

# **HOMOGENISIERUNGEFFEKT BEI 3-SCHICHTIGEN MASSIVHOLZPLATTEN – ERHÖHTER TRAGWIDERSTAND INFOLGE SYSTEMWIRKUNG**

**Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung  
Projekt 2010.03**

Steiger René      Empa, Ingenieur-Strukturen  
Risi Walter      Empa, Abt. Holz



# Inhaltsverzeichnis

		Seite
	<b>Vorwort</b>	5
<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	7
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	9
2.1	Problembeschreibung	9
2.1.1	Homogenisierungseffekt	9
2.1.2	Höherer Tragwiderstand bei parallelen Systemen	10
2.2	Ziele des Projekts	10
2.3	Stand des Wissens auf dem Gebiet	11
2.3.1	Internationaler Stand des Wissens	11
2.3.2	Forschungsarbeiten und Wissen an der Empa	12
2.4	Resultierender Forschungsbedarf	13
2.5	Bedeutung des Projekts für Praxis und Forschung	13
2.5.1	Bedeutung für die Praxis	13
2.5.2	Bedeutung für Forschung und Normung	14
2.6	Projektorganisation	14
2.7	Literatur zur Kapitel 2	14
<b>3</b>	<b>Versuchsmaterial, Prüf- und Auswertemethode</b>	17
3.1	Versuchsmaterial	17
3.1.1	Untersuchte MHP-Produkte	17
3.1.2	Breiten und Aufbauten der geprüften Plattenstreifen	17
3.1.3	Stichprobengrößen	17
3.1.4	Überblick über das untersuchte Material	18
3.2	Prüfmethode	21
3.2.1	Biegeprüfung	21
3.2.2	Bestimmung der Holzfeuchte	23
3.2.3	Beurteilung des Bruchbildes	23
3.3	Erfasste und abgeleitete Parameter	24
3.4	Literatur zu Kapitel 3	25
<b>4</b>	<b>Versuchsergebnisse</b>	27
4.1	Serien A1 bis A4	27
4.1.1	Geometrische Parameter	27
4.1.2	Biegefestigkeit in Funktion von Prüfkörperbreite bzw. Lamellenanzahl in der Decklage	27
4.1.3	Statistische Auswertung und Vergleich der Biegefestigkeiten	28
4.1.4	Wertetabellen	30
4.2	Serien A5 bis A8	34
4.2.1	Geometrische Parameter	34
4.2.2	Biegefestigkeit in Funktion von Prüfkörperbreite bzw. Lamellenanzahl in der Decklage	34

	Seite	
4.2.3	Statistische Auswertung und Vergleich der Biegefestigkeiten	35
4.2.4	Wertetabellen	37
4.3	Serien B1 bis B4	41
4.3.1	Geometrische Parameter	41
4.3.2	Biegefestigkeit in Funktion von Prüfkörperbreite bzw. Lamellenanzahl in der Decklage	41
4.3.3	Statistische Auswertung und Vergleich der Biegefestigkeiten	42
4.3.4	Wertetabellen	44
4.4	Serien B5 bis B8	48
4.4.1	Geometrische Parameter	48
4.4.2	Biegefestigkeit in Funktion von Prüfkörperbreite bzw. Lamellenanzahl in der Decklage	48
4.4.3	Statistische Auswertung und Vergleich der Biegefestigkeiten	49
4.4.4	Wertetabellen	51
4.5	Serien B9 bis B11	55
4.5.1	Geometrische Parameter	55
4.5.2	Biegefestigkeit in Funktion von Prüfkörperbreite bzw. Lamellenanzahl in der Decklage	55
4.5.3	Statistische Auswertung und Vergleich der Biegefestigkeiten	56
4.5.4	Wertetabellen	58
<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>61</b>
5.1	Serien A1 bis A4 (Produkt A, Aufbau 10-50-10 mm)	61
5.2	Serien A5 bis A8 (Produkt A, Aufbau 25-30-25 mm)	61
5.3	Serien B1 bis B4 (Produkt B, Aufbau 10-50-10 mm)	62
5.4	Serien B5 bis B8 (Produkt B, Aufbau 15-50-15 mm)	62
5.5	Serien B9 bis B11 (Produkt B, Aufbau 20-70-20 mm)	63
5.6	Streuung der Biegefestigkeitswerte	63
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>65</b>
6.1	Festigkeitsklasse der geprüften Produkte	65
6.2	Homogenisierung	65
6.3	Systemwirkung	65
6.4	Empfehlungen	66
6.4.1	Produktion	66
6.4.2	Produkteprüfung	66
6.4.3	Bemessung	67
6.5	Literatur zu Kapitel 6	67

## Vorwort

Der vorliegende Versuchsbericht beschreibt die Durchführung und die Resultate von Biegeversuchen an Massivholzplatten-Streifen unterschiedlicher Breite, mit dem Ziel, den Grad der Homogenisierung in Abhängigkeit der Prüfkörperbreite zu ermitteln.

Die ursprünglich für Brettsperrholz geplante Versuchskampagne wurde letztlich auf Basis des zur Verfügung stehenden Probematerials an ausschliesslich 3-schichtigen Massivholzplatten durchgeführt. Unter dem Begriff Brettsperrholz versteht die prEN 16351:2011 „Holzbauwerke – Brettsperrholz – Anforderungen“ ein Bauholzprodukt, das aus mindestens drei orthogonal verklebten Lagen besteht, die wiederum Lamellen umfassen, welche aus gemäss EN 14081-1 nach der Festigkeit sortierten Brettern oder aus Holzwerkstoffen bestehen. Die Lamellen müssen mindestens 12 mm, dürfen jedoch nicht dicker als 45 mm sein. Die Lamellenbreiten sollten im Bereich von 40 bis 300 mm liegen.

Die geprüften Produkte erfüllen zwar die Bedingung von mindestens 3 orthogonalen Schichten, nicht jedoch die Anforderungen an die Lamellendicken und –breiten. Es handelt sich dabei eher um Produkte, welche in die Klasse „Massivholzplatte“ einzuteilen sind. Für die Anforderungen an solche Produkte ist aus europäischer Sicht die EN 13353:2008 „Massivholzplatten (SWP) – Anforderungen“ massgebend, welche betreffend Dicken- und Breitenabmessungen der einzelnen Lamellen viel offener formuliert ist.

Das Projektteam hat sich daher entschlossen, gegenüber dem Titel des eingereichten Forschungsantrags das Wort „Brettsperrholz“ durch „Massivholzplatten“ zu ersetzen und als Titel für den vorliegenden Bericht „Homogenisierungseffekt bei 3-schichtigen Massivholzplatten – Erhöhter Tragwiderstand infolge Systemwirkung“ zu wählen.

Die Studie wurde an den Abteilungen Holz und Ingenieur-Strukturen der Empa durchgeführt und vom Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung des Bundesamts für Umwelt BAFU finanziell unterstützt (Projekt-Nr. 2010.03).

Die Autoren

Dübendorf, 7. März 2012



# 1 Zusammenfassung

Die in letzter Zeit stets weiterentwickelten plattenförmigen Vollholzprodukte Massivholzplatten (MHP) und Brettsperrholz (BSP) stellen eine ideale Ergänzung der traditionell stabförmigen Holztragelemente (Vollholz, Brettschichtholz) dar. Der Querschnittsaufbau von MHP und BSP aus rechtwinklig zu einander verlaufenden Lagen von seitlich miteinander verklebten Lamellen bringt gegenüber Vollholz eine deutlich messbare Homogenisierung. Letztere basiert auf der Zerlegung des Rohmaterials in Komponenten und auf einem anschliessenden intelligenten Zusammenfügen zu einem Holzwerkstoff, dies unter vorgängigem Ausscheiden von minderwertigen Komponenten. Neben der Homogenisierung tritt bezüglich Biegung eine Systemwirkung auf, indem wegen der in den Decklagen parallel geschalteten Komponenten ein erhöhter Tragwiderstand erzielt wird.

Im Rahmen des durch den Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung geförderten Projekts 2010.03 sollte der Grad der Systemwirkung und der Homogenisierung für die Beanspruchungsart Biegung an MHP untersucht werden. Im Detail sollte für zwei unterschiedliche MHP-Produkte Schweizer Provenienz geprüft werden, wie sich die Biegefestigkeit in Abhängigkeit der Breite von den Platten entnommenen Streifen und in Funktion der Dicke der Decklagen ändert. Geprüft wurden zwei MHP-Produkte (A, B) mit 3 orthogonalen Schichten und den Plattenaufbauten 10-50-10 mm und 25-30-25 mm (Produkt A), bzw. 10-50-10 mm, 15-50-15 mm und 20-70-20 mm (Produkt B). Es wurden insgesamt 330 3-Punkt-Biegeversuche an Plattenstreifen mit Breiten 156, 312, 468, 624 mm (Produkt A) und 130, 260, 390, 520 mm (Produkt B) durchgeführt. Die ermittelten Biegefestigkeiten wurden ausgewertet und auf dem 5%-Niveau (charakteristischer Wert bestimmt anhand einer Lognormalverteilung unter Berücksichtigung der Stichprobengrösse und eines Vertrauensintervalls von 84.1%) verglichen. Die Biegerandspannungen wurden mittels der Sperrholzanalologie errechnet. Prüfkörper mit Schubbrüchen wurden in der Datenauswertung nicht berücksichtigt.

Aus der Studie können die folgenden Schlussfolgerungen betreffend Festigkeitsklasse und Grad der Homogenisierung des geprüften Materials gezogen werden:

- Sämtliche geprüften Serien des Produktes A erfüllten die Anforderungen an den 5%-Fraktiwlert der Biegefestigkeit der BSH-Festigkeitsklasse GL24 ( $f_{m,k} \geq 24 \text{ N/mm}^2$ ). Beim Produkt B entsprach die Biegefestigkeit einem BSH der Festigkeitsklasse GL28 ( $f_{m,k} \geq 28 \text{ N/mm}^2$ ).
- Der Homogenisierungseffekt ist bei beiden Produkten erkennbar. Der mittlere Variationskoeffizient der Biegefestigkeit wurde für Produkt A zu 14.5% ermittelt und für Produkt B zu 11.5%. Diese Werte sind deutlich geringer als der Erfahrungswert des Variationskoeffizienten der Biegefestigkeit von Vollholz von 25% und entsprechen eher denjenigen der Biegefestigkeit von Brettschichtholz (BSH) von 15%. Der Variationskoeffizient nimmt mit zunehmender Prüfkörperbreite ab. Dieser Effekt tritt beim Produkt A gleichförmiger auf als beim Produkt B. Die Variationskoeffizienten der Biegefestigkeit sind beim Produkt B für die gleiche Prüfkörperbreite geringer als beim Produkt A. Der Grund dafür ist die kleinere Breite der Einzellamellen bei Produkt B (26 mm gegenüber 52 mm). Der höhere Zerlegungsgrad der Einzelteile bei Produkt B führt zu einer stärkeren Homogenisierung.

Die Schlussfolgerungen betreffend Systemwirkung gestalteten sich schwierig, da (i) im Testverlauf sehr viele Schubbrüche aufgetreten waren und (ii) die Breiten der parallel verlaufenden bzw. wirkenden Tragelemente (Lamellenbreite Zugzone) mit 52 mm (Produkt A) bzw. 26 mm (Produkt B) vergleichsweise gering waren. Trotzdem kann man, was die Systemwirkung infolge parallel verlaufender Tragelemente betrifft, aus den Versuchsdaten die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- Grundsätzlich ist bei beiden Produkten eine Tendenz zu einer höheren Biegefestigkeit mit zunehmender Prüfkörperbreite feststellbar. Es ist daher korrekt, in den Anforderungs- und Prüfnormen, für die Angabe der charakteristischen Werte der Biegefestigkeit eine Bezugsbreite festzulegen.
- Beim Produkt A ist der Systemeffekt gleichmässig, bei Produkt B nur in den Serien mit dem Plattenaufbau 20-70-20 mm; bei den Aufbauten 10-50-10 mm und 15-50-15 mm des Produkts B treten starke Schwankungen auf.
- Der Systemeffekt beträgt zwischen 1% und 12% bei Produkt A, zwischen 1% und 5% bei Produkt B. Bezogen auf die gemäss der Prüfnorm EN 789:2004 geforderte minimale Streifenbreite von 300 mm ergibt sich beim Produkt A eine Systemwirkung von 1% bis 4%, beim Produkt B in den Se-

rien mit dem Plattenaufbau 20-70-20 mm von 2%. Diese Werte sind äusserst gering und rechtfertigen nicht, dass man sie in der Bemessung berücksichtigt.

