzungen. Insgesamt entfielen 56% aller Wertungen auf „eher geringe“ bzw. „schwache“ Marktchancen.

Die Marktchancen von Brettschichtholz aus Buchenholz in Zweckbauten bzw. Industriegebäuden wurden sowohl für den sichtbaren als auch für den nicht sichtbaren Bereich überwiegend als „eher gering“ bzw. „schwach“ eingeschätzt. Für den sichtbaren Bereich beträgt der Anteil dieser Wertungen 94%, für den nicht sichtbaren Bereich 93%. Auch bei der insgesamt negativen Bewertung für dieses Einsatzgebiet zeigt sich nochmals eine Abstufung zwischen sichtbarem und nicht sichtbarem Bereich. So sind 73% der Hersteller der Meinung, dass Brettschichtholz aus Buche für nicht sichtbare Tragwerke in Industriegebäuden kaum Anwendung finden wird.

⁴ Um die errechneten Mittelwerte besser einordnen zu können, sei darauf hingewiesen, dass aus gleichmäßiger Verteilung aller möglichen Wertungen ein Mittelwert von 2.5 resultieren würde.

Tabelle 4.18: Marktchancen von Buchen-BSH in Wohn- und Repräsentativbauten

Marktchancen			
	Anzahl Nennungen	in %	
Wohnbau sichtbar			
sehr gut	3	10	
gut	10	33	
eher gering	10	33	
schwach	7	23	
gesamt	30	100	
Wohnbau n. sichtb.			
sehr gut	1	3	
gut	0	0	
eher gering	5	17	
schwach	24	80	
gesamt	30	100	
Repräsentativbau sichtbar			
sehr gut	2	7	
gut	14	47	
eher gering	8	27	
schwach	6	20	
gesamt	30	100	
Repräsentativbau nicht sichtbar			
sehr gut	1	3	
gut	1	3	
eher gering	5	17	
schwach	23	77	
gesamt	30	100	

Frage: Wie würden Sie die Marktchancen für hochwertiges Brettschichtholz aus Buche bewerten?

Der Einsatzbereich „Fassade“ für BSH aus Buchenholz wurde von den Produzenten mehrheitlich abgelehnt. Allerdings wurden auch für diesen Einsatzbereich alle Wertungen vergeben. Die mehrheitlich negative Bewertung dürfte mit der eher geringen Dauerhaftigkeit der Buche sowie der bekanntermaßen schlechten Imprägnierbarkeit rotkerniger Buche zusammenhängen.

Die Chancen des neuen Werkstoffs im Wintergartenbau wurden von 26% der Befragten als gut bis sehr gut bewertet. Mehr als die Hälfte aller beteiligten Hersteller räumen BSH aus Buche in diesem Einsatzbereich nur schwache Marktchancen ein.

Tabelle 4.19: Buchen-BSH in Zweckbauten, Fassadenbau und Wintergärten

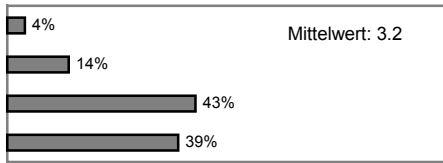
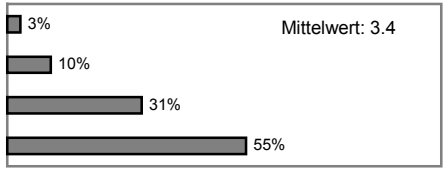
Marktchancen			
	Anzahl Nennungen	in %	
Zweckbauten sichtbar			
sehr gut	1	3	<p>Mittelwert: 3.4</p>
gut	1	3	
eher gering	14	47	
schwach	14	47	
gesamt	30	100	
Zweckbauten nicht sichtbar			
sehr gut	1	3	<p>Mittelwert: 3.6</p>
gut	1	3	
eher gering	6	20	
schwach	22	73	
gesamt	30	100	
Fassadenbau			
sehr gut	3	10	<p>Mittelwert: 3.3</p>
gut	2	7	
eher gering	7	23	
schwach	18	60	
gesamt	30	100	
Wintergärten			
sehr gut	4	13	<p>Mittelwert: 2.9</p>
gut	4	13	
eher gering	13	43	
schwach	9	30	
gesamt	30	100	

Frage: Wie würden Sie die Marktchancen für hochwertiges Brettschichtholz aus Buche bewerten?

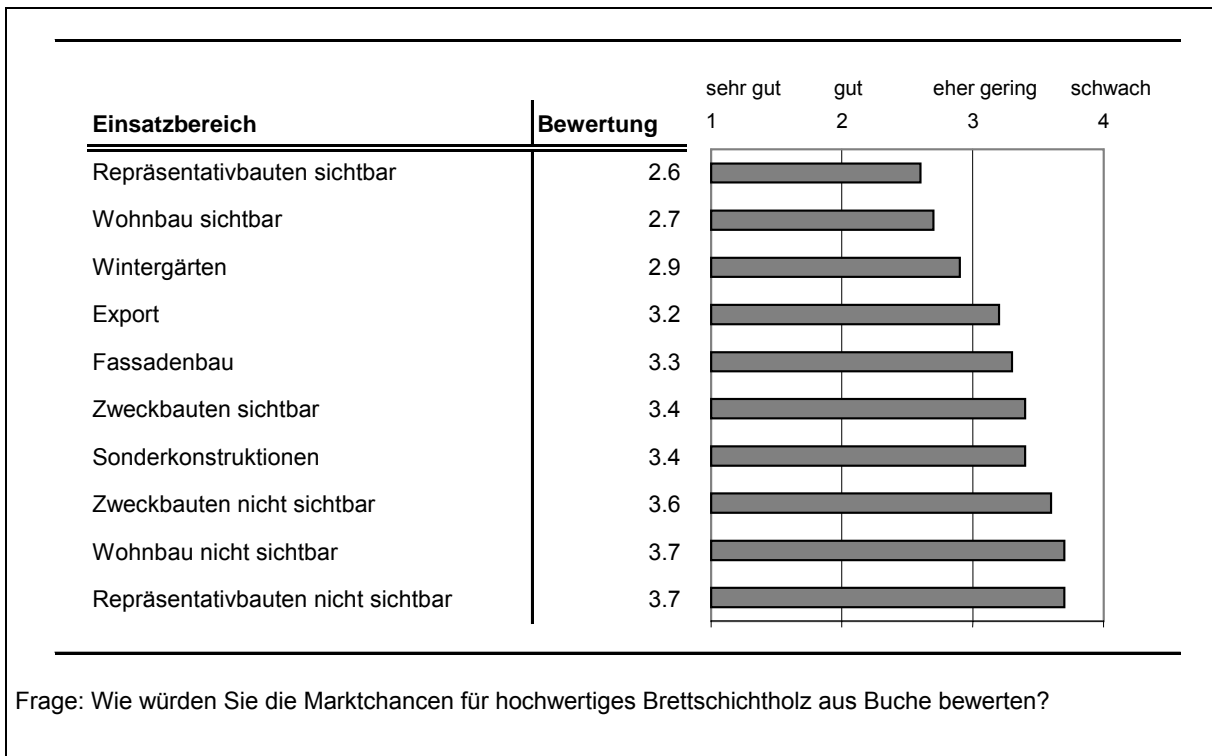
Auch für den Bereich der Sonderkonstruktionen wie beispielweise Brückenbau und für den Export zeigten sich die befragten Produzenten eher skeptisch. 55% aller Wertungen zum Potenzial von Buchen-BSH im Brückenbau entfielen auf die Kategorie „schwache Marktchancen“. Insgesamt waren 86% der Befragten der Meinung, dass BSH aus Buche nur geringes bis schwaches Potenzial aufweist, in derartigen Tragwerken eingesetzt zu werden. Als möglicher Grund für die schlechte Bewertung dieses Einsatzbereichs kann wieder die Problematik der Dauerhaftigkeit angesehen werden. Die Exportchancen von Buchen-Brettschichtholz wurden ähnlich bewertet. 82% aller Wertungen enthielten die Aussage „eher geringe“ bzw. „schwache Marktchancen“, lediglich 18% entfielen auf „gute“ bis „sehr gute Marktchancen“.

Tabelle 4.20: Marktchancen für die Bereiche Sonderkonstruktionen und Export

Marktchancen		
	Anzahl Nennungen	in %
Sonderkonstruktion		
sehr gut	1	3
gut	3	10
eher gering	9	31
schwach	16	55
gesamt	29	100
Export		
sehr gut	1	4
gut	4	14
eher gering	12	43
schwach	11	39
gesamt	28	100



Frage: Wie würden Sie die Marktchancen für hochwertiges Brettschichtholz aus Buche bewerten?



Frage: Wie würden Sie die Marktchancen für hochwertiges Brettschichtholz aus Buche bewerten?

Abbildung 4.5: Bewertung der Marktchancen - Zusammenfassung

Die errechneten Mittelwerte der jeweiligen Bewertungen sind in Abbildung 4.5 nochmals zusammengefasst. Nach Einschätzung der Hersteller stellen demnach Repräsentativbauten sowie der Wohnbau, hier jeweils der Bereich sichtbarer Konstruktionen, die für BSH aus Buche am ehesten geeigneten Einsatzbereiche dar. Im nicht sichtbaren Bereich dagegen kann der neue Werkstoff nach Ansicht der Produzenten mit bereits am Markt befindlichen Holzwerkstoffen nicht konkurrieren.

4.2 Befragung bei Verarbeitern und Planern

4.2.1 Ziel und Anlage der Studie

4.2.1.1 Ziel der Studie

Zielsetzung dieser Befragungsaktion war die Bestimmung des Images von Brettschichtholz bei Verarbeitern von Holzbauprodukten (Zimmereien und Fertighaushersteller) sowie Architekten und Planern. Weiterhin sollte die Aufgeschlossenheit der beiden Zielgruppen gegenüber dem neuen Werkstoff Brettschichtholz aus Buchenholz ermittelt werden.

Der Fragebogen liefert zunächst Angaben über die Verwendung einzelner Holzbauprodukte durch die befragten Holzbaubetriebe und Fertighaushersteller. Parallel hierzu wurde im Rahmen der Befragung bei Architekten und Planern der Bekanntheitsgrad dieser Holzbauprodukte abgefragt. Neben BSH wurden dabei Vollholz, KVH sowie Trägersysteme und Furnierschichtholz als Vertreter der Engineered Wood Products in die Befragung aufgenommen. Die genannten Holzbauprodukte werden anschließend hinsichtlich ihrer Eigenschaften bewertet. Der Fragebogen wurde weiterhin so konzipiert, dass aus Sicht der Zimmerer und Fertighaushersteller sowie der Architekten/Planer geeignete Anwendungsbereiche für Brettschichtholz, auch speziell für die Buchenholz-Variante, ermittelt werden können. Die Anwender von Holzbauprodukten sollten ebenfalls einschätzen, ob ihre Kunden bereit wären, die besondere Optik von BSH aus Buchenholz durch einen Aufpreis zu bezahlen, und in welchem Rahmen sich dieser Aufpreis bewegen könnte.

Grundlage der Befragung bei Zimmereien und Fertighausherstellern bildete eine Adressdatei von 442 Zimmerei- und Holzbaubetrieben, die zum Zweck einer Befragung zum Thema KVH an der Universität Hamburg erstellt wurde. Diese Adressdatei wurde noch durch Adressen von Fertighausherstellern ergänzt, die am Arbeitsbereich Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft recherchiert wurden. Dabei konnten 111 Fertighaushersteller in die Adressdatei aufgenommen werden.

Die Befragung der Architekten und Fachplaner erfolgte durch die Heinze GmbH, Celle und basierte auf einer umfangreichen Adressdatei der Zielgruppe. Um den gewünschten Rücklauf von 400 Fragebogen zu erreichen, wurden ca. 2.000 Exemplare verschickt. Der Kernbereich des Fragebogens war dabei mit dem aus der Befragung der Zimmerer und Fertighaushersteller identisch, so dass eine vergleichende Auswertung möglich wurde.

4.2.1.2 Versand der Fragebögen und Rücklauf

Der Versand der insgesamt 553 Fragebögen aus der Befragung der Zimmerer und Fertighaushersteller erfolgte am 15.08.2002. Bis zum Start der Nachfassaktion am 03.09.2002 betrug der Rücklauf 14%, so dass nochmals 473 Fragebögen verschickt wurden. Als Annahmeschluss für die Befragung der Holzbaubetriebe und Fertighaushersteller wurde der 1.10.2002 festgelegt. Der Rücklauf der Befragung betrug bis dahin 27%, entsprechend 149 Fragebögen.

Der Rohdatensatz der Befragung der Architekten und Fachplaner wurde am 21.11.2002 von der Heinze Marktforschung übernommen. Hier konnten insgesamt 431 Fragebögen erfasst werden, die angepeilte Marke von 400 Rückläufern wurde somit erreicht.

Mit 27% bzw. 28% weisen Zimmerer und Fertighaushersteller annähernd gleiche Rücklaufquoten auf. Unter den 31 Rücksendungen der befragten Fertighaushersteller befanden sich 8 Betriebe, die keine Fertighäuser herstellen. Weitere 2 Betriebe verwenden zur Herstellung ihrer Fertighäuser Bauteile in Massivbauweise. Diese beiden Hersteller wurden in der Auswertung ebenfalls nicht berücksichtigt. Letztendlich konnte zur Auswertung auf die Angaben von 21 Fertighausherstellern zurückgegriffen werden. Bei den Zimmereibetrieben erwies sich lediglich ein Betrieb als nicht der Zielgruppe zugehörig. Neun Betriebe wurden zwischenzeitlich stillgelegt, so dass alles in allem 108 Fragebögen mit Angaben von Holzbaubetrieben ausgewertet werden konnten.

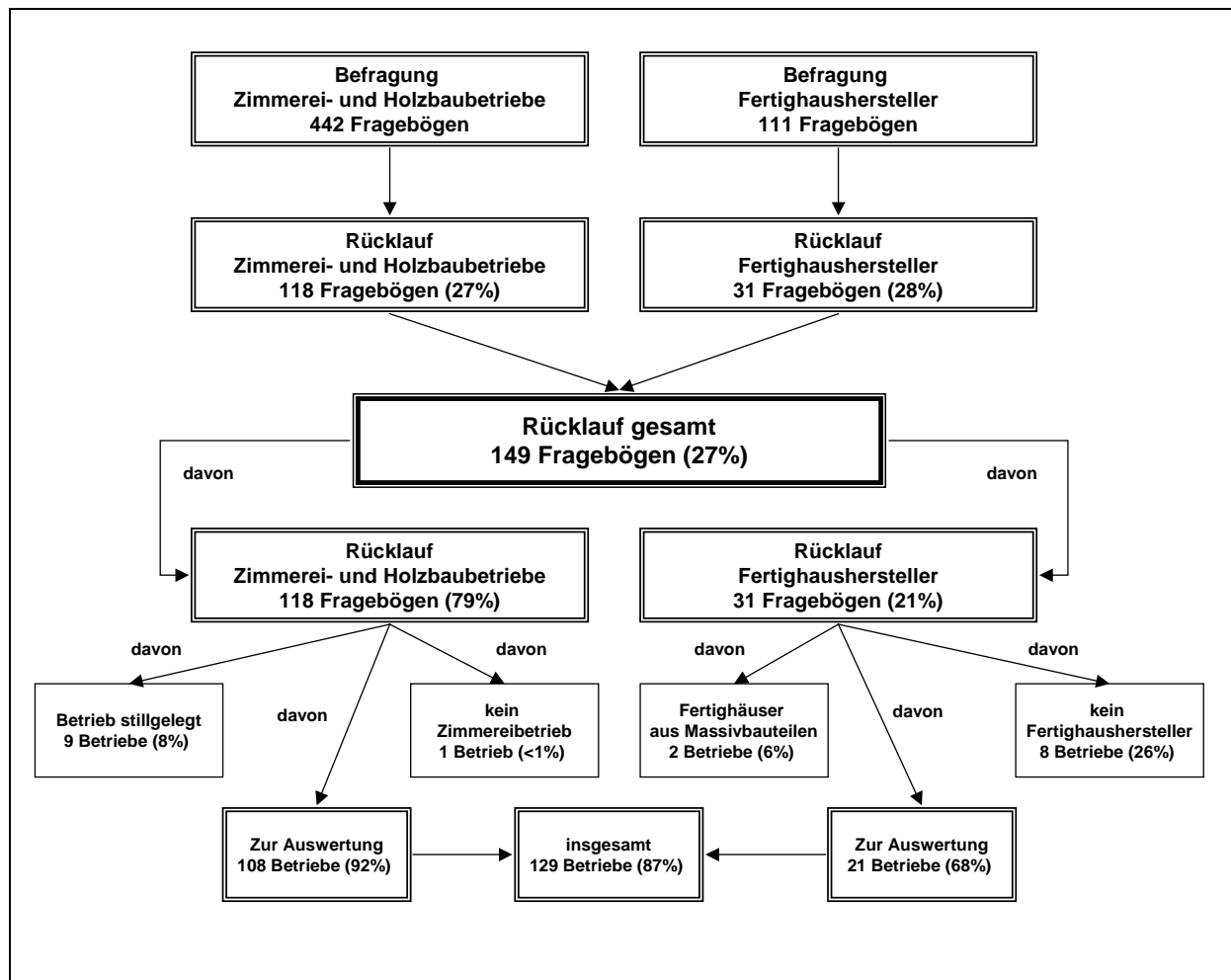
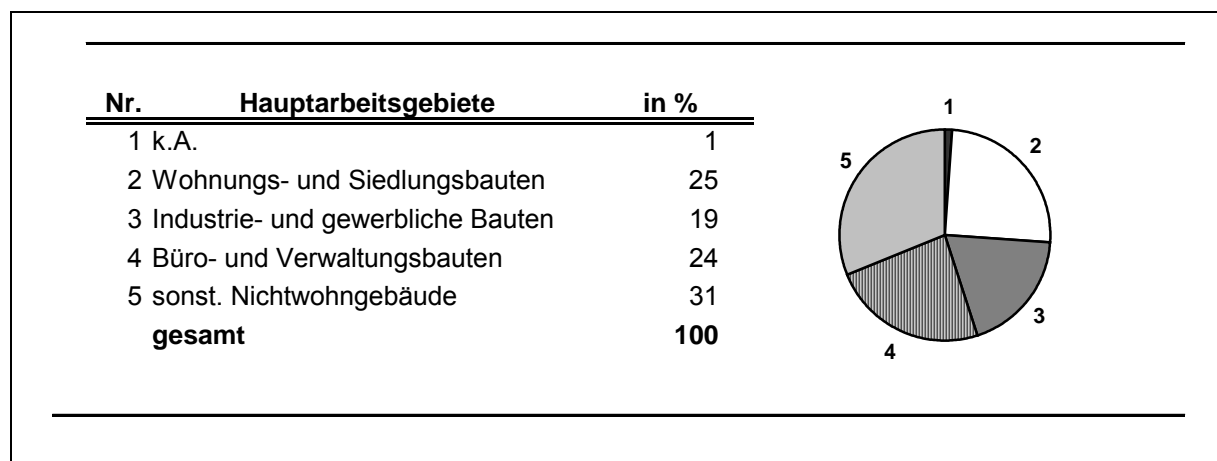
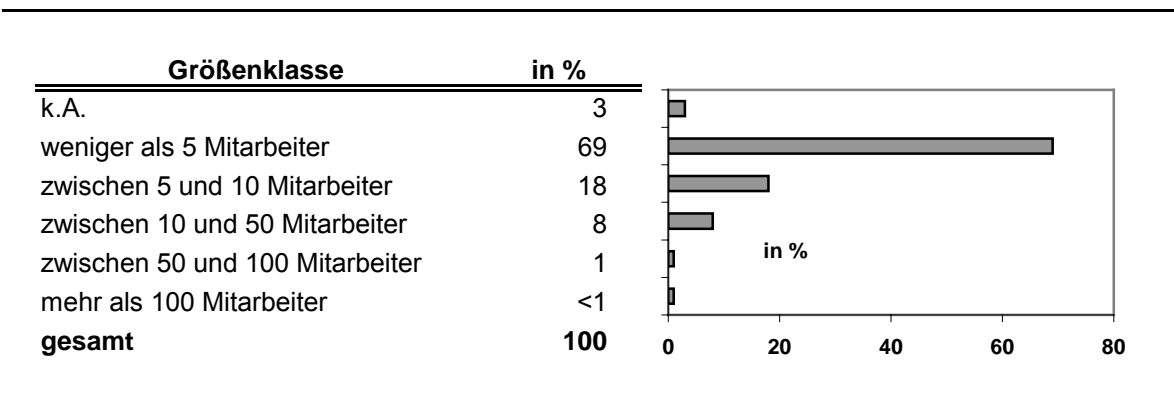


Abbildung 4.6: Rücklauf der Befragung bei Zimmereien und Fertighausherstellern

Tabelle 4.21: Größenklassenverteilung der befragten Architektur- und Planungsbüros**Abbildung 4.7:** Hauptarbeitsgebiete der befragten Architektur- und Statikerbüros

Der Rücklauf aus der Befragung der Architekten und Fachplaner betrug 431 Fragebogen. 192 Rückläufer entfallen dabei auf Architekturbüros, 212 auf Statiker bzw. Tragwerksplaner. 27 Firmen wurden unter der Kategorie „sonstiges“ erfasst. Hierunter fallen hauptsächlich reine Gutachter- und Sachverständigenbüros sowie Sonderfälle wie beispielsweise Denkmalpflege. Die Hauptarbeitsgebiete der Architektur- und Statikerbüros entfallen zu fast gleichen Anteilen auf Wohnungs- und Siedlungsbau, Büro- und Verwaltungsbau sowie sonstige Nichtwohngebäude.

4.2.2 Umsatzstruktur der Betriebe und Verwendung von Holzbaumaterialien

Ein Ziel der Befragung von Holzbaubetrieben und Fertighausherstellern ist es, mögliche Anwendungsgebiete für den neuen Werkstoff Brettschichtholz aus Buchenholz zu ermitteln. Hierfür sind zunächst die Betätigungsfelder der befragten Betriebe von Interesse. Um diese zu ermitteln, wurde nach den Umsatzanteilen der Bereiche konventioneller Holzbau, Ingenieurholzbau, Holzhausbau bzw. Fertighausherstellung, Sanierung und Renovierung sowie sonstiges gefragt. Bei den Zimmerei- und Holzbaubetrieben zeigt sich, dass die Bereiche konventioneller Holzbau und Holzhausbau mit 28% bzw. 27% annähernd gleiche Umsatzanteile aufweisen. Der Bau von Holzhäusern, überwiegend in Holzrahmenbauweise, hat sich als zusätzliches Standbein der Holzbaubetriebe etabliert und konnte im Verlauf der letzten Jahre die klassischen Zimmermannsarbeiten ergänzen. Interessant erscheint auch, dass im

Bereich Sanierung und Renovierung bereits ein Viertel des Gesamtumsatzes erzielt wird. Die Bedeutung dieses Sektors soll neuesten Studien zufolge im Laufe der nächsten Jahre weiter zunehmen⁵. Der Ingenieurholzbau erreicht mit 12% nur knapp die Hälfte des Umsatzanteils, den konventioneller Holzbau und Holzhausbau erzielen.

Bei den Fertighausbetrieben nimmt erwartungsgemäß die Herstellung von Fertighäusern mit knapp 80% den weitaus größten Anteil ein. Konventioneller Holzbau und Ingenieurholzbau runden vielfach als Nebensegmente das Angebot der Fertighaushersteller ab. Beide Bereiche erreichen einen Anteil von 9% am Gesamtumsatz der Branche.

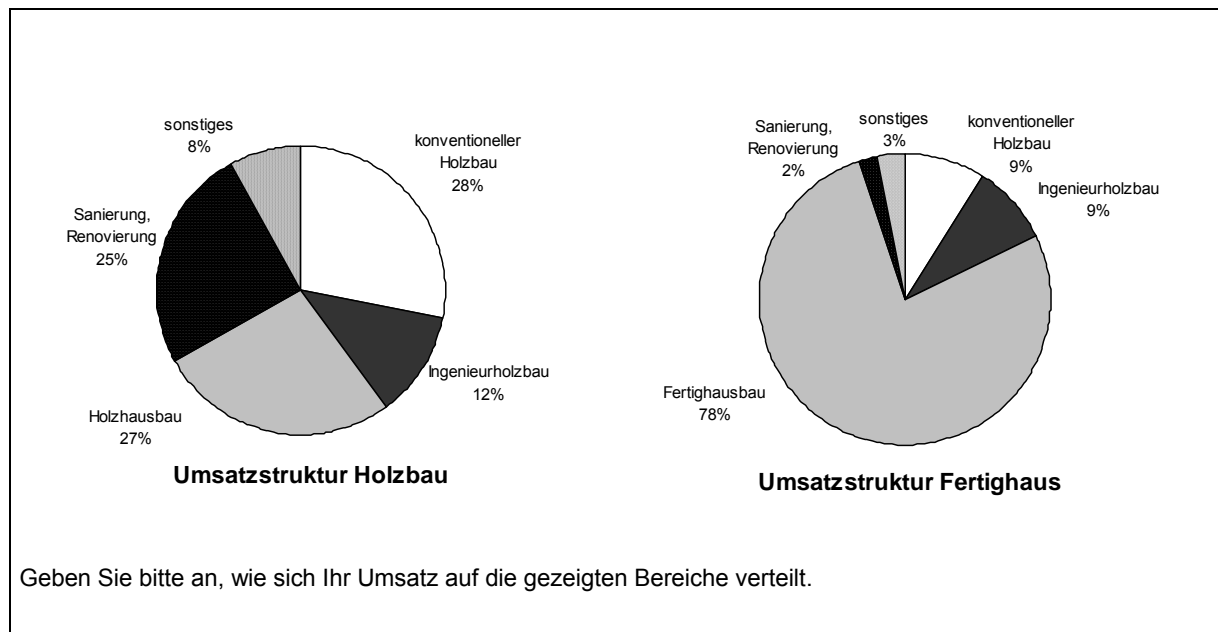


Abbildung 4.8: Umsatzstruktur der befragten Zimmerei- und Fertighausbetriebe

Tabelle 4.22: Verwendung verschiedener Holzbauprodukte, Zimmerei u. Fertighaus

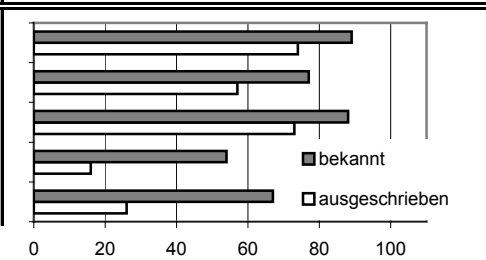
	Verwendungsgrad		
	Zimmerer	Fertighaus	
Vollholz	94%	95%	
KVH	96%	100%	
BSH	97%	100%	
Trägersysteme	46%	14%	
Furnierschichtholz	68%	43%	

Frage: Welche der folgenden Holzbaumaterialien für tragende Zwecke haben Sie bereits eingesetzt?

⁵ vgl. hierzu FILIPPI, 2002: Holzbau in Deutschland: Wo geht es hin?

Die Verwendung der gängigsten Holzbauprodukte in den befragten Betrieben zeigt Tabelle 4.22. Es ist erkennbar, dass KVH und BSH neben Vollholz bereits fest auf dem Markt etabliert sind. Mehr als 95% aller befragten Zimmereien haben bereits KVH und BSH eingesetzt, bei den Fertighausherstellern wurden beide Werkstoffe bereits von allen Betrieben verarbeitet. Was die neuen Holzwerkstoffe Trägersysteme und Furnierschichtholz betrifft, so zeigen sich hier die Zimmereien innovationsfreudiger. Knapp 70% der befragten Zimmereibetriebe haben bereits mit Furnierschichtholz gearbeitet, Trägersysteme wurden immerhin von fast 50% der Zimmereien eingesetzt. Die Fertighaushersteller dagegen orientieren sich derzeit eher an den bereits etablierten Produkten KVH und BSH. Ein Grund für den eher verhaltenen Einsatz von Trägersystemen könnte in der derzeit noch als eher schlecht zu bezeichnenden Verfügbarkeit liegen. In einer Befragung von Zimmerei- und Holzbaubetrieben gaben nach KRUSE/VENSCHOTT (2001) die Mehrheit der Befragten die schlechtere Verfügbarkeit dieser Werkstoffe als Nachteil an [KRUSE/VENSCHOTT, 2001]. Der Vorteil dieser Systeme, die zeit- und kostensparende Verarbeitbarkeit auf der Baustelle, dürfte die Zimmereibetriebe eher ansprechen als Fertighaushersteller, deren Fertigung stärker automatisiert ist. Auch ist der Vorfertigungsgrad bei Fertighäusern höher und die bei Errichten des Gebäudes anfallenden Arbeiten auf ein Minimum begrenzt.

Tabelle 4.23: Verwendung Holzbauprodukte, Architekten und Statiker

	Verwendungsgrad		
	bekannt	ausgeschr.	
Vollholz	89%	74%	
KVH	77%	57%	
BSH	88%	73%	
Trägersysteme	54%	16%	
Furnierschichtholz	67%	26%	

Frage: Wie gut sind Sie mit den folgenden Holzbaumaterialien für tragende Zwecke vertraut? Geben Sie bitte an, welche Materialien Ihnen bekannt sind und welche Sie bereits ausgeschrieben haben.

Die Ergebnisse der Befragung von Architekturbüros und Statikern bestätigen im wesentlichen die Angaben der Zimmereien und Fertighaushersteller. Vollholz, KVH und BSH wurden bereits von der Mehrzahl der Befragten für ein Bauvorhaben ausgeschrieben. Trägersysteme und Furnierschichtholz wurden dagegen bislang bei der Materialauswahl weniger berücksichtigt. Der Bekanntheitsgrad der neuen Systemträger liegt bei Architekten und Planern bei etwas über 50%, die konstruktiven Vorteile dieser neuen Holzbauprodukte dürften sich bislang nur einem geringen Teil der Befragten erschlossen haben. Deutliche Unterschiede zwischen den befragten Zielgruppen zeigen sich bei FSH. Während der *Bekanntheitsgrad* bei Zimmereibetrieben und Fertighausherstellern sowie Architekten/ Statikern annähernd gleich ist, zeigen die Architekten bei der *Anwendung* dieses Werkstoffs größere Zurückhaltung.

Die Befragung zeigt, dass Zimmerer dagegen den Einsatz von Furnierschichtholz durchaus in Erwägung ziehen. Bereits im Rahmen der Herstellerbefragung von BSH wurde allerdings ausgeführt, dass den verbesserten elastomechanischen Eigenschaften dieser Produkte der vergleichsweise hohe Preis gegenübersteht. Die Verbesserung der Produkteigenschaften

reicht nach KRUSE/VENSCHOTT (2001) bei der derzeitigen Preissituation noch nicht aus, um den Einsatz dieser neuen Holzwerkstoffe wirtschaftlich attraktiv zu machen.

Dass die Produkteigenschaften der neuen Holzwerkstoffe die Anwender überzeugen, zeigt sich im Fall Furnierschichtholz deutlich in Abbildung 4.9 und Abbildung 4.10. FSH belegt in der Bewertung der Produkteigenschaften Feuchtebeständigkeit, Dimensionsstabilität sowie Optik durch Zimmerer und Fertighaushersteller jeweils Rang 2 hinter Brettschichtholz. In Sachen Festigkeit ist dieser Werkstoff nach Ansicht dieser Befragtengruppe durch die anderen Holzbauprodukte nicht zu übertreffen.

Die Vergabe der einzelnen Bewertungen erfolgte nach einem Punktesystem. Die befragten Handwerksbetriebe sowie Architektur- und Statikerbüros sollten entscheiden, welche der aufgeführten Produkte die Eigenschaften Feuchtebeständigkeit, Dimensionsstabilität, Optik sowie Festigkeit am besten (Bewertung „1“), am zweitbesten (Bewertung „2“) oder am drittbesten (Bewertung „3“) erfüllen. Die vergebenen Punkte errechnen sich als Summe der Einzelbewertungen. Um die Bewertung grafisch richtig wiederzugeben, wurden den Noten 1 bis 3 die Punkte 3 bis 1 zugewiesen. Anschließend wurde der errechnete Wert mit den erzielten Prozentsätzen gewichtet.

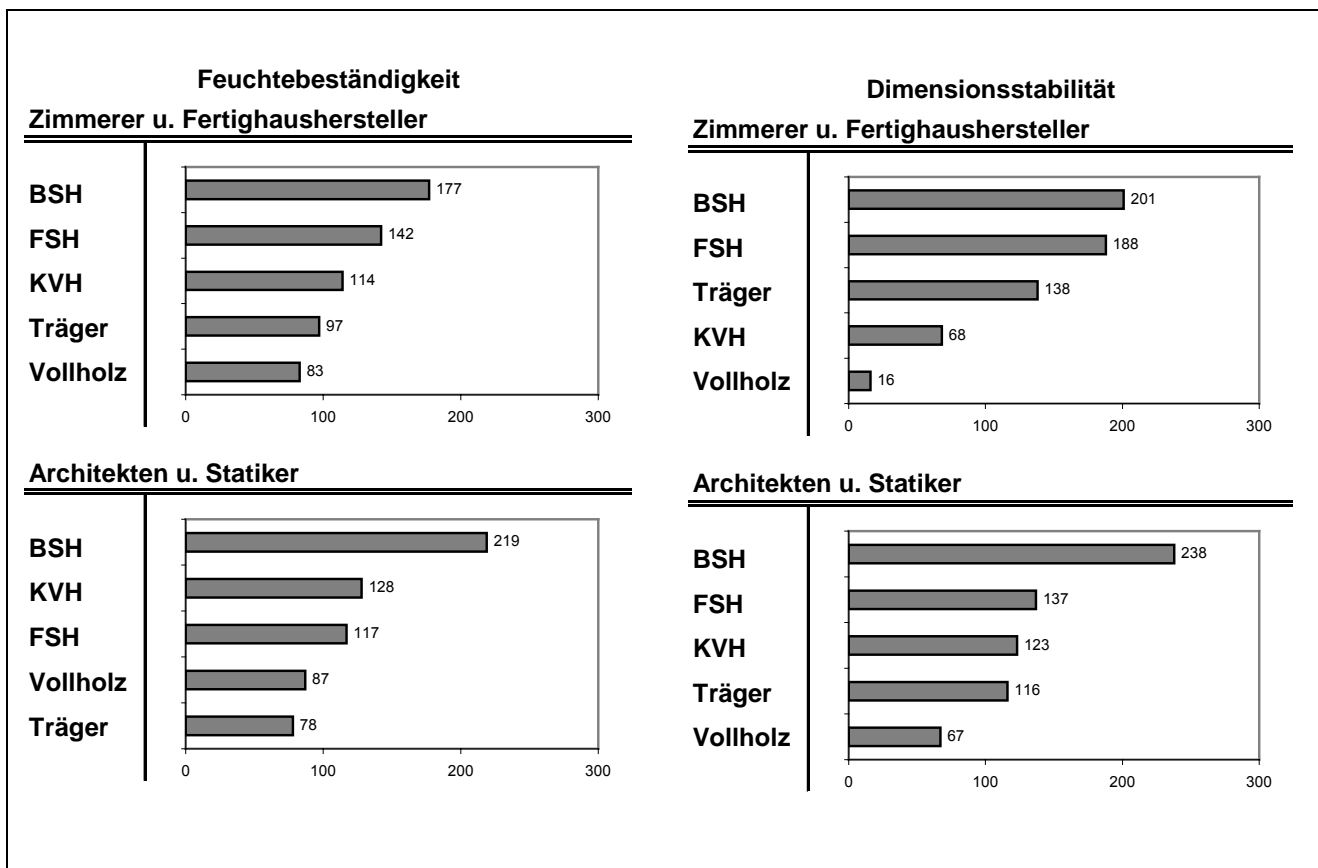


Abbildung 4.9: Eigenschaften Feuchtebeständigkeit und Dimensionsstabilität

Besonders positiv fiel die Bewertung für Brettschichtholz aus. In den Eigenschaften Feuchtebeständigkeit, Dimensionsstabilität sowie Optik stellt Brettschichtholz für die Anwender erste Wahl dar. Die große Stärke dieses Werkstoffs liegt nach Ansicht der Holzbaubetriebe und Fertighaushersteller in der Optik. Hier erreicht BSH mit Abstand die höchste Punktzahl. Die Bewertung der Architekten und Statiker bestätigt das positive Ergebnis für Brettschichtholz. BSH wurde von dieser Befragtengruppe in allen vier Wertungskategorien an die Spitze der Holzbauprodukte gesetzt. Bei dieser Bewertung muss allerdings berücksichtigt werden, dass

beide Befragtengruppen einen unterschiedlichen Wissensstand hinsichtlich der zu bewertenden Holzbauprodukte aufweisen. Nur ein kleiner Teil der befragten Architekten und Statiker kann beispielsweise auf praktische Erfahrung mit Furnierschichtholz und Trägersystemen zurückgreifen (vgl. hierzu Tabelle 4.23, S. 45).

Das zweite Holzbauprodukt aus der Gruppe der Engineered Wood Products, Trägersysteme, landete in der Bewertung durch die Anwender im Mittelfeld bzw. im hinteren Teil der Rangliste. Inwiefern diese Bewertung auch durch die geringe Erfahrung, die besonders Fertighaushersteller sowie Architekten und Statiker mit diesem Werkstoff haben, beeinflusst wurde, kann nicht abgeschätzt werden. Trägersysteme bieten neben vielen parallelen Anwendungsgebieten wie BSH die Möglichkeit, in Tragwerken große Spannweiten ohne zusätzliche Unterstützung zu überbrücken. Der Vorteil dieser Systeme gegenüber BSH liegt im geringeren Eigengewicht und der damit verbundenen besseren Verarbeitbarkeit. Da dieses Kriterium nicht Bestandteil der Bewertung war, konnte hier ein direkter Vergleich beider Produkte nicht erfolgen. Besonders negativ fiel die Bewertung der Optik für die Trägersysteme aus. Das Einsatzgebiet dieser Systeme dürfte daher zumindest in Deutschland auf den nicht sichtbaren Bereich beschränkt bleiben.

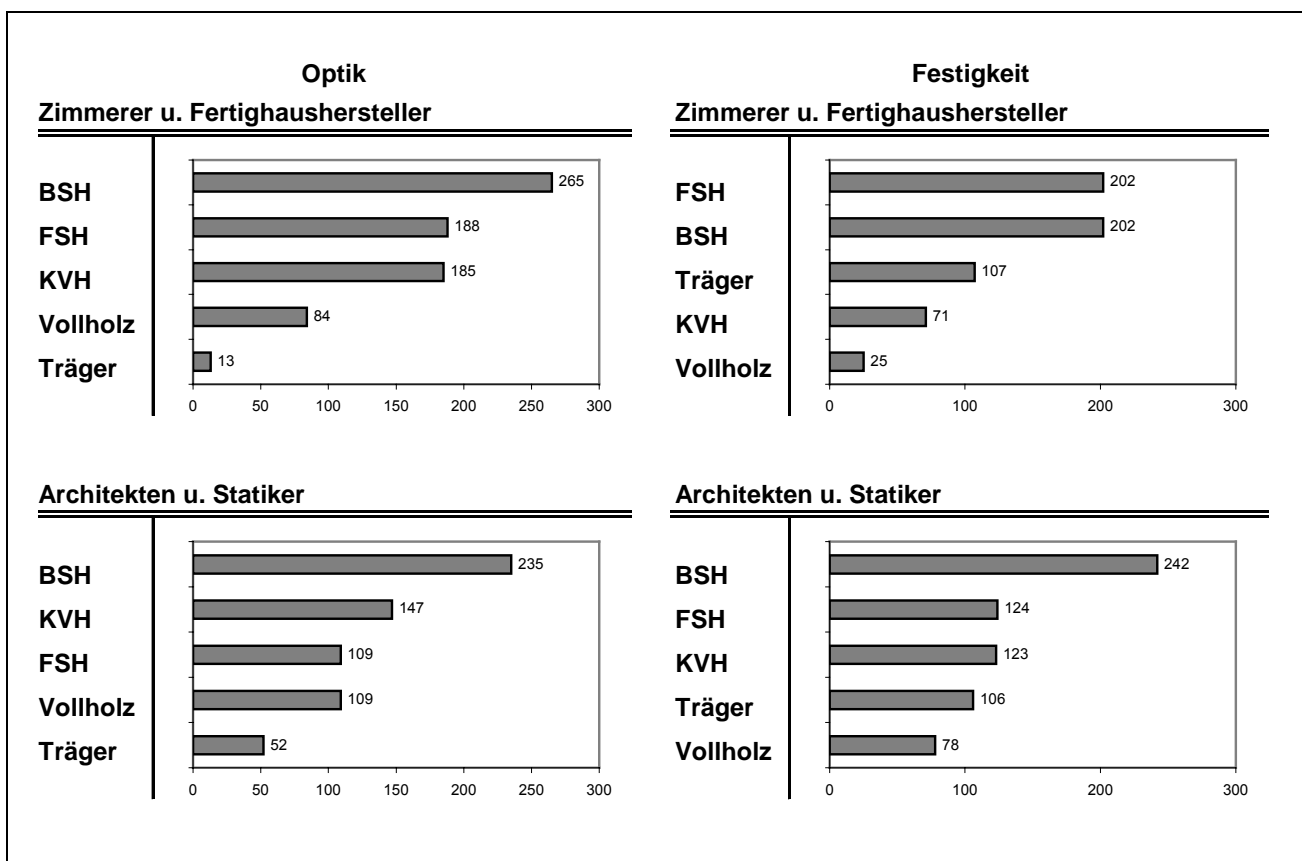


Abbildung 4.10: Eigenschaften Optik und Festigkeit

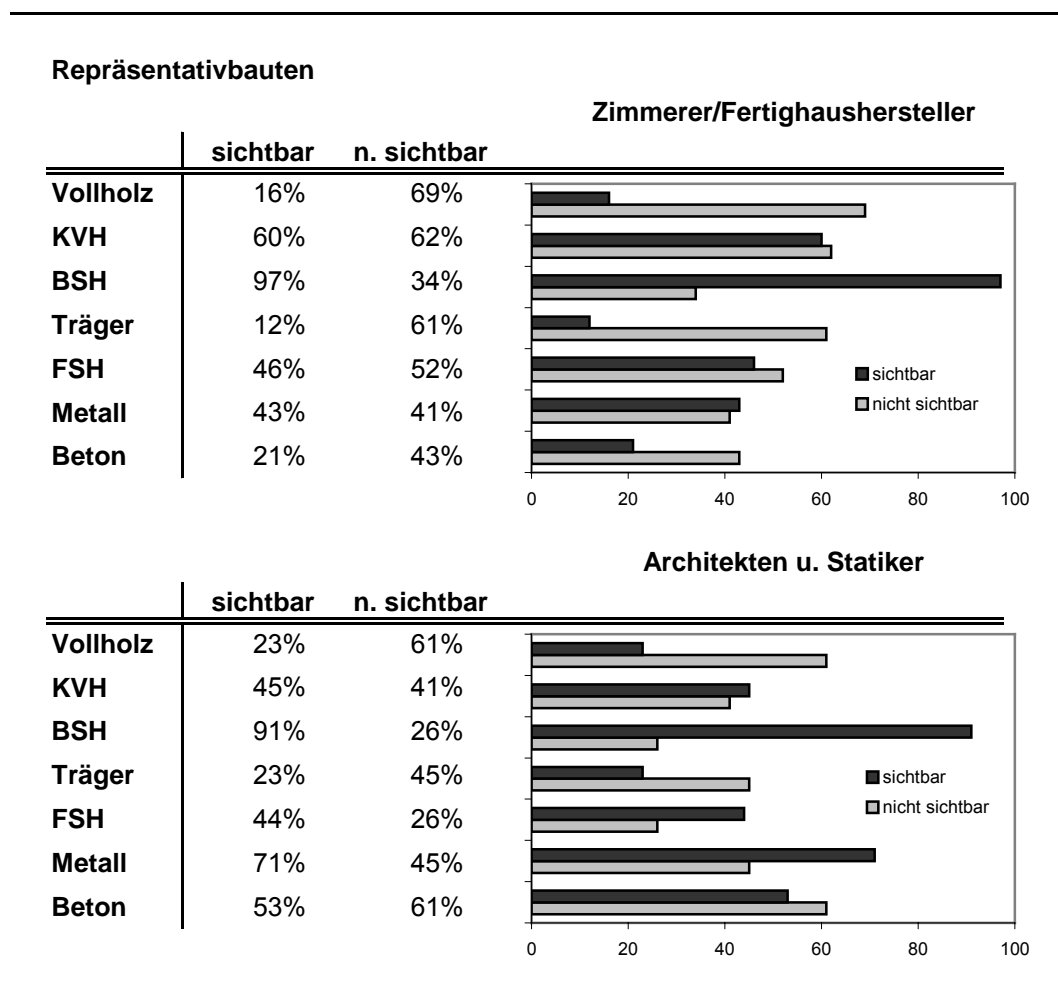
Überraschend schlecht hat in der Bewertung durch Zimmerer und Fertighaushersteller im Vergleich der einzelnen Holzbauprodukte neben Vollholz auch KVH abgeschnitten. Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass KVH vor allem in den Bereichen schlecht bewertet wurde, in denen auch das von der Struktur her am nächsten „verwandte“ konventionelle Bau-Schnittholz schlechter abgeschnitten hat. Besonders was Dimensionsstabilität und Festigkeit anbelangt, sind beide Produkte nach Ansicht der Anwender den „Konkurrenten“ unterlegen. Dass KVH derzeit dennoch neben konventionellem Bauschnittholz *der* Standardwerk-

stoff im Holzrahmenbau ist, ist sicherlich mit dem wesentlich besseren Preis-Leistungsverhältnis dieses Werkstoffs zu begründen. KRUSE/VENNSCHOTT (2001) konnten zeigen, dass KVH derzeit ein günstigeres Preis-Leistungsverhältnis als BS11 aus Nadelholz sowie FSH bietet. Das Preis-Leistungsverhältnis wurde dabei als durchschnittlicher Verkaufspreis in DM bezogen auf die durchschnittlichen Rechenwerte der Elastizitäts- und Schubmoduln gebildet.

4.2.3 Anwendungsbereiche für Brettschichtholz

Um potenzielle Anwendungsgebiete für BSH aus Buchenholz zu ermitteln, wurden die befragten Zimmereibetriebe und Fertighaushersteller sowie Architekten und Statiker zunächst gebeten, die für bestimmte Anwendungsgebiete bevorzugten Baumaterialien anzugeben. Hieraus lässt sich ermitteln, in welchen Bereichen BSH von den Anwendern bevorzugt eingesetzt wird und welche anderen Holz- und Nichtholz- Bauprodukte in diesen Segmenten mit BSH konkurrieren.

Tabelle 4.24: Baumaterialien für Repräsentativbauten



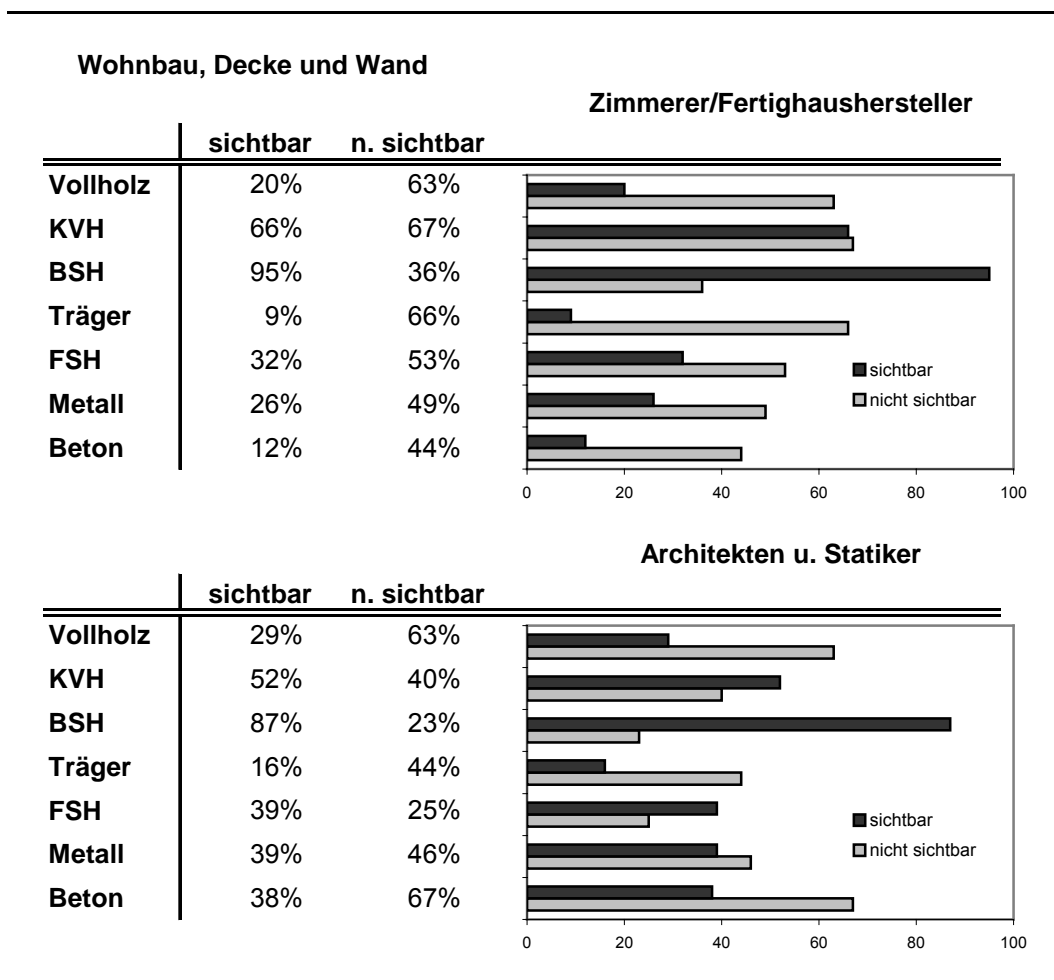
Frage: Welche der aufgeführten Bauprodukte für tragende Zwecke würden Sie für folgende Anwendungen bevorzugen?

In Repräsentativbauten stellt BSH im sichtbaren Bereich für die Anwender die bevorzugte Alternative dar. 97% aller befragten Zimmereibetriebe und Fertighaushersteller und 91% der befragten Architekten und Statiker würden in diesem Segment BSH einsetzen. Dieses Er-

gebnis überrascht nicht angesichts der sehr guten Bewertung der optischen Eigenschaften von BSH durch die Anwender (s. Abbildung 4.10, S. 47).

Als interessanteste Alternative zu BSH im Sichtbereich von Repräsentativbauten nannten Zimmerer und Fertighaushersteller Konstruktionsvollholz. Vollholzkonstruktionen sowie Nichtholz-Bauprodukte werden dagegen weniger favorisiert. In nicht sichtbaren Konstruktionen würden die Anwender auch bei Repräsentativbauten auf günstigere Alternativen zurückgreifen. Vollholz und die in der Montage praktischen Trägersysteme würden hier bevorzugt zum Einsatz kommen. KVH erweist sich als Allroundprodukt, das sowohl im Sicht- wie im Nichtsicht-Bereich verstärkt eingesetzt wird. Bei Architekten und Statikern zeigt sich eine etwas andere Verteilung. Metallkonstruktionen würden hier neben BSH bevorzugt im sichtbaren Bereich repräsentativer Bauwerke zum Einsatz kommen. Mehr als die Hälfte der Befragten würde hier auch auf Beton zurückgreifen. Dieses Nichtholz-Bauprodukt stellt für Architekten und Statiker neben dem klassischen Bau-Schnittholz auch die bevorzugte Variante für den nicht sichtbaren Bereich dar.

Tabelle 4.25: Baumaterialien für Decken- und Wandkonstruktionen in Wohnbauten

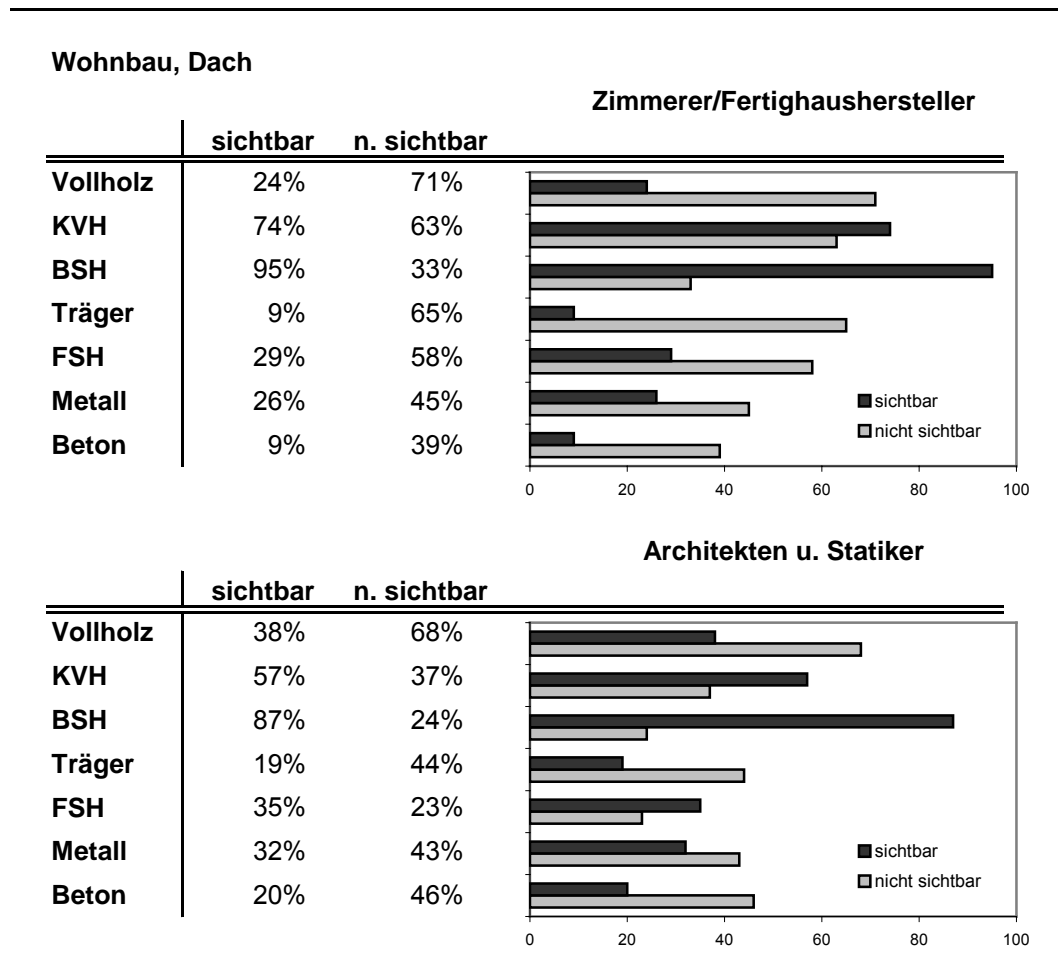


Frage: Welche der aufgeführten Bauprodukte für tragende Zwecke würden Sie für folgende Anwendungen bevorzugen?

Im Bereich des Wohnbaus wird Brettschichtholz sowohl für sichtbare Decken- als auch Dachkonstruktionen bevorzugt. Im nicht sichtbaren Bereich von Wandkonstruktionen hingegen dominieren klassisches Bau-Schnittholz und KVH. Interessanterweise würden 66% der befragten Zimmerei- und Fertighausbetriebe hier auch Trägersysteme verbauen. Diese Sys-

temwerkstoffe können ihre Vorteile bei der Verarbeitbarkeit und der Montage auch in Dachkonstruktionen ausspielen, die nicht sichtbar bleiben. Hier konnten sie neben Vollholz die meisten Stimmen sammeln. Im sichtbaren Bereich dagegen stellen Trägersysteme wie auch Nichtholz-Produkte für die überwiegende Zahl der Anwender keine Alternative dar.

Tabelle 4.26: Baumaterialien für Dachkonstruktionen in Wohnbauten



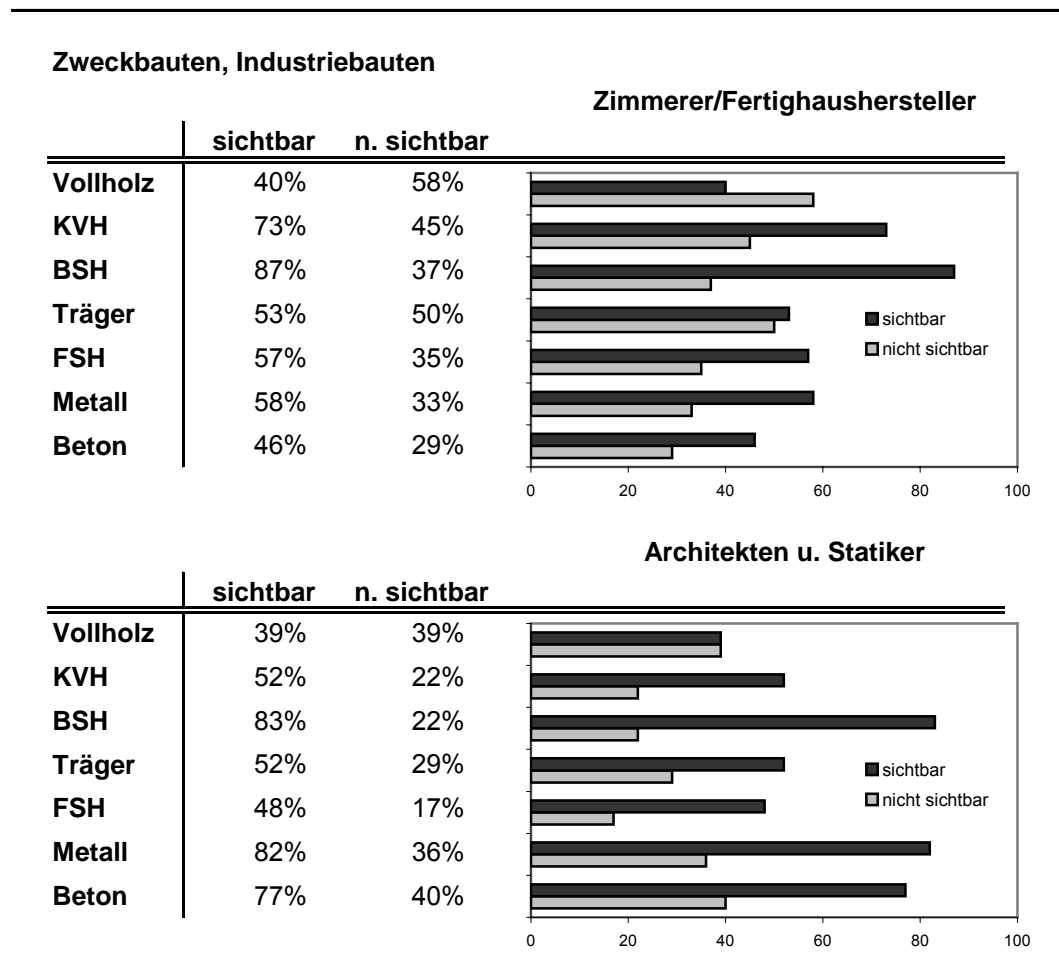
Frage: Welche der aufgeführten Bauprodukte für tragende Zwecke würden Sie für folgende Anwendungen bevorzugen?

Auch bei Zweck- und Industriebauten liegt Brettschichtholz im sichtbaren Bereich für die Anwender an erster Stelle. Bei diesen Bauwerken werden auch für sichtbare Konstruktionen Nichtholz-Bauprodukte zu einem größeren Teil eingesetzt. Als wichtigster „Konkurrent“ für BSH erweist sich nach Ansicht der Zimmerei- und Holzbaubetriebe mit KVH allerdings wieder ein Holzprodukt. Im nicht sichtbaren Bereich verliert BSH wieder seine bevorzugte Stellung gegenüber den anderen Werkstoffen. Die günstigeren Varianten Vollholz und Trägersysteme würden hier von den Anwendern eher bevorzugt.

Architekten und Statiker bevorzugen in Zweckbauten und industriellen Bauwerken vor allem Metall- und Betonkonstruktionen. Brettschichtholz stellt für diese Befragtengruppe lediglich im sichtbaren Bereich eine Alternative zu Nichtholz-Bauprodukten dar. Falls die befragten

Architekten und Statiker im nicht sichtbaren Bereich auf Holzprodukte zurückgreifen, so würden sie sich mehrheitlich für konventionelles Bau-Schnittholz entscheiden.

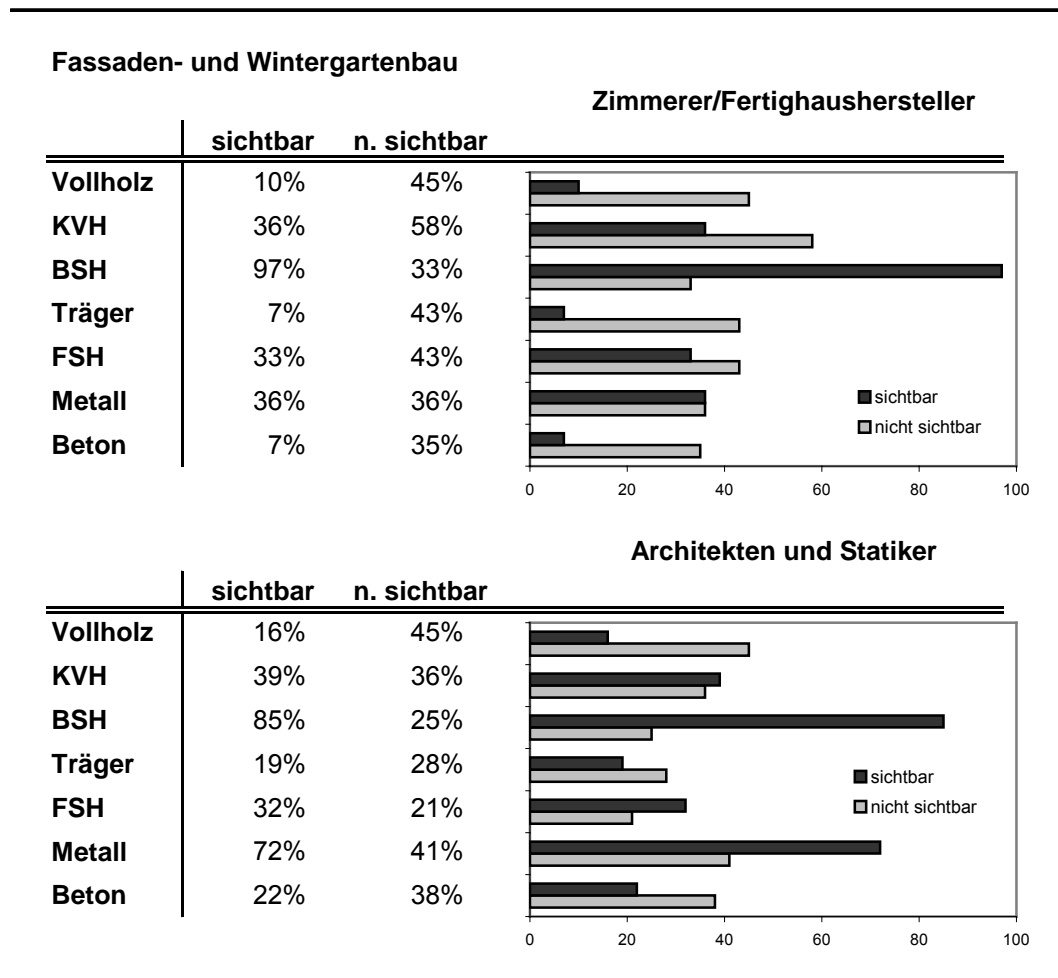
Tabelle 4.27: Baumaterialien für Zweck- und Industriebauten



Frage: Welche der aufgeführten Bauprodukte für tragende Zwecke würden Sie für folgende Anwendungen bevorzugen?

