

Methoden zur Beeinflussung ausgewählter Eigenschaften von dreilagigen Massivholzplatten aus Nadelholz

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
an der Universität Hamburg,
Fachbereich Biologie

vorgelegt von
Steffen Tobisch

Dresden, den 25. April 2006

Genehmigt vom Department Biologie
der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
an der Universität Hamburg
auf Antrag von Herrn Professor Dr. J. RESSEL
Weiterer Gutachter der Dissertation:
Herr Professor Dr. A. WAGENFÜHR
Tag der Disputation: 07. Juli 2006

Hamburg, den 20. Juni 2006



A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters that appear to read "R. Lieberei".

Professor Dr. Reinhard Lieberei
Leiter des Departments Biologie

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand im Zeitraum von August 2002 bis April 2006 am Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH - ein Großteil der Untersuchungen wurde erst durch die Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit über den Projektträger Euronorm möglich.

Herrn Eberhard Kehr gilt mein ganz besonderer Dank. Er hat die Entstehung dieser Arbeit maßgeblich angeregt und mich ermutigt, diesen Schritt zu gehen. Er stand mir immer als freundschaftlicher Ansprechpartner zur Verfügung und hat mit seinem sprichwörtlich unerschöpflichen Literaturwissen viel zur Anreicherung dieser Schrift beigetragen.

Mit Detlef Krug verbindet mich nicht nur Freundschaft und Fachkollegialität, sondern auch eine langjährige Begeisterung für den Gegenstand der nachfolgenden Untersuchungen, den mehrlagigen Massivholzplatten. Es war mir immer ein großes Vergnügen und ein fachlicher Gewinn, mit ihm in langen Gesprächen und Dienstreisen über die verschiedensten technologischen und mechanisch-physikalischen Zusammenhänge bei Massivholzplatten und anderen Holzwerkstoffen zu sinnieren. Viele in diesen Debatten angestoßene Ideen und Ansätze werden sich in den kommenden Seiten wiederfinden. Ich danke ihm besonders für seine freundschaftliche Akribie, die vielen Anregungen und Ideen und für sein Vertrauen.

Herr Prof. Jörg B. Ressel hat mich die vergangenen Jahre als freundschaftlicher, kluger und mit großem Weitblick versehener Betreuer bei der Entstehung der Dissertation sehr engagiert begleitet. In den wiederholt geführten Gesprächen und Konsultationen wurden für mich oftmals „fachliche Türen“ und neue Sichten auf die Dinge geöffnet, bestimmte Zusammenhänge wurden erklärbar. Ich bedanke mich für seine große Unterstützung und seine Ermutigungen, meine Untersuchungen fortzusetzen.

Prof. André Wagenführ hat mich gleichfalls als kollegialer Betreuer und anregender Gesprächspartner bei der Erstellung der Arbeit unterstützt. Viele seiner Anstöße sind in die Dissertation eingeflossen und haben sie sowohl inhaltlich als auch fachlich angereichert. Besonders zu verdanken habe ich ihm die unermüdliche Orientierung auf wissenschaftliche Korrektheit und Herangehensweise, wenn wieder einmal ingenieurtechnischer Pragmatismus um sich griff.

Allen Kollegen des Instituts für Holztechnologie Dresden gGmbH, in dem ich fachlich und menschlich zu Hause bin, gilt mein besonderer Dank für ihre Unterstützung, ihre Hilfsbereitschaft und ihre Geduld. Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle Herrn Marco Eidner für die Herstellung unzähliger Massivholzplatten, Frau Beate Stephani für die Planung und Durchführung der Formstabilitätsmessungen, Frau Ellen Faust für die nicht nur zeitlich aufwendigen, sondern auch körperlich anstrengenden Werkstoffprüfungen und Herrn Jens Gecks für die profunde Unterstützung in verbundtheoretischen Fragen. Danke.

Die Herren Dirk Plattes und Andreas Zarbock haben im Rahmen von Praktika und Diplomen wichtige Anteile an den Ergebnissen von Reihenversuchen und Berechnungen. Ihnen gilt mein Dank vor allem aber auch für das gemeinsame Finden von Zusammenhängen und die durch ihre Fragen aufgeworfenen neuen Sichtweisen.

Die zum Schreiben nötige Ruhe und Zurückgezogenheit habe ich, wann immer ich sie brauchte, bei meinen Eltern, Frau Ursula Tobisch und Herrn Dr. Friedrich Tobisch, gefunden. In ihrem Refugium wurde ich nicht nur innig versorgt, sondern fand in meinem Vater auch einen kompetenten Ansprechpartner bei vielen komplizierten Fragestellungen auf den Gebieten der Statik und Festigkeitsberechnung.

Meiner Frau Joane Tobisch möchte ich diese Arbeit widmen. Ohne sie und ihr Verständnis, ohne ihre Unterstützung und ihre liebevollen Ermutigungen, ohne die oftmals gewährten Freiheiten und ihren Zusammenhalt unserer Familie wäre keine der folgenden Seiten entstanden.



Steffen Tobisch
April 2006

INHALTSVERZEICHNIS

1	<u>EINLEITUNG</u>	17
1.1	AUSGANGSSITUATION	17
1.2	ZIELSTELLUNG DER ARBEIT	20
2	<u>STAND DER TECHNIK</u>	23
2.1	TECHNOLOGIE	23
2.1.1	Allgemeines	23
2.1.2	Lamellenherstellung	23
2.1.3	Verwendete Bindemittel	31
2.1.4	Verpressung	33
2.2	EINSATZGEBIETE UND WIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNGEN	36
2.2.1	Einsatzgebiete	36
2.2.2	Produktionsvolumen	38
2.3	BISHERIGE FORSCHUNGSARBEITEN ZU MASSIVHOLZPLATTEN	42
2.3.1	Formstabilität	42
2.3.2	Festigkeitseigenschaften	47
2.3.3	Hygrische Eigenschaften	50
2.3.4	Vorausberechnung von Platteneigenschaften	54
2.4	STAND DER NORMUNG	64
2.4.1	Baurechtliche Situation in Deutschland	64
2.4.2	Europäische Normung	70
3	<u>UNTERSUCHUNGEN</u>	81
3.1	EIGENSCHAFTSPROFIL DREILAGIGER MASSIVHOLZPLATTEN	82
3.1.1	Einleitung	82
3.1.2	Material und Methode	82
3.1.2.1	Kein nachweisbarer Einfluss des R_L und der Plattennenddicke	86
3.1.2.2	Kein nachweisbarer Einfluss des R_L ; jedoch Einfluss der Plattennenddicke	86
3.1.2.3	Nachweisbarer Einfluss des R_L und der Nenndicke	86
3.1.3	Mechanisch-physikalische Eigenschaften	90
3.1.4	Auswertung und Festlegung charakteristischer Eigenschaften für prEN 12 369-3	96
3.1.5	Hygrische Eigenschaften und Formstabilität	98
3.2	EINFLUSS AUSGEWÄHLTER GRÖßEN AUF DIE PLATTENEIGENSCHAFTEN	104
3.2.1	Einleitung	104
3.2.2	Lamellengüte	107
3.2.2.1	Material und Methode	108
3.2.2.2	Ergebnisse	109
3.2.3	Lokale Lamelleneigenschaften	116
3.2.3.1	Material und Methode	116
3.2.3.2	Mechanisch-physikalische Eigenschaften der Lamellen	118
3.2.3.3	Mechanisch-physikalische Eigenschaften der dreilagigen Platten	122
3.2.3.4	Hygrische Eigenschaften und Formstabilität	126

3.2.4	Lamellenverhältnis R_L	131
3.2.4.1	Material und Methode	131
3.2.4.2	Mechanisch-physikalische Eigenschaften	132
3.2.4.3	Hygrische Eigenschaften und Formstabilität	137
3.2.5	Lamellenfeuchte / Bindemittel	139
3.2.5.1	Material und Methode	140
3.2.5.2	Temperaturverläufe in der Klebfuge	141
3.2.5.3	Mechanisch-physikalische Eigenschaften	143
3.2.5.4	Hygrische Eigenschaften und Formstabilität	145
3.3	SUBSTITUTION DER MITTELLAGE	148
3.3.1	Einleitung	148
3.3.2	Labortechnische Versuche	150
3.3.2.1	Material und Methode	150
3.3.2.2	Mechanisch-physikalische Eigenschaften	152
3.3.2.3	Formstabilität	156
3.3.3	Industrierversuche	160
3.3.3.1	Material und Methode	160
3.3.3.2	Mechanisch-physikalische Eigenschaften	163
3.3.3.3	Hygrische Eigenschaften und Formstabilität	167
3.4	ABSCHÄTZUNG VON PLATTENEIGENSCHAFTEN	171
3.4.1	Ermittlung von Basiswerten	171
3.4.2.1	Basiswerte aus prEN 12 369:1996-04	172
3.4.2.2	Basiswerte aus Industriewerten dreilagiger Massivholzplatten	173
3.4.2.3	Basiswerte aus labortechnisch hergestellten Massivholzplatten	175
3.4.2	Berechnung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten	176
3.4.3	Berechnung von Eigenschaften dreilagiger Verbundplatten	180
4	ZUSAMMENFASSUNG	183
5	UMSETZUNG DER ERGEBNISSE IN DIE PRAXIS	189
6	LITERATUR	191
7	ANHANG	203
7.1	ERGEBNISSE DER BESTIMMUNG DES EIGENSCHAFTSPROFILS DREILAGIGER PLATTEN AUS NADELHOLZ	204
7.2	MECHANISCH-PHYSIKALISCHE UND HYGRISCHE EIGENSCHAFTEN DREILAGIGER PLATTEN AUS LAMELLEN UNTERSCHIEDLICHER E-MODUL-BEREICHE	238
7.3	SORTIERBESTIMMUNGEN FÜR LAMELLEN AUS FICHTE, KIEFER ODER LÄRCHE NACH ÖNORM B 3022 (Auszug)	241
7.4	MECHANISCH-PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DREILAGIGER PLATTEN AUS UNTERSCHIEDLICH KLIMATISIERTEN LAMELLEN	244
7.5	MECHANISCH-PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DREILAGIGER MASSIVHOLZPLATTEN, HERGESTELLT UNTER ZUGABE VON OBERFLÄCHENWASSER	247
7.6	MECHANISCH-PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DER IN DEN LABORVERSUCHEN ZUR SUBSTITUTION DER MITTELLAGE VERWENDETEN HOLZWERKSTOFFE	249

7.7 MECHANISCH-PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DER IN DEN LABORVERSUCHEN HERGESTELLTEN VERBUNDPLATTEN MIT SUBSTITUIERTER MITTELLAGE	253
7.8 MECHANISCH-PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DER IN DEN INDUSTRIEVERSUCHEN ZUR SUBSTITUTION DER MITTELLAGE VERWENDETEN HOLZWERKSTOFFE	258
7.9 MECHANISCH-PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DER IN DEN INDUSTRIEVERSUCHEN HERGESTELLTEN VERBUNDPLATTEN MIT SUBSTITUIERTER MITTELLAGE	261
7.10 BERECHNUNG VON BASISWERTEN AUS GEGEBENEN CHARAKTERISTISCHEN PLATTENEIGENSCHAFTEN 3-, 5- UND 7-LAGIGER FICHTENHOLZSPERRHÖLZER NACH PREN 12369:1996-04	267
7.11 PRÜFERGEBNISSE DREILAGIGER MASSIVHOLZPLATTEN AUS NADELHOLZ IM NENNDICKENBEREICH 19 BIS 42 MM, HERANZUZIEHEN FÜR DIE BERECHNUNG VON BASISWERTEN	269
7.12 BERECHNUNG VON BASISWERTEN AUS AN DREILAGIGEN LABORPLATTEN MIT LAMELLEN UNTERSCHIEDLICHER BIEGE-E-MODULBEREICHE ERMITTELTEN EIGENSCHAFTEN	274
7.13 ABSCHÄTZUNG VON EIGENSCHAFTEN DREILAGIGER MASSIVHOLZPLATTEN NACH UNTERSCHIEDLICHEN BERECHNUNGSANSÄTZEN	276

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Holzarteneinsatz bei der Produktion von 94.890 m ³ Laubholzplatten und 266.110 m ³ Nadelholzplatten in Deutschland 1997 /Anon. 1998a, Anon. 1998c/	25
Abbildung 2	Auslieferungsfeuchtegehalte von Holz im praktischen Gebrauch /Niemz 1993/	26
Abbildung 3	Zugscherfestigkeiten von mit unterschiedlichen Feuchtegehalten verklebtem Holz in Abhängigkeit von der Abbindezeit /Bierwirth 1994a/	27
Abbildung 4	Pressprinzip beim Herstellen mehrlagiger Massivholzplatten /Zarbock 2000/	33
Abbildung 5	Produktionsvolumen verschiedener Holzwerkstoffe in Europa in den Jahren 1998 bis 2004 /EPF 2002, EPF 2003; EPF 2005; Anon. 1998a; Amschl 2003/	39
Abbildung 6	Eigentumsanteile am Deutschen Wald nach /Bundeswaldinventur II 2005/	40
Abbildung 7	Darstellung der unterschiedlichen Beanspruchungsarten orientierter Holzwerkstoffe bei paralleler bzw. rechtwinkliger Orientierung der Decklage nach /Neuhaus 1994/	42
Abbildung 8	Differenzklima-Versuch mit Darstellung einwirkender Zustandsgrößen /Jensen, Tobisch 2000/	43
Abbildung 9	Messrahmen zur Aufnahme der Formänderungen senkrecht zur Plattenebene (links) mit schematischer Darstellung des Messrasters (rechts), Plattenabmessung 500 mm x 500 mm x Plattendicke	43
Abbildung 10	Mathematische Zusammenhänge bei der Berechnung der auf 1 m Kantenlänge bezogenen Formänderung senkrecht zur Plattenebene	44
Abbildung 11	Prinzipieller Krümmungsverlauf bei Massivholzplatten nach Prüfung im Differenzklima	45
Abbildung 12	Gegenüberstellung der Gesamtformänderung der untersuchten Holzwerkstoffe Timberstrand (LSL), drei- und fünflagige Massivholzplatten (MHP 3; 5), OSB (dreilagig) und Spanplatte, als Summe von experimentell ermittelter maximaler Formänderung und empirisch berechneter Restformänderung, jeweils für die Richtung der Haupt- und Nebenachse /Jensen, Krug 1999/	46
Abbildung 13	Kriechzahl einer dreilagigen Massivholzplatte in der Hauptachse (Nennstärke 27 mm, RL = 0,64) im Vergleich zu MDF und Spanplatte (SP) in Abhängigkeit von der Belastungsdauer in einem Wechselklima (Temperatur 20 °C, relative Luftfeuchte 30 bzw. 85 %) nach /Dube 1999/	49
Abbildung 14	Verlauf der relativen Kriechverformung unterschiedlicher Holzwerkstoffe (Spanplatten, Faserplatten, Sperrholz, Vollholz) nach /Dinwoodie et al. 1990/	50
Abbildung 15	Detailaufnahmen einer bewitterten mehrschichtigen Fassadenplatte (einseitig mit einer Wetterschutzlasur beschichtet), Problemzonen: offene Fugen im Bereich der Schmalflächenverleimung der Deckschichtlamellen und der Verklebung zur Mittellage	52
Abbildung 16	Ausgleichsfeuchten (Mittelwerte aus je 6 Einzelwerten) von unbehandelten und mit Metalloxidsole getränkten Parallelproben (6 Proben je Variante, Fichtensplintholz, Seitenware) in Abhängigkeit vom Umgebungsklima nach /Tobisch 2000/	53
Abbildung 17	Schematische Darstellung der Lagenabstände eines siebenlagigen Sperrholzes	55
Abbildung 18	Abhängigkeit des Schubmoduls vom Jahrringwinkel β nach /Görlacher 2002/	57
Abbildung 19	Wirksamer Elastizitätsmodul bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene in der Haupt- und Nebenachse in Abhängigkeit vom Stützweitenverhältnis L/d (l/h) nach /Blaß, Fellmoser 2003/	60
Abbildung 20	Messdatenbehandlung bei der Führung von Übereinstimmungsnachweisen im Zuge von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. bei der Bestimmung zulässiger Spannungen und charakteristischer Werte /Tobisch 1999a; Tobisch 1999c/	65
Abbildung 21	Übereinstimmungszeichen zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von dreilagigen Massivholzplatten MULTISTAT der Fa. Binder	68
Abbildung 22	Druckscherprüfkörper aus mehrlagigen Massivholzplatten, a) dreilagige Massivholzplatte; b) fünflagige Massivholzplatte nach CEN/TS 13 354:2003	75
Abbildung 23	Muster für ein CE-Zeichen für langjährig baumustergetreu hergestellte, einer Fremd- und Eigenüberwachung unterliegenden dreilagigen Massivholzplatten zur tragenden Innenverwendung im Feuchtbereich, technische Klasse SWP 2 /Tobisch 2003/	78
Abbildung 24	Einschnittschema (beispielhaft) für eine 20 mm dicke dreilagige Massivholzplatte im Rahmen der Untersuchungen zur Bereitstellung charakteristischer Werte für Festigkeiten und elastische Eigenschaften, Bezeichnung der Prüfkörper und Lage zur Haupt- (II) bzw. Nebenachse (\perp) der Platte	84

Abbildung 25	Scherfestigkeit bei Schub in Plattenebene, Decklage parallel: Kein nachweisbarer Einfluss des R_L und der Nenndicke auf die Mittelwerte beider Nenndickenbereiche (vgl. Verlauf der Regressionsgeraden und Bestimmtheitsmaße; Mittelwerte der beiden Grundgesamtheiten ohne signifikante Unterschiede; hier 2,4 N/mm ² im Nenndickenbereich I und 2,1 N/mm ² im Nenndickenbereich II).....	88
Abbildung 26	Zugfestigkeit bei Zug in Plattenebene, Decklage parallel: Kein nachweisbarer Einfluss des R_L , jedoch Einfluss der Nenndicke (Mittelwerte im Nenndickenbereich I 28,2 N/mm ² ; im Nenndickenbereich II 21,3 N/mm ²) auf die Eigenschaften in den Nenndickenbereichen.....	89
Abbildung 27	Biegefestigkeit bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage senkrecht: Deutlicher bis straffer Einfluss des R_L , Einfluss der Nenndicke (Mittelwerte: ND I: 14,3 N/mm ² ; ND II: 16,3 N/mm ²) auf die Eigenschaften innerhalb der beiden Grundgesamtheiten	90
Abbildung 28	Formänderungsverlauf von dreilagigen Massivholzplatten des Nenndickenbereiches ND I (≤ 20 mm) in Richtung der Nebenachse während einer 96stündigen Differenzklimabelastung in der Doppelklimakammer von 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH, Angabe des Lamellenverhältnisses in Klammern	102
Abbildung 29	Formänderungsverlauf von dreilagigen Massivholzplatten des Nenndickenbereiches ND II (> 20 bis 30 mm) in Richtung der Nebenachse während einer 96stündigen Differenzklimabelastung von 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH, Angabe des Lamellenverhältnisses in Klammern	103
Abbildung 30	Pneumatische Etagenverleimpresse zur Herstellung einlagiger schmallflächenverleimter Massivholzplatten bzw. zur Vorfertigung der Mittellagen dreilagiger Massivholzplatten	104
Abbildung 31	Labor-Massivholzplattenpresse mit Seitendruckaggregaten (rechts), Fabrikat Höfer MHP 130, Pressfläche 1250 mm x 850 mm, maximaler spezifischer Pressdruck 32 bar	105
Abbildung 32	Einschnittschemata für labortechnisch hergestellte Massivholzplatten mit Prüfkörpernummerierung (Beispiel)	106
Abbildung 33	Prüfkörper zur Bestimmung der Druckscherfestigkeit einlagiger Massivholzplatte zum Nachweis der Verklebungsqualität nach verschiedenen Vorbehandlungen /Teischinger et al. 1998/.....	107
Abbildung 34	Häufigkeitsverteilung der zerstörungsfrei im Vierpunktversuch bestimmten Biege-E-Moduln des Lamellensortiments L1, 2500 mm x 91 mm x 19,8 mm.....	118
Abbildung 35	Häufigkeitsverteilung der zerstörungsfrei im Vierpunktversuch bestimmten Biege-E-Moduln des Lamellensortiments L2, 2500 mm x 117 mm x 12,8 mm.....	119
Abbildung 36	Zusammenhang zwischen zerstörend im Vierpunktbiegeversuch bestimmter Biegefestigkeit und im Grading-Versuch ermitteltem Biege-E-Modul von Lamellen unterschiedlicher Qualität	121
Abbildung 37	Zusammenhang zwischen zerstörend im Vierpunktversuch ermitteltem Biege-E-Modul und im Grading-Versuch ermitteltem Biege-E-Modul von Lamellen unterschiedlicher Qualität.....	121
Abbildung 38	Formänderung (diagonal) dreilagiger Massivholzplatten (L1/I ... L1/III, vgl. Tabelle 45) nach 96stündiger Lagerung im Differenzklima 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH in Abhängigkeit von Biege-E-Modul-Bereich und Lamellenverhältnis	130
Abbildung 39	Formänderung dreilagiger Massivholzplatten in Haupt- und Nebenachse nach 96stündiger Lagerung im Differenzklima 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH in Abhängigkeit von Biege-E-Modul-Bereich und Lamellenverhältnis.....	130
Abbildung 40	Traganteilbezogene Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene von dreilagigen Massivholzplatten in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis, Decklagenorientierung parallel	134
Abbildung 41	Traganteilbezogene Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene von dreilagigen Massivholzplatten in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis, Decklagenorientierung rechtwinklig....	135
Abbildung 42	Traganteilbezogene Biegefestigkeit bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene in Haupt- (obere Kurve) und Nebenachse (untere Kurve) dreilagiger Massivholzplatten in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis	136
Abbildung 43	Traganteilbezogene Biegefestigkeit bei Biegung in Plattenebene in Haupt- (obere Kurve) und Nebenachse (untere Kurve) dreilagiger Massivholzplatten in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis.....	136
Abbildung 44	Formänderung dreilagiger Massivholzplatten in Haupt- und Nebenachse sowie diagonal nach 96stündiger Lagerung im Differenzklima 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis	139
Abbildung 45	Temperaturverlauf in der Klebfuge von dreilagigen Massivholzplatten, Decklagendicke 9 mm, Lamellen bei 35, 65 bzw. 85 % rH vorklimatisiert	142

Abbildung 46	Temperaturverlauf in der Klebfuge von dreilagigen Massivholzplatten, Decklagendicke 12,8 mm, Lamellen bei 35, 65 bzw. 85 % rH vorklimatisiert.....	142
Abbildung 47	Temperaturverlauf in der Klebfuge von dreilagigen Massivholzplatten, Decklagendicke 9 bzw. 12,8 mm, Lamellen bei 65 % rH vorklimatisiert, Zugabe von 85 bzw. 255 g/m ² Oberflächenwasser vor der Verpressung.....	143
Abbildung 48	Einschnittschema am Beispiel der OSB (2500x1250x18) mit Nummerierung und Abmessung der Prüfkörper.....	150
Abbildung 49	Bruchbilder von Prüfkörpern bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene mit parallel orientierten Decklagenlamellen; Prüfkörper mit Spanplatten-, OSB-, und Sperrholz-Mittellage (von oben nach unten).....	154
Abbildung 50	Bruchbilder von Biegeprüfkörpern bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene mit senkrecht orientierten Decklagenlamellen; Prüfkörper mit Spanplatten-, OSB-, und Sperrholz-Mittellage (von oben nach unten).....	155
Abbildung 51	Diagonale Formänderungen 27 mm dicker Massivholzplatten mit nicht gesperrter Mittellage im Vergleich zu herkömmlichen Massivholzplatten (1. und 2. Säule) gleicher Nenndicke.....	157
Abbildung 52	Diagonale Formänderungen 27 mm dicker Massivholzplatten mit gesperrter Mittellage im Vergleich mit herkömmlichen Massivholzplatten (1. und 2. Säule) gleicher Nenndicke.....	159
Abbildung 53	Beleimte OSB als Mittellagen-Substitut, aufgelegt auf die untere Decklage der späteren Verbundplatte, Hauptachse der OSB in Längsachse (und damit nicht gesperrt) zur späteren Plattenlänge.....	161
Abbildung 54	Beschickte Mehretagenpresse des Industriepartners.....	162
Abbildung 55	Abkühlung der Verbundplatten im Kühlstern nach der Presse.....	162
Abbildung 56	Konditionierung der Verbundplatten im Stapel.....	162
Abbildung 57	Formänderungsverlauf (diagonal) von 27 mm dicken Verbundplatten mit Spanplatten-, OSB- bzw. MDF-Mittellage im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH, Vergleich zu Werten industrieller dreilagiger Massivholzplatten (Lamellenverhältnisse variieren von 0,49 bis 0,67, vgl. Tabelle 30 unter Punkt 3.1.5) der gleichen Dicke (Formänderungswerte nach 96 Stunden)	169
Abbildung 58	Abschätzung von Platteneigenschaften mit verschiedenen Berechnungsansätzen, exemplarische Darstellung der Berechnung für die 27 mm dicke Industrieplatte 107, Gegenüberstellung der berechneten mit den ermittelten Eigenschaften und Berechnung der mittleren prozentualen Abweichung.....	177

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Übersicht über Preise plattenförmiger Holzwerkstoffe /Tobisch, Krug 2002a, Euwid 2003-25, 2003-27, 2003-28/	18
Tabelle 2	Preis-Leistungs-Verhältnisse verschiedener Holzwerkstoffe, Angabe der Eigenschaften (Mittelwerte) beruhen auf EN 12 369-1:2001 bzw. geltenden deutschen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, Angabe der durchschnittlichen Preise nach /Kruse, Venschott 2001; Tobisch, Krug 2002a; Euwid 2003-27, 2003-28/	18
Tabelle 3	Vor- und Nachteile drei- und mehrlagiger Massivholzplatten aus Nadelholz gegenüber anderen herkömmlichen Holzwerkstoffen aus Sicht der mechanisch-physikalischen Eigenschaften sowie der fertigungstechnischen und stoffspezifischen Anforderungen	19
Tabelle 4	Übersicht über die derzeit für die maschinelle Sortierung nach DIN 4074-3:2003 zugelassenen Sortiermaschinen nach /Denzler, Diebold, Glos 2005/	28
Tabelle 5	Übersicht über Verfahren und Sortierparameter der derzeit angewandten maschinellen Festigkeitssortierungen nach /Glos, Diebold, Schleifer 2000; Glos Schleifer 2002/	30
Tabelle 6	Sortierbestimmungen für die Decklagen aus Fichte, Kiefer, Lärche nach ÖNORM B 3022:1991 (Auszug)	37
Tabelle 7	Mittlere prozentuale Längenänderungen in den Endklimaten 20 °C / 35 % rH bzw. 20 % / 85 % rH bezogen auf den Zustand im Normalklima 20 °C / 65 % rH nach /Schwab, Steffen, Korte 1997/, Darstellung jeweils in Haupt- (II) und Nebenachse (⊥)	51
Tabelle 8	Auszug aus Tabelle 1 Beiblatt zu DIN 68705-5:1980: Berechnungsansätze für Mindestwerte der Festigkeiten und Elastizitätsmoduln von BFU-BU-Platten mit beliebigem symmetrischem Aufbau (als Basiswerte werden 100 N/mm ² für die Biege- und Zugfestigkeit, 52 N/mm ² für die Druckfestigkeit in Plattenebene und 11000 N/mm ² für die Elastizitätsmoduln vorgegeben)	56
Tabelle 9	Lastfälle und erweiterte Aufbauaktoren für die Berechnung von mehrlagigen Massivholzplatten nach der Verbundtheorie /Blaß, Fellmoser 2003/	59
Tabelle 10	Rechenwerte für Festigkeiten und Elastizitätsmoduln mehrlagiger Massivholzplatten, unterteilt in je 6 Klassen für eine Platten- bzw. Scheibenbeanspruchung (Auszug aus /Blaß, Fellmoser 2003/)	61
Tabelle 11	Darstellung der Eigenschaftswerte in N/mm ² für dreilagige Massivholzplatten mit paralleler Orientierung der Decklagenlamelle im Nenndickenbereich von 19 mm bis 27 mm ermittelt in Prüfungen (Spalte 1, nach /Devantier, Tobisch 1997/); zulässige Spannungen und Rechenwerte der Elastizitäts- und Schubmoduln in N/mm ² (Spalte 2 nach /Tobisch, Devantier 1997/) und letztendlich in Z-9.1-413 festgelegte zulässige Spannungen und Rechenwerte der Elastizitäts- und Schubmoduln (Spalte 3)	66
Tabelle 12	Art und Häufigkeit der in der Eigenüberwachung bauaufsichtlich zugelassener mehrlagiger Massivholzplatten nachzuweisenden Eigenschaften	68
Tabelle 13	Übersicht über derzeit in Deutschland bauaufsichtlich zugelassene mehrlagige Massivholzplatten aus Nadelholz	69
Tabelle 14	Nach EN 13 986:2005 für bestimmte Holzwerkstoffe mit festgelegten Mindesteigenschaften (Rohdichte, Dicke) deklarierbare Brandverhaltensklassen, die ohne weiteren Nachweis durch eine dafür zugelassene Stelle durch die Hersteller übernommen werden können	72
Tabelle 15	Aufgaben des Herstellers bzw. der notifizierten Stelle beim Nachweis der Konformität nach den unterschiedlichen Systemen (AoC) /EN 13 986:2005/	73
Tabelle 16	Festlegung der für Holzwerkstoffe in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen zu führenden Konformitätsnachweisverfahren (EN 13 986:2005, Tabelle ZA.1)	74
Tabelle 17	Vorbehandlung von einlagigen und mehrlagigen Massivholzplatten für die Verklebungsklassen zur Verwendung im Trocken-, Feucht- oder Außenbereich nach CEN/TS 13 354:2003	76
Tabelle 18	Vorschlag für charakteristische Mindestwerte für Dichte, Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit für mehrlagige Massivholzplatten für tragende Zwecke nach EN 13 353:2003 (ANMERKUNG: Der charakteristische Biege-Elastizitätsmodul-Wert von 9000 und 6500 N/mm ² entspricht Mittelwerten von 11000 und 8000 N/mm ²)	76
Tabelle 19	Aufbau, Lamellenverhältnis R _L und mittlere Rohdichte der untersuchten Massivholzplatten	83
Tabelle 20	Auswertestrategien (vgl. Punkte 3.1.2.1 bis 3.1.2.3) bei der Bestimmung charakteristischer Werte mechanischer und elastischer Eigenschaften für dreilagige Massivholzplatten aus Nadelholz	91

Tabelle 21	Auszug aus dem von /Tobisch, Krug 1999/ an CEN/TC 112 WG 9 erstellten Prüfbericht: Tabelle 7.1.1.1 zur Darstellung der ermittelten Biegefestigkeiten	92
Tabelle 22	Auszug aus dem von /Tobisch, Krug 1999/ an CEN/TC 112 WG 9 erstellten Prüfbericht: Tabelle 7.1.1.2 zur Darstellung der ermittelten Biege-E-Moduln	93
Tabelle 23	Mittelwerte und Standardabweichungen der geprüften, in den Nenndickenbereichen ND I (≤ 20 mm) bzw. ND II ($>20 - 30$ mm) industriell hergestellten dreilagigen Massivholzplatten aus Fichte, Darstellung der Ergebnisse in Haupt- und Nebenachse, berechnet ohne Berücksichtigung der zugrundeliegenden Lamellenverhältnisse	94
Tabelle 24	Vorschläge für charakteristische Rohdichte und Festigkeit dreilagiger Massivholzplatten in Haupt- (II) und Nebenachse (\perp).....	96
Tabelle 25	Vorschläge für mittlere Steifigkeitswerte dreilagiger Massivholzplatten in Haupt- (II) und Nebenachse (\perp).....	96
Tabelle 26	Vorschläge für Anforderungswerte für dreilagige Massivholzplatte aus Nadelholz nach EN 13 353:2003 zur tragenden Verwendung im Innen-, Feucht- und Außenbereich	97
Tabelle 27	Vorschläge für Anforderungswerte für dreilagige Massivholzplatten aus Nadelholz nach EN 13 353:2003 zur tragenden Verwendung im Innen-, Feucht- und Außenbereich unter Beachtung der üblichen Sicherheitsabstände zu den charakteristischen Werten nach EN 12 369	98
Tabelle 28	Vorschläge für Mindestwerte für Dichte, Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit dreilagiger Massivholzplatte für tragende Zweck nach EN 13 353:2003	98
Tabelle 29	Dimensionsänderungen in Plattenebene und Ausgleichsfeuchten in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchte industriell hergestellter dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz; Nenndickenbereich ND I (≤ 20 mm), aufsteigend geordnet nach dem Lamellenverhältnis.....	100
Tabelle 30	Dimensionsänderungen in Plattenebene und Ausgleichsfeuchten in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchte industriell hergestellter dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz, Nenndickenbereich ND II ($> 20 - 30$ mm), aufsteigend geordnet nach dem Lamellenverhältnis.....	100
Tabelle 31	Formänderungen dreilagiger Massivholzplatten im Nenndickenbereich ND I (≤ 20 mm) sowie ND II (> 20 bis 30 mm) nach einer 96stündigen Differenzklimabelastung von 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH	101
Tabelle 32	Druckscherfestigkeit (trocken, nach Normalklimalagerung) einlagiger, mittels Etagenverleimpresse hergestellter Massivholzplatten der Nenndicken 12,8 und 19,8 mm, 8 Prüfkörper je Variante.....	110
Tabelle 33	Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul von einlagigen, mittels Etagenverleimpresse hergestellten Massivholzplatten der Nenndicken 12,8 und 19,8 mm in der Hauptachse, 6 Prüfkörper je Variante.....	111
Tabelle 34	Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul von einlagigen, mittels Etagenverleimpresse hergestellten Massivholzplatten der Nenndicken 12,8 und 19,8 mm in der Nebenachse, 6 Prüfkörper je Variante.....	112
Tabelle 35	Mechanische Eigenschaften und Formstabilität von einlagigen, mittels Massivholzplattenpresse hergestellten Massivholzplatten aus Fichtenholz-Lamellen der Güteklasse B mit abgerichteten Schmalflächen	115
Tabelle 36	Übersicht über die zur Herstellung der Versuchsplatten verwendeten Vollholzlamellen, Holzart Fichte.....	116
Tabelle 37	Versuchsplan zur Herstellung von dreilagigen Massivholzplatten (MUF-Harz-Bindung) mit Lamellen unterschiedlicher elastischer Eigenschaften (vorher in Grading-Versuchen quasi zerstörungsfrei ermittelt), Variation der Lamellenbreite und des Lamellenverhältnisses R_L	118
Tabelle 38	Übersicht über die in den Grading-Versuchen zerstörungsfrei ermittelten mittleren Biege-E-Moduln und die zugehörigen Rohdichten	120
Tabelle 39	Lamelleneinteilung in unterschiedliche Biege-E-Modulbereiche, Angabe einer zugehörigen mittleren Rohdichte.....	122
Tabelle 40	Ausgewählte Eigenschaften von dreilagigen Massivholzplatten, hergestellt aus 91 mm breiten Lamellen der Biege-E-Modulbereiche L1/I bis L1/III mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis.....	123
Tabelle 41	Ausgewählte Eigenschaften von dreilagigen Massivholzplatten, hergestellt aus 117 mm breiten Lamellen der Biege-E-Modulbereiche L2/I bis L2/III mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis.....	125

Tabellenverzeichnis

Tabelle 42	Längenänderungen [%] dreilagiger Massivholzplatten aus 91 mm breiten Lamellen der Biege-E-Modulbereiche L1/I bis L1/III in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte.....	126
Tabelle 43	Längenänderungen [%] dreilagiger Massivholzplatten aus 117 mm breiten Lamellen der Biege-E-Modulbereiche L2/I bis L2/III in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte.....	127
Tabelle 44	Mittelwerte (fett und unterstrichen) der auf 10 % Luftfeuchteänderung bezogenen Längenänderungen in Plattenebene dreilagiger Platten in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis; Darstellung ohne Berücksichtigung der Nenndicke und der elastischen Eigenschaften der Lamellen.....	128
Tabelle 45	Formänderung labortechnisch hergestellter, dreilagiger Massivholzplatten unterschiedlicher Biege-E-Modulbereiche der Lamellenbreite 91 mm	128
Tabelle 46	Formänderung labortechnisch hergestellter, dreilagiger Massivholzplatten unterschiedlicher Biege-E-Modulbereiche der Lamellenbreite 117 mm	129
Tabelle 47	Versuchsplan zur Herstellung von dreilagigen Massivholzplatten (MUF-Harz-Bindung) mit Lamellen vergleichbarer elastischer Eigenschaften (Bereich der Biege-E-Moduln 9000 bis 11000 N/mm ²), Variation des Lamellenverhältnisses R_L , Varianten nach dem Lamellenverhältnis aufsteigend geordnet.....	131
Tabelle 48	Rohdichte und Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene von dreilagigen Massivholzplatten, Plattendicke einheitlich 30,8 mm, Lamellenverhältnis 0,58, Variation der Lamellenbreite.....	133
Tabelle 49	Zur Berechnung von tragenteilbezogenen Eigenschaften herangezogene Faktoren R_L bzw. $(1 - R_L)$ und entsprechende Biegefestigkeiten und E-Moduln dreilagiger Massivholzplatten mit variierten Lamellenverhältnissen, Ausgangsgrößen der Berechnung sind die Ergebnisse im Anhang 7.2 und 7.4	134
Tabelle 50	Mathematische Zusammenhänge der Form $y = ax^b$ zwischen tragenteilbezogenen Größen und Lamellenverhältnissen.....	135
Tabelle 51	Längenänderungen und Gesamtlängenänderung bei Änderung der relativen Luftfeuchte sowie Mittelwerte der auf 10 % Luftfeuchteänderung bezogenen Längenänderungen von dreilagigen Massivholzplatten mit Lamellen vergleichbarer elastischer Eigenschaften (Bereich der Biege-E-Moduln 9000 bis 11000 N/mm ²), Variation des Lamellenverhältnisses R_L , Varianten nach dem Lamellenverhältnis aufsteigend geordnet.....	138
Tabelle 52	Formänderung labortechnisch hergestellter, dreilagiger Massivholzplatten unterschiedlicher Lamellenverhältnisse, Lamellenbreite 91 bzw. 117 mm, Varianten nach dem Lamellenverhältnis aufsteigend geordnet.....	139
Tabelle 53	Versuchsplan zur Herstellung von dreilagigen Massivholzplatten mit Lamellen unterschiedlicher Feuchte (Ausgleichsfeuchte oder Zugabe von Oberflächenwasser), zusätzliche Variation des Lamellenverhältnisses R_L und der Bindemittelart, Lamellenbreite einheitlich 91 mm.....	140
Tabelle 54	Ausgleichsfeuchten der in den unterschiedlichen Klimaten klimatisierten Lamellen vor der Verpressung.....	141
Tabelle 55	Längenänderung [%] bei Änderungen der relativen Luftfeuchte dreilagiger Massivholzplatten in Abhängigkeit von der Vorklimatisierung der Lamellen bzw. der Verwendung von Oberflächenwasser bei Platten mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis und unterschiedlicher Bindungsart (MUF bzw. PVAc).....	145
Tabelle 56	Gesamtlängenänderung ΔL_{II} bzw. ΔL_{\perp} [%] bei Änderungen der relativen Luftfeuchte dreilagiger Massivholzplatten in Abhängigkeit von der Vorklimatisierung der Lamellen bzw. der Verwendung von Oberflächenwasser bei Platten mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis und unterschiedlicher Bindungsart (MUF bzw. PVAc).....	146
Tabelle 57	Formänderung [mm/m] in Abhängigkeit von der Vorklimatisierung der Lamellen bzw. der Verwendung von Oberflächenwasser bei labortechnisch hergestellten dreilagigen Massivholzplatten mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis und unterschiedlicher Bindungsart (MUF bzw. PVAc).....	146
Tabelle 58	Holzwerkstoffe für die Substitution der Mittellagen dreilagiger Massivholzplatten.....	150
Tabelle 59	Versuchsübersicht zu labortechnisch hergestellten 27 mm dicken Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen.....	151
Tabelle 60	Formänderungswerte [mm/m] labortechnisch mit substituierten Mittellagen hergestellter Verbundplatten mit nicht gesperrter Mittellage nach 48 Stunden im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH, Nenndicke 27 mm.....	157

Tabelle 61	Formänderungswerte [mm/m] labortechnisch mit substituierten Mittellagen hergestellten Verbundplatten mit gesperrter Mittellage nach 48 Stunden im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH, Nenndicke 27 mm.....	158
Tabelle 62	Pressenbelegung für die Industrierversuche	160
Tabelle 63	Auszug ausgewählter Eigenschaften (Mittelwerte) 27 mm dicker dreilagiger Verbundplatten (Substitute: V100-Spanplatten, OSB/3 und leichte Faserplatten).....	164
Tabelle 64	Ausgewählte Eigenschaften (Mittelwerte) 27 mm dicker dreilagiger Verbundplatten (Substitute: V100-Spanplatten, OSB/3 und leichte Faserplatten) im Vergleich zu Eigenschaften industriell hergestellter drei- bzw. fünfzügiger Massivholzplatten aus Nadelholz, die zur Bestimmung von charakteristischen Werten nach EN 1058:1996 geprüft wurden /Tobisch, Krug 1999/.....	166
Tabelle 65	Längenänderungen, Gesamtlängenänderung ΔL [%] in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchte gemessen an industriell hergestellten dreilagigen Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen aus Spanplatte, OSB und leichten Faserplatten, Nenndicken 19, 27 und 42 mm (die auf 10 % Luftfeuchteänderung bezogenen Längenänderungen Δl_{10A} bzw. Δl_{10D} wurden aus den Mittelwerten berechnet).....	168
Tabelle 66	Formänderung nach 96 bzw. 336 Stunden Lagerung im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH, gemessen an industriell hergestellten dreilagigen Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen aus Spanplatte, OSB und leichten Faserplatten, Nenndicken 19, 27 und 42 mm.....	168
Tabelle 67	Wirksame Festigkeitswerte und Elastizitätsmoduln zur Berechnung von Massivholzplatten nach der Verbundtheorie mit erweiterten Aufbaufaktoren nach /Blaß, Fellmoser 2003/	172
Tabelle 68	Auszug aus Tabelle 7 prEN 12 369:1996 „Holzwerkstoffe – Charakteristische Werte für eingeführte Erzeugnisse“	172
Tabelle 69	Für charakteristische Sperrholzwerte aus prEN 12 369:1996-04 rückgerechnete Basiswerte für Fichtenholzplatten	173
Tabelle 70	Übersicht über Kennzeichnung, Nenndicken und Lamellenabmessungen der gezogenen Stichproben	173
Tabelle 71	Rohdichte, Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte industrieller dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz (Fichte) in N/mm ² , Angabe der Mittelwerte bzw. 5%-Quantile	174
Tabelle 72	Basiswerte für Fichtenholzplatten mit einer mittleren Rohdichte von 454 kg/m ³ , rückgerechnet aus Werten industriell hergestellter dreilagiger Massivholzplatten	174
Tabelle 73	Abgeleitete Basiswerte [N/mm ²] aus Untersuchungsergebnissen labortechnisch hergestellter dreilagiger Massivholzplatten mit Lamellen unterschiedlicher Biege-E-Modulbereiche.....	175
Tabelle 74	Übersicht über Basiswerte für Festigkeiten und Steifigkeiten zur Abschätzung von Plattenwerten nach der Verbundtheorie und anderen Berechnungsvorschlägen.....	176

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

	parallel zur Faserrichtung; in Hauptachse	
⊥	Rechtwinklig zur Faserrichtung; in Nebenachse	
ΔL	Gesamtlängenänderung (Addition der Beträge von Δl_{10A} und Δl_{10D})	[%/ %]
Δl_{10A}	auf 10 % Luftfeuchteänderung bezogene Dimensionsänderung bei Adsorption	[%/ %]
Δl_{10D}	auf 10 % Luftfeuchteänderung bezogene Dimensionsänderung bei Desorption	[%/ %]
μ	Diffusionswiderstands-Koeffizient	[-]
σ_{zul}	zulässige Spannung	[N/mm ²]
ABZ	Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung	
AoC	Attestation of Conformity	
BFU	Baufurnier-Sperrholz	
BSH	Brettschichtholz	
BST	Bau-Stabsperrholz	
BW	Basiswert	
CEN	Comité Européen de Normalisation	
DL	Decklage	
DL 35	Prozentuale Längenabnahme (Decrement of Length) bei Lagerung im Klima 20 °C / 35 % rH, bezogen auf den Ausgangszustand in 20 °C / 65 % rH	[%]
$E_{c,0/90,ef}$	effektiver Druck-E-Modul in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
E_{dyn}	dynamischer E-Modul	[N/mm ²]
$E_{m,0/90, mess}$	Messwert Biege-E-Modul in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
$E_{m,0/90,ef}$	effektiver Biege-E-Modul in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
$E_{m,BW}$	Basiswert für den Biege-E-Modul	[N/mm ²]
EPF	European Panel Federation	
E_{stat}	statischer E-Modul	[N/mm ²]
$E_{t,0/90, mess}$	Messwert Zug-E-Modul in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
$E_{t,0/90,ef}$	effektive Zug-E-Modul in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
FEIC	Fédération Européenne des Industries du Contreplaqué	
$f_{c,0/90, mess}$	Messwert Druckfestigkeit in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
$f_{c,0/90,ef}$	effektive Druckfestigkeit in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
$f_{c,BW}$	Basiswert für die Druckfestigkeit	[N/mm ²]
$f_{m,0/90, mess}$	Messwert Biegefestigkeit in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
$f_{m,0/90,ef}$	effektive Biegefestigkeit in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
$f_{m,BW}$	Basiswert für die Biegefestigkeit	[N/mm ²]
$f_{t,0/90, mess}$	Messwert Zugfestigkeit in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
$f_{t,0/90,ef}$	effektive Zugfestigkeit in Haupt- (0) und Nebenachse (90)	[N/mm ²]
$f_{t,BW}$	Basiswert für die Zugfestigkeit	[N/mm ²]
FSH	Furnierschichtholz (z.B. Kerto)	
i.d.R.	in der Regel	
IL 85	Prozentuale Längenzunahme (Increment of Length) bei Lagerung im Klima 20 °C / 85 % rH, bezogen auf den Ausgangszustand in 20 °C / 65 % rH	[%]

k.A.	keine Angabe	
KLH	Kreuzlagenholz	
$L_q^{5\%}$	lower 5%-Quantile (unteres 5%-Quantil)	
LSL	Laminated Strand Lumber	
LVL	Laminated Veneer Lumber	
MDF	Medium Density Fibreboard	
ML	Mittellage	
MUF	Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz	
MUPF	Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehyd-Harz	
ND	Nenndicke, Nenndickenbereich	[mm]
OSB	Oriented Strand Board (nach /Holzlexikon 2003/ "Oriented Structural Board")	
PE	Plattenebene	
PF	Phenol-Formaldehyd-Harz	
PFR	Phenol-Formaldehyd-Resorcin-Harz	
PMDI	Polymeres Diphenylmethandiisocyanat	
PSL	Parallel Strand Lumber	
PUR	Polyurethan	
PVAc	Polyvinylacetat	
rH	relative Luftfeuchte (relative humidity)	[%]
R_L	Lamellenverhältnis (ratio of lamellas); $R_L = (2 \cdot t_{DL} / t_1)$	[-]
s.d.	ohne Datum (sine datum)	
SächsBO	Sächsische Bauordnung	
SC	Nutzungsklasse (Service Class)	
SP	Spanplatte	
SWP	Massivholzplatte (Solid Wood Panel)	
t_1	Plattennendicke	[mm]
TC	Technical Committee	
t_{DL}	Dicke der Decklagen einer Massivholzplatte	[mm]
UF	Harnstoff-Formaldehyd-Harz	
VF	Verleimungen für erhöhte Klimaansprüche	
v_{US}	Ultraschallgeschwindigkeit	[m/s]
X_{05}	unteres 5%-Quantil	
X_{50}	50%-Quantil	

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Mehrlagige Massivholzplatten, deren technologischer Ursprung einerseits in den im Möbelbau seit ca. 1900 industriell erzeugten Tischlerplatten (Stab- oder Stäbchenplatten, beidseitig beplankt mit Furnieren), andererseits in den mehrlagigen Schalungsplatten liegt, werden von /Kruse, Venschott 2001/ interessanterweise gemeinsam mit diffusionsoffenen Faserplatten, OSB, den in den USA gebräuchlichen Span- und Furnierstreifenhölzern (LSL, PSL) sowie dem Furnierschichtholz (LVL) in die Reihe „neuer“ Holzwerkstoffe eingeordnet. Dabei schließt die offizielle Definition von Holzwerkstoffen mehrlagige Massivholzplatten defacto aus, da unter diesem schwer abzugrenzenden „Sammelbegriff“ nur „plattenförmige Produkte (Sperrholz, Spanplatte, Faserplatte und entsprechend aufgebaute Formteile (Formteile aus Fasern oder Spänen, Formteile aus Sperrholz) als Holzwerkstoffe“ angesehen werden. „Meist wird auch aus Furnieren parallel verleimtes Schichtholz, dagegen nicht das aus Schnitware hergestellte Brett-schichtholz, als Holzwerkstoff bezeichnet“ /Holzlexikon 2003/.

Diese eher konservative Haltung wird jedoch zunehmend aufgebrochen. Geht auch das o.g. Kompendium von einer steigenden Zahl von Produkten aus, die sich aufgrund von Weiterentwicklungen und Kombinationen in dieses grobe Schema einordnen lassen, so hat sich, mittlerweile auch im europäischen Bauwesen, ein neuer transatlantischer Begriff etabliert: Als „Engineered Wood Products“ werden direkt auf bestimmte Einsatzzwecke zugeschnittene stab- und flächenförmige Holzwerkstoffe mit teilweise deutlich besseren Eigenschaften eingeführt. Diese „High-Performance-Products“ wurden mit dem Ziel entwickelt, den Einsatz von Vollholz im Bauwesen zu erweitern und als Ersatz für herkömmliche Materialien zu dienen. „Engineered Wood Products“ weisen gegenüber herkömmlichen Holzwerkstoffen Vorteile, wie z.B. die Herstellung in variablen und bisher nicht erreichten Abmessungen, eine höhere Dimensionsstabilität, geringere Streuungen in den Festigkeitseigenschaften und die Verwendung bislang in der Holzwerkstoffindustrie nicht genutzter Sortimente auf /Kruse, Venschott 2001/. Es ist an dieser Stelle aber gleichfalls darauf hinzuweisen, dass die höhere Leistung der neuen Ingenieur-Werkstoffe mit erhöhtem finanziellem Aufwand erkauft werden muss, der dem erweiterten Einsatz auf den ersten Blick entgegen steht.

Die in Europa hergestellten mehrlagigen Massivholzplatten werden im Bauwesen als tragende und aussteifende Wand- und Deckenbekleidung, im dekorativen Innenausbau (Wandbekleidung) sowie im Möbelbau eingesetzt. Meist spielen eher optische Aspekte und weniger die Leistungseigenschaften eine einsatzbestimmende Rolle. Diesbezüglich einschränkend sind nach wie vor die im Vergleich zu den herkömmlichen Holzwerkstoffen hohen Preise. Unter Beachtung der in der letzten Zeit vorherrschenden eher rezessiven Tendenzen im europäischen Baugeschehen stellten *Tobisch* und *Krug* /2002/ die Preisunterschiede von mehrlagigen Massivholzplatten in einen Kontext mit weiteren im Bau verwendeten Holzwerkstoffen (vgl. Tabelle 1). Engineered Wood Products sind demnach deutlich preisintensiver als die großtechnisch in Mengen von bis zu 2500 m³ pro Tag produzierten span- und faserbasierten Holzwerkstoffe.

Während im Jahr 2002 in Europa lt. Angaben der European Panels Federation /EPF 2003/ 32,1 Mio m³ Spanplatten, 10,5 Mio m³ MDF und 2,1 Mio m³ OSB hergestellt wurden, stellen sich mehrlagige Massivholzplatten mit ca. 1 Mio m³ pro Jahr produzierten Platten als vergleichsweise kleine Werkstoffgruppe dar /Anon. 1998a/.

Tabelle 1 Übersicht über Preise plattenförmiger Holzwerkstoffe /Tobisch, Krug 2002a, Euwid 2003-25, 2003-27, 2003-28/

Holzwerkstoff	Preis [€/m³]
Massivholzplatten ohne Zulassung	460 ... 580
Massivholzplatten mit Zulassung	560 ... 630
Schalungsplatten	430 ... 460
Mittellagen-Vollholzlamellen	300 ... 560
Rohspanplatten	75 ... 150
OSB	195 ... 210
MDF	170 ... 180
Diffusionsoffene Faserplatten	220
Furnierschichtholz	1000
Verpackungssperrholz	280 ... 380

Folgt man dem Ansatz von *Kruse und Venschott /2001/* und setzt die Verkaufspreise je Kubikmeter in Beziehung zu den Platteneigenschaften, so ergibt sich unter Beachtung der eingeschränkten Aussagefähigkeit aufgrund schwankender Preise und der als Mittelwerte angenommenen Eigenschaften ein anderes Bild: Das beste Preis-Leistungsverhältnis (hier bezogen auf die Biegefestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene in Hauptachse) wird derzeit von Baufurnier-Sperrholz, gefolgt von OSB/3, mehrlagigen Massivholzplatten und Spanplatten erreicht (vgl. Tabelle 2). Mit Bezug auf den Biege-E-Modul liegt OSB/3 vor Span- und Massivholzplatten, gefolgt von Bau-Furniersperrholz und Furnierschichtholz.

Tabelle 2 Preis-Leistungs-Verhältnisse verschiedener Holzwerkstoffe, Angabe der Eigenschaften (Mittelwerte) beruhen auf EN 12 369-1:2001 bzw. geltenden deutschen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, Angabe der durchschnittlichen Preise nach /Kruse, Venschott 2001; Tobisch, Krug 2002a; Euwid 2003-27, 2003-28/

		Werkstoffart ¹					
		LDF	SPL	OSB	BFU	MHP	FSH
Preis pro m³	[€]	220	112	202	460	570	1000
Rohdichte	[kg/m³]	550	700	650	750	450	650
σ_{zul}	[N/mm²]	3,4	4,0	5,3	13,0	14,0	17,3
E	[N/mm²]	1900	2800	4800	5500	9500	12500
€/m³ : σ_{zul}		65	45	38	35	40	58
€/m³ : E		0,12	0,06	0,04	0,08	0,06	0,08
Rohdichte : σ_{zul}		162	175	123	58	32	38
Rohdichte : E		0,29	0,25	0,14	0,14	0,05	0,05

Mit vergleichsweise geringer Rohdichte werden sowohl von Furnierschichtholz als auch von mehrlagigen Massivholzplatten, gefolgt von Baufurnier-Sperrholz und OSB, die besten Eigenschaften bei Biegung erreicht.

Mit diesem Ansatz relativiert sich das Bild der leistungsfähigen, für einen Einsatz im Bauwesen auf den ersten Blick zu teuren Engineered Wood Products: Die höheren Kosten sind mit einer deutlichen Leistungssteigerung derartiger Werkstoffe verbunden und sollten durchaus mit baukonstruktiven Maßnahmen (z.B. größere Stützweiten oder geringere Materialdicken) zu kompensieren sein. Die Weiterentwicklung des europäischen Baurechts kommt der Nutzung diesbezüglicher Freiräume entgegen: Mit der E-

¹ LDF: diffusionsoffene Faserplatte nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung; SPL: P5-Spanplatte nach EN 312:2003; OSB: OSB/3 mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung; Bfu: Baufurnier-Sperrholz nach DIN 68 705-3:1981; MHP: mehrlagige Massivholzplatte nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung; FSH: Kerto-Q nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

tablierung der Bauproduktenrichtlinie und der Inbezugnahme des Eurocode 5 als Grundlage für die Berechnung und Auslegung von Baukonstruktionen wird es möglich, die bisherigen konservativen Sicherheitsabstände (hohe Sicherheitsbeiwerte) durch ein verändertes Bemessungskonzept zu verringern. Dieses zukünftig anzuwendende Konzept bedient sich – im Gegensatz zu DIN 1052:1988, die auf globale und damit konservative Sicherheitsfaktoren zurückgreift – sogenannter Teilsicherheitsbeiwerte, mit deren Hilfe eine gezielte Unterscheidung der Unsicherheiten bei den Annahmen der Einwirkungen und Materialeigenschaften, der verschiedensten Lastfallkombinationen, der Beanspruchungsdauer und der Wahl des Umgebungsklimas zu treffen ist. Es wird daher zukünftig möglich sein, die verbesserten Leistungseigenschaften solcher Engineered Wood Products umfangreicher zu nutzen. Voraussetzung dafür ist jedoch eine umfassende Kenntnis des Kurz- und Langzeitverhaltens der Werkstoffe in unterschiedlichen Klimaten und Lastsituationen.

Wagt man den Versuch der Zusammenstellung von Vor- und Nachteilen industriell hergestellter mehrlagiger Massivholzplatten in Bezug auf andere großtechnisch hergestellte Holzwerkstoffe (wie z.B. Spanplatten oder MDF, vgl. Tabelle 3), so lässt sich für Massivholzplatten einerseits ein beträchtliches Potential für Verbesserungen erkennen (Erhöhung der Automatisierung und der Produktivität), andererseits sprechen die guten Eigenschaften (gute Leistung bei geringer Dichte, Kombinations- und damit Anpassungsmöglichkeit) für eine erweiterte Verwendung.

Tabelle 3 Vor- und Nachteile drei- und mehrlagiger Massivholzplatten aus Nadelholz gegenüber anderen herkömmlichen Holzwerkstoffen aus Sicht der mechanisch-physikalischen Eigenschaften sowie der fertigungstechnischen und stoffspezifischen Anforderungen

	Vorteile	Nachteile
mechanisch-physikalische Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hohe mechanisch-physikalische Eigenschaften bei geringer Dichte ▪ Eigenschaften durch den Aufbau der Platten und die gezielte Auswahl der Hölzer vorausberechenbar einzustellen ▪ geringeres Quell- / Schwindverhalten als andere, kunstharzgebundene Holzwerkstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ deutlich anisotrope Ausprägung der Eigenschaften ▪ teilweise hohe Kriechzahlen (strukturabhängig)
fertigungstechnische, rohstoff-spezifische Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vielzahl von Variations- und Kombinationsmöglichkeiten ▪ Mittel- und Innenlagenvorfertigung möglich ▪ Verwendbarkeit von Kurzlängen durch Keilzinkung in Lamellenlängsachse möglich ▪ Technologie noch nicht ausgereizt ▪ ökologisches Image ▪ hohe Wertschöpfung ▪ hoher Verkaufspreis 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ geringer Automatisierungsgrad ▪ geringe Produktivität (lange Presszeiten durch Presszeitfaktoren bis 90 s/mm) ▪ hohe Anforderungen an die Sortier- und Bearbeitungsqualitäten der eingesetzten Lamellen ▪ hohe Anforderungen an die vorgabengetreue, verwindungsfreie Trocknung der Lamellen ▪ hohe Herstellungskosten

1.2 Zielstellung der Arbeit

Dem Werkstoff „Massivholzplatte“ wohnt ein Potenzial inne, das bisher wenig bekannt, oftmals unterschätzt und keinesfalls ausgeschöpft wurde.

Es ist daher das erklärte Ziel dieser Arbeit, die vielfältigen Möglichkeiten dieses innovativen Werkstoffes zu untersuchen und darzustellen.

Es soll im Verlauf der Dissertation gezeigt werden, auf welche Weise Massivholzplatten durch gezielte Veränderung der Komponenten und der Plattenstruktur hinsichtlich ihrer Eigenschaften an die unterschiedlichsten Anwendungsgebieten anzupassen sind. Die Ergebnisse der Arbeit sollen einen Beitrag zur erweiterten Verwendung mehrlagiger Massivholzplatten in den verschiedensten Gebieten leisten.

Die umfassende Darstellung der technologischen Möglichkeiten bei der Herstellung mehrlagiger Massivholzplatten, des Standes der Massivholzplatten-Normung und die Auswertung der durchgeführten Prüfungen für die Bereitstellung normativ abgesicherter charakteristischer Werte dienen zur Festlegung eines Ausgangspunktes für die Bewertung und Einstufung aller weiteren Untersuchungen.

Die Schwerpunkte der vorliegenden Dissertationsschrift werden auf den Untersuchungen zur Beeinflussung ausgewählter Eigenschaften durch strukturelle und technologische Parameter liegen. Neben den üblichen mechanisch-physikalischen Eigenschaften werden gleichfalls wichtige hygrische Eigenschaften betrachtet.

Den Abschluss der Arbeit bilden Untersuchungen zur Kombinationsfähigkeit mehrlagiger Massivholzplatten im Zuge einer Mittellagen-Substitution durch herkömmliche plattenförmige Holzwerkstoffe mit dem Ziel, durch die Verbindung der werkstoffeigenen Vorteile zu einer neuen Materialqualität zu gelangen.

Aus den angeführten Zielvorgaben lassen sich folgende Arbeitsansätze ableiten:

1. Darstellung des Standes der Technik mit Bezug auf die Stellung mehrlagiger Massivholzplatten im Spektrum herkömmlicher plattenförmiger Holzwerkstoffe, mit Bezug auf die Technologie der Herstellung, auf Einsatzgebiete und Produktionsvolumina sowie auf den Stand der nationalen und europäischen Normung.
2. Darstellung durchgeführter Arbeiten des Verfassers zur Festlegung sog. charakteristischer Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz in den Nenndickenbereichen ≤ 20 mm und $> 20 - 30$ mm, die zu einer konstruktiven Nutzbarkeit und der damit verbundenen Berechenbarkeit geführt haben.
3. Untersuchungen zum Einfluss ausgewählter Größen auf mechanisch-physikalische und hygrische Platteneigenschaften, Durchführung von Arbeitsprogrammen zur Klärung des Einflusses der Sortierqualitäten (Basis visuelle Sortierung), der Lamellenstöße in Längsachse, der Schmalflächenformen an einlagigen Platten und Versuch einer Übertragung der Ergebnisse auf dreilagige Platten; weiterführende Untersuchungen an dreilagigen Platten mit unterschiedlichem Aufbau bei Einsatz gezielt festigkeitssortierter Lamellen, Variation der Lamellenfeuchte sowie des Bindemittelauftrags.
4. Untersuchungen zur Variation und Kombination von Vollholzlammellen und herkömmlichen Holzwerkstoffen bei der Herstellung dreilagiger Massivholz- (Verbund-) platten mit dem Ziel der Vereinfachung und der wirtschaftlich-technologischen Optimierung der Massivholzplattenherstellung.

5. Untersuchungen zur Brauchbarkeit von verschiedenen Berechnungsverfahren zur Abschätzung „globaler“ Platteneigenschaften² aufgrund von „lokalen“ Eigenschaften der Lamellen (Festigkeit und Elastizität der Lamellen, Plattenaufbau, Basiswerte), Evaluierung der Ergebnisse anhand der Eigenschaften der unter o.g. Punkt 3 hergestellten dreilagigen Massivholzplatten
6. Zusammenfassung und Ausblick auf die zukünftigen Möglichkeiten bei der Herstellung und Nutzung von mehrlagigen Massivholzplatten, die sich aus der Umsetzung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ergeben.

² Im folgenden wird häufiger zwischen den „lokalen“, damit örtlich begrenzten Eigenschaften der Einzellamellen, und den sog. „globalen“ Eigenschaften der aus diesen einzelnen Lamellen hergestellten dreilagigen Massivholzplatten unterschieden.

2 Stand der Technik

2.1 Technologie

Der nachfolgend dargestellte Stand der Technik wird seines Umfangs halber in mehrere Abschnitte unterteilt, wobei die Technologie der Massivholzplattenherstellung genauer beleuchtet wird und auf die derzeitigen Einsatzgebiete bzw. auf die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen mehrlagiger Platten eingegangen wird. Ein nachfolgendes Kapitel stellt den im Vergleich zu anderen Holzwerkstoffen, wie z.B. Spanplatte, noch geringen Stand der Forschungsarbeiten vor. Punkt 2 schließt mit einer umfassenden Übersicht der Normungsaktivitäten zu Massivholzplatten ab.

2.1.1 Allgemeines

Ihren technologischen Ursprung haben die heute im Möbel- und Baubereich eingesetzten mehrlagigen Massivholzplatten in den sogenannten Tischlerplatten (heute: Stäbchen- bzw. Stabsperrholz) und in dreilagigen Betonschalungsplatten. Als Stab- und Stäbchensperrholz werden dabei dreilagige Platten bezeichnet, bei denen die Mittellage aus höchstens 30 mm (üblicherweise 24 mm) breiten Holzstäben (Stabsperrholz ST) bzw. aus höchstens 8 mm dicken, hochkant zur Plattenebene stehenden Stäbchen (Stäbchensperrholz STAE) aufgebaut sind /Holzlexikon 2003/. Die Decklagen werden durch Dickfurniere gebildet. Stab- und Stäbchensperrholz kann sowohl für allgemeine (üblicherweise nichttragende) Zwecke als auch tragend im Baubereich eingesetzt werden. Hier liegt beiden Werkstoffen die DIN 67 705-4:1981 zugrunde. Aufgrund ihrer Verklebungsqualitäten unterscheidet man dort BST 20 bzw. BSTAE 20 (Verleimung beständig bei Verwendung in Bereichen mit i. allg. niedriger Luftfeuchte) und BST 100 / BSTAE 100 (Verleimung beständig gegen hohe Luftfeuchte).

Dreilagige, gesperrt verklebte Betonschalungsplatten ersetzen in den 50er Jahren die gehobelten Vollholzschildtafeln und finden auch heute noch, neben kunstharz imprägnierten Sperrhölzern und neuerdings phenolharzversiegelten OSB, in diesem Bereich ihre Anwendung /Holzlexikon 2003/.

Nach EN 12 775:2001 „Massivholzplatten – Einteilung und Terminologie“ wird zwischen ein- und mehrlagigen Massivholzplatten unterschieden. Einlagige Massivholzplatten sind Erzeugnisse aus mehreren, jeweils zur Längsseite parallel verlaufenden, fugenverklebten Lamellen bzw. Stäben. In Abhängigkeit von der vorgegebenen Plattenqualität werden durchgehende oder stumpf gestoßene bzw. keilgezinkt verklebte Lamellen eingesetzt.

Mehrlagige Massivholzplatten bestehen aus zwei in Faserrichtung parallel verlaufenden Decklagen und zumindest einer zur Faserrichtung der Decklagen um 90° versetzten Mittellage. Die Platten erhalten durch diese Absperrung eine hohe Steifigkeit und weisen damit eine verbesserte Formstabilität auf. Die Dicke beider Decklagen ist im allgemeinen identisch, während Mittel- und ggf. Innenlagen dicker, in Ausnahmefällen auch dünner dimensioniert werden. Generell gilt, dass durch die Wahl der Dicke der einzelnen Lagen die mechanisch-physikalischen Eigenschaften bei mehrlagigen Platten gleicher Dicke stark unterschiedlich sein können.

2.1.2 Lamellenherstellung

Die einzelnen Lagen der Massivholzplatten bestehen aus Stäben oder Brettern variabler Dicken, den sogenannten Lamellen. Nach ÖNORM B 3021:1991 „Einschichtige

Massivholzplatten“ beträgt die Mindestdicke der Lamellen bei einlagigen Platten 3 mm. Dahingegen gilt für mehrlagige Platten eine Mindestdicke der Decklagenlamellen von 3,5 mm, bei Platten für tragende Zwecke sogar von 5 mm /ÖNORM B 3022:1991/.

Die Lamellen werden entweder im spanlosen Verfahren mit Schneidmesser-Maschinen oder im spanenden Verfahren durch den Einsatz von Vielblattsägen oder Dünnschnittgattern hergestellt /Ehrentreich 1991, Soiné 1995 /. Dabei gewinnt insbesondere das seit den 70er Jahren großtechnisch angewandte und ständig weiterentwickelte spanlose Fertigungsverfahren „Schneidtechnik“ zunehmend an Bedeutung /Leible 1996/³. Es ermöglicht eine Lamellenfertigung mit hohen Ansprüchen an Genauigkeit und Oberflächenqualität. Im Vergleich zum herkömmlichen Sägen der Lamellen erzielt die „Schneidtechnik“ zusätzlich eine gute Gesamtwirtschaftlichkeit: Die Einsparung an Material wird, je nach Lamellendicke, mit bis zu 40 % angegeben, der Energieverbrauch für die Herstellung und die Leimauftragsmengen sinken⁴. Gründe dafür sind das quasi verlustfreie Auftrennen des Rohmaterials mit Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 130 m/min bei Lamellendicken zwischen 2 mm und 12 mm und Lamellenbreiten bis zu 200 mm, kürzere Trocknungszeiten⁵ vor dem Einschnitt und damit verbundene geringere Vorhalte- und Lagerkosten. Die erzielbaren Oberflächenqualitäten der hergestellten Halbzeuge variieren in Abhängigkeit von der Art und der Homogenität des eingesetzten Holzes /Ehrentreich 1991/. Nachteilig ist in jedem Fall, dass durch die Vorspaltung entstehende Risse und Fehlstellen im Holz bei der Weiterbearbeitung (z.B. beim Fräsen) hervortreten und zu ungünstigen Oberflächeneigenschaften führen können, die sich insbesondere bei einer späteren Flüssigbeschichtung zeigen. Technische Einschränkungen für dieses Verfahren ergeben sich bei Schnittdicken von mehr als 15 mm und Schnittbreiten über 200 mm. Als wirtschaftlicher Nachteil muss zudem erwähnt werden, dass das Holz vor dem Schneidprozess einem energieintensiven Dämpf- oder Kochprozess unterzogen wird. Dadurch wird das Lignin plastifiziert. Der damit verbundene Anstieg der Elastizität des Rohmaterials ermöglicht Einschnitte mit gleichbleibend hoher Qualität.

In einer Arbeit von /Barbu et al. 2004/ wird dezidiert auf die spanlose Erzeugung von Querschnitten aus prismierter Rohware eingegangen. Hergeleitet aus der Technologie des Messerns von Furnierblöcken (Furnierherstellung) überzeugt das spanlose Schneiden gedämpfter Querschnitte durch eine bessere Oberfläche, da hier nur ca. 30 % der Fasern (beim Messern ca. 70 %) durchschnitten werden. Die Autoren weisen aber ausdrücklich darauf hin, dass nur eine optimale Prozessführung zu akzeptablen Ergebnissen führt: Bei ungenügender Plastifizierung der zu zerteilenden Hölzer bzw. bei zu großem Keilwinkel des Messers kommt es vermehrt zu Ausrissen (aufgrund zu hoher Zugspannungen an der konkaven Lamellenoberseite), die gleichbedeutend mit einer schlechten Oberflächenqualität bzw. einem erhöhten Nachbearbeitungsaufwand (Schleifen) sind. Zu niedriger Druck der Druckleiste führt zu einem zu großen Vorspalt, zu hoher Druck (Verdichtungsgrad > 30 %) zerstört die Lamelle. Zu dicke Lamellen weisen durch die zu starke Biegung beim spanlosen Schneiden Innenrisse auf, durch einen zu großen Winkel zwischen Messer und Kantel kommt es durch den ziehenden Schnitt zu Verdrehungen der erzeugten Lamellen.

³ Schon im Zeitraum um 1960 ist eine Arbeit zur Herstellung von *Betonschalttafeln* aus Lamellen (Abschlagdickten) bekannt. Die Lamellen wurden aus heißgewässertem Fichtenholz auf einer neuartigen Rotationsmessermaschine erzeugt /Schönberg 1961/.

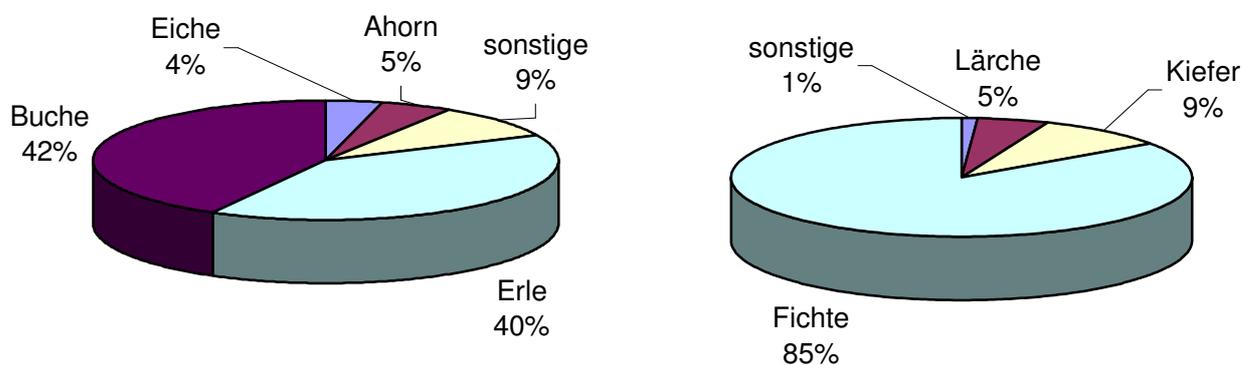
⁴ Diese Literaturangaben sind unter Berücksichtigung der dort nicht angeführten, im Vergleich zur herkömmlichen Lamellenherstellung höheren Aufwendungen für die bis zu achtstündigen Heißwasserbehandlung der Blöcke, die nachfolgende Trocknung und die mit dem notwendigen Schleifen der Lamellen verbundenen Materialverluste gesondert zu werten.

⁵ Das Rohholz wird bei Feuchtegehalten bis Fasersättigung (im Mittel bei ca. 30 %) eingeschnitten.

Eine Alternative zum spanlosen Auftrennen stellt das Kalibrieren von Lamellen mit Hobelmaschinen auf die gewünschte Enddicke dar. Dieses Verfahren ist aber nur dann empfehlenswert, wenn der Verschnitt durch gezielte Wahl der Rohholzdicken niedrig gehalten wird. Vom Hobeln besonders dünner Lamellen ist abzuraten, da die dabei häufig entstehenden Risse und Ausplatzungen an inhomogenen Stellen (Äste, Harzgallen) die Weiterverarbeitung bei der späteren Verklebung oder Oberflächennachbehandlung erschweren. Bestimmte „Überdicken“ werden daher abgeschliffen, wobei sich dieses Verfahren bei großen Abschliffdicken aufgrund des mehrfachen Durchlaufes (notwendige Oberflächenqualitäten sind nur mit feiner Körnung erreichbar) als nicht wirtschaftlich erweist.

Als weiteres, relativ weit verbreitetes Verfahren zur Lamellenherstellung wird die Dünnschnitt-Technologie beschrieben /Patsch, Humenberger 1996/. Durch Anwendung von Vielblattsägen oder Dünnschnittgattern vereint diese Technologie Eigenschaften von spanlosen Verfahren und dem Kalibrieren durch Hobeln. Hohe Wirtschaftlichkeit durch geringen Verschnitt, größere Einschnittmengen, verbunden mit guten Oberflächenqualitäten der Schnittware lassen diese Form des Holzeinschnittes als geeignete Alternative erscheinen.

Nach /Krug et al. 1999/ kann zudem davon ausgegangen werden, dass das Aufschneiden des Holzes in Lamellenform bei einem ausgeglichenen Holzfeuchteprofil zu einer Reduzierung des holzeigenen, durch die technische Trocknung i.d.R. verstärkten Spannungspotentials führt.



a) Laubholzplatten

b) Nadelholzplatten

Abbildung 1 Holzarteneinsatz bei der Produktion von 94.890 m³ Laubholzplatten und 266.110 m³ Nadelholzplatten in Deutschland 1997 /Anon. 1998a, Anon. 1998c/

Als Rohstoff für die Lamellen werden neben hochwertigem Schnitt- und Rundholz auch Seitenware und andere geringwertige Holzsortimente (z.B. Schwachholz) eingesetzt /Johannson 1997/.

Das Spektrum der für die Massivholzplattenherstellung eingesetzten Holzarten ist breit gefächert (siehe Abbildung 1).

Nadelholzplatten werden überwiegend aus Fichte/Tanne, Kiefer und Lärche sowie aus Douglasie hergestellt. Bei Laubholzplatten dominiert der Einsatz von Buche und Erle, gefolgt von Ahorn, Eiche, Kirsche und in jüngerer Zeit auch Birke.

Angaben über eine einzuhaltende Grenzfeuchte der Lamellen bei der Massivholzplattenherstellung sind in ÖNORM B 3022:1991 nicht enthalten. Jedoch werden Festlegungen zur maximalen Holzfeuchtigkeit in Abhängigkeit vom Verwendungszweck im späteren Einsatz getroffen. Bei der Verleimung für Innenräume (VI) darf die maximale Holzfeuchtigkeit 12 % und bei erhöhter Beständigkeit der Verleimung (EVI) 18 % nicht überschreiten. Verleimungen für erhöhte Klimaansprüche (VF) erlauben die kurzzeitige Überschreitung einer Holzfeuchtigkeit von 18 %. DIN 1052-1:1988 gibt eine maximale Holzfeuchte von 15 % für Leimverbindungen jeglicher Art vor. Optimale Holzfeuchten für die Massivholzplattenherstellung liegen, laut industriellen Angaben, zwischen 6 und 12 %.

Für die Lamellentrocknung wird deshalb eine Zielfeuchte angestrebt, die sich an der später wahrscheinlichen Ausgleichsfeuchte (abhängig vom Einsatzort, vgl. dazu auch Abbildung 2) orientiert.

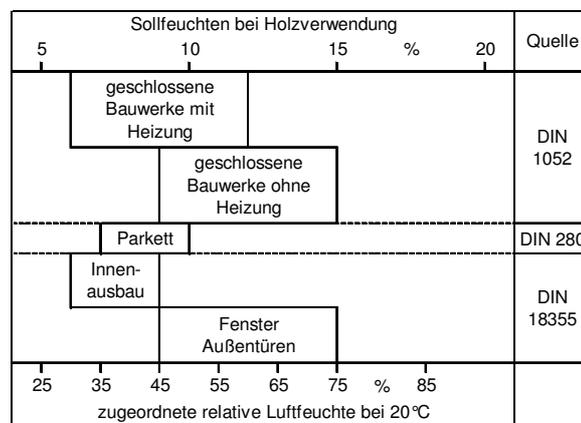


Abbildung 2 Auslieferungsfeuchtegehalte von Holz im praktischen Gebrauch /Niemz 1993/

Empfehlungen geben die Trocknung auf einen mittleren Wert im Bereich der zu erwartenden Sollfeuchte vor⁶. Erfahrungsgemäß wirken sich Querdruckspannungen beim nachträglichen Quellen des Holzes weniger schädlich auf den Verbund aus, während durch das Schwinden des Holzes hervorgerufene Querzugspannungen die resultierenden mechanisch-physikalischen Eigenschaften negativ beeinflussen. Von besonderer Bedeutung ist zudem die gleichmäßige Trocknung der Einzellamellen sowie des jeweiligen Lamellenquerschnitts und die anschließende sorgfältige Konditionierung.

Die technische Trocknung erfolgt üblicherweise in Frischluft-Abluft-Trocknern, wobei die Lamellen mit schweren Gewichten (sog. top loads) versehen werden, um eventuelle Verwerfungen einzuschränken.

Eine zu starke Vortrocknung des Holzes ist zu vermeiden, da das Holz durch eventuell eintretende Verschalung geschädigt wird und zudem Fehlverleimungen auftreten können. Der Feuchtigkeitsunterschied zwischen zu verklebenden Bauteilen sollte 4 % nicht übersteigen. Vor der Verleimung sind die Lamellen nachträglich zu hobeln oder oberflächlich zu schleifen, damit bei der Verklebung eine optimale Passfähigkeit und Haftung erzielt werden kann /Halász, Scheer 1986/.

Prinzipiell ist davon auszugehen, dass der Feuchtegehalt bei der Massivholzplattenherstellung neben der Beeinflussung der Feuchtebeständigkeit der Verklebung auch Aus-

⁶ Praxiserfahrungen zeigen jedoch, dass gerade für die Heißverpressung der Massivholzplatten Lamellenfeuchten von (8±2) % für eine rissfreie Verklebung anzustreben sind.

wirkungen auf die Querzug- und Scherfestigkeit in Plattenebene hat. So halbieren sich beispielsweise die Zugscherfestigkeiten, wenn die Holzfeuchte 15 statt der geforderten 8 % bis 10 % beträgt /Bierwirth 1994a/ (Abbildung 3).

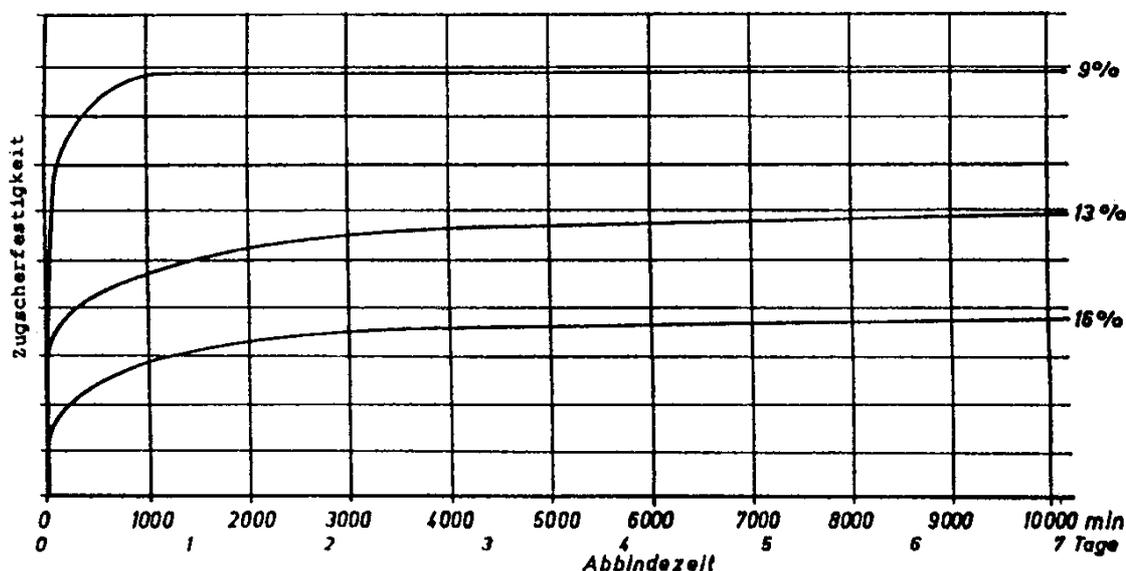


Abbildung 3 Zugscherfestigkeiten von mit unterschiedlichen Feuchtegehalten verklebtem Holz in Abhängigkeit von der Abbindezeit /Bierwirth 1994a/

Rund drei Viertel aller hergestellten Massivholzplatten werden aus Lamellen der Güteklassen A und B nach ÖNORM B 3021:1991 und ÖNORM B 3022:1991⁷ bzw. prEN 13017 gefertigt. Während für Laubholz-Massivholzplatten fast ausschließlich A- und B-Qualitäten Verwendung finden, werden Nadelholz-Massivholzplatten zunehmend auch aus C-Qualitäten gefertigt.

Bei einem Einsatz der Massivholzplatten für tragende oder aussteifende Zwecke in Deutschland ist die Erteilung einer allgemeinen bauaufsichtliche Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik Berlin (DIBt) erforderlich. In diesem Falle wird durch die Bauaufsichtsbehörde vom Hersteller eine güteorientierte Lamellensortierung nach DIN 4074-1:2003 gefordert, wonach mindestens 90 % aller Lamellen der Sortierklasse S10 und maximal 10 % der Sortierklasse S7 zuzuordnen sind. Diese Vorgaben sind in der Realität jedoch nur schwer zu erfüllen, da die Sortierkriterien nach DIN 4074-1:2003 nur auf Bretter mit einer Dicke $6 \leq d \leq 40$ mm und einer Breite von ≥ 80 mm oder Bohlen mit einer Dicke > 40 mm anwendbar sind. Die Möglichkeit, Latten nach DIN 4074-1:2003 zu sortieren, beschränkt sich auf Dicken von ≤ 40 mm und Breiten von < 80 mm. Lamellen im Dickenbereich bis 40 mm und mit Breiten > 80 mm, üblicherweise senkrecht zur Lamellenbreitfläche beansprucht, sind daher nur sehr aufwendig nach dieser Norm sortierbar, da neben den Kriterien für Einzeläste gleichzeitig Anforderungen an Astansammlungen und Schmalflächenäste einzuhalten sind. Für Lamellen mit einer Breite kleiner als 40 mm (= Latten nach DIN 4047-1:2003) gibt es keine Anforderungen an eine S7-Qualität.

Eine Einstufung von Bohlen oder Kanthölzern in die Sortierklasse S7 bzw. S10 ist möglich, allerdings verändert der nachträgliche Einschnitt der benötigten Lamellen aus diesen gütesortierten Sortimenten das Sortierergebnis möglicherweise hin zu schlechteren

⁷ Die Gütekriterien zur Sortierung nach ÖNORM B 3022:1991 sind im Anhang unter Punkt 7.3 auszugsweise aufgeführt.

Güteklassen (Veränderung der Astflächenanteile). Aus diesem Grund wird ein nachträglicher Zuschnitt festigkeitssortierter Lamellen als nicht zulässig erachtet.

Tabelle 4 Übersicht über die derzeit für die maschinelle Sortierung nach DIN 4074-3:2003 zugelassenen Sortiermaschinen nach /Denzler, Diebold, Glos 2005/

grading machine	grading principle	products	timber source	species	surface & moisture	thickness & width	grade or grade combination	speed
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm]	[-]	[m/min]
EuroGreComat 704	Bending & X-ray radiation	glulam laminations planks for glued scaffold boards	Germany Austria	Spruce Fir	planed 7-15	18-55 80-280	C16 M, C24 M, C35 M, C40 M	80-120
GradeMaster 403	Vibration & weighing & optical scanner	glulam laminations planks for glued scaffold boards	Germany Austria	Spruce Fir	planed 8-15	38-60 80-220	C24 M, C35 M, C40 M	180 [or 25 pieces/min]
ESG 240	Bending	glulam laminations	Finland Norway Sweden	Spruce Fir	planed 10-15	38-42 90-200	C35 M, C40 M	80-200
GoldenEye 702 EuroGreComat 702	X-ray radiation	glulam laminations planks for glued scaffold boards	Germany Austria	Spruce Fir Pine	planed or sawn 7-15	30-55 80-280	C24 M, C35 M	80-300
		glulam laminations grading of virtual half boards	Germany Austria	Spruce Fir	planed or sawn 7-15	30-45 120-200 [cutted 60-100]	C24 M, C35 M	80-300
		joists & beams	Germany Austria	Spruce Fir	planed or sawn 10-18	35-120 80-240	C24 M C16 M, C24 M C16 M, C30 M C16 M, C35 M C24 M, C35 M	80-300
		joists & beams	Germany Austria	Pine	planed or sawn 10-18	50-100 100-200	C24 M	80-300
Goldeneye MS 80/1	X-ray radiation & laser scanner	glulam laminations planks for scaffold boards	Germany Austria	Spruce Fir	planed 8-15	20-80 80-300	C16 M, C24 M, C35 M	80-180
		joists & beams	Germany Austria	Spruce Fir	planed 8-15	38-80 80-225	C24 M	80-180
EuroGreComat 904	Bending & X-ray radiation	planks for scaffold boards	Germany Austria	Spruce Fir	planed or sawn green	40-50 240-280	C24 M	80
Goldeneye MS 80/2	X-ray radiation	glulam laminations planks for glued scaffold boards	Germany Austria	Spruce Fir	planed 8-15	20-60 80-300	C16 M, C24 M, C35 M, C40 M	30-300
		glulam laminations grading of virtual half boards	Germany Austria	Spruce Fir	planed 8-15	30-45 80-300 [cutted 60-120]	C24 M & C35 M	30-300
GoldenEye 706 EuroGreComat 706	X-ray radiation & vibration	glulam laminations planks for glued scaffold boards	Germany Austria	Spruce Fir	planed or sawn 7-15	30-45 90-270	C16 M, C24 M, C35 M, C40 M	300-600
VM Grader SG 1.0	Visual Grading	glulam laminations	Germany Austria	Spruce Fir	planed or sawn 8-15	20-52 100-240	C35M	80

Der Großteil der Massivholzplattenhersteller sortiert das Holz visuell mittels versiertem Fachpersonal oder auf optisch arbeitenden Fehlererkennungsanlagen (z.B. Wood Eye).

Hauptsortiermerkmale sind dabei die Holz- und Verarbeitungsqualität, wie Struktur, Äste, Risse, Verfärbungen, Harzgallen oder Markröhren.

Eine direkte Zuordnung der visuell ermittelten Sortierklassen zu Festigkeitsklassen aufgrund unterschiedlicher Holzarten ist lt. /Radovic 2003/ nicht möglich. Aus diesem Grund wird diese Art der Qualitätsüberwachung zunehmend von maschinellen Sortierverfahren abgelöst, bei denen das Holz mit Hilfe spezieller Durchstrahlungs-, Schwingungs- und/oder Biegeeinrichtungen bewertet wird /Glos, Schulz 1980/. Ein großer Vorteil maschineller Sortierverfahren besteht neben einer schnellen Bereitstellung von Sortierergebnissen (Sortierungen sind heute mit Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 300 m/min möglich /Anon. 2002/) in der deutlich höheren Ausbeute, da bei maschinellen Systemen Korrelationskoeffizienten der Sortierparameter mit der Biegefestigkeit von bis zu 0,8 ermittelt werden ⁸ /Glos, Schleifer 2002/.

Da in Europa vorwiegend Fichte zu Bauholzzwecken eingesetzt wird, sind die Sortierregeln und die Sortiermaschinen im allgemeinen auf diese Holzart zugeschnitten /Glos, Diebold, Schleifer 2000/. Neuere Untersuchungen haben jedoch bereits die Übertragung der für Nadelholz etablierten Sortierweisen auf Laubholz zum Inhalt /Ross, Brashaw, Pellerin 1998; Glos, Diebold, Schleifer 2000/.

Alle derzeit auf dem Markt befindlichen Systeme zur maschinellen Sortierung arbeiten defacto nach den gleichen Prinzipien: Über maschinell ermittelte Sortiergrößen werden ein oder mehrere Sortierparameter bestimmt, anhand deren dann die Festigkeit über multiple Regressionsalgorithmen (eingeteilt in verschiedene Festigkeitsklassen) abgeschätzt werden kann /Blaß, Görlacher 1996, zit. in Glos, Diebold, Schleifer 2000/. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Verfahren und Sortierparameter der derzeit angewandten maschinellen Sortierungen.

Als optimaler „Einzel“sortierparameter wird derzeit übereinstimmend der zerstörungsfrei bestimmte Biege-Elastizitätsmodul angegeben. Aufgrund von beträchtlichen technischen und maschinellen Fortschritten seit der Entwicklung der maschinellen Sortierung in den 40er Jahren in den USA, Australien bzw. in Großbritannien werden heutzutage jedoch üblicherweise optimierte Kombinationen von Sortierparametern ⁹ verwendet, die zu deutlich höheren Ausbeuten führen. So geben /Glos, Diebold, Schleifer 2000/ eine bessere Korrelation der Sortierparameter aus Schwingungs- und Biegeverfahren mit der Biegefestigkeit an, als dies mit Ultraschall- und Röntgenverfahren erzielt werden kann. Untersuchungen von /Stübi, Niemz 2002/ stellen die Kombination von Ultraschallverfahren, Schwingungsverfahren und Scanning in Aussicht.

Da in Deutschland (und auch in Österreich) die Anwendung maschineller Sortierverfahren eine Anerkennung der Verfahren nach DIN 4074-3:2003 erfordert (siehe Tabelle 4), haben zahlreiche Untersuchungen zur Etablierung von nunmehr 11 Maschinentypen für Vollholz geführt. Im Gegensatz zu den derzeit auf dem Markt befindlichen ausländischen Maschinen ermöglichen die Sortiermaschinen der Weinig AG (Tochterfirmen GreCon und Dimter) Sortierungen auch in höhere Sortierklassen /Glos, Diebold 1997/.

⁸ Bei *visuellen* Sortierungen werden von /Glos, Schleifer 2002/ im Gegensatz dazu maximal erreichbare Korrelationskoeffizienten von 0,68 angegeben – eine geringere Ausbeute hochwertigen Holzes ist Resultat dieser fehlerbehafteten Sortierungen.

⁹ Häufig werden Biege- und Röntgenverfahren miteinander kombiniert. /Glos, Schleifer 2002/ führten jedoch auch schon Röntgen- und Schwingungsverfahren erfolgreich zusammen.

Tabelle 5 Übersicht über Verfahren und Sortierparameter der derzeit angewandten maschinellen Festigkeitssortierungen nach /Glos, Diebold, Schleifer 2000; Glos Schleifer 2002/

Verfahren	Sortierung	Sortierparameter
Biegeverfahren	Gezielte Verformung des Holzes in einer Biegevorrichtung, Messung der Durchbiegungswerte und der Rückstellkräfte, Messung der Breite und Höhe, Berechnung des statischen Biege-E-Moduls; Schwachstellenerkennung aufgrund der kontinuierlichen Messung über der Brettlänge möglich ¹⁰	E_{stat}
Röntgenverfahren (Durchstrahlung)	Durchstrahlung der Holzquerschnitte mit weichen Röntgenstrahlen (x-rays), Messung der Strahlungsabsorption als Maß für die Ästigkeit und die Rohdichte, Schwachstellenerkennung (Durchstrahlung des gesamten Querschnitts) aufgrund der kontinuierlichen Messung über der Brettlänge ¹¹	Ästigkeit (Rohdichte)
Scanning	Optische Analyse der Oberflächenstruktur (i.allg. alle vier Brettseiten), Erfassung von Ästen, Verfärbungen, Rissen, Faserverläufen etc.; automatisierte visuelle Sortierung	Ästigkeit
Schwingungsverfahren	Mechanische Anregung von Longitudinalschwingungen im zu sortierenden Vollholzabschnitt, Messung der Schwingungszeit (ggf. der Schwingungsform), Messung der Rohdichte und der Abmessungen, Berechnung des dynamischen E-Moduls; Schwachstellenerkennung über der Länge nicht möglich, da Mittelwertmessung	E_{dyn}
Ultraschallverfahren	Einleitung von Ultraschallschwingungen in die zu sortierenden Vollholzabschnitte, Messung der Laufzeit, Berechnung der Ultraschallgeschwindigkeit; Schwachstellenerkennung über der Länge nicht möglich, da Mittelwertmessung; großer Einfluss der anatomischen Holzrichtungen auf die Ergebnisse	V_{us}

Der EuroGreComat 704¹² der Fa. GreCon ermittelt Ästigkeit, Rohdichte (im Durchstrahlungsverfahren mit Röntgen) und E-Modul (Biegeverformung). Die Vorkrümmung der Prüfkörpers wird gemessen, um Führungsrollen und die Kraft- und Durchbiegungsmessung anzupassen /Görlacher 1993/. Es erfolgt eine Berechnung der Biegefestigkeit und eine Einstufung in entsprechende Sortier- oder Güteklassen. Diese Angaben können sowohl Brettabschnittsweise als auch für das gesamte Brett gemacht werden.

Bei den Arbeiten, die zur Zulassung dieses Systems führten, wurden 1994 von *Glos* und *Diebold* über 800 Laborversuche zur Klärung des Einflusses der Stützweite, der Orientierung des Holzes, zum Einfluss der Verformung und der Auflagerbedingungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass eine freie Auflagerung einer Einspannung vorzuziehen ist, dass kurze Stützweiten zu schlechteren Korrelationen führten und dass sich Verformungen und Dickentoleranzen ungünstig auf die Bestimmung des Elastizitätsmoduls auswirkten.

¹⁰ Davon ausgenommen sind die Ein- und Auslauflängen (ca. 30 ... 40 cm) der zu sortierenden Vollholzabschnitte.

¹¹ *Schajer* untersuchte /2001/ die Nutzung ein- und mehrkanaliger Röntgenscanner zur Festigkeitssortierung und stellte, abweichend zu anderen Autoren (z.B. /Glos, Diebold, Schleifer 2000/), eine bessere Korrelation der Röntgen-Sortierparameter mit der Biegefestigkeit fest, als dies für Sortierparameter aus dem Biegeverfahren nachweisbar war. Zusätzlich dazu wurde die Nutzung des Verfahrens zur Abschätzung von Zug- und Druckfestigkeiten postuliert.

¹² Für diese Maschine hat mit dem EuroGreComat 904 eine Weiterentwicklung im Hinblick auf schnellere Vor-schubgeschwindigkeiten und ein größeres Spektrum sortierbarer Querschnitte stattgefunden /Anon. 2002/.

Das reine Röntgenverfahren wird vom EuroGreComaten 702 verwendet. Hier werden aus den Sortiergrößen Ästigkeit, Rohdichte und Dimension Abschätzungen zu Festigkeitsklassen getroffen.

Der Grade-Master 403 der Fa. Dimter erfasst Ästigkeit (vierseitiges Scannen) und Rohdichte (Wägung auf Kraftmessdosen, Bestimmung der Abmessungen durch Scannen). Die nach einer entsprechenden Anregung entstehenden Eigenschwingungen (Longitudinalschwingung) werden gemessen und der Elastizitätsmodul wird über Länge und Rohdichte berechnet /Glos, Diebold 1997/. In diesem System kann eine Vielzahl von Querschnitten untersucht werden, die Angaben zur Sortierklasse gelten jedoch nur für das gesamte Brett. Sortiermaschinen dieser 2. Generation werden derzeit in Betrieben eingesetzt, die BSH herstellen oder Lamellen für dessen Herstellung liefern.

Trotz des deutlichen Fortschritts auf dem Gebiet der maschinellen Sortierung werden derartige Sortierautomaten nach letzten Erkenntnissen nicht bei Massivholzplatten-Herstellern eingesetzt. Neben den hohen Anschaffungskosten, deren Amortisation sich wirtschaftlich nur schwer darstellen lässt, liegt der Hauptgrund vor allem in der minimal zu sortierenden Brettdicke von derzeit 25 mm, die in der Zulassung dieser Maschinen zur Sortierung nach DIN 4074-3:2003 vorgegeben ist.

Ein Ansatz maschineller Sortiermöglichkeiten im Bereich von Massivholzplatten-Lamellen würde sich durch den Einsatz durchstrahlend arbeitender Sortierautomaten ergeben. Allerdings ist der Nachweis der Korrelation zwischen Remissionswerten weicher Röntgenstrahlen mit Festigkeiten und Steifigkeiten erst noch zu erbringen.

Blaß /1998/ empfiehlt für Hersteller, bei denen eine visuelle Sortierung ohnehin erfolgt, die Kombination mit einer (reduzierten) maschinellen Sortierung. Da das Schwingungsverfahren, im Gegensatz zur Biegemethode, für alle Querschnitte geeignet ist, wird hier die Bestimmung des dynamischen E-Moduls bevorzugt.

Nichtsdestotrotz könnte die Anwendung maschineller Sortierverfahren die Herstellung von Massivholzplatten mit auf den Anwendungsbereich speziell zugeschnittenen Eigenschaften ermöglichen /Anon. 1995, Krug et al. 1999, Anon. 2000a/.

2.1.3 Verwendete Bindemittel

Der Qualität der Verklebung der Massivholzplatten ist insbesondere im Hinblick auf den späteren Einsatzzweck zwangsläufig eine wesentliche Bedeutung beizumessen. Wichtigste Kriterien für die erreichbare Verklebungsqualität sind neben technologischen Parametern wie Presszeit, -temperatur und -druck weiterhin Art und Auftragsmenge des gewählten Bindemittels sowie, als stoffliche Einflussgrößen, die Holzart und der Holzfeuchtegehalt.

Das eingesetzte Bindemittel beeinflusst einerseits durch seine spezifischen Material- und Abbindeigenschaften und andererseits durch die aufgebrachte Menge in Abhängigkeit von der zu klebenden Fläche signifikant das Maß der Feuchtebeständigkeit und die Höhe der Bindefestigkeit der Verklebung /Krug et al. 1999/.

Als Bindemittel für die industrielle Verklebung einlagiger Massivholzplatten im Möbel- und Innenausbau kommen Dispersionsklebstoffe auf der Basis von Polyvinylacetat (PVAc) zur Anwendung. Deren Vorteile sind neben der einfachen Verarbeitbarkeit vor allem eine gebrauchsfertige Anlieferung, eine formaldehydfreie Verklebung und die Eignung für eine Hochfrequenzverklebung. Hinsichtlich der klimatischen Beständigkeit müssen bei PVAc-Bindemitteln jedoch Abstriche gemacht werden, obwohl durch den Zusatz spezieller Komponenten härter auch relativ feuchtebeständige Verklebungen nach D3- bzw. D4-Verklebungen nach EN 204:2001 bzw. EN 205:2003 möglich sind.

Im Interesse einer besseren Handhabbarkeit fertigen Hersteller mehrlagiger Platten oftmals die Mittel- und Innenlagen unter Verwendung von PVAc-Dispersionen in D2-Qualität in Durchlaufverleimanlagen vor.

Eine bessere Klima- und damit auch Feuchtebeständigkeit wird mit heißaushärtenden Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harzen (MUF) und Phenol-Formaldehydharzen (PF) erreicht, die aufgrund ihrer Zusammensetzung eine verbesserte Hydrolysebeständigkeit aufweisen /Dunky 2000/.

MUF-Harze werden vor allem bei der Herstellung von mehrlagigen Massivholzplatten für konstruktive Zwecke eingesetzt, wobei ein exaktes Einhalten der Verarbeitungsvorschriften qualitätsgerechte Verklebungen sichert /Mohr 2000/. Für die Flächenverklebung von Massivholzplatten im Innenbereich ohne Feuchtebeanspruchung finden auch Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF) Verwendung. Hinsichtlich der Formaldehydemission halten aminoplastgebundene Massivholzplatten mit Ausgleichkonzentrationen im Prüfraum zwischen 0,018 ppm (dreilagige Massivholzplatten) bis 0,044 ppm (fünflagige Platten) die Anforderungen an eine Formaldehydemissionsklasse E1 sicher ein /Binder 1993; Tobisch, Hoferichter 1998/.

Wenig durchgesetzt hat sich, mit Ausnahme der Schweiz (hier sind PUR-Verklebungen von Massivholzplatten Stand der Technik), bis jetzt der Einsatz von polymeren Diisocyanat-Klebstoffen (PMDI), die zwar zu herausragenden Bindeeigenschaften führen, jedoch sehr preisintensiv sind und hohe Anforderungen an den Arbeitsschutz bei der Verarbeitung stellen. Nach letzten Informationen stellt die Fa. Collano ein einkomponentiges, monomeres Polyurethan-System her, das unter anderem bei zwei Firmen für die Kaltverklebung mehrlagiger Massivholzplatten mit vergleichsweise langen Presszeiten verwendet wird. Nach Firmenangaben sind die Auftragsmengen mit denen von MUF-Harz-Systemen vergleichbar. Durch eine spezielle Applikationstechnik (Gießen mit geringem Druck) werden lt. Angaben des Bindemittelherstellers arbeitsschutztechnische Risiken minimiert.

Nach /Halász, Scheer 1986/ ist der Einsatz von Zusatzstoffen, wie z.B. von Holzschutzmitteln, in Bezug auf die Bindefestigkeit der Verklebung nicht zu unterschätzen. Umfangreiche Untersuchungen auf diesem Gebiet ergaben empfindliche Festigkeitsverluste von mehr als 10 %, deren Ursache beim Einsatz von Melaminharzleimen in den langen Tränkzeiten des Holzes mit Holzschutzmitteln auf Basis wasserlöslicher Salze liegen.

Untersuchungen zum Einsatz von wässrig und alkoholisch basierten Siliciumdioxid-Solen zur Vergütung von Seitenware für den Einsatz in dreilagigen Massivholzplatten zeigten ebenfalls, dass es durch die Veränderung der Oberflächeneigenschaften der Lamellen zu Fehlverklebungen kam /Tobisch 2000/.

Der Bindemittelauftrag auf die Lamellenflächen erfolgt bei industrieller Plattenherstellung in Durchlaufanlagen mit Düsensystemen, Auftragsrollen oder im Gussprinzip /Erb, Brückner 1999/. Ein Großteil der Hersteller mehrlagiger Platten sorgt während des Beileimprozesses dafür, dass neben den Breitflächen auch eine definierte Benetzung der Schmalflächen erfolgt. Einige Hersteller verzichten auf die Benetzung der Schmalflächen, weil sie davon ausgehen, dass durch den vertikalen Pressdruck auf die Lamellenschmalseiten (vgl. auch Abbildung 4) und die Menge des aufgetragenen Bindemittels ein Aufsteigen des Bindemittels in der Lamellenfuge und damit eine Verklebung der Fugen erreicht wird /Anon. 1998b/. Bei der Fertigung von Kleinserien im Labor erfolgt der Bindemittelauftrag mit Spachteln oder Handauftragswalzen.

Bei der Plattenherstellung können die Lamellen in Längsrichtung durchgehend, stumpf gestoßen oder keilgezinkt verklebt angeordnet werden. Während insbesondere bei mehrlagigen Nadelholzplatten die Decklagen überwiegend mit durchgehenden Lamellen gefertigt werden, hat sich bei Laubholzplatten wegen der hohen Holzkosten sowie der differenzierten Holzqualität und -verfügbarkeit die Technik der Keilzinkung (sowohl flach als auch hochkant) und Verklebung einzelner Lamellen in Längsrichtung durchgesetzt.

2.1.4 Verpressung

Die üblicherweise verwendeten PVAc- oder MUF-Bindemittel enthalten bis zu 40 % Wasser als Lösungsmittel, das bei der Beleimung und Verklebung zu einem Großteil vom Holz aufgenommen wird. Die damit verbundene Volumenveränderung im Bereich der Leimfugen wird durch den bei der Verpressung aufgetragenen Pressdruck ausgeglichen /Anon. 1998d/.

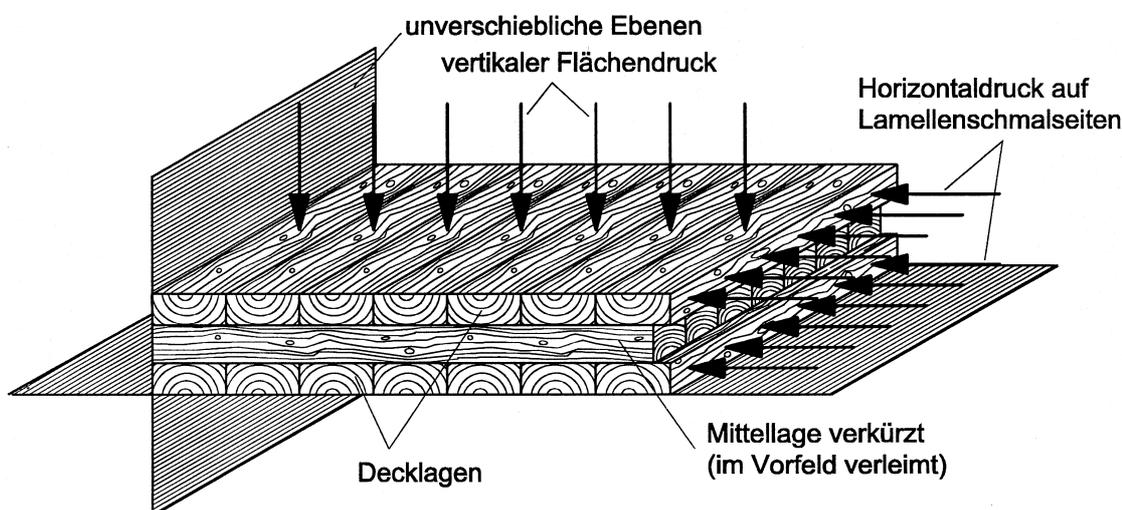


Abbildung 4 Pressprinzip beim Herstellen mehrlagiger Massivholzplatten /Zarbock 2000/

Bezüglich des Pressens muss zwischen ein- und mehrlagiger Plattenfertigung unterschieden werden. Die Herstellung einlagiger Platten erfolgt in der Regel diskontinuierlich in Einetagenpressen oder kontinuierlich in beheizten Durchlaufverleimanlagen. Analog zur einlagigen Plattenherstellung werden die Mittellagen mehrlagiger Massivholzplatten zumeist in Durchlaufverleimanlagen vorgefertigt. Vor der Verpressung werden die i.allg. über Sprühbeleimung schmalflächenbeleimten unteren Decklagenlamellen vorgelegt, wobei darauf geachtet wird, dass die kernzugewandte (rechte) Seite des Holzes nach außen zeigt. Im Anschluss daran wird die flächenbeleimte Mittellage aufgelegt, die dann mit der oberen Lamellendecklage abgedeckt wird. Beide Decklagen liegen dabei grundsätzlich fugengleich.

Neben dieser von /Dunky, Niemz 2002/ auch als „Durchlaufverfahren“ bezeichneten Technologie existiert ein weiteres Verfahren zur Lagenvorfertigung, das sich stark an die Fertigung von Tischlerplatten anlehnt: Beim „Blockverfahren“ werden zunächst Bretter (parallel besäumt mit möglichst liegenden Jahrringen) in Blockpressen verklebt. Anschließend werden die Blöcke parallel zur Pressrichtung mit Bandsägen oder Dünnschnittgattern aufgetrennt. Die Brettdicke entspricht damit der Breite der Lamellen (besser: der Stäbe). Nach der Kalibrierung werden die Lagen gesperrt angeordnet in Eta-

genpressen zu Platten verpresst, formatiert, geschliffen und konditioniert. Bei der Verwendung von Seitenware erhält man lt. /Dunky, Niemz 2002/ durch die i. allg. stehenden Jahrringe in den Lagen und die sehr schmalen Lamellen (2 – 3 cm) Massivholzplatten mit einer erhöhten Formstabilität.

Das Verpressen der mehrlagigen Massivholzplatten erfolgt taktweise in beheizten Ein- oder Mehretagenpressen bei Temperaturen von 100 °C (Laubholzplatten) bis 150 °C (Nadelholzplatten) /Krug 2002/. *Mohr* weist /2000/ zusätzlich darauf hin, dass die Wahl der Presstemperatur gleichfalls abhängig von der Plattendicke bzw. der Dicke der Mittellage ist: Bei geringen Mittellagedicken sollte die Presstemperatur nicht über 110 °C liegen, da der entstehende Wasserdampf dort nur geringfügig absorbiert wird und es somit zu Fehlverklebungen und zum Plattenverzug kommen kann. Unterschiedliche Temperaturen der oberen bzw. unteren Heizplatte (≥ 5 K) führen üblicherweise zum Verwerfen der Platten.

Herkömmliche Massivholzplattenpressen verfügen, im Gegensatz zu anderen Ein- und Mehretagenpressen, über zusätzliche Seitendruckaggregate, die eine Verdichtung auch in Plattenebene ermöglichen. Nach dem Schließen der Presse auf einen spezifischen Kontaktdruck von ca. 3 bar (entspricht 0,3 MPa) wird ein maximaler spezifischer Seitendruck von bis zu 14 bar (= 1,4 MPa) zur Verdichtung der Decklagenlamellen aufgebracht. Erst danach schließt die Presse mit einem maximalen spezifischen Flächen- druck von 15 bar (Nadelholz) bis zu 30 bar (Laubholz) (siehe Abbildung 4).

Neue Technologien, wie z.B. das Hochfrequenzpressen, arbeiten nach dem Prinzip der Bindemittel-Vorerwärmung. Dabei wird der Klebstoff durch den Einsatz von Hochfrequenztechnik aufgrund seines im Vergleich zum Holz höheren Wassergehalts gezielt erwärmt. Dadurch vergrößert sich kurzzeitig sein Volumen, wodurch ein tiefes Eindringen in die Holzporen und eine Bindemittelaushärtung von innen nach außen möglich wird. Folglich kann in wesentlich kürzerer Zeit und mit höheren Drücken als bei der herkömmlichen Bauteildurchwärmung mittels Heißpressen verklebt werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass mit Beendigung des Pressvorganges das Bindemittel vollständig ausgehärtet ist. *Torwegge* stellte 2000 eine derartige Anlage zur Verklebung einlagiger Platten vor /Anon. 1999, 2000b/.

Im Unterschied dazu wird bei Kaltverklebungen und Verklebungen über Kontaktwärme die Endaushärtung erst nach einer bestimmten Lagerungsdauer erreicht /Anon. 1998d/.

Nach der Verpressung werden die Platten abgekühlt und besäumt. In Abhängigkeit vom vorgesehenen Einsatz kann dann eine Oberflächenbehandlung erfolgen. Diese nach visuellen Gesichtspunkten vorgenommene Veränderung der Oberfläche beinhaltet vor allem die i. allg. manuelle Entfernung und Ausflickung von Ästen und kleinen Rissen. Es sind auch maschinelle Systeme bekannt, die diese Arbeit übernehmen /Interholz 1992/. Sie haben sich großtechnisch allerdings noch nicht durchsetzen können.

Nach dem anschließenden Kalibrierschliff werden die Platten zur Konditionierung im Stapel gelagert.

Interessante Entwicklungen sind bei den Herstellungsformaten von Massivholzplatten zu beobachten. Waren in den letzten Jahren bei herkömmlichen Massivholzplatten die maximalen Plattenformate auf etwa 5 m Länge x 2 m Breite x 0,1 m Dicke beschränkt, so wurden aufgrund von Nachfragen nach großformatigeren Platten für den Einsatz im Ingenieurholzbau Sonderverfahren zur Herstellung von Großformatplatten mit Grenzabmessungen von ca. 12 ... 16 m x 3 m bei Dicken von bis zu 0,6 m und spezifischen Gewichten von bis zu 11 t entwickelt /Grünholz 1999/. Zwei deutsche Hersteller (Dold und Pröbstl) haben in jüngerer Zeit gezielt auf 6 m Plattenlänge erweitert, wobei prakti-

sche Erfahrungen zeigen, dass das dafür notwendige Langholz schwierig zu beziehen ist. Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass derartige Großformatplatten nicht mehr zu den „Mehrschichtplatten“ (Bezeichnung des Deutschen Instituts für Bautechnik Berlin - DIBt- im Rahmen des Nachweises der Verwendbarkeit bei nicht geregelten Bauprodukt) zählen, sondern bereits als „Leimholz“ eingestuft werden /Anon. 1999f/.

Die Firma Merk in Aichach entwickelte ein mittlerweile patentiertes Verfahren zur Herstellung mehrlagiger, kreuzverleimter Vollholzlamellen im Vakuumpressverfahren. Das bauaufsichtlich zugelassene, fünf- bis siebenlagige „Merk-Dickholz“ wird mit Phenol-Resorcin-Harzen verklebt und in Abmessungen von 14,8 m x 4,8 m mit Dicken von 11,5 bis 50 cm hergestellt. Derartige Platten werden als Gesamt-Wand-Konstruktionen vorgefertigt. Für das jeweilige Bauvorhaben werden aus den Wand- und Deckenelementen vor der Auslieferung auf der Baustelle die notwendigen Öffnungen CNC-gesteuert herausgeschnitten /Eschenlohr 1999/.

Eine weitere bauaufsichtlich zugelassene Großformatplatte wird von der Firma KLH Massivholz hergestellt. Beim sog. Kreuzlagenholz handelt es sich um drei- bis siebenlagige Massivholzplatten aus Seitenware der Fichte mit einer Dicke von bis zu 0,5 m bei Abmessungen von 16,5 m x 3 m. Die Platten werden mit PUR-Klebstoff bei einem spezifischen Pressdruck von 0,6 MPa kalt verklebt /KLH 2003/

Mittlerweile ist es gleichfalls möglich, dreilagige Massivholzplatten mittels Keilzinkung bis zu einer Länge von 35 m herzustellen. Durch Ergänzungen in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ist eine konstruktive Verwendung derartiger Platten zulässig /Anon. 1997b/.

2.2 Einsatzgebiete und wirtschaftliche Betrachtungen

2.2.1 Einsatzgebiete

Massivholzplatten ermöglichen in Abhängigkeit von Holzart, Holzqualität, Plattenaufbau, Format und Plattenqualität vielfältige Anwendungsgebiete im Möbelbau, Innenausbau und Bauwesen /Deppe 1996; Herrmann 1996; Kehr 1998; Anon. 1997a; Anon. 1998b; Anon. 1999a; Anon 1999b; Krug 2000/.

Haupteinsatzgebiet ein- und mehrlagiger Massivholzplatten aus Laubholz ist die Möbelherstellung. Dabei bestimmen insbesondere helle Holzarten (Buche, Ahorn, Birke, Kirsche, Erle) das Einsatzspektrum. Möbelproduzenten setzen bevorzugt A-A/B-Qualitäten für Fronten und A/C-Qualitäten für Tischplatten ein, wobei das Angebot hochwertiger Hölzer (z.B. bei Ahorn, Birke und Kirsche) beschränkt ist. Neuere Überlegungen gehen hin zur Verwendung besser verfügbarer Holzarten. Beispielsweise eignen sich Platten aus Pappelholz durchaus für einen Einsatz im Korpusbereich von Massivholzmöbeln. Weitere Anwendungsbereiche sind der hochwertige Innenausbau sowie der Einsatz als Fußbodendielen, Treppenelemente bzw. großformatige Verlegeplatten. Eine interessante Anwendung bieten gebogene dreilagige Massivholzplatten aus Laubholz mit einem Mindestradius von 800 mm /Anon. 1999d/ bzw. mit Acrylglas oder Metall kombinierte Werkstoffe /Anon. 1999e/.