- Bei einem hohen Zerlegungsgrad des Rohmaterials und geringen Breiten der einzelnen Lamellen, wie dies beim Produkt B der Fall ist, ergibt sich zwar eine bessere Homogenisierung, der Systemeffekt ist jedoch geringer und v.a. für dünne Decklagen stark schwankend. Die geringere Deutlichkeit des Systemeffekts bei Produkt B führt daher, dass der Systemeffekt bei  $n = 1$  bis 4 parallel geschalteten Elementen deutlich auftritt und dann mit zunehmender Anzahl der parallel geschalteten Elemente nur noch wenig ansteigt.

Bezüglich  $k_{sys}$ -Beiwert, wie er in den Bemessungsnormen EN 1995-1-1:2004, DIN 1052:2008-12 und SIA 265:2012 zur Erfassung der Systemwirkung für Bauteile aus parallel geschalteten Komponenten erwähnt ist, lassen die Versuchsresultate aus der vorliegenden Studie nur sehr beschränkt Aussagen zu. Der maximale Systemeffekt von  $k_{sys} = 1.2$  (d. h. 20%) für flächenhaft untereinander verbundene parallel geschaltete Komponenten liess sich durch die Versuche nicht bestätigen. Es sind daher auch keine Aussagen möglich darüber, ob ein  $k_{sys}$ -Wert von 1.2 erst ab 8 parallel geschalteter Komponenten, wie dies die EN 1995-1-1:2004 und die DIN 1052:2008-12 vorsehen, oder bereits ab 4 Komponenten (gemäß Norm SIA 265:2012) erreicht wird. Für die geprüften MHP liegt der Systemfaktor eher im Bereich wie er im BSP-Handbuch angegeben ist, d.h. bei nicht mehr als 10%.

Mit Blick auf eine möglichst gute Homogenisierung betreffend Biegefestigkeit und auf das Bruchverhalten resultieren aus dem Forschungsprojekt die folgenden Empfehlungen für die Produktion von MHP, welche als Biegetragelemente eingesetzt werden:

- Unverklebte Seitenflächen der Lamellen in den Decklagen wirken sich je nach Prüfkörperbreite und Lage der Stöße ungünstig auf die Biegefestigkeit der MHP aus. Es wird daher empfohlen, die Seitenflächen der Lamellen in den Decklagen von Plattenstreifen geringer Breite grundsätzlich zu verkleben.
- Wenn bei MHP mit dünnen Decklagen trotz Sortierung des Rohmaterials Fehlstellen wie Äste oder Schräglagsigkeit vorhanden sind, kann sich dies insbesondere bei Plattenstreifen geringer Breite reduzierend auf die Biegefestigkeit auswirken, wenn solche Zonen in Bereiche der maximaler Biegerandspannung fallen. Es wird daher empfohlen, bei Plattenstreifen geringer Breite aus MHP mit dünnen Decklagen ein besonderes Augenmerk auf die Qualität der Decklagen in der Biegezugzone zu richten.
- Die Schubfestigkeit von MHP mit dicken Mittellagen und dünnen Decklagen ist vergleichsweise geringer als diejenige von MHP mit ausgeglichenem Dickenverhältnis der Lagen. Insbesondere bei schmalen und mittleren Plattenbreiten treten gehäuft Schubbrüche auf. Erst bei grossen Plattenbreiten nimmt dieser Effekt ab. Unverklebte Seitenflächen in den Mittellagen wirken sich dabei verschärfend aus. Es ist eine Versagensart feststellbar, welche einem Durchstanzen gleicht. MHP mit dünnen Decklagen und dicken Mittellagen mit unverklebten Seitenflächen der Lamellen eignen sich daher nicht als tragende Biegestreifen mit geringer Breite.
- Bei starkem Zerlegungsgrad des Rohmaterials ist zwar die Homogenisierung gut, der Systemeffekt infolge der parallel geschalteten Elemente in den Decklagen ist allerdings geringer, da bereits ab 4 parallel geschalteten Elementen nahezu das Maximum der Systemtragwirkung erreicht ist. Hier gilt es für jedes Produkt ein Optimum zu finden.

Da ein Einfluss der Prüfkörperbreite auf die Festigkeit klar erkennbar ist, ist es von absoluter Notwendigkeit, die Angabe des charakteristischen Wertes der Biegefestigkeit auf eine minimale Bezugsbreite zu beziehen. Die gemäss den Anforderungsnormen EN 13986:2004 und prEN 16351:2011 und der Prüfnorm EN 789:2004 verlangte minimale Prüfkörperbreite von  $300 \pm 5$  mm zur Bestimmung der charakteristischen Eigenschaften für Biegung erscheint angebracht.

Bezüglich der Fragestellung nach der minimalen Anzahl parallel geschalteter Komponenten lässt die vorliegende Studie keine Aussage zu. Der Grad des Systemeffekts lag deutlich unter 10%, erreicht damit für die geprüften MHP-Produkte auf keinen Fall das Niveau der  $k_{sys}$ -Werte in den Bemessungsnormen EN 1995-1-1:2004, DIN 1052:2008-12 und SIA 265:2012, sondern liegt eher im Bereich des Systemfaktors für BSP gemäss BSP-Handbuch.

## 2 Einleitung

### 2.1 Problembeschreibung

#### 2.1.1 Homogenisierungseffekt

Strukturstörungsfreies Holz mit parallel zur Stabachse verlaufenden Fasern weist hohe Zug- und Biegefestigkeit bei geringer Streuung auf. Bei Vollholz mit praxisnahen Abmessungen nimmt auf Grund von Strukturstörungen (Äste, Schrägsägigkeit, etc.) die Streuung der Festigkeiten zu. Neben sehr hohen Werten bei Vollholz der oberen Festigkeitsklassen sind auch tiefe Werte möglich. Während für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (z. B. Verformungen) Mittelwerte (der Steifigkeit) massgebend sind, muss sich der Tragsicherheitsnachweis von Bauteilen an den unteren Werten der Festigkeitsverteilung (konkret an 5%-Fraktilen) orientieren, damit eine ausreichende Zuverlässigkeit bezüglich Tragwiderstand erreicht wird. Technologische Massnahmen in der Holzverwertung müssen also darauf abzielen, tiefe Werte in der Festigkeitsverteilung zu vermeiden und die Streuungen zu verringern. Dies kann entweder durch eine Festigkeitssortierung des Rohmaterials oder durch Zerlegung und anschliessendes Zusammenfügen zu einem Holzwerkstoff (Brettschichtholz, Furnierschichtholz, Spanplatte, etc.) erreicht werden.

Was sich dabei abspielt ist in der Abbildung 2.1 am Beispiel von Brettschichtholz dargestellt. Ausgehend von der Festigkeitsverteilung des Rohmaterials (Säule links mit Maximal-, Minimal- und Mittelwert) bringt ein horizontales Aufschneiden des Balkens zu Brettern gleicher Dicke auf den ersten Blick keinen Gewinn, da, wie aus der mittleren Säule ersichtlich ist, sowohl der Maximal-, als auch der Minimal- sowie der Mittelwert tiefer liegen als beim Ausgangsmaterial. Entscheidend ist jedoch die geringere Streuung der Werte. Wenn es nun durch technologische Massnahmen gelingt, die Bretter zu sortieren und in optimaler Reihenfolge zum ursprünglichen Ausgangsquerschnitt zusammenzukleben (d. h. die besten Bretter werden auf der Biegezugseite angeordnet), so ergeben sich als Resultat (Säule rechts) ein Mittelwert, welcher in etwa demjenigen des Ausgangsmaterials entspricht, jedoch ein Minimalwert, welcher deutlich höher liegt als derjenige des Ausgangsmaterials. Die solchermassen erzielte Leistungssteigerung durch Verringerung der Streuung wird auch als Homogenisierung bezeichnet.

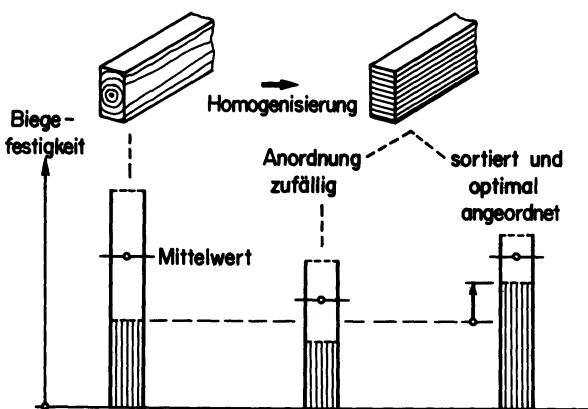


Abbildung 2.1: Homogenisierungseffekt am Beispiel von Brettschichtholz (nach [1])

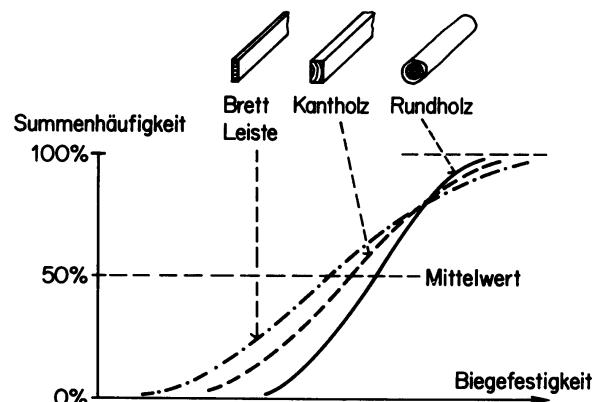


Abbildung 2.2: Festigkeitsverlust infolge zunehmendem Zerlegungsgrad

Beim Ergreifen der technologischen Massnahme „Zerlegen + intelligentes Zusammenfügen“ muss allerdings beachtet werden, dass die absoluten Streuungen des nicht zerlegten Rohmaterials (d. h. von Rundholz) vergleichsweise geringer und der Mittelwert der Festigkeit höher ist, als wenn man beginnt das Rohmaterial aufzutrennen. Aus Abbildung 2.2 ist ersichtlich, dass mit zunehmender Zerlegung (Rundholz → Kanthalz → Brett / Leiste) die Streuungen zu- und die massgebenden minimalen Werte der Festigkeiten abnehmen. Die Ursache dafür liegt darin, dass der Anteil von parallel über die

ganze Bauteillänge verlaufender, intakter d.h. nicht zerschnittener Fasern mit zunehmendem Grad der Zerlegung geringer wird. Es ist also anzunehmen, dass es einen maximalen Grad an Zerlegung gibt, ab welchem eine weitere Zerlegung zwar zu einer Homogenisierung führt, dies jedoch unter einer überproportionalen Abnahme der Festigkeiten der einzelnen Komponenten.

### 2.1.2 Höherer Tragwiderstand bei parallelen Systemen

Flächen aus parallel nebeneinander angeordneten Vollholzlamellen, die rechtwinklig zur Haupttragrichtung Biegemomente und auch Querkräfte aufnehmen können, bilden ein redundantes System: Bei Ausfall einer Lamelle tritt in der Regel noch kein Systemversagen ein, denn die höherfesten Lamellen können Zusatzlast übernehmen und den Ausfall der einzelnen, schwachen Lamellen verkraften [2]. Laut den Bemessungsnormen [3-5] darf deshalb der Bemessungswert des Tragwiderstands solcher „paralleler Systeme“ mit einem Systemfaktor  $k_{sys}$  erhöht werden. Der Systemfaktor  $k_{sys}$  ist eine Funktion der Anzahl mitwirkender Komponenten, der Eigenschaften der Komponenten sowie der Art der Verbindung der Komponenten untereinander [5]. Nach der gültigen Schweizer Norm für die Bemessung von Holztragwerken, der Norm SIA 265:2012 darf ab 4 flächenhaft untereinander mittels Verklebung oder Reibverbund verbundenen parallel geschalteter Komponenten ein  $k_{sys}$ -Faktor von 1.2 angesetzt werden, d. h. der Tragwiderstand des Bauteils bezüglich Biegung und Schub um 20% erhöht werden. Im Bereich von 1 bis 4 parallel geschalteter Komponenten wird zwischen  $k_{sys} = 1$  und  $k_{sys} = 1.2$  linear interpoliert (Abbildung 2.3).

Die Schweizer Norm SIA 265:2012 ist bezüglich Festlegung des  $k_{sys}$ -Faktors progressiver als der Eurocode 5 (EN 1995-1-1:2004) [4] und die deutsche Norm DIN 1052:2008 [3]. In diesen beiden Normen darf ein  $k_{sys}$ -Faktor von 1.2 erst ab 8 parallel geschalteten Komponenten angesetzt werden (Bild 1). Das österreichische nationale Umsetzungsdokument des EC 5, die „eurocodenahe Bemessungsrichtlinie“ enBR:2005 [6] wiederum folgt der progressiveren Schweizer Regelung. Die Bemessung des zur Massivholzplatte verwandten Produkts Brettsperrholz (BSP) ist bisher einzige in der DIN 1052 [3] normiert worden. Gemäss den dortigen Vorschriften ist der Tragsicherheitsnachweis in Form eines Interaktionsnachweises Zug + Biegung in jeder Einzelschicht zu führen [7]. Beim Bemessungswert der Biegefestigkeit darf zusätzlich der Systemfaktor  $k_{sys}$  angesetzt werden.