Für dekorative Fassadenlösungen und im Wintergartenbau erscheint Verarbeitern wie Planern BSH wiederum als die beste Alternative. Wie auch in den anderen Anwendungsbereichen gilt dies jedoch nur für den sichtbaren Bereich. In verdeckten Konstruktionen würde von den Zimmerern und Fertighausherstellern bevorzugt KVH und von den Planern bevorzugt konventionelles Bau-Schnittholz sowie Metall und Beton eingesetzt. Metallkonstruktionen stellen für Architekten und Statiker im sichtbaren Bereich neben BSH auch die attraktivste Variante dar. Trägersysteme erweisen sich wieder als spezieller Werkstoff, dessen Vorteile der reduzierten Querschnittsfläche und damit Masse klar auf Kosten der Optik gehen. Im nicht sichtbaren Bereich erreicht dieser Werkstoff bei den Zimmerei- und Fertighausbetrieben die gleichen Anteile wie Vollholz oder Furnierschichtholz. Bei den Planern zeigt sich auch in diesem Fall eine gewisse Zurückhaltung gegenüber den neueren Vertretern aus der Gruppe der Engineered Wood Products.

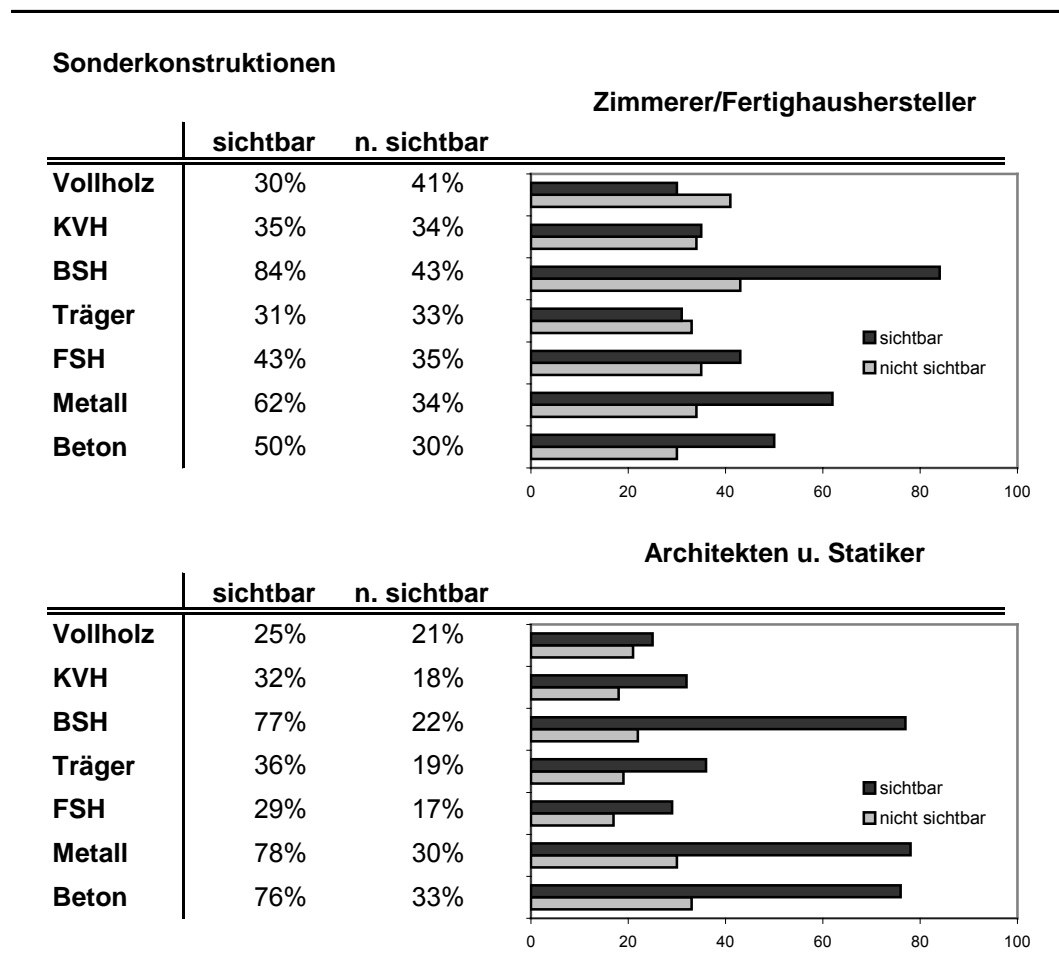
Tabelle 4.28: Fassaden- und Wintergartenbau



Frage: Welche der aufgeführten Bauprodukte für tragende Zwecke würden Sie für folgende Anwendungen bevorzugen?

Was Sonderkonstruktionen wie beispielsweise Brücken anbelangt, so wurde BSH von den Verarbeitern im sichtbaren Bereich auch hier favorisiert. Neben der bereits angesprochenen optischen Vorteile für BSH dürfte hier besonders die Tatsache zum Tragen kommen, dass die Herstellung von BSH Bauteilformen erlaubt, die in dieser Form kaum durch andere Holzwerkstoffe realisiert werden können. Architekten und Statiker entschieden sich im sichtbaren Bereich zu gleichen Anteilen für BSH sowie Nichtholzbauprodukte. Im nicht sichtbaren Anwendungsbereich ziehen die Planer Metall- und Betonkonstruktionen den Holzbauprodukten vor.

Tabelle 4.29: Sonderkonstruktionen



Frage: Welche der aufgeführten Bauprodukte für tragende Zwecke würden Sie für folgende Anwendungen bevorzugen?

4.2.4 Brettschichtholz aus Buche

Nachdem im vorangegangenen Teil der Befragung Informationen zur Marktposition und Anwendung von Brettschichtholz im Allgemeinen gesammelt wurden, befasst sich der folgende Teil speziell mit dem neuen Produkt Brettschichtholz aus Buche. Analog zu der Erarbeitung von Anwendungsgebieten für BSH, wie es derzeit auf dem Markt verfügbar ist, sollten die befragten Anwender auch mögliche Einsatzbereiche für Buchen- Brettschichtholz bewerten.

Tabelle 4.30: Potenzielle Einsatzbereiche für BSH aus Buche

Zimmereien und Fertighaushersteller			
Einsatzbereiche	Anwendung vorstellbar?		
	sichtbar	nicht sichtbar	keine Alternative
Repräsentativbauten	86%	11%	3%
Wohnbau, Decke u. Wand	63%	13%	24%
Wohnbau, Dach	32%	15%	53%
Zweck-, Industriebauten	32%	21%	47%
Fassaden, Wintergärten	52%	8%	40%
Sonderkonstruktionen	63%	17%	20%

■ sichtbar ■ nicht sichtbar □ keine Alternative

Architekten u. Statiker			
Einsatzbereiche	Anwendung vorstellbar?		
	sichtbar	nicht sichtbar	keine Alternative
Repräsentativbauten	85%	10%	5%
Wohnbau, Decke u. Wand	74%	15%	11%
Wohnbau, Dach	57%	15%	28%
Zweck-, Industriebauten	47%	15%	38%
Fassaden, Wintergärten	65%	10%	25%
Sonderkonstruktionen	61%	19%	20%

■ sichtbar ■ nicht sichtbar □ keine Alternative

Frage: Für welche Einsatzbereiche stellt BSH aus Buche für Sie eine denkbare Alternative dar?

Zunächst zeigt sich, dass Buchen-Brettschichtholz sowohl aus Sicht der potenziellen Abnehmer als auch der befragten Planer hauptsächlich für den sichtbaren Bereich in Frage kommt. Der Einsatz in repräsentativen Bauwerken wird dabei von den Befragten favorisiert. Chancen hätte der neue Werkstoff nach Ansicht der Zimmerer und Fertighaushersteller außerdem im Wohnbau sowie in Sonderkonstruktionen. Mehr als die Hälfte aus dieser Befragtengruppe hält auch einen Einsatz im Fassaden- und Wintergartenbau für Erfolg versprechend. Im nicht sichtbaren Bereich räumen die Anwender dem neuen Werkstoff dagegen wenig Chancen ein. Lediglich in Zweck- und Industriebauten würde wenigstens ein Fünftel

der Zimmerer und Fertighaushersteller den Einsatz von Buchen-BSH in verdeckten Konstruktionen in Erwägung ziehen. Auch für Architekten und Statiker stellt BSH aus Buche in erster Linie ein Produkt für die sichtbare Anwendung dar. Neben den bereits von Zimmerern und Fertighausherstellern bevorzugten Anwendungsgebieten sehen Architekten und Statiker auch im Bereich Wintergartenbau und Fassadenkonstruktionen sowie Dachkonstruktionen von Wohnbauten bessere Chancen für den neuen Werkstoff.

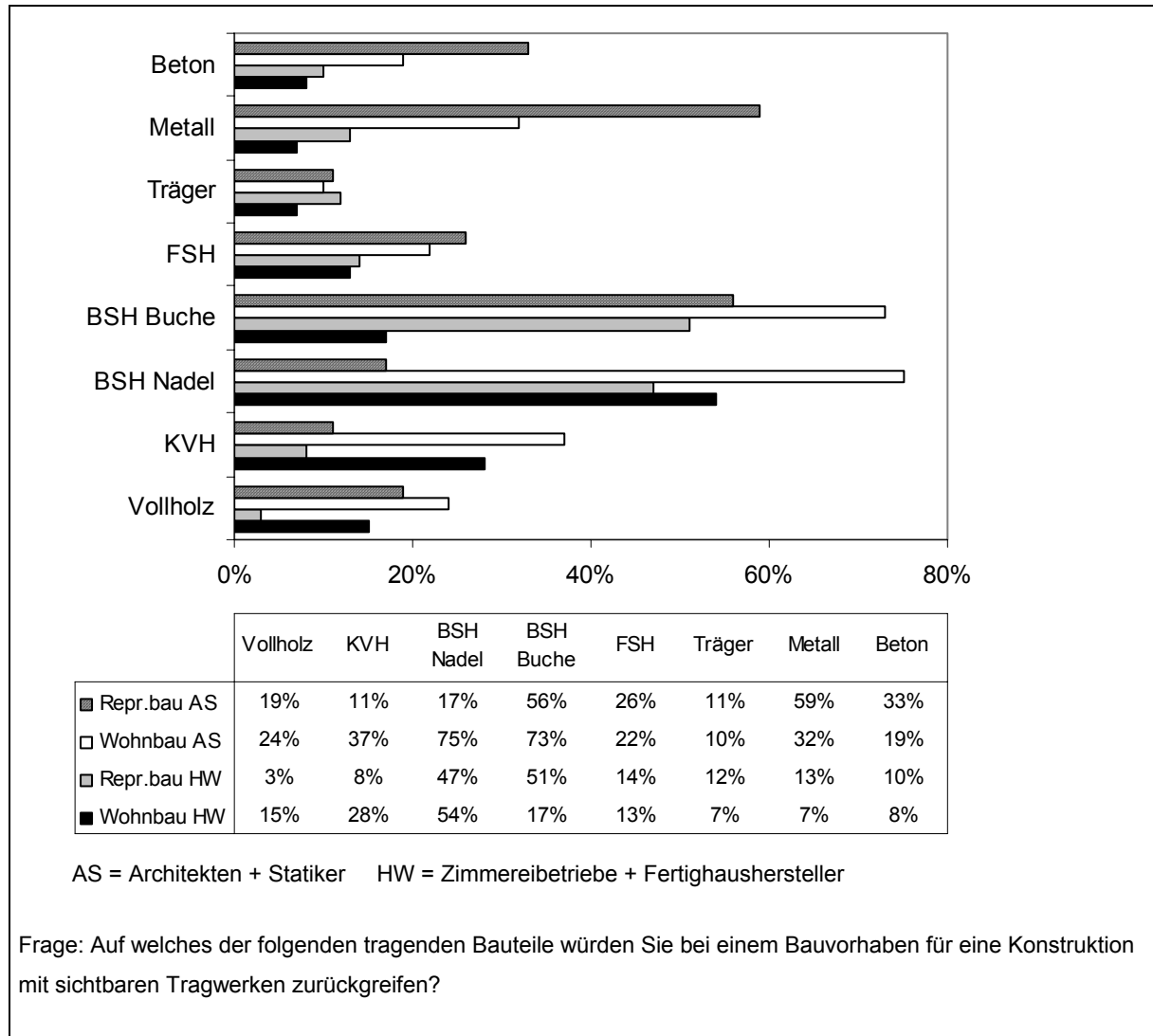


Abbildung 4.11: Tragende Bauteile für eine Konstruktion mit sichtbaren Tragwerken

Wird eine Konstruktion mit sichtbaren Tragwerken ausgeschrieben, dann bevorzugen die befragten Betriebe auch Brettschichtholz. Abbildung 4.11 zeigt, dass dieser Werkstoff in seiner optischen Wirkung den aufgeführten „Konkurrenten“ nach Meinung der Zimmerer und Fertighaushersteller überlegen ist. BSH aus Buche wäre dabei die edlere Variante, die vorzugsweise für repräsentative Bauwerke eingesetzt würde. In Wohnbauten dagegen favorisiert diese Befragtengruppe eher BSH aus Nadelholz.

Was Architekten und Statiker anbelangt, so sind hier die Präferenzen etwas anders verteilt. Neben Brettschichtholz aus Buche sind vor allem Nadelholz- Bauprodukte im Repräsentativbau für diese Befragtengruppe erste Wahl. Metall ist dabei das bevorzugte Material. Im Wohnbau dagegen bevorzugen auch die Planer Konstruktionen aus Holz. Buchen-BSH und

BSH aus Nadelholz würden dabei alternativ eingesetzt. Beide Produkte erreichten annähernd gleiche Prozentwerte.

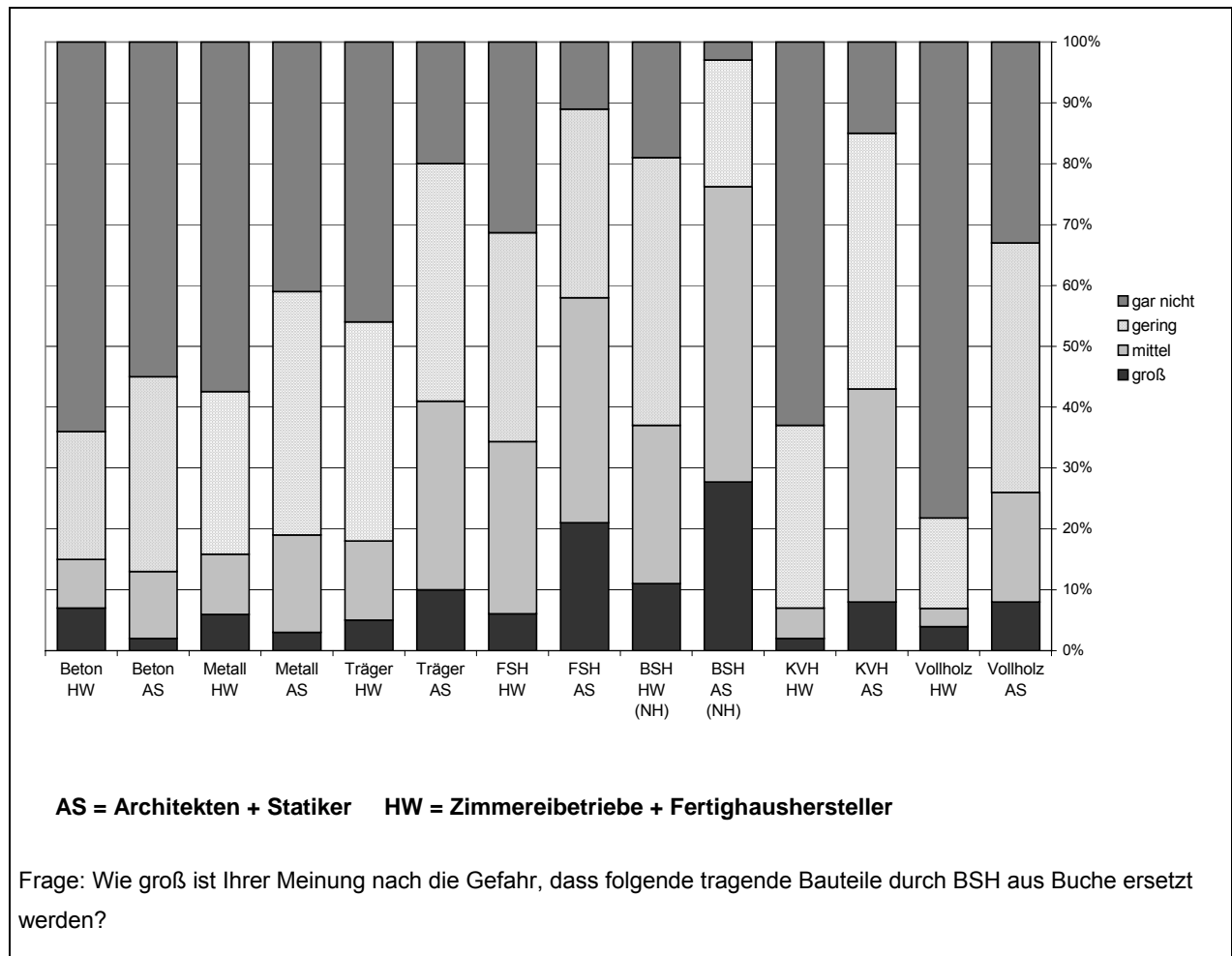


Abbildung 4.12: Substitution tragender Bauteile durch BSH aus Buche

Abbildung 4.12 zeigt die Einschätzung der Holzbaubetriebe und Fertighaushersteller sowie der Architekten und Statiker zum Substitutionspotenzial von Buchen-Brettschichtholz. Es zeigt sich zunächst, dass die Befragtengruppe der Architekten und Statiker das Substitutionspotenzial des neuen Werkstoffs durchweg höher bewertet als die potenziellen Verarbeiter. Wie aus Tabelle 4.30 (S. 54) hervorgeht, ist Buchen-BSH nach Ansicht der Befragten vor allem für den Einsatz im sichtbaren Bereich ausgelegt. Als potenzielle Anwendungsgebiete wurden neben Repräsentativ- und Wohnbauten auch Sonderkonstruktionen sowie Fassaden- und Wintergartenbau genannt.

Für diese Anwendungsbereiche stellt für die *Zimmerer und Fertighaushersteller* derzeit BSH aus Nadelholz ein attraktives Bauprodukt dar (vgl. Tabelle 4.24 - Tabelle 4.29, S.48 ff.). Das im Vergleich zu den anderen Bauprodukten größere Substitutionspotenzial von Brettschichtholz aus Buche für derzeit auf dem Markt verfügbare BSH-Produkte aus Nadelholz zeigt sich somit auch in Abbildung 4.12.

Neben BSH aus Nadelholz ist Buchen-BSH nach Meinung der Zimmerei- und Fertighausbetriebe auch als Alternative zu Furnierschichtholz zu sehen. Bei einem Vergleich mit den Angaben in Tabelle 4.24 bis Tabelle 4.29 überrascht dieses Ergebnis insofern, als die Anwender für diese Produkte weniger Überschneidungen in den Anwendungsgebieten sehen.

Furnierschichtholz wurde von den Zimmerern und Fertighausherstellern eher für die nicht sichtbaren Verwendungen bevorzugt.

Als Ersatz für Nichte-Holz-Bauprodukte räumen die befragten Zimmerer und Fertighaushersteller BSH aus Buche eher geringe Chancen ein. Metallbauteile und Brettschichtholz erfreuen sich bei den Anwendern in den Bereichen Sonderkonstruktionen sowie Zweck- und Industriebauten ähnlicher Beliebtheit. Da Buchen-BSH für Zweck- und Industriebauten nach Meinung dieser Befragten jedoch weniger geeignet erscheint, dürfte dieser Werkstoff lediglich im Bereich Sonderkonstruktionen ein gewisses Verdrängungspotenzial gegenüber Metallbauteilen aufweisen. Ähnliches gilt für Beton als Bauwerkstoff in Sonderkonstruktionen. Da Vollholz und zu einem gewissen Anteil auch KVH von den Anwendern eher für die nicht sichtbaren Verwendungsgebiete bevorzugt werden, zeigt auch die Wertung in Abbildung 4.12 wenig Substitutionspotenzial. Ähnliches gilt für die Trägersysteme, die von den befragten Betrieben als Spezialwerkstoff für nicht sichtbare Verwendungszwecke angesehen werden.

Nach Ansicht der befragten *Planer* ist das neue Holzbauprodukt ebenfalls hauptsächlich als Ersatz für BSH aus Nadelholz zu sehen. Nichte-Holz-Bauprodukte ließen sich durch Buchen-Brettschichtholz dagegen kaum ersetzen. Dies überrascht insofern, als die Befragten BSH aus Buche besonders in den Bereichen Sonderkonstruktionen sowie Fassaden- und Wintergartenbau als echte Alternative zu Metall- und Betonkonstruktionen angegeben hatte (vgl. Tabelle 4.28 und Tabelle 4.30, S. 52 ff.)

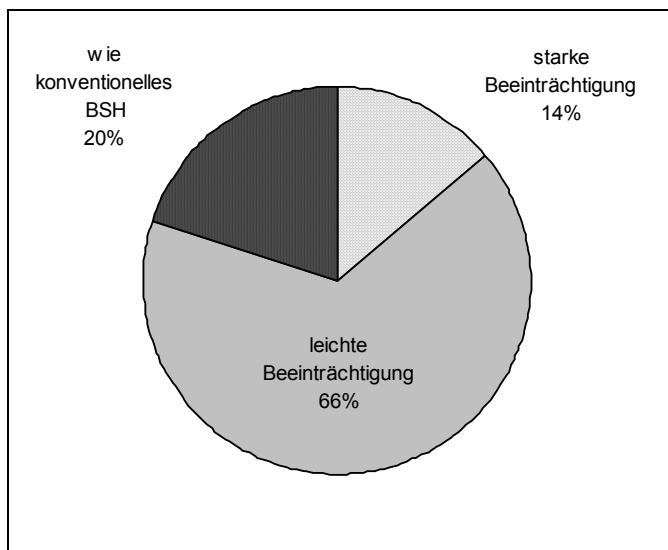


Abbildung 4.13: Beeinflusst das höhere Eigengewicht die Weiterverarbeitung ?

Das aus der höheren Rohdichte der Buchenlamellen resultierende höhere Eigengewicht von Bauteilen aus Buchen-Brettschichtholz beeinflusst die Verarbeitbarkeit dieser Produkte nach Ansicht der befragten Zimmereibetriebe und Fertighaushersteller wenig. Dieser Aspekt dürfte sich kaum auf die Entscheidungen der Befragten zur Verwendung von Buchen-BSH ausgewirkt haben. Lediglich 14% aller befragten Holzbaubetriebe und Fertighaushersteller geht von einer starken Beeinträchtigung bei der Weiterbearbeitung bzw. der Montage aus.

Die bisherigen Befragungsergebnisse haben gezeigt, dass das neue Produkt BSH aus Buchenholz aus Sicht der potenziellen Abnehmer aus Holzbau und Fertighausbau sowie Entscheidungsträgern aus dem Bereich der Statik und Planung ein Produkt für Bauwerke darstellen sollte, bei deren Konzeption besonderer Wert auf die optische Wirkung der Bauteile gelegt wird. Genau hier liegen nach Meinung der Befragten die Stärken des neuen Werkstoffs.

Wie bereits im Rahmen der Herstellerbefragung genauer erläutert wurde, ist damit zu rechnen, dass das neue Produkt Brettschichtholz aus Buchenholz teurer in der Herstellung sein wird als konventionelles BSH⁶. Um abschätzen zu können, wie groß die Bereitschaft der Bauherren ist, für besondere optische Wirkung einer Konstruktion auch den entsprechenden Aufpreis zu bezahlen, wurden sowohl Zimmerer und Fertighaushersteller als auch Statiker und Architekten um eine Einschätzung realistischer Aufpreisspannen gebeten. Dabei erfolgte eine Trennung in die beiden Anwendungsgebiete Wohnbau und Repräsentativbau, im Fall der Planer zusätzlich in sichtbaren und nicht sichtbaren Bereich.

Tabelle 4.31 zeigt die durchschnittlichen Aufpreise, wie sie von den Befragtengruppen für die aufgeführten Segmente genannt wurden. Die Aufpreisspannen der einzelnen Befragungsgruppen nach Prozentklassen sind in Tabelle 4.32 bis Tabelle 4.37 ausgewiesen.

Tabelle 4.31: Aufpreis für besondere Optik

	Aufpreis		Betrag	
	ja	nein	Ø 1	Ø 2
Zimmerer u. Fertighaushersteller				
Wohnbau	61%	39%	8%	14%
Repräsentativbau	84%	16%	14%	17%
Architekten + Statiker				
sichtbar Wohnbau	51%	49%	7%	14%
Repräsentativbau	85%	15%	15%	17%
nicht sichtbar Wohnbau	10%	90%	2%	16%
Repräsentativbau	20%	80%	3%	15%

*Aufpreis 1 zeigt den durchschnittlichen Aufpreis über **alle** Nennungen, d.h. "kein Aufpreis" wurde in die Berechnung des Durchschnittswertes als 0% Aufpreis mit einbezogen.

*Aufpreis 2 zeigt den Aufpreis als Durchschnitt über alle von Null verschiedenen Angaben, d.h. die Wertung "kein Aufpreis" wurde hier nicht berücksichtigt.

Frage: Wie viel wäre dem Bauherrn die von Ihnen gewählte Alternative für eine Konstruktion mit sichtbaren Tragwerken preislich wert (Aufpreis für besondere Optik)?

Die Vorstellung der befragten *Zimmerer und Fertighaushersteller* über die Höhe eines realisierbaren Aufpreises schwankt für beide Anwendungsgebiete zwischen 0 und 80%. Im Bereich Wohnbau waren 61% der Anwender der Meinung, dass die Bauherren bereit wären, für

⁶ Aufgrund der Tatsache, dass im Rahmen der Entwicklung des neuen Produkts besonderer Wert auf die Verwendung von rotkernigem Buchenholz gelegt werden sollte, ist damit zu rechnen, dass die Herstellung von Brettschichtholz aus Buchenholz gegenüber der Fertigung konventionellen Brettschichtholzes um einen zusätzlichen Arbeitsgang erweitert werden muss, um eine homogene Oberfläche der Träger zu gewährleisten. Auch ist die Herstellung und Verarbeitung der eingesetzten Buchenlamellen teurer als die vergleichbarer Fichtenlamellen (kompliziertere Trocknung, Standzeiten der Bearbeitungsaggregate).

die besondere Optik des neuen Werkstoffes zu bezahlen. Im Segment Repräsentativbau wären 84% der Auftraggeber zu einer Aufpreiszahlung bereit. Im Durchschnitt *aller Nennungen* würde dieser Aufpreis für Wohnbauten bei 8%, für Repräsentativbauten bei 14% liegen. Der mittlere Aufpreis über alle von Null verschiedenen Angaben beträgt im Wohnbau 14%, im Bereich Repräsentativbau 17%.

Im Zuge der Befragung von Architekten und Statikern nach möglichen Aufpreisen für das neue Produkt BSH aus Buche erfolgte neben der Trennung in die Bereiche Wohnbau und Repräsentativbau noch eine Untergliederung in Sichtbereich und verdeckte Konstruktionen. Dabei zeigt sich zunächst, dass im nicht sichtbaren Bereich nach Ansicht der befragten Planer ein Aufpreis des neuen Produktes gegenüber herkömmlichem BSH kaum realisierbar wäre. Nur 10% der Befragten waren der Meinung, dass nicht sichtbare Konstruktionen aus Buchen-Brettschichtholz in Wohnbauten einen Aufpreis gegenüber herkömmlichen Konstruktionen rechtfertigen würden. In Repräsentativbauten liegt dieser Prozentsatz bei 20%. Die errechneten Aufpreise über alle Wertungen liegen hier lediglich bei 2 bzw. 3%.

Im sichtbaren Bereich dagegen ließen sich nach Ansicht der Planer Aufpreise von durchschnittlich 7% in Wohnbauten sowie 15% in Repräsentativbauten realisieren. Berücksichtigt man nur die positiven (von Null verschiedenen) Aufpreise, so ergeben sich Durchschnittswerte von 14 bzw. 17%. Die Steigerung im Bereich Wohnbau gegenüber Durchschnittspreis 1 resultiert daher, dass nur gut die Hälfte der Befragten einen Aufpreis für angemessen hielt, der Anteil der 0%- Fraktion bei der Berechnung von Wert 1 also dementsprechend hoch lag.

Obwohl Zimmerer und Fertighaushersteller einerseits und Architekten und Statiker andererseits getrennt befragt wurden, passen die Vorstellungen über realisierbare Aufpreise im Sichtbereich erstaunlich gut zusammen.

Tabelle 4.32: Aufpreisspanne in Wohnbauten, Zimmerer und Fertighaushersteller

	Nennungen		Aufpreis 1* Durchschnitt	Aufpreis 2* Durchschnitt	Spanne
kein Aufpreis	39%				
Aufpreis	61%		8%	14%	78%
unter 5 Prozent	13%	21%	5%	5%	3%
5 bis 10 Prozent	26%	43%	10%	10%	3%
10 bis 15 Prozent	7%	12%	15%	15%	0%
15 bis 20 Prozent	9%	15%	20%	20%	0%
20 bis 30 Prozent	3%	5%	28%	28%	5%
über 30 Prozent	2%	4%	57%	57%	40%
gesamt	61%	100%			

* Aufpreis 1 zeigt den durchschnittlichen Aufpreis über **alle** Nennungen, d.h. „kein Aufpreis“ wurde in die Berechnung des Durchschnittswertes als 0% Aufpreis mit einbezogen.

* Aufpreis 2 zeigt den Aufpreis als Durchschnitt über alle von Null verschiedenen Angaben, d.h. die Wertung „kein Aufpreis“ wurde hier nicht in die Berechnung aufgenommen.

Tabelle 4.33: Aufpreisspanne in Repräsentativbauten, Zimmerer und Fertighaushersteller

	Nennungen		Aufpreis 1* Durchschnitt	Aufpreis 2* Durchschnitt	Spanne
kein Aufpreis	16%				
Aufpreis	84%		17%	14%	76%
unter 5 Prozent	13%	16%	5%	5%	1%
5 bis 10 Prozent	29%	35%	10%	10%	2%
10 bis 15 Prozent	12%	14%	15%	15%	0%
15 bis 20 Prozent	16%	19%	20%	20%	0%
20 bis 30 Prozent	5%	6%	28%	28%	5%
über 30 Prozent	8%	10%	57%	57%	45%
gesamt	84%	100%			

Tabelle 4.34: Aufpreis in Wohnbauten, Sichtbereich, Planer

	Nennungen		Aufpreis 1* Durchschnitt	Aufpreis 2* Durchschnitt	Aufpreis Spanne
kein Aufpreis	49%				
Aufpreis	51%		7%	14%	90%
unter 5 Prozent	8%	16%	5%	5%	4%
5 bis 10 Prozent	28%	55%	10%	10%	4%
10 bis 15 Prozent	5%	10%	15%	15%	0%
15 bis 20 Prozent	5%	10%	20%	20%	0%
20 bis 30 Prozent	2%	4%	28%	28%	5%
über 30 Prozent	2%	4%	61%	61%	45%
gesamt	51%	100%			

* Aufpreis 1 zeigt den durchschnittlichen Aufpreis über **alle** Nennungen, d.h. „kein Aufpreis“ wurde in die Berechnung des Durchschnittswertes als 0% Aufpreis mit einbezogen.

* Aufpreis 2 zeigt den Aufpreis als Durchschnitt über alle von Null verschiedenen Angaben, d.h. die Wertung „kein Aufpreis“ wurde hier nicht mit in die Berechnung aufgenommen.

Tabelle 4.35: Aufpreis in Repräsentativbauten, Sichtbereich, Planer

	Nennungen		Aufpreis 1* Durchschnitt	Aufpreis 2* Durchschnitt	Aufpreis Spanne
kein Aufpreis	15%				
Aufpreis	85%		15%	17%	100%
unter 5 Prozent	9%	11%	4%	4%	4%
5 bis 10 Prozent	31%	36%	10%	10%	3%
10 bis 15 Prozent	12%	15%	15%	15%	3%
15 bis 20 Prozent	17%	20%	20%	20%	0%
20 bis 30 Prozent	10%	12%	28%	28%	5%
über 30 Prozent	6%	7%	52%	52%	67%
gesamt	85%	100%			

Tabelle 4.36: Aufpreis in Wohnbauten, verdeckte Konstruktion, Planer

	Nennungen		Aufpreis 1* Durchschnitt	Aufpreis 2* Durchschnitt	Aufpreis Spanne
kein Aufpreis	90%				
Aufpreis	10%		2%	16%	100%
unter 5 Prozent	3%	33%	4%	4%	4%
5 bis 10 Prozent	5%	48%	10%	10%	0%
10 bis 15 Prozent	0%	5%	15%	15%	0%
15 bis 20 Prozent	1%	8%	20%	20%	0%
20 bis 30 Prozent	0%	0%	0%	0%	0%
über 30 Prozent	1%	8%	97%	97%	10%
gesamt	10%	100%			

* Aufpreis 1 zeigt den durchschnittlichen Aufpreis über **alle** Nennungen, d.h. „kein Aufpreis“ wurde in die Berechnung des Durchschnittswertes als 0% Aufpreis mit einbezogen.

* Aufpreis 2 zeigt den Aufpreis als Durchschnitt über alle von Null verschiedenen Angaben, d.h. die Wertung „kein Aufpreis“ wurde hier nicht mit in die Berechnung aufgenommen.

Tabelle 4.37: Aufpreis in Repräsentativbauten, verdeckte Konstruktion, Planer

	Nennungen		Aufpreis 1* Durchschnitt	Aufpreis 2* Durchschnitt	Aufpreis Spanne
kein Aufpreis	80%				
Aufpreis	20%		3%	15%	100%
unter 5 Prozent	5%	25%	5%	5%	4%
5 bis 10 Prozent	9%	43%	10%	10%	2%
10 bis 15 Prozent	2%	9%	15%	15%	0%
15 bis 20 Prozent	2%	11%	20%	20%	0%
20 bis 30 Prozent	1%	7%	28%	28%	5%
über 30 Prozent	1%	5%	80%	80%	50%
gesamt	20%	100%			

* Aufpreis 1 zeigt den durchschnittlichen Aufpreis über **alle** Nennungen, d.h. „kein Aufpreis“ wurde in die Berechnung des Durchschnittswertes als 0% Aufpreis mit einbezogen.

* Aufpreis 2 zeigt den Aufpreis als Durchschnitt über alle von Null verschiedenen Angaben, d.h. die Wertung „kein Aufpreis“ wurde hier nicht in die Berechnung aufgenommen.

4.3 Zusammenfassung - Absatzpotential

4.3.1 Ergebnisse der Herstellerbefragung

Die Befragung der Hersteller zur Brettschichtholzproduktion des Jahres 2001 hat gezeigt, dass die in der Literatur verfügbaren Schätzwerte über die Produktion der inländischen Hersteller nach oben korrigiert werden müssen.

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes belief sich die *Produktion* an Holzleimbauteilen im Jahr 2000 auf **479.235 m³**⁷ [STATISTISCHES BUNDESAMT, 2001]. Die Produktion an Holzleimbauteilen bis einschließlich September 2001 betrug laut Statistischem Bundesamt **351.879 m³** [STATISTISCHES BUNDESAMT, 2002]. Eine Hochrechnung des Vierteljahres-Durchschnitts für das fehlende Quartal ergäbe somit eine Gesamtproduktion des Jahres 2001 von ca. **470.000 m³**. Angaben zur Herstellung von Leimbauteilen in den jährlichen Veröffentlichungen der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle ZMP sind aus den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes übernommen und somit deckungsgleich [ZMP, 2001].

Für den Produktionszeitraum 1999 finden sich neben den durch Statistisches Bundesamt und ZMP erfassten Kennzahlen zur *Produktion* von Leimbauteilen (diese wurde jeweils mit **395.130 m³** angegeben) noch Ergebnisse einer Marktbefragung zum *Volumen* des Brettschichtholzmarktes [ANONYMUS, 2000]. An der von der Unternehmensberatung LIGNACON durchgeführten Marktbefragung beteiligten sich 64 von 150 befragten Unternehmen aus In-

⁷ Stat. Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 3.1, 2000. Melde-Nr. 2030 13 010.

dustrie, Handel, Zimmereien sowie Architekten und Verbände. LIGNACON schätzt das *Marktvolumen* für Brettschichtholz für das Jahr 1999 auf **629.000 m³** [ANONYMUS, 2000]. In einer Prognose zur Entwicklung des Marktvolumens bis zum Jahr 2002 schätzen die befragten Unternehmen das *Marktvolumen* für 2002 auf knapp **730.000 m³** [ANONYMUS, 2000].

Aussagen zum *Volumen* des deutschen Brettschichtholzmarktes trifft auch der Europäische Wirtschaftsdienst EUWID. Nach Schätzungen des EUWID (2002) belief sich das Marktvolumen für Brettschichtholz 1999 auf **700.000 – 800.000 m³** [EUWID, 2002].

Die durch die Herstellerbefragung ermittelte BSH-Produktion des Jahres 2001 unterstützt die Schätzungen der LIGNACON-Studie sowie des EUWID. Da der Außenhandel mit Holzleimbauanteilen vom Statistischen Bundesamt nicht erfasst wird, kann aufgrund fehlender Angaben zum Import das Marktvolumen für 2001 aus den gewonnenen Umfrageergebnissen nicht genau bestimmt werden. Hinweise zum Volumen der Außenhandelsströme mit Brettschichtholz liefert LEFFERS (1999) für das Jahr 1998 mit ca. **100.000 m³** für den Import und ca. **20.000 m³** für den Export [LEFFERS, 1999]. Allerdings beruhen auch diese Informationen nach LEFFERS auf *Schätzungen* der Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.

Die Befragung der BSH-Hersteller hat gezeigt, dass das Volumen des Exports die Schätzungen nach LEFFERS (1999) übersteigt. Hierfür sprechen auch verschiedene Veröffentlichungen zur Entwicklung der Exportmärkte für Brettschichtholz. Als vielversprechend wurden insbesondere die Absatzchancen auf dem italienischen Brettschichtholzmarkt eingestuft. Im Gegensatz zum deutschen Markt, in dem Holz vorrangig als preisgünstiger Baustoff platziert wurde, gelten sichtbare Holzelemente im Bau in Italien als Prestigeerwerb und können auch entsprechende Preise erzielen. Das Absatzvolumen für BSH in Italien wurde für 2001 auf ca. 300.000 m³ geschätzt. Gedeckt wird dieser Bedarf zu 40% aus inländischer Produktion und zu 60% aus Importen. Hauptlieferant ist Österreich. Insbesondere im ersten Quartal des Jahres 2001 verstärkten deutsche Hersteller ihre Exportbemühungen nach Italien. Größere Mengenverschiebungen nach Italien wurden für die Monate November 2000 bis März 2001 gemeldet [ANONYMUS, 2001 B].

Dem Exportmarkt Japan wurde zu Beginn des Jahres 2001 eine wachsende Bedeutung als möglicher Kompensationsmarkt zugesprochen. Allerdings zeigten sich auf dem japanischen Brettschichtholzmarkt im Januar geringere Mengenumsätze als in den Vormonaten. Die auch in Japan rückläufige Baukonjunktur konnte ebenfalls als Indikator für eine verhaltenere Einschätzung der Exportchancen nach Japan angeführt werden. Im Jahr 2000 wurden in Japan gut **440.000 m³** Leimholz für konstruktive Zwecke importiert. 75 % (entsprechend 333.000 m³) dieser Importe entfielen auf europäische Lieferanten einschließlich Russland. Österreich war Hauptlieferant, Deutschland mit **66.800 m³** an zweiter Stelle [ANONYMUS, 2001 C]. Die noch zu Beginn des Jahres 2001 in den Exportmarkt Japan gesetzten Hoffnungen zur Rolle als möglicher Kompensationsmarkt erfüllten sich im Verlauf des Jahres jedoch nicht. Gründe hierfür waren die bereits angeführte schwache Baukonjunktur sowie vor allem auch Bestrebungen von japanischer Seite innerhalb der World Trade Organization, Schutzmaßnahmen u.a. auch für den japanischen Holzmarkt einzuleiten. Als Folge versuchten japanische Leimholzkäufer, verstärkt auf inländische Produktionen auszuweichen. Ab August 2001 machten sich zudem gesunkene Importpreise für Rohwaren bemerkbar, die die Wettbewerbsfähigkeit der japanischen Hersteller gegenüber den europäischen verbesserten.

Basierend auf den Ergebnissen der Primärdatenerhebung sowie der Literaturrecherche lässt sich zum Marktvolumen für Brettschichtholz folgendes festhalten:

Die deutschen Hersteller produzierten im Jahr 2001 knapp **694.000 m³** Brettschichtholz. Nachweislich exportiert wurden hiervon knapp **90.000 m³**. Für den Absatz auf dem Inlandsmarkt verblieben demnach gut **600.000 m³** BSH aus inländischer Produktion. Legt man die, wohlgerneht auf Schätzungen basierenden, Importmengen nach LEFFERS (1999) zugrunde, so dürfte die Inlandsverfügbarkeit nochmals um ca. **100.000 m³** aus Importen erhöht worden

sein. Das Marktvolumen des deutschen BSH- Marktes belief sich demnach im Jahr 2001 auf ca. **700.000 m³**.

Die Einschätzung der Absatzentwicklung für Brettschichtholz durch die Hersteller hat gezeigt, dass sich der Inlandsmarkt nach Ansicht der Befragten weniger positiv entwickeln wird als der Export. Die Mehrheit der Hersteller geht davon aus, dass der Absatz von Standardware im Inland stagnieren bzw. abnehmen wird. Der Trend zur stärkeren Kommissionierung der Ware wird nach Meinung der Produzenten anhalten, da dieser bessere Chancen im Inlandsmarkt eingeräumt werden. Die schlechtere Bewertung der Absatzchancen im Inlandsmarkt ist sicherlich im Zusammenhang mit der insgesamt schleppenden Entwicklung des Baumarktes zu sehen. Auch dürfte der Aufbau weiterer Produktionskapazitäten im Verlauf des Jahres 2001 die Entscheidung der Produzenten beeinflusst haben. Durch die Inbetriebnahme der neuen Kapazitäten wird das Angebot im Inland steigen. Bereits seit Ende des Jahres 2001 wird in der Fachpresse gemeldet, dass vielfach davon ausgegangen wird, dass der einheimische Markt gesättigt ist und dass Überkapazitäten aufgebaut wurden.

Im Vergleich zum Inlandsabsatz wurde die Entwicklung des Exports für die folgenden drei Jahre durchweg positiver bewertet. Auch hier wird nach Ansicht der Hersteller kommissionierte Ware bevorzugt werden.

Die Bewertung der Marktanteile unterschiedlicher Holzbauprodukte hat gezeigt, dass KVH nach Meinung der Produzenten konventionelles Schnittholz weiterhin aus bestimmten Anwendungsbereichen verdrängen wird. Nach MANTAU ET AL. (2001) sind Bauherren derzeit bereit, für die höhere Qualität von KVH gegenüber konventionellem Schnittholz einen um etwa 14% höheren Preis zu bezahlen [MANTAU ET AL., 2001]. KVH ist auf jeden Fall als wichtigster „Konkurrent“ für BSH aus Buche zu sehen, wenn eine Anwendung in kleineren Querschnitten im Ständerwerk des Holzrahmenbaus angedacht ist. In beiden Fällen wird durch Sortierkriterien nur ein bestimmter Anteil die Tragfähigkeit schwächender Holzfehler zugelassen. Die Anwendung kann im sichtbaren und nicht sichtbaren Bereich liegen. Auch bei KVH wird zwischen den Qualitäten Si und NSi unterschieden. KRUSE/VENNSCHOTT (2001) konnten zeigen, dass KVH derzeit ein günstigeres Preis-Leistungsverhältnis als BS11 aus Nadelholz bietet. Das Preis-Leistungsverhältnis wurde dabei als durchschnittlicher Verkaufspreis in DM bezogen auf die durchschnittlichen Rechenwerte der Elastizitäts- und Schubmoduln gebildet.

Trägersysteme bieten ebenfalls die Möglichkeit der Verwendung als Ständer in Holzrahmenbauwänden. Ihr Haupteinsatzgebiet ist derzeit jedoch in der Verwendung als Deckenträger und Sparren zu sehen, es ergeben sich also durchaus Überschneidungen mit einem geplanten Einsatzzweck für BSH aus Buche. Ein Vorteil dieser Produkte liegt in ihrem geringen Eigengewicht. Trägersysteme lassen sich einfacher und schneller verarbeiten als KVH oder auch BSH. Die schnelle und einfache Verarbeitung der Doppel-T-Träger wirkt sich günstig auf die Lohnkosten aus. Ein weiterer Pluspunkt dieser Produkte ist ihre hohe Dimensionsstabilität. Im Preis-Leistungs-Vergleich zeigt sich jedoch, dass Trägersysteme derzeit bei vergleichbarer Tragfähigkeit noch um 2-3 DM je laufendem Meter teurer sind als beispielsweise KVH. Berücksichtigt man zur Beurteilung des Preis-Leistungsverhältnisses zusätzlich die aus dem niedrigen Eigengewicht resultierende leichtere Montage, so wird der Einsatz dieser Produkte zunehmend interessanter [vgl. KRUSE/VENNSCHOTT, 2001]. Im Hinblick auf BSH bleibt zu erwähnen, dass die Produktionskosten im Vergleich mit KVH ebenfalls höher liegen, besonders die der neuen Variante aus Buchenholz. Einen weiteren Nachteil dürfte das vergleichsweise höhere Eigengewicht darstellen. Vorteile sind dagegen in der sehr guten Verfügbarkeit zu sehen.

Beim Vergleich der einzelnen Wertungen zur Entwicklung der Marktanteile verschiedener Holzbaumaterialien sollte abschließend berücksichtigt werden, dass BSH in Deutschland mit Abstand den bedeutendsten Ingenieurwerkstoff aus Holz darstellt. Nach SCHULER ET AL. (2001) weist Deutschland den höchsten pro-Kopf-Verbrauch der Welt an BSH auf. Neue Holzwerkstoffe, die sog. Engineered Wood Products konnten in letzter Zeit Marktanteile gewinnen, jedoch auf mengenmäßig vergleichsweise geringer Basis. Hauptursachen der bisher

geringeren Bedeutung dieser Werkstoffe sind nach KRUSE/VENSCHOTT (2001) in den vergleichsweise hohen Herstellkosten sowie der schlechteren Verfügbarkeit zu sehen.

Zur Bewertung der Marktchancen von Brettschichtholz aus Buchenholz durch die Herstellerbetriebe ist zu erwähnen, dass bei Betrachtung der Ergebnisse der Standpunkt der Produzenten berücksichtigt werden muss. Jedem Hersteller ist klar, dass aufgrund der aufwendigeren Verarbeitung von Laubholz zu BSH-Lamellen diese bereits im Einkauf einen höheren Preis erzielen werden. Die Verarbeitung von schwachem Laubholz im Sägewerk ist aufwendig, die Ausbeute im allgemeinen geringer als bei Nadelholz. Hinzu kommt, dass die Trocknung von Buchenschnittholz schwieriger und damit kostenintensiver ist als die von Nadelholz. Die Hersteller gehen also zunächst davon aus, dass bereits die Rohlamellen teurer im Einkauf sind. Diese Ansicht zeigt sich nicht zuletzt in der Bewertung der einzelnen Holzarten für Rohlamellen in Kapitel 4.1.3.3. Weiterhin dürfte der Großteil der Produzenten keine oder nur geringe Erfahrung in der Verleimung von Laubholz haben. Auch hier reagieren die Hersteller vorsichtig. Die Zinkenfräs- und Hobelaggregate der befragten Betriebe sind für die Verarbeitung von Nadelholz ausgelegt. Auch wenn die Bearbeitung von Laubholz prinzipiell möglich ist, dürften doch geringere Standzeiten der Aggregate und Veränderungen weiterer Prozessparameter⁸ zu erwarten sein. Kurz gesagt, die Hersteller erwarten einen deutlich höheren Preis des Endprodukts gegenüber BSH aus Nadelholz. Zum Zeitpunkt der Befragung haben die Brettschichtholzproduzenten gerade eine Preiserhöhung ihrer Produkte am Markt durchgesetzt, nachdem die Preise in den Vormonaten teilweise die Grenze der Produktionskosten unterschritten hatten. Grund hierfür war ein Angebotsüberhang auf dem deutschen BSH-Markt [vgl. hierzu ANONYMUS, 2002 D bzw. E]. Diese Situation dürfte die Entscheidungen der Hersteller im Rahmen der erfolgten Marktuntersuchung ebenfalls beeinflusst haben.

Die eher skeptische Haltung gegenüber neuen Produkten oder Produktinnovationen, die noch nicht am Markt verfügbar sind, war in dieser Form schon fast zu erwarten. Um dennoch Ansatzpunkte für die weitere Produktentwicklung liefern zu können, wurde versucht, diejenigen Betriebe herauszuarbeiten, die Entwicklungschancen für den neuen Werkstoff sehen.

Eine Kreuzauswertung hatte zum Ziel, die Wertungen der Herstellbetriebe mit einer jährlichen Gesamtproduktion bis 10.000 m³ mit den größeren Betrieben ab 10.000 m³ Jahresproduktion zu vergleichen. Aus Abbildung 4.14 geht hervor, dass sich die Wertungen beider Gruppen nur geringfügig unterscheiden. Kleinere Betriebsgröße und die Möglichkeit zur flexibleren Einzelfertigung bedeuten in diesem Fall also nicht unbedingt, dass die Aufgeschlossenheit gegenüber der neuen BSH-Variante größer ist.

⁸ Bei der Herstellung von keilgezinktem Eichenbauholz im Modellversuch hat sich beispielsweise gezeigt, dass die Anpressdrücke der Hobelmaschinen in der Endbearbeitung gegenüber der Verarbeitung von Nadelholz erhöht werden mussten, um gleiche Oberflächenqualität zu erhalten (siehe hierzu EHLEBRACHT, 2002).

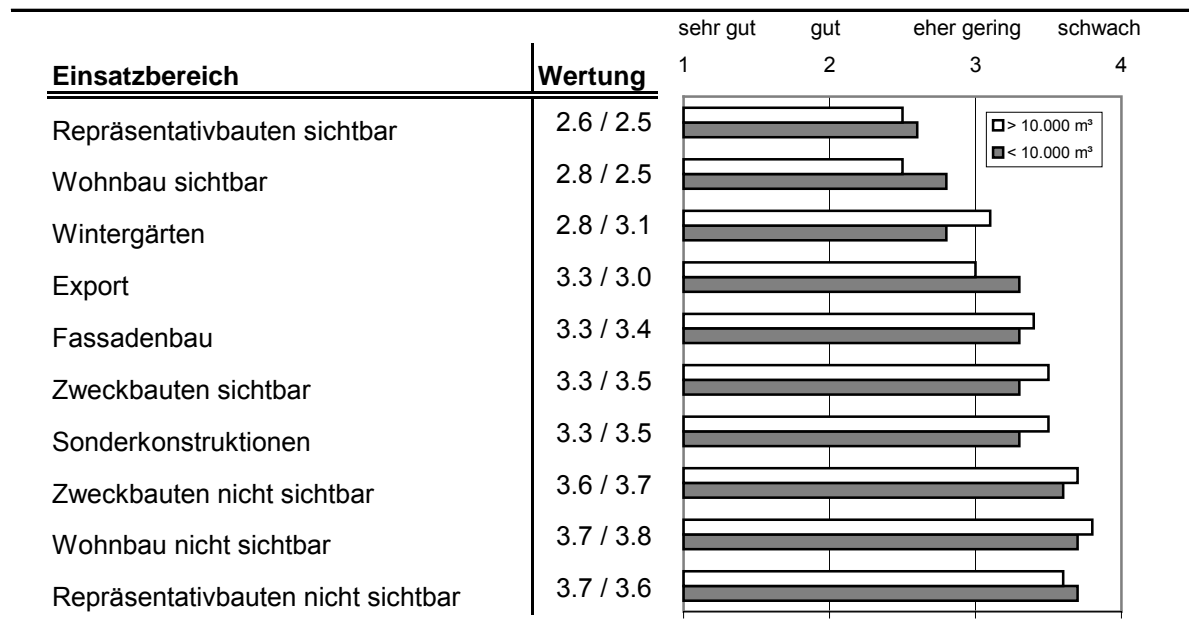


Abbildung 4.14: Ergebnisse der Kreuzauswertung Fragen 1 und 13

Die Auswertung der Herstellerbefragung zu den Marktchancen für BSH aus Buchenholz hat besonders zwei Anwendungsgebiete für BSH aus Buche in die nähere Auswahl kommen lassen. Nach Ansicht der Hersteller ist der Einsatz im Wohnbau sowie in Repräsentativbauten, in beiden Fällen im sichtbaren Bereich, am ehesten vorstellbar. Um für die weitere Entwicklung des Produkts „Brettschichtholz aus Buchenholz“ die Empfehlung der befragten Hersteller näher zu spezifizieren, wurden in einer weiteren Kreuzauswertung die Wertungen derjenigen Betriebe gesondert betrachtet, die zuvor den Einsatz von Laubholz zur BSH-Herstellung positiv bewertet haben.

Abbildung 4.15 zeigt zum Vergleich auch die Bewertung aller Hersteller. Die Reihenfolge der Anwendungsgebiete ist gleich geblieben. Die Bewertung zeigt aber, dass neben den bereits erwähnten aussichtsreichen Gebieten „Repräsentativbau, sichtbar“ und „Wohnbau, sichtbar“ auch der Einsatz in Wintergärten sowie der Export favorisiert werden.

Die Herstellbetriebe, die den Einsatz von Laubholz in der BSH-Herstellung als mögliche Alternative in Betracht gezogen haben, bewerteten auch die Einsatzmöglichkeiten des neuen Produktes erwartungsgemäß positiver. Dabei ist auch erkennbar, dass sie die Einsatzmöglichkeiten stärker differenzieren, insbesondere die Chancen deutlicher identifizieren. Innovationen werden meist von wenigen getragen. Die Befragung zeigt, dass auch aus Sicht der Hersteller Innovationspotenzial vorhanden ist.

4.3.2 Ergebnisse der Befragung bei Architekten sowie Holzbaubetrieben

Die Bewertung der Eigenschaften von Holzbauprodukten durch die Anwender hat gezeigt, dass BSH im Vergleich mit den Werkstoffen Vollholz, KVH, Trägersystemen sowie Furnierschichtholz sehr gut positioniert ist. Besonders die ansprechende Optik spricht nach Ansicht der Zimmerer und Fertighaushersteller für eine Verwendung von BSH. Gegenüber Furnierschichtholz, das in der Bewertung der Einzeleigenschaften ebenfalls sehr gut abgeschnitten hat, lässt sich für BSH neben der bereits angesprochenen optischen Vorteile vor allem das derzeit bessere Preis-Leistungsverhältnis anführen (vgl. KRUSE/VENSCHOTT, 2001).

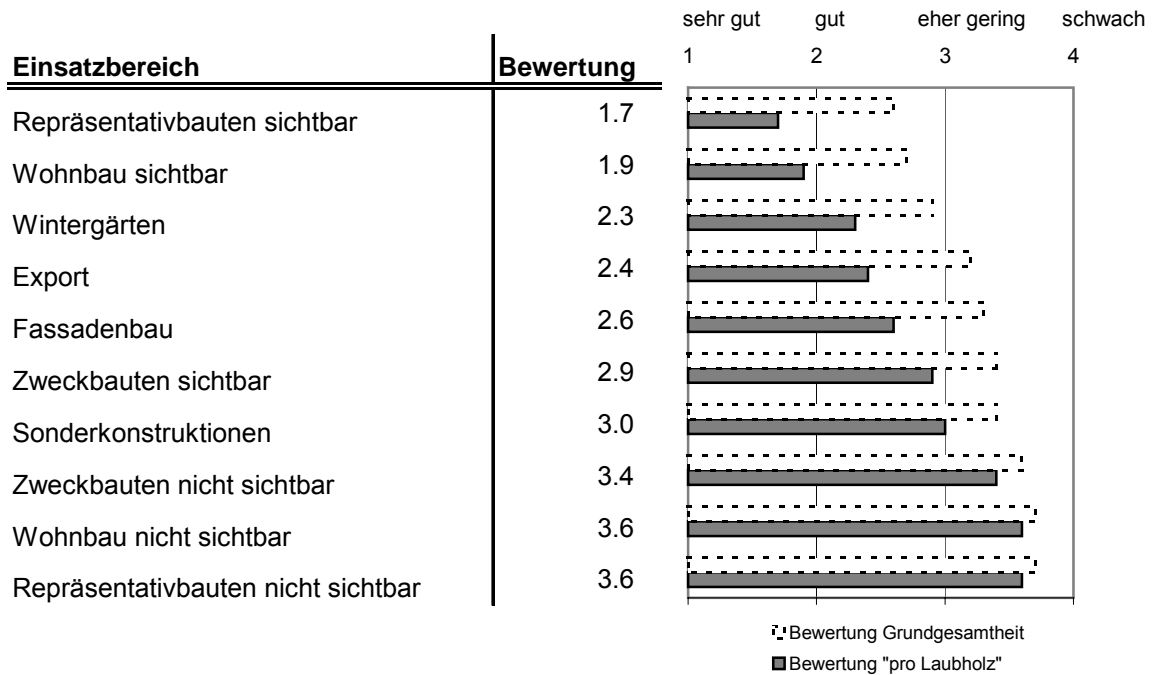


Abbildung 4.15: Ergebnisse der Kreuzauswertung Fragen 11 und 13

Auch für Architekten und Statiker stellt BSH im Bereich der Holzbauprodukte eine beliebte Alternative dar. Die Befragung hat gezeigt, dass neben der optischen Erscheinung auch die elastomechanischen Eigenschaften dieses Werkstoffs die Zielgruppe ansprechen. Es wurde jedoch ebenso offensichtlich, dass die Kenntnis über die Eigenschaften besonders der aufgeführten Vertreter aus der Gruppe der Engineered Wood Products deutlich geringer ist als bei den befragten Zimmereibetrieben und Fertighausherstellern. Dass die Befragten Brettschichtholz im Gegensatz zu FSH oder Trägersystemen bereits häufiger in ihren Entwürfen berücksichtigt haben und daher die spezifischen Materialeigenschaften besser kennen, dürfte das Ergebnis der Befragung für BSH positiv beeinflusst haben.

Brettschichtholz aus Buchenholz ist nach Ansicht der beiden Befragtengruppen vor allem für den Einsatz im sichtbaren Bereich ausgelegt. Als potenzielle Anwendungsgebiete wurden neben Repräsentativ- und Wohnbauten auch Sonderkonstruktionen sowie Fassaden- und Wintergartenbau genannt.

Im sichtbaren Bereich der aufgeführten Anwendungsgebiete würden die befragten Zimmerer und Fertighaushersteller neben BSH aus Nadelholz hauptsächlich noch KVH sowie Metallbauteile einsetzen (vgl. hierzu Tabelle 4.24 - Tabelle 4.29, S. 48 ff.). In Repräsentativbauten kämen weiterhin KVH, für Sonderkonstruktionen Betonbauteile in Betracht. Architekten und Statiker bevorzugen in repräsentativen Bauwerken Metallkonstruktionen. BSH aus Buche stellt allerdings für diese Befragtengruppe aus der Reihe der Holzbauprodukte die aussichtsreichste Alternative zum Werkstoff Metall dar. Im Wohnbau dagegen bevorzugen auch die Planer Konstruktionen aus Holz. Buchen-BSH und BSH aus Nadelholz würden dabei alternativ eingesetzt (vgl. Abbildung 4.11, S. 55). Die Befragung der Architekten und Statiker hat gezeigt, dass diese Zielgruppe BSH aus Buche in erster Linie als Ergänzung zum vorhandenen Brettschichtholz aus Nadelholz ansieht, das vor allem in repräsentativen Bauwerken neben Metallkonstruktionen zum Einsatz käme. Dementsprechend hoch bewerteten die Planer

auch das Substitutionspotenzial des neuen Werkstoffs gegenüber Brettschichtholz aus Nadelholz (s. Abbildung 4.12, S. 56).

Tabelle 4.38: Favorisierte Anwendungsgebiete für Buchen-BSH

für Bu-BSH favorisierte Anwendungsbereiche	dort ebenfalls bevorzugte Produkte	
	Zimmerer und Fertighaushersteller	Architekten u. Planer
Repräsentativbauten	BSH (Nadelholz) KVH FSH	Metallbauteile Betonbauteile
Wohnbau, Decke u. Wand	BSH (Nadelholz) KVH	BSH (Nadelholz) KVH Metallbauteile
Sonderkonstruktionen	BSH (Nadelholz) Metallbauteile Betonbauteile	Metallbauteile BSH (Nadelholz) Betonbauteile
Fassaden- und Wintergartenbau	BSH (Nadelholz) Metallbauteile KVH	BSH (Nadelholz) Metallbauteile KVH

Der große Vorteil von Brettschichtholz liegt in der besonderen Optik dieses Werkstoffes. Die Befragungsergebnisse haben gezeigt, dass die bevorzugte Verwendung von Brettschichtholz hauptsächlich aus ästhetischen Gründen erfolgt. Die gestalterische Freiheit beim Entwurf der Bauteilformen dürfte ebenfalls eine bedeutende Rolle spielen. Um gegenüber anderen Holzbauprodukten sowie Nadelholz-Bauprodukten den Vorzug zu erhalten, müsste das neue Produkt Brettschichtholz aus Buche gerade die optische Stärke ausspielen.

Auch bei Verwendung rotkernigen Buchenholzes ist es möglich, durch eine zusätzliche Breitenverleimung der Rohlamellen, wobei die rotkernigen Lamellen in der Plattenmitte liegen, ein optisch homogenes und ansprechendes Produkt zu erzeugen. Da dieser zusätzliche Arbeitsgang und der höhere Sortieraufwand die Herstellung verteuern dürften, war zunächst die Frage, ob die Kunden der befragten Holzbaubetriebe und Fertighaushersteller die besondere Optik auch bezahlen würden. Es konnte gezeigt werden, dass im Wohnbaubereich 61%, im Bereich Repräsentativbau sogar 84% der Befragten einen Aufpreis für realisierbar halten.