Die Qualitätskriterien für Laubholzlamellen sind derzeit in DIN EN 13017-2:2000 geregelt. Trotzdem werden von seiten der Hersteller oftmals eigene Qualitätsrichtlinien angewandt. Die dadurch bedingte Vielzahl der unterschiedlichen Qualitätsbeschreibungen sorgen für Unsicherheiten bei den Abnehmern und erschweren einen Produktvergleich /Anon. 1998a/. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die einzusetzenden Laubholzlamellen frei von losen Ästen, Rissen und Drehwuchs sein müssen und vor der Verklebung eine einheitliche Feuchte im Bereich von 5 ... 7 % aufzuweisen haben. Zur Verminderung eventuell auftretender Verwerfungen oder Niveauunterschiede in den Platten werden die Lamellen bei Längsverbinding keilgezinkt – einige Hersteller sind mittlerweile auch dazu übergegangen, die Querverbindung der Lamellen über Verzinkung zu realisieren.

Bei den Nadelholzplatten liegen die Absatzschwerpunkte im Möbelbau, bei Naturböden und im konstruktiven Bereich. Im Möbelbereich dominiert die Verwendung einlagiger Platten aus Fichte, Kiefer und Lärche. Das breit gestreute qualitative Einsatzspektrum reicht vom hochwertigen Massivholzmöbel bis hin zum SB-Möbelsortiment. Mehrlagige Platten finden überwiegend im konstruktiven Bereich Anwendung, z.B. als Boden- und Deckenelemente sowie als Verkleidungen und Verschalungen im Außenbereich. Nach aktuellen Informationen hat der Anteil von dreilagigen Platten aus Nadelholz zwischenzeitlich einen Anteil an der Massivholzplatten-Gesamtproduktion von über 40 % erreicht /Anon. 1999a/. Dabei ist von einer weiter steigenden Tendenz auszugehen. Ein neuer Markt sind gleichfalls umlaufend genutete und gefederte Landhausdielen bzw. Türblätter und Türfüllungen /Närdemann 1999/.

Die Sortierung der Lamellen lehnt sich größtenteils noch immer an ÖNORM 3022:1991 an (vgl. auszugsweise Tabelle 6, eine vollständige Darstellung findet sich in Anhang 7.3).

Tabelle 6 Sortierbestimmungen für die Decklagen aus Fichte, Kiefer, Lärche nach ÖNORM B 3022:1991 (Auszug)

Sortiermerkmal	Güteklasse		
	A	B	C
Struktur, Faserverlauf	feinjährig, geradfasrig	grobjährig, leichter Drehwuchs zulässig	keine besonderen Ansprüche
Ästigkeit	gesunde festverwachsene Äste, Fichte 30 mm Kiefer 50 mm Lärche 50 mm	gesunde festverwachsene Äste und vereinzelt schwarze Äste zulässig	keine besonderen Ansprüche
Harzgallen	vereinzelt bis max. 2 mm x 30 mm zulässig	zulässig bis 5 mm x 50 mm	keine besonderen Ansprüche
Rindeneinschlüsse	unzulässig	vereinzelt zulässig	keine besonderen Ansprüche
Kernröhrenanteil	praktisch keiner	zulässig	keine besonderen Ansprüche

Mehrlagige Platten werden daher, je nach vorgesehenem Einsatzbereich, hinsichtlich der Holzqualitäten asymmetrisch aufgebaut: Platten, die optischen Ansprüchen genügen müssen, weisen i. allg. eine A- und eine B- bzw. B/C-Seite auf /Wiesner 1991/. Die visuelle Sortierung nach DIN 4074-1:2003 nach der Festigkeit wird nur für konstruktive Platten, nicht jedoch für Möbel- und Innenausbau verlangt. Die damit verbundenen Probleme wurden in Kapitel 2.1 ausführlich beschrieben.

Einige Hersteller setzen dreilagige Massivholzplatten aus Nadelholz auch als Stege für Doppel-T-Träger ein /Pfeifer s.d./, wobei die Wirtschaftlichkeit eines solchen Einsatzes aus Sicht des Verfassers der vorliegenden Arbeit in Frage zu stellen ist, da sich derartige Systeme unter Verwendung von OSB-Stegen durchaus bewährt haben.

Eine beachtliche Menge dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz wird im Bereich der Schalungsplatten abgesetzt, wobei auch in diesem Marktsegment die derzeit eher rezessive Situation der Baubranche deutlich zu spüren ist. Schaltafeln werden in den Standarddicken 21 und 27 mm mit 7 bzw. 9 mm dicken Lamellen angeboten. Zum Schutz vor eindringender Feuchte sind sie grundsätzlich mit einer Kanten- und Oberflächenversiegelung versehen. Durch die Bindung der Preise an die Baukonjunktur und die Rohholzpreise gehen vorsichtige Schätzungen von Verkaufspreisen für Schalungstafeln mit Kantenschutz von 455 €/m³ bei 21 mm Plattendicken bzw. 430 €/m³ bei 27 mm Plattendicke aus /Euwid 2003-27/. Konkrete Produktionszahlen für die angeführten Sortimente sind derzeit nicht zu erhalten.

Durch den Imagegewinn des konstruktiven Holzbaus, ein ungebrochenes Wachstum und eine gute Konjunktur im Fertig- und Holzhausbau sowie die zunehmende Verwendung im Holzständer- und Holzrahmenbau hat sich insbesondere die Nachfrage nach Massivholzplatten aus Nadelholz für einen Einsatz im Bauwesen erhöht (z.B. für Holzhäuser in Tafelbauart, Fertigbau). Im Ergebnis beziffern verschiedene Hersteller Absatzsteigerungen von bis 30 % für diesen Bereich /Anon. 1998a; Krug 2000/.

Mehrlagige Massivholzplatten aus Nadelholz mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik Berlin dürfen gemäß Zulassungsbestimmungen für alle Ausführungen eingesetzt werden, bei denen der Einsatz von Bau-furniersperrholz (BFU) nach DIN 1052-1 bis -3:1988 (einschließlich der jeweiligen Änderungsblätter A1) erlaubt ist, insbesondere auch als mittragende und aussteifende Beplankung für die Herstellung von Holztafeln (Wand, Decke, Dach) für Holzhäuser in Tafelbauart entsprechend DIN 1052-3:1988. Ihr Einsatz ist nicht zulässig für die Verstärkung von Durchbrüchen und Ausklinkungen nach DIN 1052-1:1988. Feuchtebeständig verklebte Massivholzplatten dürfen in allen Ausführungen angewendet werden, wo die

Verwendung von Platten der Holzwerkstoffklassen 20, 100 und 100 G nach DIN 68 800-2:1996 „Holzschutz, vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau“ erlaubt ist.

Einige Literaturstellen berichten weiterhin von einem zunehmendem Einsatz dreilagiger Massivholzplatten aus Lärche, Douglasie oder Kiefern-Kernholz im Fassadenbereich. In /Anon. 1999b/ wird ein Überblick über die Hersteller derartiger Systeme gegeben. Mehr-lagigen Massivholzplatten werden dabei, im Vergleich mit Fassadensperrholz, Furnier-schichtholz und zementgebundenen Spanplatten, gute Einsatzmöglichkeiten beschei-nigt. Voraussetzung ist dabei jedoch die Wahl der o.g. resistenten Holzarten /Anon. 1999c/. Durch den im Vergleich zu herkömmlichen Holzwerkstoffen geringeren Kunst-harzanteil und der fehlenden Möglichkeit, bei der Plattenherstellung Hydrophobie-rungsmittel zu verwenden, sind die Längenänderungen in Plattenebene in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchtigkeit bei der Auslegung der Fugen in Betracht zu ziehen. Bei horizontalen Fugen werden daher Überlappungen und schräge Schnitte empfohlen, bei vertikalen Fugen bietet sich die Hinterlegung mit imprägnierten Furnier-streifen, die Nassverfugung mit Dichtstoff oder die Abdeckung mit Holzleisten an /Anon. 1999c/.

2.2.2 Produktionsvolumen

Einen europaweiten Vergleich des Produktionsvolumens von Massivholzplatten zu an-deren plattenförmigen Holzwerkstoffen zeigt Abbildung 5 /Anon. 1998a; Anon. 1998c; Anon. 1999a /.

Erwartungsgemäß stellen Spanplatten mit 34,3 Mio m³ mengenmäßig mit Abstand den größten Anteil. Vor dem Hintergrund aktueller Kapazitätserweiterungen ist auch die Entwicklung bei OSB, die erstmals 1997 in Europa hergestellt wurden, beachtlich: Seit 1998 hat sich die Menge der hergestellten Platten von 0,8 auf 2,8 Mio m³ nahezu ver-dreifacht. Enorme Zuwachsraten wurden auch bei MDF mit einer Steigerung von 1998 zu 2004 um 60 % auf 11,9 Mio m³ erreicht.

Der traditionsreiche Werkstoff Sperrholz zeigte im Vergleich dazu in den letzten Jahren eher verhaltene Zuwachsraten. So stieg die europäische Produktion von 3,2 Mio m³ im Jahr 1999 um insgesamt 18 % auf 3,8 Mio m³ im Jahr 2004. Der mit Abstand größte Produzent war dabei Finnland mit einer Jahresproduktion von 1,35 Mio m³ /FEIC 2005/.

Im Vergleich zu diesen Zahlen nehmen sich die 1998 etwa 900.000 m³ produzierten ein- und mehrlagigen Massivholzplatten eher bescheiden aus. Es ist jedoch darauf hin-zuweisen, dass es sich hier, aufgrund fehlender erhobener Produktionsziffern nur um die Produktionsmenge in Deutschland, Österreich und der Schweiz handelt. Bemer-kenswert ist aber in jedem Falle, dass sich damit das Produktionsvolumen dieses Holz-werkstoffes seit 1993 verdoppelt hat /Anon. 1998c/. Seit 2000 wird jedoch von einer Stagnation der Produktionsmengen bei geschätzten 1 Mio. m³ Massivholzplatten aus-gegangen /Anon. 1998a/.

Anderslautende Zahlen der „Initiative Massivholzplatten“ gehen von einer Erhöhung der Produktion auf ca. 11 Mio m² (entspricht ca. 2 bis 2,5 Mio m³) aus /Amschl 2003/; dafür konnten jedoch keine Belege gefunden werden.

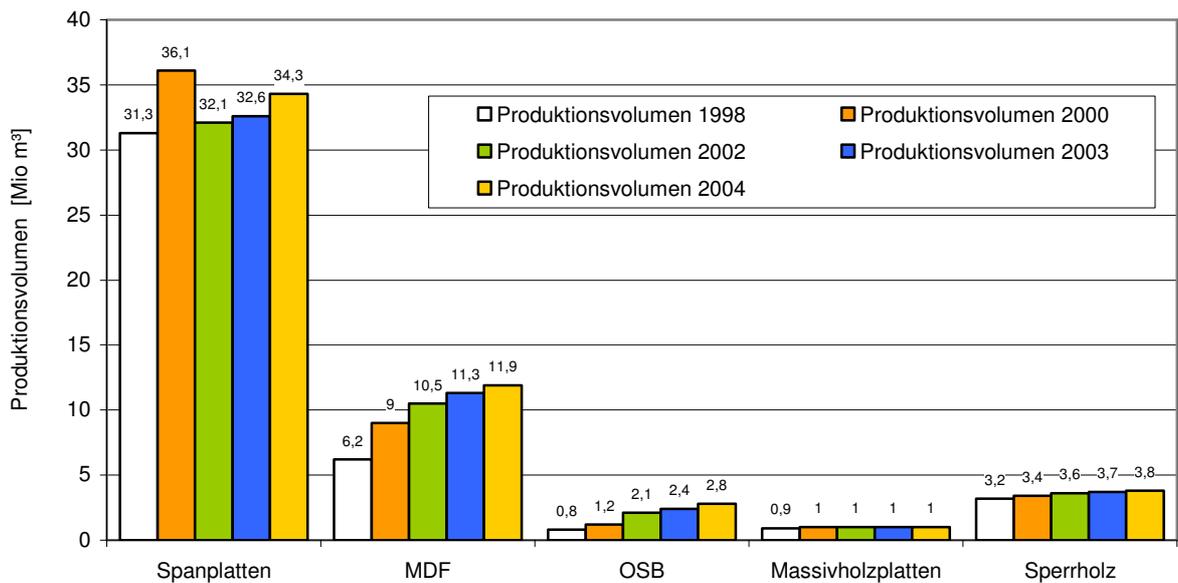


Abbildung 5 Produktionsvolumen verschiedener Holzwerkstoffe in Europa in den Jahren 1998 bis 2004 /EPF 2002, EPF 2003; EPF 2005; FEIC 2005; Anon. 1998a; Amschl 2003/

Ca. 60 % aller Holzwerkstoffe werden in der Möbelindustrie und 40 % im Baubereich eingesetzt. Die gegenwärtig in diesen Bereichen zunehmend rezessiven Tendenzen führten in der Vergangenheit zu einer deutlichen Senkung der Abnahmepreise, wodurch die wirtschaftliche bzw. gewinnbringende Herstellung der Materialien eingeschränkt und in einigen Bereichen zum Teil sogar unmöglich war. Auch in der Holzversorgung ist in letzter Zeit ein Aufwärtstrend der Preise zu beobachten. Sowohl beim Waldindustrieholz und beim Sägeresth Holz als auch beim Recyclingholz kam es zu einem Preisanstieg /Euwid 2003-7/. Eine mögliche Veränderung der Stoffströme und damit eine Beeinflussung der Rohstoffversorgung sahen die Holzwerkstoffproduzenten mit Besorgnis, da sie mit neu errichteten Zellstoff-Kapazitäten (z.B. Zellstoffwerk Stendal-Arneburg) und mit der zunehmenden Energiegewinnung aus Holz zu konkurrieren haben /Leukens 2003/.

In Bezug auf die Rohstoffknappheit wirkte sich dann aber die verstärkte Nachfrage nach „weißen“ Hackschnitzeln durch die Zellstoff- und Papierindustrie weniger aus als die derzeit in Deutschland und Europa vorherrschenden Waldeigentumsverhältnisse, die eine umfassende Nutzung der jährlich heranwachsenden Holzvorräte schwierig machen. Nach /European Wood Factsheets 2005/ befinden sich derzeit ca. 70 % der Wälder im Privatbesitz und nur 65 % der Waldfläche wird bewirtschaftet. Deutschland stellt sich 2005 mit Holzvorräten von 3,4 Mrd m³ als das walddreichste Land Europas mit den höchsten Holzvorräten dar. Es muss jedoch eingeschätzt werden, dass auch hier aufgrund der kleinstrukturierten und zersplitterten Besitzverhältnisse im Bereich des Privatwaldes große Teile der Holzvorräte (46,7 %) nur schwer einer intensiven Nutzung zugeführt werden können /Bundeswaldinventur II 2005, Charta für Holz 2004/.

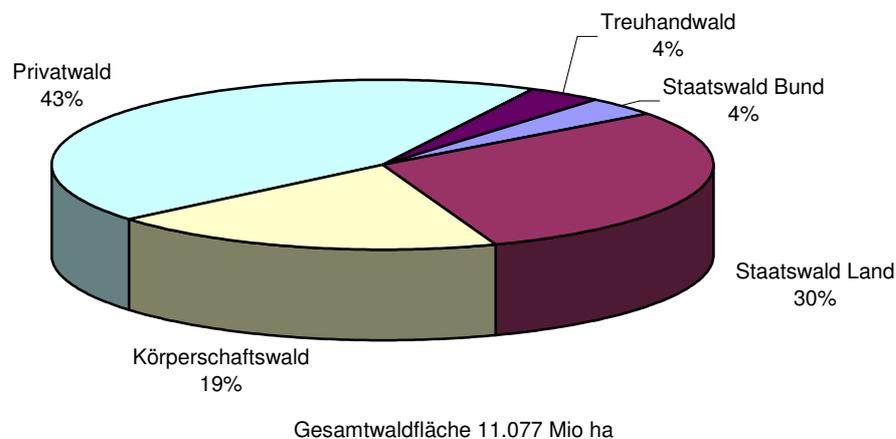


Abbildung 6 Eigentumsanteile am Deutschen Wald nach /Bundeswaldinventur II 2005/

Hinzu kamen zum Teil beträchtliche Erhöhungen der Rohölpreise und die damit verbundenen Preissteigerungen für Bindemittel. Eine weitere Minderung der Margen für Holzwerkstoffe war die Folge. Aufgrund kurzfristig geschlossener Verträge zeigten sich die Bindemittelhersteller nur eingeschränkt bereit, Preissenkungen für ihre Produkte zu akzeptieren – einige Hersteller gehen sogar von Produktionsabstellungen aus, um die Preise stabil zu halten /Euwid 2001-41/. Insolvenzbedingte Zahlungsausfälle und die Verlängerung der Zahlungsziele führen zu einer zusätzlichen Belastung der Produzenten.

Die Situation auf dem Holzwerkstoffmarkt wird zusätzlich durch die bestehenden Überkapazitäten beeinträchtigt. Gerade im Spanplattenbereich zeichnet sich, auch nach der Stilllegung von 5 europäischen Produktionsstandorten, keine Entspannung ab, vielmehr ist aufgrund der anhaltenden Substitution von Spanplatten durch OSB und MDF in bestimmten Einsatzgebieten eher noch von einer Verschärfung der Situation auszugehen /Euwid 2003-7/.

Auch die European Panel Federation (EPF) geht in ihrem Jahresbericht 2002-2003 von einer weiteren Verschiebung der Marktbelegung in das Jahr 2004 aus, wobei die Einschätzungen für die verschiedenen Holzwerkstoff-Typen unterschiedlich ausfallen. Sowohl die Produktion als auch der Verbrauch von Spanplatten haben weiter nachgegeben. Im Gegensatz dazu haben sich die Märkte für OSB und MDF besser entwickelt, wenn auch die Steigerungsraten für MDF deutlich unter denen der vergangenen Jahre liegen. Die EPF geht davon aus, dass die Anteile von MDF und OSB zu Ungunsten anderer Holzwerkstoff-Typen steigen werden /Euwid 2003-27/.

Vorsichtige Schätzungen der regelmäßig im Europäischen Wirtschaftsdienst veröffentlichten Abgabepreise pro m³ gehen derzeit von 75 bis 150 € bei Rohspanplatten, 195 bis 210 € bei OSB, 170 bis 180 € bei MDF, 220 bis 225 € bei HDF, ca. 220 € bei diffusionsoffenen Faserplatten und 1000 € für Furnierschichtholz (FSH) aus /Tobisch, Krug 2002a, Euwid 2003-27, Euwid 2003-28/.

Ausgewählte Segmente im Baubereich (z.B. tragende und aussteifende Beplankung von plattenförmigen Elementen, Schaltafeln) bzw. im dekorativen Innenausbau wurden in letzter Zeit auch vom bisher wenig beachteten Werkstoff „Massivholzplatte“ besetzt. Der Wille der Massivholzplattenhersteller, weitere bisher nicht oder nur wenig bediente Marktsegmente zu erschließen, wird durch die zunehmende Anzahl von bauaufsichtlich zugelassenen – und damit berechenbaren - Massivholzplatten unterstrichen. Einsatzhemmend wirkte sich bisher der jedoch vergleichsweise hohe Preis solcher Platten aus. So liegen die Preise für nicht zugelassene dreilagige Massivholzplatten aus Nadelholz heute, abhängig von der Plattendicke und der Holzart und -qualität, zwischen 380 und 580 €/m³; zugelassene Platten werden zwischen 420 bis 630 €/m³ gehandelt. Entsprechende Schaltafeln liegen in ihrem Preis gegenwärtig zwischen 430 bis 455 €/m³ /Euwid 2003-25, Euwid 2003-27/. Laubholzplatten, die in der Regel einlagig aufgebaut sind und im hochwertigen Möbelbau eingesetzt werden, sind deutlich preisintensiver.

Um die Akzeptanz und damit verbunden den Einsatz mehrlagiger Massivholzplatten weiter zu erhöhen, gründeten namhafte Hersteller aus Deutschland, Österreich und Italien 2003 die „Initiative Massivholzplatten“. Hauptziel dieser Initiative ist die Sensibilisierung der Verbraucher für die Produktvorteile sowie eine umfassende Information von Architekten und ausschreibenden Stellen /Anon. 2003a, 2003b; Euwid 2003-11/.

2.3 Bisherige Forschungsarbeiten zu Massivholzplatten

Zu Beginn sei darauf hingewiesen, dass die Arbeiten von /Krug et al. 1999; Tobisch, Krug 1999; Tobisch, Krug 2001; Tobisch, Krug 2002b/ an dieser Stelle nicht ausgewertet werden, da sie explizit Gegenstand der Darstellung der eigenen Arbeiten des Verfassers unter nachfolgendem Punkt 3 sind.

Durch den richtungsabhängigen Aufbau der Massivholzplatten erfolgt im weiteren eine Unterscheidung der Eigenschaften in Haupt- und Nebenachse. Unter Hauptachse sind dabei Eigenschaften bei paralleler (||) Decklagenfaserrichtung, unter Nebenachse bei rechtwinkliger (⊥) Decklagenfaserrichtung zu verstehen (Abbildung 7).

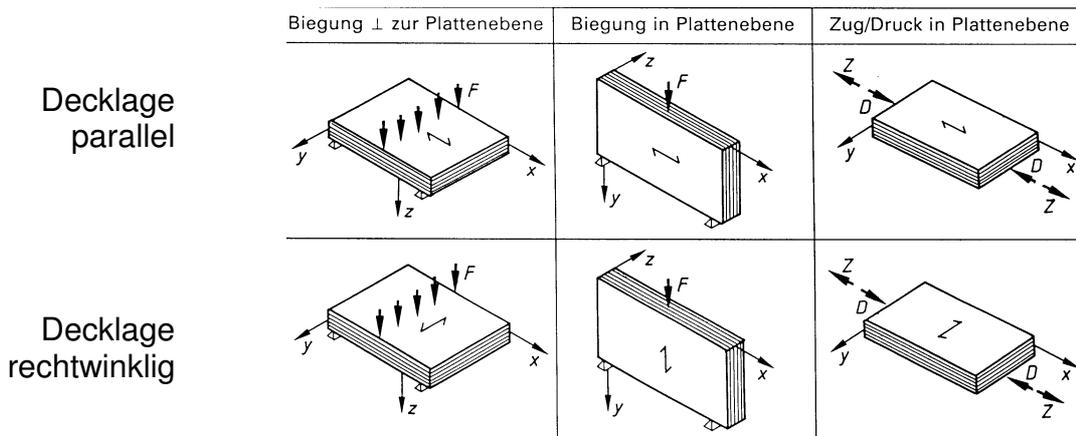


Abbildung 7 Darstellung der unterschiedlichen Beanspruchungsarten orientierter Holzwerkstoffe bei paralleler bzw. rechtwinkliger Orientierung der Decklage nach /Neuhaus 1994/

Im Vergleich zu Forschungsaktivitäten im Bereich span- oder faserbasierter Holzwerkstoffe ist die Anzahl der für Massivholzplatten auswertbaren Literaturstellen überschaubar. Nahezu alle vorliegenden Arbeiten haben dreilagige Massivholzplatten aus Nadelholz zum Inhalt. Aus diesem Grund postuliert *Niemz* in seinen Ausführungen, dass sowohl Fragen der Eigenschaften als auch der technologischen Optimierung für mehrlagige Massivholzplatten zu untersuchen sind /Niemz 1999/.

2.3.1 Formstabilität

Einige Arbeiten hatten die Untersuchung der Formstabilität drei und fünflagiger Massivholzplatten zum Inhalt. Unter dem im neueren Sprachgebrauch eingeführten Begriff "Formstabilität" (früher: „Stehvermögen“) wird die Fähigkeit eines Körpers verstanden, die ihm innewohnende und vorgegebene Flächenform unter verschiedenen klimatischen Bedingungen, jedoch ohne äußere Belastung, beizubehalten bzw. nur wenig und reversibel zu verändern /Jensen, Krug 1999/.

Die Kenntnis über das Formänderungsverhalten von plattenförmigen Holzwerkstoffen unter dem Einfluss wechselnder Klimate bzw. bei Vorliegen plattenseitig unterschiedlicher Klimate ist in den Bereichen von Bedeutung, in denen es auf Maßhaltigkeit (z.B. Möbel- und Innenausbau) bzw. Gebrauchstauglichkeit (Holzbau) ankommt.

Vor dem Hintergrund eines verstärkten Einsatzes mehrlagiger Massivholzplatten im Bauwesen kommt dieser Gebrauchseigenschaft eine besondere Bedeutung zu.

Als Untersuchungsmethode für die Prüfung der Formstabilität dienen der Differenzklima-Versuch nach /Jensen, Krug 1999/, der je Plattenvariante mit 5 Prüfkörpern (Format 500 mm x 500 mm x Nenndicke) in einer Doppelklima-Prüfkammer vorgenommen wurde. Die schmalseitig verschlossenen Prüfkörper waren in der Trennwand des Prüfstandes senkrecht stehend angeordnet und so positioniert, dass eine unbehinderte Verformung möglich war. Zur Beschleunigung der Feuchteübergänge trug eine Luftgeschwindigkeit von 1,5 m/s bei (vgl. Abbildung 8).

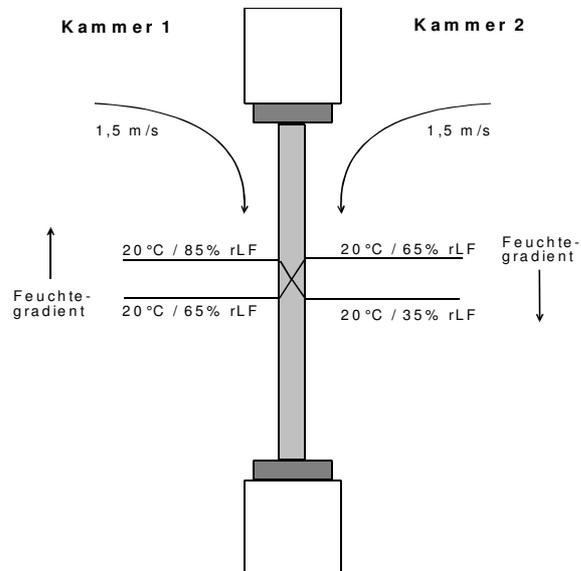


Abbildung 8 Differenzklima-Versuch mit Darstellung einwirkender Zustandsgrößen /Jensen, Tobisch 2000/

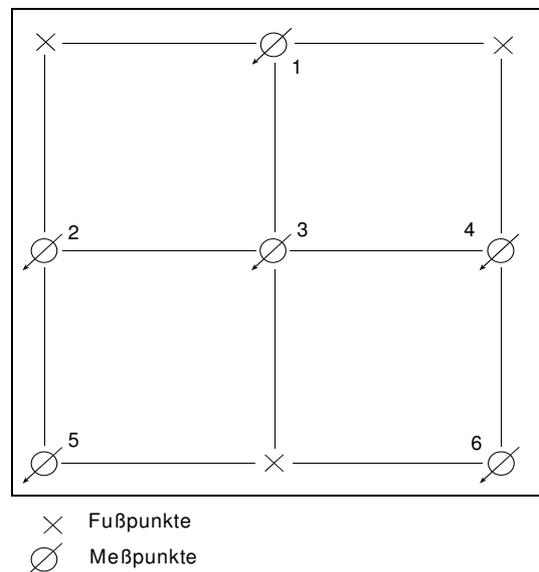


Abbildung 9 Messrahmen zur Aufnahme der Formänderungen senkrecht zur Plattenebene (links) mit schematischer Darstellung des Messrasters (rechts), Plattenabmessung 500 mm x 500 mm x Plattendicke

Nach Vorklimatisierung bei Normalklima 20 °C / 65 % relativer Luftfeuchte (rH) erfolgte die 96stündige Einwirkung eines Differenzklimas mit 85 % rH auf der einen und 35 % rH auf der anderen Plattenbreitfläche. Die Temperatur betrug einheitlich 20 °C. Mit einem 9-Punkte-Messnetz (siehe Abbildung 9, Messlänge in Haupt- und Nebenachse 400 mm, diagonal 566 mm) wurde der zeitliche Verlauf der Formänderungen in Haupt- und Nebenachse der Massivholzplatten während des Versuchszeitraumes (nach 1 h, 2 h, 4 h,

8 h und aller weiteren 24 h) erfasst. Die Massivholzplatten wurden grundsätzlich mit der Hauptachse in der vertikalen Messrichtung eingebaut.

Aus den Daten der Formänderung rechtwinklig zur Plattenebene in den 8 Messrichtungen (3 x in Hauptachse, 3 x in Nebenachse und 2 x diagonal) konnte dann die Formänderung bezogen auf 1 m Länge in der Haupt- und Nebenachse bzw. diagonale berechnet werden.

Die entsprechenden mathematischen Zusammenhänge sind in Abbildung 10 dargestellt. Aus der innerhalb der Messlänge von 400 mm senkrecht zur Plattenebene gemessenen Formänderung x_{400} lässt sich unter Approximation eines Kreisbogenförmigen Verformungsverlaufes der Radius r des Bogensegments berechnen.

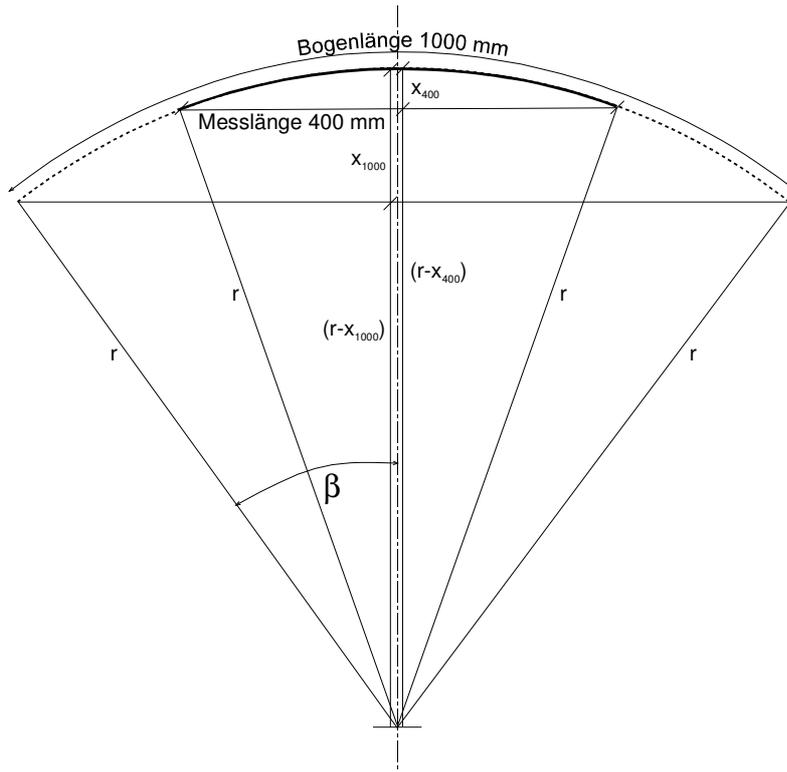


Abbildung 10 Mathematische Zusammenhänge bei der Berechnung der auf 1 m Kantenlänge bezogenen Formänderung senkrecht zur Plattenebene

Berechnung des Radius des Bogensegments bei einer Messlänge von 400 mm

$$(r - x_{400})^2 + (400/2)^2 = r^2$$

$$r = \frac{x_{400}}{2} + \frac{(400/2)^2}{2x_{400}}$$

Berechnung der aus einer Kanten (Bogen-)länge von 1000 mm folgenden Formänderung x_{1000}

$$\beta = \frac{180b}{2r\pi}$$

$$x_{1000} = r - \cos\left(\frac{180b}{2r\pi}\right)r$$

x_{400} – gemessene Formänderung senkrecht zur Plattenebene in mm bei einer Messlänge von 400 mm

x_{1000} – berechnete Formänderung senkrecht zur Plattenebene in mm bei einer Kanten (Bogen-)länge von 1000 mm

r – Radius des approximierten Kreisbogensegments in mm

β – halber Bogenmaßwinkel in °

b – Bogenlänge des Kreisbogensegments, hier 1000 mm

Unter Verwendung des berechneten Radius lässt sich die bei einer Kantenlänge von 1000 mm vorliegende Formänderung berechnen. Dieser Wert wird jeweils für die unterschiedlichen Messrichtungen (vgl. dazu Abbildung 9) gemittelt und auf 1 m bezogen in mm/m angegeben.

Der funktionale Zusammenhang zwischen der Einwirkungsdauer des Differenzklimas und der Formänderung entspricht einem Sättigungsvorgang und lässt sich mit einer e-Funktion (Wachstumsfunktion, vgl. Abbildung 11) gut beschreiben /Jensen, Kehr 1995a/. Die weiteren Bedingungen des Differenzklima-Versuches sind in /Jensen, Kehr 1995b/ ausführlich erläutert.

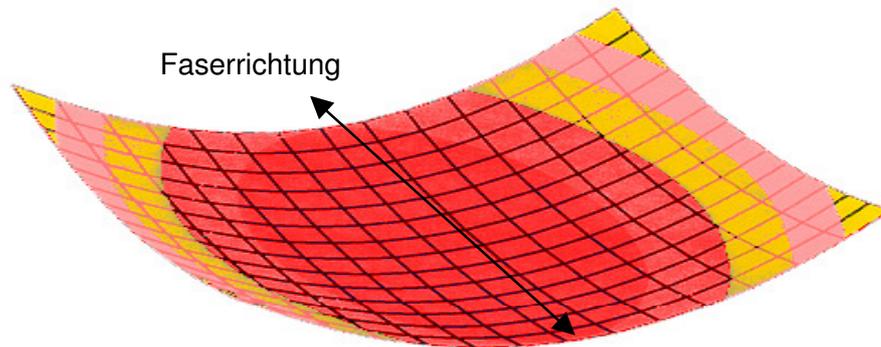


Abbildung 11 Prinzipieller Krümmungsverlauf bei Massivholzplatten nach Prüfung im Differenzklima

Jensen und Tobisch stellten /2000/ fest, dass sich das während des anliegenden Differenzklimas über den Plattenquerschnitt schräg verschobene Feuchteprofil auf die Quell- und Schwindbewegungen auswirkte und zu Plattenverformungen führte. Die rechtwinklig zur Plattenebene gemessenen Verformungen waren parallel zur Faserrichtung der Decklagenlamellen (Hauptachse) deutlich geringer als senkrecht dazu (Nebenachse, zur Verdeutlichung siehe Abbildung 11). Sowohl drei- als auch fünfplagige Massivholzplatten wiesen in der Hauptachse nach 96stündiger Exposition im Differenzklima vergleichbare Formänderungen von 2,5 mm/m auf. Die Höhe der Formänderungen in der Nebenachse wurde maßgeblich von der Anzahl der Lagen und der Dicke der Platten beeinflusst. Fünfplagige Platten wiesen mit 7,2 mm/m im Vergleich zu 13,5 mm bei dreilagigen Platten deutlich geringere Formänderungswerte auf; dickere Platten zeigten geringere Veränderungen der ebenen Form.

/Jensen, Krug 1999/ wiesen in ihren Ausführungen darauf hin, dass nach der angewandten 96stündigen Lagerung drei- und fünfplagiger Massivholzplatten im Differenzklima noch kein Ausgleichzustand der Verformung nachzuweisen sei. Daher bestimmten sie auf Grundlage einer empirischen Rechnung unter Einbeziehung der Formänderungsgeschwindigkeit am Ende des Differenzklimaversuches die sog. Restformänderung. Nach Addition dieses Wertes mit der zu Versuchsende gemessenen maximalen Formänderung berechneten sie die Gesamtformänderung. Die an den Massivholzplatten bestimmten Werte wurden in einen Kontext mit anderen Holzwerkstoffen gesetzt (Abbildung 12). Alle richtungsorientierten Holzwerkstoffe zeigten danach erwartungsgemäß eine niedrige Gesamtformänderung in Richtung der Hauptachse (2,5 mm ... 4 mm/m), die in etwa der Hälfte des Spanplattenwertes entsprach.

Die höchsten Formänderungswerte wurden in der Nebenachse mit 19,8 mm/m für Timberstrand (LSL, ehemals Intrallam) bzw. 17 mm/m für die dreilagige Massivholzplatte gemessen.

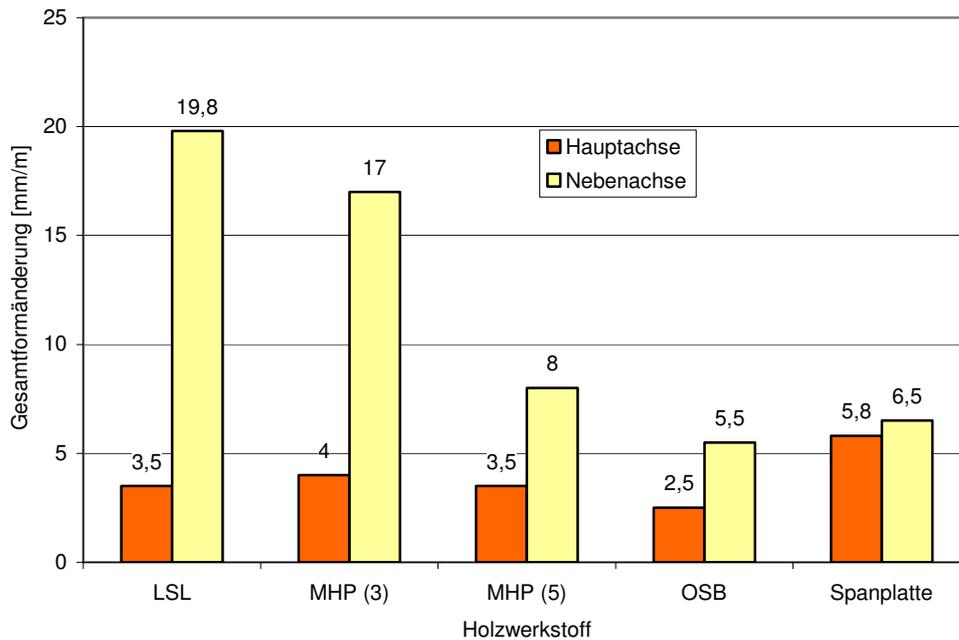


Abbildung 12 Gegenüberstellung der Gesamtformänderung der untersuchten Holzwerkstoffe Timberstrand (LSL), drei- und fünflagige Massivholzplatten (MHP 3; 5), OSB (dreilagig) und Spanplatte, als Summe von experimentell ermittelter maximaler Formänderung und empirisch berechneter Restformänderung, jeweils für die Richtung der Haupt- und Nebenachse /Jensen, Krug 1999/

Da nach /Gindl 1998/ davon ausgegangen werden kann, dass bei der Herstellung dreilagiger Massivholzplatten durch den Einsatz von Fichtenschwachholz und verfärbten Kiefern- und Lärchensortimenten i.allg. Linksdrehwüchsigkeit vorherrscht, schlägt dieser Autor zur Verringerung der Formänderung vor, die Lamellen einer Decklage mit der kernzugewandten Seite– die entsprechende Gegenseite mit der kernabgewandten Seite nach außen zu verleimen und verweist auf eine bis zu 70 %ige Reduzierung der Formänderung /Gindl 1998/.

Popper, Niemz und Eberle untersuchten /2002/ gleichfalls die Formänderung dreilagiger Massivholzplatten der Dicke 30 mm (Lagendicken 10-10-10 mm) und 20 mm (5-10-5), verwendeten jedoch einen anderen Ansatz als bei /Jensen, Tobisch 2000/ geschildert. Sie platzierten Proben der Abmessungen 300 x 300 mm in einem „normalklimatisierten“ Raum (20 °C / 65 % rH) auf einer Dreipunktauflage über einem Wasserbad (100 % rH) und bestimmten mit einem geeichten sechspunktigen Messraster (vgl. dazu nochmals Abbildung 9) nach 24 h, 48 h sowie nach 4, 7, 10, 14, 21 und 31 Tagen die Verformung. Als Bewertungs- und Vergleichsgröße diente dabei die Summe der Absolutwerte der Abweichungen aller Messwerte von der Ausgangsform, die maximale Formänderung sowie die größte Formabweichung (Differenz zwischen Höchst- und Tiefstwert einer Platte) /Popper et al. 2002/. Die Autoren stellten, im Gegensatz zu den weiter oben angeführten Arbeiten von /Jensen, Tobisch 2000 bzw. Jensen, Krug 1999/ sowohl innerhalb einer Platte als auch zwischen den Platten starke Schwankungen der Verformungswerte fest und führten diese auf die Unterschiede in der Faserorientierung der Lagen (zu der jedoch keine genaueren Angaben gemacht werden konnten) und die damit verbundenen Differenzen im Quellverhalten zurück. Widersprüchlich sind auch die Ergebnisse selbst: Dickere Platten zeigten grundsätzlich die größeren Formänderungen und wichen in ihren Werten innerhalb der Varianten um fast 100 % voneinander ab.

Ein Ausgleichszustand der Formänderungswerte wurde von 2 der 3 dünnen Platten bereits nach 10 Tagen erreicht, die dritte Platte zeigte einen stetig ansteigenden Verlauf der Formänderung. Ohne näher darauf einzugehen, wurde von den Autoren eine nicht nachprüfbar Korrelation der Jahrringbreite und der Jahrringlage mit den Formänderungsunterschieden erwähnt.

In einer Fortsetzung dieser Arbeiten führten *Steiger, Niemz und Eberle /2004/* Untersuchungen zum Einfluss des Plattenaufbaus und der Schlitzung der Mittellage, wie sie nach Angabe der Autoren bei Schalungsplatten zu finden ist, auf die Formstabilität im Differenzklima durch. Die untersuchten dreilagigen Platten wurden mit einem kalthärtenden 1-K-Polyurethanklebstoff mit einer Presszeit von 3 Stunden hergestellt. Die Formbeständigkeit wurde, abweichend von einigen weiter oben aufgeführten Arbeiten, in einem Differenzklima von 20 °C / 65 % rH – 20 °C / 100 % rH (Luftfeuchtgradient daher abweichend 35 und nicht 50 %) ermittelt. Erwartungsgemäß konnten sie feststellen, dass die Formänderungswerte in der Nebenachse deutlich über den Werten der Hauptachse lagen, machten aber leider keine Aussagen zum Einfluss der Schlitzung der Mittellage /Steiger et al. 2004/.

2.3.2 Festigkeitseigenschaften

Tobisch und Plattes /2000/ untersuchten den Einfluss des Plattenaufbaus dreilagiger Massivholzplatten aus Fichte auf Eigenschaften bei Biegung, Zug und Druck in Plattenebene. Als Versuchsmaterial dienten 36 mm dicke, MUF-Harz verleimte Massivholzplatten, bei denen sowohl der Plattenaufbau (Lagendicken 12/12/12 mm; 9/18/9 mm bzw. 14/8/14 mm) als auch die Holzqualität (Sortierqualitäten A, B und C nach ÖNORM 3022:1991, vgl. Anhang 7.3) variiert wurden. Sie stellten fest, dass das Lamellenverhältnis R_L ¹³ entscheidende Auswirkungen auf die Eigenschaften in Plattenebene hatte: Mit steigendem Lamellenverhältnis (dickere Decklagen, dünnere Mittellage) wurden bei paralleler Orientierung der Decklagenfaser höhere Biege-, Zug- und Druckfestigkeiten in Plattenebene bestimmt. Bei rechtwinkliger Orientierung der Decklagenfaser (Nebenachse) gilt diese Abhängigkeit umgekehrt¹⁴. Die Eigenschaften bei paralleler Orientierung der Decklage waren bis zu einem Lamellenverhältnis von > 0,53 grundsätzlich größer als bei rechtwinkliger Orientierung, bei einem kleinerem R_L kehrte sich dieser Umstand um.

Interessanterweise zeigte es sich gleichzeitig, dass Massivholzplatten aus Lamellen einer höheren Güteklasse (A) geringere Werte aufwiesen als Platten, die vollständig aus Holzqualitäten C aufgebaut waren. Die Autoren stellten daher fest, „... dass die derzeit übliche visuelle Sortierung die tatsächliche Festigkeitsklasse des Holzes nicht erfassen kann ...“ und dass „... damit das Holzpotenzial nicht voll ausgenutzt wird.“ /Tobisch, Plattes 2000/. Zu einer gleichlautenden Aussage kam auch, wie bereits weiter vorn erwähnt, *Radovic /2003/*.

Eine eher allgemein gehaltene Arbeit zur Bestimmung unterschiedlicher Eigenschaften drei- und fünflagiger Massivholzplatten aus Nadelholz liegt von /Niemz et al. 2002/ vor. Neben den Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene (Prüfung an kleinen Prüfkörpern) bestimmten die Autoren die dynamischen E-Moduln aus den gemessenen Schallgeschwindigkeiten und den Eigenfrequenzen. Erwartungsgemäß musste

¹³ Als Lamellenverhältnis R_L (dimensionslos) wird von /Krug et al. 1999/ der Bezug der Dicke beider Decklagen auf die Plattenenddicke definiert; $R_L = 2t_{DL}/t_1$

¹⁴ Die Ergebnisse wurden durch eine Arbeit von /Howald, Niemz 2004/ bestätigt, die gleichzeitig feststellten, dass die bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene bestimmten Festigkeiten stets deutlich über den in Plattenebene ermittelten Zug- und Druckfestigkeiten lagen.

festgestellt werden, dass die Vorausbestimmung der Platteneigenschaften auf Grundlage derartiger zerstörungsfreier Messungen durch die Inhomogenität der Lagen mit erheblichen Problemen behaftet war.

Unter Variation des Schichtenaufbaus und der verwendeten Bindemittelsysteme (hier: PUR, Resorcin, PVAc) bestimmten die Autoren weiterhin den Wasserdampf-Diffusionswiderstand von unbeschichteten Massivholzplatten und einer beschichteten Betonschalungstafel. Durch die Wahl der Prüfmethode (in Anlehnung an DIN 52 615:1987 wurden die Proben einem Differenzklima 20 °C / 65 % rH – 20 °C / 100 % rH ausgesetzt) wurden mit $\mu = 10 \dots 13$ sehr geringe Werte für den Diffusionswiderstand bestimmt (zum Vergleich: EN 13 986:2005 gibt für Massivholzplatten mit einer mittleren Rohdichte von 500 kg/m³ Werte für 200 nach dem Trockenbereichsverfahren bzw. 70 nach dem Feuchtbereichsverfahren vor). Ein Einfluss der Bindemittelart konnte nicht festgestellt werden, die Veränderung des Diffusionswiderstandes aufgrund der Plattendicke bzw. der Lagenanzahl ist als nicht signifikant anzusehen.

Steiger und Niemz /2004/ untersuchten den Einfluss des Schichtaufbaus, der Mittellagengestalt (hier: Schlitzten), der Jahrringlage und des Pressdrucks bei der Herstellung auf die Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten. Erwartungsgemäß konnten sie feststellen, dass die Erhöhung des Mittellagenanteils an der Plattendicke (d.h., ein sinkendes Lamellenverhältnis) zu geringeren Werten bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene in der Hauptachse führte. In der Nebenachse kam es zu einer Erhöhung der Biegeeigenschaften. Platten mit geschlitzten Mittellagen wiesen grundsätzlich geringere Festigkeiten auf, ein Einfluss des Pressdrucks auf die untersuchten Eigenschaften konnte nicht nachgewiesen werden. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden gleichfalls von */Steiger, Niemz, Hurst 2004/* veröffentlicht, wobei zusätzlich die Sortierqualität (Ultraschallsortierung) der Decklagenlamellen mit in die Bewertung einbezogen wurde: Höhere Sortierqualitäten (Sortierkriterium E-Modul > 14000 N/mm²) führten zu einer leichten Verbesserung der gemessenen mechanisch-physikalischen Eigenschaften (ca. 5 %).

Obwohl das Langzeitverhalten von drei- und fünflagigen Massivholzplatten bei Prüfungen zur Erteilung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung als bekannt vorausgesetzt wird, untersuchte */Dube 1999/* das Kriechverhalten dreilagiger Massivholzplatten bei Exposition im Wechselklima. Als Versuchsmaterial dienten 6 verschiedene dreilagige Massivholzplatten aus Fichte mit Nenndicken zwischen 26 und 28 mm. Das Lamellenverhältnis R_L wurde mit 0,49 bis 0,67 variiert, die im 4-Punkt-Versuch ermittelten Biegefestigkeiten lagen in der Hauptachse zwischen 42 ... 53 N/mm² (Nebenachse: 8 ... 20 N/mm²) bei Rohdichten von 450 bis 500 kg/m³.

Die Prüfung des Kriechverhaltens wurde jeweils über einen Zeitraum von 70 Tagen in einem Wechselklima 7 Tage 20 °C / 85 % rH, 7 Tage 20 °C / 30 % rH ff. durchgeführt. Als Belastungsniveau wurden 25 % der Biegebruchlast gewählt.

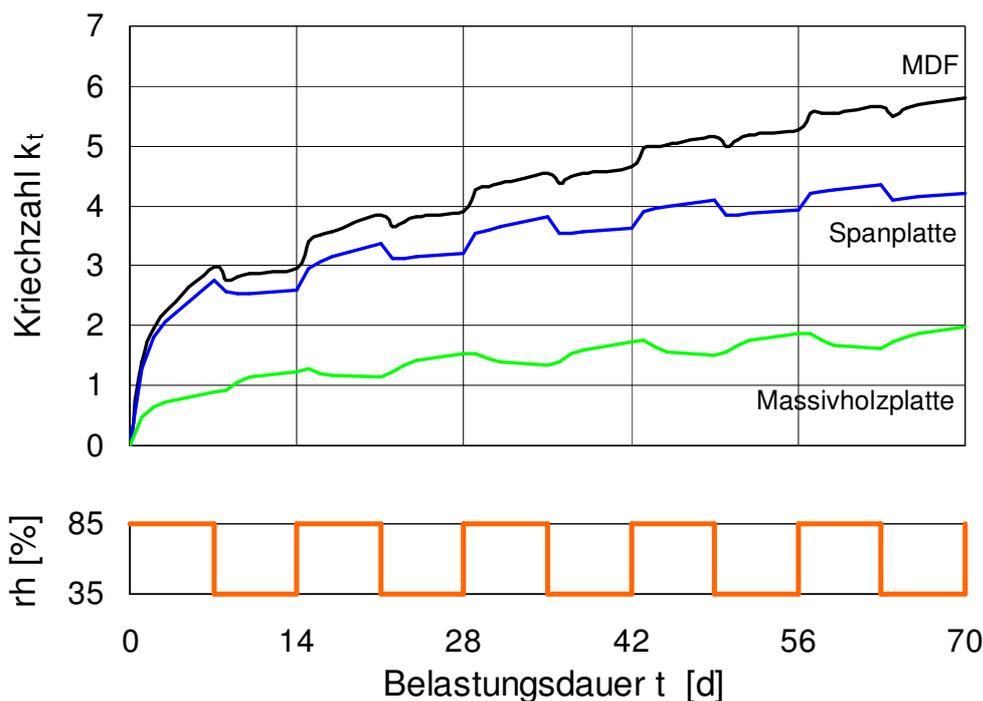


Abbildung 13 Kriechzahl ¹⁵ einer dreilagigen Massivholzplatte in der Hauptachse (Nennstärke 27 mm, $RL = 0,64$) im Vergleich zu MDF und Spanplatte (SP) in Abhängigkeit von der Belastungsdauer in einem Wechselklima (Temperatur 20 °C, relative Luftfeuchte 35 bzw. 85 %) nach /Dube 1999/

Dube stellte fest, dass sich die Kriechverformung der mehrlagigen Massivholzplatten aus dem Kriechen der Holzlamellen und der Verschiebung zwischen den Lagen unter Beachtung der Bindung zusammensetzte. Mit sinkendem Lamellenverhältnis wurden in der Hauptachse steigende Kriechzahlen ermittelt. Eine derart eindeutige Tendenz konnte für die Nebenachse nicht festgemacht werden.

Bei einer Gegenüberstellung mit Spanplatten und MDF unter gleichen Bedingungen zeigten Massivholzplatten erwartungsgemäß aufgrund des geringeren „Zerlegungsgrades“ eine geringere Kriechneigung (Abbildung 13). Bei den Untersuchungen konnte das schon von *Dinwoodie et al. /1990/* beschriebene „Kriechphänomen“ bestätigt werden: Partikel- und faserbasierte Holzwerkstoffe zeigen im Wechselklima ein grundsätzlich anderes Verformungsverhalten. Danach werden bei Zunahme der relativen Luftfeuchte an einigen Holzwerkstoffen (vgl. dazu Kurve Nr. 6 für MUF-gebundene Spanplatte in Abbildung 14) zunehmende Verformungen bestimmt, wohingegen die Verformung von Vollholzquerschnitten (und, wie von /Dube 1999/ nachgewiesen, auch die Verformung von dreilagigen Massivholzplatten) abnimmt (vgl. Kurve Nr. 5 in Abbildung 14).

¹⁵ Die Kriechzahl ϕ bzw. k_T (dimensionslos) ist definiert als das Verhältnis der zeitabhängigen Durchbiegungszunahme ($f_T - f_1$) unter Last zur elastischen Anfangsdurchbiegung ($f_1 - f_0$); $\phi = (f_T - f_1) / (f_1 - f_0)$. Dabei ist f_T die Durchbiegung in mm zum Zeitpunkt T, f_1 die Durchbiegung in mm nach 1 Minute und f_0 die Durchbiegung in mm des unbelasteten, auf die Kriechvorrichtung aufgelegten Prüfkörpers /Niemz 1993; DIN V ENV 1156:1999/

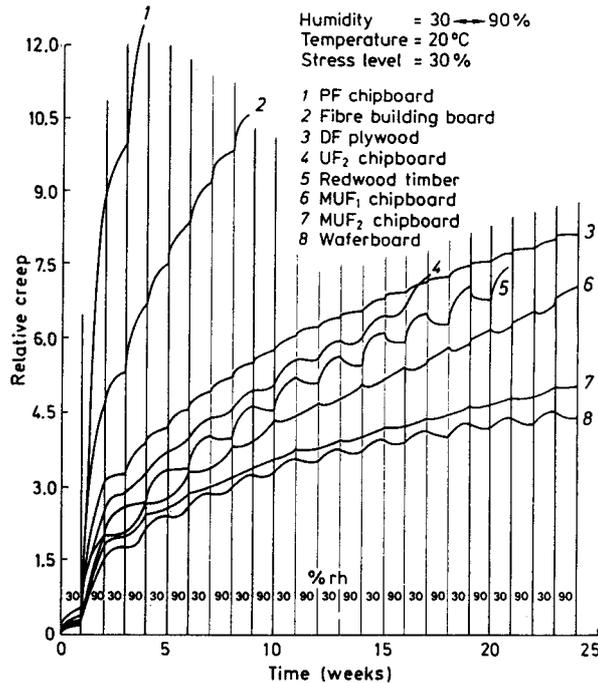


Abbildung 14 Verlauf der relativen Kriechverformung unterschiedlicher Holzwerkstoffe (Spanplatten, Faserplatten, Sperrholz, Vollholz) nach /Dinwoodie et al. 1990/

Ein erster Erklärungsansatz für dieses Kriechphänomen ergibt sich aus der Überlagerung der stark unterschiedlichen Quell-/Schwindmaße innerhalb der anatomischen Richtungen des Vollholzquerschnittes. Die mit der Erhöhung der Luftfeuchte verbundene deutlicher Vergrößerung des Querschnittes kompensiert durch den entstehenden „Quelldruck“ die Schwächung der mechanisch-physikalischen Eigenschaften. Bei den span- und faserförmigen Holzwerkstoffen überwiegt dahingegen die feuchteabhängige Verringerung der Festigkeit und Elastizität¹⁶.

Untersuchungen zum Einfluss des Jahrringwinkels auf das Kriechverhalten von dreilaagigen Biegeproben aus Sugi wurden /2002/ von *Park et al.* vorgestellt. Mit Variation des Jahrringwinkels von 0°, 45° und 90° wurde bei Proben sowohl in Lage der Haupt- als auch der Nebenachse bei einem Jahrringwinkel von 45° die geringste Kriechverformung festgestellt.

2.3.3 Hygrische Eigenschaften

Obwohl Massivholzplatten in der Hauptachse hinsichtlich des absoluten Quell- und Schwindverhaltens in Plattenebene mit kunstharzgebundenen Span- und Faserplatten vergleichbar sind, zeigt sich eine nachteilige Richtungsabhängigkeit dieser Eigenschaft (vgl. Tabelle 7) in der Nebenachse, die derart nur bei OSB zu beobachten ist.

¹⁶ Diese Zunahme der Kriechverformung bei ansteigender Luftfeuchte kann vor allem auf interpartikulären Verschiebungen zurückgeführt werden, die durch die Kriechneigung der eingesetzten Bindemittel hervorgerufen wird.

Tabelle 7 Mittlere prozentuale Längenänderungen in den Endklimaten 20 °C / 35 % rH bzw. 20 % / 85 % rH bezogen auf den Zustand im Normalklima 20 °C / 65 % rH nach /Schwab, Steffen, Korte 1997/, Darstellung jeweils in Haupt- (II) und Nebenachse (\perp)

Material		Längenänderung [%] bei	
		20 °C / 35 %	20 % / 85 %
MDF (UF, 16 mm)	II / \perp	-0,057	0,103
Spanplatte (UF, 19 mm)	II / \perp	-0,078	0,132
OSB (k.A., 15 mm)	II	-0,054	0,051
	\perp	-0,086	0,166
Massivholzplatte (dreilagig, MUF, 20 mm)	II	-0,056	0,066
	\perp	-0,080	0,138

Die bereits weiter vorn angeführte Arbeit von /Steiger, Niemz 2004/ hatte neben der Bestimmung des Einflusses von Pressdruck, Schichtaufbau und Jahrringlage auf die Eigenschaften bei Biegung auch die Auswirkungen auf den Diffusionswiderstand nach DIN 52 615:1987 und die Längenänderung in Plattenebene nach EN 318:2002 von 30 mm dicken dreilagigen Massivholzplatten zum Inhalt.

Während bei Veränderung des Lamellenverhältnisses von 0,67 (10/10/10 mm) auf 0,4 (6/18/6 mm) keine signifikante Änderung des Wasserdampf-Diffusionswiderstandes μ nachweisbar war ($\mu = 38,2 \dots 40,3$), zeigte sich eine deutliche Erhöhung der prozentualen Längenänderung DL 35¹⁷ bzw. IL 95^{18, 19} in der Hauptachse (in der Nebenachse kam es demgemäß zu einer Verringerung des Quell- bzw. Schwindverhaltens). Nicht erklärbar waren die zum Teil sehr hohen gemessenen Werte (maximales DL 35 -0,832 % bei $R_L = 0,4$, maximales IL 80 0,972 % bei $R_L = 0,53$; vgl. dazu Tabelle 7). Ein Ansatz zur Bewertung dieser hohen Ergebnisse liefert /Steiger et al. 2004/, in deren Arbeit die Werte in ∞ angegeben werden. In dieser Arbeit wurde auch ein Einfluss einer Mittellagenschlitzung auf den Diffusionswiderstand und das Quell-Schwind-Verhalten (μ und die Längenänderungswerte sinken) konstatiert.

Popper, Niemz und Eberle /2004/ untersuchten die Wirkung verschiedener Bindemittelsysteme (3 PUR-Systeme, je ein PVAc-Kaltleim bzw. PF-System) sowie den Einfluss des Plattenaufbaus auf den Wasserdampf-Diffusionswiderstand drei- und fünflagiger Massivholzplatten (eine dreilagige Platte war zusätzlich noch mit einem Melaminfilm beschichtet). Nach diesen Untersuchungen konnte keine Differenzierung der Klebstoffsysteme hinsichtlich der ermittelten Diffusionskennwerte nachgewiesen werden, sogar für die melaminbeschichtete Platte (Dicke 27 mm) wurde mit $\mu = 24$ (Feuchtbereich) bzw. 44 (Trockenbereich) ein sehr geringer Diffusionswiderstand gemessen²⁰. Abschließend wurde von den Autoren festgestellt, dass der Wasserdampf-Diffusionswiderstand weniger von den verwendeten Klebstoffen als vielmehr vom Verhältnis der Anzahl der Leimfugen zur Probendicke beeinflusst wird (eine erhöhte Anzahl von Leimfugen je Plattendicke führt zu größeren μ -Werten) /Popper et al. 2004/.

Sonderegger und Niemz /2004/ zeigten in ihren Untersuchungen, dass die Ausgangsfeuchte der Lamellen vor der Verklebung (hier mit Polyuretanklebstoffe) einen erwar-

¹⁷ Prozentuale Längenänderung bei Lagerung im Klima 20 °C / 35 % rH, bezogen auf den Ausgangszustand in 20 °C / 65 % rH

¹⁸ Prozentuale Längenänderung bei Lagerung im Klima 20 °C / 95 % rH, bezogen auf den Ausgangszustand in 20 °C / 65 % rH

¹⁹ Abweichend von den Vorgaben der DIN EN 318:2002 arbeiteten /Steiger, Niemz 2004/ bei Aufwechtlung der Proben mit relativen Luftfeuchten von 80 bzw. 95 %.

²⁰ Melaminfilmbeschichtungen gelten i. allg. als wasserdampfdicht.

tungsgemäß signifikanten Einfluss auf die spätere Bildung von Rissen in der Decklage hat. Bereits 24 h nach der Herstellung wiesen Platten, deren Decklagen zuvor in 20 °C / 85 % rH klimatisiert wurden, deutliche Rissbildungen auf. Die größte Rissanzahl wurde an Platten mit (außen) geschlitzten Decklagen ermittelt, bei denen die Risse allerdings hauptsächlich im Bereich der Schlitzte (=Sollbruchstellen) auftraten. Das Einbringen von Schlitzten in der Mittellage reduzierte sowohl die Rissanzahl als auch die mittlere Risslänge erheblich.

Zum Außeneinsatz von Massivholzplatten sind bisher nur wenige Stellen bekannt gemacht. Fünfjährige Freibewitterungsversuche auf dem Gelände der EMPA Dübendorf zeigten für unbehandelte Massivholzplatten sehr viele, für lasierte Platten mäßige bis viele sowie für lackierte Platten einzelne Risse in den Decklagen /Risi 2001, 2002/. Die Risse traten vor allem entlang der Fugen zwischen den Decklagen sowie als Radialrisse bzw. Risse entlang der Jahrringgrenze auf (vgl. dazu auch Abbildung 15). Der Anteil der Fugenablösungen der Breitflächenverklebung war bei den nicht geschützten Massivholzplatten erwartungsgemäß am höchsten und trat gerade im Bereich der offenen Längsrisse auf. Die von Risi gemachten Aussagen wurden von /Niemz 2001, 2003/ bestätigt. Leider liegen aus diesen Arbeiten keine Aussagen zur Veränderung der mechanisch-physikalischen Eigenschaften nach den klimatischen Beanspruchungen vor.



Abbildung 15 Detailaufnahmen einer bewitterten mehrschichtigen Fassadenplatte (einseitig mit einer Witterschutzlasur beschichtet), Problemzonen: offene Fugen im Bereich der Schmalflächenverleimung der Deckschichtlamellen und der Verklebung zur Mittellage

Untersuchungen von /Niemz, Wang 2002/ hatten die Bestimmung der oben angesprochenen Spannungen in dreilagigen Massivholzplatten bei Klimawechsel zum Inhalt. Dazu wurden je 4 Proben 60 mm dicker Massivholzplatten zunächst 2 Wochen im Feuchtklima (20 °C / 95 % rH) und anschließend im Trockenklima (20 °C / 35 % rH) gelagert. An den Proben wurde nach den jeweiligen Lagerungsfolgen sowohl Feuchte als auch Eigenspannungen ²¹ bestimmt.

Die Autoren wiesen hohe Spannungen zwischen den Lagen nach, da das wesentlich stärkere Quellen und Schwinden senkrecht zur Faserrichtung durch die benachbarten, parallel zur Faserrichtung liegenden Lagen fast vollständig behindert und in plastische Verformungen umgewandelt wurde. Während der Befeuchtung konnten daher in den Decklagen Druckspannungen, in der Mittellage Zugspannungen beobachtet werden. In der Trocknungsphase entstanden zu Beginn Zugspannungen in den Decklagen, die

²¹ Ermittelt durch Freischneiden analog Trocknungsspannungen nach /Welling 1987 zit. in Niemz, Wang 2002/

sich in zum Teil erheblichen Rissen abbauten, und Druckspannungen in der Mittellage. Die in diesen Untersuchungen nachgewiesenen Feuchteprofile in den Platten und die Veränderung der Feuchten in den jeweiligen Lagerungsfolgen konnten in einer späteren Arbeit bestätigt werden /Niemz et al. 2003/.

Über eine Vergütung von Seitenware mit Metalloxidsolen für den Einsatz in dreilagigen Massivholzplatten wird von /Tobisch 2000/ berichtet. Ziel der Untersuchungen war die Verbesserung der mechanisch-physikalischen Eigenschaften, die Erhöhung der Resistenz gegenüber biotischen und klimatischen Einflüssen und die Steigerung des Feuerwiderstands der Materialien.

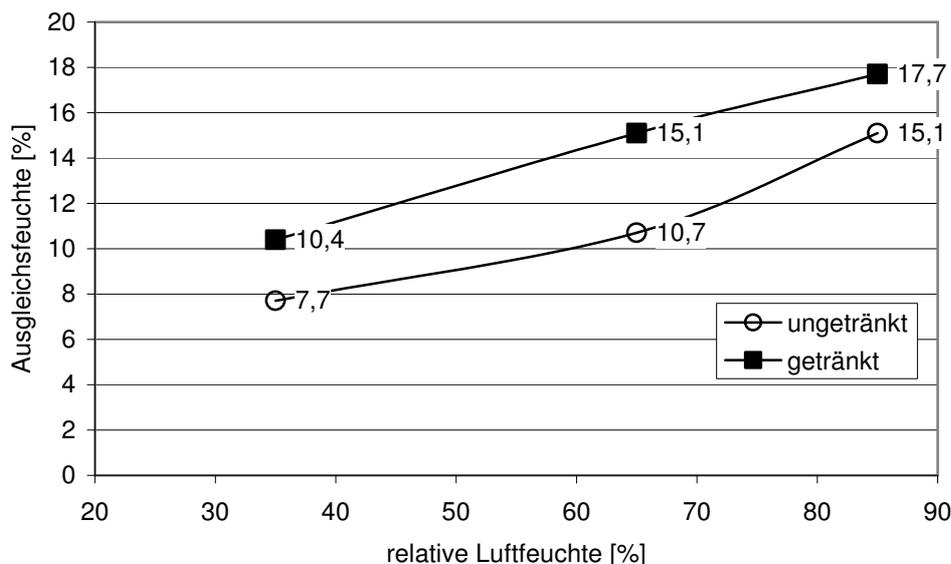


Abbildung 16 Ausgleichsfeuchten (Mittelwerte aus je 6 Einzelwerten)²² von unbehandelten und mit Metalloxidsol getränkten Parallelproben (6 Proben je Variante, Fichtensplintholz, Seitenware) in Abhängigkeit vom Umgebungsklima nach /Tobisch 2000/

Ausgewählte Fichtensplinthölzer wurden im Kesseldruckverfahren mit wässrig- und alkoholisch basierten Solen getränkt und anschließend Prüfungen zur Bestimmung der mechanisch-physikalischen Eigenschaften, der Dimensionsänderungen bei Änderung der relativen Luftfeuchte und der Verklebungsqualität unterzogen. Die Behandlung der Hölzer mit wässrig basierten Solen zeigten im Vergleich mit ungetränkten Parallelproben nicht die erwarteten Ergebnisse: Durch die Hydrophilie der Sole erhöhte sich die Ausgleichsfeuchte der behandelten Hölzer (Abbildung 16) und es kam zu Verklebungsfehlern.

Durch den Einsatz von alkoholisch basierendem Sol konnten die gestellte Ziele nahezu erreicht werden: Die mechanisch-physikalischen Eigenschaften stiegen zwar nicht an, es kam jedoch zu einer deutlichen Erhöhung der Rohdichte. Die hygroskopischen Eigenschaften wurden in den Bereich der Schwindung verschoben: Behandelte Hölzer zeigten geringere Quell- und höhere Schwindeigenschaften als unbehandelte Hölzer. Das Brandverhalten konnte durch die Behandlung mit alkoholisch basierten Solen deutlich verbessert werden: Es kam bei Kantenbeflammung zu einem schnellen Verlöschen

²² Die mittleren Ausgleichsfeuchten wurden nach DIN EN 318:1993 bezogen auf den Ausgangszustand (Normalklima 20 °C / 65 % rH) bei Desorption (20 °C / 35 % rH) bzw. Adsorption (20 °C / 85 % rH) bestimmt

des Nachbrands nach Verlöschen der Prüfflamme und zu deutlich geringeren Brandschäden.

Aktuelle Arbeiten des Instituts für Holztechnologie (IHD) beschäftigen sich mit dem Einsatz vergüteter Hölzer in den Decklagen mehrlagiger Massivholzplatten. Ziel der Arbeiten ist es, durch die Verwendung chemisch oder thermisch vergüteter Holzsortimente den weiteren Einsatz von mehrlagigen Massivholzplatten als Fassadenplatten zu forcieren bzw. den tragenden und aussteifenden Einsatz solcher Platten im Außenbereich zu ermöglichen. Durch die Herstellung von mehrlagigen Massivholzplatten mit vergüteten Holzsortimenten in den Decklagen (wahlweise symmetrisch oder asymmetrisch) sollen die einsatzhemmenden, holzanatomisch begründeten Nachteile herkömmlicher Massivholzplatten ausgeglichen bzw. minimiert werden. Mit der grundlegenden Verbesserung des Quell- und Schwindverhaltens, der Dauerhaftigkeit und der Resistenz gegenüber holzerstörenden Organismen der mit vergüteten Holzsortimenten hergestellten mehrlagigen Massivholzplatten könnten Platten für den Markt entwickelt werden, die mit hoher Formstabilität und guten Festigkeitseigenschaften im geschützten oder frei bewitterten Außenbereich (z.B. als Fassadenplatten) mit und ohne Beschichtung einsetzbar sind.

2.3.4 Vorausberechnung von Platteneigenschaften

Die gebräuchlichsten Spannungs- und Formänderungsberechnungen für tragende Bauelemente werden nach wie vor bevorzugt auf Basis der klassischen Elastizitätstheorie für homogene isotrope Werkstoffe durchgeführt und basieren auf der bereits von /Keylwerth 1951/ und /Kollmann 1951/ eingeführten Betrachtungsweise des Vollholzes als orthotropem System.

Die Grenzen der Berechenbarkeit von Holz und Holzwerkstoffen ergeben sich jedoch aus dem komplizierten anisotropen, inhomogenen und porigen Gefüge der zu berechnenden Werkstoffe und der damit verbundenen Superposition verschiedener Einflussgrößen. Allein die durch die Rohdichteschwankungen hervorgerufenen Veränderungen der Eigenschaften werden durch Temperatur- und Feuchteinflüsse sowie durch das ausgeprägt plastische Verhalten des Materials stark überlagert. In diesem Zusammenhang werden von /Wagenführ et al. 1988/ für Vollholz beispielhaft mittlere Variationskoeffizienten der Rohdichte von 10 %, des Quell-Schwindverhaltens von 28 % und der Eigenschaften bei Biegung von 15 – 20 % angeführt.

Im Bereich lagig aufgebauter Werkstoffe (Sperrholz, Furnierschichtholz, Massivholzplatten) gibt es nur wenige etablierte Verfahren zur Vorabschätzung von Platteneigenschaften.

Durch die Vielzahl der in Deutschland und Europa hergestellten Sperrholztypen wurde es recht schnell notwendig, zusätzlich zu den in den Bemessungsnormen bereitgestellten Werkstoffwerten die Möglichkeit zu schaffen, für Sperrholz aus bereitgestellten Mindestbasiswerten für Festigkeiten und Steifigkeiten unter Annahme eines linearen Spannungs- und Dehnungszustandes (Querschnitte bleiben unter Belastung eben) und eines geradlinigen Dehnungsverlaufes Mindestwerte für Baufurnier-Sperrholz aus Buche zu berechnen /DIN 68 705-5:1980, Beiblatt 1 zu DIN 68 705-5/. Bei diesem Rechenverfahren werden aufbauunabhängige Basiswerte²³ mit sog. Aufbau Faktoren multipliziert. Diese Aufbau Faktoren berücksichtigen hier vorerst nur den unterschiedlichen Lagenaufbau der Platten (Furnierdicken) und stellen grundsätzlich das Verhältnis der Steifigkeit

²³ Als aufbauunabhängige Basiswerte werden im Beiblatt 1 zur DIN 68 705-5:1980 nur Festigkeiten und E-Moduln in der Hauptachse bereitgestellt. Sie gelten für Vollquerschnitte.

bzw. Festigkeit des betrachteten mehrlagigen Querschnittsaufbaus zur Steifigkeit bzw. Festigkeit desselben Querschnitts dar, bei dem die Faserrichtung aller Lagen parallel zur Beanspruchungsrichtung verlaufen würde /Blaß, Fellmoser 2003/.

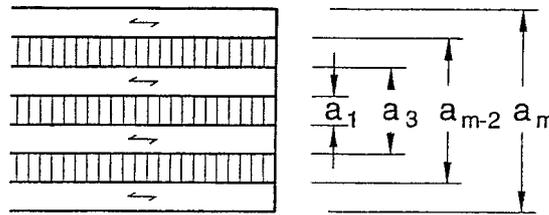


Abbildung 17 Schematische Darstellung der Lagenabstände eines siebenlagigen Sperrholzes

Mit Bezug auf Abbildung 17 definiert Beiblatt 1 zu DIN 68 705-5:1980 die dimensionslosen Aufbaufaktoren wie folgt:

Anteil der Lagen parallel zur Faserrichtung der Deckfurniere am Trägheitsmoment des vollen Plattenquerschnitts (für Flachbiegung)

$$\gamma_m = \frac{a_m^3 - a_{m-2}^3 + a_{m-4}^3 - \dots \pm a_1^3}{a_m^3}$$

Anteil der Lagen parallel zur Faserrichtung der Deckfurniere am vollen Plattenquerschnitt (für Zug, Druck und Hochkantbiegung)

$$\delta_m = \frac{a_m - a_{m-2} + a_{m-4} - \dots \pm a_1}{a_m}$$

Verhältnis der Lagendicke a_{m-2} zur Gesamtplattendicke a_m (für Flachbiegung quer zur Faserrichtung)²⁴

$$\alpha_m = \frac{a_{m-2}}{a_m}$$

Die in Längs- und Querrichtung der Platten unterschiedlichen Eigenschaften werden danach mit Bezug auf Tabelle 1 des Beiblattes berechnet (vgl. Tabelle 8). Es ist an dieser Stelle klar herauszustellen, dass bei allen derartigen Berechnungsmethoden die berechneten Werte auf dem selben Sicherheitsniveau liegen wie die sie erzeugenden Basiswerte: Werden Mindestwerte, charakteristische Werte oder aber nur Mittelwerte als Basiswerte eingesetzt, so werden auch nur solche wieder berechnet.

Das in Abschnitt 7 des Beiblattes 1 der DIN 68 705-5:1980 dargestellte Verfahren, mit dem man im Zuge der Eigenüberwachung mit Hilfe der Aufbaufaktoren z.B. individuelle Basiswerte für die Eigenschaften bei Biegung und Druck aus Prüfergebnissen der gemessenen Biegefestigkeit flach bzw. Druckfestigkeit berechnet, ist natürlich auch für Platten aus anderen Holzarten anwendbar²⁵:

Basiswert B_1 , errechnet aus der Biegefestigkeit in der Hauptachse (bestimmt an kleinen Prüfkörpern)

$$B_1 = \frac{\beta_{B/f} II}{\gamma_m}$$

Basiswert B_2 , errechnet aus der Biegefestigkeit in der Nebenachse

$$B_2 = \frac{\beta_{B/f} \perp \cdot \alpha_m}{1 - \gamma_m}$$

²⁴ Der Berechnungsansatz nach DIN 68 705-5:1980 geht, wie auch alle im Weiteren beschriebenen Ansätze, davon aus, dass bei Belastung in der Nebenachse die äußeren Lagen nicht zum Versagen beitragen und berücksichtigt daher das Verhältnis des Lagenabstandes der 2. Lagen zur Plattenenddicke.

²⁵ Berechnung gleichfalls möglich für Druck in Plattenebene; das Berechnungsverfahren gilt jedoch nur für Platten ein und derselben Holzart.

Tabelle 8 Auszug aus Tabelle 1 Beiblatt zu DIN 68705-5:1980: Berechnungsansätze für Mindestwerte der Festigkeiten und Elastizitätsmoduln von BFU-BU-Platten mit beliebigem symmetrischem Aufbau (als Basiswerte werden 100 N/mm² für die Biege- und Zugfestigkeit, 52 N/mm² für die Druckfestigkeit in Plattenebene und 11000 N/mm² für die Elastizitätsmoduln vorgegeben)

1	2	3	4
Zeile	Eigenschaft	Kurzzeichen	Formel
1	Biegefestigkeit flach, längs	$\beta_{B/\parallel}$	$100 \cdot \gamma_m$
2	Biegefestigkeit flach, quer	$\beta_{B/\perp}$ ⊥	$\frac{100 \cdot (1 - \gamma_m)}{\alpha_m}$
3	Druckfestigkeit, längs	β_D	$52 \cdot \delta_m$
4	Druckfestigkeit, quer	β_D ⊥	$52 \cdot (1 - \delta_m)$
5	Biegefestigkeit hochkant, längs Zugfestigkeit, längs	$\beta_{B/\parallel k}$ β_Z	$100 \cdot \delta_m$
6	Biegefestigkeit hochkant, quer Zugfestigkeit, quer	$\beta_{B/\perp k}$ ⊥ β_Z ⊥	$100 \cdot (1 - \delta_m)$
7	Biege-E-Modul flach, längs	$E_{B/\parallel}$	$11\ 000 \cdot \gamma_m$
8	Biege-E-Modul flach, quer	$E_{B/\perp}$ ⊥	$11\ 000 \cdot (1 - \gamma_m)$
9	Biege-E-Modul hochkant, längs Zug-E-Modul, längs Druck-E-Modul, längs	$E_{B/\parallel k}$ E_Z E_D	$11\ 000 \cdot \delta_m$
10	Biege-E-Modul hochkant, quer Zug-E-Modul, quer Druck-E-Modul, quer	$E_{B/\perp k}$ ⊥ E_Z ⊥ E_D ⊥	$11\ 000 \cdot (1 - \delta_m)$

Da DIN 68 705-5:1980 allein von Buchensperrhölzern ausgeht, ist der vorgestellte Berechnungsansatz in dieser Art nicht für Kombinationssperrhölzer geeignet. Ein weiterer Nachteil besteht in der Vernachlässigung der mittragenden Steifigkeiten der rechtwinklig zur Faserrichtung beanspruchten Lagen, so dass ggf. fehlerhafte Ergebnisse berechnet werden können. Aus diesen Gründen erfolgte in letzter Zeit eine Überprüfung und Weiterentwicklung dieses Berechnungsansatzes in mehreren Richtungen.

Da die Berechnung und Bemessung von mehrlagigen Massivholzplatten im Gegensatz zu Bau-Furniersperrholz nur über bauaufsichtliche Zulassungen geregelt ist und die dort festgelegten Rechenwerte allein aus verschiedenen Versuchsreihen abgeleitet wurden, machte es sich *Blaß/2002/* zum Ziel, im Rahmen eines Forschungsvorhabens²⁶ ein Rechenverfahren zu entwickeln, mit dem die notwendigen Steifigkeits- und Festigkeitswerte der Massivholzplatten in Abhängigkeit vom Plattenaufbau berechnet werden können. Bei der Berechnung der Massivholzplatten nach der Verbundtheorie wurden zur Herleitung der Aufbaufaktoren, abweichend zu DIN 68 705-5:1980, sowohl die Steifigkeitsanteile der Lagen in der Hauptachse als auch der Lagen in der Nebenachse berücksichtigt.

Die (für Massivholzplatten aus Nadelholz – Anm. des Verf.) nicht vorhandenen Basiswerte wurden durch die Auswertung von Prüfberichtsergebnissen rückgerechnet. Danach können die 5%-Fraktile der berechneten Basiswerte lt. *Blaß*, unter der Vorausset-

²⁶ Der entsprechende Abschlußbericht, Reg.-Nr. E-1999/05, ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit nicht zur Veröffentlichung freigegeben.

zung, dass mindestens 90 % der eingesetzten Lamellen der Sortierklasse C24 oder besser und bis zu 10 % der Lamellen der Sortierklasse C16 oder besser entsprechen, in die Festigkeitsklasse C30 für Nadelholz nach DIN EN 338:2003 eingeordnet werden.

Dieses Berechnungsverfahren berücksichtigt naturgemäß nicht den Schubeinfluss der Lagen mit rechtwinklig zur Belastungsrichtung liegenden Fasern²⁷. Aus diesem Grund erfolgten weiterführende Untersuchungen zur Bestimmung und zum Einfluss des sog. Rollschubs („rolling shear“), der entsteht, wenn Schubspannungen in Ebenen rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes wirken und zu Verzerrungen führen /Görlacher 2002/.

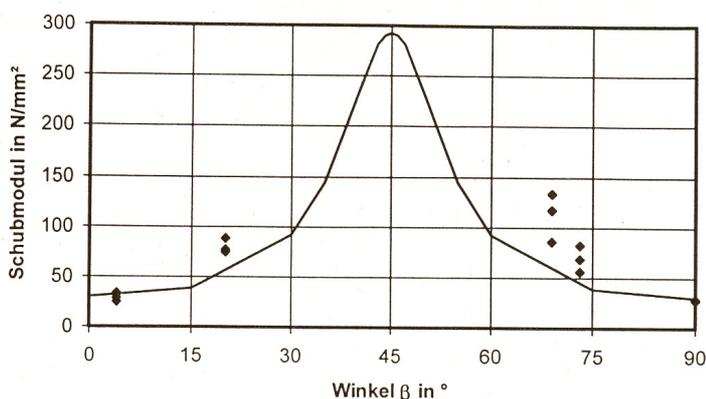


Abbildung 18 Abhängigkeit des Schubmoduls vom Jahrringwinkel β nach /Görlacher 2002/

Neuhaus, Hörig und Wommelsdorf /zit. in Görlacher 2002/ hatten seinerzeit festgestellt, dass im Bereich von 0 bis 90° nur Faser-Last-Winkel von 30 bis 60° einen deutlichen Einfluss auf den Schubmodul haben²⁸. Mit der von /Görlacher 2002/ gewählten Methode der Berechnung des Elastizitätsmoduls aus der Eigenfrequenz eines frei schwingenden Stabes, bei der gleichzeitig der Schubmodul berücksichtigt wird, konnten die zitierten Werte bestätigt werden. Obwohl bei Jahrringwinkeln von 45° aufgrund fehlender Schubverformungen des angeregten Prüfkörpers kein Schubmodul bestimmt werden konnte, erlaubte die Transformation der Elastizitätsmatrix eine Abschätzung des Schubmoduls aus dem Elastizitätsmodul. Die von *Görlacher* /2002/ gefundenen Zusammenhänge sind in Abbildung 18 auszugsweise angegeben.

Lt. /Görlacher 2002/ bzw. /Blaß 2002/ zeigen diese ersten Untersuchungen, dass realistische Werte des Rollschubmoduls von Fichtenholz, stark abhängig von der Jahrringlage, etwa zwischen 40 und 80 N/mm² liegen.

Zum Abschluss des Projektes wurde von *Blaß* /2002/ der Schubeinfluss auf das Tragverhalten der Massivholzplatten mit Hilfe des von *Kreuzinger* /1999/ entwickelten Schubanalogieverfahrens untersucht (genauere Betrachtung des Rollschubs, des Stützweitenverhältnisses und der Belastungsrichtung) und vorgeschlagen, folgende Berechnungsverfahren für die Abschätzung von Festigkeits- und Steifigkeitswerten mehrlagiger Massivholzplatten anzuwenden:

²⁷ Das Berechnungsverfahren vernachlässigt den Schubeinfluss und kann nur bei großen, bei Massivholzplatten aber durchaus relevanten Stützweitenverhältnissen ($l/h \geq 30$ für Belastungen in der Hauptachse; $l/h \geq 20$ bei Belastung in der Nebenachse) angewandt werden.

²⁸ Die von *Neuhaus* und *Hörig* /zit. in Görlacher 2002 bzw. Donzé, Niemz 2004/ an Fichtenholz bestimmten Rollschubmodule liegen bei 48 N/mm² bzw. 37 N/mm² (Holzfeuchten 9 % bzw. 9,8 %).

1. Bei Stützweitenverhältnissen $l/h < 30$ kann das Tragverhalten mit Hilfe der technischen Biegelehre unter Verwendung eines wirksamen Schubmoduls (ermittelt mit dem Schubanalogieverfahren) bestimmt werden.
2. Bei Stützweitenverhältnissen $l/h \geq 30$ kann der Schubeinfluss vernachlässigt werden und die Berechnung mit Hilfe der Verbundtheorie erfolgen /Blaß 2002/.

Kreuzinger /1999/ weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass es gerade bei der Verbindung verschiedener Querschnitte mit unterschiedlichen Eigenschaften zu einer nachgiebigen Verbindung der Schichten untereinander kommen kann, die Vereinfachung der klassischen Biegetheorie (Querschnitte bleiben auch unter Belastung eben) damit nicht mehr gilt und es notwendig wird, ansetzbare Werte für den Schubmodul zu finden. Das von *Kreuzinger* unter diesen Gesichtspunkten entwickelte Schubanalogieverfahren setzt zwei Träger A und B an, die bei gleicher Verformung über „Hilfsstäbe“ miteinander verbunden sind und so die Nachgiebigkeit zwischen den Schichten berechenbar machen. Träger A wird dabei als schubsteif angenommen. Er führt weiter aus, dass dieser Ansatz nicht nur für Träger, sondern auch für eine zweiachsige Tragwirkung (Platten) anwendbar ist /Kreuzinger 1999/.

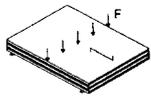
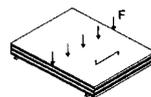
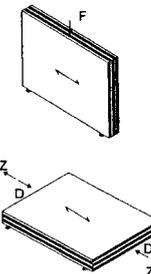
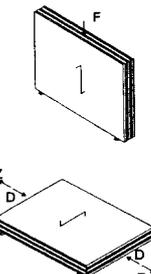
Weitergehende Berechnungsvorschläge wurden von *Blaß* und *Fellmoser /2003, 2004/* vorgestellt. Die nach DIN 1052:1988 heranzuziehende Theorie der nachgiebig verbundenen Biegeträger wird hier erwähnt, aufgrund der nur für Einfeldträger mit sinusförmiger Gleichstreckenlast bestehenden Gültigkeit jedoch nicht weiter vertieft.

Blaß und *Fellmoser /2003/* stellen vielmehr die Verbundtheorie um und ergänzen erweiterte Aufbaufaktoren, die eine einfachere Berechnung möglich machen (modifizierte Aufbaufaktoren siehe Tabelle 9, vgl. dazu auch Abbildung 17).

Das Verhältnis des Elastizitätsmoduls in der Hauptachse (E_0) zum Elastizitätsmodul in der Nebenachse (E_{90}) wird dabei für Nadelholz grundsätzlich mit $E_0/E_{90} = 30$ angenommen.

Die Berechnung der abzuschätzenden Werte aus den Basiswerten, deren Ergebnis nach *Blaß* und *Fellmoser /2003/* sog. wirksame Festigkeit- bzw. Steifigkeitskennwerte sind, erfolgt im weiteren nach dem gleichen Prozedere wie im Beiblatt 1 zur DIN 68 705-5:1980 beschrieben. Die Autoren weisen nochmals darauf hin, dass das Rechenverfahren nach der Verbundtheorie aufgrund der Vernachlässigung des Schubeinflusses nur für große Stützweitenverhältnisse anwendbar ist und führen dazu nachstehende Abbildung 19 an.

Tabelle 9 Lastfälle und erweiterte Aufbaufaktoren für die Berechnung von mehrlagigen Massivholzplatten nach der Verbundtheorie /Blaß, Fellmoser 2003/

Lastfall	Aufbaufaktor
	$k_1 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) \cdot \frac{a^3_{m-2} - a^3_{m-4} + \dots \pm a^3_1}{a^3_m}$
	$k_2 = \frac{E_{90}}{E_0} + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) \cdot \frac{a^3_{m-2} - a^3_{m-4} + \dots \pm a^3_1}{a^3_m}$
	$k_3 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) \cdot \frac{a_{m-2} - a_{m-4} + \dots \pm a_1}{a_m}$
	$k_4 = \frac{E_{90}}{E_0} + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) \cdot \frac{a_{m-2} - a_{m-4} + \dots \pm a_1}{a_m}$

Im weiteren Verlauf der vorgestellten Arbeit wird die Verbundtheorie auf die Gegebenheiten mehrlagiger Massivholzplatten nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen übertragen. Dazu wurden von den Autoren unter Zugrundelegung der in Tabelle 9 dargestellten Aufbaufaktoren aus Werten 11 verschiedener bauaufsichtlicher Zulassungen die Elastizitätsmoduln E_0 und die zulässigen Biegerandspannungen zu σ_m rückgerechnet.

Die als Basiswerte (BW) berechneten Elastizitätsmoduln $E_{m,BW}$ wichen bei einigen untersuchten Plattentypen zum Teil erheblich vom zu erwartenden Elastizitätsmodul von 11000 N/mm² (Nadelvollholz) ab, was aber mit der unterschiedlichen Qualität der (im Zuge der Erstellung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung) entnommenen Prüfkörper begründet wurde.

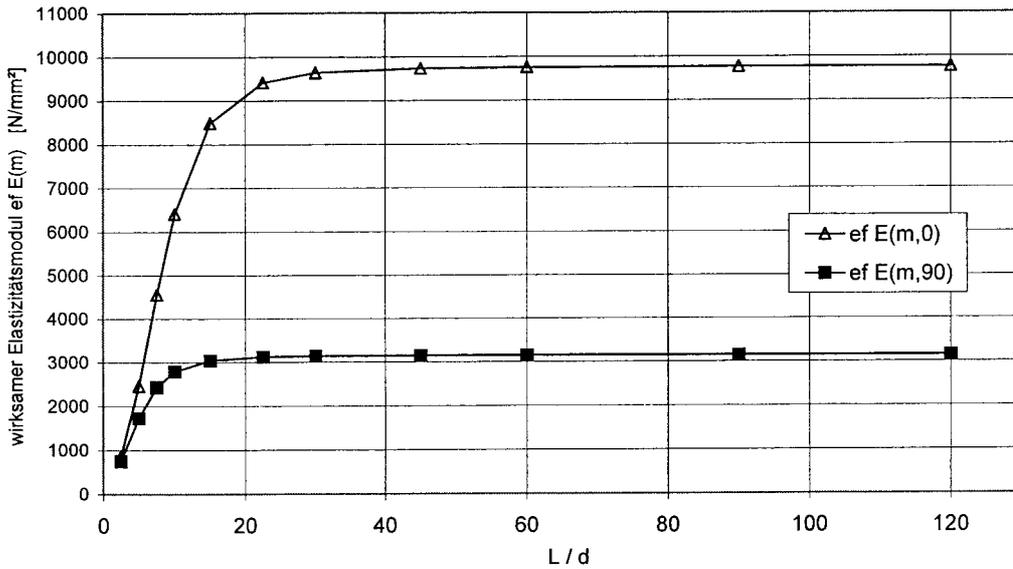


Abbildung 19 Wirksamer Elastizitätsmodul bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene in der Haupt- und Nebenachse in Abhängigkeit vom Stützweitenverhältnis L/d (l/h) nach /Blaß, Fellmoser 2003/

Abschließend wurden unter Verwendung von Kennwerten für Brettschichtholz BS 28 h²⁹ als Basiswerte für die untersuchten Massivholzplatten Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte nach der Verbundtheorie berechnet. Die Massivholzplatten wurden dann, in Bezug auf die berechneten Eigenschaften, in je 6 für Platten- und Scheibenbeanspruchung unterschiedliche Klassen unterteilt (vgl. Tabelle 10). Dabei war auffällig, dass rund 25 % der Massivholzplatten hinsichtlich ihrer berechneten Werte in die Klasse 6E eingeordnet werden konnten und dass die berechneten Eigenschaften der Verbundplatten mit Ausnahme $f_{m,k}$ der Klasse 6 immer unter den Werten der Vollquerschnitte lagen.

Leider wurde von den Autoren darauf verzichtet, aus der Vielzahl der betrachteten Plattenergebnisse Basiswerte für die Biegefestigkeit $f_{m,0,90}$ bzw. für die anderen relevanten Eigenschaften (Biegung in Plattenebene $f_{m,0,90}$, Zug $f_{t,0,90}$, Druck $f_{c,0,90}$) für Nadelholz rückzurechnen bzw. anzugeben.

Von *Blaß* und *Görlacher* /2003/ werden verschiedene Berechnungsverfahren für sog. Brettsperrhölzer³⁰ vorgestellt. Die Notwendigkeit solcher Berechnungsverfahren wird nachvollziehbar damit begründet, dass bauaufsichtliche Zulassungen aufgrund der Generierung von Rechenwerten aus umfangreichen Tragfähigkeitsversuchen Plattenaufbauten vorschreiben und es den Herstellern solcher bauaufsichtlich zugelassenen Brettsperrhölzer damit nicht möglich ist, durch Veränderungen der Plattenstrukturen kurzfristig auf Marktveränderungen zu reagieren.

Auch für Brettsperrholz empfehlen *Blaß* und *Görlacher* /2003/ die Berechnung nach der Verbundtheorie unter Einsatz der erweiterten Aufbaufaktoren (siehe Tabelle 9).

²⁹ Entspricht GL 28 h mit $f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$, $f_{t,0,k} = 19,5 \text{ N/mm}^2$, $f_{t,90,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$, $f_{c,0,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$, $f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$, $E_{0,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2$, $E_{90,mean} = 420 \text{ N/mm}^2$ /DIN 1052:2004/. Das Brettschichtholz GL 28 h besteht normgerecht aus Brettern der Güteklasse C30 ($f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$, $E_{0,mean} = 12000 \text{ N/mm}^2$) mit max. 10 % Brettern der Güteklasse C24 ($f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$, $E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$).

³⁰ Unter Brettsperrhölzern werden nach den genannten Autoren mehrschichtige Platten verstanden, bei denen die nebeneinanderliegenden Bretter nicht miteinander verklebt sind und somit zwischen diesen Brettern eine mehr oder weniger große Fuge auftritt (z.B. KLH, MERK-Dickholz). DIN 1052:2004 bezeichnet auch Massivholzplatten als Brettsperrholz.

In einer Beispielrechnung für 4 bauaufsichtlich zugelassene dreilagige Massivholzplatten eines Herstellers, bei denen für die Berechnung der wirksamen Festigkeits- und Steifigkeitswerte die zulässigen Spannungen (um einen Sicherheitsbeiwert abgeminderte 5%-Quantile) und die Mittelwerte der Elastizitätsmoduln eingesetzt wurden, zeigen die Autoren die Gültigkeit des Berechnungsmodells und führen den Unterschied zum Berechnungsverfahren nach DIN 68 705-5:1980 vor: Durch die Nichtbeachtung der mitwirkenden Steifigkeit der Lagen in der Nebenachse werden dort gerade im Bereich der Eigenschaften in der Nebenachse deutlich größere Abweichungen von den realen Ergebnissen berechnet.

Als Basiswerte wurde ein E_0 von 11000 N/mm² und Biegeandspannungen von $\sigma_{m,0}$ und $\sigma_{90} = 10$ bis 15 N/mm² berechnet³¹.

Tabelle 10 Rechenwerte für Festigkeiten und Elastizitätsmoduln mehrlagiger Massivholzplatten, unterteilt in je 6 Klassen für eine Platten- bzw. Scheibenbeanspruchung (Auszug aus /Blaß, Fellmoser 2003/)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Beanspruchung	Plattenbeanspruchung						Scheibenbeanspruchung						
2 Klasse	1	2	3	4	5	6	A	B	C	D	E	F	
parallel zur Faserrichtung der Decklagen [N/mm ²]													
3 Biegung $f_{m,k}$	16	19	21	24	26,5	29	7	10,5	13,5	16,5	19	21,5	
4 Zug $f_{t,k}$	-	-	-	-	-	-	4,5	6,5	8,5	10,5	12	13,5	
5 Druck $f_{c,k}$	-	-	-	-	-	-	6	9	11,5	14,5	16,5	18,5	
6 Schub $f_{v,k}$	1,5						3,8						
7 Elastizitätsmodul E_{mean} ¹⁾	6900	7800	8700	9800	10800	11800	3100	4200	5400	6800	7800	8700	
8 Schubmodul G_{mean} ¹⁾	90						780						
rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklagen [N/mm ²]													
9 Biegung $f_{m,k}$	17	15	13	10	7	5	21,5	18,5	15	12,5	10,5	8	
10 Zug $f_{t,k}$	-	-	-	-	-	-	13,5	11,5	9,5	8	6,5	4,5	
11 Druck $f_{c,k}$	-	-	-	-	-	-	18,5	16	13	11	9	6,5	
12 Schub $f_{v,k}$	1,5						3,8						
13 Elastizitätsmodul E_{mean} ¹⁾	5100	4300	3200	2100	1100	650	8700	7500	6200	5200	4200	3200	
14 Schubmodul G_{mean} ¹⁾	90						780						
Rohdichte [kg/m ³]													
15 Rohdichte ρ_k	410												

¹⁾ Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$ und G_{05} gelten die Rechenwerte:

$$E_{0,05} = 5/6 * E_{mean}$$

$$G_{05} = 5/6 * G_{mean}$$

Letzte Arbeiten zur Abschätzung von Eigenschaftswerten dreilagiger Massivholzplatten aus Materialkennwerten und Aufbauparametern erfolgten von *Donzé* und *Niemz* /2004/. Bei dem vorgestellten Ansatz werden Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte unter Zuhilfenahme festgelegter Materialkennwerte³² berechnet.

Unter Bezug auf ein Lamellenverhältnis L_v , das abweichend von /Krug et al. 1999/ als Verhältnis der Dicke $h^{(2)}$ der Mittellage zur Dicke $h^{(1)}$ der Decklage definiert wird, konnten die Kennwerte nach folgenden Zusammenhängen berechnet werden:

³¹ Setzt man voraus, dass die zulässigen Spannungen in den letzten Zulassungen durch Abminderung der 5%-Quantile mit einem Sicherheitsfaktor von 3 berechnet wurden, so ergeben sich an dieser Stelle Basiswerte für die Biegefestigkeit von $f_{m,0} = f_{m,90} = 30 \dots 45$ N/mm².

³² Von /Donzé, Niemz 2004/ wurden $E_0 = 11000$ N/mm², $E_{90} = 450$ N/mm² und $\sigma_0 = 45$ N/mm² festgelegt (Verhältnis $E_0/E_{90} = 24$).

Elastizitätsmodul $E_{b,gesamt}$:

$$E_{b,0,gesamt} = E_0 \left(1 - \frac{L_v^3}{(L_v + 2)^3} \right) + \frac{E_{90} \cdot L_v^3}{(L_v + 2)^3}$$

$$E_{b,90,gesamt} = E_{90} \left(1 - \frac{L_v^3}{(L_v + 2)^3} \right) + \frac{E_0 \cdot L_v^3}{(L_v + 2)^3}$$

Biegefestigkeit σ_b :

$$\sigma_{b,||} = \sigma_0 \left(1 - \frac{L_v^3}{(L_v + 2)^3} + \frac{E_{90}}{E_0} \cdot \frac{L_v^3}{(L_v + 2)^3} \right)$$

$$\sigma_{b,\perp} = \left(\frac{2 \cdot \sigma_0}{L_v} + \sigma_0 \right) \left[\frac{E_{90}}{E_0} \left(1 - \frac{L_v^3}{(L_v + 2)^3} \right) + \frac{L_v^3}{(L_v + 2)^3} \right]$$

Bei einer Gegenüberstellung berechneter Werte mit Prüfergebnissen konnte für die Biegefestigkeit und den Elastizitätsmodul in der Hauptachse eine vernünftige Übereinstimmung festgestellt werden. Im Bereich der Nebenachse jedoch wurden grundsätzlich signifikant kleinere Werte berechnet – die Übereinstimmung kann hier noch nicht zufrieden stellen und muss auf dass für Nadelholz unübliche Verhältnis $E_0/E_{90}=24$ zurückgeführt werden. Zusätzlich dazu ist einschränkend anzumerken, dass das vorgestellte Berechnungsverfahren aufgrund der Verwendung des Lamellenverhältnisses L_v nur für dreilagige Platten ein und derselben Holzart angewendet werden kann.

Betrachtet man den Ansatz von *Donzé und Niemz /2004/* genauer, so lässt sich eine Übereinstimmung der Rechnungsansätze mit *Blaß, Fellmoser 2003/* feststellen, nur dass sich *Donzé und Niemz /2004/* mit Bezug auf den Einfluss der Lagendicken von einer anderen Seite nähern und ihren Berechnungsansatz aufgrund des gewählten Lamellenverhältnisses L_v (Dicke $h^{(2)}$ der Mittellage : Dicke $h^{(1)}$ der Decklage) auf die Berechnung dreilagiger Platten beschränken */Gecks 2005/*.

Mit der Darstellung des Lamellenverhältnisses L_v durch die bekannten geometrischen Größen a_1 und a_3 (vgl. Abbildung 17) als

$$L_v = \frac{h^{(2)}}{h^{(1)}} = \frac{a_1}{\left(\frac{a_3 - a_1}{2} \right)} = \frac{2a_1}{a_3 - a_1}$$

sowie

$$\frac{L_v^3}{(L_v + 2)^3} = \frac{8a_1^3}{\left(\frac{2a_1}{a_3 - a_1} \right)^3 (a_3 - a_1)^3} = \frac{a_1^3}{a_3^3}$$

und der Substitution in den Gleichungen können z.B. die nach *Blaß und Fellmoser /2003/* bekannten Formeln für die Berechnung der Biegefestigkeit in Haupt- und Nebenachse hergeleitet werden */Gecks 2005/*:

$$\sigma_{b,||} = \sigma_0 \left[1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0} \right) \frac{a_1^3}{a_3^3} \right]$$

$$\sigma_{b,\perp} = \sigma_0 \frac{a_3}{a_1} \left[\frac{E_{90}}{E_0} + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0} \right) \frac{a_1^3}{a_3^3} \right]$$

Durch den Nachweis der gleichwertigen Berechnungsmethode ist im Weiteren von gleichlautenden Ergebnissen der beiden Ansätze auszugehen.

Die Weiterentwicklung der normativen Vorgaben für eine Vorabschätzung von Plattenwerten aus Basiswerten erfolgte im Zuge der Bereitstellung charakteristischer Werte für Holzwerkstoffe im Rahmen der Normenreihe DIN V ENV 12 369. In einem früheren Stadium der Normerarbeitung /prEN 12 369:1996-04/ wurde ein Verfahren vorgestellt, das nach Fertigstellung in einer eigenen Norm DIN V ENV 14 272:2002 mündete.

Abweichend zum Berechnungsalgorithmus nach DIN 68 705-5:1980, bei dem globale Mindestbasiswerte mit Aufbau Faktoren multipliziert werden, erfolgt hier die Berechnung symmetrisch aufgebauter Sperrhölzer durch Addition der relevanten Lagenfestigkeiten³³ in der separat betrachteten Haupt- bzw. Nebenachse. Dabei können für die Schichten unterschiedliche Materialeigenschaften angesetzt werden, so dass mit dieser Methode nunmehr auch Kombinationssperrhölzer zu berechnen sind. Es ist allerdings auch hier wieder nicht vorgesehen, die mitwirkenden Steifigkeiten in den zur jeweilig betrachteten Richtung um 90° versetzten Lagen zu berücksichtigen, so dass die berechneten Ergebnisse gerade in der Nebenachse nur als Näherung anzusehen sind.

Als Basiswerte werden charakteristische Eigenschaften von 4 Holzartengruppen vorgegeben (Tabelle A.2 in DIN V ENV 14 272:2002), wobei Holzart 4 die Werte von Buche beinhaltet /Schwab 2003/.

Als weitere Besonderheit ist aufzuführen, dass die einzelnen Lagenfestigkeiten mit einem lagendickenbezogenen Verhältnis Festigkeit zu Elastizitätsmodul derjenigen Schicht (nur die relevanten Lagen werden betrachtet) berechnet werden, in der bei Bruch die kleinsten Längenänderungen $\Delta L/L$ ³⁴ auftreten.

³³ Die lagenbezogenen Eigenschaften V_n ergeben sich durch eine Multiplikation der Lageneigenschaft mit Lagendickenverhältnissen, z.B. $V_n(a_n^3 - a_{n-2}^3)/a_n^3$

³⁴ Für $\Delta L/L_{\min}$ wird bei Kombinationssperrhölzern das lagendickenbezogen niedrigste Verhältnis Festigkeit zu Elastizitätsmodul (f/E , holzartabhängig für Biegung, Druck, Zug) eingesetzt; $\Delta L/L_{\min} = (f_i/E_i^*(a_n/a_i))$ herangezogen.

2.4 Stand der Normung

2.4.1 Baurechtliche Situation in Deutschland

Mehrlagige Massivholzplatten gemäß Begriffsbestimmung nach EN 12 775:2001 sind als konstruktive, lastaufnehmende Elemente für das Bauwesen in Deutschland relativ neu.

Für den Umgang mit Bauprodukten, deren Eigenschaften nicht aus bauaufsichtlich eingeführten technischen Regeln (wie z.B. DIN 68 763:1990 oder DIN 1052:1988) abzuleiten sind, gilt in Deutschland das eingeführte „nationale Verfahren“ zum Nachweis der Verwendbarkeit von Bauprodukten (festgelegt in der Musterbauordnung (MBO) bzw. in den Länderbauordnungen, z.B. SächsBO). Danach sind mehrlagige Massivholzplatten „nicht geregelte Bauprodukte“, für die ein Übereinstimmungsnachweis geführt werden muss. Das für Massivholzplatten vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) festgelegte Verfahren ist die „allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“ (MBO § 21).

Ein Hersteller, der die Absicht hat, für seine Massivholzplatten eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) zu erlangen, muss für eine entsprechende Erteilung den Nachweis der Eignung seiner Produkte für tragende und aussteifende Funktionen erbringen. Für diesen Nachweis ist eine Stelle einzuschalten, der das DIBt die Kompetenz hinsichtlich Prüfung und Bewertung von Holzwerkstoffen für das Bauwesen zuerkannt hat.

Diese anerkannte Stelle erarbeitet einen sogenannten Arbeitsplan, den der Hersteller dem DIBt mit dem offiziellen Antrag auf allgemeine bauaufsichtliche Zulassung seiner Massivholzplatten zur Zustimmung vorlegt.

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung konstruktiver Holzwerkstoffe wird grundsätzlich an Ergebnissen von Prüfungen mittelgroßer Prüfkörper³⁵ in Haupt- und Nebenachse gebunden und muss Prüfungen vorsehen, die das Verhalten des Materials in der geplanten konstruktiven Einbausituation widerspiegeln und berechenbar machen.

In einem Arbeitsplan zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für mehrlagige Massivholzplatten sind in der Regel folgende Prüfungen enthalten:

1. Prüfung der mechanisch-physikalischen Eigenschaften (Eigenschaften bei Biegung und Scherung in Plattenebene und rechtwinklig dazu, Eigenschaften bei Zug und Druck in Plattenebene),
2. Bestimmung der Qualität der Verleimung,
3. Bestimmung der Dimensionsstabilität (Dickenquellung, Maßänderungen in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte),
4. Gesundheitliche Unbedenklichkeit (Formaldehydemission in der Prüfkammer).

Von einer Bestimmung der Dauerstandseigenschaften wird derzeit abgesehen, da nach Meinung des Sachverständigenausschusses des DIBt ausreichende Erfahrungen auf diesem Gebiet vorliegen.

Nach der Zustimmung des DIBt beauftragt der Hersteller die anerkannte Stelle mit der Realisierung des Arbeitsplanes.

³⁵ Durch die Bestimmung der stark richtungsabhängigen Eigenschaften an mittelgroßen Prüfkörpern werden Materialinhomogenitäten vergleichsweise gut kompensiert und die Prüfergebnisse spiegeln das Verhalten der Werkstoffe unter realen Bedingungen wider.

Die beauftragte Stelle zieht daraufhin zunächst Proben aus einem hinreichend umfangreichen Fertigungsposten und analysiert die personellen und technischen Voraussetzungen für eine ordnungsgemäße, baumustergetreue Produktion einschließlich der später notwendigen Eigenüberwachung. Die Prüfungen der Platten werden anhand des o.a. Arbeitsplanes abgearbeitet und in einem ausführlichen Prüfbericht dargestellt.

Die in den o.a. Prüfungen ermittelten Ergebnisse (vgl. beispielhaft Tabelle 11, Spalte 2.4.1) bilden die Grundlage für die Berechnung sowohl der Anforderungswerte (später nachzuweisen in der Eigen- und Fremdüberwachung) als auch der Rechenwerte für die Elastizitätsmoduln bzw. der zulässigen Spannungen (Grundlagen der Bemessung).

Bei der Bestimmung dieser Werte wird nach dem in Abbildung 20 dargestellten Schema verfahren.

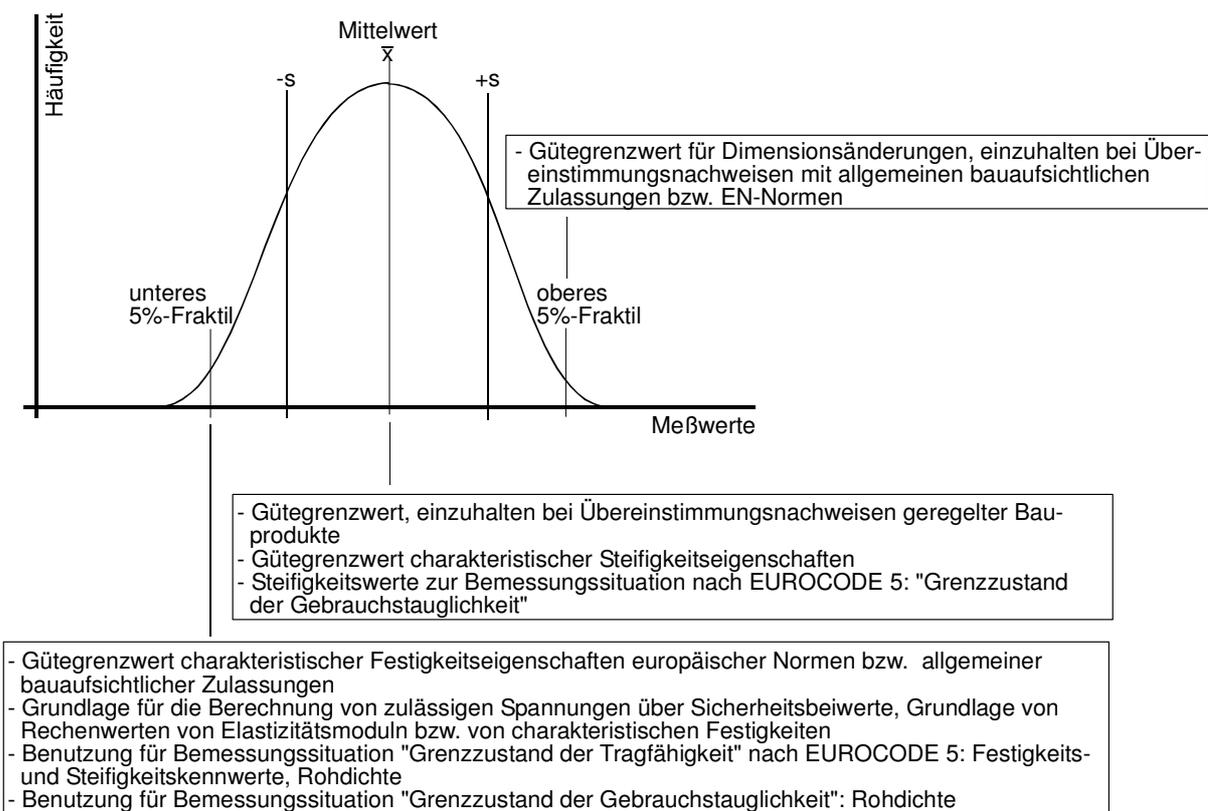


Abbildung 20 Messdatenbehandlung bei der Führung von Übereinstimmungsnachweisen im Zuge von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. bei der Bestimmung zulässiger Spannungen und charakteristischer Werte /Tobisch 1999a; Tobisch 1999c/

Aus der Verteilung der Messwerte der Stichprobe einer Eigenschaft werden die statistischen Kennzahlen "Mittelwert" und "Standardabweichung" berechnet. Es wird eine Normalverteilung der Stichprobe vorausgesetzt. Die 5%-Quantile, oder charakteristischen Werte, errechnen sich wie folgt:

unteres 5%-Quantil $L^q_{5\%} = \bar{x} - s \cdot t$

oberes 5%-Quantil $U^q_{5\%} = \bar{x} + s \cdot t$

mit \bar{x} - Mittelwert; s – Standardabweichung, t - Wert der t-Verteilung /DIN EN 326-1:1994/.

Der Wert der t-Verteilung wird aus statistischen Tabellen /z.B. Kersken-Bradley, DIN EN 326-2:2000/ entnommen. Dabei müssen die Anzahl der Messwerte, die Irrtumswahrscheinlichkeit und die Aussagewahrscheinlichkeit (i.allg. 95% - 75%) berücksichtigt werden. Die unteren 5%-Quantile werden zur Festlegung der Anforderungen hinsichtlich Festigkeiten und Elastizitätsmoduln, die oberen 5%-Quantile zur Festlegung der Anforderungen für Dimensionsänderungen benötigt (vgl. Abbildung 20).

Tabelle 11 Darstellung der Eigenschaftswerte in N/mm² für dreilagige Massivholzplatten mit paralleler Orientierung der Decklagenlamelle im Nenndickenbereich von 19 mm bis 27 mm ermittelt in Prüfungen (Spalte 1, nach /Devantier, Tobisch 1997/); zulässige Spannungen und Rechenwerte der Elastizitäts- und Schubmoduln in N/mm² (Spalte 2 nach /Tobisch, Devantier 1997/) und letztendlich in Z-9.1-413 festgelegte zulässige Spannungen und Rechenwerte der Elastizitäts- und Schubmoduln (Spalte 3)

Eigenschaft [N/mm ²]	1		2		3	
Nenndicke	19	27	19	27	19	27
Biegefestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene σ_{Bxy}	59,5	54,1	19,0	13,0	17,0	12,0
Biegefestigkeit in Plattenebene σ_{Bxz}	43,5	40,5	12,0	9,0	10,5	9,0
Zugfestigkeit in Plattenebene $\sigma_{Zx ,\perp}$	30,4	26,9	7,5	6,5	7,0	6,0
Druckfestigkeit in Plattenebene σ_{Dx}	29,9	31,6	10,0	9,0	8,5	9,0
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene τ_{xy}	6,5	5,5	2,0	1,5	2,0	1,5
Biege-E-Modul rechtwinklig zur Plattenebene E_{Bxy}	14540	15590	10000	10000	10000	10000
Biege-E-Modul in Plattenebene E_{Bxz}	16887	13905	9000	8000	9000	8000
Zug-E-Modul in Plattenebene $E_{Zx ,\perp}$	8649	9153	6500	7000	6500	7000
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene G_{xy}	1334	1103	650	650	650	650

Eine erste Festlegung von zulässigen Spannungen und Rechenwerte für die Elastizitätsmoduln erfolgt in der gutachterlichen Stellungnahme (vgl. beispielhaft Tabelle 11, Spalte 2). Kernpunkt dieser gutachterlichen Stellungnahme ist ein aus den Prüfergebnissen abgeleiteter Vorschlag für anzusetzende zulässige Spannungen und Rechenwerte der Elastizitäts- und Schubmoduln für die zuzulassenden Massivholzplatten. In der gutachterlichen Stellungnahme sind weiterhin die technologischen Gegebenheiten bei der Herstellung zu beschreiben und die technischen und personellen Voraussetzungen für eine ordnungsgemäße Fertigung zu bewerten.

Die o.a. zulässigen Spannungen bei Biege-, Zug-, Druck- und Scherbelastung werden aus den charakteristischen Werten der Werkstoffe (den 5%-Quantilen) berechnet. Da-

bei werden die charakteristischen Werte durch einen Sicherheitsbeiwert γ abgemindert. Der Sicherheitsbeiwert für die Bestimmung zulässiger Spannungen wird für Massivholzplatten derzeit mit $\gamma = 2,5$ angegeben. Bereits etablierte Holzwerkstoffe werden mit einem Sicherheitsbeiwert von $\gamma = 2$, neuartige Werkstoffe mit $\gamma = 5$ abgemindert. Für die Festlegung der einzuhaltenden Elastizitätsmoduln bzw. der Grenzwerte von Dimensionsänderungen werden in der Regel die rechnerisch ermittelten Mittelwerte direkt herangezogen.