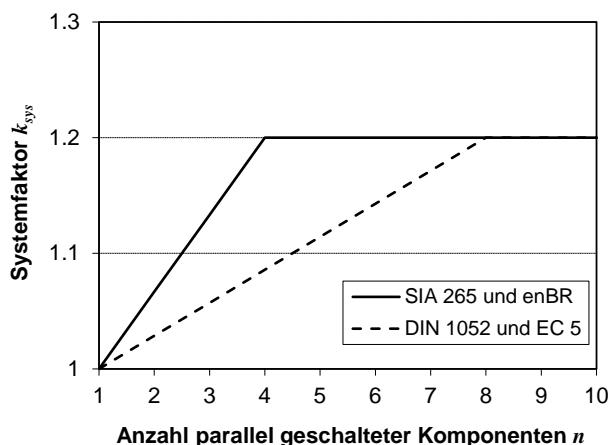


Abbildung 2.3: Systemfaktor  $k_{sys}$  gemäss Norm SIA 265:2012 [5] bzw. enBR:2005 [6] und EN 1995-1-1:2004 [4] bzw. DIN 1052:2008 [3] für Bauteile aus parallel geschalteten Komponenten mit Kleb- oder Reibverbund

## 2.2 Ziele des Projekts

Im Rahmen des durch den Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung geförderten Projekts 2010.03 sollte der Grad der Homogenisierung und der Systemwirkung für die Beanspruchungsart Biegung an zwei unterschiedlichen Schweizer Massivholzplatten-Produkten (MHP) untersucht werden. Im Detail sollte für beide Produkte an 3-Schichtplatten geprüft werden, wie sich die Biegefestigkeit in Abhängigkeit der Breite von den Platten entnommenen Streifen und in Funktion der Dicke der Decklagen ändert.

## 2.3 Stand des Wissens auf dem Gebiet

### 2.3.1 Internationaler Stand des Wissens

Versuche zum Homogenisierungseffekt bei MHP sind den Autoren keine bekannt. Allerdings wurden verschiedene Untersuchungen am verwandten Produkt Brettsperrholz (BSP) durchgeführt. Gemäss den in [8, 9] beschriebenen Versuchen der TU Graz an einem spezifischen BSP-Produkt besteht der Homogenisierungseffekt bei BSP aus einer Kombination von serieller und paralleler Tragwirkung von Einzelkomponenten. Verleimte Produkte aus mehreren Einzellamellen (z. B. BSH) erfahren grundsätzlich einen Lamellierungseffekt (serielle Verknüpfung) in Dickenrichtung. Bei den Decklagen von BSP ergibt sich infolge der seitlichen Verklebung der Einzelbretter zu Schichten zusätzlich ein Homogenisierungseffekt in Breitenrichtung. Hier dominiert der Effekt der parallelen Tragwirkung („paralleles System“). Die Autoren führten Versuche an aus Vollholz der Festigkeitsklasse C24 hergestelltem BSP durch. Die Prüfkörperanzahlen und -breiten betrugen: 40 Versuche mit Breite 1 Lamelle (120 mm), 20 Versuche mit Breite 2 Lamellen (240 mm), 15 Versuche mit Breite 4 Lamellen (480 mm) und 10 Versuche mit Breite 8 Lamellen (960 mm). Die BSP-Platten waren aus 5 Schichten aufgebaut und wiesen Schichtstärken von 22 mm und eine Plattendicke von 110 mm auf. Die Prüfkörper wurden 4-Punkt-Biegeversuchen gemäss EN 408 [10] bei einer Spannweite von 2090 mm unterzogen. Betreffend Systemfaktor mündete die Grazer Forschungsarbeit in der Darstellung gemäss Abbildung 2.4 und in der Aussage, dass der Systemfaktor bei BSP im Fall von 4 oder mehr Lamellen in den Decklagen gleich 1.1 zu setzen sei [7]. Diese Aussage wurde auch in das BSP-Handbuch [11] aufgenommen: „Bei konstanten Spannungsverläufen und einer gleichwertigen Mitwirkung von vier oder mehr Brettlamellen kann ein Systemfaktor  $k_l$  (bzw.  $k_{sys}$ ) mit 1.10 in Rechnung gestellt werden.“

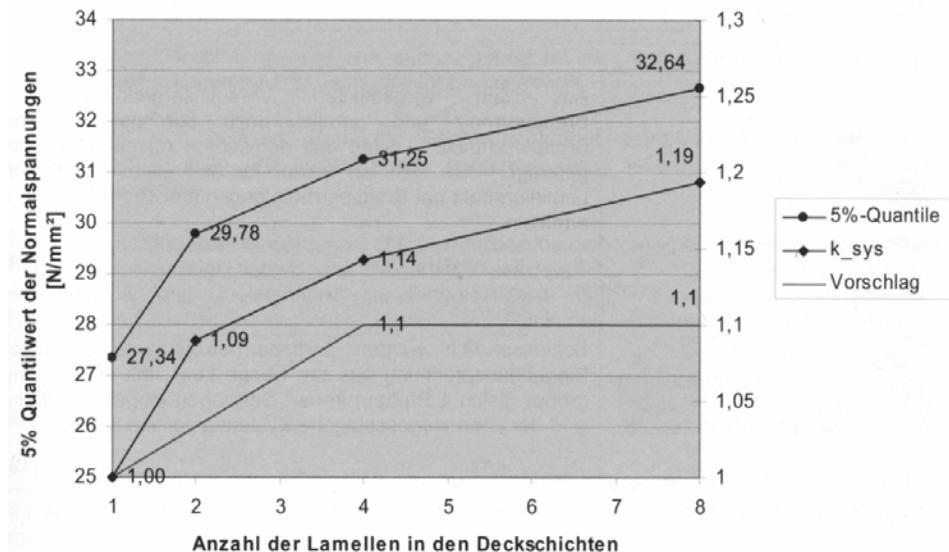


Abbildung 2.4: 5%-Quantilwerte der Randnormalspannungen und Systembeiwerte  $k_{sys}$  in Abhängigkeit von der Anzahl der Lamellen in den Decklagen von BSP [7]

Die Angaben zum Systemfaktor im BSP-Handbuch sind gar noch etwas differenzierter.

Zitat:

Für Brettsperrholzplatten mit mehreren parallel im Verbund wirkenden Brettern in den normalspannungsbeanspruchten Zonen - gilt speziell für den zugbeanspruchten Bereich - dürfen bei der Nachweisführung um den Systembeiwert  $k_l$  erhöhte Biegefestsigkeitskenngrößen in Rechnung gestellt werden. Dieses "soziale" Verhalten von parallel wirkenden Einzelkomponenten mit entsprechender kontinuierlicher Lastverteilung (starre Quer- und Längslagenverklebung) ist aus einschlägigen Normenwer-

ken bekannt. In Abhängigkeit der in der Zugzone parallel liegenden Bretter ergibt sich der Systembeiwert  $k_l$  zu:

$$k_l = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \\ 1 + 0,025 \cdot n \end{array} \right\} \quad \text{für } n > 1 \quad \text{Formel 2.1}$$

$n$  Anzahl der parallel beanspruchten Einzelbretter

Die Anzahl der Bretter kann dabei über die in den Zulassungen der Hersteller angegeben Grenzwerte für die Einzelbrettbreiten ( $80 < b < 250$  mm) berechnet werden. Diese Brettgeometrien stehen auch im Einklang mit den in der DIN 4074:2009 [12] geforderten Abmessungen für Bretter. Bei Berücksichtigung der oben erwähnten Grenzwerte für die Bretter kann für ein BSP-Element ab einer Breite von rund einem Meter gesichert von einer Brettanzahl  $\geq 4$  ausgegangen werden, womit der Systembeiwert mit 1,1 in Rechnung gestellt werden darf.

Ende Zitat.

Der Verlauf des Systembeiwerts  $k_l$  gemäss Formel 2.1 ist in der Abbildung 2.5 dargestellt.

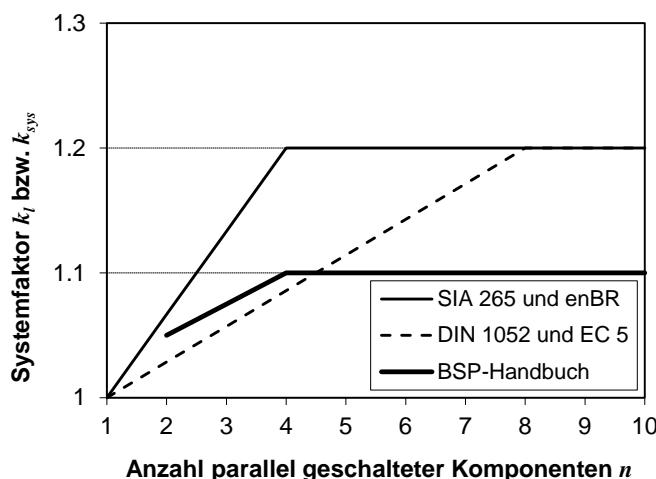


Abbildung 2.5: Systemfaktor  $k_l$  für BSP gemäss BSP-Handbuch [11], verglichen mit dem Systemfaktor  $k_{sys}$  gemäss Norm SIA 265:2012 [5] bzw. enBR:2005 [6] und gemäss EN 1995-1-1:2004 [4] bzw. DIN 1052:2008 [3]

Im sich zurzeit in Vernehmlassung befindenden Normentwurf prEN 16531:2011 [13] muss bei der Herstellung von BSP die Breite der Lamellen mindestens 40 mm betragen. Die maximale Lamellenbreite ist auf 300 mm festgelegt. Die Lamellendicken haben im Bereich von  $12 \text{ mm} \leq t \leq 45 \text{ mm}$  zu liegen. Bezuglich Einfluss der Bauteilbreite auf die Festigkeit wird verlangt, dass die charakteristischen Werte der Biege-, Zug- und Druckfestigkeit in der Ebene mit einer Breite von weniger als 300 mm um 25% herabzusetzen sind, es sei denn diese Werte werden in Prüfungen ermittelt.

### 2.3.2 Forschungsarbeiten und Wissen an der EMPA

Seit 2002 wurden an der Empa mehrere Forschungsarbeiten an MHP erfolgreich durchgeführt. Den Anfangspunkt bildete ein gemeinsam mit der Berner Fachhochschule / Architektur, Bau und Holz und der ETH Zürich (Professur für Holzphysik) durchgeführtes KTI-Projekt (Projekt-Nr. 5927.2 KTS) zu Berechnungsmodellen für Platten [14, 15] und zu Verbindungen in MHP. In einem nächsten Schritt wurde im Rahmen eines durch den Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung finanziell unterstützten Projekts (Nr. 2004.03) ein auf experimenteller und theoretischer Modalanalyse basierendes zerstörungsfreies Verfahren zur Ermittlung der massgebenden Steifigkeitseigenschaften von MHP / BSP ermittelt [16-18]. Den bisherigen Abschluss der Forschungsserie mit MHP- und BSP-Elementen an der Empa bildete ein ebenfalls durch den Fonds unterstütztes Projekt (2005.10) zur Schwingungs-empfindlichkeit von seilverspannten Fussgängerbrücken mit Brückendecks aus Holz. Hierbei wurde

eine BSP-Platte mit einer quervorgespannten BSH-Platte (QS-Platte) jeweils mit und ohne Asphaltbelag verglichen [19-21].

Eine kürzlich zusätzlich durchgeführte Analyse der Empa-Forschungsresultate an MHP / BSP widmete sich der Aussagekraft von Biegeversuchen an Plattenstreifen, wie sie gemäss der einschlägigen Europäischen Produktenormen bei der Qualitätssicherung solcher Produkte durchzuführen sind [22]. Es zeigte sich, dass es mittels der geforderten Versuche an 300 mm breiten Plattenstreifen je nach Homogenisierungsgrad des Produktes nur beschränkt möglich ist, die Steifigkeitseigenschaften der Platten zu bestimmen. Vergleichende Betrachtungen der 300 mm breiten Streifen mit im Rahmen des KTI-Projekts 5927.2 KTS an der ETH Zürich durchgeführten Versuchen an 100 mm breiten Streifen [14] zeigten pointiert die starke Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften (Steifigkeit und Festigkeit) von der Breite der Plattenstreifen. Dies lässt vermuten, dass bei MHP / BSP ein durch den Systemfaktor erfassbarer Systemeffekt in Abhängigkeit der Breite der Plattenstreifen vorhanden ist. Dieser ist abhängig von der Anzahl und Breite der parallel in den Decklagen verlaufenden Lamellen und damit in Konsequenz auch von der Art des Produkts. Während für eines der geprüften Produkte eine minimale Breite von 286 mm angegeben ist, ab wo die vom Produzenten angegebenen mechanischen Eigenschaften für Biegung gelten, bestehen für das andere im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts geprüfte Produkt keine Einschränkungen was die minimale Breite betrifft.