Nach Meinung des Großteils der befragten Statiker und Architekten ist ein Aufpreis für Buchen-BSH nur im Bereich sichtbarer Konstruktionen realisierbar. Hier würden die Auftraggeber nach Einschätzung der Planer durchschnittlich 14% Aufpreis in Wohnbauten und 17% Aufpreis in Repräsentativbauten akzeptieren.

4.4 Literatur - Absatzpotenzial

- ANONYMUS 2002 A - Holzring gut im Geschäft mit Brettschichtholz. In: Holz- Zentralblatt, Nr. 51/2002. Leinfelden-Echterdingen
- ANONYMUS 2002 B - Rothmund investiert in Leimholzfertigung. In: EUWID Holz, Nr. 12/2002. Gernsbach
- ANONYMUS 2002 C - Inbetriebnahme bei der Nordlam in Magdeburg. In: EUWID Holz, Nr. 17/2002. Gernsbach
- ANONYMUS 2002 D - Brettschichtholzhersteller kündigen Preiserhöhungen von bis zu 10% an. In: EUWID Holz, Nr. 24/2002. Gernsbach
- ANONYMUS 2002 E - Brettschichtholzhersteller haben im Juli Preiserhöhungsrunde gestartet. In: EUWID Holz, Nr. 24/2002. Gernsbach
- ANONYMUS 2002 F – Brettschichtholzpreise sind zuletzt auf historischen Tiefstand gefallen. In: EUWID Holz, Nr. 51-52/2002. Gernsbach
- ANONYMUS 2001 B - Für Brettschichtholzsortimente wird Italien ein interessanter Absatzmarkt. In: EUWID Holz Nr. 12/2001
- ANONYMUS 2001 C - Die Nachfrage nach Brettschichtholz hat sich im Mai wieder etwas belebt. In: EUWID Holz Nr. 21/2001
- ANONYMUS 2000 - Verleimte, tragende Bauhölzer mit hohem Marktpotenzial. In: Holz-Zentralblatt Nr. 18/2000
- EHLEBRACHT, V. 2000 - Ansätze für ein Wertschöpfungskonzept für schwaches Laubholz. Abschlußbericht des Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Internet-Veröffentlichung unter: <http://www.holzabsatzfonds.de>, 2002
- EUWID 2002 - Europäischer Wirtschaftsdienst: Brettschichtholzbranche wird ihre Produktion weiter erhöhen. Veröffentlicht unter www.holzspecial.de
- FILIPPI, M. 2002 - Holzbau in Deutschland: Wo geht es hin? In: Holz-Zentralblatt, Nr. 104/2002
- KRUSE, K.; VENSCHOTT, D. 2001 - Eigenschaften und Einsatzpotentiale neuer Holzwerkstoffe im Bauwesen. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH). Arbeitsbericht des Instituts für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes. Hamburg.
- LEFFERS, T. 1999 - Analyse und Konzeption des Servicemarketing von Brettschichtholz-Herstellern. Diplomarbeit, erstellt am Arbeitsbereich für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, Ordinariat für Weltforstwirtschaft der Universität Hamburg.
- MANTAU ET AL. 2001 - Konstruktionsvollholz. Abschlußbericht, Universität Hamburg, Arbeitsbereich Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft.
- RISTL, M. 1996 - Erstellung einer Sachbilanz von Brettschichtholz als Grundlage für eine Ökobilanzierung. Diplomarbeit am Institut für Holztechnologie der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), Hamburg
- SCHULER ET AL. 2001 - Engineered Lumber Products. In: Journal of Forestry, Nr. 12/2001
- STATISTISCHES BUNDESAMT 2002 - Fachserie 4, Reihe 3.1: Produktion im produzierenden Gewerbe, 1. Vierteljahr bis 3. Vierteljahr 2001; Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT 2001 - Fachserie 4, Reihe 3.1: Produktion im produzierenden Gewerbe 2000; Stuttgart
- ZMP, Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle 2001 -Marktbilanz Forst und Holz 2001; Bonn

5 Technologie der Brettschichtholzerstellung aus Buche

P. Becker, B. Pitzner, J. B. Ressel, R. Wonnemann

5.1 Kennzeichnende Merkmale des Buchenholzes

J. B. Ressel

Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) wird als hochwertiges, helles, gleichmäßig gefärbtes einheimisches Laubholz sowohl von Anwendern als auch von Verarbeitern geschätzt. Buche ist überaus homogen und in seiner Rohdichte in etwa der Eiche vergleichbar ($\rho_{12} \approx 0,72 \text{ g/cm}^3$). Trocknende Buche schwindet im Vergleich zu Fichte um fast das Doppelte und neigt zu verstärkter Rissbildung. Das Stehvermögen ist nur mäßig; das verarbeitete Buchenholz sollte keinen größeren Feuchteänderungen ausgesetzt werden. Hohe Härte, Zähigkeit und gute elastomechanische Eigenschaften sind als positive Merkmale des Holzes hervorzuheben. Ab einem Alter von etwa 80 bis 100 Jahren ist eine zunehmende fakultative Farbkernbildung festzustellen, die als *Rotkern der Buche* oder als *Spritzkern* bezeichnet wird. Die Permeabilität der verkernten Bereiche ist gegenüber dem unverkernten Holz erheblich reduziert und beeinflusst dadurch sowohl die Trocknung als auch die Tränkung mit Schutzmitteln in negativer Weise (weitere Angaben zu den Holzeigenschaften vgl. Abschnitt 6.1, S. 89).

Sowohl das Rundholz als auch das Schnittholz der Buche erfordern eine sachgerechte Lagerung, um Einlauf (rotbraune Verfärbung durch Luftzutritt), Verstockung (weißgraue Verfärbung durch Pilzbefall), Rissbildung und Verzerrungen durch zu schnelle Trocknung zu vermeiden. Vor diesem Hintergrund ist der Einschlag der Buche nur in den kühleren Zeiten des Jahres zu empfehlen. Zudem ist für einen raschen Abtransport des Rundholzes aus dem Wald zu sorgen; der Einschnitt sollte möglichst unverzüglich und mit direkt anschließender Stapelung und Trocknung erfolgen. Die Trocknung darf dabei zur Vermeidung von Rissbildung nicht zu scharf durchgeführt werden. Zu dämpfendes Schnittholz sollte nach dem Einschnitt zur Vermeidung unerwünschter Fleckenbildung unmittelbar, d.h. innerhalb von maximal ein bis zwei Tagen in die Dampfkammer gefahren werden.

Rotkerniges Buchenschnittholz wird derzeit sowohl von Verarbeitern als auch von Verwendern nur wenig geschätzt. Bis auf wenige Ausnahmen, wo aus diesem Holz zu Demonstrationszwecken sehr dekorative Einrichtungsgegenstände hergestellt wurden, werden in der Praxis rotkernige Schnittholzbereiche i.d.R. herausgetrennt und als äußerst geringwertige Sortimente behandelt; neben der stofflichen Verwertung als Verpackungsmaterial, z.B. für die Palettenherstellung, dient dieses Material als Rohstoff für die Holzwerkstoffindustrie oder es wird schließlich thermisch verwertet.

5.1.1 Rundholzeinschnitt bzw. Rohlamellenherstellung

Aufgrund der Rundholzdimensionen erfordert der Einschnitt im Vergleich zum Nadelholzeinschnitt schwerere Maschinen und robustere Anlagen. Zudem wird aufgrund der Wachstumsmerkmale des Rundholzes eine höhere Flexibilität hinsichtlich der möglichen Schnittbilder verlangt bei gleichzeitig wesentlich geringeren Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten. Insgesamt sind in der Praxis drei Einschnittstrategien zu unterscheiden:

- **Block- bzw. Blochware.** Das Rundholz wird auf einem Vollgatter oder einer Blockbandsäge zu einzelnen Brettern oder Bohlen eingeschnitten und auf Stapellatten aufgesetzt. Beim Einschnitt wird wenig Rücksicht auf einen ggf. vorhandenen Rotkern genommen. Erst nach dem Dämpfen und Trocknen erfolgt das Besäumen und ggf. Auftrennen des Schnittholzes, wobei erst dann bei Bedarf rotkernige Bereiche herausgetrennt werden.

- **Besäumtes Schnittholz.** In Vor- und Nachschnitt wird aus dem Rundholzblock zunächst ein Model und daraus anschließend das scharfkantige Schnittholz als Haupterzeugnis mit gleicher Brettbreite hergestellt. Die typische Hauptmaschine im Sägewerk ist hier ebenfalls das Vollgatter – allerdings beschränkt die Rahmenweite den Durchmesser der einzuschneidenden Blöcke. Die anfallende Seitenware wird als Nebenerzeugnis ausgesondert und separat auf einer Kreissäge besäumt. Gedämpft und getrocknet wird die scharfkantig besäumte Ware.
- **Einschnitt um den Kern herum.** Hier wird auf einer Blockbandsäge zunächst im Vorschritt ein vierseitig *vorgemodellter* Block erzeugt. Der Nachschnitt erfolgt auf einer Trennbandsäge, wobei der Sägenführer von Schnitt zu Schnitt - unter wiederholter Drehung des Blockes um 90° - die jeweils qualitativ beste Seite heraussucht. Damit entstehen Haupterzeugnisse unterschiedlicher Breite und Stärke. Die Seitenware wird separat besäumt. Haupt- und Seitenware werden nach Stärke sortiert, gestapelt, ggf. gedämpft und getrocknet.

In den meisten kleineren Laubholzsägewerken wird das Schnittholz – sofern kein Dämpfen erfolgt – zunächst im Freien vorgetrocknet. Ohne besondere Berücksichtigung der Empfindlichkeit des Buchenschnittholzes hinsichtlich der Entstehung von Verfärbungen und der Rissbildung ist damit ein gewisses Risiko der Wertminderung durch Trocknungsschäden verbunden. Oft erfolgt erst unmittelbar vor der Weiterverarbeitung die technische Schnittholztrocknung auf die gewünschte Verarbeitungsfeuchte, ggf. mit abschließender Qualitätssortierung.

Praktische Überlegungen haben gezeigt, dass sich die Vorgehensweise bei der Herstellung der Brettschichtholzlamellen aus Buche nicht am klassischen Nadel-Brettschichtholz orientieren kann bzw. sollte. Trocknungsbedingte Verformungen (Längs- und Querkrümmungen, Querschnittsverformungen) und Längsrisse im Endbereich der Bretter erfordern sehr hohe und damit unwirtschaftliche Maßzugaben. Auch Längen über 2,0 m bis 2,5 m sind eher unwirtschaftlich. Vor diesem Hintergrund wird die Buchen-Brettschichtholzerstellung in der Praxis zwingend eine Verlängerung der Lamellen durch Keilzinkenstöße erfordern.

Eine weitere Überlegung betrifft die Lamellenbreite. Auch hier ist der Einschnitt auf das Rohmaß der Lamellenbreite weniger wirtschaftlich, da diese Lamellen durchaus unverkernte, höherwertig verwendbare Bereiche enthalten können. Damit ist für die praktische Umsetzung zu überlegen, inwieweit eine vorgeschaltete Herstellung einer *einlagigen Massivholzplatte* aus rotkernigen, querverleimten Buchenstäben sinnvoll ist, die dann in einem weiteren Schritt auf die gewünschte Lamellenbreite für den Träger aufgetrennt wird. Ggf. könnten aus diesem Vorprodukt auch weitere Bauteile aus Buche für den Wohnungsbau gefertigt werden.

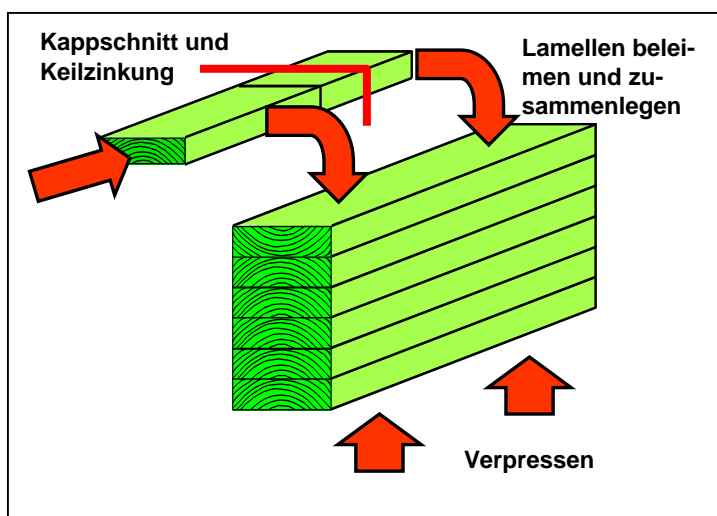


Abbildung 5.1: Brettschichtholz aufgebaut aus gleich breiten Lamellen

1. Rohlamellen gleicher Breite (entsprechend späterer Trägerbreite und Zugabe)
2. Fehler auskappen und Keilzinkenstöße fräsen (*endlose Lamelle auf Länge kappen*), längs zusammensetzen und hobeln
3. Lamellen beleimen, zu Träger zusammensetzen und verpressen

Der Weg der Trägerherstellung über das Zwischenprodukt *Massivholzplatte* ermöglicht zudem, die Längstrennschnitte so zu wählen, dass sie in Bereichen ohne Rotkern liegen. Damit wäre die Schmalseite der Lamellen bzw. des Trägers weitgehend frei vom ggf. ungewollten Rotkern. Den höheren Kosten dieser Fertigungsweise, vor allem bedingt durch den erhöhten Bearbeitungs- und Verleimungsaufwand, stehen geringere Rohstoffkosten gegenüber, da die rotkernigen Buchenstäbe ansonsten vollständig als Ausschuss zu bewerten sind.

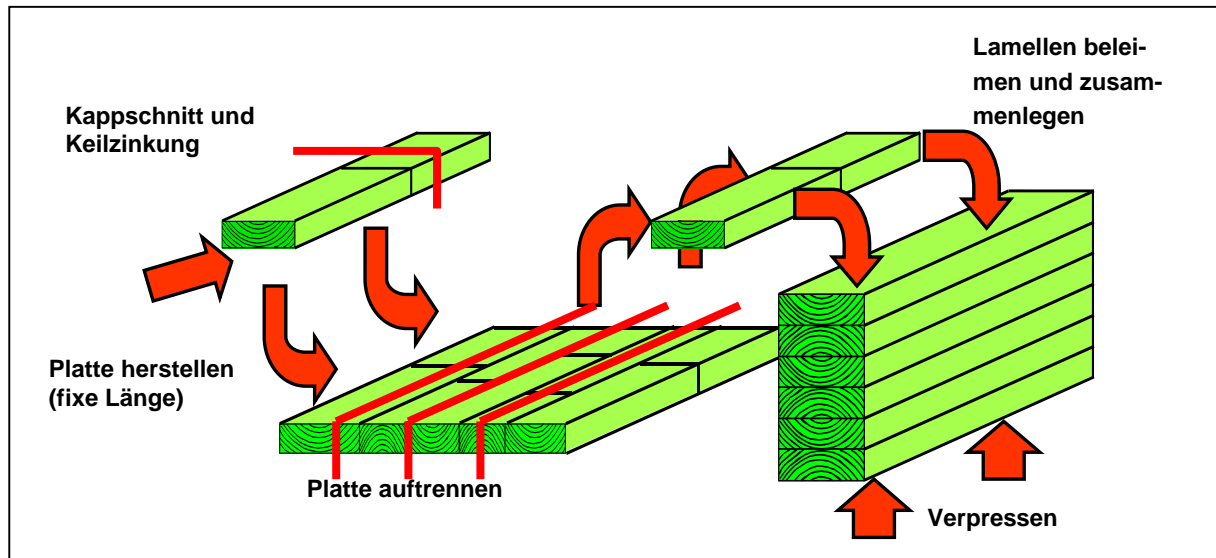


Abbildung 5.2.: Brettschichtholz aus unterschiedlich breiten Lamellen

1. Rohlamellen variabler Breite
2. Fehler auskappen und Keilzinkenstöße fräsen (*endlose Lamelle auf Länge kappen*)
3. Lamellen quer verleimen (*Platte*), längs auftrennen in Lamellen gleicher Breite

Diese Überlegungen wurden bei den im Forschungsvorhaben bearbeiteten Fragestellungen nicht umgesetzt; sie gehen zurück auf einen Diskussionsvorschlag innerhalb der projektbegleitenden Arbeitsgruppe. Die praktische Umsetzbarkeit hängt vor allem ab von einer detaillierten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und von den am Markt zu erzielenden Preisen für dieses Erzeugnis.


Weitere Fragestellungen im Rahmen der Rohlamellenherstellung betreffen das Dämpfen und das Trocknen der Lamellen. Das Dämpfen unter praxisüblichen Bedingungen führt nicht zu einer Beeinträchtigung der elastomechanischen Eigenschaften des Holzes. Vielmehr verbessert sich die Verarbeitbarkeit des Holzes aufgrund der reduzierten Eigenspannungen; auch das auf den Rotkern der Buche zurückzuführende Erscheinungsbild des fertigen Trägers wird etwas gleichmäßiger und damit als weniger störend empfunden. Der Trocknungsvorgang ist unter Beachtung der üblichen Randbedingungen relativ problemlos; hervorzuheben ist eine ausreichende Konditionierungsphase, um Unterschiede der Endfeuchte nach der Trocknung innerhalb der Rohlamellen und innerhalb der Charge zu minimieren.

Auch sollte in diesem Projekt auf die Verwendung keilgezinkter Lamellenstöße verzichtet werden, da hier hinsichtlich der optimalen Technologie und der Verleimung noch offene Fragen bestehen. Zudem galt es eine Aussage über die *Leistung des Buchen-Brettschichtholzes* zu treffen, wobei Keilzinkenstöße als bekannte Schwachstellen im Verbundkörper ausgeschlossen werden sollten. Vor diesem Hintergrund wurden die erforderlichen Rohlamellen anhand der in Tabelle 5.1 aufgeführten Spezifikationen von insgesamt drei deutschen Sägewerken nach Eingang entsprechender Angebote bestellt.

Ergänzend wurden nach gleichen Qualitätskriterien für die vorgesehenen Delaminierungsprüfungen Lamellen für kurze Trägerabschnitte (Länge 1000 mm) beschafft.

Tabelle 5.1: Qualitätsanforderungen an die zu bestellenden Rohlamellen

Lieferant:	<i>Angebot bis erbeten an obengenannte Adresse !</i>			
.....				
.....				
Bedarfmengen:				
<ul style="list-style-type: none"> ca. 300 Stück Lamellen / 1200 lfm: ca. 10 m³ 				
Bestellmaße				
Abmaße	Stärke [mm]	Breite [mm]	Länge [mm]	Volumen [m ³]
Einschnitt	42	180	4000	9,072
Vorgehobelt	37	165	4000	
Fertig	30	150	3800	



Qualitätsanforderungen

Holzspezifisch:

- Rotkern erlaubt, Anteil kann bis zu 50 % betragen
- Äste erlaubt, Durchmesser jedoch nicht größer als 1/3 der Brettbreite bzw. kleiner 60 mm
- kein Pilzbefall (Weißfäule o.ä.)
- Einlauf zulässig

Technisch:

- besäumte Ware - Schnittklasse **S**
- ungedämpft, kammergetrocknet Endfeuchte **(10 ± 2) %**
- keine Schüsselung, die Lamellen sollten weitgehend plan sein, so dass das Erreichen der Fertigmaße nach der Endbearbeitung noch gewährleistet ist
- möglichst keine Krümmungen in Längsrichtung (Schmal- und Breitfläche)
- soweit möglich vorgehobelt auf oben genannte Rohhobel-Abmaße
- bei den 37 mm starken Lamellen sollte eine Mindestlänge von 4 m eingehalten werden
- keine großen End- bzw. Hirnrisse, maximal 4 cm lang

Lieferung:

- Ware in Folie verpackt zum Liefertermin für den Transport bereitgestellt
- Bereitstellungs- bzw. Liefertermin **15.02.2002**
- Anlieferung erfolgt über eigene Spedition (?)

Damit ergab sich die folgende Vorgehensweise für die technologischen und ökonomischen Untersuchungen bei der Brettschichtholzerstellung aus Buchenholz:

- Herstellung bzw. Einschnitt der Rohlamellen (im Sägewerk),
- (teilweises) Dämpfen und Trocknen (aller) Rohlamellen (im Sägewerk),

- Sortierung der Rohlamellen,
- Trägerherstellung unter Verwendung verschiedener Klebstoffe (durchgehende Rohlamellen!),
- Prüfung der elastomechanischen Eigenschaften der fertigen Träger,
- Delaminierungsprüfung kurzer Trägerelemente.

5.2 Sortierung der Rohlamellen zur BSH-Herstellung

R. Wonnemann

Die Sortierung der Lamellen nach der Festigkeit ist die Voraussetzung zur Eingrenzung der Streuung der mechanischen Eigenschaften der Lamelle und somit der Eigenschaften der BSH-Balken.

Da weder auf Erfahrungen in der Sortierung von Buchenlamellen nach der Festigkeit noch verwertbare Richtwerte (*Sortiermerkmale, Klassengrenzen*) vorlagen, wurden die Lamellen einzeln nach den nachfolgend aufgeführten Kriterien bewertet und eine darauf basierende Rangfolge aller Lamellen aufgestellt. Aus der Gesamtheit aller so geordneten Lamellen wurden einzelne Lamellen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften (Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul) ausgewählt. Auf eine Einteilung der Lamellen in Festigkeitsklassen konnte so verzichtet werden.

Für die Herstellung und Prüfung von Buchen-BSH waren nur die Kennwerte der einzelnen Lamellen erforderlich, somit war die Sortiermethode für die gegebene Zielrichtung des Projektes von untergeordneter Bedeutung. Die Erfassung der Merkmale bzw. die Sortierung der Lamellen und auch die Durchführung der Zugprüfung erfolgte an der TU Graz im Rahmen eines umfangreicheren Projektes zur Sortierung von Laubholz. Folgende Holzmerkmale waren für das Ranking relevant:

- Mittlere Jahrringbreite
- Globale Faserabweichung
- Rohdichte
- Dynamischer E-Modul
- Astigkeit (differenziert nach Einzelast und Astansammlung)

5.2.1 Aufnahme der Holzmerkmale

Mittlere Jahrringbreite

Der Zusammenhang zwischen Jahrringbreite und den mechanischen Eigenschaften bei den zerstreuporigen Laubhölzern konnte bis jetzt noch nicht eindeutig geklärt werden. Bei der Buche wurde verschiedentlich ein Anstieg der Rohdichte mit zunehmender Jahrringbreite festgestellt (TRENDELENBURG, MAYER-WEGELIN, 1955).

Die Bestimmung der mittleren Jahrringbreite stellte sich wie folgt dar: Es wurden jeweils an den Enden des Brettes Hirnholzabschnitte erzeugt, an welchen gemäß der DIN 52181:1975 die mittlere Jahrringbreite erfasst wurde. Abweichend von der DIN 52181:1975 wurde das *Juvenile Holz* in einem Durchmesser von 5 cm um die Markröhre nicht mit in die Ermittlung einbezogen (FRÜHWALD 1999).

Der Mittelwert der mittleren Jahrringbreite von Brettanfang und -ende stellte den relevanten Sortierparameter für das anschließende Ranking dar.

Globale Faserabweichung

Die Erfassung der globalen Faserabweichung erfolgte mittels Ritzgerät gemäß EN 1310:1997. Hierbei wurde eine Brettseite sowie eine Kante der gehobelten Lamelle in einem möglichst großen Bereich angeritzt. Es wurde darauf geachtet die globale Faserabweichung möglichst zwischen den Ästen die zu ermitteln. Die Faserabweichung [mm/m] wurde als Abweichung bezogen auf die Messlänge von 1 m berechnet. Die resultierende räumliche Faserabweichung aus der Abweichung von Breitseite und Kantenfläche war der relevante Sortierparameter für das nachfolgende Ranking.

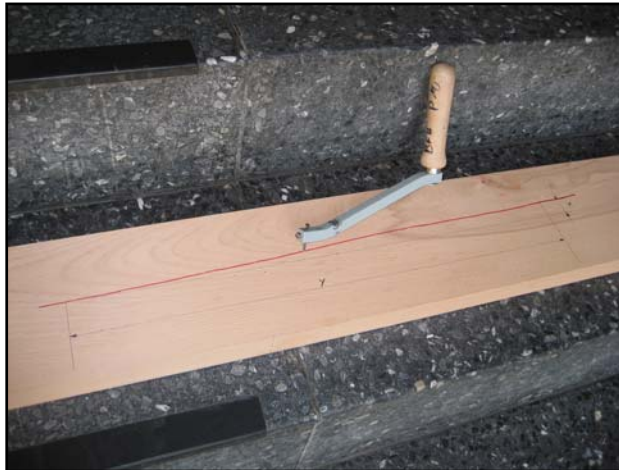


Abbildung 5.3: Ritzgerät

Die *lokale Faserabweichung*, die einen erheblichen Einfluss auf die Festigkeit hat, konnte nicht speziell aufgenommen werden. Die TU-Graz arbeitet an Ansätzen zur Erfassung der lokalen Faserabweichung, konnte aber leider zum Zeitpunkt der Untersuchungen keine geeignete Methode anbieten..

Da die lokalen Faserabweichungen meistens im Zusammenhang mit den Astumwachsungen stehen, wurde jedoch ein Großteil der lokalen Abweichungen über die Aufnahme der Äste im Ranking berücksichtigt.

Rohdichte

Von jedem Brett wurde die Rohdichte als Mittelwert aus Masse und Volumen des gesamten Brettes bestimmt. Dazu wurde jedes Brett gewogen und bei jedem die Länge mit einem Metermaß, Breite und Dicke mit einem Messschieber gemessen. Die Rohdichte ergab sich dann nach der Gleichung: $\rho = m/V$ [kg/m³].

Die Rohdichte wird standardmäßig nach DIN EN 384:2001 aus den Dichtewerten kleiner, fehlerfreier Proben nach ISO 3131:1975 berechnet. Abweichend dazu wurde in dieser Untersuchung die Rohdichte aber aus der Masse und dem Volumen des gesamten Brettes bestimmt. Diese muss daher nach DIN EN 384:2001 durch Division mit 1,05 auf die an kleinen, fehlerfreien Proben bestimmte Rohdichte ρ_{korrr} umgerechnet werden: $\rho_{\text{korrr}} = \rho/1,05$ [kg/m³] (FRÜHWALD 1999).

Die Holzfeuchte wurde nach dem Widerstandsmessverfahren an drei Stellen gemessen. Da die Holzfeuchte entsprechend dem Raumklima zwischen 7% und 14% schwankte, wurde die Rohdichte gemäß DIN EN 384:2001 auf die Referenzholzfeuchte von 12% umgerechnet ($\rho_{12.\text{korrr}}$: ... Wenn die Holzfeuchte mehr als 12% beträgt, ist die Rohdichte je Prozent Holzfeuchteminderung um 0,5% zu verringern; wenn die Holzfeuchte weniger als 12% beträgt, ist die Rohdichte je Prozent Holzfeuchteminderung um 0,5% zu erhöhen, DIN EN 384:2001). Die korrigierte Rohdichte war der relevante Sortierparameter für das anschließende Ranking.

Dynamischer E-Modul

Auf der Stirnseite des Brettes wird der Ultraschallsender, auf der anderen der Ultraschallempfänger in den dafür angebrachten Bohrungen angehalten. Der Sender regt durch einen Ultraschallimpuls das Brett zu Längsschwingungen an (*Sylvatest-Messgerät*). Die Longitudinalwelle durchläuft das Brett und erzeugt im gegenüber angebrachten Empfänger ein elektrisches Signal. Aus der zeitlichen Differenz von Sende- und Empfängersignal bestimmt das Messgerät die Laufzeit der Schallwelle in $[\mu\text{s}]$. Es wurde die Laufzeit an drei Stellen im Brett gemessen und entsprechend der Mittelwert gebildet. Maß für die Sortierung ist die Geschwindigkeit des Ultraschalls v . Diese lässt sich berechnen aus: $v = (l/t) \cdot 10^{-6}$ [m/s] (FRÜHWALD 1999)

Da eine gewisse Abhängigkeit der Ultraschallgeschwindigkeit von der Holzfeuchte besteht, wurde die Ultraschallgeschwindigkeit nach der Formel von BERKHOLZ (2002) für Buche ($v_{12} = v_u + 20,6 \cdot (u-12)$) auf eine Referenzholzfeuchte von 12% korrigiert.

Aus der holzfeuchtekorrigierten Ultraschallgeschwindigkeit wurde mit der holzfeuchtekorrigierten Rohdichte der dynamische E-Modul nach folgender Formel berechnet:

$$E_{12,\text{dyn}} = v^2 \cdot r_{12,\text{korr.}} \cdot 10^{-6} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

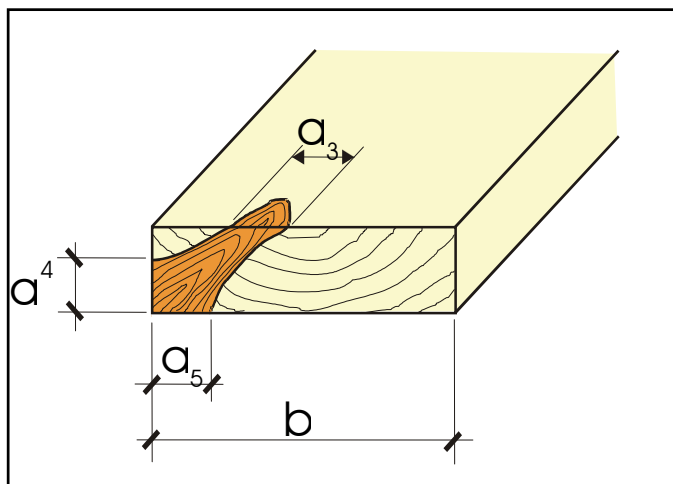
Gleichung 5.1



Abbildung 5.4: Ultraschallmessung (Bild von KATZENGRUBER, TU Graz, 2002)

Astigkei

Alle Äste sowie Rindeneinwüchse über 5 mm wurden nach Größe und Lage im Brett gemäß DIN 4074-1:1989 aufgenommen.



Aus den gesammelten geometrischen Daten wurden mit Hilfe einer Access Datenbank die querschnittsbezogenen Astigkeitsparameter DAB (Astansammlungskriterium bei Brettern und Bohlen) sowie DEB (Einzelastkriterium bei Brettern und Bohlen) errechnet.

Folglich ergaben sich aus der Astigkeit die zwei relevanten Sortierparameter DEB und DAB (vgl. Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6).

Abbildung 5.5: DEB Einzelast (FRÜHWALD 2001, nach DIN 4074-1:1989)

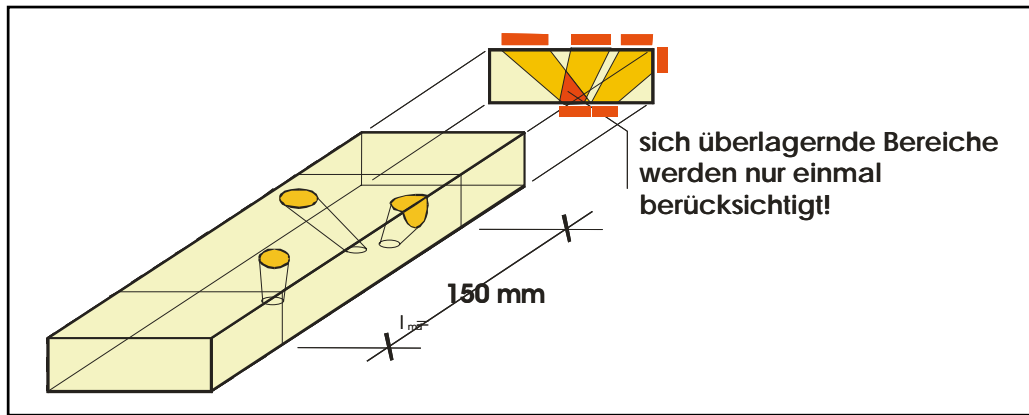


Abbildung 5.6: DAB Astansammlung (FRÜHWALD 2001, nach DIN 4074-1:1989)

5.2.2 Ranking der Lamellen

Erstellung einer Rangfolge der Rohlamellen

Die Werte der sechs Sortierparameter

- (1) Mittlere Jahrringbreite,
- (2) Globale Faserabweichung,
- (3) Rohdichte,
- (4) Dynamischer E-Modul,
- (5) DEB – Einzelast und
- (6) DAB – Astansammlung

wurden jeweils, abhängig nach positivem oder negativem Einfluss, aufsteigend bzw. absteigend sortiert und somit jedem Brett der entsprechenden Rang zugewiesen. Dieser Rang wurde mit dem an der TU Graz (FRÜHWALD 2001) durchgeführten in Voruntersuchungen ermittelten Korrelationskoeffizienten zwischen dem jeweiligen Sortierparameter und $f_{t,0}$ für Buche multipliziert. Somit erhielt jede Lamelle eine Punktzahl (gewichteter Rang) je Sortierparameter.

Aus dem Mittelwert dieser sechs gewichteten Sortierparameter resultierte die Position der jeweiligen Lamelle in der endgültigen Rangfolge der 700 Lamellen⁹. Daraus ergab sich dann eine Rangfolge von der vermeintlich „stärksten“ bis zur offensichtlich „schwächsten“ Lamelle (FRÜHWALD 2002).

5.2.3 Auswahl einzelner Lamellen für Zugproben

Aus der gesamten Menge der 700 Lamellen wurden 70 Lamellen entnommen. Jedes Zehnte Brett (Rang 1, 11, 21 usw.) wurde aus dem Ranking aussortiert, um so das gesamte Qualitätsspektrum zu erfassen bzw. prüfen zu können. Das Ziel der Zugversuche bestand in der Ermittlung der tatsächlichen mechanischen Werte (Zugfestigkeit $f_{t,0}$, Zug-E-Modul E_0). Außerdem sollten die Zugversuche Aufschluss zur Qualität der vorgenommenen festigkeitsori-

⁹ Nicht alle von den drei Sägewerken gelieferten Lamellen erfüllten die in Tabelle 5.1 angeführten Qualitätskriterien; in einem Fall mussten nach entsprechender Reklamation ca. 50 % der gelieferten Lamellen durch eine Nachlieferung ersetzt werden. Dennoch verblieben nach ausführlicher Begutachtung aller Lieferungen insgesamt nur 700 für die BSH-Herstellung brauchbare Rohlamellen übrig.

entierten Sortierung geben. Die Ergebnisse der Zugprüfung sind im Abschnitt 6.3.2, S. 121 ff, dargestellt.

5.2.4 Zusammenstellung der Prüfträger

Aus den nach der Entnahme der 70 Zugproben verbliebenen 630 Rohlamellen wurden insgesamt 101 Prüfträger hergestellt, die aus jeweils 6 aufeinander geklebten Lamellen bestanden. Dazu erfolgte zunächst eine Einteilung des Materials in drei zahlenmäßig gleich große *Sortiergruppen* SG A, SG B und SG C. Sortiergruppe C enthielt die besten Rohlamellen (Rang 1 bis 210), in der Sortiergruppe B waren die Ränge 211 bis 420 vertreten, die übrigen Rohlamellen (Rang 421 bis 630) wurden der Sortiergruppe A zugeordnet. Aufgrund der geringen zu Verfügung stehenden Materialmenge war eine Eingrenzung der Streuung der Materialeigenschaften nur durch Bildung dieser drei Sortier bzw. Festigkeitsgruppen möglich.

Zur Biegeprüfung wurden neben homogenen Brettschichtholzträgern, bei denen nur Lamellen aus Buchenholz zum Einsatz kamen, auch kombinierte Buchen-Fichten-Brettschichtholzträger hergestellt. Bei diesen kombinierten BSH-Trägern – auch als Mix-Träger bezeichnet – bestanden die beiden Mittellamellen aus Fichtenholz der Sortierklasse S13, die jeweils äußeren beiden Lamellen aus Buchenholz.

Da das Leistungspotential von Buchen-Brettschichtholz in Abhängigkeit von der Lamellenqualität ermittelt werden sollte, wurden in den Biegeprüfkörpern immer nur Buchenlamellen einer Sortiergruppe verwendet.

Daraus ergaben sich BSH-Biegeprüfkörper der drei Sortiergruppen A, B und C. Die Mix-Träger wurden je nach Einstufung der vorhandenen Buchen-Rohlamellen ebenfalls den Sortiergruppen A, B und C zugeordnet.

Pos. 6
Pos. 5
Pos. 4
Pos. 3
Pos. 2
Pos. 1

Abbildung 5.7: Trägeraufbau

Das prinzipielle Schema beim Aufbau der einzelnen Brettschichtholzträger stellte sich wie folgt dar. Aus den ca. 210 Lamellen der Sortiergruppe C wurden insgesamt 33 BSH-Biegeprüfkörper hergestellt. Dem Träger 1 wurde die beste Lamelle zu unterst (Position 1) zugeteilt, also dort, wo die Zugspannungen bei der Biegeprüfung am größten sind. Die nach der Rangfolge zweitbeste Lamelle kam beim Träger 2 auf Position 1, die 33. der verwendeten Lamellen beim Träger 33 auf Position 1. Die 34. Lamelle wurde dann beim Träger 1 an Position 6 eingeordnet, also dort, wo die maximale Druckspannung auftritt. Für die 66. Lamelle ergab sich die Position 6 beim Träger 33. Die 67. Lamelle kam beim Träger 1 auf Position 2. Dieses Verteilungsprinzip wurde bis zur letzten Position, d.h. Position 4, fortgeführt.

Die Anordnung der Lamellen in den BSH-Biegeprüfkörpern beruht damit auf drei Prinzipien, die in einer festen Reihenfolge angewendet wurden.

1. In allen Biegeprüfkörpern waren immer nur Buchen-Lamellen einer Sortiergruppe vertreten.
2. Die Lamellengüte nimmt vom Randbereich zur Querschnittsmitte hin ab.
3. Auf der Zugseite (Pos. 1, 2 und 3) befindet sich auf entsprechender Position immer eine Lamelle mit höherem Ranking als auf der Druckseite (Pos. 4, 5 und 6).

Aufgrund der geringen Probenanzahl von 33 je Gruppe, die eine aussagekräftige, statistische Auswertung bei großer Streuung problematisch werden lässt, wurde diese recht kom-

plizierte Zusammenstellung der Biegeprüfkörper gewählt und gleichzeitig der Verzicht auf einen hundertprozentigen homogenen Aufbau akzeptiert. Diese Vorgehensweise diente der Eingrenzung der Streuung von den mechanischen Eigenschaften innerhalb der Gruppe und gleichzeitig der Abgrenzung zwischen den drei Gruppen.

Zur Verleimung der 101 BSH-Träger wurden drei verschiedene Klebstoffe verwendet:

- Polyurethanklebstoff (PU)
- Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz (MUF)
- Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Harz (PRF)

Die Zusammenstellung (Tabelle 5.2) zeigt, dass der Großteil der Biegeprüfkörper mit PU verklebt wurde. Nur bei jeweils 10 homogenen BSH-Prüfkörpern kamen auch die Klebstoffe PRF und MUF zum Einsatz. Aufgrund der dominierenden Spannungen im Zugbereich des Prüfbalkens konnte bei der Biegeprüfung davon ausgegangen werden, dass die Schubspannungen in der Verklebungsfuge und somit der verwendete Klebstoff keinen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften hat.

Da Lamellen in Biegeprüfkörperlänge von 3,42 m (siehe Abschnitt 2.3.4.2) nicht in ausreichender Zahl zur Verfügung standen, mussten auch Rohlamellen keilgezinkt werden. Dabei wurde darauf geachtet, dass die keilgezinkten Lamellen nur in den Mittellagen angeordnet wurden (Position 3 und 4 nach Abbildung 5.2) um einen Einfluss der Keilzinkungen auszuschließen bzw. möglichst gering zu halten. Die Sortiergruppe der gezinkten Rohlamellen entsprach der jeweiligen Trägerqualität. Auf die Herstellung der Träger wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

Tabelle 5.2: Anzahl der homogenen und kombinierten BSH-Träger

Lamellen Sortiergruppe	Klebstoff		
	PU	PRF	MUF
SG A	15 (8)	---	10
SG B	16 (19)	---	---
SG C	14 (9)	10	---

(kombinierte Bu-Fi-Träger in Klammern)

5.3 Herstellung von Buchen-Brettschichtholz

B. Pitzner

Im Brettschichtholzwerk *Zang und Bahmer GmbH Holzleimbau* wurden im Sommer 2002 insgesamt 101 Brettschichtholzträger (3,42 mm x 150 mm x 180 mm) für Biegeversuche und 29 kürzere Träger (ca. 2000 mm Länge) für Klimaversuche hergestellt. Im Vorwege wurden Keilzinkenverbindungen zum einen für die Mittellagen der Träger und zum anderen für Zugversuche hergestellt.

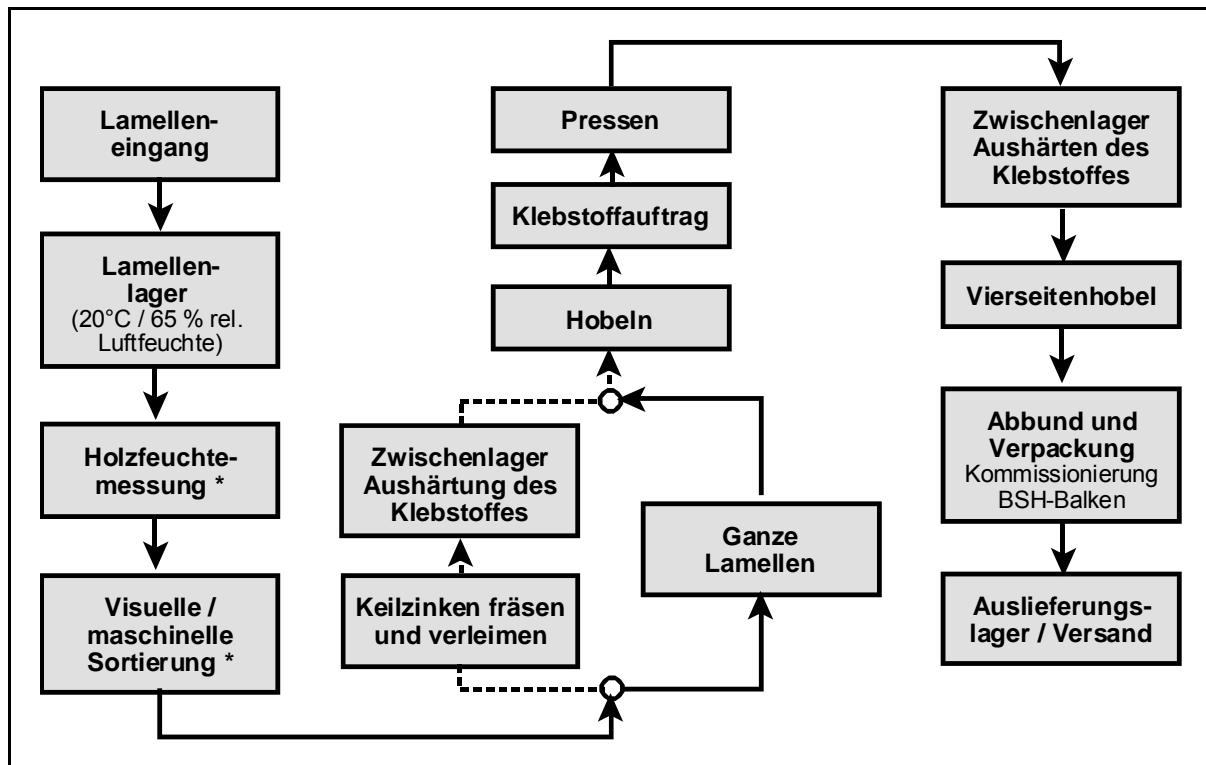


Abbildung 5.8: Produktionsablauf im Brettschichtholzwerk

Nach Voruntersuchungen an kleinen Dimensionen – Querzug- und Druckscherprüfungen – wurden drei Klebstoffe zur Herstellung der Brettschichtholzträger ausgewählt:

- PU 3 (Standardklebstoff des Projektpartners Zang und Bahmer GmbH)
- MUF 1
- PRF 1

Da der Klebstoff PU 3 in den Voruntersuchungen gute Ergebnisse erzielt hatte und der Standardklebstoff des Projektpartners ist, sollte die größte Anzahl der Balken mit diesem Klebstoff hergestellt werden.

Alle drei Klebstoffe sind von der FMPA Baden-Württemberg, Otto-Graf-Institut, Stuttgart, nach DIN 68 141:1995 sowie DIN EN 301:1990 bzw. DIN EN 302-2:1990 für die Verklebung von tragenden Bauteilen, einschließlich der Sonderbauweisen, zugelassen.

Im Brettschichtholzwerk wurden die Biegebalken aus den vorher sortierten Lamellen zusammengestellt. Es sollte nach Abschluss der Versuche immer noch nachvollziehbar bleiben, welche Lamelle an welcher Stelle in welchem Balken lokalisiert ist (Zusammenstellung siehe Abschnitt 5.2.4, S. 79).

Dadurch, dass nur die Mittellagen Keilzinkenverbindungen aufwiesen, sollte gewährleistet werden, dass die Balken bei der anschließenden Biegefestigkeitsprüfung nicht aufgrund der Keilzinkenverbindungen versagen würden. Die Lamellen wiesen vor der Verklebung eine Holzfeuchte von $(10 \pm 2) \%$ auf.

5.3.1 Keilzinkenverbindung

Es wurde eine kleine Anzahl (28) Keilzinkenverbindungen hergestellt, die anschließend auf Zug geprüft wurden. Hierfür wurden wiederum die drei ausgewählten Klebstoffe verwendet (PU 3, MUF 1 und PRF 1).

Die Keilzinkenverbindungen, die für die Mittellagen der Träger eingesetzt wurden, sind mit dem in der Anlage verwendeten PU 3-Klebstoff hergestellt worden. Für die Herstellung wurde eine handelsübliche Keilzinkenanlage verwendet, die auf Fichtenlamellen ausgelegt ist.

Durch Kappschnitte wurden die Lamellenenden gerade geschnitten, wobei auch etwaige Holzfehler (Äste, etc.) an den Lamellenenden entfernt wurden. Anschließend wurde das Keilzinkenprofil gefräst.

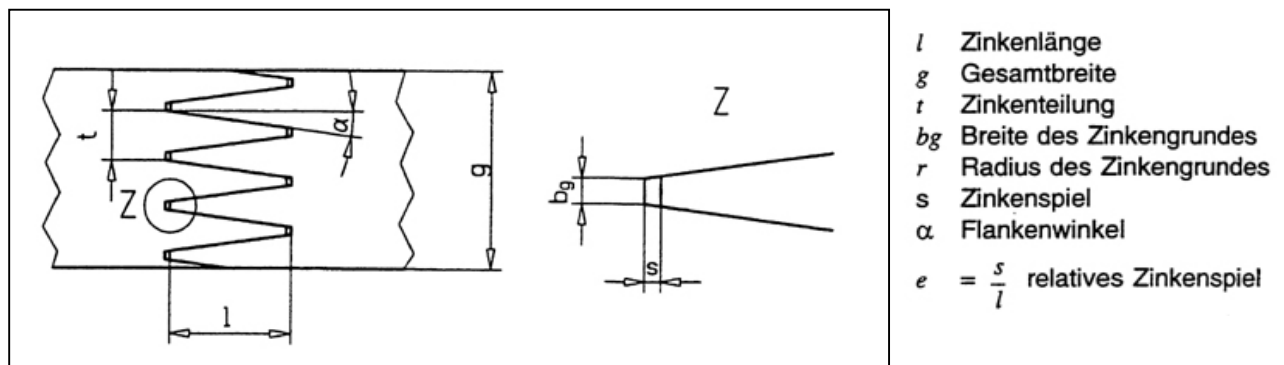


Abbildung 5.9: Keilzinkenverbindung mit geraden Zinken (DIN 68140-3:1999)

Es wurde das im Betrieb für Nadelholz-Brettschichtholz üblicherweise verwendete Keilzinkenprofil mit einer Zinkenlänge $l = 15$ mm, einer Zinkenteilung $t = 3,8$ mm und einem Zinkengrund $b_g = 0,54$ mm gewählt.

Unmittelbar nach dem Fräsen erfolgte der Klebstoffauftrag. Aus technischen Gründen konnte nur der PU-Klebstoff (PU 3) maschinell aufgetragen werden. Das Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz (MUF 1) und das Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Harz (PRF 2) wurden manuell auf die gefrästen Enden aufgetragen. Die Klebstoffmindestauftragsmenge gilt als erreicht, wenn beim Pressen im Zinkenbereich an allen vier Seiten Klebstoff austritt.

Nach dem Klebstoffauftrag wurden die Lamellen zusammengefügt und verpresst. Für Nadelholz beträgt der Pressdruck $5 \dots 10$ N/mm² bei Zinkenlängen unter 25 mm.



Abbildung 5.10: Keilzinkenverbindung

Im vorliegenden Fall wurde durch Abschalten der Druckbegrenzung der Anlage der Pressdruck auf ca. 12 N/mm² erhöht. Dieser Druck musste für mindestens 2 s gehalten werden (DIN EN 385:1995). Die keilgezinkten Lamellen wurden auf 3,50 m Länge abgelängt. Die Weiterverarbeitung erfolgte erst nach 24-stündiger Aushärtung der keilgezinkten Lamellen.

5.3.2 Balkenherstellung

Nach Zusammenstellung der jeweiligen Balken - zum Teil mit keilgezinkten Lamellen in den Mittellagen - wurden die Lamellen beidseitig gehobelt. Durch das Hobeln der Lamellen sollen etwaige Verformungen und Unebenheiten sowie Verschmutzungen beseitigt werden. Eine gute Passgenauigkeit ist für eine korrekte Verklebung erforderlich.

Direkt im Anschluss wurden die Lamellen maschinell einseitig beleimt und im Pressbett zusammengelegt. Die Leimauftragsmengen betragen:

- PU 3: 200 g/m²
- MUF 1: 420 g/m²
- PRF 1: 420 g/m²

(in Anlehnung an die Herstellerangaben)

Buchen-Brettschichtholz

- **65 Buchen-Träger**
 - 45 PU-verleimt
 - 10 MUF-verleimt
 - 10 PRF-verleimt
- **36 Buchen/Fichten-Träger**
 - nur PU-verleimt
- **Endmaße (LxBxH)**
3,42 x 0,15 x 0,18 m

Abbildung 5.11: Leimplan

Die gesamte Balkenherstellung erfolgte in einer geschlossenen, **klimatisierten** Fertigungshalle.



Abbildung 5.12: Zusammenlegung der Lamellen zu Trägern im Werk





Abbildung 5.15: Aushärtung im geschlossenen Pressbett

Die Presse wurde mit einem - im Vergleich zu Fichten-Brettschichtholz ($0,8 \text{ N/mm}^2$) - erhöhten Druck von $1,2 \text{ N/mm}^2$ geschlossen. Nach dem 24-stündigen Pressvorgang wurden die Biegeträger vierseitig gehobelt und auf $3,42 \text{ m}$ abgelängt.

5.3.3 Kombinierte BSH-Balken aus Buchen- und Fichtenlamellen

Zusätzlich zu dem homogenen Buchen-BSH wurden auch kombinierte Balken (Mix-Balken) hergestellt, bei denen die beiden mittleren Lamellen aus Fichtenholz bestanden. In den Voruntersuchungen in kleinem Maßstab (siehe Abschnitt 6.3.1, S. 109 ff) verlief die Verklebung zwischen Buchen- und Fichtenlamellen problemlos.

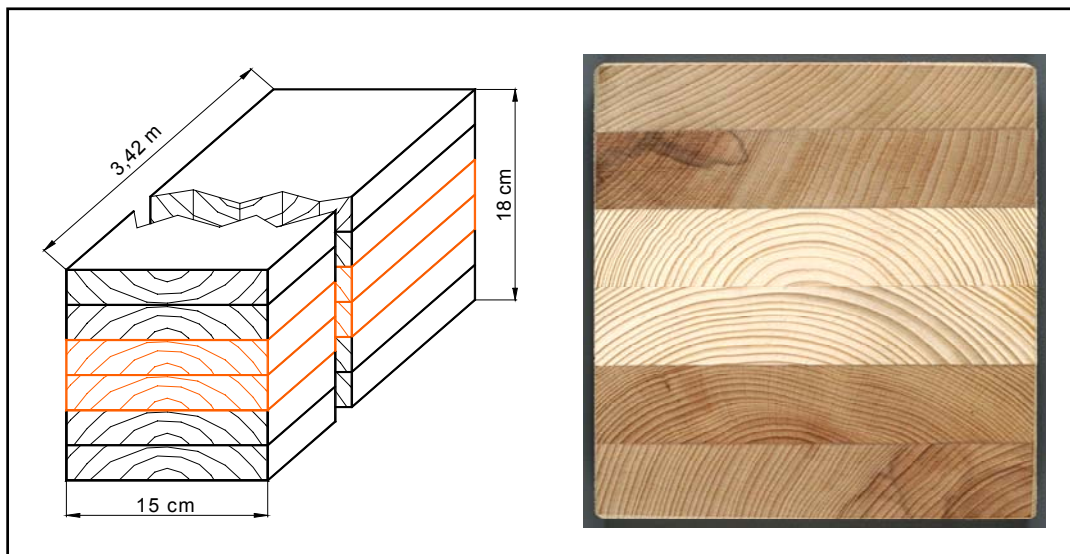


Abbildung 5.16: Aufbau und Querschnitt eines kombinierten Balkens (*Mix-Träger*)

Zum einen sollte damit untersucht werden, ob sich diese beiden Holzarten auch für die Herstellung von größeren verklebten Elementen eignen und zum anderen in wieweit sich die Festigkeitseigenschaften der homogenen Buchenbalken von denen der kombinierten Balken aus Fichten- und Buchenholz unterscheiden.

5.4 Zusammenfassung – Brettschichtholzherstellung

J. B. Ressel

Rohlamellen aus Buche zur Brettschichtholzherstellung

Die Beschaffung des Rohmaterials erfordert eine präzise Definition des zu verwendenden Rohstoffes hinsichtlich der Dimensionen und der spezifischen Holzmerkmale (vgl. Tabelle 5.1). Im vorliegenden Projekt lag das Ziel in der Verwendung rotkernige Buche. Die vorgegebenen Träger- bzw. Prüfkörperabmessungen erforderten beim Einschnitt erhebliche Maßangaben hinsichtlich Breite und Dicke der Rohlamellen; auch die Vorgabe, bei der Trägerherstellung (weitgehend) auf Keilzinkungen der Lamellen zu verzichten, erschwerte die Materialbeschaffung. Weiterhin wichtig ist die zuverlässige Einhaltung der vorgegebenen Merkmale, insbesondere der zulässigen Astdurchmesser und der Verfärbungen (Rotkern zulässig – pilzbedingte Verfärbungen unzulässig).

Die Sortierung der vorgehobelten Rohlamellen erfolgte projektspezifisch nach folgenden Merkmalen: mittlere Jahrringbreite, globale Faserabweichung, Rohdichte, dynamischer E-Modul und Astigkeit (differenziert nach Einzelast und Astansammlung). Auf Basis dieser Sortierung erfolgte ein *Ranking* der Rohlamellen, um darauf aufbauend die Prüfkörper bzw. Brettschichtholzträger vornehmen zu können. Durch diese Vorgehensweise sollte eine zu breite Streuung der mechanischen Eigenschaften der Prüfkörper vermieden werden.

Auf eine Keilzinkung von Lamellen – und damit auf kürzere Rohlamellenlängen - wurde bewusst verzichtet, auch wenn dies bei einer späteren praktischen Umsetzung unumgänglich sein wird. Die Zielvorgabe des Projektes lag in der Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Buchen-Brettschichtholz, ohne dieses durch Keilzinkenstöße vorab zu schwächen. Ausreichende Erkenntnisse zur optimalen Herstellung von Keilzinkenstößen (Zinkengeometrie, Klebstoffe, Verfahrenstechnik) liegen noch nicht in ausreichendem Umfang vor.

Einschnittstrategie

Hinsichtlich einer praktischen Umsetzung der Buchen-Brettschichtholzherstellung hauptsächlich unter Verwendung preisgünstiger, rotkerniger Lamellen ergeben sich zwei grundsätzlich unterschiedliche Herstellungsweisen, die Auswirkungen auf die Einschnittstrategie rotkernigen Buchenstammholzes haben.

1. Traditionelle Brettschichtholzherstellung, wobei sich die (Roh-)Lamellenbreite an der Trägerbreite orientiert oder
2. Herstellung von einlagigen Massivholzplatten (erster Arbeitsschritt) mit anschließendem Auftrennen der Platten auf die dem zu fertigenden Träger entsprechende Lamellenbreite mit folgender Verleimung der Lamellen zu Trägern (zweiter Arbeitsschritt).

Bei beiden Verfahrensweisen erfordert eine wirtschaftliche Umsetzung auch optimierte Keilzinkenverbindungen! Hinsichtlich der Ausbeute an kostengünstigem, rotkernigem Lamellenmaterial bietet Verfahrensweise 2 jedoch erhebliche Vorteile, da hier mehr höherwertige, *weiße* Buchenholzabschnitte entstehen, die anderweitig in hochwertige Erzeugnisse einfließen können. Bei niedrigen Kosten für die dann (fast) ausschließlich rotkernige Ware könnte sich in der Summe auch die Kosten der zusätzliche Verfahrenstechnik der Plattenherstellung rechnen. Die Überlegungen zu dieser Vorgehensweise wurden vom projektbegleitenden Ausschuss diskutiert und als durchaus positiv bewertet.

Ergänzend wurden inhomogene bzw. *Mix-Träger* gefertigt, bei denen von insgesamt sechs Lamellen die beiden mittleren aus Fichte bestanden (vgl. Abschnitt 5.3.3).

Brettschichtholzherstellung

Die Herstellung von insgesamt 101 Prüfkörpern (*Endmaße* $L \times B \times H = 3,42 \times 0,15 \times 0,18$ m) erfolgte in der Praxis bei der Holzleimbaufirma Zang & Bahmer unter Verwendung PU-, MUF- und PRF-Klebstoffen, die sich in Vorversuchen als am besten geeignet herausgestellt hatten (vgl. Abbildung 5.11). Die Zusammenstellung der Lamellen zu Prüfkörpern erfolgte nach dem Ergebnis der vorausgegangenen Sortierung und dem Ranking der Lamellen. Maßgeblich für den Leimauftrag waren die jeweils entsprechenden Herstellerangaben. Gegenüber der herkömmlichen Brettschichtholzherstellung aus Nadelholz wurde ein auf $1,2 \text{ N/mm}^2$ erhöhter spezifischer Pressdruck aufgebracht. Auch bei einigen wenigen unvermeidbaren Keilzinkenstößen von Buchenlamellen –später ausschließlich in den Trägermittellagen eingesetzt – wurde ein auf 12 N/mm^2 erhöhter Pressdruck verwendet. Im übrigen entsprach die Verfahrenstechnik der Buchen-Brettschichtholzherstellung der bei der Nadelholz-Brettschichtholzherstellung üblichen Vorgehensweise. Vor der Prüfung der Träger wurden diese über ca. zwei Monate in einem auf 20°C und 65% rel. Luftfeuchte klimatisierten Raum gelagert, so dass sich in diesen eine Ausgleichsfeuchte von annähernd 12% einstellen konnte.

5.5 Literatur - Brettschichtholzherstellung

- TRENDELENBURG, R.; MAYER-WEGELIN, H., 1939 - Der Holz als Rohstoff. Carl Hanser Verlag / München 1955.
- FRÜHWALD, K., 2001 - Interner Forschungsbericht, TU Graz.
- FRÜHWALD, K., 2002 - Persönliche Mitteilung
- DIN 52181:1975 - Bestimmung der Wuchseigenschaften von Nadelholz. Beuth Verlag GmbH, Berlin, August 1975
- DIN EN 1310:1997 - Rund- und Schnittholz - Messung der Merkmale. Beuth Verlag GmbH, Berlin 1997.
- DIN EN 384:2001 - Bauholz für tragende Zwecke, Bestimmung charakteristischer Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Februar 2001.
- BERKHOLZ, R., 2002 - Abhängigkeit Holzfeuchte Ultraschallgeschwindigkeit. Diplom Arbeit FH-Eberswalde.
- DIN 4074-1:1989 - Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit. Beuth Verlag GmbH, Berlin, September 1989.
- DIN 4074-5:2001 (Entwurf) - Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit, Laubschnittholz. Beuth Verlag GmbH. Mai 2001
- DIN 68140-3:1999 (6. Vorlage) - Keilzinkenverbindungen von Holz, Teil 3: Keilzinkenverbindungen an maßhaltigen Außenbauteilen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Juni 1999
- DIN 68141:1995 – Holzklebstoffe – Prüfung der Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen für tragende Bauteile. Beuth Verlag GmbH, Berlin, August 1995
- DIN EN 301:1990 (Entwurf) - Leime für tragende Holzbauteile, Polykondensationsleime auf Phenol- und Aminoplast-Basis, Klassifizierungs- und Festigkeitsanforderungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 1990
- DIN EN 302-1:1990 (Entwurf) - Leime für tragende Holzbauteile, Polykondensationsleime auf Phenol- und Aminoplast-Basis, Prüfverfahren: Bestimmung der Scherfestigkeit im Längs-Schertest. Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 1990

DIN EN 302-2:1990 (Entwurf) - Leime für tragende Holzbauteile, Polykondensationsleime auf Phenol- und Aminoplast-Basis, Prüfverfahren: Bestimmung der Beständigkeit gegen Delaminierung (Labor-Verfahren). Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 1990

DIN EN 385:2001 - Keilzinkenverbindungen in Bauholz, Leistungs- und Mindestanforderungen an die Herstellung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, März 2002

DIN EN 386:2001 - Brettschichtholz, Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 2002

DIN EN 387:2001 - Universal-Keilzinkenverbindungen, Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 2002

6 Eigenschaften von Buchen-Brettschichtholz

P. Becker, B. Pitzner

6.1 Physikalische und mechanische Eigenschaften von Buche (*Fagus sylvatica* L.)

Buche (*Fagus sylvatica* L.) zählt zu den mittelschwer bis schweren Hölzern und ist von ausgesprochen homogener Struktur. Die mittlere Rohdichte bei einer Holzfeuchte von 12 bis 15% beträgt ca. 0,72 g/cm³. Es ist von hoher Härte und gilt als zäh und wenig elastisch.

Man unterscheidet optisch zwischen dem gleichmäßig hellfarbigen und rotkernigen Buchenholz, es sei aber angemerkt, dass diese Unterscheidung nur hinsichtlich des Tränk- und Trocknungsverhaltens gilt. In technischer Hinsicht gibt es keine verwendungsrelevante Unterschiede, so dass der Rotkern keinen technologischen Nachteil darstellt.