Aus den Vorschlägen der gutachterlichen Stellungnahme werden dann in der Sitzung des Sachverständigenausschusses im DIBt die endgültigen Bemessungswerte der Platten für die zu erteilende allgemeine bauaufsichtliche Zulassung festgelegt (vgl. Tabelle 11, Spalte 3).

Unter Berücksichtigung der Bewertung der gutachterlichen Stellungnahme und der erarbeiteten Werte erarbeitet das DIBt die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das bezeichnete Produkt. Die Zulassung enthält in den allgemeinen und den besonderen Bestimmungen die Spezifikation der bezeichneten Massivholzplatten, die Beschreibung des Aufbaus und der Verklebung, die Festlegungen über die Anforderungskennwerte und den zu führenden „Übereinstimmungsnachweis“ sowie die Bestimmungen für die Bemessung (zulässige Spannungen, Rechenwerte für die Elastizitätsmoduln), die ihrerseits die Berechnungsgrundlage für die Anwender der Massivholzplatten bilden.

In den Regelungen zum Übereinstimmungsnachweis³⁶ sind die Anforderungen an die werkseigene Produktionskontrolle und die Fremdüberwachung festgelegt. Die Fremdüberwachung muss der Hersteller mit einer dafür zugelassenen Stelle vertraglich absichern, die im jährlich aktualisierten Verzeichnis der „Stellen zur Einschaltung beim Nachweis der Übereinstimmung nicht geregelter Bauprodukte und Bauarten mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung“ unter der lfd. Nr. 3.2/1 aufgeführt sind.

Die Fremdüberwachung beginnt mit einer sogenannten Erstprüfung durch die Überwachungsstelle, bei der die Einhaltung der in der Zulassung angegebenen Werte nachgewiesen werden muss. Liegt dieser Nachweis vor, stellt die Zertifizierungsstelle dem Hersteller ein Übereinstimmungszertifikat aus, wonach der Hersteller berechtigt und verpflichtet ist, die Übereinstimmung seiner Massivholzplatten mit den Bestimmungen der Zulassung durch das Übereinstimmungszeichen (Abbildung 21) zu kennzeichnen.

³⁶ Für tragende und aussteifende Massivholzplatten ist im Verzeichnis für nichtgeregelter Bauprodukte unter „Leimholz, Mehrschichtplatten, Furnierschichtholz“ als Übereinstimmungsnachweis die Überwachung und Zertifizierung vorgeschrieben.



Abbildung 21 Übereinstimmungszeichen zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von dreilagigen Massivholzplatten MULTISTAT der Fa. Binder

Halbjährlich ist in der Regel eine Fremdüberwachung durchzuführen, bei der nach den Bestimmungen der Zulassung Proben zu ziehen und die Ergebnisse der Eigenüberwachung zu kontrollieren sind. Die durch die Überwachungsstelle ermittelten Werte sind der Zertifizierungsstelle vorzulegen, die dem Hersteller bei Einhaltung der Anforderungen die Weitergeltung der Übereinstimmung bestätigt. Ist das nicht der Fall, muss die Zertifizierungsstelle Nachprüfungen oder andere geeignete Maßnahmen veranlassen.

Während der Herstellung zugelassener Massivholzplatten sind in der Eigenüberwachung folgende Produkteigenschaften zu prüfen und bezüglich der in der Zulassung vorgegebenen Anforderungswerte unter Kontrolle zu halten:

Tabelle 12 Art und Häufigkeit der in der Eigenüberwachung bauaufsichtlich zugelassener mehrlagiger Massivholzplatten nachzuweisenden Eigenschaften

nachzuweisende Eigenschaft	Anzahl der Proben	Häufigkeit
Festigkeit bei Biegung senkrecht zur Plattenebene nach DIN EN 789:2005	3 Proben mit senkrechter- bzw. paralleler Orientierung der Decklagen	jede Produktionsschicht
Elastizitätsmodul bei Biegung senkrecht zur Plattenebene nach DIN EN 789:2005	3 Proben mit senkrechter- bzw. paralleler Orientierung der Decklagen	jede Produktionsschicht
Binfestigkeit der Verleimung im Aufstechversuch nach DIN 53 255:1964, Vorbehandlung nach DIN 68 705-4:1981, Plattentyp BST 100	5 Proben	jede Produktionsschicht

Die Ergebnisse der Prüfungen, die in jeder Schicht, in der zugelassenen Massivholzplatten hergestellt werden, durchgeführt werden müssen, sind konsequent zu dokumentieren und mindestens 5 Jahre aufzubewahren. Die vorgegebene Güte der Lamellen und die Art des verwendeten Leimes ist einzuhalten. Alle zugelassenen Platten sind vor Auslieferung mit dem Übereinstimmungszeichen unverwechselbar zu kennzeichnen.

Die Praxis der derzeit geführten Verfahren zur Erlangung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen von „neuen“ plattenförmigen Holzwerkstoffen spiegelt den Stand der Technik adäquat wider, da, anders als bei lang etablierten Holzwerkstoffen, für die Bestimmung der Anforderungskennwerte im allgemeinen gültige europäischen Normen

zugrunde liegen. Nur dort, wo es noch keine gültigen europäische Normen oder Normentwürfe gibt, wird auf DIN-Normen zurückgegriffen.

Die Übereinstimmung von Massivholzplatten mit den Anforderungen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung wird nicht nur an einer definierten Technologie der Herstellung der Massivholzplatten (verwendete Hölzer, Leimsysteme, Verarbeitungsparameter und Dimensionen), sondern vor allem an der Einhaltung der mechanisch-physikalischen Anforderungskennwerte und der Verleimungsqualität gemessen.

Tabelle 13 gibt einen Überblick über die derzeit in Deutschland für drei- und mehrlagige tragende Massivholzplatten erteilten bauaufsichtlichen Zulassungen

Tabelle 13 Übersicht über derzeit in Deutschland bauaufsichtlich zugelassene mehrlagige Massivholzplatten aus Nadelholz

Hersteller	Z-9.1- ...	Bemerkung
SchwörerHaus KG	209	dreilagige Platten aus Nadelholz mit Nenndicken von 16 bis 42 mm
Kaufmann Holzbauwerk GmbH	242	drei- und fünflagige Platten aus Nadelholz mit Nenndicken von 20 bis 75 mm, schmale Lamellen (Blockverleimung)
Dold Südwestdeutsche Sperrholzwerte GmbH	258	drei- und fünflagige Platten aus Nadelholz mit Nenndicken von 13 bis 80 mm, fünflagige Platten teilweise mit 2 bzw. 3 parallel liegenden Deck- bzw. Innenlagen
Tilly Holzindustrie	320	dreilagige Platten aus Nadelholz mit Nenndicken von 17 bis 50 mm
Merk Holzbau GmbH&Co.	354, 501	drei- bis 17lagige Großformatplatten (MDH) aus Nadelholz mit Nenndicken von 51 bis 300 mm, Abmessungen bis zu 4,8 m (B) x 30 m (L), Verwendung von teilweise in der Längsachse geschlitzten Lamellen
Holzwerke Pröbstl GmbH	376	drei- und fünflagige Platten mit Nenndicken von 12 bis 54 mm
Wiesner-Hager Baugruppe GmbH	394	drei- und fünflagige Platten aus Nadelholz mit Nenndicken von 17 bis 42 mm
Gebrüder HeiBerer Holzverarbeitung GmbH	401	dreilagige Platten aus Nadelholz mit Nenndicken von 15 bis 80 mm, teilweise geschlitzte Mittellagen
Haas Fertigungsbau GmbH	404	drei- und fünflagige Platten aus Nadelholz mit Nenndicken von 13 bis 56 mm
Binder Holz, Franz Binder GmbH	413	drei- und fünflagige Platten mit Nenndicken von 19 bis 54 mm
Nordpan SPA AG	465	drei- und fünflagige Platten aus Nadelholz mit Nenndicken von 13 bis 49 mm
Holzwerke Gmach GmbH & Co. KG	477	dreilagige Platten aus Nadelholz mit Nenndicken von 16 bis 42 mm
KLH Massivholz GesmbH	482	drei- bis 27lagige Großformatplatten aus Nadelholz mit Nenndicken von 57 bis 500 mm, Abmessungen bis zu 3 m (B) x 16,5 m (L), ggf. auch Verwendung von Holzwerkstoffen nach BFL ³⁷ A1 oder nach ABZ ³⁸ anstelle der Brettlagen möglich
Schilliger Holz AG	492	dreilagige Großformatplatten mit einer Nenndicke von 60 mm, Abmessungen bis zu 3 m (B) x 12,5 m (L)
Agrop Nova A.G.	572	dreilagige Platten aus Nadelholz mit Nenndicken von 19 bis 42 mm
Woodtec Fankhauser GmbH	576	drei- und mehrlagige Massivholzplatten mit Nenndicken von 60 bis 200 mm, Abmessungen bis zu 2,5 m (B) x 20 m (L)
Ludwig Kuntz GmbH	596	dreilagige Platten aus Nadelholz in zwei Werkstypen mit Nenndicken von 15 bis 52 mm
Holzindustrie Pfeifer	612	dreilagige Platten aus Nadelholz in zwei Werkstypen mit Nenndicken von 19 bis 42 mm

³⁷ Bauregelliste

³⁸ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

2.4.2 Europäische Normung

In Deutschland existieren zur Zeit keine Anforderungsnormen für mehrlagige Massivholzplatten. In der Folge orientieren sich Massivholzplattenhersteller daher oftmals an den nachfolgend aufgeführten österreichischen Produktnormen³⁹, in denen Arten, Anforderungen und Prüfungen für ein- und mehrlagige Massivholzplatten sowie Betonschalungsplatten geregelt sind:

- ÖNORM B 3021:1991: Einschichtige Massivholzplatten (Dicke 14 - 60 mm)
 - durchgehende (D) oder längsgeteilte (G) Lamellen
 - Definition der Sortierkriterien und Güteklassen A, B, C für Nadelholzlagen (Fichte, Kiefer, Lärche), Holzartenmischung innerhalb einer Platte sind zulässig
 - Verleimungsqualität für übliche Klimaansprüche (z.B. Innenräume VI oder erhöht beständige Verleimung EVI) bzw. für erhöhte Klimaansprüche (VF)
 - Nachweis der Bindefestigkeit der Verleimung über Zugscherfestigkeit der Leimfugen nach verschiedenen Lagerungsfolgen gemäß DIN 53 254:1987
 - Feuchtegehalt 6 – 10 %, Formaldehydemission $\leq 0,1$ ppm
- ÖNORM B 3022:1991: Mehrschichtige Massivholzplatten (Dicke 12 - 60 mm)
 - wie ÖNORM B 3021:1991
 - drei- (S3) und mehrschichtiger (Sx) Aufbau, verleimte (v) oder unverleimte (uv) Decklagenfugen sind zulässig
 - Definition der Sortierkriterien und Güteklassen A, B, C für Deck- und Mittellagen (Fichte, Kiefer, Lärche), Mindestdicke der Decklagen 3,5 mm
 - zusätzliche Festlegung von nachzuweisenden Anforderungswerten der Biegefestigkeit für Platten aus Nadel-, Weichlaub- und Hartlaubhölzern
 - Biegefestigkeit dreilagiger Nadelholzplatten Hauptachse 30 N/mm², Nebenachse 10 N/mm²
 - Nachweis der Qualität der Verleimung im Aufstechversuch
- ÖNORM B 3023:1991: Dreischichtige Betonschalungsplatten (Dicke 21 - 27 mm)
 - wie ÖNORM B 3021:1991 bzw. 3022:1991, zusätzlich grundsätzliche Festlegung auf Nadelhölzer
 - Platten mit glatten (GL) bzw. strukturierten (STR) Oberflächen
 - Festlegung von Gütebedingungen, Lamellen müssen in der Länge durchgehend oder durch Keilzinkung gestoßen sein
 - Decklagendicke mindestens 5 mm, jedoch nicht größer als die Mittellage
 - geforderter Nachweis der Verleimungsqualität im Aufstechversuch nach Lagerungsfolge 6 der DIN 53 255:1964
 - Festlegung von nachzuweisenden Anforderungswerten für Biegefestigkeit und Biege-E-Modul
 - Feuchtegehalt (9 – 15%)

Die angeführten Produktnormen für ein- und dreischichtige Massivholzplatten nehmen Bezug auf die Prüfnorm ÖNORM 3024:1992, nach der sich die Prüfungen zur Beurteilung der Qualität o.g. Werkstoffe regeln. In dieser Norm werden die Prüfbedingungen zur Bestimmung der Plattenabmessungen, des Feuchtegehaltes, der Rohdichte, der Zugscherfestigkeit und des Aufstechversuches zum Nachweis der Bindefestigkeit der Verleimung sowie der Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene festgelegt.

³⁹ Bis dato gibt es nur in Österreich nationale Normen für ein- und mehrlagige Massivholzplatten.

Als nachteilig erweist es sich, dass in den o.g. Normen für dreilagige Massivholzplatten und Betonschalungsplatten keine charakteristischen Werte für mechanisch-physikalische Eigenschaften angegeben werden, die zur Berechnung und Auslegung von Baukonstruktionen unter Verwendung dieser Werkstoffe herangezogen werden können.

Seit geraumer Zeit sind die Bestrebungen zur Schaffung eines freien europäischen Wirtschaftsraumes im Gang. 1989 erfolgte für Bauprodukte eine erste Regelung zum freien Verkehr und Handel zwischen den Mitgliedsstaaten. Die Richtlinie zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften zwischen den Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG und Änderung 93/68/EWG), als Rahmenrichtlinie ausgelegt, sah den freien Verkehr von Bauprodukten innerhalb der Mitgliedsstaaten dann vor, wenn diese Bauprodukte den wesentlichen, europäisch abgestimmten Anforderungen an Bauwerke hinsichtlich der mechanischen Festigkeit und Standsicherheit (WA 1), des Brandschutzes (WA 2), der Hygiene, Gesundheit und des Umweltschutzes (WA 3), der Nutzungssicherheit (WA 4), des Schallschutzes (WA 5) sowie der Energieeinsparung und des Wärmeschutzes (WA 6) entsprechen. Durch das deutsche Bauproduktengesetz (BauPG) vom 28. April 1998 und die Bauordnungen der Länder wurde deutschlandweit das Inverkehrbringen von und der Handel mit Baustoffen, Bauteilen und Anlagen, die dauerhaft in Anlagen eingebaut werden sollen (=Bauprodukte) im Sinne der Bauproduktenrichtlinie geregelt. Danach ist gleichzeitig zwingend vorgeschrieben, dass Bauprodukte im Sinne der Bauproduktenrichtlinie „brauchbar“ sind, dass also deren Konformität mit den wesentlichen Anforderungen gegeben ist. Diese Brauchbarkeit kann vermutet werden, wenn die Bauprodukte europäischen technischen Spezifikationen, in diesem Fall also einer europäisch harmonisierten Norm oder einer europäisch-technischen Zulassung (ETA), entsprechen und CE-gekennzeichnet sind /Tobisch 2003/.

Zur Einhaltung der wesentlichen Anforderungen durch die Bauprodukte wurde dem europäischen Normungsgremium (CEN) daher der Auftrag (das Mandat) erteilt, eine solche harmonisierte Norm für Holzwerkstoffe zum Einsatz im Bauwesen zu erstellen. Das für Holzwerkstoffe erteilte Mandat M 113 enthält konkrete Eigenschaften, die in der harmonisierten Norm zur Umsetzung der wesentlichen Anforderungen enthalten sein müssen. Für die wesentliche Eigenschaft "Mechanische Festigkeit und Standsicherheit" (WA 1) sind dies beispielsweise Biegefestigkeit und Querkzugfestigkeit. Unter "Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz" (WA 3) versteht man u.a. die Formaldehydabgabe und den PCP-Gehalt /Trepkau 2003/. Durch umfangreiche Lobbyarbeit und ein Forschungsprogramm der EPF konnte es erreicht werden, die durch die harmonisierte Norm erfassten Holzwerkstoffe bei bestimmten Voraussetzungen (wie z.B. Mindestdicke, Mindestrohichte) ohne weitere Prüfungen in bestimmte Brandverhaltensklassen einzustufen (CWFT – Classification Without Further Testing).

Diese Bemühungen mündeten in der durch das technische Komitee CEN/TC 112 „Holzwerkstoffe“ erarbeiteten, seit September 2002 gültigen Norm EN 13 986 „Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung“.

EN 13 986:2005 stellt die Einhaltung der wesentlichen Anforderungen an Bauwerke durch unbeschichtete, beschichtete und furnierte oder lackierte Holzwerkstoffe als tragende oder nichttragende Bauteile bei Innen- oder Außenverwendung sicher. Interessanterweise werden beschichtete Platten als Holzwerkstoffe mit einer oder mehreren Beschichtungen oder Filmen definiert, die beispielsweise mit imprägniertem Papier, Kunststoff, Kunstharzfolie, Metall oder dekorativem Furnier überzogen sind und somit durchaus auch in den Bereich der Laminatbodenhersteller fallen können.

Als Geltungsbereich der Norm werden alle herkömmlichen plattenförmigen Holzwerkstoffe angegeben ⁴⁰.

Die harmonisierte Norm legt in den Tabellen 1 bis 7 erforderliche Leistungseigenschaften für die entsprechenden Anwendungsbereiche der Holzwerkstoffe fest:

1. Innenverwendung als tragende Bauteile im Trockenbereich,
2. Innenverwendung als tragende Bauteile im Feuchtbereich,
3. Verwendung als tragende Bauteile im Außenbereich,
4. Innenverwendung als nichttragende Bauteile im Trockenbereich,
5. Innenverwendung als nichttragende Bauteile im Feuchtbereich,
6. Verwendung als nichttragende Bauteile im Außenbereich und
7. Innenverwendung als tragender Unterboden auf Lagerhölzern, tragende Dachschalung auf Balken sowie als tragende Wandbeplankung auf Rippen.

Tabelle 14 Nach EN 13 986:2005 für bestimmte Holzwerkstoffe mit festgelegten Mindesteigenschaften (Rohdichte, Dicke) deklarierbare Brandverhaltensklassen, die ohne weiteren Nachweis durch eine dafür zugelassene Stelle durch die Hersteller übernommen werden können

Holzwerkstoffe ^a	EN Produktnorm	Mindestrohichte kg/m ³	Minstdicke mm	Klasse ^b mit Ausnahme von Bodenbelägen	Klasse ^c Bodenbeläge
OSB	EN 300:1997	600	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Spanplatten	EN 312:2003	600	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Faserplatten, hart	EN 622-2:2004	900	6	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Faserplatten, mittelhart	EN 622-3:2004	600	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
		400	9	E, bestanden	E _{FL}
Faserplatten, porös	EN 622-4:1997	250	9	E, bestanden	E _{FL}
Faserplatten nach dem Trockenverfahren, MDF	EN 622-5:1997	600	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
zementgebundene Spanplatten ^d	EN 634-2:1996	1000	10	B-s1, d0	B _{FL} -s1
Sperrholz	EN 636:2003	400	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Massivholzplatten	EN 13 353:2003	400	12	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Die in dieser Tabelle angegebenen Klassen gelten für einzelne Platten, für gespundete und nach EN V 12 872:2000 verlegte Platten sowie für Platten, die nach EN V 12872:2000 mit rundum aufliegenden Fugen verlegt sind.					
^a Plattenförmige Holzwerkstoffe, die ohne Luftspalt direkt auf ein Material der Klasse A1 oder A2-s1, d0 mit einer Mindestdichte von 10 kg/m ³ oder wenigstens der Klasse D-s2, s0 mit einer Mindestdichte von 400 kg/m ³ befestigt sind.					
^b Klassen entsprechen der Entscheidung der Kommission 2000/147/EC, Anhang, Tabelle 1					
^c Klassen entsprechen der Entscheidung der Kommission 2000/147/EC, Anhang, Tabelle 2					
^d Zementgehalt mindestens 75 % Masseprozent					

Zusätzlich dazu sind in diesen Tabellen explizit diejenigen Holzwerkstoffe angeführt, die in den speziellen Anwendungsbereichen zum Einsatz kommen dürfen (für tragende Bauteile im Außenbereich z.B. nur Massivholzplatten, Sperrholz und zementgebundene Spanplatten).

⁴⁰ OSB nach EN 300:1997; kunstharzgebundene Spanplatten nach EN 312:2003; Faserplatten nach dem Nassverfahren nach EN 622-2 bis -4; Faserplatten nach dem Trockenverfahren nach EN 622-5:1997; Sperrholz nach EN 636-1 bis -3; zementgebundene Spanplatten nach EN 634; Massivholzplatten nach EN 13 353:2003; Furnierschichtholz (LVL) nach EN 14 279:2005:2005-03 (Die harmonisierte Norm gilt erst dann auch für LVL, wenn eine entsprechende Produktnorm veröffentlicht worden ist).

Die erforderlichen Leistungseigenschaften sind in der regelmäßigen werkseigenen Produktionskontrolle durch den Hersteller nachzuweisen.

EN 13 986:2005 räumt weiterhin die Möglichkeit ein, zusätzliche Leistungseigenschaften entweder nach Tabellen zu erklären (vgl. für das Brandverhaltens z.B. Tabelle 14; ein entsprechender Nachweis durch Prüfung kann für den Hersteller damit entfallen), oder in genormten Prüfverfahren zu bestimmen ⁴¹.

Für den Nachweis der Konformität der als Bauprodukte in Verkehr gebrachten Holzwerkstoffe schreibt EN 13 986:2005, mit Bezug auf die Bauproduktenrichtlinie, die in Tabelle 15 aufgeführten Systeme der Konformitätsbescheinigung (AoC) 1, 2+, 3 und 4 vor. Hier sind gleichfalls die im Rahmen der verschiedenen Konformitätsnachweisverfahren sowohl vom Hersteller als auch von der notifizierten Stelle durchzuführenden Handlungen dargestellt.

Für alle Bauprodukte im Sinne der EN 13 986:2005, die im Laufe ihres Herstellungsprozesses eine Veränderung des Brandverhaltens erfahren, gilt grundsätzlich der Nachweis der Übereinstimmung mit der harmonisierten Norm nach System 1 (vgl. dazu im weiteren Tabelle 16). Tragende Holzwerkstoffe, für die es im Produktionsprozess nicht zu einer Verbesserung des Brandverhaltens kommt oder deren Brandverhaltensklasse der Tabelle 8 der EN 13 986:2005 entnommen werden kann ⁴², unterliegen zur CE-Kennzeichnung dem Nachweis der Konformität nach System 2+. Für nichttragende Holzwerkstoffe, deren Einstufung des Brandverhaltens nach Tabelle 8 der harmonisierten Norm (vgl. dazu nochmals Tabelle 14) möglich ist, wird die Konformität nach System 4 belegt.

Tabelle 15 Aufgaben des Herstellers bzw. der notifizierten Stelle beim Nachweis der Konformität nach den unterschiedlichen Systemen (AoC) /EN 13 986:2005/

AoC	Aufgaben des Herstellers	Aufgaben der notifizierten Stelle	Status
1	<ul style="list-style-type: none"> - werkseigene Produktionskontrolle - Stichprobenprüfung nach festgelegtem Prüfplan 	<ul style="list-style-type: none"> - Erstprüfung des Produkts - Erstinspektion des Werkes und der werkseigenen Produktionskontrolle - laufende Überwachung der werkseigenen Produktionskontrolle 	Zertifizierung der Konformität des Produktes durch eine zugelassene Zertifizierungsstelle
2+	<ul style="list-style-type: none"> - Erstprüfung des Produkts - werkseigene Produktionskontrolle - Stichprobenprüfung nach festgelegtem Prüfplan 	<ul style="list-style-type: none"> - Zertifizierung der werkseigenen Produktionskontrolle auf Basis einer Erstinspektion und der laufenden Überwachung der werkseigenen Produktionskontrolle 	
3	<ul style="list-style-type: none"> - werkseigene Produktionskontrolle 	<ul style="list-style-type: none"> - Erstprüfung des Produkts 	
4	<ul style="list-style-type: none"> - Erstprüfung des Produkts - werkseigene Produktionskontrolle 	/	

Die werkseigene Produktionskontrolle der Erzeugnisse durch den Hersteller ist bei allen angeführten Konformitätsnachweisverfahren eine Grundvoraussetzung für die Bestätigung der Brauchbarkeit der Bauprodukte nach der harmonisierten Norm.

⁴¹ Brandverhalten, Wasserdampfdurchlässigkeit, Luftschalldämmung, Schallabsorption, Wärmeleitfähigkeit, biologische Dauerhaftigkeit und Gehalt an Pentachlorphenol (wenn > 5 mg/kg)

⁴² Beachte hier die vorgeschriebenen Mindestdicken und Mindestrohndichten der Werkstoffe!

Tabelle 16 Festlegung der für Holzwerkstoffe in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen zu führenden Konformitätsnachweisverfahren (EN 13 986:2005, Tabelle ZA.1)

Produkte	Verwendungszweck	Euroklassen Brand	Systeme der Konformitätsbescheinigung (AoC)
Holzwerkstoffe unbeschichtet, beschichtet und furniert oder lackiert	tragende Bauteile bei Innen- oder Außenanwendung	A2 ^{a)} , B ^{a)} , C ^{a)}	1
		A2 ^{b)} , B ^{b)} , C ^{b)} , D, E, (B bis E) ^{c)} , F	2+
	nichttragende Bauteile bei Innen- oder Außenanwendung	A2 ^{a)} , B ^{a)} , C ^{a)}	1
		A2 ^{b)} , B ^{b)} , C ^{b)} , D, E	3
		(A2 bis E) ^{c)} , F	4
a) Produkte / Materialien, die bei ihrer Herstellung eine genau bestimmte Behandlung erfahren, die zu einer besseren Einstufung ihres Brandverhaltens führt (z.B. Zugabe eines Flammschutzmittels oder Begrenzung des Gehalts an organischen Substanzen) b) Produkte / Materialien, auf die Fußnote a) nicht zutrifft. c) Produkte / Materialien, bei denen eine Prüfung des Brandverhaltens nicht erforderlich ist (z.B. Produkte / Materialien der Klasse A1 nach der geänderten Entscheidung 96/603/EWG)			

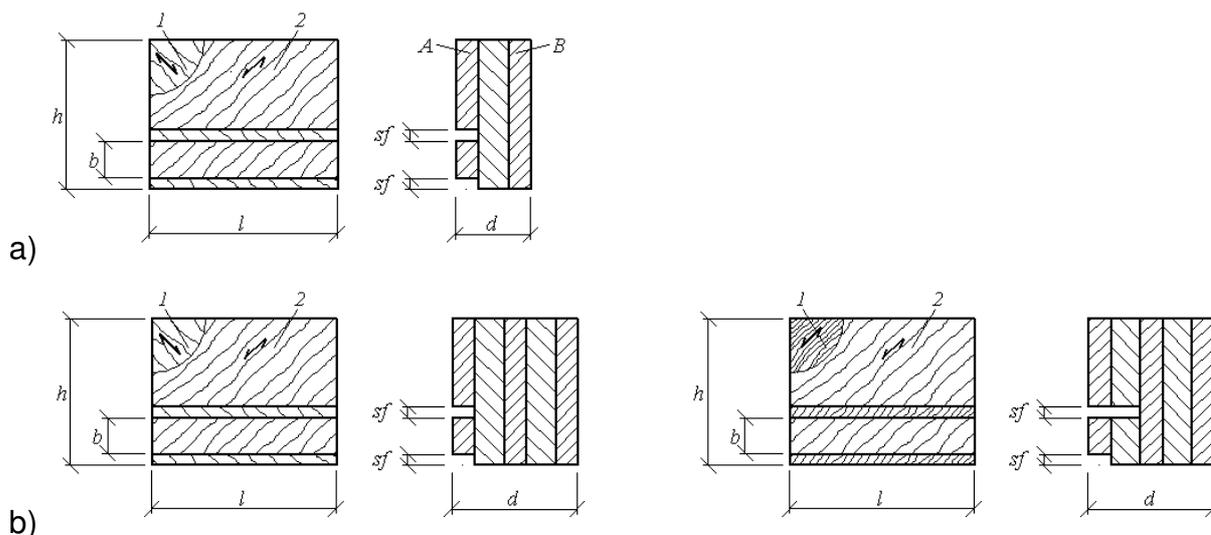
Bei brandgeschützten tragenden bzw. nichttragenden Holzwerkstoffen nach AoC 1 ist es Aufgabe der notifizierten Stelle, in der Erstprüfung das Brandverhalten zu bestimmen. Nach erfolgter Erstinspektion des Werkes (sie kann bei neuen Produkten mit einer Stichprobenprüfung verbunden sein) und der laufenden Überwachung der Eigenüberwachung stellt die notifizierte Stelle ein Konformitätszertifikat für das Produkt aus, auf dessen Grundlage der Hersteller die CE-Kennzeichnung vornehmen kann.

Tragende Holzwerkstoffe ohne brandhemmende Ausrüstungen bedürfen einer Erstprüfung durch den Hersteller (AoC 2+). Diese Erstprüfung kann bei eingeführten Produkten durch einen Nachweis der Übereinstimmung mit den Anforderungswerten der jeweiligen Produktnorm auf der Basis der vorliegenden Eigen- und Fremdüberwachungsergebnisse erfolgen. Bei neuen Erzeugnissen sind die erforderlichen Leistungseigenschaften nach den Tabellen 1, 2, 3 und 7 der EN 13 986:2005 durch Prüfungen der Produkttypen in den entsprechenden Dickenbereichen zu ermitteln. Es kann ggf. notwendig werden, in Abstimmung mit der notifizierten Stelle weitere Eigenschaften nach einem festgelegten Prüfplan zu bestimmen. Die notifizierte Stelle zertifiziert die werkseigene Produktionskontrolle nach erfolgter Erstinspektion des Werkes im Zuge der laufenden Überwachung – der Hersteller kann nun das CE-Kennzeichen anbringen.

Für nichttragende Holzwerkstoffe, deren Brandverhalten nach Tabelle 8 der harmonisierten Norm eingestuft werden kann, liegt die Verantwortlichkeit allein beim Hersteller der Produkte. Nach erfolgter Erstprüfung kann der Hersteller bei laufender werkseigener Produktionskontrolle das CE-Kennzeichen vergeben.

Durch die Verweis der harmonisierten Norm auf Massivholzplatten sind sowohl ein gültiger Produktstandard als auch alle mit dem Nachweis der Plattenqualität verbundenen Prüfnormen notwendig.

Das Sekretariat der für Massivholzplatten verantwortlichen Arbeitsgruppe (WG) 9 des CEN/TC 112 wird von Österreich gehalten. Neben den Normen, die sich mit der Klassifikation und Terminologie (EN 12 775:2001) bzw. mit der Klassifizierung mehrlagiger Massivholzplatten nach dem Aussehen der Oberfläche (EN 13 017-1:2001 für Nadelholzplatten; EN 13 017-2:2001 für Laubholzplatten) beschäftigen, hat die WG 9 die maßgebliche Produktnorm EN 13 353:2003 „Massivholzplatten – Anforderungen“ und die Prüfnorm CEN/TS 13 354:2003 „Massivholzplatten – Qualität der Verklebung – Prüfverfahren“ erarbeitet.



- 1 Faserverlauf der Mittellage
- 2 Faserverlauf der Decklage
- l Scherlänge und Länge des Prüfkörpers: 50 mm
- h Höhe des Prüfkörpers: 40 mm
- b Scherbreite: 10 mm
- t Auflagerbreite (entspricht der Dicke der Decklage)
- sf Schnittfugenbreite (ca. 3 mm)
- d Plattendicke

Abbildung 22 Druckscherprüfkörper aus mehrlagigen Massivholzplatten, a) dreilagige Massivholzplatte; b) fünflagige Massivholzplatte nach CEN/TS 13 354:2003

EN 13 353:2003 gilt für Massivholzplatten gemäß EN 12 775:2001 für einen Einsatz im Trocken- (SWP 1⁴³), Feucht- (SWP 2) und Außenbereich (SWP 3).

Die Qualität der Verklebung ist im Druckscherversuch gemäß CEN/TS 13 354:2003 zu bestimmen.

Die Erarbeitung der Prüfnorm CEN/TS 13 354:2003 erfolgte auf der Grundlage einer umfangreichen Arbeit von /Teischinger et al. 1998/. Auf der Basis des bestehenden österreichischen Normenwerks untersuchten die Autoren verschiedene bestehende Prüfverfahren, Lagerungsfolgen und Probekörperformen auf ihre Eignung hin, die für den Nachweis der Verleimungsqualität 1- und dreilagiger Massivholzplatten herangezogen zu werden. Vor dem Hintergrund des Herstellungsaufwandes bei der werkseigenen Produktionskontrolle entwickelten sie eine neue Druckscherprobe. Die ausgewählten bestehenden bzw. neuen Verfahren wurden an Industrieplatten getestet, wobei auf die Variation der verwendeten Klebstoffsysteme geachtet wurde (PVAc-, UF-, MUF- und PFR-gebundene Massivholzplatten). Alle Proben wurden vor jeder Lagerungsfolge einem 30 minütigen Vakuum ausgesetzt. Nach den Lagerungsfolgen wurden die Durchfeuchtungsgeschwindigkeit und die Wasseraufnahme bewertet und die eigentlichen Prüfungen durchgeführt. Als Ergebnis dieser Untersuchungen gibt daher CEN/TS 13 354:2003 die Prüfung von unter 45 ° eingeschnittenen Druckscherproben (Abbildung 22) nach den drei Lagerungsfolgen (Tabelle 17) vor.

EN 13 353:2003 unterscheidet zwischen ein- und dreilagigen Massivholzplatten für tragende bzw. nichttragende Zwecke. Für einlagige Platten ist, nach den Lagerungsfolgen gemäß Tabelle 17, das 5%-Fraktile der Scherfestigkeit mit mindestens 2,5 N/mm² nach-

⁴³ Bezeichnung der sog. technischen Klasse (Solid Wood Panel)

zuweisen (Schmalflächenverklebung der Lamellen); bei dreilagige Platten muss die Scherfestigkeit der Flächenverklebung zwischen den Lagen mindestens 0,8 N/mm² betragen (auch hier als 5%-Fraktile).

Tabelle 17 Vorbehandlung von einlagigen und mehrlagigen Massivholzplatten für die Verklebungsklassen zur Verwendung im Trocken-, Feucht- oder Außenbereich nach CEN/TS 13 354:2003

Verklebungsklasse Anwendungsbereich	Vorbehandlung ¹⁾		
	1	2	3
SWP 1: Trockenbereich	24 h Kaltwasser (20 °C), Vakuuminprägnierung		
SWP 2: Feuchtbereich		6 h Kochen, mindestens 1 h Kühlen in Wasser 20 °C	
SWP 3: Außenbereich			4 h Kochen – 16-20 h Trocknen 60 °C – 4 h Kochen – Kühlen in Wasser 20 °C

1) Details über die Vorbehandlungen siehe EN 314-1:2005

Für nichttragenden Platten ist die regelmäßige Bestimmung mechanisch-physikalischer Eigenschaften nicht obligat. Ein erster Vorschlag entsprechender, in der werkseigenen Produktionskontrolle an mittelgroßen Prüfkörpern nachzuweisender, Werte ist in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18 Vorschlag für charakteristische Mindestwerte für Dichte, Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit für mehrlagige Massivholzplatten für tragende Zwecke nach EN 13 353:2003 (ANMERKUNG: Der charakteristische Biege-Elastizitätsmodul-Wert von 9000 und 6500 N/mm² entspricht Mittelwerten von 11000 und 8000 N/mm²).

Eigenschaft	Nennstärke (mm)		
	≤ 20	> 20 to 30	> 30
Dichte (kg/m ³)	420	420	420
Biegefestigkeit (N/mm ²)	32.0	27.0	1)
Biege-Elastizitätsmodul (N/mm ²)	9000	6500	1)

1) Der Minimalwert ist durch den Hersteller anzugeben.

Für die Bestimmung weiterer Werte gibt die Norm in Anhang A, Tabelle A.1, die heranzuziehenden Prüfstandards an.

Durch den Bezug der harmonisierten Norm EN 13 986:2005 auf die Normenreihe EN 12 369, die charakteristische Werte für alle in Europa als „Bauprodukte“ eingestuft platteförmigen Holzwerkstoffe vorgibt (Teil 1 für OSB, Spanplatten und Faserplatten, Teil 2 für Sperrholz, vorgesehener Teil 3 für Massivholzplatten) können die zur Berechnung und Auslegung von Baukonstruktionen notwendigen Werte direkt diesen Normen entnommen werden.

Zusätzlich dazu bietet EN 13 986:2005 dem Hersteller die Möglichkeit, für seine Produkte bessere Werte (z.B. für mechanisch-physikalische, hygrische oder wärmeschutztechnische Eigenschaften), als in EN 12 369 vorgegeben, anhand von Prüfungen auf statistisch gesicherter Basis (z.B. EN 1058:1996) selbst zu deklarieren. Die oberste deutsche Bauaufsichtsbehörde geht dabei davon aus, dass die Eigendeklaration von Werten nur für solche Platten erfolgen kann, die durch den Bereich der Produktnormen abgedeckt und wesentlich (wertmäßig nach oben!) davon abweichen. „Neue“ Produkte,

deren vorgesehener Verwendungszweck und/oder deren stoffliche Zusammensetzung von EN 13 986:2005 abweichen, benötigen eine europäische technische Zulassung.

Da momentan für Massivholzplatten noch kein Normenwerk zu Vorgabe charakteristischer Eigenschaften (hier: EN 12 369-3; auf die Arbeiten des Verfassers zur Bereitstellung derartiger Werte wird unter Punkt 3.1 detailliert eingegangen) existiert, bietet sich derzeit nur die CE-Kennzeichnung aufgrund von eigendeklarierten Werte an. Ob die in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bestimmten Festigkeiten und E-Moduln für diese Eigendeklaration heranzuziehen sind, ist durch die oberste deutsche Bauaufsichtsbehörde noch zu entscheiden. Es ist aus jetziger Sicht jedoch davon auszugehen, dass die Eigendeklaration charakteristischer Werte auf einer solchen Grundlage möglich ist, wenn

- die Prüfungen zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung entweder an 32 Platten durchgeführt wurden und aus den daraus vorliegenden Ergebnissen die Bestimmung der charakteristischen Eigenschaften erfolgte oder
- wenn die Prüfungen an 10 Platten mit zusätzlicher Auswertung der werkseigenen Produktionskontrolle durchgeführt wurden (ggf. Korrekturfaktor für Ergebnisse kleiner und mittelgroßer Prüfkörper notwendig).

Auf jeden Fall ist im CE-Zeichen (Abbildung 23) auf diesen Bericht zu verweisen.

Für die Vergabe des CE-Kennzeichens auf Grundlage der EN 13 986:2005 und der Produktnorm EN 13 353:2003 für langjährig baumustergetreu produzierte dreilagige Massivholzplatten, für die eine laufende werkseigenen Produktionskontrolle und die Überwachung durch eine anerkannte Stelle existiert, ist für die Erstprüfung durch den Hersteller (vgl. dazu Tabelle 15) der Nachweis der Übereinstimmung mit den Anforderungswerten der EN 13 353:2003 anhand der aus der werkseigene Produktionskontrolle und der Fremdüberwachung vorliegenden Werte zu führen. Fallweise können weiterführende Prüfungen mit der notifizierten Stelle vereinbart werden. Wenn die Platten als Nut-Feder-Platten für tragende Unterböden auf Lagerhölzern, als tragende Dachschalungen auf Balken oder als tragende Wandbeplankung auf Rippen eingesetzt werden sollen, so ist die Festigkeit und Steifigkeit unter Punktlast (nach EN 1195:1998 in Verbindung mit EN 12 871:2001) sowie der Stoßwiderstand (EN 12 871:2001) zu bestimmen.

Die Prüfung und Begutachtung des Herstellungsprozesses und der werkseigenen Produktionskontrolle des Herstellers entsprechend EN 13 986:2005 erfolgt im Rahmen der Erstinspektion durch eine notifizierte Stelle.

Die notifizierte Stelle zertifiziert die werkseigene Produktionskontrolle nach erfolgter Erstinspektion des Werkes im Zuge der laufenden Überwachung – der Hersteller kann nun, aufgrund einer von ihm für sein Produkt ausgestellten Konformitätserklärung, das CE-Kennzeichen anbringen (siehe Abbildung 23).

Das CE-Zeichen ist ein Zeichen zum Nachweise der Richtlinienkonformität und nicht zum Nachweis der Übereinstimmung mit einer Norm. Die Einhaltung der EN 13 986:2005 bedeutet daher, dass ein Produkt im Sinne der Bauproduktenrichtlinie **brauchbar** ist und frei gehandelt werden darf. Ob ein Produkt aber in den jeweiligen Mitgliedsland **verwendet** werden kann und wie es im Rahmen der nationalen Regelungen zur Berechnung und Bemessung von Bauwerken berücksichtigt wird, liegt in der Entscheidungsbefugnis der nationalen Baubehörden /Trepkau 2003/.

Um in Deutschland die Verwendung von Holzwerkstoffen nach EN 13 986:2005 zu regeln, wurde im Normenausschuss Bauwesen des DIN die Anwendungsnorm DIN V 20 000-1:2005 erarbeitet.



Abbildung 23 Muster für ein CE-Zeichen für langjährig baumustergetreu hergestellte, einer Fremd- und Eigenüberwachung unterliegenden dreilagigen Massivholzplatten zur tragenden Innenverwendung im Feuchtbereich, technische Klasse SWP 2 /Tobisch 2003/

Eine Anwendungsnorm ist insbesondere dann notwendig, wenn die erklärten Werte, die mit der CE-Kennzeichnung verbunden sind, nicht unverändert als Rechenwerte für die Bemessung im Bauwerk verwendet werden können, weil das bauaufsichtlich festgelegte nationale Sicherheitsniveau mit der direkten Verwendung der charakteristischen Werte als Rechenwerte nicht beibehalten werden kann.

Die Anwendungsnorm bildet gewissermaßen die Brücke zwischen der harmonisierten Produktnorm und den Bemessungsnormen DIN 1052:1988 und DIN V ENV 1995-1-1:1994 (Eurocode 5). Die wichtigste Regelung der Anwendungsnorm ist die Festlegung eines Korrekturbeiwertes von 0,8 für charakteristische Werte, die vom Hersteller selbst bestimmt und deklariert worden sind.

Die in EN 12 369-1:2001 aufgeführten charakteristischen Werte beruhen auf umfangreichen Untersuchungen und Erfahrungswerten. Sie werden deshalb vom DIBt als verlässlich angesehen. Gegenüber anderen charakteristischen Werten besteht ein gewisser Vorbehalt von Seiten des DIBt, da sie lediglich durch den Hersteller bestimmt werden und auf Grund des festgelegten Konformitätsnachweisverfahrens 2+ keine Stichprobenprüfung durch eine zugelassene Stelle vorgesehen ist. Für die Anerkennung von besseren charakteristischen Werten als in EN 12 369-1:2001 angegeben, wird voraussichtlich eine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich sein, die durch ein zusätzliches Ü-Zeichen dokumentiert wird. Die Anwendungsnorm enthält außerdem charakteristische Werte für Sperrholz nach DIN 68 705-3:1981 und DIN 68 705-5:1980 sowie für zementgebundene Spanplatten.

Grundvoraussetzung für die Anerkennung als harmonisierte Norm zur Umsetzung der Bauproduktenrichtlinie ist die Nennung der Norm im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. Für die EN 13 986:2005 ist dies am 27. Februar 2003 erfolgt, als Beginn der Gültigkeit wurde der 1. April 2003 festgelegt. Die Koexistenzperiode, in der nationale Normen noch parallel weiter gelten, endete am 1. April 2004.

Voraussetzung für die Anwendung der CE-Kennzeichnung in Deutschland ist die Nennung der harmonisierten Bauproduktnorm im Bundesanzeiger.

Das Deutsche Institut für Bautechnik macht die in Deutschland zu beachtenden technischen Regeln für Bauprodukte in den Bauregellisten bekannt. Harmonisierte Europäische Normen für Bauprodukte, die auf Grund des Bauproduktengesetzes in Verkehr gebracht werden, werden in der Bauregelliste B Teil 1 angekündigt. Das Übereinstimmungszeichen ist in diesem Falle das CE-Zeichen.

Für die Ankündigung der EN 13 986:2005 im Bundesanzeiger und bei der Aufnahme in die Bauregelliste B Teil 1 sah das Bauministerium (BMVBW) und das DIBt folgende Probleme:

- Holzwerkstoffe der Formaldehydemissionsklasse E2 (zulässig nach EN 13 986:2005) dürfen in Deutschland nicht verwendet und auf Grund der Gefahrstoffverordnung auch nicht in den Verkehr gebracht werden
- Holzwerkstoffe müssen in Deutschland die Altholzverordnung erfüllen. In EN 13 986:2005 ist lediglich eine Kennzeichnung bei einem PCP-Gehalt von mehr als 5 mg/m³ festgelegt. Solche Holzwerkstoffe dürfen in Deutschland nicht in den Verkehr gebracht werden.
- Im Anwendungsbereich der EN 13 986:2005 ist angegeben, dass Holzwerkstoffe mit Holzschutzmitteln oder Flammschutzmitteln behandelt sein können. Es ist jedoch keine Kennzeichnung für solche Zusätze vorgesehen. In Deutschland gelten für den Einsatz von Holzschutzmittel und Flammschutzmittel Einschränkungen unter Gesundheits- und Umweltgesichtspunkten.

Der „Fundort“ der EN 13 986:2002 wurde am 6. Mai 2003 im deutschen Bundesanzeiger veröffentlicht. Danach ist die CE-Kennzeichnung von Holzwerkstoffen für das Bauwesen nun auch in Deutschland möglich. Allerdings müssen die hier zu verwendenden Bauprodukte den Anforderungen der Chemikalienverbotsverordnung entsprechen. Von den deutschen Behörden erfolgt derzeit ein Vorstoß, um für Holzwerkstoffe, die mit Holzschutzmitteln und/oder Brandschutzmitteln behandelt wurden, eine entsprechende Kennzeichnungspflicht im Rahmen der CE-Kennzeichnung einzufordern.

3 Untersuchungen

Die im Folgenden vorgestellten Untersuchungen des Verfassers beinhalten vier Komplexe. Der erste Komplex hat die Erstellung eines Eigenschaftsprofils derzeit auf dem Markt befindlicher industriell hergestellter dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz zum Inhalt. Für derartige Platten, die immer häufiger eine tragende und aussteifende Verwendung finden, fehlen derzeit allgemeingültige Werte mechanisch-physikalischer Eigenschaften, die eine Berechnung und Auslegung von Baukonstruktionen mit diesen Werkstoffen ermöglichen. Die Komplexität der nachfolgend dargestellten Datenerhebung und –auswertung bestand in der vielfältigen Provenienz der einbezogenen Plattentypen hinsichtlich der Hersteller, der Qualität der Ausgangsmaterialien sowie der stark streuenden Plattenstrukturen (unterschiedlichste Lamellendicken bei Platten gleicher Dicke).

Die im Ergebnis der Untersuchungen ermittelten charakteristischen Werte für Festigkeiten und elastische Eigenschaften können einen Beitrag zur europaweit standardisierten Nutzung dreilagiger Massivholzplatten im Bauwesen leisten.

Durch die zunehmende Verwendung großformatiger Platten rücken auch die hygrischen Dimensionsänderungen unter wechselnden Klimabedingungen mehr und mehr in den Vordergrund relevanter Werkstoffeigenschaften. Da es gerade für dreilagige Massivholzplatten noch keine grundlegenden Untersuchungen auf diesem Gebiet gibt, schließt der erste Untersuchungskomplex mit der Darstellung von Ergebnissen zur Formstabilität und zur Längenänderung in Plattenebene ab.

Der zweite Komplex befasst sich mit Untersuchungen, die die Bestimmung des Einflusses holzimmanenter Parameter (Rohdichte, unterschiedliche Sortierklassen und Lamellenfestigkeiten) und der Plattenstrukturen (Lamellenverhältnis, Lamellenbreite, Schmalflächenform der Lamellen⁴⁴) auf erzielbare Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten zum Inhalt haben. Dieser Komplex schließt mit Ergebnissen zum Einfluss technologischer Faktoren (Oberflächenwasser, Presszeit, Pressdruck und –temperatur) auf die Platteneigenschaften ab.

Da der Preis für Massivholzplatten nach wie vor ein einsatzeinschränkendes Kriterium ist, werden im dritten Komplex Untersuchungen angestellt, durch die gezielte Substitution der Mittellage dreilagiger Platten mit einer Reihe verschiedener herkömmlicher Holzwerkstoffe preiswerte „Verbundplatten“ mit vergleichbaren oder sogar besseren Eigenschaften herzustellen. Die Ausnutzung damit verbundener Synergieeffekte (erhöhter Absatz für Holzwerkstoff-Hersteller, neue Marktchancen für Massivholzplatten-Hersteller und die deutlich preisgünstigere Herstellung) sollten Wege für eine breitere Anwendung von Holzwerkstoffen im Bauwesen öffnen.

Zum Abschluss der Arbeit werden verschiedene Möglichkeiten diskutiert, aus den bekannten Eigenschaften der Lamellen und des Plattenaufbaus mechanisch-physikalische Eigenschaften voraus zu berechnen und derart eine Möglichkeit zu schaffen, dreilagige Massivholz- bzw. Verbundplatten schon vor ihrer Herstellung maßgeschneidert für spätere Anwendungsbereiche zu dimensionieren.

Durch die große Vielfalt der durchgeführten Untersuchungen mit teilweise doch unterschiedlichen Zielsetzungen wird im folgenden vom herkömmlichen Gliederungsschema „Material/Methode – Untersuchungen – Ergebnisse – Diskussion“ abgewichen. Die Gliederungspunkte werden in den Unterpunkten 3.1 bis 3.4 jeweils separat behandelt.

⁴⁴ Unterschiedliche Lamellenschmalflächen bzw. Lamellenstöße in Bezug auf die Herstellung (gesägt, gehobelt, geschliffen) und die Form (stumpf, trapezförmig und gefalzt).

3.1 Eigenschaftsprofil dreilagiger Massivholzplatten

3.1.1 Einleitung

Im Zuge der europäischen Normung kommt es zu einer Veränderung der Bemessungsgrundlagen für die Verwendung und den Einsatz von Holzwerkstoffen im Bauwesen. Nach DIN 1052:1988 dienten sog. zulässigen Spannungen und Rechenwerte von Elastizitätsmoduln zum Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit.

Mit Einführung des Eurocode 5 DIN V ENV 1995-1-1:1994 werden für diese Nachweise die charakteristischen Werte der mechanischen Eigenschaften und Steifigkeiten der jeweiligen Werkstoffe herangezogen.

In den Teilen 1 und 2 der Normenreihe EN 12 369 "Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken" werden diese charakteristischen Werte mechanischer Eigenschaften (Dichte, Biege-, Zug-, Druck- und Schereigenschaften) plattenförmiger, normenbasierter Holzwerkstoffe (OSB, Spanplatten, Faserplatten, MDF und demnächst Sperrholz) aufgeführt. Mehrlagige Massivholzplatten wurden aufgrund bisher noch ausstehender Produktnormen und dem Fehlen charakteristischer Werte noch nicht in diese Norm aufgenommen.

Die nachfolgend dargestellten Untersuchungen und Prüfungen an industriell hergestellten, feuchtebeständig verleimten dreilagigen Massivholzplatten aus Nadelholz für eine tragende Verwendung in Dickenbereichen ≤ 20 mm und $> 20 - 30$ mm, die von 12 europäischen Herstellern bezogen wurden, dienten dem Ziel, charakteristische Werte für mechanische und elastische Eigenschaften für diesen Werkstoff bereitzustellen und so deren Verwendung im europäischen Bauwesen zu ermöglichen. Nach Prüfung, Auswertung und Berechnung der Werte wurden die erreichten Resultate in einem Prüfbericht fixiert und im Rahmen des Technischen Komitees 112 „Holzwerkstoffe, Möbel“ des CEN sowohl der WG 9 „Massivholzplatten“ als auch WG 4 „Allgemeine Prüfverfahren“ vorgelegt. Die endgültige Festlegung entsprechender Werte ist derzeit noch in der Diskussion.

Darüber hinaus dienen die Ergebnisse dieses Prüfprogramms natürlich zur Einstufung und Bewertung aller weiteren, im Rahmen der vorliegenden Arbeit (Punkte 3.2 bis 3.4) labortechnisch und industriell hergestellten Massivholzplatten-Proben.

3.1.2 Material und Methode

Als Versuchsmaterial wurden industriell hergestellte dreilagige Massivholzplatten aus Nadelholz (Fichte, Tanne, üblicherweise in den Abmessungen 2,5 m x 2,0 m) in einem Nenndickenbereich von 19 bis 28 mm verwendet, die von 12 europäischen Herstellern beschafft wurden. In Tabelle 19 werden die für die Prüfungen vorgesehenen Platten hinsichtlich der Nenndicke, der Lamellenabmessungen, des Lamellenverhältnisses und der Rohdichte charakterisiert.

Alle geprüften Platten sind für eine Verwendung als tragende und aussteifende Beplankung von Wand-, Dach- und Deckenelementen vorgesehen – die Mehrzahl der Hersteller verfügt deshalb über eine dementsprechende deutsche bauaufsichtliche Zulassung. Dem vorgesehenen Verwendungszweck folgend waren bis auf einen Plattentyp alle geprüften Plattentypen mit heißaushärtenden MUF-Harz-Systemen gebunden, die eine hohe Feuchtebeständigkeit gewährleisten.

Nach dem Eingang der Platten im Institut erfolgte eine exakte Vermessung der Platten-nenndicke, Lamellendicke und der Lamellenbreite. Im Anschluss daran wurden die Pro-

ben für nachfolgenden Eigenschaftsuntersuchungen in Haupt- und Nebenachse ⁴⁵ nach festgelegten Einschnittschemata eingeschnitten und zugerichtet (vgl. dazu auch Abbildung 24). Bei den Varianten, von denen nur 4 bzw. 5 Platten geliefert wurden (Hersteller D, E, F, G und K), wurden die aus den Platten einzuschneidenden Prüfkörperzahlen verdoppelt.

Tabelle 19 Aufbau, Lamellenverhältnis R_L und mittlere Rohdichte der untersuchten Massivholzplatten

Hersteller	t_1 ⁴⁶ [mm]	N ⁴⁷	Lamellendicke		Lamellenbreite		R_L	Rohdichte [kg/m ³]
			Decklage [mm]	Mittellage [mm]	Decklage [mm]	Mittellage [mm]		
1 A	27	10	9,0	9,0	107	109	0,67	490
2 B	19	10	6,6	5,8	104	106	0,69	430
	27	10	8,7	9,6	105	129	0,65	470
3 C	27	10	9,0	9,0	130	30	0,67	450
	27	10	7,0	13,0	130	130	0,52	470
4 D	19	4	5,0	9,0	90	40	0,53	500
	27	4	5,0	17,0	116	40	0,37	450
5 E	19	4	5,2	8,6	190	45	0,55	480
	28	4	6,8	14,4	140	45	0,49	450
6 F	19	4	5,0	9,0	85	105	0,53	490
	26	4	8,5	9,0	98	86	0,65	460
7 G	19	4	6,3	6,4	116	93	0,66	460
	27	4	8,8	9,4	93	112	0,65	500
8 H	19	10	6,2	7,2	117	117	0,63	460
	27	10	8,6	10	117	117	0,63	470
9 I	26	10	5,5	15,0	40	40	0,42	460
10 K	20	5	5,6	8,8	180	85	0,56	480
11 L	20	10	6,0	8,0	34	34	0,60	470
12 M	27	10	6,4	14,2	45	45	0,47	440

Folgendes Prüfspektrum wurde abgearbeitet:

1. Biegefestigkeit und Biege-E-Modul rechtwinklig zur Plattenebene in Anlehnung an EN 789:2005 ⁴⁸, Probekörperkennzeichnung 21/22
2. Biegefestigkeit und Biege-E-Modul in Plattenebene nach EN 13 879:2002 ⁴⁹, Probekörperkennzeichnung 31/32
3. Druckfestigkeit in Plattenebene nach EN 789:2005, Probekörperkennzeichnung 37/38 ⁵⁰
4. Scherfestigkeit und Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene nach EN 789:2005, Probekörperkennzeichnung 151/152
5. Scherfestigkeit und Schubmodul in Plattenebene nach EN 789:2005, Probekörperkennzeichnung 51/52

⁴⁵ Die Hauptachse ist im Weiteren definiert als die Plattenrichtung parallel zur Orientierung der Decklagenfaser, die Nebenachse liegt rechtwinklig zur Orientierung der Decklagenfaser.

⁴⁶ Plattennenddicke

⁴⁷ Plattenanzahl

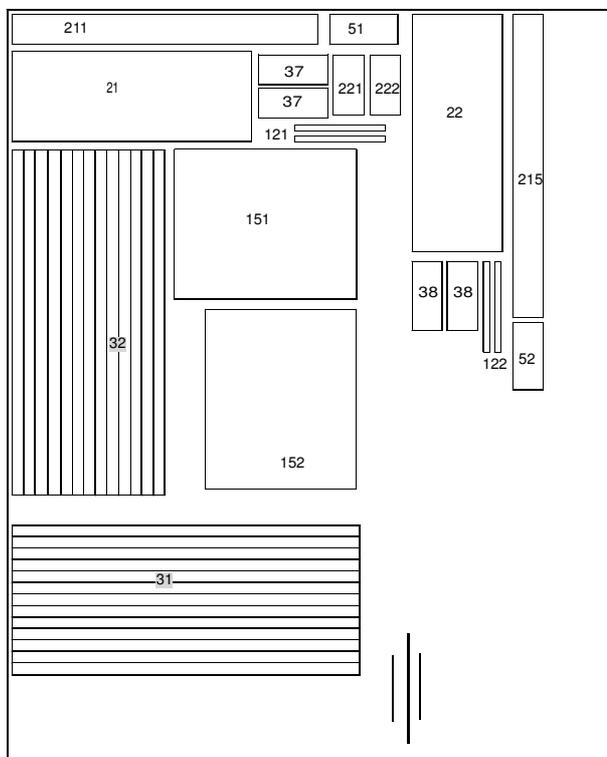
⁴⁸ Stützweite analog zum Prozedere bei Prüfungen im Rahmen der bauaufsichtlichen Zulassungen $30 \cdot t_1$

⁴⁹ Anzahl der Streifen derart, dass nach der notwendigen 90°-Drehung und der Verklebung der Stäbe eine Prüfkörperbreite von max. 300 mm erreicht wurde; Breite der Streifen (und damit Prüfkörperhöhe) abweichend von EN 13 879:2002 35 mm

⁵⁰ gleiche Kennzeichnung für mehrere zu einem Prüfkörper zu verklebende Proben (vgl. EN 789:2005)

6. Zugfestigkeit und Zug-E-Modul nach EN 789:2005 unter 0° und 90° zur Orientierung der Decklage, Probekörperkennzeichnung 211/215
7. Bindefestigkeit der Verleimung nach DIN 53 255:1964 (Aufstechversuch), nach Vorbehandlungen der AW- Verleimung; Probekörperbezeichnung 221/222
8. fallweise: Dimensionsänderungen in Plattenebene in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchte nach EN 318:2002, Prüfkörperkennzeichnung 121/122
9. fallweise: Bestimmung der Formstabilität im Differenzklima

Als Untersuchungsmethode für die Prüfung der Formstabilität diente der Differenzklima-Versuch (siehe dazu auch Beschreibung von /Jensen, Tobisch 2000/ in Pkt. 2.2), der je Plattenvariante mit 3 Prüfkörpern (Format 500 mm x 500 mm x Nenndicke) in einer Doppelklima-Prüfkammer vorgenommen wurde. Die schmalseitig verschlossenen Prüfkörper waren in der Trennwand des Prüfstandes senkrecht stehend angeordnet und so positioniert, dass eine unbehinderte Verformung möglich war. Auf beiden Seiten der Platten lag die Luftgeschwindigkeit bei 1,5 m/s, um den Feuchteausgleich zu beschleunigen.



- 21/22 – Biegefestigkeit / Biege-E-Modul
- 31/32 – Biegefestigkeit / Biege-E-Modul in Plattenebene
- 37/38 – Druckfestigkeit in Plattenebene
- 51/52 – Scherfestigkeit / Schubmodul in Plattenebene
- 121/122 – Dimensionsänderungen in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchtigkeit
- 151/152 – Scherfestigkeit / Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene
- 211/215 – Zugfestigkeit / Zug-E-Modul in Plattenebene
- 221/222 – Bindefestigkeit der Verleimung

Abbildung 24 Einschnittschema (beispielhaft) für eine 20 mm dicke dreilagige Massivholzplatte im Rahmen der Untersuchungen zur Bereitstellung charakteristischer Werte für Festigkeiten und elastische Eigenschaften, Bezeichnung der Prüfkörper und Lage zur Haupt- (II) bzw. Nebenachse (I) der Platte

Nach Vorklimatisierung bei Normalklima 20 °C / 65 % rH und der ersten Vermessung (Ausgangswert, der von den im Weiteren gemessenen Verformungen abgezogen wurde) erfolgte die 96stündige Einwirkung eines Differenzklimas mit 85 % rH auf der einen und 35 % rH auf der anderen Plattenbreitfläche. Die Temperatur betrug einheitlich 20 °C. Mit dem bereits erwähnten 9-Punkte-Messnetz wurde der zeitliche Verlauf der Formänderungen senkrecht zur Plattenebene in Haupt- und Nebenachse der Massivholzplatten sowie diagonal während des Versuchszeitraumes (nach 1 h, 2 h, 4 h, 8 h und aller weiteren 24 h) erfasst. Aus diesen Daten konnte dann die Formänderung be-

zogen auf 1 m Länge in horizontaler, vertikaler und diagonaler Richtung berechnet werden.

Das Berechnungsverfahren zur Bestimmung der charakteristischen Werte für Holzwerkstoffplatten ist in EN 1058:1996 festgelegt. Nach dieser Norm werden die charakteristischen Festigkeitseigenschaften sowie die Rohdichte der Werkstoffe als unteres 5%-Quantil x_{05} der Stichprobe innerhalb eines Plattentyps und einer Nenndicke definiert. Die Werte sind nach Klimatisierung im Normalklima 20 °C / 65 % relative Luftfeuchte an mittelgroßen Prüfkörpern nach EN 789:2005 nachzuweisen.

Die charakteristischen Elastizitätseigenschaften der Werkstoffe werden sowohl als 50%-Quantil (Mittelwert, x_{50}) als auch als unteres 5%-Quantil der Stichprobe innerhalb eines Plattentyps und einer Nenndicke definiert. Sie sind ebenfalls nach Klimatisierung im Normalklima 20 °C / 65 % relative Luftfeuchte an mittelgroßen Prüfkörpern nach EN 789:2005 nachzuweisen.

EN 1058:1996 fordert zur Bestimmung charakteristischer Werte die Prüfung von mindestens 32 Platten einer Grundgesamtheit. Diese Grundgesamtheit wird durch Art, Sorte und Dickenbereich definiert.

Für die statistischen Auswertungen der geprüften Platten wurden die Grundgesamtheiten für die anstehenden Prüfungen anhand der Nenndickenbereiche wie folgt festgelegt:

Dickenbereiche: ND I: Nenndicke ≤ 20 mm
ND II: Nenndicke >20 mm bis 30 mm.

Da Prüfwerte aus mehreren Einzelprüfungen (u.a. auch aus Zulassungsprüfungen) zusammengefasst wurden, entsprach die Probennahme nicht exakt EN 1058:1996. Die erforderliche Anzahl von 32 Prüfwerten je Eigenschaft und Grundgesamtheit wurde jedoch für alle Eigenschaften deutlich überschritten. Die vorgeschriebene Anzahl von 8 Herstellern bzw. Chargen wurde ebenfalls für fast alle Eigenschaften erreicht.

Im Gegensatz zu anderen Holzwerkstoffen wie Span- und Faserplatten werden einige Eigenschaften von Massivholzplatten durch die Wahl der Dicke von Deck- und Mittellagen gravierend verändert. Für diese Eigenschaften ist die in EN 1058:1996 festgelegte Vorgehensweise nicht sinnvoll anwendbar. Es wurde daher der durch den Plattenaufbau möglicherweise gegebene Einfluss in der statistischen Auswertung derart berücksichtigt, dass die Eigenschaften graphisch über den jeweilig zugrundeliegenden Lamellenverhältnissen aufgetragen wurde.

Im Folgenden wird die gewählte Vorgehensweise genau erläutert. Es ist festzuhalten, dass trotz der formellen Abweichungen die wesentlichen Anforderungen der EN 1058:1996 erfüllt sind.

- Probennahme in Anlehnung an EN 1058:1996 (Probenziehung von bis zu 12 Herstellern dreilagiger Massivholzplatten, Prüfung von mindestens 32 Platten, für Haupteigenschaften – Biegung, Zug, Druck – mindestens 10 Prüfkörper je Plattentyp und Achsenrichtung, für Nebeneigenschaften – Schub – je 5 Prüfkörper)
- exakte Bestimmung des Plattenaufbaus (Lamellenbreiten, -dicken) und der Rohdichte, Berechnung des Lamellenverhältnisses R_L , Einschnitt der Platten nach vorgegebenen Einschnittschemata
- Bestimmung der Eigenschaften innerhalb der 12 Plattentypen in Haupt- und Nebenachse in ND I: ≤ 20 mm und ND II: $>20 - 30$ mm, Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Eigenschaften innerhalb der Plattentypen, Be-

rechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Eigenschaften innerhalb der beiden Nenndickenbereiche, tabellarische Darstellung

- graphische Darstellung der ermittelten Eigenschaften in Haupt- und Nebenachse, aufgetragen über den jeweiligen Lamellenverhältnissen und über lineare Regressionsrechnung verbunden, separiert in die beiden Nenndickenbereiche
- Untersuchung der möglichen Einflüsse von Nenndicke (ND I: ≤ 20 mm; ND II: $>20 - 30$ mm) und Lamellenverhältnis R_L separat für jede geprüfte Eigenschaft in Haupt- und Nebenachse

Abhängig von den gefundenen Einflüssen wurden nachfolgende Auswertelgorithmen für jede einzelne Eigenschaft angewandt:

3.1.2.1 *Kein nachweisbarer Einfluss des R_L und der Plattennendicke*

Für Eigenschaften, bei denen kein Einfluss des Lamellenverhältnisses⁵¹ (grafischer Nachweis, siehe Abbildung 25) und der Nenndicke (Nachweis über Vergleich der Mittelwerte der Eigenschaften in den Nenndickenbereichen) nachgewiesen wurde, erfolgte die Berechnung der charakteristischen Werte strikt nach EN 1058:1996, Abschnitt 6.3, ohne weitere Beachtung der Nenndicken über die zu einer neuen Grundgesamtheit zusammengefassten Nenndickenbereiche ND I und ND II.

Dieser Algorithmus wurde i.allg. für die Eigenschaften bei Schub in Plattenebene und rechtwinklig dazu angewandt (vgl. dazu Tabelle 20).

3.1.2.2 *Kein nachweisbarer Einfluss des R_L ; jedoch Einfluss der Plattennendicke*

Für die Eigenschaften bei Biegung, Druck und bei Zug musste erwartungsgemäß mit einem Einfluss der Plattenstruktur (Nenndicke, Lamellenverhältnis) auf die Ausprägung der Ergebnisse gerechnet werden. Einige Eigenschaften zeigten sich jedoch innerhalb der Nenndickenbereiche ND I und ND II unbeeinflusst von den unterschiedlichen Lamellenverhältnissen. Für diese Varianten erfolgte die Berechnung der charakteristischen Werte für Spannungen und elastischen Eigenschaften genau nach EN 1058:1996, Abschnitt Pkt. 6.3 – es wurde jedoch, im Gegensatz zur Auswertung nach 3.1.2.1, strikt getrennt für die Stichproben der beiden Nenndickenbereiche ND I und ND II (vgl. Abbildung 26). Diese Strategie wurde für einige Biegeeigenschaften (vgl. Tabelle 20) und grundsätzlich im Bereich der Eigenschaften bei Zug in Plattenebene angewandt.

3.1.2.3 *Nachweisbarer Einfluss des R_L und der Nenndicke*

Besonders bei den Eigenschaften unter Biegung und Druck zeigte sich neben der Veränderung der Werte aufgrund der variierenden Nenndicke zusätzlich auch ein bisweilen straffer Zusammenhang der Festigkeit bzw. des E-Moduls mit der Veränderung des Lamellenverhältnisses (vgl. Abbildung 27).

Für diese Varianten konnte die Berechnung der charakteristischen Werte, getrennt in die beiden Nenndickenbereiche, nur angelehnt an EN 1058:1996 erfolgen: Der nach EN 1058:1996 heranzuziehende Mittelwert $m(x)$ wurde durch den für diese Eigenschaft in

⁵¹ Als Grenzwert für einen nachweisbaren Einfluss des Lamellenverhältnisses auf die Veränderung der betrachteten Eigenschaften wurde, in Rücksprache mit WG 9 und WG 4 des CEN/TC 112, ein Bestimmtheitsmaß der Regression von $R^2 \geq 0,4$ angesetzt (siehe Abbildung 27). Dabei wurde im weiteren darauf geachtet, dass verbundene Eigenschaften (wie z.B. Biegefestigkeit und Biege-E-Modul) hinsichtlich der Auswertelgorithmen gleichsinnig behandelt wurden (vgl. dazu Tabelle 20).

Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis R_L über lineare Regression berechneten kleinsten Wert $m(x)_{regress}$ ersetzt^{52 53}. Aufgrund der unterschiedlichen Einflüsse des Lamellenverhältnisses auf die mit der gleichen Messmethode bestimmten Ergebnisse innerhalb der einzelnen Plattentypen musste die üblicherweise in den Nenndickenbereichen berechneten Standardabweichung $s(x)$ durch den Wert der „gepoolten“, von den durch die unterschiedlichen Plattenaufbauten (R_L) hervorgerufenen Streuungen unabhängigen, Standardabweichung $s(x)_{pooled}$ substituiert werden, um akuraterer Ergebnisse zu erhalten. Der mit diesen Größen berechnete Variationskoeffizient $\delta(x)_{pool}$ wurde zusammen mit $m(x)_{regress}$ für die Berechnung des unteren 5%-Quantils x_{05} nach EN 1058:1996 herangezogen.

$m(x)_{regress}$ Wert der Regressionsfunktion bei dem für die jeweiligen Eigenschaft ungünstigsten Lamellenverhältnis R_L

$$s(x)_{pooled} \dots \dots \dots s(x)_{pooled} = \sqrt{\left(\sum_{l=1}^M s^2\right) / M}$$

$$\delta(x)_{pool} \dots \dots \dots \delta(x)_{pool} = \frac{s(x)_{pooled}}{m(x)_{regress}}$$

$$x_{05} \dots \dots \dots x_{05} = k_n m(x)_{regress}$$

$\delta(x)_{pool}$ Variationskoeffizient für das „Material dreilagige Massivholzplatte“, berechnet aus $s(x)_{pooled}$ und dem unter Berücksichtigung des Lamellenverhältnisses R_L ungünstigsten Mittelwert (konservativer Ansatz)

k_n Faktor zur Berechnung von x_{05} nach EN 1058:1996

l Laufvariable

M Anzahl der Hersteller

$m(x)_{regress}$ berechneter Wert der Regressionsfunktion bei dem für die jeweiligen Eigenschaft ungünstigsten Lamellenverhältnis R_L

s Standardabweichung einer normalverteilten Stichprobe einer Eigenschaft eines Herstellers

$s(x)_{pooled}$ gepoolte Standardabweichung (pooled standard deviation), gewichtete Standardabweichung des „Materials dreilagige Massivholzplatte“ ohne die durch den unterschiedlichen Plattenaufbau verursachte Streuung

s^2 Streuung einer normalverteilten Stichprobe einer Eigenschaft eines Herstellers

x_{05} unteres 5%-Quantil nach EN 1058:1996

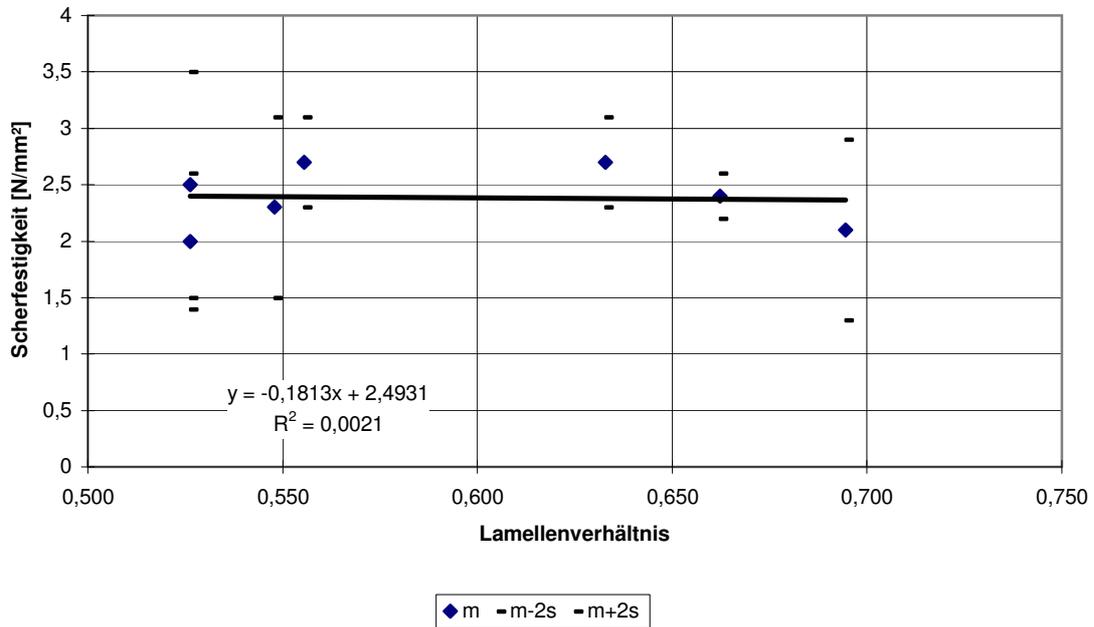
Der Mittelwert für die elastischen Eigenschaften ergab sich nach diesem Auswertalgorithmus als $m(x)_{regress}$.

Im Anschluss an die Betrachtung aller einzelnen Eigenschaften und der Festlegung der jeweilig anzuwendenden Auswertestrategien wurden die charakteristischen Werte berechnet und nach dem für europäische Normungsverfahren üblichen Schema dargestellt.

⁵² Da hier ein deutlicher Einfluss des Lamellenverhältnisses nachgewiesen wurde und die Stichprobe daher nicht einheitlich bewertet werden konnte, wurde der über Regression innerhalb eines Nenndickenbereiches ermittelte kleinste Rechenwert der jeweiligen Eigenschaft (worst-case-Szenario) zur Berechnung herangezogen, um auf der „sicheren“ Seite zu sein.

⁵³ In Absprache mit CEN/TC 112 WG 9 „Solid Wood Panels“ wurden die Grenzen der einzubeziehenden Lamellenverhältnisse R_L für die Berechnungen mit $R_{Lmin} = 0,33$ und $R_{Lmax} = 0,7$ festgelegt.

ND I



ND II

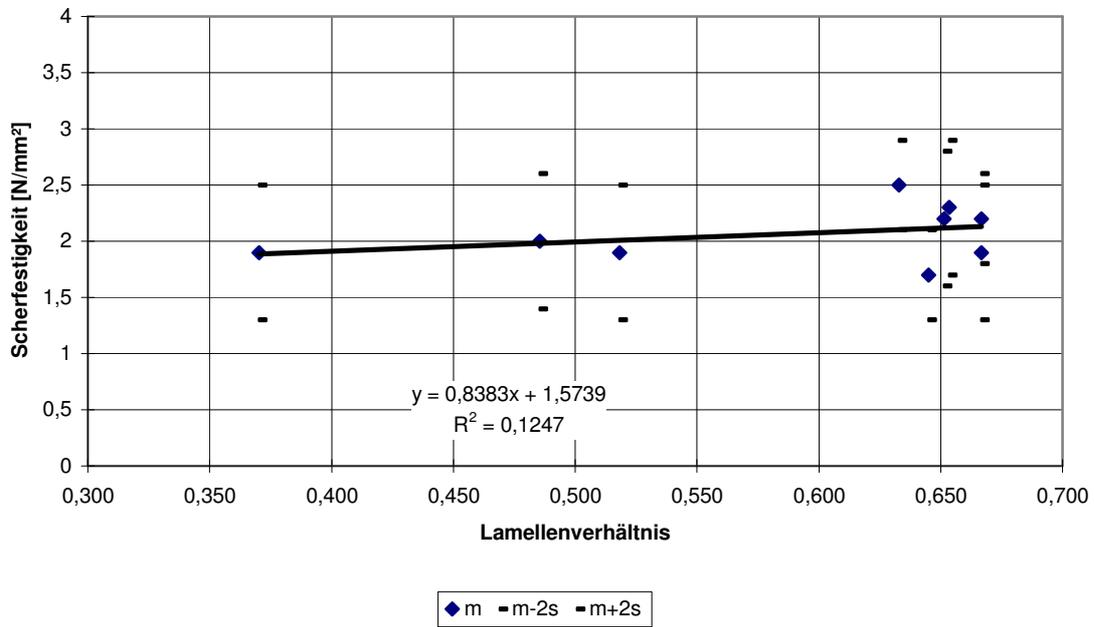


Abbildung 25 Scherfestigkeit bei Schub in Plattenebene, Decklage parallel: Kein nachweisbarer Einfluss des R_L und der Nenndicke auf die Mittelwerte beider Nenndickenbereiche (vgl. Verlauf der Regressionsgeraden und Bestimmtheitsmaße; Mittelwerte der beiden Grundgesamtheiten ohne signifikante Unterschiede; hier 2,4 N/mm² im Nenndickenbereich I und 2,1 N/mm² im Nenndickenbereich II)

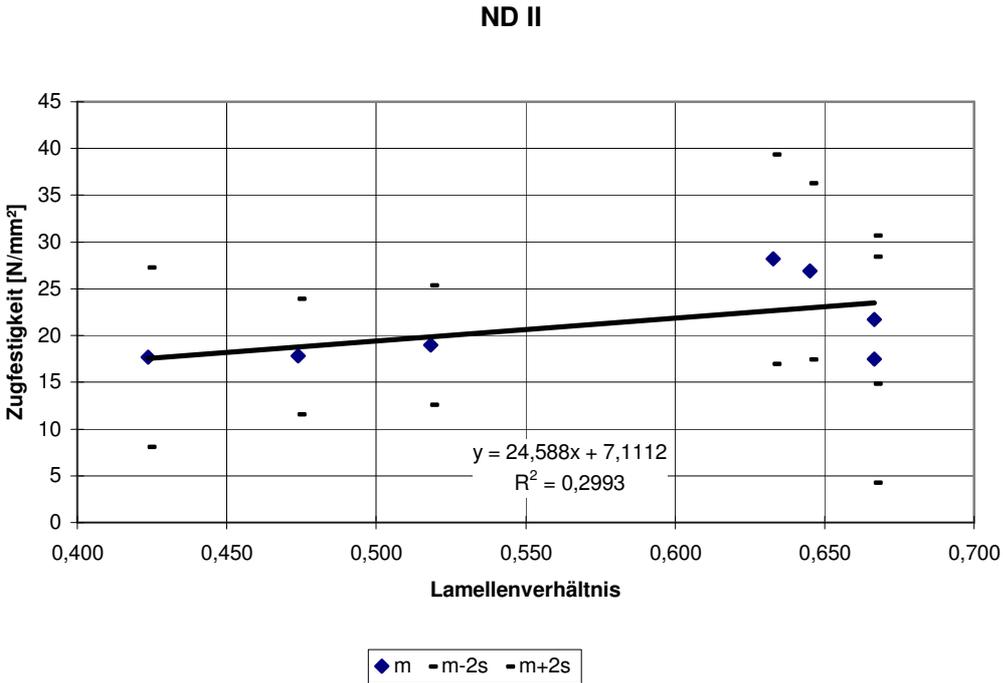
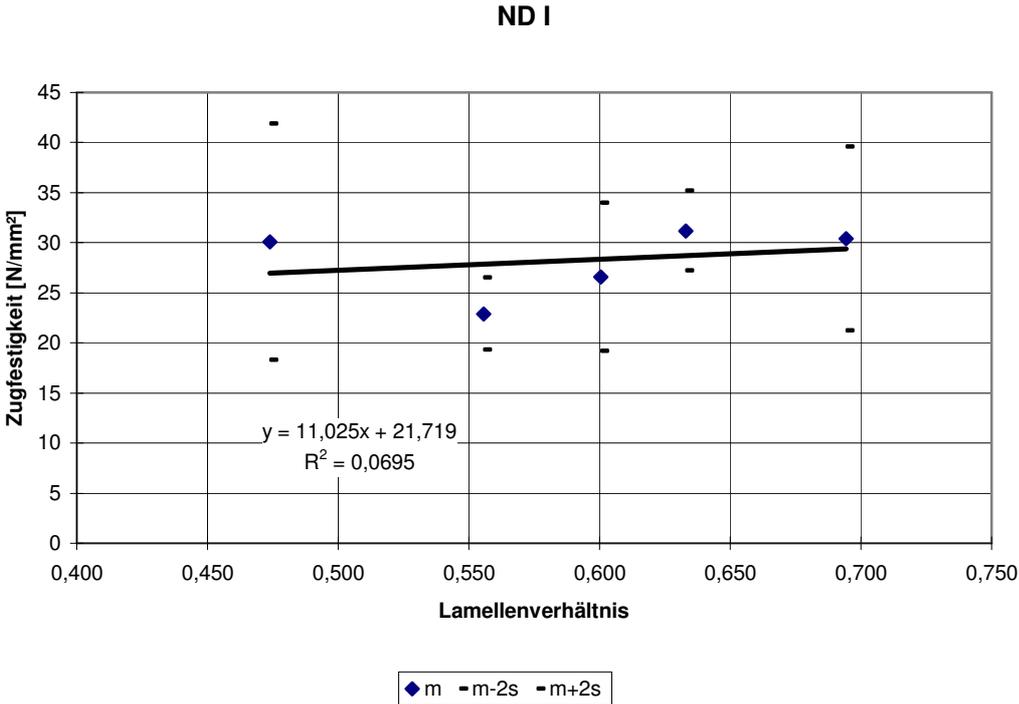


Abbildung 26 Zugfestigkeit bei Zug in Plattenebene, Decklage parallel: Kein nachweisbarer Einfluss des R_L , jedoch Einfluss der Nenndicke (Mittelwerte im Nenndickenbereich I 28,2 N/mm²; im Nenndickenbereich II 21,3 N/mm²) auf die Eigenschaften in den Nenndickenbereichen

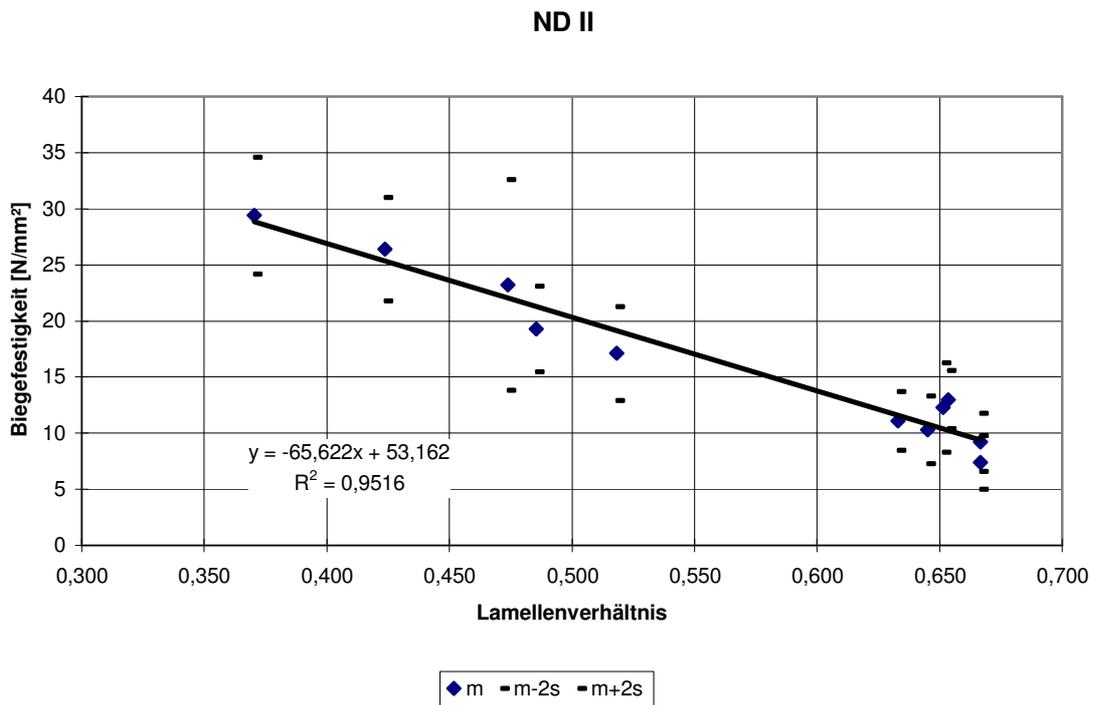
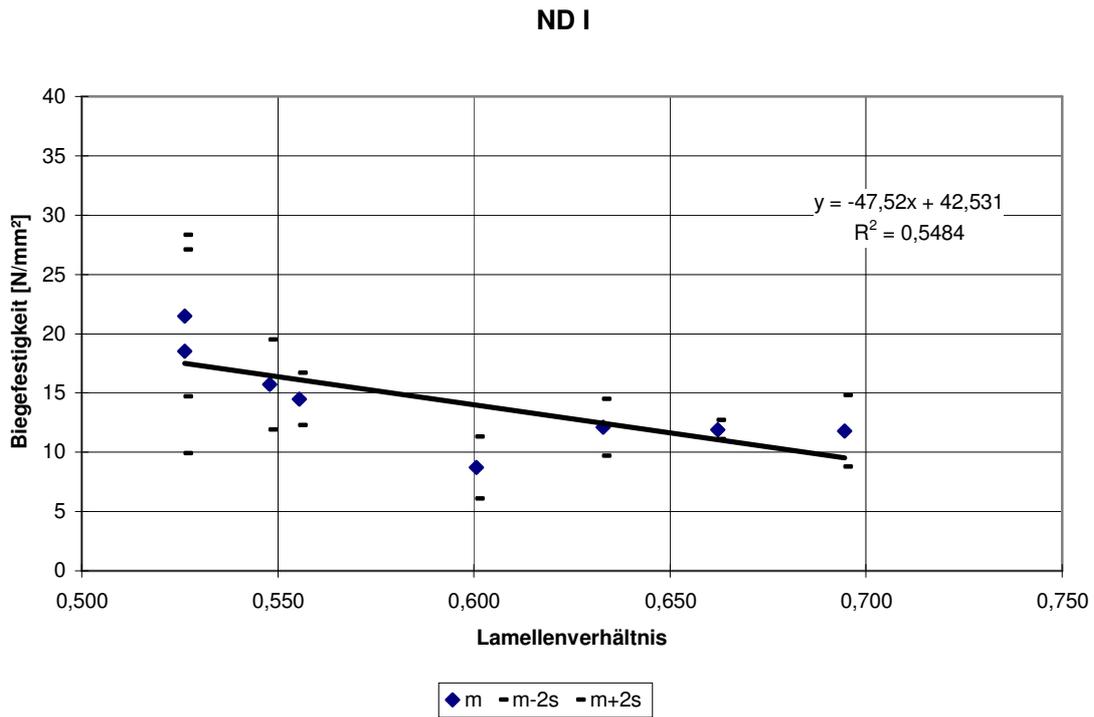


Abbildung 27 Biegefestigkeit bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage senkrecht: Deutlicher bis straffer Einfluss des R_L , Einfluss der Nenndicke (Mittelwerte: ND I: 14,3 N/mm²; ND II: 16,3 N/mm²) auf die Eigenschaften innerhalb der beiden Grundgesamtheiten

3.1.3 Mechanisch-physikalische Eigenschaften

Tabelle 20 stellt die nach der Messwertbetrachtung festgelegten Auswertelgorithmen dar, die zu Berechnung der charakteristischen Eigenschaften verwendet wurden.

Für die Eigenschaften bei Scherung in Plattenebene und rechtwinklig dazu konnte weder ein Einfluss der Nenndicke noch des Lamellenverhältnisses festgestellt werden. Demzufolge wurden hier die charakteristischen Werte nach 3.1.2.1 berechnet.

Die Eigenschaften bei Biegung, Druck und Zug wurden erwartungsgemäß grundsätzlich von der Veränderung der Nenndicke beeinflusst. In Richtung der Hauptachse der Platten wurde im oberen Nenndickenbereich ND II für Biegung und Druck (hier zusätzlich auch im ND I) ferner ein Einfluss des Lamellenverhältnisses festgestellt. Dies gilt in der Nebenachse gleichfalls für Biegung rechtwinklig zur Plattenebene und für die Druckfestigkeit.

Tabelle 20 Auswertestrategien (vgl. Punkte 3.1.2.1 bis 3.1.2.3) bei der Bestimmung charakteristischer Werte mechanischer und elastischer Eigenschaften für dreilagige Massivholzplatten aus Nadelholz

	Orientierung der Decklagenlamelle			
	parallel (Hauptachse)		senkrecht (Nebenachse)	
	Nenndickenbereich in mm			
	≤ 20	> 20-30	≤ 20	> 20-30
Biegefestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene σ_{Bxy}	3.1.2.2	3.1.2.3	3.1.2.3	3.1.2.3
Biege-E-Modul rechtwinklig zur Plattenebene E_{Bxy}	3.1.2.2	3.1.2.3	3.1.2.3	3.1.2.3
Biegefestigkeit in Plattenebene σ_{Bxz}	3.1.2.2	3.1.2.3	3.1.2.2	3.1.2.2
Biege-E-Modul in Plattenebene E_{Bxz}	3.1.2.2	3.1.2.3	3.1.2.2	3.1.2.2
Druckfestigkeit in Plattenebene σ_{Dx}	3.1.2.3	3.1.2.3	3.1.2.2	3.1.2.3
Scherfestigkeit in Plattenebene τ_{xz}	3.1.2.1	3.1.2.1	3.1.2.1	3.1.2.1
Schubmodul in Plattenebene G_{xz}	3.1.2.1	3.1.2.1	3.1.2.1	3.1.2.1
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene τ_{xy}	3.1.2.1	3.1.2.1	3.1.2.1	3.1.2.1
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene G_{xy}	3.1.2.1	3.1.2.1	3.1.2.1	3.1.2.1
Zugfestigkeit in Plattenebene σ_{Zx}	3.1.2.2	3.1.2.2	3.1.2.2	3.1.2.2
Zug-E-Modul in Plattenebene E_{Zx}	3.1.2.2	3.1.2.2	3.1.2.2	3.1.2.2

Alle im Rahmen der Prüfung der dreilagigen Massivholzplatten in den Nenndickenbereichen ND I ≤ 20 mm und ND II >20 - 30 mm bestimmten und berechneten Ergebnisse sind der vorliegenden Arbeit als Anhang 7.1 ff. beigelegt. Zur Erklärung der dort dargestellten Tabellen soll an dieser Stelle beispielhaft auf die tabellarische Darstellung der Ergebnisse bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene bei paralleler Orientierung der Decklagenfaser (Hauptachse) in den Tabellen 7.1.1.1 und 7.1.1.2 des Anhangs verwiesen werden.

Tabelle 21 Auszug aus dem von /Tobisch, Krug 1999/ an CEN/TC 112 WG 9 erstellten Prüfbericht: Tabelle 7.1.1.1 zur Darstellung der ermittelten Biegefestigkeiten

Tabelle 7.1.1.1: Biegefestigkeit [N/mm²]									
Hersteller		Nenndicke ≤ 20 mm				Nenndicke > 20 mm bis 30 mm			
# ⁵⁴	n ⁵⁵	\bar{X}	s	x ₀₅	n	\bar{X}	s	x ₀₅	
1	A	-	-	-	10	51,4	4,5		
2	B	10	59,5	4,7	10	54,1	9,8		
3	C	-	-	-	10	45,3	6,6		
					10	46,3	7,4		
4	D	8	43,6	6,5	8	35,3	5,1		
5	E	8	43,2	10,2	8	50,8	7,1		
6	F	8	64,6	6,5	8	64,2	4,8		
7	G	8	53,0	7,8	8	54,1	5,2		
8	H	10	69,6	10,7	10	56,4	6,3		
9	I	-	-	-	10	47,2	4,4		
10	K	25	59,1	1,2	-	-	-		
11	L	10	56,2	6,9	-	-	-		
12	M	-	-	-	10	49,6	9,7		
gesamt / Mittelwert		87	56,1	9,3	102	50,4	7,3		
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.2	40,2 ⁵⁶			Auswertung nach 3.1.2.3	28,7	

Tabelle 21 (vgl. auch Anhang 7.1.1) stellt die Mittelwerte der für die einzelnen Plattentypen der Hersteller (codiert von A bis M) bestimmten Biegefestigkeiten und die dazugehörigen Standardabweichungen getrennt in den beiden Nenndickenbereichen dar.

Die Prüfkörperanzahl variierte hier von 8 bis 25 Prüfkörpern je Plattentyp (Spaltenbezeichnung „n“) – nicht für alle Plattentypen wurden jedoch die Eigenschaften bestimmt.

Unabhängig von der später gewählten Auswertestrategie ist in der vorletzten Zeile der Tabelle sowohl die Gesamtanzahl der in den Nenndickenbereichen geprüften Einzelproben als auch der Mittelwert und die Standardabweichung der Biegefestigkeit zwischen den Plattentypen aufgeführt.

Die letzte Zeile ist den charakteristischen Werten vorbehalten. Für die Biegefestigkeit wurden hier nur die nach den jeweilig angegebenen Auswertestrategien berechneten 5%-Quantile x₀₅ dargestellt (rechte untere Spalte im Block, vgl. Definitionen unter 3.1.2), die im Anschluss daran im üblichen Normenschema für charakteristische Werte der Festigkeiten der WG 9 und WG 4 zur Diskussion gestellt wurden.

Die Tabellen für die elastischen Eigenschaften (hier beispielhaft Tabelle 22) sind vergleichbar zu den Ergebnisdarstellungen der Festigkeitswerte aufgebaut mit der Ausnahme, dass in der letzten Zeile sowohl das 50% (x₅₀)- als auch das 5%-Quantil x₀₅ aufgeführt sind. Alle Werte sind auf ganzer Zehnerpotenzen gerundet.

Die 50%-Quantile (Spaltenbezeichnung „ \bar{X} “, als charakteristische Werte für die elastischen Eigenschaften heranzuziehen) wurden nach den Auswertestrategien entweder als Mittelwerte von Plattenmittelwerten *beider* Nenndickenbereiche (Auswertung nach 3.1.1.1), als Mittelwerte von Plattenmittelwerten *innerhalb* der Nenndickenbereiche (3.1.2.2, siehe Tabelle 22 für ND I) bzw. als Minimalwert der Regressionsfunktion

⁵⁴ Herstellernummer

⁵⁵ Probenanzahl

⁵⁶ Nach den unterschiedlichen Bewertungsalgorithmen berechnetes 5%-Quantil, vgl. Tabelle 20

(Grenzwerte der einzusetzenden R_L von 0,33 bzw. 0,7) nach der unter 3.1.2.3 geschilderten Vorgehensweise (siehe Tabelle 22 für ND II) berechnet.

Die 5%-Quantile, die für die in der Eigen- und Fremdüberwachung nachzuweisenden Anforderungswerte heranzuziehen sind, finden sich in den Spalten 5 und 9 der letzten Zeile.

Tabelle 22 Auszug aus dem von /Tobisch, Krug 1999/ an CEN/TC 112 WG 9 erstellten Prüfbericht: Tabelle 7.1.1.2 zur Darstellung der ermittelten Biege-E-Moduln

Tabelle 7.1.1.2: Biege-E-Modul [N/mm²]								
Hersteller		Nenndicke ≤ 20 mm			Nenndicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{X}	s	X_{05}	n	\bar{X}	s	X_{05}
1	A	-	-	-	10	10270	660	
2	B	10	14540	1360	10	15590	1040	
3	C	-	-	-	10	11590	1341	
					10	11760	1674	
4	D	8	11810	738	8	10040	745	
5	E	8	14500	2671	8	12760	1649	
6	F	8	13570	1523	8	16060	1213	
7	G	8	11120	1381	8	13440	1000	
8	H	10	12700	706	10	12880	661	
9	I	-	-	-	10	9500	284	
10	K	25	11400	452	-	-	-	
11	L	10	13100	656	-	-	-	
12	M	-	-	-	10	9100	807	
gesamt / Mittelwert		87	12843	1329	102	12090	2333	
char. Wert			12840 ⁵⁷	Auswertung nach 3.1.2.2		11040 ⁵⁸		
						9100	Auswertung nach 3.1.2.3	7500

Tabelle 23 gibt einen Überblick über die Mittelwerte der geprüften, in den Nenndickenbereichen ND I (≤ 20 mm) bzw. ND II (>20 - 30 mm) industriell hergestellten dreilagigen Massivholzplatten aus Fichte, ohne jedoch näher auf die Lamellenverhältnisse der Platten eingehen zu können (siehe dazu Anhang 7.1). Den dargestellten Ergebnissen liegen 55 bis 112 Prüfkörper für die Haupteigenschaften (Biegung, Druck, Zug) bzw. 42 bis 107 Prüfkörper für die Nebeneigenschaften (Schub) zugrunde. Die Plattenrohddichten lagen mit 430 ... 500 kg/m³ in dem für Vollholzplatten erwarteten Bereich vergleichsweise eng beieinander.

Mit Ausnahme der Eigenschaften bei Schub wurden in der Hauptachse grundsätzlich höhere Werte gemessen als in der Nebenachse.

Die Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zu Plattenebene zeigten sich wie erwartet abhängig von der Nenndicke⁵⁹. Mit zunehmender Nenndicke waren geringere Werte in der Hauptachse und leicht erhöhte Werte in der Nebenachse festzustellen.

Im Vergleich zu herkömmlichen plattenförmigen Holzwerkstoffen für tragende Zwecke gleicher oder ähnlicher Nenndickenbereiche werden an den dreilagigen Massivholzplatten bei geringerer Rohdichte auch nach Berücksichtigung der 2s-Grenze, die ein guter Anhaltspunkt für das 5%-Quantil ist, deutlich höhere Festigkeiten und Elastizitäten be-

⁵⁷ 50 %-Quantile der Stichprobe, berechnet ohne Berücksichtigung von strukturellen Einflüssen

⁵⁸ unteres 5%-Quantil, berechnet nach den jeweiligen Auswertalgorithmen, vgl. Tabelle 20

⁵⁹ Durch den quadratischen Einfluss der Plattenneendicke im Nenner der Berechnungsvorschrift wird die mit zunehmender Plattendicke ansteigende Biegebruchkraft überlagert und die berechnete Biegefestigkeit sinkt bei steigender Plattendicke.

stimmt als z.B. an P5-Spanplatten nach EN 312:2003 (Festigkeit 16 ... 14 N/mm², E-Modul 2400 ... 2150 N/mm²) bzw. OSB/4 nach EN 300:1997 in der Hauptachse (Festigkeit 28 ... 26 N/mm², E-Modul 4800 N/mm²). Einschränkend dazu müssen jedoch die enorm großen Standardabweichungen (in Tabelle 23 fett markiert) des Biege-E-Moduls in der Nebenachse in Betracht gezogen werden, die auf den starken, in Tabelle 23 bei der Berechnung der Mittelwerte jedoch nicht berücksichtigten Einfluss des Lamellenverhältnisses zurückzuführen sind.

Tabelle 23 Mittelwerte und Standardabweichungen der geprüften, in den Nenndickenbereichen ND I (≤ 20 mm) bzw. ND II (>20 - 30 mm) industriell hergestellten dreilagigen Massivholzplatten aus Fichte, Darstellung der Ergebnisse in Haupt- und Nebenachse, berechnet ohne Berücksichtigung der zugrundeliegenden Lamellenverhältnisse

Eigenschaften [N/mm ²]		Orientierung der Decklagenlamelle			
		parallel (Hauptachse)		senkrecht (Nebenachse)	
		Nenndickenbereich in mm			
		≤ 20	> 20-30	≤ 20	> 20-30
Biegefestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene σ_{Bxy}	\bar{X} s	56,1 9,3	50,4 7,3	14,3 4,1	16,3 7,4
Biege-E-Modul rechtwinklig zur Plattenebene E_{Bxy}	\bar{X} s	12843 1329	12090 2333	1293 463	1707 1132
Biegefestigkeit in Plattenebene σ_{Bxz}	\bar{X} s	37,4 6,6	35,6 9,0	23,3 4,6	26,8 4,9
Biege-E-Modul in Plattenebene E_{Bxz}	\bar{X} s	8498 842	9734 4247	5751 1426	6348 1411
Druckfestigkeit in Plattenebene σ_{Dx}	\bar{X} s	25,6 4,5	24,6 5,6	18,2 3,2	19,8 5,4
Scherfestigkeit in Plattenebene τ_{xz}	\bar{X} s	2,4 0,3	2,1 0,3	2,3 0,2	2,2 0,4
Schubmodul in Plattenebene G_{xz}	\bar{X} s	106 28	117 26	109 29	118 34
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene τ_{xy}	\bar{X} s	6,3 0,7	5,7 0,6	6,6 0,5	6,0 1,1
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene G_{xy}	\bar{X} s	1519 987	1066 468	908 247	905 193
Zugfestigkeit in Plattenebene σ_{Zx}	\bar{X} s	28,2 3,5	21,3 4,6	15,7 2,2	17,5 3,1
Zug-E-Modul in Plattenebene E_{Zx}	\bar{X} s	8457 1183	6694 1722	4487 1179	5378 2242

Der Einfluss des Lamellenverhältnisses (berücksichtigt durch die Berechnung der charakteristischen Werte nach 3.1.2.3, vgl. Tabelle 20) wurde für die Biegung rechtwinklig zur Plattenebene im Nenndickenbereich ND II (>20 mm – 30 mm) in Haupt- und Nebenachse sowie im Nenndickenbereich ND I (≤20 mm) in der Nebenachse festgestellt. Danach steigen für die „dickeren“ Massivholzplatten die Biege- und Zugwerte der Festigkeit und Elastizität mit steigendem R_L an.

In der Nebenachse ist für alle geprüften Platten ein deutlicher Rückgang der Werte mit zunehmender Decklagendicke zu konstatieren (vgl. dazu Ergebnisse in 7.1.1 und 7.1.2).

Die Biegefestigkeit und der E-Modul bei Belastung in Plattenebene (sog. Hochkantbiegung) zeigen sich gleichfalls deutlich von der Nenndicke beeinflusst. Auch hier schränken jedoch teilweise zu hohe Standardabweichungen bei den Elastizitäten die Aussagemöglichkeiten ein.

Die Ergebnisse von /Tobisch, Plattes 2000/, die mit steigendem Lamellenverhältnis erhöhte Hochkantbiegewerte in der Hauptachse und geringere Festigkeiten bzw. Elastizitäten in der Nebenachse feststellten, konnten nur für den Nenndickenbereich ND II in der Hauptachse nachgewiesen werden (vgl. Auswertalgorithmus nach Tabelle 20 und Ergebnisse in 7.1.3). Im Bereich ND I konnten derart klare Abhängigkeiten nicht ermittelt werden, was jedoch auf den Mix der verschiedenen Hersteller, die Hölzer unterschiedlicher Herkunft und die zu gering variierenden Lamellenverhältnisse (R_L 0,55 ... 0,69, vgl. Tabelle 19) zurückgeführt werden muss.

Die Druckfestigkeit in Plattenebene stieg mit zunehmendem Lamellenverhältnis bei paralleler Decklagenfaser an (Berechnung der charakteristischen Werte auf Basis 3.1.2.3 nach Auswertung der Ergebnisse in 7.1.5 und 7.1.6), Prüfkörper mit senkrechter Orientierung der Decklagenfaser wiesen hier sinkende Werte auf. Steigende Nenndicken führten in der Hauptachse zu geringeren-, in der Nebenachse zu höheren Festigkeiten. Die Eigenschaften bei Druck in Plattenebene dreilagiger Massivholzplatte liegen für beide Nenndickenbereiche aufgrund der geringeren Plattenrohichte unter denen von P5-Spanplatten ($\sim 12,4 \text{ N/mm}^2$) und OSB/3 ($\sim 18,0 \text{ N/mm}^2$ in der Hauptachse; $\sim 15,1 \text{ N/mm}^2$ in der Nebenachse)⁶⁰.

Die Scherfestigkeiten und die dazugehörigen Schubmoduln zeigten sich weder bei Schub in Plattenebene noch rechtwinklig dazu von Lamellenverhältnis, Nenndicke oder Orientierung der Decklagenfaser beeinflusst und ordnen sich in ihrer Größe in den Bereich der Spanplatten- und OSB-Werte ein. Auffällig sind auch hier die teilweise extremen Standardabweichungen (fett markiert), die in diesem Fall jedoch auf die ungenügende Eignung der EN 789:2005 zur Bestimmung dieser Größen zurückzuführen sind. Aus diesem Grund erfolgt derzeit in CEN/TC 112 WG 4 „Allgemeine Prüfverfahren“ die Überarbeitung der Norm, die u.a. die Veränderung der Prüfmethodik zur Bestimmung der Eigenschaften bei Schub rechtwinklig zur Plattenebene zum Ziel hat (hier: Veränderung der Prüfkörpergeometrie, der Jochform und der Prüfkörpereinspannung).

Ein Einfluss des Lamellenverhältnisses auf die Zugfestigkeit und den Zug-E-Modul bei Beanspruchung in Plattenebene war nicht feststellbar. Dahingegen fielen jedoch die Werte in der Hauptachse mit steigender Nenndicke und stiegen in der Nebenachse. Die gemessenen Festigkeiten und Elastizitäten liegen zum Teil deutlich über den vergleichbaren Werten von Spanplatten ($\sim 8,9 \text{ N/mm}^2$; 1800 N/mm^2) und OSB ($\sim 10,9 \dots 8,3 \text{ N/mm}^2$; $4600 \dots 3600 \text{ N/mm}^2$).

⁶⁰ Da in den jeweiligen Produktnormen keine derartigen Eigenschaftswerte angegeben sind, erfolgt der hier angeführte Vergleich aufgrund einer Abschätzung. Dazu wurde der Abstand (das Verhältnis; $\sim 1 : 0,822 \dots 0,836$) zwischen den nach den jeweiligen Produktnormen (hier EN 300:1997 für OSB bzw. EN 312:2003 für Spanplatten) nachzuweisenden Biegeeigenschaften mit den in EN 12 369-1:2001 angegebenen charakteristischen Biegeeigenschaften für eine Rückrechnung der charakteristischen Druck-, Scher- und Zugeigenschaften (angegeben nur in EN 12 369-1:2001) auf entsprechende „Anforderungswerte“ benutzt. Es ist mit aller Deutlichkeit darauf hinzuweisen, dass es sich bei diesem Vorgehen um eine verallgemeinernde Abschätzung im Sinne eines Vergleiches handelt, die aber einen Anhaltspunkt für die Leistungsfähigkeit der geprüften Massivholzplatten gibt.

3.1.4 Auswertung und Festlegung charakteristischer Eigenschaften für prEN 12 369-3

Aus den in Anhang 7.1 aufgeführten Eigenschaftswerten wurden, in Anlehnung an die übliche Vorgehensweise und basierend auf den unter 3.1.2.1 bis 3.1.2.3 erläuterten Auswertelgorithmen, charakteristische Werte für folgende Eigenschaften in Haupt- und Nebenachse berechnet:

- Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene,
- Eigenschaften bei Zug in Plattenebene,
- Eigenschaften bei Druck in Plattenebene,
- Eigenschaften bei Schub in Plattenebene („planar shear“) und
- Eigenschaften bei Schub rechtwinklig zur Plattenebene („panel shear“).

Die Festigkeiten wurden als 5%-Quantile, die Steifigkeiten (E-Moduln) als Mittelwerte (x_{50}) angegeben. Da es nicht üblich ist, Angaben zur Biegung in Plattenebene (Hochkantbiegung) zu machen, wurden diese Werte WG 9 „Massivholzplatten“ informativ zu Verfügung gestellt.

Vom Verfasser wurde folglich vorgeschlagen, die in Tabelle 24 und Tabelle 25 aufgeführten charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte für den tragenden Einsatz dreilagiger Massivholzplatten im Nenndickenbereich bis 30 mm unter den Bedingungen der Nutzungsklasse 1⁶¹ in Ansatz zu bringen.

Tabelle 24 Vorschläge für charakteristische Rohdichte und Festigkeit dreilagiger Massivholzplatten in Haupt- (||) und Nebenachse (⊥)

Characteristic Density [kg/m ³] and Strength [N/mm ²]									
Thickness mm	Density ρ	Bending		Tension		Compression		Panel Shear	Planar Shear
		f_m		f_t		f_c		f_v	f_r
t_{nom}			⊥		⊥		⊥	/⊥	/⊥
≤ 20	430	40,0	5,3	23,0	12,1	10,0	12,7	4,9	1,7
> 20 - 30	430	29,0	3,8	13,2	12,2	11,0	11,4	4,9	1,7

Tabelle 25 Vorschläge für mittlere Steifigkeitswerte dreilagiger Massivholzplatten in Haupt- (||) und Nebenachse (⊥)

Characteristic Density [kg/m ³] and Mean Stiffness Values [N/mm ²]									
Thickness mm	Density ρ	Bending		Tension		Panel Shear		Planar Shear	
		E_m		E_t		G_v		G_r	
t_{nom}			⊥		⊥		⊥	/⊥	/⊥
≤ 20	430	12000	600	8500	4500	1200	910	110	110
> 20 - 30	430	9000	400	6700	5400	1200	910	110	110

Werden dreilagige Massivholzplatten als tragende und aussteifende Elemente eingesetzt, so sind die charakteristischen Werte gemäß der erwarteten Lasteinwirkungsdauer und der Nutzungsklasse (SC 1 bis SC 3) unter Benutzung der Werte für Vollholz bzw. Brettschichtholz nach DIN V ENV 1995-1-1:1994 zu modifizieren (k_{mod} , k_{def}).

Die unteren 5%-Quantile x_{05} für die elastischen Eigenschaften liegen in der Hauptachse beim 0,8fachen-, in der Nebenachse beim 0,6fachen der in Tabelle 25 angegebenen Mittelwerte.

⁶¹ SC 1, Ausgleichsfeuchte in der Massivholzplatte, die einer Temperatur von 20 °C und einer nur für wenige Wochen höher als 65 % liegenden relativen Luftfeuchte entspricht

Die berechneten Charakteristika dreilagiger Massivholzplatten liegen in der Hauptachse bei Biegung und Zug deutlich über den in EN 12 369-1:2001 angegebenen Werten vergleichbarer P5-Spanplatten und OSB/4. In der Nebenachse wird dieses Vergleichsniveau nur für die Zugfestigkeit bzw. den Zug-E-Modul überschritten – die Biegefestigkeitswerte dreilagiger Massivholzplatten in Nebenachse kommen auf ca. 50 % der OSB/4-Werte

Bedingt durch die Struktur der Massivholzplatten können bei Druckbeanspruchung in Plattenebene in der Nebenachse höhere Werte für die Berechnung angesetzt werden als in der Nebenachse – die Werte von Spanplatten werden sicher erreicht bzw. übertroffen. OSB/4 liegt mit einer charakteristischen Druckfestigkeit von 17,0 (Hauptachse) bzw. 13,4 N/mm² (Nebenachse) jedoch über den Massivholzplattenwerten.

Die charakteristische Festigkeit und die mittleren Steifigkeiten der geprüften dreilagigen Platten bei Schub in Plattenebene und rechtwinklig liegen in der gleichen Größenordnung Spanplatten und OSB.

Aus den 5%-Quantilen der Biegefestigkeit und des Biege-E-Moduls bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene wurden die im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle sowie der Fremdüberwachung nachzuweisenden Anforderungswerte im Nenndickenbereich bis 20 mm sowie für Nenndicken > 20 mm bis 30 mm für die Produktnorm EN 13 353:2003 generiert (siehe Tabelle 26) und WG 9 zur Diskussion vorgelegt.

Tabelle 26 Vorschläge für Anforderungswerte für dreilagige Massivholzplatte aus Nadelholz nach EN 13 353:2003 zur tragenden Verwendung im Innen-, Feucht- und Außenbereich

Anforderungswerte für dreilagige Massivholzplatten aus Nadelholz					
Eigenschaft	Quantil	Orientierung der Decklagenlamelle			
		parallel (Hauptachse)		senkrecht (Nebenachse)	
		Nenndicke in mm			
		≤ 20	20-30	≤ 20	> 20-30
Biegefestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene σ_{Bxy} [N/mm ²]	5%	40	29	5,3	3,8
Biege-E-Modul rechtwinklig zur Plattenebene E_{Bxy} [N/mm ²]	5%	10000	7500	290	130
Rohdichte [kg/m ³]	5%	430			

Nach einer entsprechenden Vorstellung und Diskussion der Werte im Rahmen der WG 4 „Allgemeine Prüfverfahren“, die für die Erstellung der weiteren Teile der Normenreihe EN 12 369 „Holzwerkstoffe - charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken“ verantwortlich ist, wurde der Sicherheitsabstand zwischen den charakteristischen Werten nach Tabelle 24 und den nachzuweisenden Anforderungen (Tabelle 26) als zu gering eingestuft. Nach der üblichen Verfahrensweise liegen nachzuweisende Festigkeiten ca. beim 1,20- ... 1,25fachen der charakteristischen Festigkeit – nach den Produktnormen zu bestimmende E-Moduln entsprechen materialabhängig dem 0,70- ... 0,75fachen der mittleren Steifigkeit. Im Ergebnis der geführten Diskussion wurden die Anforderungswerte für tragende Massivholzplatten nach EN 13 353:2003 nochmals überarbeitet (siehe Tabelle 27).

Mit der endgültigen Festlegung der Anforderungswerte dreilagiger Massivholzplatten nach EN 13 353:2003 durch WG 9 „Massivholzplatten“ (vgl. Tabelle 28) wurde jedoch den bisher vorgestellten Arbeiten nicht entsprochen: Die nachzuweisenden Anforderungswerte wurden mit dem Hinweis auf eine Erreichbarkeit für alle Hersteller deutlich

geringer festgelegt, als in den Prüfungen ermittelt und vorgeschlagen. Diese Vorgehensweise hat natürlich einen direkten Einfluss auf die Festlegung der charakteristischen Festigkeiten und mittleren Steifigkeiten, die daraufhin deutlich gesenkt werden müssten. Der damit verbundene Verlust an berechenbarer und anzusetzender Leistung sollte unter marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten nochmals überdacht werden.

Tabelle 27 Vorschläge für Anforderungswerte für dreilagige Massivholzplatten aus Nadelholz nach EN 13 353:2003 zur tragenden Verwendung im Innen-, Feucht- und Außenbereich unter Beachtung der üblichen Sicherheitsabstände zu den charakteristischen Werten nach EN 12 369

Anforderungswerte für dreilagige Massivholzplatten aus Nadelholz					
Eigenschaft	Quantil	Orientierung der Decklagenlamelle			
		parallel (Hauptachse)		senkrecht (Nebenachse)	
		Nennstärke in mm			
		≤ 20	20-30	≤ 20	> 20-30
Biegefestigkeit rechtwinklig zur Platten- ebene σ_{Bxy} [N/mm ²]	5%	48	34,8	6,4	4,6
Biege-E-Modul rechtwinklig zur Platten- ebene E_{Bxy} [N/mm ²]	5%	8400	6300	420	280
Rohdichte [kg/m ³]	5%	430			

Tabelle 28 Vorschläge für Mindestwerte für Dichte, Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit dreilagiger Massivholzplatte für tragende Zweck nach EN 13 353:2003

Eigenschaft	Nennstärke in mm		
	≤ 20	> 20 to 30	> 30
Dichte (kg/m ³)	420	420	420
Biegefestigkeit (N/mm ²)	32,0	27,0	1)
Biege-E-Modul [N/mm ²]	9000	6500	1)
1) Der Minimalwert ist durch den Hersteller anzugeben			
ANMERKUNG: Den charakteristischen Biege-Elastizitätsmodul-Werten von 9000 und 6500 N/mm ² entsprechen Mittelwerte von 11000 und 8000 N/mm ² .			