## 2.4 Resultierender Forschungsbedarf

Als Fazit lässt sich festhalten, dass bisher durchgeführte Untersuchungen zum Homogenisierungseffekt bei BSP und MHP einen solchen bestätigt haben, jedoch nicht in dem Mass, wie er laut den Normen SIA 265 und enBR zu erwarten wäre. Die durchgeführten Untersuchungen umfassten lediglich ein einzelnes BSP-Produkt (stets 5-schichtiger Aufbau, Lamellenabmessungen einheitlich 22 x 120 mm, Festigkeitsklasse des Rohmaterials C24). Die Aussagekraft ist demzufolge beschränkt und die Durchführung einer grösseren Versuchsserie an 2 unterschiedlichen Produkten Schweizer Herkunft mit Unterschieden in Aufbau, Rohmaterialqualität, Lamellenbreiten und Produktionsweise war angezeigt.

## 2.5 Bedeutung des Projekts für Praxis und Forschung

### 2.5.1 Bedeutung für die Praxis

BSP und MHP haben mittlerweile eine sehr grosse, dem Brettschichtholz vergleichbare Bedeutung im Holzbau erlangt. Für den häufigen Fall des Einsatzes als lastabtragende Platte stehen der Nachweis der Biege- und der Schubspannungen im Vordergrund. Obwohl bei der Bemessung der Platten oft der Gebrauchstauglichkeitsnachweis massgebend wird, ist es wichtig, den Tragsicherheitsnachweis zuverlässig, d. h. aufbauend auf korrekten Festigkeitseigenschaften führen zu können. Während nämlich bei Gebrauchsgrenzen ein gewisser im Rahmen der Nutzungsvereinbarung verhandelbarer Spielraum besteht, muss der Nachweis der Tragsicherheit zwingend erfüllt sein. Um dem Baustoff MHP / BSP in der Bemessung volumnäiglich gerecht zu werden, muss der Homogenisierungseffekt berücksichtigt werden, d. h. eine allfällige Systemwirkung ( $k_{sys}$ ) muss in die Bemessung einfließen.

Eine weitere Motivation zur Durchführung des Forschungsvorhabens ergab sich aus im Rahmen früherer Untersuchungen an BSP und MHP festgestellten Ungereimtheiten bei den normativen (EN) Vorgaben zur werksinternen Qualitätskontrolle. Detailliertere Ausführungen dazu wurden im Abschnitt 2.3.2 gegeben. Aus Sicht der Praxis ist die Fragestellung von Bedeutung, weil der Produzent daran interessiert ist, die Qualitätskontrolle auf Basis möglichst einfacher Prozesse, jedoch trotzdem aussagekräftig durchführen zu können. Mit Blick auf den zunehmenden Trend hin zur CE-Kennzeichnung von in der Schweiz gefertigten Produkten für den Holzbau ist die korrekte Erfassung des Systemeffekts bei BSP / MHP wichtig.

Bei der vorwiegenden Lastabtragung über Biegung, stellt sich die Frage, welche Breite streifenförmige Bauteile mindestens haben müssen, damit der Systemeffekt positiv zum Tragen kommt. Da der Systemfaktor abhängig ist von der Anzahl parallel geschalteter Komponenten, kann sich produktespezifisch in Funktion der Breite der Lamellen, welche die Decklagen bilden, ein unterschiedlicher Grad der

Systemwirkung ergeben. Unter Umständen muss produktespezifisch auch eine minimale Streifenbreite gefordert werden, damit ein  $k_{sys}$ -Faktor von 1.0 erreicht wird.

## 2.5.2 Bedeutung für Forschung und Normung

Für die Forschung und die Normung konnte das Forschungsprojekt in den folgenden Bereichen zu einem Wissensgewinn verhelfen und damit die weitere Entwicklung beeinflussen:

- Die Revisionsarbeiten am EC 5 wurden durch das zuständige CEN/TC 250/SC 5 in der Zwischenzeit gestartet. Die Schweiz ist als CEN-Mitglied in diese Arbeiten involviert. Durch Erarbeitung normenrelevanter Forschungsresultate bekommt die Schweizer Stimme im CEN/TC 250/SC 5 (EC 5) mehr Gewicht.
- Wie bereits erwähnt, wurden im Rahmen von früheren durch die KTI (Projekt 5927.2 KTS) und den WHFF (Projekte 2004.03) finanziell unterstützten Forschungsarbeiten Ungereimtheiten bei der durch die Europäischen Produktenormen geforderten Qualitätsprüfung von MHP und BSP festgestellt. Eine Präzisierung der die Herstellung der Produkte und die Kontrolle der Anforderung an das Endprodukt regelnden Europäischen Produktenormen ist nötig.

## 2.6 Projektorganisation

Das Projekt wurde durch die Abteilung Holz der Empa koordiniert und abgewickelt. Die Versuche wurden durch die Empa-Techniker Walter Risi, Daniel Heer und Michael Strässle unter Nutzung der Prüfinfrastruktur der Abteilung Ingenieur-Strukturen durchgeführt. Die Projektleitung lag bei René Steiger.

## 2.7 Literatur zu Kapitel 2

1. Koch P., Bohannon B. 1965: Beam strength as affected by placement of laminae. *Forest Products Journal* 15(7): 289-295.
2. Blass H.J., et al. 2005: Erläuterungen zu DIN 1052: 2004-08 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. 2. Aufl. inkl. Originaltext der Norm. März 2005. Bruderverlag, Karlsruhe, Deutschland.
3. DIN 1052:2008-12: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken: Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Dezember 2008. Deutsches Institut für Normung DIN, Berlin, Deutschland.
4. EN 1995-1-1 (Eurocode 5-1-1): Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. November 2004. Europäisches Komitee für Normung CEN, Brüssel, Belgien.
5. Norm SIA 265: Holzbau. Januar 2012. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA, Zürich, Schweiz.
6. Krenn H., Meinhardt G., Schickhofer G. 2005: Eurocodenahe Bemessungsrichtlinie enBR: Holzbauwerke – Entwurf, Berechnung und Bemessung. November 2005. Technische Universität Graz, Bautechnikzentrum, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Graz, Österreich.
7. Jöbstl R.A., Schickhofer G.: Traglastnachweis für Brettsperrholzplatten auf Basis der starren Verbundtheorie unter Berücksichtigung von Systemeffekten. In: Tagungsdokumentation zum 39. SAH-Fortbildungskurs "Praktische Anwendung von Massivholzplatten". Oktober 2007, Weinfelden, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH. 9-23.
8. Jöbstl R.A. 2008: Tragmodelle für Brettsperrholz. In: Tagungsdokumentation zur 7. Grazer Holzbaufachtagung „Modellbildung für Produkte und Konstruktionen aus Holz – Bedeutung von Simulation und Experiment“. September 2008. holz.bau forschungs gmbh, Technische Universität Graz, Österreich. E1-E16.
9. Jöbstl R.A., et al. 2006: A contribution to the design and system effect of cross-laminated timber (CLT). Paper CIB-W18/39-12-5 in: Proceedings of CIB-W18 Meeting thirty-nine. August 2006. Florence, Italy.

10. EN 408:2010: Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften. August 2010. Europäisches Komitee für Normung CEN, Brüssel, Belgien.
11. Schickhofer G., Bogensperger T., Moosbrugger T. 2010: Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normenkonzepts. In: BSPhandbuch – Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz. 2., überarbeitete Auflage 2010. Verlag der Technischen Universität Graz, Österreich.
12. DIN 4074-1:2009: Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1 Nadelholz. Deutsches Institut für Normung DIN, Berlin, Deutschland.
13. prEN 16351:2011: Holzbauwerke – Brettsperrholz – Anforderungen. November 2011. Europäisches Komitee für Normung CEN, Brüssel, Belgien.
14. Czaderski C., et al. 2007: Tests and calculations on 3-layered cross-laminated solid wood panels supported at all edges. Holz als Roh- und Werkstoff 65(5): 383-402.
15. Forschungsgemeinschaft bfh/ahb, ETH Zürich Holzphysik und Empa 2006: Abschlussbericht zum KTI-Projekt 5927.2 KTS Massivholzplatten für das Bauwesen.
16. Guelzow A., Gsell D., Steiger R. 2007: Schlussbericht zum WHFF-Forschungsprojekt 2004.03: Zerstörungsfreie Bestimmung der Steifigkeit und Analyse des dynamischen Verhaltens von Massivholzplatten aus Schweizer Nadelholz.
17. Guelzow A., Gsell D., Steiger R. 2008: Zerstörungsfreie Bestimmung elastischer Eigenschaften quadratischer 3-schichtiger Brettsperrholzplatten mit symmetrischem Aufbau. Holz als Roh- und Werkstoff 66(1): 19-37.
18. Steiger R., Guelzow A., Gsell D. 2008: Non destructive evaluation of elastic material properties of cross laminated timber (CLT). In Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Conference of COST E53 "Quality Control for Wood and Wood Products". 29<sup>th</sup> – 30<sup>th</sup> October 2008. Delft, The Netherlands. 171-182.
19. Feltrin G., et al. 2009: Vibration test of a cable stayed timber deck bridge without and with asphalt pavement. In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures (EVACES'09). Wroclaw, Poland. 475-482.
20. Gsell D., et al. 2007: Schlussbericht zum WHFF-Forschungsprojekt 2005.10: Schwingungsverhalten von seilverspannten Holzplattenbrücken für Fußgänger und Radfahrer.
21. Steiger R., et al. 2010: Vibration and damping behaviour of a cable-stayed timber deck bridge with asphalt pavement. In: Proceedings of the 11<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering WCCTE 2010. Riva del Garda, Italy.
22. Steiger R., Guelzow A. 2009: Validity of bending tests on strip-shaped specimens to derive bending strength and stiffness properties of cross-laminated solid timber (CLT). Paper 42-12-4 in: Proceedings of CIB-W18 Meeting forty-two. August 2009. Dübendorf, Switzerland.



### 3 Versuchsmaterial, Prüf- und Auswertemethode

#### 3.1 Versuchsmaterial

##### 3.1.1 Untersuchte MHP-Produkte

Da der Homogenisierungseffekt bei MHP produkteabhängig ist, wurden im Rahmen des WHFF-Projekts 2010.03 zwei MHP-Produkte mit deutlich unterschiedlicher Produktionstechnik und daher auch unterschiedlichem Aufbau und resultierender unterschiedlicher Homogenität untersucht. Als Industriepartner haben die Firmen Pius Schuler AG und Schilliger Holz AG am Projekt mitgewirkt.

##### MHP der Pius Schuler AG

Die Pius Schuler AG verkauft ihre Massivholzplatten unter der Bezeichnung Blockholz. Das Blockholz wird aus mindestens der Festigkeitsklasse C24 genügender Schweizer Fichte (*picea abies Karst.*), Tanne (*Abies alba Mill.*) oder Kiefer (*Pinus sylvestris*) hergestellt. Grobstiges, nicht nagelfestes und drehwüchsiges Holz wird aussortiert. Bei der Herstellung werden Seitenbretter seitlich zu breiten Lamellen verklebt. Diese werden dann unter Beachtung eines Längsversatzes der Stösse zu einem Blockholz verklebt. Anschliessend werden vertikal einzelne, beliebig breite Lamellen abgesägt, geschliffen und kreuzweise verklebt. Die einzelnen Bretter sind stets seitlich verklebt.

Die im Datenblatt zum System Schuler Blockholz vom 1. April 2009 [1] angegebenen zulässigen Spannungen für Biegung gelten erst ab einer Mindestanzahl von 11 Lamellen. Bei einer Standard-Lamellenbreite von 26 mm entspricht dies einer minimalen Plattenstreifenbreite von 286 mm.

##### MHP der Schilliger Holz AG

Die Schilliger Holz AG verwendet zur Herstellung der Decklagen ihrer Grossformatplatten Schweizer Fichtenholz (*picea abies Karst.*). Für die Decklagen muss das Holz mindestens der Festigkeitsklasse C24 entsprechen. In den Innenlagen wird auch Holz der Klasse C20 eingebaut. In einem ersten Schritt werden Lamellen zu Brettschichtholz (BSH) verklebt. Das BSH wird anschliessend mit einer Horizontalbandsäge in Schichten aufgetrennt. Diese Einzelschichten werden ohne seitliche Verklebung als Decklagen der Massivholzplatten verwendet und mit der Innenschicht verklebt. Die Innenschicht besteht aus einzelnen Brettern, die von Hand auf den Decklamellen verlegt werden und ebenfalls keine seitliche Verklebung aufweisen. Ab einer Schichtdicke von 30 mm werden in den Mittellagen Entlastungsnoten angeordnet.