Als ungünstig wird das starke Quell- und Schwindverhalten der Buche gewertet, die Buche „arbeitet“ stärker als andere Holzarten. Aus diesem Grund sollte verarbeitetes Material keinen zu großen Feuchtigkeitsschwankungen ausgesetzt werden.

Buchenholz gilt als ausgesprochen pilzanfällig und besitzt eine nur geringe natürliche Dauerhaftigkeit, wenn es der Witterung ausgesetzt ist. Diese Eigenschaft betrifft auch den Rotkern. Dieser Nachteil relativiert sich durch die leichte Imprägnierbarkeit des Materials, lediglich rotkerniges Holz lässt sich nicht imprägnieren. Imprägniertes Buchenholz wiederum ist auch bei ungünstigen Witterungseinflüssen sehr lange haltbar. In Steinkohleteeröl getränkte Eisenbahnschwellen erreichen beispielsweise mittlere Liegezeiten von über 40 Jahren.

Buchenholz ist vor allem aufgrund der homogenen Struktur trotz seiner Härte handwerklich leicht zu bearbeiten. Dennoch bedarf es einer sehr sorgfältigen Behandlung, wenn die hohe Qualität des Materials erhalten bleiben soll. Dies betrifft zum Beispiel den schnellen Abtransport des eingeschlagenen Rundholzes, den baldigen Einschnitt, die sorgfältige Stapelung und langsame schonende Trocknung. Anderenfalls neigt die Buche schnell zum Einlauf, Verstocken, Reißen und Verwerfen.

Das Holz der Buche ist sowohl gedämpft wie auch ungedämpft erhältlich. Das Dämpfen, das möglichst noch im feuchten Zustand stattfinden sollte, bewirkt zum einen eine Intensivierung der Farbe ins Rötlich-braune, zum anderen dient es der Erweichung und Plastifizierung des Materials vor der Bearbeitung. Die Spannungen im Holz werden durch das Dämpfen abgebaut und das Holz besonders gefügig gemacht, durch die Erweichung kann man das Holz hervorragend biegen und ihm eine gekrümmte Form verleihen. Für diese Holzbiegetechnik stellt die Buche die am häufigsten verwendete Holzart dar.

Hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften weist Buchenholz hervorragende Werte auf (Tabelle 6.1). Das Material verfügt über ausgezeichnete Festigkeiten, welche die Werte anderer einheimischer Laubhölzer mehr oder weniger deutlich übertreffen, sowie eine sehr hohe Abriebfestigkeit. Die in der DIN 1052 (4/88; Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung) festgelegten Rechenwerte für E-Modul und Festigkeiten unterscheiden sich kaum von Nadelholz der Sortierklasse 10 und werden der Leistungsfähigkeit des Materials nicht gerecht.

In Tabelle 6.1 sind die unter anderem auch die mechanischen Eigenschaften der Buche denen der am häufigsten für Brettschichtholz eingesetzten Holzart Fichte gegenübergestellt. Vergleicht man die Steifigkeitswerte, so übertreffen die Werte der Buche die der Fichte um den Faktor 1,4. Noch deutlicher werden die Unterschiede bei den Festigkeitseigenschaften in Faserrichtung, hier liegt eine Erhöhung von 50 bis 80% vor. Da die Buche problemlos verklebt werden kann, erscheint unter anderem eine Anwendung als Brettschichtholz sinnvoll.

Im Rahmen des durchgeführten Forschungsprojektes wurde ein umfangreiches Versuchsprogramm festgelegt, welches vor allem zum Tragverhalten von Buchen-Brettschichtholz Aufschluss geben sollte. Zur Beurteilung und zur Auswahl geeigneter Klebstoffe wurden dazu zunächst das Scher- und Querszugverhalten von zahlreichen geklebten Kleinproben untersucht. Zusätzlich fanden Zugversuche mit Rohlamellen zwecks Beurteilung der aufwendigen Sortierung (siehe Kapitel 5), Biegeversuche mit Buchen-Brettschichtholz-Trägern zur Bewertung des Tragverhaltens und schließlich weitere Zugversuche mit keilgezinkten Lamellen statt. Das vollständige Programm mechanischer Prüfungen ist in diesem Kapitel ausführlich aufbereitet.

Im nächsten Abschnitt werden aber zunächst die physikalischen Prüfungen dargestellt, die sich aus einigen Klimaversuchen und den Untersuchungen zum Delaminierungsverhalten von Brettschichtholz aus Buche zusammensetzen.

Tabelle 6.1: Vergleich der Eigenschaften von fehlerfreien Proben aus Buche und Fichte (GROSSER, ZIMMER 1998)

Eigenschaften		Buche	Fichte
Rohdichte	$\rho_{12} - \rho_{15}$ [g/cm ³]	0,54 ... 0,72 ... 0,91	0,33 ... 0,47 ... 0,68
Trocknungsschwindmaß		4,5 (rad)	2,0 (rad)
	$u_{fs} \rightarrow u_{12}$ [%]	9,5 (tang)	4,0 (tang)
E-Modul [N/mm ²]	$E_{ }$	14.000	10.000
	$E_{\perp r}$	1.130	800
	$E_{\perp t}$	630	450
Schubmodul [N/mm ²]	G_{LR}	1640	600
	G_{LT}	1080	650
Festigkeiten [N/mm ²] (Mittelwerte)	$f_{t,0}$	135	80
	$f_{t,90}$	7,0	2,7
	$f_{c,0}$	60	40
	$f_{c,90}$	9,0 – 10,0	5,8
	f_m	120	68
	f_v	10	7,5
Bruchschlagarbeit	w [kJ/m ²]	100	46 – 50
Brinellhärte [N/mm ²]	$H_{B }$	72	32
	$H_{B\perp}$	34	12

6.2 Klimalagerung und Delaminierung von Buchen-Brettschichtholz

B. Pitzner

Für die Klimalagerungs- und Delaminierungsversuche wurden Balken mit den drei ausgewählten Klebstoffen – MUF-Harz, PRF-Harz und PU-Klebstoff - und drei unterschiedlichen Lamellenstärken angefertigt. Gewählt wurden Lamellen mit Stärken von 30 mm, 24 mm und 18 mm. Untersucht werden sollte dabei das Verhalten der Balkenabschnitte unter verschiedenen Klimabedingungen.

Nach Klimatisierung im Normalklima (20°C und 65 % rel. Luftfeuchte) wurden aus diesen Balken Proben mit 1 m Länge für Klimalagerungsversuche und Proben mit 75 mm Länge für Delaminierungsprüfungen herausgeschnitten.

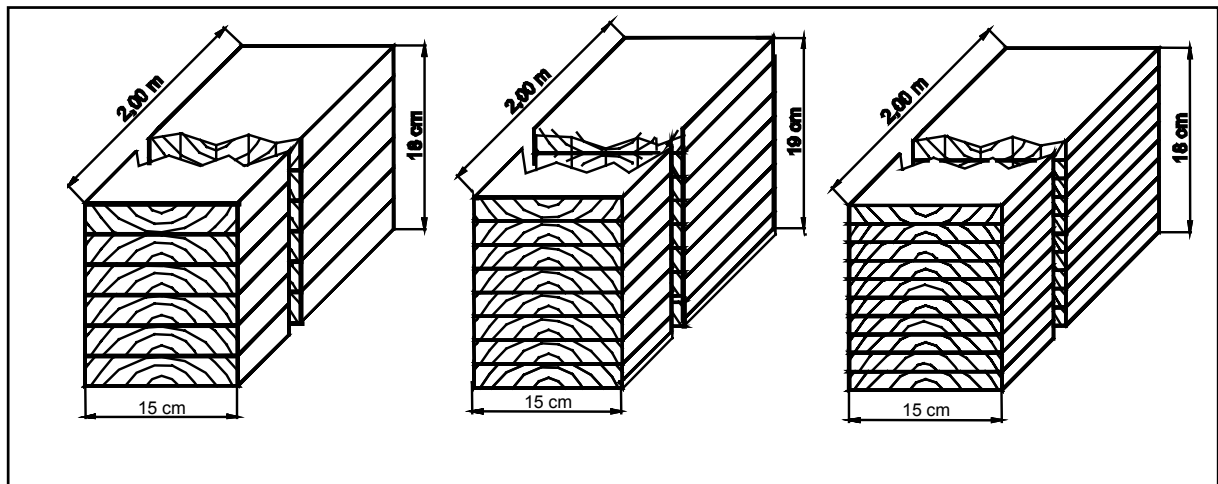


Abbildung 6.1: Balken mit drei unterschiedlichen Lamellenstärken für Klimalagerung

6.2.1 Delaminierungsprüfung nach DIN EN 391:2001 - Verf. B

Die Delaminierungsprüfung ist eine Prüfmethode, bei der die BSH-Prüfkörper in einem Druckbehälter nach vorhergehender Unterdruckphase mit Wasser über Fasersättigung hinaus getränkt und danach schnell wieder getrocknet werden, um die Qualität der Leimfugen zu testen. Durch diese Beanspruchung, zuerst durch das Quellen und das darauf folgende Schwinden der Proben, werden große Spannungen in den Leimfugen erzeugt. Bei unbefriedigender Leimfugenqualität treten Fehlstellen in Form von Leimfugenöffnungen auf. Die addierte Länge dieser Öffnungen auf den sichtbaren Querschnittsflächen in Relation zur Summe der addierten Leimfugenlänge ergibt den Gesamtprozentsatz der Delaminierung und gilt als Maß für die Leimfugenqualität (JOHANSSON ET AL. 1994).

Diese Prüfmethode soll eine Aussage über die Beständigkeit von Leimholz insbesondere im Außengebrauch geben (HEDLUND 1988). Mit dieser Prüfung soll der praktische Einsatz von BSH-Elementen über eine längere Zeitspanne verkürzt simuliert werden.

Für dieses Prüfverfahren werden nach Verfahren B der DIN EN 391:2001 folgende Vorrichtungen benötigt:

- Druckgefäß,
- Trockenofen mit einer zirkulierenden Luftgeschwindigkeit von 2 bis 3 m/s, einer relativen Luftfeuchtigkeit von 8 bis 10% und einer Temperatur von 65 bis 75°C,
- Waage mit einer Fehlergrenze von 5 g.

Der Prüfkörper wird wie in Abbildung 6.3 dargestellt einem BSH-Elementes mit einem scharfen Werkzeug entnommen. Die vorgeschriebene Länge beträgt 75 ± 5 mm. Liegt die Querschnittsbreite b bei über 300 mm, darf die zu prüfende Probe in mehrere Prüfkörper von geteilt werden, wobei die Querschnittsbreite mindestens 130 mm betragen muss. Ebenso darf die Querschnittshöhe in mehrere Teile von mindestens 300 mm zerlegt werden, wenn sie mehr als 600 mm beträgt.



Abbildung 6.2: Druckgefäß und Trockenofen

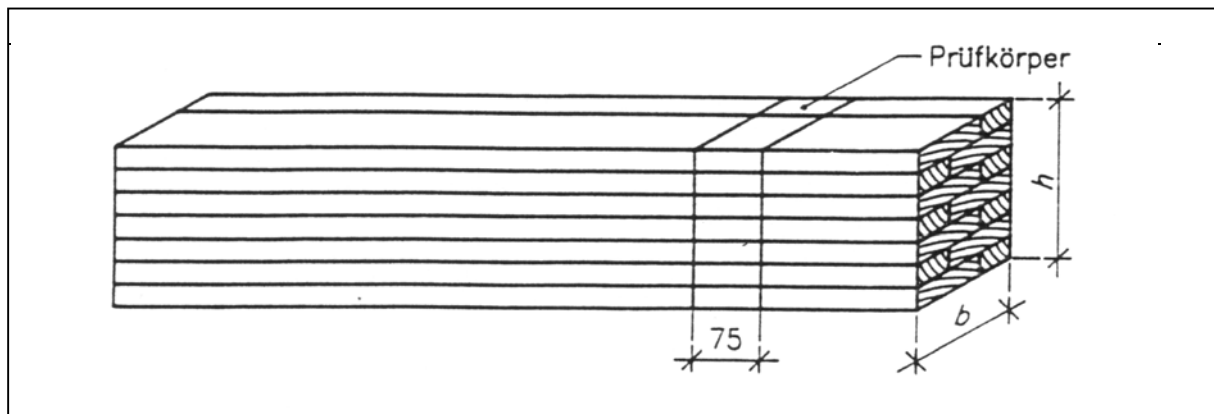


Abbildung 6.3: Prüfkörperentnahme

Nach dem Zuschnitt der Prüfkörper auf die richtigen Maße müssen die Gesamtlängen der Hirnholzleimfugen auf beiden Seiten des Prüfkörpers gemessen und festgehalten werden. Ebenso werden die Massen der Probestücke bestimmt. Der Druckbehälter wird mit den Prüfkörpern derart bestückt, dass die Hirnholzseiten frei von Wasser umspülbar sind. Um ein Auftreiben zu verhindern, werden die Holzproben beschwert, bevor anschließend so viel Wasser mit einer Temperatur von 10...20°C hinzugegeben wird, bis alle Proben vollständig mit Wasser bedeckt sind.

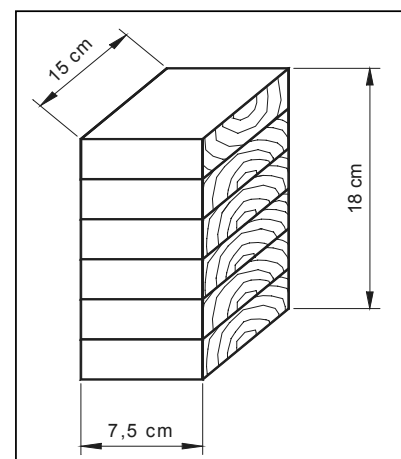


Abbildung 6.4: Prüfkörper für die Delaminierungsprüfung

Vor der Imprägnierung, wird ein Unterdruck von 70 bis 85 kPa (d.h. ein absoluter Druck von 15 bis 30 kPa bei Normalnull) erzeugt und für 30 Minuten gehalten. Darauf folgt eine zwei-stündige Phase mit einem Überdruck von 500 bis 600 kPa (500 bis 600 kPa absoluter Druck). Die jetzt mit Wasser voll imprägnierten Prüfkörper werden unmittelbar nach einer er-

neuten Massebestimmung in den Trockenofen so eingebaut, dass sie einen Mindestabstand von 50 mm voneinander aufweisen und die Hirnholzflächen parallel zum Luftstrom liegen. Die Trockenzeit ist abhängig von der Masse der einzelnen Prüfkörper. Die Trocknung ist beendet, wenn die Masse der Prüfkörper auf 100 bis 110% der Ausgangsmasse getrocknet ist. Jeder einzelne Prüfkörper wird mehrfach dem Trockenofen entnommen und gewogen bis das geforderte Endgewicht erreicht ist.

Die jetzt sichtbare Delaminierung ist zu messen und festzuhalten. Eventuelle Öffnungen in der unmittelbaren Umgebung von Ästen sind nicht als Delaminierung zu berücksichtigen. Delaminierte Stellen mit Länge unter 3 mm, werden ebenfalls nicht gewertet, sofern sie weiter als 5 mm von der nächsten Delaminierung entfernt liegen.

Aus den Leimfugenöffnungen auf den Hirnholzseiten muss für jeden Prüfkörper der jeweilige Gesamtprozentsatz und der Höchstprozentsatz der Delaminierung berechnet werden. Die addierte Länge dieser Öffnungen in Relation zur Leimfugenlänge ergibt den Gesamtprozentsatz der Delaminierung und gilt als Maß für die Leimfugenqualität:

- Gesamtprozentsatz der Delaminierung: $100 \cdot l_{\text{tot., delam}} / l_{\text{tot., Leimfuge}} [\%]$ **Gl. 6.1**

- Höchstprozentsatz der Delaminierung: $100 \cdot l_{\text{max., delam}} / (2 \cdot l_{\text{Leimfuge}}) [\%]$ **Gl. 6.2**

mit $l_{\text{tot., delam}}$ Delaminierungslänge aller Leimfugen des Prüfkörpers
 $l_{\text{tot., Leimfuge}}$ Gesamtlänge der Leimfugen an den beiden Hirnholzflächen jedes Prüfkörpers

$l_{\text{max., delam}}$ Höchstlänge der Delaminierung einer einzelnen Leimfuge des Prüfkörpers

l_{Leimfuge} Länge der einzelnen Leimfuge

Zur Dokumentation muss ein Prüfbericht mit allen relevanten Angaben angefertigt werden.

6.2.1.1 Versuchsablauf

Im Rahmen dieses Projektes wurden 74 Prüfkörper der Delaminierungsprüfung nach DIN EN 391:2001 Verfahren B unterzogen.

Es wurden Prüfkörper aus unterschiedlichen Balken mit insgesamt drei unterschiedlichen Lamellenstärken, die mit den drei verschiedenen Klebstoffen – MUF, PRF und PU - verklebt wurden, entnommen. Zusätzlich wurden vier Prüfkörper aus den kombinierten Buchen-Fichten-BSH-Balken für die Delaminierungsprüfung herausgeschnitten.

Tabelle 6.2: Probenverteilung bei der Delaminierungsprüfung

Lamellenstärke	PU	PRF	MUF
18 mm	8*	8*	9*
24 mm	8*	8*	8*
30 mm	8*	7*	6
30 mm Bu/Fi-Mix	4*	-	-

* Proben aus verschiedenen Trägern entnommen

Vor der Prüfung wurden die Prüfkörper unter Normalklima mehrere Wochen gelagert, um sicherzustellen, dass die Klebstoffe völlig aushärten konnten.

Die Prüfung wurde anschließend in der Delaminierungsprüfanlage der BASF AG in Ludwigshafen - wie oben beschrieben - durchgeführt. Der Ablauf wurde in Form eines so genannten Leimbuches festgehalten und die Ergebnisse wurden für jeden Prüfkörper (beidseitig) markiert, aufgenommen und mit Hilfe von Fotos und einem Kopiergerät dokumentiert.

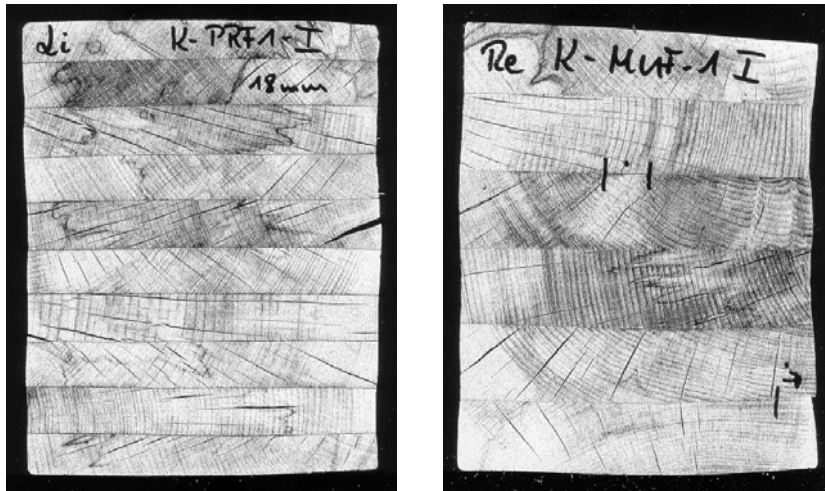


Abbildung 6.5: Fotokopie delaminierter Prüfkörper

6.2.1.2 Ergebnisse der Delaminierungsprüfungen

Die Auswertung der geprüften Prüfkörper ergab deutliche Unterschiede zwischen den drei verwendeten Klebstoffen und der jeweiligen Lamellenstärke.

Die Ergebnisse der Delaminierungsprüfung werden in Abbildung 6.9 zusammenfassend dargestellt. Es wird klebstoffübergreifend deutlich, dass der Prozentanteil der Fugenöffnungen größer wird, je stärker die verklebten Lamellen sind. Ebenfalls zeigen sich deutliche Ergebnisunterschiede zwischen den drei verschiedenen Klebstofftypen.

Prüfkörper, die aus mit Polyurethanklebstoff (PU) verklebten Balken entnommen wurden, wiesen mit Abstand die größten Gesamtprozentanteile der Delaminierung auf. Es ergaben sich Mittelwerte von 31,3% (Lamellenstärke 18 mm), 47,5% (24 mm) und 66,2% (30 mm). Bei den Prüfkörpern, die mit Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Harz (PRF) verklebt wurden, lagen die Resultate bereits deutlich darunter, mit Mittelwerten von 7,0% bei einer Lamellenstärke von 18 mm, 9,6% bei 24 mm und 13,5% bei 30 mm. Die geringsten Gesamtprozentanteile der Delaminierung und damit besten Resultate wurden mit den Prüfkörpern erreicht, die mit Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz verklebt waren. Dort lagen die Mittelwerte im Bereich von 3,3% (18 mm) und 9,3% (30 mm). Die deutlichen Unterschiede bei den verschiedenen Lamellenstärken lassen sich durch Quellen und Schwinden verursachte größere Spannungen in den stärkeren Lamellen erklären.

Die Prüfkörper, die den mit Polyurethan-Klebstoff hergestellten kombinierten Buchen-Fichten-BSH-Balken (Lamellenstärke 30 mm) entnommen wurden, erzielten deutliche bessere Resultate als die reinen Buchen-Prüfkörper, die mit dem gleichen Klebstoff hergestellt wurden. Im direkten Vergleich stehen hier Mittelwerte von 66,2% (Buche) zu 34,0% (Mix-Balken). Dieses Ergebnis könnte mit dem unterschiedlichen Quell- und Schwindverhalten von Buchen- und Fichtenholz zusammenhängen.



Abbildung 6.6: Delamierte Prüfkörper (Lamellenstärke 18 mm)

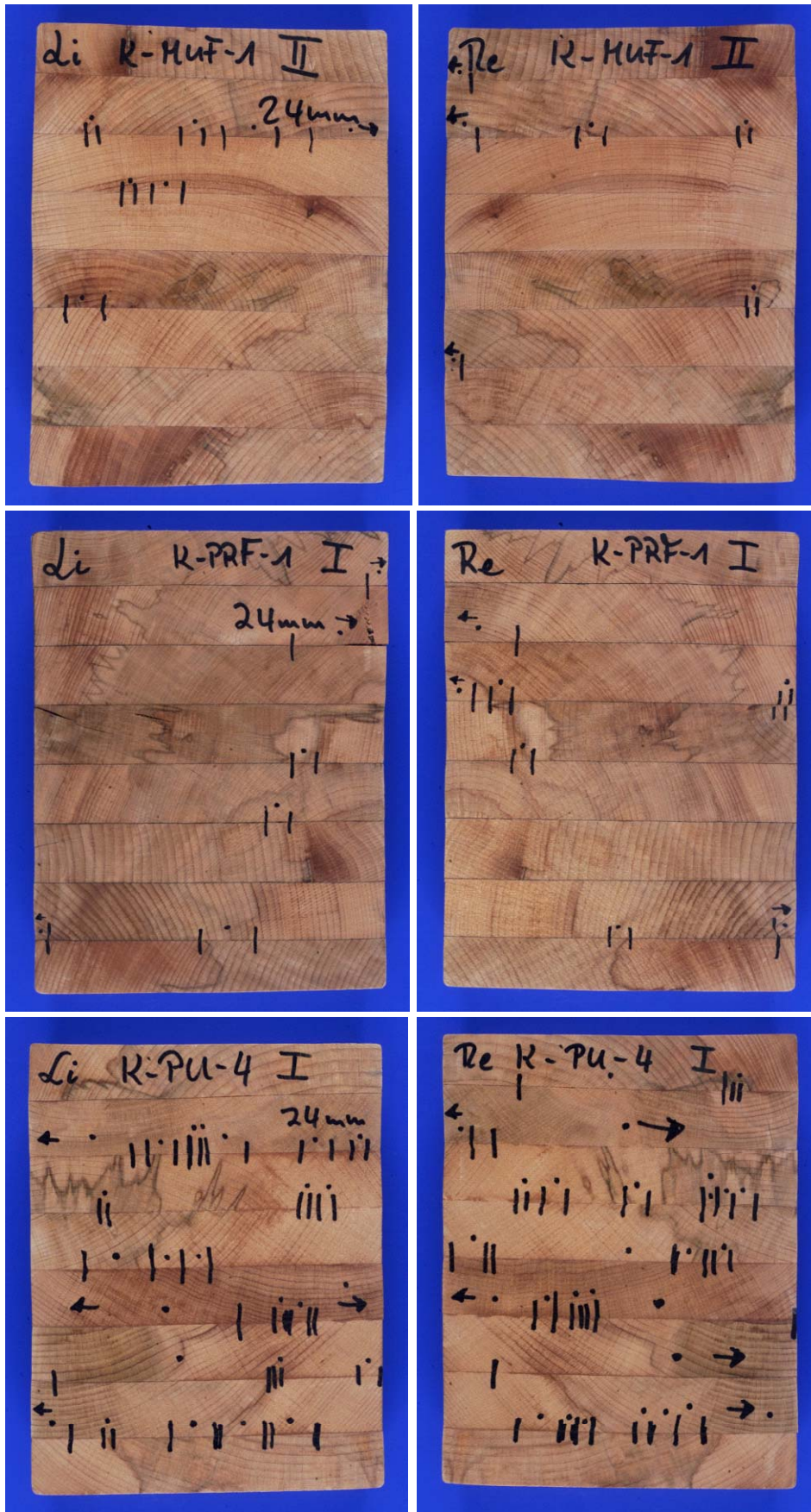


Abbildung 6.7: Delamierte Prüfkörper (Lamellenstärke 18 mm)

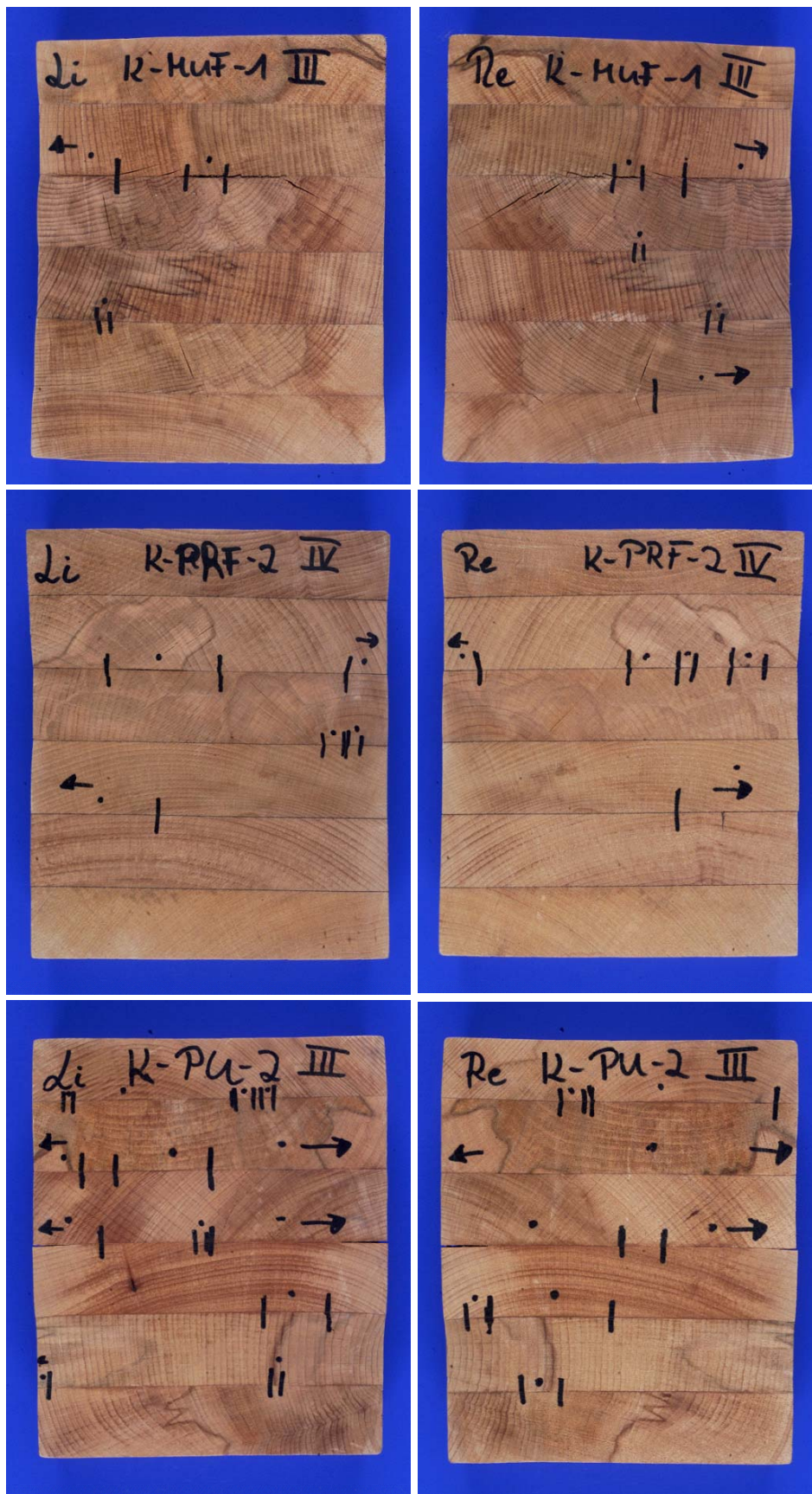


Abbildung 6.8: Delaminierte Prüfkörper (Lamellenstärke 30 mm)

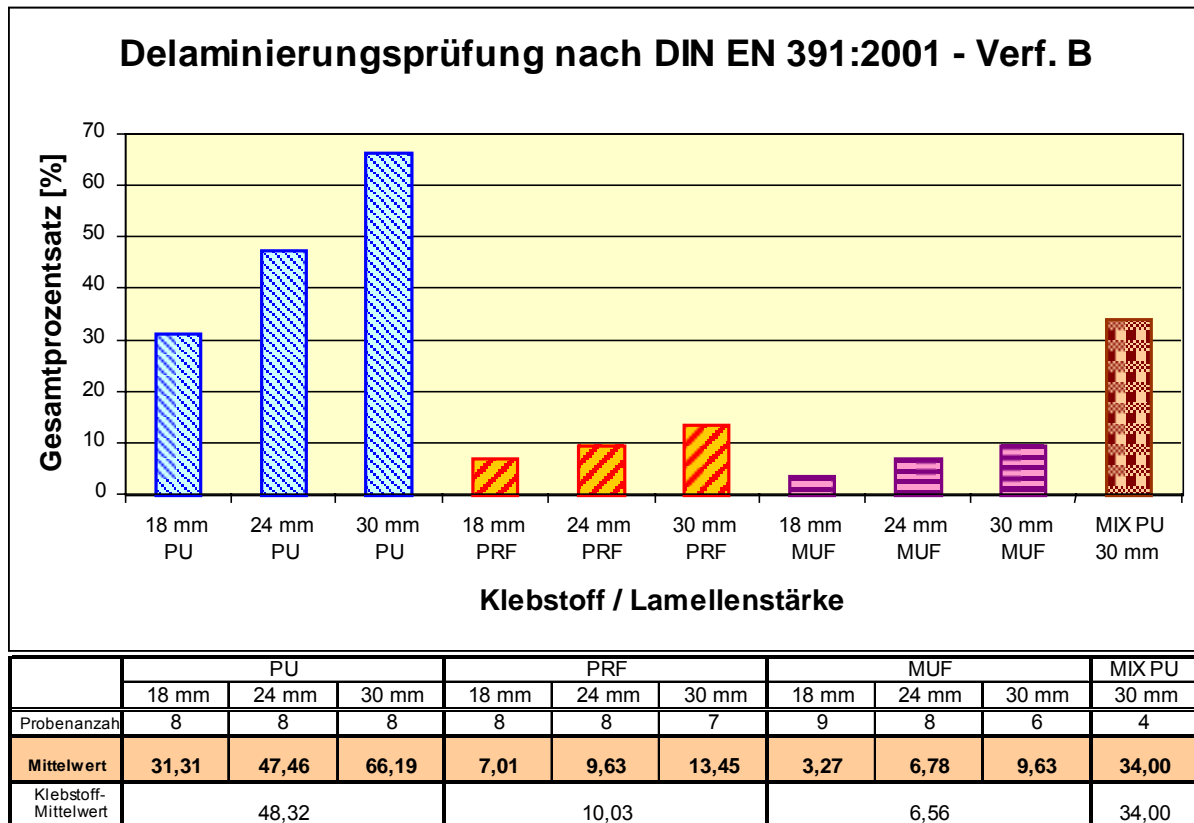


Abbildung 6.9: Ergebnisse der Delaminierungsprüfung nach DIN EN 391:2001, Verf. B

Nach DIN EN 386:2002 gilt die Prüfung als bestanden, wenn der Gesamtprozentsatz der Delaminierung maximal 4% erreicht. Dieses Kriterium erfüllen im Mittel nur die Prüfkörper, die mit MUF-Harz verklebten Prüfkörper, sowie einige, die mit PRF-Harz verklebt und mit einer Lamellenstärke von 18 mm hergestellt wurden.

Grundsätzlich üben verschiedene Faktoren, wie der verwendete Klebstoff sowie die Nachlagerungszeit der Prüfkörper zwischen Verklebung und Prüfung, einen Einfluss auf die Ergebnisse der Delaminierungsprüfung nach DIN EN 391:2001 aus. Ebenso ist die Jahrringlage der Lamellen von Bedeutung. Untersuchungen mit Fichtenholz haben gezeigt, dass Prüfkörper mit liegender Jahrringordnung und mit Markröhren deutlich schlechtere Ergebnisse erreichen als Prüfkörper mit stehenden Jahrringen (PITZNER 1999).

Das angewendete Prüfverfahren ist in den letzten Jahren hinterfragt worden. Es hat sich mehrfach die Frage gestellt, ob die Ergebnisse wiederholbar sind, da enorme Ergebnisunterschieden bei benachbarten Prüfkörpern beobachtet wurden. Außerdem erscheint es fragwürdig, ob dieses Prüfverfahren für eine Holzart sinnvoll ist, deren Anwendung hauptsächlich im Innenbereich liegt.

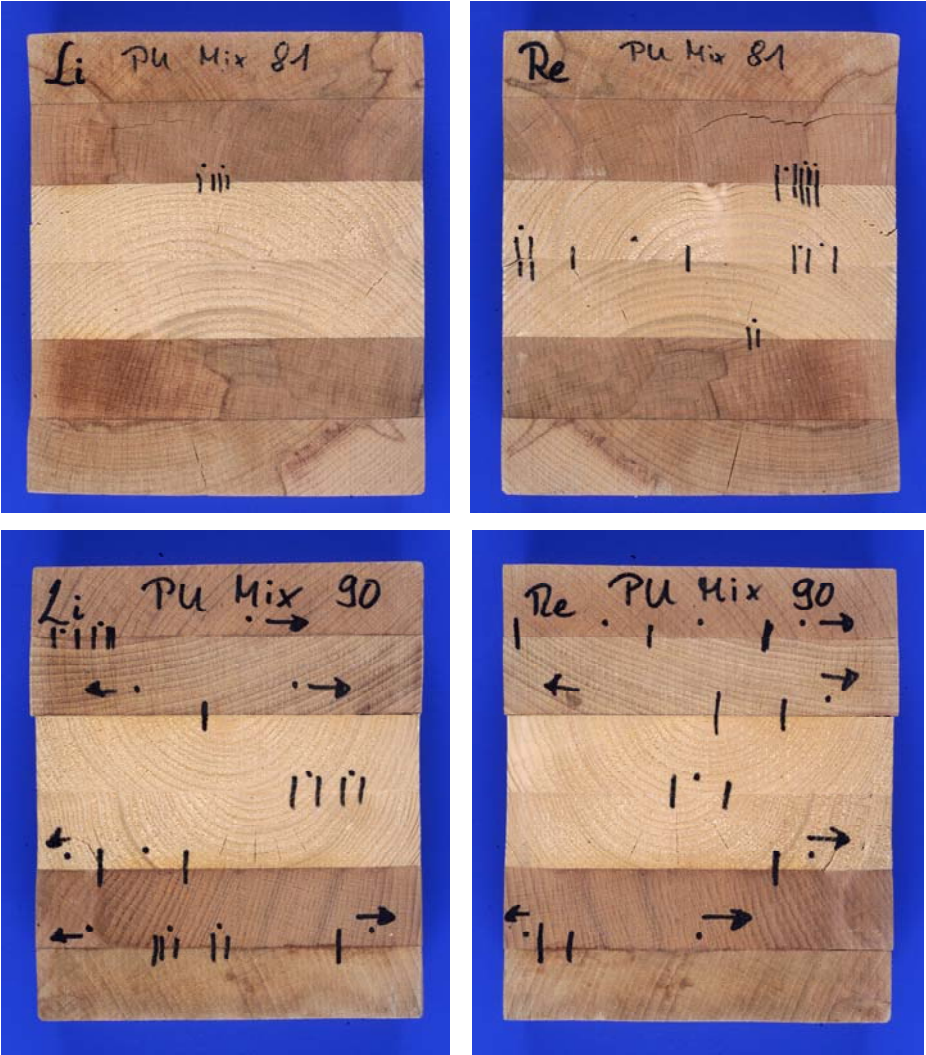


Abbildung 6.10: Delaminierte Mix-Prüfkörper

6.2.2 Klimalagerung

Balkenabschnitte mit einer Länge von einem Meter wurden an drei unterschiedlichen Orten platziert:

- Klimakammer mit einem kontrollierten Wechselklima von 25°C / 35% und 20°C / 85% (in Anlehnung an DIN 52184:1974): 17 Prüfkörper, davon 8 mit versiegelten Hirnenden,
- Außenbereich unter Dach (Sonneneinstrahlung, Schlagnässe bei Wind möglich, mittleres registriertes Klima: 7,9°C, 67%): 7 Prüfkörper,
- Dachboden (unbeheizt, Temperaturbereich 8...25°C, rel. Luftfeuchtigkeit 59-81%): 8 Prüfkörper.

Die Prüfkörper auf dem Dachboden und im Außenbereich wurden den entsprechenden Situationen im praktischen Einsatz unterworfen. Es wurde an allen drei Orten beobachtet, ob Fugenöffnungen entstehen. Die hohen Quell- und Schwindmaße des Buchenholzes verursachen eine starke Leimfugenbeanspruchung.

An jedem der drei Orte wurden ausgewählte Balken mit Messelektroden aus V4A mit isoliertem Elektrodenschaft zur elektrischen Holzfeuchtemessung an verschiedenen Stellen mit unterschiedlichen Tiefen versehen, um Feuchteänderungen innerhalb der Balken feststellen zu können.

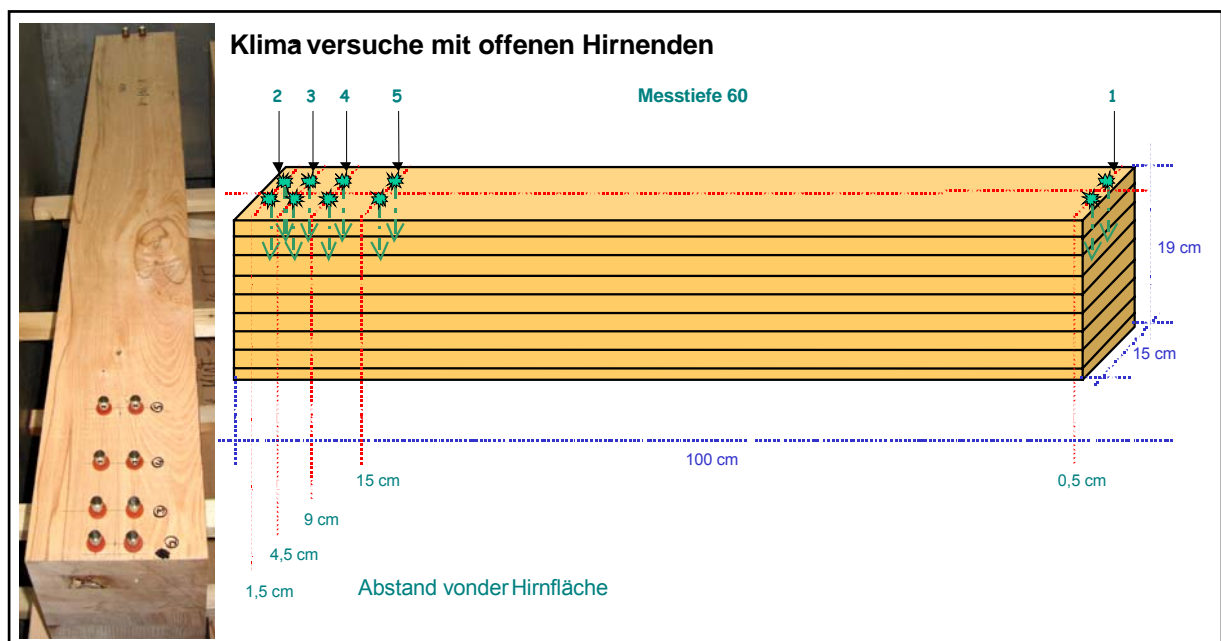


Abbildung 6.11: Positionierung der Messelektroden (Prüfkörper mit offenen Hirnenden in der Klimakammer)

Bei 8 der 17 Prüfkörper in der Klimakammer wurden die Hirnenden mit PVAc-Leim versiegelt, um die Feuchteänderungen durch die Oberfläche beobachten zu können. Alle anderen Balkenabschnitte blieben an den Hirnenden unversiegelt, um auch eine Feuchteaufnahme über die Hirnflächen zu ermöglichen. Die Langzeitversuche mit den Prüfkörpern auf dem Dachboden und im Außenbereich unter Dach dauern noch an und werden auch nach Abschluss dieses Projektes weiter beobachtet.

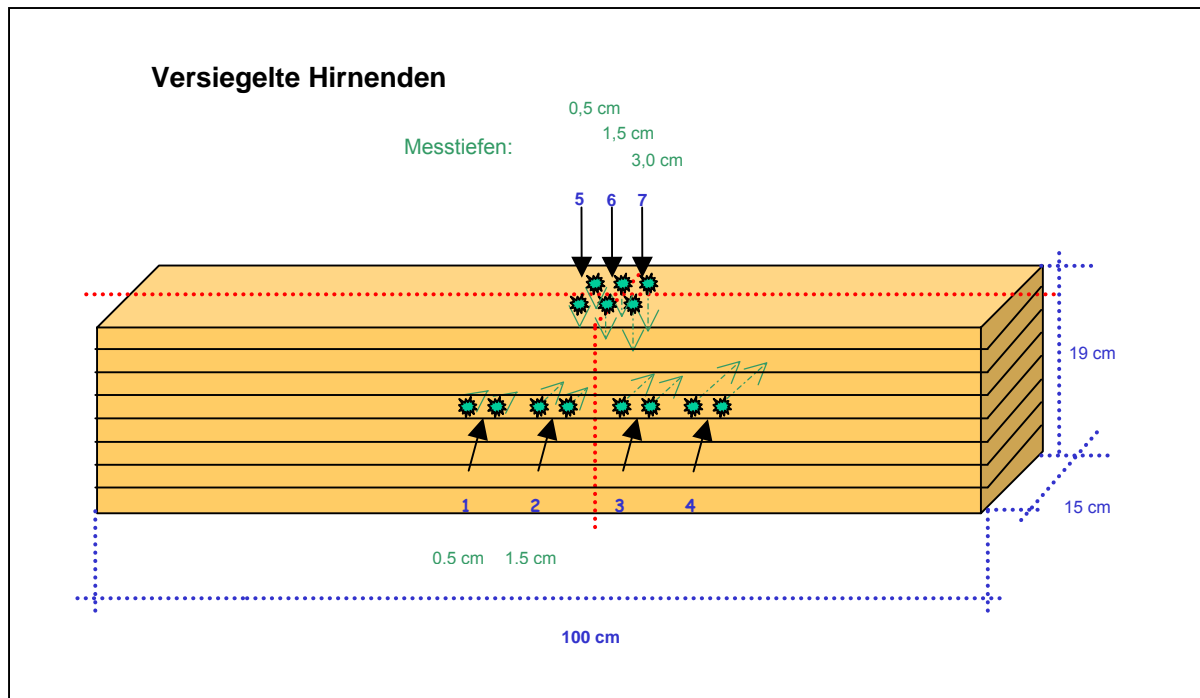


Abbildung 6.12: Positionierung der Messelektroden (Prüfkörper mit versiegelten Hirnenden in der Klimakammer)



Abbildung 6.13 Klimalagerung – Balkenabschnitte im Freien unter Dach („Holzplatz“)

Das Klimawechsel in der Klimakammer erfolgte immer dann, sobald die Balkenabschnitte ihre Holzfeuchte nicht mehr veränderten. Im August 2002 wurde mit dem trockenen Klima (25°C / 35%) begonnen (Ausgangsfeuchte: 7,2...10,4%, Ø 8,5%); acht Wochen später konnte auf das feuchte Klima (20°C / 85%) umgestellt werden. Nach zehn Wochen im feuchten Klima wurde die Zielholzfeuchte erreicht und wieder auf das trockene Klima umgestellt. Im trockenen Klima benötigten die Balkenabschnitte ca. 12 Wochen, um die Zielfeuchte von ca. 8 bis 9% zu erreichen, bei der dann die Fugenöffnungen auf den Längsseiten der Balkenabschnitte aufgenommen und dokumentiert wurden.

6.2.2.1 Ergebnisse der Klimalagerung

Nach Ablauf von 30 Wochen Versuchsdauer wurden bei allen Balkenabschnitten - Klimakammer, Holzplatz und Dachboden - die Fugenöffnungen (Delaminierung) auf den Längssei-

ten aufgenommen, addiert und in Relation zur Fugengesamtlänge der Längsseiten gesetzt. Auf diesem Weg wurde der Delaminierungsprozentsatz für jeden Prüfkörper berechnet.

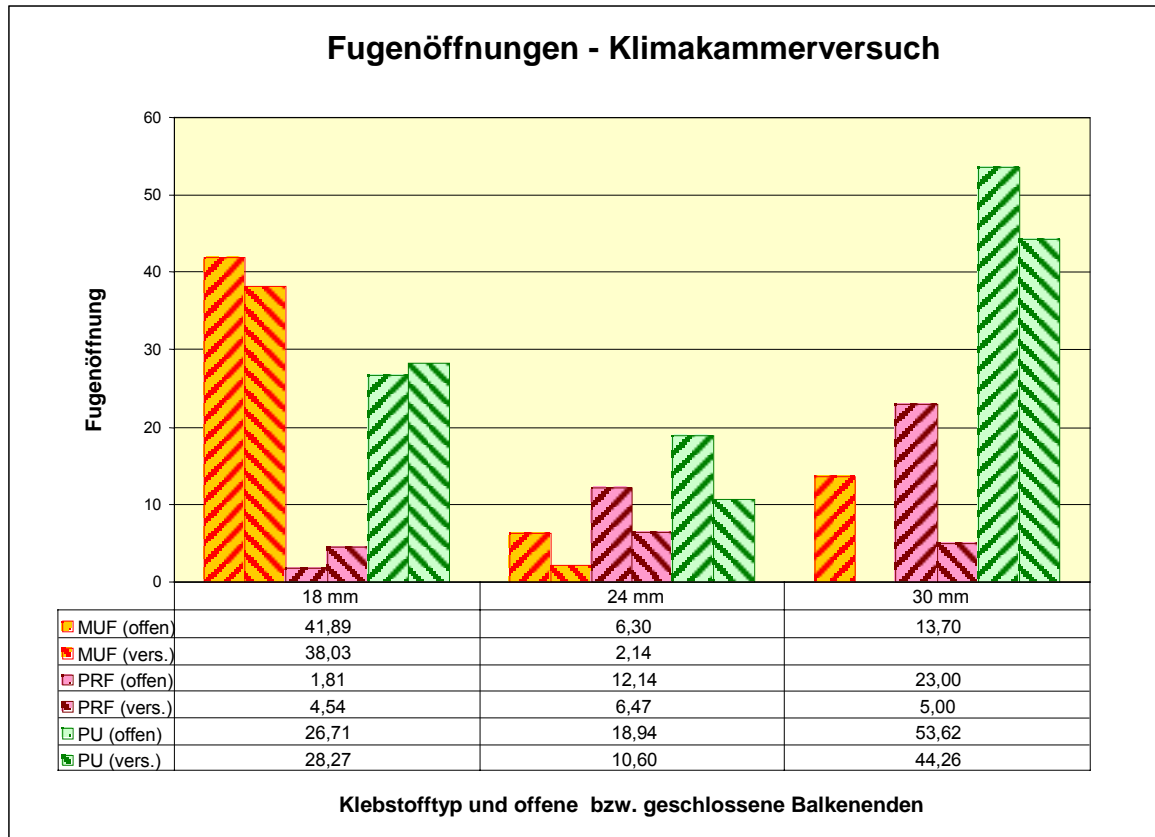


Abbildung 6.14: Fugenöffnungen in der Klimakammer

6.2.2.2 Lagerung in der Klimakammer

In der Klimakammer wurden Prüfkörper mit offenen und verschlossenen Hirnenden dem Wechselklima unterzogen. Die Ergebnisse zeigen einen Einfluss der Versiegelung der Hirnenden. In Abbildung 6.14 sind die Prüfkörper mit offenen und verschlossenen Hirnflächen direkt im Vergleich zu sehen. Bei sechs von acht Vergleichspaaren liegt der Delaminierungsrate der Prüfkörper mit offenen Hirnenden über dem der Prüfkörper mit verschlossenen Hirnenden. Bei den Lamellen mit 18 mm Stärke ist dieser Einfluss am geringsten. Beim MUF-Harz liegen die Werte bei 41,9% (offen) und 38,0% (geschlossen). Die Prüfkörper, die mit PRF-Harz und PU-Klebstoff hergestellt wurden zeigen andere Ergebnisse. Dort lagen die Werte der Balkenabschnitte mit geschlossenen Hirnenden knapp über denen mit offenen Hirnenden.

Die Prüfkörper mit einer Lamellenstärke von 24 mm zeigen einen größeren Einfluss der Versiegelung. Beim MUF-Harz liegen die Werte bei 6,3% (offen) und nur 2,1% (geschlossen) Fugenöffnung, beim PRF-Harz bei 12,1% (offen) und bei gut der Hälfte mit 6,5% Fugenöffnung bei den Prüfkörpern mit geschlossenen Hirnenden. Ebenso erreichte der Prüfkörper mit offenen Hirnenden beim PU-Klebstoff ca. den doppelten Wert mit 18,9% als das Ergebnis bei geschlossenen Hirnenden mit 10,6% Fugenöffnung.

Die größten Unterschiede sind bei den Balkenabschnitten mit einer Lamellenstärke von 30 mm zu erkennen. Die mit PRF-Harz verklebten Abschnitte erreichten mit offenen Hirnenden einen Wert von 23% während mit geschlossenen Hirnenden nur eine Fugenöffnung von

5% zu beobachten war. Die mit PU-Klebstoff hergestellten Balkenabschnitte ergaben insgesamt gesehen hohe Fugenöffnungsprozentsätze von 53,6% mit offenen Hirnenden und einen etwas geringeren, aber dennoch hohen Wert von 44,3% Fugenöffnung versiegelten Hirnenden.

Bei Betrachtung aller Ergebnisse des Wechselklimaversuches ist festzustellen, dass die besten Ergebnisse bei den mit MUF-Harz und PU-Klebstoff verklebten Balkenabschnitten erreicht wurden, die mit der mittleren Lamellenstärke von 24 mm hergestellt wurden. Die Unterschiede der Fugenöffnungsraten der MUF-verklebten Proben bei 18 mm (41,9% und 38,1%) und 24 mm Lamellenstärke (6,3% und 2,1%) beziehungsweise der PU-verklebten Proben bei 24 mm (18,9% und 10,6%) und 30 mm Lamellenstärke (53,6% und 44,3%) ist beträchtlich. Außerdem ist zu beobachten, dass nur die Ergebnisse der mit PRF-Harz verklebten Balkenabschnitte, tendenziell den Ergebnissen der Delaminierungsprüfung (siehe Abschnitt 6.2.1) entsprechen, bei der die Fugenöffnungswerte mit der verwendeten Lamellendicke zunahmen.



Abbildung 6.15: Balkenabschnitte aus der Klimakammer mit Messelektroden (versiegelte Hirnenden)



Abbildung 6.16: Balkenabschnitte aus der Klimakammer mit Messelektroden (offene Hirnenden)



Abbildung 6.17: Verschiedene Balkenabschnitte aus der Klimakammer

6.2.2.3 Lagerung auf dem Holzplatz

Die Balkenabschnitte, die auf dem Holzplatz im Freien unter Dach lagerten, waren an den Hirnenden unversiegelt. Die Temperatur betrug im Minimum $-11,4^{\circ}\text{C}$ und im Maximum $28,9^{\circ}\text{C}$, der Mittelwert lag bei $7,9^{\circ}\text{C}$. Die relative Luftfeuchtigkeit betrug im Mittel 67% (siehe Anhang).

Erneut fällt der hohe Fugenöffnungswert (37,1%) des mit MUF-Harz hergestellten Prüfkörpers bei einer Lamellenstärke von 18 mm auf. Im Gegensatz war die Fugenöffnung bei einer Lamellenstärke von 24 mm mit 2,5% äußerst gering. Bei 30 mm Lamellenstärke betrug die Fugenöffnung 11,3%.

Anders als bei den Ergebnissen der Wechselklimaversuche, erreichte der PRF-Balkenabschnitt mit 18 mm Lamellenstärke einen höheren Wert (12,5%), als der Prüfkörper mit 24 mm Lamellenstärke (5,3%).

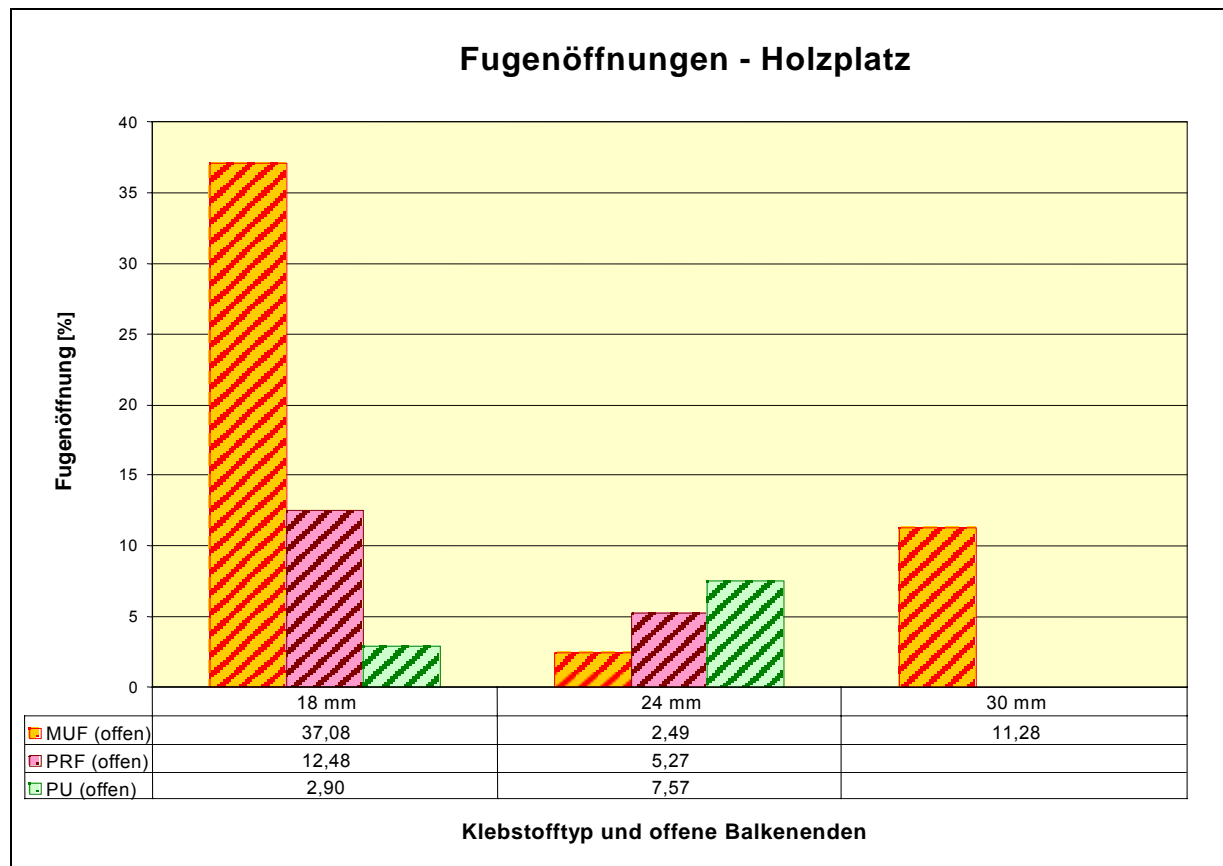


Abbildung 6.18: Holzplatz-Klimaversuche

Ebenfalls im Gegensatz zum Wechselklimaversuch in der Klimakammer lag der PU-Prüfkörper mit 18 mm Lamellenstärke mit einem Ergebnis von 2,9% unter dem Wert des PU-Prüfkörpers mit 24 mm Lamellenstärke (7,6%). Dieses Ergebnis ähnelt dem der Delaminierungsversuche (siehe Abschnitt 6.2.1).

Wie auf den Fotos (Abbildung 6.19) zu sehen, sind unregelmäßige Verfärbungen durch Pilzbefall bei diesen schutzmittelunbehandelten Prüfkörpern aufgetreten.



Abbildung 6.19: Holzplatz-Klimaversuche; drei Balkenabschnitte von beiden Seiten

6.2.2.4 Lagerung auf dem Dachboden

Die Prüfkörper, die auf dem Dachboden lagerten, wiesen die geringsten Fugenöffnungen auf. Sämtliche mit MUF bzw. PRF verklebten Balkenabschnitte sowie der PU-verklebte Balkenabschnitt mit 30 mm Lamellenstärke zeigten überhaupt keine Fugenöffnungen nach der Lagerung. Lediglich die PU-Balkenabschnitte mit Lamellenstärken von 18 bzw. 24 mm wiesen geringe Fugenöffnungen (2,4 bzw. 6,0%) auf. Die Temperatur schwankte im Versuchszeitraum zwischen 8 und 25°C, die relative Luftfeuchtigkeit lag im Bereich zwischen 59 und 81%.

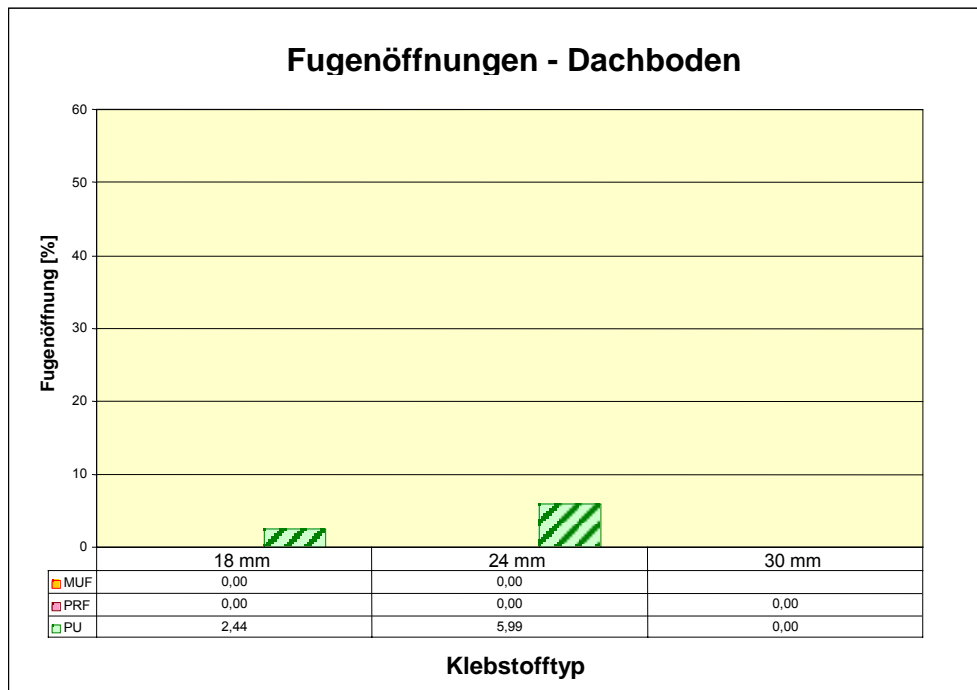


Abbildung 6.20: Fugenöffnungen auf dem Dachboden



Abbildung 6.21: Klimaversuche auf dem Dachboden; Balkenabschnitt von drei Seiten

6.2.2.5 Schlussfolgerungen der Klimalagerungen

Aus den Klimalagerungsversuchen wird deutlich, dass die Verwendung von Buchen-Brettschichtholz – unabhängig von der natürlichen Dauerhaftigkeit, nur in Bezug auf die Verklebung der Lamellen – nicht in allen Bereichen unproblematisch ist. Insgesamt können aufgrund der geringen Probenanzahl sowie der begrenzten Zeitspanne für diese Klimalagerungsversuche nur Aussagen mit Richtwertcharakter getroffen werden.

Die Wechselklimaversuche in der Klimakammer haben gezeigt, dass es von Bedeutung ist, ob die Hirnholzflächen der Balkenabschnitte versiegelt sind und somit der Feuchteausaustausch innerhalb des Balkens verlangsamt wird. Dieses machte sich bei offenen Hirnholzflächen durch höhere bzw. bei versiegelten Hirnholzflächen durch geringere Fugenöffnungswerte auf den Längsseiten der Balkenabschnitte bemerkbar. Dieser Effekt dürfte sich aber bei längeren Balkenabschnitten verringern.

Grundsätzlich sind die verschiedenen Einflussfaktoren auf die Ergebnisse der Delaminierungsprüfung nach DIN EN 391:2001 - Verfahren B, wie beispielsweise der verwendete Klebstoff sowie die Nachlagerungszeit der Prüfkörper zwischen Verklebung und Prüfung und die Jahrringlage der Lamellen, auch auf diese Untersuchungen übertragbar.

Es zeigt sich auch ein Einfluss der Lamellenstärke auf die Fugenöffnungswerte. Hier offenbaren sich aber nicht so deutliche Tendenzen wie bei der Delaminierungsprüfung. Um hier eine klare Aussage treffen zu können erwies sich die Zahl der Prüfkörper als zu gering. Die Ergebnisse der Delaminierungsprüfung mit höheren Fugenöffnungsraten bei größerer Lamellenstärke konnten nur mit den PRF-verklebten Proben bestätigt werden.

Auch bei den auf dem Holzplatz - im Freien unter Dach – gelagerten Balkenabschnitten zeigten sich wie im Wechselklimaversuch widersprüchliche Ergebnisse, die keine eindeutige Tendenz bezüglich des Einflusses der Lamellenstärke auf die Delaminierungsrate offenbarten. Auch hier muss auf die zu geringe Zahl von Prüfkörpern verwiesen werden.