Zusammenfassend lässt sich an dieser Stelle sagen, dass durch die vorgestellten Ergebnisse und die Auswertungen eine allgemeine Grundlage geschaffen wurde, mehrlagige Massivholzplatten aus Nadelholz für einen tragenden Einsatz CE-gekennzeichnet auf den Markt zu bringen. Die in Zusammenarbeit mit WG 9 vorgeschlagenen charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte sind zwar recht konservativ (d.h. recht niedrig), sie ermöglichen jedoch nunmehr eine Berechnung der mit diesen Platten ausgelegten Konstruktionen nach den derzeit gültigen europäischen (ENV 1995-1-1:1994) und deutschen (DIN 1052:2004) Berechnungsvorschriften. Zur besseren Stellung der Massivholzplatten im Rahmen der herkömmlichen Holzwerkstoffe ist eine weitere Überarbeitung der bereitgestellten Werte sinnvoll.

3.1.5 Hygrische Eigenschaften und Formstabilität

Für die Bestimmung der Dimensionsänderungen und der Ausgleichsfeuchte in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchte wurden im Rahmen der Erstellung des Eigenschaftsprofils dreilagiger industriell hergestellter Massivholzplatten aus Nadelholz die Platten von 5 Herstellern einer entsprechenden Prüfung unterzogen. Dazu wurden je Plattentyp und Richtung der Decklagenfaser zwei Parallelstichproben mit jeweils 12

Prüfkörpern nach EN 318:1993 (20 mm x 200 mm x t_1) eingeschnitten und bis zum Erreichen der Massekonstanz im Normklima 20 °C / 65 % rH gelagert. Zu diesem Zeitpunkt erfolgte eine erste Vermessung der Länge und des Gewichts der Prüfkörper, um die Werte des Ausgangszustandes zu fixieren, auf die sich alle weiteren Messergebnisse zu beziehen hatten. Im Anschluss daran wurde die erste Parallelstichprobe im Klima 20 °C / 35 % rH-, die zweite Parallelstichprobe im Klima 20 °C / 85 % bis zur annähernden Massekonstanz⁶² gelagert. Die zu diesem Zeitpunkt erfolgten Messungen der Länge und des Gewichts wurden zur Berechnung der Längenänderungen bzw. der Ausgleichsfeuchte (mit Bezug auf die Darrmasse) verwendet.

Die Prüfkörperlänge wurde aufgrund der unterschiedlichen Dimensionsänderungen der 3 gesperrt angeordneten Lagen in Plattenebene als Mittelwert der Deck- und der Mittellagenlänge gemessen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 29 für Platten im Nenndickenbereich ND I bzw. in Tabelle 30 für ND II, jeweils aufsteigend geordnet nach dem Lamellenverhältnis, aufgeführt.

Die erwartete Abhängigkeit der Längenänderungen vom Lamellenverhältnis konnte für die Platten im Nenndickenbereich ND I so nicht festgestellt werden: Während die Längenschwindung DL 35 nach Lagerung im Trockenklima für alle untersuchten Proben, unabhängig von der Faserrichtung der Decklagen und vom R_L , quasi gleiche Beträge zeigte, wichen die Längen der unterschiedlichen Stichproben nach Adsorption ohne erkennbaren Zusammenhang mehr oder weniger stark voneinander ab. Auffällig ist auch, dass die Längenquellung IL 85 für die „dünnen“ Massivholzplatten unabhängig von Haupt- oder Nebenachse innerhalb der Plattentypen defacto die gleichen Werte hatte. Dies wird zusätzlich durch die gleichgroßen Werte der als Summe (IL 85 + DL 35) für die Achsen getrennt berechnete Gesamtlängenänderung ΔL deutlich.

Den geprüften Platten mit einer Nenndicke bis 20 mm und einem Lamellenverhältnis von 0,53 bis 0,69 muss daher im Bezug auf die Längenänderung bei Veränderung der relativen Luftfeuchte ein vergleichsweise isotropes Verhalten beschieden werden.

Die von *Schwab, Steffen und Korte /1997/* an einer dreilagigen, 20 mm dicken Fichten-Massivholzplatte in einstufiger Klimatisierung bestimmten Werte (IL 85 II/ \perp 0,066 % / 0,136 %; DL 35 II/ \perp 0,056 % / 0,080 %) liegen direkt im Bereich der Werte, die an den industriellen Massivholzplatten des Nenndickenbereichs ND I gemessen wurden (Tabelle 29). Die Autoren ermittelten jedoch, gegensätzlich zu den o.a. Ergebnissen, in der Nebenachse größer Längenänderungswerte als in der Hauptachse.

Sattler stellte 1997 Ergebnisse vor, nach denen die hygrischen Dimensionsänderungen von Holzspanplatten bei Adsorption stärker ausgeprägt waren als bei Desorption. Diese Aussagen konnten, bis auf eine Ausnahme (Hersteller G), auch für die hier geprüften Massivholzplatten bestätigt werden. *Sattler* schlägt zur Aussageerweiterung für den Praktiker weiterhin den Bezug der Dimensionsänderung auf 10 % Luftfeuchteänderung ($\Delta l_{10A,D}$) vor. Danach weisen die geprüften Massivholzplatten im Nenndickenbereich bis 20 mm, unabhängig von der Achsenrichtung, pro 10 % Luftfeuchteänderung Werte von $\Delta l_{10A} = 0,02 \dots \underline{0,06} \dots 0,1 \text{ \%/\%}$ Längenquellung bei Befeuchtung und $\Delta l_{10D} = 0,02 \text{ \%/\%}$ Längenschwindung bei Trocknung auf.

⁶² Die Massekonstanz galt als erreicht, wenn sich 2 Messungen des Gewichts um nicht mehr als 0,1 % der Prüfkörpermasse unterschieden.

Tabelle 29 Dimensionsänderungen in Plattenebene und Ausgleichsfeuchten in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchte industriell hergestellter dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz; Nenndickenbereich ND I (≤ 20 mm), aufsteigend geordnet nach dem Lamellenverhältnis

Hersteller	D	F	E	G	B
Nenndicke [mm]	19	19	19	19	19
mittlere Rohdichte [kg/m ³]	500	490	480	460	430
R _L	0,53	0,53	0,55	0,66	0,69
IL 85 II [%] ⁶³	0,16	0,07	0,11	0,04	0,20
IL 85 \perp [%]	0,17	0,08	0,12	0,05	0,19
DL 35 II [%] ⁶⁴	-0,07	-0,07	-0,08	-0,07	-0,05
DL 35 \perp [%]	-0,06	-0,07	-0,07	-0,08	-0,07
ΔL II [%] ⁶⁵	0,23	0,14	0,19	0,11	0,25
ΔL \perp [%]	0,23	0,15	0,19	0,13	0,26
u _{gl 35} [%]	7,9	8,4	8,1	8,7	8,4
u _{gl 65} [%] ⁶⁶	10,9	11,2	11,5	13,1	12,5
u _{gl 85} [%]	15,3	15,6	16,1	16,1	15,8

Tabelle 30 Dimensionsänderungen in Plattenebene und Ausgleichsfeuchten in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchte industriell hergestellter dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz, Nenndickenbereich ND II ($> 20 - 30$ mm), aufsteigend geordnet nach dem Lamellenverhältnis

Hersteller	D	E	H	F	G	B
Nenndicke [mm]	27	28	27	26	27	27
mittlere Rohdichte [kg/m ³]	450	450	470	460	500	470
R _L	0,37	0,49	0,63	0,65	0,65	0,65
IL 85 II [%]	0,13	0,14	0,15	0,04	0,08	0,20
IL 85 \perp [%]	0,16	0,21	0,20	0,20	0,12	0,18
DL 35 II [%]	-0,09	-0,08	-0,06	-0,09	-0,07	-0,06
DL 35 \perp [%]	-0,06	-0,12	-0,12	-0,19	-0,14	-0,07
ΔL II [%]	0,22	0,22	0,21	0,13	0,15	0,26
ΔL \perp [%]	0,22	0,33	0,32	0,39	0,26	0,25
u _{gl 65} [%]	11,7	12,4	12,8	10,6	12,8	11,7
u _{gl 35} [%]	8,3	8,7	8,6	8,1	8,7	8,5
u _{gl 85} [%]	16,0	16,8	16,1	15,4	16,0	15,8

Auch für die Massivholzplatten im Nenndickenbereich ND II ($> 20 - 30$ mm) konnte kein eindeutiger Einfluss des Lamellenverhältnisses auf die Werte der Dimensionsänderung in Plattenebene festgestellt werden (siehe Tabelle 30). Bei den „dicken“ Platten lagen jedoch fast ausnahmslos höhere Dimensionsänderungen in der Nebenachse (tangentiales Quellen und Schwinden der Decklagen) als in der Hauptachse vor. Klar wird dies auch durch die höheren Werte der Gesamtlängenänderung $\Delta L \perp$ gegenüber ΔL II. Es ist gleichzeitig zu betonen, dass an den dickeren Platten im Ausgleichszustand größere Längenänderungswerte in der Nebenachse messbar waren als an den Platten im Nenndickenbereich ND I (≤ 20 mm).

Mit Bezug auf /Sattler 1997/ liegen die Werte der Dimensionsänderungen in Plattenebene für dreilagige, > 20 bis 30 mm dicke Massivholzplatten bei 10% Luftfeuchteänderung (ΔI_{10A}) in der Hauptachse bei Adsorption zwischen $0,02 \dots 0,06 \dots 0,1\%$, bei

⁶³ Prozentuale Längenänderung bei Lagerung im Klima $20\text{ °C} / 85\% \text{ rH}$, bezogen auf den Ausgangszustand in $20\text{ °C} / 65\% \text{ rH}$

⁶⁴ Prozentuale Längenänderung bei Lagerung im Klima $20\text{ °C} / 35\% \text{ rH}$, bezogen auf den Ausgangszustand in $20\text{ °C} / 65\% \text{ rH}$

⁶⁵ Gesamtlängenänderung als Summe IL 85 + DL 35 jeweils in Haupt- bzw. Nebenachse

⁶⁶ Ausgleichsfeuchte bei $20\text{ °C} / 65\% \text{ rH}$ und Startpunkt der Messungen; die bei dieser Feuchte bestimmten Dimensionen dienten als Bezugsgrößen für die Berechnung.

Desorption (Δl_{10D}) bei 0,03 %. In der Nebenachse werden Δl_{10A} -Werte bei Befeuchtung von 0,06 ... 0,09 ... 0,11 %, bei Trocknung von $\Delta l_{10D} = 0,02$... 0,04 ... 0,06 % berechnet.

Auch im Nenndickenbereich ND II wurden bei Adsorption höhere Dimensionsänderungswerte bestimmt als bei Desorption.

Für die Bestimmung der Formstabilität wurden im Nenndickenbereich ND I Massivholzplatten der Hersteller E, F, H und N untersucht; im Nenndickenbereich ND II kamen Platten der Hersteller B, C, E, F, G und N zum Einsatz (zum Aufbau der Platten vgl. Tabelle 19).

Die Ergebnisse der Formänderungen rechtwinklig zur Plattenebene in Haupt- und Nebenachse sowie in diagonalen Messrichtung sind in Tabelle 31 enthalten.

Tabelle 31 Formänderungen dreilagiger Massivholzplatten im Nenndickenbereich ND I (≤ 20 mm) sowie ND II (> 20 bis 30 mm) nach einer 96stündigen Differenzklimabelastung von 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH

Formänderung			ND I (≤ 20 mm)					
			19 mm	19 mm	19 mm	20 mm	--	--
Hersteller			E	F	H	N	--	--
Lamellenverhältnis R_L			0,55	0,53	0,63	0,66	--	--
Nebenachse ⁶⁷	mm/m	\bar{X}	12,13	9,66	15,96	26,49	--	--
Hauptachse	mm/m	\bar{X}	4,41	3,74	4,02	2,89	--	--
diagonal	mm/m	\bar{X}	8,35	6,71	10,03	14,65	--	--
Formänderung			ND II (> 20 bis 30 mm)					
			27 mm	27 mm	28 mm	26 mm	27 mm	26 mm
Hersteller			B	C	E	F	G	N
Lamellenverhältnis R_L			0,65	0,67	0,49	0,65	0,65	0,50
Nebenachse	mm/m	\bar{X}	9,30	14,53	4,76	12,10	11,36	8,86
Hauptachse	mm/m	\bar{X}	2,88	3,62	2,93	2,55	2,31	4,44
diagonal	mm/m	\bar{X}	6,07	9,10	3,83	7,34	6,90	6,57

Erwartungsgemäß wurden für die Formänderungen der Massivholzplatten in der Hauptachse durch die Richtungsorientierung des Versuchsmaterials relativ niedrige Werte ermittelt. So lag die gemessene Formänderung bei Nenndicken ≤ 20 mm im Bereich von 2,89 mm/m (Hersteller H) bis 4,41 mm/m (Hersteller E); bei Nenndicken > 20 bis 30 mm wurden Werte zwischen 2,31 mm/m (Hersteller G) und 4,44 mm/m (Hersteller N) ermittelt. Eine Abhängigkeit der Formänderung in der Hauptachse vom Lamellenverhältnis dreilagiger Massivholzplatten konnte nicht festgestellt werden.

Die in der Nebenachse ermittelten Formänderungen hingegen waren wesentlich größer und zwischen den untersuchten Plattentypen in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis deutlich gestuft (Abbildung 28 und Abbildung 29).

Es wird deutlich, dass die Formänderungen der Platten mit einer Nenndicke ≤ 20 mm (ND I) in einem weiten Bereich variieren.

Die geringsten Formänderungen von 9,66 mm/m wurden bei Hersteller F mit dem kleinsten R_L von 0,53 ermittelt, während für Hersteller N mit dem größten R_L (0,66) nach 96 Stunden Klimabelastung Formänderungswerte von 26,49 mm/m gemessen wurden. Es ist ein deutlicher Einfluss des Lamellenverhältnisses auf die Formänderungswerte festzustellen.

⁶⁷ Zur Darstellung der Messanordnung siehe Abbildung 8 und Abbildung 9 unter Punkt 2.3.1.

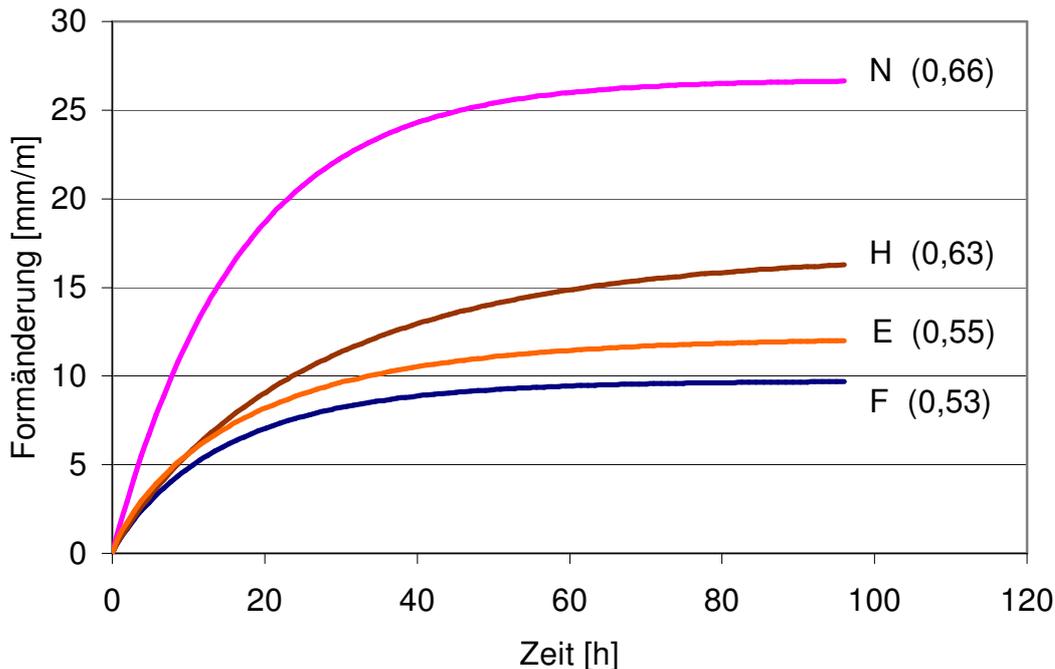


Abbildung 28 Formänderungsverlauf von dreilagigen Massivholzplatten des Nenndickenbereiches ND I (≤ 20 mm) in Richtung der Nebenachse während einer 96stündigen Differenzklimabelastung in der Doppelklimakammer von $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 85 \% rH – $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 35 \% rH , Angabe des Lamellenverhältnisses in Klammern

Abbildung 29 zeigt die Formänderungen der Platten in der Nebenachse im Nenndickenbereich ND II (> 20 bis 30 mm).

Analog zu ND I wurden die geringsten Formänderungen in Richtung der Nebenachse mit $4,76\text{ mm/m}$ bei den Platten mit dem kleinsten R_L ermittelt (Hersteller E mit $0,49$), während bei Hersteller C die Platten mit dem größten R_L ($0,67$) die höchsten Formänderungen ($14,53\text{ mm/m}$) aufwiesen. Die Platten des Herstellers C zeigen trotz eines gleichen Lamellenverhältnisses von $0,67$ aufgrund der geringeren Rohdichte höhere Formänderungswerte als Platten der Herstellers F.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Formänderungen dreilagiger Massivholzplatten in Richtung der Nebenachse signifikant durch das Lamellenverhältnis beeinflusst werden (mit steigendem Lamellenverhältnis nimmt der Anteil der tangentialen/radialen Quellung/Schwindung und damit der „Verformungsdruck“ der gesamten Platte in Richtung der Nebenachse zu). Generell wiesen Platten mit dickeren Decklagen und damit größerem Lamellenverhältnis höhere Formänderungswerte in der Nebenachse auf.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Formstabilität mehrlagiger Massivholzplatten durch die ausgeprägte Richtungsorientierung der Lagen und durch die Plattendicke stark beeinflusst wird. In Richtung der Nebenachse wurde eine deutliche Abhängigkeit der Formänderung vom Lamellenverhältnis festgestellt, wobei die höchsten Verformungen bei Massivholzplatten des ND I (≤ 20 mm) sowie bei den Platten mit besonders dicken Decklagen (und damit großem Lamellenverhältnis) auftraten. Da es sich bei den geprüften Platten um Industrieplatten handelte, bei denen die Decklagen „im allgemeinen“ mit liegenden Jahrringen und der rechten Seite nach außen angeordnet waren, konnte ein möglicher Einfluss der Jahrringlage nicht signifikant nachgewiesen werden.

Andere plattenförmige Holzwerkstoffe, wie z.B. Spanplatten, MDF oder OSB weisen demgegenüber deutlich günstigere, d.h. niedrigere, Formänderungswerte auf (siehe z.B. /Jensen, Krug 1999/), was am höheren Aufschlussgrad der Holzpartikel, am höheren Kunstharzanteil und an der wesentlich geringer ausgeprägten Richtungsorientierung dieser Werkstoffe liegt.

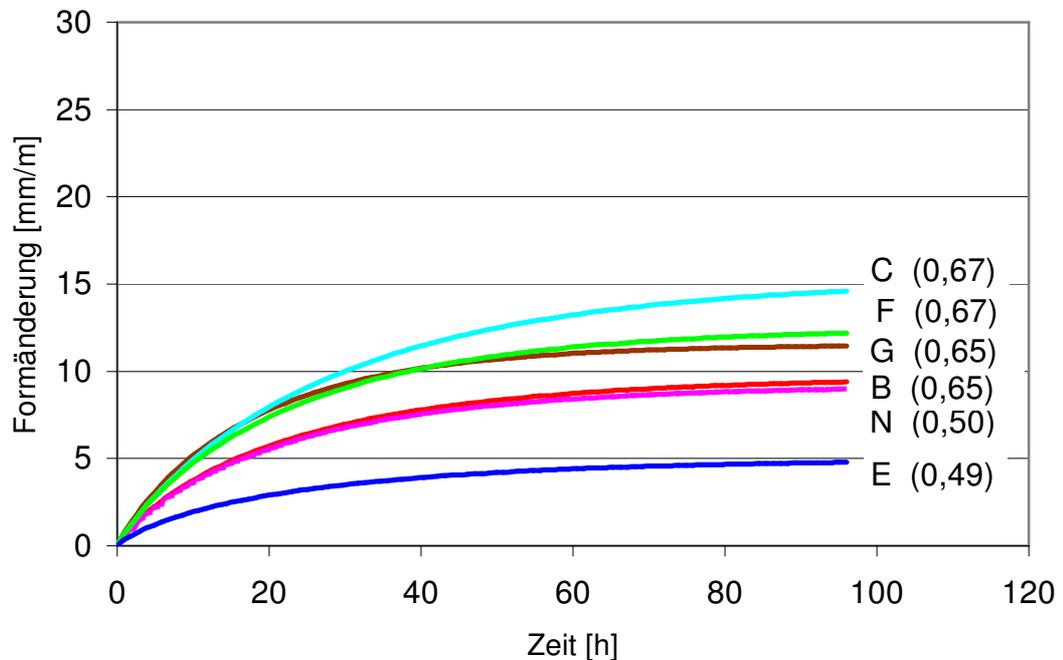


Abbildung 29 Formänderungsverlauf von dreilagigen Massivholzplatten des Nenndickenbereiches ND II (> 20 bis 30 mm) in Richtung der Nebenachse während einer 96stündigen Differenzklimabelastung von 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH, Angabe des Lamellenverhältnisses in Klammern

3.2 Einfluss ausgewählter Größen auf die Platteneigenschaften

3.2.1 Einleitung

Für alle unter Punkt 3.2 im folgenden dargestellten Versuche wurden unter dem Gesichtspunkt der Vergleichbarkeit der Ergebnisse nach ÖNORM 3022:1991 sortierte Fichtenholz-Lamellen der Sortierklasse A, B und C⁶⁸ eines namhaften norditalienischen Massivholzplattenproduzenten eingesetzt. Die Herstellung der gütesortierten Lamellen erfolgte bei Lieferanten spanend mit Dünnschnittgattern bzw. Vielblattkreissägen grundsätzlich in zwei Sortimenten: Fichtenholzlamellen der Dicke 19,8 mm mit einer Breite von 91 mm und Lamellen der Dicke 12,8 mm mit einer Breite von 117 mm. Die Länge der Lamellen betrug einheitlich 2,5 m – der Feuchtegehalt lag nach technischer Trocknung im Bereich von 6 bis 10 %.

Als Bindemittel kamen für die Versuche das heißaushärtende MUF-Harz-System K 610 der BASF AG mit dem Härter Bonit 12 320 (Maleinsäure) bzw. die PVAc-Systeme A 300 (Fa. Citax) oder MD 074 (Fa. Dorus) zum Einsatz. Die Mittellagen-Vorfertigung erfolgte grundsätzlich mit den oben angegebenen PVAc-Dispersionen.

Die Zurichtung der Lamellendicken für die verschiedenen Versuchsprogramme erfolgte durch symmetrisches Kalibrieren und fallweise anschließendem Schleifen. Nach entsprechenden Vorversuchen musste festgestellt werden, dass eine Lamellendicke kleiner als 7 mm nicht ohne Qualitätsverluste (herausfallende Äste, damit Verlust der Sortierklasse) herstellbar war.

Die Beleimung der Lamellenschmalflächen bzw. der Lagenflächen erfolgte entweder mit einer Flächendüse (LogDos, Fa. Beck) oder im Handauftrag per Spachtel; die Auftragsmenge lag zwischen 70 ... 150 g/m² für die PVAc-Klebstoffe bzw. 200 ... 300 g/m² für MUF-Harze.

Einlagige Platten bzw. die Mittellagen dreilagiger Platten wurden in einer pneumatischen Etagenverleimpresse hergestellt (Abbildung 30). Nach der Beleimung der Schmalflächen mit den in den Arbeitsprogrammen vorgesehenen Bindemitteln wurden die Lamellen eingelegt und über pneumatische Druckaggregate unter Zuhilfenahme spezieller Niederhalter in Plattenebene verpresst.



Abbildung 30 Pneumatische Etagenverleimpresse zur Herstellung einlagiger schmalflächenverleimter Massivholzplatten bzw. zur Vorfertigung der Mittellagen dreilagiger Massivholzplatten

⁶⁸ Die Sortierkriterien für Lamellen aus Fichte, Kiefer und Lärche sind im Anhang unter Punkt 7.3 aufgeführt.

Nach der für die eingesetzten Bindemittel erforderlichen Kaltaushärtezeit wurden die Platten den Aggregaten entnommen und für die Weiterverarbeitung bereitgestellt.

Für die Herstellung dreilagiger Massivholzplatten wurden die Lamellen der unteren Decklagen auf einem Verleimtisch ausgelegt (rechte, kernabgewandte Seite nach außen) und im Randbereich geklammert. Anschließend erfolgte der Bindemittelauftrag nach den Angaben der jeweiligen Arbeitsprogramme und das Auflegen der vorgefertigten Mittellage (90 ° versetzt zur Faserrichtung der Decklage). Mit der oberen Decklage wurde analog verfahren. Fallweise wurden Thermolemente zur Bestimmung des Temperaturverlaufes in der Klebfuge in die Platten eingelegt.

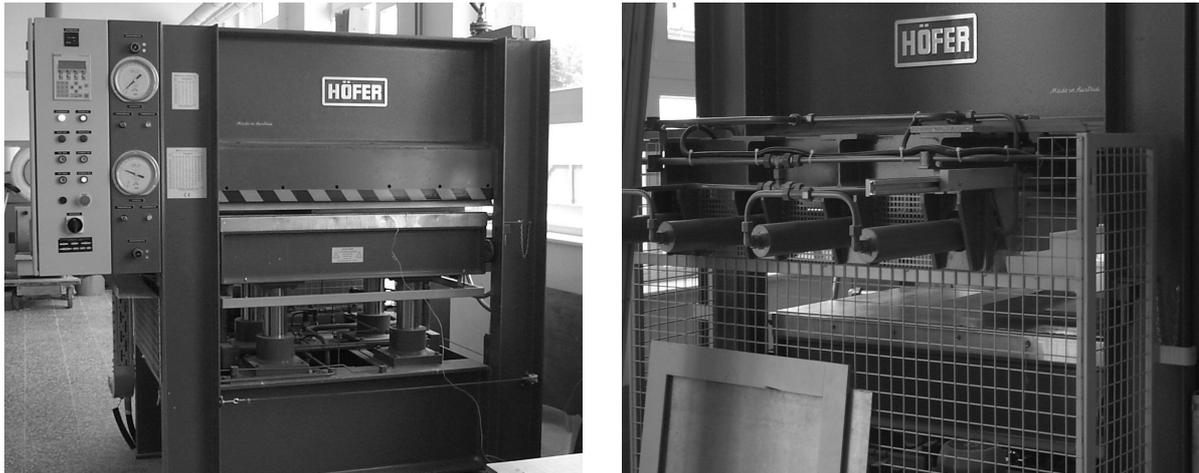
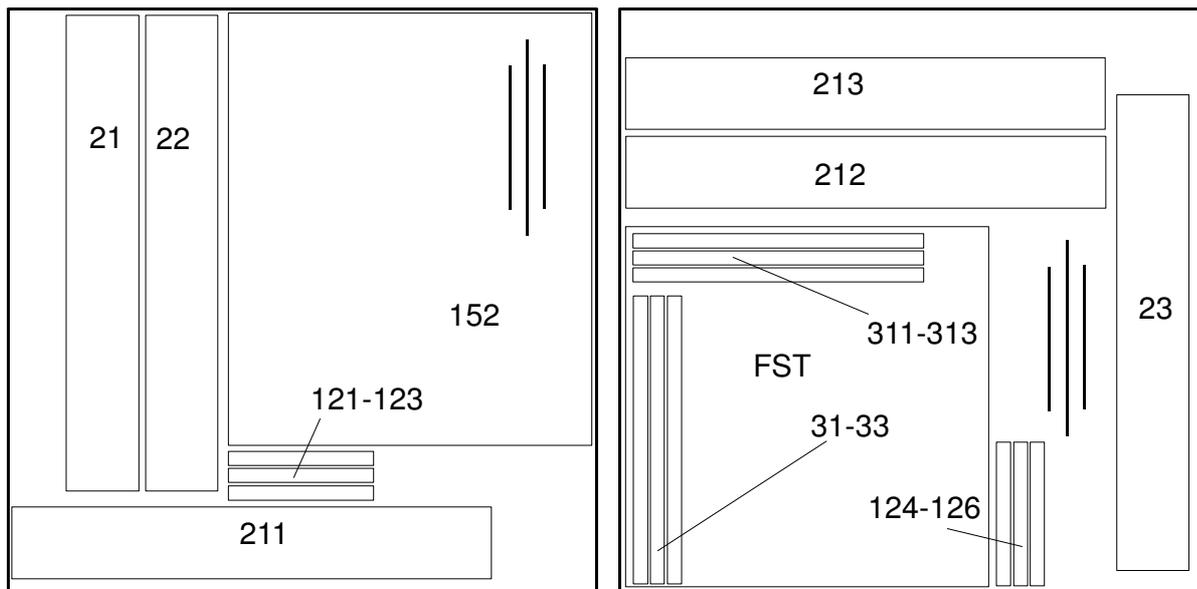


Abbildung 31 Labor-Massivholzplattenpresse mit Seitendruckaggregaten (rechts), Fabrikat Höfer MHP 130, Pressfläche 1250 mm x 850 mm, maximaler spezifischer Pressdruck 32 bar

Die für die verschiedenen Versuchsprogramme hergestellten ein- und dreilagigen Massivholzplatten wurden mit folgenden Grundeinstellungen auf der beheizbaren Massivholzplattenpresse (Abbildung 31) hergestellt:

- Plattenformat: 819 mm x 819 mm x Plattennendicke
- Plattenaufbau: ein- bzw. dreilagig
- Heizplattentemperatur: 130 °C
- Presszeitfaktor: 90 s/mm oder nach Messung der Klebfugentemperatur
- spezifischer Pressdruck Fläche: 10 bar (1 MPa)
- spezifischer Pressdruck Seite: 14 bar (1,4 MPa)
- Konditionierung der Platten: min. 3 Tage (im Stapel)
- Besäumen auf Fertigmaß: 810 mm x 810 mm
- Schleifen der Breitflächen auf Nenndicke und Prüfkörper einschnitt.

Vor Beginn der Verpressung wurden an der Anlage die den Versuchsplänen entsprechenden vorgesehenen Flächen- und Seitendrucke eingestellt. Die Presszeit richtete sich nach den gemessenen Temperaturverläufen in der Klebfuge (Zieltemperatur bei heißhärtenden MUF-Harz-Systemen 90 °C). Im Verlauf der Untersuchungen konnte ein Presszeitfaktor von 90 s/mm zu durchwärmender Dicke bei einer Presstemperatur von 130 °C ermittelt werden.



Platte 1

Platte 2

Prüfkörper 31-33 und 311-313 werden nach Bestimmung der Formstabilität aus dem Prüfkörper FST eingeschnitten

Abbildung 32 Einschnittschemata für labortechnisch hergestellte Massivholzplatten mit Prüfkörpernummerierung (Beispiel)

Nach dem Kalibrierschliff auf einer Breitbandkontaktschleifmaschine wurden aufgrund vorgegebener Einschnittschemata (Abbildung 32) die Prüfkörper für nachfolgend aufgeführte Eigenschaftsprüfungen eingeschnitten:

- Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene in Anlehnung an EN 789:2005, Prüfkörperbezeichnung 21, 22 und 23 (Hauptachse) bzw. 211, 212 und 213 (Nebenachse)⁶⁹
- Eigenschaften bei Biegung in Plattenebene in Anlehnung an EN 13 879:2002, Prüfkörperbezeichnung 31, 32 und 33 (Hauptachse) bzw. 311, 312 und 313 (Nebenachse)⁷⁰
- Eigenschaften bei Scherung rechtwinklig zu Plattenebene nach EN 789:2005, Prüfkörperbezeichnung 152 (nur Hauptachse)
- fallweise: Bestimmung der Druckscherfestigkeit nach Vorbehandlungen zur Ermittlung der Qualität der Verleimung an einlagigen Platten nach /Teisinger et al. 1998, siehe Abbildung 33/⁷¹.
- Maßänderungen in Plattenebene in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte nach EN 318:1993, Prüfkörperbezeichnung 121, 122 und 123 (Nebenachse) bzw. 124, 125 und 126 (Hauptachse)

⁶⁹ Aufgrund des begrenzten Plattenformates wurde die Prüfkörpergröße auf 600 mm x 100 mm x t_1 verkleinert, das Stützweitenverhältnis betrug das 30fache der Nenndicke t_1 . An den Prüfkörpern wurde zusätzlich die Rohdichte bestimmt.

⁷⁰ Festlegung der Prüfkörperbreite auf max. 100 mm, daher Einschnitt von nur 3 Streifen aus den Prüfkörpern zur Bestimmung der Formstabilität nach Beendigung der entsprechenden Prüfung.

⁷¹ Bei dieser Prüfung handelt es sich um eine nicht genormte, in der Praxis einlagiger Massivholzplatten jedoch vielfach angewandte Prüfung zur Bestimmung der Verklebungsqualität.

- Bestimmung der Formstabilität nach 96stündiger Exposition im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH, Prüfkörperbezeichnung FST, Messrichtungen sowohl in Haupt- und Nebenachse (vertikal bzw. horizontal) als auch diagonal

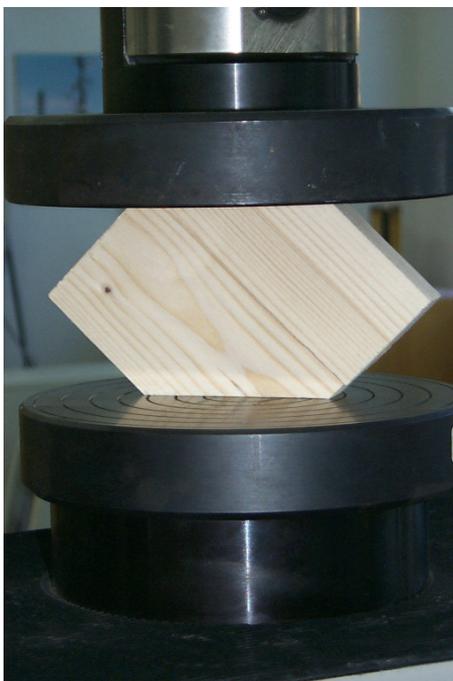


Abbildung 33 Prüfkörper zur Bestimmung der Druckscherfestigkeit einlagiger Massivholzplatte zum Nachweis der Verklebungsqualität nach verschiedenen Vorbehandlungen /Teischinger et al. 1998/

Als Ergebnisse der Prüfungen wurden Mittelwerte innerhalb der Plattenvarianten und – bei einer verwertbaren Prüfkörperanzahl von ≥ 3 – auch die Standardabweichungen sowie die Variationskoeffizienten angegeben.

3.2.2 Lamellengüte

Die Untersuchungen zum Einfluss der Lamellengüte (hier festgelegt als unterschiedliche Sortierklassen A bis C nach ÖNORM 3022:1991, unterschiedliche Arten der Längsverbindungen⁷², verschiedene Breiten und unterschiedliche Fugengüte der Lamellen sowie verschiedene Schmalflächenformen⁷³) wurden grundsätzlich an einlagigen Massivholzplatten untersucht, um den Grad der Beeinflussung, ohne die möglicherweise auftretenden Eigenschaftsveränderung durch einen gesperrten Aufbau dreilagiger Platten beachten zu müssen, besser herausarbeiten zu können. Es erfolgte keine Bestimmung der Maßänderungen in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte, da bei einlagigen Massivholzplatten durch die Wahl der Technologie nicht mit einer Beeinflussung dieser Eigenschaft und daher von vollholzüblichen Werten auszugehen war.

⁷² gestoßen oder keilgezinkt

⁷³ unterschiedliche Schmalflächenformen (stumpf, trapezförmig oder gefalzt) bzw. Fugengüten (sägerau, gehobelt, geschliffen)

3.2.2.1 *Material und Methode*

Entsprechend der angestrebten Erkenntnisse kamen Lamellen aus Fichtenholz in den Güteklassen A, B und C zur Anwendung (vgl. dazu auch 3.2.1).

Die Einteilung/Sortierung der Lamellen in die Güteklassen erfolgte unter Anwesenheit des Verfassers beim Hersteller nach den Sortierungsbestimmungen gemäß ÖNORM B 3022:1991 (mehrschichtige Massivholzplatten, Sortierkriterien siehe Anhang 7.3). Maßgebende Kriterien waren dabei insbesondere die Holz- und Verarbeitungsqualität, wie z.B.:

- Struktur, Faserverlauf,
- Astigkeit / Flickkäste (u.a. Größe, Anzahl; bei A max. Durchmesser 30 mm),
- Verfärbungen, Pilzbefall,
- Harzgallen,
- Risse,
- Rindeneinschlüsse,
- Markröhren.

Allgemein steht Güteklasse A für beste, Güteklasse B für mittlere und Güteklasse C für ausreichende Holzqualitäten, wobei auch für die geringwertigen C-Qualitäten die Verwendung von faulem oder insektenbefallenem Holz unzulässig ist.

Die an einer Stichprobe von je 15 Lamellen pro Sortierklasse bestimmten mittleren Lamellenroh-dichten lagen in einem recht engen Bereich von 460 bis 500 kg/m³.

Als Bindemittel zur Herstellung einlagiger Massivholzplatten in der pneumatischen Etagenverleimpresse (Fa. Beck) kam PVAc der Fa. Citax (PVAc-System A 300) mit einem Feststoffgehalt von ca. 50 % für eine Verklebung bei Raumtemperatur zur Anwendung.

Das gleiche System fand bei der Herstellung einlagiger Massivholzplatten in der beheizbaren Massivholzplattenpresse mit Hydraulik, Typ MHP 130 (Fa. Höfer) Verwendung. In dieser Versuchsreihe wurde zusätzlich das speziell auf die Verklebung von Massivholzplatten abgestimmte, heißaushärtende Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz-System (Kauramin K 610 + Härter Bonit 12320, jeweils Fa. BASF) mit einem Feststoffgehalt von etwa 66 % einbezogen.

Bei den Versuchen wurde generell zwischen der Herstellung einlagiger Massivholzplatten in der pneumatischen Etagenverleimpresse bei Raumtemperatur (Kaltaushärtung) sowie in der hydraulischen Massivholzplattenpresse bei 130 °C unterschieden.

Im Rahmen der Versuchsreihen zur Verklebung bei Raumtemperatur erfolgte eine Variation folgender Einflussgrößen:

- Lamellen- und Holzqualität (Güteklassen A, B, C),
- Lamellenstöße in Längsachse (durchgehend, stumpf gestoßen, keilgezinkt⁷⁴ verleimt),
- Lamellen-Fugengüte (sägerau, geschliffen, gehobelt),
- Lamellen-Schmalflächenform (stumpf, gefalzt, 45°-Fase).

Es wurden 60 einlagige Massivholzplatten im Format 800 mm Länge x 1200 mm Breite in den Dicken 12,8 und 19,8 mm hergestellt. Beim Legen der Lamellen wurde auf einheitliche Ausrichtung der Lamellen („rechte“ = kernzugewandte Seite nach oben) ge-

⁷⁴ Zinkenebene in Richtung der Lamellenbreitflächen

achtet. Zur Gewährleistung eines gleichmäßigen Bindemittelauftrages kam eine spezielle Flächendüse (Typ LogDos, Fa. Beck) zum Einsatz.

Aus den Platten wurden nach mindestens 10-tägiger Konditionierung Prüfkörper nach einem festgelegten Einschnittschema entnommen. Nach der Klimatisierung im Normal Klima 20 °C / 65 % rH erfolgten Prüfungen zur Ermittlung der Qualität der Verklebung (Druckscherfestigkeit nach Normalklimalagerung) sowie der Biegeeigenschaften.

Im Anschluss an die Herstellung kaltverleimter einlagiger Massivholzplatten mittels Etagenverleimpresse wurden einlagige Massivholzplatten in der beheizbaren Massivholzplattenpresse gefertigt.

Für diese Untersuchungen kamen generell durchgehende, 19,8 mm dicke Fichtenholz-Lamellen der Güteklasse B mit gesägter Breitfläche und gehobelter Schmalfläche zum Einsatz. Die Bindemittel wurden mit jeweils gleicher Auftragsmenge von 200 – 300 g/m² verarbeitet. Neben der Verwendung von 2 unterschiedlichen Bindemittelsystemen (PVAc, MUF) erfolgte zusätzlich eine Variation der Lamellenbreite (25 und 91 mm).

Insgesamt wurden jeweils 8 Platten in den Abmessungen 1200 mm x 637 mm (7 x 91 mm Lamellen) bzw. 8 Platten 1200 mm x 625 mm (25 x 25 mm Lamellen) mit einer Presstemperatur von 130 °C und einem Presszeitfaktor von 90 s/mm bei spezifischen Pressdrücken von 8 bar in der Breit- bzw. 12 bar in der Schmalfläche gefertigt.

Nach der Herstellung erfolgte eine etwa zweiwöchige Konditionierung im Stapel. Im Anschluss daran wurden die Platten symmetrisch auf Endmaß geschliffen und die Prüfkörper nach vorgegebenem Einschnittschema eingeschnitten. Nach Klimatisierung im Normal Klima 20 °C / 65 % rH erfolgten Prüfungen zur Bestimmung der Plattendicke, der Rohdichte, der Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene in Haupt- und Nebenachse, der Druckscherfestigkeit nach Normalklima- bzw. Kaltwasserlagerung sowie die Bestimmung der Formstabilität im Differenzklima 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH.

3.2.2.2 Ergebnisse

Die mechanisch-physikalischen Eigenschaften der einlagigen, mittels Etagenverleimpresse hergestellten Massivholzplatten sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 32 enthält Ergebnisse zur Druckscherfestigkeit nach Normalklimalagerung (Qualität der Verklebung ohne Vorbehandlung der Prüfkörper) in Abhängigkeit von den variierten Einflussgrößen.

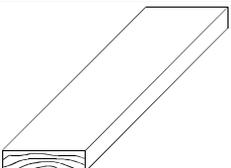
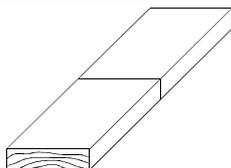
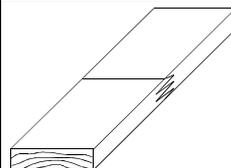
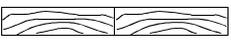
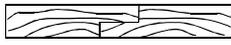
Die unterschiedlichen Sortierqualitäten A bis C der Lamellen führten im Rahmen der ersten Versuchsreihe nicht zu einer signifikanten, statistisch nachzuweisenden Veränderung der Druckscherfestigkeit.

Die 2. Versuchsreihe zeigt, dass durchgehende Lamellen erwartungsgemäß zu höheren Werten der Druckscherfestigkeit führen. Unter Berücksichtigung der hohen Variationskoeffizienten bei in Längsachse stumpf gestoßen- und keilgezinkt verleimten Lamellen war für diese Proben mit einem t-Test kein Unterschied nachzuweisen.

Die Variation der Lamellen-Schmalflächen führte bei sägerauen Lamellenschmalflächen der Nenndicke 19,8 mm zu den höchsten Werten der Druckscherfestigkeit (siehe Versuchsreihe 3 in Tabelle 32). Zwischen den an Proben mit kalibriergehobelten bzw. geschliffenen Lamellenschmalflächen ermittelten Werten wurden keine Unterschiede festgestellt. Bei den 12,8 mm dicken Lamellen führte dahingegen die kalibriergehobelte Lamellenschmalflächenqualität zu den größten Werten.

Die Auswertung der 4. Versuchsreihe zeigt grundsätzlich für die stumpfe Lamellen-Schmalflächen die höchsten Druckscherfestigkeitswerte, was mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die direktere Querdruckeinleitung bei der Verpressung zurückzuführen ist (Fuge liegt „kraftnormal“).

Tabelle 32 Druckscherfestigkeit (trocken, nach Normalklimalagerung) einlagiger, mittels Etagenverleimpresse hergestellter Massivholzplatten der Nenndicken 12,8 und 19,8 mm, 8 Prüfkörper je Variante

Nenndicke [mm]		Druckscherfestigkeit [N/mm²]					
Versuch 1		feststehende Parameter: durchgehende Lamellen, Lamellen-Fugengüte gehobelt, Lamellen-Schmalflächen stumpf					
		variierte Einflussgröße: Lamellen-/Holzqualität					
		A		B		C	
12,8	\bar{X}	3,04		3,89		4,14	
	s	0,28		0,25		0,92	
	v	9,1		6,5		22,1	
19,8	\bar{X}	4,39		4,78		4,05	
	s	0,49		0,61		0,55	
	v	11,2		12,8		13,6	
Versuch 2		feststehende Parameter: Lamellen-/Holzqualität B, Lamellen-Fugengüte gehobelt, Lamellen-Schmalflächen stumpf					
		variierte Einflussgröße: Lamellenstoß in Längsachse					
		durchgehend		stumpf gestoßen		keilgezinkt verleimt	
12,8	\bar{X}	3,89		3,00		2,98	
	s	0,25		0,69		0,73	
	v	6,5		22,9		24,5	
19,8	\bar{X}	4,78		3,92		4,31	
	s	0,61		0,92		0,55	
	v	12,8		23,6		12,7	
Versuch 3		feststehende Parameter: Lamellen-/Holzqualität B, durchgehende Lamellen, Lamellen-Schmalflächen stumpf					
		variierte Einflussgröße: Lamellen-Fugengüte					
		gehobelt		sägerau		geschliffen	
12,8	\bar{X}	3,89		2,88		3,65	
	s	0,25		0,57		0,55	
	v	6,5		19,8		15,0	
19,8	\bar{X}	4,78		5,52		4,59	
	s	0,61		0,43		0,26	
	v	12,8		7,8		5,7	
Versuch 4		feststehende Parameter: Lamellen-/Holzqualität B, durchgehende Lamellen, Lamellen-Schmalflächen gehobelt					
		variierte Einflussgröße: Lamellen-Schmalfläche					
		stumpf		gefalzt		45° Fase	
12,8	\bar{X}	3,89		2,89		2,99	
	s	0,25		0,25		0,44	
	v	6,5		8,6		14,8	
19,8	\bar{X}	4,78		3,61		4,08	
	s	0,61		0,85		0,63	
	v	12,8		23,5		15,5	

Die nachfolgende Tabelle 33 bzw. Tabelle 34 enthalten die Eigenschaften bei Biegung senkrecht zur Plattenebene in Haupt- bzw. Nebenachse in Abhängigkeit von den variierten Einflussgrößen.

Tabelle 33 Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul von einlagigen, mittels Etagenverleimpresse hergestellten Massivholzplatten der Nenndicken 12,8 und 19,8 mm in der Hauptachse, 6 Prüfkörper je Variante

Nenndicke [mm]		Biegefestigkeit [N/mm ²]			Biege-Elastizitätsmodul [kN/mm ²]		
		feststehende Parameter: durchgehende Lamellen, Lamellen-Fugengüte gehobelt, Lamellen-Schmalflächen stumpf					
Versuch 5		varierte Einflussgröße: Lamellen-/Holzqualität					
		A	B	C	A	B	C
12,8	\bar{X}	90,03	82,13	90,88	21,74	18,92	27,67
	s	9,36	2,80	11,04	8,77	3,8	8,95
	v	10,4	3,4	12,2	40,3	20,1	32,4
19,8	\bar{X}	73,25	80,19	76,50	18,15	18,55	20,50
	s	9,25	9,57	7,08	2,62	2,72	3,9
	v	12,6	11,9	9,3	12,6	16,7	19,0
Versuch 6		feststehende Parameter: Lamellen-/Holzqualität B, Lamellen-Fugengüte gehobelt, Lamellen-Schmalflächen stumpf					
		varierte Einflussgröße: Lamellenstoß in Längsachse					
		durchgehend	stumpf ge- stoßen	keilgezinkt ver- leimt	durchgehend	stumpf ge- stoßen	keilgezinkt ver- leimt
12,8	\bar{X}	82,13	16,45	52,91	18,92	8,05	14,99
	s	2,80	3,99	10,97	3,8	7,42	5,40
	v	3,4	24,2	10,5	20,1	92,2	36,0
19,8	\bar{X}	80,19	10,15	51,23	18,55	20,34	17,50
	s	9,57	3,95	3,73	2,72	14,90	3,34
	v	11,9	38,2	7,28	16,7	73,2	19,1
Versuch 7		feststehende Parameter: Lamellen-/Holzqualität B, durchgehende Lamellen, Lamellen-Schmalflächen stumpf					
		varierte Einflussgröße: Lamellen-Fugengüte					
		gehobelt	sägerau	geschliffen	gehobelt	sägerau	geschliffen
12,8	\bar{X}	82,13	77,5	70,92	18,92	14,72	19,83
	s	2,80	5,91	12,00	3,8	3,20	6,71
	v	3,4	7,6	16,9	20,1	21,8	33,8
19,8	\bar{X}	80,19	79,10	73,29	18,55	18,04	13,63
	s	9,57	8,20	7,82	2,72	4,45	1,33
	v	11,9	10,4	10,7	16,7	24,7	9,8
Versuch 8		feststehende Parameter: Lamellen-/Holzqualität B, durchgehende Lamellen, Lamellen-Fugengüte gehobelt					
		varierte Einflussgröße: Lamellen-Schmalflächen					
		stumpf	Falz	45° Fase	stumpf	Falz	45° Fase
12,8	\bar{X}	82,13	71,67	75,42	18,92	16,37	17,09
	s	2,80	6,05	20,70	3,8	3,76	3,53
	v	3,4	8,4	27,5	20,1	23,0	20,7
19,8	\bar{X}	80,19	74,86	77,41	18,55	14,51	15,70
	s	9,57	5,69	4,57	2,72	0,60	0,76
	v	11,9	7,6	5,9	16,7	4,13	4,9

Die Auswertung der 5. Versuchsreihe zeigte, dass für einlagige Massivholzplatten der Dicke 12,8 mm signifikante Unterschiede in den Biegeeigenschaften in der Hauptachse festgestellt werden konnten, die aber nicht der herkömmlich angenommenen Festigkeitserhöhung mit steigender Holzqualität entsprechen. So wiesen Platten einer Holzqualität B deutlich geringere Festigkeiten und Elastizitäten als die mit C-Lamellen hergestellten Werkstoff auf, die wiederum vergleichbare Werte wie die A-Qualitäten hatten.

Dahingegen konnten für die 19,8 mm dicken Platten keine signifikanten Unterschiede im t-Test festgestellt werden. Ein Einfluss der Lamellenqualität auf den Biege-E-Modul der einlagigen Massivholzplatten lies sich nicht nachweisen.

Tabelle 34 Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul von einlagigen, mittels Etagenverleimpresse hergestellten Massivholzplatten der Nenndicken 12,8 und 19,8 mm in der Nebenachse, 6 Prüfkörper je Variante

Nenndicke [mm]		Biegefestigkeit [N/mm ²]			Biege-Elastizitätsmodul [kN/mm ²]		
Versuch 5		feststehende Parameter: durchgehende Lamellenform, Lamellen-Fugengüte gehobelt, Lamellen-Schmalflächen stumpf					
		variierte Einflussgröße: Lamellen-/Holzqualität					
		A	B	C	A	B	C
12,8	\bar{x}	3,18	3,21	3,15	0,28	0,42	0,65
	s	0,39	0,67	0,54	0,09	0,22	0,33
	v	12,3	20,8	17,0	30,3	52,4	51,1
19,8	\bar{x}	2,51	2,90	2,39	0,27	0,18	0,21
	s	0,59	0,84	0,53	0,17	0,02	0,04
	v	23,3	29,0	22,1	63,8	10,4	17,8
Versuch 6		feststehende Parameter: Lamellen-/Holzqualität B, Lamellen-Fugengüte gehobelt, Lamellen-Schmalflächen stumpf					
		variierte Einflussgröße: Lamellenstoß in Längsachse					
		durchgehend	stumpf gestoßen	keilgezinkt verleimt	durchgehend	stumpf gestoßen	keilgezinkt verleimt
12,8	\bar{x}	3,21	2,27	2,44	0,42	0,24	0,35
	s	0,67	0,44	0,35	0,22	0,02	0,14
	v	20,8	19,5	14,5	52,4	9,3	38,4
19,8	\bar{x}	2,90	2,10	2,39	0,18	0,22	0,55
	s	0,84	0,48	0,45	0,02	0,04	0,23
	v	29,0	23,1	18,8	10,4	18,2	42,5
Versuch 7		feststehende Parameter: Lamellen-/Holzqualität B, Lamellenform durchgehend, Lamellen-Schmalflächen stumpf					
		variierte Einflussgröße: Lamellen-Fugengüte					
		gehobelt	sägerau	geschliffen	gehobelt	sägerau	geschliffen
12,8	\bar{x}	3,21	2,46	3,12	0,42	0,24	0,46
	s	0,67	0,57	0,41	0,22	0,15	0,20
	v	20,8	23,1	13,0	52,4	62,0	43,9
19,8	\bar{x}	2,90	2,90	2,69	0,18	0,22	0,22
	s	0,84	0,52	0,63	0,02	0,02	0,02
	v	29,0	17,8	23,5	10,4	7,1	10,9
Versuch 8		feststehende Parameter: Lamellen-/Holzqualität B, Lamellenform durchgehend, Lamellen-Fugengüte gehobelt					
		variierte Einflussgröße: Lamellen-Schmalflächen					
		stumpf	Falz	45° Fase	stumpf	Falz	45° Fase
12,8	\bar{x}	3,21	2,01	2,79	0,42	0,35	0,34
	s	0,67	0,14	0,58	0,22	0,22	0,16
	v	20,8	6,8	20,7	52,4	63,4	46,4
19,8	\bar{x}	2,90	3,09	2,51	0,18	0,24	0,19
	s	0,84	0,33	0,62	0,02	0,03	0,03
	v	29,0	10,5	24,6	10,4	11,2	24,6

Der auch später an dreilagigen Platten feststellbare Umstand, dass aus einer Verwendung von C-sortierten Lamellen höhere Biegeeigenschaften als bei A-Lamellen resultieren, wird mit der durch die höhere Astanzahl zurückzuführenden höheren Rohdichte der Hölzer begründet.

Die Variation der Lamellenstöße in Längsachse führt zu einer deutlichen Reihung (Ranking) der Ergebnisse (Versuchsreihe 6): Durchgehende Lamellen führten bei beiden geprüften Dicken zu den höchsten Biegefestigkeiten. Während es bei Verwendung von in der Länge keilgezinkt verklebten Lamellen zu vertretbaren Festigkeitseinbußen kam, wiesen Massivholzplatten mit in der Länge stumpf gestoßenen Lamellen nur etwa 20 % der Festigkeit der mit durchgehenden Lamellen hergestellten Massivholzplatten auf.

Der geschilderte Trend war für den Biege-E-Modul bei 12,8 mm dicken Platten gleichfalls nachzuweisen. Demgegenüber wurde bei Nenndicke 19,8 mm nur eine geringfügige, nicht signifikante Abhängigkeit der Elastizität von der Art des Lamellenstoßes in

Längsachse festgestellt – der Wert des E-Moduls bei stumpf gestoßenen Lamellen muss als Ausreißer betrachtet werden.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen 7 und 8 bestätigten, dass nicht profilierte, gehobelte Lamellenschmalflächen grundsätzlich zu einlagigen Massivholzplatten mit den höchsten Biegefestigkeiten führten, weil bei dieser Schmalflächenform eine bessere Druckeinleitung in Plattenebene und damit eine bessere „mechanische“ Verbindung während der Verleimung möglich war⁷⁵. Dem am nächsten kamen die Biegefestigkeiten von Massivholzplatten mit sägerauen Schmalflächen, gefolgt von den Werten, die an einlagigen Massivholzplatten mit gefasten (45°) bzw. gefalzten Schmalflächen bestimmt wurden. Die geringsten Biegefestigkeiten wiesen Massivholzplatten mit geschliffenen Lamellenschmalflächen auf, da hier aus dem „Glättungseffekt“ während des Schleifens⁷⁶ eine schlechtere Bindemittelbenetzung resultiert.

Die geschilderten Abhängigkeiten konnten jedoch durch die ermittelten Biege-E-Moduln nicht hinreichend bestätigt werden.

Die Bestimmung der Eigenschaften bei Biegung in der Nebenachse ließen keinen Einfluss der variierten Größen auf die Biegefestigkeit und den Elastizitätsmodul erkennen. Eine statistisch genauere Untersuchung der Mittelwertunterschiede erwies sich aufgrund der teilweise beträchtlichen Streuungen als nicht sinnvoll.

Nach Abschluss der Versuchsreihen zur Herstellung einlagiger Massivholzplatten mittels Verleimpresse kann bezüglich der mechanischen Platteneigenschaften zusammenfassend festgestellt werden, dass

- der Einsatz unterschiedlicher Holzqualitäten (visuelle Sortierung des Schnittholzes in die Güteklassen A, B, C) ohne signifikante Auswirkungen auf die Größe von Druckscher- bzw. Biegefestigkeiten blieb. Für tragende Platten ist daher aus wirtschaftlicher Sicht der verstärkte Einsatz von C-Qualitäten durchaus sinnvoll.
- die Verwendung durchgehender Lamellen aufgrund der geringeren Anzahl möglicher Fehl- und Sollbruchstellen naturgemäß gegenüber stumpf gestoßenen bzw. keilgezinkten Lamellen zu höheren Druckscher- und auch Biegefestigkeitswerten führte. Bei der Verwendung von Kurzlängen ist, zumindestens im Decklagenbereich mehrlagiger Platten, der Einsatz keilgezinkter Lamellen notwendig.
- bezüglich der Fugengüte bei abgerichteten Lamellen der Dicke 12,8 mm die höchsten Druckscherfestigkeiten ermittelt wurden, während bei einer Lamellendicke von 19,8 mm die sägeraue Fugenqualität zu den besten Werten führte und dass
- unabhängig von der Lamellendicke bei abgerichteten Lamellenkanten die höchsten Biegefestigkeiten und Biege-E-Moduln ermittelt wurden.

Die nachfolgende Tabelle 35 enthält die Ergebnisse der mechanischen Eigenschaften und der Formstabilität von einlagigen Massivholzplatten (durchgehende Lamellen mit nicht profilierten Schmalflächen), die in der beheizbaren Massivholzplattenpresse hergestellt wurden.

Zur Optimierung der Lamellenbreite wurde diese Einflussgröße in 2 Stufen (25 mm und 91 mm) variiert. Es erfolgte außerdem ein Vergleich von 2 unterschiedlichen Bindemittelsystemen (PVAc-Dispersion und MUF-Harz).

⁷⁵ Gerade bei Lamellen mit profilierten Schmalflächen konnten bei der Einleitung von Druck in Plattenebene im Zuge der Verleimung Lamellenverschiebungen senkrecht zur Plattenebene beobachtet werden, die durch eine Erhöhung des Flächendrucks kompensiert werden mussten.

⁷⁶ Eindrückung von Fasern während des Schleifens

Zusätzlich dazu wurde in die Versuchsreihe eine industriell gefertigte, einlagige Massivholzplatte (durchgehende Lamellen mit nicht profilierte Schmalflächen) aus Fichtenholz der Güteklasse B einbezogen, die eine vergleichbare Nenndicke (18 mm), jedoch deutlich breitere Lamellen (117 mm) aufwies.

Zur Bestimmung der Einflüsse der in den einzelnen Varianten variierten Parameter auf die ermittelten Eigenschaften wurde nach der Ermittlung des Stichprobenmittelwerts und der Standardabweichung ein t-Test durchgeführt (zweiseitige Fragestellung, Irrtumswahrscheinlichkeit 5%), um signifikante Unterschiede zwischen den ermittelten Mittelwerten nachzuweisen.

Für die Kennwerte der Formstabilität konnte dieses Verfahren aufgrund der zu geringen Stichprobenanzahl nicht durchgeführt werden.

Der Feuchtegehalt bei Prüfung lag zwischen 12,0 bis 12,8 % und entsprach damit in etwa der Gleichgewichtsfeuchte von Vollholz bei Normalklimalagerung. Das Rohdichtenniveau war mit einem Bereich von 440 bis 500 kg/m³ relativ breit gespreizt. Es entsprach aber durchaus den aus der Literatur für Fichtenholz bekannten Werten.

Die Variation der Lamellenbreite und des Bindemittelsystems hatten keinen statistisch nachweisbaren Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften und die Elastizitäten bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene in der Hauptachse. Gleiches galt für den Biege-Modul bei senkrechter Decklagenorientierung und die Druckscherfestigkeit trocken.

Auffällig sind allerdings die generell geringfügig höheren Biegefestigkeitswerte bei schmalen Lamellen und bei Verwendung des MUF-Harz-Systems.

Die Biegefestigkeit in der Nebenachse war bei Variante 1 signifikant höher als bei Variante 4. Da zwischen dieser Eigenschaft und dem eingesetzten Bindemittelsystem keine Abhängigkeit nachgewiesen werden konnte, ist die Erhöhung der Biegefestigkeit bei senkrechter Decklagenorientierung auf die größere Lamellenbreite zurückzuführen (vergleichbare Rohdichten).

Der erwartete Einfluss des Bindemittelsystems auf die erreichbare Druckscherfestigkeit nach Kaltwasserlagerung konnte nur für die Massivholzplatten aus 25 mm breiten Lamellen nachgewiesen werden, was auf die größere Klebfugenanzahl im Prüfkörper zurückgeführt werden muss. Überraschenderweise stieg bei Verwendung des PVAc-Systems mit zunehmender Lamellenbreite die Druckscherfestigkeit nass signifikant an.

Die Werte der Formänderungen bezogen auf 1 m Kantenlänge zeigten bei den durchgeführten Messungen in der Nebenachse einen deutlichen Einfluss der Lamellenbreite: Entgegen der theoretischen Annahme, dass Platten mit schmalen Lamellen („Stäbchenlamellen“) geringe Formänderungswerte quer zur Faserrichtung aufweisen müssten, wurde mit abnehmender Lamellenbreite eine stärkere Krümmung der Platten festgestellt, was auf den höheren Anteil liegender Jahrringe zurückgeführt werden muss.

Tabelle 35 Mechanische Eigenschaften und Formstabilität von einlagigen, mittels Massivholzplattenpresse hergestellten Massivholzplatten aus Fichtenholz-Lamellen der Güteklasse B mit abgerichteten Schmalflächen

Eigenschaften			Lamellenbreite [mm]					
			91		25		117	
			Bindemittelsystem		MUF	PVAc	PVAc	
N		Var.1	2	3	4	231 ⁷⁷		
Plattendicke [mm]	6	\bar{X}	18,33	18,34	18,33	18,32	18,00	
Feuchtegehalt bei Prüfung [%]	8	\bar{X}	12,8	12,5	12,7	12,0	12,3	
		s	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	
		v	2,8	3,3	2,5	2,7	3,3	
Rohdichte [kg/m ³]	8	\bar{X}	502	462	486	491	441	
		s	21	27	12	15	25	
		v	4,3	5,8	2,6	3,1	5,7	
Biegefestigkeit in Hauptachse [N/mm ²]	8	\bar{X}	77,7	72,9	81,6	77,7	71,5	
		s	10,3	12,2	7,6	12,1	11,2	
		v	13,2	16,7	9,3	15,5	15,6	
Biege-E-Modul in Hauptachse [N/mm ²]	8	\bar{X}	13379	14288	15748	15312	15601	
		s	2378	2555	2228	2493	2744	
		v	17,8	17,9	14,1	16,3	17,6	
Biegefestigkeit in Nebenachse [N/mm ²]	8	\bar{X}	3,61	3,28	2,98	2,39	3,52	
		s	0,35	0,70	0,34	0,10	0,63	
		v	9,6	21,2	11,3	4,2	17,8	
Biege-E-Modul in Nebenachse [N/mm ²]	8	\bar{X}	254	142	179	219	175	
		s	109	42	54	79	25	
		v	43,1	30,0	30,1	36,2	14,0	
Druckscherfestigkeit trocken nach Normalklimalagerung [N/mm ²]	8	\bar{X}	7,54	6,49	6,87	7,29	7,04	
		s	1,03	0,68	1,02	1,55	1,20	
		v	7,1	10,3	14,8	21,3	17,1	
Druckscherfestigkeit nass nach Kaltwasserlagerung [N/mm ²]	8	\bar{X}	6,27	6,18	6,50	5,40	6,71	
		s	0,81	0,56	0,59	0,64	0,74	
		v	12,9	9,0	9,1	11,9	11,0	
Formänderung nach 96 h Differenzklima ⁷⁸	2							
		- Nebenachse [mm/m]	\bar{X}	63,6	63,2	67,7	73,0	106,5
		- Hauptachse [mm/m]	\bar{X}	6,8	3,3	2,4	3,7	6,1
		- diagonal [mm/m]	\bar{X}	37,0	33,0	34,8	37,6	53,8

Bei den in der Hauptachse und diagonal bestimmten Formänderungswerten konnten dagegen keine Abhängigkeiten von Lamellenbreite oder Bindemittelsystem festgestellt werden.

Die Ergebnisse der vergleichend geprüften, industriell hergestellten, einlagigen Massivholzplatte ordnen sich bezüglich der mechanischen Eigenschaften gut in die Ergebnisse der labortechnisch hergestellten Platten ein. Die etwas geringere Biegefestigkeit muss auf die geringere Rohdichte zurückgeführt werden.

Im Widerspruch zu den bisherigen Ergebnissen, wonach Massivholzplatten aus 25 mm breiten Lamellen gegenüber Platten aus 91 mm breiten Lamellen deutlich größere horizontale Formänderungswerte aufwiesen, zeigte die industriell hergestellte Platte mit größerer Lamellenbreite deutlich höher Formänderungswerte in der Nebenachse, was einzig mit der geringeren Rohdichte zu erklären ist.

⁷⁷ Vergleichend geprüfte, industriell hergestellte, einlagige Massivholzplatte aus Fichtenholz mit durchgehenden Lamellen ohne Schmalflächenprofilierung.

⁷⁸ Differenzklima in der Doppelklimakammer 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH

Am Ende der Untersuchungen zur Herstellung einlagiger Massivholzplatten mittels Massivholzplattenpresse wird zusammenfassend eingeschätzt, dass

- die Variation der Lamellenbreite ohne Auswirkung auf die resultierenden Eigenschaften bei Biegung in der Hauptachse sowie auf den Biege-E-Modul bei Biegung in der Nebenachse und auf die Höhe der Druckscherfestigkeit trocken blieb,
- der Einsatz von MUF-Harzen aufgrund der Ausbildung einer spröderen Klebfuge zu einer leichten Erhöhung der Biegefestigkeit in der Hauptachse führte⁷⁹,
- einlagige Massivholzplatten aus breiteren Lamellen gegenüber Platten aus schmalen Lamellen signifikant höhere Werte für die Biegefestigkeit in der Nebenachse aufwiesen,
- die Verwendung des PVAc-Bindemittelsystems, insbesondere bei Massivholzplatten aus 25 mm breiten Lamellen, erwartungsgemäß zu geringeren Werten für die Druckscherfestigkeit nach Kaltwasserlagerung führte und dass
- bezüglich der Formstabilität für Platten aus schmalen Lamellen im Gegensatz zu Platten aus breiteren Lamellen deutlich höhere Formänderungswerte in der Nebenachse nachgewiesen wurden.

3.2.3 Lokale Lamelleneigenschaften

Die weiter durchgeführten Arbeiten dienten der Untersuchung des Einflusses der Biegeelastizität und -festigkeit von Lamellen der Güteklassen A, B und C (Holzart Fichte, Lamellenbreite 91 bzw. 117 mm) bei Lamellenverhältnissen R_L von 0,41 bis 0,74 auf ausgewählte mechanisch-physikalische und hygri-sche Eigenschaften labortechnisch hergestellter dreilagiger Massivholzplatten.

3.2.3.1 Material und Methode

Alle Versuche erfolgten wiederum mit den nach ÖNORM 3022:1991 sortierten Fichtenholz-Lamellen (Sortierklasse A, B und C). Die Ausgangsbreiten der auf 8 bis 10 % kammergetrockneten Lamellen lagen bei 91 bzw. 117 mm, die Ausgangsdicken bei 19,8 mm bzw. 12,8 mm. Die beiden Lamellensortimente wurden für die Versuche wie folgt bezeichnet:

Tabelle 36 Übersicht über die zur Herstellung der Versuchsplatten verwendeten Vollholzlamellen, Holzart Fichte

	Gütesortierung lt. Ö-NORM 3022:1991	Bezeichnung	Lamellenlänge [mm]	Lamellenbreite [mm]	Lamellendicke [mm]
L1	A, B, C	A1, B1, C1	2500	91	19,8
L2	A, B	A2, B2	2500	117	12,8

Alle für die Bestimmung der Einflüsse der mechanisch-physikalischen „lokalen“ Lamelleneigenschaften auf die „globalen“ Platteneigenschaften notwendig einzusetzenden Lamellen wurden vor Beginn der Untersuchungen in quasi zerstörungsfreien Grading-Versuchen⁸⁰ vermessen. Dabei wurden je 50 Lamellen pro Kategorie und Gütesortierung (vgl. Tabelle 36) im Vierpunktversuch nach EN 789:2005 innerhalb des Hooke’schen Bereichs belastet und der Biege-E-Modul über die Messung der Verformungen berechnet. Je Lamelle erfolgten 3 Messungen (1., 2. und 3. Drittel der Lamellenlän-

⁷⁹ Folgt man diesem Ansatz, so sind auch die etwas höheren Biegefestigkeiten bei der Verwendung schmalerer Lamellen durch die größere Anzahl der „versteifend“ wirkenden Klebfugen im Prüfkörper zu erklären.

⁸⁰ „Grading“ wird im Weiteren im Sinne von „to grade“ – sortieren, einteilen, einstufen – für die quasi zerstörungsfreien Sortierversuche der Lamellen hinsichtlich ihrer Elastizität verwendet.

ge) des E-Moduls, aus denen ein Mittelwert berechnet wurde, und eine Bestimmung der Rohdichte.

Um die Grading-Versuche zu bewerten und eine spätere Abschätzung der realen Biegefestigkeiten und E-Moduln zu ermöglichen, wurden aus den Stichproben je 5 Lamellen entnommen, gedrittelt und die Biegefestigkeit und der Biege-E-Modul über eine Vierpunktprüfung zerstörend bestimmt. Diese Werte wurden anschließend mit dem an dem jeweiligen Drittel zerstörungsfrei bestimmten E-Modul E_{grad} in Beziehung gesetzt.

Im Anschluss an das Grading wurden die beiden Lamellenkategorien L1 und L2 in Bezug auf die Lamellenelastizitäten in je drei Biege-E-Modulbereiche aufgeteilt, innerhalb derer dann der Versuchsplan nach Tabelle 37 abgearbeitet werden konnte. Zur Herstellung der Platten mit unterschiedlichen Lamellenverhältnissen wurden die Hölzer danach auf einer Abrichte zugerichtet. Dabei erfolgte ein symmetrisches Abnehmen der Dicke auf beiden Breitflächen der Lamellen. In Vorversuchen wurde eine minimale Lamellendicke von 7 mm (für 91 mm breite Lamellen) bzw. 9 mm (für 117 mm dicke Lamellen) ermittelt, bis zu der die gemessenen E-Moduln durch das Abrichten nicht oder nur unwesentlich verändert wurden.

Als Bindemittel kamen erneut das heißaushärtende MUF-Harz-System K 610 der BASF AG mit dem Härter Bonit 12 320 (Maleinsäure) bzw. die PVAc-Systeme A 300 (Fa. Citax) oder MD 074 (Fa. Dorus) zum Einsatz. Die Mittellagen-Vorfertigung erfolgte grundsätzlich mit den angeführten PVAc-Dispersionen auf der Etagenverleimanlage.

Je Versuchspunkt wurden zwei dreilagige Massivholzplatten auf der hydraulischen beheizten Massivholzplattenpresse hergestellt, einer mindestens dreitägigen Konditionierung unterzogen und nach dem Kalibrationsschliff anhand von vorgegebenen Einschnittschemata für die Bestimmung folgender Eigenschaften eingeschnitten:

- Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene in Haupt- und Nebenachse in Anlehnung an EN 789:2005,
- Eigenschaften bei Biegung in Plattenebene nach EN 13 879:2002 in Haupt- und Nebenachse,
- Eigenschaften bei Schub rechtwinklig zur Plattenebene nach EN 789:2005 nur in der Hauptachse,
- Dimensionsänderungen in Plattenebene in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte nach EN 318:1993 in Haupt- und Nebenachse sowie
- Formstabilität nach 96stündiger Lagerung im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH.

Der abgearbeitete Versuchsplan ist in Tabelle 37 dargestellt.

Tabelle 37 Versuchsplan zur Herstellung von dreilagigen Massivholzplatten (MUF-Harz-Bindung) mit Lamellen unterschiedlicher elastischer Eigenschaften (vorher in Grading-Versuchen quasi zerstörungsfrei ermittelt), Variation der Lamellenbreite und des Lamellenverhältnisses R_L

Biege-E-Modul-Bereiche	L1/I ⁸¹		L1/II		L1/III		L2/I ⁸²		L2/II		L2/III	
Lamellenbreite [mm]	91		91		91		117		117		117	
Decklagendicke [mm]	7,0	12,0	7,0	12,0	7,0	12,0	9,0	12,8	9,0	12,8	9,0	12,8
Mittellagendicke [mm]	19,8	7,0	19,8	7,0	19,8	7,0	12,8	9,0	12,8	9,0	12,8	9,0
Plattendicke [mm]	33,8	31,0	33,8	31,0	33,8	31,0	30,8	34,6	30,8	34,6	30,8	34,6
Lamellenverhältnis R_L	0,41	0,77	0,41	0,77	0,41	0,77	0,58	0,74	0,58	0,74	0,58	0,74
Varianten-Nr.	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

3.2.3.2 Mechanisch-physikalische Eigenschaften der Lamellen

Die Gegenüberstellung der Sortierklassen mit den an den Lamellen ermittelten Festigkeiten ist für einen gezielten Einsatz der Lamellen bei der Massivholzplatten-Herstellung sinnvoll, um den Einfluss der „lokalen“ Eigenschaften der einzelnen Lamellen auf die „globalen“ Eigenschaften der später daraus hergestellten dreilagigen Massivholzplatten beurteilen zu können.

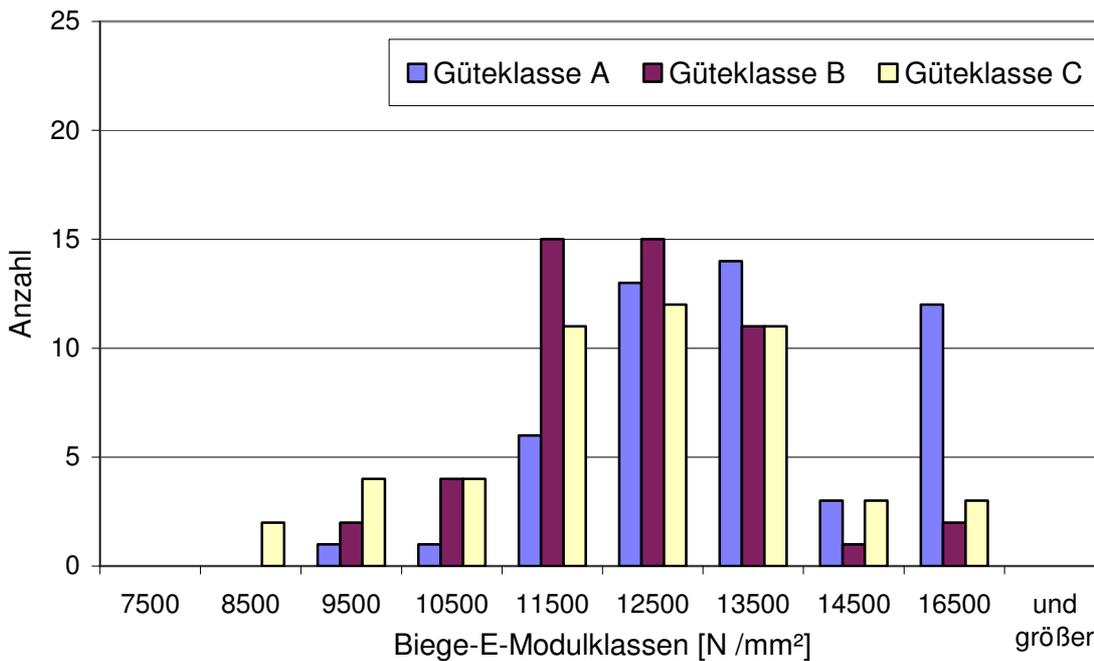


Abbildung 34 Häufigkeitsverteilung der zerstörungsfrei im Vierpunktversuch bestimmten Biege-E-Moduln des Lamellensortiments L1, 2500 mm x 91 mm x 19,8 mm

Aus Abbildung 34 und Abbildung 35 ist zu erkennen, dass es sich, gerade bei den Lamellen des Sortiments L1, um eine mehrgipflige Häufigkeitsverteilung der elastischen Biegeeigenschaften (2. Maxima im oberen Bereich) handelt. Die Lamellen des 2. Sortiments (L2) ordneten sich im Vergleich zu den Lamellen der 1. Kategorie bzgl. ihre Biege-E-Moduln eher im unteren Wertebereich ein: Die Maxima liegen hier bei 9500 N/mm²

⁸¹ Lamellen der Breite 91 mm, Dicke im Ausgangszustand 19,8 mm, eingeteilt in drei Biege-E-Modulbereiche L1/I bis L1/III

⁸² Lamellen der Breite 117 mm, Dicke im Ausgangszustand 12,8 mm, eingeteilt in drei Biege-E-Modulbereiche L2/I bis L2/III

... 10500 N/mm², während sich die Mehrzahl der L1-Lamellen um einen Wert von 12500 N/mm² gruppiert.

Die geprüften Lamellen der Kategorie L1 waren bezüglich ihrer elastischen Eigenschaften mit 8500 ... 16500 N/mm² deutlich weiter gespreizt als die Lamellen der Kategorie L2 (7500 ... 12500 N/mm²). Dieser Umstand ist nicht zuletzt der zusätzlichen Bereitstellung von C-Qualitäten im Sortiment L1 zuzurechnen. Hier deutet sich schon an, dass C-Lamellen (im Widerspruch zu ihrer optischen Einstufung) durchaus hohe Festigkeiten und Elastizitäten aufweisen können (siehe Abbildung 34).

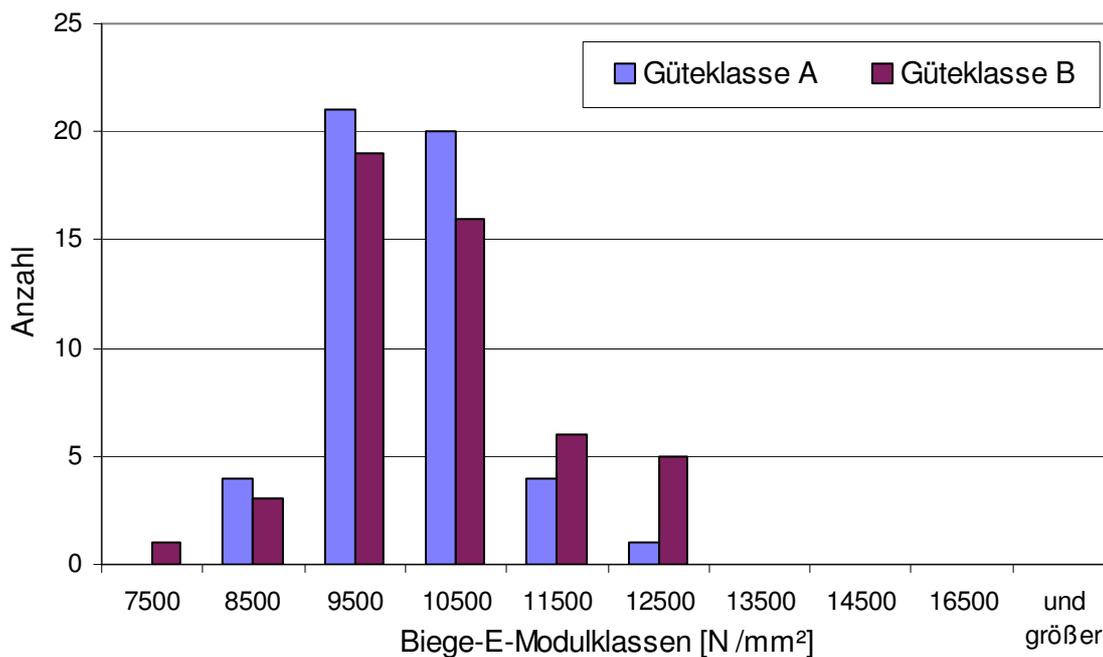


Abbildung 35 Häufigkeitsverteilung der zerstörungsfrei im Vierpunktversuch bestimmten Biege-E-Moduln des Lamellensortiments L2, 2500 mm x 117 mm x 12,8 mm

Tabelle 38 gibt einen Überblick über die an den Sortimenten zerstörungsfrei ermittelten Biege-E-Moduln sowie die dazugehörigen Rohdichten.

Die unter Annahme einer Normalverteilung der Stichproben durchgeführten Signifikanztests (t-Test) zwischen den Stichproben ergaben nur für die Lamellen der A-Qualität der Lamellenkategorie 1 (A1, Lamellenbreite 91 mm) signifikante Unterschiede in den Mittelwerten der Biege-E-Moduln zu den Qualitäten B1 und C1. Daneben war innerhalb der Lamellenkategorien (A1 bis C1 bzw. A2 und B2) kein weiterer signifikanter Unterschied in den mechanisch-physikalischen Werten zwischen den Sortierklassen nachzuweisen (vgl. Tabelle 38).

Tabelle 38 Übersicht über die in den Grading-Versuchen zerstörungsfrei ermittelten mittleren Biege-E-Moduln und die zugehörigen Rohdichten

		Lamellenqualität nach Tabelle 36				
		A1	B1	C1	A2	B2
Biege-E-Modul [N/mm ²]	n	150	150	150	150	150
	X _{min}	9315	9282	8156	7939	7171
	\bar{X}	12992	11864	11773	9551	9823
	X _{max}	16327	14744	14890	12045	12275
	s	1563	1210	1622	808	1043
	v	12,0	10,2	13,8	8,5	10,6
Rohdichte [kg/m ³]	n	50	50	50	50	50
	X _{min}	381	383	381	416	433
	\bar{X}	453	444	460	470	483
	X _{max}	540	563	585	548	543
	s	42	140	43	33	29
	v	9,3	31,5	9,5	7,1	6,1

Wie auch schon aus den Histogrammen zu erkennen, lagen die mittleren Eigenschaften des Lamellensortiments L2 (bei in etwa analogen Rohdichten) deutlich unter den Werten der Kategorie 1.

An ausgewählten Lamellen der Stichproben erfolgte im Anschluss an die Grading-Versuche eine zerstörende Bestimmung der Eigenschaften bei Biegung nach EN 789:2005, um für die untersuchten Stichproben eine Korrelation zwischen den zerstörungsfrei- und den zerstörend ermittelten Werte der Biegeeigenschaften aufstellen zu können.

Zu diesem Zweck wurden den Stichproben je 5 Lamellen entnommen, der Länge nach gedrittelt und über eine Vierpunktprüfung zerstörend geprüft (n = 15). Über den Vergleich mit den im vorhergehenden zerstörungsfreien Versuch an den gleichen Lamellen ermittelten Biege-E-Moduln E_{grad} ergaben sich die in Abbildung 36 und Abbildung 37 dargestellten signifikanten Zusammenhänge.

Über die gefundenen mathematischen Zusammenhänge (siehe Abbildung 36 und Abbildung 37) wurde es möglich, die tatsächliche Lamellenfestigkeit und -elastizität der eingesetzten Stichprobe aus den in Grading-Versuchen ermittelten Ergebnissen zu berechnen.

Es wurde gleichfalls versucht, die Lamellenrohichten mit den Biegeeigenschaften in Korrelation zu bringen. Aufgrund der jedoch zu gering variierenden Dichten konnten keine straffen Zusammenhänge berechnet werden. Auf eine entsprechende Darstellung wurde daher an dieser Stelle verzichtet.

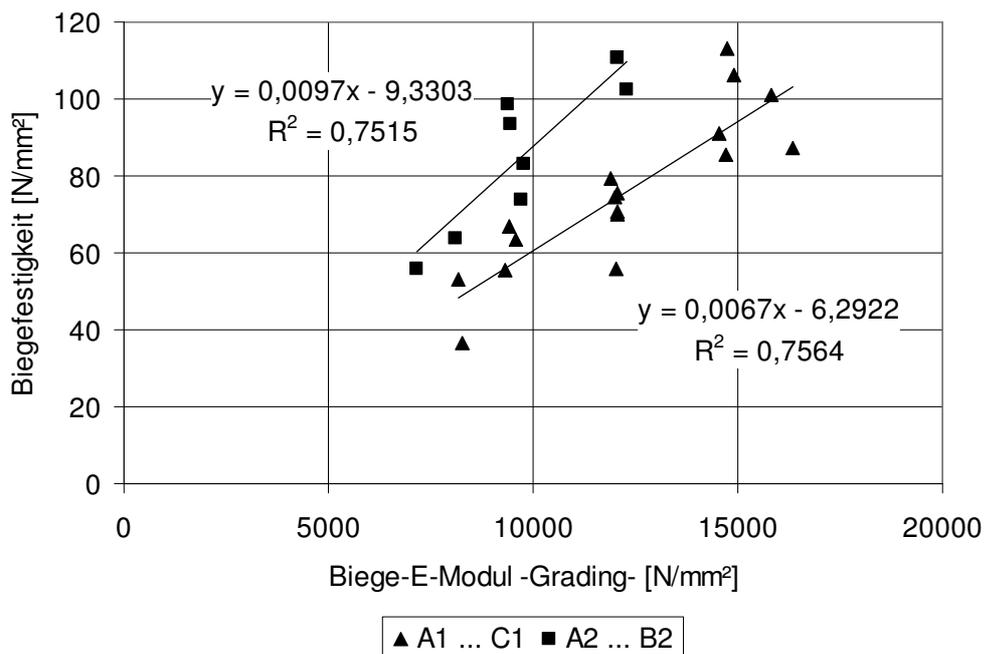


Abbildung 36 Zusammenhang zwischen zerstörend im Vierpunktbiegeversuch bestimmter Biegefestigkeit und im Grading-Versuch ermitteltem Biege-E-Modul von Lamellen unterschiedlicher Qualität

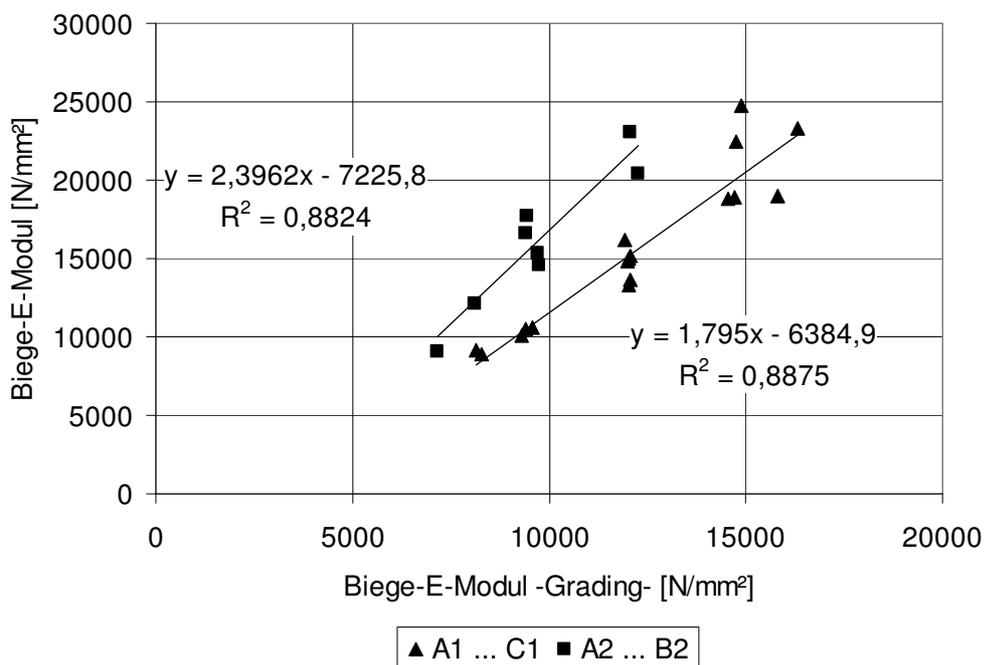


Abbildung 37 Zusammenhang zwischen zerstörend im Vierpunktversuch ermitteltem Biege-E-Modul und im Grading-Versuch ermitteltem Biege-E-Modul von Lamellen unterschiedlicher Qualität

In Übereinstimmung mit den im Stand der Technik beschriebenen Aussagen von /Tobisch, Plattes 2002/ konnten keine grundsätzlich signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Stichproben bei unterschiedlichen Sortierklassen (Lamellenkategorien A1 bis C2, A2 und B2) nachgewiesen werden. Deshalb wurden die Lamellen zur Klärung des Einflusses der Lamellensortierung auf die späteren Plattenei-

genschaften in sogenannte Biege-E-Modul-Bereiche L1/I bis L1/III und L2/I bis L2/III eingeteilt (vgl. Tabelle 39 bzw. Tabelle 37).

Tabelle 39 Lamelleneinteilung in unterschiedliche Biege-E-Modulbereiche, Angabe einer zugehörigen mittleren Rohdichte

Ausgangsstichprobe	A1 ... C1			A2 ... B2		
Lamellenbreite [mm]	91			117		
Mittlere Rohdichte [kg/m ³]	430	449	476	469	473	489
Biege-E-Modulbereich [N/mm ²]	L1/I 9000 ... 10900	L1/II >10900 ... 12800	L1/III >12800 ... 14700	L2/I 8000 ... 9200	L2/II >9200 ... 10400	L2/III >10400 ... 11600

3.2.3.3 Mechanisch-physikalische Eigenschaften der dreilagigen Platten

Die Ergebnisse der folgenden Untersuchungen sind vollständig im Anhang 7.2 beigelegt.

Biege-E-Modulbereich L1/I bis L1/III (Lamellenbreite 91 mm, vgl. Tabelle 39 und Tabelle 40)

Aus den Ergebnissen zeigt sich erwartungsgemäß ein deutlicher Einfluss der Biege-E-Modul-Bereiche auf die späteren Platteneigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene: Höhere Grading-Biege-E-Moduln führten bei einem Lamellenverhältnis R_L von 0,41, sowohl bei paralleler als auch bei rechtwinkliger Orientierung der Decklagen, zu besseren Biegeeigenschaften der mit 91 mm breiten Lamellen hergestellten Massivholzplatten. Mit erhöhter Dicke der Decklagen (Lamellenverhältnis $R_L = 0,77$) sank der ausgeprägte Einfluss der lokalen Lamelleneigenschaften auf die Biegefestigkeit, der E-Modul stieg bei paralleler Orientierung der Decklagen jedoch an.

In der Hauptachse wurden trotz der deutlich unterschiedlichen Lamellenverhältnisse grundsätzlich größere Werte bestimmt als in der Nebenachse ⁸³.

Durch die beträchtliche Variation des Lamellenverhältnisses wird dessen Einfluss auf die Eigenschaften sichtbar: Mit steigendem Anteil der Decklagen an der Plattennendicke erhöhen sich die aufnehmbaren Biegebelastungen in der Hauptachse. So werden in allen 3 Elastizitätsbereichen bei einem Lamellenverhältnis von 0,77 signifikant höhere Festigkeiten und Elastizitäten nachgewiesen.

In der Nebenachse dreht sich dieser Zusammenhang in seiner Deutlichkeit um: Die Festigkeiten der Platten mit einem Lamellenverhältnis von 0,77 liegen nur noch bei 1/4 ... 1/5-, die E-Moduln bei 1/10 der Platten mit $R_L = 0,41$ (für diese Aussagen wird die Variation der Nenndicke um 2,8 mm (31,0 mm ... 33,8 mm) als vernachlässigbar angesehen).

Die mittleren globalen Biege-E-Moduln der dreilagigen Platten bei Belastung rechtwinklig zur Plattenebene lagen grundsätzlich höher als die lokalen Einzel-Biege-E-Moduln der Lamellen aus den Grading-Versuchen. Das ist vor allem auf die Verbundwirkung im Werkstoff und das durch den dreilagigen Aufbau veränderte Flächenträgheitsmoment

⁸³ Dieser Umstand kann sich, in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis (in diesem Falle von der in der Nebenachse tragenden Dicke der Mittelschicht) umkehren. Im vorliegenden Fall liegt dieser Punkt bei einem Lamellenverhältnis von kleiner 0,38.

(Modell Doppel-T-Träger) zurückzuführen. Mit zunehmender Elastizität der Lamellen stiegen die globalen Biege-E-Moduln der Platten an.

Tabelle 40 Ausgewählte Eigenschaften von dreilagigen Massivholzplatten, hergestellt aus 91 mm breiten Lamellen der Biege-E-Modulbereiche L1/I bis L1/III mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis

Eigenschaften	Biege-E-Modulbereich [N/mm ²]							
	L1/I 9000 ... 10900		L1/II >10900 ... 12800		L1/III >12800 ... 14700			
	Plattendicke [mm]							
	33,8		31,0		33,8		31,0	
Lamellenverhältnis R_L []								
0,41								
0,77								
0,41								
0,77								
Rohdichte [kg/m ³]	\bar{X} s	435 7,1	440 10,1	447 20,2	435 8,9	467 29,5	470 21,5	
Biegefestigkeit, DL ⁸⁴ II, [N/mm ²]	\bar{X} s	34,4 4,36	60,0 9,18	43,1 1,05	56,9 5,27	48,2 3,06	59,6 4,41	
Biege-E-Modul, DL II, [N/mm ²]	\bar{X} s	9280 369	16020 1394	13810 1453	17610 1972	15150 982	19280 1986	
Biegefestigkeit, DL \perp , [N/mm ²]	\bar{X} s	25,9 2,50	6,4 0,71	32,4 6,05	5,6 0,68	33,8 5,67	6,7 0,80	
Biege-E-Modul, DL \perp , [N/mm ²]	\bar{X} s	3840 499	360 43	4640 683	300 37	5570 728	310 33	
Biegefestigkeit in PE ⁸⁵ DL II, [N/mm ²]	\bar{X}	25,1	57,5	28,6	54,5	33,2	63,1	
Biege-E-Modul in PE DL II, [N/mm ²]	\bar{X}	2860	14017	6515	7989	4454	9692	
Biegefestigkeit in PE DL \perp , [N/mm ²]	\bar{X}	43,7	12,8	47,9	18,5	54,0	26,6	
Biege-E-Modul in PE DL \perp , [N/mm ²]	\bar{X}	4150	4190	5990	1580	6440	2970	
Scherfestigkeit rechtwinklig zur PE, DL II, [N/mm ²]	\bar{X}	4,51	/	5,73	/	5,64	/	
Scherfestigkeit rechtwinklig zur PE, DL \perp , [N/mm ²]	\bar{X}	794	/	672	/	769	/	

Bei Biegung in Plattenebene hingegen lagen die globalen Platten-Biege-E-Moduln zum Teil erheblich unter den in den Grading-Versuchen ermittelten Werten, was zum einen auf die ungünstige Lastsituation (nur geringe tragende Querschnitte), zum anderen auf die eingeschränkte Vergleichbarkeit der in den unterschiedlichen anatomischen Holzrichtungen bestimmten Eigenschaften zurückzuführen ist.

Nur bei geringem Lamellenverhältnis ($R_L = 0,41$) war eine Erhöhung der Biegeeigenschaften bei steigender Lamellensteifigkeit zu verzeichnen. Bei einem R_L von 0,77 schwächte sich dieser Trend ab (Biegefestigkeit) oder kehrte sich sogar um (Biege-E-Modul).

Bei einem Lamellenverhältnis von $R_L = 0,41$ wurden in der Nebenachse durch den höheren Traganteil der Mittellage deutlich höhere Festigkeiten und Elastizitäten als in der Hauptachse bestimmt. Für Platten mit dickerer Decklage ($R_L = 0,77$) gelten diese Aussagen umgekehrt, wobei der Abstand der Werte von Haupt- zu Nebenachse augenscheinlich größer ist als bei den Platten mit dünneren Decks ($R_L = 0,41$).

⁸⁴ Decklage

⁸⁵ Plattenebene

Interessant ist auch, dass bei steigendem Lamellenverhältnis von 0,52 bis 0,54 ein Punkt erreicht wird, an dem die jeweils höheren Festigkeiten in Plattenebene nicht mehr in der Neben-, sondern in der Hauptachse gemessen werden. Bei den Untersuchungen von /Tobisch, Plattes 2000/ lag dieser Umschlagpunkt bei einem R_L von 0,55 und konnte damit gut bestätigt werden.

Ein Einfluss der Biege-E-Modulbereiche auf die Eigenschaften bei Schub rechtwinklig zur Plattenebene war nicht nachweisbar.

Biege-E-Modulbereich L2/I bis L2/III (Lamellenbreite 117 mm, vgl. Tabelle 39 und Tabelle 41)

Die oben beschriebenen Einflüsse der Lamellenelastizitäten in den einzelnen Biege-E-Modul-Bereiche auf die Platteneigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene ließen sich nicht vollständig auf Platten mit einer Lamellenbreite von 117 mm übertragen. Die Zusammenhänge zwischen lokalen Lamelleneigenschaften und resultierenden globalen Platteneigenschaften waren weniger deutlich ausgeprägt, was ggf. auf die zu geringe Spreizung der Biege-E-Modul-Bereiche zurückzuführen ist (vgl. Tabelle 39).

Bei alleiniger Betrachtung der Randbereiche (L2/I und L2/III) der Lamelleneigenschaften war aber festzustellen, dass die Platten in der Hauptachse mit steigender Lamellensteifigkeit im allgemeinen höhere Festigkeiten und Biege-E-Moduln aufwiesen.

Auch hier waren die globalen E-Moduln der Platten aus den bereits geschilderten Gründen höher als die in den Gradingversuchen ermittelten Einzelsteifigkeiten der Lamellen.

An den Platten mit 117 mm breiten Lamellen wurden ebenso in der Hauptachse grundsätzlich höhere Biegefestigkeitswerte und E-Moduln bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene bestimmt und auch hier war der Abstand zwischen den Werten der Haupt- und Nebenachse bei höherem Lamellenverhältnis (0,74) deutlich größer.

Die Anhebung des Lamellenverhältnisses führte überraschenderweise nur im unteren E-Modulbereich zu einer Erhöhung der Biegefestigkeit in der Hauptachse, bei L2/II und L2/III konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die E-Moduln verhielten sich erwartungsgemäß und erhöhten sich mit steigender Decklagendicke.

In der Nebenachse kam es bei dünneren Decks naturgemäß zu einer Senkung der o.a. Eigenschaften.

Die Eigenschaften bei Schub rechtwinklig zur Plattenebene wurden auch bei Massivholzplatten aus den breiteren Lamellen nicht durch die Variation der „lokalen“ Lamellenelastizitäten im Bereich von 8000 bis 11600 N/mm² beeinflusst.

Bei Übertragung der oben angewandten Betrachtungsweise der Randbereiche (L2/I und L2/III) auf die Eigenschaften bei Biegung in Plattenebene war erkennbar, dass sich die entsprechenden Eigenschaften bei paralleler Orientierung der Decklage mit steigender Lamellensteifigkeit erhöhten. Dagegen war bei rechtwinkliger Orientierung der Decklage eine geringe Senkung der Biegefestigkeit bei steigendem Biege-E-Modul der Lamellen zu verzeichnen.

Dadurch, dass das Lamellenverhältnis herstellungsbedingt immer über dem bei den vorangegangenen Untersuchungen der Eigenschaften in Plattenebene als kritisch angesehenen R_L von 0,52 bis 0,55 lag, wurden die höheren Biegefestigkeiten grundsätzlich in der Hauptachse (Decklage parallel) bestimmt. Auch führten dickere Decklagen ($R_L = 0,74$) de facto immer zu größeren Festigkeiten in der Hauptachse bzw. zu gerin-

geren Werten bei senkrechter Orientierung der Decklagenfaser (Nebenachse). Eine klare Abhängigkeit der Biege-E-Moduln von der Veränderung des Lamellenverhältnisses konnte für die Biegung in Plattenebene nicht ausgemacht werden.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle gesagt werden, dass die Sortierung der Lamellen nach ÖNORM 3022:1991 nicht, wie ursprünglich erwartet, zu Stichproben mit signifikant unterschiedlichen Festigkeiten führte. Eine ausreichende Differenzierung der Lamellen der nach optischen Kriterien festgelegten Sortierklassen A, B und C (vgl. dazu Anhang 7.3) konnte nicht nachgewiesen werden. Nach zerstörungsfreien Grading-Versuchen wurden die Lamellen in 3 E-Modul-Bereiche unterteilt, um den Einfluss der lokalen Lamelleneigenschaften auf globale Platteneigenschaften zu untersuchen.

Tabelle 41 Ausgewählte Eigenschaften von dreilagigen Massivholzplatten, hergestellt aus 117 mm breiten Lamellen der Biege-E-Modulbereiche L2/I bis L2/III mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis

Eigenschaften		Biege-E-Modulbereich [N/mm ²]							
		L2/I 8000 ... 9200		L2/II > 9200 ... 10400		L2/III > 10400 ... 11600			
		Plattendicke [mm]							
		30,8		34,6		30,8		34,6	
		Lamellenverhältnis R _L							
		0,58		0,74		0,58		0,74	
Rohdichte [kg/m ³]	\bar{X} s	468 13,8	487 23,8	480 14,7	463 15,0	500 25,5	493 19,3		
Biegefestigkeit, DL II [N/mm ²]	\bar{X} s	40,0 14,8	49,0 6,03	52,6 6,24	50,7 4,16	52,2 7,24	51,7 5,32		
Biege-E-Modul, DL II [N/mm ²]	\bar{X} s	16930 6735	24500 3822	16180 1382	18010 2413	16860 230	26350 4928		
Biegefestigkeit, DL ⊥ [N/mm ²]	\bar{X} s	16,6 2,86	9,5 0,91	17,3 1,83	7,3 0,75	15,8 1,57	7,0 0,68		
Biege-E-Modul, DL ⊥ [N/mm ²]	\bar{X} s	1140 282	550 40	1510 109	550 36	1430 51	470 31		
Biegefestigkeit in PE DL II, [N/mm ²]	\bar{X}	44,6	43,8	38,9	67,3	59,3	59,9		
Biege-E-Modul in PE DL II, [N/mm ²]	\bar{X}	5200	4940	4650	17360	6280	14060		
Biegefestigkeit in PE DL ⊥, [N/mm ²]	\bar{X}	37,5	21,0	30,1	28,3	26,0	18,2		
Biege-E-Modul in PE DL ⊥, [N/mm ²]	\bar{X}	3834	5184	9830	10162	6835	5736		
Scherfestigkeit rechtwinklig zur PE, DL II, [N/mm ²]	\bar{X}	4,06	4,62	/	4,47	/	/		
Scherfestigkeit rechtwinklig zur PE, DL ⊥, [N/mm ²]	\bar{X}	778	/	772	/	804	/		

Die Verwendung von Lamellen mit höherer Elastizität führte zu besseren Werten bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene. Der nachgewiesene Einfluss nahm mit zunehmender Lamellenbreite und mit zunehmendem Lamellenverhältnis R_L jedoch ab.

Die Verwendung von Lamellen der höheren Biege-E-Modulbereiche führte bei Biegung in Plattenebene nur bei den Festigkeiten in der Hauptachse zu einer Erhöhung der Werte. Bei schmalen Lamellen konnte diese Entwicklung auch in der Nebenachse beobachtet werden.

Aufgrund der Struktur der dreilagigen Platten sind die globalen Biege-E-Moduln der Platten (Biegung rechtwinklig zur Plattenebene) im allgemeinen höher als die lokalen Biege-E-Moduln der einzelnen Lamellen. Bei Biegung parallel zur Plattenebene kehrt sich dieser Trend um.

3.2.3.4 Hygrische Eigenschaften und Formstabilität

Die ermittelten Längenänderungen der dreilagigen Massivholzplatten in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte (Lagerung im Feucht- und Trockenklima) sind in Tabelle 42 und Tabelle 43 bezogen auf die Ausgangswerte im Normalklima dargestellt. Zusätzlich dazu erfolgt hier die Angabe der Gesamtlängenänderung ΔL als Summe der Beträge der Längenänderungen bei Adsorption und Desorption in Haupt- (ΔL_{II}) bzw. Nebenachse (ΔL_{\perp}).

Sowohl die Längenquellung (IL 85) als auch die Längenschwindung (DL 35) lassen bei einem Einsatz 91 mm breiter Lamellen keinen eindeutigen Einfluss der unterschiedlichen Biege-E-Modulbereiche auf ihre Ausprägung erkennen, was ggf. auf die zu gering variierten Rohdichten der hergestellten Platten in den unterschiedlichen Bereichen zurückgeführt werden kann.

Tabelle 42 Längenänderungen [%] dreilagiger Massivholzplatten aus 91 mm breiten Lamellen der Biege-E-Modulbereiche L1/I bis L1/III in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte

Längenänderung		Biege-E-Modulbereich [N/mm ²]					
		L1/I 9000 ... 10900		L1/II > 10900 ... 12800		L1/III > 12800	
		Plattendicke [mm]					
		33,8	31,0	33,8	31,0	33,8	31,0
		Lamellenverhältnis R_L					
		0,41	0,77	0,41	0,77	0,41	0,77
		Varianten-Nr.					
		5	6	7	8	9	10
Rohdichte [kg/m ³], n = 6	\bar{X} s	434,8 7,1	439,7 10,1	447,0 20,2	434,9 8,9	466,5 29,5	470,2 21,5
IL85, DL II, [%]	\bar{X}	0,28	0,04	0,15	0,04	0,27	0,06
IL85, DL \perp , [%]	\bar{X}	0,25	0,51	0,17	0,28	0,17	0,39
DL35, DL II, [%]	\bar{X}	-0,03	-0,03	/	-0,03	-0,02	-0,02
DL35, DL \perp , [%]	\bar{X}	-0,06	-0,09	/	-0,07	-0,02	-0,07
ΔL_{II} , [%]	\bar{X}	0,31	0,07	/	0,07	0,29	0,08
ΔL_{\perp} , [%]	\bar{X}	0,31	0,60	/	0,35	0,19	0,46

Im Gegensatz zu den untersuchten Industrieplatten konnte bei den labortechnisch mit ausgewählten Lamellenqualitäten hergestellten dreilagigen Massivholzplatten ein eindeutiger Einfluss des Lamellenverhältnisses auf die Längenänderungen in Plattenebene in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte festgestellt werden: Die Erhöhung der Decklagendicke führte bei Befeuchtung zu höheren Längenänderungen in der Nebenachse bzw. zu geringeren Werten in der Hauptachse.

Platten mit geringem Lamellenverhältnis (0,41) wiesen in den beiden Richtungen (Haupt- bzw. Nebenachse, ΔL_{II} bzw. ΔL_{\perp}) vergleichbare Längenänderungen auf – die Massivholzplatten mit $R_L = 0,77$ zeigten sich dahingegen deutlich anisotroper (höhere Längenänderungswerte in der Nebenachse – vgl. dazu auch die Werte ΔL_{II} und ΔL_{\perp} in Tabelle 42).

Die hygrisch bedingten Veränderungen der Länge in Plattenebene lagen in der Nebenachse, verursacht durch den höheren Anteil tangentialer Quellung / Schwindung, bei dreilagigen Massivholzplatten mit dickerer Decklage ($R_L = 0,77$) deutlich über den Werten der Platten mit einem Lamellenverhältnis von 0,41.

Bei allen hier geprüften Massivholzplatten konnten bei Adsorption/Quellung höhere Dimensionsänderungen als bei Desorption/Schwindung festgestellt werden (vgl. dazu Pkt. 3.1.5 und /Sattler 1997/).

Auch bei der Verwendung 117 mm breiter Lamellen war es nicht möglich, eine statistisch signifikante Beeinflussung der Dimensionsänderungen in Plattenebene durch die unterschiedlichen elastischen Lamelleneigenschaften herauszuarbeiten (vgl. Tabelle 43). Im Vergleich jedoch zu den dreilagigen Massivholzplatten aus Lamellenkategorie L1 (siehe Tabelle 42) zeigen sich durch die notwendige Einstellung der Lamellenverhältnisse mit 0,58 bzw. 0,74 deutliche Unterschiede: Die Platten mit einem Lamellenverhältnis von 0,58 sind auffallend anisotroper als Platten mit einem R_L von 0,41 (vgl. Tabelle 42).

Sowohl für die Platten mit $R_L = 0,58$ als auch mit $R_L = 0,74$ wurden in der Nebenachse die größeren Längenänderungswerte bestimmt. Deutlich wird dies aus den berechneten Zahlen der Gesamtlängenänderung ΔL_{II} bzw. ΔL_{\perp} .

Tabelle 43 Längenänderungen [%] dreilagiger Massivholzplatten aus 117 mm breiten Lamellen der Biege-E-Modulbereiche L2/I bis L2/III in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte

Längenänderung		Biege-E-Modulbereich [N/mm ²]											
		L2/I 8000 ... 9200		L2/II > 9200 ... 10400		L2/III > 10400 ... 11600							
		Plattendicke [mm]											
		30,8		34,6		30,8		34,6					
		Lamellenverhältnis R_L											
		0,58		0,74		0,58		0,74					
		Varianten-Nr.											
		11		12		13/1,2		14/1		15/1,2		16/1	
Rohdichte [kg/m ³]	\bar{X} s	467,8 13,8	487,2 23,8	479,6 14,7	463,3 15,0	500,2 25,5	492,7 19,3						
IL85, DL II, [%]	\bar{X}	0,12	0,13	0,13	0,04	0,15	0,09						
IL85, DL \perp , [%]	\bar{X}	0,18	0,40	0,25	0,26	0,19	0,37						
DL35, DL II, [%]	\bar{X}	-0,10	-0,08	-0,09	-0,11	-0,14	-0,07						
DL35, DL \perp , [%]	\bar{X}	-0,12	-0,18	-0,15	-0,18	-0,15	-0,16						
ΔL_{II} , [%]	\bar{X}	0,22	0,21	0,22	0,15	0,29	0,13						
ΔL_{\perp} , [%]	\bar{X}	0,30	0,58	0,40	0,44	0,34	0,53						

Die Erhöhung des Lamellenverhältnisses führte bei Adsorption auch hier zu einer Verringerung der Werte in der Hauptachse und zu größeren Längenänderungen in der Nebenachse. In dieser Plattenrichtung war die geschilderte Abhängigkeit allerdings nicht derart deutlich ausgeprägt.

Betrachtet man die in Tabelle 44 dargestellten Werte der auf 10 % Luftfeuchteänderung bezogenen Längenänderung bei Adsorption (Δl_{10A}) bzw. Desorption (Δl_{10D}), so lässt sich zusammenfassend feststellen:

- Die Erhöhung des Lamellenverhältnisses führt bei Adsorption, unabhängig von den „lokalen“ E-Modulwerten der Einzellamellen, zu einer Verringerung der Längenänderung bezogen auf 10 % Luftfeuchteänderung von 0,12 % auf 0,02 % in der Hauptachse. In der Nebenachse steigen die Werte dabei von 0,10 % auf 0,20 % an.
- Mit der Erhöhung des Lamellenverhältnisses kommt es gleichzeitig zu einer stärkeren Anisotropie der Längenänderungen in Plattenebene.

- Ein statistisch signifikanter Einfluss der unterschiedlichen „lokalen“ Lamelleneigenschaften auf die Ausprägung der Dimensionsänderungen in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte kann nicht nachgewiesen werden.

Tabelle 44 Mittelwerte (fett und unterstrichen) der auf 10 % Luftfeuchteänderung bezogenen Längenänderungen in Plattenebene dreilagiger Platten in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis; Darstellung ohne Berücksichtigung der Nenndicke und der elastischen Eigenschaften der Lamellen

Längenänderung	Lamellenverhältnis R_L			
	0,41	0,58	0,74	0,77
$\Delta l_{10A \parallel}$, [%]	0,08 ... <u>0,12</u> ... 0,14	0,06 ... <u>0,07</u> ... 0,08	0,02 ... <u>0,05</u> ... 0,07	<u>0,02</u> ⁸⁶
$\Delta l_{10A \perp}$, [%]	0,09 ... <u>0,10</u> ... 0,13	0,09 ... <u>0,11</u> ... 0,13	0,13 ... <u>0,17</u> ... 0,20	0,14 ... <u>0,20</u> ... 0,26
$\Delta l_{10D \parallel}$, [%]	<u>-0,01</u>	-0,03 ... <u>-0,04</u> ... -0,05	-0,02 ... <u>-0,03</u> ... -0,04	<u>-0,01</u>
$\Delta l_{10D \perp}$, [%]	<u>-0,02</u>	<u>-0,05</u>	<u>-0,06</u>	<u>-0,02</u>

Die Vorauswahl der Lamellen in entsprechende Biege-E-Modulbereiche und deren anschließende Verklebung zu mehrlagigen Massivholzplatten führte zu den in Tabelle 45 und Tabelle 46 dargestellten Ergebnissen bzgl. der Formänderungen im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH.

Tabelle 45 Formänderung labortechnisch hergestellter, dreilagiger Massivholzplatten unterschiedlicher Biege-E-Modulbereiche der Lamellenbreite 91 mm

Formänderung		Biege-E-Modulbereich [N/mm ²]					
		L1/I 9000 ... 10900		L1/II > 10900 ... 12800		L1/III > 12800 ... 14700	
		Plattendicke [mm]					
		33,8	31,0	33,8	31,0	33,8	31,0
		Lamellenverhältnis R_L					
		0,41	0,77	0,41	0,77	0,41	0,77
		Varianten-Nr.					
		5	6	7	8	9	10
Nebenachse	[mm/m] \bar{x}	4,36	23,31	3,63	22,81	3,54	21,38
Hauptachse	[mm/m] \bar{x}	3,43	2,90	2,84	3,15	2,57	2,34
Diagonal	[mm/m] \bar{x}	3,99	13,24	3,26	12,98	3,13	11,96

Die gezielte Massivholzplatten-Herstellung aus vorab im elastischen Bereich geprüften Lamellen unterschiedlicher Biege-E-Modulbereiche (L1/I bis L1/III, Tabelle 45 sowie L2/I bis L2/III, Tabelle 46) führte zu deutlichen Unterschieden bei der Formänderung. Die Ergebnisse in Tabelle 45 und Tabelle 46 verdeutlichen, dass Platten aus höherelastischen Lamellen geringere Formänderungen aufweisen.

Es gilt weiterhin, dass zunehmende Lamellenverhältnisse drastisch höhere Formänderungen in der Nebenachse und der Diagonalen nach sich ziehen (Abbildung 38). In der Hauptachse sinken diese Werte.

⁸⁶ Bei Angabe von nur einem Wert lagen alle Messwerte so eng beieinander, dass eine Angabe von Minimal- bzw. Maximalwerten nicht sinnvoll war.

Tabelle 46 Formänderung labortechnisch hergestellter, dreilagiger Massivholzplatten unterschiedlicher Biege-E-Modulbereiche der Lamellenbreite 117 mm

Formänderung			Biege-E-Modulbereiche [N/mm ²]					
			L2/I 8000 ... 9200		L2/II > 9200 ... 10400		L2/III > 10400 ... 11600	
			Plattendicke [mm]					
			30,8	34,6	30,8	34,6	30,8	34,6
			Lamellenverhältnis R_L					
			0,58	0,74	0,58	0,74	0,58	0,74
			Varianten-Nr.					
			11	12	13	14	15	16
Nebenachse	[mm/m]	\bar{X}	6,28	13,28	6,08	12,40	6,28	12,54
Hauptachse	[mm/m]	\bar{X}	2,44	1,93	2,11	1,46	2,03	1,53
Diagonal	[mm/m]	\bar{X}	4,40	7,65	3,98	6,90	4,14	7,02

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt weiterhin, dass bei etwa gleichem Lamellenverhältnis (0,74 – 0,77; Tabelle 45, Tabelle 46) sowie fast identischen Biege-E-Modulbereichen (Vergleich L1/I mit L2/II bzw. L1/II und L2/III) die Formstabilität von Massivholzplatten aus 117 mm breiten Lamellen wesentlich höher ist (geringere Formänderungswerte) als bei Platten mit 91 mm breiten Lamellen (vgl. Abbildung 29). Diese Aussage steht für die Messungen in Nebenachse im Einklang zu den Ergebnissen der labortechnisch hergestellten einlagigen Platten (vgl. Tabelle 35), zeigt jedoch für die Hauptachse, dass die Übertragbarkeit von Ergebnissen der Formstabilität einlagiger Massivholzplatten im Differenzklima auf dreilagige Platten nicht ohne weiteres möglich ist. Bei dreilagigen Platten überlagern sich vielmehr die Quell- und Schwindbewegungen der drei gesperrt angeordneten Lagen, so dass hier eine differenzierte Betrachtung erfolgen muss.

Die im Zuge des Eigenschaftsprofils an den dreilagigen Industriepplatten bestimmten Formänderungen im Differenzklima (Tabelle 31) ordnen sich gut in die hier an den Laborplatten bestimmten Werte ein und bestätigen die Ergebnisse. Mit steigendem Lamellenverhältnis steigen die Formänderungswerte in der Nebenachse und diagonal; in der Hauptachse werden geringere Änderungen gemessen.