##### 3.1.2 Breiten und Aufbauten der geprüften Plattenstreifen

Die Versuche wurden an Prüfkörpern mit vier verschiedenen Breiten, produktespezifisch abgestimmt auf die jeweiligen Standardlamellenbreiten in den Decklagen durchgeführt. In Ergänzung zum Grazer Versuchsprogramm [2], wo 5-schichtige BSP-Plattenstreifen mit einheitlichen Schichtstärken von 22 mm getestet wurden, wurde im vorliegenden Forschungsprojekt der Fokus auf 3-schichtige MHP gelegt. Bei solchen Platten wirkt sich ein Fehler in der Annahme des Systemfaktors gravierender aus als bei 5-Schichtplatten. Zusätzlich interessierte, ob nicht nur die Anzahl der in den Decklagen parallel verlaufender Komponenten den Systemeffekt beeinflusst, sondern ob auch die Dicke der Decklagen eine Rolle spielt.

##### 3.1.3 Stichprobengrössen

Bei der Festlegung der Stichprobengrössen war der natürlichen Streuung des Werkstoffes Holz angemessen Rechnung zu tragen. Obwohl MHP gegenüber Vollholz eine gewisse Homogenisierung und damit eine geringere Streuung der Biegefestigkeit ausweist, wurden Stichproben mit in der Regel mehr als 10 Versuchen pro Abmessung und Produkt geplant. Wegen der mit zunehmender Prüfkörperbreite abnehmenden Streuung der Biegefestigkeit [3], konnte die Stichprobengrösse entsprechend angepasst an die Prüfkörperbreite reduziert werden. In der Forschungsarbeit der TU Graz [2] wurden in Abhängigkeit der Prüfkörperbreite die folgenden Stichprobengrössen gewählt:

$$b_1 = 1 \times \text{Lamellenbreite} = 1 \times 120 \text{ mm} = 120 \text{ mm}: n = 40$$

$$b_2 = 2 \times \text{Lamellenbreite} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}: n = 20$$

$$b_3 = 4 \times \text{Lamellenbreite} = 4 \times 120 \text{ mm} = 480 \text{ mm}: n = 15$$

$$b_4 = 8 \times \text{Lamellenbreite} = 8 \times 120 \text{ mm} = 960 \text{ mm}: n = 10$$

Im vorliegenden WHFF-Projekt 2010.03 wurden die folgenden Stichprobengrößen geprüft:

$$b_1: n = 30$$

$$b_2: n = 20$$

$$b_3: n = 15$$

$$b_4: n = 10$$

### 3.1.4 Überblick über das untersuchte Material

Die geprüften MHP-Streifen aus Fichten-/Tannenholz (*picea abies Karst. / Abies alba Mill.*) wurden von zwei Herstellern (A und B) hergestellt. Geprüft wurden 11 Varianten mit unterschiedlichen Abmessungen, Aufbauten und/oder Prüfanordnungen. Tabelle 3.1 zeigt eine Liste der Prüfkörper. Die Prüfserien sind in den folgenden Abbildungen dargestellt:

- Abbildung 3.1, Abbildung 3.2: Serien A1 bis A4
- Abbildung 3.3, Abbildung 3.4: Serien A5 bis A8
- Abbildung 3.5, Abbildung 3.7: Serien B1 bis B4
- Abbildung 3.6, Abbildung 3.8: Serien B5 bis B8
- Abbildung 3.9, Abbildung 3.10: Serien B9 bis B11.

*Tabelle 3.1: Anzahl, Abmessungen und Aufbau der Prüfkörper*

Serie	Prüfkörper Anzahl	Aufbau <sup>1</sup> [mm]	Lamellenbreite Decklage [mm]	Breite Mittellage [mm]	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Stützweite [mm]		
A1	30	10-50-10	52	190 - 230 (Einzelbretter Serie A7 und A8 = 135)	1250	156	70	1050		
A2	20					312				
A3	15					468				
A4	10					624				
A5	30	25-30-25			1490	156	80	1440		
A6	20					312				
A7	15					468				
A8	10					624				
B1	30	10-50-10	26	26	1250	130	70	1050		
B2	20					260				
B3	15					390				
B4	10					520				
B5	30	15-50-15			1490	130	80	1440		
B6	20					260				
B7	15					390				
B8	10					520				
B9	13	20-70-20	26	26	2200	130	110	1980		
B10	10					260				
B11	7					390				

<sup>1</sup> Dicke von Decklage-Mittellage-Decklage



Abbildung 3.1: Querschnitt der Serie A-Prüfkörper mit dem Aufbau 10-50-10 mm, in den Breiten (von unten nach oben) 624 mm, 468 mm, 312 mm und 156 mm. Lamellenbreite der Decklagen = 52 mm.



Abbildung 3.2: Querschnitt eines Prüfkörpers der Serie A mit in Längsrichtung verlaufenden Decklagen und rechtwinklig dazu angeordneter Mittellage, Aufbau 10-50-10 mm. Die Mittellage besteht aus Brettern mit einer Breite von i.d.R. 190 mm bis 230 mm. Die Bretter sind auf der Breitseite mit den Decklagen verklebt. Auf der Schmalseite sind die Bretter der Mittellage nicht verklebt und weisen mehrheitlich einen Zwischenraum auf.



Abbildung 3.3: Querschnitt der Serie A-Prüfkörper mit dem Aufbau 25-30-25 mm, in den Breiten (von unten nach oben) 624 mm, 468 mm, 312 mm und 156 mm. Lamellenbreite der Decklagen = 52 mm.



Abbildung 3.4: Querschnitt eines Prüfkörpers der Serie A mit in Längsrichtung verlaufenden Decklagen und rechtwinklig dazu angeordneter Mittellage, Aufbau 25-30-25 mm. Die Mittellage besteht aus Brettern mit einer Breite von i.d.R. 190 mm bis 230 mm. Die Bretter sind auf der Breitseite mit den Decklagen verklebt. Auf der Schmalseite sind die Bretter der Mittellage nicht verklebt und weisen mehrheitlich einen Zwischenraum auf.

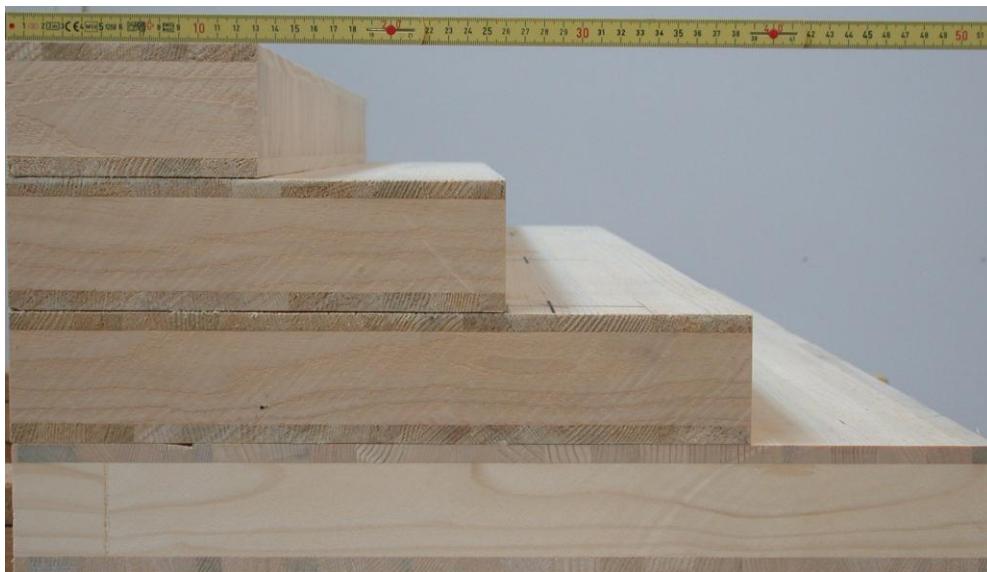


Abbildung 3.5: Querschnitt der Serie B-Prüfkörper mit dem Aufbau 10-50-10 mm, in den Breiten (von unten nach oben) 520 mm, 390 mm, 260 mm und 130 mm. Lamellenbreite der Decklagen = 26 mm.



Abbildung 3.6: Querschnitt der Serie B-Prüfkörper mit dem Aufbau 15-50-15 mm, in den Breiten (von unten nach oben) 520 mm, 390 mm, 260 mm und 130 mm. Lamellenbreite der Decklagen = 26 mm.



Abbildung 3.7: Querschnitt mit in Längsrichtung verlaufenden Decklagen und rechtwinklig dazu angeordneter Mittellage eines Prüfkörpers der Serie B, Aufbau 10-50-10 mm. Die Mittellage besteht aus 26 mm breiten, untereinander und mit den Decklagen verklebte Lamellen.



Abbildung 3.8: Querschnitt mit in Längsrichtung verlaufenden Decklagen und rechtwinklig dazu angeordneter Mittellage eines Prüfkörpers der Serie B, Aufbau 15-50-15 mm. Die Mittellage besteht aus 26 mm breiten, untereinander und mit den Decklagen verklebte Lamellen.



Abbildung 3.9: Querschnitt der Prüfkörper der Serie B mit dem Aufbau 20-70-20 mm, in den Breiten (von unten nach oben) 390 mm, 260 mm und 130 mm. Die Lamellenbreite der Decklagen beträgt 26 mm.



Abbildung 3.10: Querschnitt mit in Längsrichtung verlaufenden Decklagen und rechtwinklig dazu angeordneter Mittellage eines Prüfkörpers der Serie B, Aufbau 20-70-20 mm. Die Mittellage besteht aus 26 mm breiten, untereinander und mit den Decklagen verklebte Lamellen.

## 3.2 Prüfmethode

### 3.2.1 Biegeprüfung

Die MHP-Streifen wurden einer Biegeprüfung in Anlehnung an die EN 789:2004 [4] unterzogen, dies mit folgenden Abweichungen:

- 3-Punkt-Biegung mit Krafteinleitung nur an einer Stelle in der Mitte der Stützweite
- Breite und Stützweite der Prüfkörper gemäss Tabelle 3.1
- Auflager und Krafteinleitung: Die Prüfkörper lagerten auf 50 mm breiten Stahlauflagen und die Krafteinleitung erfolgte mit einem 40 mm breiten Stahlprofil. Die Auflager und die Krafteinleitung waren kipp- und verschiebbar.
- Messung der Gesamt-Durchbiegung in Spannweitenmitte mittels eines Seilzug-Wegaufnehmers
- Die Prüfkörper lagerten vor der Prüfung bei ca. 23°C / 50% rel. Luftfeuchte. Im Prüfraum schwankte das Klima zwischen (18 ± 2)°C / (30 ± 5)% rel. Luftfeuchte.

Die Prüfanordnung wurde so gewählt, weil es sich in Vorversuchen gezeigt hatte, dass sich auf diese Weise beim vorhandenen Probenmaterial am ehesten Biegebrüche ergeben würden.

Die Versuche wurden auf einer Biegeprüfmaschine der Tonindustrie Berlin mit den Kraftbereichen 400 kN / 200 kN / 40 kN, die nachträglich mit einer Steuerung der Firma Walter + Bai AG ausgerüstet worden war, durchgeführt (Abbildung 3.11 und Abbildung 3.12). Die Belastung wurde hydraulisch aufgebracht und gleichmäßig kraftgesteuert erhöht, mit einer Geschwindigkeit bei der sich der Bruch innerhalb einer Versuchsdauer von  $(300 \pm 120)$  s einstellte.