Lediglich die Anwendung im unbeheizten Dachbodenbereich führte zu so gut wie keinen Fugenöffnungen. Hier bleibt jedoch die Langzeitbeobachtung über eine Sommerperiode hinaus abzuwarten.

6.3 Mechanische Eigenschaften

P. Becker, B. Pitzner

6.3.1 Vorversuche mit Kleinproben

Im Rahmen des Projektes wurden 1983 Kleinproben aus verschiedenen Holzkombinationen (siehe Tabelle 6.3) unter Verwendung von acht Klebstoffprodukten hergestellt und diese auf ihre Druckscherfestigkeit bzw. Querkzugfestigkeit geprüft. Die Prüfungen erfolgten in Anlehnung an DIN 68141:1969 und DIN EN 392:1995. Die systematische Untersuchung der Kleinproben sollte darüber Aufschluss geben, welche der untersuchten Klebstoffe sich für die Herstellung von Buchen-BSH eignen könnten (WALTHER 2002).

Zur Durchführung der Versuche wurden verklebte Prüfkörper aus ungedämpfter Buche ohne Rotkern, gedämpfter Buche ohne Rotkern, ungedämpfter Buche mit Rotkern, gedämpfter Buche mit Rotkern sowie Buchenholz mit Fichtenholz hergestellt.

Tabelle 6.3: Verklebte Kleinproben mit Abkürzungsschlüssel

Holzart	Abkürzungen
Ungedämpfte Buche ohne Rotkern	B1
Gedämpfte Buche ohne Rotkern	B2
Ungedämpfte Buche mit Rotkern	B3
Gedämpfte Buche mit Rotkern	B4
Gedämpfte Buche mit Fichte	B5

6.3.1.1 Klebstoffe

In diesen Untersuchungen wurden acht Klebstoffe (vier verschiedene Klebstofftypen) von unterschiedlichen Herstellern zur Verklebung der Prüfkörper eingesetzt. Das Ziel bestand nicht darin, die Klebstoffe miteinander zu vergleichen, sondern zu sondieren, welcher Klebstoff sich für weiterführende Untersuchungen eignet. Aus diesem Grund wurden die Klebstoffe folgendermaßen bezeichnet: MUF1, MUF2, PRF1, PRF2, PU1, PU2, PU3 und Epoxid.

Alle eingesetzten Klebstoffe sind von der FMPA Baden-Württemberg, Otto-Graf-Institut, Stuttgart nach DIN 68141:1969 sowie DIN EN 302:1990 für die Verleimung von tragenden Bauteilen als geeignet befunden worden. Bei der Verleimung aller Prüfkörper betrug die Holztemperatur 20°C.

Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz (MUF-Harz)

Für die Untersuchungen wurde von zwei verschiedenen Herstellern jeweils ein wasserlösliches Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz verwendet. Klebstoffe, die bei der Aushärtungsreaktion Wasser abspalten, werden auch als Leime (Holzleimbau) bezeichnet. Bei den Produkten handelt es sich um die Leimsysteme Kauramin Leim 681 flüssig mit Kauramin Härter 686 flüssig der Firma BASF AG in Ludwigshafen und dem DYNOMEL L-435 flüssig mit Härter H-469 flüssig der Firma DYNO INDUSTRIER A.S. in Lillestrøm, Norwegen.

Die Leimflotte bestand bei beiden Leimen aus 100 Gewichtsteilen Leim und 20 Gewichtsteilen Härter. Der Leim ist eine wässrige Lösung eines Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Kondensationsproduktes, der Härter eine wässrige Lösung aus Ameisensäure. Während der

Leimabbindung findet eine Polykondensationsreaktion statt, bei der Wasser abgespalten wird. Bei Herstellung der Probekörper - kleine „Balken“ aus zwei miteinander verklebten Lamellen: Endmaß 50 x 50 x 1100 mm³ - wurde als Leimauftragsmenge 350 g/m² je Lamellenseite verwendet.

Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Harz (PRF-Harz)

Für die Untersuchungen wurde von zwei verschiedenen Herstellern jeweils ein Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Harz - ebenfalls wasserlösliche Klebstoffe - verwendet. Es handelt sich dabei um die Leimsysteme Kauresin Leim 460 flüssig mit Kauresin Härter 466 Pulver der Firma BASF AG in Ludwigshafen und dem DYNOSOL S-199 flüssig mit Härter H-629 Pulver der Firma DYNO INDUSTRIER A.S. in Lillestrøm, Norwegen.

Die Leimflotte bestand aus 100 Gewichtsteilen Leim und 30 Gewichtsteilen Härter bei dem Leim der BASF AG und 20 Gewichtsteilen Härter bei dem Leim der Firma DYNO INDUSTRIER A.S. Der Leim ist eine wässrige Lösung eines Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Kondensationsproduktes. Der pulverförmige Härter basiert auf Paraformaldehyd (Sicherheitsdatenblatt BASF, 1998; Sicherheitsdatenblatt DYNO 1996). Während der Leimabbindung findet eine Polykondensationsreaktion statt, bei der Wasser abgespalten wird. Bei der „Balkenherstellung“ betrug die Leimauftragsmenge 350 g/m² je Lamellenseite.

Polyurethanklebstoffe (PU-Klebstoff)

Für die Versuche wurden drei einkomponentige Polyurethanklebstoffe von drei verschiedenen Herstellern verwendet. Es handelte sich dabei um den Klebstoff Kauranat 970 flüssig der Firma BASF AG in Ludwigshafen, den Klebstoff DYNOPUR 9200 der Firma DYNO INDUSTRIER A.S. in Lillestrøm, Norwegen und den Klebstoff Purbond HB 110 der Firma Collano Ebnöther AG in Sempach-Station, Schweiz.

Diese Klebstoffe härten unter dem Einfluss der Luftfeuchtigkeit und der Feuchtigkeit des Holzes aus. Es findet eine Polyadditionsreaktion statt, bei der kein Wasser abgespalten wird. Die Leimauftragsmenge bei der „Balkenherstellung“ betrug 300 g/m² je Lamellenseite.

Epoxidharz

Für die Versuche wurde das Epoxidharz WEVO-Spezialharz EP20/VP1 mit dem WEVO-Härter B20/1 der Firma WEVO-Chemie GMBH & Co in Ostfildern-Kemnat verwendet.

Bei der Herstellung des Harz-Härter-Gemisches wurde ein Mischungsverhältnis von 100 Gewichtsteilen WEVO-Spezialharz und 45 Gewichtsteilen WEVO-Härter gewählt (Technisches Merkblatt WEVO, 1996). Es handelt sich dabei um ein Polyadditionsprodukt aus der Reaktion von Polyphenolen mit Epichlorhydrin. Dieses Harz wird hauptsächlich für Sanierungsarbeiten verwendet. Bei der „Balkenherstellung“ betrug die Leimauftragsmenge 350 g/m² je Lamellenseite.

6.3.1.2 Herstellung der Prüfkörper

Lamellenherstellung

Aus den vorhandenen Brettern wurden Lamellen mit den Abmessungen 30 x 60 x 1100 mm³ angefertigt. Zur Herstellung der Lamellen wurde zunächst die Blockware abgelängt, besäumt und auf die Stärke von 30 mm gehobelt. Anschließend erfolgte das Abrichten der besäumten Schmalflächen, das Herausschneiden von Lamellen mit und ohne Rotkern und das rechtwinklige Ablängen der Stirnenden auf 1100 mm.

Mit Hilfe der Reststückabschnitte wurde eine gravimetrische Holzfeuchtigkeitsbestimmung nach DIN 52183:1977 durchgeführt. Die Masse (m_u) wurde zunächst im feuchten Zustand bestimmt und anschließend in einem Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz bei $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ gedarrt. Danach wurden die Abschnitte in einem Exsikkator abgekühlt und es erfolgte eine erneute Massenbestimmung (m_0). Die Holzfeuchte u berechnete sich wie folgt:

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad \text{Gleichung 6.3}$$

Die hergestellten Lamellen wurden im Normklima 20/65 gelagert, bis sich eine Holzfeuchtigkeit von $(10 \pm 2) \%$ einstellte.

Sortierung der Lamellen

Nach der Lamellenherstellung wurden die Lamellen nummeriert und die Rohdichte aus den Probenabmessungen und der Masse bestimmt. Die Lamellen der unterschiedlichen Gruppen (B1, B2, B3, B4, B5) wurden nach ihrer Rohdichte aufsteigend sortiert. Auf dieser Rohdichteverteilung basierend erfolgte die Verklebung einer Lamelle mit einer anderen Lamelle, welche die nächst höhere Rohdichte aufwies. So konnten Lamellen mit annähernd gleicher Rohdichte miteinander verleimt werden.

Die Verleimung der Paare erfolgte abwechselnd mit den acht verwendeten Klebstoffen. Es wurden jeweils drei Paare mit demselben Klebstoff verklebt, daraus entstanden pro Gruppe 24 Lamellenpaare (siehe Tabelle 6.4).

Tabelle 6.4: Lamellenpaare für Herstellung von Druckscher- und Querkzugprüfkörpern

Klebstoff	Verklebte Lamellenpaare					
	B1 Bu ungedämpft ohne Rotkern	B2 Bu gedämpft ohne Rotkern	B3 Bu ungedämpft mit Rotkern	B4 Bu gedämpft mit Rotkern	B5 Bu gedämpft mit Fichte	
MUF1	3	3	3	3	3	
MUF2	3	3	3	3	3	
PRF1	3	3	3	3	3	
PRF2	3	3	3	3	3	
PU1	3	3	3	3	3	
PU2	3	3	3	3	3	
PU3	3	3	3	3	3	
Epoxid	3	3	3	3	3	
Summe	24	24	24	24	24	120

Verklebung der Lamellen

Nach der Klimatisierung wurden die Lamellen auf die Normstärke (25 mm) gehobelt. Das Hobeln erfolgte erst kurz vor der Verklebung, um unter anderem das Aufsteigen von Holzinhaltstoffen, welche die Ergebnisse der Verklebung beeinflussen können, zu vermeiden.

Anschließend wurde die Leimflotte hergestellt. Die Auftragsmenge muss so hoch sein, dass nach dem Verpressen an jeder Leimfuge durchgehend Leimperlen austreten.

Der beidseitige Leimauftrag erfolgte mit Hilfe eines Leimkamms. Nach einer Wartezeit von ca. 10 Minuten wurden die zwei einander zugeordneten Lamellen in die Presse übereinander eingelegt.

Pressen

Unmittelbar nach dem Zusammenlegen der Lamellen wurden die „kleinen Balken“ bei einer Raumtemperatur von 20°C verpresst. Nach ca. 24 Stunden Presszeit mit einem Pressdruck von 1,25 N/mm² (Buche mit Fichte: 0,9 N/mm²) erfolgte anschließend eine mindestens siebentägige Lagerung der Proben im Normalklima, um die Aushärtung des Klebstoffes zu gewährleisten.

Fertigstellung der Probekörper

Die miteinander verklebten Lamellenpaare wurden im Anschluss an die Nachlagerungszeit auf Schmalflächen abgerichtet und auf eine Breite von 50 mm gehobelt. Anschließend wurden sie abwechselnd zu Scherprüfkörpern und Querkzugprüfkörpern mit den Maßen 50 x 50 x 50 mm³ aufgesägt und beschriftet. Für die Prüfung wurden nur ast- und fehlerfreie Proben berücksichtigt, woraus sich die geringe Schwankung bei der Probenzahl der jeweiligen Klebstoffe ergab (siehe Tabelle 6.5). Mit dem jeweils letzten Prüfkörper der verklebten Lamellenpaare wurde die Scherfestigkeit des Holzes geprüft. Es wurden nur ast- und fehlerfreie Prüfkörper verwendet. Alle Prüfkörper für die Querkzugfestigkeitsprüfung wurden abgebohrt. Die Gesamtzahl der hergestellten und geprüften Proben betrug 1983.

Tabelle 6.5: Probenanzahl der Druckscher- und Querkzugversuche

Probenanzahl	MUF1	MUF2	PRF1	PRF2	PU1	PU2	PU3	Epoxid	Holz-Festigkeit	Summe
Druckscherfestigkeit	117	119	116	120	115	117	118	115	120	1057
Querkzugfestigkeit	117	117	116	116	115	115	117	113	-	926
Summe	234	236	232	236	230	232	235	228	120	1983

6.3.1.3 Druckscherfestigkeit

Diese Prüfung wurde zur Bestimmung der Scherfestigkeit in Anlehnung an DIN EN 392:1995 durchgeführt. Die Prüfung der Scherfestigkeit erfolgte in Faserrichtung und parallel zur Leimfuge. Der Probekörper wurde so in die Schervorrichtung eingesetzt, dass die Faserrichtung der Probe mit der Achse des Beanspruchungssystems übereinstimmt und die Scherebene in der Mitte der Leimfuge verläuft. Nach dem Bruch wurden die Bruchlast und das Bruchbild bewertet. Die Kraft wurde in kg aufgenommen und in Newton umgerechnet. Die Scherfläche betrug 50x50 mm². Bei Bestimmung der Holzfestigkeit wurden je Prüfkörper zwei Prüfungen durchgeführt.

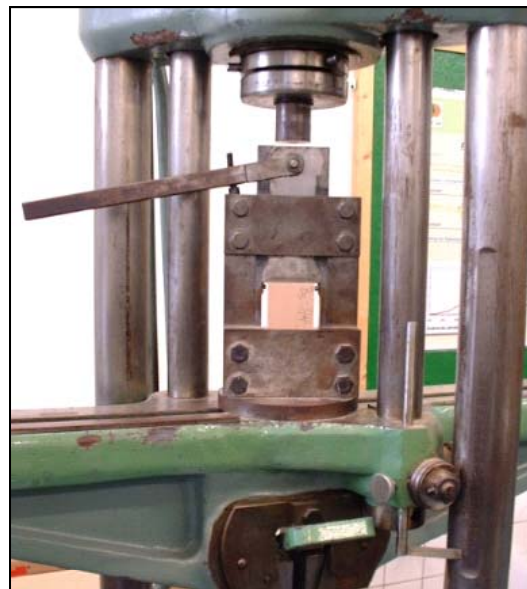


Abbildung 6.22: Druckscherprüfung

Tabelle 6.6: Druckscherfestigkeit - Anzahl untersuchter Prüfkörper

Druckscherfestigkeit	MUF1	MUF2	PRF1	PRF2	PU1	PU2	PU3	Epoxid	Holz-Festigkeit	Summe
B1 - ungedämpfte Bu ohne Rotkern	24	24	24	24	23	23	24	24	24	214
B2 - gedämpfte Bu ohne Rotkern	24	24	24	24	24	24	24	24	24	216
B3 - ungedämpfte Bu mit Rotkern	23	23	21	24	22	22	23	20	24	202
B4 - gedämpfte Buche mit Rotkern	24	24	23	24	22	24	23	23	24	211
B5 - gedämpfte Bu mit Fichte	22	24	24	24	24	24	24	24	24	214
Summe	117	119	116	120	115	117	118	115	120	1057

6.3.1.4 Querzugfestigkeit

Die Prüfung zur Bestimmung der Querzugfestigkeit wurde in Anlehnung an DIN 68141:1969 durchgeführt. Als Proben dienten die hergestellten Prüfkörper, die in halber Höhe eine beanspruchte Leimfugenfläche von 25 x 50 mm² aufwiesen. Die Prüfung der Querzugfestigkeit erfolgte senkrecht zur Leimfuge. Nach dem Bruch wurde die Bruchlast aufgenommen und das Bruchbild bewertet.

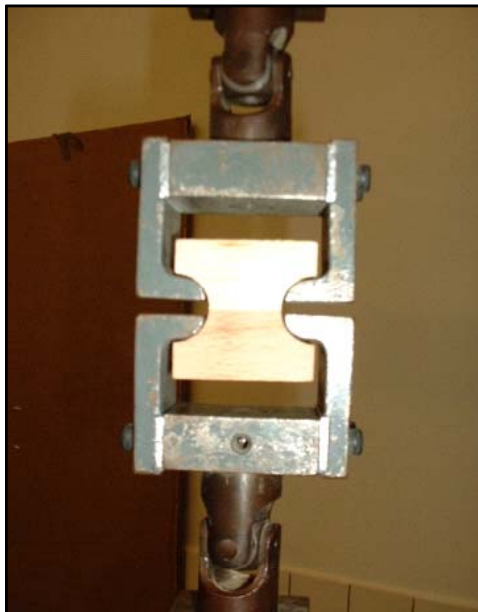
**Abbildung 6.23:** Querzugprüfung

Tabelle 6.7: Querzugfestigkeit - Anzahl untersuchter Prüfkörper

Querzugfestigkeit	MUF1	MUF2	PRF1	PRF2	PU1	PU2	PU3	Epoxid	Summe
B1 - ungedämpfte Bu ohne Rotkern	24	24	24	24	23	23	24	24	190
B2 - gedämpfte Bu ohne Rotkern	24	24	24	24	24	24	23	23	190
B3 - ungedämpfte Bu mit Rotkern	23	23	21	24	22	22	23	20	178
B4 - gedämpfte Buche mit Rotkern	23	22	24	20	22	22	23	22	178
B5 - gedämpfte Bu mit Fichte	23	24	23	24	24	24	24	24	190
Summe	117	117	116	116	115	115	117	113	926

6.3.1.5 Auswertung der Untersuchungen an Kleinproben

Bestimmung der Holzscherfestigkeit

Der letzte Prüfkörper jedes Balkens wurde an beiden Lamellen auf Scherfestigkeit des Holzes geprüft, d.h. es wurden aus drei Balken mit einer bestimmten Holzkombination und mit einem bestimmten Klebstoff sechs Prüfungen durchgeführt. Aus diesen sechs Prüfungen wurde der Mittelwert der Scherfestigkeit [N/mm²] bestimmt. Insgesamt wurde eine bestimmte Holzkombination mit acht verschiedenen Klebstoffen verklebt. Daraus entstanden 24 Prüfkörper (48 Prüfungen) einer Holzkombination, die auf Holzfestigkeit geprüft wurden. Aus den jeweils 48 Holzfestigkeitsprüfungen errechneten Festigkeitswerten wurde ein Gesamtmittelwert (B1...B4) gebildet. Eine Ausnahme bildet die Gruppe B5, dort wurden Mittelwerte für Fichte (B5 – Fi) und für Buche (B5 – Bu) gebildet.

Tabelle 6.8: Scherfestigkeiten der verwendeten Hölzer

Bu 120 Prüfungen Fi 24 Prüfungen	B1	B2	B3	B4	B5 - Bu	Alle Bu (120 Stk.)	B5 - Fi (24 Stk.)
Min	14,39	15,51	9,29	11,41	13,49	9,29	6,86
Max	20,18	23,39	20,27	21,16	20,20	23,39	14,85
Gesamtmittelwert	16,99	18,75	17,27	17,18	17,08	17,49	10,93
Standardabw.	1,47	1,72	1,87	1,99	1,54	1,88	1,88
Varianz [%]	8,62	9,17	10,85	11,59	9,03	10,72	17,23

Bruchbildbestimmung

Nach der Festigkeitsprüfung wurden die Festigkeitswerte berechnet. Außerdem erfolgte eine Bestimmung des Holzbruchanteils. Der Holzbruchanteil erlaubt Aussagen darüber, ob die Festigkeit der Leimfuge höher ist als die des Holzes.

Zur Bestimmung der Holzbruchanteile werden beide Bruchflächen betrachtet. Zeigt das Bruchbild ein Holzbruchanteil von 100% darf kein Leimrest zu erkennen sein und es ist auf eine Leimfugenfestigkeit zu schließen, die größer ist als die Holzfestigkeit. Bei einem Holzbruchanteil von ca. 50% könnte sich die Leimfugenfestigkeit von der Holzfestigkeit geringfügig unterscheiden. Liegt der Bruch nur in der Leimfuge weist der Holzbruchanteil 0% auf. Bei 0% Holzbruchanteil dürfen auf der Leimfuge keine Holzreste erkennbar sein.

Bei sehr hohen Holzbruchanteilen und angemessenen Werten bei die Druckscher- oder Querzugprüfung gilt die Verklebung als eindeutig erfolgreich. Holzbruchanteile von deutlich

unter 100% bedeuten nicht unbedingt, dass es sich um eine ungenügende Verklebung handelt. Erreicht beispielsweise der Druckscherfestigkeitswert den Wert, den die Holzfestigkeitsprüfung der „schwächsten“ Lamelle in diesem Lamellenpaar erzielt hat, gilt die Verklebung ebenfalls als ausreichend.

Bei den B5-Prüfkörpern konnte der Bruch stets entweder in der Leimfuge und/oder im Fichtenholz beobachtet werden.

Mittelwertbildung

Von jedem Balken wurden die Prüfkörper (mit Ausnahme des letzten Prüfkörpers) alternierend auf Scher- und Querkzugfestigkeit der Leimfuge geprüft. Es wurden aus den untersuchten Prüfkörpern eines Lamellenpaares Festigkeitswerte errechnet und Holzbruchanteile aufgenommen. Zusammenfassend wurde der Mittelwert aller Festigkeiten und Holzbruchanteile der drei Lamellenpaare einer bestimmten Holzkombination mit einem bestimmten Klebstoff gebildet. Aus den einzelnen Ergebnissen der Holzscherfestigkeitsversuche wurde je Kombination (B1...B5) ein Mittelwert („Gesamtmittelwert“ der jeweiligen Holzkombination) gebildet.



Scherversuch 100% Holzbruch



Querzugversuch 100% Holzbruch



Scherversuch 30% Holzbruch



Querzugversuch 75% Holzbruch



Scherversuch 0% Holzbruch



Querzugversuch 0% Holzbruch

Abbildung 6.24: Verschiedene Bruchbilder von Druckscher- und Querzugprüfungen

6.3.1.6 Ergebnisse der Scherprüfungen

Die Ergebnisse der Scherprüfungen (Scherfestigkeit, Holzbruchanteil) können der Tabelle 6.9 entnommen werden. Die ermittelten Werte der Scherfestigkeit zeigen, dass die Ergebnisse unabhängig vom verwendeten Kleber und verklebter Kombination (B1 ... B5) gut sind und nur geringfügig von den reinen Buchen- bzw. Buchen-Fichten-Proben (Scherversagen in der Fichte) in der Regel nach unten abweichen.

Beim Betrachten der Tabellen und Abbildung 6.25 fällt auf, dass zwischen den unterschiedlichen verklebten Buchen-Kombinationen (B1 ... B4) keine signifikanten Unterschiede, die aus dem Rahmen der sonst üblichen Streuungen fallen, festgestellt werden können. Lediglich bei der Gruppe B2, gedämpfte Buche ohne Rotkern, ergab sich über alle Klebstoffe gesehen ein höherer Mittelwert der Scherfestigkeit, der jedoch die Mittelwerte der anderen Gruppen (B1, B3, B4) um weniger als 10% übertrifft. Die Ergebnisse lassen insgesamt keine technologisch relevante Bedeutung von Rotkernigkeit oder Dämpfung erkennen.

Als völlig unproblematisch erweist sich die Verklebung von Buche mit Fichte (Gruppe B5). Die Werte liegen für alle Kleber im Bereich der Scherfestigkeit von Fichtenholz, welche sich in den Prüfungen als maßgebend herausstellt. Die Holzbruchanteile sind durchweg hoch, Versagen findet immer im Bereich der Fichte statt. Bei einigen Klebern (PU2, PU3) lassen sich sogar deutlich höhere Werte feststellen. Dies lässt sich nur dadurch erklären, dass die Fichtenholzqualität bei den entsprechenden Proben besonders gut war.

Tabelle 6.9: Ergebnisse der Scherprüfungen

Kleber		B1		B2		B3		B4		B5	
		Festigkeit [N/mm ²]	Holzbruch [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Holzbruch [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Holzbruch [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Holzbruch [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Holzbruch [%]
MUF 1	MW	15,69	85,00	16,29	58,33	13,43	2,83	15,21	16,46	10,91	72,05
	Var. [%]	8,8	28,9	15,3	57,4	10,4	179,4	8,6	153,5	11,8	15,8
	Min	12,6	10	10,3	0	11,2	0	13,3	0	8,0	50
	Max	19,0	100	21,3	100	15,6	15	18,0	100	13,3	90
MUF 2	MW	16,22	92,50	17,87	75,70	15,89	45,90	15,65	94,20	10,26	78,80
	Var. [%]	6,9	19,3	10,8	46,1	9,9	73,1	11,3	12,6	23,8	18,6
	Min	13,9	40	13,7	5	13,0	0	12,2	50	4,0	60
	Max	18,2	100	21,0	100	18,7	100	18,6	100	13,7	100
PRF 1	MW	16,96	84,79	19,62	74,40	17,19	60,20	17,97	65,90	9,60	81,30
	Var. [%]	10,5	23,6	9,2	28,5	6,1	45,6	8,0	43,0	10,7	25,7
	Min	13,9	20	15,1	10	14,7	10	15,5	0	7,9	30
	Max	19,8	100	22,1	100	18,7	100	20,4	100	12,0	100
PRF 2	MW	15,21	16,46	15,25	7,30	16,17	26,90	14,92	16,30	10,93	76,00
	Var. [%]	8,6	153,5	9,6	138,5	9,8	113,3	18,9	108,2	17,1	18,4
	Min	13,3	0	11,8	0	12,8	0	9,2	0	7,4	50
	Max	18,0	100	17,9	35	18,9	95	18,8	50	13,8	95
PU 1	MW	16,19	74,57	18,10	47,90	19,40	62,50	17,97	65,90	9,82	71,70
	Var. [%]	9,4	46,9	5,8	70,5	7,6	47,2	13,4	60,9	23,1	21,9
	Min	13,8	5	16,4	0	16,4	10	12,2	0	2,9	40
	Max	19,5	100	20,5	100	21,4	100	22,1	100	12,7	100
PU 2	MW	14,80	4,35	17,21	9,60	15,79	43,00	16,60	23,00	11,73	41,70
	Var. [%]	8,8	285,9	11,4	146,0	7,9	85,0	10,7	101,9	10,4	77,9
	Min	10,6	0	14,1	0	13,2	0	13,2	0	9,7	0
	Max	17,7	50	20,7	50	18,4	100	19,8	90	14,2	100
PU 3	MW	15,63	74,79	16,91	25,60	16,33	40,20	13,20	12,60	13,42	50,60
	Var. [%]	6,2	37,8	7,8	93,1	6,6	65,7	10,2	190,0	10,0	49,2
	Min	14,1	20	14,0	0	13,0	5	10,9	0	8,8	5
	Max	18,0	100	20,7	90	18,3	95	17,0	100	15,8	100
Epoxid	MW	15,59	85,00	16,11	60,20	12,33	38,80	14,05	65,70	10,67	70,80
	Var. [%]	12,9	18,4	16,7	36,0	22,7	64,8	15,3	38,4	19,4	18,6
	Min	13,2	50	8,4	10	7,9	5	8,8	10	6,9	40
	Max	19,6	100	20,4	95	18,2	90	17,0	100	14,2	95

Geringe Unterschiede lassen sich über alle „Buchen-Gruppen“ (B1...B4) hinweg zwischen den unterschiedlichen Klebstoffen beobachten (Abbildung 6.26). Die höchsten Mittelwerte der Festigkeiten ergeben sich durchweg für die Klebstoffe PRF1 und PU1. Die zugehörigen hohen Holzbruchanteile lassen zudem auf eine ausgezeichnete Verklebung schließen. Die höchsten Holzbruchanteile und ebenfalls sehr gute Scherfestigkeiten wurden mit dem MUF2 erzielt. Geringe Holzbruchanteile, aber dennoch gute Festigkeitswerte erhält man mit PRF2

und PU2. Für die anderen Kleber ergaben sich etwas kleinere aber dennoch sehr zufriedenstellende Werte mit teilweise ebenfalls hohen Holzbruchanteilen, welche erneut auf eine gute Qualität der Verklebung bezüglich Scherfestigkeit schließen lassen. Prinzipiell erscheinen auf Basis der durchgeführten Scherversuche alle geprüften Kleber zur Lamellenverklebung von Buchenholz geeignet.

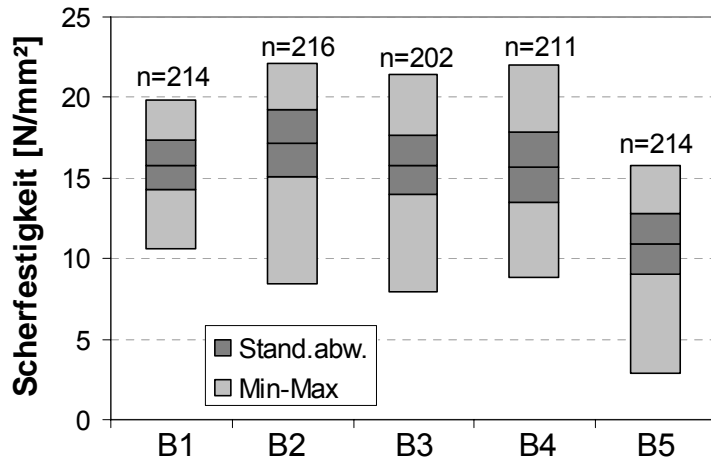


Abbildung 6.25: Scherfestigkeiten nach Gruppen (alle Kleber in Werten enthalten)

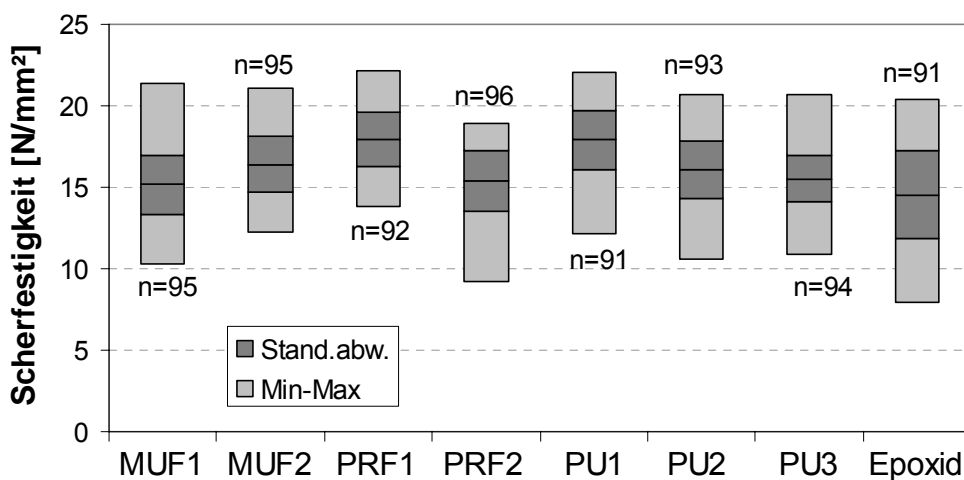


Abbildung 6.26: Scherfestigkeiten nach Klebern (Gruppen B1 bis B4 enthalten)

6.3.1.7 Ergebnisse der Querzugprüfungen

Die Ergebnisse der Querzugprüfung sind in Tabelle 6.10 dargestellt. Die nun auftretenden Unterschiede sind ausgeprägter als bei der Scherfestigkeit.

Die Querzugfestigkeiten der Gruppe B5 (Buche-Fichte-Verklebung) liegen für alle Kleber im Bereich der für Fichte angegebenen Querzugfestigkeit von 2,7 N/mm² (GROSSER, ZIMMER 1998). Die Holzbruchanteile sind durchweg hoch, so dass alle Kleber als geeignet zur Verklebung von Buche und Fichte angesehen werden können.

Tabelle 6.10: Ergebnisse der Querkzugprüfung

Kleber		B1		B2		B3		B4		B5	
		Festigkeit [N/mm ²]	Holzbruch [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Holzbruch [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Holzbruch [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Holzbruch [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Holzbruch [%]
MUF 1	MW	6,03	81,67	7,93	48,13	4,93	11,96	6,69	73,91	2,27	71,74
	Var. [%]	22,8	39,7	11,7	66,0	25,7	146,8	18,5	42,0	22,5	28,5
	Min	3,3	0	6,7	0	2,8	0	4,8	0	1,6	30
	Max	8,6	100	10,6	100	8,2	60	10,1	100	3,4	100
MUF 2	MW	6,92	83,33	7,49	38,54	5,65	20,87	6,64	86,36	2,19	96,67
	Var. [%]	13,5	27,0	14,6	108,7	25,7	145,2	26,9	24,5	22,4	5,9
	Min	4,3	25	5,8	0	1,9	0	2,4	25	0,9	75
	Max	8,5	100	11,2	100	8,5	90	9,5	100	3,2	100
PRF 1	MW	6,48	48,54	8,47	40,63	7,05	54,05	7,64	45,83	2,60	81,09
	Var. [%]	12,7	55,9	13,2	81,3	14,3	53,9	24,0	65,7	25,5	26,4
	Min	4,9	5	6,2	0	4,9	5	3,4	0	1,0	40
	Max	8,4	100	10,9	100	9,0	100	11,8	95	3,8	100
PRF 2	MW	6,23	37,29	5,80	24,79	5,05	16,46	5,88	27,25	2,56	93,33
	Var. [%]	15,1	93,4	21,2	119,7	28,1	118,5	20,8	90,4	19,4	13,6
	Min	4,4	0	3,1	0	2,6	0	4,4	0	1,7	50
	Max	7,9	100	8,1	100	7,5	60	8,6	75	3,5	100
PU 1	MW	6,69	75,43	5,99	34,17	6,37	34,55	6,90	57,95	2,68	84,17
	Var. [%]	19,7	44,3	32,3	92,2	14,4	101,0	27,1	59,2	12,8	27,4
	Min	5,4	10	1,9	0	4,8	0	2,1	0	2,1	25
	Max	9,9	100	9,3	100	8,0	100	10,4	100	3,4	100
PU 2	MW	4,27	17,83	8,01	14,79	5,18	31,36	5,88	33,18	2,79	78,33
	Var. [%]	19,7	189,8	17,7	197,2	17,7	124,8	16,7	112,1	18,2	30,4
	Min	2,7	0	5,7	0	2,9	0	4,2	0	1,6	25
	Max	5,8	100	11,5	100	7,6	100	7,9	100	3,7	100
PU 3	MW	7,68	75,83	8,87	70,87	8,09	40,22	5,60	30,43	3,34	90,42
	Var. [%]	14,8	38,7	11,2	57,3	19,3	106,0	29,0	113,0	20,1	18,3
	Min	4,7	0	6,9	0	3,8	0	1,9	0	2,2	45
	Max	10,1	100	10,2	100	10,0	100	8,3	100	4,5	100
Epoxid	MW	6,27	68,54	7,12	56,30	4,83	28,25	7,00	65,23	2,59	77,29
	Var. [%]	20,4	38,5	26,4	61,7	17,1	78,6	20,3	40,9	15,5	25,5
	Min	4,2	20	4,1	0	3,0	5	4,1	10	2,0	35
	Max	8,6	100	10,6	100	6,3	65	9,7	100	3,6	100

Bei den reinen Buchenproben (B1 ... B4) lassen sich zwei Tendenzen beobachten:

- Die gedämpften Proben weisen eine etwas höhere Querkzugfestigkeit auf als die unge-dämpften Proben.
- Die Werte der rotkernigen Proben liegen unterhalb der Werte der Proben ohne Rotkern.

Die Unterschiede sind aber nicht so gravierend, dass eine der Gruppen für die Verklebung als nicht geeignet erscheint. Die Werte sind prinzipiell gut und liegen über alle Kleber betrachtet um nicht mehr als 15% unter dem für Buche angegebenen Wert der Querkzugfestigkeit (7,0 N/mm², GROSSER, ZIMMER 1998).

Etwas deutlicher treten die Unterschiede bei der Betrachtung der verschiedenen Kleber auf. Die höchsten Mittelwerte über alle Gruppen (B1 ... B4) gesehen erreichen PU3 und PRF1 mit 7,6 und 7,4 N/mm², die kleinsten Festigkeiten sind beim PRF2 und beim PU2 mit 5,7 und 5,8 N/mm² zu beobachten. Die anderen Klebstoffe liegen irgendwo dazwischen. Die zugehörigen mittleren Werte beim Holzbruchanteil sind nicht weiter aussagekräftig und liegen im Bereich 24 bis 57%. Sicherlich sind die Unterschiede damit von einer Größenordnung, welche eine Aussage über die Eignung verschiedener Kleber erlaubt.

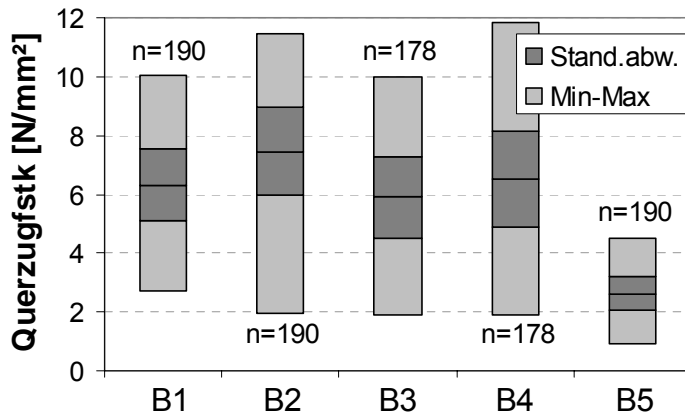
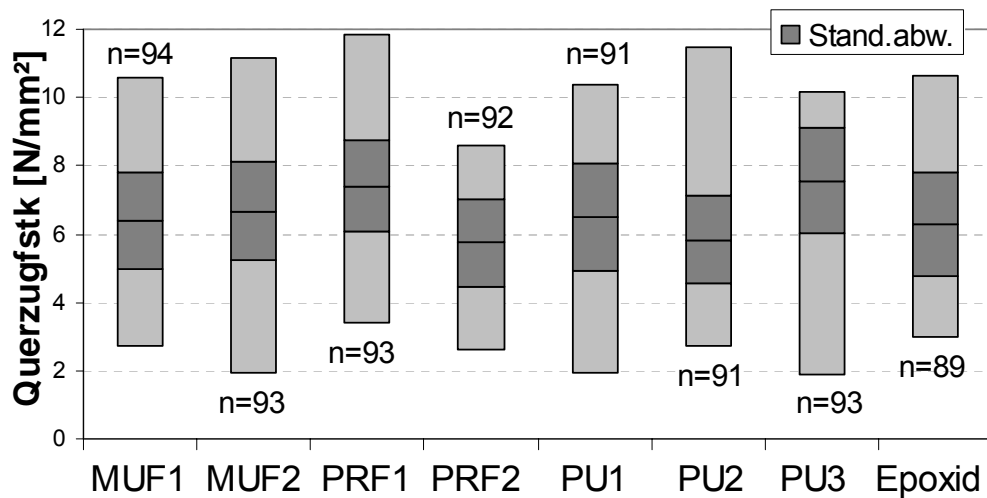


Abbildung 6.27: Querzugfestigkeiten nach Gruppen

Abbildung 6.28: Querzugfestigkeiten nach Klebern (Gruppen B1 bis B4)



6.3.1.8 Erkenntnisse

Die zahlreichen Kleinversuche erlauben einige Aussagen zur Verklebung von Buchenlamellen:

- Die Verklebung von Buche mit Fichte funktioniert mit allen verwendeten Klebern gut. Als maßgebend für das Versagen erweist sich die Scherfestigkeit bzw. Querzugfestigkeit des Fichtenholzes, es kommt stets zu einem Bruch im Fichtenholz. Damit sind für die Qualität des Prüfkörpers nicht die Charakteristiken der Buchenlamelle und des Klebers sondern die Festigkeitseigenschaften des Fichtenholzes entscheidend.
- Die Verklebungsqualität der verklebten Proben aus ungedämpfter Buche fallen offensichtlich etwas schlechter aus als bei gedämpften Prüfkörpern. Dennoch sind auch ungedämpfte Buchenlamellen zur Verklebung gut geeignet.
- Auch bei der Verklebung rotkerniger Buche sind zumindest bei den Querzugversuchen etwas ungünstigere Werte zu beobachten, wobei die Unterschiede unwesentlich erscheinen. Um auf einen Einfluss des Rotkerns auf die Festigkeitseigenschaften schließen zu können, müssten viele Faktoren (z.B. Holzinhaltstoffe, Verthüllung, Standort, Faserverlauf, Jahrringverlauf, Jahrringbreite, Rohdichte, Zugholz) berücksichtigt werden. Diese Eigenschaften wurden bei den Prüfkörpern nicht aufgenommen, womit keine Aussage über den Einfluss des Rotkerns getroffen werden kann.
- Aussagen über die Eignung eines bestimmten Klebstoffes den unterschiedlichen Gruppen (B1 ... B4) sind auf Basis der hier durchgeführten Versuche nicht möglich, da die Ergebnisse unter anderem auch stark von der Qualität der verwendeten Lamellen abhängen.

- Prinzipiell sind bei der Verklebung Qualitätsunterschiede feststellbar, diese sind aber eher von kleiner Größenordnung. Bei den Querkzugversuchen sind die Unterschiede in etwas ausgeprägterer Form zu beobachten.
- Hinsichtlich der geprüften Klebstoffarten (MUF, PRF, PU, Epoxid) sind keine klaren Tendenzen auszumachen. Jeder Klebstoff ist individuell nach Eignung zu untersuchen.

6.3.2 Zugversuche (Buche - Einzellamellen)

Direkt im Anschluss an die aufwendige Sortierung wurden am Bautechnikzentrum (BTZ) der Technischen Universität Graz einige Zuglamellen auf ihre mechanischen Eigenschaften hin geprüft. Die Versuche, die Mitte Juni 2002 stattfanden, sollten einen Einblick in die Effizienz der Sortierung ermöglichen.

Nach der Sortierung wurden die zur Verfügung stehenden 700 Lamellen wie beschrieben nach der zu erwartenden Zugfestigkeit in drei gleich große, sogenannte Sortiergruppen eingeteilt. Die Sortiergruppen wurden mit A, B und C bezeichnet. Um das gesamte Qualitätsspektrum zu erfassen bzw. prüfen zu können, wurde jedes zehnte Brett der entstandenen Rangfolge entnommen (vgl. Abschnitt 5.2.3), so dass schließlich 70 Lamellen, ungefähr zu gleichem Anteil aus den drei Sortiergruppen, für die Zugversuche zur Verfügung standen. Das Ziel der Zugversuche bestand in der Ermittlung der tatsächlichen mechanischen Werte (Zugfestigkeit $f_{t,0}$, Zug-E-Modul E_0).

Versuchsdurchführung

Die Durchführung der Zugprüfung erfolgte nach DIN EN 408:1996. Die Lamellen mit einem Sollquerschnitt von 30 x 150 mm wurden mit einer Horizontal-Zugprüfmaschine über eine freie Prüflänge von 1,70 m geprüft (Abbildung 6.29).

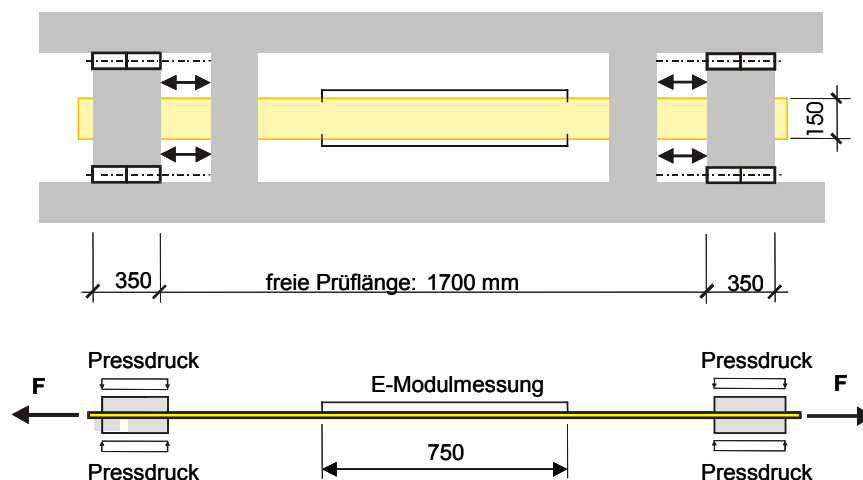


Abbildung 6.29: Zugprüfung der Lamellen

Unmittelbar vor den Versuchen wurde von allen Prüfkörpern der dynamische E-Modul mit dem Gerät Sylvatest bestimmt, mehrere elektronische Holzfeuchtemessungen durchgeführt, die Masse des Prüfkörpers und die Ist-Querschnittsmaße an unterschiedlichen Stellen der Lamellen aufgenommen.

Neben der Bestimmung der Zugfestigkeiten erfolgte auch die Ermittlung des Zug-Elastizitätsmoduls nach DIN EN 408:1996. Dazu wurde an beiden Schmalseiten des Prüfkörpers die

Dehnung über eine Länge von 750 mm mit induktiven Wegaufnehmern gemessen und aus beiden Messungen der Mittelwert gebildet. Um eine Beschädigung der induktiven Wegaufnehmer beim Versagen der Lamelle zu verhindern, wurde der Versuch beim Erreichen einer zuvor definierten Last zur Entfernung der Wegaufnehmer für einige Sekunden angehalten. Je nach optischer Qualität der Lamelle wurde diese Last individuell für jede Prüfung im Bereich 11 bis 44 MPa festgelegt. Der Mittelwert der gemessenen Holzfeuchten lag bei allen Prüfkörpern im Bereich 8 bis 13%.

Tabelle 6.11: Lamellen-Zugversuche: Eigenschaften der Sortiergruppen

Eigenschaft		Sortiergruppe		
		A	B	C
$f_{t,0}$ [N/mm ²]	Anzahl Proben	22	24	23
	Min	16,7	20,3	35,6
	Max	90,7	100,5	115,3
	Mittelwert	44,7	62,5	80,6
	Varianz [-]	0,49	0,36	0,21
	5%-Fraktile (prEN 384)	16,9	21,2	39,8
	D-Klasse gem. EN 338	D27	D35	D60
E_0 [N/mm ²]	Anzahl Proben	22	24	23
	Min	8.670	9.800	11.980
	Max	16.910	17.980	19.000
	Mittelwert	13.160	14.110	15.060
	Varianz [-]	0,19	0,16	0,14
	5%-Fraktile	8.676	9.943	12.015
	D-Klasse gem. EN 338	D40	D50	D50
ρ_{12} [kg/m ³]	Anzahl Proben	22	24	23
	Min	555,1	582,0	632,4
	Max	788,3	736,3	786,7
	Mittelwert	644,9	649,6	693,1
	Varianz [-]	0,09	0,06	0,06
	char. Wert nach prEN 384	547,6	582,9	621,0
	D-Klasse gem. EN 338	D30	D35	D40
u [%]	Mittelwert	10,6	10,8	10,4
	D-Klasse gem. EN 338	D27	D35	D40

Auswertung und Darstellung der Messergebnisse

Die Zugfestigkeit der geprüften Lamellen wurde aus dem Quotienten von Maximallast und Ist-Querschnitt ermittelt. Eine Lamelle versagte bereits beim Einspannen in die hydraulischen Klemmbanken und wurde bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Die ermittelten Kennwerte sind nach Sortiergruppen unterteilt in Tabelle 6.11 dargestellt. Wesentliches und einziges Merkmal von Bedeutung für die Zielsetzung dieser Untersuchung ist die gelungene Aufteilung in drei Gruppen mit unterschiedlichen Kennwerten. Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf die weitere Verwendung zur Herstellung von BSH-Elementen sind die Fraktilwerte der Zugfestigkeit.

Die Kennwerte der Sortiergruppe C, die aus einem Drittel des gesamten Sortiments 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 Sortiergruppen. Die Sortiergruppe A weist Zugfestigkeiten auf, die durchaus dem normalen Bereich der Fichtenlamellen entsprechen. Daraus ist die Bedeutung einer effizienten Sortierung zu erkennen. Innerhalb der einzelnen Gruppen sind die Streuungen der Werte ebenfalls als groß zu bezeichnen, was bei der Auslegung der Untersuchung der Festigkeit der Biegebalken zu berücksichtigen gilt.

In Abbildung 6.30 ist der Zusammenhang von Ranking-Parameter und Zugfestigkeit dargestellt. Für Untersuchungen hinsichtlich der Korrelation einzelner Sortierkriterien mit den wichtigsten mechanischen Eigenschaften sei auf den Abschnitt 6.3.5 verwiesen.

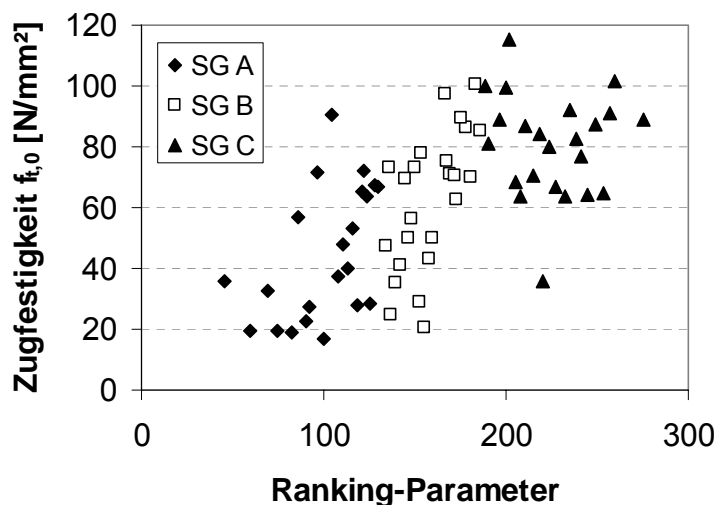


Abbildung 6.30: Lamellenzugversuche - Zusammenhang zwischen Ranking-Parameter und Zugfestigkeit (SG → Sortiergruppe)

6.3.3 Prüfung der Biegeträger

Die Prüfung von Buchen-Brettschichtholzträgern fand in der Zeit von Mitte September bis Mitte Oktober 2002 an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft in Hamburg statt. Insgesamt wurden 101 Biegeträger geprüft. Die Prüfkörper setzten sich aus 65 homogenen Buchen-Brettschichtholzträgern, deren Lamellen durchweg aus einer der zuvor genannten Sortiergruppen bestanden, und 36 kombinierten Buchen-Fichten-Brettschichtholzträgern zusammen (siehe Abschnitt 5.3.3). Bei den kombinierten BSH-Trägern bestanden die beiden Mittellamellen jeweils aus Fichtenholz der Sortierklasse 13 und die beiden Randlamellen, welche für die Biegeeigenschaften maßgeblich sind, aus Buchenholz einer einheitlichen Sortiergruppe. Vor Durchführung der Prüfungen waren die Träger über einen Zeitraum von mehreren Wochen im Normalklima 20/65 gelagert.



Abbildung 6.31: Biegeprüfung

Bei sämtlichen Balken innerhalb einer Sortiergruppe wurde ein möglichst ähnlicher Aufbau gewählt, um aus der sehr geringen Anzahl von Prüfelementen den Einfluss der großen Streuung der Festigkeitswerte gering zu halten. Als Zuglamellen wurden deshalb die besten Lamellen aus der jeweiligen Gruppe verwendet.

Es war davon auszugehen, dass die große Streubreite der Festigkeitswerte der Lamellen zu einer entsprechenden Streuung der Festigkeitswerte bei den Biegebalken führen würde, welche die Auswertung stark hätte erschweren können. Zudem waren insbesondere in der schlechteren Sortiergruppe A Einzellamellen von sehr schlechter Qualität vorhanden, die möglicherweise zu sehr niedrigen Biegefestigkeiten geführt hätten. Ein korrektes statistisches Auffangen solcher Werte ist nur mit einer sehr hohen Stichprobenanzahl möglich, welche jedoch nicht vorlag.

6.3.3.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Die Versuche wurden nach DIN EN 408:1996 als 4-Punkt-Biegeversuche (Abbildung 6.32) durchgeführt. Der Sollquerschnitt aller Prüfkörper betrug 150/180 mm. Die Stützweite entsprach dem 18-fachen der Soll-Querschnittshöhe. Durch den Überstand am Auflager von jeweils der halben Querschnittshöhe ergab sich eine Trägerlänge von 3,42 m. Die Last wurde je zur Hälfte in den Drittelpunkten eingeleitet. Neben der eingeleiteten Gesamtkraft und dem Maschinenweg wurde zur Ermittlung des Elastizitätsmoduls die Durchbiegung in Feldmitte relativ zu zwei Punkten im Bereich der Lasteinleitung (Abbildung 6.32) gemessen. Diese Verformungsmessung wurde auf beiden Seiten des Trägers in dessen neutraler Achse mit induktiven Wegaufnehmern durchgeführt. Die Verformungsmessung im querkraftfreien Mittelbereich des Trägers ermöglichte die E-Modul-Bestimmung ohne Schubverformungseinflüsse.

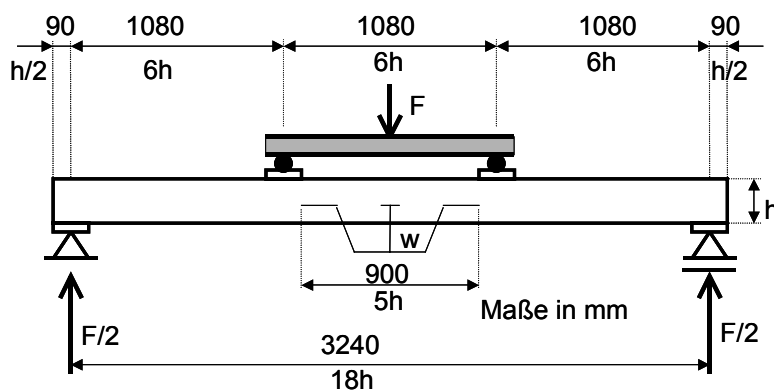


Abbildung 6.32: Versuchsaufbau nach DIN EN 408:1996

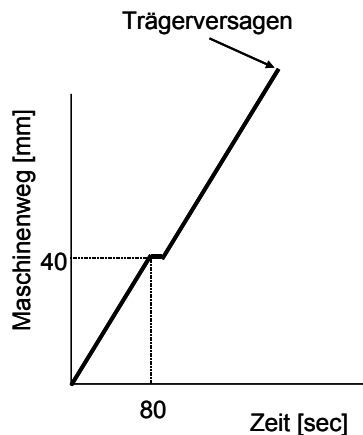


Abbildung 6.33: Versuchsdurchführung bei den Biegeprüfungen

Wie in Abbildung 6.33 dargestellt, wurde die Belastung weggesteuert mit einer Geschwindigkeit von 30 mm/min aufgebracht. Nach 80 Sekunden Versuchsdauer bzw. 40 mm Maschinenweg wurde der Versuch zur Entfernung der induktiven Wegaufnahme kurz angehalten. Diese Maßnahme nahm ca. 10 bis 15 Sekunden in Anspruch. Danach wurde der Versuch mit der gleichen Weggeschwindigkeit bis zum Versagen des Biegeträgers weitergefahren. Aus dieser Vorgehensweise ergab sich eine mittlere Versuchsdauer von 3:40 Minuten, der kürzeste Versuch dauerte ca. 2 Minuten, der längste ungefähr 6 Minuten. Ein Lastabfall von mehr als 15% wurde von der Steuerungssoftware als Versagen interpretiert.

Zu Beginn eines jeden Versuchs wurden die Massen der Prüfkörper ermittelt, die Länge bestimmt und der Ist-Querschnitt der Prüfkörper mit einem digitalen Messschieber an unterschiedlichen Stellen des Prüfkörpers aufgenommen. Direkt nach dem Versuch erfolgte eine elektronische Holzfeuchtemessung an den Außenlamellen der Prüfkörper. Alle gemessenen Holzfeuchten lagen dabei im Bereich 9,2 bis 13,9%.

6.3.3.2 Beobachtungen und Ergebnisse der Biegeprüfung

Neben den „üblichen“ Kennwerten – wie Holzfeuchte und Rohdichte – sind für die Festlegung der möglichen Leistung von Brettschichtholz aus Buchenlamellen die festigkeitsrelevanten Größen von besonderem Interesse. Diese sind

- die maximale Kraft beim Bruch zur Bestimmung der Materialfestigkeit
- der Wert des E-Moduls als weitere, charakterisierende mechanische Größe
- die Bruchart als Grundlage für die weitere Auswertung der Ergebnisse in holztechnologischer Hinsicht

Ein typischer Versuchsverlauf ist in Abbildung 6.34 dargestellt. Bei allen Versuchen war aufgrund des Plastizierens im Druckbereich ein mehr oder weniger ausgeprägtes Abflachen der Kraft-Verformungskurve ab ungefähr der Hälfte der Maximallast zu beobachten. Kleinere Lastabfälle aufgrund seitlichen Absplitters im oberen Lastbereich, wie auch in Abbildung 6.34 erkennbar, konnten bei einigen Prüfkörpern festgestellt werden.

Zur Bestimmung der Festigkeit wurde gemäß DIN EN 408:1996 der Quotient des im Trägermittelbereich maximal vorhandenen Biegemoments ($F_{\max}L/6$) und des Widerstandsmoments des Ist-Querschnittes gebildet. Bei einigen Trägern war ein Versagen außerhalb des höchstbeanspruchten Mittelbereiches zu beobachten. Bei diesen Trägern fand eine Aufnahme der Bruchstelle statt.

Die Ermittlung des Biege-Elastizitätsmoduls erfolgte im Bereich 10 bis 40% von der jeweiligen Maximallast. Bei allen Prüfungen konnte dieser Bereich als nahezu linear angesehen werden. Dabei wurde durch alle Messpunkte in diesem Bereich eine Regressionsgerade ge-

legt, deren Steigung zur Berechnung des Elastizitätsmoduls nach DIN EN 408:1996 verwendet wurde.

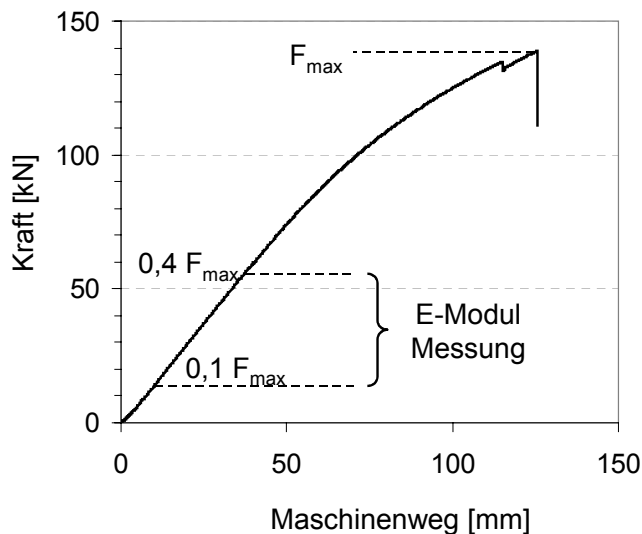


Abbildung 6.34: Typischer Kraft-Weg-Verlauf einer Biegeprüfung

Versagensarten und Beobachtungen

Bei den Versuchen wurden verschiedene Brucharten beobachtet. Im Hinblick auf die mechanische Leistung der Buche sind insbesondere die Werte aus der Biegezugfestigkeit von Bedeutung. Die festgestellten Druckbrüche sind prinzipiell willkommene Abweichungen vom üblichen Tragverhalten, da sie in der Regel bei sehr hohen Festigkeiten auftreten. Ähnlich wie bei der Behandlung von Fichten-BSH sind diese Werte gesondert zu behandeln und von der Auswertung der Biegezugfestigkeiten zu trennen, insbesondere wenn man – wie in diesem Fall – auf eine holztechnologische Auswertung zielt. Anders könnte die reine Behandlung der Traglast der geprüften Balken aussehen, die jedoch nach der heute üblichen Handhabung von holztechnologischen Fragen kaum von Bedeutung ist.



Abbildung 6.35: Druckbruch



Abbildung 6.36: Erreichen der Maximallast unter starken Druckfalten

Bei 6 der 101 Prüfkörper fand **Biegedruckversagen** (Abbildung 6.35 und Abbildung 6.36) statt. In 3 dieser 6 Fälle äußerste sich diese Versagensart durch einen vollständigen Bruch in der äußeren Drucklamelle. Die Zuglamelle blieb in 2 dieser 3 Fälle unversehrt. Bei den anderen 3 Fällen kam es zwar nicht zu einem vollständigen Durchriss der Drucklamelle, die Maximallast im Biegeversuch wurde aber unter großen und deutlich sichtbaren Druckfalten im Trägerobergurt überschritten. Erst nach einem Abfallen der Last versagte der Träger endgül-

tig, jeweils durch einen Bruch in der äußeren Zuglamelle. Dieser Versuchsverlauf wurde als Druckversagen gedeutet.

Das Erreichen der Druckfestigkeit, also das Versagen des Biegeelements auf der Druckseite ergibt sich in der Regel bei einer extrem guten Qualität der Zugseite oder bei einer extrem schlechten Qualität der Druckseite. Das Erste ist durch relativ hohe Festigkeitswerte gekennzeichnet, während der zweite Fall eigentlich sehr selten ist. Die Einzelwerte der Biegedruckfestigkeit, die als sehr niedrig bezeichnet werden können (Balken 18 und 57, siehe Tabelle 6.12) sind eindeutig als Druckbrüche registriert worden. In einem Fall ist eine sehr starke Faserabweichung als Bruchursache zu erkennen, im zweiten Fall ist vermutlich ein Ast und die zugehörige Faserabweichung die Bruchursache gewesen.

Die Druckfestigkeit ist von geringerer Bedeutung für die Beschreibung der Leistung von Buchen-BSH. Die Zahl derartiger Druckbrüche ist als gering einzustufen und kann eine Begründung auch darin finden, dass die auf der Druckseite angeordneten Lamellen lokal eine geringere Druckfestigkeit aufweisen. Diese Art von Druckbrüchen wird darum nicht weiter verfolgt.

Schubversagen (Abbildung 6.37) wurde bei 5 der 101 Biegeträger festgestellt. Diese Versagensart charakterisierte sich durch einen horizontalen Längsdurchriss der Prüfkörper. Die äußeren Lamellen blieben abgesehen von einigen kleinen Faltungen in der Drucklamelle unversehrt. Schubversagen trat nur bei den kombinierten Buchen-Fichten-BSH-Trägern in einer der beiden Mittellamellen aus Fichtenholz und dort erst bei hohen, überdurchschnittlichen Versagenslasten auf. Die erreichten Festigkeiten von 3,3 bis 4,0 MPa bestätigen die erst in den letzten Jahren auch bei anderen Untersuchungen festgestellte Höhe der Schubfestigkeit von Fichten-BSH.