Zusammenfassend bestätigen die Untersuchungen zur Formstabilität, dass die Änderung der ebenen Form mehrlagiger Massivholzplatten maßgeblich vom Plattenaufbau und damit auch vom Lamellenverhältnis beeinflusst wird. Je größer das Lamellenverhältnis (und damit die Decklagendicke) bei Platten gleicher Dicke ist, umso höher sind die Formänderungswerte im Differenzklimaversuch gemessen in der Nebenachse und der Diagonalen. Diese Aussage gilt sowohl für Platten aus 91 mm breiten Lamellen als auch für Platten aus 117 mm breiten Lamellen. Überraschenderweise sind bei den Letztgenannten die absoluten Verformungen trotz niedrigerer Lamellensteifigkeit deutlich geringer (Abbildung 39). Nichtsdestotrotz führen höhere Lamellensteifigkeiten zu geringeren Formänderungen.

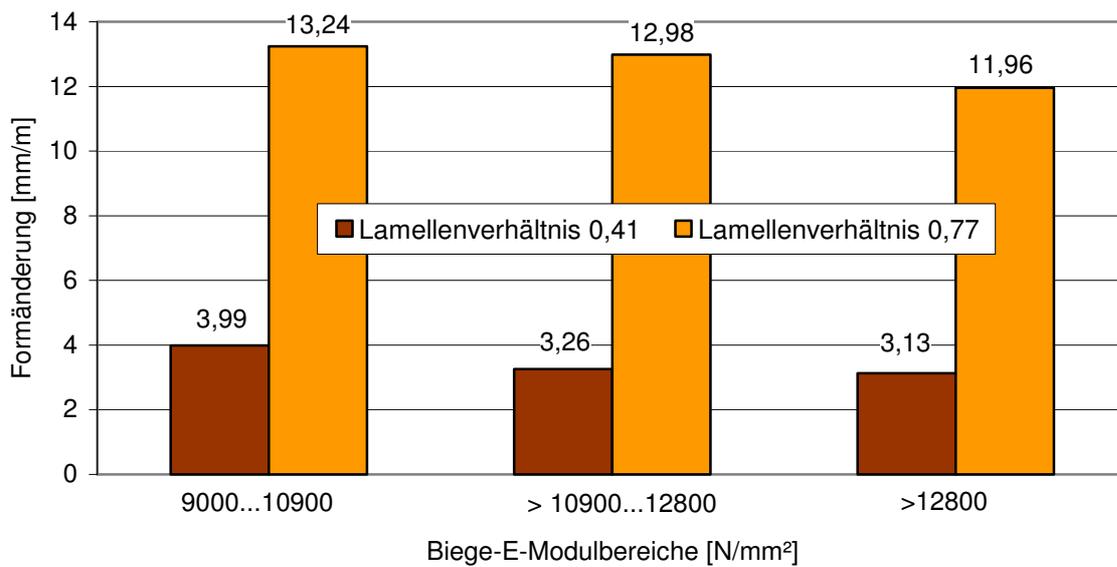


Abbildung 38 Formänderung (diagonal) dreilagiger Massivholzplatten (L1/I ... L1/III, vgl. Tabelle 45) nach 96stündiger Lagerung im Differenzklima 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH in Abhängigkeit von Biege-E-Modul-Bereich und Lamellenverhältnis

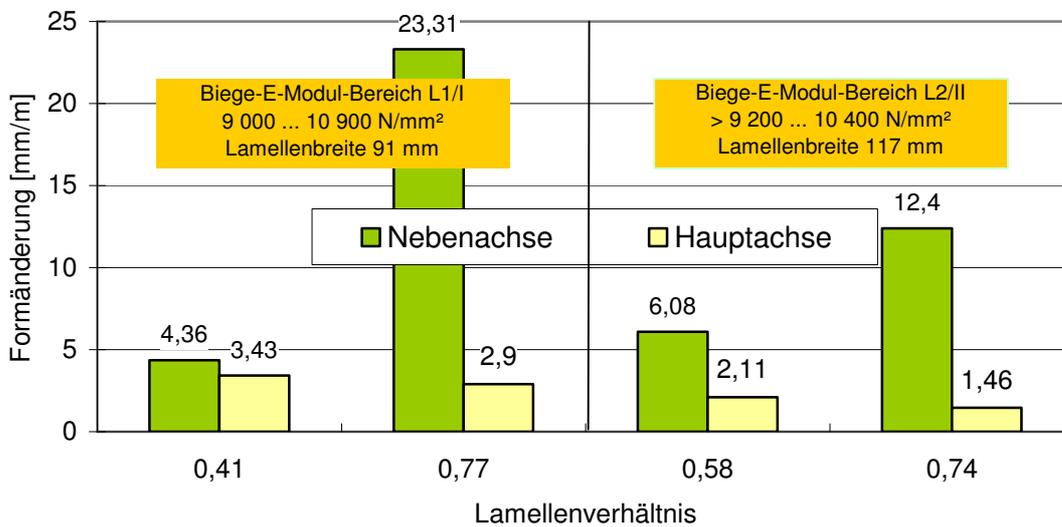


Abbildung 39 Formänderung dreilagiger Massivholzplatten in Haupt- und Nebenachse nach 96stündiger Lagerung im Differenzklima 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH in Abhängigkeit von Biege-E-Modul-Bereich und Lamellenverhältnis

3.2.4 Lamellenverhältnis R_L

Der bereits in den vorangegangenen Untersuchungen festgestellte Einfluss des Lamellenverhältnisses R_L auf die Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten sollte bei den im folgenden dargestellten Arbeiten näher untersucht und, wenn möglich, quantifiziert werden.

Zu diesem Zweck waren dreilagige Platten mit einem weit gestreuten Lamellenverhältnis herzustellen, zu prüfen und hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu vergleichen. Da der Herstellung bzw. Nachbearbeitung der Lamellen hinsichtlich ihrer minimalen Dicke Grenzen gesetzt waren, musste zuvor die Problematik des Vergleiches von Platten unterschiedlicher Dicke gelöst werden, was mit der Berechnung sog. „traganteilbezogener“ Größen⁸⁷ gelang.

Zusätzlich dazu war den Experimenten die Betrachtung eines möglicherweise zu beachtenden Einflusses der Lamellenbreite auf die Eigenschaften dreilagiger Platten voran zu stellen. Es sei an dieser Stelle bereits darauf verwiesen, dass bei einlagigen Platten keine derartige Beeinflussung der Ergebnisse durch die Lamellenbreite festgestellt werden konnte (siehe dazu Tabelle 35).

3.2.4.1 Material und Methode

Auch für diese Versuche wurden die nach ÖNORM 3022:1991 sortierten Fichtenholz-Lamellen (Sortierklasse A, B und C) verwendet (vgl. Tabelle 36). Es wurde erneut auf zerstörungsfrei vorsortiertes Material (Lamellen mit Biege-E-Moduln im Bereich von 9000 bis 11000 N/mm²) zurückgegriffen, dessen Ausgangsbreite bei 91 und 117 mm bzw. dessen Ausgangsdicken bei 19,8 und 12,8 mm lagen.

Um eine Veränderung des Sortierergebnisses zu minimieren, wurde bei der Kalibrierung der Lamellen auf eine möglichst geringe Veränderung der Lamellenquerschnitte geachtet. Aus diesem Grund mussten bei der Einstellung der unterschiedlichen Lamellenverhältnisse (variiert von 0,41 bis 0,77) unterschiedliche resultierende Plattendicken (von 30,8 mm bis max. 38,4 mm) billigend in Kauf genommen werden. Von folgenden Varianten wurden je zwei Platten unter MUF-Harz-Bindung (auch im Schmalflächenbereich) hergestellt, konditioniert, geschliffen und in Haupt- und Nebenachse bezüglich der Eigenschaften bei Biegung in Plattenebene und rechtwinklig dazu⁸⁸ sowie auf ihre hygrischen Eigenschaften hin geprüft.

Tabelle 47 Versuchsplan zur Herstellung von dreilagigen Massivholzplatten (MUF-Harz-Bindung) mit Lamellen vergleichbarer elastischer Eigenschaften (Bereich der Biege-E-Moduln 9000 bis 11000 N/mm²), Variation des Lamellenverhältnisses R_L , Varianten nach dem Lamellenverhältnis aufsteigend geordnet

Varianten-Nr.	5 ⁸⁹	13	19	(20) ⁹⁰	14	6
Lamellenbreite [mm]	91	117	91	91	117	91
Decklagendicke [mm]	7,0	9,0	9,0	12,8	12,8	12,0
Mittellagendicke [mm]	19,8	12,8	12,8	12,8	9,0	7,0
Plattendicke [mm]	33,8	30,8	30,8	38,4	34,6	31,0
Lamellenverhältnis R_L	0,41	0,58	0,58	0,67	0,74	0,77

⁸⁷ berechnet durch Multiplikation der Eigenschaften mit (R_L) bzw. ($1-R_L$)

⁸⁸ Die Prüfung erfolgte grundsätzlich nach Klimatisierung der Prüfkörper im Normklima 20 °C / 65 % rH.

⁸⁹ Nicht alle Platten wurden in diesem Arbeitsprogramm hergestellt – es erfolgte gleichfalls ein fallweise Bewertung von Platten, die unter Punkt 3.2.2 hergestellt wurden (Varianten 5, 6, 13 und 14).

⁹⁰ Platten dieser Varianten wurden aufgrund der großen Plattendicken nur bedingt zum Vergleich herangezogen.

Bei den Platten der Varianten 19 und 20 wurden die Lamellen vor der Verklebung im Normklima bei 20 °C / 65 % rH bis zur annähernden Massekonstanz klimatisiert, da die hier ermittelten Ergebnisse gleichzeitig für spätere Untersuchungen zum Einfluss der Lamellenfeuchten auf technologische Parameter dienen sollten.

Um zu klären, inwieweit die Ergebnisse bei einlagigen Platten zum Einfluss der Lamellenbreite auf mechanisch-physikalische Eigenschaften auf die Verhältnisse dreilagiger Massivholzplatte übertragbar sein würden, wurden zuerst die Platten der Variante 19 hergestellt, geprüft und mit den Ergebnissen der Variante 13 verglichen.

Vor der anschließenden Auswertung der Ergebnisse war dann ein Algorithmus zu erstellen, auf dessen Grundlage die mechanisch-physikalischen Eigenschaften unterschiedlich dicker Platten (Plattendicken variierten aufgrund der möglichen Lamellendicken von 30,8 mm 38,4 mm) mit unterschiedlichen Lamellenverhältnissen zu vergleichen war. Bei diesem Vorgehen wurde von folgendem Ansatz ausgegangen: Bei einem Decklagenanteil von 100 % ($R_L = 1$ repräsentiert Platten ohne Mittellage) entsprechen die Platteneigenschaften de facto den Werten von Vollholz bei paralleler Faserorientierung⁹¹. Bei einem theoretischen R_L von 0 (Platte besteht „nur“ aus Mittellage) können nach diesem Ansatz wiederum Biegeeigenschaften von Holz bei einem Faser-Last-Winkel von 90 ° vorausgesetzt werden.

Da das Lamellenverhältnis R_L den Anteil tragender Lagen in der Hauptachse-, der Term $(1-R_L)$ den Anteil der tragenden Lagen in der Nebenachse repräsentiert, können die im Ausgangszustand in Haupt- und Nebenachse ermittelten und anschließend mit R_L - bzw. $(1-R_L)$ multiplizierten Eigenschaften (im weiteren als „traganteilbezogene Größen“ bezeichnet) nunmehr trotz unterschiedlicher Plattendicken verglichen werden⁹².

3.2.4.2 Mechanisch-physikalische Eigenschaften

Die Ergebnisse der folgenden Untersuchungen sind vollständig im Anhang 7.2 und 7.4 beigelegt.

Schon bei der Variation der Lamellenbreiten von 25 bis 91 mm bei einlagigen Massivholzplatten konnte kein signifikanter Einfluss der Breite auf die mechanisch-physikalischen Eigenschaften erkannt werden (vgl. Pkt. 3.2.2 und Tabelle 35). Auch die Gegenüberstellung von dreilagigen Platten, die mit 91 mm bzw. 117 mm breiten Lamellen vergleichbarer elastischer Eigenschaften hergestellt wurden, führte diesbezüglich zu keinen neuen Aussagen. Eine durch einen t-Test abgesicherte Abhängigkeit der Eigenschaften bei Biegung in Plattenebene und rechtwinklig dazu von der Lamellenbreite war nicht nachweisbar (vgl. Tabelle 48).

Aufgrund dieser Bestätigung war es im Weiteren möglich, bei der Variation des Lamellenverhältnisses auf die Berücksichtigung der Lamellenbreite zu verzichten.

In Auswertung der Ergebnisse lässt sich erwartungsgemäß eine grundsätzlich straffe Abhängigkeit der Biegeeigenschaften vom Lamellenverhältnis erkennen: Mit einer Erhöhung des Decklagenanteils kommt es bei Proben mit paralleler Decklage zu einer deutlichen Erhöhung der Festigkeit und Elastizität. In der Nebenachse nehmen die Eigenschaften mit zunehmendem Decklagenanteil ab.

⁹¹ Mittelwerte für Fichte parallel zur Faser nach /Wagenführ 2000/ bei $R_L = 1$ z.B. 78 N/mm² Biegefestigkeit, 11000 N/mm² Biege-E-Modul.

⁹² Bei diesem Ansatz vernachlässigt man jedoch den geringfügig tragenden Anteil der jeweils rechtwinklig zur Probenlängsachse liegenden Lagen sowie den Einfluss von Rollschkerkräften, was zu einer Einschränkung des Modells führen kann.

Tabelle 48 Rohdichte und Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene von dreilagigen Massivholzplatten, Plattendicke einheitlich 30,8 mm, Lamellenverhältnis 0,58, Variation der Lamellenbreite

Eigenschaften		Lamellenbreite [mm]	
		117	91
		Varianten-Nr.	
		13	19
Rohdichte [kg/m ³]	\bar{X}	480	485
		14,7	24,7
Biegefestigkeit, DL ⁹³ II, [N/mm ²]	\bar{X}	52,6	50,7
	s	6,24	4,38
Biege-E-Modul, DL II, [N/mm ²]	\bar{X}	16176	17690
	s	1382	1820
Biegefestigkeit, DL \perp , [N/mm ²]	\bar{X}	17,3	14,8
	s	1,83	2,44
Biege-E-Modul, DL \perp , [N/mm ²]	\bar{X}	1511	1415
	s	109	168

Für die Berechnung der für die weitere Bewertung herangezogenen tragenteilbezogenen Größen wurden die Biegefestigkeit bzw. der Biege-E-Modul in Haupt- und Nebenachse mit den entsprechenden Werten R_L bzw. $(1-R_L)$ multipliziert (vgl. Tabelle 49).

Vergleicht man die derart berechneten Biegefestigkeiten und Biege-E-Moduln der unterschiedlichen Varianten, so lässt sich wiederum eine deutliche Abhängigkeit erkennen: Mit zunehmendem Lamellenverhältnis erhöhen sich bei Prüfkörpern mit paralleler Orientierung der Decklage die Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene. Die Werte nähern sich den Eigenschaften von Vollholz an ⁹⁴ (vgl. Abbildung 40 und Tabelle 49).

Für Prüfkörper mit rechtwinkliger Orientierung der Decklage ist exakt der umgekehrte Trend zu beobachten: Mit steigendem Lamellenverhältnis sinkt die tragenteilbezogene Festigkeit bzw. der E-Modul deutlich ab (siehe Abbildung 41 und Tabelle 49).

Die Aussagen für die Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene treffen gleichsinnig für die Eigenschaften bei Biegung in Plattenebene zu (siehe Tabelle 49).

⁹³ Decklage

⁹⁴ Bei $R_L = 1$: $\sigma_B = 78$ N/mm, $E_B = 11000$ N/mm² nach /Wagenführ 2000/

Tabelle 49 Zur Berechnung von traganteilbezogenen Eigenschaften herangezogene Faktoren R_L bzw. $(1-R_L)$ und entsprechende Biegefestigkeiten und E-Moduln dreilagiger Massivholzplatten mit variierten Lamellenverhältnissen, Ausgangsgrößen der Berechnung sind die Ergebnisse im Anhang 7.2 und 7.4

Variante	5	13	19	20	14	6
zur Berechnung herangezogene Faktoren						
R_L ⁹⁵	0,41	0,58	0,58	0,67	0,74	0,77
$(1-R_L)$ ⁹⁶	0,59	0,42	0,42	0,33	0,26	0,23
Plattendicke [mm]	33,8	30,8	30,8	38,4	34,6	31,0
Berechnete traganteilbezogene Größen						
Biegefestigkeit, DL II, [N/mm ²]	14,1	30,5	29,4	28,6	37,5	46,2
Biege-E-Modul, DL II, [N/mm ²]	3804	9382	10260	12799	13324	12336
Biegefestigkeit, DL \perp , [N/mm ²]	15,3	7,3	6,2	2,9	1,9	1,5
Biege-E-Modul, DL \perp , [N/mm ²]	2267	635	594	261	143	82
Biegefestigkeit in PE ⁹⁷ , DL II, [N/mm ²]	10,3	22,5	25,8	35,5	49,8	44,2
Biege-E-Modul in PE, DL II, [N/mm ²]	1172	2699	3003	10285	12848	10793
Biegefestigkeit in PE, DL \perp , [N/mm ²]	25,8	12,7	13,4	7,7	7,4	2,9
Biege-E-Modul in PE, DL \perp , [N/mm ²]	2446	4129	2705	1609	2642	964

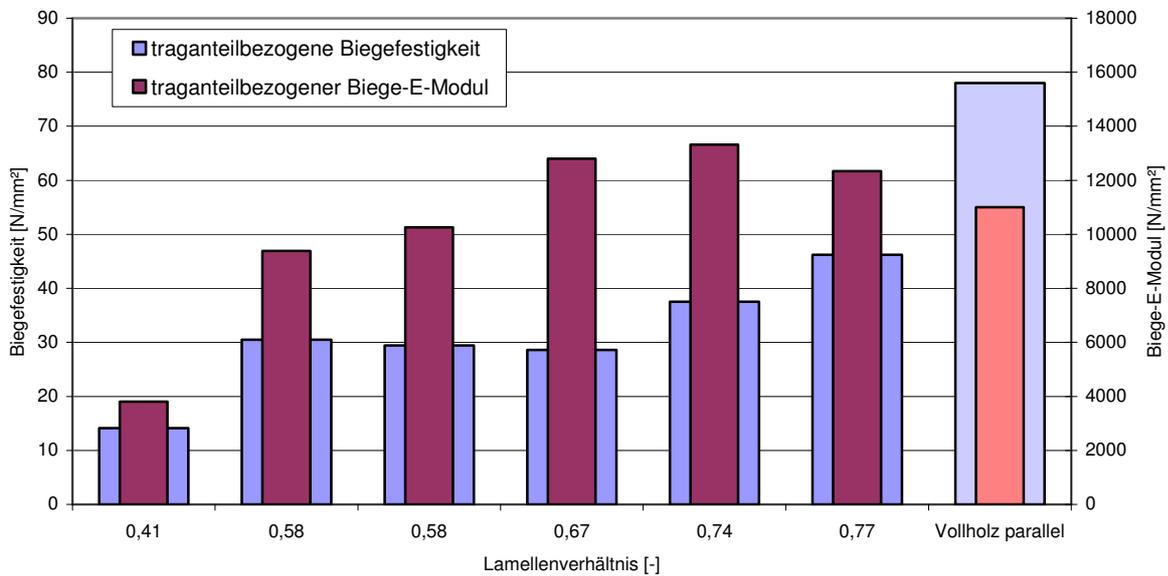


Abbildung 40 Traganteilbezogene Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene von dreilagigen Massivholzplatten in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis, Decklagenorientierung **parallel**

⁹⁵ zur Berechnung herangezogen für Eigenschaften bei paralleler Orientierung der Decklage
⁹⁶ zur Berechnung herangezogen für Eigenschaften bei rechtwinkliger Orientierung der Decklage
⁹⁷ Plattenebene

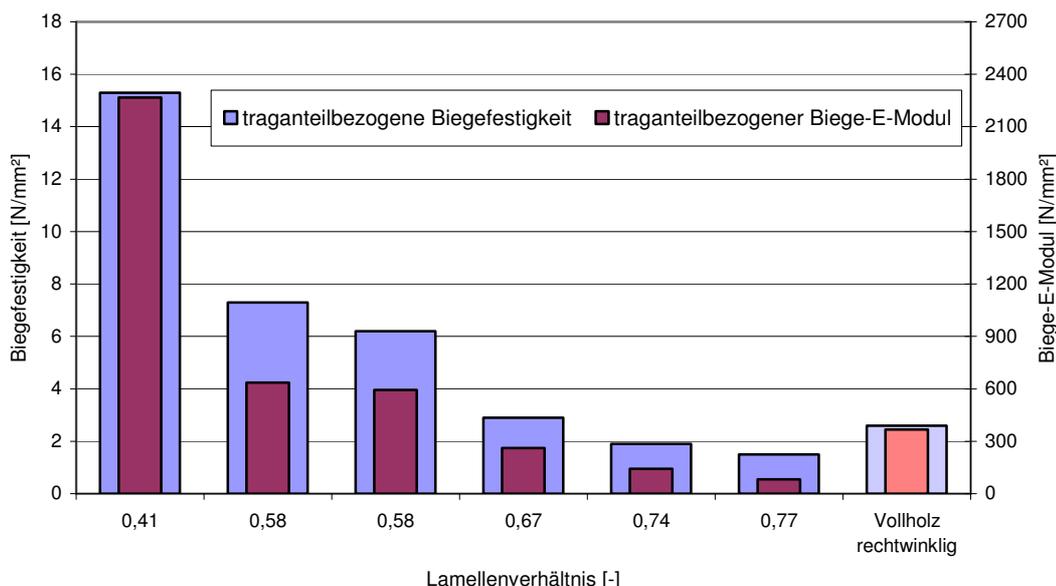


Abbildung 41 Traganteilbezogene Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene von dreilagigen Massivholzplatten in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis, Decklagenorientierung **rechtwinklig**

Bei Darstellung der traganteilbezogenen Größen über den zugehörigen Lamellenverhältnissen und einer potenziellen Regression der Form $y = ax^b$ lassen sich die in Tabelle 50 dargestellten mathematischen Zusammenhänge aufstellen.

Tabelle 50 Mathematische Zusammenhänge der Form $y = ax^b$ zwischen traganteilbezogenen Größen und Lamellenverhältnissen

	a	x	b	R ²
Biegefestigkeit, DL II, [N/mm ²]	66,414	R _L ⁹⁸	1,6711	0,9127
Biege-E-Modul, DL II, [N/mm ²]	27975	R _L	1,954	0,9015
Biegefestigkeit, DL ⊥, [N/mm ²]	0,6692	R _L	-3,7575	0,9398
Biege-E-Modul, DL ⊥, [N/mm ²]	30,613	R _L	-5,0857	0,9593
Biegefestigkeit in Plattenebene, DL II, [N/mm ²]	93,989	R _L	2,4785	0,9796
Biege-E-Modul in Plattenebene, DL II, [N/mm ²]	35407	R _L	4,0379	0,9047
Biegefestigkeit in Plattenebene, DL ⊥, [N/mm ²]	2,243	R _L	-2,9374	0,8365
Biege-E-Modul in Plattenebene, DL ⊥, [N/mm ²]	1326,2	R _L	-1,0273	0,22

Zumindestens im untersuchten Bereich (Plattendicken von 30,8 mm bis 38,4 mm bei Lamellenverhältnissen von 0,41 bis 0,77, Biege-E-Modul der Lamellen im Bereich von 9000 bis 11000 N/mm²) ergeben sich damit erste straffe Zusammenhänge zwischen dem Lamellenverhältnis und den erzielbaren Eigenschaften (vgl. beispielhaft Abbildung 42 und Abbildung 43). Die berechneten Korrelationskoeffizienten von > 0,8 weisen auf eine gute Übereinstimmung zwischen dem Berechnungsmodell und den zugrundeliegenden Werten hin.

⁹⁸ gültig für R_L = 0,41 ... 0,77

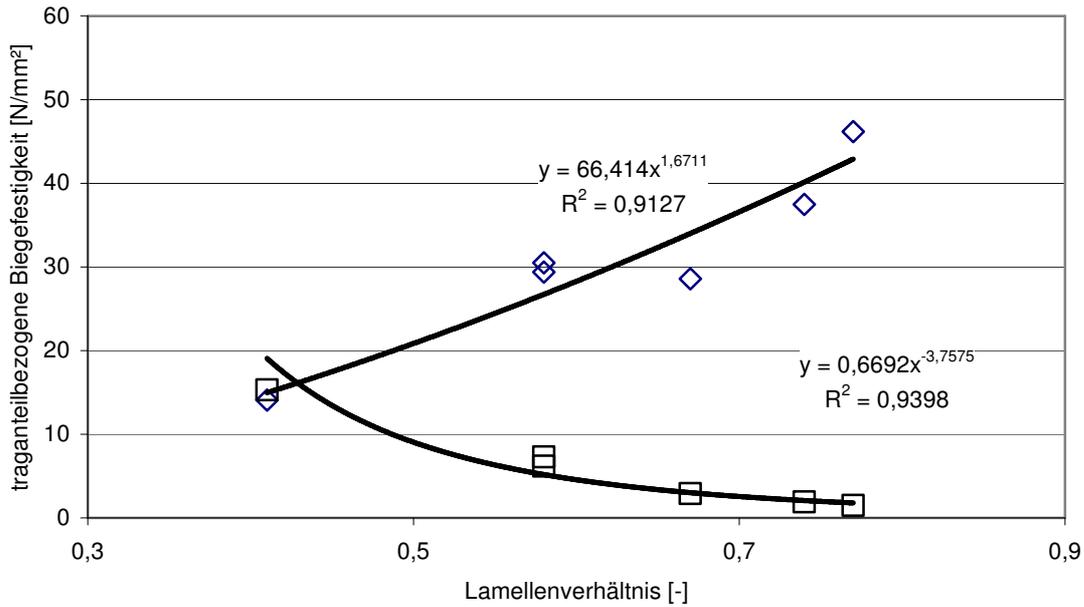


Abbildung 42 Traganteilbezogene Biegefestigkeit bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene in Haupt- (obere Kurve) und Nebenachse (untere Kurve) dreilagiger Massivholzplatten in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis

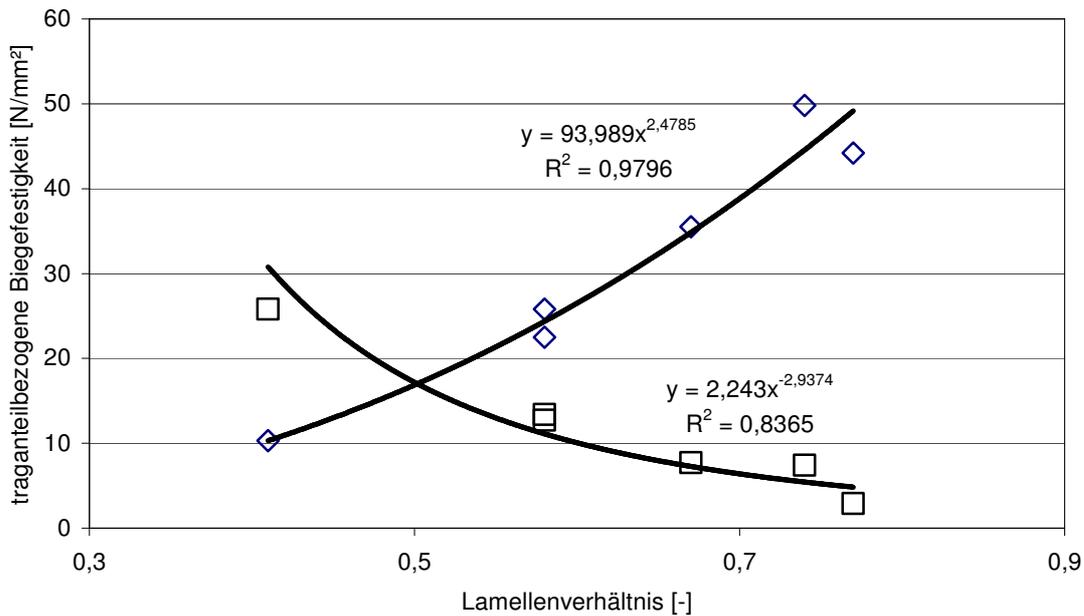


Abbildung 43 Traganteilbezogene Biegefestigkeit bei Biegung in Plattenebene in Haupt- (obere Kurve) und Nebenachse (untere Kurve) dreilagiger Massivholzplatten in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis

Allein für den E-Modul bei Biegung in Plattenebene und rechtwinkliger Orientierung der Decklage konnte aufgrund einer zu hohen Streuung der Ergebnisse kein befriedigender Zusammenhang mit dem Lamellenverhältnis nachgewiesen werden.

Abbildung 42 und Abbildung 43 zeigen jedoch, dass sich bei Wahl des Lamellenverhältnisses an den „Umschlagpunkten“ ($R_L = 0,41$ bei Biegung rechtwinklig zur Platten-

ebene; $R_L = 0,5$ bei Biegung in Plattenebene) Platten mit isotropen Eigenschaften herstellen lassen.

Eine abschließende Evaluierung zur Gültigkeit des Modelle und zur Möglichkeit, die Zusammenhänge über die geprüften Nenndicken und Lamellenverhältnisse hinaus zu übertragen, erfolgt im Abschnitt 3.4 dieser Arbeit, in dem verschiedene Berechnungsalgorithmen zur Vorabschätzung mechanisch-physikalischer Eigenschaften dreilagiger Platten vorgestellt und evaluiert werden.

Fasst man die Ergebnisse der Untersuchung des Einflusses der Lamellenstruktur und des Plattenaufbaus auf die Platteneigenschaften zusammen, so ist festzustellen, dass das Lamellenverhältnis einen deutlich nachweisbaren Einfluss auf die untersuchten Haupteigenschaften der dreilagigen Massivholzplatten hat. Bei dem Vergleich sog. „traganteilbezogener“ Eigenschaften der Platten lassen sich für den untersuchten Bereich erste mathematische Zusammenhänge aufstellen. Es ist zu erkennen, dass mit zunehmendem R_L die Eigenschaften bei Prüfkörpern mit paralleler Decklagenorientierung steigen, bei Prüfkörpern mit rechtwinkliger Orientierung sinken.

Der von /Tobisch, Plattes 2000/ für Eigenschaften in Plattenebene gefundene Umkehrpunkt, an dem in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis die Eigenschaften in der Nebenachse größer werden als in der Hauptachse, findet sich auch in den oben geschilderten Untersuchungen fast exakt wieder: Bei einem Lamellenverhältnis von $R_L = 0,43$ bzw. $0,5$ werden in der Nebenachse größere Werte bei Biegung in Plattenebene bzw. rechtwinklig dazu bestimmt (vgl. dazu Abbildung 42 und Abbildung 43).

3.2.4.3 Hygrische Eigenschaften und Formstabilität

Mit den vorliegenden Ergebnissen (siehe Tabelle 51) werden die unter Punkt 3.2.3.4 bereits besprochenen Zusammenhänge bestätigt und fortgeführt.

Auch bei den nunmehr zum Vergleich herangezogenen Platten ist eine deutliche Abhängigkeit der Längenänderungen bei Änderungen der relativen Luftfeuchte vom Lamellenverhältnis zu erkennen.

Mit steigendem Lamellenverhältnis ($R_L = 0,41 \dots 0,77$) nimmt die prozentuale Veränderung der Länge sowohl bei Adsorption (IL 85) als auch bei Desorption (DL 35) in der Hauptachse ab. In der Nebenachse ist diese Abhängigkeit nicht derart deutlich ausgeprägt, obwohl bei $R_L = 0,77$ durch den erhöhten Anteil des in radialer bzw. tangentialer Richtung quellenden Materials ein zweifach höherer Wert gemessen wird als bei Platten mit einem Lamellenverhältnis von $0,41$.

Die Platten mit niedrigem Lamellenverhältnis weisen eine geringere Anisotropie hinsichtlich ihres Quell-/Schwindverhaltens in der Haupt- und Nebenachse auf – die Gesamtlängenänderungen liegen auf einem gleichen Niveau von $0,31 \%$ (vgl. $\Delta L \perp$ und $\Delta L \parallel$).

Mit zunehmendem Lamellenverhältnis werden jedoch deutlich höhere Gesamtlängenänderungswerte $\Delta L \perp$ in der Nebenachse im Vergleich zur Hauptachse ($\Delta L \parallel$) gemessen – die diesbezügliche Anisotropie zwischen den Achsen steigt klar an, so dass es bei einem Lamellenverhältnis von $R_L = 0,77$ zu einem Verhältnis $\Delta L \perp : \Delta L \parallel$ von $0,60 \%$: $0,07 \%$ kommt.

Alle geprüften Platten zeigten wiederum die schon von /Sattler 1997/ nachgewiesenen höheren Dimensionsänderungen bei Adsorption als bei Desorption, was vor allem auf

die Hysterese-Form der Sorptionsisothermen bei Be- und Entfeuchtung zurückgeführt werden muss⁹⁹.

Tabelle 51 Längenänderungen und Gesamt­längenänderung bei Änderung der relativen Luftfeuchte sowie Mittelwerte der auf 10 % Luftfeuchteänderung bezogenen Längenänderungen von dreilagigen Massivholzplatten mit Lamellen vergleichbarer elastischer Eigenschaften (Bereich der Biege-E-Moduln 9000 bis 11000 N/mm²), Variation des Lamellenverhältnisses R_L , Varianten nach dem Lamellenverhältnis aufsteigend geordnet

Längenänderung		Plattendicke [mm]					
		33,8	30,8	30,8	38,4	34,6	31,0
		Lamellenverhältnis R_L					
		0,41	0,58	0,58	0,67	0,74	0,77
		Varianten-Nr.					
		5	13	19	(20)	14	6
Rohdichte [kg/m ³]	\bar{X} s	435 7,1	480 14,7	485 24,7	466 28,8	463 15,0	440 10,1
IL85, DL II, [%]	\bar{X}	0,28	0,13	0,08	0,08	0,04	0,04
IL85, DL \perp , [%]	\bar{X}	0,25	0,25	0,15	0,22	0,26	0,51
DL35, DL II, [%]	\bar{X}	-0,03	-0,09	-0,05	-0,07	-0,11	-0,03
DL35, DL \perp , [%]	\bar{X}	-0,06	-0,15	-0,08	-0,13	-0,18	-0,09
ΔL II, [%]	\bar{X}	0,31	0,22	0,13	0,15	0,15	0,07
ΔL \perp , [%]	\bar{X}	0,31	0,40	0,23	0,35	0,44	0,60
ΔI_{10A} II, [%]	\bar{X}	0,14	0,065	0,04	0,04	0,02	0,02
ΔI_{10A} \perp , [%]	\bar{X}	0,125	0,125	0,075	0,11	0,13	0,255
ΔI_{10D} II, [%]	\bar{X}	-0,010	-0,030	-0,017	-0,023	-0,037	-0,010
ΔI_{10D} \perp , [%]	\bar{X}	-0,020	-0,050	-0,027	-0,043	-0,060	-0,030

Die unter Punkt 3.2.3.4 zu den auf 10 % Luftfeuchteänderung bezogenen Längenänderungswerten bei Adsorption (ΔI_{10A}) bzw. Desorption (ΔI_{10D}) gemachten Aussagen konnten auch an den hier untersuchten Varianten bestätigt werden: Mit zunehmendem Lamellenverhältnis sinken bei Adsorption die entsprechende Längenänderung in der Hauptachse und es kommt, durch die gleichzeitige Erhöhung der Werte in der Nebenachse, zu einer stärkeren Ausprägung der zwischen Haupt- und Nebenachse zu bestimmenden Anisotropie. Bei den Entfeuchtungsvorgängen (ΔI_{10D}) sind die beschriebenen Zusammenhänge nicht derart ausgeprägt zu erkennen.

Es werden auch hier grundsätzlich höhere Längenänderungswerte bei Adsorption als bei Desorption gemessen.

Die an den Platten ermittelten Formänderungswerte im Differenzklima sind in Tabelle 52 dargestellt. Es zeigt sich, dass mit steigendem Lamellenverhältnis die im Differenzklima zu bestimmenden Werte teilweise drastisch größer werden und die Anisotropie mit zunehmendem Decklagenanteil gleichfalls steigt (vgl. dazu auch Abbildung 44).

Im Bereich der Lamellenverhältnisse bis ca. 0,67 ist nur eine geringe Veränderung der Formstabilität zu verzeichnen, darüber hinaus nimmt die Entwicklung der Formänderungswerte einen nahezu exponentiellen Verlauf.

⁹⁹ Setzt man eine Ausgangsklimatisierung bei 20 °C / 65 % rH voraus, so ergibt sich aus dem allgemein bekannten Verlauf der Sorptionsisothermen im Material ein deutlich höherer Feuchtegradient bei Befeuchtung auf 85 % rH als bei einer Entfeuchtung auf 35 % rH. Durch diesen höheren Feuchtegradient wird die größere Dimensionsänderung bei Erhöhung der relativen Luftfeuchte um 20 % erklärbar.

Tabelle 52 Formänderung labortechnisch hergestellter, dreilagiger Massivholzplatten unterschiedlicher Lamellenverhältnisse, Lamellenbreite 91 bzw. 117 mm, Varianten nach dem Lamellenverhältnis aufsteigend geordnet

Formänderung			Plattendicke [mm]					
			33,8	30,8	30,8	38,4	34,6	31,0
			Lamellenverhältnis R_L					
			0,41	0,58	0,58	0,67	0,74	0,77
			Varianten-Nr.					
			5	13	19	(20)	14	6
Nebenachse	[mm/m]	\bar{X}	4,36	6,08	6,86	8,12	12,4	23,31
Hauptachse	[mm/m]	\bar{X}	3,43	2,11	2,10	1,96	1,46	2,90
Diagonal	[mm/m]	\bar{X}	3,99	3,98	4,41	5,02	6,90	13,24

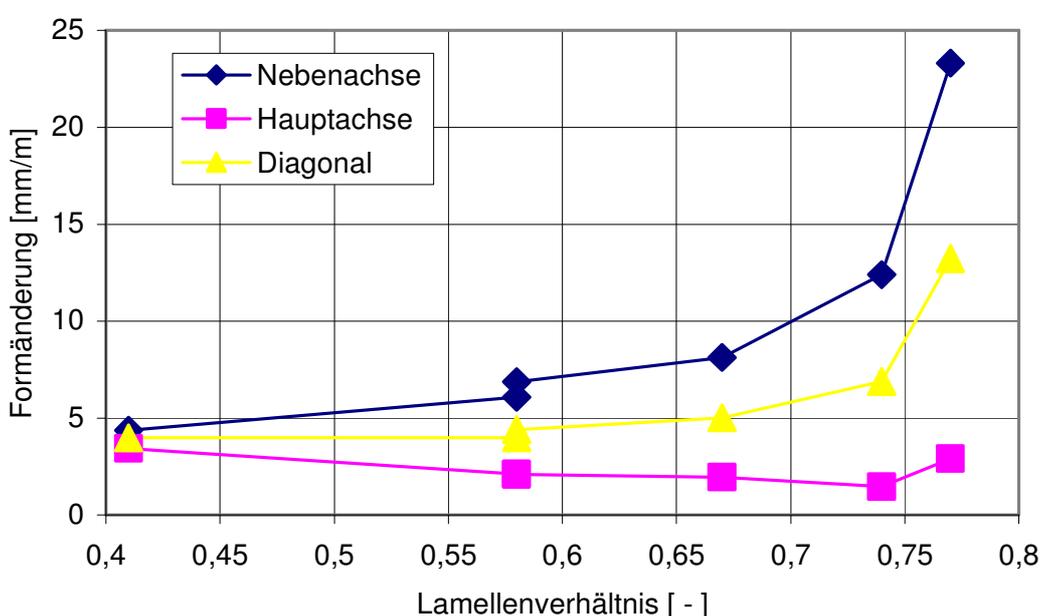


Abbildung 44 Formänderung dreilagiger Massivholzplatten in Haupt- und Nebenachse sowie diagonal nach 96stündiger Lagerung im Differenzklima 20 °C / 85 % rH – 20 °C / 35 % rH in Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis

3.2.5 Lamellenfeuchte / Bindemittel

Die im folgenden dargestellten Untersuchungen zum Einfluss der Feuchte der Lamellen vor der Verpressung bei Verwendung von zwei unterschiedlichen Bindemittelsystemen schließen die Arbeiten zum Nachweis ausgewählter Größen auf die mechanisch-physikalischen Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten ab.

Hintergrund der durchgeführten Experimente war der Versuch einer Übertragung eines aus der Technologie der Herstellung partikelbasierter Holzwerkstoffe bekannten Verfahrens zur Erhöhung der Pressgeschwindigkeit. Bei derartigen Werkstoffen wird durch den gezielten Einsatz unterschiedlicher Feuchten in den Deck- bzw. Mittelschichten u.a. eine Veränderung des Rohdichteprofiles und eine beschleunigte Durchwärmung (damit

gleichzeitig eine erhöhte Pressgeschwindigkeit) durch den sog. Dampfstoßeffect¹⁰⁰ erreicht. Es war daher zu untersuchen, ob ein derartiges Vorgehen auch bei der Massivholzplattenherstellung möglich war und welchen Einfluss die gezielte Befeuchtung der Lamellen auf mechanisch-physikalische bzw. hygri sche Eigenschaften hatte.

3.2.5.1 *Material und Methode*

Alle für die Untersuchungen notwendigen dreilagigen Platten wurden mit den nach Ö-NORM B 3022:1991 sortierten Fichtenholzlamellen auf der Labor-Massivholzplattenpresse der Fa. Höfer mit Presstemperaturen von 130 °C in einem Format von 819 mm x 819 mm x t hergestellt.

Die Ausgangsbreite der Lamellen lag bei einheitlich 91 mm und einer Ausgangsdicke von 12,8 mm. Ein Teil der Lamellen wurde auf eine Dicke von 9 mm kalibriert. Die Lamellen wurden im Anschluss daran entweder durch Lagerung in den Normklimaten 20 °C / 35 % rH, 20 °C / 65 % rH bzw. 20 °C / 85 % rH auf unterschiedliche Ausgleichsfeuchten vorklimatisiert oder durch die gezielte Zugabe von Zusatzwasser auf die Decklagen unmittelbar vor der Verpressung aufgefuechtet.

Als Bindemittel wurden das heißaushärtende MUF-Harz-System K 610 (mit Härter Bonit 12 320) sowie das PVAc-System MD 074 mit einer einheitlichen Auftragsmenge von 200 g/m² eingesetzt.

Die Plattenherstellung (je Versuchspunkt 2 Platten) erfolgte unter Variation der Bindemittelart, der Lamellenfeuchte sowie des Lamellenverhältnisses (vgl. Versuchsübersicht nach Tabelle 53). Bei allen Versuchen wurde der Temperaturverlauf in der Klebfuge mit Thermoelementen gemessen.

Tabelle 53 Versuchsplan zur Herstellung von dreilagigen Massivholzplatten mit Lamellen unterschiedlicher Feuchte (Ausgleichsfeuchte oder Zugabe von Oberflächenwasser), zusätzliche Variation des Lamellenverhältnisses R_L und der Bindemittelart, Lamellenbreite einheitlich 91 mm

Varianten-Nr.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	33	34
Klima [°C/%rH]	20/35		20/65		20/85		20/35		20/65		20/85		85		255	
Wasser [g/m ²]																
Bindemittel	MUF						PVAc						MUF			
Decklage [mm]	9	12,8	9	12,8	9	12,8	9	12,8	9	12,8	9	12,8	9	12,8	9	12,8
Mittellage [mm]	12,8		12,8		12,8		12,8		12,8		12,8		12,8		12,8	
Plattendicke [mm]	30,8	38,4	30,8	38,4	30,8	38,4	30,8	38,4	30,8	38,4	30,8	38,4	30,8	38,4	30,8	38,4
R _L	0,58	0,67	0,58	0,67	0,58	0,67	0,58	0,67	0,58	0,67	0,58	0,67	0,58	0,67	0,58	0,67

Nach der Herstellung wurden die Platten ca. 1 Woche konditioniert, danach geschliffen und anschließend zur Bestimmung der Formstabilität im Differenzklima versiegelt. Im Anschluss an diese Prüfung erfolgte der Einschnitt von Prüfkörpern zur Ermittlung folgender Eigenschaften:

- Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene in Haupt- und Nebenachse in Anlehnung an EN 789:2005,
- Eigenschaften bei Biegung in Plattenebene nach EN 13 879:2002 in Haupt- und Nebenachse,
- Eigenschaften bei Schub rechtwinklig zur Plattenebene nach EN 789:2005 nur in der Hauptachse und

¹⁰⁰ Durch die stoßartige Verdampfung von Wasser aus den befeuchteten Außenzonen bei hohen Presstemperaturen bis 250 °C wird insbesondere bei der Span- und Faserplattenherstellung eine wesentliche Verkürzung der Presszeit erreicht /Klauditz, zit. in Holzlexikon 2003/.

- Dimensionsänderungen in Plattenebene in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte nach EN 318:1993 in Haupt- und Nebenachse.

3.2.5.2 Temperaturverläufe in der Klebfuge

Nach der allgemeinen Klimatisierung aller Lamellen im Normalklima wurden die Lamellen für die Varianten 17, 18, 21, 22, 23, 24, 27 und 28 in die jeweiligen Trocken bzw. Feuchtklimate eingelagert und bis zur Massekonstanz klimatisiert. Im Anschluss daran konnten die in Tabelle 54 aufgeführten Ausgleichsfeuchten bestimmt werden.

Die Werte zeigen deutlich, dass bei Adsorption ein größerer Feuchtegradient im Vergleich zum Ausgangszustand erreicht wird als bei Desorption (vgl. auch diesbezügliche Aussagen unter Punkt 3.2.3.4 und 3.2.4.3).

Tabelle 54 Ausgleichsfeuchten der in den unterschiedlichen Klimaten klimatisierten Lamellen vor der Verpressung

Ausgleichsfeuchte [%] nach Klimatisierung in		Varianten-Nr.											
		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
20 °C / 35 % rH	\bar{X}	8,4	8,4	/	/	/	/	8,2	8,4	/	/	/	/
	s	0,1	0,1					0,1	0,1				
20 °C / 65 % rH	\bar{X}	11,3	11,2	12,3	12,2	13,2	13,0	11,0	11,2	12,2	12,9	12,9	13,1
	s	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	0,3	0,1
20 °C / 85 % rH	\bar{X}	/	/	/	/	18,6	18,3	/	/	/	/	18,3	18,3
	s					0,4	0,1					0,1	0,1

Die während der Herstellung von Massivholzplatten mit unterschiedlich aufgefuechteten Lamellen in den Klebfugen gemessenen Temperaturen (Mittelwerte) sind in den nachstehenden Abbildungen dargestellt.

Die Zieltemperatur von 90 °C in der Klebfuge wurde zuerst von den Platten mit den trockeneren Lamellen (u_{gl} 8,2 ... 8,4 %) erreicht. Obwohl feuchtere Lamellen (u_{gl} 18,3 ... 18,6 %) eine bessere Wärmeleitung aufweisen, fand keine schnellere Durchwärmung statt. Die langsamere Wärmezufuhr in der Klebfuge muss auf die notwendig höhere Energie für die Erwärmung und Verdampfung größerer Mengen Wassers in den feuchteren Lamellen zurückgeführt werden, die damit die technologischen Vorteile einer schnelleren Wärmeleitung ins Innere der Lamellen überdeckte. Besonders deutlich wird die verzögerte Erwärmung am Temperaturverlauf bei Platten mit 12,8 mm dicken Decklagen (siehe Abbildung 46).

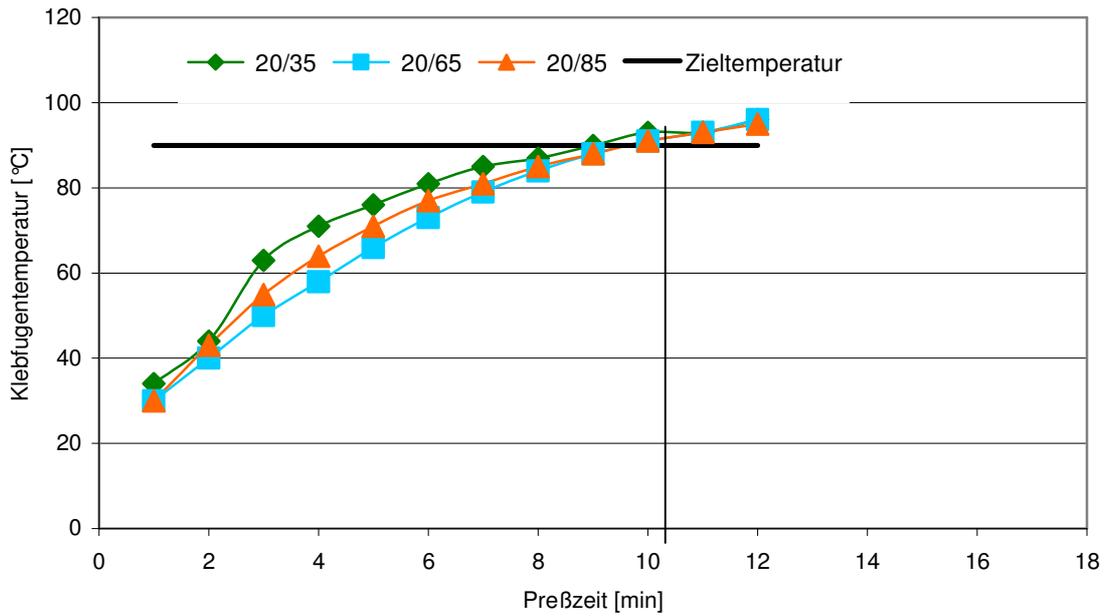


Abbildung 45 Temperaturverlauf in der Klebfuge von dreilagigen Massivholzplatten, Decklagendicke 9 mm, Lamellen bei 35, 65 bzw. 85 % rH vorklimatisiert

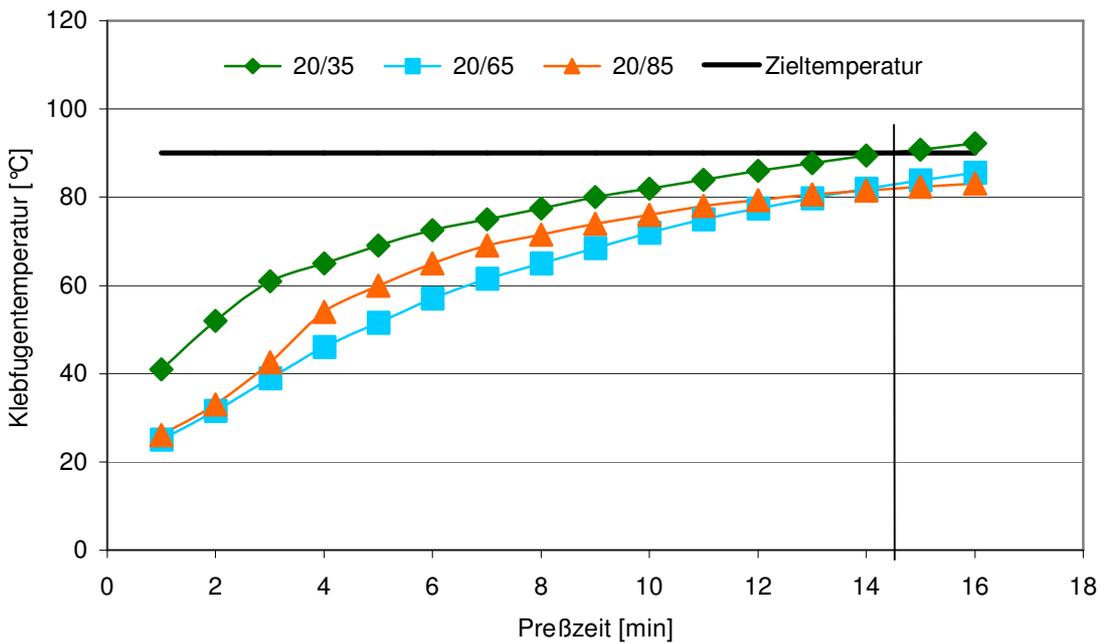


Abbildung 46 Temperaturverlauf in der Klebfuge von dreilagigen Massivholzplatten, Decklagendicke 12,8 mm, Lamellen bei 35, 65 bzw. 85 % rH vorklimatisiert

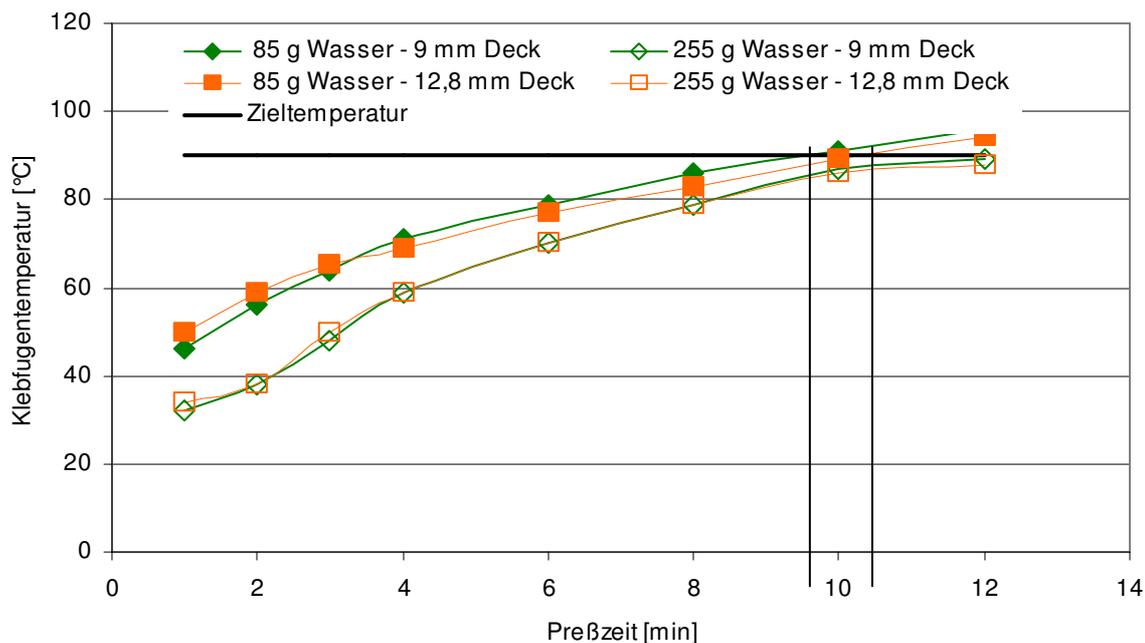


Abbildung 47 Temperaturverlauf in der Klebfuge von dreilagigen Massivholzplatten, Decklagendicke 9 bzw. 12,8 mm, Lamellen bei 65 % rH vorklimatisiert, Zugabe von 85 bzw. 255 g/m² Oberflächenwasser vor der Verpressung

Auch die Zugabe von freiem Wasser auf die Plattenoberflächen (85 bzw. 255 g/m²) führte i. allg. nicht zu der erhofften deutlich schnelleren Durchwärmung der Decklagen. Obwohl die Durchwärmungszeit für Platten mit 12,8 mm dicken Decklagen von 14,3 min auf 13 min gesenkt werden konnte, ging diese leichte Erhöhung der Pressgeschwindigkeit mit deutlichen Fugenöffnungen nach der Konditionierung bei allen denjenigen Platten einher, die mit feuchteren Lamellen bzw. mit Zusatzwasser hergestellt wurden. Diese Minderung der Qualität ist auf die forcierte Schwindung der höher aufgefuechteten Decklagenlamellen quer zur Faserrichtung zurück zu führen.

Aus diesem Grund sollte von einer Aufwechfung der Lamellen auf > 12 % Holzfeuchte vor dem Pressen abgesehen werden, da die Oberflächenqualität derart hergestellter Massivholzplatten unter industriellen Bedingungen nicht mehr zu akzeptieren ist und die erreichbare Verringerung der Presszeit nur unmaßgeblich ausfällt.

3.2.5.3 Mechanisch-physikalische Eigenschaften

Die Ergebnisse der mechanisch-physikalischen und hygrischen Eigenschaften sind vollständig im Anhang 7.4 bzw. 7.5 aufgeführt.

Die dreilagigen Massivholzplatten, die mit den vorklimatisierten Lamellen bzw. unter Zugabe von Zusatzwasser hergestellt wurden, lagen nach der Konditionierung in einem gut vergleichbaren Rohdichtebereich von 440 ... 490 kg/m³, so dass ein zu starker Einfluss eventueller Elastizitätsunterschiede bei der weiteren Ergebnisbetrachtung ausgeschlossen werden kann.

Beim Vergleich der Platten mit gleichen Lamellenverhältnissen ($R_L = 0,58$ bzw. $0,67$) lässt sich feststellen, dass, unabhängig vom eingesetzten Bindemittelsystem, mit trockeneren Lamellen eine höhere Biegefestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene in Haupt- und Nebenachse erzielt werden kann als mit feuchteren Lamellen ($u_{gl} > 18\%$). Dieser Umstand ist nicht auf die Feuchte bei Prüfung, sondern auf die Situation bei der Ver-

pressung zurückzuführen: Lamellen mit geringerer Feuchte weisen ein höheres Gegendruckvermögen auf, so dass es zu einer besseren Ausprägung der Leimfuge (bessere Kraft- und damit Formschlüssigkeit) und damit zu einer besseren Verklebung kommt. Außerdem besteht bei feuchteren Lamellen eine erhöhte Gefahr des Wegschlagens des Leimes ins Holz und es kommt zu einer verstärkten Blasenbildung in der Klebfuge (Wasserdampf), so dass ggf. weniger Bindemittel für die Verbindung im Bereich der Klebfuge zur Verfügung steht. Die Unterschiede in den elastischen Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene sind als nicht signifikant zu betrachten.

Massivholzplatten, die unter Zugabe von Oberflächenwasser hergestellt wurden, weisen gegenüber den Platten, deren Lamellen bei 20 °C / 65 % rH vorklimatisiert wurden, eine höhere Biegefestigkeit und eine vergleichbare Elastizität in Haupt- und Nebenachse auf. Diese Erhöhung wird auf mögliche Verdichtungen der Außenzonen durch die mit der Wasserzugabe verbundene verstärkte Plastifizierung bei 130 °C Presstemperatur zurückgeführt¹⁰¹. Eine derartige Plastifizierung wird plausibel, wenn man die Zahlen nach /Ressel 2004/ in Betracht zieht, wonach die Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung mit steigender Holzfeuchte und steigender Temperatur auf 2/3 ihres Ausgangswertes fällt¹⁰². Zusätzlich dazu wird bei einem spezifischen Pressdruck von 10 bar die Druckfestigkeit normalklimatisierten Fichtenholzes (5,7 N/mm² nach /Kollmann 1951/) bereits deutlich überschritten.

Vergleicht man Platten gleichen Aufbaus aber unterschiedlicher Bindungsart (MUF – PVAc), so lassen sich beim Einsatz von Lamellen mit Ausgleichsfeuchten zwischen 8 und 12 % keine Unterschiede der Biegefestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene feststellen. Erst bei der Verpressung von Lamellen mit Ausgleichsfeuchten von > 18 % werden an den PVAc-gebundenen Platten in der Hauptachse deutlich geringere Werte gemessen, was auf ein zu schnelles Wegschlagen des Wassers aus der PVAc-Dispersion in das feuchtere Holz zurückgeführt werden muss.

Bei einer Gegenüberstellung der traganteilbezogenen Biegefestigkeiten und E-Modulwerte wird auch bei den unter Verwendung unterschiedlich feuchter Lamellen hergestellten dreilagigen Platten der deutliche Einfluss des Lamellenverhältnisses sichtbar: Mit einer Erhöhung des Decklagenanteils an der Plattendicke ist grundsätzlich eine Erhöhung der Biegeeigenschaften in der Hauptachse bzw. eine Verringerung in der Nebenachse verbunden.

Bei Biegung in Plattenebene führt die Erhöhung der Lamellenfeuchte vor der Verpressung zu keiner ausgeprägten Veränderung der Festigkeit und Elastizität, da bei dieser Belastungsart der Einfluss der Klebfugeneigenschaften zu vernachlässigen ist.

Die Eigenschaften bei Schub rechtwinklig zur Plattenebene sinken bei Verwendung feuchterer Lamellen durch die o.a. schlechtere Ausprägung der Leimfugen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Erhöhung der Lamellenfeuchte, sei es durch höhere Ausgleichsfeuchten oder sei es durch die Zugabe von Oberflächenwasser, nicht den gewünschten Effekt bezüglich schnellerer Presszeiten oder besserer Eigenschaften der so hergestellten dreilagigen Massivholzplatten hat. Bei Lamellen höherer Feuchte ist mit einem zusätzlichen Risiko des Wegschlagens des Bindemittels ins Holz zu rechnen – zusätzlich dazu öffnen sich nach der Verpressung und Konditionie-

¹⁰¹ Es erfolgte keine Bestimmung des Rohdichteprofiles – die Plastifizierung der außenliegenden Schichten konnte visuell („speckige“ Oberfläche) an den Decklagenoberflächen und auch im Querschnitte festgestellt werden.

¹⁰² Beachte: Bei diesen Versuchen wurden teilweise große Mengen Oberflächenwasser aufgebracht, die Presstemperatur betrug 130 °C.

rung der Platten die Lamellenfugen auf den Plattenoberseiten, so dass es zu einer inakzeptablen Minderung der Oberflächenqualität kommt.

3.2.5.4 Hygrische Eigenschaften und Formstabilität

Platten, die mit trockeneren Lamellen ($u_{gl} = 8,4 \%$) hergestellt wurden, wiesen nach Lagerung im Feuchtklima, unabhängig vom verwendeten Bindemittel und ihrer Lage in Haupt- bzw. Nebenachse, aufgrund der geringeren Feuchte nach Verpressung und dem damit verbundenen größeren Feuchtegradienten fast grundsätzlich höhere Längenänderungen auf als Massivholzplatten aus feuchteren Lamellen (siehe Tabelle 55). Mit zunehmender Lamellenfeuchte sank das Potenzial zur Längenzunahme im Feuchtklima nachweisbar ab.

In der Hauptachse konnten bei Adsorption keine signifikanten Unterschiede der mit unterschiedlichen Bindemitteln versehenen Prüfkörper festgestellt werden – in der Nebenachse jedoch wurden wider Erwarten gerade im Bereich geringer Lamellenfeuchte bei den MUF-Harz gebundenen Proben i. allg. höhere Werte gemessen. Ein Erklärungsansatz könnte hier im physikalischen Abbindeverhalten der PVAc-Dispersionen (Abbindung durch Trocknung) und der durch Plastifizierung der Bindung bei Wiederauffeuchtung verbundenen geringeren Übertragung des Quelldruckes zwischen den Lagen liegen.

Tabelle 55 Längenänderung [%] bei Änderungen der relativen Luftfeuchte dreilagiger Massivholzplatten in Abhängigkeit von der Vorklimatisierung der Lamellen bzw. der Verwendung von Oberflächenwasser bei Platten mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis und unterschiedlicher Bindungsart (MUF bzw. PVAc)

Längenänderung		Lamellenverhältnis R_L										
		0,58					0,67					
klimatisiert bei 20 °C / ... Oberflächenwasser [g/m ²]		Klimatisierung / Befeuchtung										
		35 %	65 %	85 %	85	255	35 %	65 %	85 %	85	255	
IL85	MUF		0,11	0,08	0,09	0,06	0,11	0,59	0,08	0,05	0,05	0,05
		⊥	0,17	0,15	0,12	0,14	0,14	0,41	0,22	0,06	0,29	0,18
	PVAc		0,10	0,07	0,06	/	/	0,07	0,04	0,07	/	/
		⊥	0,24	0,14	0,04	/	/	0,34	0,10	0,13	/	/
DL35	MUF		-0,09	-0,05	-0,09	-0,10	-0,13	-0,07	-0,07	-0,05	-0,12	-0,08
		⊥	-0,11	-0,08	-0,06	-0,09	-0,17	-0,11	-0,13	-0,06	-0,15	-0,14
	PVAc		-0,05	-0,07	-0,10	/	/	-0,06	-0,07	-0,09	/	/
		⊥	-0,06	-0,10	-0,10	/	/	-0,11	-0,12	-0,09	/	/

Bei Desorption lässt sich kein einheitlicher Zusammenhang der Dimensionsänderungen mit der variierten Ausgleichsfeuchte der Lamellen erkennen. Erstaunlich ist auch hier, dass gerade die Platten aus höher aufgefuechteten Lamellen (u_{gl} vor dem Pressen ca. 18 %) keine einheitlich größeren prozentualen Längenschwindungen aufweisen als Platten mit Lamellen geringer Feuchten. Ein Einfluss des Bindemittels ist ebenfalls nicht auszumachen.

Die labortechnisch hergestellten Massivholzplatten mit größerem Lamellenverhältnis (R_L hier 0,67) zeigen i. allg. gerade in der Nebenachse größere Dimensionsänderungen als die zum Vergleich herangezogenen Massivholzplatten mit einem R_L von 0,58 und bestätigen damit die bei der Untersuchung des Einflusses der Decklagendicke erhaltenen Ergebnisse (siehe Tabelle 51).

Die Zugabe von Oberflächenwasser macht sich nur bei den geprüften Werkstoffen mit einem Lamellenverhältnis von 0,58 und einer Zugabemenge von 255 g/m² bemerkbar.

Hier werden sowohl bei Adsorption als auch bei Desorption höhere Werte als bei den zum Vergleich herangezogenen Platten (Lamellenfeuchten von 8 ... 12 %) ermittelt.

Vergleicht man die in Tabelle 55 angeführten Werte mit den an den Industrieplatten ermittelten Dimensionsänderungen (siehe Punkt 3.1.5, Tabelle 30), so ist eine Veränderung (Verbesserung) der Eigenschaften nicht feststellbar.

Für einen besseren Überblick über die zu uneinheitlich ausgeprägten Ergebnisse wurden wiederum die Gesamtlängenänderungen der Varianten berechnet (siehe Tabelle 56). Mit dieser Betrachtungsweise lassen sich die oben bereits getroffenen Aussagen vertiefen: Die Gesamtlängenänderungen sind in der Nebenachse deutlich höher als in der Hauptachse und mit wenigen Ausnahmen (kursive Werte bei $R_L = 0,67$) wird eine nachvollziehbare Differenzierung der Längenänderungen mit zunehmender Lamellenfeuchte vor dem Pressen (ΔL nimmt mit steigender Feuchte ab) sichtbar. Bei der in Tabelle 56 gewählten Darstellung wird weiterhin deutlich, dass, bei konstantem R_L , die Anisotropie der Gesamtlängenänderungen $\Delta L_{II} : \Delta L_{\perp}$ mit zunehmender Lamellenfeuchte sinkt. Gleiches lässt sich auch bei geringer werdendem Anteil der Decklagen an der Plattendicke (hier R_L von 0,67 ... 0,58) feststellen.

Eine signifikante Erhöhung der Quell-Schwind-Neigung ist nur bei Einsatz großer Mengen Oberflächenwasser zu ermitteln.

Tabelle 56 Gesamtlängenänderung ΔL_{II} bzw. ΔL_{\perp} [%] bei Änderungen der relativen Luftfeuchte dreilagiger Massivholzplatten in Abhängigkeit von der Vorklimatisierung der Lamellen bzw. der Verwendung von Oberflächenwasser bei Platten mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis und unterschiedlicher Bindungsart (MUF bzw. PVAc)

Längenänderung		Lamellenverhältnis R_L									
		0,58					0,67				
		Klimatisierung / Befeuchtung									
klimatisiert bei 20 °C / ... Oberflächenwasser [g/m ²]		35 %	65 %	85 %	85	255	35 %	65 %	85 %	85	255
MUF	ΔL_{II}	0,20	0,13	0,18	0,16	0,24	0,66	0,15	0,10	0,17	0,13
	ΔL_{\perp}	0,28	0,23	0,18	0,23	0,31	0,52	0,35	0,12	0,44	0,32
PVAc	ΔL_{II}	0,15	0,14	0,16	/	/	0,13	0,11	0,16	/	/
	ΔL_{\perp}	0,30	0,24	0,14	/	/	0,45	0,22	0,22	/	/

Tabelle 57 Formänderung [mm/m] in Abhängigkeit von der Vorklimatisierung der Lamellen bzw. der Verwendung von Oberflächenwasser bei labortechnisch hergestellten dreilagigen Massivholzplatten mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis und unterschiedlicher Bindungsart (MUF bzw. PVAc)

Formstabilität		Lamellenverhältnis R_L									
		0,58					0,67				
		Klimatisierung / Befeuchtung									
klimatisiert bei 20 °C / ... Oberflächenwasser [g/m ²]		35 %	65 %	85 %	85	255	35 %	65 %	85 %	85	255
MUF	Nebenachse \bar{x}	7,27	6,86	6,93	7,48	7,68	7,58	8,12	7,22	7,79	8,28
	Hauptachse \bar{x}	2,27	2,10	2,02	2,32	2,33	1,93	1,93	1,81	1,92	2,06
	Diagonal \bar{x}	4,77	4,41	4,44	4,88	5,03	4,72	5,02	4,53	4,91	5,29
PVAc	Nebenachse \bar{x}	6,17	6,29	4,69	/	/	6,33	5,53	5,29	/	/
	Hauptachse \bar{x}	2,29	2,67	2,31	/	/	1,18	1,67	2,04	/	/
	Diagonal \bar{x}	4,29	4,53	3,42	/	/	3,76	3,51	3,66	/	/

Für die Formänderungen der Platten bei Lagerung im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH konnten nur geringe Einflüsse der Lamellenfeuchte und der Bindemittelart festgestellt werden (vgl. Tabelle 57).

So lassen die gemessenen Formänderungswerte erkennen, dass die Formstabilität dreilagiger Massivholzplatten, labortechnisch mit Lamellen höherer Ausgleichsfeuchte hergestellt, geringfügig besser ist (Verringerung um $\sim 0,1 \dots 1,5$ mm/m) als Platten, deren Lamellen eine Feuchte von ~ 8 % vor der Heißverpressung aufwiesen. Der Einsatz von Oberflächenwasser führt zu einer Verschlechterung der Werte (größere spezifische Oberfläche durch Risse und damit schnellere Feuchtaufnahme).

Überraschenderweise zeigen die mit PVAc verklebten Platten im allgemeinen geringere Formänderungswerte im Differenzklima, was möglicherweise erneut auf die größere Klebfugenelastizität und die damit verbundene geringere Übertragung von Schubkräften (damit geringere Verwölbung der Platten) zwischen den Lagen zurück zu führen sein kann.

3.3 Substitution der Mittellage

3.3.1 Einleitung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde über Arbeiten zur Untersuchung des Einflusses verschiedener struktureller und technologischer Parameter auf die Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten berichtet. So stellten sich das Lamellenverhältnis und die lokalen mechanisch-physikalischen Eigenschaften als die eigenschaftsbestimmenden Größen heraus, wohingegen derzeit nur geringe technologische Spielräume bestehen, um die Herstellung von Massivholzplatten effektiver zu gestalten oder Platten mit besseren Eigenschaften herstellen zu können.

Wie bereits unter Punkt 2 der vorliegenden Arbeit ausführlich erläutert werden konnte, werden in letzter Zeit ausgewählte Segmente im Baubereich (z.B. tragende und aussteifende Beplankung von plattenförmigen Elementen, Schaltafeln) bzw. im dekorativen Innenausbau auch vom bisher wenig beachteten Werkstoff „Massivholzplatte“ besetzt. Der Wille der Massivholzplattenhersteller, weitere bisher nicht oder nur wenig bediente Marktsegmente zu erschließen, wird durch die zunehmende Anzahl von bauaufsichtlich zugelassenen – und damit berechenbaren - Massivholzplatten unterstrichen. Einsatzhemmend wirkte sich jedoch bisher der vergleichsweise hohe Preis solcher Platten aus.

Die im Weiteren vorgestellten Untersuchungen widmen sich möglichen Synergieeffekten durch die Verbindung zweier Werkstoffgruppen: Massivholzplatten und faser- bzw. spanbasierten Holzwerkstoffen.

Diese Synergien sollten sich durch eine Substitution der Mittellage mehrlagiger Massivholzplatten mit konventionellen Holzwerkstoffe aus folgenden Ansätzen ergeben:

1. Durch die Substitution der Mittellage dreilagiger Massivholzplatten dehnen sich die Absatzmöglichkeiten für die Hersteller partikelförmiger Holzwerkstoffe in bisher nicht bediente Marktsegmente aus.
2. Dank des Einsatzes vergleichsweise preiswerter plattenförmiger Holzwerkstoffe besteht für die Massivholzplattenhersteller die Möglichkeit von Kosteneinsparungen (die Produktionskosten je m³ Lamellen-Mittellage liegen nach Herstellerangaben, abhängig von Dicke und Holzqualität, zwischen 300,- und 560,- €). Wird zumindest ein Teil der Einsparungen an die Verbraucher weitergereicht, erweitern sich durch mögliche Preissenkungen die Absatzchancen für derart hergestellte Massivholzplatten.
3. Technologische Erleichterungen ergeben sich, bei entsprechenden Abnahmemengen, durch den passgenauen Zuschnitt der Substitute und das gute Handling der Holzwerkstoffe und führen zu einer Erhöhung der Produktionseffektivität.
4. Es ist zu erwarten, dass sich bestimmte Eigenschaften der mit substituierten Mittellagen hergestellten Massivholzplatten durch die geringere Anisotropie der Mittellagen verbessern. Eingeschlossen ist die Möglichkeit, dreilagige Holzwerkstoffe, wie z.B. OSB, gesperrt einzusetzen. Durch die größere Isotropie der eingesetzten Holzwerkstoffe sinkt die Anisotropie der Verbundplatten, die Formstabilität als wichtige Gebrauchseigenschaft verbessert sich.

In einer arbeitsbegleitend durchgeführten Patentrecherche wurden einige Dokumente nachgewiesen, die sich bereits mit der Verbesserung der statischen Eigenschaften von Massivholzplatten und der Verklebung von Vollholz mit Holzwerkstoffen beschäftigten:

In *DE 3840093* werden einlagige Massivholzplatten vorgestellt, deren Lamellen durch Dübel, die über die volle Lamellenbreite reichen, zusammengefügt werden.

Massivholzplatten nach einem anderen Verfahren sind durch mindestens eine quer zur Faserrichtung liegende Bohrung mit eingeschobenem Stabilisierungsstab gekennzeichnet /*DE 8816092, EP 0903207 A2*/.

G 92 13 183.2 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung einer zweilagigen Verbundplatte mit wenigstens einer Deckschicht aus Holz und einer Unterschicht aus Holz oder einem nicht näher bezeichneten Holzwerkstoff als nichttragendem Werkstoff für einen Einsatz im Fußbodenbereich (im Grunde ein Hirnholz-Fertigparkett). Die Deckschicht besteht aus bahnenförmig verlegten Hirnholzabschnitten mit abwechselnd gegenläufiger, schräg zur Unterschicht verlaufender Hauptfaserrichtung, die eine höhere mechanische Belastungsfähigkeit als herkömmlich längsgeschnittene Vollholzabschnitte aufweisen.

DE 39 08 851 A1 hat ein Verfahren zur Herstellung von mehrlagigen Paneelbrettern bevorzugt für Fußböden zum Inhalt, bei dem die nach Verklebung einer Mittellage (geschlitztes Vollholz) mit jeweils außenliegenden, gesperrt angeordneten Trittschichten entstandenen brettförmigen Verbundplatten über eine Kreissäge in der Symmetrieachse parallel zur Trittschichtfläche aufgetrennt werden, um so verzugsfreie Paneele zu erhalten. In der vorliegenden Druckschrift wird jedoch nicht von der Verwendung herkömmlicher Holzwerkstoffe, wie z.B. Spanplatten, Platten aus langen, orientierten Spänen, MDF oder Sperrholz, in der Mittellage bzw. den innenliegenden Lagen ausgegangen.

DE 41 22 365 A1 stellt die Herstellung weitgehend formstabiler dreilagiger Massivholzplatten dar, deren Decklagen aus geschnittenen Lamellen (spanlos schneidendes Zertrennen) und deren Mittellagen aus nicht geschnittenen Lamellen (gesägte Lamellen) bestehen. Auch in dieser Druckschrift wird nicht von einem Einsatz herkömmlicher partikel-, faser- oder lagenförmiger Holzwerkstoffe ausgegangen.

DE 19719442 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung verwindungssteifer Massivholzplatten, bei denen die hier verwendeten Stäbchen in der Ebene wellenförmig zu Lagen verpresst werden, die dann um 90° versetzt miteinander verleimt werden. Zur Steigerung der Stabilität und Steifigkeit können beidseitig Deckfurniere aufgebracht werden.

Aus der Literatur wurde bisher nur eine Arbeit zur Substitution der Mittellagen mehrlagiger Massivholzplatten durch plattenförmige Holzwerkstoffe bekannt. Darin beschreibt *DE 2946219 A1* die Herstellung von dreilagigen Schalungsplatten, bestehend aus zwei Deckschichten aus Brettern und einer Mittelschicht aus Pressspanplatten (nach dem Herstellungsverfahren in den abhängigen Ansprüchen festgelegt als stranggepresste Spanplatte). Dass Schalungsplatten aus Holzwerkstoffen zum Zeitpunkt der Anmeldung der Schrift *DE 29 46 219 A1* (15. November 1979) jedoch zum allgemeinen Stand der Technik gehören, zeigt eine Veröffentlichung von /Schmidt-Morsbach/ vom 14. September 1979.

Die im Folgenden beschriebenen Arbeiten gliedern sich in labortechnische Versuche zur Klärung grundlegender Fragen sowie in Industrieversuche, in denen die prinzipielle Umsetzbarkeit und Machbarkeit der gefundenen Ergebnisse bestätigt werden sollte.

3.3.2 Labortechnische Versuche

3.3.2.1 Material und Methode

Die zur Substitution vorgesehenen Holzwerkstoffe wurden vorerst von im Raum Dresden ansässigen Holzhändlern bestellt und geliefert. Tabelle 58 stellt die beschafften Holzwerkstoffe mit Angaben über Materialmengen und Nenndicken dar.

Tabelle 58 Holzwerkstoffe für die Substitution der Mittellagen dreilagiger Massivholzplatten

Material	Spanplatte V 100			Sperrholz BFU 100			OSB/3		
Nenndicke t_i [mm]	10	13	19	9	12	19	10	12	18
Plattenabmessungen [mm]	2050 x 925 x t_i			2500 x 1250 x t_i			2500 x 1250 x t_i		
Plattenanzahl	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Plattenbezeichnung	423/ 442	424/ 443	425/ 444	426	427	428	420	421	422

Aufgrund von Problemen mit der Qualität der gelieferten Holzwerkstoffe wurde festgelegt, im weiteren Verlauf der Arbeiten Holzwerkstoffe direkt bei den Herstellern zu beziehen (dreischichtige OSB/3 der Firmen Kronopol/Zary, Egger/Wismar und Nexfor/Inverness).

Die für das Vorhaben benötigten Lamellen wurden wiederum beim bisherigen Lieferanten bestellt und bereits bei Lieferanten optisch (Wood Eye) sortiert.

In entsprechenden Arbeitsprogrammen wurden notwendige Prüfungen und Einschnittschemen für die Substitute mit der jeweils größten Nenndicke einer Holzwerkstoffvariante festgelegt. Abbildung 48 zeigt beispielhaft das Einschnittschema einer 18 mm dicken OSB.

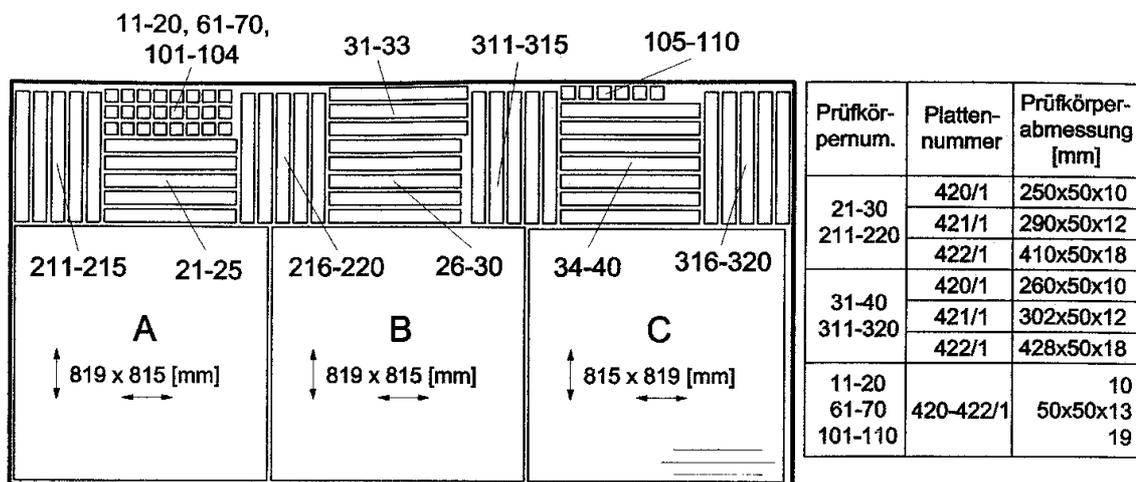


Abbildung 48 Einschnittschema am Beispiel der OSB (2500x1250x18) mit Nummerierung und Abmessung der Prüfkörper

Die Einschnittschemen für Platten mit geringerer Nenndicke fielen äquivalent aus.

Alle Prüfkörper erhielten ihre Kennzeichnung auf der Plattenoberseite und wurden nach dem Einschnitt bis zur annähernden Massekonstanz im Normklima gelagert. Danach erfolgten die Prüfungen der folgenden Substituteigenschaften nach den entsprechenden Normen:

- Biegung in Haupt- und Nebenachse nach EN 310:1993

- Biegung in Haupt- und Nebenachse in Anlehnung an EN 789:2005
- Dickenquellung nach 2 und 24h Wasserlagerung nach DIN 52364:1965
- Dickenquellung nach 24h Wasserlagerung nach EN 317:1993
- Querszugfestigkeit nach EN 319:1993
- Querszugfestigkeit nach 2 Stunden Kochen nach EN 1087-1:1995
- Bindefestigkeit der Verleimung nach Kaltwasser- und Kochwechselfersuch nach DIN 68705-2 und DIN 53 255:1964 im Aufstechversuch
- Rohdichte nach EN 323:1993
- Feuchtegehalt nach EN 322:1993

Bei der labortechnischen Herstellung der Verbundplatten wurde für alle Versuche eine einheitliche Zielnenndicke nach Pressung und Kalibrierschliff von 27 mm festgelegt. Da Holzwerkstoffe unterschiedlicher Nenndicken für die Substitution zum Einsatz kamen, wurden die Decklagenlamellen vor der Beleimung und Verpressung auf entsprechende Komplementär-Nenndicken zugerichtet.

Eine Übersicht der labortechnisch hergestellten Verbundplatten gibt Tabelle 59.

Insgesamt enthielt das Arbeitsprogramm 9 Varianten herzustellender Massivholzplatten. Je Versuchsvariante wurden 3 Massivholzplatten der Abmessungen 820 mm x 815 mm x Nenndicke auf der Labor-Massivholzplattenpresse hergestellt.

Um den Einfluss der Sperrung auf die Eigenschaften der Platten abschätzen zu können, wurden bei Platte 1 und 2 der Varianten die Holzwerkstoff-Mittellagen gesperrt (90° versetzt zur Faserrichtung der Decklagen), bei Platte 3 nicht gesperrt angeordnet.

Bei allen Verbundplatten mit Spanplatten-Mittellagen erfolgte keine gezielte Variation der Mittellagenorientierung, da dieser Holzwerkstoff nicht über eine ausgeprägte Orientierung verfügt¹⁰³.

Tabelle 59 Versuchsübersicht zu labortechnisch hergestellten 27 mm dicken Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen

Material Mittellage	Spanplatte V 100			Sperrholz BFU 100			OSB/3		
Herstellercode	B	C	C	E	E	E	D	D	D
Substitutkennzeichnung	442	443	444	426	427	428	70	71	72
Dicke Mittellage [mm]	10	13	19	9	12	19	12	15	22
Material Decklagen	Fichtenholzlamellen, Güteklasse B, Breite 117 mm								
Dicke Decklage [mm]	8,5	7,0	4,0	9,0	7,5	4,0	7,5	6,0	2,5
Lamellenverhältnis R_L	0,63	0,52	0,30	0,67	0,56	0,30	0,56	0,44	0,19
Varianten-Nr.	35	36	37	38	39	40	41	42	43

Als Bindemittel kam grundsätzlich das heißaushärtende MUF-Harz-System K 610 der BASF AG und der Härter Bonit 13 320 zum Einsatz.

Die Decklagenlamellen wurden gestapelt und an den Schmalflächen mit Bindemittel versehen. Anschließend erfolgt die Verlegung der unteren Decklage (rechte, kernzugewandte Seite nach außen), wobei die Lamellen zum besseren Handling an den Schmalflächenstößen geklammert wurden.

Die Beleimung erfolgte beidseitig auf den Breitflächen der Holzwerkstoff-Mittellagen mit einer Leimauftragsmenge von 200 g/m². Nach dem Leimauftrag und dem Auflegen der Mittellage auf der unteren Decklage wurden die Lamellen der oberen Decklage mit der rechten Seite nach außen aufgelegt und gleichfalls geklammert.

¹⁰³ Die Spanplatten wurden derart eingesetzt, dass die Herstellungsrichtung parallel zur Orientierungsrichtung der Decklage lag.

Die Verpressung erfolgte mit Pressblechen und Silikon-Trennpapier bei Heizplatten-temperaturen von 130 °C und einem Presszeitfaktor von 90 s/mm. Die spezifischen Pressdrücke betragen 10 bar (Fläche) bzw. 14 bar (Seite).

Nach dem Pressen wurden die Platten mindestens 3 Tage im Stapel konditioniert. Anschließend wurde auf ein Fertigmaß von 810 x 810 mm besäumt, es erfolgte der symmetrische Kalibrierschliff auf 27 mm Nenndicke und der Einschnitt der Prüfkörper.

An den labortechnisch hergestellten Platten wurden folgende Eigenschaften in der Haupt- und Nebenachse bestimmt:

- Rohdichte nach EN 323:1993
- Feuchtegehalt bei Prüfung nach EN 322:1993
- Biegefestigkeit und Biege-E-Modul rechtwinklig zur Plattenebene in Anlehnung an EN 789:2005,
- Biegefestigkeit und Biege-E-Modul in Plattenebene in Anlehnung an prEN 13879,
- Scherfestigkeit und Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene nach EN 789:2005,
- Dimensionsänderungen in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchte nach EN 318:1993 und
- Formstabilität nach 48stündiger Lagerung im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH

Bei der Durchführung des Differenzklima-Versuches zur Bestimmung der Formstabilität wurden pro Prüferie 3 Prüfkörper der Abmessungen 500 x 500 [mm] geprüft.

3.3.2.2 *Mechanisch-physikalische Eigenschaften*

Alle Ergebnisse sind der Arbeit in Anhang 7.6 und 7.7 beigelegt.

Die Substituteigenschaften wurden direkt mit den Anforderungswerten nach den entsprechenden Normen verglichen (Spanplatten nach DIN 68 763:1990, OSB nach bauaufsichtlicher Zulassung bzw. nach DIN EN 300:1997, Bau-Furniersperrholz gemäß DIN 68705-3:1981).

Alle an Bau-Furniersperrholz BFU 100 gestellten Anforderungen nach DIN 68705-3:1981 konnten durch die eingesetzten Substitute erfüllt werden. Die nach Herstellerangaben eigens festgelegten elastomechanischen Eigenschaften wurden in Ausnahmefällen leicht unterschritten (vgl. Anlage 7.6). Die Messwerte der Biegefestigkeiten in Haupt- und Nebenachse lagen deutlich über den Anforderungen.

Die OSB erfüllten die laut bauaufsichtlicher Zulassung geforderten Anforderungen nicht, da die Querkzugfestigkeiten nach Kochprüfung bei allen Platten unter den Mindestanforderungen lagen. Bei Variante 421 wurden außerdem noch Festigkeits- und E-Modulwerte unterschritten. Die Anforderungswerte nach EN 300:1997 wurden jedoch, mit Ausnahme der Dickenquellung, sicher eingehalten.

Die Spanplattenvarianten 443 und 444 erfüllten alle Anforderungswerte. Variante 442 konnten den Anforderungen an die Eigenschaften bei Biegung nicht gerecht werden. Auch die Grenzwerte der Dickenquellung wurden erheblich überschritten.

Die nachfolgenden Ergebnisse der Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen werden sowohl untereinander in Beziehung gestellt als auch in Bezug auf das unter Punkt 3.1 erstellte Eigenschaftsprofil dreilagiger Massivholzplatten gleicher Nenndicke ausgewertet.

Da es sich um eine Kombination von hinsichtlich der Platteneigenschaften recht unterschiedlichen Werkstoffen handelt, werden im folgenden nicht nur die Eigenschaften verglichen, sondern auch das Versagensverhalten beurteilt.

Durch die große Datenmenge erfolgte eine Auswertung der Ergebnisse (jeweils in Haupt- bzw. Nebenachse) separat für die Prüfungen rechtwinklig zur (als Platte) bzw. in Plattenebene (als Scheibe).

Prüfung rechtwinklig zur Plattenebene in Hauptachse

1. *Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene*: Die Massivholzplatten mit Sperrholz-Mittellage erreichten die mit Abstand höchsten Biegefestigkeiten, wobei die Platten mit nicht gesperrter Sperrholz-Mittellage geringfügig höhere Biegefestigkeiten aufwiesen als die Proben mit gesperrter Sperrholz-Mittellage. Die Massivholzplatten mit Spanplatten-Mittellage lagen wertmäßig in der Mitte der Stichprobe. Hier war jedoch überraschenderweise ein starker Festigkeitsverlust bei Platten mit „nicht gesperrter“ Spanplatten-Mittellage erkennbar.
Die industriell hergestellten und im Rahmen der vorliegenden Arbeit geprüften Massivholzplatten (vgl. Pkt. 3.1) wiesen bei niedrigem R_L ($<0,5$) die geringsten Festigkeitswerte auf. Bei steigendem R_L (bis $\sim 0,65$) erhöhten sich die Festigkeiten zwar weiter, konnten jedoch nicht die Werte der Massivholzplatten mit Spanplatten-Mittellagen erreichen.
Massivholzplatten mit nicht gesperrter OSB-Mittellage wiesen im Vergleich zu allen anderen Platten die geringsten Festigkeiten auf, die Platten mit gesperrter OSB-Mittellage zeigten eine etwas höhere Festigkeit als die Massivholzplatten mit nicht gesperrter OSB-Mittellage. Bei allen Platten war ab einem R_L von $\sim 0,5$ bis $\sim 0,65$ (je nach Plattentyp) ein starker Festigkeitsverlust zu erkennen. Das bedeutet, dass in jeder Plattenserie die Platten mit den Holzwerkstoffmittellagen mittlerer Dicke die größten Festigkeitswerte aufwiesen.

2. *Biege-E-Modul \perp zur Plattenebene*: Die o. g. Aussagen zur Biegefestigkeit sind nur begrenzt auf die elastischen Eigenschaften übertragbar. Die E-Moduln der unter Punkt 3.1 ausgewerteten Industrie-Massivholzplatten werden von allen Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen deutlich überschritten. Die höchsten E-Moduln erreichten die Massivholzplatten mit gesperrten Sperrholz-Mittellagen und mit nicht gesperrten OSB-Mittellagen. Im mittleren Wertebereich sind Massivholzplatten mit Spanplatten- und gesperrter OSB-Mittellage zu finden. Die Massivholzplatten mit nicht gesperrter Sperrholz-Mittellage wiesen die geringsten E-Moduln auf.
Die Abhängigkeit der Biege-E-Moduln vom Lamellenverhältnis verhält sich adäquat zur Biegefestigkeit: In jeder Plattenvariante zeigten immer Platten mit den Holzwerkstoffmittellagen mittlerer Dicke die größten E-Moduln. Einzige Ausnahme sind die Massivholzplatten mit gesperrter OSB-Mittellage, die einen stetigen Anstieg der E-Moduln mit steigendem R_L erkennen ließen.

3. *Versagensverhalten bei Biegung \perp zur Plattenebene*: Es versagte fast immer die untere Decklage (Zug-Risse). Bei den Platten mit OSB-Mittellagen traten Schubrisse auf, die an den Rändern begannen und sich bis in Prüfkörpermitte fortsetzten. Die Platten mit Sperrholz-Mittellagen versagten meist im querkräftfreien Bereich (zwischen den beiden Krafteinleitungsstellen). Die Prüfkörper mit Spanplatten-Mittellagen zeigten oft Schubrisse im Querkraftbereich (zwischen Auflager und

Krafteinleitungsstelle). Im Gegensatz zum Versagensverhalten von Platten mit Sperrholz-Mittellage trat das Versagen hier jedoch meistens unter der Krafteinleitungsstelle ein. Vereinzelt versagten die Platten in der Leimfuge oder in den Randbereichen der unteren Decklage (vgl. Abbildung 49).

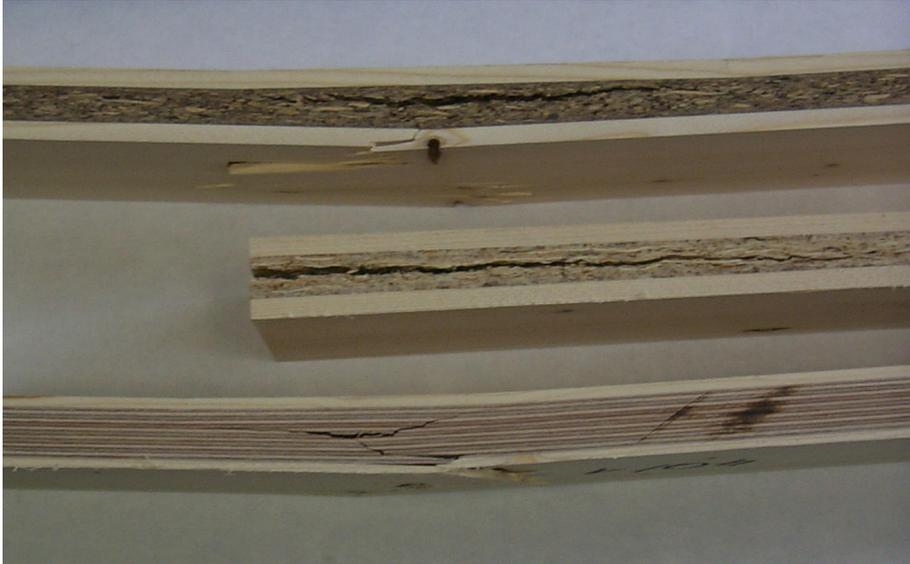


Abbildung 49 Bruchbilder von Prüfkörpern bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene mit parallel orientierten Decklagenlamellen; Prüfkörper mit Spanplatten-, OSB-, und Sperrholz-Mittellage (von oben nach unten)

4. *Scherfestigkeit \perp zur Plattenebene:* (Auswertung nur für Platten mit gesperrter Mittellage) Nur die Massivholzplatten mit Sperrholz-Mittellagen erreichten die Werte der zum Vergleich heranzuziehenden industriellen Massivholzplatten und zeigten sich unbeeinflusst vom R_L .
Die Massivholzplatten mit OSB- und Spanplatten-Mittellagen wiesen einen deutlichen, nahezu linearen Scherfestigkeitsverlust bei zunehmendem R_L auf. Die Scherfestigkeit der Massivholzplatten mit Spanplatten-Mittellagen fiel am geringsten aus.
5. *Schub-E-Modul \perp zur Plattenebene:* Die Messwerte unterlagen zu starken Schwankungen, um eine objektive Auswertung zu ermöglichen. Sie erreichten nicht die Werte der Industrieplatten. Eine Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis war nicht nachweisbar.

Prüfung rechtwinklig zur Plattenebene in Nebenachse

1. *Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene:* Bedingt durch die senkrechte Orientierung der Decklagenlamellen fielen die Ergebnisse geringer als bei Massivholzplattenprüfkörpern in der Hauptachse aus. Besonders mit steigendem R_L ergaben sich signifikante Unterschiede. Die unter Punkt 3.1 der vorliegenden Arbeit geprüften Industrieplatten und die Massivholzplatten mit Sperrholz-Mittellage zeigten gleiche Festigkeitswerte.
Die höchsten Festigkeiten erreichten die Massivholzplatten mit gesperrter Sperrholz-Mittellage. Im mittleren Wertebereich der Stichprobe lagen die Massivholzplatten mit gesperrter OSB-Mittellage gefolgt von den Platten mit Spanplatten-Mittellage

und nicht gesperrter OSB-Mittellage. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Festigkeitsunterschiede zwischen diesen Platten minimal ausfallen.



Abbildung 50 Bruchbilder von Biegeprüfkörpern bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene mit senkrecht orientierten Decklagenlamellen; Prüfkörper mit Spanplatten-, OSB-, und Sperrholz-Mittellage (von oben nach unten)

2. *Biege-E-Modul \perp zur Plattenebene*: Die Messwerte in Nebenachse waren wesentlich geringer als bei Massivholzplatten mit parallel orientierten Decklagenlamellen und prägten sich bei Platten mit Holzwerkstoff-Mittellagen mittlerer Dicke besonders stark aus. Alle Platten zeigten mit zunehmendem R_L nahezu linear fallende E-Modul-Werte. Die Industrie-Massivholzplatten und die Massivholzplatten mit gesperrter Sperrholzmittellage lagen wertemäßig im oberen Bereich der Stichprobe. Massivholzplatten mit gesperrter OSB-Mittellage und Massivholzplatten mit nicht gesperrten Sperrholz- bzw. gesperrten/nicht gesperrten Spanplatten-Mittellagen wiesen mittlere E-Modul-Werte auf. Die niedrigsten E-Modul-Werte wurden an den Massivholzplatten mit nicht gesperrter OSB-Mittellage ermittelt.
3. *Versagensverhalten bei Biegung \perp zur Plattenebene*: Durch die senkrechte Orientierung der Decklamellen trat das Versagen nahe der krafteinleitenden Stellen auf und erfolgte in der Mittellage. Die obere Lamelle wurde durch die Biegung gestaucht und versagte als letztes (Abbildung 50).

Prüfung in Plattenebene in Hauptachse

1. *Biegefestigkeit in Plattenebene*: Die Massivholzplatten mit gesperrter Sperrholz-Mittellage hatten die mit Abstand höchste Biegefestigkeit. Dabei nahm die Festigkeit mit steigendem R_L noch zu. Verbundplatten mit Spanplatten-Mittellagen zeigten mittlere Werte; die Festigkeit dieser Platten stieg mit zunehmendem R_L nicht linear an, sondern fiel bei $R_L > 0,5$ wieder leicht ab. Massivholzplatten mit gesperrter OSB-Mittellage erreichten eine Festigkeit im Bereich der Massivholzplatten mit Spanplatten-Mittellagen, wobei die Werte mit zunehmendem R_L anstiegen. Geringere Festigkeiten wurden an den Massivholzplatten mit nicht gesperrten OSB- und Sperrholz-Mittellagen bestimmt; hier war ein linearer Anstieg mit zunehmendem R_L zu erkennen.

Die mit Abstand geringste Biegefestigkeit innerhalb der betrachteten Stichprobe wurden von den zum Vergleich herangezogenen industriellen Massivholzplatten erreicht.

2. *Biege-E-Modul in Plattenebene*: Auch hier ist eine Übertragung der o.g. Aussagen zur Biegefestigkeit nur sehr begrenzt möglich. Platten mit Sperrholz-Mittellage erreichten die höchsten E-Modul-Werte – sie stiegen mit zunehmendem R_L linear an. Bei den Massivholzplatten mit Spanplatten- bzw. OSB-Mittellagen wurden wesentlich geringere elastische Eigenschaften ermittelt, die bei den Platten mit Holzwerkstoff-Mittellagen mittlerer Dicke zum Teil sehr nahe beieinander lagen.
3. *Versagensverhalten bei Biegung in Plattenebene*: Die Bruchbilder waren nicht so aussagefähig wie bei der Biegung rechtwinklig zur Plattenebene. Das Versagen trat i. allg. auf der Zugseite im querkraftfreien Bereich auf. In Ausnahmefällen versagte die Leimfuge zwischen Deck- und Mittellage.

Prüfung in Plattenebene in Nebenachse

1. *Biegefestigkeit in Plattenebene*: Die Massivholzplatten mit Sperrholz-Mittellagen erreichten die höchsten Festigkeitswerte. Bei allen Platten war grundsätzlich eine starke Abhängigkeit von R_L erkennbar: Bei Platten mit den dicksten Mittellagen lagen die Werte nahe an den Biegefestigkeiten der Massivholzplatten mit parallel orientierten Decklagenlamellen (Hauptachse). Die Festigkeitswerte der zum Vergleich herangezogenen industriell hergestellten Massivholzplatten (vgl. Pkt. 3.1 bzw. Anhang 7.1) lagen in einem mittleren Wertebereich. Sie zeigten jedoch, gegensätzlich zu den Verbundplatten, keine eindeutige Abhängigkeit vom Lamellenverhältnis. Massivholzplatten mit Spanplatten- bzw. OSB-Mittellage erreichten vergleichbare Festigkeiten, die aber im Vergleich zu den anderen Massivholzplatten sehr niedrig ausfielen.
2. *Biege-E-Modul in Plattenebene*: Die Aussagen zu den Eigenschaften innerhalb und zwischen den Varianten gilt gleichlautend zu den Aussagen bezüglich der Biegefestigkeit. Die Industriepplatten hatten die höchsten E-Moduln gefolgt von den Massivholzplatten mit Sperrholz-Mittellagen.
3. *Versagensverhalten bei Biegung in Plattenebene*: In der Nebenachse trägt im Belastungsfall üblicherweise nur die Mittellage. Ein Versagen trat daher zwischen den krafteinleitenden Stellen (querkraftfreier Bereich) oder nahe den krafteinleitenden Stellen ein. Generell entstanden die Risse auf der Zugseite.

3.3.2.3 Formstabilität

Platten mit nicht gesperrter Mittellage

Bei allen Platten wurden erwartungsgemäß die größten Formänderungen in der Nebenachse bestimmt. Die Formänderungen in der Hauptachse fielen am geringsten aus und die in diagonalen Messrichtung senkrecht zur Plattenebene ermittelten Verformungen bildeten mittlere Werte zwischen Haupt- und Nebenachse (vgl. Tabelle 60).

Aus den in Tabelle 60 dargestellten Verformungen ist erkennbar, dass die Formänderungswerte in der Nebenachse und in diagonaler Richtung in Bezug auf die Mittellagendicken starken Veränderungen unterliegen. Sie nehmen mit steigendem Lamellenverhältnis zu.

Die Formänderungswerte bei paralleler Orientierung der Decklagenfaser (Hauptachse) zeigen einen sehr gering steigenden Verlauf bei abnehmendem Lamellenverhältnis. Dieser, wenn auch geringe, gegenläufige Trend kann mit dem stärkeren Einfluss der horizontalen Formänderung der Mittellage gegenüber den Decklagen begründet werden. Mit zunehmender Mittellagedicke steigen die Verformungen in Richtung der Hauptachse geringfügig an. Die sich somit im Verbundwerkstoff aufbauenden Schubspannungen werden durch die Decklage aufgenommen.

Tabelle 60 Formänderungswerte [mm/m] labortechnisch mit substituierten Mittellagen hergestellter Verbundplatten mit nicht gesperrter Mittellage nach 48 Stunden im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH, Nenndicke 27 mm

Varianten-Nr.	35/3	36/3	37/3	41/3	42/3	43/3	38/3	39/3	40/3
Material Mittellage	Spanplatte V 100			OSB/3			BFU 100		
Dicke der Mittellage [mm]	10	13	19	10	12	18	9	13	19
Lamellenverhältnis R_L	0,63	0,52	0,30	0,63	0,56	0,33	0,67	0,52	0,30
Formänderung der Platten (Mittellage nicht gesperrt) [mm/m] nach 48h									
Nebenachse	23,88	14,51	7,73	20,43	15,06	7,78	14,89	9,70	7,05
Hauptachse	2,15	2,38	2,73	1,88	2,02	2,22	2,31	2,01	2,80
Diagonal	12,95	8,56	5,22	11,19	8,51	4,94	8,59	5,88	4,91

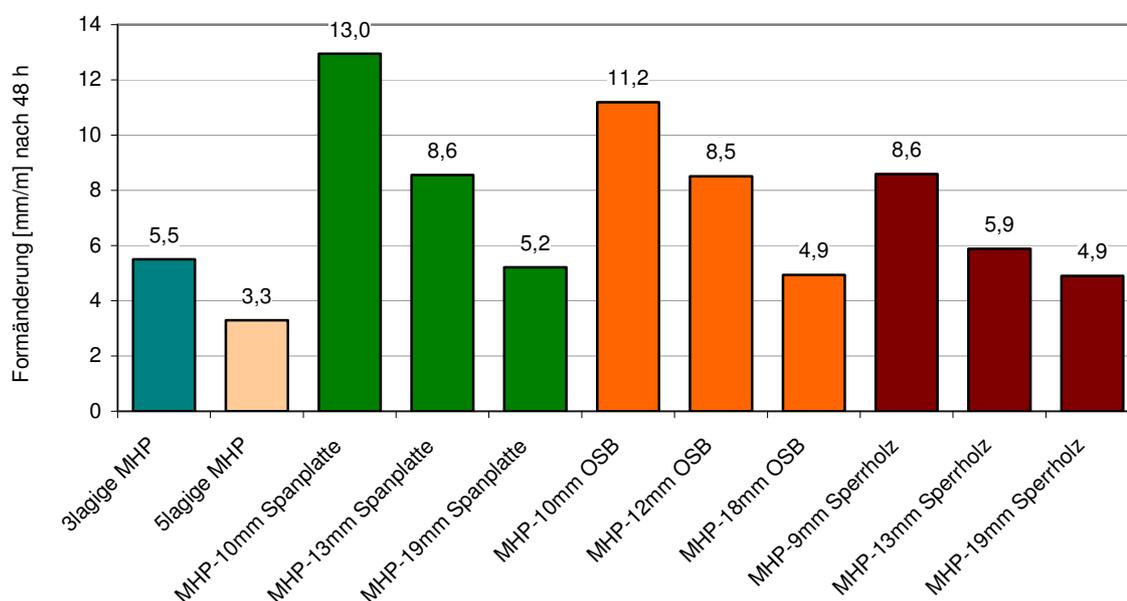


Abbildung 51 Diagonale Formänderungen 27 mm dicker Massivholzplatten mit nicht gesperrter Mittellage im Vergleich zu herkömmlichen Massivholzplatten (1. und 2. Säule) gleicher Nenndicke

Aus den Messreihen ergibt sich eine Zunahme der Formstabilität bei abnehmendem Lamellenverhältnis. Ursache für dieses Verhalten sind das Quell- und Schwindverhalten des Holzes. Die großen Unterschiede zwischen den Messrichtungen können damit begründet werden, dass das Holz, als der wesentliche Haupteinflussfaktor auf die Form-

Stabilität, in tangentialer und radialer Richtung wesentlich ausgeprägter quillt und schwindet als in longitudinaler Richtung. Diese Ergebnisse stimmen mit den durch /Jensen, Krug 1999/ vorgestellten Werten, in denen eine geringere Formstabilität für drei- bzw. fünflagige Massivholzplatten aus Vollholzlamellen gegenüber Spanplatte und OSB nachgewiesen wurde, überein.

Abbildung 51 zeigt die diagonalen Formänderungen aller Massivholzplatten mit nicht gesperrter Mittellage, verglichen mit bereits vorliegenden Messergebnissen von industriellen Massivholzplatten.

Platten mit gesperrter Mittellage

Auch bei den Varianten mit gesperrter Mittellage ist die Formstabilität vom Lamellenverhältnis abhängig. Die Prüfkörper 35/2 bis 37/2 mit Spanplatten-Mittellage wiesen sehr ähnliche Formänderungen wie die Prüfkörper 35/3 bis 37/3 (mit nicht gesperrter Mittellage) auf, was auf eine fehlende Ausprägung einer Spanorientierung der Substituente zurückzuführen ist.

Tabelle 61 Formänderungswerte [mm/m] labortechnisch mit substituierten Mittellagen hergestellten Verbundplatten mit gesperrter Mittellage nach 48 Stunden im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH, Nenndicke 27 mm

Varianten-Nr.	35/2	36/2	37/2	41/2	42/2	43/2	38/2	39/2	40/2
Material Mittellage	Spanplatte V 100			OSB/3			BFU 100		
Dicke der Mittellage [mm]	10	13	19	10	12	18	9	13	19
Lamellenverhältnis RL	0,63	0,52	0,30	0,63	0,56	0,33	0,67	0,52	0,30
Formänderung der Platten (Mittellage gesperrt) [mm / m] nach 48h									
Nebenachse	24,05	13,00	11,13	14,03	11,46	4,80	13,13	8,20	4,91
Hauptachse	2,25	2,40	7,06	2,11	3,80	2,58	2,59	2,20	3,19
Diagonal	13,14	7,70	5,62	8,04	7,13	3,62	7,95	5,17	4,01

Bei den Prüfkörpern 38/2 bis 43/2 verfügen die Mittellagen über eine ausgeprägte Faserrichtung (Sperrholz) bzw. Spanorientierung (OSB). Die Werkstoffe mit Sperrholz-Mittellage zeigten durch den ausgeglichenen Aufbau des Sperrholzes nur geringe Verbesserungen der Formstabilität gegenüber herkömmlichen dreilagigen Massivholzplatten. Die Furniere, die den gleichen Faserverlauf wie die Deckfurniere aufweisen, überwiegen mit einem Furnier (z.B. bei 7lagigem Sperrholz – 4 Furniere mit Faserverlauf der Decklagen, 3 Furniere mit senkrechtem Faserverlauf) und sind von der Spannungsnulllinie weiter entfernt. Das begründet auch die geringe Verbesserung der Formstabilität bei Massivholzplatten mit gesperrter Sperrholz-Mittellage gegenüber Platten mit nicht gesperrtem Aufbau.

Die Platten mit gesperrten OSB-Mittellagen weisen eine deutliche Verbesserung der Formstabilität gegenüber Platten mit nicht gesperrten OSB-Mittellagen auf. Die stark ausgeprägte Spanorientierung und der höhere Gehalt an quellungsvergütenden Bindemitteln der OSB gegenüber Sperrholz ist als Ursache für dieses Verhalten anzusehen.

Die Prüfkörper mit gesperrter Mittellage verfügen gegenüber den Platten mit nicht gesperrt eingesetzter Mittellage über ein höheres Verformungspotenzial in der Hauptachse, was mit der Superposition des höheren tangentialen Quellverhaltens der äußeren Substitutschichten auf die Decklagen begründet werden kann. In Messrichtung entlang der Nebenachse wird die Verformung der Platten durch die gesperrt eingesetzten Sub-

stitute gedämpft – Massivholzplatten mit nicht gesperrter Mittellage weisen demzufolge hier höhere Formänderungswerte auf.

In Abbildung 52 sind die diagonalen Formänderungen der Massivholzplatten mit nicht gesperrter Mittellage dargestellt, die mit Messwerten herkömmlicher Massivholzplatten verglichen werden.

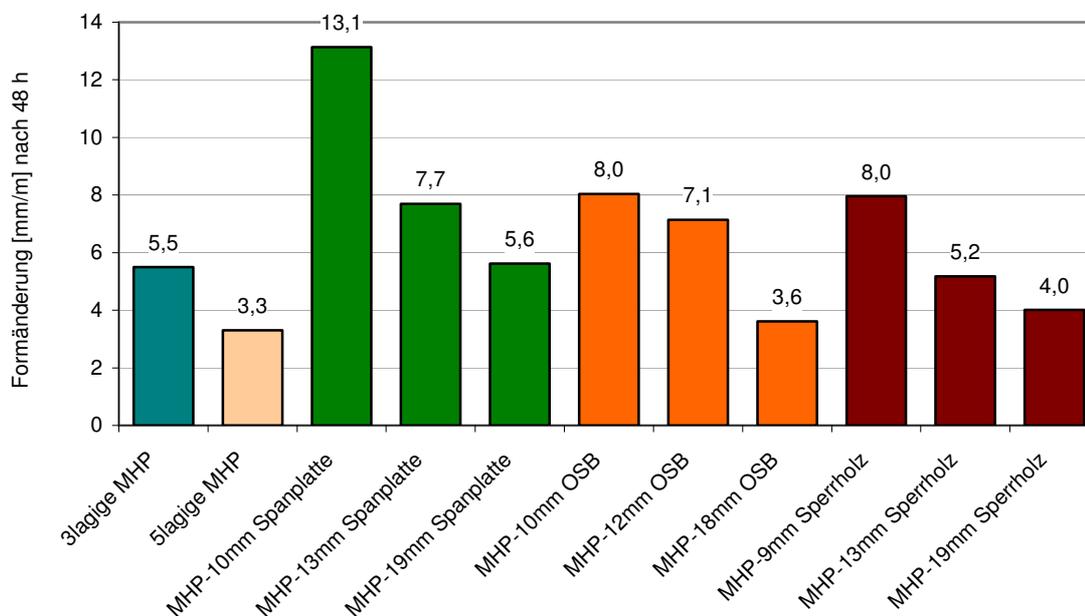


Abbildung 52 Diagonale Formänderungen 27 mm dicker Massivholzplatten mit gesperrter Mittellage im Vergleich mit herkömmlichen Massivholzplatten (1. und 2. Säule) gleicher Nenndicke

Zusammenfassend betrachtet, weisen die Platten aller Varianten mit dem größten Mittellagenanteil an der Plattendicken (entspricht Platten mit geringem Lamellenverhältnis) vergleichbare Formstabilitäten (3,6 ... 5,2 mm/m) zu industrieüblichen drei- und fünfplagige Massivholzplatten auf. Um die Formstabilität zu erhöhen, ist der gesperrte Einsatz von Holzwerkstoff-Mittellagen sinnvoll.

Es lässt sich weiterhin feststellen, dass die Eignung von herkömmlichen Holzwerkstoffen für die Substitution der Mittellage dreilagiger Massivholzplatten zur Verbesserung einer Reihe von Eigenschaften in den Laborversuchen nachgewiesen werden konnte. Einschränkend ist anzumerken, dass z.B. die Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene aufgrund des Plattenformats nicht normgerecht an mittelgroßen Prüfkörpern bestimmt werden konnte und dass nur Platten der Nenndicke 27 mm hergestellt wurden.

Die Formstabilität der im Labor hergestellten Verbundplatten zeigte sich erwartungsgemäß als eine stark vom Lamellenverhältnis abhängige Eigenschaft: Mit abnehmendem R_L (steigende Dicke der Mittellage) sanken die Formänderungswerte der Platten im Differenzklima, wobei hier die Platten mit OSB-Mittellage die besten Ergebnisse erreichten.

Die Eigenschaften bei Biegung wurden vom Lamellenverhältnis, der Orientierung der Decklagen und der Art des Holzwerkstoff-Substituts beeinflusst. An den Verbundplatten

mit Sperrholz-Mittellage wurden die höchsten Werte, gefolgt von Verbundplatten mit OSB- bzw. Spanplatten-Mittellagen bestimmt.

In den nachfolgend beschriebenen Industrierversuchen war daher die technologische Machbarkeit der Mittellagen-Substitution zu prüfen sowie der Einfluss der Substitutdicke (Lamellenverhältnis) bei Verbundplatten in einem größeren Nenndickenspektrum sowohl der Substitute als auch der Verbundplatten zu untersuchen.

3.3.3 Industrierversuche

Zur Umsetzung der in den Laborversuchen gewonnenen Erfahrungen wurden mit einem Industriepartner umfangreiche Industrierversuche zur Herstellung von Massivholzplatten mit unterschiedlichen Holzwerkstoff-Substituten als Mittellagen geplant und durchgeführt.

Ziel der Untersuchungen war es, neben der Variation der Verbundplattendicke (19, 27 und 42 mm) den Einfluss unterschiedlicher Substitutdicken innerhalb einer Plattendicke auf die Eigenschaften der unter industriellen Bedingungen hergestellten Verbundplatten festzustellen.

3.3.3.1 Material und Methode

Für die Industrierversuche wurden je 3 Holzwerkstoffplatten (Substitute) folgender Plattentypen beschafft:

1. Flachpressplatten für das Bauwesen, Verleimungsqualität V100, nach DIN 68 763:1990, Nenndicken 12, 16, 19 und 32 mm
2. Platten aus langen, orientierte Spänen (OSB), Typ OSB/3, nach EN 300:1997, Nenndicken 12, 18 und 30 mm
3. leichte MDF, Typ DHF, nach Z-9.1-454, Nenndicken 13 und 15 mm ¹⁰⁴

Beim Industriepartner wurden diese Platten auf das für die Verpressung erforderliche Maß (2500 mm x 2000 mm) zugeschnitten – an den verbleibenden Reststücken wurden die mechanisch-physikalischen Eigenschaften bestimmt.