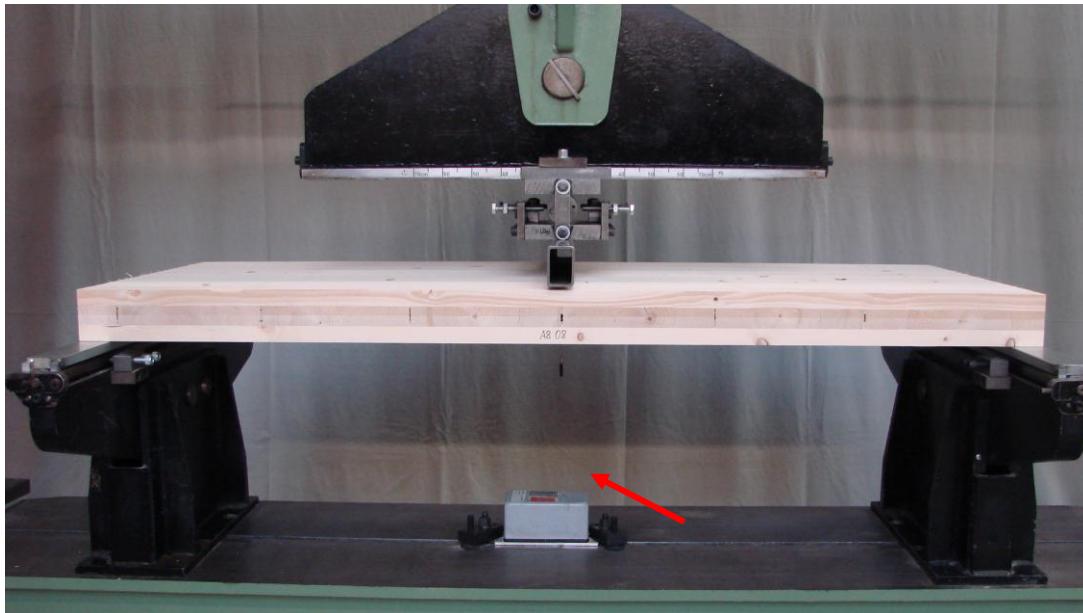


Abbildung 3.11: Prüfanordnung mit mittiger Krafteinleitung über die ganze Breite und Seilzug-Wegaufnehmer (Pfeil) zur Messung der Gesamtdurchbiegung in Spannweitenmitte.

Die Kraft wurde mit dem hydraulischen Druckaufnehmer der Maschine gemessen. Der Druckaufnehmer erfüllt im Minimum die Anforderungen der Klasse 1 (rel. Anzeige-Abweichung von  $\pm 1\%$ ). Die Verformung wurde über den Traversenweg der Maschine (Genauigkeit bis 20 mm 0.2 mm,  $>20$  mm  $\pm 1\%$ ) und mit einem am Prüfkörper befestigten Seilzug-Wegaufnehmer (Genauigkeit 0.2 mm) erfasst.



Abbildung 3.12: Hydraulische Steuerungseinheit des Typs Walter & Bai und Datenerfassungseinheit mit Messverstärker, Labview-Datenerfassungseinheit und PC.

### 3.2.2 Bestimmung der Holzfeuchte

Unmittelbar vor der Biegeprüfung wurde die Holzfeuchte (HF) mit einem elektrischen Widerstandsmessgerät des Typs H-DI-3.10 der Firma Bollmann gemäss EN 13183-2 in den Tiefen 5 mm und  $\frac{1}{3}$  Dicke der Prüfkörper gemessen.

### 3.2.3 Beurteilung des Bruchbildes

Nach der Prüfung wurde der Bruch jedes Prüfkörpers einem der 5 Bruchbildtypen „Biegebruch“, „kombinierter Biege- / Schubbruch Typ 1 oder 2“, „Schubbruch Typ 1 oder 2“ zugeordnet. Die Unterscheidung zwischen Typ 1 und Typ 2 war nur bei den Prüfkörpern der Serie B nötig. Die Brucharten sind exemplarisch in Abbildung 3.13 bis Abbildung 3.17 dargestellt.



Abbildung 3.13: Prüfkörper mit typischem Biegebruch (gebrochene Decklage in der Zugzone)



Abbildung 3.14: Prüfkörper mit kombiniertem Biege-Schubbruch Typ 1. Die Decklage in der Zugzone ist teilweise gebrochen und die Decklage(n) sind teilweise abgelöst.



Abbildung 3.15: Prüfkörper mit kombiniertem Biege-Schubbruch Typ 2. Die Decklage in der Zugzone ist gebrochen und der in einer vertikalen Fuge in der Mittellage hat sich ein Schubbruch ergeben.



Abbildung 3.16: Prüfkörper mit Schubbruch Typ 1. Die Decklage in der Zugzone ist nicht gebrochen.



Abbildung 3.17: Prüfkörper mit Schubbruch Typ 2: Der Scherfestigkeit einer Klebstofffuge in der Mittellage wurde überschritten, worauf die Verklebung der Mittellage mit den Decklagen auf Querzug versagte.

### 3.3 Erfasste und abgeleitete Parameter

Zu jedem Prüfkörper wurden die folgenden Parameter erfasst:

- Probenbezeichnung und –nummer
- Geometrische Abmessungen: Länge, Breite, Dicke
- Gewicht
- Holzfeuchte (siehe 3.2.2)
- Maximalkraft  $F_{max}$
- Bruchart (siehe 3.2.3)
- Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich.

Aus den registrierten Parameterwerten wurden die folgenden Eigenschaften abgeleitet:

- Rohdichte für die aktuelle Holzfeuchte des Prüfkörpers
- Rohdichte bei einer Holzfeuchte von 12%
- Biegefestigkeit.

Die Biegefestigkeit wurde auf 3 unterschiedliche Arten ermittelt:

- am homogenen Voll-Querschnitt
- nach der Methode der Sperrholzanalologie [5]
- nach der Methode der modifizierten Sperrholzanalologie [6, 7], dies unter Annahme eines Elastizitätsmoduls parallel zur Faser von  $11'000 \text{ N/mm}^2$  (Produkt A) bzw.  $12'000 \text{ N/mm}^2$  (Produkt B) und eines Elastizitätsmoduls senkrecht zur Faser von  $300 \text{ N/mm}^2$  (Produkt A) bzw.  $390 \text{ N/mm}^2$  (Produkt B).

### 3.4 Literatur zu Kapitel 3

1. Anonymus 2009: Datenblatt: System Schuler Blockholz. [www.pius-schuler.ch](http://www.pius-schuler.ch). Pius Schuler AG, Rothenturm, Schweiz.
2. Jöbstl R.A., et al. 2006: A contribution to the design and system effect of cross-laminated timber (CLT). Paper CIB-W18/39-12-5 in: Proceedings of CIB-W18 Meeting thirty-nine. August 2006. Florence, Italy.
3. Steiger R., Guelzow A. 2009: Validity of bending tests on strip-shaped specimens to derive bending strength and stiffness properties of cross-laminated solid timber (CLT). Paper 42-12-4 in: Proceedings of CIB-W18 Meeting forty-two. August 2009. Dübendorf, Switzerland.
4. EN 789:2004: Holzbauwerke – Prüfverfahren – Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen. Europäisches Komitee für Normung CEN, Brüssel, Belgien.
5. Steck G. 1988: Bau-Furnier-Sperrholz aus Buche. Informationsdienst Holz. Informationsdienst Holz, Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der DGfH, München, Deutschland.
6. Blass H.J., Fellmoser P. 2002: Erstellung eines Rechenverfahrens zur Ermittlung von Festigkeitskennwerten von Mehrschichtplatten. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Fridericiana Karlsruhe, Deutschland.
7. Blass H.J., Görlacher R. 2003: Bemessung im Holzbau: Brettsperrholz – Berechnungsgrundlagen. In Holzbau-Kalender 2003. Bruderverlag, Karlsruhe, Deutschland. 580-598.



## 4 Versuchsresultate

### 4.1 Serien A1 bis A4

#### 4.1.1 Geometrische Parameter

Dicke / Aufbau [mm]:	70 / 10-50-10
Lamellenbreite Decklage [mm]:	52
Breite Mittellage [mm]:	190 bis 230
Länge / Stützweite [mm]:	1250 / 1050

#### 4.1.2 Biegefestigkeit in Funktion von Prüfkörperbreite bzw. Lamellenanzahl in der Decklage

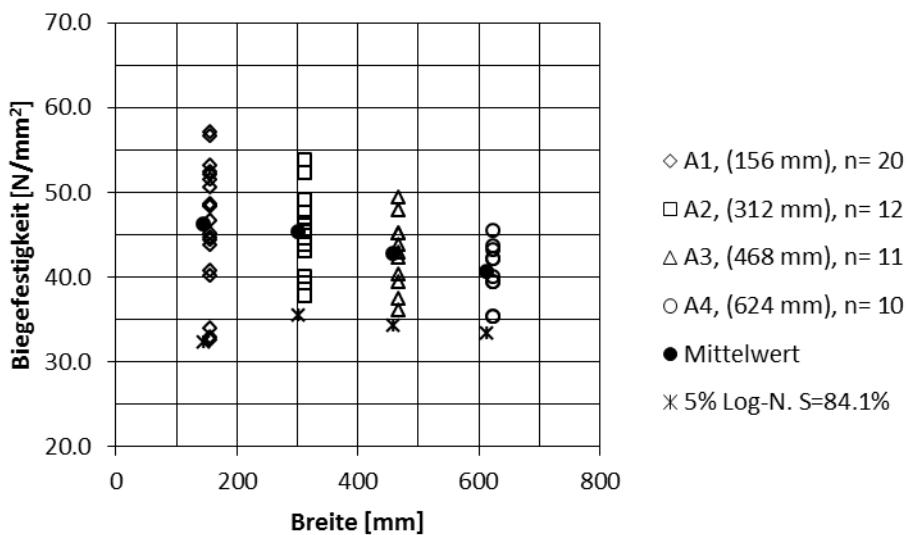


Abbildung 4.1: Einzelwerte, Mittelwerte und 5% Quantilwerte der Prüfkörper berechnet nach der Sperrholzanalogie

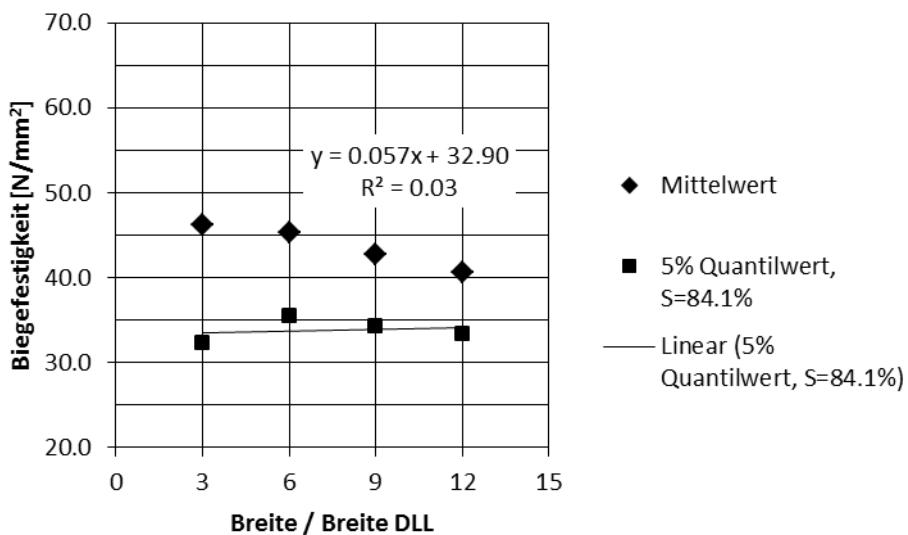


Abbildung 4.2: Biegefestigkeits-Mittelwerte und 5% Quantilwerte, berechnet nach der Sperrholzanalogie, in Abhängigkeit der Prüfkörperbreite / Breite der Decklagen

#### 4.1.3 Statistische Auswertung und Vergleich der Biegefestigkeiten

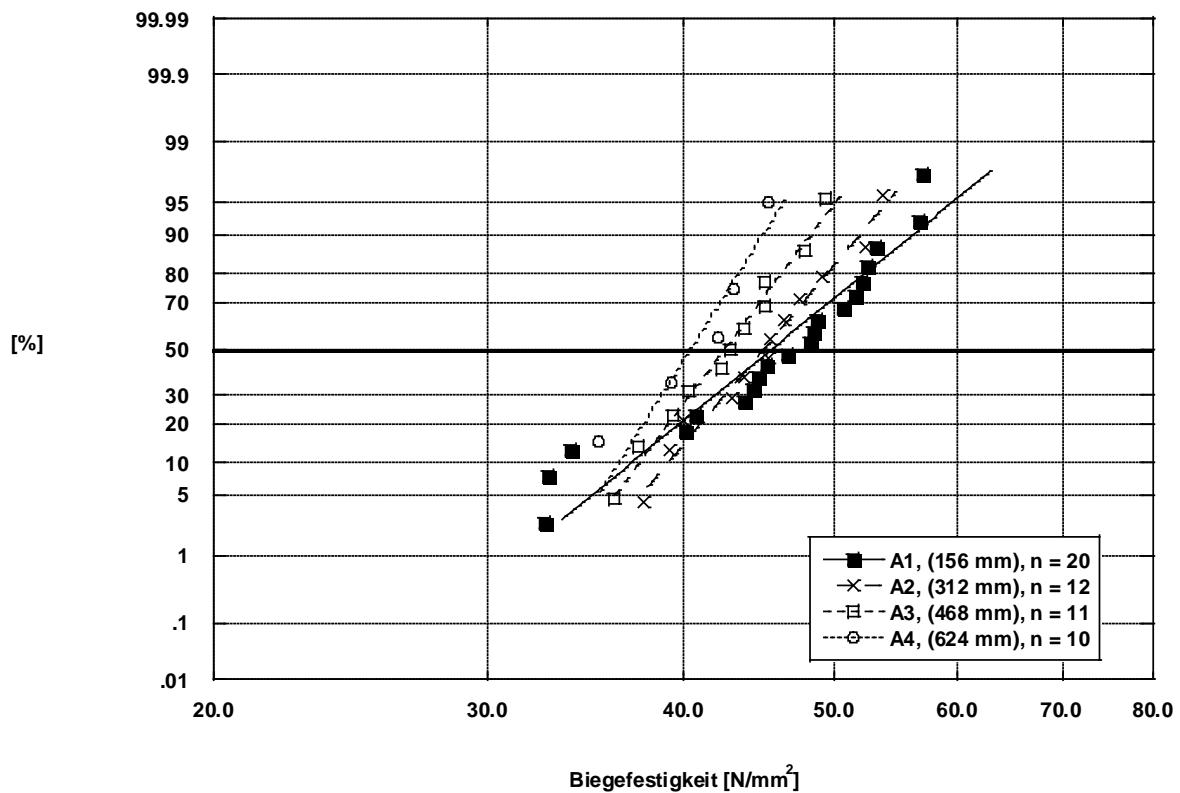


Abbildung 4.3: Biegefestigkeit berechnet nach der Sperrholzanalogie der Serien A1 bis A4