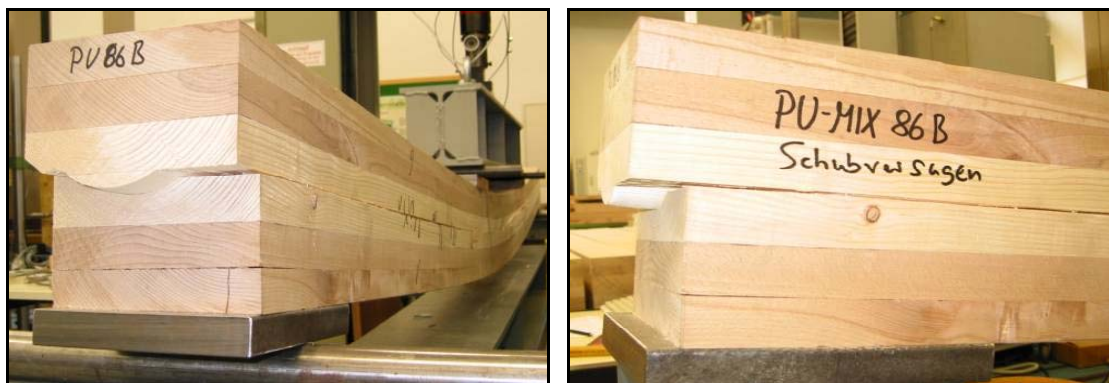


Abbildung 6.37: Typisches Schubversagen

Erwartungsgemäß versagte die deutliche Mehrheit, insgesamt 90 der 101 Prüfkörper, durch **Biegezugbruch**. Häufig waren dabei kleinere Druckfalten am Biegedruckrand zu beobachten. Da aber kein Abfallen der Last zu erkennen war und das Versagen der Zuglamelle unter Maximallast stattfand, wurden auch diese Fälle dem Biegezugversagen zugeordnet.

Eine häufig zu beobachtende Ursache für frühes Versagen waren neben Ästen (Abbildung 6.38) und anderen Fehlstellen Faserabweichungen. Ein aus Faserabweichungen resultierender Zugbruch (

Abbildung 6.39) verläuft stets genau in Faserrichtung und damit nahezu in Längsrichtung des Balkens. Darum erstreckte sich ein solcher Bruch in der Regel über einen größeren Bereich. Im Gegensatz zu Ästen sind Faserabweichungen bei der visuellen Sortierung nur schwer zu erkennen, was dazu führte, dass Lamellen mit Faserabweichungen zu hoch einsortiert wurden. Verliefen die Fasern ohne nennenswerte Abweichungen in Trägerlängsrichtung, ergaben sich stumpfe Durchrisse (tendenziell bei kleineren Bruchlasten) bzw. Splitterbrüche (bei höheren Bruchlasten, Abbildung 6.40). Mischformen der drei erwähnten Versagensarten (Schrägriss bei Faserabweichung, stumpfer Durchriss, Splitterbruch) waren ebenfalls häufig zu beobachten (Abbildung 6.41).



Abbildung 6.38: Zugversagen aufgrund von Fehlstellen



Abbildung 6.39: Zugversagen aufgrund von globaler Faserabweichung



Abbildung 6.40: Typischer Splitterbruch

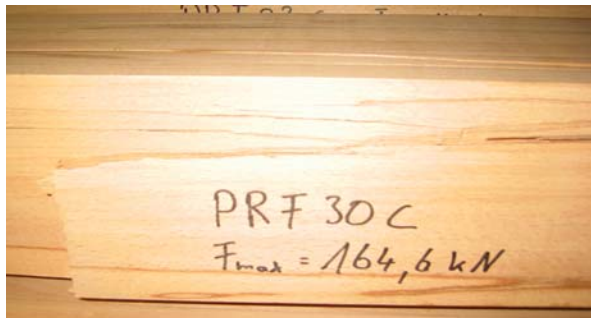


Abbildung 6.41: Kombiniertes stumpfes und langfasriges Zugversagen

Ergebnisse

In Abbildung 6.42 sind die Verteilungen von Elastizitätsmodul und Traglast getrennt nach Sortiergruppen dargestellt. Man erkennt, dass die bei hohen Traglasten und Steifigkeiten die Prüfkörper der Sortiergruppe C dominieren, bzw. dass bei geringen Traglasten und Steifigkeiten vor allem die Sortiergruppe A vertreten ist. Dennoch sind die Abgrenzungen zwischen den Sortiergruppen vor allem gemessen am beträchtlichen Aufwand bei der Sortierung der Lamellen zu undeutlich.

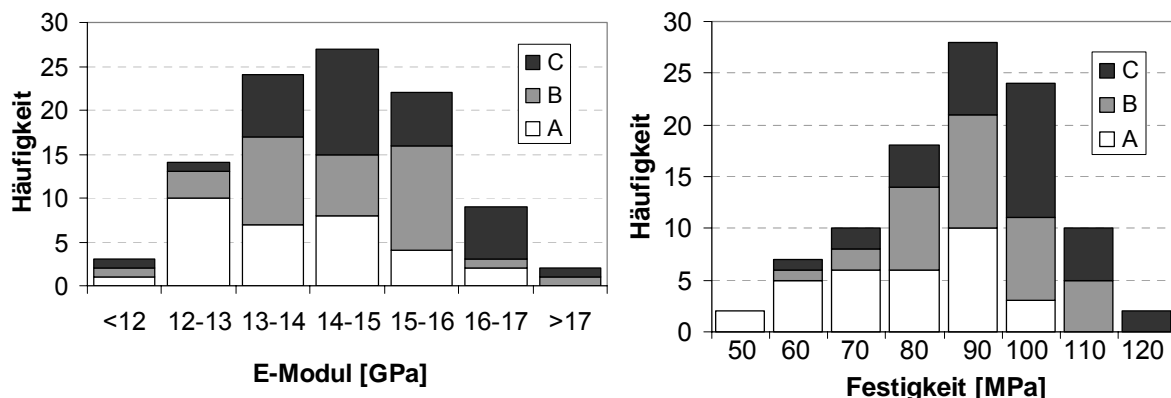


Abbildung 6.42: Verteilungen von Biege-E-Modul und Festigkeit

Eine umfangreiche Darstellung der Versuchsdaten erfolgt in Tabelle 6.12. Dort können in den ersten fünf Spalten zunächst Angaben über das Balkenelement (Sortiergruppe, Kleber, Dämpfung, hom.komb.) entnommen werden. Die nächsten fünf Spalten enthalten Messdaten (Masse, u , ρ_{12}) und die in den Versuchen ermittelte mechanischen Werte (E , f_m). Bezüglich der Normalrohddichte sei erwähnt, dass hier eine Anpassung nach prEN 384:2001 stattgefunden hat.

Wie bereits bemerkt, versagte das Biegeelement in einigen Fällen außerhalb des Bereiches zwischen den Lasteinleitungspunkten. Die dann an der Bruchstelle vorhandene rechnerische Spannung ist geringer als die in Tabelle 6.12 angegebene Festigkeit, welche nach DIN EN 408:1996 mit der im Versuch auftretenden Maximalkraft bestimmt wurde. Für diese Fälle ist in Tabelle 6.12 der Bruchort aufgeführt. Der Wert in der Tabelle gibt den horizontalen Abstand der Bruchstelle von einem der Lasteinleitungspunkte an. Es sei darauf hingewiesen, dass die Bestimmung des genauen Bruchortes nicht immer eindeutig war, da sich der Bruch besonders bei Faserabweichungen häufig über einen größeren Bereich in Trägerlängsrichtung ausbreitete. In einer weiteren Spalte von Tabelle 6.12 ist der Ranking-Wert der auf der Zugseite angeordneten Randlamelle angegeben (siehe Abschnitt 5.2.2, S. 78). Die letzte Spalte legt in den Fällen die Versagensart dar, in denen kein Biegezugversagen stattgefunden hat. Die Bezeichnung „D“ zeigt Druckversagen an, die Kennung „S“ weist auf Schubversagen hin und gibt den zugehörigen Wert der Schubfestigkeit in N/mm^2 an.

Tabelle 6.12: Geprüfte Biegebalken

Balken	Balkenart	Sortier- gruppe	Klebstoff	Lamellen gedämpft	Masse [kg]	Holzfeuch- te u [%]	ρ_{12} [kg/m ³]	E-Modul [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]	Bruchort [mm]	Ranking Zugrand- lamelle	Anmer- kungen
1		C	PU	g	66,48	11,9	694	16297	102,86	169	265,3	
2		C	PRF		64,90	10,4	683	14316	95,55	130	274,9	
3	MIX	C	PU		58,86	12,3	610	15320	92,04		269,2	D
4		C	PU		66,63	9,7	701	16468	102,88		267,3	
5		C	PU		60,73	11,7	640	14537	84,87		266,8	
6		C	PRF		64,69	13	667	14018	96,77		264,2	
7	MIX	C	PU	g	57,66	10,6	602	16362	105,10		261,6	
8	MIX	C	PU	g	57,61	11,8	599	15502	110,76		260,3	
9		C	PRF	g	65,14	10,4	683	15687	98,23		259,2	
10	MIX	C	PU		55,10	12,2	579	14174	93,10		260,7	S - 3,80
11		C	PU		62,52	12,5	653	14538	103,98		259,8	
12		C	PU		63,29	12,3	666	13484	80,03		259,8	
13		C	PRF		61,93	13	640	14300	77,67		259,4	
14	MIX	C	PU		57,22	12,5	602	13426	100,04		257,7	
15		C	PU	g	62,76	12	661	14856	101,53		259,2	
16		C	PRF		65,11	11,5	677	13271	71,63		257,1	
17	MIX	C	PU	g	57,96	12,1	607	15373	109,15		257,7	
18		C	PU		64,18	10,6	673	14685	93,07	430	255,9	D
19		C	PU	g	65,15	10,9	680	15829	97,88		256,9	
20		C	PRF	g	65,26	9,7	686	17004	113,88		255,6	
21	MIX	C	PU		55,74	9,4	588	11969	68,32		255,3	
22		C	PU		63,43	11,6	669	13416	97,68		252,8	
23		C	PRF		62,56	10,1	659	13982	96,69		250,5	
24	MIX	C	PU		57,53	12,2	605	16546	97,93		248,7	S - 3,98
25		C	PU		61,36	12,3	645	12805	97,62		247,1	
26		C	PU	g	64,29	10,2	683	15614	117,17		253,2	
27		C	PRF		65,50	12,6	677	13756	83,08	211	246,3	
28	MIX	C	PU	g	55,70	9,5	585	14692	91,42		253,9	
29		C	PU		61,48	11,4	648	14036	92,06		230,6	
30		C	PRF	g	64,79	9,2	683	14739	112,39		251,2	
31		C	PU		65,36	9	691	16764	120,30		244,8	
32		C	PU	g	64,68	10,5	678	14220	58,10	129	250,6	
33		C	PRF		67,64	11,3	704	13476	90,07	470	244,6	
34		A	PU		61,35	12,4	653	15546	98,73		131,4	
35		A	MUF		64,77	12,2	669	12733	66,52		77,4	
36	MIX	A	PU		56,02	11,6	582	12620	68,37	410	131,1	
37		A	PU		61,41	12,1	648	13529	81,91		131,0	
38		A	PU	g	64,41	11,8	681	15420	81,19		126,6	D
39		A	MUF	g	64,95	11,6	670	15791	97,71		128,7	D
40	MIX	A	PU		58,27	11,1	608	13990	53,38		131,0	

Tab. 6.12 (Forts.)

Balken	Balkenart	Sortier- gruppe	Klebstoff	Lamellen gedämpft	Masse [kg]	Holzfeuch- te u [%]	ρ_{12} [kg/m ³]	E-Modul [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]	Bruchort [mm]	Ranking Zugrand- lamelle	Anmer- kungen
41		A	PU		60,64	10,3	635	13190	87,31		131,0	
42		A	MUF		61,89	11,1	644	11748	53,53		130,7	
43	MIX	A	PU	g	58,74	9,3	621	16410	90,61		127,9	
44		A	PU		59,25	11,2	629	12646	85,21		130,3	
45		A	PU		63,99	12,2	670	14755	88,75		130,3	
46		A	MUF		61,85	11,8	644	14874	87,80	100	129,1	
47	MIX	A	PU		56,15	10,7	589	14040	85,16		128,9	
48		A	PU		62,29	12	658	14385	77,63		128,9	
49		A	MUF		61,32	12,3	633	12951	66,97		116,1	
50	MIX	A	PU		56,81	9,9	598	12694	70,52		126,6	
51		A	PU		61,54	10,3	654	13859	72,30	160	214,7	
52		A	PU		60,79	11,3	642	13630	85,71	454	114,0	
53		A	MUF		63,21	11	656	13652	57,90		125,4	
54	MIX	A	PU	g	57,30	10	604	16080	92,66	89	127,4	
55		A	PU		59,48	10,7	632	12436	76,55		125,2	
56		A	MUF		59,79	11,4	623	14029	92,14		112,9	
57	MIX	A	PU		57,52	12	597	12607	91,64	299	112,9	D
58		A	PU		60,79	10,7	637	12679	56,84		123,6	
59		A	PU		62,34	11,6	649	15384	59,87	259	123,5	
60		A	MUF	g	66,53	10,9	691	16894	93,57		119,9	
61	MIX	A	PU		54,42	10,5	571	12747	66,97		123,1	
62		A	PU	g	62,39	11,6	658	14313	76,67		127,0	
63		A	MUF		64,71	12,6	669	14214	84,00		122,9	
64		A	PU		60,50	11,2	633	12065	56,51		122,1	
65		A	PU		62,82	9,5	662	14567	95,63		121,8	
66		A	MUF		66,63	13,1	690	13680	62,36		97,1	
67		B	PU		67,00	10,9	711	15450	101,24		186,1	
68	MIX	B	PU		55,38	11,9	583	14268	91,33		185,6	
69		B	PU		65,98	9,6	706	15603	86,33		185,2	
70	MIX	B	PU		53,40	11	565	12507	82,49		185,1	
71	MIX	B	PU	g	57,72	10,1	615	17804	109,38		185,3	
72		B	PU	g	65,32	11,8	687	15836	112,28	271	185,0	
73	MIX	B	PU		57,63	12	607	13973	81,40		183,5	S - 3,31
74		B	PU		62,61	12,5	660	14062	77,49		182,7	
75	MIX	B	PU		54,66	11,4	577	12880	55,69		182,6	
76		B	PU		63,39	12	668	13297	97,64		171,7	
77		B	PU		63,46	12	670	13675	100,17		171,6	
78	MIX	B	PU		54,73	11,9	577	13971	75,18		147,4	
79		B	PU		63,01	12	665	13354	68,33		182,0	
80	MIX	B	PU		55,67	11,8	588	13019	90,90		155,9	

Tab. 6.12 (Forts.)

Balken	Balkenart	Sortiergruppe	Klebstoff	Lamellen gedämpft	Masse [kg]	Holzfeuchte u [%]	ρ_{12} [kg/m ³]	E-Modul [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]	Bruchort [mm]	Ranking Zugrandlamelle	Anmerkungen
81	MIX	B	PU	g	56,75	10,6	604	15491	103,71		183,7	D
82		B	PU		61,60	12,8	646	14287	85,21		181,5	
83	MIX	B	PU		51,62	11,4	546	13601	81,90		180,4	
84		B	PU	g	62,69	9,9	668	15674	107,82		181,5	
85	MIX	B	PU		55,58	12,6	584	15319	96,73		180,1	
86	MIX	B	PU		57,78	13	606	15350	94,03		180,0	S - 3,83
87		B	PU		62,53	11,9	659	13418	95,34	140	180,0	
88	MIX	B	PU		56,33	10,7	598	13914	90,24		178,2	
89		B	PU		61,59	11,1	654	15044	93,16		177,0	
90	MIX	B	PU		57,74	12,4	608	15033	98,34		167,9	
91	MIX	B	PU	g	56,05	11,2	592	15095	94,71		180,0	
92		B	PU		65,74	12	694	14432	90,07		176,6	
93	MIX	B	PU		55,09	12,7	578	14511	81,40		175,9	
94		B	PU		62,34	11,9	658	14227	93,72		175,5	
95	MIX	B	PU		56,88	12,2	598	13814	84,05		175,3	S - 3,42
96	MIX	B	PU		55,33	11,8	584	12427	83,24		174,7	
97		B	PU	g	65,33	11,8	688	15488	99,73		179,3	
98	MIX	B	PU		58,02	11,1	615	16055	108,18		174,7	
99		B	PU		63,02	11,9	665	11975	74,21		174,6	
100	MIX	B	PU		57,99	11,9	615	15448	86,32		173,8	
101		B	PU		63,07	11,4	668	14610	107,56		173,7	

6.3.3.3 Auswertung

Die Auswertung der Ergebnisse aus den Biegeversuchen kann in vielen verschiedenen Formen durchgeführt werden. Aufgrund der doch relativ geringen Anzahl verfügbarer Werte und der eingangs dargestellten Zielsetzung scheint es angebracht, die wesentlichen möglichen Aussagen darzustellen.

Die Festigkeit des Holzes ist von der Größe des untersuchten Elementes abhängig. Über das Ausmaß dieser Abhängigkeit herrscht nicht immer unbedingt Einigkeit. Es gilt jedoch als anerkannt – und kann in den meisten Normen wieder gefunden werden – , dass bei BSH-Elementen zur Bestimmung der Biegefestigkeit für den Querschnitt eine Referenzbreite von 150 mm gilt und eine Referenzhöhe von 600 mm zu verwenden ist. Die Biegefestigkeitswerte werden somit vor der Auswertung gemäß prEN 1194:1999 folgendermaßen korrigiert:

$$f_{m, \text{korr}} = [h/600]^{0,1} \cdot f_m$$

Gleichung 6.3

Eine statistische Auswertung von korrigierten Festigkeitswerten und E-Modul kann Tabelle 6.13 und Tabelle 6.14 entnommen werden.

Tabelle 6.13: Auswertung der Biegeprüfung – Biegefestigkeit $f_{m,korr}$ [N/mm²]

	Anzahl	Mittelwert	Varianz	Maximum	Minimum	Fraktilwert
Alle	101	78,1	0,173	106,7	47,3	55,8
Bu	65	78,0	0,180	106,7	47,5	54,8
Kombi	36	78,2	0,160	98,2	47,3	57,6
A						
Bu	25	68,9	0,179	87,5	47,5	48,6
Kombi	8	68,6	0,176	82,1	47,3	48,7
Alle	33	68,8	0,178	87,5	47,3	48,6
B						
Bu	16	82,6	0,129	99,5	60,6	65,0
Kombi	19	78,8	0,136	97,0	49,4	61,1
Alle	35	80,5	0,135	99,5	49,4	62,6
C						
Bu	24	84,4	0,148	106,7	51,5	63,8
Kombi	9	85,5	0,125	98,2	60,6	67,9
Alle	33	84,7	0,142	106,7	51,5	64,9

Tabelle 6.14: Auswertung der Biegeprüfung – Elastizitätsmodul [N/mm²]

	Anzahl	Mittelwert	Varianz	Maximum	Minimum	Fraktilwert
Alle	101	14362	0,089	17804	11748	12253
Bu	65	14331	0,084	17004	11748	12345
Kombi	36	14418	0,097	17804	11969	12110
A						
Bu	25	13959	0,089	16894	11748	11909
Kombi	8	13899	0,105	16410	12607	11491
Alle	33	13944	0,093	16894	11748	11804
B						
Bu	16	14402	0,073	15836	11975	12667
Kombi	19	14446	0,091	17804	12427	12277
Alle	35	14426	0,083	17804	11975	12450
C						
Bu	24	14671	0,078	17004	12805	12783
Kombi	9	14818	0,092	16546	11969	12569
Alle	33	14711	0,082	17004	11969	12721

Die durchgeführten Untersuchungen sind im Umfang und in der Auslegung der Untersuchung durch die bereits beschriebenen Randbedingungen begrenzt gewesen. Die Ergebnisse lassen einige Schlussfolgerungen zu, die als erster Hinweis zum Tragverhalten von Buchen-BSH und als Grundlage oder Ergänzung für weitere Untersuchungen dienen können.

Festigkeitswerte

- Die Sortiergruppen A, B und C entsprechen den besten Bereichen der Lamellengruppen A, B und C, da an der Zugseite jeweils die von der Sortierung her besten Lamellen aus der Gruppe angeordnet wurden. Es wird auch noch einmal darauf hingewiesen, dass im Rahmen einer Vorsortierung alle Lamellen mit einem Astanteil größer einem Drittel der Lamellenbreite von vorneherein aussortiert und die jeweiligen beiden Randlamellen keilzinkenfrei gehalten wurden. Die in den Biegeprüfungen bestimmten Festigkeiten sind so-

mit nicht repräsentativ und zur Ermittlung charakteristischer Werte sicherlich nicht geeignet. Die Zielsetzung des Projektes besteht aber nicht in der Einstufung von Buchen-Brettschichtholz in Festigkeitsklassen. Es geht vielmehr darum Aussagen darüber zu machen, welche mechanische Leistung mit diesem Material möglich ist. Die ermittelten Werte sind somit als Anhaltspunkt zu verstehen.

- Die Werte der Sortiergruppen B und C liegen nahe beieinander. Die teilweise höheren Fraktilwerte der Gruppe B sind damit zu begründen, dass die Streubreite in dieser Gruppe geringer ist als in der nach oben offenen Gruppe C. Auf die ähnlichen Festigkeitswerte der Gruppen B und C wird weiter unten noch eingegangen.
- Es ist eine deutliche Abstufung der Sortiergruppe A erkennbar.
- Als Kennwert der Festigkeit gilt der 5%-Fraktilwert. Dieser wurde in Tabelle 6.13 statistisch ermittelt, da die Stichprobe sehr gering gewesen ist und die große Streuung der Werte zu sehr tiefen Abzählwerten geführt hätte.
- Die reinen Buchenbalken und die kombinierten Träger liefern sehr ähnliche Resultate, was den Erwartungen entspricht.
- Die Sortiergruppe A weist mit einem charakteristischen Wert von 48,6 N/mm² eine Festigkeit auf, die einer Fichte der Klasse GI 48 entsprechen würde. Aus der Tatsache, dass die Festigkeitsklasse mit den besten Eigenschaften für die Fichte mit GI 36 bezeichnet wird, ist das Potenzial der Buche deutlich zu erkennen. Die hier verwendete Sortiergruppe A wies eine insgesamt mäßige Qualität auf. Mit der Anordnung der besten Lamellen aus dieser Gruppe auf der Zugseite dürfte dies teilweise kompensiert worden sein.
- Bei den Sortiergruppen B und C wurden für die Biegefestigkeit charakteristische Werte erreicht, die den Kennwerten von BSH-Elementen der Nadelholzklasse GI 52 bis GI 60 entsprechen würden. Da diese Werte bereits von der Sortiergruppe B erreicht werden konnten, ist davon auszugehen, dass diese Leistung bei einer praktischen Umsetzung durchaus realistisch sein kann.

Steifigkeiten

- Die Steifigkeit von Buchen-BSH liegt zwischen 13.900 und 14.700 N/mm² bei allen geprüften Gruppen und bestätigt damit Ergebnisse von GLOS und LEDERER (2000). Dieses Ergebnis überrascht sowohl hinsichtlich der geringen Streuung als auch hinsichtlich der relativ kleinen Werte. Die absolute Streuung der Werte (12.000 bis 18.000) ist ebenfalls bei allen Gruppen ähnlich. Dies kann auf die festigkeitsorientierte Sortierung zurückgeführt werden. Dieser Aspekt ist in zukünftigen Forschungsarbeiten zur Thematik weiter zu verfolgen. Es ist aber festzuhalten, dass im Vergleich zu BSH aus Fichte eine Erhöhung der Materialsteifigkeit in eher geringer Form zu erwarten ist.
- Die ermittelten E-Moduln bestätigen die in den Lamellenzugversuchen ermittelten Werte. Der geringe Unterschied zugunsten der Biegeelemente ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass als Randlamellen vorsätzlich höherwertigeres Material eingesetzt wurde.
- Die geringen Unterschiede zwischen den Sortiergruppen könnten auf die einzig auf Festigkeit ausgelegte Sortierung zurückgeführt werden, wobei erst weitere Untersuchungen in Sachen Sortierung und Eigenschaften von Buchenholz diese eher spekulative Hypothese aufleuchten werden können.
- Es ist interessanterweise festzustellen, dass sich die Varianzen beim E-Modul gar nicht und bei der Festigkeit nur geringfügig unterscheiden, wenn man die Gesamtheit der Prüfungen mit den Ergebnissen in den einzelnen Sortiergruppen vergleicht.

- Die teilweise hohen Erwartungen an eine markante Verbesserung der Steifigkeit von Bauteilen durch die Verwendung von Buchenholz müssen sicherlich zurückgeschraubt werden.

Die mechanischen Eigenschaften zeigen eine eher starke Streuung, die eine Sortierung zur erfolgreichen Anwendung unverzichtbar macht. Die hier vorgenommene Sortierung ist in Bezug auf die Festigkeit gut gelungen. Offen bleibt die Frage nach einer Aufteilung in Klassen zu einem optimalen Einsatz des Rohmaterials. Dies ist jedoch nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchung.

6.3.4 Prüfung der keilgezinkten Lamellen

Es ist offensichtlich, dass zur Verwirklichung hochwertigen Brettschichtholzes aus Buchenholz auch hochwertige Keilzinkenverbindungen notwendig sind. Die hochwertigste Lamelle am Biegezugrand eines Brettschichtholzträgers erscheint nutzlos, wenn der Keilzinkenstoß die auftretenden Spannungen nicht übertragen kann. Die europäische Vornorm prEN 1194:1999 fordert dazu von den Lamellenstößen eine um 5 MPa höhere charakteristische Zugfestigkeit als der charakteristische Wert der Lamellen.

Die Prüfung einiger keilgezinkten Lamellen fand am 23. und 24.10.2002 am Bautechnikzentrum (BTZ) der Technischen Universität Graz statt. Da bei den Biegeprüfungen (Abschnitt 6.2.3) jeweils die beiden äußeren Lamellen keilzinkenfrei waren, sollte die Prüfung Aufschluss über die Leistungsfähigkeit von keilgezinkten Buchenlamellen und einen möglichen Einfluss der Keilzinkungen auf die Tragfähigkeit der Brettschichtholzträger geben.

Prüfkörper

Es wurde nur eine vergleichsweise geringe Zahl von insgesamt 28 keilgezinkten Lamellen untersucht. Bei den Keilzinkenstößen wurden drei unterschiedliche Klebstoffe verwendet. 10 der 28 Prüfkörper waren mit einem Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Harz („PRF“) verklebt, bei jeweils 9 Prüfkörpern kamen ein Polyurethan-Klebstoff („PU“) bzw. ein Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz („MUF“) zum Einsatz. Die keilgezinkten Lamellen (Sollquerschnitt 30 x 150 mm) wurden bei der Firma Zang & Bahmer im hessischen Dietzenbach hergestellt. Die Zinkengeometrie betrug 15 x 3,8 x 0,42 mm (DIN 68140:1998).

Durchführung der Versuche

Unmittelbar vor den Prüfungen fand eine elektronische Holzfeuchtemessung der beiden keilgezinkten Lamellen statt. Zusätzlich wurde die Masse des Prüfkörpers bestimmt und die Ist-Querschnittsmaße an mehreren Stellen entlang der Lamellenlängsachse gemessen. Ein Sylvatest-Gerät kam bei allen Prüfkörpern zur Bestimmung des dynamischen E-Moduls zum Einsatz.

Zur Durchführung der Versuche wurde erneut die bereits bei den Zugprüfungen eingesetzte Horizontalprüfmaschine verwendet (Abschnitt 6.3.2). Um bei den Prüfungen das Versagen der Keilzinkenverbindungen zu gewährleisten, wurde eine möglichst kurze Prüflänge angestrebt. Beim Einsatz der verwendeten Prüfmaschine ist eine Mindestprüflänge von 1,25 m erforderlich. Um die nach DIN EN 408:1996 geforderte Prüflänge des 9-fachen der Lamellenbreite einzuhalten, wurde schließlich eine Prüflänge von 1,35 m festgelegt. Die daraus resultierende Mindestlänge der Prüfkörper ergab sich aus der freien Prüflänge und der Länge der hydraulischen Klemmbanken (jeweils 0,35 m) zu 2,05 m. Da die Prüfkörper im Durchschnitt eine Länge von 2,20 m aufwiesen, konnten diese so in der Prüfmaschine positioniert werden, dass die Keilzinkung ungefähr in der Mitte der freien Prüflänge zu liegen kam.

Erneut erfolgte neben der Bestimmung der Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindung im Vorversuch auch die Ermittlung des Zug-Elastizitätsmoduls nach DIN EN 408:1996, welches in diesem Falle als Mittelwert der beiden im Prüfkörper verwendeten Lamellen anzusehen war. Dazu wurde wiederum an beiden Schmalseiten des Prüfkörpers die Dehnung über eine Länge von 750 mm mit induktiven Wegaufnehmern gemessen und aus beiden Messungen der Mittelwert gebildet.

Beobachtungen und Ergebnisse

Die Ergebnisse wiesen eine sehr große Streubreite auf. Bezüglich dem Versagen der Prüfkörper wurde nach fünf unterschiedlichen Ursachen unterschieden:

- (1) Reines Klebstoffversagen: Die Keilzinken selbst bleiben völlig oder fast völlig unversehrt. Durch Verwendung eines geeigneteren Klebstoffes können zweifellos erhebliche Verbesserungen erzielt werden.



Abbildung 6.43: Reines Klebstoffversagen

- (2) Kombiniertes Versagen in der Keilzinkenverbindung: Hier kommt es zu kombinierten Keilzinkenbruch (Zugversagen im Zinkengrund) und Klebstoffversagen, welches die letztendlich angestrebte Versagensart darstellt.

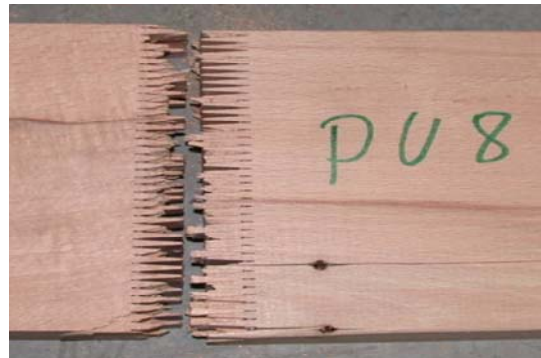


Abbildung 6.44: Kombiniertes Versagen

- (3) Teilversagen der Keilzinkenverbindung: Bei dieser Bruchart dürfte das Versagen von einem Fehler bei einer der beiden beteiligten Lamellen ausgehen (i.d.R. Faserabweichung). Der entstehende Riss pflanzt sich fort, bis er an der Keilzinkenverbindung auf die andere Lamelle stößt, wo der entsprechende Fehler nicht vorhanden ist. Durch die angerissene Lamelle kann nur noch ein Teil der Keilzinkenverbindung zur Kraftübertragung erhalten, was dann zum Versagen der Keilzinkenverbindung führt. Die Grundursache ist demnach in Holzfehlern der beteiligten Lamellen im Bereich der Keilzinkenverbindung zu sehen und



Abbildung 6.45: Teilversagen der Keilzinkenverbindung

man kann davon ausgehen, dass bei fehlerfreien Lamellen eine größerer Kraftübertragung durch den Keilzinkenstoß möglich gewesen wäre.

- (4) Holzversagen mit Anriss an der Keilzinkung: Dieses Versagen hat vermutlich ähnliche Gründe wie Versagensursache (3) und war stets mit einer globalen Faserabweichung bei einer der beteiligten Lamellen verbunden. Unklar ist, ob die Rissinitiierung durch die Keilzinkenverbindung begünstigt wird. Die Keilzinkenverbindung blieb in allen Fällen bis auf den äußeren Bereich der Rissentstehung völlig unversehrt.



Abbildung 6.46: Holzversagen mit Anriss an der Keilzinkung

- (5) Reines Holzversagen: Eine der beiden Lamellen versagt. Die Keilzinkenverbindung ist nicht beteiligt und bleibt unversehrt. Das Versuchsergebnis gibt keinerlei Aufschluss über die Tragfähigkeit des Keilzinkenstoßes.



Abbildung 6.47: Reines Holzversagen

Da die Versagensarten (3) bis (5) nicht direkt mit der Keilzinkenverbindung in Verbindung gebracht werden konnten, reduzierte sich die Zahl der verwertbaren Prüfergebnisse auf 16 (Versagensarten (1) und (2)). Aufgrund dieser kleinen Zahl wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet. Die erzielten Tragfähigkeiten der Prüfkörper sind unterschieden nach Versagensarten in Abbildung 6.48 dargestellt.

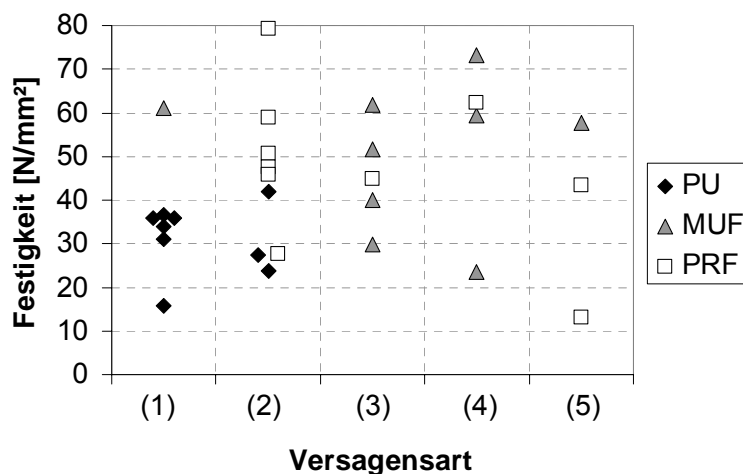


Abbildung 6.48: Versuchsergebnisse bei den Keilzinkenprüfungen

Erkenntnisse

Trotz der geringen Zahl verwertbarer Prüfergebnisse, geben die Versuche einen guten Einblick in das Tragverhalten und Bruchverhalten keilgezinkter Zuglamellen.

Wie die Ergebnisse in Abbildung 6.48 verdeutlichen, treten offensichtlich erhebliche Unterschiede beim Tragverhalten in Abhängigkeit zum verwendeten Klebstoff auf. Dennoch sollten mit den in dieser Untersuchung erzielten Ergebnissen keine generellen Schlüsse auf die Eignung einer bestimmten Klebstoffart gezogen werden. Untersuchungen bezüglich der Verklebung von Laubholz von PITZNER ET AL. (2001) zeigen beispielsweise, dass die Qualität der Verklebung auch innerhalb eines Klebstofftyps erheblich variieren kann.

Die Ergebnisse zeigen, dass hochwertige Keilzinkenverbindungen prinzipiell möglich sind. Es sei erwähnt, dass bei GEHRI (1985) Keilzinkenverbindungen aus Buchenholz Tragfähigkeiten von 80 bis 100 N/mm² erreichten. AICHER ET AL. (2001) erzielten für Keilzinkenstöße aus hochwertigen Buchenlamellen eine mittlere Zugfestigkeit von 70,1 N/mm² (Verklebung mit einem MUF). Für qualitativ schlechteres Material ergab sich ein kleinerer Wert.

Zur Verwirklichung hochwertiger Keilzinkenverbindungen bei Lamellen aus Buchenholz besteht zweifelsohne weiterer Forschungsbedarf. Die Übertragung der bekannten Erfahrungen mit Fichtenholz führt keineswegs zu optimalen Ergebnissen (GEHRI 1985). Neben der Untersuchung der Klebstoffe sollte auch die Keilzinkengeometrie untersucht und optimiert werden. Auch andere Parameter, z.B. Klebstoffmenge oder Anpressdruck, könnten das Tragvermögen der Keilzinkenstöße beeinflussen.

Bei der Durchführung weiterer Zugversuche sollte darauf geachtet werden, die freie Prüflänge kurz zu halten. Auch sollten möglichst fehlerfreie Lamellen verwendet werden, um ein Versagen am Keilzinkenstoß zu gewährleisten und die für die Versuche notwendige Materialmenge zu begrenzen.

6.3.5 Zusammenhänge unterschiedlicher Eigenschaften

6.3.5.1 Korrelation von Sortierparametern und mechanischen Eigenschaften

Die gewissenhafte Aufnahme unterschiedlicher Sortierparameter im Rahmen dieses Projektes ermöglicht die Untersuchung des Korrelationsverhaltens der Sortierparameter zu den ermittelten mechanischen Eigenschaften. Die Kenntnis solcher Zusammenhänge ist Grundlage einer wirkungsvollen Sortierung. Eine derartige Untersuchung erscheint auch vor dem Hintergrund sinnvoll, dass im Jahr 2002 erstmalig Sortierregeln für Laubholz in die DIN 4074: 2002 aufgenommen wurden. Hinsichtlich einer Erläuterung der aufgenommenen Sortierparameter sei auf Abschnitt 5.2 verwiesen. Zur Untersuchung des Korrelationsverhaltens wurden Zug- und Biegeversuche herangezogen.

Tabelle 6.15: Korrelationskoeffizienten von mechanischen Eigenschaften und Sortierparametern

Sortierparameter	f_t	E_t	f_m	E_m
$\rho_{12, \text{korr}}$	0,41 0,14	0,75 0,45	0,24 0,15 – 0,20	0,54 0,38 – 0,45
E_{dyn}	0,44	0,87	0,32	0,80
DAB	0,54 0,64	0,11 0,55	0,36 0,56 – 0,70	0,16 0,31 – 0,44
Faserabweichung	0,26 0,13	0,06 0,25	0,14 0,14	0,15 0,21
Mittlere Jahrringbreite	0,14 0,26	0,36 0,36	0,13 0,26	0,15 0,02 – 0,07
Ranking-Wert	0,64	0,36	0,46	0,26

In Tabelle 6.15 sind alle Korrelationskoeffizienten von ermittelten mechanischen Eigenschaften und den aufgenommenen Sortierparametern angegeben. Der obere fettgedruckte Wert stammt aus dieser Untersuchung, darunter ist jeweils der entsprechende Wert aus der Untersuchung von GLOS, LEDERER (2000) angegeben. Die Korrelationskoeffizienten bei der Biegefestigkeit wurden mit den Sortierparametern der Zugrandlamelle, welche für die Leistungsfähigkeit des Biegeträgers von großer Bedeutung ist, bestimmt. Darum ist bei der Betrachtung der Werte folgendes zu beachten:

- Nicht in allen Fällen war Zugversagen der Randlamelle für das Versagen des Biegeträgers ausschlaggebend. Im Falle von Schub- oder Druckversagen wurden aber in der Regel überdurchschnittlich hohe Traglasten erzielt, so dass eine Vernachlässigung dieser Werte vermutlich keine Verbesserung der Korrelation hervorrufen würde.
- Auch die anderen Lamellen des Biegeträgers besitzen einen - wenn auch geringeren - Einfluss auf dessen Tragfähigkeit
- Die Aufnahme der Sortierparameter erfolgte stets über die volle Länge der Buchenlamellen. Bei den Zugversuchen wurden die Lamellen jedoch nur über eine Länge von 1,70 m geprüft. Ebenso bestand bei den Biegeversuchen die volle Beanspruchung nur im mittleren Drittel der Lamelle über eine Länge von 1,08 m.

Zur Ermittlung der Korrelationskoeffizienten des Biege-E-Moduls wurden die Mittelwerte der Sortierparameter beider Randlamellen herangezogen. Auch hier ist bezüglich der Zugversuche anzumerken, dass der E-Modul lediglich über eine Länge von 750 mm bestimmt wurde. Betrachtet man die Korrelationskoeffizienten der Biegeversuche, so fällt auf, dass diese gegenüber den bei den Zugversuchen ermittelten Werten aus bereits angesprochenen Gründen etwas kleiner ausfallen.

Das dominierende Kriterium zur Beurteilung der Festigkeit einer Lamelle stellt die Astigkeit dar. Diese Beobachtung steht im Einklang mit Erkenntnissen von GLOS, LEDERER (2000). Die beiden Autoren stellten außerdem fest, dass die Astigkeitsparameter DEB und DAB nach DIN 4074:2002, die im Vergleich zu anderen Astigkeitsparametern einfach zu bestimmen sind, den Einfluss der Astigkeit auf die mechanischen Eigenschaften am besten beschreiben. Einen anerkannt geringeren Einfluss besitzt die Astigkeit auf den E-Modul.

Der E-Modul weist eine hohe Korrelation (0,75) zur Rohdichte auf, auch bei der Festigkeit ist eine Korrelation (0,41) erkennbar. Schaltet man den dominierenden Einfluss der Astigkeit aus und beschränkt sich auf Lamellen mit einem DAB-Wert kleiner 0,06, so ergeben sich höhere Korrelationskoeffizienten für E-Modul (0,85) und Festigkeit (0,52).

Eine ausgezeichnete Prognose des E-Moduls ist mit Hilfe der Ultraschallmessung möglich. Gemessener „dynamischer E-Modul“ und die in den Versuchen ermittelten E-Moduln weisen sehr hohe Korrelationen auf.

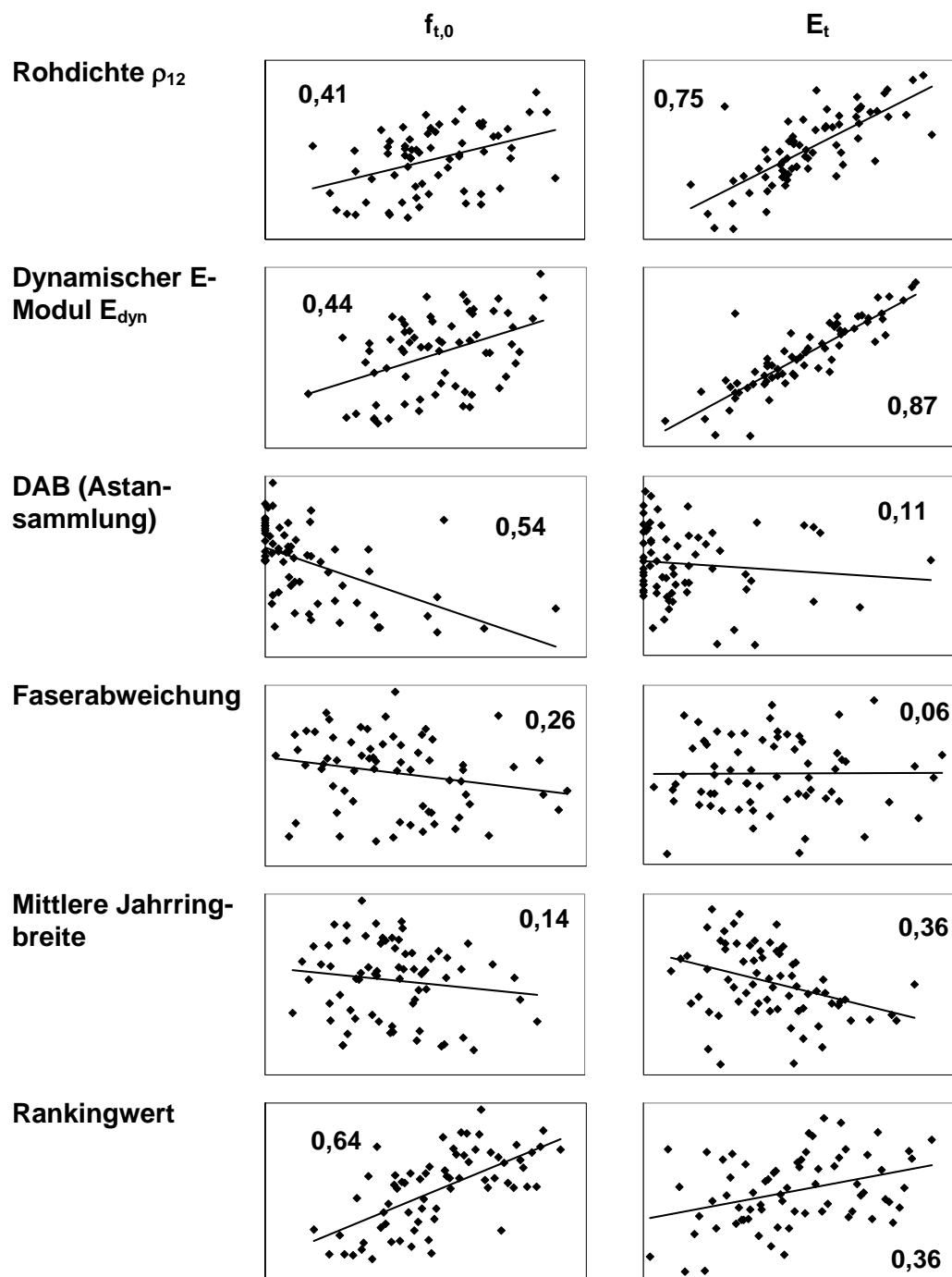
Bei den mittleren Jahrringbreiten ist praktisch kein Zusammenhang zu Festig- und Steifigkeiten feststellbar. Ebenfalls nur einen geringen Zusammenhang zu den mechanischen Werten lassen die Faserabweichungen erkennen. Diese Feststellung ist insofern zu hinterfragen, dass bei den Biegeversuchen Faserabweichungen häufig als Versagenskriterium beobachtet wurden. GLOS und LEDERER (2000) stellen fest, dass sich ein relevanter Einfluss ergibt, wenn man nur die Hölzer berücksichtigt, bei denen die Faserneigung größer $6,8^\circ$ ist. Dieses Erkenntnis kann hier zumindest tendenziell bestätigt werden. Werden nur Faserabweichungen von mehr als $6,8^\circ$ betrachtet, ergibt sich bei den Zugversuchen ein Korrelationskoeffizient von 0,28.

Die beste Korrelation bei der Festigkeit (0,64) konnte in dieser Untersuchung zum ermittelten Rankingwert (Tabelle 6.15) festgestellt werden, der letztendlich alle aufgenommenen Sortierparameter enthält. Eine wesentlich schlechtere Korrelation des Ranking-Wertes ergab sich zum E-Modul (0,36), was auf die festigkeitsorientierte Sortierung zurückzuführen ist. Allein

die Rohdichte oder die Ultraschallmessung hätten den E-Modul wesentlich besser prognostiziert.

Die Korrelation zwischen Festigkeit und E-Modul ergab sich zu 0,49 (Zugversuche) und 0,65 (Biegeversuche). GLOS und LEDERER (2000) erzielten hier höhere Werte (0,70 bzw. 0,66). Dieses Ergebnisse verdeutlicht den klaren Zusammenhang, auf dem in der Regel die maschinellen Sortierverfahren basieren. Eine maschinelle Sortierung von Buchenlamellen erscheint somit prinzipiell möglich. Ein Sortierverfahren, welches sich auf die Ermittlung von Steifigkeit und Astigkeit konzentriert, könnte die Zugfestigkeit des Materials bereits recht zuverlässig prognostizieren. Durch den geringen Farbunterschied gestaltet sich die Erkennung von Ästen häufig als schwierig.

Tabelle 6.16: Korrelationsverhalten bei Zugversuchen



6.3.5.2 Zugfestigkeit der Lamellen und Biegefestigkeit der Träger

Der Zusammenhang zwischen den Lamelleneigenschaften und den Eigenschaften der fertigen BSH-Elemente gilt als Merkmal des Tragverhaltens von BSH-Elementen. Dabei wird die Zugfestigkeit als Kenngröße der verwendeten Lamellen und die Biegefestigkeit als Kenngröße der BSH-Biegeträger verwendet. In beiden Fällen sind die Kennwerte als charakteristische Werte zu verstehen. Diese Beziehung gilt als bekannt und anerkannt für Fichte und andere Nadelhölzer. Zusätzlich wurde sie bei bestimmten Laubholzarten (z.B. Robinie) mit Erfolg überprüft. Es ist also naheliegend, den Zusammenhang mit den hier vorliegenden Ergebnissen zu überprüfen. Diese Betrachtung erfordert jedoch eine genaue Beschreibung der Kennwerte der in den Biegebalken als Zuglamelle angeordneten Lamellen. Wegen der in der vorliegenden Untersuchung gewählten Zusammenstellung der Biegebalken ist es nicht korrekt, von den bei der Sortierung definierten Lamellengruppen und deren Kennwerten auszugehen.

Als Zuglamellen wurden die Lamellen aus dem oberen Bereich des Rankings der jeweiligen Sortiergruppe verwendet. Diese Untergruppe der Lamellengruppe A, B und C müssen also durch den charakteristischen Wert der Zugfestigkeit dieser Untergruppe beschrieben werden.

Als Ausgangslage dient die an den Lamellen durchgeführte Zugprüfung. Dabei waren die geprüften Lamellen gleichmäßig über den gesamten Rankingbereich verteilt. Die für die Zugzone der Balken verwendeten Lamellen stammen aus einem sehr engen Bereich der jeweiligen Lamellengruppe, nämlich dem Bereich mit den jeweils höchsten Ranking-Werten. In Abbildung 6.49 sind die Ergebnisse der Lamellen-Zugprüfung erneut dargestellt. Die Zugfestigkeit ist als Funktion des Rankingwertes angegeben. Als Unterklassen UA, UB und UC sind die Bereiche bezeichnet, aus denen die Zuglamellen der Balkengruppen A, B und C stammen.

Die Lamellen aus diesen drei Unterklassen sind im Diagramm besonders gekennzeichnet. Diese entsprechen den Rankingbereichen 122 bis 131 (Biegebalken-Gruppe A), 174 bis 186 (Gr. B) und 245 bis 292 (Gr. C). Der Rankingwert selbst ist in diesem Zusammenhang ohne physikalische oder mathematische Bedeutung.

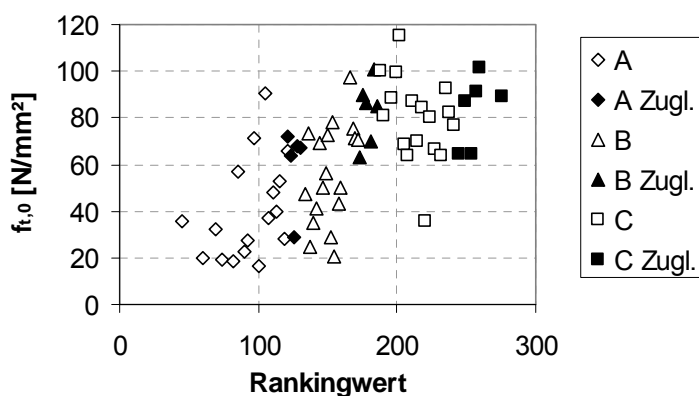


Abbildung 6.49: Lamellenzugprüfung: Zugfestigkeiten in Abhängigkeit zum Rankingwert

Die Kennwerte dieser Unterklassen wären somit anhand der wenigen, in Abbildung 6.49 dargestellten Einzeldaten zu gewinnen. Dass für eine statistische Auswertung die wenigen Daten nicht ausreichend sind, scheint auf den ersten Blick deutlich.

Eine entsprechende Darstellung für die Biegebalken enthält Abbildung 6.50. Die Biegefestigkeiten sind dort über den Ranking-Werten der Zugrandlamellen aufgetragen.

In Abbildung 6.50 sind die Biegebalken anhand der Unterklassen der Zuglamellen dargestellt. Zu dieser Betrachtung werden die Balken aus den 3 Unterklassen UA, UB, und UC betrachtet. Die übrigen Biegeversuche liegen aufgrund unplanmäßiger Unregelmäßigkeiten

bei der Anordnung der Lamellen außerhalb dieser Untergruppen und bleiben deshalb unberücksichtigt.

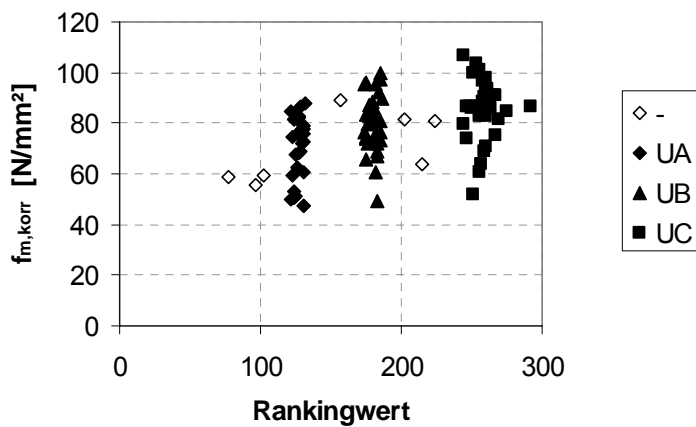


Abbildung 6.50: Biegefestigkeiten in Abhängigkeit zum Rankingwert

Da für den engen Bereich der definierten Untergruppen nicht ausreichend Ergebnisse aus den Zugprüfungen zur Verfügung stehen, besteht die Möglichkeit sich eine größere Zahl von Ergebnissen über Simulation zu beschaffen. Eine lineare Regressionsrechnung für die Gesamtheit der Zugversuche liefert in Abhängigkeit vom zugeordneten Rankingwert einen Erwartungswert der Zugfestigkeit:

$$\hat{f}_t = 0,2931 \cdot R + 15,189 \quad \text{Gleichung 6.4}$$

Die Zugfestigkeit ist durch den Rankingwert nicht genau festgelegt. Das Bestimmtheitsmaß beträgt lediglich 0,64. Dieses Bestimmtheitsmaß wird erreicht, wenn man davon ausgeht, dass sich zu einem vorgegebenen Rankingwert eine normalverteilte Zugfestigkeit ergibt, deren Mittelwert dem gemäß Ausdruck (6.1) bestimmbareren Erwartungswert entspricht. Ein Bestimmtheitsmaß von 0,64 wird erreicht, wenn die Zugfestigkeit aus

$$f_t = \hat{f}_t \pm 0,26 \cdot \hat{f}_t \quad \text{Gleichung 6.5}$$

ermittelt wird. Eine entsprechende Vorgehensweise ist auch für die Biegeträger möglich. Gemäß linearer Regression ergibt sich der Erwartungswert der Biegefestigkeit aus dem Rankingwert der Zugrandlamelle in folgender Form:

$$\hat{f}_m = 0,1117 \cdot R + 57,272 \quad \text{Gleichung 6.6}$$

Das Bestimmtheitsmaß von 0,45 erhält man durch erneutes Ansetzen einer Reststreuung:

$$f_m = \hat{f}_m \pm 0,15 \cdot \hat{f}_m \quad \text{Gleichung 6.7}$$

Bei 10.000 simulierten Rankingwerten, die ebenfalls normalverteilt entsprechend der durchgeführten Sortierung angenommen werden, ergeben sich für Untergruppe A (122 bis 131) 524 Werte, für Untergruppe B (174 bis 186) 830 Werte und für Untergruppe C (245-292) 554 Werte. Damit lassen sich die Kennwerte dieser Untergruppen als 5%-Fraktile leicht bestimmen. Neben den Kennwerten der Untergruppen wurden auch die Werte für die Gesamtheit der Untergruppen ermittelt. Abbildung 6.51 stellt die so entstandenen Kennwerte und die daraus entstehende Beziehung zwischen Zugfestigkeit der Lamellen und der Biegefestigkeit der BSH-Balken, sowie die aus der prEN 1194:1999 bekannte und als anerkannt geltende Kurve für Fichten-BSH.

Es kann festgestellt werden, dass die für Fichtenholz bekannte Beziehung auch für Buchenholz in guter Näherung anwendbar erscheint und hinsichtlich der Biegefestigkeit auf der sicheren Seite liegt.

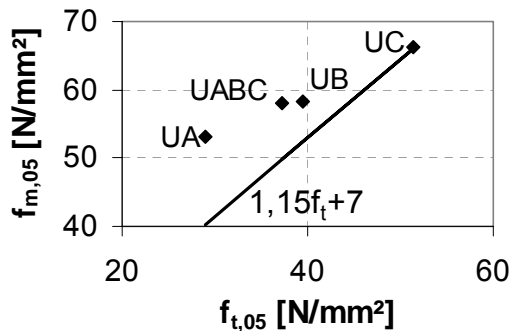


Abbildung 6.51: Zusammenhang von Zugfestigkeit der Lamellen und Biegefestigkeit der BSH-Träger

6.4 Zusammenfassung - Eigenschaftsprüfung

Zur Untersuchung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften von Brettschichtholz aus Buche wurden umfangreiche Versuchsprogramme durchgeführt.

Brettschichtholzträger mit unterschiedlichen Lamellenstärken wurden einer Delaminierungsprüfung unterzogen. Dabei stellte sich heraus, dass die Delaminierung mit ansteigender Lamellenstärke zunimmt. Für die drei untersuchten Klebstofftypen zeigten sich erhebliche Unterschiede im Delaminierungsverhalten. Der in der EN 386 geforderte Grenzwert der Delaminierung konnte im Mittel nur von MUF-verklebten Prüfkörpern mit 18 mm Lamellenstärke erreicht werden, wurde aber ansonsten meist deutlich verfehlt.

In Klimaprüfungen wurden verschiedene Buchen-BSH-Prüfkörper mit teilweise versiegelten Hirnenden unterschiedlichen Klimaszenarien ausgesetzt (kontrolliertes Wechselklima, natürliches Außenklima, unbeheiztes Innenklima) und dabei das Delaminierungsverhalten bzw. Feuchtebewegungen im Holz beobachtet. Die in den Delaminierungsprüfungen festgestellte Abhängigkeit zur Lamellendicke konnte dabei nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse aller drei Klebstofftypen schwanken erheblich und erweisen sich als sehr uneinheitlich. Prüfkörper mit versiegelten Hirnenden zeigen tendenziell bessere Ergebnisse, was sich mit zunehmender Trägerlänge relativieren dürfte.

Zur mechanischen Untersuchung der Verklebungsqualität wurden zahlreiche Scher- und Querkzugversuche mit Kleinproben durchgeführt. Dabei wurden acht unterschiedliche Klebstoffprodukte verwendet. Bei der Zusammenstellung der Prüfkörper wurde zwischen „rotkernig“ und „weiß“ bzw. gedämpft und ungedämpft unterschieden. Die mechanische Qualität der Verklebung im Normalklima muss für alle untersuchten Klebstoffe und verklebten Kombinationen als gut bezeichnet werden, die Unterschiede zwischen den Klebern sind von eher kleiner Größenordnung. Auch die Verklebung von Buche mit Fichte offenbart gute Werte.

Zur Bestimmung der Effektivität der aufwändigen Sortierung wurden 70 Zugversuche mit Buchenlamellen durchgeführt, die einen eher orientierenden Charakter hatten und auch Aufschlüsse zum Korrelationsverhalten der aufgenommenen Sortierparameter mit den mechanischen Eigenschaften liefern sollten.

Die Zugversuche wurden dann durch ein umfangreiches Biegeversuchsprogramm mit homogenen Buchen-BSH-Trägern und kombinierten Buchen-Fichten-Trägern fortgesetzt. Diese Biegeversuche verdeutlichten, welches Leistungspotential in dem Material steckt und ergaben ausgezeichnete Festigkeiten, die sich für homogene und kombinierte Träger nicht unterscheiden. Hochwertige Festigkeitsklassen erscheinen auf Basis des ermittelten Datenmaterials möglich. Eine Erhöhung der Steifigkeit ist aber im Vergleich zu BSH aus Fichte in einer eher geringen Form zu erwarten.

Offen bleibt der Einfluss der Keilzinkenstöße auf die Tragfähigkeit der BSH-Träger aus Buche. Es ist offensichtlich, dass hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz nur möglich ist, wenn die Keilzinkenstöße die hohe Qualität des Materials widerspiegeln. Während die

Verklebung der Lamellen mit allen untersuchten Klebern sehr gut funktioniert, zeigen die Zugversuche mit keilgezinkten Lamellen, dass die Tragfähigkeit der Stöße in Abhängigkeit vom verwendeten Kleber erheblich variieren kann. Auch andere Parameter wie Zinkengeometrie, Klebstoffmenge oder Anpressdruck könnten das Ergebnis beeinflussen, so dass hier systematische Untersuchungen unvermeidbar erscheinen.

Die Auswertung der Sortierdaten im Hinblick auf die mechanische Leistung von Tragelementen zeigt, dass durch die Erfassung weniger Parameter eine zuverlässige maschinelle Sortierung möglich erscheint. Sicherlich sind weitere intensive Untersuchungen zur Sicherstellung einer effektiven Sortierung erforderlich. Die Überprüfung der Zusammenhänge zwischen der Zugfestigkeit der Lamellen und der dazugehörigen Biegefestigkeit von BSH zeigt eine erste grobe Übereinstimmung mit dem für Fichtenholz gültigen Tragmodell für BSH. Die experimentell fundierte Hypothese einer allgemeinen Gültigkeit dieses Modells ist somit korrekt.

Als nicht geklärt müssen Feuchteeinwirkungen auf die Verklebung bezeichnet werden. Da BSH aus Buche jedoch eher für die Innenanwendung vorgesehen ist, besteht hier kein unmittelbarer Forschungsbedarf. Eine Recherche zur Vergütung von Brettschichtholz aus Buchenholz mit methanolveretherten Melamin-Fomaldehyd-Harzen zur Verbesserung der Dimensionsstabilität ergab, dass eine solche Behandlung aufgrund einer nur geringen Reduzierung des Quell-/Schwindverhaltens, der Massenerhöhung und der schwierigen Imprägnierbarkeit des Rotkerns nicht sinnvoll ist.

Brettschichtholz aus Buche konnte erfolgreich hergestellt und experimentell untersucht werden. Die Ergebnisse zeigen, welche potenzielle Leistung in diesem Produkt steckt und stellen fundierte Anhaltspunkte für weitere Untersuchungen dar. Somit dürfen die Ziele dieser Untersuchung als erreicht betrachtet werden.

6.5 Vergütung von Buche mit methanolveretherten Melamin-Formaldehyd-Harzen

B. Pitzner

Dimensionsstabilität und natürliche Dauerhaftigkeit von Holz stellen in Hinsicht auf Funktionalität und Anwendungsbereich wichtige Faktoren dar. Vor diesem Hintergrund wurden bzw. werden verschiedene Methoden entwickelt, um die physikalischen und biologischen Eigenschaften des Werkstoffes Holz zu verbessern. Ziele der Holzvergütung sind unter anderem: die Schutzwirkung vor Schadorganismen, eine Quellungsvergütung durch Einbringung biozidfreier Stoffe in die Zelle bzw. durch Veränderung der Zellwand sowie die Erhöhung der Härte, Fotostabilität, Verleimbarkeit und der thermischen Stabilität. Akustische Eigenschaften können ebenfalls verändert werden (STEFKE, TEISCHINGER 2002).

Die Hemizellulose ist eine stark hygroskopische chemische Komponente der Zellwand und verfügt über die Eigenschaft, an den freien OH-Gruppen Wasser über Wasserstoffbrückenbindungen anlagern zu können. Dies ist der Grund dafür, dass die Zellwände des Holzes bei Feuchteänderungen der Umgebungsluft Wasser aufnehmen bzw. abgeben. Dieser Vorgang (Sorption) ist immer mit anisotropen Dimensionsänderungen verbunden. Dies hat insbesondere Folgen für Holzkonstruktionen, bei denen Passgenauigkeit und Formbeständigkeit von Bedeutung sind (z.B. Fenster). Eine weitere mögliche Folge größerer Dimensionsänderungen sind Spannungen, durch die Risse entstehen können. Eine Rissbildung kann sowohl die technische als auch die ästhetische Nutzbarkeit der Produkte beeinträchtigen. Eine Vergütung des Holzes bewirkt durch verschiedene Mechanismen eine Verringerung der Sorptionsfähigkeit und trägt dazu bei, die Dimensionsstabilität von Holz zu erhöhen (PATZELD, STINGL 2002).