Die Verbundplatten (Abmessungen 5000 mm x 2050 mm) wurden auf der Mehretagenpresse eines Massivholzplatten-Herstellers im Nenndickenbereich von 19 mm bis 42 mm mit der in Tabelle 62 dargestellten Pressenbelegung hergestellt. Da es sich um eine simultan schließende Presse handelt, musste bei der Pressenbelegung auf gleiche Nenndicken pro Belegung geachtet werden.

Tabelle 62 Pressenbelegung für die Industrierversuche

Nr.	Anzahl Platten	Material	ND ¹⁰⁵ Substitut [mm]	Dicke Decklage [mm]	ND nach Pressen [mm]	Ziel-ND nach Schleifen [mm]	Abschliff je Seite [mm]	Varianten-Nr.
1	3	SPL	12	5,2	22,4	19	1,7	587
	2	OSB	12	5,2				593
2	2	SPL	16	5,2	26,4	19	3,7	588
	3	DHF	13	6,7				599
3	2	OSB	18	5,2	28,4	19	4,7	594
	3	DHF	15	6,7		27	0,7	600
4	3	OSB	18	5,2	28,4	27	0,7	596

¹⁰⁴ Abweichend von den labortechnischen Vorversuchen wurde aus Gründen der Wirtschaftlichkeit auf den Einsatz von Sperrhölzern als Mittellagensubstitute verzichtet.

¹⁰⁵ Nenndicke

	2	SPL	19 ¹⁰⁶	5,2				590
5	2	SPL	12	9,2	30,4	27	1,7	589
	3	OSB	12	9,2				595
6	2	OSB	18	12,7	43,4	42	0,7	597
	3	OSB	30	6,7				598
7	2	SPL	19	12,7	44,4	42	1,2	591
	3	SPL	32 ¹⁰⁷	6,7				592

Als Decklagen kamen Lamellen der Güteklasse B nach ÖNORM B 3022:1991 zum Einsatz. Zur Substitution der Mittellage wurden die o.g. Holzwerkstoffe verwendet.

Einschränkend ist anzumerken, dass die eingesetzten OSB aufgrund des Plattenformates nicht gesperrt in der Mittellage verlegt werden konnten, da die Hauptachse der OSB produktionsbedingt in Plattenlängsachse (vgl. auch Abbildung 53) verläuft und festigkeitsmindernde stumpfe Stöße innerhalb der Verbundplatten vermieden werden sollten. Aus diesem Grund musste der geringere Absperreffekt (nur die Mittelschicht der OSB liegt quer) billigend in Kauf genommen werden.

Als Bindemittel kam ein MUF-Harz (Melaminanteil > 20 %) zzgl. Härter zum Einsatz, das üblicherweise bei der Verklebung von Massivholzplatten mit erhöhter Feuchtebeständigkeit Verwendung findet.

Nach der beidseitigen Walzenbeimung (Leimauftrag ca. 200 g/m²) der Substitute wurden die Platten gelegt und bei 120 – 150 °C (Abbildung 54) verpresst.



Abbildung 53 Beimte OSB als Mittellagen-Substitut, aufgelegt auf die untere Decklage der späteren Verbundplatte, Hauptachse der OSB in Längsachse (und damit nicht gesperrt) zur späteren Plattenlänge

¹⁰⁶ symmetrischer Abschleiß der Spanplatte vor Beimung um 1mm
¹⁰⁷ symmetrischer Abschleiß der OSB vor Beimung um 1mm



Abbildung 54 Beschickte Mehretagenpresse des Industriepartners



Abbildung 55 Abkühlung der Verbundplatten im Kühlstern nach der Presse



Abbildung 56 Konditionierung der Verbundplatten im Stapel

Abkühlung im Kühlstern (Abbildung 55) folgte eine ca. einwöchige Konditionierung im Stapel (Abbildung 56), der Schliff auf Enddicke und das Besäumen.

Nach dem Eingang der Platten im IHD wurden folgende Eigenschaften ermittelt:

- Biegefestigkeit und Biege-E-Modul rechtwinklig zur Plattenebene nach EN 789:2005
- Biegefestigkeit und Biege-E-Modul in Plattenebene in Anlehnung an EN 13 879:2002
- Druckfestigkeit in Plattenebene nach EN 789:2005
- Scherfestigkeit, Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene nach EN 789:2005
- Scherfestigkeit, Schubmodul in Plattenebene nach EN 789:2005
- Zugfestigkeit und Zugmodul in Plattenebene in Anlehnung an EN 789:2005
- Bindefestigkeit der Verleimung (Aufstechversuch) nach DIN 53 255:1964 und DIN 68 705-4:1981 (Plattentyp BST 100)
- Maßänderungen in Abhängigkeit von Änderungen der rel. Luftfeuchte nach EN 318:1993
- Formänderung nach 96 h im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH
- Feuchtegehalt bei Prüfung nach EN 322:1993
- Rohdichte und Rohdichteprofil nach EN 323:1993 bzw. ihd-W 401
- Querkzugfestigkeit trocken nach EN 319:1993
- Querkzugfestigkeit nach 2 h Kochen nach EN 1087-1:1995
- Dickenquellung nach 2 und 24 h Wasserlagerung nach EN 317:1993

3.3.3.2 Mechanisch-physikalische Eigenschaften

Alle Ergebnisse der an den Substituten und den industriell hergestellten Verbundplatten bestimmten Eigenschaften sind der Arbeit im Anhang 7.8 bzw. 7.9 beigelegt.

Die eingesetzten Spanplatten erfüllten bis auf die Biegefestigkeit im unteren bzw. oberen Nenndickenbereich die Anforderungen an eine Verleimungsqualität V100 nach DIN 68 763:1990.

Die verwendeten leichten Faserplatten (hier: Nenndicke 13 mm) erreichten, insbesondere für die Biegefestigkeit und für die Dickenquellung nach 24 h Wasserlagerung, nicht die in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-454 geforderten Werte. Auch die Querkzugfestigkeit nach 2 h Kochen waren mit 0,02 N/mm² deutlich zu gering.

Die Kochquerkzugfestigkeit erwies sich auch für OSB/3 nach EN 300:1997 als problematische Eigenschaft: Keine der verarbeiteten Platten erreichte die Anforderungskennwerte.

Die für die Substitute angestrebte Beständigkeit der Verklebung gegenüber erhöhter Luftfeuchte muss daher für die OSB und die leichten Faserplatten in Frage gestellt werden.

Strukturelle Einflüsse

In diesem Abschnitt erfolgt, aufgrund des sehr umfangreichen Datenmaterials, ausschließlich die Betrachtung des Einflusses der Art des Substitutes, der Nenndicke sowie des Lamellenverhältnisses auf die Eigenschaften bei Biegung in Haupt- und Nebenachse. Alle anderen Werte können dem Anhang 7.9 entnommen werden.

Die Nenndicken wurden für die Platten mit Spanplatten- bzw. OSB-Mittellage mit 19, 27 und 42 mm variiert, wobei das Lamellenverhältnis zwischen 0,16 bis 0,56 eingestellt wurde (2 bzw. 3 Platten je Variante). Einschränkend muss angemerkt werden, dass die vorgesehene Variante 594 (OSB-Mittellage, Nenndicke 19 mm, Lamellenverhältnis

0,11, vgl. Tabelle 62) aufgrund der technologisch zu geringen Decklagendicke (0,8 mm) vom Industriepartner nicht produziert werden konnte.

Mit zunehmendem Anteil der Substitute an der Gesamtnenddicke der hergestellten Verbundplatten (kleiner werdendes Lamellenverhältnis) erhöhte sich grundsätzlich die Rohdichte der Werkstoffe durch die im Vergleich zu Rohholz höhere Rohdichte der Holzwerkstoffe.

Gegensätzlich zu dem bei herkömmlichen Holzwerkstoffen bekannten Umstand des rechnerischen Einflusses der Probendicke auf die Festigkeit nahm die Festigkeit bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene sowohl bei paralleler- als auch bei rechtwinkliger Orientierung der Decklage (gleiches Lamellenverhältnis vorausgesetzt) im allgemeinen erst bei einer Dicke von 42 mm ab. Die elastischen Eigenschaften zeigten sich relativ unbeeinflusst von der Veränderung der Nenndicke.

Ein sinkendes Lamellenverhältnis führte in der Hauptachse in den meisten Fällen zu einer leichten Verringerung der Biegefestigkeit und des Biege-E-Moduls. Bei Prüfkörpern mit rechtwinkliger Decklagenorientierung (Nebenachse) wurden bei gleicher Nenndicke mit geringeren Decklagendicken prinzipiell höhere Werte gemessen.

Tabelle 63 Auszug ausgewählter Eigenschaften (Mittelwerte) 27 mm dicker dreilagiger Verbundplatten (Substitute: V100-Spanplatten, OSB/3 und leichte MDF)

Substitut	Spanplatte		OSB/3		leichte MDF
	589	590	595	596	
Varianten-Nr.	589	590	595	596	600
Dicke Decklage [mm]	7,5	4,5	7,5	4,5	6,0
Dicke Mittellage [mm]	12	18	12	18	15
Lamellenverhältnis R_L	0,56	0,33	0,56	0,33	0,44
Rohdichte; [kg/m ³]; n=12	562	649	559	585	558
Biegefestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene; [N/mm ²]; n=8	II	45,6	48,1	52,9	51,2
	⊥	3,54	7,32	4,57	10,1
Biege-E-Modul rechtwinklig zur Plattenebene; [N/mm ²]; n=8	II	12745	11585	14187	12532
	⊥	576	1245	617	1259
					11502
					773

Die höchsten Festigkeiten und E-Moduln wurden sowohl bei paralleler- als auch bei rechtwinkliger Orientierung der Decklagen an Verbundplatten mit OSB-Mittellagen (zusätzlich verstärkender Einfluss der nicht gesperrt verlegten Mittellage bei Prüfkörpern in der Hauptachse), gefolgt von Platten mit Spanplatten- bzw. MDF-Mittellagen, bestimmt.

Mit steigender Nenndicke und paralleler Orientierung der Decklagen (Hauptachse) nahmen die Eigenschaften bei Biegung in Plattenebene ab. Prüfkörper in der Nebenachse zeigten diesen Trend nicht derart deutlich.

Ein sinkendes Lamellenverhältnis führte bei paralleler Decklage zu einer Verringerung-, bei rechtwinkliger Faserrichtung der Decklage zu einer Erhöhung sowohl der Festigkeit als auch der Steifigkeit.

Im direkten Vergleich der unterschiedlichen Varianten wurden die höchsten Festigkeiten bzw. E-Moduln prinzipiell von den Varianten mit OSB-Mittellage erreicht. Der Unterschied zu den Varianten mit Spanplatten-Mittellage war im allgemeinen jedoch überraschend gering.

Für den Vergleich der Ergebnisse der labortechnisch- mit den industriell hergestellten Verbundplatten ist einschränkend anzumerken, dass es sich bei den verwendeten Substituten nicht um Werkstoffe identischer Hersteller handelte und dass die industriellen Verbundplatten nicht mit Sperrholz hergestellt wurden. Es sollen daher an dieser Stelle

nur die Ergebnisse der Verbundplatten mit Spanplatten- bzw. OSB-Mittellage verglichen werden.

Die Laborplatten mit Spanplatten-Mittellage (vgl. Anhang 7.7 bzw. Punkt 3.3.2) wiesen eine deutlich höhere Rohdichte als die vergleichbaren industriellen Verbundplatten auf. Daher war es nicht verwunderlich, dass die Eigenschaften bei Biegung teilweise deutlich höher ausfielen. Bei nicht gesperrter Verlegung des Substituts in den Laborplatten (Spanplatten in der Richtung ihrer Herstellung parallel zur Decklagenfaser) wurden die Unterschiede geringer – bei einem Lamellenverhältnis von $\sim 0,3$ wurden an den Industrieplatten bessere Werte gemessen. Beide Plattentypen zeigten jedoch die gleichen Trends: Mit sinkendem Lamellenverhältnis nahm die Biegefestigkeit und der E-Modul bei paralleler Decklagenorientierung ab-, bei rechtwinkliger Orientierung der Decklage zu.

Sowohl die labortechnisch- als auch die industriell hergestellten Verbundplatten mit OSB-Mittellage lagen bzgl. ihrer Rohdichten eng beieinander. Da die OSB im Industrieversuch nicht gesperrt eingesetzt werden konnten, wiesen diese Platten in der Hauptachse höhere Biegefestigkeiten als die Labor-Verbundplatten mit gesperrter Mittellage auf. Das mögliche Steigerungspotential bei gesperrtem Einsatz der Mittellage wird durch den Vergleich mit Laborplatten bei rechtwinkliger Decklagenorientierung deutlich: Hier werden durch die Labor-Verbundplatten bis zu 1,5fach höhere Werte erreicht.

Auch für Platten mit OSB-Mittellage gilt: Mit kleiner werdendem Lamellenverhältnis sinkt die Biegefestigkeit und der E-Modul bei Prüfkörpern mit paralleler Orientierung der Decklagen – rechtwinkliger Decklagen führen zu einer Erhöhung der Werte.

Für den Vergleich der industriell hergestellten Verbundplatten mit herkömmlichen drei- oder fünfplagigen Massivholzplatte werden zur besseren Übersicht aus der Vielzahl der vorliegenden Ergebnisse im folgenden nur ausgewählte Werte der 27 mm dicken Verbundplatten mit einem Lamellenverhältnis R_L von 0,33 – 0,44 dargestellt (Tabelle 64) und in Bezug zu industriell gefertigten drei- und fünfplagigen Massivholzplatten gleicher Nenndicke mit Lamellenverhältnissen von $R_L = 0,37 \dots 0,63$ diskutiert. Die hier bewerteten Verbundplatten weisen dabei einen verhältnismäßig hohen Anteil der Holzwerkstoffe am Plattenquerschnitt auf, mit dem an dieser Stelle deutlicher die Vor- bzw. Nachteile der eingesetzten Holzwerkstoff-Substitute für die hergestellten Verbundplatten herausgearbeitet werden können.

Bedingt durch die Verwendung von Substituten höherer Dichte liegen die Rohdichten der Verbundplatten, wie bereits angedeutet, deutlich über den Werten der zum Vergleich herangezogenen Massivholzplatten.

Die Eigenschaften der Verbundplatten bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene (Festigkeit und Elastizität) überschreiten in der Hauptachse z. T. deutlich die Ergebnisse der drei- und auch der fünfplagigen Massivholzplatten mit vergleichbarem Aufbau (vgl. Tabelle 64), wobei die mit OSB/3 hergestellten Verbundplatten die höchsten Werte aufweisen. Diese guten Eigenschaften der Verbundplatten werden nur von Massivholzplatten mit großem R_L von 0,63 erreicht, was jedoch zu Lasten der Eigenschaften in Nebenachse geht.

In der Nebenachse weisen die Verbundplatten nur ca. 1/3 der Werte der Massivholzplatten mit vergleichbaren Lamellenverhältnissen auf. Mit steigendem R_L der Massivholzplatten nähern sich die Eigenschaften jedoch an. Dünnere Decks der Verbundplatten führen durch den höheren Abstand der Rohdichtespitzen der Holzwerkstoffe von der Spannungsnulllinie zu steigenden Werten (hier nicht dargestellt).

Tabelle 64 Ausgewählte Eigenschaften (Mittelwerte) 27 mm dicker dreilagiger Verbundplatten (Substitute: V100-Spanplatten, OSB/3 und leichte MDF) im Vergleich zu Eigenschaften industriell hergestellter drei- bzw. fünflagiger Massivholzplatten aus Nadelholz, die zur Bestimmung von charakteristischen Werten nach EN 1058:1996 geprüft wurden /Tobisch, Krug 1999/

Material Substitut	Dreilagige Verbundplatte			3S-MHP		5S-MHP
	Spanplatte	OSB/3	leichte MDF			
Varianten-Nr.	590	596	600	146	226	229
Dicke Decklage [mm]	4,5	4,5	6,0	5,0	8,5	4 ¹⁰⁸
Dicke Mittellage [mm]	18	18	15	17,0	10,0	5
Lamellenverhältnis R_L	0,33	0,33	0,44	0,37	0,63	0,30
Rohdichte; [kg/m ³]; n=12	649	584	592	451	473	467
Biegefestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene; n=8	48,1 ⊥ 7,3	51,2 10,1	42,6 8,0	35,3 29,4	56,4 11,1	40,2 26,5
Biege-E-Modul rechtwinklig zur Plattenebene; [N/mm ²]; n=8	11590 ⊥ 1250	12530 1260	11500 770	10040 4500	12880 950	10070 4660
Biegefestigkeit in Plattenebene; [N/mm ²]; n=8	33,8 ⊥ 9,8	38,6 11,1	38,1 11,9	21,4 30,1	46,0 23,3	37,0 26,8
Biege-E-Modul in Plattenebene; [N/mm ²]; n=8	6716 ⊥ 1707	8350 2410	7550 1350	4960 1544	9170 4900	7640 9230
Druckfestigkeit in Plattenebene; [N/mm ²], n=12	26,5 ⊥ 12,1	26,8 12,3	21,5 7,8	14,7 28,6	29,9 17,8	23,3 23,2
Zugfestigkeit in Plattenebene; [N/mm ²], n=8	19,8 ⊥ 6,4	25,4 7,9	23,8 7,6	/ /	27,0 20,0	24,1 18,7
Zugmodul in Plattenebene; [N/mm ²], n=8	5746 ⊥ 1620	7050 2220	6210 1270	/ /	8080 4650	7210 4840

Die Ergebnisse zeigen, dass weitere Untersuchungen zur Ausbildung einer optimalen Stoßfuge von gesperrt in der Mittellage eingesetzten OSB bei halber Plattenlänge sicher sinnvoll sind, um bessere Ergebnisse in Nebenachse zu erreichen.

Bei einem Lamellenverhältnis zwischen 0,33 bis 0,44 werden an den Verbundplatten gleichfalls höhere Werte bei Biegung in Plattenebene gegenüber vergleichbaren Massivholzplatten ermittelt. Interessanterweise werden dabei von den Platten mit OSB- bzw. MDF-Mittellage ähnliche Eigenschaften erzielt. Bei den Prüfkörpern mit rechtwinkliger Orientierung der Decklage gelten die für Biegung rechtwinklig zur Plattenebene gemachten Aussagen, wobei jedoch teilweise höhere elastische Werte (Substitute: Spanplatte und OSB) im Vergleich zu den drei- und fünflagigen Massivholzplatten erreicht werden.

Die Druckfestigkeit der Verbundplatten ist bei paralleler Decklagenorientierung ebenfalls höher als bei den vergleichend geprüften herkömmlichen Massivholzplatten. Mit zunehmendem Lamellenverhältnis liegen deren Werte allerdings über der Druckfestigkeit der Verbundplatten. Bei rechtwinkliger Orientierung der Decklage ordnen sich die Werte der Verbundplatten deutlich unter den Werten der Massivholzplatten ein.

Die Eigenschaften der Verbundplatten bei Zug in Plattenebene sind bei paralleler Orientierung der Decklage mit den Werten der Industrieplatten vergleichbar. Mit zunehmendem Faser-Last-Winkel werden die Werte kleiner – der Abstand zu den herkömmlichen dreilagigen Massivholzplatten erhöht sich. Es war zu bemerken, dass der Einsatz der Substitute überraschenderweise zu einer Erhöhung der Anisotropie für diese Eigenschaft führte.

¹⁰⁸ Dicke der innenliegenden Lagen 7 mm

3.3.3.3 Hygrische Eigenschaften und Formstabilität

Die an den Verbundplatten ermittelten Dimensionsänderungen in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchte sind in nachfolgender Tabelle 65 dargestellt.

Bei konstanter Plattendicke zeigt sich die Längenquellung bzw. –schwindung in der Hauptachse vergleichsweise unbeeinflusst von der Veränderung des Lamellenverhältnisses. In der Nebenachse kam es bei einer Erhöhung des Holzwerkstoffanteils an der Plattendicke (sinkendes Lamellenverhältnis) zu einer deutlichen Verringerung des Quell- Schwindvermögens.

Bei Betrachtung der eher integralen Größe der ΔL_{II} bzw. ΔL_{\perp} ist jedoch die Aussage zulässig, dass mit sinkendem R_L die Gesamtlängenänderungen in der Hauptachse leicht steigen, in der Nebenachse sinken.

Steigende Plattendicken führen innerhalb der Substitutgruppen bei vergleichbarem Lamellenverhältnis (R_L 0,26 ... 0,37) zu einer ansteigenden Längenquellung in der Nebenachse bzw. zu größeren DL 35-Werten in der Hauptachse.

Die Gesamtlängenänderungswerte ΔL_{II} in der Hauptachse liegen, bei gleichen Plattendicken und vergleichbarem R_L , zwischen den unterschiedlichen Substituten innerhalb eines recht engen Fensters. In der Nebenachse lässt sich ein deutlicher Einfluss der Art der Mittellage auf die Gesamtlängenänderung feststellen: Die Platten mit OSB-Mittellage weisen in allen Dickenbereichen grundsätzlich die geringsten Werte, gefolgt von den Platten mit Spanplatten- bzw. Faserplatten-Mittellage, auf.

Tabelle 65 Längenänderungen, Gesamtlängenänderung ΔL [%] in Abhängigkeit von Änderungen der relativen Luftfeuchte gemessen an industriell hergestellten dreilagigen Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen aus Spanplatte, OSB und leichten MDF, Nenndicken 19, 27 und 42 mm (die auf 10 % Luftfeuchteänderung bezogenen Längenänderungen Δ_{10A} bzw. Δ_{10D} wurden aus den Mittelwerten berechnet)

Material Mittellage	Spanplatte V100						OSB/3					leichte MDF		
Varianten-Nr.	587	588	589	590	591	592	593	595	596	597	598	599	600	
Plattennenddicke	19		27			42		19	27		42		19	27
Dicke Mittellage [mm]	12	16	12	18	19	31	12	12	18	18	30	13	15	
Dicke Decklage [mm]	3,5	1,5	7,5	4,5	11,5	5,5	3,5	7,5	4,5	12,0	6,0	3,0	6,0	
Lamellenverhältnis R_L	0,37	0,16	0,56	0,33	0,55	0,26	0,37	0,56	0,33	0,57	0,29	0,32	0,44	
IL85, DL II, [%]	\bar{X}	0,10	0,06	0,02	0,08	0,12	0,13	0,09	0,07	0,07	0,04	0,07	0,05	0,10
IL85, DL \perp , [%]	\bar{X}	0,32	0,26	0,64	0,40	0,64	0,48	0,31	0,54	0,38	0,58	0,43	0,40	0,63
DL35, DL II, [%]	\bar{X}	-0,05	-0,14	-0,13	-0,09	-0,09	-0,13	-0,08	-0,07	-0,07	-0,12	-0,13	-0,11	-0,06
DL35, DL \perp , [%]	\bar{X}	-0,25	-0,17	-0,36	-0,24	-0,29	-0,23	-0,13	-0,26	-0,15	-0,23	-0,16	-0,16	-0,18
ΔL II, [%]	\bar{X}	0,15	0,20	0,15	0,17	0,21	0,26	0,17	0,14	0,14	0,16	0,20	0,16	0,16
ΔL \perp , [%]	\bar{X}	0,57	0,43	1,00	0,64	0,93	0,71	0,44	0,80	0,53	0,81	0,59	0,56	0,81
Δ_{10A} II, [%]	\bar{X}	0,05	0,03	0,01	0,04	0,06	0,07	0,05	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	0,05
Δ_{10A} \perp , [%]	\bar{X}	0,16	0,13	0,32	0,20	0,32	0,24	0,16	0,27	0,19	0,29	0,22	0,20	0,32
Δ_{10D} II, [%]	\bar{X}	0,02	0,07	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02
Δ_{10D} \perp , [%]	\bar{X}	0,08	0,06	0,12	0,08	0,10	0,08	0,04	0,09	0,05	0,08	0,05	0,05	0,06

Tabelle 66 Formänderung nach 96 bzw. 336 Stunden Lagerung im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH, gemessen an industriell hergestellten dreilagigen Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen aus Spanplatte, OSB und leichten MDF, Nenndicken 19, 27 und 42 mm

Material Mittellage	Spanplatte V100						OSB/3					leichte MDF		
Varianten-Nr.	587	588	589	590	591	592	593	595	596	597	598	599	600	
Plattennenddicke	19		27			42		19	27		42		19	27
Dicke Mittellage [mm]	12	16	12	18	19	31	12	12	18	18	30	13	15	
Dicke Decklage [mm]	3,5	1,5	7,5	4,5	11,5	5,5	3,5	7,5	4,5	12,0	6,0	3,0	6,0	
Lamellenverhältnis R_L	0,37	0,16	0,56	0,33	0,55	0,26	0,37	0,56	0,33	0,57	0,29	0,32	0,44	
Formänderung nach 96 h [mm/m], n=3	N	12,85	7,49	21,68	9,74	9,08	4,94	12,76	18,39	10,00	8,85	2,91	8,10	12,15
	H	3,41	3,86	2,62	2,43	1,21	1,23	4,66	2,82	2,72	1,12	1,19	2,66	2,41
	D	8,13	5,73	12,08	6,04	5,19	3,08	8,69	9,90	6,32	4,98	2,02	5,45	7,31
Formänderung nach 336 h [mm/m], n=3	N	16,25	9,94	28,33	13,13	14,85	6,76	15,20	26,60	13,17	15,47	5,54	11,11	12,72
	H	3,36	4,72	2,91	2,74	1,19	1,23	5,13	2,48	2,76	1,41	1,37	3,37	3,29
	D	9,83	7,35	15,47	7,88	8,09	3,99	10,10	14,55	7,87	8,44	3,70	7,31	8,55

N: Nebenachse; H: Hauptachse; D: Diagonal

Die Gesamtlängenänderungswerte $\Delta L \perp$ bzw. $\Delta L \parallel$ zeigen innerhalb der Varianten beträchtliche Unterschiede, die auf eine im Vergleich zu industriellen Massivholzplatten unerwartet höhere Anisotropie schließen lassen. Mit zunehmendem Anteil der Holzwerkstoffe in der Platte gleichen sich diese Differenzen zwar aus, liegen aber immer noch über den zum Vergleich herangezogenen Werten (vgl. Tabelle 29 bzw. Tabelle 30 unter Punkt 3.1.5). Hervorzuheben ist an dieser Stelle weiterhin, dass die Verbundplatten-Werte der Gesamtformänderung in der Hauptachse im allgemeinen geringer als die an den Industrieplatten gemessenen Werte sind, in der Nebenachse jedoch bis zu dreifach höhere Werte gemessen wurden.

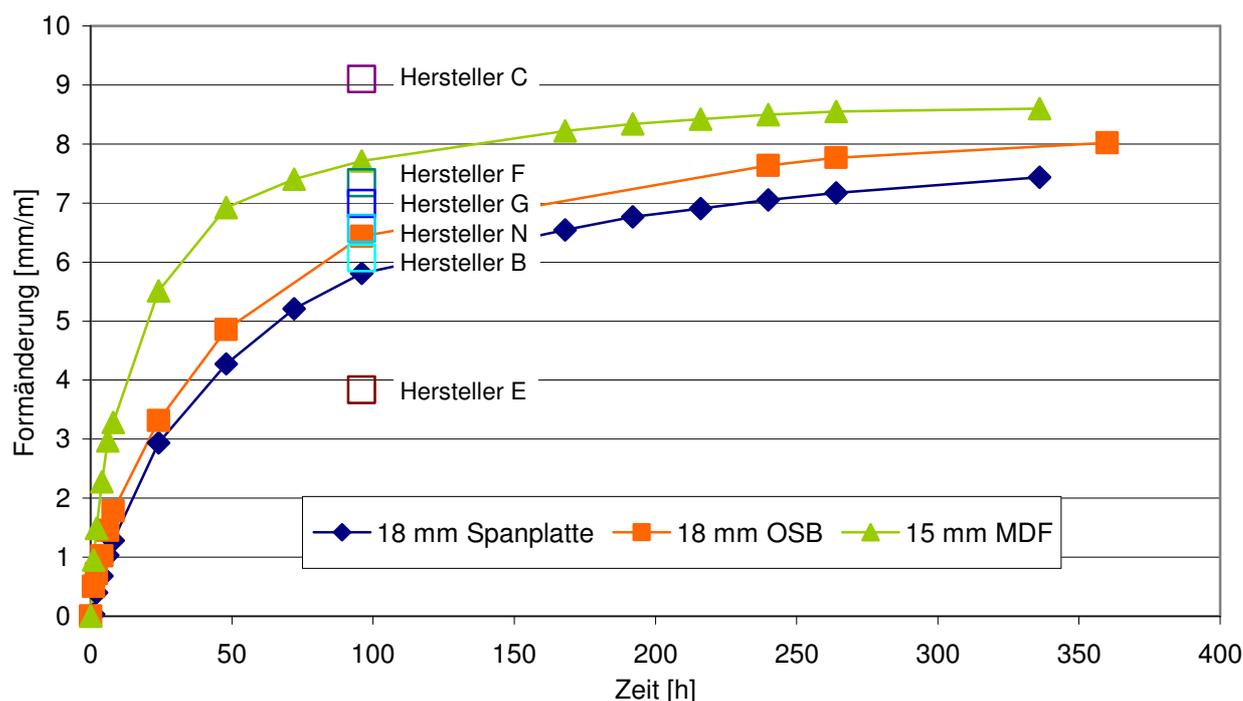


Abbildung 57 Formänderungsverlauf (diagonal) von 27 mm dicken Verbundplatten mit Spanplatten-, OSB- bzw. MDF-Mittellage im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH, Vergleich zu Werten industrieller dreilagiger Massivholzplatten (Lamellenverhältnisse variieren von 0,49 bis 0,67, vgl. Tabelle 30 unter Punkt 3.1.5) der gleichen Dicke (Formänderungswerte nach 96 Stunden)

Die an den Platten nach 96 bzw. 336 Stunden Lagerung im Differenzklima bestimmten Formänderungswerte sind in Tabelle 66 aufgeführt. Danach kommt es mit einer Senkung des Lamellenverhältnisses bei gleicher Plattendicke zu einer deutlichen Erhöhung der Formstabilität (Formänderungswerte sinken) in allen Messrichtungen. Diese Reduzierung der Verwölbungen macht sich vor allem bei den dünnen Platten (19 mm) bemerkbar.

Dickere Verbundplatten haben (bei gleichen Substituten in der Mittellage und vergleichbaren Lamellenverhältnissen) teilweise drastisch geringere Formänderungen. So reduzieren sich die in der üblicherweise „schwachen“ Nebenachse gemessenen Formänderungen bei 42 mm dicken Platten von 12,8 mm/m (19 mm Platte, Substitut OSB, $R_L = 0,37$) auf 2,9 mm/m (42 mm Platte, Substitut OSB, $R_L = 0,29$).

Bei einem Vergleich der unterschiedlichen Substitutarten zeigt sich, dass bei dünnen Platten MDF-Mittellagen zur besseren Formstabilität führt, bei dickeren Platten ab

27 mm mit spanbasierten Holzwerkstoffen jedoch etwas geringere Formänderungswerte gemessen werden.

Bei der Gegenüberstellung mit herkömmlichen dreilagigen Massivholzplatten (vgl. Abbildung 57) schneiden die Verbundplatten nur bei geringen Lamellenverhältnissen (R_L 0,16 ... 0,37) besser als die Industrieplatten ab. Bei einem Anteil der Decklagen von größer 0,44 an der Gesamtplattendicke werden an den Industrieplatten etwas geringere Formänderungswerte ermittelt.

3.4 Abschätzung von Platteneigenschaften

Die im Kapitel 2.3.4 beschriebenen Verfahren zur Berechnung bzw. Abschätzung von Eigenschaftswerten mehrlagiger Platten (Sperrholz, Massivholzplatten) verwenden vorgegebene oder errechnete Basiswerte für Festigkeiten und Elastizitätsmoduln. Für die vorgesehene Berechnung mehrlagiger Massivholzplatten aus Nadelholz (hier: Fichte) wurden derartige Basiswerte von den zitierten Autoren entweder nicht berechnet oder nur unvollständig angegeben.

Aus diesem Grund machte sich an dieser Stelle die Herleitung solcher Basiswerte notwendig, mit denen dann die verschiedenen Berechnungsmethoden überprüft und deren Ergebnisse den in der vorliegenden Arbeit an verschiedenen Plattentypen ermittelten Eigenschaften gegenüber gestellt werden konnten.

Es sei nochmals mit Nachdruck darauf hingewiesen, dass Basiswerte und berechnete Ergebnisse dem gleichen Sicherheitsniveau entsprechen (5%-Quantile bzw. Mittelwerte).

3.4.1 Ermittlung von Basiswerten

Die Herleitung von Basiswerten für die Berechnung von Platteneigenschaften nach der Verbundtheorie erfolgt durch Rückrechnung der Festigkeitswerte $f_{m,0}$, $f_{t,0}$ und $f_{c,0}$ bzw. des Elastizitätsmoduls E_0 über die in nachfolgender Tabelle 67 dargestellten mathematischen Zusammenhänge zwischen charakteristischen Größen, Aufbaufaktoren und wirksamen Festigkeits- bzw. Steifigkeitskennwerten.

Dabei ist zu beachten, dass nur Basiswerte in der Hauptachse (hier Index 0) zur Berechnung der sog. wirksamen Festigkeiten und Steifigkeiten herangezogen werden.

Als effektive Werte für die Festigkeit und den Elastizitätsmodul, aus denen die Basiswerte durch Division mit den entsprechenden Aufbaufaktoren (vgl. dazu Tabelle 9 unter Punkt 2.3.4) berechnet werden, dienen im weiteren drei Datengruppen:

- Die in prEN 12 369:1996-04 „Holzwerkstoffe – Charakteristische Werte für eingeführte Erzeugnisse“ für Fichtensperrholz angegebenen charakteristischen Werte und mittleren Elastizitätsmoduln,
- die an je 10 Platten von 4 Plattentypen eines Massivholzplattenherstellers 2004 an mittelgroßen Prüfkörpern ermittelten Eigenschaften (5%-Quantile der Festigkeiten und Mittelwerte der Elastizitätsmoduln, siehe Anhang 7.11) sowie
- Ergebnisse von labortechnisch hergestellten dreilagigen Massivholzplatten mit Lamellen unterschiedlicher Elastizitätsbereiche (vgl. Abschnitt 3.2.3, Anhang 7.2 und Anhang 7.12).

Die Grundvoraussetzungen der Verbundtheorie und das Verhältnis $E_0/E_{90}=30$ werden beibehalten.

Tabelle 67 Wirksame Festigkeitswerte und Elastizitätsmoduln zur Berechnung von Massivholzplatten nach der Verbundtheorie mit erweiterten Aufbaufaktoren nach /Blaß, Fellmoser 2003/

Art der Beanspruchung	zur Faserrichtung der Decklagen	wirksamer Festigkeitskennwert	wirksamer Steifigkeitskennwert
Plattenbeanspruchung			
Biegung rechtwinklig zur Plattenebene	parallel	$f_{m,0,ef} = f_{m,0} \cdot k_1$	$E_{m,0,ef} = E_0 \cdot k_1$
	rechtwinklig	$f_{m,90,ef} = f_{m,0} \cdot k_2 \cdot a_m / a_{m-2}$	$E_{m,90,ef} = E_0 \cdot k_2$
Scheibenbeanspruchung			
Biegung in Plattenebene	parallel	$f_{m,0,ef} = f_{m,0} \cdot k_3$	$E_{m,0,ef} = E_0 \cdot k_3$
	rechtwinklig	$f_{m,90,ef} = f_{m,0} \cdot k_4$	$E_{m,90,ef} = E_0 \cdot k_4$
Zug in Plattenebene	parallel	$f_{t,0,ef} = f_{t,0} \cdot k_3$	$E_{t,0,ef} = E_0 \cdot k_3$
	rechtwinklig	$f_{t,90,ef} = f_{t,0} \cdot k_4$	$E_{t,90,ef} = E_0 \cdot k_4$
Druck in Plattenebene	parallel	$f_{c,0,ef} = f_{c,0} \cdot k_3$	$E_{c,0,ef} = E_0 \cdot k_3$
	rechtwinklig	$f_{c,90,ef} = f_{c,0} \cdot k_4$	$E_{c,90,ef} = E_0 \cdot k_4$

3.4.2.1 Basiswerte aus prEN 12 369:1996-04

prEN 12 369:1996-04 gab zu einem frühen Zeitpunkt der Erarbeitung neben den Werten für Span- und Faserplatten eine Vielzahl von charakteristischen Werten für unterschiedlichste europäische und amerikanische Sperrhölzer an. Aufgrund von Uneinigkeiten innerhalb der Normengruppe wurden diese Werte letztendlich zwar gestrichen, ihre Gültigkeit für die speziellen Werkstoffgruppen und Holzarten ist jedoch nicht anzuzweifeln.

Für ungeschliffenes Sperrholz aus Fichte (Lagendicke 3 mm) wurden, mit Bezug auf schwedische Werte, folgende charakteristische Festigkeiten und mittlere Steifigkeitswerte in prEN 12 369:1996-04 festgelegt:

Tabelle 68 Auszug aus Tabelle 7 prEN 12 369:1996 „Holzwerkstoffe – Charakteristische Werte für eingeführte Erzeugnisse“

Dicke [mm]	Schichten	Lagen	Charakteristische Festigkeiten [N/mm ²]			
			Biegung		Zug und Druck	
t_{nom}			$f_{m,0,ef}$	$f_{m,90,ef}$	$f_{t,0,ef}, f_{c,0,ef}$	$f_{t,90,ef}, f_{c,90,ef}$
9,0	3	3	27,8	7,2	16,7	9,9
15,0	5	5	23,0	12,0	15,0	12,0
21,0	7	7	21,3	14,9	14,3	12,9
Mittlere Steifigkeitswerte [N/mm ²]						
t_{nom}			Biegung		Zug und Druck	
			$E_{m,0,ef}$	$E_{m,90,ef}$	$E_{t,0,ef}, E_{c,0,ef}$	$E_{t,90,ef}, E_{c,90,ef}$
9,0	3	3	11000	2900	8000	4000
15,0	5	5	9200	4800	7200	4800
21,0	7	7	9500	6000	6900	5200

Durch Rückrechnung über die in Tabelle 67 dargestellten Beziehungen können für Sperrholz aus Fichte die in Tabelle 69 dargestellten Basiswerte berechnet werden (die geometrischen Größen a_1 , a_3 , a_5 , a_7 und die Aufbaufaktoren k_1 bis k_4 sowie α_m ergaben sich aus dem jeweiligen Lagenaufbau und der Plattendicke, siehe dazu auch Anhang 7.10).

Dabei werden die Basisfestigkeiten als charakteristische Werte (5%-Quantile) ausgegeben und der Basis-Elastizitätsmodul als mittlerer Steifigkeitswert berechnet. Auffällig sind die aus den Biegewerten der Nebenachse höher berechneten Basiseigenschaften (in Tabelle 69 kursiv markiert), die sich ohne weitere Angaben zum Material an dieser Stelle nicht erklären lassen. Aus diesem Grund werden zumindestens die Elastizitätsmoduln im berechneten Bereich von 19000 bis 42000 N/mm² als wenig plausibel betrachtet und aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Tabelle 69 Für charakteristische Sperrholzwerte aus prEN 12 369:1996-04 rückgerechnete Basiswerte für Fichtenholzplatten

Dicke mm	Lagen	Berechnete Basiswerte			
		$f_{m,BW}$		$f_{t,BW}, f_{c,BW}$	
		zurückgerechnet aus:			
		$f_{m,0,ef}$	$f_{m,90,ef}$	$f_{t,0,ef}, f_{c,0,ef}$	$f_{t,90,ef}, f_{c,90,ef}$
9	3	28,83	34,71	24,64	27,84
15	5	28,79	30,72	24,46	28,57
21	7	29,54	34,07	24,41	28,82
		$E_{m,BW}$			
		zurückgerechnet aus:			
		$E_{m,0,ef}$	$E_{m,90,ef}$	$E_{t,0,ef}, E_{c,0,ef}$	$E_{t,90,ef}, E_{c,90,ef}$
9	3	11408	41946	11803	11250
15	5	11515	20478	11739	11429
21	7	13176	19210	11780	11617

Insgesamt liegen die hergeleiteten charakteristischen Basisfestigkeiten und der mittlere Elastizitätsmodul $E_{m,BW}$ im Vergleich zu den wenigen Literaturangaben (vgl. z.B. /Blaß, Görlacher 2003/) durchaus in der erwarteten Größenordnung.

3.4.2.2 Basiswerte aus Industriewerten dreilagiger Massivholzplatten

Um einen Bezug zu aktuellen Qualitäten dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz zu haben, wurden die im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung 2004 durchgeführten Prüfungen für eine Rückrechnung von Basiswerten ausgewertet.

Bei dieser Untersuchung wurden von 4 Plattentypen (Tabelle 70 stellt Aufbau und Kennzeichnung dar) je 10 Platten gezogen, mittelgroße Prüfkörper in Anlehnung an DIN EN 789:2005 eingeschnitten und nach einer ausreichenden Klimatisierung im Normal-klima 20 °C / 65 % rH geprüft.

Tabelle 70 Übersicht über Kennzeichnung, Nenndicken und Lamellenabmessungen der gezogenen Stichproben

Kennzeichnung	Werkstyp	Nenndicke [mm]	Lagendicke [mm]		Lagenbreite [mm]	
			Decklage s1	Mittellage s2	Decklage	Mittellage
969	I	19	6	7	50 - 150	20 - 150
970		27	6	15		
971	II	27	9	9		
972		42	9	24		

Für die relevanten Eigenschaften bei Biegung, Zug und Druck wurden die in Tabelle 71 dargestellten Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte ermittelt (der vollständige Datensatz liegt als Anlage 7.11 vor) und die üblichen statistischen Kenngrößen berechnet.

Tabelle 71 Rohdichte, Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte industrieller dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz (Fichte) in N/mm², Angabe der Mittelwerte bzw. 5%-Quantile

Eigenschaft	Platten-Nr.	Decklage							
		parallel				rechtwinklig			
		969	970	971	972	969	970	971	972
Rohdichte [kg/m ³]	\bar{x}	445	460	442	467				
Biegefestigkeit [N/mm ²]	\bar{x}	50,0	36,7	52,1	29,3	12,9	19,6	9,5	14,5
	$L_q^{5\%}$	30,5	18,1	35,8	18,5	5,8	11,9	4,8	9,3
Biege-E-Modul [N/mm ²]	\bar{x}	11921	9892	12061	9817	1394	2762	1037	2302
Biegefestigkeit in Plattenebene [N/mm ²]	\bar{x}	30,4	26,5	39,6	21,5	17,4	25,3	19,5	21,2
	$L_q^{5\%}$	17,0	19,0	27,0	12,2	13,5	17,1	9,9	9,2
Biege-E-Modul [N/mm ²]	\bar{x}	7193	6766	9092	5916	5604	6864	5504	7495
Druckfestigkeit in Plattenebene [N/mm ²]	\bar{x}	25,1	18,6	27,0	16,6	18,0	22,7	17,5	21,8
	$L_q^{5\%}$	22,2	16,3	22,3	14,4	16,2	16,1	13,5	13,1
Zugfestigkeit in Plattenebene [N/mm ²]	\bar{x}	21,9	16,0	21,8	13,5	6,3	12,0	10,7	10,8
	$L_q^{5\%}$	16,7	8,7	9,2	10,3	2,7	4,6	4,2	5,6

Im Anschluss daran wurden die geometrischen Größen a_1 und a_3 sowie die Aufbaufaktoren k_1 bis k_4 unter Berücksichtigung der Lagendicken ermittelt. Mit diesen Größen wurde aus jedem der 10 Stichprobeneinzelwerte pro Eigenschaft ein Einzelbasiswert und ein mittlerer Stichprobenbasiswert berechnet. Aus den mittleren Stichprobenbasiswerten konnte danach über eine logarithmische Normalverteilung ein 5%-Quantil (charakteristischer Wert) für die Festigkeit ermittelt werden.

Tabelle 72 Basiswerte für Fichtenholzplatten mit einer mittleren Rohdichte von 454 kg/m³, rückgerechnet aus Werten industriell hergestellter dreilagiger Massivholzplatten

Dicke [mm]	Aufbau [mm]	Berechnete Basiswerte							
		$f_{m,BW}$				$f_{t,BW}$		$f_{c,BW}$	
		zurückgerechnet aus:							
		$f_{m,0,mess}$	$f_{m,90,mess}$	$f_{m,0,mess}^{109}$	$f_{m,90,mess}$	$f_{t,0,mess}$	$f_{t,90,mess}$	$f_{c,0,mess}$	$f_{c,90,mess}$
19	6/7/6	42,64	44,31	36,66	34,19	30,18	13,12	36,47	43,24
27	6/15/6	31,60	44,57	48,37	38,00	25,06	14,89	37,85	34,01
27	9/9/9	46,18	35,27	46,85	38,66	23,10	30,09	35,46	43,06
42	9/24/9	29,41	29,78	36,81	25,87	26,27	14,56	34,92	31,41
		$E_{m,BW}$							
		zurückgerechnet aus:							
		$E_{m,0,mess}$	$E_{m,90,mess}$	$E_{m,0,mess}^{110}$	$E_{m,90,mess}$	$E_{t,0,mess}$	$E_{t,90,mess}$		
19	6/7/6	12527	17068	11172	14389	11228	11824		
27	6/15/6	11857	13873	14625	12034	10102	6974		
27	9/9/9	13069	14999	13414	12468	10000	12743		
42	9/24/9	11977	10772	13217	12796	10444	8024		

¹⁰⁹ $f_{m,0,mess}$ und $f_{m,90,mess}$ aus Biegung in Plattenebene (Scheibenbeanspruchung, kursiv markiert)

¹¹⁰ $E_{m,0,mess}$ und $E_{m,90,mess}$ aus Biegung in Plattenebene (Scheibenbeanspruchung, kursiv markiert)

Tabelle 72 stellt die berechneten Basiswerte als 5%-Quantile für die Festigkeiten bzw. als Mittelwerte für die Elastizitätsmoduln dar. Da nach dem Ansatz gemäß Tabelle 67 nur die Biege-E-Moduln E_0 bzw. die Biege- ($f_{m,0}$), Zug- ($f_{t,0}$) und Druckfestigkeit ($f_{c,0}$) in der Hauptachse für die Berechnung Verwendung finden, konnten die entsprechenden Größen aus mehreren Eigenschaften rückgerechnet werden.

3.4.2.3 Basiswerte aus labortechnisch hergestellten Massivholzplatten

Die dreilagigen Platten nach Abschnitt 3.2.3 wurden, wie bereits beschrieben, aus mechanisch sortierten Lamellen hergestellt, die den nachfolgend dargestellten Biege-E-Modulbereichen zugeordnet wurden (siehe dazu Tabelle 39).

Vorausgeschickt werden muss an dieser Stelle, dass aufgrund der labortechnischen Herstellung der Platten mit einem entsprechend begrenzten Plattenformat nicht alle relevanten Eigenschaften geprüft werden konnten und dass durch die im Vergleich zu den o.a. Industriewerten zu geringe Prüfkörperanzahl Einschränkungen hinsichtlich der statistischen Absicherung der Aussagen in Kauf genommen werden mussten.

Um die Aussagefähigkeit zu erhöhen, wurden die Ergebnisse bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene von Platten mit Lamellen der Biege-E-Modulbereiche L1/I und L2/II sowie L1/II und L2/III zusammengefasst¹¹¹ (Datensatz siehe Anlage 7.12).

Es ist gleichfalls darauf hinzuweisen, dass im Zuge der Prüfungen für die Festigkeiten und Elastizitätsmoduln der Laborplatten nur Mittelwerte bestimmt werden konnten. Unter der Annahme eines bei ausreichender Prüfkörperanzahl üblicherweise auftretenden Variationskoeffizienten von 15 % (vgl. /Wagenführ et al. 1988/) wurden die Mittelwerte wie folgt umgerechnet:

aus Mittelwerten abgeschätztes
5%-Quantil für die Festigkeit:

$$f_{m,geschätzt} = \bar{x} - 1,89 \cdot s = \bar{x} - 1,89 \cdot \bar{x} \cdot v$$

$$f_{m,geschätzt} = \bar{x}(1 - 1,89 \cdot v)$$

Unter dieser Voraussetzung konnten folgende Basiswerte aus den Untersuchungen abgeleitet werden:

Tabelle 73 Abgeleitete Basiswerte [N/mm²] aus Untersuchungsergebnissen labortechnisch hergestellter dreilagiger Massivholzplatten mit Lamellen unterschiedlicher Biege-E-Modulbereiche

Basiswerte	Biege-E-Modulbereiche der Lamellen			
	L2/I	L1/I-L2/II	L1/II-L2/III	L1/III
$f_{m,BW}$	37,48	37,47	38,67	43,17
$E_{m,BW}$	16284	14235	16281	17463

In Auswertung der so berechneten Werte fällt auf, dass sich die Basiswerte in den ersten drei Biege-E-Modulbereichen unerwartet wenig unterscheiden und im Vergleich zu den bisher bestimmten Werte sehr hoch ausfallen. Dieser Umstand muss auf zu geringe Prüfkörperanzahlen und -dimensionen sowie die zu geringe Spreizung der Lamelleneigenschaften zurückgeführt werden.

¹¹¹ Aufgrund der gemessenen mittleren Elastizitätsmoduln können die Lamellen in folgende Festigkeitsklassen nach DIN EN 1052:2004 eingestuft werden: L2/I in C18; L1/I-L2/II in C22; L1/II-L2/III in C24 und L1/III in C35.

Aus den angeführten Einschränkungen der Laborergebnisse ist es daher sinnvoll, im Weiteren, unabhängig vom Biege-E-Modulbereich, nur die kleinsten ermittelten Werte als Basiswerte für die Berechnung von Plattenwerten anzugeben.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass aus den drei ausgewählten Datenquellen (prEN 12 369:1996-04, Prüfergebnisse eine allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung aus 2004 und Werte labortechnisch hergestellter dreilagiger Massivholzplatten), unter Beachtung der zugrundeliegenden Plattenaufbauten, Basiswerte berechnet werden konnten, die in ihre Größe und Ausprägung in einem vergleichbaren Bereich liegen und auch mit den wenigen Literaturangaben /Blaß, Fellmoser 2003/; Blaß, Görlacher 2003/ gut übereinstimmen.

Dass trotz allem eine beachtliche Spreizung auftritt, ist auf die unterschiedliche Charakteristik der Materialien (Sperrholz bzw. Massivholzplatten), die teilweise unterschiedlich verwendeten Prüfverfahren (Prüfkörpergrößen etc.) und die unvermeidliche Streuung der Materialeigenschaften von Nadelholz (Rohdichte) zurückzuführen.

Eine zusammenfassende Übersicht über die in den weiteren Untersuchungen verwendbaren Basiswerte gibt nachstehende Tabelle 74.

Tabelle 74 Übersicht über Basiswerte für Festigkeiten und Steifigkeiten zur Abschätzung von Plattenwerten nach der Verbundtheorie und anderen Berechnungsvorschlägen

	Basiswerte in N/mm² nach					
	/Blaß, Fellmoser 2003/	/Blaß, Görlacher 2003/	/Donzé, Niemz 2004/ ¹¹²	Abschnitt 3.4.2.1	Abschnitt 3.4.2.2	Abschnitt 3.4.2.3
f _{m,BW}	28	30 ... 45	45 (32,2)	31,1	38,1	34,5
E _{m,BW}	12600	11000	11000	11750	12280	14240
f _{t,BW}	19,5	/	/	26,5	22,4	/
f _{c,BW}	26,5	/	/	26,5	37,1	/

3.4.2 Berechnung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten

Aufgrund der großen Spannweite der hergeleiteten bzw. bereitgestellten Basiswerte (f_{m,BW} z.B. 28 N/mm² ... 45 N/mm², vgl. Tabelle 74) wurden für erste Abschätzungen der Güte der zur Bewertung kommenden Berechnungsmodelle nach DIN 68 705-5:1980, DIN V ENV 14 272:2002, nach der Verbundtheorie mit erweiterten Aufbau Faktoren /Blaß, Fellmoser 2003/ sowie nach Rechnungsansatz von /Donzé, Niemz 2004/ die 5%-Quantile der in Tabelle 74 angegebenen Werte benutzt¹¹³.

Zur Gegenüberstellung mit den Rechenwerten wurden folgende real ermittelte Eigenschaften herangezogen:

- Festigkeitswerte (5%-Quantile, Biegung, Druck, Zug) und Biege-E-Modul (Mittelwert) von 10 dreilagigen Industriepplatten¹¹⁴ im Nenndickenbereich 19 bis 27 mm, geprüft und ausgewertet durch den Autor im Rahmen verschiedener bauaufsichtlicher Zulassungsverfahren und

¹¹² Von /Donzé, Niemz 2004/ wurden diese Werte unter Berücksichtigung einer anderen Berechnungsmethode als der Verbundtheorie angegeben. Da die Angabe einer „nominalen Spannung“ einen Mittelwert nahe legt, erfolgt an dieser Stelle die Umrechnung auf f_{m,geschätzt} (Wert in Klammern).

¹¹³ f_{m,BW}=28,5 N/mm², E_{m,BW}=11000 N/mm², f_{t,BW}=19,8 N/mm² und f_{c,BW}=26,5 N/mm²

¹¹⁴ Dreilagige Massivholzplatten mit der Kennung 74, 75, 107, 108, 226, PRL, 439, 842, 970 und 971 (siehe Anhang 7.13)

- Festigkeitswerte und Elastizitätsmodul (nur Biegung, Mittelwerte) von 10 labor-technisch hergestellten dreilagigen Massivholzplattenvarianten¹¹⁵ im Nenndickenbereich 30,8 bis 38,4 mm.

Da im Rahmen der labortechnischen Untersuchungen verständlicherweise nur eine begrenzte Zahl von Platten pro Variante hergestellt werden konnte, aus denen wiederum auch nur eine eingeschränkte Anzahl von Prüfkörpern eingeschnitten wurde, konnten für diese Varianten nur die Mittelwerte für eine Gegenüberstellung mit Rechenergebnissen verwendet werden.

Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse aus den Berechnungsansätzen über den Zusammenhang $\bar{x}_{\text{geschätzt}} = f_m / (1 - 1,89 \cdot v)$ umgerechnet und konnten danach mit den o.g. Mittelwerten verglichen werden.

Die an den Industrie- bzw. Laborplatten ermittelten Ergebnisse (aus Messwerten bestimmte Mittelwerte bzw. 5%-Quantile) wurden den verschiedenen Rechenwerten gegenübergestellt. Aus den prozentualen Abweichungen innerhalb der einzelnen Eigenschaften wurde eine mittlere prozentuale Abweichung für jeden Berechnungsansatz ermittelt (vgl. beispielhafte Darstellung in Abbildung 58). Alle Ergebnisse der Berechnungen liegen im Anhang unter Punkt 7.13 vor.

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	107	Basiswerte (nach Abschnitt 3.4.1)
Decklagendicke	9 mm	$f_{m,BW}$ 28,5 N/mm ²
Mittellagendicke	9 mm	$E_{m,BW}$ 11000 N/mm ²
Plattendicke	27 mm	$f_{t,BW}$ 19,8 N/mm ²
Lamellenverhältnis R_L	0,67	$f_{c,BW}$ 26,5 N/mm ²
Geometrische Werte		
Geometriefaktor a_1 :	9 mm	
Geometriefaktor a_3 :	27 mm	
Verhältnis E_0/E_{90} :	30	

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:	
k_1	0,9642
k_2	0,0691
k_3	0,6778
k_4	0,3556
α_m	0,33
Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5	
γ_m	0,9630
δ_m	0,6667
α_m	0,33

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,0,05}$ 28,4	27,4	27,5	27,4	27,5
$f_{m,90,0,05}$ 4,3	3,2	5,9	3,2	5,9
$E_{m,0,mean}$ 11590	10593	10606	10593	10606
$E_{m,90,mean}$ 920	407	760	407	760
$f_{t,0,0,05}$ 10,1	13,2	13,4	13,2	
$f_{t,90,0,05}$ 6,9	6,6	7,0	6,6	
$f_{c,0,0,05}$ 21,3	17,7	18,0	17,7	
$f_{c,90,0,05}$ 9,2	8,8	9,4	8,8	
Abweichung [%] 1)	-11,09	3,76	-11,09	2,11

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten	
L_V	1
$L_V^3 / (L_V + 2)^3$	0,037037

Abbildung 58 Abschätzung von Platteneigenschaften mit verschiedenen Berechnungsansätzen, exemplarische Darstellung der Berechnung für die 27 mm dicke Industrieplatte 107, Gegenüberstellung der berechneten mit den ermittelten Eigenschaften und Berechnung der mittleren prozentualen Abweichung

¹¹⁵ Plattenvarianten 7, 8, 9, 10, 15, 16, 19, 20, 25 und 26, siehe Abschnitt 3.2 und Anhang 7.13

Rechenmodelle angewandt für Industrieplatten:

Wie bereits in Abschnitt 2.3.4 mit Bezug auf die Umrechnung von /Gecks 2005/ vorhergesehen, sind die Rechenergebnisse nach der Verbundtheorie mit erweiterten Aufbau-faktoren und nach /Donzé, Niemz 2004/ für die Biegeeigenschaften aufgrund der übereinstimmenden Rechnungsansätze adäquat (siehe dazu Anhang 7.13). Gleiches gilt für die Berechnungen nach DIN 68 705-5:1980 Beiblatt 1 und DIN V ENV 14 272:2002. Aus diesem Grund werden im Weiteren nur die Ergebnisse nach der Verbundtheorie und nach DIN V ENV 14 272:2002 ausgewertet.

Bei Verwendung der konservativen Basiswerte zeigte sich, dass einige Hersteller mit ihren Platteneigenschaften deutlich über den berechneten Werte lagen. Das traf vor allem für Massivholzplattenhersteller im süddeutschen bzw. südeuropäischen Raum zu, die für die Herstellung ihrer Massivholzplatten teilweise bessere Holzsortimente (höhere Festigkeitsklassen) als Hersteller im mitteldeutschen Raum verwenden.

Die Vorgabe des Deutschen Instituts für Bautechnik in Berlin, bauaufsichtlich zugelassene Massivholzplatten aus mindestens 90 % S10-sortiertem und 10 % S7-sortiertem Holz (entspricht 90 % Festigkeitsklasse C24 nach EN 338:2003 und 10 % C16) herzustellen, wurde bei allen untersuchten Platten eingehalten, von den Platten der Kennzeichnung 74, PRL und 226 jedoch weit übertroffen. Aus diesem Grund erfolgte für diese Werkstoffe eine Korrektur der Basiswerte auf Werte für die Nadelholzfestigkeitsklasse C40 ($f_{m,BW} = 40 \text{ N/mm}^2$, $E_{m,BW} = 14000 \text{ N/mm}^2$, $f_{t,BW} = 24 \text{ N/mm}^2$ und $f_{c,BW} = 26 \text{ N/mm}^2$).

Nach dieser Anpassung wurde die beste Übereinstimmung von berechneten Eigenschaften mit real ermittelten Werten durch die Verbundtheorie mit erweiterten Aufbau-faktoren erzielt. Die berechneten Werte wichen im allgemeinen um nicht mehr als -5 bis +10 % von den ermittelten Prüfwerten ab. Besonders für die Haupteigenschaften (Biegung) konnten die Platteneigenschaften mit hoher Genauigkeit vorausberechnet werden. Während die Rechenergebnisse für die Eigenschaften bei Biegung leicht unter den geprüften Eigenschaften lagen, wurde für Zugfestigkeit überwiegend geringfügig höhere Werte vorausberechnet.

Mit den Berechnungsansätzen nach DIN V ENV 14 272:2002 wurden Biegeeigenschaften abgeschätzt, die bis auf eine Ausnahme grundsätzlich unter den geprüften Platteneigenschaften¹¹⁶ lagen. Die fehlende Beachtung der mitwirkenden Steifigkeiten rechtwinklig zur Spannrichtung liegender Lagen in diesen Berechnungsansätzen macht sich erwartungsgemäß bei den Eigenschaften in der Nebenachse besonders deutlich bemerkbar: Hier werden teilweise nur 50 % der geprüften Festigkeiten vorhergesagt.

Im Vergleich der beiden Rechnungsansätzen fällt auf, dass nach der Verbundtheorie grundsätzlich höhere (und damit näher an den Messwerten liegende) Werte berechnet werden. Aufgrund der Einbeziehung der mitwirkenden Steifigkeiten der Lagen mit zur Belastungsrichtung rechtwinklig orientierten Fasern werden für die Eigenschaften in der Nebenachse teilweise um bis zu 50 % höhere Rechenwerte als in DIN V ENV 14 272:2002 erzielt. In der Hauptachse kann eine gute Übereinstimmung der nach den beiden Berechnungsansätzen abgeschätzten Platteneigenschaften festgestellt werden.

Eine Verbesserung der Übereinstimmung der vorausberechneten mit den real geprüften Ergebnissen kann durch eine weitere Anpassung der Basiswerte erfolgen, die jedoch mit Augenmaß für die jeweils zu untersuchende Charge festgelegt werden müssen. Die verwendeten teilweise zu niedrigen Basiswerte führen jedoch zu „sicheren“ Ergebnis-

¹¹⁶ Unterschreitung um bis zu 30 %

sen, die eine gute Vorabschätzung und damit die gezielte Herstellung von Massivholzplatten mit vorausbestimmten Eigenschaften ermöglichen.

Rechenmodelle angewandt für Laborplatten:

Im Hinblick darauf, dass alle zur labortechnischen Herstellung verwendeten Lamellen von demjenigen Hersteller stammten, dessen zur Zulassung gekommene Platten Lamellen mit einer deutlich höheren Festigkeitsklasse als C24 enthielten (vgl. Ergebnisse zu Platte 226 im Anhang 7.13), wurde vor Beginn der Berechnungen festgelegt, Basiswerte nach Festigkeitsklasse C40 in die Berechnungsansätze einzusetzen.

Danach konnte wiederum mit der Verbundtheorie die beste Übereinstimmung berechneter mit geprüften Ergebnissen erzielt werden, wobei hier, im Vergleich zu den Industriepplatten, die mittlere Abweichung der Rechen- von den Messwerten etwas höher lag. Diese höheren Abweichungen sind vor allem auf die zu Vergleichszwecken durchgeführte Umrechnung der berechneten charakteristischen Werte in Mittelwerte und die höhere Streuung der Mittelwerte der Laborplatten (aufgrund kleinerer Prüfkörperformate und der geringeren Prüfkörperanzahl) zurückzuführen. Da Varianten 9 und 10 im Vergleich zu Varianten 7 und 8 Lamellen eines höheren Biege-E-Modulbereichs enthielten, dieser Umstand aber nicht durch höhere Basiswerte bei der Berechnung gewürdigt wurde, fielen die Differenzen hier folgerichtig größer aus.

Die Berechnung nach DIN V ENV 14 272:2002 lieferte insgesamt zu konservative Ergebnisse, die im Schnitt um 20 bis 30 % unter den geprüften Platteneigenschaften lagen. Trotz guter Übereinstimmung der berechneten Festigkeit und Elastizität in der Hauptachse (geringfügig niedriger) wurden die o.a. hohen mittleren Abweichungen durch die deutlich abweichenden Werte für Eigenschaften in der Nebenachse (teilweise bis zu -50 %) hervorgerufen, die auf den nichtberücksichtigten Einfluss der Steifigkeiten zurückzuführen sind.

Auch bei den Laborplatten wurden mit der Verbundtheorie im Vergleich zur Berechnung nach DIN V ENV 14 272:2002 grundsätzlich höhere Werte bestimmt (aus oben bereits angeführten Gründen besonders deutlich in der Nebenachse).

Nach Auswertung der durchgeführten Berechnungen von Platteneigenschaften mit verschiedenen Berechnungsansätzen und dem Vergleich mit Ergebnissen von Industrie- und Laborplatten lässt sich abschließend feststellen, dass die Abschätzung von Platteneigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach der Verbundtheorie unter Verwendung erweiterter Aufbaufaktoren k_1 bis k_4 nach /Blaß, Fellmoser 2003/ die verlässlichsten Ergebnisse liefert und unproblematisch auf fünf- oder siebenlagige Platten erweiterbar ist. Die gleichen Ergebnisse werden auch nach /Donzé, Niemz 2004/ erzielt mit der Einschränkung, dass die dort vorgestellte Berechnungsmethode bisher nur für dreilagige Platten anwendbar ist.

Grundvoraussetzung für eine gültige Berechnung charakteristischer Festigkeiten und Elastizitätsmoduln ist jedoch eine zuverlässige Kenntnis der Eigenschaften der verwendeten Vollholzlamellen. So ist es für übliche bauaufsichtlich zugelassene Massivholzplatten, deren Lamellen zu 90 % der Festigkeitsklasse C24 und zu 10 % C16 zu entsprechen haben, möglich, charakteristische Festigkeiten und mittlere Elastizitätsmoduln der Festigkeitsklassen C27 oder C30 nach DIN 1052:2004 als Basiswerte in den Berechnungsansatz einzusetzen, was mit dem Vergütungseffekt der seitlich miteinander verklebten Lamellen begründet werden kann.

Da alle Berechnungsverfahren von konsistenten Eigenschaften innerhalb der Lagen ausgehen, stellen Herstellungstechnologie und materialbedingte Struktur der Massivholzplatten (gering nachzuweisender Einfluss unterschiedlicher Lamellensortierungen auf die Platteneigenschaften, Lamellen unterschiedlicher Festigkeit und Elastizität liegen innerhalb einer Lage nebeneinander, unterschiedliche Jahrringlagen benachbarter Lamellen) jedoch eine gewisse Einschränkung der Aussagefähigkeit des Berechnungsverfahrens dar, so dass Abweichungen der Berechnungsergebnisse unter diesen Umständen zu werten sind.

Der Einfluss des Rollschubs kann bei den üblichen Stützweitenverhältnissen (Hauptachse $l/h \geq 30$, Nebenachse $l/h \geq 20$) zwar vernachlässigt werden, er spielt aber eine maßgebliche Rolle bei kleinen Auflagerabständen und kann hier zu einer Fehlinterpretation von Berechnungsergebnisse ¹¹⁷ führen /Görlacher 2002/.

3.4.3 Berechnung von Eigenschaften dreilagiger Verbundplatten

Eine Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Verbundplatten nach den oben vorgestellten und diskutierten Berechnungsansätzen konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit aus verschiedenen, weiter unten aufgeführten Gründen leider noch nicht erfolgen.

Alle Rechnungsansätze gehen von der Verwendung sog. Basiswerte aus. Diese Basiswerte können entweder aus Normenwerken (wie z.B. DIN 1052:2004 oder DIN EN 12369-1:2001) entnommen oder durch die Rückrechnung von Prüfergebnissen (siehe Abschnitte 3.4.2.2 und 3.4.2.3) gewonnen werden.

Bei der Berechnung werden diese Basiswerte mit Aufbaufaktoren (teilweise modifiziert – siehe /Blass, Fellmoser 2003/) multipliziert, so dass der Grundgedanke impliziert ist, die Platte bestünde in ihrem gesamten Aufbau aus ein und demselben Material (bei mehrlagigen Platten, deren Faserrichtung aller Lagen in die betrachtete Richtung zeigen, ergeben sich die Aufbaufaktoren zu 1) und würden hinsichtlich ihrer Eigenschaften durch den Anteil der quer zur Betrachtungsrichtung liegenden Lagen abgemindert. Dieser Ansatz kann für die dreilagigen Verbundplatten mit Holzwerkstoffmittellagen nicht ohne weiteres verwendet werden ¹¹⁸. Hier müssten defacto 2 Basiswerte (Fichtenvollholz und Holzwerkstoff) und ein neues Verhältnis E_0/E_{90} angesetzt werden. Die Vorgehensweise wäre nach dem Rechnungsansatz der DIN V EN V 14 272:2002 für die einzelnen Lagen zwar durchführbar, jedoch nicht zielführend, da hier die mitwirkende Festigkeit und Steifigkeit der von der betrachteten Richtung um 90° versetzt angeordneten Lagen nicht mit in Ansatz gebracht wird.

Es ist weiterhin nicht möglich, den Gesamtbasiswert einer solchen dreilagigen Verbundplatte durch bloße Mittelung der für Fichtenholz bzw. Holzwerkstoff heranzuziehenden Basiswerte zu berechnen.

Im Rahmen der Arbeit wurde weiterhin die Rückrechnung von Basiswerten aus den Prüfergebnissen der Labor- und Industrierversuche geprüft. Sie musste aus folgenden Gründen jedoch vorläufig verworfen werden:

1. Allgemeingültigkeit

Durch die Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Holzwerkstoffe wären allge-

¹¹⁷ Wichtig ist der Einfluss des Rollschubs auch bei der experimentellen Bestimmung der Eigenschaften bei Zug in Plattenebene in der Nebenachse. Er kann hier aber durch geeignete Maßnahmen der Prüfkörpereinspannung minimiert werden.

¹¹⁸ Es ist durchaus möglich, dass Verbundplatten durch die quer zur Betrachtungsrichtung orientierte Holzwerkstoffmittellage nicht abgemindert, sondern aufgewertet werden.

meingültige Basiswerte für Verbundplatten nicht zu ermitteln gewesen. Die Basiswerte hängen eindeutig vom gewählten Holzwerkstoff-Sortiment ab, das wiederum hinsichtlich der Rohdichten, der Rohdichteprofile, der eingesetzten Holzarten und Bindemittel sehr stark schwankt.

2. Plattenaufbau

Bei dünnen Decklagen „übernehmen“ die Holzwerkstoffeigenschaften einen Großteil der zu berechnenden Basiswerte, bei dicken Decklagen umgekehrt. Durch das große Spektrum herstellbarer Verbundplatten wäre auch hier die erreichbaren Aussagefähigkeit stark eingeschränkt.

3. Rückbezüglichkeit

Die Berechnung von Basiswerten aus den Prüfergebnissen der Labor- und Industrierversuche wäre möglich, aber aufgrund der gemeinsamen Grundgesamtheit nicht evaluierbar gewesen. Wie oben angedeutet, wären die Basiswerte nur für die sie erzeugende Stichprobe gültig gewesen – eine Prüfung der Gültigkeit hätte nur in weiteren Industrierversuchen erfolgen können, die zeitlich (und finanziell) jedoch nicht mehr machbar waren.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es vorerst nicht gelungen ist, Eigenschaften von dreilagigen Verbundplatten anhand der diskutierten Berechnungsansätze vorauszuberechnen. Maßgebend waren dafür jedoch vor allem zeitlich Gründe.

Die Lösung der o.a. Problemkreise wird für derartige Verbundplatten als außerordentlich sinnvoll eingeschätzt. Weiterführende Arbeiten sollten sich daher mit der Berechnung von Basiswerten durch geeignete Kombination von Fichtenholz- und Holzwerkstoff-Basiswerten beschäftigen und zu einer Evaluierung der ggf. anzupassenden Rechnungsansätze führen.

4 Zusammenfassung

Am Beginn der vorliegenden Arbeit standen umfangreiche Untersuchungen zur Erstellung eines Eigenschaftsprofils industriell hergestellter dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz, um einerseits einen grundsätzlichen Überblick über das derzeit recht weit gefasste Spektrum der europäischen Massivholzplattenproduktion zu erhalten und andererseits schon an dieser Stelle ansatzweise klären zu können, welche Parameter die relevanten Eigenschaften dreilagiger Platten beeinflussen.

Bei der Prüfung von aus 12 europäischen Werken stammenden Platten im Nenndickenbereich ≤ 20 mm und $> 20 - 30$ mm konnte festgestellt werden, dass das Lamellenverhältnis R_L , definiert als Quotient der Summe der Decklagendicken zur Plattenennndicke, einen deutlichen Einfluss auf die Eigenschaften bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene hat. Alle weiteren Eigenschaften (wie z.B. Biegung in Plattenebene, Eigenschaften bei Druck, Zug und Scherung in Plattenebene) zeigten sich von der Plattenstruktur weitgehend unbeeinflusst.

Im Ergebnis der durchgeführten Prüfungen wurde eine umfassende Darstellung aller für den Bau relevanten Eigenschaften ¹¹⁹ möglich, die wiederum Grundlage für die Festlegung von Anforderungswerten dreilagiger tragender Massivholzplatten bei der Erarbeitung der DIN EN 13 353:2003 waren. Die ebenfalls notwendige Bereitstellung von charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerten für die Normengruppe DIN EN 12 369 (charakteristische Werte von unterschiedlichen Holzwerkstoffen für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken) konnte aus verschiedenen Gründen ¹²⁰ zum damaligen Zeitpunkt (1999) noch nicht erfolgen.

Die an den Industriepplatten zusätzlich durchgeführten Untersuchungen zur Bestimmung des hygrischen Verhaltens (hier: Dimensionsänderungen bei Änderung der relativen Luftfeuchte bzw. Formänderung im Differenzklima) führten zu einigen interessanten Erkenntnissen.

Grundsätzlich wurden bei Feuchtaufnahme (Adsorption) die größeren Längenänderungen bestimmt als bei Feuchteabgabe (Desorption). Platten geringerer Dicke zeigten keinen Einfluss des Lamellenverhältnisses auf diese Eigenschaften und wiesen ein nahezu isotropes Verhalten (vergleichbare Gesamtlängenänderungen ΔL in Haupt- bzw. Nebenachse) auf.

Auch Platten im Nenndickenbereich $> 20 - 30$ mm zeigten keinen signifikant nachweisbaren Einfluss des Lamellenverhältnisses auf die Längenänderung bei Änderung der relativen Luftfeuchte, hier kam es jedoch zu einer ausgeprägten Anisotropie der Dimensionsänderungen (größere Werte in der Nebenachse). Die ermittelten Längenänderungen der dickeren Platten lagen deutlich über den Werten der dünneren Platten.

Bei der Bestimmung der Formänderungen (Verwölbungen senkrecht zur Plattenebene) während der Lagerung im Differenzklima wurde eine deutliche Abhängigkeit der durch klimatische Einflüsse hervorgerufenen Formänderungen vom Lamellenverhältnis festgestellt: Platten mit dickeren Decklamellen (höheres Lamellenverhältnis) verwölbten sich in der Nebenachse eindeutig stärker als Platten mit geringeren Decklagendicken.

¹¹⁹ Eigenschaften bei Biegung und Schub rechtwinklig zur Plattenebene, Eigenschaften bei Biegung, Zug, Druck und Schub in Plattenebene, jeweils angegeben für die Haupt- bzw. für die Nebenachse.

¹²⁰ Wichtiger Hinderungsgrund für die Erstellung der DIN EN 12 369-3 war seinerzeit die verzögerte Erarbeitung der DIN EN 13 353:2003. Nach Meinung der Experten in CEN/TC 112 WG 4 „Prüfverfahren“ hat vor der Bereitstellung charakteristischer Werte für ein Material in DIN EN 12 369 zuerst die entsprechende Produktnorm zu existieren.

Dünnere Platten (hier im Nenndickenbereich ≤ 20 mm) zeigten gegenüber Platten einer Nenndicke $> 20 - 30$ mm grundsätzlich höhere Formänderungswerte.

Im Anschluss an die Untersuchung industriell hergestellter dreilagiger Massivholzplatten wurde im Rahmen dieser Arbeit die Problematik der rechnerischen Abschätzung von Eigenschaften drei- und mehrlagiger Platten behandelt. Ziel war es, durch derartige Berechnungsansätze Platteneigenschaften aufgrund unterschiedlicher Strukturen vorauszuberechnen und so Massivholzplatten mit vorherbestimmten Merkmalen ohne vorherige Produktionsversuche gezielt herzustellen zu können.

Dazu wurden verschiedene Rechnungsansätze betrachtet und hinsichtlich der Übereinstimmung der Rechenergebnisse mit sowohl an labortechnisch als auch an industriell hergestellten Platten ermittelten Werten beurteilt. Von den in Betracht kommenden Berechnungsansätzen nach Beiblatt 1 DIN 68 705-5:1980, DIN V ENV 14 272:2002, nach der Verbundtheorie mit modifizierten Aufbaufaktoren nach /Blaß, Fellmoser 2003) sowie nach /Donzé, Niemz 2005/ schnitten die Berechnungsansätze nach der Verbundtheorie (Berücksichtigung der mitwirkenden Steifigkeiten der um 90° zur Belastungsrichtung liegenden Lagen) am Besten ab.

Danach ist es bei sorgfältiger Wahl der in die Berechnungen einzusetzenden Basiswerte möglich, die Eigenschaften bei Biegung, Zug und Druck mit einer recht hohen Genauigkeit von 90 bis zu 95 % vorauszuberechnen. Neben der Verwendung von Basiswerten, die aus den verschiedensten Quellen für „normale“ Platten aus Nadelholz hergeleitet wurden¹²¹, erwies sich bei Platten aus Lamellen höherer Qualität (z.B. nordische bzw. alpenländische Ware) der Einsatz von Basiswerten nach Festigkeitsklasse C40 gemäß DIN 1052:2004 als sinnvoll. Im Gegensatz zu verschiedentlich existierenden Denkansätzen, einheitliche Basiswerte für alle bauaufsichtlich zugelassenen mehrlagigen Massivholzplatten aus den vorliegenden Prüfwerten zu generieren, hält es der Verfasser für durchaus sinnvoll, die Standorteinflüsse der eingesetzten Hölzer zu berücksichtigen und regionalspezifische Basiswerte zu verwenden. Es konnte erwartungsgemäß festgestellt werden, dass, obwohl grundsätzlich S10/S7-sortiertes Holz für die Herstellung der untersuchten bauaufsichtlich zugelassenen mehrlagigen Massivholzplatten verwendet wurde, Platten unter Verwendung alpenländischen Holzes höhere Festigkeiten zeigten als Platten mitteldeutscher Holzqualität.

Im Hauptteil der Arbeit wurden im Anschluss daran umfangreiche Laboruntersuchungen zur Klärung des Einflusses verschiedener struktureller und technologischer Parameter auf die mechanisch-physikalischen und hygrischen Eigenschaften dreilagiger Massivholz- und Verbundplatten durchgeführt. Dabei wurden grundsätzlich Lamellen eines einzigen Herstellers eingesetzt, um Schwankungen aufgrund unterschiedlicher Holzstandorte und unterschiedlicher Sortierkriterien auszuschließen.

An einlagigen Massivholzplatten wurde zunächst der Einfluss unterschiedlicher Sortierklassen A bis C nach ÖNORM 3022:1991, unterschiedlicher Arten der Längsverbindungen¹²², verschiedener Breiten und unterschiedlicher Fugengüten der Lamellen sowie verschiedener Schmalflächenformen¹²³ auf wichtige Eigenschaften bestimmt.

Danach zeigten sägerau verklebte Lamellen gegenüber Lamellen mit geschliffenen oder gehobelten Schmalflächen die besten Verklebungseigenschaften (nachgewiesen im Druckscherversuch). Erwartungsgemäß wurden die höchsten Festigkeiten von den ein-

¹²¹ $f_{m,BW} = 28,5$ N/mm², $E_{m,BW} = 11000$ N/mm², $f_{t,BW} = 19,8$ N/mm² und $f_{c,BW} = 26,5$ N/mm²; $E_0/E_{90} = 30$

¹²² gestoßen oder keilgezinkt

¹²³ unterschiedliche Schmalflächenformen (stumpf, trapezförmig oder gefalzt) bzw. Fugengüten (sägerau, gehobelt, geschliffen)

lagigen Massivholzplatten mit durchgehenden Lamellen, gefolgt von keilgezinkten bzw. stumpf gestoßenen Lamellen, erreicht.

Die Sortierqualitäten wurden vom Hersteller der Lamellen mit A, B bzw. C angegeben. In Parallelversuchen konnte nachgewiesen werden, dass diese rein visuell ermittelten Qualitäten den Sortierklassen S13, S10 bzw. S7 nach DIN 4074-1:2003 entsprachen. Überraschenderweise wurden jedoch an Platten, die aus reinen C-Qualitäten bestanden, im Vergleich zu Platten aus B- bzw. A-Qualitäten die signifikant höheren Festigkeiten ermittelt. Dieser Umstand wurde so auch bei dreilagigen Platten gefunden und stellt die Qualitätsvorgaben für Nadelholzlamellen, wie sie derzeit bauaufsichtlich bestehen, in Frage.

Es konnte weiterhin festgestellt werden, dass mit herkömmlichen Lamellenschmalflächen im Vergleich zu gefälzten bzw. 45°-gefasten Schmalflächen aufgrund der besseren Druckeinleitung bei der Verpressung (Normalkräfte vollständig in den Klebfugen) die besten Verklebungsergebnisse erzielt werden konnten.

Die in zerstörenden Biegeversuchen ermittelten Eigenschaften zeigten sich unerwarteter Weise unbeeinflusst von den Breiten der verklebten Lamellen. Bei einer Variation der verwendeten Bindemittelsysteme (MUF bzw. PVAc) wiesen – vergleichbare Rohdichten der Prüfkörper vorausgesetzt – MUF-gebundene Platten aufgrund der spröderen Leimfuge leicht höhere Festigkeiten und Steifigkeiten auf.

Auf die Ausprägung der Formstabilität im Differenzklima hatte die Lamellenbreite jedoch einen signifikanten Einfluss: Entgegen der theoretischen Annahme, dass Platten mit schmalen Lamellen („Stäbchenlamellen“) geringere Formänderungswerte in der Nebenachse aufweisen, wurde mit abnehmender Lamellenbreite eine stärkere Krümmung der Platten festgestellt, was auf den höheren Anteil liegender Jahrringe zurückgeführt wurde.

Nach den Untersuchungen einlagiger Platten schlossen sich verschiedene Experimente mit dreilagigen Labor-Massivholzplatten an, in denen der Einfluss sog. „lokaler“ Lamelleneigenschaften, der Einfluss des Lamellenverhältnisses R_L sowie der Ausgangsfeuchte auf die Eigenschaften der labortechnisch hergestellten dreilagigen Platten zu klären war.

Für die Untersuchungen des Einflusses der „lokalen“ Lamelleneigenschaften auf die „globalen“ Eigenschaften der gesamten Platte wurden 250 Lamellen (Länge 2,5 m) im Biegeversuch quasi zerstörungsfrei sortiert und nach ihren elastischen Eigenschaften in drei verschiedene Biege-E-Modulbereiche aufgeteilt. Über eine parallele Korrelation der zerstörungsfrei bestimmten Biege-E-Moduln mit zerstörend ermittelten Biegefestigkeiten (Bestimmtheitsmaße bis zu 0,89) konnte jeder Lamelle der Stichprobe eine rechnerische Biegefestigkeit zugeordnet werden. Neben der Variation der Lamellenelastizitäten (Herstellung von Platten in drei Elastizitätsbereichen) wurde innerhalb der Biege-E-Modulbereiche gleichzeitig gezielt das Lamellenverhältnis variiert ($R_L = 0,41 \dots 0,77$).

Höhere Steifigkeiten der Lamellen führten daher erwartungsgemäß zur höheren Biegeigenschaften, wobei sich dieser Umstand mit zunehmendem Lamellenverhältnis (dickere Decklagen) abschwächte. Erstaunlicherweise, und im Widerspruch zu den Vordersagen der Verbundtheorie, wurden im Vergleich zu den Einzelsteifigkeiten der Lamellen leicht höhere elastische Platteneigenschaften bestimmt, was auf die Verbundwirkung des Werkstoffs (Vergütungswirkung) und das veränderte Flächenträgheitsmoment zurückgeführt wurde.

Sowohl die Längenquellung (IL 85) als auch die Längenschwindung (DL 35) ließen keinen eindeutigen Einfluss der unterschiedlichen Biege-E-Modulbereiche auf ihre Aus-

prägung erkennen und wurden vom eindeutigen Einfluss des Lamellenverhältnisses überdeckt: Die Erhöhung der Decklagendicke führte bei Befeuchtung zu deutlich höheren Längenänderungen in der Nebenachse bzw. zu geringeren Werten in der Hauptachse. Platten mit geringem Lamellenverhältnis (0,41) wiesen in den beiden Achsen vergleichbare Längenänderungen auf – die Massivholzplatten mit $R_L = 0,77$ zeigten sich dahingegen offensichtlich anisotroper (höhere Längenänderungswerte in der Nebenachse).

Mit Bezug auf die Formänderung der Platten im Differenzklima konnte durchaus ein Einfluss der Elastizität der Lamellen ausgemacht werden: Mit der Erhöhung der elastischen Eigenschaften der Lamellen ging eine Senkung der Formänderungswerte einher. Es gilt weiterhin, dass zunehmende Lamellenverhältnisse drastisch höhere Formänderungen in der Nebenachse und der Diagonalen nach sich zogen, in der Hauptachse sanken in diesem Fall die Werte.

Der bereits in den vorangegangenen Versuchen erkennbare und erwartete Einfluss des Lamellenverhältnisses auf die Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten wurde in weiterführenden Experimenten vertiefend untersucht: Mit zunehmendem Lamellenverhältnis stiegen die Eigenschaften bei Biegung in der Hauptachse deutlich an und näherten sich den Werten für Vollholz; in der Nebenachse wurde der umgekehrte Trend beobachtet. Bei graphischer Darstellung der Biegeeigenschaften über dem Lamellenverhältnis konnte ein „Umschlagpunkt“ von $R_L \sim 0,41$ festgestellt werden, bei dem die Platten in Haupt- bzw. Nebenachse gleiche Eigenschaften aufwiesen.

Mit größerer Decklagendicke ($R_L = 0,41 \dots 0,77$) nahm die prozentuale Veränderung der Länge sowohl bei Adsorption (IL 85) als auch bei Desorption (DL 35) in der Hauptachse ab. In der Nebenachse war diese Abhängigkeit nicht derart deutlich ausgeprägt, obwohl bei $R_L = 0,77$ durch den erhöhten Anteil des in radialer bzw. tangentialer Richtung quellenden Materials ein zweifach höherer Wert gemessen wurde als bei Platten mit einem Lamellenverhältnis von 0,41.

Die Platten mit niedrigem Lamellenverhältnis wiesen eine geringere Anisotropie hinsichtlich ihres Quell-/Schwindverhaltens in der Haupt- und Nebenachse auf – die Gesamtlängenänderungen $\Delta L \perp$ bzw. $\Delta L \parallel$ lagen auf einem gleichen Niveau von 0,31 %.

Mit zunehmendem Lamellenverhältnis wurden jedoch deutlich höhere Gesamtlängenänderungswerte $\Delta L \perp$ in der Nebenachse im Vergleich zur Hauptachse ($\Delta L \parallel$) gemessen – die diesbezügliche Anisotropie zwischen den Achsen stieg klar an, so dass es bei einem Lamellenverhältnis von $R_L = 0,77$ zu einem Verhältnis $\Delta L \perp : \Delta L \parallel$ von 0,60 % : 0,07 % kam.

Es zeigte sich weiterhin, dass mit einer Erhöhung des Decklagenanteils die im Differenzklima zu bestimmenden Formänderungswerte, ebenso wie deren Anisotropie, teilweise nachdrücklich anstiegen. Im Bereich bis $R_L = 0,67$ war nur eine geringe Veränderung der Formstabilität zu verzeichnen, darüber hinaus nahm die Entwicklung der Formänderungswerte einen nahezu exponentiellen Verlauf.

Die abschließend an dreilagigen Platten durchgeführten Untersuchungen zum Einfluss der Lamellenfeuchten und der eingesetzten Bindemittel hatten die Verringerung der teilweise sehr hohen Presszeiten (Presszeitfaktoren bis zu 90 s pro mm zu durchwärmender Plattendicke) zum Ziel.

Die Erhöhung der Lamellenfeuchten vor der Verpressung zeigte nicht den gewünschten Erfolg: Es kam nicht zu einer schnelleren Durchwärmung der Lamellen (der erhoffte Wärmetransport durch Verdampfung der Wassers in die innenliegenden Plattenzonen

kam nicht zustande, feuchtere Platten wurden aufgrund der benötigten Energie zur Verdampfung des Wasser sogar langsamer erwärmt) und die Platten zeigten nach der Verpressung verstärkt verkaufsmindernde Decklagenrisse.

Durch das bessere Gegendruckvermögen der trockeneren Lamellen wurde an diesen Platten gleichzeitig höhere Eigenschaften bestimmt, da es zu einer besseren Ausprägung der Leimfuge kam.

Platten, die mit trockeneren Lamellen hergestellt wurden, wiesen nach Lagerung im Feuchtklima, unabhängig vom verwendeten Bindemittel und ihrer Lage in Haupt- bzw. Nebenachse, fast grundsätzlich höhere Längenänderungen auf als Massivholzplatten aus feuchteren Lamellen. Dies ist auf die geringere Feuchte nach der Verpressung und den damit verbundenen größeren Feuchtegradienten zurückzuführen. Mit zunehmender Lamellenfeuchte sank demzufolge das Potenzial zur Längenzunahme im Feuchtklima nachweisbar ab.

Auf die Formänderungen der Platten bei Lagerung im Differenzklima konnten nur geringe Einflüsse der Lamellenfeuchte und der Bindemittelart festgestellt werden.

Da mehrlagige Massivholzplatten zwar exzellente Eigenschaften haben, preislich aber durchaus im oberen Segment herkömmlicher Holzwerkstoffe rangieren und daher bestimmten Einsatzbeschränkungen ausgesetzt sind, hatten abschließende Arbeiten die Untersuchung von Möglichkeiten zur Substitution der Mittellage durch herkömmliche Holzwerkstoffplatten bei gleichzeitiger Beibehaltung (oder sogar Verbesserung) der wichtigsten Eigenschaften zum Inhalt.

Dabei wurden Spanplatten, Sperrhölzer, OSB und Faserplatten gezielt variiertes Dicke als Mittellagensubstitute eingesetzt und die Eigenschaften der sowohl labortechnisch als auch industriell hergestellten Platten untersucht.

Es konnte gezeigt werden, dass sich die Eigenschaften durch den Einsatz der Substitute teilweise sehr deutlich verbesserten und dass bei dünneren Decklagen (sinkendes Lamellenverhältnis) nur unwesentlich verringerte Eigenschaften ermittelt wurden. Die Werte der Verbundplatten bei Biegung (Festigkeit und Elastizität) überschritten in der Hauptachse z. T. deutlich die Ergebnisse der vergleichbaren drei- und auch der fünfplagigen Massivholzplatten, wobei die mit OSB/3 hergestellten Verbundplatten die höchsten Werte aufwiesen. Diese guten Eigenschaften der Verbundplatten wurden nur von Massivholzplatten mit großem R_L von 0,63 erreicht, was jedoch zu Lasten der Eigenschaften in Nebenachse und der Formstabilität ging.

Hervorhebenswert sind die mit den dünneren Decklagen verbundenen wirtschaftlicheren Presszeiten, die es ermöglichen, in kürzerer Zeit Verbundplatten mit im Vergleich zu Massivholzplatten teilweise deutlich besseren Eigenschaften mit geringeren Prozess- und Materialkosten herzustellen.

Kritisch anzumerken ist, dass die Rohdichte der so hergestellten Platten gegenüber handelsüblichen mehrlagigen Massivholzplatten deutlich ansteigt (damit verbunden sind höhere Lasten und ein eingeschränktes Handling) und dass sich der Einsatz von Sperrhölzern als wirtschaftlich nicht sinnvoll erwies.

Bei konstanter Plattendicke zeigten sich die Längenquellung bzw. –schwindung der Verbundplatten in der Hauptachse vergleichsweise unbeeinflusst von der Veränderung des Lamellenverhältnisses. In der Nebenachse kam es bei einer Erhöhung des Holzwerkstoffanteils an der Plattendicke (sinkendes Lamellenverhältnis) zu einer deutlichen Verringerung der Quell- und Schwindvermögens.

In Bezug auf die an den Platten im Differenzklima bestimmten Formänderungswerte war bei einer Senkung des Lamellenverhältnisses bei gleicher Plattendicke eine deutlichen Erhöhung der Formstabilität (Formänderungswerte sinken) in allen Messrichtungen festzustellen. Diese Reduzierung der Verwölbungen machte sich vor allem bei den dünnen Platten (19 mm) bemerkbar.

Die in den vorliegenden Untersuchungen ermittelten Ergebnisse und Zusammenhänge sind aufgrund der Validierung in umfangreichen Industrierversuchen direkt in der Praxis umsetzbar und sollten dazu beitragen, mehrlagige Massivholzplatten gezielter und effektiver herzustellen und diesen durchaus als High-Tech-Werkstoffe zu bezeichnenden Platten einen breiteren Marktzugang zu eröffnen.

Problematisch ist noch die sinnvolle Gestaltung eventuell in der Platte liegender Plattenstöße der Mittellagensubstitute, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter untersucht werden konnte, die aber ein wichtiges Kriterium für die Tragfähigkeit derartiger Verbundplatten sein werden. Hier sind weiterführende Untersuchungen notwendig.

Weiterführende Arbeiten sollten in gleichem Maße dem Trend der Herstellung leichterer Werkstoffe gewidmet sein. Die Verwendung von leichten Faserplatten, hergestellt sowohl im Nass- als auch im Trockenverfahren, und Balsastirnholzmittellagen ist daher bereits Gegenstand laufender Arbeiten.

Es wird ebenso als sinnvoll angesehen, durch die gezielte Wahl vergüteter Decklagen den Einsatz von Massivholzplatten in klimatisch belasteten Außenbereichen (Fassadenplatten) zu ermöglichen. Sicher werden eine ganze Reihe von Problemen hinsichtlich der Verklebungsqualitäten, der Plattenaufbauten und der unterschiedlichen Quellschwindverhalten der miteinander verklebten Hölzer auftreten, deren Lösung aber zu neuen Möglichkeiten für mehrlagige Massivholzplatten führen werden.

Ein weiterhin lohnender Ansatz wäre die Abschätzung von Möglichkeiten, mehrlagige Massivholzplatten kontinuierlich herzustellen. Dazu bedarf es jedoch weiterführender Untersuchungen zur Wahl von Klebstoffen mit extrem hoher Anfangshaftung und der maschinentechnischen Umsetzung verschiedener Fügesysteme im Plattenmaßstab.

Zum Abschluss ist auf einige Einschränkungen der Arbeit hinzuweisen. So wurde der Vergleich der unterschiedlichen Berechnungsansätze als „Mittel zum Zweck“ der Abschätzung von Platteneigenschaften verwendet. Eine vertiefte Durchdringung und Bearbeitung der Problematik, beginnend von den statischen Grundlagen über die letzten Entwicklungen bis hin zu weiteren Reihenversuchen hätte zwar den Rahmen der Arbeit gesprengt, würde jedoch zu einer deutlichen Vertiefung der Aussagegenauigkeit führen. Gleiches gilt für die Abschätzung von Eigenschaften von Verbundplatten. Durch die Komplexität der Problematik – der für die Berechnung heranzuziehende Basiswert setzt sich aus einer Kombination von Vollholz- und Holzwerkstoffwerten zusammen – musste aus Zeitgründen auf eine Herleitung von Basiswerten und eine Berechnung von Eigenschaften für die Verbundplatten verzichtet werden. Gerade für diese neuartigen Kombinationswerkstoffe jedoch ist eine derartige Abschätzung von Plattenwerten für eine anforderungsgerechte Produktion dieser Werkstoffe von großer Bedeutung. Es ist daher außerordentlich empfehlenswert, an dieser Stelle weiterführende Arbeiten anzusetzen.

Es ist gleichfalls als Einschränkung zu sehen, dass auf Untersuchungen des Einflusses gezielt variiertes Jahrringlagen der Lamellen vor dem Hintergrund von Zeit- und Praktikabilitätsgründen verzichtet wurde. Gerade mit Bezug auf die vielfach angesprochenen hygrischen Eigenschaften Dimensionsänderung und Formstabilität hätten sich bei entsprechenden Analysen hier neue Erkenntnisse ergeben.

5 Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis

Die Inhalte der in der vorliegenden Dissertationsschrift vorgestellten Arbeiten haben einen teilweise ausgeprägten Praxisbezug. So ist das zu Beginn der Untersuchungen aufgestellte Eigenschaftsprofil seit 2004 Basis eines durch die sog. Initiative Massivholzplatten¹²⁴ unter weiterer Einbeziehung von Industrie- und Normungsvertretern ins Leben gerufenen Projekts zur normativen Absicherung von charakteristischen Werten ein- und mehrlagiger Massivholzplatten.

Ziel dieses Vorhabens ist es, charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte für ein-, drei und mehrlagige Massivholzplatten auf der Grundlage des in dieser Arbeit erstellten Datenpools und der bereits stattgefundenen Auswertung zu entwickeln. Bei erfolgreichem Abschluss ist davon auszugehen, dass im Mai 2006 DIN EN 13 353:2003 überarbeitet und prEN 12 369-3 „Charakteristische Werte von ein- und mehrlagigen Massivholzplatten“ in den nationalen Normungsgremien der europäischen Mitgliedsländer zur Umfrage versandt wird.

Nach der Annahme des Entwurfs und der Einführung in die nationalen Baurechte können dann alle CE-gekennzeichneten Massivholzplatten unter Benutzung der dafür hergeleiteten charakteristischen Kennwerten direkt berechnet und tragend/aussteifend europaweit in Bauwerken verwendet werden.

Bei allen kritischen Bedenken, die dem deutschen Sicherheitsanspruch auch in diesem Zusammenhang des öfteren entgegengebracht werden, ist an dieser Stelle jedoch darauf hinzuweisen, dass derzeit bisher nur in Deutschland die Möglichkeit eines auf konkreten Werten beruhenden konstruktiven Einsatzes mehrlagiger Massivholzplatten besteht, da hier von vielen Herstellern der Weg einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung beschritten werden kann.

Die in diesem Verfahren ermittelten Werte gelten nur für Platten eines speziell festgelegten Aufbaus und sind auf andere Plattentypen nicht übertragbar. Von daher ist die Festlegung europaweit allgemein geltender charakteristischer Werte, auch wenn sie aufgrund der breiten Streuung der ihnen zugrunde liegenden Stichprobe weitaus „konservativer“ als die jeweiligen Einzelwerte der Hersteller ausfallen, als Fortschritt und markteröffnende Maßnahme zu werten. Die Aussicht eines jeden Herstellers, aufgrund weitergehender Prüfungen eigene, bessere Werte zu deklarieren, bleibt davon unbesehen und eröffnet weitere Gelegenheiten zur Differenzierung.

Die Möglichkeit, durch Anwendung der in dieser Arbeit zusammenfassend vorgestellten Rechnungsansätze verschiedene Eigenschaften mehrlagiger Massivholzplatten unter Verwendung der entweder hier vorgeschlagenen oder der eigenen herstellerspezifischen Basiswerte vorausberechnen zu können, stellt sich als weitere Vorteil heraus und wird den Herstellern die gezielte Werkstoffproduktion auf Kundenwunsch ermöglichen.

Mit Bezug auf die vielfältigen Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der Lamellengeometrien und der Plattenstrukturen (z.B. Lamellenverhältnis) auf weitere Eigenschaften (z.B. Dimensions- und Formänderungswerte) können nicht nur Eigenschaften vorabgeschätzt-, sondern auch wirtschaftliche Gesichtspunkte mit in die Überlegung einbezogen werden. So hat die Senkung des Lamellenverhältnisses einen direkten Einfluss auf die Presszeiten und damit auf die Wirtschaftlichkeit der Plattenherstellung; die Berück-

¹²⁴ privatrechtliche Vereinigung von österreichischen, italienischen und deutschen Massivholzplattenherstellern und Bindemittelproduzenten

sichtigung des Einflusses auf die Formstabilität führt zu einer Senkung der Reklamationen.

Die Ergebnisse der Versuche zur Verwendung herkömmlicher Holzwerkstoffe als Mittellagensubstitute zeigten sowohl im Labor als auch in der Industrie, dass mit einem Einsatz in der Mittellage dreilagiger Massivholzplatten folgende Vorteile verbunden sein können:

1. Die Herstellung von dreilagigen Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen ist durch die Verwendung von Holzwerkstoffen preisgünstiger (je nach aktuellem Holzwerkstoffpreis bis zu 300 € pro m³). Die Verbundplatten weisen dabei teilweise bessere Eigenschaften auf als herkömmliche Massivholzplatten gleicher Nenndicke.
2. Durch den Einsatz von vergleichsweise dünnen Decklagen werden Platten mit guten Eigenschaften in kürzerer Presszeit herstellbar – die Effektivität der Produktion erhöht sich.
3. Durch den Wegfall der Mittellagen-Vorfertigung und dem möglichen exakten Zugschnitt der Mittellagensubstitute durch die Holzwerkstoff-Lieferanten kommt es zu einer weiteren Erhöhung der Produktivität bei gleichzeitiger Kostenersparnis.
4. Die substituierten, i. allg. qualitativ geringwertigeren Mittellagenlamellen können anderweitig eingesetzt werden (z.B. Erweiterung der Angebotspalette auf Brettstapelprodukte).
5. Bei der Produktion von Platten, die später in Bereichen eingesetzt werden sollen, in denen DIN 68 800-2 die Holzwerkstoffklasse 20 vorschreibt, können die derzeit zur Lagenverleimung verwendeten MUF-Harze durch preisgünstigere UF-Harze ersetzt werden.

Zur weiteren Umsetzung der Ergebnisse wurden zwei Patente angemeldet (DE 100 36 034 A1; EP 1 176 001 A1) und mittlerweile erteilt; die Untersuchungen wurden auf den Einsatz leichter Holzwerkstoffe ausgedehnt.

Ein Großteil der in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse wurden in Industrieversuchen validiert und sind daher direkt übertragbar. Sie können dazu dienen, den Herstellungsprozess mehrlagiger Massivholzplatten effektiver und kostengünstiger zu gestalten und diesen bisher noch zu wenig beachteten „Engineered Wood Products“ eine höhere Marktakzeptanz zu verschaffen und neue Märkte zu eröffnen.