Tabelle 4.1: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie A1 (Breite 156 mm)

	Biegefestigkeit $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	20	20	20	20	20	20
<b>Mittelwert</b>	<b>29.3</b>	<b>46.2</b>	<b>45.5</b>	<b>11.4</b>	<b>14.4</b>	<b>464</b>
Standardabweichung	4.62	7.27	7.16	0.75	0.85	19.3
Variationskoeffizient [%]	15.7	15.7	15.7	6.6	5.9	4.2
Minimalwert	20.7	32.6	32.1	9.9	12.0	417
Maximalwert	36.2	57.0	56.1	12.4	15.4	486
5% Wert aus Versuchen	20.7	32.6	32.1			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	20.6	32.3	31.9			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	22.0	34.6	34.1			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						432

Tabelle 4.2: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie A2 (Breite 312 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	12	12	12	12	12	12
<b>Mittelwert</b>	<b>29.2</b>	<b>45.3</b>	<b>44.6</b>	<b>11.5</b>	<b>13.9</b>	<b>471</b>
Standardabweichung	3.33	4.96	4.88	0.37	0.89	24.25
Variationskoeffizient [%]	11.4	10.9	10.9	3.2	6.4	5.2
Minimalwert	24.1	37.7	37.1	10.9	12.7	414
Maximalwert	35.2	53.7	52.9	12.0	15.6	516
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	22.6	35.4	34.9			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	24.1	37.6	37.0			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						431

Tabelle 4.3: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie A3 (Breite 468 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	15	11	11	11	11	11
<b>Mittelwert</b>	<b>27.1</b>	<b>42.7</b>	<b>42.0</b>	<b>11.6</b>	<b>13.5</b>	<b>440</b>
Standardabweichung	2.65	4.16	4.10	0.55	0.64	20.67
Variationskoeffizient [%]	9.8	9.8	9.8	4.7	4.7	4.7
Minimalwert	22.9	36.1	35.5	10.6	12.4	414
Maximalwert	31.4	49.4	48.7	12.5	14.3	471
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	21.7	34.2	33.6			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	23.0	36.2	35.6			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						406

Tabelle 4.4: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie A4 (Breite 624 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	10	10	10	10	10	10
<b>Mittelwert</b>	<b>25.8</b>	<b>40.6</b>	<b>39.9</b>	<b>11.8</b>	<b>14.1</b>	<b>438</b>
Standardabweichung	2.14	3.37	3.31	0.42	0.76	17.8
Variationskoeffizient [%]	8.3	8.3	8.3	3.6	5.4	4.1
Minimalwert	22.4	35.3	34.8	11.1	12.7	410
Maximalwert	28.8	45.4	44.7	12.6	15.0	458
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	21.2	33.4	32.9			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	22.4	35.2	34.6			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						409

#### 4.1.4 Wertetabellen

Tabelle 4.5: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie A1

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Abstand Fuge <sup>1</sup> [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]	F <sub>max</sub> [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]			Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
										Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie mod			
A1.01	1250	156	69.5	30	6.358	10.2	14.4	13.29	469	462	27.8	43.7	43.0	Biegebruch
A1.02	1250	156	70.0	70	5.762	10.7	14.2	16.08	422	417	33.1	52.1	51.3	Biegebruch
A1.03	1250	156	70.7	85	6.413	10.3	15.0	14.08	465	457	28.4	44.7	44.1	Schub-/Biegebruch
A1.04	1250	156	70.8	90	6.716	12.2	15.0	15.98	486	478	32.2	50.6	49.9	Biegebruch
A1.05	1250	156	70.6	32	6.705	11.2	14.8	12.69	487	479	25.7	40.4	39.8	Schubbruch
A1.06	1250	156	70.6	28	6.571	11.4	15.0	14.65	477	469	29.7	46.7	46.0	Biegebruch
A1.07	1250	156	70.6	36	6.533	12.0	15.0	10.24	475	466	20.7	32.6	32.1	Biegebruch
A1.08	1250	156	70.5	97	6.525	11.0	15.4	10.27	475	465	20.9	32.8	32.3	Biegebruch
A1.09	1250	156	70.8	88	6.762	12.4	13.8	17.99	490	484	36.2	57.0	56.1	Biegebruch
A1.10	1250	156	70.4	92	6.484	11.2	15.2	15.05	472	463	30.7	48.2	47.5	Biegebruch
A1.11	1250	156	70.8	33	6.821	12.0	14.4	13.72	494	487	27.6	43.5	42.8	Schubbruch
A1.12	1250	156	70.4	32	6.505	11.1	15.3	12.72	474	465	25.9	40.8	40.1	Schubbruch
A1.13	1250	156	70.3	8	6.456	10.4	14.0	16.04	471	465	32.8	51.6	50.8	Schubbruch
A1.14	1250	156	70.6	93	6.534	10.7	14.2	10.63	475	468	21.5	33.9	33.4	Biegebruch
A1.15	1250	156	70.8	34	5.794	10.9	12.8	13.99	420	418	28.2	44.3	43.7	Biegebruch
A1.16	1250	156	70.7	94	6.093	9.9	12.0	15.25	442	442	30.8	48.5	47.7	Schub-/Biegebruch
A1.17	1250	156	70.6	95	6.409	11.8	13.6	14.18	466	461	28.7	45.2	44.5	Biegebruch
A1.18	1250	156	70.6	90	6.450	11.6	14.4	16.44	469	462	33.3	52.4	51.6	Biegebruch
A1.19	1250	156	70.2	80	6.728	11.3	14.9	17.55	491	483	36.0	56.6	55.7	Biegebruch
A1.20	1250	156	70.6	32	6.628	11.9	14.4	13.73	481	475	27.8	43.8	43.1	Schubbruch
A1.21	1250	156	70.9	51	6.065	11.8	11.7	10.27	437	438	20.5	32.3	31.8	Schubbruch
A1.22	1250	156	70.7	30	6.727	12.4	12.7	12.22	488	486	24.7	38.8	38.2	Schubbruch
A1.23	1250	156	70.6	38	6.787	10.8	13.4	14.27	493	489	28.9	45.5	44.8	Schubbruch
A1.24	1250	156	70.3	34	7.094	12.7	14.1	14.35	517	511	29.3	46.1	45.4	Schubbruch
A1.25	1250	156	70.6	30	6.546	11.6	13.1	14.80	475	472	30.0	47.2	46.4	Schubbruch
A1.26	1250	156	70.6	24	6.456	12.1	14.7	12.78	469	461	25.9	40.7	40.1	Biegebruch
A1.27	1250	156	71.5	99	6.722	11.8	15.1	16.57	482	473	32.7	51.5	50.7	Biegebruch
A1.28	1250	156	70.5	83	6.770	12.4	14.8	16.62	492	484	33.8	53.1	52.3	Biegebruch
A1.29	1250	156	70.4	93	6.753	11.9	14.1	15.18	492	486	30.9	48.7	47.9	Biegebruch
A1.30	1250	156	70.6	39	6.618	12.0	14.1	12.58	481	475	25.5	40.1	39.5	Biegebruch
n					30	30			30	30	30	30	30	
<b>Mittelwert</b>					<b>11.5</b>	<b>14.2</b>			<b>468</b>	<b>28.7</b>	<b>45.1</b>	<b>44.4</b>		
Standardabweichung					0.74	0.95				19.9	4.29	6.75	6.65	
Variationskoeffizient [%]					6.4	6.7				4.3	15.0	15.0	15.0	
Minimalwert					9.9	11.7				417	20.5	32.3	31.8	
Maximalwert					12.7	15.4				511	36.2	57.0	56.1	
5% Wert aus Versuchen											20.6	32.5	32.0	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n=n <sub>eff</sub> S=84.1%											32.8	32.3	32.3	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n=∞											20.8	34.5	33.9	
5% Wert, Normalverteilung, n=∞											21.9	34.5	33.9	
											435			

Tabelle 4.6: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie A2

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Abstand Fuge <sup>1</sup> [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]	Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit fm [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
A2.01	1250	312	70.0	28	12.789	11.6	15.6	31.19	468	458	32.1	49.1
A2.02	1250	312	70.0	64	11.465	11.8	14.3	34.15	420	414	35.2	53.7
A2.03	1250	312	70.8	65	12.652	12.0	13.1	23.98	458	455	24.1	37.7
A2.04	1250	312	70.8	40	12.939	10.9	12.7	28.81	469	467	29.0	45.3
A2.05	1250	312	71.1	52	11.806	10.5	13.3	26.81	426	422	26.8	42.2
A2.06	1250	312	70.9	39	12.916	12.0	12.7	28.91	467	465	29.0	45.5
A2.07	1250	312	70.9	77	13.149	10.6	13.5	29.07	476	471	29.2	45.7
A2.08	1250	312	70.5	6	13.565	11.3	12.7	25.41	493	491	25.8	40.0
A2.09	1250	312	70.7	8	13.459	11.5	14.4	29.46	488	481	29.8	46.4
A2.10	1250	312	70.9	77	13.011	10.2	13.7	23.59	471	466	23.7	37.1
A2.11	1250	312	70.7	11	14.437	11.6	14.3	24.94	524	516	25.2	39.2
A2.12	1250	312	70.8	77	13.148	11.5	14.2	30.22	476	470	30.4	47.5
A2.13	1250	312	71.1	77	12.931	11.0	14.0	25.98	466	461	25.9	40.9
A2.14	1250	312	70.7	12	13.295	10.7	13.9	29.03	482	477	29.3	45.7
A2.15	1250	312	71.0	79	13.256	11.2	13.7	28.59	479	474	28.6	45.0
A2.16	1250	312	70.7	15	13.510	11.5	13.7	33.22	490	485	33.5	52.3
A2.17	1250	312	71.1	78	12.998	12.2	13.7	23.82	469	464	23.8	37.5
A2.18	1250	312	71.0	80	12.912	11.2	13.3	23.39	466	463	23.4	36.8
A2.19	1250	312	70.8	17	13.228	11.0	14.3	27.32	479	472	27.5	43.0
A2.20	1250	312	70.4	19	13.192	11.0	14.2	27.80	480	474	28.3	43.7
<i>n</i>					20	20		20	20	20	20	20
<b>Mittelwert</b>					<b>11.3</b>	<b>13.8</b>			<b>472.4</b>	<b>467</b>	<b>28.0</b>	<b>43.7</b>
Standardabweichung					0.54	0.71			21.96	21.59	3.28	4.79
Variationskoeffizient [%]					4.8	5.1			4.6	4.6	11.7	11.1
Minimalwert					10.2	12.7			420.0	414	23.4	36.8
Maximalwert					12.2	15.6			523.6	516	35.2	53.7
5% Wert aus Versuchen											23.4	36.8
5% Wert, Lognormal-Verteilung, $n = n_{\text{eff}}$ , $S = 84.1\%$											22.0	34.1
5% Wert, Normalverteilung, $n = \infty$											23.0	36.2
5% Wert, Normalverteilung, $n = \infty$											432	35.7