Als Beispiele seien folgende Methoden der Holzvergütung hier genannt:

- Chemische Modifikation
- Thermische Modifikation
- Enzymatische Modifikation
- Mechanische Modifikation
- Genetische Modifikation
- Modifikation durch waldbauliche u.a. Maßnahmen

In diesem Kapitel soll auf die Imprägnierung mit methanolveretherten Melamin-Formaldehyd-Harzen eingegangen werden. Unveretherte Melaminharze sind nicht unbegrenzt wasserverdünnbar und weisen in wässrigen Lösungen nur eine begrenzte Stabilität auf (MEICHSNER 1999).

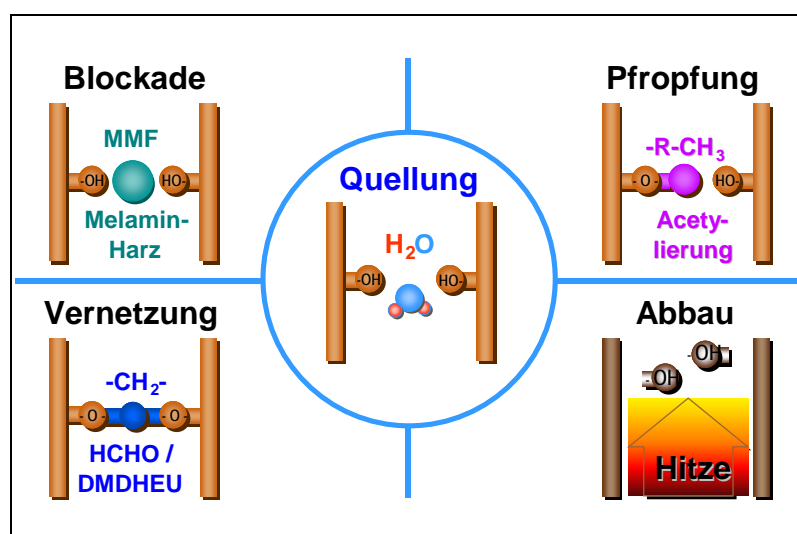


Abbildung 6.52: Möglichkeiten der biozidfreien Vergütung von Holz (RAPP ET AL. 2000b)

6.5.1 Herstellung und Verwendung von Melamin

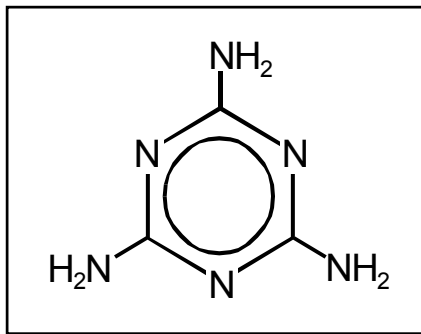


Abbildung 6.53: Strukturformel Melamin (NIST 2001)

„Melamin“ (2,4,6-Triamino-1,3,5-triazin, Cyanursäuretriamid) wurde erstmalig 1834 von LIEBIG hergestellt und beschrieben. Die ersten industriellen Anlagen wurden in den späten 1930er Jahren in Betrieb genommen. 1970 betrug die weltweite Melaminproduktion 200.000 t. Bis 1998 hat sich diese Menge auf rund 550.000 t erhöht (ULLMANN 1998). Melamin wird durch die Trimerisierung von Dicyandiamid oder heute überwiegend durch die Cyclisierung von Harnstoff unter CO_2/NH_3 -Abspaltung (RÖMPP 1995).

Bei der Herstellung entstehen feine, weiße pulverige Kristalle mit einer Dichte von $1,573 \text{ g/cm}^3$ und einem Schmelzpunkt bei 350°C (RÖMPP 1995).

Melamin wird vielseitig eingesetzt, hauptsächlich als Rohstoff für Melamin-Formaldehyd- und Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harze sowie in geringerem Umfang als Zementadditiv und Flammschutzmittel. Melaminharze sind farblose, chemikalien- und temperaturbeständige, harte und duroplastische Kunststoffe.

Melaminharze sind in Deutschland für Kinderspielzeug, Küchengegenstände sowie Essgeschirr zulässig, es handelt sich also um einen toxikologisch unbedenklichen Kunststoff. Die Harze werden ebenfalls für Beschichtungen von Holzwerkstoffen (z.B. Küchenarbeitsplatten), Formteile (z.B. Steckdosen), zur Nassfestausrüstung von Papier (z.B. Banknoten), als Einbrennlacke sowie als Zusatz für Leime (Brettschichtholz- und Holzwerkstoffherstellung) eingesetzt (RÖMPP 1995, LUKOWSKY 1999).

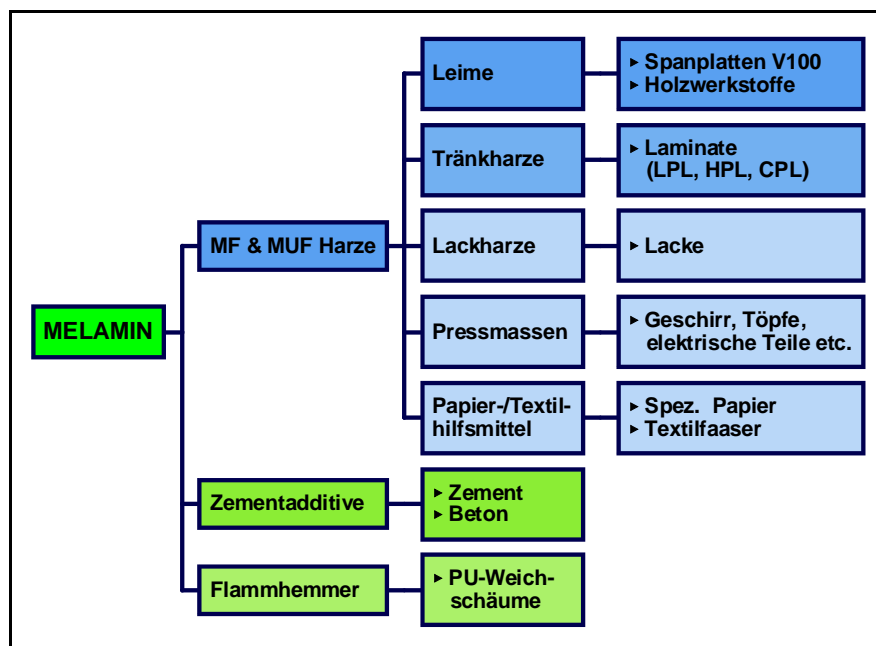


Abbildung 6.54: Verwendung von Melamin (AGROLINZ MELAMIN GmbH 2002)

6.5.2 Methanolveretherte Melamin-Formaldehyd-Harze

Methanolveretherte Melamin-Formaldehyd-Harze (MMF-Harze) werden durch die Umsetzung von Melamin mit Formaldehyd und Methanol hergestellt. Diese Produkte haben ihre größte Bedeutung auf dem Lackharzgebiet, werden aber auch im Textilhilfsmittelsektor ein-

gesetzt. Die Veretherung geschieht bevorzugt bei erhöhter Temperatur in Gegenwart von Säuren. Von Bedeutung ist dabei die Abwesenheit von Wasser oder das Arbeiten mit mehrfachem Alkoholüberschuss in schwach saurem pH-Bereich, da sonst die Melamin-Methylolverbindungen untereinander reagieren würden. Melamin-methylol-methylether sind schon bei gewöhnlichen Temperaturen in Wasser leicht löslich und weisen teilweise eine gute Kristallisationsfähigkeit auf. Bei den verethereten Melamin-Formaldehyd-Harzen, die als Lackrohstoffe eingesetzt werden, handelt es sich um niedermolekulare Vorkondensate mit einer relativen Molmasse zwischen 600 und 1400. Es wird eine über Methylenbrücken verknüpfte lineare Molekülstruktur von zwei bis vier Melaminmolekülen vermutet (ULLMANN 1974). Bei der Herstellung wird die Kondensation mit Formaldehyd nur bis zu einer bestimmten Stufe vorgenommen, da MMF-Harze zunächst noch gute Löslichkeitseigenschaften besitzen müssen. Erst nach der Verarbeitung, in diesem Falle die Einbringung in das Holz, wird die Kondensation zu Ende geführt, um Unlöslichkeit und gute Beständigkeit zu erhalten. Bei der Nutzung zur Holzvergütung wird diese Endkondensation (= Härtung) durch Hitzeeinwirkung erreicht. Melamin-Formaldehyd-Harze sind im Allgemeinen wesentlich spröder und härter als Harnstoff-Formaldehyd-Harze (Ullmann 1960). Die Löslichkeit der MMF-Harze in Wasser ist vom Formaldehydgehalt abhängig, d.h., je höher der Formaldehydanteil, desto größer ist die Zeitspanne bis zu einer kompletten Lösung des Fest-Harzes in Wasser. Auf der anderen Seite erhöht ein höherer Formaldehyd-Gehalt des Harzes die Topfzeit der Lösung (LUKOWSKY 2002).

MMF-Harze sind farblos und erleiden selbst bei hohen Hitzebeanspruchungen (bis ca. 180°C) und bei UV-Einstrahlung keine Farbtonveränderung, Vergrauung oder Vergilbung (Ullmann 1960, Rapp 1999). Mit MMF-Harzen vergütetes Harz ist farblich nicht von unbehandeltem Holz unterscheidbar, es bestehen jedoch alle Möglichkeiten der farblichen Gestaltung (RAPP 1999).

6.5.3 Tränkung mit Melaminharzen

In der Holzwirtschaft finden sich hauptsächlich klein- bis mittelständische Betriebe mit einem begrenzten Innovations- und Investitionspotenzial. Vor diesem Hintergrund ist es vorteilhaft, dass sich bestehende, für chromatfreie Holzschutzmittel wie CuHDO ausgelegte Kessel-Druckanlagen für das ebenfalls leicht basische Melaminharz eignen. Durch eine Beschichtung könnten ältere Kessel nachgerüstet werden, um eine fehlende korrosionsschützende Wirkung chromathaltiger Holzschutzmittel auszugleichen. Die Trocknung und Härtung in vorhandenen Trocknungsanlagen war bei Versuchen problemlos möglich (RAPP ET AL. 1998).

Die Tränklösung besteht aus dem mit Wasser auf 5-10 % (variabel, je nach Anwendungszweck) Feststoffgehalt verdünnten methylverethereten Melaminharz. Diese Lösung wird nach dem Vollzellverfahren in das Holz eingebracht. Zunächst wird durch ein Anfangsvakuum die im Holz befindliche Luft entfernt und im Anschluss wird der Kessel mit der verdünnten Tränklösung geflutet und dieses mit ca. 8 bar Überdruck über mehrere Stunden in das Holz gepresst. Nach einer schonenden Trocknung des Holzes erfolgt die eigentlich Aushärtung des Harzes bei einer Temperatur zwischen 90 und 140°C (RAPP ET AL. 2000a). Die Aushärtetemperatur zeigt einen deutlichen Einfluss auf das spätere Verhalten beispielsweise in unsterilisierten Komposterde. Kiefernproben zeigten je nach Aushärtetemperatur nach einer 24-wöchigen Lagerungszeit unterschiedliche Ergebnisse. Bei mit 90°C ausgehärteten Proben zeigte sich eine Erweichung des Holzes in mehreren Millimetern Tiefe. Proben, die unterhalb von 110°C ausgehärtet wurden, wiesen nur eine oberflächliche Aufweichung auf, wogegen die Proben, die bei 110°C oder darüber ausgehärtet wurden, nur eine leichte Verfärbung offenbarten (LUKOWSKY ET AL. 1998).

Ein weiterer wichtiger Aspekt für eine praxisgerechte Anwendung ist die Topfzeit. Für eine Druckimprägnierung im industriellen Maßstab benötigt der Druckkessel die ca. doppelte Menge an Tränkflüssigkeit, welche vom Holz aufgenommen wird. Der Einsatz von zweikom-

ponentigen Reaktionsharzen würde beträchtliche Mengen an Harz außerhalb des Holzes aushärten und große Mengen Abfall und Kosten verursachen. Die für diesen Zweck einsetzbaren MMF-Harze sind einkomponentig und härten durch die spätere Hitzeeinwirkung mit Hilfe der katalytisch wirkenden, im Holz vorhandenen organischen Säuren aus. Dadurch ergeben sich nicht die Probleme, die bei zweikomponentigen Systemen auftreten.

Weiter von Bedeutung ist die physikalische, chemische und biologische Stabilität der eingesetzten Tränklösung. Die Menge an Harzlösung, die beim Tränken nicht vom Holz aufgenommen wurde, kommt in Kontakt mit dem Holz und seinen teilweise löslichen Inhaltsstoffen, wie Zuckern, Säuren sowie möglichen Verunreinigungen, Sporen und anderen Mikroorganismen. Die Lösung muss in der Lage sein, diese Einwirkungen abzupuffern, um stabil für den weiteren Praxiseinsatz bzw. weitere Tränkvorgänge zu bleiben. In Versuchen zeigte sich, dass höher konzentrierte Lösungen durchaus dazu in der Lage sind, niedrig konzentrierte Lösungen jedoch Stabilitätsprobleme hatten. Diese Lösungen bedürfen einer ständigen pH-Wert-Kontrolle und gegebenenfalls den Einsatz von Gegenmaßnahmen, wie z.B. einer Alkalizugabe.

Für die Innenanwendung, beispielsweise für Parkettholz, bietet dieses Verfahren deutliche Vorteile gegenüber anderen Verfahren. Bei einer MMF-Verwendung für Hölzer im Außenbereich oder bei niedrigpreisigen Produkten sprechen die Kosten, durch einen höheren Stoff- und Energiebedarf sowie den zusätzlichen Produktionsschritten verursacht, gegen eine Anwendung (RAPP ET AL. 1998).

6.5.4 Dimensionsstabilität

Die Dimensionsstabilität kann mit Hilfe des ASE-Wertes (Anti Shrinking Efficiency) bewertet werden. Die ASE ist die Differenz der Quellungskoeffizienten behandelter und unbehandelter Proben und wird zwischen dem darrtrockenen Zustand und der maximalen Quellung oder zwischen verschiedenen hygroskopischen Feuchtebereichen bestimmt (LUKOWSKY 1999). Die ASE wird nach folgender Formel berechnet:

$$ASE = \frac{S_u - S_b}{S_u} \times 100 \quad [\%] \quad \text{Gleichung 6.8}$$

$$S = \frac{A_f - A_d}{A_d} \quad [-] \quad \text{Gleichung 6.9}$$

mit	ASE	= Anti Shrinking Efficiency [%]
	A _f	= Querschnittsfläche der feuchten Proben [mm ²]
	A _d	= Querschnittsfläche der trockenen Probe [mm ²]
	S	= Quellungskoeffizient [-]
	S _u	= Quellungskoeffizient der unbehandelten Probenfläche [-]
	S _b	= Quellungskoeffizient der behandelten Probenfläche [-]

(Nach DIN 52184:1979: Quellungskoeffizient = prozentuales Quellmaß je 1 % Änderung der rel. Luftfeuchte)

Mit Hilfe einer Vergütung mit wasserlöslichen MMF-Harzen kann die Dimensionsstabilität gegenüber unbehandeltem Holz gesteigert werden. Begründet wird dieses mit der verlängerten Feuchtechselzeit sowie der „Vorquellung“ durch das in die Zellwand eingedrungene Harz (LUKOWSKY 1999).

Versuche von RAPP (1999) und RAPP, PEEK (1995a,b) zeigen, dass sich die Dimensionsstabilität (die ASE) im Bereich zwischen 85% und 35% relativer Luftfeuchtigkeit durch eine

Harzbehandlung um ca. 12 bis 16% bei Kiefernspint und um 20 bis 31% bei unverthyltem Buchenholz erhöhen lässt. Dies wird dadurch begründet, dass Melamin in hohem Maße in die Zellwand eindringt. Die Zellwandpenetration des Vergütungsmittels ist eine Voraussetzung für die Dimensionsstabilität (RAPP ET AL. 1998). Die Zellwandpenetration nimmt bei geringer werdender molarer Masse des Harzes zu. Dieses zeigte sich deutlich durch die erreichten ASE-Werte bei Versuchen mit *Pinus sylvestris* (LUKOWSKY ET AL. 1998).

Nach RAPP ET AL. (1998) führten Versuche mit Hölzern für den Außenbereich - getränkt mit geringen Harzkonzentrationen - nicht zu einer nennenswerten Reduzierung der Holzfeuchte, jedoch zu einer verzögerten Wasseraufnahme und -abgabe.

6.5.5 Physikalische Eigenschaften vergüteten Holzes

Durch die Harzbehandlung des Holzes wird unter anderem das Sorptionsverhalten verändert. Nach der Behandlung mit MMF-Harzen wird die Aufnahme flüssigen Wassers beträchtlich verzögert. Im Wechselklima durchgeführte Versuche lassen auf eine deutliche Sorptionsvergütung schließen (RAPP, PEEK 1995a). RAPP (1999a) stellte weiterhin fest, dass sich die Sorptionsisothermen von behandeltem und unbehandeltem Holz im Bereich zwischen 0 und 76% relativer Luftfeuchte nicht unterscheiden, jedoch eine deutliche Sorptionsvergütung des mit MMF-Harz behandelten Holzes im Bereich zwischen 76 und 100% relativer Luftfeuchte eintritt.

LUKOWSKY (1999) bestätigte durch weitere Untersuchungen, dass sich die physikalischen Eigenschaften des Holzes durch die Tränkung mit reinem methanolverethertem Melaminharz verändern. Die Ausgleichsholzfeuchte bei 99% relativer Luftfeuchte reduzierte sich sowohl bei 10%-iger als auch bei 20%-iger Harzzugabe um 3% auf 24,4% anstelle von 27,4% bei unbehandelten Kontrollproben. Die Bruchschlagarbeit und der E-Modul wurden in Anlehnung an DIN 52186:1978 und DIN 52189-1:1981 untersucht. Aus diesem Grund sind die Relativwerte bezogen auf unbehandelte Kontrollproben (= 1) dargestellt. Durch die Behandlung mit methanolverethertem Melaminharz wurde die Bruchschlagarbeit deutlich vermindert, wogegen sich der E-Modul etwas erhöhte. Bei einer 10%-igen Harzzugabe lag die relative Bruchschlagarbeit bei 0,70 (minus 30%) und bei 20%-iger Harzzugabe bei 0,63 (minus 37%) im Gegensatz zur unbehandelten Kontrolle (1,00). Der relative E-Modul erreichte eine leichte Erhöhung um 3% (1,03) bei 10%-iger Harzzugabe und um 16% (1,16) bei 20%-iger Harzzugabe im Vergleich zu der unbehandelten Kontrollprobe mit 100% (1,00). Dieser Effekt wird nach KOLLMANN (1951) als Versprödung charakterisiert.

Untersuchungen von INOUE ET AL. (1993) zeigten bei mit 25%-iger MMF-Harzlösung getränkter *Chryptomeria japonica*, dass sich der E-Modul um ca. 10% erhöhte, wogegen sich der E-Modul bei einer gering konzentrierten Lösung (unter 5% Festharz) leicht reduzierte.

Die Härte und der Abriebwiderstand von mit MMF-Harz getränktem Holz steigen deutlich an, diese Eigenschaften wären beispielsweise für Parkett anstrebenswert (RAPP ET AL. 1998, RAPP 1999). In Untersuchungen ergaben sich Härte-Erhöhungen von über 150% (RAPP, PEEK 1995b). Gleichzeitig erhöht sich die Dichte des behandelten Holzes um die eingebrachte Festharzmasse (RAPP 2002). Es besteht ein straffer Zusammenhang zwischen Art des Vergütungsmittels sowie dem Beladungsgrad und erzielter Härte. Die Härte ist außerdem nicht nur von der Eigenhärte des Vergütungsmittels und dem Beladungsgrad, sondern auch von der Tränkmittelverteilung im Holz abhängig. Mit Melamin-Harzen vergütetes Holz ist härter als unvergütetes mit gleicher Rohdichte. Dieses wird damit erklärt, dass Melaminharz eine höhere Eigenhärte als die Zellwandsubstanz aufweist. Kiefern- und Buchenholz, das mit MMF-Harzen getränkt wurde, zeigte deutlich höhere Härten als die härtesten Parkettholzarten, wie Azobe, Muhuhu, Mecrussé und Misanda (RAPP 1999).

Bei Versuchen von RAPP (1999) kam es nach zwei Jahren Freilandwitterung von MMF-vergüteten Prüfkörpern zu einer verstärkten Rissbildung im Vergleich zu unbehandelten

Holzproben. Dieses steht im Widerspruch zu einer hohen dimensionsstabilisierenden Wirkung (ASE) des eingesetzten Harzes in Laborversuchen. Dieses Ergebnis wird auf die Verprödung zurückgeführt (SAILER, RAPP 1997).

6.5.6 Dauerhaftigkeit

RAPP und PEEK (1995a) führten Untersuchungen in Anlehnung an DIN EN 113:1986 durch, um die Resistenz gegenüber Basidiomyceten von unbehandelten und harzgetränkten Kiefernspiltholzproben sowie Lärchenkernholz zu bestimmen. Es wurden niedrigviskose und wasserklare Lösungen eines modifizierten methanolveretherten Melaminharzes mit 7,5, 15 und 30% Feststoffgehalt eingesetzt. Sowohl die getränkten als auch die unbehandelten Proben wurden nach Lufttrocknung für 24 Stunden bei $103 \pm 2^\circ\text{C}$ gedarrt. Die harzbehandelten Proben wurden im Anschluss für zwei Stunden im Trockenschrank bei 130°C ausgehärtet. Bei Auswaschungsuntersuchungen nach DIN EN 84:1990 wurde ein Ergebnis von nur 4% Auswaschung des eingebrachten Harzes festgestellt. Die Auswertung der Proben wurde nach 16-wöchigem Pilzangriff durch die Bestimmung des Masseverlustes nach DIN EN 113:1986 durchgeführt. Die Untersuchung von behandelten und unbehandelten Proben ermöglichte einen direkter Vergleich. Den gleichen Versuchen wurden auch unbehandelte, natürlich dauerhaftere Lärchenkernholzproben unterzogen.

Zwei unterschiedliche Pilze, zum einen der Weißfäuleerreger *Trametes versicolor* und zum anderen der Braunfäuleerreger *Coniophora puteana* (Kellerschwamm) wurden eingesetzt und ergaben verschiedene Ergebnisse insbesondere in Hinsicht auf die optimale Einbringmenge des Harzes. Diese Resultate wurden auch durch Untersuchungen von VAN ACKER ET AL. (1999) mit obigen und weiteren Pilzen untermauert.

Der Weißfäuleerreger *Trametes versicolor* führte an unbehandelten Kiefernspiltholzproben zu einem mittleren Masseverlust von über 20% ohne und von 16% mit Auswaschung. Die harzbehandelten Proben sowie das Lärchenkernholz (ca. 4%) zeigten deutlich geringere Abbauraten. Das beste Ergebnis wurde bei der niedrigsten Harzfeststoffkonzentration von 7,5% mit einem Mittel von 1,1% Masseverlust ohne und 0,7% mit Auswaschung erreicht.

Der Braunfäuleerreger *Coniophora puteana* führte dagegen sowohl bei den unbehandelten Kiefernspiltholzproben (im Mittel 62%) als auch beim Lärchenkernholz (im Mittel 50%) zu deutlichen Masseverlusten ohne Auswaschung. Nach einer vorausgegangenen Auswaschung lagen die Ergebnisse nur geringfügig darunter. Die harzbehandelten Proben erreichten deutlich bessere Ergebnisse. Hier wurden die besten Ergebnisse mit einer 15%-igen Tränklösung erzielt: im Mittel 2,5% Masseverlust ohne und 3,9% mit Auswaschung.

Bei weiteren Untersuchungen zeigten RAPP ET AL. (1998), dass heimisches, nicht dauerhaftes Kiefernspiltholz (Dauerhaftigkeitsklasse 5 nach DIN EN 350-2:1994) nach einer Vergütung mit 10%-igem Melaminharz das Niveau von ausländischen Holzarten der höchsten Dauerhaftigkeitsklasse 1 erreichen kann.

Bei bestimmten Holzarten, beispielsweise Kiefernspiltholz, würde eine MMF-Tränkung Anwendungen in Gefährdungsklasse 3 (z.B. Fenster) aufgrund der Dimensionsstabilität und der erhöhten Resistenz gegenüber holzerstörenden Pilzen möglich machen, sofern eine Lösung für das Problem der Rissbildung gefunden würde (RAPP, PEEK 1999).

Möglicherweise steht die erhöhte Resistenz gegenüber holzerstörenden Pilzen in Zusammenhang mit dem bei Freilandwitterung festgestellten chemisch-physikalisch-mechanischen Schutz vor Aufspaltung des Verbundes der Zellwandbestandteile. Besonders wird vor Depolymerisation und Auswaschung von Hemicellulosen und Lignin geschützt. Ebenso findet die Vergrauung im Vergleich zu unbehandeltem Holz verzögert statt (RAPP, PEEK 1999). Trotz der Melaminharz-Behandlung müssten Teile im Außenbereich, beispielsweise als Fenster, oberflächenbehandelt werden, wodurch der Hauptnachteil von Holz im Außenbereich bestehen bleibt (RAPP ET AL. 1998).

Die Entsorgung von mit MMF-Harz behandeltem Holz hat sich trotz der dauerhaftigkeitserhöhenden Wirkung als vollständig unbedenklich erwiesen. Das Holz enthält nach der Vergütung keine Biozide sondern nur Elemente, aus denen es auch in der Natur aufgebaut ist: Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff (RAPP ET AL. 2000a). Kompostierungsprozesse werden nicht gestört und das vergütete Holz ist in Komposten biologisch durch Bakterien abbaubar, wobei der gebundene Stickstoff sogar als Dünger mit Depotwirkung langsam und gewässerschonend für Pflanzen verfügbar wird. Dieses ist möglich, da die Hölzer vor der Kompostierung zerkleinert werden. Ebenso ist eine thermische Verwertung nach der 4. BImSchV in den dafür zugelassenen Anlagen möglich. Eine dritte Art der Verwertung von mit MMF-Harz behandeltem Holz ist die stoffliche Verwertung als hochwertiges Spanplattenrohmaterial (RAPP ET AL. 1998).

Die Kosten für die Vergütung mit methanolveretherten Melamin-Formaldehyd-Harzen liegen nach RAPP ET AL. (2000b) bei ca. 250 €/m³.

6.5.7 Zusammenfassung – Behandlung des Holzes mit Melaminharzen

Modifizierte Melaminharze in geringen, wässrigen Konzentrationen könnten sich bei einigen Holzarten und Anwendungen - insbesondere für Holz in Produkten mit höherer Wertschöpfung, verstärkt im sichtbaren und dekorativen Bereich, wie Außenmöbel, Fenster und Türen sowie Parkett - aufgrund folgender positiver Eigenschaften als holzschützende und teilweise eigenschaftsverbessernde Maßnahme eignen:

- Ausgehärtetes Harz und behandeltes Holz ist lebensmittelverträglich
- Erhöhung der Resistenz des Holzes gegenüber Basidiomyceten
- Erhöhte Dimensionsstabilisierung
- Erhöhte Härte
- Erhöhter Abriebwiderstand
- Verzögerte Vergrauung bei UV-Einwirkung
- Leichte E-Modul-Erhöhung
- Einkomponentige wässrige Harzsysteme
- Verarbeitung in üblichen Kesseldruckanlagen möglich
- Härtung ohne Zugabe von Katalysatoren nach Trocknung durch Temperaturerhöhung
- Nach Ablauf der Nutzung entstehen keine Kosten für eine Sondermüllentsorgung, Recycling als hochwertiges Spanplattenrohmaterial ist möglich
- Niedrige Viskosität, gutes Eindringvermögen und gute Verteilung des Harzes im Holz
- Hohe Fixierung im Holz (96%) – nahezu keine Auswaschung

Dagegen stehen einige negative Aspekte:

- Erhöhte Rissbildung
- Versprödung
- Deutliche Verringerung der Bruchschlagarbeit
- Holzartenabhängig, nicht jedes Holz ist tränkbar (wie z.B. Buche mit Rotkern!)
- Einbringmenge ist von der Holzart abhängig
- Pflegebedürftige Oberflächenbehandlung im Außenbereich weiterhin nötig
- Unterschiedliche Einbringmengen bei verschiedenen Pilzen erzielten die besten Ergebnisse, d.h., es ist keine „Standard-Einbringmenge“ möglich
- Erhöhte Kosten (250 €/m³) für Materialien sowie durch weitere Prozessschritte im Vergleich zu natürlich dauerhaften Holzarten
- Hoher Energieeinsatz (Trocknung und Härtung)
- Zu hohe Kosten für Anwendungen im Bauholzbereich, bei Lärmschutzwänden, im Erdkontakt oder im Garten- und Landschaftsbau
- Masseerhöhung des Holzes

6.5.8 Imprägnierung von Buchenholz mit MMF-Harzen

Grundsätzlich lässt sich „weißes“ Buchenholz mit vielen Schutzmitteln leicht imprägnieren, als Beispiel seien die mit Steinkohlenteeröl (nach Chemikalienverbotsverordnung ist die Verwendung in Deutschland jedoch erheblich eingeschränkt bzw. verboten) getränkten Eisenbahnschwellen genannt, die mittlere Liegezeiten von über 40 Jahren erreichen und somit durchaus konkurrenzfähig mit der Betonschwelle sind (SEDLMEYER 2002).

Bei farbkernfreiem Buchenholz liegt die zu erwartende Reduzierung des Quell- und Schwindverhaltens (ASE) im Vergleich zu unbehandeltem Holz selbst bei einer hohen Konzentration von 30% Festharzanteil bei nur 15%. Ebenso ist zu beachten, dass sich die Masse des Holzes von ca. 700 kg/m³ auf 1000 kg/m³ erhöhen würde. Dieses wäre insbesondere bei größeren Konstruktionen – z.B. Brettschichtholzbalken - zu beachten. Buchenholz benötigt ungefähr die doppelte Menge an MMF-Harz, die Kiefernholz benötigt, um eine deutliche Erhöhung der natürlichen Dauerhaftigkeit zu erreichen. Die Kosten für einen Kubikmeter imprägnierten Buchenholzes würden ungefähr bei den doppelten Kosten von unbehandeltem Buchenholz liegen (RAPP 2002). Nach Untersuchungen von VAN ACKER ET AL. (1999) mit den Testverfahren EN 113:1986 (*Basidiomyceten Test*) und ENV 807:1999 (*Soft Rot Soil-Test*) ist MMF-Harz nicht geeignet, um die für Gefährdungsklasse 4 geforderten Ansprüche zu erfüllen. Eine Nutzung in der Gefährdungsklasse 3 wäre bei einer Mindesteinbringmenge von 25 kg/cm³ eventuell möglich.

Es ist eine Erhöhung der Härte um bis zu 120% der ursprünglichen Härte des Holzes durch eine Tränkung mit MMF-Harzen zu erreichen. Dieses spricht für eine Verwendung im Parkett-Bereich (RAPP und PEEK 1995a).

Es ist zu betonen, dass sich „weißes“ und rotkerniges Buchenholz lediglich durch ihr Tränk- und Trocknungsverhalten unterscheiden. In den technologischen Eigenschaften weisen rotkerniges und „weißes“ Buchenholz keine verwendungstechnisch relevanten Unterschiede auf. Unbehandeltes Buchenholz - mit und ohne Rotkern - besitzt nur eine geringe natürliche Dauerhaftigkeit (Klasse 4) und ist durch Pilze und Insekten stark gefährdet (WAGENFÜHR 1996, SEDLMEYER 2002).

Rotkerniges Holz weist zusätzlich zu den Kernstoffen meist auch eine Schicht mit Thyllen an der Grenze zwischen „weißem“ Holz und Rotkern auf. Bei einer eventuellen späteren Vergrößerung des Rotkerns können mehrere verthyllte Schichten entstehen. Durch Gefäßverschlüsse wird die Wegsamkeit des Holzes für Flüssigkeiten und Gase vermindert. Der große Unterschied zwischen „weißem“ und rotkernigem Buchenholz liegt also darin, dass rotkerniges Buchenholz nicht imprägnierbar ist (WAGENFÜHR 1996, BONSEN 1991).

Aus diesen Gründen scheint eine Vergütung mit MMF-Harzen für das in diesem Projekt verwendete rotkernige Buchenholz nicht sinnvoll.

6.6 Literatur – Eigenschaftsprüfung und Vergütung

AGROLINZ MELAMIN GmbH 2002 - Verwendung von Melamin. Internet: www.agro.posimis.com vom 26.02.2003

AICHER, S., HÖFFLIN, L., BEHRENS, W. 2001 - A study on tension strength of finger joints in beech wood laminations. *Otto-Graf-Journal* 12, 169-186.

BONSEN, K. J. M. 1991 – Technologische Konsequenzen verschlossener Gefäße, insbesondere für das Buchenholz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, Hrsg.: Schweizerischer Forstverein. 142. Jahrgang 1991 Bühler Druck AG Zürich

GEHRI, E. 1985 - Verbindungstechniken mit hoher Leistungsfähigkeit – Stand und Entwicklung. *Holz als Roh- und Werkstoff* 43, 83-88.

- GLOS, P., LEDERER, B. 2000 – Sortierung von Buchen- und Eichenschnittholz nach der Tragfähigkeit und Bestimmung der zugehörigen Festigkeits- und Steifigkeitswerte. Bericht Nr. 98508, TU München.
- GROSSER, D., ZIMMER, B. 1998 – Einheimische Nutzhölzer und ihre Verwendung. Informationsdienst Holz, Reihe 4, Teil 2, Folge 2.
- HEDLUND, B. 1988 - Accelerated Delamination Methods. SP-AR 1988:22, Swedish National Testing and Research Institute, Building Technology, Borås
- INOUE, M.; OGATA, S.; NISHIKAWA, M.; OTSUKA, Y.; KAWAI, S.; NORIMOTO, M. 1993 – Dimensional Stability, Mechanical Properties, and Color Changes of a Low Molecular Weight Melamineformaldehyd Resin Impregnated Wood. Mokuzaï Gakkaishi Vol. 39 No. 2 P. 181-189
- JOHANSSON, C.-J.; BUCHTER, J.; LIND, P.; SAARELAINEN, U. 1994 - Delamination Test of Glue Lines According to EN 391. SP Report 1994:67. Swedish National Testing and Research Institute, Building Technology – Wood Section, Borås
- KOLLMANN, F. 1951 / 1982 – Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Band 1, Anatomie und Pathologie, Chemie, Physik, Elastizität und Festigkeit. Reprint der 2. Auflage. Springer Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg. J.F. Bergman München
- LUKOWSKY, D. 1999 – Holzschutz mit Melaminharzen. Dissertation Universität Hamburg
- LUKOWSKY, D. 2002 – Influence of the formaldehyde content of waterbased melamine formaldehyde resins on physical properties of Scots pine impregnated therewith. Holz als Roh- und Werkstoff 60 (2002) S. 349 – 355. Springer-Verlag
- LUKOWSKY, D.; PEEK, R.-D.; RAPP, A.O. 1998 – Curing conditions for a low formaldehyde etherificated melamine resin. Paper for the 29th Annual Meeting of the International Research Group on Wood Preservation in Maastricht, The Netherlands, Section 4: Processes. IRG/WP 98-40108 Stockholm, Sweden
- MEICHSNER, G. 1999 – Aminoharze für wässrige Lacke aus: Bindemittel für wasserverdünnbare Systeme, Dr. Klaus-Dietrich Ledwoch, S. Hirzel Verlag Stuttgart/Leipzig
- NIST Chemistry Webbook 2001 – National Institute of Standards and Technology USA (NIST). Internet: www.webbook.nist.gov vom 26.02.2003
- PATZELD, M; STINGL, R. 2002 – Einleitung. In: Teischinger, A.; Stingl, R. (Red.) Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte. Lignovisionen Band 3, Schriftenreihe des Instituts für Holzforschung (ihf) gemeinsam mit dem Verband Holzwirte Österreichs-VHÖ, beide an der Universität für Bodenkultur Wien September 2002
- PITZNER, B.; BERNASCONI, A.; FRÜHWALD, A. 2001 - Verklebung einheimischer dauerhafter Holzarten zur Sicherung von Marktbereichen im Außenbau. Arbeitsbericht Nr. 5/2001 Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg Juli 2001
- RAPP, A.O. 1999a - Physikalische und biologische Vergütung von Vollholz durch Imprägnierung mit wasserverdünnbaren Harzen. Dissertation Universität Hamburg
- RAPP, A.O. 2002 – mündliche Auskunft, Hamburg
- RAPP, A.O.; PEEK, R.-D. 1995a – Vergütung des Holzes mit wasserbasierten Harzen. In: „Holzschutz eine Herausforderung“. 20. Holzschutztagung, Rosenheim 18.-19.10.1995. DGfH 1995, S. 295-303 München
- RAPP, A.O.; PEEK, R.-D. 1995b – New principles for the protection of wood: Impregnation with water-borne resins. The International research Group on Wood Preservation, Section 4: Processes. 26th Annual Meeting Helsingør, Denmark 11-16 June 1995. IRG/WP/95-40047 Stockholm, Sweden
- RAPP, A.O.; PEEK, R.-D. 1999 - Melaminharzimprägniertes sowie mit Wetterschutzlasur oberflächenbehandeltes und unbehandeltes Vollholz während zweijähriger Freilandbewitterung. Holz als Roh- und Werkstoff 57: 331-339

- RAPP, A.O.; PEEK, R.-D.; NILSSON, T.; LEITHOFF, H.; SAILER, M. 1998 – Vergütung von Holz mit wasserlöslichen Harzen: Idealanforderungen und reale Umsetzbarkeit am Beispiel von Melaminharzen. In: Vorträge des DBU-Transferworkshops „Biologischer/biotechnischer Holzschutz“ am 9.9.1998 in Kassel. DGfH München 47-62
- RAPP, A.O.; SAILER, M.; PEEK, R.-D. 2000a – Innovative Holzvergütung zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit. In: 10. Hamburger Forst- und Holztagung. Von der Wissenschaft zur Praxis – Lösungen für die Holzwirtschaft von morgen. Max Wiedebusch Kommiss.-Verlag 2000, S. 26-34. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Nr. 200, Hamburg
- RAPP, A.O.; SAILER, M.; PEEK, R.-D. 2000b – Innovative Holzvergütung zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit. In: Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Nr. 200, 27-34
- RÖMPP Chemie Lexikon 1995 – CD Version 1.0. Georg Thieme Verlag Stuttgart/New York 1995
- SAILER, M.; RAPP, A.O. 1997 – Influence of different resin treatments on the dimension stability of wood. Stockholm: International Research Group Wood Preservation; Doc. No. 40090, 11 p.
- SEDLMEYER 2002 – Buche – *Fagus sylvatica*. Internet: www.sedlmeyer.de/holzneu/buche.htm vom 26.04.2002
- STEFKE, B.; TEISCHINGER, A. 2002 – Methoden der Holzmodifikation. In: Teischinger, A.; Stingl, R. (Red.): Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte. Lignovisionen Band 3, Schriftenreihe des Instituts für Holzforschung (ihf) gemeinsam mit dem Verband Holzwirte Österreichs-VHÖ, beide an der Universität für Bodenkultur Wien September 2002
- ULLMANN's Encyclopedia of Industrial Chemistry 1998 – Sixth Edition Electronic Release. Wiley-VCH, Weinheim 1998
- ULLMANN's Enzyklopädie der technischen Chemie 1960 – Band 11, 3. Auflage. Urban & Schwarzenberg, München – Berlin
- ULLMANN's Enzyklopädie der technischen Chemie 1974 – Band 7, 4. Auflage. Verlag Chemie GmbH, Weinheim/Bergstraße
- VAN ACKER, J.; NURMI, A.; GRAY, S.; MILITZ, H.; HILL, C.; KOKKO, H.; RAPP, A.O. 1999 – Decay Resistance of Resin Treated Wood. The International Research Group on Wood Preservation, Section 3, Wood protecting chemicals. 30th Annual Meeting 6. bis 11. Juni 1999 Rosenheim
- WAGENFÜHR, R. 1996 – Holzatlas (4. Auflage). Fachbuchverlag Leipzig
- WALTHER, T. 2002 - Verleimung von Buchenholz unter verschiedenen Bedingungen. Diplomarbeit, Fachbereich Holztechnik, Fachhochschule Eberswalde, März 2002

Normen und Merkblätter

- DIN EN 84:1990 – Beschleunigte Alterung von behandeltem Holz vor biologischen Prüfungen, Auswaschbeanspruchung. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN EN 113:1986 – Bestimmung der Grenze der Wirksamkeit gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten, die auf Agar gezüchtet werden. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN EN 302-1:1990 - Leime für tragende Holzbauteile: Polykondensationsleime auf Phenol- und Aminoplast-Basis, Bestimmung der Scherfestigkeit im Längs-Schertest. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN EN 302-3:1992 - Klebstoffe für tragende Holzbauteile: Prüfverfahren: Bestimmung des Einflusses von Säureschädigung der Holzfasern durch Temperatur- und Feuchtezyklen auf die Querkzugfestigkeit. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

- DIN EN 302-4:1992 - Klebstoffe für tragende Holzbauteile: Prüfverfahren: Bestimmung des Einflusses von Holzschwindung auf die Scherfestigkeit. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN EN 350-2:1994 – Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten: Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- prEN 384:2001 – Bauholz für tragende Zwecke: Bestimmung charakteristischer Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN EN 386:2002 – Brettschichtholz: Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN EN 391:2001 – Brettschichtholz: Delaminierung von Klebstoffugen. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN EN 392:1995 - Brettschichtholz: Scherprüfung von Leimfugen. Beuth Verlag GmbH Berlin.
- DIN EN 408:1996 – Bauholz für tragende Zwecke: Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften. Beuth Verlag GmbH Berlin.
- ENV 807:1999 – Wood preservatives – Determination of the effectiveness against soft rotting microfungi and other soil inhabiting micro-organisms. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, Belgium
- DIN 1052:1988 – Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- prEN 1194:1999 – Brettschichtholz: Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN 4074:2002 – Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN 52183:1977 – Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN 52184:1979 - Bestimmung der Quellung und Schwindung. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN 52186:1978 – Biegeversuch. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN 52189-1:1981 – Schlagbiegeversuch: Bestimmung der Bruchschlagarbeit. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN 68140:1998 - Keilzinkenverbindungen von Holz. Beuth-Verlag GmbH, Berlin.
- DIN 68141:1969 – Holzverbindungen: Prüfung von Leimen und Leimverbindungen für tragende Holzbauteile. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- WEVO-Härter B 20/1. WEVO-Chemie GmbH & Co. Ostfildern-Kemnat, Sicherheitsdatenblatt Januar 1996.
- WEVO-Spezialharz EP 20 VP 1. WEVO-Chemie GmbH & Co. Ostfildern-Kemnat. Sicherheitsdatenblatt Januar 1996.

7 Kosten der Herstellung von Buchen-Brettschichtholz

J. B. Ressel, R. Wonnemann

7.1 Kostenabschätzung

Die Frage nach den Kosten für Brettschichtholz aus Buche kann hier zum jetzigen Zeitpunkt nur ansatzweise beantwortet werden. Da die Lamellen für die Prüfbalken spezielle Anforderungen zu erfüllen hatten, können die im Projekt entstandenen Lamellenkosten nicht für eine reale, praxisgerechte Brettschichtholzerstellung angesetzt werden. Das zusätzliche Hobeln im Sägewerk und besonders die geforderte Länge von 4 m bei nur einer gewünschten, für Buche recht großen Fixbreite von 165 mm (vorgehobelt - vgl. Tabelle 5.1), verursachten vergleichsweise hohe Fertigungskosten bei einer relativ geringen Ausbeute bezogen auf das eingesetzte Rundholz.

Unter der Voraussetzung der Lösung der Keilzinkenproblematik bei Buchenlamellen sind besonders hinsichtlich der geforderten Längen voraussichtlich andere Maße der Rohlamellen und damit auch andere Kosten zu erwarten. Auch wenn BSH aus breitenverleimten Lamellen hergestellt werden sollte, dürften sich hier in Bezug auf die eingesetzten Rohstoffe Veränderungen ergeben, da dann die Verwendung geringerer Breiten und somit auch geringerer Brettstärken möglich wird (→ geringere trocknungsbedingte Verformungen – insbesondere Schüsselung bei der technischen Trocknung).

Die in Tabelle 7.1 dargestellte Kostenabschätzung gibt einen Überblick über die Entstehung bzw. Zuordnung der Kosten zu einzelnen Fertigungsabschnitten geben, aus der sich der Preis von hochwertigem Brettschichtholz aus Buche größenordnungsmäßig abschätzen lässt.

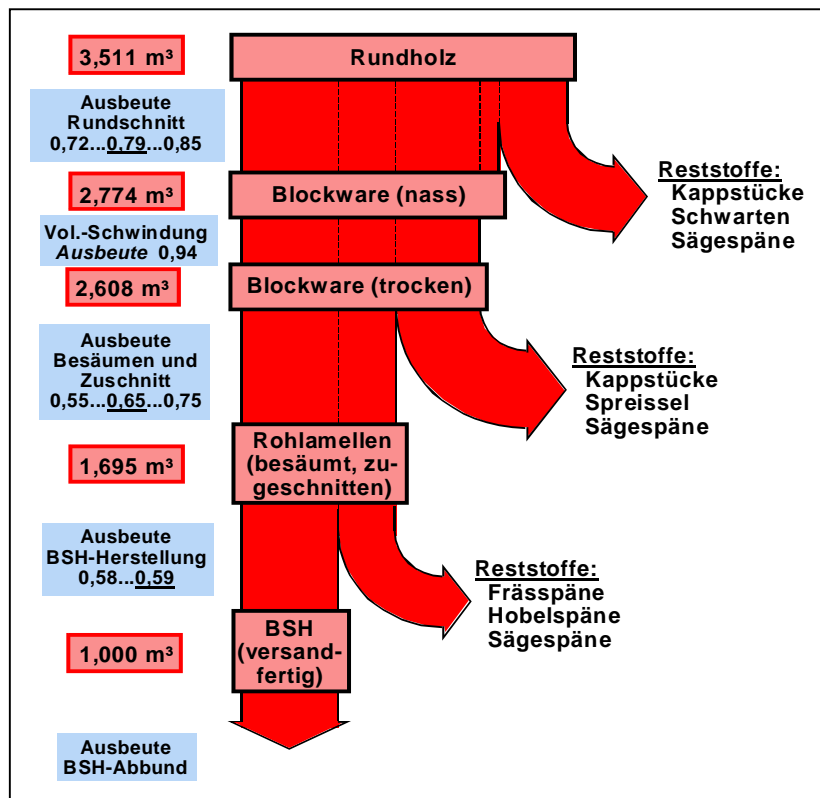


Abbildung 7.1: Schematischer Ansatz zur Ermittlung der Produktionsverluste in den einzelnen Fertigungsabschnitten bei der Herstellung von Brettschichtholz aus Buche unter Verwendung mittlerer Ausbeutewerte

Grundlage der Tabelle 7.1 ist der in Abbildung 7.1 angenommene Materialfluss bei der Brettschichtholzerstellung aus Buche. Vernachlässigt wird dabei dass sich hier die Fertigung i.d.R. auf zwei Unternehmen aufteilt: das Sägewerk (Rohholz → Rohlamellen) und das Brettschichtholzwerk (Rohlamellen → Brettschichtholz, verkaufsfertig). Weitere Materialverluste beim anschließenden Abbund werden nicht berücksichtigt. Der erforderliche Rohholzeinsatz zur Herstellung von einem Kubikmeter Brettschichtholz wird hier nach folgendem Ansatz errechnet:

$$V_{RH} = 1 / A_{BSH} / A_{BZ} / A_{TRO} / A_{EHR} \quad [m^3] \quad \text{Gleichung 7.1}$$

mit	V_{RH}	$[m^3]$	Volumen Rundholz zur Herstellung von 1 m ³ BSH
	V_{RS}	$[m^3]$	Volumen Reststoffe insgesamt
	A_{BSH}	$[\%/100]$	Ausbeute Brettschichtholzerstellung (Rohlamellen → BSH)
	A_{BZ}	$[\%/100]$	Ausbeute Besäumen und Zuschnitt
	A_{TRO}	$[\%/100]$	„Ausbeute“ Trocknung (→ Volumenschwindung)
	A_{ERH}	$[\%/100]$	Ausbeute Einschnitt (Rundschnitt) ¹⁰ .

Für das Volumen der insgesamt anfallenden Reststoffe zur Herstellung von 1 m³ BSH gilt:

$$V_{RS} = V_{RH} - 1 \quad [m^3] \quad \text{Gleichung 7.2}$$

Stammholz

Bei der Qualität werden für die Kostenabschätzung Stammholz der Handelsklassen B, Bk, und C betrachtet. Der Teil des Industrieholzes, der lang ausgehalten wird und möglicherweise auch für BSH verwendet werden könnte, zeigt wesentlich stärkere Qualitätsschwankungen und ist somit bezüglich Preis, Qualität, Ausbeute nur sehr schwer einzuschätzen. Er dürfte ohnedies für die Herstellung von Buchen-Brettschichtholz weniger in Frage kommen. Die B-Qualität mit hohem Rotkern-Anteil wird als Bk-Qualität separat aufgeführt, da sie i.d.R. in den meisten Bundesländern ab der Stärkeklasse L2a gesondert ausgehalten wird und preislich von der B-Qualität abgegrenzt ist. Die Anfangsstärke ist L2b, da unter dieser Durchmesserklasse das Rundholz auf herkömmlichen Sägeanlagen nicht eingeschnitten werden kann. Bei der C-Qualität wurde nur nach schwachem und starkem Holz differenziert, da in dieser Handelsklasse für die einzelnen Stärkeklassen i.d.R. keine Preise existieren.

Die Rundholzpreise beinhalten durchschnittliche Rücke- und Transportkosten vom Forst zum Sägewerk (Durchschnittswert ca. 6 €/m³). Die Preise wurden für die Saison 2002/ 2003 nach Auskunft verschiedener Sägewerke ermittelt. Zu berücksichtigen ist, dass in dieser Saison aufgrund sinkender Nachfrage geringere Buchenrundholzpreise erzielt wurden.

Einschnitt

Die Einschnittkosten beziehen sich auf den Rundschnitt am Gatter oder an der Blockbandsäge, durch den als Haupterzeugnis unbesäumte Blockware hergestellt wird. Nach Auskunft verschiedener Sägewerke ist dies die gängige, am weitesten verbreitete Einschnittart. Infolge der Kuppelproduktion entstehen dabei – je nach gewähltem Schnittbild - gleichzeitig Reststoffe (Kappstücke, Schwarten, Sägespäne). Die Ausbeute (A_{RH}) bezieht sich auf die Blockware inklusive der Seitenware in Abhängigkeit vom Zopfdurchmesser. Die von LOHMANN

¹⁰ Die von LOHMANN (1999) angeführte Ausbeute beim Rundschnitt (Laubholzeinschnitt) berücksichtigt auch die Volumenschwindung bei der Trocknung auf ca. 12 % Holzfeuchte, die hier mit 6 % angesetzt wird. Zur Berechnung des getrockneten Schnittholzvolumens sowie der Trocknungskosten muss diese Schwindung herausgerechnet werden: $A_{ERH} = A_{ERH, Lohmann} / (1-0,06)$! Für Buche trifft dieser %-Satz nicht ganz zu; hier wäre eher mit 8...9...10 % zu rechnen.

(1999) angeführten Ausbeuteangaben berücksichtigen hier gleichzeitig einen trocknungsbedingter Volumenschwund von 6 %. Bei der Berechnung des einzusetzenden Rundholzes („Rückwärtsrechnung“) müssen die von LOHMANN (1999) genannten Werte um diese 6 % korrigiert werden. Das Einschnittmaß für die 31 mm starken Lamellen wird mit 45 mm angesetzt. Aufgrund der höheren Sägeleistung bei stärkerem Holz verringern sich die Kosten mit zunehmender Stärkeklasse.

Bei anderen Einschnittarten bzw. Schnittbildern und abweichender Säge-technologie, i.d.R. beim Einsatz von Block- und Trennbandsäge mit getrenntem Vor- und Nachschnitt, würden sich die Kosten etwas verlagern und andere Ausbeutezahlen ergeben. Dieser Ansatz wird hier nicht verwendet!

Technische Trocknung

Bei der Trocknung der unbesäumten, 45 mm dicke Blockware mit einer Anfangs-Holzfeuchte von über 30 % auf eine durchschnittliche Endfeuchte von 12 % wird hier mit einer durchschnittlichen Volumenschwindung von 6 % gerechnet; die „Ausbeute“ in diese Fertigungsstufe (A_{TRO}) beträgt demnach 94 %. Die Kosten für die technische Trocknung beziehen sich auf die konventionelle Frischluft-/Abluft-Trocknung. Der Aufwand für das gesamte Handling ist in den Trocknungskosten enthalten (WELLING 2003).

Besäumen

Besäumen und Zuschnitt der Rohlamellen erfolgt – ggf. noch im Sägewerk im Zuge der Weiterveredelung des Schnittholzes – mittels Vielblatt- und Kappkreissägen. Die Kosten werden hier mit 50 € je m^3 Rohware (getrockneter Blockware) angenommen. Die Ausbeute ist stark abhängig von der geforderten Lamellenqualität sowie von den gewünschten Abmessungen. Weiterhin ausschlaggebend sind natürlich die Qualität und Breite des unbesäumten Brettes, die wiederum durch die verwendeten Rundholzqualität bestimmt werden. Bei geforderten Lamellenbreiten in einem Bereich von 8 bis 20 cm und einer Länge über zwei Metern liegt die Ausbeute ansatzweise in einem Bereich von 55 bis 75 %. Ein Vorhobeln der Rohlamellen, wie es bei deren Beschaffung für das hier dargestellte Projekt erforderlich war, wird in der vorgestellten Kostenabschätzung nicht mit einbezogen. Für diesen Fall würden sich die abschnittbezogenen Ausbeuteansätze weiter verringern.

Lamellenkosten

Die Lamellenkosten beziehen sich auf das getrocknete, ungeschüsselte, besäumte Volumen der Rohlamellen, wie sie zur BSH-Herstellung eingesetzt werden. Das einzusetzende Rundholz und die Lamellenkosten berechnen sich unter Berücksichtigung der angenommenen Ausbeuteansätze und der je Bearbeitungsstufe anfallenden Kosten sowie der Kosten für das Rundholz nach folgendem Ansatz:

$$V_{RH} = 1 / A_{BZ} / A_{TRO} / A_{ERH} \quad [m^3] \quad \text{Gleichung 7.3}$$

$$K_{RL} = \{K_{BZ} / A_{BZ}\} + \{K_{TRO} / A_{BZ} / A_{TRO}\} + \{(K_{RH} + K_{ERH}) / A_{BZ} / A_{TRO} / A_{ERH}\} \quad \text{Gleichung 7.4}$$

mit	V_{RL}	$[m^3]$	Volumen Rundholz zur Herstellung von 1 m^3 Rohlamellen
	A_{BZ}	$[\%/100]$	Ausbeute besäumen, zuschneiden
	A_{TRO}	$[\%/100]$	„Ausbeute“ Trocknung (\rightarrow Volumenschwindung)
	A_{ERH}	$[\%/100]$	Ausbeute Einschnitt (Rundschnitt) ¹⁰
	K_{RL}	$[\€/m^3]$	Kosten Rohlamellen
	K_{BZ}	$[\€/m^3]$	Kosten für Besäumen und Zuschnitt
	K_{TRO}	$[\€/m^3]$	Kosten für die Schnittholztrocknung
	K_{ERH}	$[\€/m^3]$	Kosten für den Einschnitt (Rundschnitt).

Tabelle 7.1: Kostenabschätzung bei der Herstellung von Brettschichtholz aus Buche

Stammholz			Blockware (nass) - Lamelle (trocken, besäumt, zugeschnitten)						BSH-Herstellung aus Rohlamellen			Reststoffe thermische Verwertung		
Qualität	Stärkeklassen	Preis [€/fm]	Einschnittkosten [€/fm]	Ausbeut Rund-schnitt und Trock-nung [-]	Trocknungs-kosten [€/m³]	Kosten Besäu-men, Zuschnitt [€/m³]	Ausbeut Besäu-men, Zuschnitt [-]	Kosten Rohlamellen [€/m³]	Ausbeute BSH-Herstellung [-]	BSH Fertigungskosten [€/m³]	BSH Verkaufspreis [€/m³]	Produktionsver-luste insgesamt [m³]	kostenmindernde Erlöse je m³ BSH [€/m³] Restholz- Heizzöl- verkauf äquivalent	
B	L2b	36	52	0,72	70	50	0,55	449	0,57	170	957	3,43	78,21	316
	L3a	63	48	0,74	70	50	0,60	456	0,57	165	966	2,95	67,29	272
	L3b	92	44	0,77	70	50	0,65	464	0,58	155	955	2,44	55,74	225
	L4	108	39	0,80	70	50	0,70	439	0,58	150	908	2,08	47,40	191
	L5	129	35	0,83	70	50	0,75	429	0,59	150	878	1,72	39,28	159
	L6	151	30	0,85	70	50	0,75	449	0,59	145	906	1,66	37,82	153
Bk	L2b	25	52	0,72	70	50	0,55	421	0,57	170	909	3,43	78,21	316
	L3a	44	48	0,74	70	50	0,60	414	0,57	165	891	2,95	67,29	272
	L3b	65	44	0,77	70	50	0,65	409	0,58	155	860	2,44	55,74	225
	L4	75	39	0,80	70	50	0,70	382	0,58	150	808	2,08	47,40	191
	L5	90	35	0,83	70	50	0,75	367	0,59	150	772	1,72	39,28	159
	L6	105	30	0,85	70	50	0,75	378	0,59	145	786	1,66	37,82	153
C	L2b - L4a	30	46	0,74	70	50	0,50	454	0,57	170	967	3,74	85,31	344
	L4b - L6	45	35	0,82	70	50	0,60	370	0,59	150	777	2,44	55,74	225
Mittelwerte		76	41	0,78	70	50	0,65	420	0,58	156	881	2,48	56,61	228

Verkauf Restholz in Form von	Anteil [%]	Marktpreis
Späne (Säge- / Hobelspäne)	40	12,00 €/m³
Stückige Reste (Schwarten, Spreissel, Kappstücke)	60	30,00 €/m³

Basis für Berechnung des Heizöläquivalents der Reststoffe	
Rohdichte Buche (u = 15 %)	736,00 kg/m³
Heizwert Buche Hu	14,40 MJ/kg
Heizwert Heizöl EL Hu	42,50 MJ/kg
Dichte Heizöl EL	840,00 kg/m³
Preis Heizöl EL	31,00 €/100 Liter

Brettschichtholz-Herstellung

Die Ausbeute von der getrockneten Rohlamelle zum vierseitig gehobelten, abgelängten BSH-Träger berechnet sich am Dimensionsbeispiel 14/24 wie in Tabelle 7.2 dargestellt.

Tabelle 7.2: Ausbeuteberechnung für BSH 14/24 aus 30 mm starken Lamellen

Arbeitsschritt	Höhe [mm]	Breite [mm]	Länge [m]	Ausbeute [-]
Lamelle (u ≈ 12 %)	42	160	2 - 4	1,00
Kappen/Zinken Längenverlust				0,96
Lamelle hobeln	31	150		0,69
BSH hobeln (8 Lamellen)				
brutto	248	150		1,00
netto	240	140		0,90
BSH Längenverlust				0,99
Ausbeute gesamt				0,59

◀ Dickenschwindung bei der Brettstärke hier berücksichtigt (Einschnittmaß 45 mm)

Zu berücksichtigen sind hier besonders die großen Bearbeitungszugaben bei der Lamellenbreite und –stärke, die aufgrund der relativ starken Schwindung sowie der Schüsselung (trocknungsbedingt) erforderlich sind. Mit den angenommenen Zugaben ergibt sich gegenüber dem üblichen Nadelholz ein zusätzlicher Ausbeuteverlust von ca. 13 %. Generell verringert sich die BSH-Ausbeute mit abnehmendem Bohlen- bzw. Lamellenquerschnitt. Somit ist sie abhängig von Rundholzstärke und Qualität.

Brettschichtholz - Fertigungskosten

Da davon ausgegangen werden kann, dass sich BSH aus Buchenholz auf den bestehenden, zumindest auf den nicht voll mechanisierten Produktionsanlagen, ohne umfangreichere anlagentechnische Veränderungen herstellen lässt, kann man sich hier an den bei der BSH-Herstellung aus Nadelholz anfallenden Fertigungskosten orientieren. Die für die Fertigungskostenberechnung (Tabelle 7.3) benötigten durchschnittlichen Lamelleneinkaufspreise und BSH-Erlöse (für Nadelholz-BSH) sind Marktpreise aus dem dritten Quartal 2002 (EUWID 2002).

Tabelle 7.3: Ermittlung der Fertigungskosten für Brettschichtholz aus Buche

Fichtenlamellen, kammergetrocknet [€/m³]	BSH-Fichte Ausbeute [-]	Holzkosten je m³ BSH [€/m³]	Ø Erlös BSH-Fichte [€/m³]	Fertigungskosten [€/m³]
180	72 %	250	390	140

Die so überschlägig ermittelten Fertigungskosten sind keine *reinen* Fertigungskosten. Sie beinhalten alle während der Bearbeitung anfallenden Kosten – einschließlich eines ungenannten Gewinnanteils - bis auf die Holzkosten. Da sie sich auf die Erlöse von Fichten-Brettschichtholz beziehen, das überwiegend auf vollautomatisierten Produktionsanlagen gefertigt wird, wird für die Fertigungskosten von Brettschichtholz aus Buche ein Spanne von 145 ... 170 €/m³ angenommen (verglichen mit Nadelholz → geringerer Durchsatz, höherer Beanspruchung der Anlagen, höhere Werkzeugkosten, mehr Wartung und Instandhaltung u.ä.). Diese Fertigungskosten sind wiederum abhängig von der eingeschnittenen Rundholzstärke,

da bei schwächerem Holz weniger breite Lamellen anfallen und folglich auch mehr kleiner dimensionierte BSH Balken mit vergleichsweise höheren Fertigungskosten produziert werden.

Brettschichtholz - Verkaufspreis

Die in Tabelle 7.1 genannten Verkaufspreise für Buchen-Brettschichtholz berechnen sich nach folgendem Ansatz:

$$VP_{\text{BSH}} = K_{\text{RL}} / A_{\text{BSH}} + K_{\text{FBSH}} \quad [\text{€/m}^3] \quad \text{Gleichung 7.5}$$

mit	VP_{BSH} [€/m ³]	Verkaufspreis für BSH aus Buche je Kubikmeter
	A_{BSH} [%/100]	Ausbeute Brettschichtholzherstellung (Rohlamellen – BSH)
	K_{RL} [€/m ³]	Kosten Rohlamellen
	K_{FBSH} [€/m ³]	Fertigungskosten

Der Ansatz in Gleichung 7.5 berücksichtigt noch keinen individuellen Gewinnzuschlag! Unberücksichtigt bleibt auch die der Projektidee zugrunde liegende, bevorzugte Verwendung rotkerniger Rohlamellen, da keine praxisbasierten Angaben über den Anteil rotkerniger Schnittware beim Einschnitt stärkerer Buche zur Verfügung stehen. Insoweit sind der bei dem Kuppelproduktionsprozess der Schnittholzerzeugung anfallende Anteil vorwiegend rotkerniger Lamellen und deren anteilige Kosten unbekannt. Unterstellt man, dass die rotkernigen Lamellen aufgrund fehlender alternativer Verwertungsmöglichkeiten, relativ preiswert verfügbar sein müssten, so liegen die in Tabelle 7.1 ausgewiesenen Verkaufspreise für das BSH aus Buche eher an der Ober- als an der Untergrenze.