6 Literatur

- Amschl, B. 2003: „Initiative“ wird für Massivholzplatten aktiv. Holz-Zent.bl. 73, S. 1039
- Anonymus 1995: Maschinelle Sortierung für Massivholzplattenherstellung. Internat. Holzmarkt 86, Heft 12, S. 23-24
- Anonymus 1997: Massivholz: Leimholzprodukte gewinnen immer mehr an Bedeutung. EUWID Holz spezial
- Anonymus 1997a: Der Markt für Massivholzplatten: Leimholzprodukte gewinnen immer mehr an Bedeutung. EUWID Holz spezial: Massivholz, Holzwerkstoffe, Oberflächen, S. 12-20
- Anonymus 1997b: Präsentation bei Interholz – Neue bauaufsichtlich zugelassene, endlos keilgezinkte Platte. Holz-Kurier Heft 16, S. 23
- Anonymus 1998a: Marktüberblick Leimholzplatten im deutschsprachigen Raum. Eine Dokumentation der EUWID Marktforschung. Mai 1998
- Anonymus 1998b: Marktübersicht Massivholzplatten. HK, Holz- Kunstst.verarb. 33, Heft 5, S. 56-63
- Anonymus 1998c: Anstieg der Massivholzplatten-Produktion; Seit 1990 fast 100% Steigerung. EUWID Holz Spezial: Holzwerkstoffe & Oberflächen, S. 52-55
- Anonymus 1998e: Hochfrequenz für Holzbauteile. Holzbau-Magazin, Supplement von Holz-Zent.bl. und HK, S. 38-40
- Anonymus 1999: Flexible Leimholzplattenherstellung mit Hochfrequenz-Technik. Holz-Zent.bl., Nr. 91, S. 1254
- Anonymus 1999a: Bau & Innenausbau: Europas Leimholzmarkt wächst trotz Preisdruck weiter. EUWID Holz special, S. 71-74
- Anonymus 1999b: „Hölzerne“ Fassadenbaustoffe – eine Marktübersicht. bauen mit holz Heft 9, S. 54-58
- Anonymus 1999c: Fassaden. bauen mit holz Heft 9, S. 26-30
- Anonymus 1999d: Innovative Massivholzprodukte aus dem Jura. Holz-Zent.bl. Nr. 136, S. 1838-1839
- Anonymus 1999e: Neue Anlage für Massivholzplatten in Italien. Holz-Zent.bl. Nr. 100, S. 1337
- Anonymus 1999f: Aus kreuzweise verleimten Brettern. bauen mit holz Heft 5, S. 42-45
- Anonymus 2000a: Die Massivholzplattennormung steht zur Diskussion. Holz-Zent.bl. 126, S. 230
- Anonymus 2000b: Torwegge stellt Hochfrequenzpresse für Leimholzplatten vor. Holz-Zent.bl. 26, S. 352
- Anonymus 2002: KVH bis 120 mm Stärke und BSH mit mehr als 300 m/min maschinell sortieren. HOB, Holzbearb., Ludwigsburg 49, Heft 12, S. 16
- Anonymus 2003a: Initiative „Massivholzplatten“ gegründet. HK Holz- Kunstst.verarb 4, S. 22
- Anonymus 2003b: Initiative für Massivholzplatten. Holz-Zent.bl. Nr. 25, S. 408
- Barbu, M.; Aigner, T.; Schrenk, M.; Michanikl, A. 2003: Spanloses Schneiden von Holz - Teil 1. Grundlagen und aktuelle Entwicklungen – Anwendungsmöglichkeiten von der Furnier- bis zur Lamellenerzeugung. Holz-Zent.bl. 130, Nr. 4, S. 63-64
- Barbu, M.; Aigner, T.; Schrenk, M.; Michanikl, A. 2004: Spanloses Schneiden von Holz - Teil 2. Grundlagen und aktuelle Entwicklungen – Anwendungsmöglichkeiten von der Furnier- bis zur Lamellenerzeugung. Holz-Zent.bl. 130, Nr. 9, S. 126-127

- Barbu, M.; Aigner, T.; Schrenk, M.; Michanikl, A. 2004: Spanloses Schneiden von Holz - Teil 3. Faserabweichungen, Drehwuchs und Astigkeit haben beim spanlosen Schneiden erheblichen Einfluss auf die Oberflächenqualität. Holz-Zent.bl. 130, Nr. 62, S. 822
- Bierwirth, T. 1994a: Die industrielle Verleimung von Massivholzplatten. Holz-Zent.bl. 120, Nr. 137/138, S. 2307-2310
- Bierwirth, T. 1994b: Industrielle Verleimung von Vollholzplatten. Bau- Möbelschrein. 87, Heft 9, S. 124, 126, 128
- Binder 1993: Massivholzplatten mit Gütezeichen und Formaldehydabgabe-Testat. HK, Holz-Kunstst.verarb 3, S. 265
- Blaß, H. J. 1998: Aktuelle Forschung und Entwicklung ... im Holzbau zeigt große Zukunftspotentiale auf. bauen mit holz Heft 10, S. 93-94
- Blaß, H. J. 2002: Allgemeingültiges Rechenverfahren zu Mehrschichtplatten. DGfH-aktuell 84-12, S. 4-5
- Blaß, H. J.; Fellmoser, P. 2003: Bemessung von Mehrschichtplatten. www.rz.uni-karlsruhe.de/~gc20/IHB/PUBLIC/30.pdf, letzter Aufruf 15. August 2005
- Blaß, H. J.; Fellmoser, P. 2003: Design of solid wood panels with cross layers. www.rz.uni-karlsruhe.de/~gc20/IHB/PUBLIC/36.pdf, letzter Aufruf 15. August 2005
- Blaß, H. J.; Görlacher, R. 1996: Visuelle und maschinelle Festigkeitssortierung von Vollholz. Mikado 5, S. 64-71
- Blaß, H. J.; Görlacher, R. 2003: Holzbau Kalender 2003, Abschnitt IV: Bemessung im Holzbau, IV.1 Brettsperrholz – Berechnungsgrundlagen. Bruderverlag Karlsruhe, S. 580-598
- Bundeswaldinventur II 2005: Bundeswaldinventur ² - Alle Ergebnisse und Berichte. www.bundeswaldinventur.de, letzter Aufruf am 15. August 2005
- Charta für Holz 2004: Verstärkte Holznutzung – Zugunsten von Klima, Lebensqualität Innovationen und Arbeitsplätzen (Charta für Holz). www.verbraucherministerium.de, letzter Aufruf am 15. August 2005
- Denzler, J. K.; Diebold, R.; Glos, P. 2005: Nondestructive Testing of Wood. 14th International Symposium, LIGNA Hannover, Tagungsband, S. 8-15
- Deppe, H.-J. 1996: Die Massivholzplatte - Alternative oder Ergänzung? Holz Kurier Design, Heft 4, S. 4-5
- Devantier, B.; Tobisch S. 1997: Durchführung des prüftechnischen Teils zur Beantragung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von Fichte-3-Schicht-Platten, Entwicklungs- und Prüflabor Holztechnologie Dresden GmbH (eph): PB 216131
- Dinwoodie, J. M.; Higgins, J.-A.; Paxton, B. H.; Robson, D. J. 1990: Creep research on particle-board. Holz Roh Werkst. 48, S. 5-10
- Donzé, M., Niemz, P. 2004: Orientierende Untersuchungen zur Modellierung der Eigenschaften dreischichtiger Massivholzplatten. Holz 1, S. 27-30
- Dube, H. 1999: Zum Kriechverhalten von Massivholzplatten. Vortrag zum 3. Holzwerkstoff-Kolloquium am 09.12.99 im ihd Dresden, Tagungsband S. 62-72
- Dunky, M. 2000: Bindemittel – Aufbruch ins nächste Jahrtausend. Holz-Zent.bl. 126, Nr. 18, S. 266-267
- Dunky, M.; Niemz, P. 2002: Holzwerkstoffe und Leime – Technologie und Einflussfaktoren. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York
- Ehrentreich, W. 1991: Ein- und mehrschichtige Massivholzplatten mit hohem Anspruch. Holz-Zent.bl. 117, Nr. 104, S. 1588-1590
- EPF 2002: European Panel Federation: Annual Report 2001 – 2002. Brussels

- EPF 2003: European Panel Federation: Annual Report 2002 – 2003. Brussels
- EPF 2005: European Panel Federation: Annual Report 2004 – 2005. Brussels
- Erb, A.; Brückner, P. 1999: Reaktive PUR-Schmelzklebstoffe und thermoplastische Systeme. Holz-Zent.bl. 122, Nr. 6, S. 62
- Eschenlohr, F. 1999: Massiv und doch aus Holz gebaut mikado 9, S. 46-49
- Euwid 2003-11: Hersteller starten eine Initiative Massivholzplatten. Europäischer Wirtschaftsdienst – Holz und Holzwerkstoffe, Heft 11, S. 9
- Euwid 2003-25: Angebotsüberhang bei Nadelholzplatten hält an. Europäischer Wirtschaftsdienst – Holz und Holzwerkstoffe, Heft 25, S. 12
- Euwid 2003-27: Anpassung der MDF-Produktion soll zu einer Preisstabilisierung beitragen / Weiterhin hohe Angebot bei Beton-Schalungstafeln / EPF erwartet erst 2004 Belebung der europäischen Holzwerkstoffmärkte. Europäischer Wirtschaftsdienst – Holz und Holzwerkstoffe, Heft 27, S. 12-15
- Euwid 2003-28: Auslastung der OSB-Hersteller hat sich im Verlauf des Juni weiter verbessert. Europäischer Wirtschaftsdienst – Holz und Holzwerkstoffe, Heft 28, S. 7
- Euwid 2003-7: Holzwerkstoffindustrie rechnet 2003 mit zunehmenden Ertragsproblemen. Europäischer Wirtschaftsdienst – Holz und Holzwerkstoffe, Heft 7, S. 1, 10
- European Wood Factsheets 2005: Wood in sustainable development - European Wood Factsheet. www.cei-bois.org/prowood/argumentsprowood.html, letzter Aufruf am 15. August 2005
- FEIC 2005: European Federation of the Plywood Industry: Annual Report 2004 – 2005. Brussels
- Gecks, J. 2005: Gegenüberstellung des Berechnungsansatzes nach /Donzé, Niemz 2004/ mit den Herleitungen nach /Blaß, Fellmoser 2003/. Schriftliche Mitteilung 25. August 2005
- Gindl, W. 1998: Einfache Methode zur Verringerung der Drehverformung bei dreischichtigen Massivholzplatten. Holzforsch. Holzverwertung 50, Heft 3, S. 49-50
- Glos, P.; Diebold, R. 1997: Aktuelle Entwicklung im Bereich der Holzsortierung. Holz-Zent.bl. 123, Nr. 28, S. 26, 28
- Glos, P.; Diebold, R.; Schleifer, A. 2000: Höherwertige Nutzung von Bauholz aus einheimischen Laub- und Nadelhölzern durch maschinelle Sortierverfahren. Abschlußbericht 98511, Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft
- Glos, P.; Schleifer, A. 2002: Maschinelle Festigkeitssortierung von Kiefern Schnittholz. Institut für Holzforschung, TU München, Abschlußbericht 01515
- Glos, P.; Schulz, H. 1980: Stand und Aussichten der maschinellen Schnittholzsortierung. Holz Roh Werkst. 38, S. 409-417
- Görlacher, R. 1993: Maschinelle Holzsortierung - aktuelle Entwicklungen und erste Erfahrungen aus der Praxis. Holzforsch. Holzverwertung, Heft 4, S. 65
- Görlacher, R. 2002: Ein Verfahren zur Ermittlung des Rollschubmoduls von Holz. Holz Roh Werkst. 60, S. 317-322
- Grünholz, A. 1999: Massivholzplatten „XXL“ aus der Zentral-Schweiz. Holz-Zent.bl. 125, Nr. 28, S. 1728
- Halász, R.; Scheer, C. 1986: Holzbau – Taschenbuch. Band 1 - Grundlagen, Entwurf und Konstruktion
- Herrmann, W. 1996: Massivholzplatten gewinnen Marktanteile. HK, Holz Kunstst.verarb. 31, Heft 1, S. 34-35

- Holzlexikon 2003: Nachschlagewerk für die Holz- und Forstwirtschaft. Band 1 und 2, 4. Auflage, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH&Co. KG, Leinfelden Echterdingen
- Howald, M. T.; Niemz, P. 2004: Holzwerkstoffe auf Zug und Druck. HOB, Holzbearb. Ludwigsburg 51, Heft 4, S. 62-64
- Interholz Raimann GmbH 1992: Automatisches Ausflicken großer Massivholzplatten. HK Holz Kunstst.verarb. 27, Heft 4, S. 439-440
- Jensen, U.; Kehr, E. 1995 A: Untersuchungen über das Stehvermögen von MDF und Spanplatten. Holz Roh Werkst. 53, S. 369-376
- Jensen, U.; Kehr, E. 1995 B: Gegenüberstellung des Stehvermögens von MDF, Spanplatten und OSB. Holz-Zent.bl. 121, Nr. 105, S. 1614-1616
- Jensen, U.; Krug, D. 1999: Vergleich von Holzwerkstoffen für den Bau, Formstabilität durch richtungsorientierte Struktur bei Massivholzplatten, OSB und Langspanholz. Holz-Zent.bl. 125, Nr. 3/4, S. 30, 32
- Jensen, U., Tobisch, S. 2000: Verbesserung der Formstabilität asymmetrisch beschichteter MDF und Spanplatten insbesondere bei der Anwendung der Formpress-Beschichtung und der Furnierbeschichtung. Abschlußbericht Reg.-Nr. A 2278
- Johannson, L. 1997: Limmade komponenter i stället för pinnar och flis (Leimholz anstelle von Holzresten und Hackschnitzeln) Saagverken, Stockholm, Heft 3, S. 27
- Kehr, E. 1998: Die Holzwerkstoffindustrie im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie. Vortrag Fachtagung „Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie“ 24./25.06.1998 Göttingen
- Kersken-Bradley, M.: Tabelle zur Ermittlung von Ks-Werten für die Bestimmung statistischer Schätzwerte von Quantilen aus Stichprobenergebnissen bei Normalverteilung. Deutsches Institut für Bautechnik Berlin (DIBt). s.d.
- Keylwerth, R. 1951: Die anisotrope Elastizität des Holzes und der Lagenhölzer. VDI-Forschungsheft 430, Beilage zu „Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens“ Ausgabe B Band 17, Deutscher Ingenieur-Verlag Düsseldorf
- Kollmann, F. 1951: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Erster Band, Springer-Verlag
- KLH 2003: Produktbeschreibung Kreuzlagenholz. Homepage der KLH Massivholz GmbH www.klh.at, letzter Aufruf am 18. Juli 2003
- Kreuzinger, H. 1999: Platten, Scheiben und Schalen. Ein Berechnungsmodell für gängige Statikprogramme. bauen mit holz Heft 1, S. 34-39
- Krug, D. 2000: Massivholzplatten – ein „neuer“ Holzwerkstoff. Vortrag Messe Innenausbau und Holztec 2000 am 17.09.00 in Leipzig
- Krug, D. 2002: Massivholzplatten – ein „neuer“ Holzwerkstoff. Stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Freiburger Forschungshefte 2002, TU Bergakademie, S. 22-41
- Krug, D.; Tobisch, S. 2000: Untersuchungen zu technologischen Einflussgrößen bei der Herstellung ein- und dreischichtiger Massivholzplatten mit dem Ziel, durch Verbesserung wesentlicher Platteneigenschaften neue Einsatzmöglichkeiten für diese Werkstoffe zu erschließen. Abschlußbericht eines über das Bundesministerium für Wirtschaft geförderten Projekts, Reg.-Nr. 116/98
- Krug, D.; Tobisch, S.; Faust, E. 1999: Massivholzplatten für konstruktive Anwendungen, Teil 1 und 2. Holz-Zent.bl. 125, Nr. 94 und 100, S. 1282, 1283, 1335, 1336
- Kruse, K.; Venschott, D. 2001: Eigenschaften und Einsatzpotentiale neuer Holzwerkstoffe im Bauwesen. Arbeitsbericht Nr. 2001/02, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirt-

- schaft und Ordinariate für Holzbiologie, Holztechnologie und Weltforstwirtschaft der Universität Hamburg
- Leible, O. 1996: Umweltgerechte und ökonomische Produktion von Schnittholz mit der neuartigen Schneidtechnik. Holz-Zent.bl. 122, Nr. 154/155 und 156/157, S. 2469-2470, 2509
- Leukens, U. 2003: Lichtblick nur bei MDF. HK, Holz Kunstst.verarb. 38, Heft 4, S. 42
- Mohr, C. 2000: Herstellung von mehrlagigen Massivholzplatten, Beschreibung aktueller Probleme, Hinweise zur Vermeidung von Produktionsfehlern, Sicherheitsvorkehrungen. Holz-Zent.bl. 126, Nr. 69, S. 958
- Närdemann, C. 1999: Massivholzplatten a la carte. Bau- Möbelschrein. 54, Heft 8, S. 80-82
- Neuhaus, H. 1994: Lehrbuch des Ingenieurholzbau. B. G. Teubner Stuttgart
- Niemz, P. 1993: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW Verlag Leinfelden-Echterdingen
- Niemz, P. 1999: Entwicklungstendenzen bei Holzwerkstoffen. Holz-Zent.bl. 125, Nr. 127, S. 1726-1727
- Niemz, P. 2001: Fassadenbekleidungen aus Holz; Dreischichtige Massivholzplatten; Spannungen bei Klimawechsel. Kompetenz-Zentrum Holz, 9. Jahrgang, Heft 2, EMPA Dübendorf und St. Gallen, S. 2-3
- Niemz, P., Wang, X. 2002: Spannungsausbildung in dreischichtigen Massivholzplatten bei Klimawechsel. Holzforsch. Holzverwertung 54, Heft 4, S. 82-83
- Niemz, P.; Petzold, H.; Häupl, P. 2003: Untersuchungen zur Messung und Simulation der Feuchteänderung von dreischichtigen Massivholzplatten bei Klimawechsel. Holz Roh Werkstoff 61, Heft 1, S. 8-12
- Niemz, P.; Popper, R.; Eberle, G. 2002: Untersuchungen zu mechanisch-physikalischen Eigenschaften mehrschichtiger Massivholzplatten für das Bauwesen. Holz, Heft 1, S. 33-36
- Park, H.-M.; Fushitani, M.; Kubo, T.; Sato, K.; Byeon, H.-S. 2002: Bending creep performance of cross-laminated sugi wood. Mokuzai Gakkaishi 48, Heft 2, S. 166-177
- Patsch, R.; Humenberger, H. 1996: Die neue Dünnschnitt-Technologie. Holz-Kurier 41, Heft 24, S. 6-7
- Pfeifer s.d.: Produktdatenblatt Schalungsplatten dreischichtig, Holzschalungsträger. Fa. Holzindustrie Pfeifer GmbH&Co KG, Imst, Österreich, s.d
- Plattes, D. 1999: Untersuchungen zur Beeinflussung der elastomechanischen Eigenschaften in Plattenebene von dreilagigen Massivholzplatten durch gezielte Variation struktureller Parameter. Diplomarbeit, Staatliche Studienakademie Dresden
- Popper, R.; Niemz, P.; Eberle, G. 2002: Formbeständigkeit von Holzwerkstoffen bei Differenzklimalagerung unter stationären Bedingungen. Holzforsch. Holzverwertung Heft 3, S. 62-65
- Popper, R.; Niemz, P.; Eberle, G. 2004: Untersuchungen zu Diffusionsvorgängen in mehrschichtigen Massivholzplatten. Holz Roh Werkst. 62, S. 253-260
- Radovic, B. 2003: DIN 4074 neu – Sortieren nach der Tragfähigkeit. Mikado 5, S. 14-18
- Ressel, J. B. 2004: Presstrocknung – Verfahrenstechnik. Vorlesungsreihe Verfahrenstechnik
- Risi, W. 2001: Dreischichtige Massivholzplatten – Verhalten bei Wetterbeanspruchung. Kompetenz-Zentrum Holz, 9. Jahrgang, Heft 2, EMPA Dübendorf und St. Gallen, S. 4-7
- Risi, W. 2002: Verhalten von bewitterten Dreischichtplatten. Holz-Zentr.bl, 128, Nr. 122, , S. 1444
- Ross, R.J.; Brashaw, B.K.; Pellerin, R.F. 1998: Nondestructive evaluation of wood. For. Prod. J., Madison 48, Heft 1, S. 14-19

- Sattler, H. 1997: Bedeutung hygrischer Dimensionsänderungen. HK, Holz Kunstst.verarb. 32, Heft 11, S. 48-51
- Sattler, H. 1999a: Hygrisch bedingte Dimensionsänderungen. HK, Holz Kunstst.verarb. 34, Heft 11, S. 48-50
- Sattler, H. 1999b: Hygrisch bedingte Dimensionsänderungen, Diskussion von Ergebnissen aus den Untersuchungen von Holzwerkstoffen (Schluss). HK, Holz Kunstst.verarb. 34, Heft 12, S. 36, 38-40
- Schajer G.S. 2001: Lumber strength grading using x-ray scanning. For. Prod. J., Madison 51; heft 1, S. 43 – 50
- Schmidt-Morsbach, J. 1979: Betonschalungen aus Holz und Holzwerkstoffen. Holz-Zent.bl., Nr. 111, S. 1592
- Schönberg, W. 1961: Flächenelemente aus Abschlagdickten für Güterwagen. Holzindustrie 14, S. 352 - 354
- Schwab, E.; Steffen, A.; Korte, C. 1997: Feuchtebedingte Längenänderungen von Holzwerkstoffen in Plattenebene. Holz Roh Werkst. 55, S. 227-233
- Schwab, E. 2003: Beratungsunterlagen zu prEN 112.406. Schriftliche Mitteilung vom 14. Januar 2003
- Soiné, H. 1995: Holzwerkstoffe Herstellung und Verarbeitung - Platten, Beschichtungsstoffe, Formteile, Türen, Möbel. DRW-Verlag Leinfelden-Echterdingen
- Sonderegger, W.; Niemz, P. 2004: Untersuchung der Rissbildung an bei unterschiedlicher Feuchte verklebten Massivholzplatten. Holz 6, S. 32-34
- Steiger, B.; Niemz, P. 2004: Untersuchungen zu ausgewählten Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von dreischichtigen Massivholzplatten. Holz 2, S. 29-32
- Steiger, B.; Niemz, P.; Hurst, A. 2004: Einfluss des Plattenaufbaus und des Pressdrucks auf die Eigenschaften dreischichtiger Massivholzplatten. Schweiz. Z. Forstwesen 155 () 11, S. 505-513
- Stoiber, F. 1992: Leimholz: Qualitätssicherung bringt Produktionssicherheit für alle. Holz-Kurier 47, Heft 5, S. 9
- Stübi, T.; Niemz, P. 2002: Untersuchungen zur Gütesortierung von Fichtenholz durch Kombination von mehreren Erkennungsmethoden. Holz, z. Möbelherst. Laden- Innenausbau, Meiring 6, S. 35-38
- Teischinger, A.; Fellner, J.; Eberhardsteiner, J. 1998: Überlegungen zur Entwicklung eines Probekörpers zur Prüfung der Verleimungsqualität von Dreischicht-Massivholzplatten, Teil 1. Holzforsch. Holzverwertung Heft 5, S. 99-103
- Tobisch, S. 1999a: Einsatz von Holzwerkstoffen im Bauwesen – Anforderungen und Prüfung. Holz Roh Werkst. 57, S. 29-39
- Tobisch, S. 1999b: Einfluss der Prüfmethodik auf die Biegeeigenschaften dreilagiger Massivholzplatten bei Biegung rechtwinklig zur Plattenebene. Holz Roh Werkst. 57, S. 73-79
- Tobisch, S. 1999c: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung von Massivholzplatten - Voraussetzungen, Durchführung, Konsequenzen-. Vortrag zum 3. ihd-Holzwerkstoffkolloquium
- Tobisch, S. 2000: Gezielte Vergütung und Verarbeitung von Seitenware für den Einsatz im Bauwesen unter erhöhten Anforderungen. Abschlußbericht eines über die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft geförderten Projektes, Reg. Nr. FB3-36-4331.10/232-98

- Tobisch, S. 2003: CE-Kennzeichnung von OSB, Spanplatten, MDF und Massivholzplatten. Vortrag zum Workshop CE-Kennzeichnung am 25. April 2003 im ihd, Vortragsband, S. 58-76
- Tobisch, S.; Devantier, B. 1997: Gutachterliche Stellungnahme zum Einsatz von dreilagigen Massivholzplatten Multistat als tragende und aussteifende Beplankung. Entwicklungs- und Prüflabor Holztechnologie Dresden GmbH (eph): GS 216131
- Tobisch, S.; Hoferichter, E. 1998: Formaldehydemission verschiedener Massivholzplatten. Unveröffentlichte Prüfergebnisse
- Tobisch, S.; Krug, D. 1999: Determination of characteristic values of three-layer solid wood panels from softwood in a thickness range of up to 30 mm for use in structural design. Test report 130810 to CEN/TC 112 / WG 9
- Tobisch, S.; Krug, D. 2001: Massivholzplatten für konstruktive Anwendungen, Teil 2: Einfluss des Plattenaufbaus und anderer Parameter auf die Festigkeitseigenschaften dreilagiger Massivholzplatten. Holz-Zent.bl. 127, Nr. 108, S. 1328-1329
- Tobisch, S.; Krug, D. 2002a: Neuartige mehrlagige Verbundplatten. Vortrag zum MOBIL-Holzwerkstoff-Symposium, 13. September 2002, Bremen
- Tobisch, S.; Krug, D. 2002b: Entwicklung neuartiger mehrlagiger Verbundwerkstoffe mit verbesserten Tragfähigkeits- und Formstabilitätseigenschaften. Abschlußbericht eines über das Bundesministerium für Wirtschaft geförderten Projekts, Reg.-Nr. 1015/00
- Tobisch, S.; Plattes, D. 2000: Eigenschaften dreischichtiger Massivholzplatten. Erste orientierende Untersuchungen zur Beeinflussung der elastomechanischen Eigenschaften in Plattenebene. Holz-Zent.bl. 126, Nr. 85/86, S. 1148, 1150
- Trepkau, B. 2003: Bedeutung der CE-Kennzeichnung für die Holzwerkstoffhersteller. Vortrag zum Workshop CE-Kennzeichnung am 25. April 2003 im ihd, Vortragsband, S. 12-22
- Wagenführ, R. 2000: Holzatlas. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 5. Auflage
- Wagenführ, R.; Niemz, P.; Hänsel, A. 1988: Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften von Vollholz und Holzwerkstoffen. Teil 2. Holztechnologie 29, Heft 1, S. 99-101
- Wiesner, E. 1991: Massivholzplatten: neue Chancen für das Holz. HK, Holz Möbelind. 26, Heft 12, S. 1516-1517
- Zarbock, A. 2000: Untersuchungen zur Verbesserung der Tragfähigkeit von dreilagigen Massivholzplatten aus Nadelholz. Diplomarbeit Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)

Zitierte Normen

- Beiblatt zu DIN 68705-5:1980-10: Bau-Furniersperrholz aus Buche – Zusammenhänge zwischen Plattenaufbau, elastischen Eigenschaften und Festigkeiten.
- DIN 1052:2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- DIN 1052-1:1988-04: Holzbauwerke; Berechnung und Ausführung
- DIN 1052-2:1988-04: Holzbauwerke; Mechanische Verbindungen
- DIN 1052-3:1988-04: Holzbauwerke; Holzhäuser in Tafelbauart, Berechnung und Ausführung
- DIN 4074-1:2003-06: Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz
- DIN 4074-3:2003-06: Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 3: Sortiermaschinen für Schnittholz, Anforderungen und Prüfung
- DIN 52186:1978-06: Prüfung von Holz; Biegeversuch
- DIN 52364:1965-04: Prüfung von Holzspanplatten; Bestimmung der Dickenquellung
- DIN 52615:1987-11: Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen
- DIN 53254:1987-01: Prüfung von Holzklebstoffen; Bestimmung der Klebfestigkeit von Längsverklebungen im Scherversuch
- DIN 53255:1964-06: Prüfung von Holzleimen und Holzverleimungen; Bestimmung der Bindefestigkeit von Sperrholzleimungen (Furnier- und Tischlerplatten) im Zugversuch und im Aufstechversuch
- DIN 68705-3:1981-12: Sperrholz; Bau-Furniersperrholz
- DIN 68705-4:1981-12: Sperrholz; Bau-Stabsperrholz, Bau-Stäbchensperrholz
- DIN 68705-5:1980-10: Sperrholz – Bau-Furniersperrholz aus Buche
- DIN 68763:1990-09: Spanplatten; Flachpressplatten für das Bauwesen; Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Überwachung
- DIN 68800-2:1996-05: Holzschutz - vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau
- DIN 68800-3:1990-04: Holzbauwerke; Holzhäuser in Tafelbauart, Berechnung und Ausführung
- DIN GEN/TS 13354:2003-09: Massivholzplatten - Qualität der Verklebung - Prüfverfahren
- DIN EN 1058:1996-04: Holzwerkstoffe - Bestimmung der charakteristischen Werte der mechanischen Eigenschaften und der Rohdichte
- DIN EN 1087-1:1995-04: Spanplatten - Bestimmung der Feuchtebeständigkeit - Teil 1: Kochprüfung
- DIN EN 1195:1998-06: Holzbauwerke – Prüfverfahren – Tragverhalten tragender Fußbodenbeläge
- DIN EN 12369-1:2001-04: Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Teil 1: OSB, Spanplatten und Faserplatten
- DIN EN 12775:2001-04: Massivholzplatten - Klassifizierung und Terminologie
- DIN EN 12871:2001-09: Holzwerkstoffe - Leistungsspezifikationen und Anforderungen für tragende Platten zur Verwendung in Fußböden, Wänden und Dächern
- DIN EN 13017-1:2001-03: Massivholzplatten - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 1: Nadelholz
- DIN EN 13017-2:2001-03: Massivholzplatten - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 2: Laubholz

- DIN EN 13353:2003-09: Massivholzplatten (SWP) - Anforderungen
- DIN EN 13879:2002-09: Holzwerkstoffe - Bestimmung der Eigenschaften bei Hochkantbiegung
- DIN EN 13986:2005-03: Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen - Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung
- DIN EN 14279:2005-03: Furnierschichtholz (LVL) - Definitionen, Klassifizierung und Spezifikationen
- DIN EN 204:2001-09: Klassifizierung von thermoplastischen Holzklebstoffen für nichttragende Anwendungen
- DIN EN 205:2003-06: Klebstoffe - Holzklebstoffe für nichttragende Anwendungen - Bestimmung der Klebfestigkeit von Längsklebungen im Zugversuch
- DIN EN 300:1997-06: Platten aus langen, schlanken, ausgerichteten Spänen (OSB) - Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen
- DIN EN 310:1993-08: Holzwerkstoffe; Bestimmung des Biege - Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit
- DIN EN 312:2003-11: Spanplatten - Anforderungen
- DIN EN 314-1:2005-03: Sperrholz - Qualität der Verklebung - Teil 1: Prüfverfahren
- DIN EN 317:1993-08: Spanplatten und Faserplatten; Bestimmung der Dickenquellung nach Wasserlagerung
- DIN EN 318:1993-08: Holzwerkstoffe. Bestimmung von Maßänderungen in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte
- DIN EN 318:2002-06: Holzwerkstoffe. Bestimmung von Maßänderungen in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte
- DIN EN 319:1993-08: Spanplatten und Faserplatten; Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene
- DIN EN 322:1993-08: Holzwerkstoffe; Bestimmung des Feuchtegehaltes
- DIN EN 323:1993-08: Holzwerkstoffe; Bestimmung der Rohdichte
- DIN EN 326-1:1994-08: Holzwerkstoffe - Probenahme, Zuschnitt und Überwachung - Teil 1: Probenahme und Zuschnitt der Prüfkörper sowie Angabe der Prüfergebnisse
- DIN EN 326-2:2000-10: Holzwerkstoffe - Probenahme, Zuschnitt und Überwachung - Teil 2: Qualitätskontrolle in der Fertigung
- DIN EN 338:2003-09: Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen
- DIN EN 622-2:2004-07: Faserplatten - Anforderungen - Teil 2: Anforderungen an harte Platten
- DIN EN 622-3:2004-07: Faserplatten - Anforderungen - Teil 3: Anforderungen an mittelharte Platten
- DIN EN 622-4:1997-08: Faserplatten - Anforderungen - Teil 4: Anforderungen an poröse Platten
- DIN EN 622-5:1997-08: Faserplatten - Anforderungen - Teil 5: Anforderungen an Platten nach dem Trockenverfahren (MDF)
- DIN EN 634-2:1996-10: Zementgebundene Spanplatten - Anforderungen - Teil 2: Anforderungen an Portlandzement (PZ) gebundene Spanplatten zur Verwendung im Trocken-, Feucht- und Außenbereich
- DIN EN 636:2003-11: Sperrholz - Anforderungen
- DIN EN 717-1:2005-01: Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode

- DIN EN 789:2005-01: Holzbauwerke - Prüfverfahren - Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen
- DIN V 20000-1:2005-12: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 1: Holzwerkstoffe
- DIN V ENV 1156:1999-03: Holzwerkstoffe – Bestimmung der Zeitstandfestigkeit und Kriechzahl
- DIN V ENV 12872:2000-12: Holzwerkstoffe – Leitfaden für die Verwendung von tragenden Platten in Böden, Wänden und Dächern
- DIN V ENV 14272:2002-12: Sperrholz – Rechenverfahren für einige mechanische Eigenschaften
- DIN V ENV 1995-1-1:1994-06: Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau
- ÖNORM B 3021:1991-03: Massivholzplatten - Einschichtige Massivholzplatten, Arten und Anforderungen.
- ÖNORM B 3022:1991-03: Massivholzplatten - Mehrschichtige Massivholzplatten, Arten und Anforderungen.
- ÖNORM B 3023:1991-03: Massivholzplatten - Dreischichtige Betonschalungsplatten, Arten und Anforderungen.
- ÖNORM B 3024:1992-09: Massivholzplatten - Prüfung

Zitierte Patente

- DE 100 36 034: Mehrlagige Holzverbundplatten. Tobisch, S.; Krug, D.
- DE 19719442: Verklebte Holzplatte. Haug, M.
- DE 2946219: Schalungsplatte. Peer, G.
- DE 3840093: Massivholzplatte und Methode zu ihrer Herstellung, Bodeving, R.
- DE 3908851: Herstellungsprozess mehrschichtiger Platten vorzugsweise für Fußböden.
Schacht, P.
- DE 4122365: Methode zur Herstellung von Holzschichtplatten. keine Erfindernennung
- DE 8816092: Möbel-Vollholzplatte. keine Erfindernennung
- EP 0903207: Struktur zur Verhinderung von Verformungen von Massivholzplatten.
Ruhberg, M.
- EP 1 176 001: Multilayered wooden composite panel. Tobisch, S.; Krug, D.
- G 9213183: Zweilagige Verbundplatte. keine Erfindernennung

7 Anhang

7.1 Ergebnisse der Bestimmung des Eigenschaftsprofils 3lagiger Platten aus Nadelholz

7.1.1 Biegung rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage parallel

Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
# ¹	n ²	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅
1	A	-	-	-	10	51,4	4,5	
2	B	10	59,5	4,7	10	54,1	9,8	
3	C	-	-	-	10	45,3	6,6	
					10	46,3	7,4	
4	D	8	43,6	6,5	8	35,3	5,1	
5	E	8	43,2	10,2	8	50,8	7,1	
6	F	8	64,6	6,5	8	64,2	4,8	
7	G	8	53,0	7,8	8	54,1	5,2	
8	H	10	69,6	10,7	10	56,4	6,3	
9	I	-	-	-	10	47,2	4,4	
10	K	25	59,1	1,2	-	-	-	
11	L	10	56,2	6,9	-	-	-	
12	M	-	-	-	10	49,6	9,7	
gesamt / Mittelwert	87	56,1	9,3		102	50,4	7,3	
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.2	40,2			Auswertung nach 3.1.2.3	28,7

Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	N	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅
1	A	-	-	-	10	10270	660	
2	B	10	14540	1360	10	15590	1040	
3	C	-	-	-	10	11590	1341	
					10	11760	1674	
4	D	8	11810	738	8	10040	745	
5	E	8	14500	2671	8	12760	1649	
6	F	8	13570	1523	8	16060	1213	
7	G	8	11120	1381	8	13440	1000	
8	H	10	12700	706	10	12880	661	
9	I	-	-	-	10	9500	284	
10	K	25	11400	452	-	-	-	
11	L	10	13100	656	-	-	-	
12	M	-	-	-	10	9100	807	
gesamt / Mittelwert	87	12843	1329		102	12090	2333	
char. Wert		12840	Auswertung nach 3.1.2.2	11040		9100	Auswertung nach 3.1.2.3	7500

1 Herstellernummer
2 Probenanzahl

Abbildung 7.1.1.1 Biegung rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage parallel - Biegefestigkeit

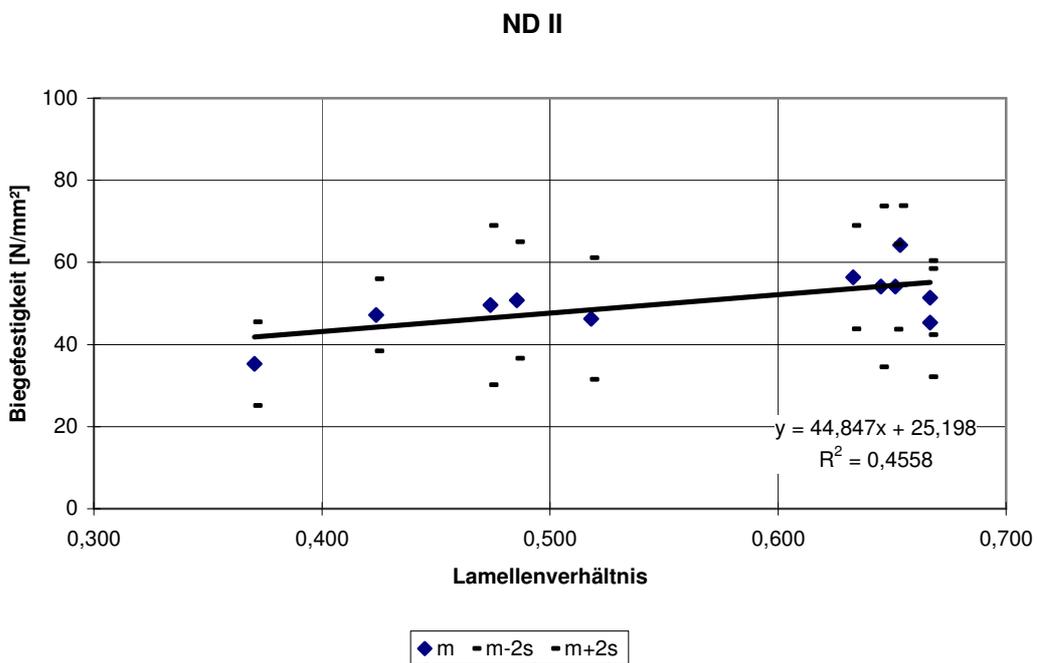
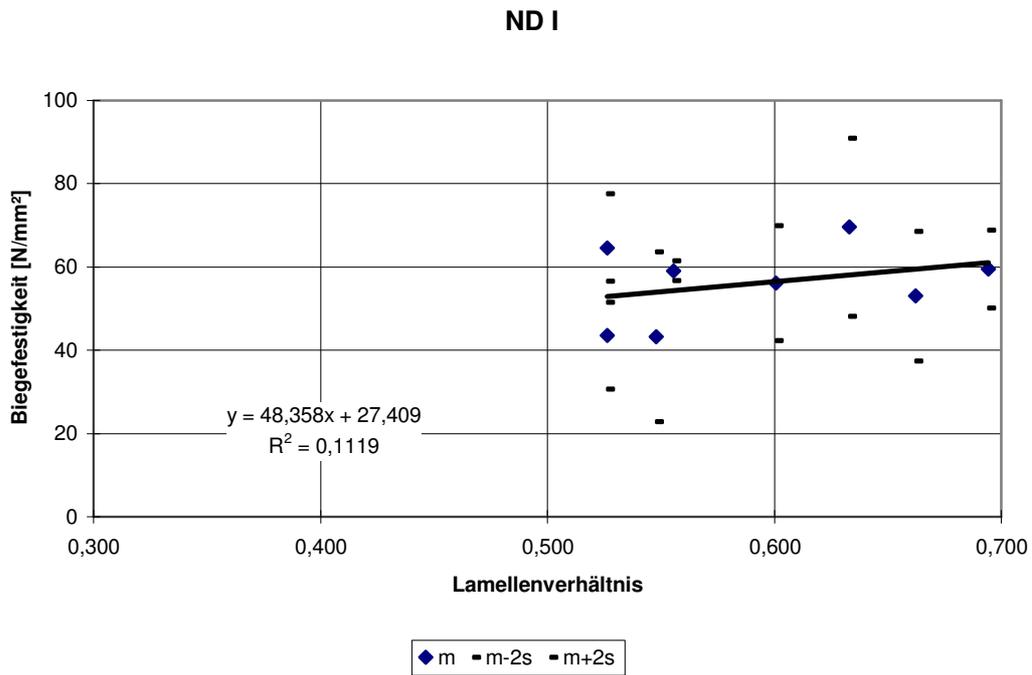
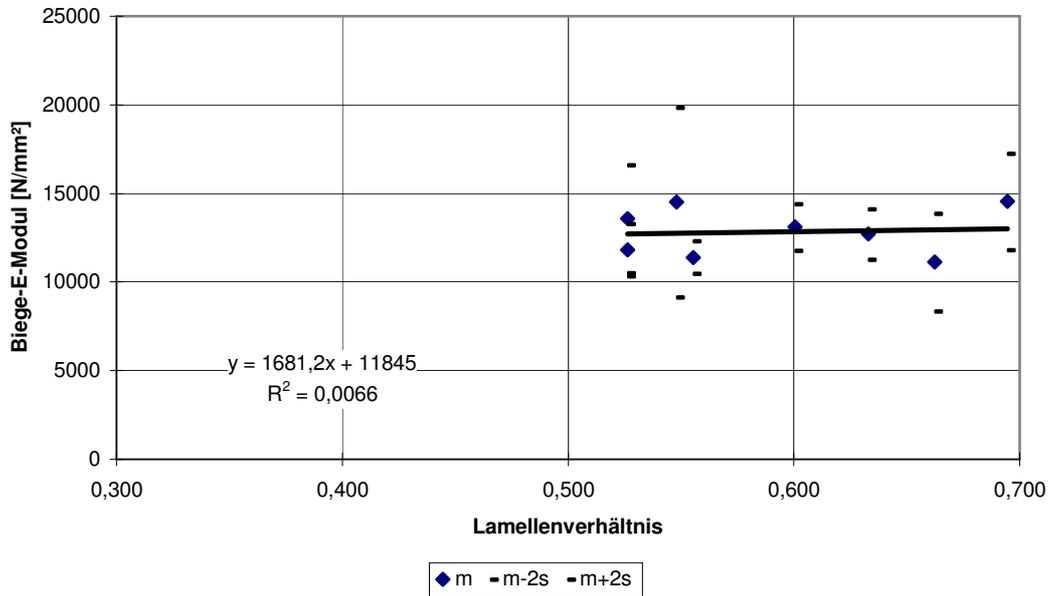
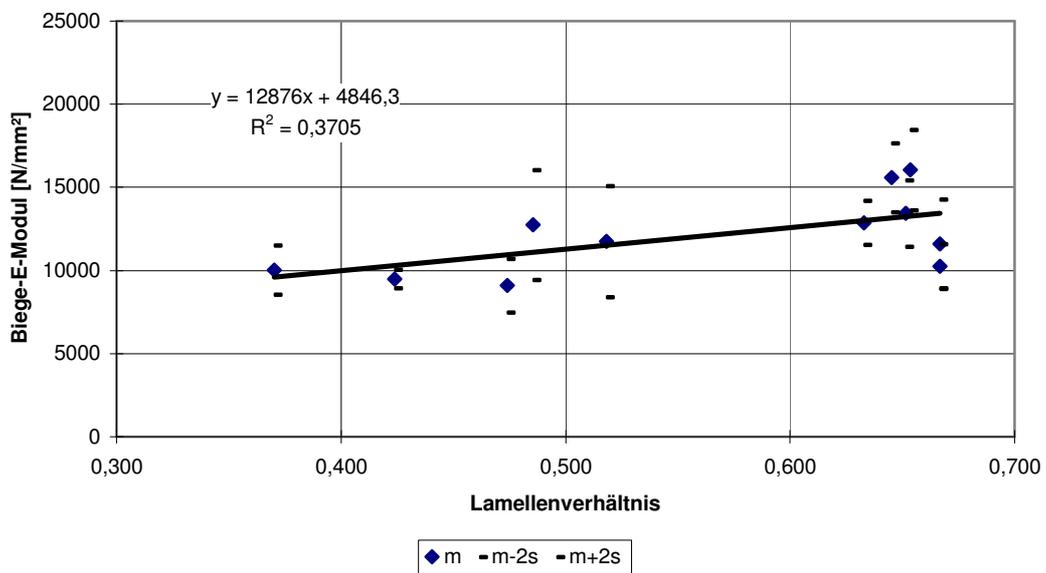


Abbildung 7.1.1.2 Biegung rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage parallel - Biege-E-Modul

ND I



ND II



7.1.2 Biegung rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage rechtwinklig

Tabelle 7.1.2.1: Biegefestigkeit [N/mm²]								
Hersteller		Nenndicke ≤ 20 mm			Nenndicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅
1 A	-	-	-		10	9,2	1,3	
2 B	10	11,8	1,5		10	10,3	1,5	
3 C	-	-	-		10	7,4	1,2	
					10	17,1	2,1	
4 D	8	18,5	4,3		8	29,4	2,6	
5 E	8	15,7	1,9		8	19,3	1,9	
6 F	8	21,5	3,4		8	13,0	1,3	
7 G	8	11,9	0,4		8	12,3	2,0	
8 H	10	12,1	1,2		10	11,1	1,3	
9 I	-	-	-		10	26,4	2,3	
10 K	25	14,5	1,1		-	-	-	
11 L	10	8,7	1,3		-	-	-	
12 M	-	-	-		10	23,2	4,7	
gesamt / Mittelwert	87	14,3	4,1		102	16,3	7,4	
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.3	5,3			Auswertung nach 3.1.2.3	3,8

Tabelle 7.1.2.2: Biege-E-Modul [N/mm²]								
Hersteller		Nenndicke ≤ 20 mm			Nenndicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅
1 A	-	-	-		10	820	120	
2 B	10	833	101		10	880	70	
3 C	-	-	-		10	920	146	
					10	1800	169	
4 D	8	1930	265		8	4500	316	
5 E	8	1670	268		8	1860	103	
6 F	8	1840	242		8	1240	225	
7 G	8	790	91		8	860	107	
8 H	10	880	87		10	950	89	
9 I	-	-	-		10	2800	142	
10 K	25	1200	67		-	-	-	
11 L	10	1200	158		-	-	-	
12 M	-	-	-		10	2150	237	
gesamt / Mittelwert	87	1293	463		102	1707	1132	
char. Wert		590	Auswertung nach 3.1.2.3	290		400	Auswertung nach 3.1.2.3	130

Abbildung 7.1.2.1 Biegung rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage rechtwinklig - Biegefestigkeit

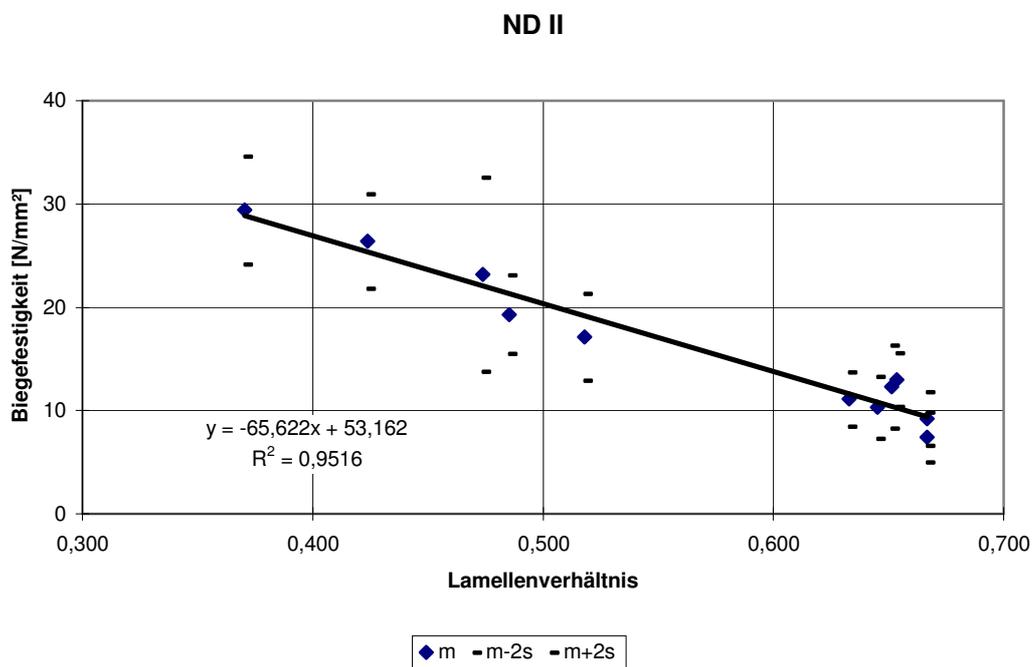
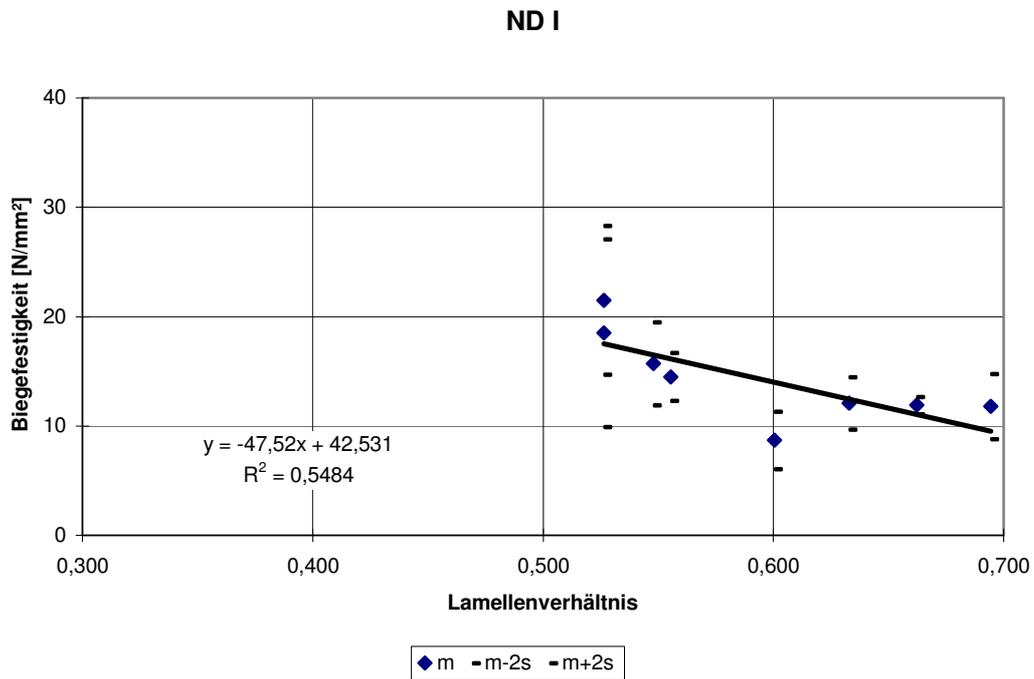
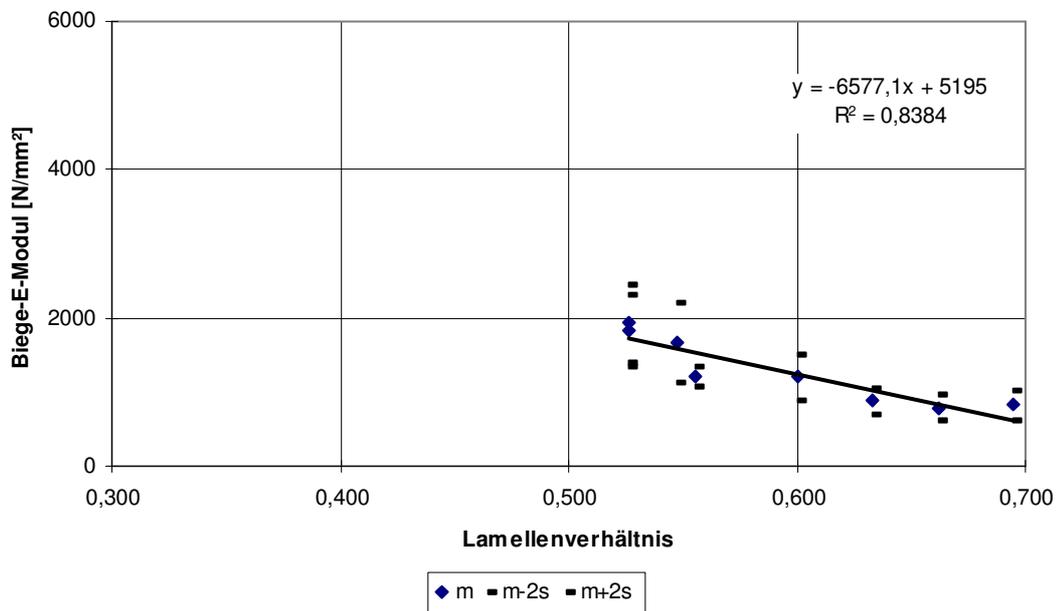
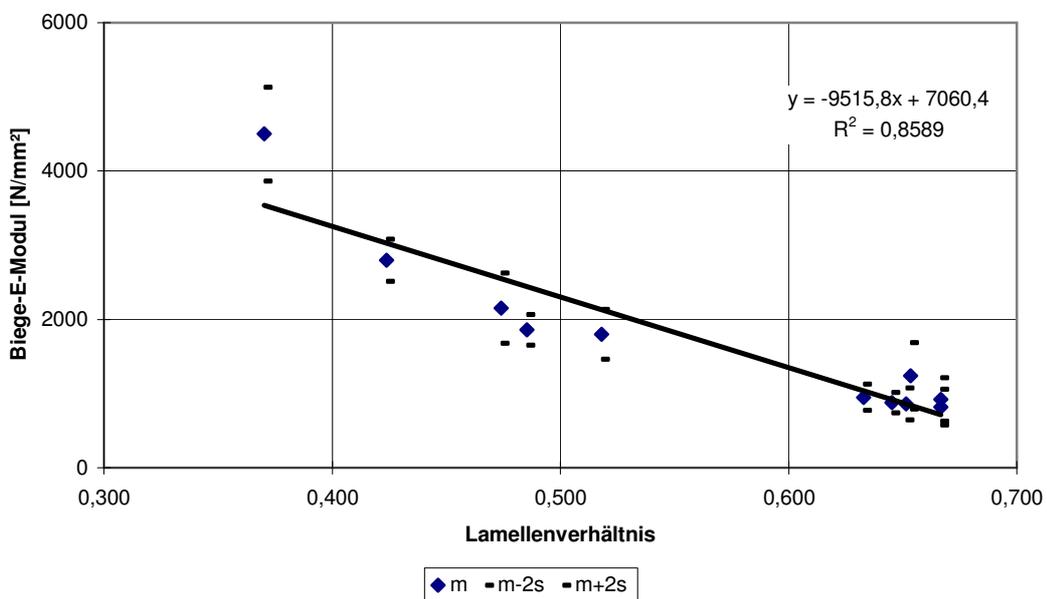


Abbildung 7.1.2.2 Biegung rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage rechtwinklig -
Biege-E-Modul

ND I



ND II



7.1.3 Biegung in Plattenebene, Decklage parallel

Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	x_{05}	n	\bar{x}	s	x_{05}
1 A	-	-	-		10	47,5	9,8	
2 B	10	43,5	6,0		10	40,5	6,3	
3 C	-	-	-		10	33,6	3,7	
					10	27,3	3,8	
4 D	8	25,7	2,3		8	21,4	1,9	
5 E	8	32,9	3,8		8	28,1	3,8	
6 F	8	40,0	3,4		8	45,7	8,5	
7 G	8	35,1	5,1		8	41,3	3,7	
8 H	10	47,1	5,6		10	46,0	7,5	
9 I	-	-	-		10	27,5	4,0	
10 K	25	36,9	1,6		-	-	-	
11 L	10	37,9	9,3		-	-	-	
12 M	-	-	-		20	32,6	8,4	
gesamt / Mittelwert	87	37,4	6,6		112	35,6	9,0	
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.2	26,1			Auswertung nach 3.1.2.3	8,8

Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	x_{05}	n	\bar{x}	s	x_{05}
1 A	-	-	-		10	7050	861	
2 B	-	-	-		10	13910	2003	
3 C	-	-	-		10	15540	2775	
					10	16940	2964	
4 D	8	6980	860		8	4960	400	
5 E	8	8670	1734		8	6910	996	
6 F	8	9260	1093		8	11230	856	
7 G	8	8600	1462		8	10360	806	
8 H	10	9480	1384		10	9170	770	
9 I	-	-	-		10	5000	449	
10 K	25	7900	292		-	-	-	
11 L	10	8600	1375		-	-	-	
12 M	-	-	-		20	6000	860	
gesamt / Mittelwert	77	8498	842		112	9734	4247	
char. Wert		8500	Auswertung nach 3.1.2.2	7400		4710	Auswertung nach 3.1.2.3	2200

Abbildung 7.1.3.1 Biegung in Plattenebene, Decklage parallel - Biegefestigkeit

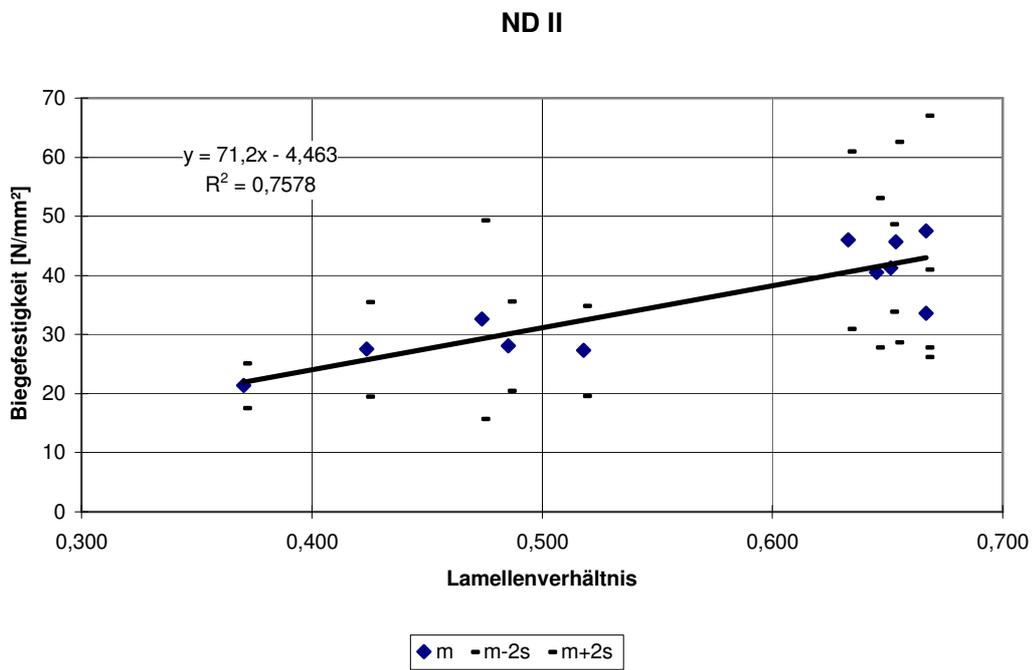
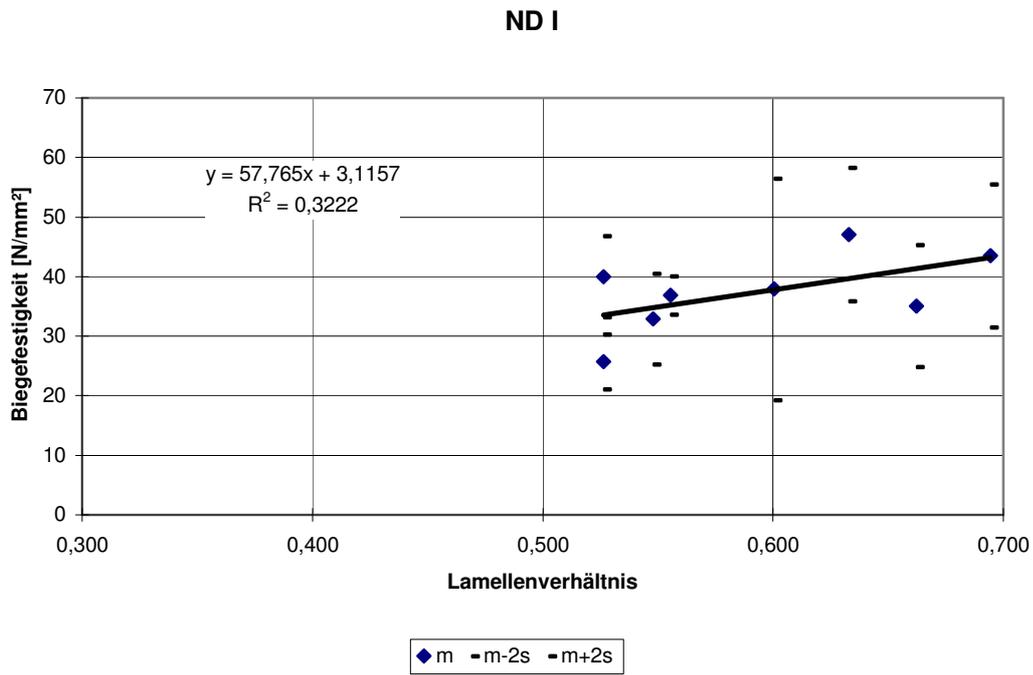
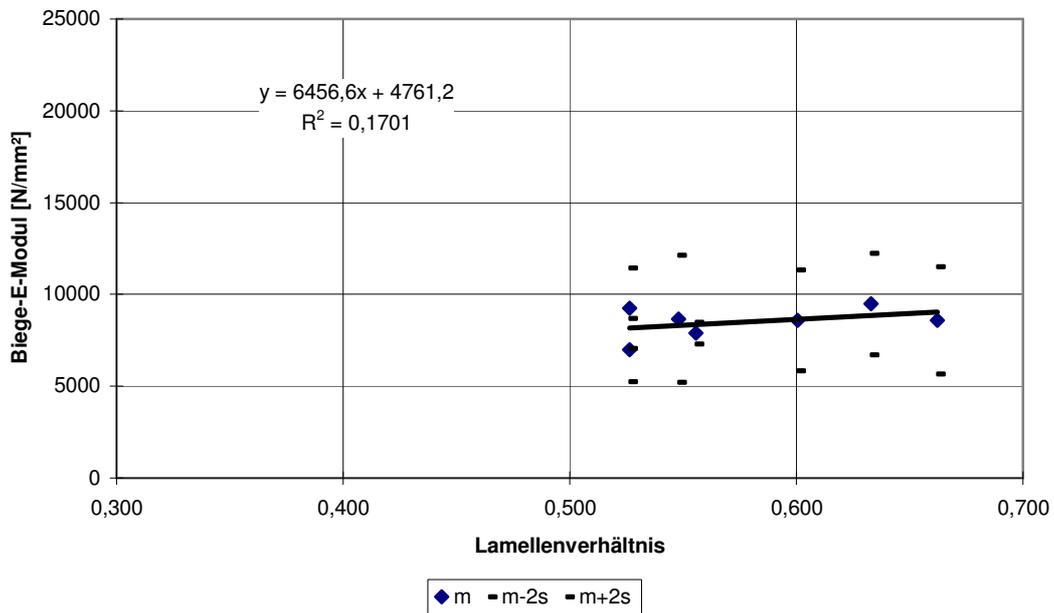
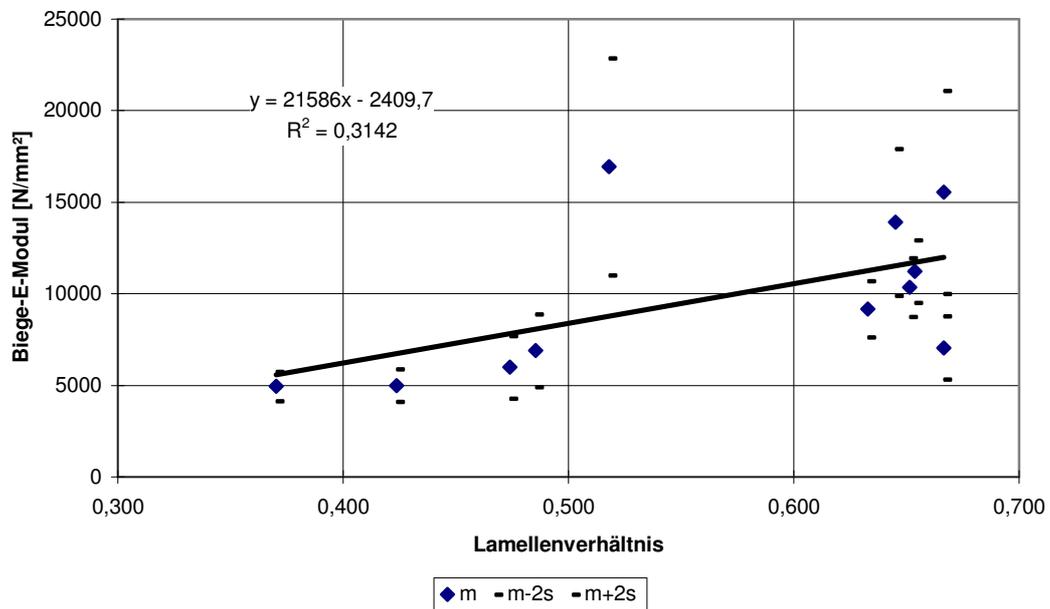


Abbildung 7.1.3.2 Biegung in Plattenebene, Decklage parallel - Biege-E-Modul

ND I



ND II



7.1.4 Biegung in Plattenebene, Decklage rechtwinklig

Tabelle 7.1.4.1: Biegefestigkeit [N/mm²]									
Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm				
#	n	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅	
1	A	-	-	-	10	26,7	4,7		
2	B	10	32,7	4,3	10	28,7	4,8		
3	C	-	-	-	10	20,1	3,2		
					10	25,2	4,5		
4	D	8	23,8	3,1	8	30,1	16,7		
5	E	8	17,0	5,8	8	24,3	8,9		
6	F	8	25,8	5,5	8	25,6	2,9		
7	G	8	20,4	2,1	8	25,4	6,0		
8	H	10	22,3	3,5	10	23,6	4,2		
9	I	-	-	-	10	38,2	8,7		
10	K	25	23,1	4,0	-	-	-		
11	L	10	20,9	4,8	-	-	-		
12	M	-	-	-	-	-	-		
gesamt / Mittelwert		87	23,3	4,6	92	26,8	4,9		
char. Wert				Auswertung nach 3.1.2.2	15,1			Auswertung nach 3.1.2.2	18,4

Tabelle 7.1.4.2: Biege-E-Modul [N/mm²]									
Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm				
#	n	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅	
1	A	-	-	-	10	4350	514		
2	B	10	8555	1585	10	7473	1414		
3	C	-	-	-	10	8833	1513		
					-	-	-		
4	D	8	6550	2177	8	-	-		
5	E	8	4100	1803	8	7050	2029		
6	F	8	6450	1451	8	5690	1272		
7	G	8	5140	1034	8	5730	1787		
8	H	10	5210	1256	10	5260	910		
9	I	-	-	-	10	6400	900		
10	K	25	5600	660	-	-	-		
11	L	10	4400	964	-	-	-		
12	M	-	-	-	-	-	-		
gesamt / Mittelwert		87	5751	1426	82	6348	1411		
char. Wert			5750	Auswertung nach 3.1.2.2	3250		6350	Auswertung nach 3.1.2.2	3860

Abbildung 7.1.4.1 Biegung in Plattenebene, Decklage rechtwinklig - Biegefestigkeit

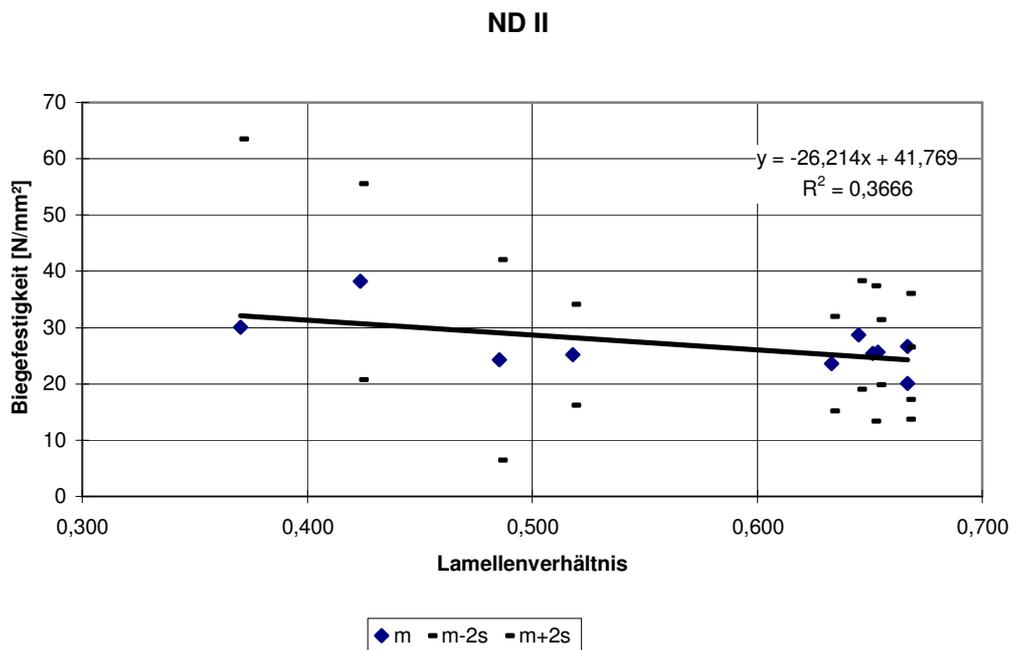
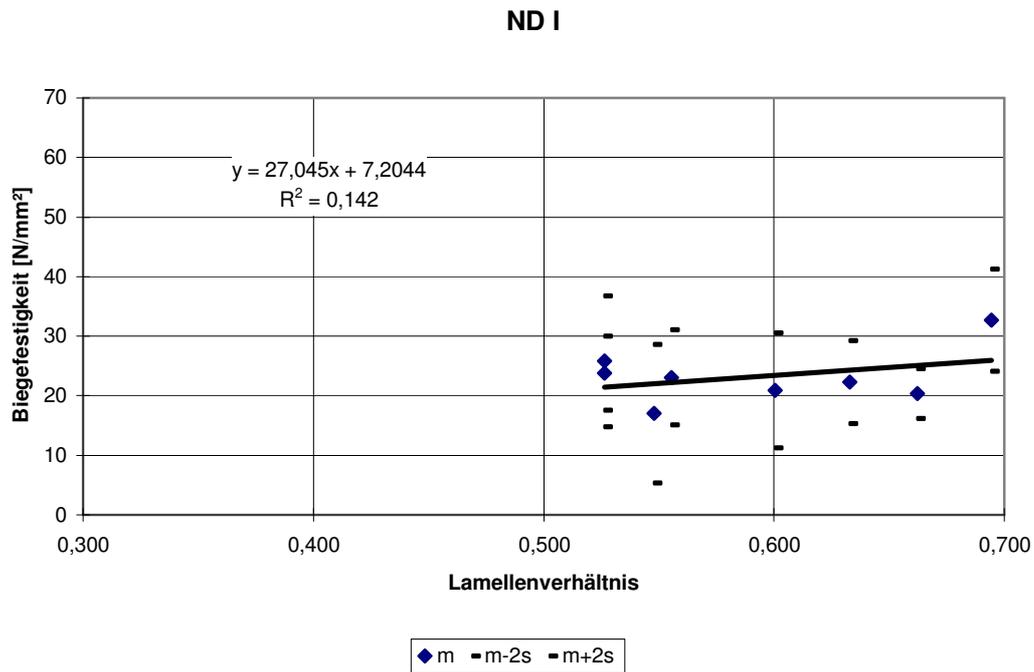
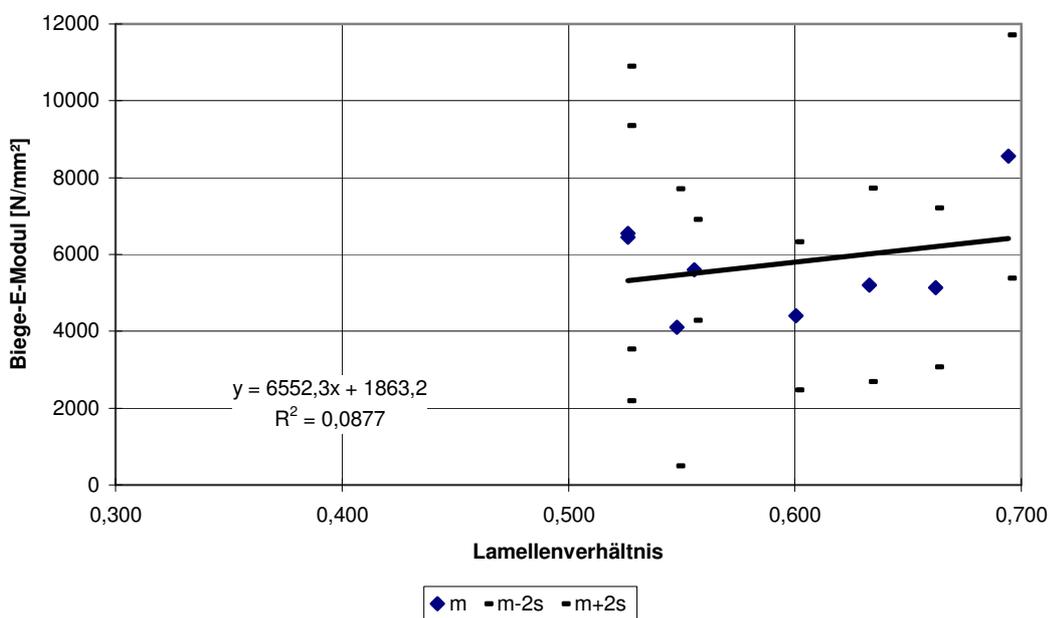
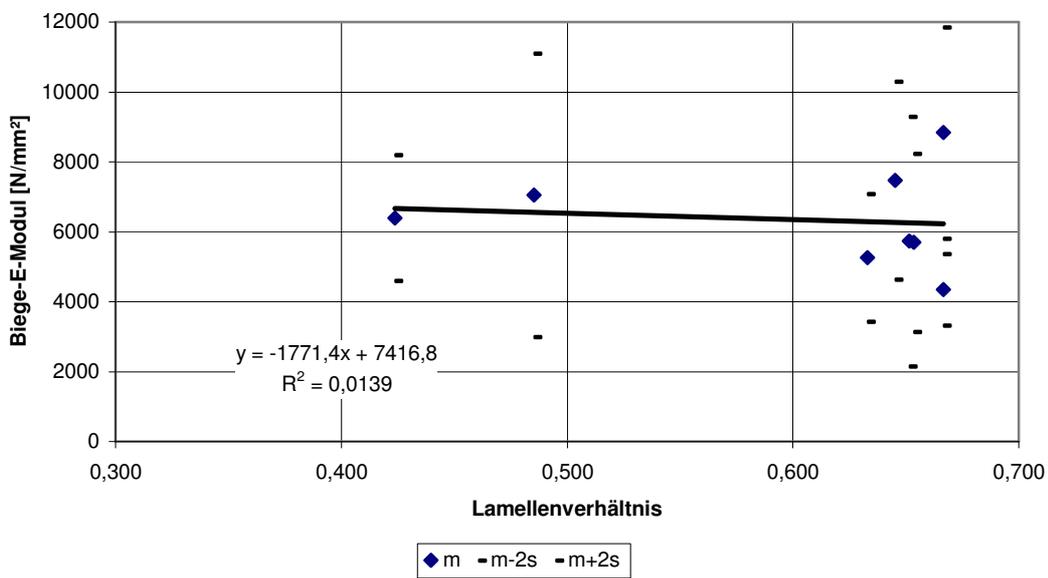


Abbildung 7.1.4.2 Biegung in Plattenebene, Decklage rechtwinklig - Biege-E-Modul

ND I



ND II

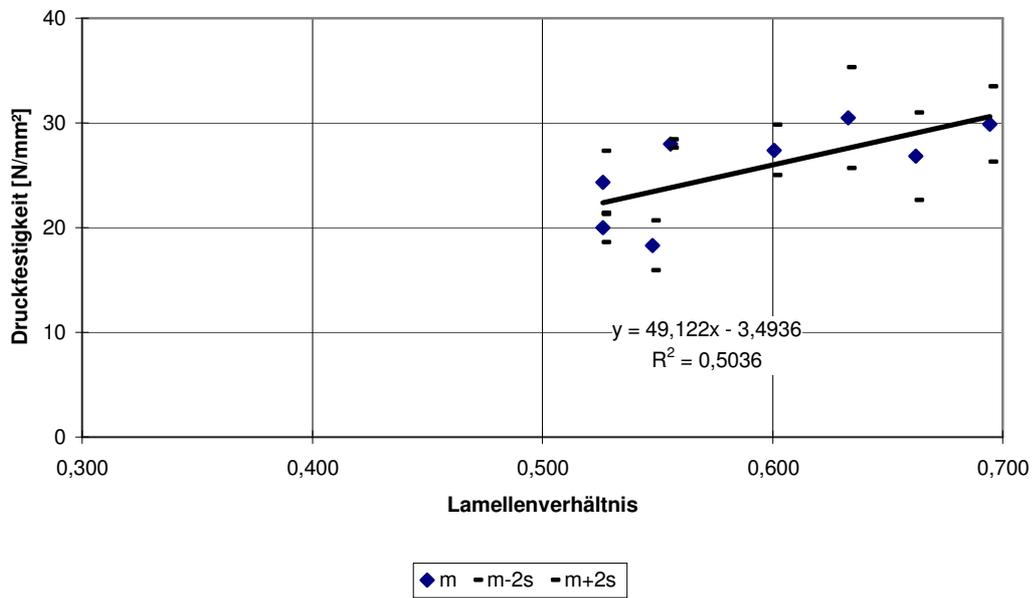


7.1.5 Druck in Plattenebene, Decklage parallel

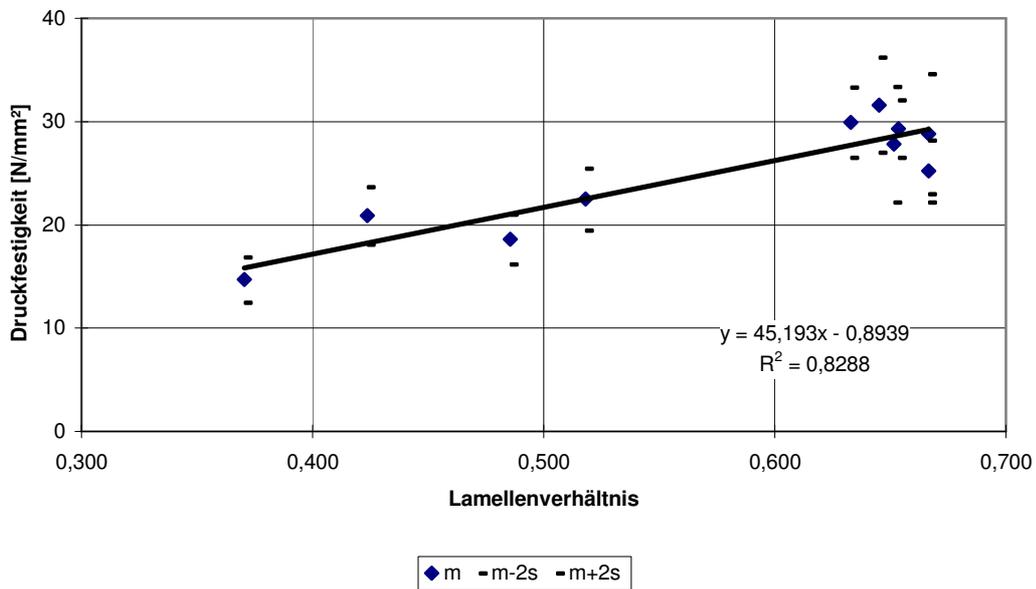
Tabelle 7.1.5.1: Druckfestigkeit [N/mm²]								
Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	x_{05}	n	\bar{x}	s	x_{05}
1 A	-	-	-		10	28,8	2,9	
2 B	10	29,9	1,8		10	31,6	2,3	
3 C	-	-	-		10	25,2	1,5	
					10	22,5	1,5	
4 D	8	20,0	0,7		8	14,7	1,1	
5 E	8	18,3	1,2		8	18,6	1,2	
6 F	8	24,3	1,5		8	29,3	1,4	
7 G	8	26,8	2,1		8	27,8	2,8	
8 H	10	30,5	2,4		10	29,9	1,7	
9 I	-	-	-		10	20,9	1,4	
10 K	25	28,0	0,2		-	-	-	
11 L	10	27,4	1,2		-	-	-	
12 M	-	-	-		-	-	-	
gesamt / Mittelwert	87	25,6	4,5		92	24,6	5,6	
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.3	10,4			Auswertung nach 3.1.2.3	11,0

Abbildung 7.1.5 Druck in Plattenebene, Decklage parallel

ND I



ND II

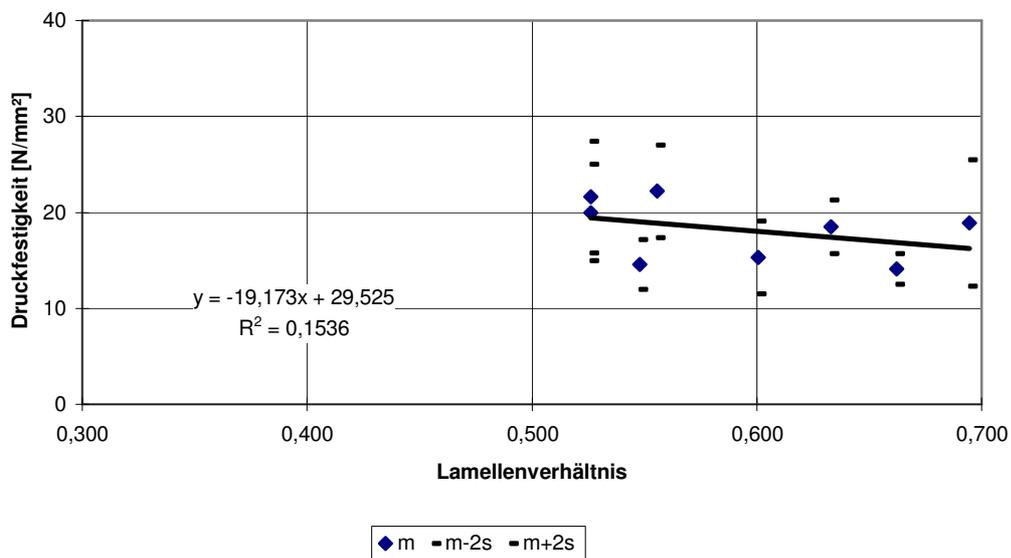


7.1.6 Druck in Plattenebene, Decklage rechtwinklig

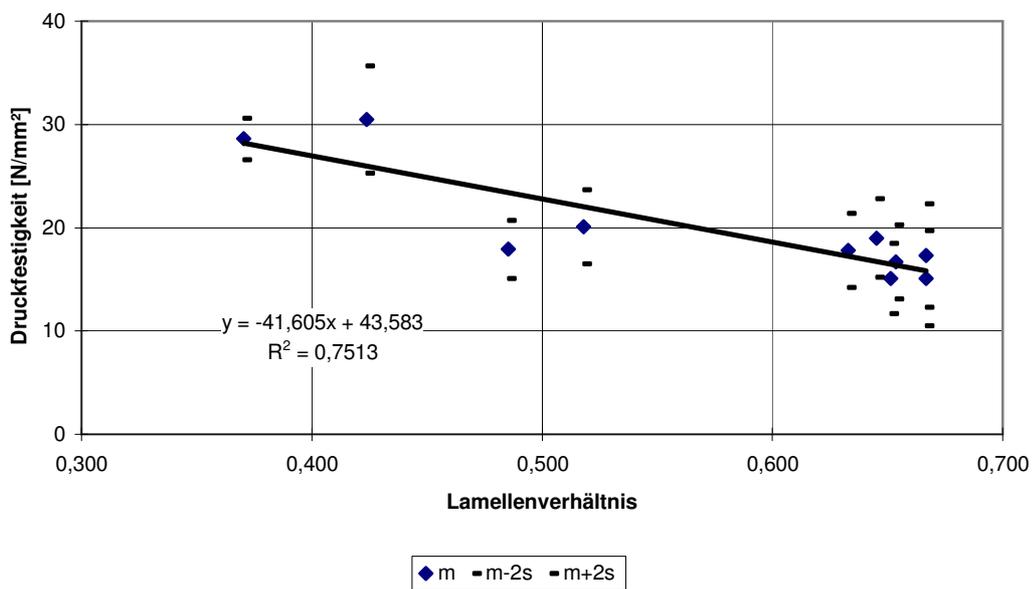
Tabelle 7.1.6.1: Druckfestigkeit [N/mm²]								
Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	x_{05}	n	\bar{x}	s	x_{05}
1 A	-	-	-		10	17,3	2,5	
2 B	10	18,9	3,3		10	19,0	1,9	
3 C	-	-	-		10	15,1	2,3	
					10	20,1	1,8	
4 D	8	21,6	2,9		8	28,6	1,0	
5 E	8	14,6	1,3		8	17,9	1,4	
6 F	8	20,0	2,5		8	16,7	1,8	
7 G	8	14,1	0,8		8	15,1	1,7	
8 H	10	18,5	1,4		10	17,8	1,8	
9 I	-	-	-		10	30,5	2,6	
10 K	25	22,2	2,4		-	-	-	
11 L	10	15,3	1,9		-	-	-	
12 M	-	-	-		-	-	-	
gesamt / Mittelwert	87	18,2	3,2		92	19,8	5,4	
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.2	12,7			Auswertung nach 3.1.2.3	11,4

Abbildung 7.1.6 Druck in Plattenebene, Decklage rechtwinklig

ND I



ND II



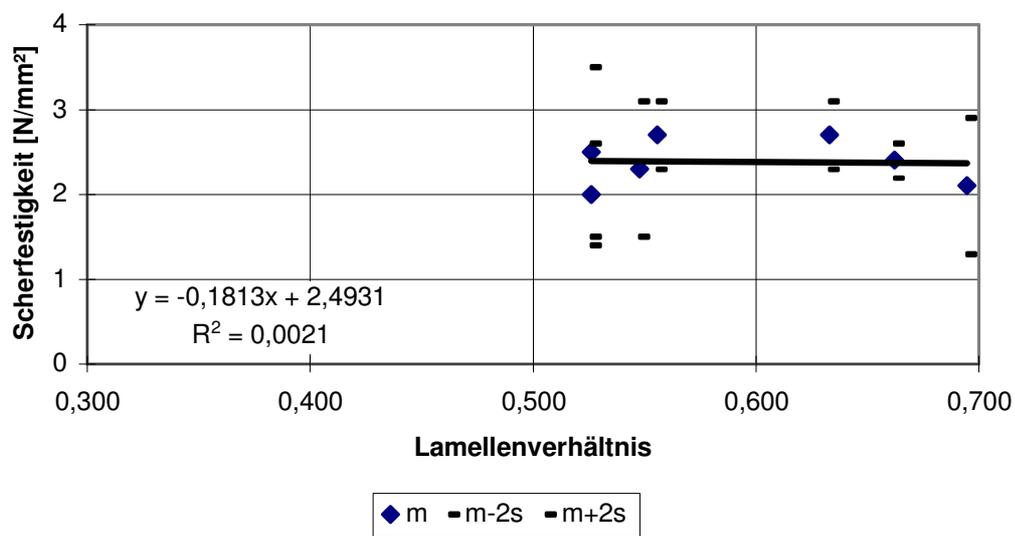
7.1.7 Schub in Plattenebene, Decklage parallel

Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X_{05}	n	\bar{x}	s	X_{05}
1	A	-	-	-	5	1,9	0,3	
2	B	5	2,1	0,4	5	1,7	0,2	
3	C	-	-	-	5	2,2	0,2	
					5	1,9	0,3	
4	D	8	2,5	0,5	8	1,9	0,3	
5	E	8	2,3	0,4	8	2,0	0,3	
6	F	8	2,0	0,3	8	2,3	0,3	
7	G	8	2,4	0,1	8	2,2	0,3	
8	H	5	2,7	0,2	5	2,5	0,2	
9	I	-	-	-	-	-	-	
10	K	25	2,7	0,2	-	-	-	
11	L	-	-	-	-	-	-	
12	M	-	-	-	-	-	-	
gesamt / Mittelwert	67	2,4	0,3		57	2,1	0,3	
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.1	1,7			Auswertung nach 3.1.2.1	1,7

Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X_{05}	n	\bar{x}	s	X_{05}
1	A	-	-	-	5	93	16	
2	B	5	62	11	5	91	17	
3	C	-	-	-	5	109	19	
					5	104	14	
4	D	8	96	17	8	105	19	
5	E	8	93	17	8	107	17	
6	F	8	124	7	8	166	23	
7	G	8	118	11	8	142	21	
8	H	5	142	33	5	140	27	
9	I	-	-	-	-	-	-	
10	K	-	-	-	-	-	-	
11	L	-	-	-	-	-	-	
12	M	-	-	-	-	-	-	
gesamt / Mittelwert	42	106	28		57	117	26	
char. Wert		112	Auswertung nach 3.1.2.1	70		112	Auswertung nach 3.1.2.1	70

Abbildung 7.1.7.1 Schub in Plattenebene, Decklage parallel - Scherfestigkeit

ND I



ND II

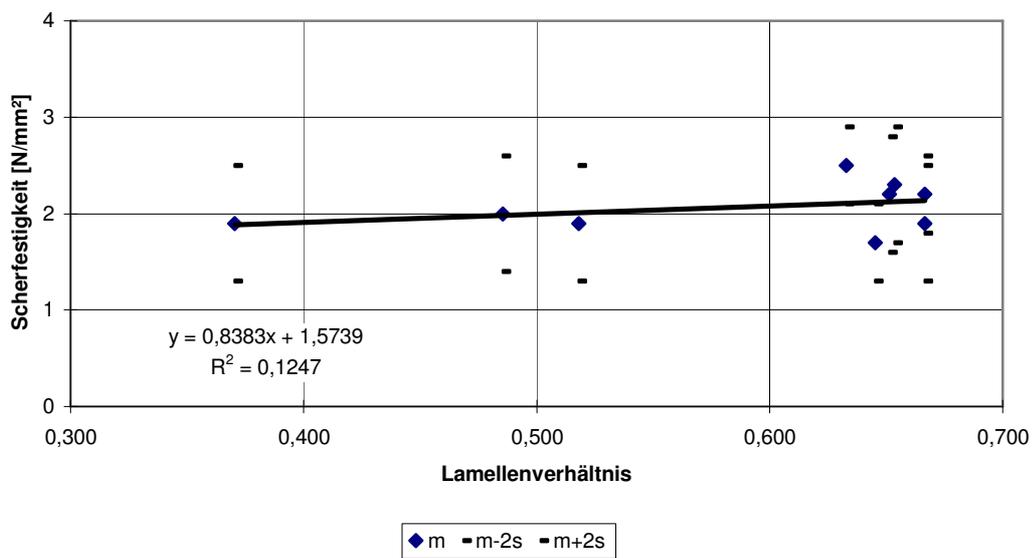
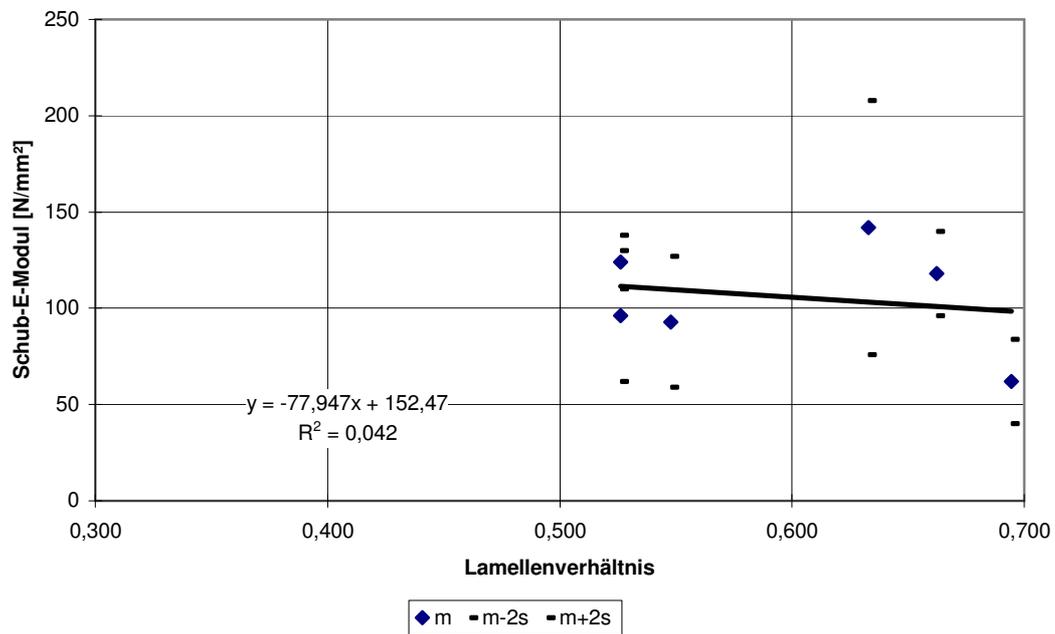
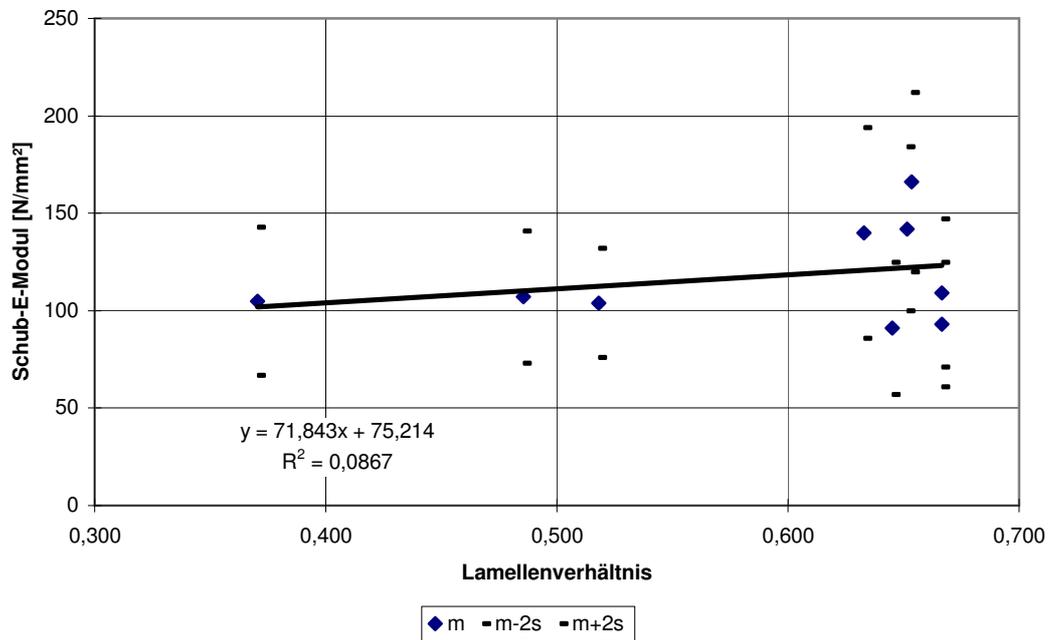


Abbildung 7.1.7.2 Schub in Plattenebene, Decklage parallel - Schub-E-Modul

ND I



ND II



7.1.8 Schub in Plattenebene, Decklage rechtwinklig

Tabelle 7.1.8.1: Scherfestigkeit [N/mm ²]								
Hersteller		Nenndicke ≤ 20 mm			Nenndicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅
1 A	-	-	-		5	1,5	0,4	
2 B	5	1,9	0,2		5	1,9	0,4	
3 C	-	-	-		5	1,7	0,1	
					5	2,3	0,3	
4 D	8	2,4	0,3		8	2,6	0,2	
5 E	8	2,2	0,2		8	2,7	0,3	
6 F	8	2,5	0,2		8	2,3	0,1	
7 G	8	2,2	0,2		8	2,2	0,1	
8 H	5	2,6	0,2		5	2,2	0,3	
9 I	-	-	-		-	-	-	
10 K	25	2,4	0,2		-	-	-	
11 L	-	-	-		-	-	-	
12 M	-	-	-		-	-	-	
gesamt / Mittelwert	67	2,3	0,2		57	2,2	0,4	
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.1	1,7			Auswertung nach 3.1.2.1	1,7

Tabelle 7.1.8.2: Schubmodul [N/mm ²]								
Hersteller		Nenndicke ≤ 20 mm			Nenndicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅
1 A	-	-	-		5	87	18	
2 B	5	72	22		5	86	19	
3 C	-	-	-		5	79	14	
					5	174	17	
4 D	8	109	11		8	139	15	
5 E	8	94	17		8	91	21	
6 F	8	127	13		8	120	14	
7 G	8	94	9		8	139	22	
8 H	5	155	18		5	146	11	
9 I	-	-	-		-	-	-	
10 K	-	-	-		-	-	-	
11 L	-	-	-		-	-	-	
12 M	-	-	-		-	-	-	
gesamt / Mittelwert	42	109	29		57	118	34	
char. Wert		114	Auswertung nach 3.1.2.1	60		114	Auswertung nach 3.1.2.1	60

Abbildung 7.1.8.1 Schub in Plattenebene, Decklage rechtwinklig - Scherfestigkeit

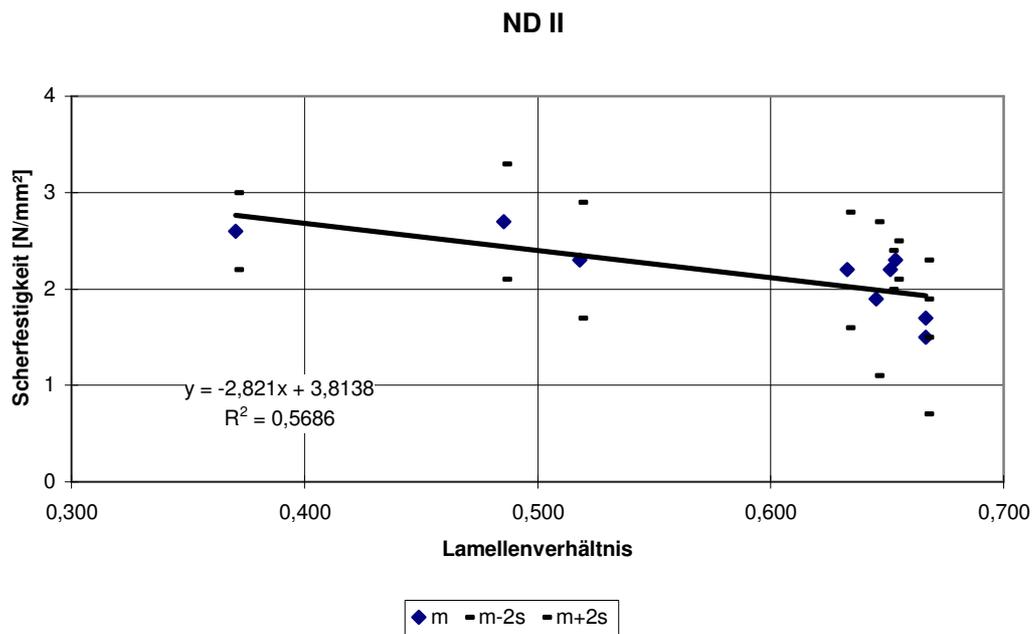
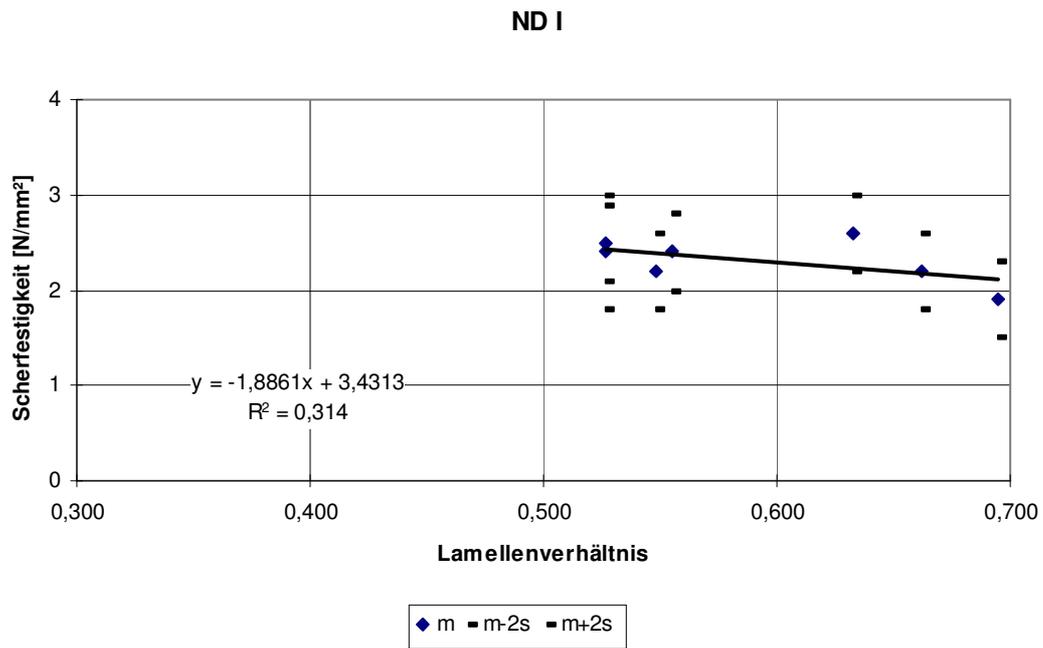
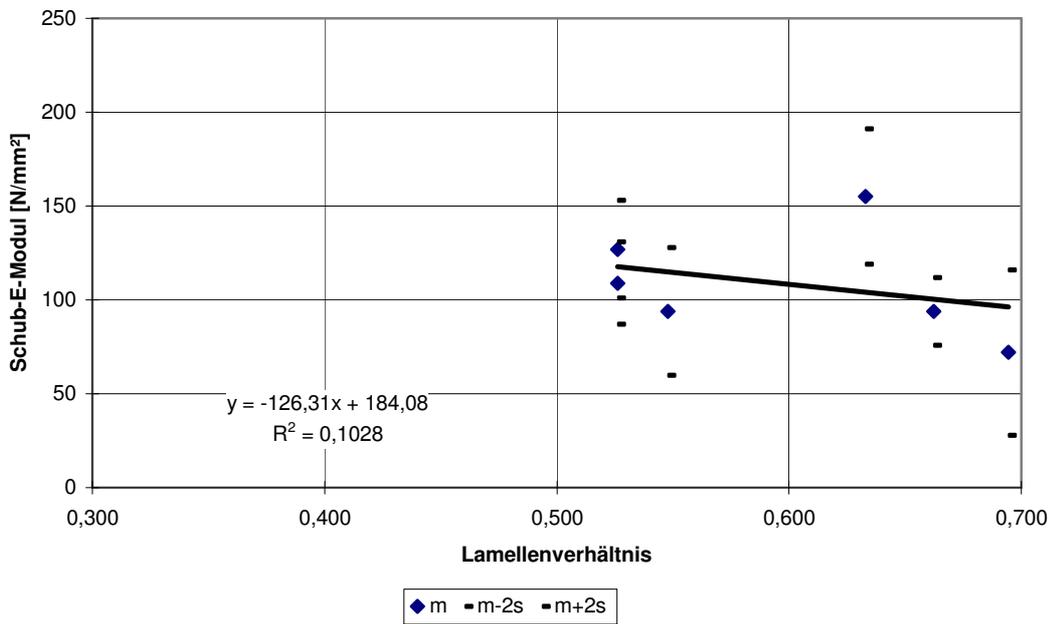
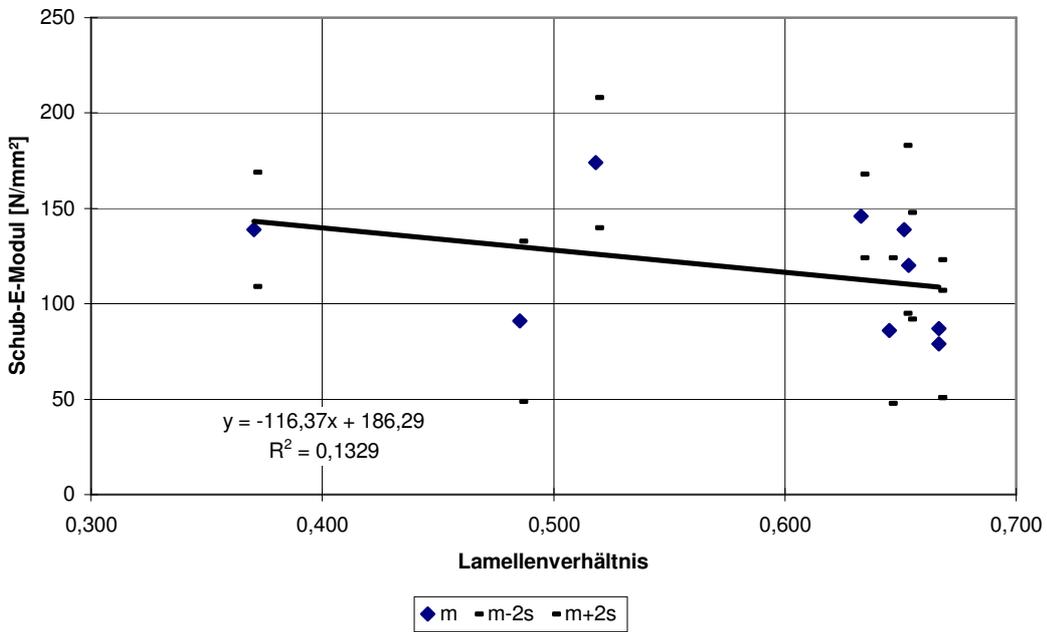


Abbildung 7.1.8.2 Schub in Plattenebene, Decklage rechtwinklig - Schub-E-Modul

ND I



ND II



7.1.9 Schub rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage parallel

Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X_{05}	n	\bar{x}	s	X_{05}
1 A	-	-	-		-	-	-	
2 B	5	6,5	0,4		5	5,5	0,5	
3 C	-	-	-		5	5,1	0,1	
					5	5,7	0,6	
4 D	8	7,2	0,2		8	5,8	0,2	
5 E	8	5,7	0,1		8	6,0	0,3	
6 F	8	7,2	0,6		8	6,2	0,5	
7 G	8	6,0	0,3		8	6,3	0,2	
8 H	-	-	-		5	6,6	0,9	
9 I	-	-	-		50	5,3	0,1	
10 K	25	6,4	0,5		-	-	-	
11 L	5	5,4	0,2		-	-	-	
12 M	-	-	-		5	4,7	0,3	
gesamt / Mittelwert	67	6,3	0,7		107	5,7	0,6	
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.1	5,0			Auswertung nach 3.1.2.1	5,0

Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X_{05}	n	\bar{x}	s	X_{05}
1 A	-	-	-	-	-	-	-	-
2 B	5	1334	201	966	5	1103	67	980
3 C	-	-	-	-	5	1881	133	1637
					5	1020	137	769
4 D	8	3554	1369	660	8	1854	817	306
5 E	8	1779	662	525	8	1198	107	995
6 F	8	1369	567	322	8	887	155	593
7 G	8	1312	361	628	8	828	120	601
8 H	-	-	-	-	5	626	67	483
9 I	-	-	-	-	50	650	30	595
10 K	25	626	29	576	-	-	-	-
11 L	5	660	32	657	-	-	-	-
12 M	-	-	-	-	5	608	30	544
gesamt / Mittelwert	67	1519	987		107	1066	468	
char. Wert		1250	Auswertung nach 3.1.2.1	280		1250	Auswertung nach 3.1.2.1	280

Abbildung 7.1.9.1 Schub rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage parallel - Scherfestigkeit

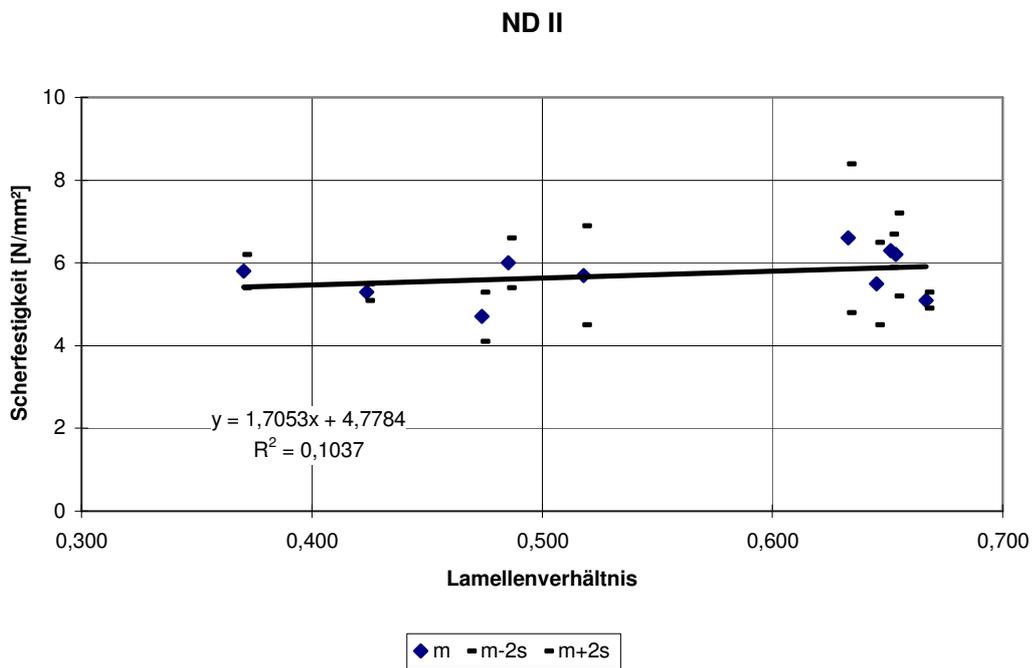
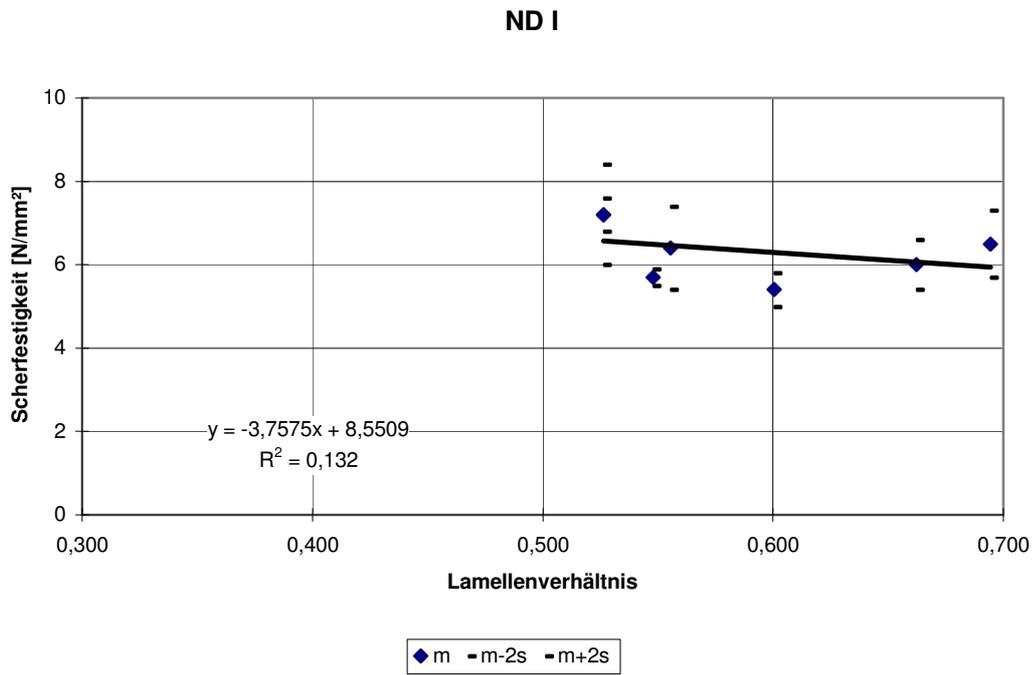
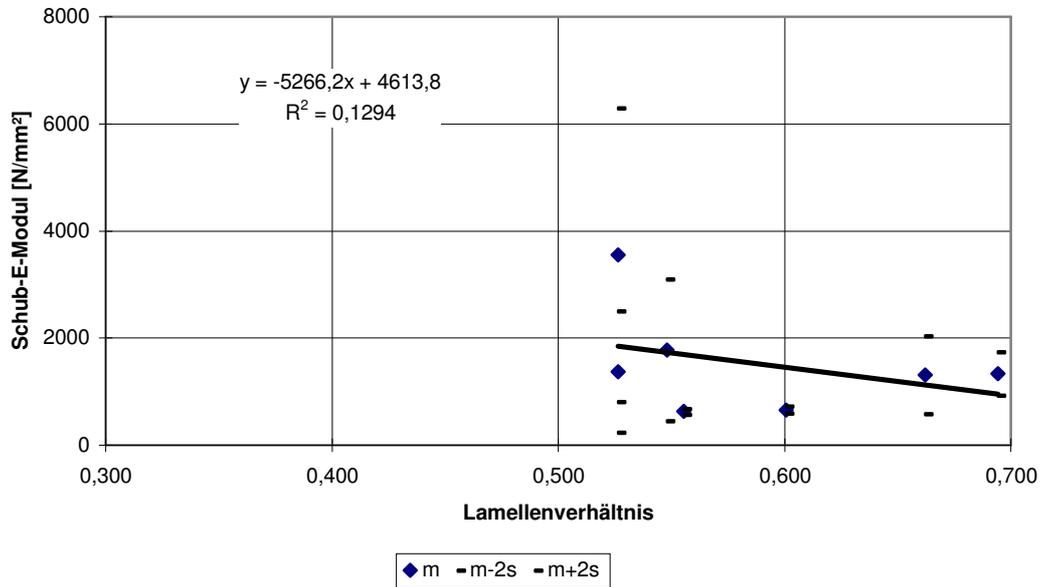
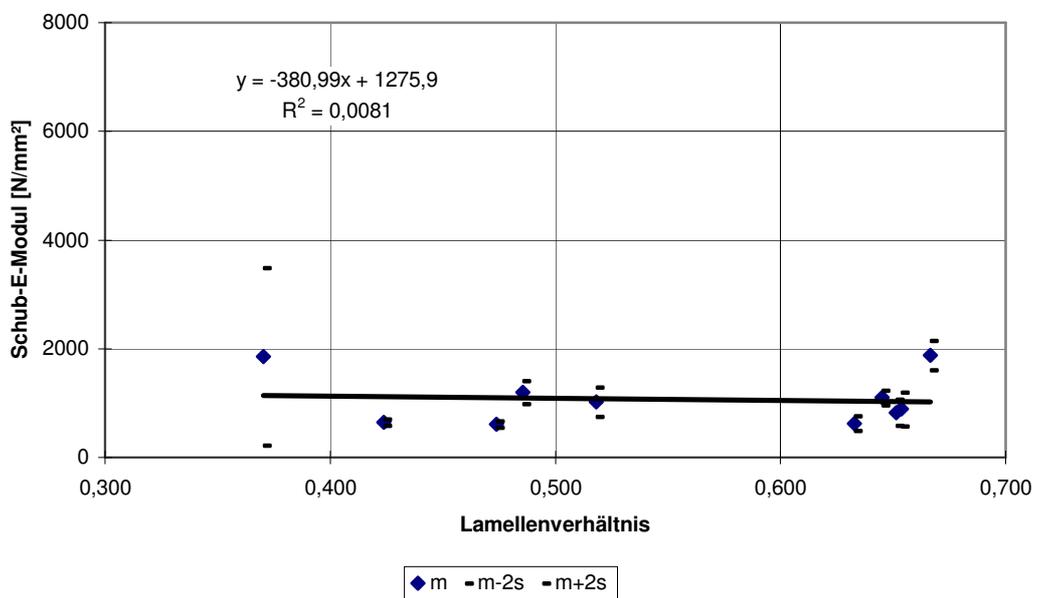


Abbildung 7.1.9.2 Schub rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage parallel - Schub-E-Modul

ND I



ND II



7.1.10 Schub rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage rechtwinklig

Tabelle 7.1.10.1: Scherfestigkeit [N/mm ²]									
Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm				
#	n	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅	
1	A	-	-	-	-	-	-	-	
2	B	5	6,9	0,4	5	8,4	1,1		
3	C	-	-	-	5	5,8	0,2		
					5	5,7	0,3		
4	D	8	6,6	0,5	8	5,1	0,4		
5	E	8	5,9	0,1	8	5,3	0,3		
6	F	8	6,7	0,1	8	6,5	1,0		
7	G	8	7,1	0,4	8	7,0	0,2		
8	H	-	-	-	5	5,6	0,5		
9	I	-	-	-	50	4,6	0,1		
10	K	25	7,2	0,3	-	-	-		
11	L	5	6,1	0,1	-	-	-		
12	M	-	-	-	-	-	-		
gesamt / Mittelwert		67	6,6	0,5	102	6,0	1,1		
char. Wert				Auswertung nach 3.1.2.1	4,8			Auswertung nach 3.1.2.1	4,8

Tabelle 7.1.10.2: Schubmodul [N/mm ²]									
Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm				
#	n	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅	
1	A	-	-	-	-	-	-	-	
2	B	5	1207	130	5	1078	123		
3	C	-	-	-	5	1029	93		
					5	981	90		
4	D	8	1229	430	8	1160	317		
5	E	8	952	141	8	921	96		
6	F	8	905	94	8	804	79		
7	G	8	811	155	8	943	59		
8	H	-	-	-	5	579	46		
9	I	-	-	-	50	650	62		
10	K	25	650	42	-	-	-		
11	L	5	600	55	-	-	-		
12	M	-	-	-	-	-	-		
gesamt / Mittelwert		67	908	247	102	905	193		
char. Wert			910	Auswertung nach 3.1.2.1	550		910	Auswertung nach 3.1.2.1	550

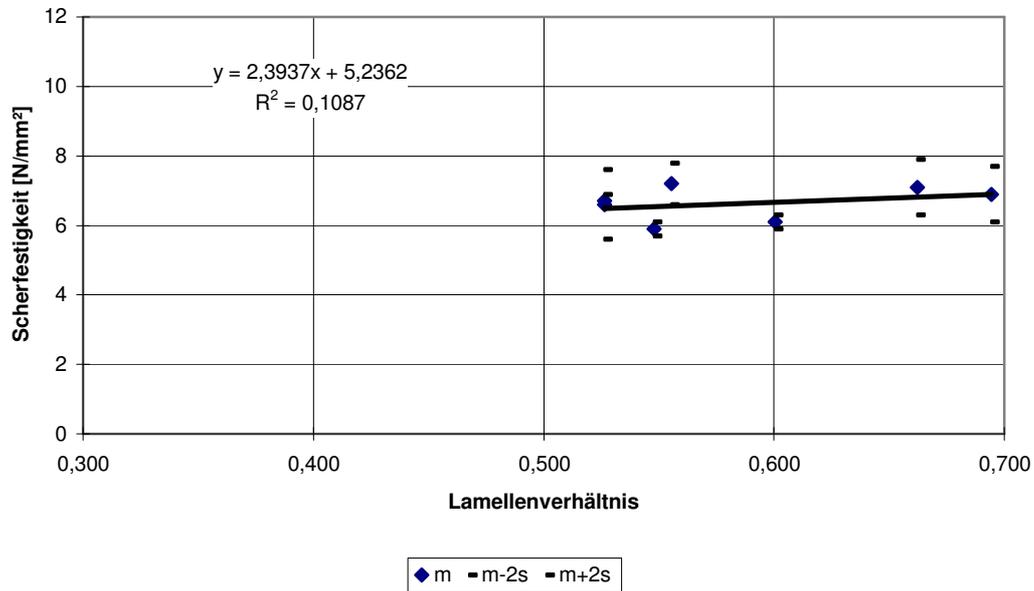
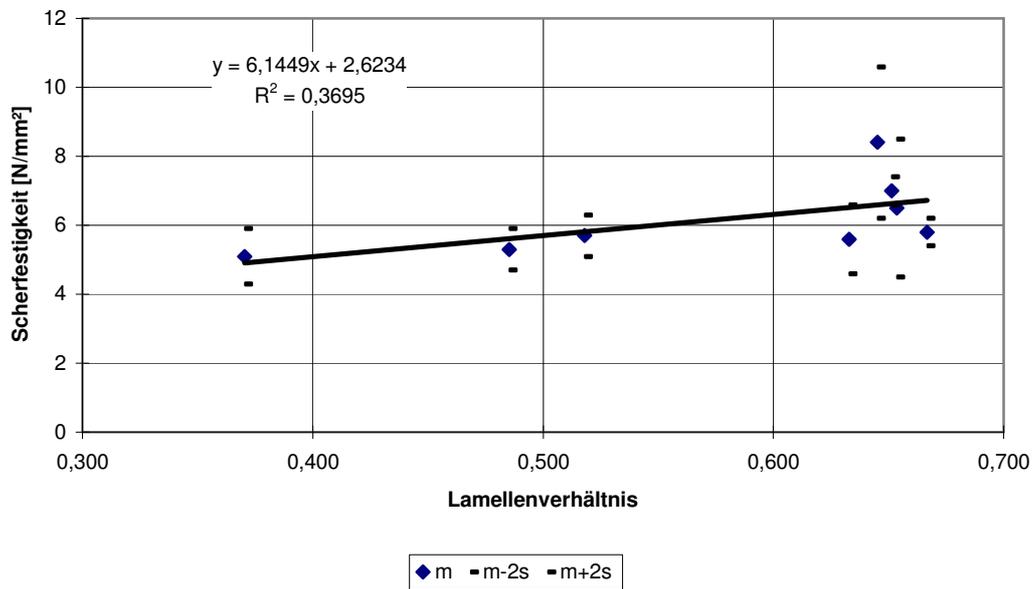
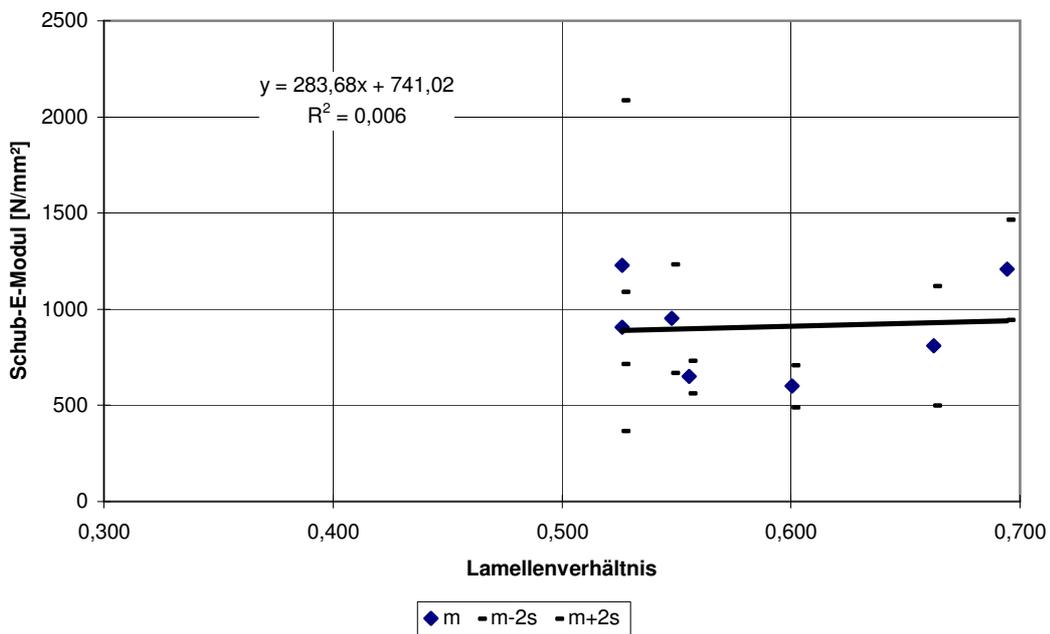
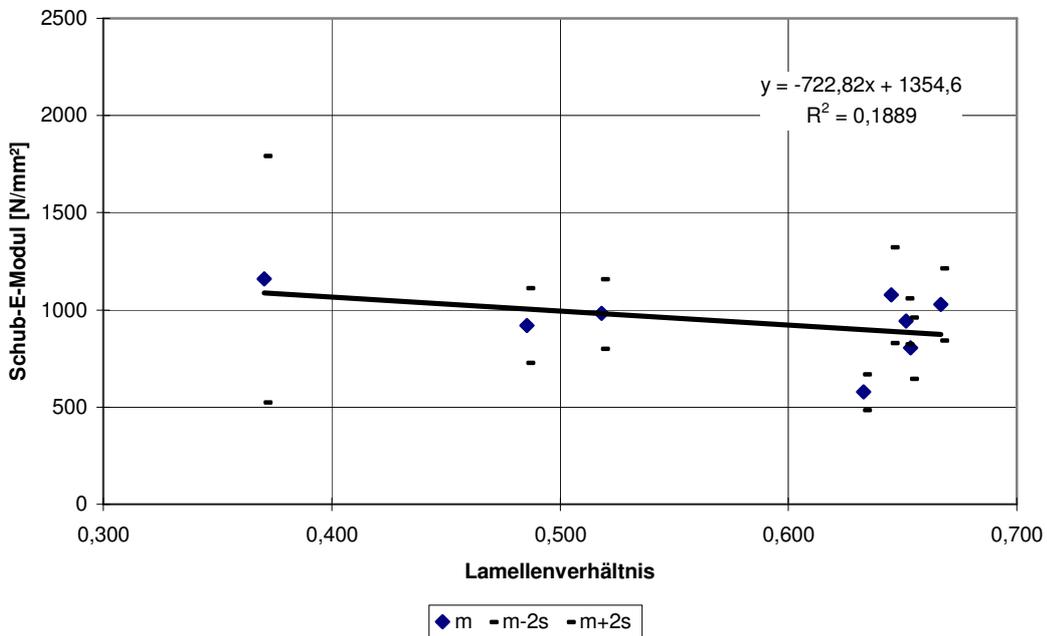
Abbildung 7.1.10.1 Schub rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage rechtwinklig - Scherfestigkeit**ND I****ND II**

Abbildung 7.1.10.2 Schub rechtwinklig zur Plattenebene, Decklage rechtwinklig - Schub-E-Modul

ND I



ND II



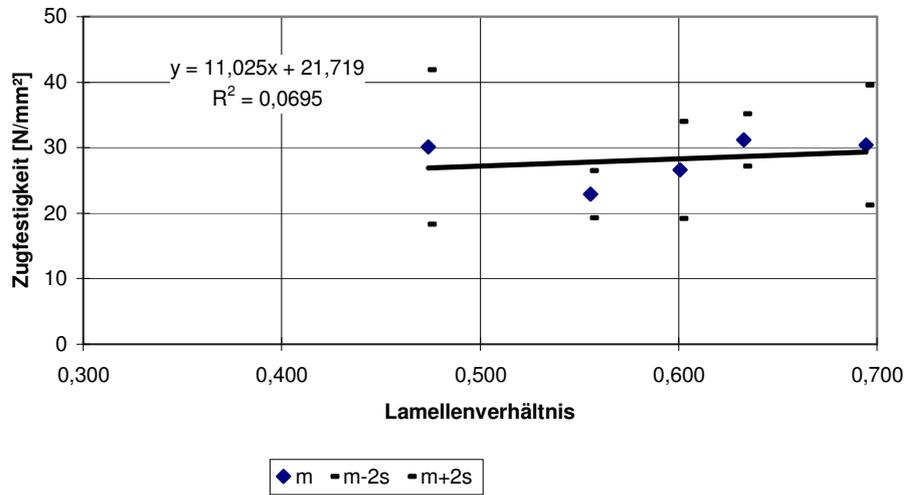
7.1.11 Zug in Plattenebene, Decklage parallel

Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X_{05}	n	\bar{x}	s	X_{05}
1 A	-	-	-		10	17,5	6,6	
2 B	10	30,4	4,6		10	26,9	4,7	
3 C	-	-	-		10	21,7	3,4	
					10	19,0	3,2	
4 D	-	-	-		-	-	-	
5 E	-	-	-		-	-	-	
6 F	-	-	-		-	-	-	
7 G	-	-	-		-	-	-	
8 H	8	31,2	2,0		8	28,2	5,6	
9 I	-	-	-		10	17,7	4,8	
10 K	25	22,9	1,8		-	-	-	
11 L	10	26,6	3,7		-	-	-	
12 M	10	30,1	5,9		14	17,8	3,1	
gesamt / Mittelwert	63	28,2	3,5		72	21,3	4,6	
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.2	22,8			Auswertung nach 3.1.2.2	13,2

Hersteller		Nenn Dicke ≤ 20 mm			Nenn Dicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X_{05}	n	\bar{x}	s	X_{05}
1 A	-	-	-		10	4470	1408	
2 B	10	8649	882		10	9153	986	
3 C	-	-	-		10	6435	801	
					10	6682	865	
4 D	-	-	-		-	-	-	
5 E	-	-	-		-	-	-	
6 F	-	-	-		-	-	-	
7 G	-	-	-		-	-	-	
8 H	8	7985	106		8	8084	973	
9 I	-	-	-		-	-	-	
10 K	25	7200	792		-	-	-	
11 L	-	-	-		-	-	-	
12 M	15	9993	1175		14	5342	628	
gesamt / Mittelwert	58	8457	1183		62	6694	1722	
char. Wert		8460	Auswertung nach 3.1.2.2	6480		6690	Auswertung nach 3.1.2.2	3630