Kostenmindernde Erlöse

Die drei letzten Spalten in Tabelle 7.1 geben Auskunft über die je nach eingesetzter Rundholz-Stärkeklasse insgesamt anfallenden Holzverluste und die bei einer angenommenen thermischen Verwertung zu erzielenden Erlöse (kostenmindernd!) für die Restholzsortimente. Die Spanne der kostenmindernden Erlöse ergibt sich aus den zwei unterschiedlichen Ansätzen:

1. Aufteilung des gesamten Restholzes in 60 % stückige Reste (Kappstücke, Schwarten, Spreissel) und 40 % Späne (Säge – und Hobelspäne), die zu 30 €/m³ bzw. 12 €/m³ verkauft werden (können) und
2. komplette thermische Verwertung ohne jedwede Aufteilung der Restholzsortimente mit Erlösberechnung auf Basis des Heizöläquivalents (Heizöl EL) bei einem angenommenen mittleren unteren Heizwert des Restholzes von 14,4 MJ/kg (weitere Basisdaten hierzu vgl. Tabelle 7.1).

In der Praxis werden – bei zwei angenommenen Fertigungsstätten - die kostenmindernden Erlöse auf das die Rohlamellen herstellende Sägewerk und den Brettschichtholzhersteller aufgesplittet werden (müssen).

7.2 Literatur – Kosten der Herstellung von Buchen-Brettschichtholz

WELLING, J. 2003 - mündliche Auskunft, Hamburg

LOHMANN, U. 1999 - Holzhandbuch. DRW-Verlag, 5.Auflage

EUWID 2002 - Europäischer Wirtschaftsdienst, Holz und Holzwerkstoffe, Ausgabe 44

8 Empfehlungen und Schlussfolgerungen

Nachfolgende Empfehlungen und Schlussfolgerungen wurden weitgehend von den Autoren der betreffenden Abschnitte erstellt.

8.1 Rundholzpotential

J. B. Ressel

Zusammenfassend ergibt die Analyse des Rohstoffaufkommens eine mittel- bis langfristig ausreichende Verfügbarkeit an geeignetem Stammholz für die Brettschichtholzerstellung aus Rotbuche. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund eines zunehmenden Auftretens von rotkernigem Stammholz, für das in diesem Projekt eine höherwertige Verwendungsmöglichkeit aufgezeigt worden ist. Auch aus den Prognosen zum Absatzpotenzial ist zu entnehmen, dass sich Brettschichtholz aus Buche mehr zu einem hochwertigen Nischenprodukt als zu einer Massenware entwickeln könnte und damit die potenzielle Nachfrage – auch nach Rohholz - beschränkt bleibt.

8.2 Absatzpotential

Udo Mantau, Christian Sörgel

Marktvolumen

Die Befragung der Hersteller hat gezeigt, dass im Bereich der Stangen- und Kommissionsware ausreichend Kapazitäten vorhanden sind, um die aktuelle Inlandsnachfrage zu decken. Gegenwärtig herrscht eher der Eindruck eines Überangebotes auf dem BSH-Markt vor. Weitere Marktanteilsgewinne im Inland müssen überwiegend durch Verdrängung anderer Produkte, insbesondere des konventionellen Schnittholzes erreicht werden, da vom inländischen Baumarkt keine nennenswerten Wachstumsimpulse ausgehen. In diesem Substitutionswettbewerb steht Brettschichtholz jedoch in starker Konkurrenz zu KVH. *Fazit:* Ohne zusätzliche Innovationen gibt es nur ein geringes Expansionspotential auf dem Inlandsmarkt.

Export

Im Vergleich zum Inlandsabsatz wurde die Entwicklung des Exports für die folgenden drei Jahre durchweg positiver bewertet. Fast zwei Drittel aller befragten Unternehmen gehen von zunehmenden bzw. stark zunehmenden Absatzmengen im Export von BSH aus Nadelholz aus. Dies gilt stärker für Kommissionsware als für Standardware. Bezüglich der Exportchancen von BSH aus Laubholz ist man deutlich skeptischer. Nur knapp zwanzig Prozent gehen von guten bis sehr guten Chancen aus. *Fazit:* Die Expansionschancen auf dem Exportmarkt werden allgemein größer eingeschätzt als auf dem Inlandsmarkt. Hierbei denkt man aber vor allem an BSH aus Nadelholz. Von einem neuen Produkt erwartet man vermutlich erst seine Bewährung auf dem Inlandsmarkt.

Positionierung

Brettschichtholz werden allgemein die besten Bewertungen ggü. den Konkurrenzprodukten bei der Feuchtebeständigkeit, der Dimensionsstabilität und der Optik gegeben. Die Marktchancen für BSH aus Buchenholz wurden vorrangig im sichtbaren Bereich repräsentativer Bauwerke und im sichtbaren Bereich des Wohnungsbaus hoch bewertet. Im Bereich der

Zweckbauten bzw. Industriegebäude wurden sowohl für den sichtbaren als auch für den nicht sichtbaren Bereich kaum Marktchancen gesehen. *Fazit:* BSH aus Buchenholz wird als ein besonders hochwertiges Produkt gesehen, dessen Erfolgchancen auf seinen optischen Vorteilen beruhen.

Preispolitik

Die bestmögliche Vermarktung des neuen Produktes Brettschichtholz aus Buchenholz ist nach den Ergebnissen der Befragung der Hersteller sowie der potenziellen Käufer bzw. Verarbeiter in der Positionierung im oberen Preissegment des BSH-Marktes zu sehen. Die höheren Herstellkosten des neuen Produktes könnten dabei durchaus an den Kunden weitergegeben werden, wenn es gelingt, BSH aus Buche als exklusives Holzbauprodukt im Objektbau zu platzieren. Die ermittelte Preisbereitschaft reicht aber gegenwärtig kaum aus, die höheren Herstellungskosten zu decken. Diese dürften zum Großteil aus der aufwendigeren Verarbeitung von Buchenrohware gegenüber Nadelholz resultieren. Potenzial zur Senkung der Herstellungskosten ist nach Meinung der Projekt begleitenden Expertengruppe jedoch gegeben. *Fazit:* Obwohl dem BSH aus Buchenholz ein höherer Nutzen im optischen Bereich zugestanden wird, bedarf es erheblicher Vermarktungsanstrengungen um den notwendigen Mehrpreis zu realisieren.

Nischenmärkte

Gerade für Betriebe der kleineren und mittleren Größenklassen könnte die Aufnahme von Spezialsortimenten in ihr Produktsortiment eine Chance bieten, dem über den Preis geführten Verdrängungswettbewerb auf dem Markt für Stangen- und Kommissionsware zu entgegen. Voraussetzung ist allerdings, dass die Mehrkosten der Herstellung exklusiver Produkte von der Abnehmerseite akzeptiert werden. *Fazit:* Als ein exklusives Baumaterial könnte BSH aus Buchenholz von den Architekten schnell adaptiert werden. Dies bietet Marktöffnungschancen.

Strategie

BSH aus Buche hat gute Chancen in geringen Mengen exklusive Marktnischen zu besetzen. Somit ist eine grundsätzliche Bereitschaft gegeben, das neue Produkt aufzunehmen. Um aus der exklusiven Nische in mengenmäßig nennenswerte Mengen vorzudringen bedarf es weiterer Entwicklungsfortschritte zur Kostensenkung und zur Überzeugung der Abnehmer, denn im nicht sichtbaren Bereich werden dem Produkt zur Zeit keine Chancen gegenüber BSH aus Nadelholz oder KVH eingeräumt. Als eine Möglichkeit wurde in diesem Zusammenhang die Herstellung optisch ansprechender Träger über den Zwischenschritt der Breitenverleimung angesprochen, die eine Kombination von im Einkauf günstigerem rotkernigen Material im Trägerinneren und heller Buche in den sichtbaren Randbereichen ermöglichen würde.

Ausblick

Sofern es durch die anstehenden Entwicklungen gelingt, die in anderen Verwendungsbereichen weniger bevorzugten Qualitäten des Buchenholzes (insbesondere rotkerniges Material) im nicht sichtbaren Bereich wettbewerbsfähig zu machen, in dem Kosten gesenkt und die Vorteile bezüglich der technologischen Eigenschaften bestätigt werden können, wäre es sinnvoll die Marktchancen in diesem Bereich nochmals gezielt zu untersuchen.

8.3 Rohlamellenherstellung, Sortierung und Trägerherstellung

J. B. Ressel

Grundsätzlich bieten sich – in Abhängigkeit von der Verfahrenstechnik der Trägerherstellung - zwei unterschiedliche Wege beim Einschnitt der Rohlamellen. Diese können, bei insgesamt geringerer Ausbeute und damit auch teurerer Herstellung, auf die traditionelle Weise aus Lamellen gefertigt werden, deren Breite sich direkt nach der Trägerbreite richtet. Alternativ kann der Weg über eine zwischengeschaltete, einlagige Massivholzplattenproduktion mit anschließendem Auftrennen der Platten in Lamellen gewünschter Breite (entsprechend der Trägerbreite) beschränkt werden. Dabei ergibt sich gegenüber der ersten Alternative eine höhere Ausbeute hochwertiger *weißer Ware*, z.B. für die Möbelindustrie, und relativ kostengünstiges, rotkerniges Lamellenmaterial.

Kostensteigernd gegenüber der BSH-Produktion aus Nadelholz sind das Dämpfen der Buche (→ Vergleichmäßigung der Farbunterschiede zwischen Bereichen mit und ohne Rotkern, Spannungsabbau, Verbesserung der Verleimbarkeit) sowie die vergleichsweise etwas längere Trocknungsdauer. Insbesondere rotkerniges Holz trocknet aufgrund der verringerten Permeabilität deutlich langsamer als unverkerntes Buchenholz. Die Verringerung von Endfeuchteunterschieden erfordert zudem eine längere Konditionierungsphase.

Auch die eigentliche Verfahrenstechnik der Trägerherstellung ist aufwendiger als bei Nadelholz-BSH, u.a. geringere Bearbeitungs- bzw. Vorschubgeschwindigkeit, kürzere Werkzeugstandzeiten, höhere Pressdrücke sowohl bei der Herstellung der Keilzinkenstöße als auch bei der Trägerverleimung.

Noch offene Fragen bestehen hinsichtlich einer optimalen Keilzinkenverbindung (Zinkengeometrie, Verklebung, verfahrenstechnische Parameter, wie z.B. Pressdruck) – vgl. auch Abschnitt 8.4) sowie einer festigkeitsorientierten Sortierung der Rohlamellen. In beiden Fällen ist noch ein erheblicher Forschungsbedarf vorhanden.

8.4 Mechanische Eigenschaften, erreichbare Festigkeiten

P. Becker

Die gesamte Untersuchung hat sicherlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit zur Beantwortung aller Fragen zum Tragverhalten von Brettschichtholz aus Buchenholz, sondern ist lediglich als erster Schritt in diese Richtung zu verstehen. Es wäre auch aufgrund der beschränkten Datenmenge nicht korrekt, abschließende Bemerkungen herauslesen zu wollen. Vielmehr sind aus den vorliegenden Untersuchungen Anhaltspunkte zu gewinnen, die als Grundlage für weitere Untersuchungen mit diesem Material dienen können und erste Angaben zu dessen Leistungsfähigkeit und Potential in der praktischen Anwendung liefern können.

Nach dem derzeit vorliegenden Entwurf zur DIN 1052:2000 (Mai 2000) ist die Einstufung von Buchenschnittholz in die Festigkeitsklasse D30 vorgesehen. Die charakteristischen Kennwerte für Festigkeit, Steifigkeit und Rohdichte, die zur Einordnung in diese Festigkeitsklasse erforderlich sind, können der EN 338:1995 entnommen werden. Die Erfüllung der Anforderungen für die Sortierklasse LS10 im Sinne der DIN 4074-5:2002 (Mai 2002) wird dabei vorausgesetzt.

Die generelle Einstufung in D30 wird der hohen Leistungsfähigkeit des Materials jedoch nicht gerecht. Die durchgeführten Biege- und Zugversuche weisen vor allem auf die hervorragenden Festigkeitseigenschaften des Materials hin. Eine wesentlich bessere Ausnutzung dieser Eigenschaften wären durch Einteilung in unterschiedliche Festigkeitsklassen durch Aufnahme der wichtigsten Sortierparameter möglich.

Zunächst dürfte klar sein, dass Buchenlamellen mit groben Fehlern wie Faulstellen, Rindeneinschlüssen und anderen auffälligen Wachstumsunregelmäßigkeiten als BSH-Lamellen nicht in Frage kommen. GLOS und LEDERER (2000) weisen zudem darauf hin, dass ein markfreier Einschnitt eine Grundvoraussetzung für eine hochwertige Verwendung als BSH darstellt und Hölzer mit starken örtlichen Faserabweichungen ebenfalls ausgeschlossen werden sollten. Das wichtigste visuelle Sortierkriterium stellt die Astigkeit dar. Hier erweist sich der vergleichsweise einfach zu bestimmende DEB-Wert (Einzelast) aufgrund strengerer Grenzwertvorgabe in DIN 4074-5:2002 gegenüber dem DAB-Wert (Astansammlung) in praktisch allen Fällen als maßgebend. GLOS, LEDERER (2000) stellen fest, dass zusätzliche Sortierkriterien wie die mittlere Jahrringbreite oder die Faserabweichung die Ausbeute reduzieren, jedoch keine oder nur unwesentliche Verbesserungen bei den Festig- und Steifigkeitskennwerten bringen.

Sollte eine maschinelle Erfassung der Astigkeit gelingen, erscheint die maschinelle Sortierung über die Sortierparameter E-Modul und Astigkeit als zuverlässige Methode, um die Tragfähigkeit von Buchenlamellen zu beurteilen. Folgende Einteilung von Buchenlamellen wäre dann denkbar:

0,2 < DEB < 0,33 (entspricht LS10 nach DIN 4074-5:2002)

Ungefähr 15% der in diesem Projekt untersuchten Lamellen lassen sich entsprechend dieser Vorgabe einstufen. Da nur 14 in Zugversuchen untersuchte Lamellen dieser Gruppe angehören, wird auf eine Ermittlung der mechanischen Kennwerte verzichtet. Diese Lamellen sollten aber D30, mindestens aber einer C24 entsprechenden Laubholzklasse gleichkommen.

DEB < 0,2; E > 12.000 N/mm²

Eine solche Festigkeitsklasse könnte man als **ausgewähltes Buchenholz** bezeichnen. Knapp 50% der im Rahmen dieses Projektes untersuchten Lamellen wären dieser Klasse zuzuordnen. Aus den 33 geprüften Zuglamellen ergibt sich eine charakteristische Zugfestigkeit von ca. 27 N/mm², wobei sich die abgezählten bzw. über eine angenommene Normalverteilung ermittelten Werte kaum unterscheiden. Der mittlere E-Modul dieser Klasse beträgt 13.500 N/mm², der charakteristische Kennwert liegt bei 11.800 N/mm². Diese Werte verdeutlichen, dass sich die entsprechenden Lamellen der Sortierklasse D40 zuordnen lassen. Auch die in den Biegeprüfungen ermittelten Festigkeiten zeigen, dass bei Verwendung entsprechender Lamellen charakteristische Biegefestigkeiten von über 40 N/mm² problemlos erreicht werden.

DEB < 0,1; E > 15.000 N/mm²

Material, welches diesen Anforderungen genügt, muss als **hochwertiges Buchenholz** mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften bezeichnet werden. Diese durchaus strengen Kriterien an die Lamellenqualität wurden beachtlicherweise von mehr als 30% der untersuchten Lamellen erfüllt. Aus den 21 geprüften Zuglamellen dieser Klasse ergeben sich charakteristische Zugfestigkeiten von 50 (Zählmethode) bzw. 54 N/mm² (Normalverteilung). Daraus, dass die mit entsprechenden Randlamellen bestückten Biegeelemente charakteristische Festigkeiten von deutlich über 70 N/mm² erreichen, wird ersichtlich, dass dieses Material von der Festigkeit her den Anforderungen D70 nach EN 338:1995 gerecht wird. Das große Potential dieser hochwertigen und durchaus häufig vorkommenden Buchenlamellen sei damit nur angedeutet. Hochfestes Brettschichtholz als reines Buchen-BSH-Element oder in Kombinationen mit Fülllamellen aus Fichte erscheinen als hochwertiges Holzprodukt denkbar. Allerdings werden die Steifigkeitswerte nicht den hohen Anforderungen von D70 gerecht. Die Anforderung an den mittleren E-Modul lautet 20.000 N/mm², es wurde aber nur ein

mittlerer E-Modul von 16.670 N/mm² erzielt. Vielleicht ist es in diesem Zusammenhang angebracht, in der EN 338:1995 nach europäischen und tropischen Harthölzern zu differenzieren und die hohen Ansprüche an die Steifigkeit für europäisches Laubholz zu reduzieren, um die hervorragenden Festigkeitseigenschaften besser nutzen zu können. Ein mittlerer E-Modul von 20 kN/mm² kann von keiner europäischen Laubholzart auch nur annähernd erreicht werden.

Sicherlich sind auch andere Einteilungen denkbar. Mit diesem Beispiel soll aber verdeutlicht werden, welche Möglichkeiten Brettschichtholz aus Buche bieten kann. Vor der Verwirklichung von hochwertigem Buchen-Brettschichtholz aus „ausgewählten“ und „hochwertigen“ Buchenlamellen steht noch immer die Umsetzung geeigneter Keilzinkenverbindungen. Die prEN 1194: 1999 gibt hier vor, dass die charakteristischen Zugfestigkeiten von Keilzinkenstößen die charakteristische Zugfestigkeit der Lamellen um 5 N/mm² übertreffen muss und auch die charakteristische Biegefestigkeit der keilgezinkten Lamellen einer strengen Anforderung unterliegen. Im Rahmen dieses Projektes durchgeführte Zugversuche mit keilgezinkten Lamellen haben gezeigt, dass hochwertige Keilzinkenstöße, welche die geforderten Kriterien erfüllen, durchaus möglich sind, der Untersuchung und Ausführung jedoch noch viel Aufmerksamkeit und Sorgfalt zu widmen ist.

8.5 Anwendungs- bzw. Einsatzbereiche von Buchen-Brettschichtholz

P. Becker

Holzbauteile, die tragende, stützende oder überspannende Funktion übernehmen, müssen vor allem Anforderungen an die Steifigkeit und Festigkeit erfüllen. Danach bestehen, je nach Art der Konstruktion oder Ausführung, zusätzliche Anforderungen wie gutes Stehvermögen, hohe Dauerhaftigkeit, Wärmedämmung sowie Aussehen. Hinsichtlich dieser Anforderungen weist Buchenholz Vor- und Nachteile gegenüber den üblicherweise eingesetzten Nadelhölzern, Holzwerkstoffen und nichthölzernen Werkstoffen auf.

Die Einsatzmöglichkeiten erstrecken sich über alle denkbaren **Innenanwendungen** (Nutzungsstufe 1¹¹). Überall dort, wo in diesem Bereich bisher Brettschichtholz aus Nadelholz, klassisches Bauschnittholz, Konstruktionsvollholz, Furnierschichtholz oder auch nichthölzerne Materialien wie metallische und mineralische Werkstoffe zum Einsatz kamen, ist eine Verwendung von Buchen-Brettschichtholz möglich. Aufgrund der höheren mechanischen Leistungsfähigkeit des Buchenholzes sind dabei mit Buchen-Brettschichtholz gegenüber anderen hölzernen Materialien schlankere Konstruktionen mit etwas kleineren Querschnitten möglich. Obwohl Brettschichtholz aus Nadelholz zweifelsohne das Hauptkonkurrenzprodukt darstellt, kann Brettschichtholz aus Buche aufgrund der größeren Vielfalt zu einer Vergrößerung des Marktanteils von Brettschichtholz beitragen.

Besonders sinnvoll erscheint die Anwendung im Hallen- und Objektbau. Auch hier sind u.U. schlankere Konstruktionen möglich. Holzprodukte - und hier vor allem Brettschichtholz - stellen für sichtbare Konstruktionselemente aufgrund der ansprechenden Optik ein beliebtes Material dar und so bietet sich auch der Einsatz von Brettschichtholz aus Buchenholz in diesem Bereich an. 54% der Hersteller von Brettschichtholz sehen laut Umfrage gute bis sehr gute

¹¹ Nach ENV 1995-1-1 (Eurocode 5) dient das System der Nutzungsklassen für Tragwerke hauptsächlich zur Zuordnung von Festigkeitswerten und zur Berechnung von Verformungen unter festgelegten Umweltbedingungen. **Nutzungsstufe 1** gekennzeichnet einen Feuchtegehalt in den Baustoffen, der einer Temperatur von 20 °C und der relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen im Jahr einen Wert von 65 % übersteigt; damit wird von den meisten nadelhölzernen eine mittlere Gleichgewichtsfeuchte von 12% nicht überschritten.

Chancen für den sichtbaren Einsatz bei Repräsentativbauten (siehe Abschnitt 4). Für den Einsatz im sichtbaren Bereich könnte jedoch der Rotkern ein Hindernis darstellen, so dass hinsichtlich Sichtbarkeit die Herstellung von Buchen-Brettschichtholz auf zwei Sortimente hinauslaufen könnte: Buchen-Brettschichtholz mit und ohne Rotkern.

Auch Zweck- und Industriebauten kommen als Einsatzbereiche in Frage. Die Hersteller räumen dem Material hier Marktchancen ein, wobei auch rotkernige Buche im Gegensatz zu Repräsentativbauten kein Hindernis darstellen dürfte. Lager- und Produktionshallen aus den konkurrierenden Werkstoffen Stahl, Beton und Fichten-Brettschichtholz seien hier als Beispiele erwähnt. Aufgrund einer hohen Korrosionsbeständigkeit hat sich Holz besonders beim Vorhandensein aggressiver Medien bewährt. Buchenholz weist gegenüber den sonst eingesetzten Nadelhölzern diesbezüglich keine Nachteile auf.

Besonders interessant erscheint der Einsatz von Buchen-Brettschichtholz im Objektbau immer dort, wo die Leistungsfähigkeit von Brettschichtholz aus Fichte ausgereizt ist. Hochwertiges Brettschichtholz aus Buche bietet nicht nur wegen der größeren Kapazität als hochbeanspruchtes, weitgespanntes Bauteil Vorteile, sondern kann aufgrund größerer Querdruck- und Querszugfestigkeiten, höherer Lochleibungsfestigkeit und schwierigerer Spaltbarkeit zur Lösung lokaler Spannungsprobleme bei der Auflagerung oder bei Anschlüssen mit stabförmigen Verbindungsmitteln beitragen. Der Einsatz als hochbeanspruchtes Bauteil ist sowohl als Kombination von Fichten- und hochwertigen Buchenrandlamellen als auch in Form homogener Buchen-Brettschichtholzträger denkbar.

Der wesentliche Nachteil von Buchenholz, die starke Quellung und Schwindung, spielt im Wohnungsbau eine geringere Rolle als im Objektbau, weil hier die Luftfeuchte durch Beheizung und Klimatisierung weniger schwankt. Die Hersteller sehen aber die Chancen von Buchen-Brettschichtholz bei Wohnbauten eher negativ. Diese Einschätzung ist kritisch zu beurteilen, zumal im Bereich des Wohnbaus Brettschichtholz für sichtbare Dach- und Deckenkonstruktionen bevorzugt wird. Im nicht sichtbaren Bereich von Wandkonstruktionen dominieren hingegen Bauschnittholz, Konstruktionsvollholz und Trägersysteme. Dort regelt sich der Einsatz der Werkstoffe über Zweckmäßigkeit und Preis. Im sichtbaren Bereich stellen Trägersysteme und Nichtenholzprodukte für die überwiegende Zahl der Anwender keine Alternative dar. Auch komplette Decken- und Wandsysteme, die auf der Verwendung von Buchenholz basieren, könnten bald zum üblichen Erscheinungsbild gehören. Aufgrund des höheren Eigengewichts könnten dabei geringe Nachteile beim Wärmeschutz, dafür aber leichte Vorteile beim Schallschutz gegenüber Systemen aus Nadelholz auftreten. Auch der Wintergartenbau wird als Einsatzmöglichkeit gesehen; von 26% der befragten Anwender werden diesbezüglich gute bis sehr gute Chancen eingeräumt.

Für Sonderbauten, z.B. Brücken, wird Brettschichtholz aus Buche als eher nicht geeignet eingestuft, auch wenn es Beispiele gibt, die diese Einschätzung nicht unterstützen. So steht beispielsweise in der Schweiz eine StraÙenbrücke mit 30 m Spannweite. Diese Brücke wurde im Jahre 1985 erstellt. Normal beanspruchte Konstruktionselemente bestehen dabei aus Fichten-Brettschichtholz, hochbeanspruchte Bauteile aus Teeröl-imprägniertem Buchen-Brettschichtholz.

Dennoch erscheint die Außenanwendung von Brettschichtholz aus Buche vor allem wegen des starken Quellens und Schwindens, der geringen Dauerhaftigkeit bei Feuchtebeanspruchung und der starken Pilzanfälligkeit (einschließlich Rotkern) bei höheren Holzfeuchten nicht als sinnvoll. Hinzu kommt die sehr schwierige Imprägnierbarkeit der rotkernigen Bereiche. Prinzipiell denkbar erscheint die Außenanwendung, wenn durch konstruktiven Holzschutz gewährleistet ist, dass das Buchenholz dauerhaft eine Holzfeuchte von unter 20% aufweist, wobei die Qualität der Verklebung auch unter höheren Holzfeuchten noch zu untersuchen wäre.

8.6 Ausblick, zukünftige Entwicklungen

P. Becker

Das Potential von Brettschichtholz aus Buchenholz konnte im Rahmen dieses Projektes deutlich gezeigt werden. Buchenholz wird in den nächsten Jahrzehnten in umfangreicher Menge zur Verfügung stehen und besonders rotkerniges Material aufgrund begrenzter Anwendungsmöglichkeiten für diesen Zweck verfügbar sein. Auch rotkernige und gedämpfte Buchenlamellen lassen sich gut verkleben, so dass Brettschichtholz aus Buchenholz besonders für die Innenanwendung ein sehr leistungsfähiges Material der hölzernen Produktpalette darstellt und diese somit ausgezeichnet ergänzt. Es ist zu hoffen, dass sich die noch zurückhaltende bis skeptische Einstellung von Herstellern und Anwendern nach erfolgreichem Einsatz in der Baupraxis ändern wird.

Um Unsicherheiten bei der Anwendung zu vermeiden und den Einsatz von Brettschichtholz aus Buche optimal und möglichst effektiv zu gestalten, sind weitere Forschungsanstrengungen notwendig. So bleibt zunächst die Frage nach effektiven Sortierverfahren offen. Untersuchungen zum Einfluss materialspezifischer Eigenschaften auf die Tragfähigkeit des Materials sind in diesem Bericht zu finden. Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Untersuchung von Keilzinkenverbindungen bei Buchenlamellen. Bei den in diesem Projekt durchgeführten Biegeprüfungen waren die äußeren beiden Randlamellen jeweils keilzinkenfrei, so dass der Einfluss von Keilzinkenstößen nicht bekannt ist. Von der Leistungsfähigkeit der Keilzinkenverbindungen werden die Trageigenschaften des genormten Produktes letztendlich abhängen. Auch andere Parameter, z.B. Lochleibungsfestigkeiten oder Zug- und Druckfestigkeiten senkrecht zur Faserrichtung, können in baupraktischen Situation eine wichtige Rolle spielen und sollten in weiteren Untersuchungen betrachtet werden, um auch hier die mechanischen Eigenschaften zuverlässig und optimal nutzen zu können.

Aufgrund der hervorragenden mechanischen Eigenschaften des Buchenholzes ist auch eine Verwertung in anderer Form, z.B. als Furnierschichtholz und Verwendung in Holzwerkstoffen, denkbar. Auch gibt es Bemühungen zur Verwendung anderer heimischer Laubholzarten im Bauwesen, besonders Eiche und Pappel kommen hier in Frage. Es ist somit mit weiterer, intensiver Forschungstätigkeit im Bereich der Entwicklung und Umsetzung von hochwertigen auf Laubholz basierenden Holzprodukten für das Bauwesen zu rechnen.

9 Anhang

9.1 Projektbegleitende Expertengruppe aus der Wirtschaft

Die projektbegleitende Expertengruppe wurde am 29.04.2002 und am 25.11.2002 zu Sitzungen nach Hamburg eingeladen. Die Sitzungsverläufe werden in den jeweiligen Protokollen dokumentiert (vgl. Anhänge zum 1. bzw. 2. Zwischenbericht). Folgende Personen wurden eingeladen bzw. nahmen an der Sitzung teil.

Herr Dipl.-Ing. R. Bahmer

Zang + Bahmer GmbH Holzleimbauwerk
Justus-von-Liebig-Straße 6
63128 Dietzenbach
Tel.: 06074-3718-0
bahmer@zang-und-bahmer.de

Herr Univ.-Prof. Dr. G. Schickhofer

Technische Universität Graz
Institut für Stahlbau, Holzbau und Flächentragwerke / AG Holzbau und Holztechnologie / Bautechnikzentrum
Inffeldgasse 24
A-8010 Graz
Tel.: +43 316 873 -4600 oder -6702
schickhofer@steel.tu-graz.ac.at

Frau Dipl.-Holzwirtin K. Frühwald

UIZ Umwelt- u. Innovationszentrum Judenburg
Forstweg / Postfach 3
A-8740 Zeltweg
Tel.: +43 3577 22225 -12
Fax: +43 3577 22225 -15
fruehwald@hiz.at

Herr Forstdirektor H. H. Bruns

Nds. Forstamt Alfeld
Ständehausstr. 1
31061 Alfeld
Tel.: 05181 85030-0 / -11
Fax: 05181 85030-55

Herr Dipl.-Ing. T. Wiegand

Arbeitsgemeinschaft Holz
Rather Straße 49a
40476 Düsseldorf
Tel.: 0211-47818-0 (Durchwahl -17)
Fax: 0211-452314
wiegand@argeholz.de

Dipl.-Ing. T. Stolte

Harro-Harring-Weg 3
25856 Wobbenbüll
Tel.: 04846-6236
stolte@argeholz.de

Herr Dipl.-Ing. T. Gödeke

Schaeferwerk Gödeke GmbH & Co. KG
Relliehäuser Straße 38-40
37586 Dassel
Tel.: 05564-9617-0
Fax: 05564-9617-99
info@schaeferwerk.de

Dipl.-Ing. (FH) A. Berger

KAUFMANN Leimholz GmbH
Gebrüder-Heyn-Strasse 7a
21337 Lüneburg
Tel.: 04131 8531-0
Fax: 04131 8531-30
a.berger@kaufmann-holz.at

Herr Dr. A. Bernasconi

Lignum HWK
Falkenstraße 26
CH-8008 Zürich
Tel.: +41 1 267 47 84
Fax: +41 1 267 47 87
Bernasconi@lignum.ch

Herr Prof. C. Thoroë (BFH)

Tel.: 040-73962-300

Herr Prof. U. Mantau (Uni Hamburg)

Tel.: 040-73962-108

Herr Dipl.-Holzwirt C. Sörgel (Uni Hamburg)

Tel.: 040-73962-128

Herr Dr. M. Dieter (BFH)

Tel.: 040-73962-306

Herr Prof. J. Ressel (Uni Hamburg)

Tel.: 040-73962-604

Herr Prof. A. Frühwald (Uni Hamburg / BFH)

Tel.: 040-73962-600

Frau Dipl.-Holzwirtin B. Pitzner (BFH)

Tel.: 040-73962-609

Herr Dipl.-Ing. R. Wonnemann (BFH)

Tel.: 040-73962-622

9.2 Fragebogen zur Erfassung des Absatzpotentials

Grundlage des Abschnitts über das Absatzpotential sind Befragungen nachfolgend angeführter Gruppen. Die entsprechenden Fragebogen werden sich auf den folgenden Seiten wiedergegeben.

- Fragebogen der Herstellerbefragung (zwei Seiten)
- Fragebogen der Befragung bei Zimmereibetrieben und Fertighausherstellern (zwei Seiten)
- Fragebogen der Befragung bei Architekten und Statikern (zwei Seiten)

Herstellerbefragung

Faxantwort an (040) 42891-2665; für Fensterbrief Adressfeld auf der Rückseite

Hochwertiges Brett-schichtholz aus Buchenholz

Universität Hamburg, Ordinariat für Weltforstwirtschaft,
Prof. Dr. Udo Mantau, Leuschnerstr. 91, D - 21031 Hamburg

Fragebogen bitte in jedem Fall zurückschicken*

Bitte korrigieren Sie ggf. die Adresse:

Musterbrief

*) Der Fragebogen kann nicht beantwortet werden, weil:

- 1/1 kein Zimmereibetrieb
- 2 Betrieb stillgelegt
- 3 sonstiges:.....

Geben Sie bitte an, wie sich Ihr Umsatz auf folgend Bereiche verteilt:

- 2/ konventioneller Holzbau %
- 3/ Ingenieurholzbau %
- 4/ Holzhausbau %
- 5/ Sanierung, Renovierung %
- 6/ sonstiges:..... %

Allgemeiner Teil

1. Welche der folgenden Holzbaumaterialien für tragende Zwecke sind Ihnen bekannt? Welche haben Sie bereits eingesetzt?

	bekannt	eingesetzt
Vollholz	7/1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Konstruktionsvollholz (KVH)	8/1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Brett-schichtholz (BSH)	9/1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Trägersysteme (TJI;KIT etc.)	10/1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Furnierschichtholz (Bsp. Kerto)	11/1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

2. Im folgenden sind die Eigenschaften von Holzbauprodukten für tragende Zwecke aufgeführt. Welche Produkte erfüllen Ihrer Meinung nach die aufgeführten Eigenschaften am besten? Vergeben Sie für jede Eigenschaft die drei ersten Plätze (senkrechte Reihen):

1 = erfüllt die Eigenschaft am besten;
2 = am zweitbesten; 3 = am drittbesten

Produkt	Eigenschaft			
	feuchte- beständig	dimensions- stabil	Optik	Festigkeit
12/ Vollholz	1	2	3	4
13/ KVH	1	2	3	4
14/ BSH	1	2	3	4
15/ Träger- systeme	1	2	3	4
16/ Furnier- schichtholz	1	2	3	4

3. Welche der aufgeführten Bauprodukte für tragende Zwecke würden Sie für folgende Anwendungen bevorzugen? Mehrfach mögl.!

a) Repräsentativbauten

	sichtbar	nicht sichtbar
17/ Vollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
18/ KVH	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
19/ BSH	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
20/ Trägersysteme	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
21/ Furnierschichth.	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
22/ Metallbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
23/ Betonbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

b) Wohnbau, Decken- und Wandkonstruktionen

	sichtbar	nicht sichtbar
24/ Vollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
25/ KVH	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
26/ BSH	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
27/ Trägersysteme	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
28/ Furnierschichth.	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
29/ Metallbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
30/ Betonbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

c) Wohnbau, Dachkonstruktionen

	sichtbar	nicht sichtbar
31/ Vollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
32/ KVH	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
33/ BSH	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
34/ Trägersysteme	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
35/ Furnierschichth.	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
36/ Metallbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
37/ Betonbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

Herstellerebefragung

Faxantwort an (040) 42891-2665

d) Zweckbauten, Industriebauten

	sichtbar	nicht sichtbar
38/ Vollholz	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
39/ KVH	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
40/ BSH	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
41/ Trägersysteme	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
42/ Furnierschichth.	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
43/ Metallbauteile	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
44/ Betonbauteile	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>

e) Fassadenbau, Wintergartenbau

	sichtbar	nicht sichtbar
45/ Vollholz	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
46/ KVH	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
47/ BSH	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
48/ Trägersysteme	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
49/ Furnierschichth.	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
50/ Metallbauteile	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
51/ Betonbauteile	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>

f) Sonderkonstruktionen (Brückenbau etc.)

	sichtbar	nicht sichtbar
52/ Vollholz	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
53/ KVH	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
54/ BSH	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
55/ Trägersysteme	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
56/ Furnierschichth.	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
57/ Metallbauteile	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
58/ Betonbauteile	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>

Brettschichtholz aus Buche

Siehe hierzu auch beiliegendes Infoblatt !

4. Aufgrund der höheren Rohdichte des Ausgangsmaterials ist mit einem höheren Eigengewicht der BSH- Träger aus Buche zu rechnen. Stellt dies in Ihren Augen eine Beeinträchtigung der Weiterbearbeitung / bei der Endmontage dar?

- Starke Beeinträchtigung 59/1
- Leichte Beeinträchtigung /2
- Wie konventionelles BSH /3

5. Für welche Einsatzbereiche stellt BSH aus Buche für Sie eine denkbare Alternative dar ?

(Mehrere Nennungen möglich!)

	sichtbar	nicht sichtbar
60/ Repräsentativbauten	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
61/ Wohnbau, Decken- und Wandkonstruktionen	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
62/ Wohnbau, Dachkonstruktionen	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
63/ Zweckbauten, Industriebauten	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
64/ Fassadenbau, Wintergartenbau	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
65/ Sonderkonstruktionen	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>

6. Wie groß ist Ihrer Meinung nach die Gefahr, dass folgende tragende Bauteile durch BSH aus Buche ersetzt werden ?
4 = groß, 3 = mittel, 2 = gering, 1 = gar nicht

- 66/ Vollholz
- 67/ KVH
- 68/ BSH (Nadelholz)
- 69/ Furnierschichtholz (Kerto)
- 70/ Trägersysteme (TJI, KIT)
- 71/ Metallbauteile
- 72/ Betonbauteile

7. Auf welches der folgenden tragenden Bauteile würden Sie bei einem Bauvorhaben für eine Konstruktion mit sichtbaren Tragwerken aufgrund seiner Optik zurückgreifen? Bitte nur eine Alternative ankreuzen !

	Wohnbau	Repräsentativbauten
73/ Vollholz	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
74/ KVH	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
75/ BSH / Nadelholz	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
76/ BSH / Buche	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
77/ Trägersysteme	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
78/ Furnierschichth.	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
79/ Metallbauteile	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>
80/ Betonbauteile	/1 <input type="checkbox"/>	/2 <input type="checkbox"/>

8. Wie viel wäre dem Bauherrn die von Ihnen gewählte Alternative preislich wert (Aufpreis für besondere Optik)?

- Wohnbau 81/ kein Aufpreis
- 82/ % Aufpreis
- Repräsentativbauten 83/ kein Aufpreis
- 84/ % Aufpreis

Zimmereibetriebe und Fertighaushersteller

Faxantwort an (040) 42891-2665; für Fensterbrief Adressfeld auf der Rückseite

Marktvolumen Brettschichtholz

Universität Hamburg, Ordinariat für Weltforstwirtschaft,
 Prof. Dr. Udo Mantau, Leuschnerstr. 91, D - 21031 Hamburg

Bitte korrigieren Sie ggf. die Adresse:

Musterbrief**Fragebogen bitte in jedem Fall zurückschicken * !** Bitte kostenlosen Bericht zusenden!

*) Der Fragebogen kann nicht beantwortet werden, weil:

- 1/1 kein BSH-Hersteller
 /2 Betrieb stillgelegt
 /3 sonstiges:.....

Allgemeiner Teil**1. Wie groß war die Gesamtproduktion an BSH im Jahr 2001 ?**2/ _____ [m²]**2. Wie verteilt sich die BSH-Produktion auf Standard- und Kommissionsware ?**

3/ Standardware %

4/ Kommissionsware %

100 %**3. Wie verteilt sich die BSH-Produktion auf die Festigkeitsklassen ?**

5/ BS 11 %

6/ BS 14 %

7/ BS 16 %

8/ BS 18 %

100 %**4. Wie verteilt sich die BSH-Produktion auf die Oberflächenqualitäten ?**

9/ Auslesequalität %

10/ Sichtqualität %

11/ Industriequalität %

100 %**5. Wie viele m³ Brettschichtholz wurden 2001 zur Ergänzung des eigenen Sortiments zugekauft ?**12/ _____ [m³]**6. Wie viele m³ Schnittholz / Rohlamellen wurden 2001 insgesamt verarbeitet ?**13/ _____ [m³]**7. Welche Holzarten setzen Sie zu welchen Anteilen bei der BSH-Produktion ein ?**

14/ Fichte %

15/ Kiefer %

16/ Lärche %

17/ Douglasie %

18/ Tanne %

19/ Sonstige %

100 %**8. An bzw. über wen erfolgt der Vertrieb Ihrer Produkte ?**

20/ Direktvertrieb: %

21/ Handel: %

22/ Export: %

23/ Sonstige: %

100 %**9. An wen erfolgt der Direktvertrieb?**

24/ industrielle Großabnehmer %

25/ Zimmereien/Holzbauer %

26/ Bauunternehmen/Maurerhandwerk %

27/ Direkt an den Bauherrn %

100 %

Zimmereibetriebe und Fertighaushersteller

Faxantwort an (040) 42891-2665

Einschätzung des Marktpotenzials

10. Wie schätzen Sie die Absatzentwicklung Ihrer BSH-Produkte für die kommenden drei Jahre ein ? Bitte ankreuzen !

++ = stark zunehmend; + = zunehmend;
0 = stagnierend; - = abnehmend;
-- = stark abnehmend

Inland:

28/ Standardware ++ + 0 - --

29/ Kommissionsware ++ + 0 - --

Export:

30/ Standardware ++ + 0 - --

31/ Kommissionsware ++ + 0 - --

11. Wie werden sich Ihrer Meinung nach die Marktanteile der folgenden Holzbaumaterialien entwickeln ? Bitte ankreuzen !

++ = stark zunehmend; + = zunehmend;
0 = stagnierend; - = abnehmend;
-- = stark abnehmend

32/ konventionelles Schnittholz ++ + 0 - --

33/ Konstruktionsvollholz (KVH) ++ + 0 - --

34/ Trägersysteme
(z.B. TJI, KIT, AGEPAN) ++ + 0 - --35/ Balkenschichtholz
(Duo- /Triolam) ++ + 0 - --

36/ Brettschichtholz ++ + 0 - --

37/ Furnierschichtholz
(Kerto, Microlam) ++ + 0 - --38/ Furnierstreifenholz
(Parallam) ++ + 0 - --**12. Wird die Bedeutung der folgenden Hölzer / Holzwerkstoffe in der BSH-Herstellung zunehmen ? Bitte ankreuzen !**

++ = stark zunehmend; + = zunehmend;
0 = stagnierend; - = abnehmend;
-- = stark abnehmend

39/ einheimische Nadelhölzer
(Fi; Ta; Ki; Lã; Doug) ++ + 0 - --40/ nordamerikan. Nadelhölzer
(Southern Pine, Hemlock,
Yellow Cedar etc.) ++ + 0 - --41/ einheimische Laubhölzer,
insb. Buche ++ + 0 - --42/ Holzbauprodukte
(z.B. Furnierschichtholz:
Gurtung von Ing.Leimholz) ++ + 0 - --**13. Wie würden Sie die Marktchancen für hochwertiges Brettschichtholz aus Buche bewerten ?**

1 = Sehr gut; 2 = gut; 3 = eher gering;
4 = schwach

Inland:**Wohnbau:**

43/ sichtbar 1 2 3 4

44/ nicht sichtbar 1 2 3 4

Repräsentativbauten:

45/ sichtbar 1 2 3 4

46/ nicht sichtbar 1 2 3 4

Zweckbauten, Industriegebäude:

47/ sichtbar 1 2 3 4

48/ nicht sichtbar 1 2 3 4

Fassadenbau:

49/ 1 2 3 4

Wintergärten:

50/ 1 2 3 4

Sonderkonstruktionen:

51/ z.B. Brücken 1 2 3 4

Export:

52/ 1 2 3 4

Vielen Dank für die Beantwortung des Fragebogens!

Architekten und Statiker

Allgemeiner Teil

1. In welchem Bereich sind Sie tätig?

- 1/1 Architektur-/Planungsbüro
- 2 Fachplanungsbüro Statik/Tragwerksplanung
- 3 Sonstiges:

2. Wie viele Mitarbeiter hat Ihr Büro? Und wie viele davon sind Architekten/Planer?

- 2/ Mitarbeiter gesamt (incl. Inhaber)
- 3/ Architekten/Planer

3. Welches sind die Hauptarbeitsgebiete Ihres Büros?

- 4/1 Wohnungs- und Siedlungsbauten
- 2 Industrie- und gewerbliche Bauten
- 3 Büro- und Verwaltungsbauten
- 4 Sonstige Nichtwohngebäude

Holzbaumaterialien

4. Wie gut sind Sie mit den folgenden Holzbaumaterialien für tragende Zwecke vertraut? Geben Sie bitte an, welche Materialien Ihnen bekannt sind und welche Sie bereits ausgeschrieben haben.

	bekannt	ausgeschrieben
Vollholz	5/1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Konstruktionsvollholz (KVH)	6/1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Brettschichtholz (BSH)	7/1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Trägersysteme (TJI, KIT etc.)	8/1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Furnierschichtholz (Bsp. Kerto)	9/1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

5. Im Folgenden sind verschiedene Eigenschaften von Holzbauprodukten für tragende Zwecke aufgeführt. Welche Produkte erfüllen Ihrer Meinung nach die aufgeführten Eigenschaften am besten? Vergeben Sie für jede Eigenschaft die drei ersten Plätze, indem Sie die Wertungen 1, 2 und 3 in den senkrechten Reihen verteilen.

1 = erfüllt die Eigenschaft am besten;
2 = am zweitbesten; 3 = am drittbesten

	Eigenschaft			
	feuchtebeständig	dimensionsstabil	Optik	Festigkeit
Vollholz	10/	15/	20/	25/
Konstruktionsvollholz	11/	16/	21/	26/
Brettschichtholz	12/	17/	22/	27/
Trägersysteme	13/	18/	23/	28/
Furnierschichtholz	14/	19/	24/	29/

6. Welche der aufgeführten Bauprodukte für tragende Zwecke würden Sie bevorzugen? Unterscheiden Sie bitte nach Baubereichen und Verwendung (sichtbar, nicht sichtbar). (Mehrfachnennungen möglich)

a) Repräsentativbauten

	sichtbar	nicht sichtbar
30/ Vollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
31/ Konstruktionsvollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
32/ Brettschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
33/ Trägersysteme	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
34/ Furnierschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
35/ Metallbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
36/ Betonbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

b) Wohnbau, Decken- und Wandkonstruktionen

	sichtbar	nicht sichtbar
37/ Vollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
38/ Konstruktionsvollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
39/ Brettschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
40/ Trägersysteme	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
41/ Furnierschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
42/ Metallbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
43/ Betonbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

c) Wohnbau, Dachkonstruktionen

	sichtbar	nicht sichtbar
44/ Vollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
45/ Konstruktionsvollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
46/ Brettschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
47/ Trägersysteme	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
48/ Furnierschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
49/ Metallbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
50/ Betonbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

d) Zweckbauten, Industriebauten

	sichtbar	nicht sichtbar
51/ Vollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
52/ Konstruktionsvollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
53/ Brettschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
54/ Trägersysteme	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
55/ Furnierschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
56/ Metallbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
57/ Betonbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

bitte wenden

Architekten und Statiker

6. Welche der aufgeführten Bauprodukte für tragende Zwecke würden Sie bevorzugen? Unterscheiden Sie bitte nach Baubereichen und Verwendung (sichtbar, nicht sichtbar). (Mehrfachnennungen möglich)

e) Fassadenbau, Wintergartenbau

	sichtbar	nicht sichtbar
58/ Vollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
59/ Konstruktionsvollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
60/ Brettschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
61/ Trägersysteme	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
62/ Furnierschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
63/ Metallbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
64/ Betonbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

f) Sonderkonstruktionen (Brückenbau etc.)

	sichtbar	nicht sichtbar
65/ Vollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
66/ Konstruktionsvollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
67/ Brettschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
68/ Trägersysteme	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
69/ Furnierschichtholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
70/ Metallbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
71/ Betonbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

Brettschichtholz aus Buche

Ein neues Holzbauprodukt - Brettschichtholz aus Buchenholz - zeichnet sich durch die im beigefügten Informationsblatt aufgeführten Eigenschaften aus.

7. Für welche Einsatzbereiche stellt BSH aus Buche für Sie eine denkbare Alternative dar?

	sichtbar	nicht sichtbar
72/ Repräsentativbauten	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Wohnbau, Decken- und Wandkonstruktionen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Wohnbau, Dachkonstruktionen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Zweckbauten, Industriebauten	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Fassadenbau, Wintergartenbau	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
77/ Sonderkonstruktionen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

Statistik

11. In welchem Bundesland befindet sich Ihr Büro?

85/1 <input type="checkbox"/> Schleswig-Holstein	5 <input type="checkbox"/> Nordrhein-Westfalen	9 <input type="checkbox"/> Bayern	13 <input type="checkbox"/> Mecklenburg-Vorpommern
2 <input type="checkbox"/> Hamburg	6 <input type="checkbox"/> Hessen	10 <input type="checkbox"/> Saarland	14 <input type="checkbox"/> Sachsen
3 <input type="checkbox"/> Niedersachsen	7 <input type="checkbox"/> Rheinland-Pfalz	11 <input type="checkbox"/> Berlin	15 <input type="checkbox"/> Sachsen-Anhalt
4 <input type="checkbox"/> Bremen	8 <input type="checkbox"/> Baden-Württemberg	12 <input type="checkbox"/> Brandenburg	16 <input type="checkbox"/> Thüringen

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit.

8. Wie groß schätzen Sie die Wahrscheinlichkeit ein, dass folgende tragende Bauteile durch BSH aus Buche ersetzt werden?

bei:	Wahrscheinlichkeit ist ...			
	groß	mittel	gering	gar nicht
78/ Vollholz	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
79/ KVH	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
80/ BSH (Nadelholz)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Furnierschichtholz (Kerto)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
81/ Trägersysteme (TJI, KIT)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
82/ Metallbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
83/ Betonbauteile	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

9. Auf welche der folgenden tragenden Bauteile würden Sie in einer Ausschreibung für eine Konstruktion mit sichtbaren Tragwerken aufgrund ihrer Optik zurückgreifen? Bitte für Wohn- bzw. Repräsentativbauten jeweils nur drei Alternativen ankreuzen.

	Wohnbau	Repräsentativbauten
Vollholz	85/1 <input type="checkbox"/>	86/1 <input type="checkbox"/>
KVH	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
BSH / Nadelholz	3 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
BSH / Buche	4 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Trägersysteme	5 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
Furnierschichtholz	6 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>
Metallbauteile	7 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Betonbauteile	8 <input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>

10. Wie viel wäre dem Bauherrn die von Ihnen gewählte Alternative preislich wert (Aufpreis für besondere Optik)? Bitte unterscheiden Sie dabei nach sichtbarem und nicht sichtbarem Bereich.

a) sichtbar	Wohnbau	Repräsentativbauten
kein Aufpreis	87/1 <input type="checkbox"/>	88/1 <input type="checkbox"/>
Aufpreis ja	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
und zwar in Höhe von:	88/ %	89/ %
b) nicht sichtbar	Wohnbau	Repräsentativbauten
kein Aufpreis	91/1 <input type="checkbox"/>	92/1 <input type="checkbox"/>
Aufpreis ja	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
und zwar in Höhe von:	92/ %	94/ %

9.3 Ergebnisse der Eigenschaftsuntersuchungen

Die detaillierten Ergebnisse der physikalischen und mechanischen Eigenschaftsuntersuchungen sind auf einer separaten CD-ROM (Verzeichnis-Struktur s.u.) zusammengestellt einschließlich ergänzender Abbildungen (Bruchbilder) und Videoaufzeichnungen ausgewählter Trägerprüfungen.

1. Mechanische Prüfungen

1.1 Biegeversuche

Auswertung

Bilder

Biegeträger – Bruchbilder

Brettschichtholz – Anlieferung

Prüfung – Videos

Versuche

Bu-BSH Biegeversuche

.... (18.09. – 15.10.2002)

Messwerte und Festigkeiten

B1 ungedämpfte Buche ohne Rotkern

Querzugfestigkeit / Scherfestigkeit

B2 gedämpfte Buche ohne Rotkern

Querzugfestigkeit / Scherfestigkeit

B3 ungedämpfte Buche mit Rotkern

Querzugfestigkeit / Scherfestigkeit

B4 gedämpfte Buche mit Rotkern

Querzugfestigkeit / Scherfestigkeit

B5 Buche mit Fichte

Querzugfestigkeit / Scherfestigkeit

1.2 Keilzinkenverbindungen

Auswertung

Bilder

1.4 Zugversuche

Auswertung

Bilder

Versuche

1.3 Kleinversuche

Diagramme

B1 ungedämpfte Buche ohne Rotkern

B2 gedämpfte Buche ohne Rotkern

B3 ungedämpfte Buche mit Rotkern

B4 gedämpfte Buche mit Rotkern

B5 Buche mit Fichte

Lamellenzuteilung

B1 ungedämpfte Buche ohne Rotkern

B2 gedämpfte Buche ohne Rotkern

B3 ungedämpfte Buche mit Rotkern

B4 gedämpfte Buche mit Rotkern

B5 Buche mit Fichte

Leimbuch

B1 ungedämpfte Buche ohne Rotkern

B2 gedämpfte Buche ohne Rotkern

B3 ungedämpfte Buche mit Rotkern

B4 gedämpfte Buche mit Rotkern

B5 Buche mit Fichte

2. Physikalische Untersuchungen

2.1 Delaminierungsprüfung

Fugenöffnung 18 mm

Fugenöffnung 24 mm

Fugenöffnung 30 mm

Massenbestimmung

2.2 Klimaversuche

Bilder

Klimadaten-Holzfeuchte

Klimadaten-Fugenöffnungen

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht
3a. Titel des Berichts Hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz	
3b. Titel der Publikation Hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Frühwald, Arno; Ressel, Jörg B.; Bernasconi, Andrea; Becker, Peter; Pitzner, Birte; Wonnemann, Ralf; Mantau, Udo; Sörgel, Christian; Thoroe, Carsten; Dieter, Matthias; Englert, Hermann	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.03.2003
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)) Frühwald, Arno; Ressel, Jörg B.; Bernasconi, Andrea; Becker, Peter; Pitzner, Birte; Wonnemann, Ralf; Mantau, Udo; Sörgel, Christian; Thoroe, Carsten; Dieter, Matthias; Englert, Hermann	6. Veröffentlichungsdatum 30.09.2003
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Institut f. Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes Leuschnerstrasse 91 D – 21031 Hamburg	7. Form der Publikation elektronisch, UB/TIB Hannover
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	9. Ber. Nr. Durchführende Institution ---
	10. Förderkennzeichen*) 0339827
	11a. Seitenzahl Bericht 186 Seiten
	11b. Seitenzahl Publikation 186 Seiten
16. Zusätzliche Angaben ---	12. Literaturangaben 108 Literaturangaben
	14. Tabellen 70 Tabellen
	15. Abbildungen 89 Abbildungen
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) ---	
18. Kurzfassung <p>Das gängige Brettschichtholz (BSH) wird derzeit fast ausschließlich aus Nadelholz hergestellt, insbesondere Fichte. Nach dem derzeitigen Stand des Wissens wird – insbesondere rotkerniges - Buchenholz nicht zur Herstellung von BSH verwendet. Die Gründe hierfür liegen – neben fehlenden Kenntnissen über die Leistungsfähigkeit (mechanische Eigenschaften) derartiger Bauelemente - in Schwierigkeiten bei der Verklebung der Buchenlamellen und in der Ausbildung von Keilzinkenstößen (Zinkengeometrie, Verklebung, verfahrenstechnische Parameter). Rotkerniges Buchenholz wird zudem als geringwertig eingestuft und bislang i.d.R. nur für preiswertes Verpackungsmaterial, als Rohstoff für Holzplattenwerkstoffe und als Brennmaterial verwendet.</p> <p>Das Vorhaben erarbeitet Strategien zur Herstellung von BSH aus Buche. Damit können ein neuer Verwertungsbereich für Buchen-Problem-Sortimente erschlossen und der Holzbausektor durch ein neues, hochveredeltes Produkt gestärkt werden.</p> <p>Einleitend werden die Rohstoffseite – zukünftige Verfügbarkeit an Buche – und das Absatzpotential für das Produkt „Brettschichtholz aus Buche“ (Marktstudie) untersucht. Die zur Herstellung der Buchen-BSH-Träger verwendeten Rohlamellen (bezogen von drei deutschen Sägewerken) werden nach festigkeitsrelevanten Holzmerkmalen klassifiziert, geordnet und zu Trägern verleimt. Die Eignung der ausgewählten Klebstoffe (PU, MUF und PRF) wurde in Vorversuchen nachgewiesen (ca. 2000 Proben). 70 ausgewählte Buchen-Rohlamellen wurden einer Zugprüfung unterworfen. Aus den verbliebenen Rohlamellen wurden 101 6-lagige Bu-BSH-Träger (15x18x342 cm) hergestellt, davon 36 kombinierte Bu-Fi-BSH-Träger, und geprüft (Biege-E-Modul, Biegefestigkeit). Zusätzlich wurden zur Untersuchung der Delaminierung ca. 1 m lange Träger mit unterschiedlichen Lamellenstärken einer wechselnden Klimalagerung unterzogen.</p> <p>Die Ergebnisse der mechanischen Prüfungen zeigen die sehr hohe Leistungsfähigkeit des Buchen-BSH: Mittelwert Biegefestigkeit $f_{m, \text{kor}} = 78 \text{ N/mm}^2$ (Spannweite 43,7 ... 106,7 N/mm²), 5%-Fraktilwert 55,8 N/mm²; Mittelwert Steifigkeit $E = 14.362 \text{ N/mm}^2$ (Spannweite 11.748 ... 17.804 N/mm²).</p> <p>Buchen-BSH kann als Träger für alle konstruktiv hoch belastbaren Einsatzbereiche in der Innenanwendung eingesetzt werden, bevorzugt im sichtbaren Bereich im (hochwertigen) Objekt- und Wohnbau. Nicht bzw. weniger empfehlenswert ist die Außenanwendung wegen großer feuchtebedingter Dimensionsänderungen und geringer Dauerhaftigkeit des Buchenholzes.</p>	
19. Schlagwörter Brettschichtholz, Buche, Laubholz, Rundholz, Absatzpotential, Einschnitt, Klimalagerung, mechanische Eigenschaften, Delaminierung, Tränkung, Herstellkosten, Sortierung, Verklebung	
20. Verlag	21. Preis

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report Final Report	
3a. Report Title High quality gluelam from Beech		
3b. Title of Publication High quality gluelam from Beech		
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Frühwald, Arno; Ressel, Jörg B.; Bernasconi, Andrea; Becker, Peter; Pitzner, Birte; Wonnemann, Ralf; Mantau, Udo; Sörgel, Christian; Thoroe, Carsten; Dieter, Matthias; Englert, Hermann	5. End of Project 31.03.2003	6. Publication Date 30.09.2003
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) Frühwald, Arno; Ressel, Jörg B.; Bernasconi, Andrea; Becker, Peter; Pitzner, Birte; Wonnemann, Ralf; Mantau, Udo; Sörgel, Christian; Thoroe, Carsten; Dieter, Matthias; Englert, Hermann	7. Form of Publication electronical, UB/TIB Hannover	
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Institut f. Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes Leuschnerstrasse 91 D – 21031 Hamburg	9. Originator's Report No. _____	10. Reference No. 0339827
Federal Research Centre for Forestry and Forest Products Institute of Wood Physics and Mechanical Technology of Wood Leuschnerstrasse 91 D – 21031 Hamburg	11a. No. of Pages Report 186 pages	11b. No. of Pages Publication 186 pages
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	12. No. of References 108 cited publications	14. No. of Tables 70 tables
53170 Bonn	15. No. of Figures 89 figures	
16. Supplementary Notes _____		
17. Presented at (Title, Place, Date) _____		
18. Abstract Common gluelam is almost exclusively made of softwoods, in particular spruce. Actually Beech wood – especially with red heart wood zones – is not used for gluelam production. There are many reasons not to use Beech wood for this product, e.g., missing experience on efficiency and load bearing capability respectively (mechanical properties), gluing difficulties and problems with finger jointing (wedge geometry, bonding, processing parameters). Also red heart Beech wood normally is a low-value timber assortment, mostly used as low-cost packaging material, as raw material for wood based panels or as a fuel. Within the project strategies for gluelam manufacturing from Beech wood are developed. This opens new utilization areas for less popular assortments of Beech timber and strengthens the timber construction area by means of a new high-valuable product. To complete the project the raw material market – future availability of suitable Beech logs – as well as the market potential for the final product “Gluelam of Beech wood” (market survey) are investigated. Initially boards, i.e., so called raw lamellae (purchased from three German sawmills) to be used for manufacturing gluelam beams, have been graded by attributes determining mechanical strength properties, ranked by these attributes and glued together at a gluelam manufacturer. The suitability of the chosen resins, (PU, MUF, and PRF) has been proven in previous investigations based on small samples for shear and internal bond tests (approx. 2000 samples). 70 selected raw-lamella samples have been used for testing tension strength. The remaining raw-lamellae were used for manufacturing 101 semi-sized gluelam beams (dimensions: 15x18x342 cm ³ , 6 lamella per beam). 36 of these beams were composed as so called mixed-beams, containing Spruce lamellae in the middle and Beech lamellae at the edges. Mechanical properties of all beams were determined in bending tests (MOE and MOR). Additionally delamination tests and climate storage tests were carried out with short gluelam samples (dimensions: 15x18x100 cm ³), made by different lamella thicknesses, i.e., 18 mm, 24 mm, and 30 mm. The results of mechanical tests have proven the outstanding load bearing capacity of gluelam beams made of Beech wood: Mean bending strength (MOR) $f_{m, \text{korr}} = 78 \text{ N/mm}^2$ (range: 43,7 ... 106,7 N/mm ²), 5%-fractile 55,8 N/mm ² ; mean MOE = 14.362 N/mm ² (range: 11.748 ... 17.804 N/mm ²). Gluelam from Beech may be applied as a very tough high-strength material for all interior structural applications, preferably in visible function for high class object and residential buildings. It is not recommended for exterior application due to moisture related dimensional changes and minor durability of Beech wood.		
19. Keywords gluelam, Beech wood, hardwood, log, market potential, cutting process, mechanical properties, climate storage, delamination, resin treatment, manufacturing cost, grading, gluing		
20. Publisher	21. Price	