Abbildung 7.1.11.1 Zug in Plattenebene, Decklage parallel - Zugfestigkeit

ND I



ND II

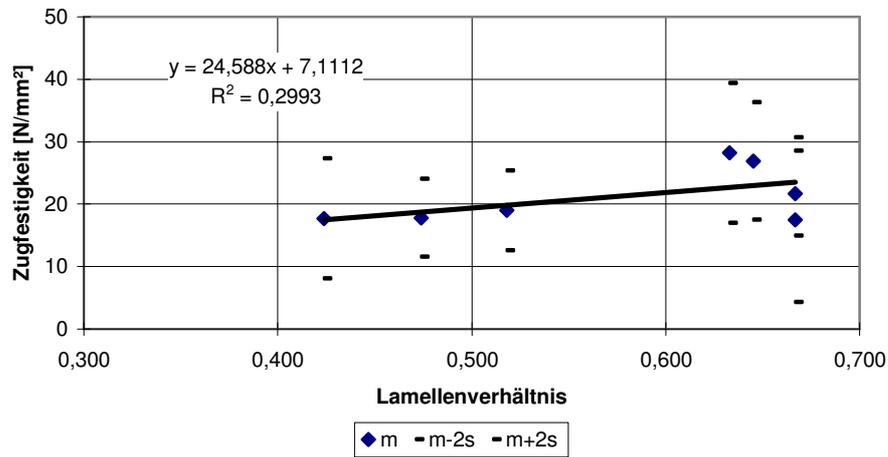
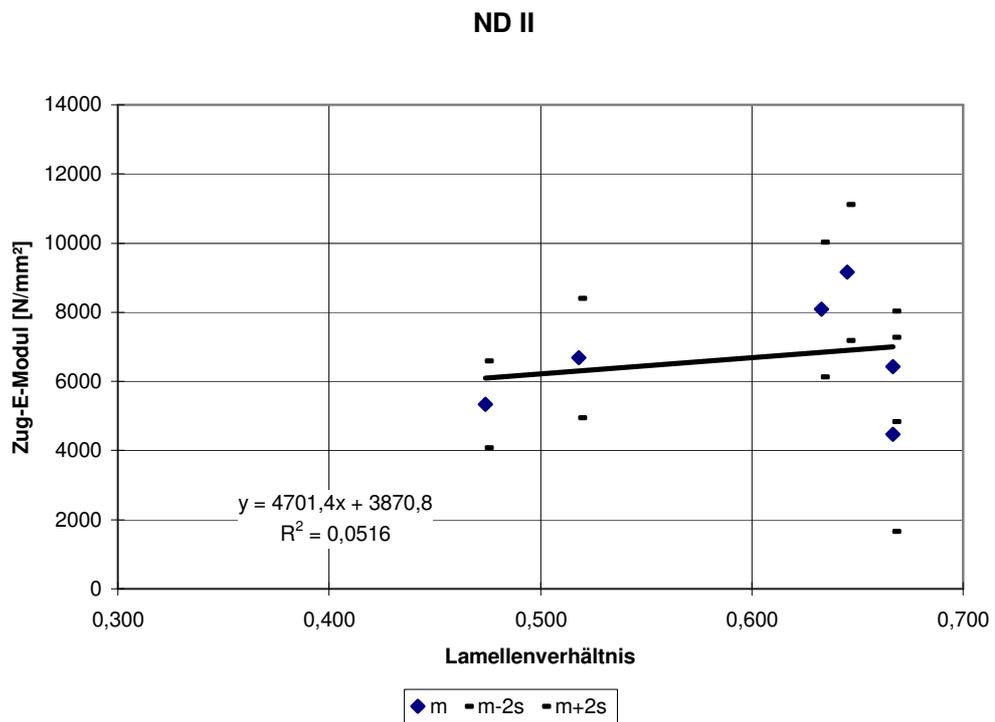
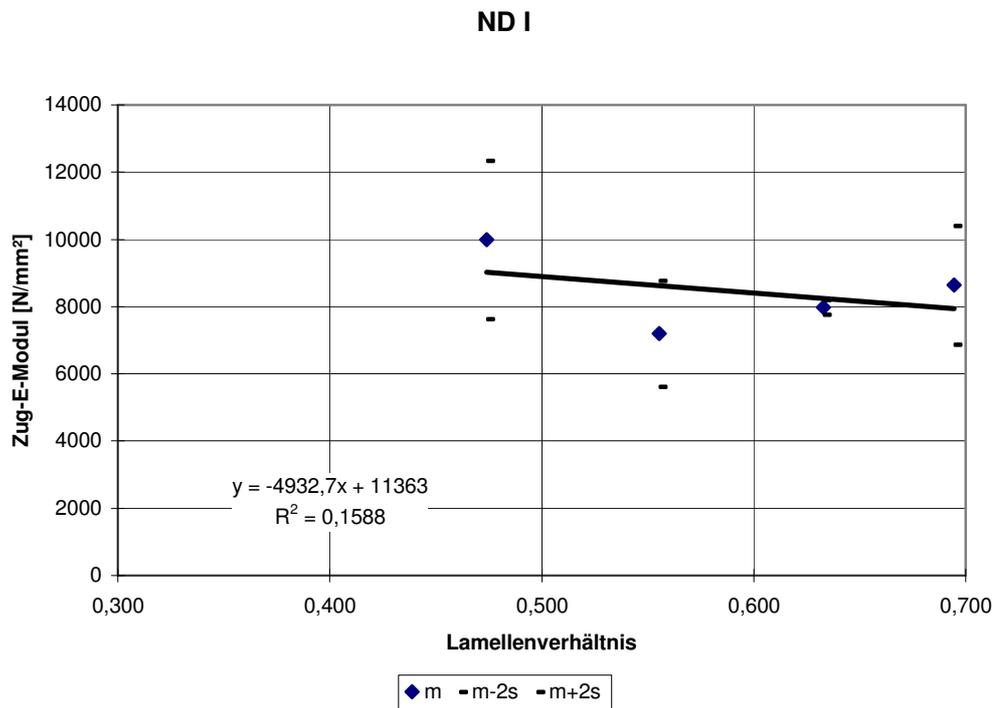


Abbildung 7.1.11.2 Zug in Plattenebene, Decklage parallel - Zug-E-Modul



7.1.12 Zug in Plattenebene, Decklage rechtwinklig

Tabelle 7.1.12.1: Zugfestigkeit [N/mm ²]								
Hersteller		Nenndicke ≤ 20 mm			Nenndicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅
1 A	-	-	-		10	23,7	3,0	
2 B	10	17,2	2,7		10	13,8	2,2	
3 C	-	-	-		10	16,4	2,8	
					10	17,2	3,0	
4 D	-	-	-		-	-	-	
5 E	-	-	-		-	-	-	
6 F	-	-	-		-	-	-	
7 G	-	-	-		-	-	-	
8 H	8	13,7	3,1		8	16,2	4,1	
9 I	-	-	-		10	16,8	6,0	
10 K	25	18,6	1,1		-	-	-	
11 L	10	15,3	3,6		-	-	-	
12 M	12	13,7	3,3		14	18,7	4,5	
gesamt / Mittelwert	65	15,7	2,2		72	17,5	3,1	
char. Wert			Auswertung nach 3.1.2.2	12,1			Auswertung nach 3.1.2.2	12,2

Tabelle 7.1.12.2: Zugmodul [N/mm ²]								
Hersteller		Nenndicke ≤ 20 mm			Nenndicke > 20 mm bis 30 mm			
#	n	\bar{x}	s	X ₀₅	n	\bar{x}	s	X ₀₅
1 A	-	-	-		10	9890	911	
2 B	10	4807	729		10	4572	521	
3 C	-	-	-		10	3921	730	
					10	4182	793	
4 D	-	-	-		-	-	-	
5 E	-	-	-		-	-	-	
6 F	-	-	-		-	-	-	
7 G	-	-	-		-	-	-	
8 H	8	3347	591		8	4745	946	
9 I	-	-	-		-	-	-	
10 K	25	6000	643		-	-	-	
11 L	-	-	-		-	-	-	
12 M	12	3795	634		15	4958	500	
gesamt / Mittelwert	55	4487	1179		63	5378	2242	
char. Wert		4490	Auswertung nach 3.1.2.2	2380		5380	Auswertung nach 3.1.2.2	1820

Abbildung 7.1.12.1 Zug in Plattenebene, Decklage rechtwinklig - Zugfestigkeit

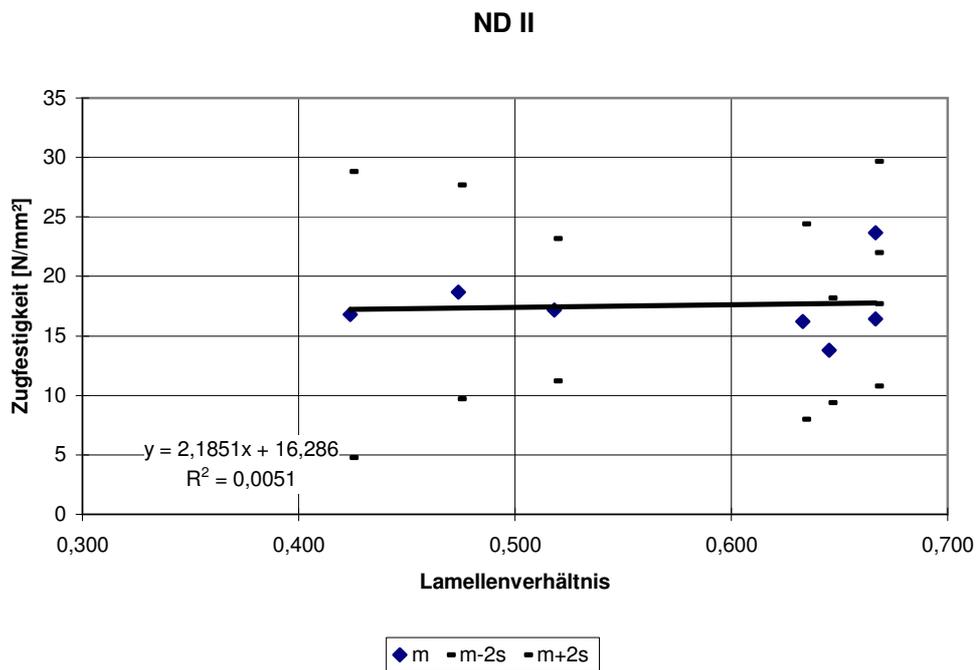
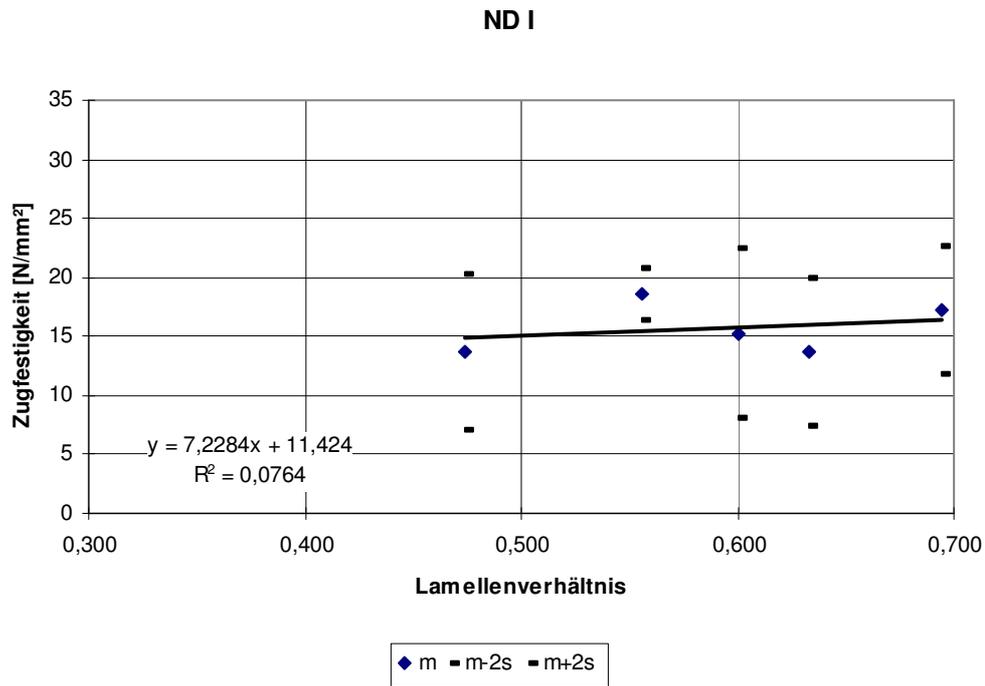
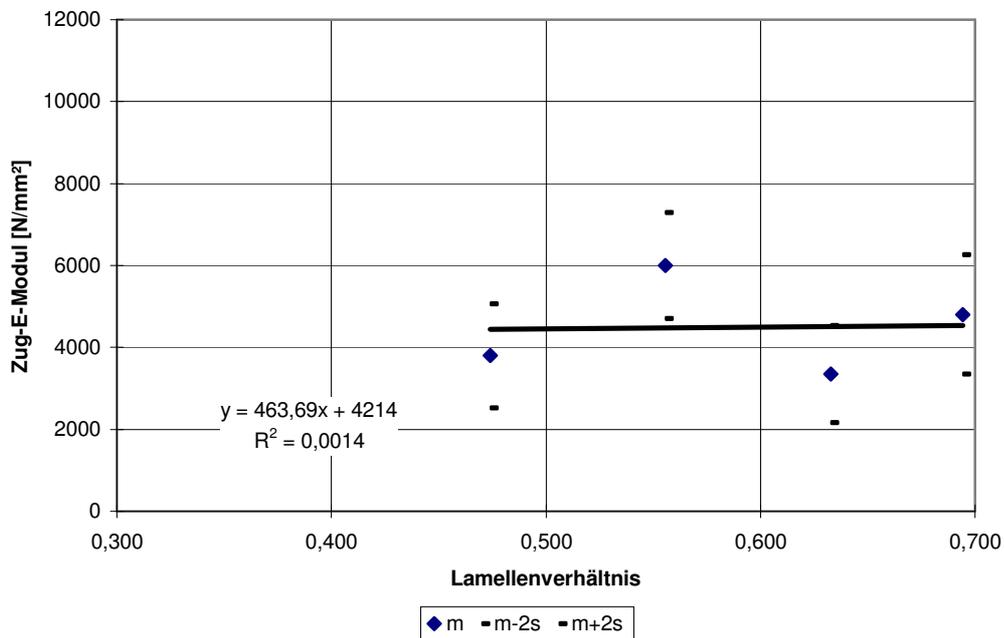
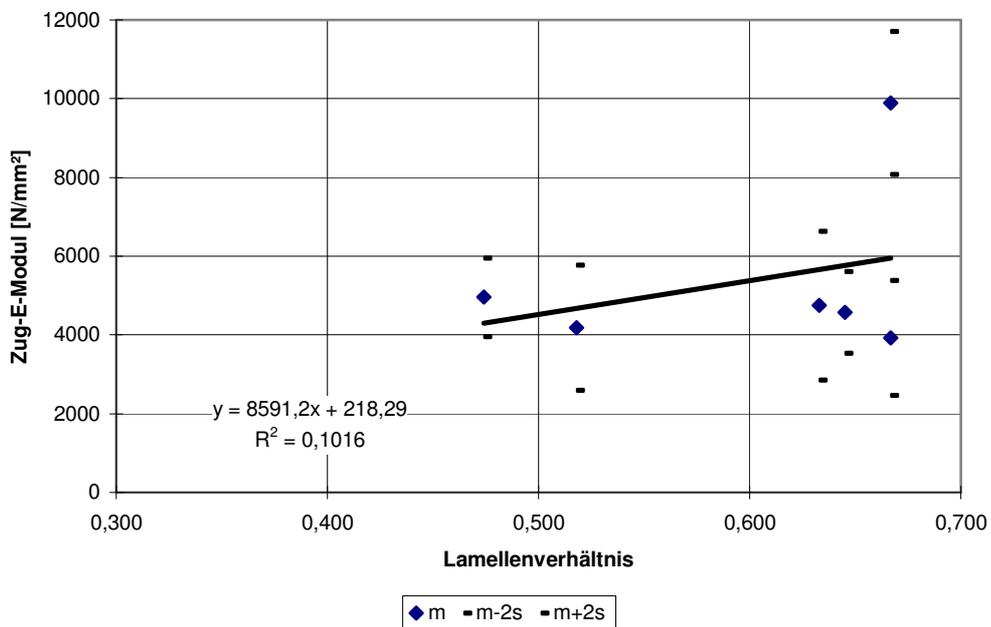


Abbildung 7.1.12.2 Zug in Plattenebene, Decklage rechtwinklig - Zug-E-Modul

ND I



ND II



**7.2 *Mechanisch-physikalische und hygri-sche Eigenschaften 3lagiger Platten
aus Lamellen unterschiedlicher E-Modul-Bereiche***

7.2.1 Mechanisch-physikalische und hygri-sche Eigenschaften 3lagiger Platten aus Lamellen der Biege-E-Modul-Bereiche L1/I bis L1/III mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis

Biege-E-Modulbereiche		L1/ 9000 ... 10900		L1/II 10900 ... 12800		L1/III >12800	
Lamellenbreite [mm]		91		91		91	
Decklagendicke [mm]		7,0	12,0	7,0	12,0	7,0	12,0
Mittellagendicke [mm]		19,8	7,0	19,8	7,0	19,8	7,0
Plattendicke [mm]		33,8	31,0	33,8	31,0	33,8	31,0
Lamellenverhältnis R_L		0,41	0,77	0,41	0,77	0,41	0,77
Varianten-Nr.		5	6	7	8	9	10
Rohdichte [kg/m ³], n = 6	\bar{x}	434,8	439,7	447,0	434,9	466,5	470,2
	s	7,1	10,1	20,2	8,9	29,5	21,5
Feuchte bei Prüfung [%], n = 4	\bar{x}	10,8	10,7	10,8	10,6	10,9	10,6
	s	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Biegefestigkeit, DL II [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	34,40	60,01	43,13	56,94	48,21	59,57
	s	4,36	9,18	1,05	5,27	3,06	4,41
Biege-E-Modul, DL II [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	9278	16021	13809	17612	15152	19282
	s	369	1394	1453	1972	982	1986
Biegefestigkeit, DL \perp [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	25,92	6,37	32,38	5,63	33,77	6,70
	s	2,50	0,71	6,05	0,68	5,67	0,80
Biege-E-Modul, DL \perp [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	3843	355	4643	301	5574	314
	s	499	43	683	37	728	33
Biegefestigkeit in PE DL II, [N/mm ²] n = 1		25,11	57,45	28,56	54,47	33,22	63,06
Biege-E-Modul in PE DL II, [N/mm ²] n = 1		2860	14017	6515	7989	4454	9692
Biegefestigkeit in PE DL \perp , [N/mm ²] n = 1		43,66	12,77	47,85	18,45	54,03	26,60
Biege-E-Modul in PE DL \perp , [N/mm ²] n = 1		4145	4192	5988	1584	6443	2967
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene, DL II [N/mm ²], n = 1		4,51	/	5,73	/	5,64	/
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene, DL II [N/mm ²], n = 1		794	/	672	/	769	/
Formänderung diagonal [mm/m], n = 2	\bar{x}	3,99	13,24	3,26	12,98	3,13	11,96
Formänderung Nebenachse [mm/m], n = 2	\bar{x}	4,36	23,31	3,63	22,81	3,54	21,38
Formänderung Hauptachse [mm/m], n = 2	\bar{x}	3,43	2,90	2,84	3,15	2,57	2,34
Längenänderung IL85, DL II, n = 3	\bar{x}	0,28	0,04	0,15	0,04	0,27	0,06
Längenänderung IL85, DL \perp , n = 3	\bar{x}	0,25	0,51	0,17	0,28	0,17	0,39
Längenänderung DL35, DL II, n = 3	\bar{x}	-0,03	-0,03	-0,56	-0,03	-0,02	-0,02
Längenänderung DL35, DL \perp , n = 3	\bar{x}	-0,06	-0,09	-0,55	-0,07	-0,02	-0,07

7.2.2 Mechanisch-physikalische und hygri sche Eigenschaften 3lagiger Platten aus Lamellen der Biege-E-Modul-Bereiche L2/I bis L2/III mit unterschiedlichem Lamellenverhältnis

Biege-E-Modulbereiche		L2/I		L2/II		L2/III	
		8000 ... 9200		9200 ... 10400		10400 ... 11600	
Lamellenbreite [mm]		117		117		117	
Decklagendicke [mm]		9,0	12,8	9,0	12,8	9,0	12,8
Mittellagendicke [mm]		12,8	9,0	12,8	9,0	12,8	9,0
Plattendicke [mm]		30,8	34,6	30,8	34,6	30,8	34,6
Lamellenverhältnis R_L		0,58	0,74	0,58	0,74	0,58	0,74
Varianten-Nr.		11	12	13	14	15	16
Rohdichte [kg/m ³], n = 6	\bar{x}	467,8	487,2	479,6	463,3	500,2	492,7
	s	13,8	23,8	14,7	15,0	25,5	19,3
Feuchte bei Prüfung [%], n = 4	\bar{x}	11,1	11,1	11,0	11,2	11,3	11,0
	s	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Biegefestigkeit, DL II [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	40,03	48,95	52,59	50,74	52,24	51,68
	s	14,75	6,03	6,24	4,16	7,24	5,32
Biege-E-Modul, DL II [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	16927	24499	16176	18006	16860	26346
	s	6735	3822	1382	2413	230	4928
Biegefestigkeit, DL \perp [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	16,59	9,54	17,31	7,32	15,76	7,02
	s	2,86	0,91	1,83	0,75	1,57	0,68
Biege-E-Modul, DL \perp [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	1138	551	1511	548	1430	468
	s	282	40	109	36	51	31
Biegefestigkeit in PE DL II, [N/mm ²] n = 1	\bar{x}	44,60	43,83	38,86	67,27	59,31	59,93
Biege-E-Modul in PE DL II, [N/mm ²] n = 1		5199	4939	4653	17362	6280	14062
Biegefestigkeit in PE DL \perp , [N/mm ²] n = 1		37,45	21,03	30,14	28,32	26,03	18,17
Biege-E-Modul in PE DL \perp , [N/mm ²] n = 1		3834	5184	9830	10162	6835	5736
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene, DL II [N/mm ²], n = 1		4,06	/	4,62	/	4,47	/
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene, DL II [N/mm ²], n = 1		778	/	772	/	804	/
Formänderung diagonal [mm/m], n = 2	\bar{x}	4,40	7,65	3,98	6,90	4,14	7,02
Formänderung Nebenachse [mm/m], n = 2	\bar{x}	6,28	13,28	6,08	12,4	6,28	12,54
Formänderung Hauptachse [mm/m], n = 2	\bar{x}	2,44	1,93	2,11	1,46	2,03	1,53
Längenänderung IL85, DL II, n = 3	\bar{x}	0,12	0,05	0,13	0,04	0,15	0,09
Längenänderung IL85, DL \perp , n = 3	\bar{x}	0,18	0,40	0,25	0,38	0,19	0,37
Längenänderung DL35, DL II, n = 3	\bar{x}	-0,10	-0,08	-0,09	-0,11	-0,14	-0,07
Längenänderung DL35, DL \perp , n = 3	\bar{x}	-0,12	-0,18	-0,15	-0,18	-0,15	-0,16

7.3 ***Sortierbestimmungen für Lamellen aus Fichte, Kiefer oder Lärche nach ÖNORM B 3022:1991 (Auszug)***

Sortierungsmerkmale	Güteklassen		
	A	B	C
Allgemeine Anforderungen	einwandfreie Verleimung keine offenen Fugen		einwandfreie Verleimung
Struktur, Faserverlauf	feinjährig, gerad- faserig	grobjährig und leichter Drehwuchs zulässig	keine besonderen Ansprüche
Astigkeit ¹⁾	gesunde fest- verwachsene Äste Fichte 30 mm Kiefer 50 mm Lärche 50 mm zulässig	gesunde festver- wachsene Äste und vereinzelt schwarze Äste zulässig	keine besonderen Ansprüche
Naturastdübel	vereinzelt zulässig	zulässig	keine besonderen Ansprüche
Harzgallen	vereinzelt bis max. 2 mm × 30 mm zulässig	zulässig bis 5 mm × 50 mm	keine besonderen Ansprüche
ausgebesserte Harzgallen	vereinzelt zulässig	zulässig	keine besonderen Ansprüche
Rindeneinschlüsse	unzulässig	vereinzelt zulässig	keine besonderen Ansprüche
Risse	seichte Oberflächen- risse vereinzelt zulässig	seichte Oberflächen- risse vereinzelt zu- lässig, durchgehende Endrisse bis 50 mm Länge vereinzelt zulässig	keine besonderen Ansprüche
Kernröhrenanteil	praktisch keiner	zulässig	keine besonderen Ansprüche
Buchs	praktisch keiner	zulässig	keine besonderen Ansprüche
Insektenbefall, Wurmstiche	unzulässig	unzulässig	Insektenbefall unzulässig, Wurm- stiche vereinzelt zulässig

Fortsetzung

Sortierungsmerkmale	Güteklassen		
	A	B	C
Verfärbungen, Pilzbefall	unzulässig	vereinzelt leichte Verfärbung zulässig (z. B. Bläue)	keine besonderen Ansprüche, Fäule unzulässig
Splint	bei Kiefer zulässig, bei Lärche vereinzelt zulässig	bei Kiefer und Lärche zulässig	keine besonderen Ansprüche
(Leim-)Fugendicke	max. 0,2 mm	max. 0,3 mm	keine besonderen Ansprüche
Oberflächenbearbeitung	ohne Fehlstellen	vereinzelt kleine Fehlstellen zulässig	keine besonderen Ansprüche
Randbeschaffenheit der Platte, wie Baumwalze, ausgeschlagene Stellen	unzulässig	bis 10 mm vom Rand vereinzelt zulässig	bis 50 mm vom Rand vereinzelt zulässig
Holzartenmischung	unzulässig	unzulässig	zulässig
Einzelteilbreite (ohne Randteil)	mindestens 60 mm	mindestens 60 mm	keine besonderen Ansprüche
Einzelteil/Längenstöße (ohne Randteil)	unzulässig	unzulässig	zulässig
Holzbild	nach Farbe und Struktur ausgeglichenes Bild	keine besonderen Ansprüche	keine besonderen Ansprüche
<p>¹⁾ Der Durchmesser ergibt sich als arithmetisches Mittel aus kleinstem und größtem Durchmesser. Die Definitionen der Begriffe sind in ÖNORM B 3000 Teil 1 und den Österreichischen Holzhandelsusancen 1973, Ausgabe 1985 enthalten.</p>			

7.4 *Mechanisch-physikalische Eigenschaften dreilagiger Platten aus unterschiedlich klimatisierten Lamellen*

7.4.1 Mechanisch-physikalische und hygrische Eigenschaften von dreilagigen Massivholzplatten, hergestellt unter MUF-Harz-Bindung aus Lamellen gleicher Breite, vor Herstellung klimatisiert in den Klimaten 20 °C / 35 % rH, 20 °C / 65 % rH bzw. 20 °C / 85 % rH

Lamellenklimatisierung		20 °C / 35 % rH		20 °C / 65 % rH		20 °C / 85 % rH	
Lamellenbreite [mm]		91		91		91	
Decklagendicke [mm]		9,0	12,8	9,0	12,8	9,0	12,8
Mittellagendicke [mm]		12,8		12,8		12,8	
Plattendicke [mm]		30,8	38,4	30,8	38,4	30,8	38,4
Lamellenverhältnis R_L		0,58	0,67	0,58	0,67	0,58	0,67
Varianten-Nr.		17	18	19	20	21	22
Rohdichte [kg/m ³]	\bar{x}	461,3	474,2	484,5	465,8	454,1	456,7
	s	24,6	10,5	24,7	28,8	12,4	17,6
Biegefestigkeit, DL II [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	54,07	52,29	50,66	42,76	47,85	43,59
	s	1,48	1,61	4,38	3,27	7,05	4,96
Biege-E-Modul, DL II [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	15303	18693	17690	19103	15979	18330
	s	880	/	1820	7194	2862	6302
Biegefestigkeit, DL \perp [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	15,87	13,11	14,83	8,70	15,06	9,28
	s	2,96	1,29	2,44	2,35	2,96	0,69
Biege-E-Modul, DL \perp [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	1584	921	1415	792	1430	690
	s	358	116	168	124	166	19
Biegefestigkeit in PE, DL II, [N/mm ²], n = 1		48,79	59,24	44,42	53,01	52,32	51,61
Biege-E-Modul in PE, DL II, [N/mm ²], n = 1		5985	16373	5178	15351	4903	17805
Biegefestigkeit in PE, DL \perp , [N/mm ²]		37,21	33,08	32,02	23,24	33,93	26,28
Biege-E-Modul in PE, DL \perp , [N/mm ²], n = 1		8030	7266	6441	4876	6214	5682
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene, DL II [N/mm ²], n = 1		5,43	3,91	4,64	3,70	4,49	3,46
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene, DL II [N/mm ²], n = 1		778	529	745	591	449	461
u_{gl} 20 °C / 35 % rH [%], n = 6	\bar{x}	8,4	8,4	8,9	8,8	9,1	8,9
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
u_{gl} 20 °C / 65 % rH [%], n = 6	\bar{x}	11,3	11,2	12,3	12,2	13,2	13,0
	s	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2
u_{gl} 20 °C / 85 % rH [%], n = 6	\bar{x}	17,1	16,8	16,9	16,7	18,6	18,3
	s	0,3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1
Formänderung diagonal [mm/m]		4,77	4,72	4,41	5,02	4,44	4,53
Formänderung Nebenachse [mm/m]		7,27	7,58	6,86	8,12	6,93	7,22
Formänderung Hauptachse [mm/m]		2,27	1,93	2,10	1,96	2,02	1,81
Längenänderung IL85, DL II, n = 3	\bar{x}	0,11	0,59	0,08	0,08	0,09	0,05
Längenänderung IL85, DL \perp , n = 3	\bar{x}	0,17	0,41	0,15	0,22	0,12	0,06
Längenänderung DL35, DL II, n = 3	\bar{x}	-0,09	-0,07	-0,05	-0,07	-0,09	-0,05
Längenänderung DL35, DL \perp , n = 3	\bar{x}	-0,11	-0,11	-0,08	-0,13	-0,06	-0,06

7.4.2 Mechanisch-physikalische und hygri sche Eigenschaften von dreilagigen Massivholzplatten, hergestellt unter PVAc-Bindung aus Lamellen gleicher Breite, vor Herstellung klimatisiert in den Klimaten 20 °C / 35 % rH, 20 °C / 65 % rH bzw. 20 °C / 85 % rH

Lamellenklimatisierung		20 °C / 35 % rH		20 °C / 65 % rH		20 °C / 85 % rH	
Lamellenbreite [mm]		91		91		91	
Decklagendicke [mm]		9,0	12,8	9,0	12,8	9,0	12,8
Mittellagendicke [mm]		12,8		12,8		12,8	
Plattendicke [mm]		30,8	38,4	30,8	38,4	30,8	38,4
Lamellenverhältnis R_L		0,58	0,67	0,58	0,67	0,58	0,67
Varianten-Nr.		23	24	25	26	27	28
Rohdichte [kg/m ³]	\bar{x}	439,5	448,2	455,3	460,9	452,8	447,9
	s	16,2	23,5	19,4	18,1	18,1	16,7
Biegefestigkeit, DL II [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	53,65	50,05	51,13	43,54	30,58	33,87
	s	1,65	4,60	0,58	5,32	/	4,65
Biege-E-Modul, DL II [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	14972	25496	15581	34125	14409	24671
	s	1170	/	3160	7389	/	2844
Biegefestigkeit, DL \perp [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	18,54	11,35	16,65	9,12	14,23	10,81
	s	2,25	2,21	3,00	0,75	0,69	1,92
Biege-E-Modul, DL \perp [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	1376	709	1161	620	1016	626
	s	269	109	132	92	106	114
Biegefestigkeit in PE, DL II, [N/mm ²], n = 1		35,55	42,61	46,03	42,96	39,79	42,88
Biege-E-Modul in PE, DL II, [N/mm ²], n = 1		4382	12987	5614	9400	5156	8722
Biegefestigkeit in PE, DL \perp , [N/mm ²], n = 1		28,50	22,77	35,79	30,25	28,81	28,40
Biege-E-Modul in PE, DL \perp , [N/mm ²], n = 1		5882	6325	7365	6716	10326	5619
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene, DL II [N/mm ²], n = 1		4,98	3,52	4,41	3,54	2,79	2,61
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene, DL II [N/mm ²], n = 1		459	835	315	461	207	292
u_{gl} 20 °C / 35 % rH [%], n = 6	\bar{x}	8,2	8,4	8,6	8,7	8,7	8,8
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
u_{gl} 20 °C / 65 % rH [%], n = 6	\bar{x}	11,0	11,2	12,2	12,2	12,9	13,1
	s	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,0
u_{gl} 20 °C / 85 % rH [%], n = 6	\bar{x}	16,9	16,9	16,8	16,5	18,3	18,3
	s	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1
Formänderung diagonal [mm/m]		4,29	3,76	4,53	3,51	3,42	3,66
Formänderung Nebenachse [mm/m]		6,17	6,33	6,29	5,35	4,69	5,29
Formänderung Hauptachse [mm/m]		2,29	1,18	2,67	1,67	2,31	2,04
Längenänderung IL85, DL II, n = 3	\bar{x}	0,10	0,07	0,07	0,04	0,06	0,07
Längenänderung IL85, DL \perp , n = 3	\bar{x}	0,24	0,34	0,14	0,10	0,04	0,13
Längenänderung DL35, DL II, n = 3	\bar{x}	-0,05	-0,06	-0,07	-0,07	-0,10	-0,09
Längenänderung DL35, DL \perp , n = 3	\bar{x}	-0,06	-0,11	-0,10	-0,12	-0,10	-0,09

**7.5 Mechanisch-physikalische Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten,
hergestellt unter Zugabe von Oberflächenwasser**

7.5.1 Mechanisch-physikalische und hygri sche Eigenschaften von dreilagigen Massivholzplatten, hergestellt unter MUF-Harz-Bindung aus Lamellen gleicher Breite, vor Herstellung Zugabe von Zusatzwasser auf die Decklagen

Zusatzwasser		85 g/m ²		255 g/m ²	
Lamellenbreite [mm]		91		91	
Decklagendicke [mm]		9,0	12,8	9,0	12,8
Mittellagendicke [mm]		12,8		12,8	
Plattendicke [mm]		30,8	38,4	30,8	38,4
Lamellenverhältnis R _L		0,58	0,67	0,58	0,67
Varianten-Nr.		29	30	33	34
Rohdichte [kg/m ³]	\bar{x}	485,6	462,7	484,6	487,4
	s	3,5	9,5	27,6	17,2
Biegefestigkeit, DL II [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	53,06	49,33	52,88	54,46
	s	10,31	6,06	4,43	2,45
Biege-E-Modul, DL II [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	17695	20748	16575	21748
	s	3111	3798	29,51	2617
Biegefestigkeit, DL \perp [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	17,17	12,43	16,86	10,62
	s	1,29	2,20	0,59	0,23
Biege-E-Modul, DL \perp [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	1455	759	1414	758
	s	87	86	89	78
Biegefestigkeit in PE, DL II, [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	45,05	38,17	39,01	46,28
	s	8,76	7,30	12,88	7,50
Biege-E-Modul in PE, DL II, [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	9568	7752	9154	11298
	s	917	2533	3233	2328
Biegefestigkeit in PE, DL \perp , [N/mm ²], n = 3	\bar{x}	34,36	27,43	33,92	31,11
	s	4,57	1,01	7,67	4,54
Biege-E-Modul in PE, DL \perp , [N/mm ²] n = 3	\bar{x}	7344	3945	7466	6365
	s	633	658	990	492
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene, DL II [N/mm ²], n = 1		5,04	4,96	5,08	3,66
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene, DL II [N/mm ²], n = 1		538	508	732	663
Formänderung diagonal [mm/m]		4,88	4,91	5,03	5,29
Formänderung Nebenachse [mm/m]		7,48	7,79	7,68	8,28
Formänderung Hauptachse [mm/m]		2,32	1,92	2,33	2,06
Längenänderung IL85, DL II, n = 3	\bar{x}	0,06	0,05	0,11	0,05
Längenänderung IL85, DL \perp , n = 3	\bar{x}	0,14	0,29	0,14	0,18
Längenänderung DL35, DL II, n = 3	\bar{x}	-0,10	-0,12	-0,13	-0,08
Längenänderung DL35, DL \perp , n = 3	\bar{x}	-0,09	-0,15	-0,17	-0,14

7.6 *Mechanisch-physikalische Eigenschaften der in den Laborversuchen zur Substitution der Mittellage verwendeten Holzwerkstoffe*

7.6.1 Mechanisch-physikalische Eigenschaften der in den Laborversuchen verwendeten Holzwerkstoffe, verglichen mit den Anforderungswerten der entsprechenden Normen bzw. bauaufsichtlichen Zulassungen

Eigenschaften	Material	OSB/3					
	Dicke [mm]	10		12		18	
	Platten-Nr.	420/1		421/1		422/1	
	$X_{\text{meß}}$	X_{grenz}	$X_{\text{meß}}$	X_{grenz}	$X_{\text{meß}}$	X_{grenz}	
Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x} 37,06 s 5,90 v 15,9	22 / 28	<u>24,94</u> ³ 4,16 16,7	20 / 28	33,62 4,91 14,6	18 / 26	
Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x} 24,61 s 4,14 v 16,8	11 / 15	15,75 2,59 16,5	10 / 15	20,47 2,26 11,0	9 / 14	
Vierpunktbiegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x} 30,41 s 4,73 v 15,6	/	22,66 3,85 17,0	/	28,98 3,23 11,2	/	
Vierpunktbiegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x} 20,97 s 2,90 v 13,8	/	17,85 1,70 9,6	/	16,68 1,54 9,2	/	
Biege E-Modul \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x} 5410 s 509 v 9,4	3500 / 4800	<u>4448</u> 472 10,6	3500 / 4800	5976 419 7,0	3500 / 4800	
Biege E-Modul \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x} 3079 s 403 v 13,1	1400 / 1900	2469 221 9,0	1400 / 1900	2989 218 7,3	1400 / 1900	
Biege E-Modul (4Pkt.-Biegung) \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x} 8619 s 1540 v 17,9	/	6983 1604 23,0	/	7866 917 11,7	/	
Biege E-Modul (4Pkt.-Biegung) \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x} 3724 s 864 v 23,2	/	3596 467 13,0	/	3179 58 8,1	/	
Dickenquellung n. 24h / 2+24h (DIN EN 317 / DIN 52364) Wasserlagerung [%], n=10	\bar{x} 10,2 s 1,50 v 14,9	15 / 12	<u>16,9</u> 2,00 12,1	15 / 12	7,0 1,30 19,0	15 / 12	
Trockenquerzugfestigkeit [N/mm ²], n=10	\bar{x} 0,57 s 0,10 v 17,1	0,34	0,5 0,07 14,5	0,32	0,61 0,04 7,2	0,3	
Querzugfestigkeit nach Kochprüfung [N/mm ²], n=10 (DIN EN 1087 – 1)	\bar{x} <u>0,08</u> s 0,01 v 17,9	0,15 / 0,23	<u>0,04</u> 0,01 24,8	0,13 / 0,23	<u>0,07</u> 0,01 13,9	0,12 / 0,12	
Rohdichte [kg/m ³], n=10 (Hauptrichtung)	\bar{x} 660 s 21 v 3,2	$\pm 10\%$ ¹⁾ von 640	634 23 3,7	$\pm 10\%$ von 640	638 16 2,6	$\pm 10\%$ von 600	
Rohdichte [kg/m ³], n=10 (Nebenrichtung)	\bar{x} 672 s 14 v 2,0	$\pm 10\%$ von 640	618 8 1,3	$\pm 10\%$ von 640	645 13 2,1	$\pm 10\%$ von 600	
Feuchtegehalt bei Prüfung [%], n=8	\bar{x} 7,8 s 0,4 v 5,1	5-12 / 9 (± 4)	8,4 0,1 1,6	5-12 / 9 (± 4)	7,7 0,5 6,0	5-12 / 9 (± 4)	

³ unterstrichene Werte kennzeichnen eine Nichterfüllung der Anforderungen

Eigenschaften	Material	Bau-Furniersperrholz BFU 100 aus Birke							
	Dicke [mm]	9 (7 Furniere)		12 (9 Furniere)		19 (13 Furniere)			
	Platten-Nr.	426/1-2		427/1-2		428/1-2			
	$X_{\text{me\ss}}$		X_{grenz}	$X_{\text{me\ss}}$		X_{grenz}	$X_{\text{me\ss}}$		X_{grenz}
Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	92,71	40 / -	85,89	40 / -	72,82	40 / -		
	s	2,56		4,97		3,06			
	v	2,8		5,8		4,2			
Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	69,49	15 / -	69,80	15 / -	57,72	15 / -		
	s	1,90		5,19		6,19			
	v	2,7		7,4		10,7			
Vierpunktbiegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	91,64		71,79		68,87			
	s	3,15	/	5,53	/	3,49	/		
	v	3,4		7,7		5,1			
Vierpunktbiegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	70,77		74,05		49,97			
	s	4,01	/	4,89	/	8,26	/		
	v	5,7		6,6		16,5			
Biege E-Modul \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	10312	- / 9900	8954	- / 9320	9154	- / 8730		
	s	402		444		186			
	v	3,9		5,0		2,0			
Biege E-Modul \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	6324	- / 5270	7030	- / 5860	6149	- / 6440		
	s	207		428		372			
	v	3,3		6,1		6,1			
Biege E-Modul (4Pkt.-Biegung) \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	12350		12481		12128			
	s	1391	/	772	/	518	/		
	v	11,3		6,2		4,3			
Biege E-Modul (4Pkt.-Biegung) \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	7458		9110		7311			
	s	516	/	550	/	627	/		
	v	6,9		6,0		8,6			
Bindefestigkeit der Verleimung nach 24h Kaltwasserversuch (Aufstechversuch) nach DIN 68705-2 und 53255	\bar{x}	Die Beurteilung der Verleimung nach Aufstechen der einzelnen Furniere ergab fast ausschließlich vorzügliche und gute Leimungen. In einzelnen Fällen war die Verleimung ausreichend, es wurde keine unzureichend verleimte Stelle entdeckt.							
Bindefestigkeit der Verleimung nach Kochwechselfersuch (Aufstechversuch) nach DIN 68705-2 und 53255	\bar{x}								
	s								
Rohdichte [kg/m ³], n=10 (Hauptrichtung)	\bar{x}	740	/	748	/	707	/		
	s	12		4		8			
	v	1,6		0,6		1,2			
Rohdichte [kg/m ³], n=10 (Nebenrichtung)	\bar{x}	744	/	748	/	686	/		
	s	13		5		4			
	v	1,7		0,7		0,5			
Feuchtegehalt bei Prüfung [%], n=8	\bar{x}	10,5	5 bis 15	10,4	5 bis 15	11,3	5 bis 15		
	s	0,2		0,2		0,2			
	v	2,1		1,7		1,7			

Eigenschaften	Material	Spanplatte V 100					
	Dicke [mm]	10 – Spanophen (Hornitex)		13 - Innotec (Pfleiderer)		19 - Innotec (Pfleiderer)	
	Platten-Nr.	442/1-2		443/1-2		444/1-2	
		$X_{me\beta}$		X_{grenz}	$X_{me\beta}$	X_{grenz}	$X_{me\beta}$
Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	11,95	19 / 19	22,28	19 / 19	20,65	18 / 18
	s	0,68		1,08		1,21	
	v	5,7		4,8		5,9	
Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	11,31	19 / 19	25,40	19 / 19	20,69	18 / 18
	s	0,31		1,20		1,28	
	v	2,8		4,7		6,2	
Vierpunktbiegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	11,04		19,95		19,19	
	s	0,46	/	0,41	/	1,08	/
	v	4,2		2,0		5,6	
Vierpunktbiegefestigkeit \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	10,76		22,51		19,04	
	s	0,51	/	0,76	/	1,26	/
	v	4,7		3,4		6,6	
Biege E-Modul \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	2249	- / 3200	3490	- / 3200	3465	- / 2800
	s	64		75		140	
	v	2,9		2,1		4,0	
Biege E-Modul \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	1931	- / 3200	4174	- / 3200	3690	- / 2800
	s	57		192		159	
	v	2,9		4,6		4,3	
Biege E-Modul (4Pkt.-Biegung) \perp zur Plattenebene in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	1843		4320		4056	
	s	113	/	219	/	249	/
	v	6,1		4,9		6,1	
Biege E-Modul (4Pkt.-Biegung) \perp zur Plattenebene in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	1675		5921		4710	
	s	82	/	314	/	665	/
	v	4,9		5,3		14,1	
Dickenquellung nach 2h Wasserlagerung (DIN 52364) [%], n=10	\bar{x}	14,7		1,5		2,3	
	s	0,9	/	0,2	/	0,3	/
	v	6,0		11,9		13,5	
Dickenquellung nach 24h Wasserlagerung (DIN 52364) [%], n=10	\bar{x}	20,0		8,1		10,8	
	s	1,3	- / 12	0,6	- / 12	0,4	- / 12
	v	6,4		7,7		3,5	
Dickenquellung nach 24h Wasserlagerung (DIN EN 317) [%], n=10	\bar{x}	19,6	15	4,8	15	11,2	15
	s	0,7		0,7		0,3	
	v	3,8		14,3		2,3	
Querzugfestigkeit nach Kochprüfung [N/mm ²], n=10 (DIN EN 1087 – 1)	\bar{x}	0,12	0,15	0,33	0,15	0,25	0,15
	s	0,01		0,02		0,02	
	v	9,3		7,4		7,7	
Rohdichte [kg/m ³], n=10 (Hauptrichtung)	\bar{x}	688	$\pm 10\%$	786	$\pm 10\%$	739	$\pm 10\%$
	s	6		6		3	
	v	0,8		0,7		0,4	
Rohdichte [kg/m ³], n=10 (Nebenrichtung)	\bar{x}	687	$\pm 10\%$	786	$\pm 10\%$	749	$\pm 10\%$
	s	4		7		10	
	v	0,6		0,9		1,4	
Feuchtegehalt bei Prüfung [%], n=8	\bar{x}	7,8	5-12 / 9	8,4	5-12 / 9	7,7	5-12 / 9
	s	0,4	(± 4)	0,1	(± 4)	0,5	(± 4)
	v	5,1		1,6		6,0	

**7.7 *Mechanisch-physikalische Eigenschaften der in den Laborversuchen
hergestellten Verbundplatten mit substituierter Mittellage***

7.7.1 Mechanisch-physikalische Eigenschaften von 27 mm dicken labortechnisch hergestellten dreilagigen Massivholzplatten mit substituierter Mittellage in Hauptachse Dreilagige Massivholzplatten mit substituierter Mittellage, Prüfkörper in der Hauptachse

Holzwerkstoffmittellage		Spanplatte V100			Bau-Furniersperrholz BFU 100			OSB (OSB/3)		
Dicke Decklagenlamelle [mm]		8,5	7,0	4,0	9,0	7,5	4,0	8,5	7,5	4,5
Dicke Mittellagenlamelle [mm]		10,0	13,0	19,0	9,0	12,0	19,0	10,0	12,0	18,0
Rohdichte [kg/m ³]		565	651	688	588	618	640	541	563	590
Lamellenverhältnis R _L [/]		0,63	0,52	0,30	0,67	0,56	0,30	0,63	0,56	0,33
Varianten-Nr. (gesperrte ML)		35/1,2	36/1,2	37/1,2	38/1,2	39/1,2	40/1,2	41/1,2	42/1,2	43/1,2
Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene σ_{Bxy} [N/mm ²]	\bar{x} ¹⁾ s ²⁾ v ³⁾	44,66 3,22 7,2	67,59 3,51 5,2	52,42 12,35 23,35	68,07 24,38 35,8	73,23 10,64 14,5	64,86 6,22 9,6	42,55 1,62 3,8	49,84 4,34 8,7	39,25 5,55 14,1
Biege-E-Modul \perp zur Plattenebene E_{Bxy} [N/mm ²]	\bar{x} s v	16832 3852 22,9	19020 3298 17,3	13896 1783 12,8	16006 3605 22,5	21458 4049 18,9	13653 1958 14,3	18693 2201 11,8	16738 850 5,1	13799 2684 19,5
Biegefestigkeit in Plattenebene σ_{Bxz} [N/mm ²]	\bar{x} s v	54,91 1,85 3,4	55,50 5,02 9,0	27,60 2,69 9,8	71,23 5,70 8,0	67,42 0,64 0,9	50,27 1,10 2,2	48,53 7,82 16,1	42,90 10,59 24,7	27,81 5,26 18,9
Biege-E-Modul in Plattenebene E_{Bxz} [N/mm ²]	\bar{x} s v	11291 1545 13,7	10831 1740 16,1	4982 476 9,5	16737 3276 19,6	14400 1083 7,5	9437 905 9,6	11591 2531 21,8	10804 402 3,7	4863 1079 22,2
Scherfestigkeit \perp zur Plattenebene τ_{xy} ⁴⁾ [N/mm ²]	\bar{x}	2,39	3,79	6,50	6,03	6,49	6,90	3,68	4,83	7,01
Schubmodul \perp zur Plattenebene G_{xy} ⁴⁾ [N/mm ²]	\bar{x}	802	767	755	912	587	677	901	947	760

Fortsetzung 7.7.1

Varianten-Nr. (nicht gesperrte ML)		35/3	36/3	37/3	38/3	39/3	40/3	41/3	42/3	43/3
Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene $\sigma_{Bxy}^{5)}$ [N/mm ²]	\bar{x}	45,30	59,42	43,85	70,20	76,47	70,83	40,35	46,72	39,51
Biege-E-Modul \perp zur Plattenebene $E_{Bxy}^{5)}$ [N/mm ²]	\bar{x}	16688	18007	15102	17067	17921	14119	18728	20968	13594
Biegefestigkeit in Plattenebene σ_{Bxz} [N/mm ²]	\bar{x}	48,74	53,85	37,00	85,40	73,91	63,33	60,09	51,23	51,24
	s	3,57	4,53	2,12	6,10	6,76	3,20	4,23	12,97	3,86
	v	7,3	8,4	5,7	7,1	9,1	5,1	7,0	25,3	7,5
Biege-E-Modul in Plattenebene E_{Bxz} [N/mm ²]	\bar{x}	9232	9964	6921	18146	15347	12594	1495	9994	9623
	s	2124	1414	490	2186	1038	1720	1489	2114	953
	v	23,0	14,2	7,1	12,0	6,8	13,7	10,4	21,2	9,9

1) Mittelwert; 2) Standardabweichung; 3) Variationskoeffizient [%]; 4) nur 1 Messwert je Prüfkörperserie, 5) aufgrund von nur 2 Messwerten nur Mittelwertbestimmung

7.7.2 Mechanisch-physikalische Eigenschaften von 27 mm dicken labortechnisch hergestellten dreilagigen Massivholzplatten mit substituierter Mittellage in Nebenachse

Holzwerkstoffmittellage		Spanplatte V100			Bau-Furniersperrholz BFU 100			OSB (OSB/3)		
Dicke Decklagenlamelle [mm]		8,5	7,0	4,0	9,0	7,5	4,0	8,5	7,5	4,5
Dicke Mittellagenlamelle [mm]		10,0	13,0	19,0	9,0	12,0	19,0	10,0	12,0	18,0
Rohdichte [kg/m ³]		565	651	688	588	618	640	541	563	590
Lamellenverhältnis R _l [/]		0,63	0,52	0,30	0,67	0,56	0,30	0,63	0,56	0,33
Varianten-Nr. (gesperrte ML)		35/1,2	36/1,2	37/1,2	38/1,2	39/1,2	40/1,2	41/1,2	42/1,2	43/1,2
Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene σ_{Bxy} [N/mm ²]	\bar{x} s v	3,08 0,24 7,8	7,23 0,98 13,5	12,33 1,71 13,8	11,79 1,01 8,6	17,34 1,38 8,0	37,30 3,66 9,8	7,13 2,03 28,5	7,94 0,43 5,4	16,97 0,81 4,8
Biege-E-Modul \perp zur Plattenebene E_{Bxy} [N/mm ²]	\bar{x} s v	432 29 6,8	939 90 9,6	2131 381 17,9	666 44 6,6	1415 209 14,8	4869 57 1,2	604 79 13,1	1015 152 15,0	3131 555 17,7
Biegefestigkeit in Plattenebene σ_{Bxz} [N/mm ²]	\bar{x} s v	5,17 0,48 9,3	9,53 0,57 6,0	11,69 0,17 1,4	23,68 0,40 1,7	33,97 2,06 6,1	43,72 0,97 2,2	7,63 0,69 9,0	9,90 0,63 6,3	14,31 1,10 7,7
Biege-E-Modul in Plattenebene E_{Bxz} [N/mm ²]	\bar{x} s v	921 6 0,7	1866 483 25,9	1917 219 11,4	3755 33 0,9	5240 328 6,3	8440 128 1,5	1274 222 17,4	1864 42 2,2	3550 448 12,6

Fortsetzung 7.7.2

Varianten-Nr. (nicht gesperrte ML)		35/3	36/3	37/3	38/3	39/3	40/3	41/3	42/3	43/3
Biegefestigkeit \perp zur Plattenebene σ_{Bxy} [N/mm ²]	\bar{x}	2,73	6,71	12,80	11,04	15,60	29,76	4,34	6,46	11,82
Biege-E-Modul \perp zur Plattenebene E_{Bxy} [N/mm ²]	\bar{x}	393	1268	1965	582	987	2825	365	548	1278
Biegefestigkeit in Plattenebene σ_{Bxz} [N/mm ²]	\bar{x} s v	5,50 0,39 7,1	10,00 0,27 2,7	12,01 0,40 3,4	25,15 0,88 3,5	30,72 1,44 4,7	63,33 3,20 5,1	5,31 0,89 16,8	8,59 0,65 7,6	13,17 0,64 4,9
Biege-E-Modul in Plattenebene E_{Bxz} [N/mm ²]	\bar{x} s v	876	1837 192 10,5	2014 93 4,6	3589 166 4,6	4514 218 4,8	12594 1720 13,7	898	1488 127 8,5	2565 169 6,6

7.8 *Mechanisch-physikalische Eigenschaften der in den Industrierversuchen zur Substitution der Mittellage verwendeten Holzwerkstoffe*

7.8.1 Mechanisch-physikalische Eigenschaften der in den Industrierversuchen verwendeten Holzwerkstoffe

Eigenschaften	Material	Spanplatten V100 nach DIN 68 763							
	Dicke [mm]	10		16		19		32	
	Platten-Nr.	728 ⁴		729		730		731	
		$X_{me\beta}$	X_{grenz}	$X_{me\beta}$	X_{grenz}	$X_{me\beta}$	X_{grenz}	$X_{me\beta}$	X_{grenz}
Biegefestigkeit [N/mm ²], n=20	\bar{x}	14,9 ⁵	18	21,2	16	20,6	16	11,2	12
	s	1,70		1,96		1,34		0,76	
	v	11,4		9,2		6,5		6,7	
Biege E-Modul [N/mm ²], n=20	\bar{x}	2249	/	3366	/	3213		1799	/
	s	217		341		316		139	
	v	9,6		10,1		9,8		7,7	
Dickenquellung nach 24h Wasserlagerung [%], n=10	\bar{x}	4,3	12	3,9	12	4,9	12	3,8	12
	s	0,3		0,5		0,4		0,3	
	v	6,6		12,3		7,2		7,4	
Querzugfestigkeit [N/mm ²], n=10	\bar{x}	1,04	/	0,94	/	0,93	/	0,70	/
	s	0,09		0,06		0,07		0,05	
	v	8,8		6,8		7,1		6,5	
Querzugfestigkeit nach Kochprüfung [N/mm ²], n=10	\bar{x}	0,16	0,15	0,18	0,15	0,16	0,15	0,12	0,10
	s	0,02		0,02		0,01		0,02	
	v	10,0		10,0		9,0		15,8	
Rohdichte [kg/m ³], n=10	\bar{x}	691	>400	745	>400	718	>400	633	>400
	s	28,9		25,6		6,4		10,4	
	v	4,2		3,4		0,9		1,6	

Eigenschaften	Material	Leichte Faserplatte nach Z-9.1-454			
	Dicke [mm]	13		15	
	Platten-Nr.	735		736	
		$X_{me\beta}$	X_{grenz}	$X_{me\beta}$	X_{grenz}
Biegefestigkeit [N/mm ²], n=20	\bar{x}	15,5	17,0	23,8	17,0
	s	0,50		0,82	
	v	3,2		3,4	
Biege E-Modul [N/mm ²], n=20	\bar{x}	2057	2000	2501	2000
	s	55		55	
	v	2,7		2,2	
Dickenquellung nach 24h Wasserlagerung [%], n=10	\bar{x}	7,6	6,5	5,7	6,5
	s	0,2		0,2	
	v	2,9		3,5	
Querzugfestigkeit [N/mm ²], n=10	\bar{x}	0,38	0,30	0,63	0,30
	s	0,03		0,05	
	v	7,5		7,6	
Querzugfestigkeit nach Kochprüfung [N/mm ²], n=10	\bar{x}	0,02	/	0,14	/
	s	0,01		0,02	
	v	37,5		13,2	
Rohdichte [kg/m ³], n=10	\bar{x}	639	600 ...	643	600 ...
	s	10,5	650	4,5	650
	v	1,6		0,7	

⁴ separate Kennzeichnung der verwendeten Substitute (d.h., für die industriell hergestellten Verbundplatten wurden neue Variantennummern vergeben)

⁵ unterstrichene Werte kennzeichnen eine Nichterfüllung der Anforderungen

Eigenschaften	Material	OSB/3 nach EN 300					
	Dicke [mm]	12		18		30	
	Platten-Nr.	732		733		734	
		$X_{\text{me\ss}}$	X_{grenz}	$X_{\text{me\ss}}$	X_{grenz}	$X_{\text{me\ss}}$	X_{grenz}
Biegefestigkeit in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	25,5	22	25,9	18	27,7	/
	s	3,90		3,61		2,94	
	v	15,3		13,9		10,6	
Biegefestigkeit in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	18,4	11	18,6	9	20,1	/
	s	3,66		1,77		2,22	
	v	19,9		9,6		11,0	
Biege E-Modul in Hauptachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	4293	3500	4707	3500	5346	/
	s	385		372		359	
	v	9,0		7,9		6,7	
Biege E-Modul in Nebenachse [N/mm ²], n=10	\bar{x}	2535	1400	2771	1400	3181	/
	s	278		160		328	
	v	11,0		5,8		10,3	
Dickenquellung nach 24h Wasserlagerung [%], n=10	\bar{x}	12,3	15	9,6	15	8,7	/
	s	2,7		2,0		1,7	
	v	21,8		20,9		19,0	
Querzugfestigkeit [N/mm ²], n=10	\bar{x}	0,48	0,34	0,64	0,30	0,56	/
	s	0,08		0,11		0,11	
	v	15,7		17,1		19,9	
Querzugfestigkeit nach Kochprüfung [N/mm ²], n=10	\bar{x}	<u>0,04</u> ⁶	0,15	<u>0,06</u>	0,12	0,05	/
	s	0,02		0,02		0,01	
	v	52,7		39,3		26,9	
Rohdichte [kg/m ³], n=10	\bar{x}	607	650	634	650	621	650
	s	41,8		19,7		20,3	
	v	6,9		3,1		3,3	

⁶ unterstrichene Werte kennzeichnen eine Nichterfüllung der Anforderungen

7.9 *Mechanisch-physikalische Eigenschaften der in den Industrierversuchen hergestellten Verbundplatten mit substituierter Mittellage*

7.9.1 Eigenschaften der in den Industrierversuchen hergestellten Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen (Substitut: Spanplatte V100, Decklagen Fichtenholzlamellen, Güteklasse B, Breite 117 mm)

Varianten-Nr.	587		588		589		590		591		592		
		⊥		⊥		⊥		⊥		⊥		⊥	
Plattennenddicke	19		19		27		27		42		42		
Dicke Mittellage [mm]	12		16		12		18 ¹⁾		19		31 ²⁾		
Dicke Decklage [mm]	3,5		1,5		7,5		4,5		11,5		5,5		
Lamellenverhältnis R _l	0,37		0,16		0,56		0,33		0,55		0,26		
Decklagenorientierung	⊥		⊥		⊥		⊥		⊥		⊥		
Rohdichte; [kg/m ³]; n=12	\bar{x}	576		732		562		649		553		583	
Querzugfestigkeit trocken; [N/mm ²], n=20	\bar{x}	0,81		0,92		0,71		0,89		0,87		0,61	
	s	0,07		0,06		0,29		0,08		0,03		0,03	
Querzugfestigkeit nach 2 h Ko- chen; [N/mm ²], n=20	\bar{x}	0,16		0,20		0,18		0,17		0,17		0,15	
	s	0,02		0,02		0,02		0,02		0,03		0,02	
Dickenquellung nach 2 h Wasser- lagerung; ; [N/mm ²], n=16	\bar{x}	1,2		1,5		1,3		1,2		1,2		1,0	
	s	0,2		0,2		0,1		0,1		0,2		0,1	
Dickenquellung nach 24 h Wasserlagerung; ; [N/mm ²], n=16	\bar{x}	3,6		3,1		4,3		5,7		4,2		3,4	
	s	0,7		0,2		0,6		0,6		0,7		0,3	
Biegefestigkeit; [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	48,4	7,26	35,9	15,4	45,6	3,54	48,1	7,32	47,1	2,87	29,4	4,61
	s	3,66	0,40	5,15	1,06	11,1	0,34	4,57	0,80	4,33	0,35	4,36	0,67
Biege-E-Modul; [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	11609	996	8602	2443	12745	576	11585	1245	13928	627	11541	1122
	s	305	75	197	118	400	51	612	106	654	45	498	64
Biegefestigkeit in Plattenebene; [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	37,1	8,01	25,5	12,8	44,6	6,22	33,8	9,81	40,9	7,44	23,6	7,05
	s	1,2	0,41	0,89	0,67	2,21	0,42	0,90	0,42	4,01	0,11	3,03	0,16
Biege-E-Modul in Plattenebene; [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	7720	1345	5557	2293	10262	1155	6716	1707	9380	1291	5822	1242
	s	738	122	374	80	337	100	201	171	419	71	189	44
Druckfestigkeit in Plattenebene; [N/mm ²], n=12	\bar{x}	23,35	9,99	26,3	17,7	30,9	850	26,5	12,1	31,6	9,96	20,7	9,57
	s	1,20	0,69	1,11	0,89	2,71	0,37	3,01	1,02	0,47	0,53	0,66	0,42
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene; [N/mm ²]; n=5													
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene; [N/mm ²]; n=5													
Bindefestigkeit der Verleimung; n=4	LF1	1		1		1		1		1		1	
	LF2	1		1		1		1		1		1	
Maßänderungen; [%], n=8	IL85	0,10	0,32	0,06	0,26	0,02	0,64	0,08	0,40	0,12	0,64	0,13	0,48
	DL35	-0,05	-0,25	-0,14	-0,17	-0,13	-0,36	-0,09	-0,24	-0,09	-0,29	-0,13	-0,23

1) Nenndicke des Substituts vor Beleimung und Verlegung von symmetrisch 19 auf von 18 mm geschliffen

2) Nenndicke des Substituts vor Beleimung und Verlegung von symmetrisch 32 auf von 31 mm geschliffen

7.9.2 Eigenschaften der in den Industrierversuchen hergestellten Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen (Substitut: OSB/3, Decklagen Fichtenholzlamellen, Güteklasse B, Breite 117 mm)

Varianten-Nr.	593		595		596		597		598		
Plattennenddicke	19		27		27		42		42		
Dicke Mittellage [mm]	12		12		18		18		30		
Dicke Decklage [mm]	3,5		7,5		4,5		12,0		6,0		
Lamellenverhältnis R_1	0,37		0,56		0,33		0,57		0,29		
Decklagenorientierung		⊥		⊥		⊥		⊥		⊥	
Rohdichte; [kg/m ³]; n=12	\bar{x}	590		559		585		503		583	
Querzugfestigkeit trocken; [N/mm ²], n=20	\bar{x}	0,56		0,50		0,56		0,55		0,63	
	s	0,09		0,14		0,12		0,12		0,07	
Querzugfestigkeit nach 2 h Ko- chen; [N/mm ²], n=20	\bar{x}	0,04		0,06		0,09		0,06		0,04	
	s	0,02		0,02		0,03		0,02		0,02	
Dickenquellung nach 2 h Wasser- lagerung; ; [N/mm ²], n=16	\bar{x}	1,6		1,7		1,2		1,3		1,2	
	s	0,2		0,3		0,2		0,2		0,1	
Dickenquellung nach 24 h Wasserlagerung; ; [N/mm ²], n=16	\bar{x}	7,4		6,6		7,1		6,2		6,3	
	s	1,6		1,4		1,0		0,8		0,9	
Biegefestigkeit; [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	48,7	10,3	52,9	4,57	51,2	10,1	39,4	4,14	40,3	11,3
	s	7,79	0,80	10,3	0,32	8,50	0,65	6,61	0,19	2,86	0,92
Biege-E-Modul; [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	13449	1347	14187	617	12532	1259	14078	589	13663	1755
	s	1249	209	1387	102	564	89	787	80	1373	103
Biegefestigkeit in Plattenebene; [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	37,3	11,7	45,3	8,62	38,6	11,1	38,1	7,56	30,6	14,1
	s	5,72	0,39	3,98	0,39	1,38	0,84	2,94	0,58	1,03	0,52
Biege-E-Modul in Plattenebene; [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	8443	2694	11256	1581	8348	2408	10428	1415	7310	3236
	s	1242	74	288	13	220	93	206	100	204	136
Druckfestigkeit in Plattenebene; [N/mm ²], n=12	\bar{x}	25,0	11,0	34,1	9,10	26,8	12,3	30,3	8,56	25,3	13,1
	s	2,72	0,95	1,86	0,69	1,67	0,93	2,09	0,36	2,14	0,85
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene; [N/mm ²]; n=5											
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene; [N/mm ²]; n=5											
Bindefestigkeit der Verleimung; n=4	LF1	4		4		4		3		4	
	LF2	4		4		4		4		4	
Maßänderungen; [%], n=8	IL85	0,09	0,31	0,07	0,54	0,07	0,38	0,04	0,58	0,07	0,43
	DL35	-0,08	-0,16	-0,07	-0,26	-0,07	-0,15	-0,12	-0,23	-0,13	-0,16

7.9.3 Eigenschaften der in den Industrieversuchen hergestellten Massivholzplatten mit substituierten Mittellagen (Substitut: leichte Faserplatte, Decklagen Fichtenholzlamellen, Güteklasse B, Breite 117 mm)

Varianten-Nr.		599		600	
Plattennenddicke		19		27	
Dicke Mittellage [mm]		13		15	
Dicke Decklage [mm]		3,0		6,0	
Lamellenverhältnis R_L		0,32		0,44	
Decklagenorientierung			⊥		⊥
Rohdichte [kg/m ³]; n=12	\bar{x}	589		558	
Querkzugfestigkeit trocken [N/mm ²], n=20	\bar{x}	0,19		0,55	
	s	0,04		0,08	
Querkzugfestigkeit nach 2 h Kochen; [N/mm ²], n=20	\bar{x}	0,01		0,08	
	s	0,00		0,03	
Dickenquellung nach 2 h Wasserlagerung; ; [N/mm ²], n=16	\bar{x}	2,1		1,4	
	s	0,1		0,2	
Dickenquellung nach 24 h Wasserlagerung; ; [N/mm ²], n=16	\bar{x}	5,2		4,3	
	s	0,8		0,6	
Biegefestigkeit [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	35,5	9,32	42,6	7,97
	s	4,76	0,69	5,53	0,61
Biege-E-Modul [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	10124	1223	11502	773
	s	795	92	818	47
Biegefestigkeit in Plattenebene [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	29,9	10,6	38,1	11,9
	s	0,65	0,37	4,69	0,51
Biege-E-Modul in Plattenebene [N/mm ²]; n=8	\bar{x}	6898	1314	7548	1346
	s	384	21	713	71
Druckfestigkeit in Plattenebene [N/mm ²], n=12	\bar{x}	18,7	6,15	21,3	7,77
	s	1,56	0,41	2,20	0,43
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene; [N/mm ²]; n=5					
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene; [N/mm ²]; n=5					
Bindefestigkeit der Verleimung n=4		1		3	
		2		4	
Maßänderungen n=6	IL85	0,05	0,40	0,10	0,63
	DL35	-0,11	-0,16	-0,06	-0,18

7.9.4 Eigenschaften der in den Industrierversuchen hergestellten Verbundplatten bei Zug in Plattenebene

Material Mittellage	Spanplatte V100						OSB/3						Leichte Faserplatte	
Varianten-Nr.	587	588	589	590	591	592	593	595	596	597	598	599	600	
Plattennenddicke	19		27			42		19	27			42	19	27
Dicke Mittellage [mm]	12	16	12	18	19	31	12	12	18	18	30	13	15	
Dicke Decklage [mm]	3,5	1,5	7,5	4,5	11,5	5,5	3,5	7,5	4,5	12,0	6,0	3,0	6,0	
Lamellenverhältnis R_L	0,37	0,16	0,56	0,33	0,55	0,26	0,37	0,56	0,33	0,57	0,29	0,32	0,44	
Zugfestigkeit in Plattenebene [N/mm ²], n=8	⊥	5,08	9,07	3,79	6,39	4,71	4,15	6,83	5,56	7,86	5,56	9,28	5,61	7,60
		0,29	0,66	0,39	0,33	0,49	0,46	0,83	0,75	1,00	0,27	0,99	0,93	0,49
	/	7,41	11,2	5,40	8,03	6,35	5,92	9,03	6,90	8,30	6,47	9,97	7,75	7,45
		0,53	0,35	0,44	1,24	0,56	0,36	1,22	0,41	0,57	1,10	0,76	0,27	0,46
	II	28,5	14,0	28,5	19,8	20,7	13,3	23,9	29,7	25,4	23,9	20,2	21,0	23,8
		8,90	2,33	6,28	3,57	4,07	2,90	4,52	7,17	6,38	4,11	2,75	2,61	4,83
Zugmodul in Plattenebene [N/mm ²], n=8	⊥	1311	2265	1049	1615	1226	1269	2053	1571	2222	1500	2609	1368	1266
		54	79	91	79	31	80	247	201	155	82	92	66	42
	/	1777	2700	1583	2123	1785	1607	2605	2195	2435	2017	2790	1726	1711
		44	60	84	65	92	54	232	138	128	131	106	42	24
	II	6280	4811	7673	5646	7322	4731	7189	9089	7050	7864	6392	5756	6208
		668	411	621	228	701	390	463	777	344	675	377	563	934

⊥: Faser-Last-Winkel 90 °; /: Faser-Last-Winkel 45 °; II: Faser-Last-Winkel 0°

7.9.5 Formänderung nach 96 bzw. 336 Stunden Lagerung im Differenzklima 20 °C / 35 % rH – 20 °C / 85 % rH, gemessen an industriell hergestellten dreilagigen Verbundplatten mit substituierten Mittellagen aus Spanplatte, OSB und leichten Faserplatten, Nenndicken 19, 27 und 42 mm

Material Mittellage		Spanplatte V100					OSB/3					Leichte Faserplatte		
Varianten-Nr.		587	588	589	590	591	592	593	595	596	597	598	599	600
Plattennenddicke		19		27		42		19	27		42		19	27
Dicke Mittellage [mm]		12	16	12	18	19	31	12	12	18	18	30	13	15
Dicke Decklage [mm]		3,5	1,5	7,5	4,5	11,5	5,5	3,5	7,5	4,5	12,0	6,0	3,0	6,0
Lamellenverhältnis R_L		0,37	0,16	0,56	0,33	0,55	0,26	0,37	0,56	0,33	0,57	0,29	0,32	0,44
Formänderung nach 96 h [mm/m], n=3	N	12,85	7,49	21,68	9,74	9,08	4,94	12,76	18,39	10,00	8,85	2,91	8,10	12,15
	H	3,41	3,86	2,62	2,43	1,21	1,23	4,66	2,82	2,72	1,12	1,19	2,66	2,41
	D	8,13	5,73	12,08	6,04	5,19	3,08	8,69	9,90	6,32	4,98	2,02	5,45	7,31
Formänderung nach 336 h [mm/m], n=3	N	16,25	9,94	28,33	13,13	14,85	6,76	15,20	26,60	13,17	15,47	5,54	11,11	12,72
	H	3,36	4,72	2,91	2,74	1,19	1,23	5,13	2,48	2,76	1,41	1,37	3,37	3,29
	D	9,83	7,35	15,47	7,88	8,09	3,99	10,10	14,55	7,87	8,44	3,70	7,31	8,55

N: Nebenachse; H: Hauptsachse; D: Diagonal

7.10 Berechnung von Basiswerten aus gegebenen charakteristischen Platteneigenschaften 3-, 5- und 7-lagiger Fichtenholzsperrhölzer nach prEN 12369:1996-04

7.10.1 Plattenaufbau, wirksame Werte und berechnete Basiswerte von Sperrholz nach Tabelle 7, prEN12369:1996-04

Lagendicke 3 mm

Lagenanzahl	3	5	7
Geometriefaktor a_1 :	3	3	3
Geometriefaktor a_3 :	9	9	9
Geometriefaktor a_5 :		15	15
Geometriefaktor a_7 :			21
Verhältnis E_0/E_{90} :	30		
Aufbaufaktoren:			
k1	0,9642	0,7989	0,7210
k2	0,0691	0,2344	0,3123
k3	0,6778	0,6133	0,5857
k4	0,3556	0,4200	0,4476
alpha (m)	0,33	0,60	0,71

Wirksame Werte [N/mm²]

	$f_{m,0,ef}$	$f_{m,90,ef}$	$f_{t,0,ef}, f_{c,0,ef}$	$f_{t,90,ef}, f_{c,90,ef}$
3	27,8	7,2	16,7	9,9
5	23,0	12,0	15,0	12,0
7	21,3	14,9	14,3	12,9

	$E_{m,0,ef}$	$E_{m,90,ef}$	$E_{t,0,ef}, E_{c,0,ef}$	$E_{t,90,ef}, E_{c,90,ef}$
3	11000	2900	8000	4000
5	9200	4800	7200	4800
7	9500	6000	6900	5200

Berechnete Basiswerte [N/mm²]

	$f_{m,0}$	$f_{m,0}$	$f_{t,0}, f_{c,0}$	$f_{t,90}, f_{c,90}$
3	28,83	34,71	24,64	27,84
5	28,79	30,72	24,46	28,57
7	29,54	34,07	24,41	28,82

	$E_{m,0}$	$E_{m,0}$	$E_{m,0}$	$E_{m,0}$
3	11408	41946	11803	11250
5	11515	20478	11739	11429
7	13176	19210	11780	11617

7.11 Prüfergebnisse dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz im Nenndickenbereich 19 bis 42 mm, heranzuziehen für die Berechnung von Basiswerten

7.11.1 Eigenschaften, 5%-Quantile und zulässige Spannungen der dreilagigen Massivholzplatten bei Biegung [N/mm²] rechtwinklig zur- und in Plattenebene, Orientierung der Decklamellen parallel und rechtwinklig

	ND [mm]	parallel				rechtwinklig			
		19	27	27	42	19	27	27	42
		DL [mm]				6		9	
	R _L	0,63	0,44	0,67	0,43	0,63	0,44	0,67	0,43
Biegefestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene σ_{Bxy}	N	10	10	10	10	10	10	10	10
	\bar{x}	50,0	36,7	52,1	29,3	12,9	19,6	9,5	14,5
	s	7,6	7,27	6,32	4,18	2,76	3,0	1,81	2,03
	v	15,2	19,8	12,1	14,3	21,4	15,3	19,1	14,0
	Ks-Wert	2,568	2,568	2,568	2,658	2,568	2,568	2,568	2,568
	L _q ^{5%}	30,5	18,1	35,8	18,5	5,8	11,9	4,8	9,3
	σ_{zul} ⁷	12,2	7,2	14,3	7,4	2,3	4,8	1,9	3,7
Biege-E-Modul rechtwinklig zur Plattenebene E_{Bxy}	N	10	10	10	10	10	10	10	8
	\bar{x}	11921	9892	12601	9817	1394	2762	1037	2302
	s	2413	783	1002	1173	109	307	169	167
	v	20,2	7,9	8,0	11,9	7,8	11,1	16,3	7,3
	Ks-Wert	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568
	L _q ^{5%}	5724	7881	10028	6805	1114	1974	603	1873
	σ_{zul}								
Biegefestigkeit in Plattenebene σ_{Bxz}	N	10	10	10	10	10	10	10	8
	\bar{x}	30,4	26,5	36,9	21,5	17,4	25,3	19,5	21,2
	s	5,24	2,91	3,85	3,64	3,1	3,18	3,74	4,35
	v	17,2	11,0	10,4	16,9	17,8	12,6	19,2	20,5
	Ks-Wert	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568
	L _q ^{5%}	17,0	19,0	27,0	12,2	13,5	17,1	9,9	9,2
	σ_{zul}	6,8	7,6	10,8	4,9	3,8	6,8	3,9	3,7
Biege-E-Modul in Plattenebene E_{Bxz}	N	10	10	10	10	10	10	10	8
	\bar{x}	7193	6766	9092	5916	5604	6864	5504	7495
	s	1036	1239	938	642	839	777	633	1343
	v	14,4	18,3	10,3	10,9	15,0	11,3	11,5	17,9
	Ks-Wert	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568
	L _q ^{5%}	4533	3584	6683	4267	3449	4869	3878	4046
	σ_{zul}								

ND – Nenndicke in mm, DL – Dicke der Decklagen in mm, R_L – Lamellenverhältnis (2*t_{DL}/t₁), N – Anzahl der Prüfkörper, \bar{x} - Mittelwert, s – Standardabweichung, v – Variationskoeffizient, Ks-Wert – Tabellenwert der Normalverteilung, L_q^{5%} - unteres 5%-Quantil, σ_{zul} – zulässige Spannung

⁷ Die hier aufgeführten zulässigen Spannungen wurden nach abgestimmten Prozedere für bauaufsichtliche Zulassungen berechnet. Danach ergibt sich σ_{zul} als mit einem Sicherheitsfaktor $\gamma = 2,5$ abgemindertes 5%-Quantil L_q^{5%}.

7.11.2 Eigenschaften, 5%-Quantile und zulässige Spannungen der dreilagigen Massivholzplatten bei Druck und Scherung [N/mm²], Orientierung der Decklamellen parallel und rechtwinklig

	ND [mm]	parallel				rechtwinklig			
		19	27	27	42	19	27	27	42
		6		9		6		9	
	DL [mm]								
	R _L	0,63	0,44	0,67	0,43	0,63	0,44	0,67	0,43
Druckfestigkeit in Plattenebene $\sigma_{D,x}$	N	10	10	10	10	10	10	10	10
	\bar{x}	25,1	18,6	27,0	16,6	18,0	22,7	17,5	21,8
	s	1,13	0,9	1,83	0,84	0,72	2,58	1,53	3,38
	v	4,5	4,8	6,8	5,1	4,0	11,4	8,8	15,5
	<i>Ks-Wert</i>	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568	2,568
	L _q ^{5%}	22,2	16,3	22,3	14,4	16,2	16,1	13,5	13,1
	σ_{zul}	8,9	6,5	8,9	5,8	6,5	6,4	5,4	5,3
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene τ_{xy}	N	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	4,2	5,0	4,7	4,0	5,6	4,8	5,4	3,9
	s	0,48	0,43	0,92	0,23	0,2	0,34	0,16	0,26
	v	11,6	8,6	19,4	5,7	3,6	7,1	3,0	6,7
	<i>Ks-Wert</i>	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
	L _q ^{5%}	2,5	3,5	1,6	3,2	4,9	3,6	4,8	3,0
	σ_{zul}	1,0	1,4	0,6	1,3	2,0	1,4	1,9	1,2
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene G_{xy}	N	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	614	710	521	899	791	694	842	860
	s	117	11	86	144	124	110	103	147
	v	19,1	15,6	16,5	16,0	15,7	15,9	12,2	17,1
	<i>Ks-Wert</i>	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
	L _q ^{5%}	216	333	229	409	369	320	492	360
Scherfestigkeit in Plattenebene τ_{xy}	N	5	5	5	5	5	5	5	4
	\bar{x}	2,6	2,1	2,1	1,4	2,5	2,5	2,3	1,8
	s	0,21	0,43	0,35	0,06	0,19	0,15	0,35	0,34
	v	8,1	20,2	16,7	4,2	7,5	6,0	15,1	18,9
	<i>Ks-Wert</i>	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
	L _q ^{5%}	1,9	0,7	0,9	1,2	1,9	2,0	1,1	0,6
σ_{zul}	0,8	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,5	0,3	
Schubmodul in Plattenebene G_{xy}	N	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	45	61	57	67	48	59	54	69
	s	5,8	3,4	5,9	3,7	2,6	6	6,3	11,4
	v	12,8	5,6	10,3	5,5	5,5	10,2	11,6	16,5
	<i>Ks-Wert</i>	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
	L _q ^{5%}	26	50	37	55	39	39	33	30

7.11.3 Zugfestigkeit, 5%-Quantile und zulässige Spannungen der dreilagigen Massivholzplatten [N/mm²] bei Lage der Decklamellen 0° (II), 30°, 45°, 60° und 90° (⊥) zur Längsrichtung der Prüfkörper

	ND [mm]	19	27	27	42
	DL [mm]	6		9	
	R _L	0,63	0,44	0,67	0,43
Zugfestigkeit in Plattenebene $\sigma_{Zx II}$	N	10	9	10	8
	\bar{x}	21,9	16,0	21,8	13,5
	s	2,0	3,0	4,9	1,2
	v	9,2	17,6	22,6	8,6
	Ks-Wert	2,568	2,65	2,568	2,754
	L _q ^{5%}	16,7	8,7	9,2	10,3
	σ_{zul}	6,7	3,5	3,7	4,1
Zugfestigkeit in Plattenebene $\sigma_{Zx 30^\circ}$	N	8	8	8	8
	\bar{x}	5,8	7,2	6,7	4,3
	s	0,9	1,0	1,2	0,8
	v	15,9	13,7	17,1	19,8
	Ks-Wert	2,754	2,754	2,754	2,754
	L _q ^{5%}	3,3	4,5	3,5	1,9
	σ_{zul}	1,3	1,8	1,4	0,8
Zugfestigkeit in Plattenebene $\sigma_{Zx 45^\circ}$	N	7	10	10	8
	\bar{x}	6,5	6,6	5,5	4,4
	s	1,5	0,8	0,9	1,0
	v	22,4	12,6	16,0	21,9
	Ks-Wert	2,894	2,568	2,568	2,754
	L _q ^{5%}	2,3	4,4	3,3	1,7
	σ_{zul}	0,9	1,8	1,3	0,7
Zugfestigkeit in Plattenebene $\sigma_{Zx 60^\circ}$	N	10	8	7	8
	\bar{x}	8,6	7,1	6,3	5,3
	s	1,5	0,8	1,2	0,9
	v	17,4	10,8	19,4	17,6
	Ks-Wert	2,568	2,754	2,894	2,568
	L _q ^{5%}	4,8	5,0	2,8	2,9
	σ_{zul}	1,9	2,0	1,1	1,2
Zugfestigkeit in Plattenebene $\sigma_{Zx \perp}$	N	6	10	8	8
	\bar{x}	6,3	12,0	10,7	10,8
	s	1,2	2,9	2,4	1,9
	v	18,7	24,0	22,0	17,4
	Ks-Wert	3,092	2,568	2,754	2,754
	L _q ^{5%}	2,7	4,6	4,2	5,6
	σ_{zul}	1,1	1,8	1,7	2,2

7.11.4 Zug-E-Module, 5%-Quantile der dreilagigen Massivholzplatten [N/mm²] bei Lage der Decklamellen 0° (II), 30°, 45°, 60° und 90° (⊥) zur Längsrichtung der Prüfkörper

	ND	19	27	27	42
	DL [mm]	6		9	
	R _L	0,63	0,44	0,67	0,43
Zug-E-Modul in Plattenebene $E_{Zx II}$	N	10	10	10	8
	\bar{x}	7229	4677	4531	4700
	s	1087	402	920	1052
	v	15,0	8,6	20,3	22,4
	Ks-Wert	2,568	2,568	2,568	2,754
	L _q ^{5%}	4438	3645	2168	1803
Zug-E-Modul in Plattenebene $E_{Zx 30^\circ}$	N	10	10	10	10
	\bar{x}	2431	2080	2107	1970
	s	214	164	314	167
	v	8,8	7,9	14,9	8,5
	Ks-Wert	2,568	2,568	2,568	2,568
	L _q ^{5%}	1188	1659	1301	1541
Zug-E-Modul in Plattenebene $E_{Zx 45^\circ}$	N	10	10	10	10
	\bar{x}	2092	1879	1803	1674
	s	140	127	180	210
	v	6,7	6,8	10,0	12,5
	Ks-Wert	2,568	2,568	2,568	2,568
	L _q ^{5%}	1732	1553	1341	1135
Zug-E-Modul in Plattenebene $E_{Zx 60^\circ}$	N	10	10	10	10
	\bar{x}	2635	2197	2261	1986
	s	257	158	355	219
	v	9,8	7,2	15,7	11,0
	Ks-Wert	2,568	2,568	2,568	2,568
	L _q ^{5%}	1975	1791	1349	1424
Zug-E-Modul in Plattenebene $E_{Zx \perp}$	N	8	10	10	10
	\bar{x}	4605	5206	6778	4675
	s	892	955	713	602
	v	19,4	18,3	10,5	12,9
	Ks-Wert	2,754	2,754	2,568	2,568
	L _q ^{5%}	2148	2576	4947	3129

7.12 Berechnung von Basiswerten aus an dreilagigen Laborplatten mit Lamellen unterschiedlicher Biege-E-Modulbereiche ermittelten Eigenschaften

7.12.1 Aufbau, geometrische Größen und abgeleitete Aufbaufaktoren sowie Mess- und berechnete Basiswerte von dreilagigen, mit Lamellen unterschiedlicher Biege-E-Modulbereiche labortechnisch hergestellten Massivholzplatten

	L1/I	L1/II	L1/III	L1/III	L1/III	L1/III	L2/I	L2/II	L2/III	L2/III	L2/III	L2/III
Dicke Decklage:	7	12	7	12	7	12	9	12,8	9	12,8	9	12,8
Dicke Mittellage:	19,80	7,00	19,80	7	19,8	7	12,8	9	12,8	9	12,8	9
Dicke a1:	19,80	7,00	19,80	7	19,8	7	12,8	9	12,8	9	12,8	9
Dicke a3:	33,80	31,00	33,80	31	33,8	31	30,8	34,6	30,8	34,6	30,8	34,6
Verhältnis E0/E90	30,00	30,00	30,00	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Aufbaufaktoren:												
alpha(m):	0,5858	0,2258	0,5858	0,2258	0,5858	0,2258	0,4156	0,2601	0,4156	0,2601	0,4156	0,2601
gamma(m,0):	0,8057	0,9889	0,8057	0,9889	0,8057	0,9889	0,9306	0,9830	0,9306	0,9830	0,9306	0,9830
gamma(m,90):	0,2277	0,0445	0,2277	0,0445	0,2277	0,0445	0,1027	0,0503	0,1027	0,0503	0,1027	0,0503
f(m,0,mess):	34,4	60,01	43,13	56,94	48,21	59,57	40,03	48,95	52,59	50,74	52,24	51,68
E(m,0,mess):	9278	16021	13809	17612	15152	19282	16927	24499	16176	18006	16860	26346
f(m,90,mess):	25,92	6,37	32,38	5,63	33,77	6,7	16,59	9,54	17,31	7,32	15,76	7,02
E(m,90,mess):	3843	355	4643	301	5574	314	1138	551	1511	548	1430	468
Basiswerte:												
Biegung, parallel	42,70	60,69	53,53	57,58	59,84	60,24	43,01	49,80	56,51	51,62	56,13	52,57
E-Modul, parallel	11516	16201	17140	17810	18807	19499	18189	24923	17382	18318	18117	26802
Biegung, rechtwinklig	66,70	32,35	83,32	28,59	86,90	34,03	67,12	49,29	70,04	37,82	63,76	36,27
E-Modul, rechtwinklig	16881	7984	20395	6770	24484	7062	11079	10944	14710	10885	13922	9296
Lamellenwerte												
f(L,0) (5%-Quantil)	52,8	52,8	60,1	60,1	66,3	66,3	55,6	55,6	59,1	59,1	62,6	62,6
(Mittelwert)	57,3	57,3	63	63	69	69	57,6	57,6	60	60	65	65
E(L,0) (Mittelwert)	10351	10351	11941	11941	13541	13541	8869	8869	9597	9597	10787	10787
Lamellendicke	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
Lamellenbreite	91	91	91	91	91	91	117	117	117	117	117	117

7.13 *Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Berechnungsansätzen*

7.13.1 Dreilagige Industrieplatten im Nenndickenbereich 19 bis 27 mm

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	74	Basiswerte (C40 nach DIN EN 1052:2004)
Decklagendicke	6,5 mm	$f_{m,BW}$ 40 N/mm ²
Mittellagendicke	6 mm	$E_{m,BW}$ 14000 N/mm ²
Plattendicke	19 mm	$f_{t,BW}$ 24 N/mm ²
Lamellenverhältnis R_L	0,68	$f_{c,BW}$ 26 N/mm ²

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	6 mm
Geometriefaktor a_3 :	19 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9696
k_2	0,0638
k_3	0,6947
k_4	0,3386
α_m	0,32

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9685
δ_m	0,6842
α_m	0,32

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,0,05}$ 47,4	38,7	38,8	38,7	38,8
$f_{m,90,0,05}$ 8,0	4,0	8,1	4,0	8,1
$E_{m,0,mean}$ 14540	13559	13574	13559	13574
$E_{m,90,mea}$ 830	441	893	441	893
$f_{t,0,0,05}$ 18,5	16,4	16,7	16,4	
$f_{t,90,0,05}$ 10,2	7,6	8,1	7,6	
$f_{c,0,0,05}$ 25,2	17,8	18,1	17,8	
$f_{c,90,0,05}$ 10,5	8,2	8,8	8,2	
Abweichung [%] 1)	-26,27	-11,37	-26,27	-4,06

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	0,9230769
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,0314915

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	75	Basiswerte (nach Abschnitt 3.4.1)
Decklagendicke	9 mm	$f_{m,BW}$ 28,5 N/mm ²
Mittellagendicke	9 mm	$E_{m,BW}$ 11000 N/mm ²
Plattendicke	27 mm	$f_{t,BW}$ 19,8 N/mm ²
Lamellenverhältnis R_L	0,67	$f_{c,BW}$ 26,5 N/mm ²

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	9 mm
Geometriefaktor a_3 :	27 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9642
k_2	0,0691
k_3	0,6778
k_4	0,3556
α_m	0,33

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9630
δ_m	0,6667
α_m	0,33

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,0,05}$ 28,9	27,4	27,5	27,4	27,5
$f_{m,90,0,05}$ 6,4	3,2	5,9	3,2	5,9
$E_{m,0,mean}$ 15590	10593	10606	10593	10606
$E_{m,90,mea}$ 880	407	760	407	760
$f_{t,0,0,05}$ 15,0	13,2	13,4	13,2	
$f_{t,90,0,05}$ 8,2	6,6	7,0	6,6	
$f_{c,0,0,05}$ 25,7	17,7	18,0	17,7	
$f_{c,90,0,05}$ 14,2	8,8	9,4	8,8	
Abweichung [%] 1)	-35,33	-14,53	-35,33	-14,53

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,037037

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte 107

Decklagendicke	9 mm
Mittellagendicke	9 mm
Plattendicke	27 mm
Lamellenverhältnis R_L	0,67

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	9 mm
Geometriefaktor a_3 :	27 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9642
k_2	0,0691
k_3	0,6778
k_4	0,3556
α_m	0,33

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9630
δ_m	0,6667
α_m	0,33

Basiswerte (nach Abschnitt 3.4.1)

$f_{m,BW}$	28,5 N/mm ²
$E_{m,BW}$	11000 N/mm ²
$f_{t,BW}$	19,8 N/mm ²
$f_{c,BW}$	26,5 N/mm ²

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,0,05}$ 28,4	27,4	27,5	27,4	27,5
$f_{m,90,0,05}$ 4,3	3,2	5,9	3,2	5,9
$E_{m,0,mean}$ 11590	10593	10606	10593	10606
$E_{m,90,mean}$ 920	407	760	407	760
$f_{t,0,0,05}$ 10,1	13,2	13,4	13,2	
$f_{t,90,0,05}$ 6,9	6,6	7,0	6,6	
$f_{c,0,0,05}$ 21,3	17,7	18,0	17,7	
$f_{c,90,0,05}$ 9,2	8,8	9,4	8,8	
Abweichung [%] 1)	-11,09	3,76	-11,09	2,11

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,037037

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte 108

Decklagendicke	7 mm
Mittellagendicke	13 mm
Plattendicke	27 mm
Lamellenverhältnis R_L	0,52

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	13 mm
Geometriefaktor a_3 :	27 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,8921
k_2	0,1412
k_3	0,5346
k_4	0,4988
α_m	0,48

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,8884
δ_m	0,5185
α_m	0,48

Basiswerte (nach Abschnitt 3.4.1)

$f_{m,BW}$	28,5 N/mm ²
$E_{m,BW}$	11000 N/mm ²
$f_{t,BW}$	19,8 N/mm ²
$f_{c,BW}$	26,5 N/mm ²

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,0,05}$ 27,3	25,3	25,4	25,3	25,4
$f_{m,90,0,05}$ 11,7	6,6	8,4	6,6	8,4
$E_{m,0,mean}$ 11760	9772	9813	9772	9813
$E_{m,90,mean}$ 1800	1228	1554	1228	1554
$f_{t,0,0,05}$ 8,1	10,3	10,6	10,3	
$f_{t,90,0,05}$ 7,0	9,5	9,9	9,5	
$f_{c,0,0,05}$ 18,6	13,7	14,2	13,7	
$f_{c,90,0,05}$ 15,5	12,8	13,2	12,8	
Abweichung [%] 1)	-24,87	-16,42	-24,87	-16,42

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1,8571429
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,1116192

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	226	Basiswerte (C40 nach DIN EN 1052:2004)
Decklagendicke	8,5 mm	$f_{m,BW}$ 40 N/mm ²
Mittellagendicke	10 mm	$E_{m,BW}$ 14000 N/mm ²
Plattendicke	27 mm	$f_{t,BW}$ 24 N/mm ²
Lamellenverhältnis R_L	0,63	$f_{c,BW}$ 26 N/mm ²

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	10 mm
Geometriefaktor a_3 :	27 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9509
k_2	0,0824
k_3	0,6420
k_4	0,3914
α_m	0,37

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9492
δ_m	0,6296
α_m	0,37

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach				
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04	
$f_{m,0,0,05}$	40,2	38,0	38,0	38,0	38,1
$f_{m,90,0,05}$	7,8	5,5	8,9	5,5	8,9
$E_{m,0,mean}$	12880	13289	13312	13289	13312
$E_{m,90,mea}$	950	711	1154	711	1154
$f_{t,0,0,05}$	15,2	15,1	15,4	15,1	
$f_{t,90,0,05}$	11,1	8,9	9,4	8,9	
$f_{c,0,0,05}$	25,4	16,4	16,7	16,4	
$f_{c,90,0,05}$	13,3	9,6	10,2	9,6	
Abweichung [%] 1)		-17,60	-4,77	-17,60	8,42

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1,1764706
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,0508053

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	PRL	Basiswerte (C40 nach DIN EN 1052:2004)
Decklagendicke	9 mm	$f_{m,BW}$ 40 N/mm ²
Mittellagendicke	9 mm	$E_{m,BW}$ 14000 N/mm ²
Plattendicke	27 mm	$f_{t,BW}$ 24 N/mm ²
Lamellenverhältnis R_L	0,67	$f_{c,BW}$ 26 N/mm ²

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	9 mm
Geometriefaktor a_3 :	27 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9642
k_2	0,0691
k_3	0,6778
k_4	0,3556
α_m	0,33

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9630
δ_m	0,6667
α_m	0,33

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach				
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04	
$f_{m,0,0,05}$	40	38,5	38,6	38,5	38,6
$f_{m,90,0,05}$	5,8	4,4	8,3	4,4	8,3
$E_{m,0,mean}$	10270	13481	13499	13481	13499
$E_{m,90,mea}$	820	519	968	519	968
$f_{t,0,0,05}$	22,5	16,0	16,3	16,0	
$f_{t,90,0,05}$	13,8	8,0	8,5	8,0	
$f_{c,0,0,05}$	21,4	17,3	17,6	17,3	
$f_{c,90,0,05}$	10,9	8,7	9,2	8,7	
Abweichung [%] 1)		-8,14	22,23	-8,14	22,23

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,037037

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte 439

Decklagendicke	6,15 mm
Mittellagendicke	14,7 mm
Plattendicke	27 mm
Lamellenverhältnis R_L	0,46

Basiswerte (nach Abschnitt 3.4.1)

$f_{m,BW}$	28,5 N/mm ²
$E_{m,BW}$	11000 N/mm ²
$f_{t,BW}$	19,8 N/mm ²
$f_{c,BW}$	26,5 N/mm ²

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	14,7 mm
Geometriefaktor a_3 :	27 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,8440
k_2	0,1893
k_3	0,4737
k_4	0,5596
α_m	0,54

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,8386
δ_m	0,4556
α_m	0,54

Messwerte		Berechnung der wirksamen Werte nach			
		DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,0,05}$	27,8	23,9	24,1	23,9	24,1
$f_{m,90,0,05}$	13,1	8,4	9,9	8,4	9,9
$E_{m,0,mean}$	11180	9225	9284	9225	9284
$E_{m,90,mean}$	2880	1775	2083	1775	2083
$f_{t,0,0,05}$	11,3	9,0	9,4	9,0	
$f_{t,90,0,05}$	13,4	10,8	11,1	10,8	
$f_{c,0,0,05}$	15,7	12,1	12,6	12,1	
$f_{c,90,0,05}$	15,5	14,4	14,8	14,4	
Abweichung [%] 1)		-21,89	-17,64	-21,89	-20,58

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	2,3902439
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,1613841

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte 842

Decklagendicke	9,3 mm
Mittellagendicke	4,4 mm
Plattendicke	23 mm
Lamellenverhältnis R_L	0,81

Basiswerte (nach Abschnitt 3.4.1)

$f_{m,BW}$	28,5 N/mm ²
$E_{m,BW}$	11000 N/mm ²
$f_{t,BW}$	19,8 N/mm ²
$f_{c,BW}$	26,5 N/mm ²

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	4,4 mm
Geometriefaktor a_3 :	23 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9932
k_2	0,0401
k_3	0,8151
k_4	0,2183
α_m	0,19

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9930
δ_m	0,8087
α_m	0,19

Messwerte		Berechnung der wirksamen Werte nach			
		DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,0,05}$	22,6	28,3	28,3	28,3	28,3
$f_{m,90,0,05}$	2,9	1,0	6,0	1,0	6,0
$E_{m,0,mean}$	11620	10923	10926	10923	10926
$E_{m,90,mean}$	420	77	441	77	441
$f_{t,0,0,05}$	11,5	16,0	16,1	16,0	
$f_{t,90,0,05}$	4,8	3,8	4,3	3,8	
$f_{c,0,0,05}$	26,9	21,4	21,6	21,4	
$f_{c,90,0,05}$	9,2	5,1	5,8	5,1	
Abweichung [%] 1)		-31,62	32,58	-31,62	32,58

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	0,4731183
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,0070012

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte 970

Decklagendicke	6	mm
Mittellagendicke	15	mm
Plattendicke	27	mm
Lamellenverhältnis R_L	0,44	

Basiswerte (nach Abschnitt 3.4.1)

$f_{m,BW}$	28,5	N/mm ²
$E_{m,BW}$	11000	N/mm ²
$f_{t,BW}$	19,8	N/mm ²
$f_{c,BW}$	26,5	N/mm ²

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	15	mm
Geometriefaktor a_3 :	27	mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,8342
k_2	0,1991
k_3	0,4630
k_4	0,5704
α_m	0,56

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,8285
δ_m	0,4444
α_m	0,56

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,0,05}$ 18,1	23,6	23,8	23,6	23,8
$f_{m,90,0,05}$ 11,9	8,8	10,2	8,8	10,2
$E_{m,0,mean}$ 9892	9114	9177	9114	9177
$E_{m,90,mea}$ 2762	1886	2190	1886	2190
$f_{t,0,0,05}$ 8,7	8,8	9,2	8,8	
$f_{t,90,0,05}$ 4,6	11,0	11,3	11,0	
$f_{c,0,0,05}$ 16,3	11,8	12,3	11,8	
$f_{c,90,0,05}$ 16,1	14,7	15,1	14,7	
Abweichung [%] 1)	8,60	13,66	8,60	-2,64

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	2,5
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,1714678

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte 971

Decklagendicke	9	mm
Mittellagendicke	9	mm
Plattendicke	27	mm
Lamellenverhältnis R_L	0,67	

Basiswerte (nach Abschnitt 3.4.1)

$f_{m,BW}$	28,5	N/mm ²
$E_{m,BW}$	11000	N/mm ²
$f_{t,BW}$	19,8	N/mm ²
$f_{c,BW}$	26,5	N/mm ²

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	9	mm
Geometriefaktor a_3 :	27	mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9642
k_2	0,0691
k_3	0,6778
k_4	0,3556
α_m	0,33

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9630
δ_m	0,6867
α_m	0,33

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,0,05}$ 35,8	27,4	27,5	27,4	27,5
$f_{m,90,0,05}$ 4,8	3,2	5,9	3,2	5,9
$E_{m,0,mean}$ 12601	10593	10606	10593	10606
$E_{m,90,mea}$ 1037	407	760	407	760
$f_{t,0,0,05}$ 9,2	13,2	13,4	13,2	
$f_{t,90,0,05}$ 4,2	6,6	7,0	6,6	
$f_{c,0,0,05}$ 22,3	17,7	18,0	17,7	
$f_{c,90,0,05}$ 13,5	8,8	9,4	8,8	
Abweichung [%] 1)	-33,50	-10,65	-33,50	-10,65

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,037037

7.13.2 Dreilagige Laborplatten im Nenndickenbereich 30,8 bis 38,4mm

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	7	Basiswerte (C40 DIN EN 1052:2004)	Modellvariation:	15	
Decklagendicke	7 mm	$f_{m,BW}$	40 N/mm ²	Modellfaktor:	0,7165
Mittellagendicke	19,8 mm	$E_{m,BW}$	14000 N/mm ²		
Plattendicke	33,8 mm	$f_{t,BW}$	24 N/mm ²		
Lamellenverhältnis R_L	0,41	$f_{c,BW}$	26 N/mm ²		
Geometrische Werte					
Geometriefaktor a_1 :	19,8 mm				
Geometriefaktor a_3 :	33,8 mm				

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,8057
k_2	0,2277
k_3	0,4337
k_4	0,5996
α_m	0,59

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,7990
δ_m	0,4142
α_m	0,59

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach				
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04	
$f_{m,0,mean}$	43,1	44,6	45,0	44,6	45,1
$f_{m,90,mean}$	32,4	19,2	21,7	19,2	21,7
$E_{m,0,mean}$	13809	11186	11279	11186	11279
$E_{m,90,mean}$	4643	2814	3187	2814	3187
$f_{t,0,0,05}$		9,9	10,4	9,9	
$f_{t,90,0,05}$		14,1	14,4	14,1	
$f_{c,0,0,05}$		10,8	11,3	10,8	
$f_{c,90,0,05}$		15,2	15,6	15,2	
Abweichung [%] 1)		-23,95	-19,60	-23,95	-19,55

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	2,8285714
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,2010229

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	8	Basiswerte (C40 DIN EN 1052:2004)	Modellvariation:	15	
Decklagendicke	12 mm	$f_{m,BW}$	40 N/mm ²	Modellfaktor:	0,7165
Mittellagendicke	7 mm	$E_{m,BW}$	14000 N/mm ²		
Plattendicke	31 mm	$f_{t,BW}$	24 N/mm ²		
Lamellenverhältnis R_L	0,77	$f_{c,BW}$	26 N/mm ²		
Geometrische Werte					
Geometriefaktor a_1 :	7 mm				
Geometriefaktor a_3 :	31 mm				

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9889
k_2	0,0445
k_3	0,7817
k_4	0,2516
α_m	0,23

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9885
δ_m	0,7742
α_m	0,23

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach				
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04	
$f_{m,0,mean}$	56,9	55,2	55,2	55,2	55,2
$f_{m,90,mean}$	5,6	2,8	11,0	2,8	11,0
$E_{m,0,mean}$	17612	13839	13844	13839	13844
$E_{m,90,mean}$	301	161	622	161	622
$f_{t,0,0,05}$		18,6	18,8	18,6	
$f_{t,90,0,05}$		5,4	6,0	5,4	
$f_{c,0,0,05}$		20,1	20,3	20,1	
$f_{c,90,0,05}$		5,9	6,5	5,9	
Abweichung [%] 1)		-30,10	44,40	-30,10	44,40

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	0,5833333
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,0115135

Anhang

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	9	Basiswerte (C40 DIN EN 1052:2004)	Modellvariation:	15	
Decklagendicke	7 mm	$f_{m,BW}$	40 N/mm ²	Modellfaktor:	0,7165
Mittellagendicke	19,8 mm	$E_{m,BW}$	14000 N/mm ²		
Plattendicke	33,8 mm	$f_{t,BW}$	24 N/mm ²		
Lamellenverhältnis R_L	0,41	$f_{c,BW}$	26 N/mm ²		

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	19,8 mm
Geometriefaktor a_3 :	33,8 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,8057
k_2	0,2277
k_3	0,4337
k_4	0,5996
α_m	0,59

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,7990
δ_m	0,4142
α_m	0,59

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,mean}$ 48,2	44,6	45,0	44,6	45,1
$f_{m,90,mean}$ 33,7	19,2	21,7	19,2	21,7
$E_{m,0,mean}$ 15152	11186	11279	11186	11279
$E_{m,90,mean}$ 5574	2814	3187	2814	3187
$f_{t,0,0,05}$	9,9	10,4	9,9	
$f_{t,90,0,05}$	14,1	14,4	14,1	
$f_{c,0,0,05}$	10,8	11,3	10,8	
$f_{c,90,0,05}$	15,2	15,6	15,2	
Abweichung [%] 1)	-31,58	-27,68	-31,58	-27,63

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	2,8285714
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,2010229

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	10	Basiswerte (C40 DIN EN 1052:2004)	Modellvariation:	15	
Decklagendicke	12 mm	$f_{m,BW}$	40 N/mm ²	Modellfaktor:	0,7165
Mittellagendicke	7 mm	$E_{m,BW}$	14000 N/mm ²		
Plattendicke	31 mm	$f_{t,BW}$	24 N/mm ²		
Lamellenverhältnis R_L	0,77	$f_{c,BW}$	26 N/mm ²		

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	7 mm
Geometriefaktor a_3 :	31 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9889
k_2	0,0445
k_3	0,7817
k_4	0,2516
α_m	0,23

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9885
δ_m	0,7742
α_m	0,23

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,mean}$ 59,6	55,2	55,2	55,2	55,2
$f_{m,90,mean}$ 6,7	2,8	11,0	2,8	11,0
$E_{m,0,mean}$ 19282	13839	13844	13839	13844
$E_{m,90,mean}$ 314	161	622	161	622
$f_{t,0,0,05}$	18,6	18,8	18,6	
$f_{t,90,0,05}$	5,4	6,0	5,4	
$f_{c,0,0,05}$	20,1	20,3	20,1	
$f_{c,90,0,05}$	5,9	6,5	5,9	
Abweichung [%] 1)	-35,44	31,70	-35,44	31,70

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	0,5833333
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,0115135

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	15	Basiswerte (C40 DIN EN 1052:2004)	Modellvariation:	15	
Decklagendicke	9 mm	$f_{m,BW}$	40 N/mm ²	Modellfaktor:	0,7165
Mittellagendicke	12,8 mm	$E_{m,BW}$	14000 N/mm ²		
Plattendicke	30,8 mm	$f_{t,BW}$	24 N/mm ²		
Lamellenverhältnis R_L	0,58	$f_{c,BW}$	26 N/mm ²		
Geometrische Werte					
Geometriefaktor a_1 :	12,8 mm				
Geometriefaktor a_3 :	30,8 mm				

Verhältnis E_0/E_{90} : 30**Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:**

k_1	0,9306
k_2	0,1027
k_3	0,5983
k_4	0,4351
α_m	0,42

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9282
δ_m	0,5844
α_m	0,42

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,mean}$ 52,2	51,8	52,0	51,8	52,0
$f_{m,90,mean}$ 15,8	9,6	13,8	9,6	13,8
$E_{m,0,mean}$ 16860	12995	13029	12995	13029
$E_{m,90,mean}$ 1430	1005	1438	1005	1438
$f_{t,0,0,05}$	14,0	14,4	14,0	
$f_{t,90,0,05}$	10,0	10,4	10,0	
$f_{c,0,0,05}$	15,2	15,6	15,2	
$f_{c,90,0,05}$	10,8	11,3	10,8	
Abweichung [%] 1)	-23,07	-8,79	-23,07	-8,78

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1,4222222
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,0717758

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	16	Basiswerte (C40 DIN EN 1052:2004)	Modellvariation:	15	
Decklagendicke	12,8 mm	$f_{m,BW}$	40 N/mm ²	Modellfaktor:	0,7165
Mittellagendicke	9 mm	$E_{m,BW}$	14000 N/mm ²		
Plattendicke	34,6 mm	$f_{t,BW}$	24 N/mm ²		
Lamellenverhältnis R_L	0,74	$f_{c,BW}$	26 N/mm ²		
Geometrische Werte					
Geometriefaktor a_1 :	9 mm				
Geometriefaktor a_3 :	34,6 mm				

Verhältnis E_0/E_{90} : 30**Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:**

k_1	0,9830
k_2	0,0503
k_3	0,7486
k_4	0,2848
α_m	0,26

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9824
δ_m	0,7399
α_m	0,26

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,mean}$ 51,7	54,8	54,9	54,8	54,9
$f_{m,90,mean}$ 7,0	3,8	10,8	3,8	10,8
$E_{m,0,mean}$ 26346	13754	13762	13754	13762
$E_{m,90,mean}$ 468	246	705	246	705
$f_{t,0,0,05}$	17,8	18,0	17,8	
$f_{t,90,0,05}$	6,2	6,8	6,2	
$f_{c,0,0,05}$	19,2	19,5	19,2	
$f_{c,90,0,05}$	6,8	7,4	6,8	
Abweichung [%] 1)	-33,80	15,74	-33,80	15,74

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	0,703125
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,0175995

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	19	Basiswerte (C40 DIN EN 1052:2004)	Modellvariation:	15	
Decklagendicke	9 mm	$f_{m,BW}$	40 N/mm ²	Modellfaktor:	0,7165
Mittellagendicke	12,8 mm	$E_{m,BW}$	14000 N/mm ²		
Plattendicke	30,8 mm	$f_{t,BW}$	24 N/mm ²		
Lamellenverhältnis R_L	0,58	$f_{c,BW}$	26 N/mm ²		

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	12,8 mm
Geometriefaktor a_3 :	30,8 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9306
k_2	0,1027
k_3	0,5983
k_4	0,4351
α_m	0,42

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9282
δ_m	0,5844
α_m	0,42

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,mean}$ 50,7	51,8	52,0	51,8	52,0
$f_{m,90,mean}$ 14,8	9,6	13,8	9,6	13,8
$E_{m,0,mean}$ 17690	12995	13029	12995	13029
$E_{m,90,mea}$ 1415	1005	1438	1005	1438
$f_{t,0,0,05}$	14,0	14,4	14,0	
$f_{t,90,0,05}$	10,0	10,4	10,0	
$f_{c,0,0,05}$	15,2	15,6	15,2	
$f_{c,90,0,05}$	10,8	11,3	10,8	
Abweichung [%] 1)	-22,05	-7,28	-22,05	-7,27

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1,4222222
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,0717758

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	20	Basiswerte (C40 DIN EN 1052:2004)	Modellvariation:	15	
Decklagendicke	12,8 mm	$f_{m,BW}$	40 N/mm ²	Modellfaktor:	0,7165
Mittellagendicke	12,8 mm	$E_{m,BW}$	14000 N/mm ²		
Plattendicke	38,4 mm	$f_{t,BW}$	24 N/mm ²		
Lamellenverhältnis R_L	0,67	$f_{c,BW}$	26 N/mm ²		

Geometrische Werte

Geometriefaktor a_1 :	12,8 mm
Geometriefaktor a_3 :	38,4 mm

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9642
k_2	0,0691
k_3	0,6778
k_4	0,3556
α_m	0,33

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9630
δ_m	0,6667
α_m	0,33

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,mean}$ 42,8	53,8	53,8	53,8	53,8
$f_{m,90,mean}$ 8,7	6,2	11,6	6,2	11,6
$E_{m,0,mean}$ 19103	13481	13499	13481	13499
$E_{m,90,mea}$ 792	519	968	519	968
$f_{t,0,0,05}$	16,0	16,3	16,0	
$f_{t,90,0,05}$	8,0	8,5	8,0	
$f_{c,0,0,05}$	17,3	17,6	17,3	
$f_{c,90,0,05}$	8,7	9,2	8,7	
Abweichung [%] 1)	-16,73	12,96	-16,73	12,96

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,037037

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	25	Basiswerte (C40 DIN EN 1052:2004)	Modellvariation:	15	
Decklagendicke	9 mm	$f_{m,BW}$	40 N/mm ²	Modellfaktor:	0,7165
Mittellagendicke	12,8 mm	$E_{m,BW}$	14000 N/mm ²		
Plattendicke	30,8 mm	$f_{t,BW}$	24 N/mm ²		
Lamellenverhältnis R_L	0,58	$f_{c,BW}$	26 N/mm ²		
Geometrische Werte					
Geometriefaktor a_1 :	12,8 mm				
Geometriefaktor a_3 :	30,8 mm				

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9306
k_2	0,1027
k_3	0,5983
k_4	0,4351
α_m	0,42

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9282
δ_m	0,5844
α_m	0,42

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,mean}$ 51,1	51,8	52,0	51,8	52,0
$f_{m,90,mean}$ 16,7	9,6	13,8	9,6	13,8
$E_{m,0,mean}$ 15581	12995	13029	12995	13029
$E_{m,90,mean}$ 1161	1005	1438	1005	1438
$f_{t,0,0,05}$	14,0	14,4	14,0	
$f_{t,90,0,05}$	10,0	10,4	10,0	
$f_{c,0,0,05}$	15,2	15,6	15,2	
$f_{c,90,0,05}$	10,8	11,3	10,8	
Abweichung [%] 1)	-17,70	-2,01	-17,70	-1,99

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1,4222222
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,0717758

Abschätzung von Eigenschaften dreilagiger Massivholzplatten nach unterschiedlichen Rechnungsansätzen

Angaben zur Platte	26	Basiswerte (C40 DIN EN 1052:2004)	Modellvariation:	15	
Decklagendicke	12,8 mm	$f_{m,BW}$	40 N/mm ²	Modellfaktor:	0,7165
Mittellagendicke	12,8 mm	$E_{m,BW}$	14000 N/mm ²		
Plattendicke	38,4 mm	$f_{t,BW}$	24 N/mm ²		
Lamellenverhältnis R_L	0,67	$f_{c,BW}$	26 N/mm ²		
Geometrische Werte					
Geometriefaktor a_1 :	12,8 mm				
Geometriefaktor a_3 :	38,4 mm				

Verhältnis E_0/E_{90} : 30

Aufbaufaktoren nach Verbundtheorie:

k_1	0,9642
k_2	0,0691
k_3	0,6778
k_4	0,3556
α_m	0,33

Aufbaufaktoren nach DIN 68705-5

γ_m	0,9630
δ_m	0,6667
α_m	0,33

Messwerte	Berechnung der wirksamen Werte nach			
	DIN 68705-5	Verbundtheorie	DIN V ENV 14272	Donzé, Niemz 04
$f_{m,0,mean}$ 43,5	53,8	53,8	53,8	53,8
$f_{m,90,mean}$ 9,1	6,2	11,6	6,2	11,6
$E_{m,0,mean}$ 34125	13481	13499	13481	13499
$E_{m,90,mean}$ 620	519	968	519	968
$f_{t,0,0,05}$	16,0	16,3	16,0	
$f_{t,90,0,05}$	8,0	8,5	8,0	
$f_{c,0,0,05}$	17,3	17,6	17,3	
$f_{c,90,0,05}$	8,7	9,2	8,7	
Abweichung [%] 1)	-21,34	11,57	-21,34	11,57

1) mittlere prozentuale Abweichung der Messwerte von den nach den einzelnen Ansätzen berechneten Werten

Donzé-Konstanten

L_V	1
$L_V^3/(L_V+2)^3$	0,037037

Steffen Tobisch



geboren am 20. Oktober 1965 in Dresden

verheiratet mit Annemarie Joane Tobisch, geb. Petter

2 Kinder Friedrich Linus Lukas, geb. am 3. Juni 1994;
Anna Maria Leah, geb. am 8. Januar 2003

- 1972 – 1980 Allgemeinbildende polytechnische Oberschule Dresden Süd
- 1980 – 1984 Gymnasium Dresden Süd
- 1984 Abitur, Abschluss mit „Gut“
- 1984 Praktikum in der Stuhlindustrie Rabenau
- 1984 – 1986 Wehrdienst in Brandenburg
- 1986 Praktikum im Kombinat Schnittholz und Holzwaren
- 1986 – 1991 Studium der Holz- und Faserwerkstofftechnik an der Sektion Verfahrenstechnik der TU Dresden
- 1989/1990 Praktikum in der Sitzmöbelindustrie Neuhausen
- 1990 Praktikum bei Prof. Dr. Kessel, Fachhochschule Hildesheim/Holzminde, Labor für Holztechnik
- 1991 Praktikum bei Dr. Welling, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg
- 1991 Studienabschluss, 1. Akademischer Grad, Abschluss mit „Gut“
- 1991 – 1993 Forschungsstudium an der TU Dresden, Institut für Holz- und Faserwerkstofftechnik
- 1994 – 1998 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH (IHD)
- 1996 stellvertretender Leiter der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle im Entwicklungs- und Prüflabor Holztechnologie GmbH (EPH)
- 2000 – 2004 Leiter des Ressorts Werkstoffe im IHD
- 2004 Institutsleiter und Geschäftsführer des IHD
- 2004 Geschäftsführer des Trägervereins „Institut für Holztechnologie Dresden e.V.“

Steffen Tobisch