Tabelle 4.7: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie A3

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Abstand Fuge <sup>1</sup> [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]	Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]		Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich	
										Querschnitt homogen	Spernholz analogie mod.			
A3.01	1250	468	70.2	4	19.354	10.6	14.3	39.40	471	465	26.9	42.3	41.7 Biege-/Schubbruch	
A3.02	1250	468	70.5	5	19.544	11.7	13.7	41.10	474	469	27.8	43.8	43.1 Biege-/Schubbruch	
A3.03	1250	468	70.3	90	18.073	11.9	13.7	37.60	439	435	25.6	40.3	39.7 Biege-/Schubbruch	
A3.04	1250	468	70.2	91	17.928	12.1	13.2	42.00	437	433	28.7	45.1	44.4 Biegebruch	
A3.05	1250	468	70.5	37	17.254	11.2	12.4	40.30	418	417	27.3	42.9	42.3 Biegebruch	
A3.06	1250	468	70.7	37	17.285	10.9	12.6	37.20	418	416	25.0	39.4	38.8 Biege-/Schubbruch	
A3.07	1250	468	70.2	3	19.645	11.8	13.3	45.30	478	475	30.9	48.7	47.9 Schubbruch	
A3.08	1250	468	70.2	92	18.140	11.7	14.1	46.00	442	436	31.4	49.4	48.7 Biege-/Schubbruch	
A3.09	1250	468	70.2	7	19.535	11.6	13.8	33.60	476	471	22.9	36.1	35.5 Biegebruch	
A3.10	1250	468	70.3	92	18.214	12.5	13.8	44.70	443	438	30.4	47.9	47.2 Biegebruch	
A3.11	1250	468	70.7	35	17.259	12.0	14.1	39.60	417	412	26.7	41.9	41.3 Schubbruch	
A3.12	1250	468	70.5	35	17.161	11.8	12.9	42.30	416	414	28.6	45.1	44.4 Biege-/Schubbruch	
A3.13	1250	468	70.7	64	18.914	11.3	12.8	35.40	457	455	23.8	37.5	36.9 Schubbruch	
A3.14	1250	468	70.8	39	18.729	12.0	14.1	35.40	452	446	23.8	37.4	36.8 Biegebruch	
A3.15	1250	468	70.9	53	17.337	10.9	12.3	25.40	418	417	17.0	26.8	26.3 Schubbruch	
n						15	15			15	15	15	15	
<b>Mittelwert</b>						<b>11.6</b>	<b>13.4</b>			<b>440</b>	<b>26.5</b>	<b>41.6</b>	<b>41.0</b>	
Standardabweichung						0.52	0.67			22.36	3.70	5.82	5.73	
Variationskoeffizient [%]						4.5	5.0			5.1	14.0	14.0	14.0	
Minimalwert						10.6	12.3			412	17.0	26.8	26.3	
Maximalwert						12.5	14.3			475	31.4	49.4	48.7	
5% Wert aus Versuchen											n<20	n>20		
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%														
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$														
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$										403	20.3	32.0	31.5	

Tabelle 4.8: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie A4

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Abstand Fuge <sup>1</sup> [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]		Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit fm [N/mm <sup>2</sup> ]		Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
						Oberfläche	1/3 Dicke				Querschnitt homogen	Spernholz-analogie mod.		
A4.01	1250	624	69.9	63	22.714	11.6	14.6	48.40	417	410	25.0	39.3	38.7 Biegebruch	
A4.02	1250	624	70.0	60	22.745	12.6	14.7	53.80	417	410	27.7	43.6	42.9 Biege-/Schubbruch	
A4.03	1250	624	69.7	27	24.749	12.1	15.0	55.50	455	447	28.8	45.4	44.7 Biegebruch	
A4.04	1250	624	70.0	23	24.534	11.8	14.7	43.60	449	442	22.5	35.3	34.8 Biegebruch	
A4.05	1250	624	71.0	66	25.240	11.6	14.0	44.80	456	450	22.4	35.3	34.8 Biegebruch	
A4.06	1250	624	71.0	42	25.566	11.7	13.3	50.80	462	458	25.4	40.0	39.4 Biegebruch	
A4.07	1250	624	70.8	65	25.004	11.1	13.5	53.20	453	449	26.8	42.1	41.5 Biegebruch	
A4.08	1250	624	70.9	43	25.627	12.0	14.7	49.80	463	456	25.0	39.3	38.7 Biegebruch	
A4.09	1250	624	70.8	53	23.707	11.4	13.8	54.40	429	425	27.4	43.1	42.4 Biegebruch	
A4.10	1250	624	70.8	50	24.170	12.1	12.7	53.10	438	436	26.7	42.1	41.4 Biegebruch	
n					10	10			10	10	10	10	10	
<b>Mittelwert</b>			<b>11.8</b>	<b>14.1</b>					<b>438</b>	<b>25.8</b>	<b>40.6</b>	<b>39.9</b>		
Standardabweichung			0.42	0.76					17.8	2.14	3.37	3.31		
Variationskoeffizient [%]			3.6	5.4					4.1	8.3	8.3	8.3		
Minimalwert			11.1	12.7					410	22.4	35.3	34.8		
Maximalwert			12.6	15.0					458	28.8	45.4	44.7		
5% Wert aus Versuchen									n<20	n<20				
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{eff}$ , S= 84.1%										21.2	33.4	32.9		
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$										22.4	35.2	34.6		
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$										409				

## 4.2 Serien A5 bis A8

### 4.2.1 Geometrische Parameter

Dicke / Aufbau [mm]:	80 / 25-30-25
Lamellenbreite Decklage [mm]:	52
Breite Mittellage [mm]:	190 bis 230 (Einzelbretter Serie 7 und 8 = 135)
Länge / Stützweite [mm]:	1250 / 1050

### 4.2.2 Biegefestigkeit in Funktion von Prüfkörperbreite bzw. Lamellenanzahl in der Decklage

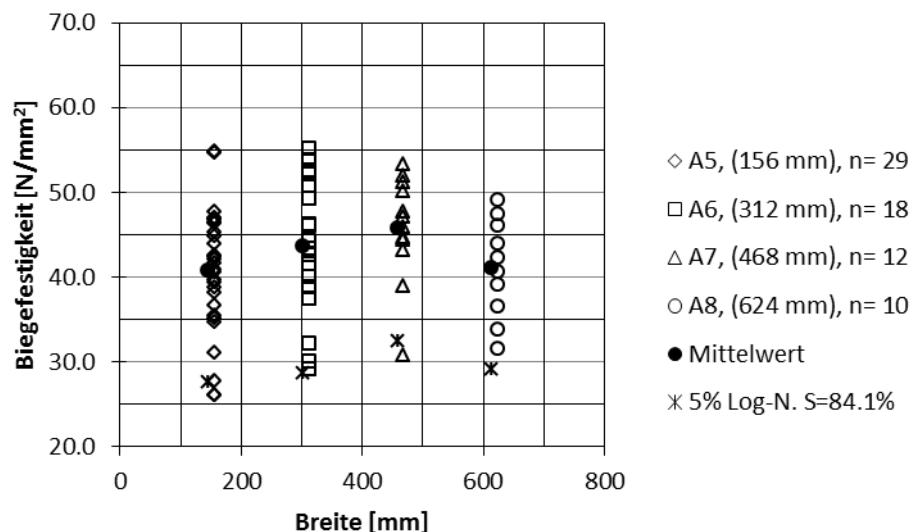


Abbildung 4.4: Einzelwerte, Mittelwerte und 5% Quantilwerte der Prüfkörper berechnet nach der Sperrholzanalogie

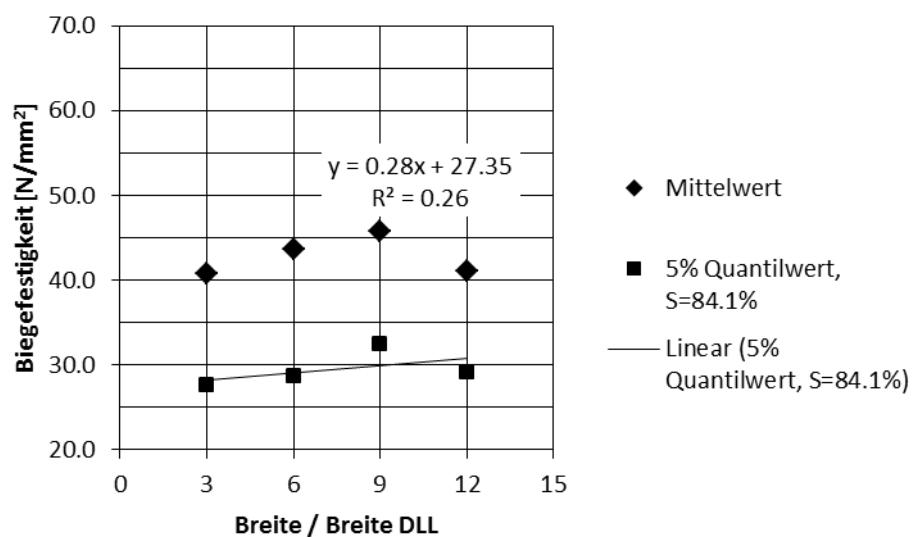


Abbildung 4.5: Biegefestigkeits-Mittelwerte und 5% Quantilwerte, berechnet nach der Sperrholzanalogie, in Abhängigkeit der Prüfkörperbreite / Breite der Decklagen

#### 4.2.3 Statistische Auswertung und Vergleich der Biegefestigkeiten

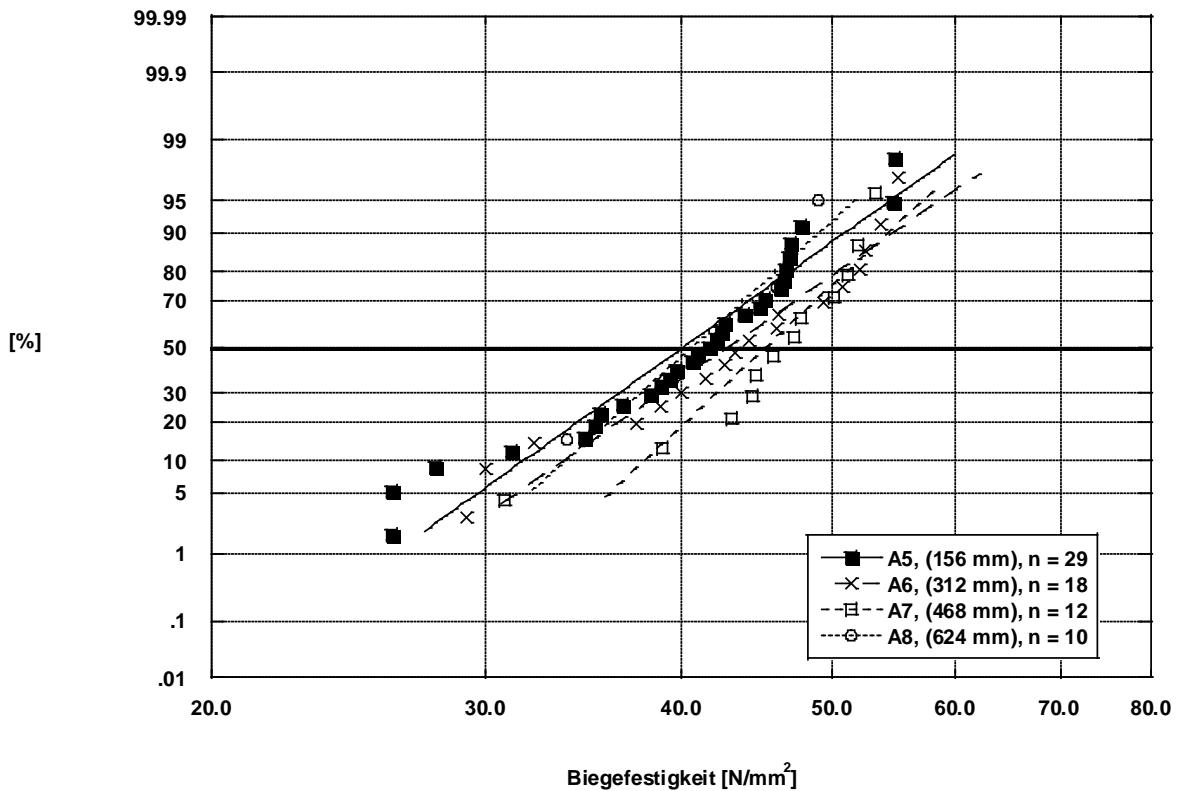


Abbildung 4.6: Biegefestigkeit berechnet nach der Sperrholzanalogie der Serien A5 bis A8

Tabelle 4.9: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie A5 (Breite 156 mm)

	Biegefestigkeit $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte $\rho_{12}$
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	29	29	29	29	29	29
<b>Mittelwert</b>	<b>38.7</b>	<b>40.8</b>	<b>40.8</b>	<b>10.7</b>	<b>12.3</b>	<b>421</b>
Standardabweichung	6.90	7.28	7.27	0.94	0.71	11.1
Variationskoeffizient [%]	17.8	17.8	17.8	8.8	5.8	2.6
Minimalwert	24.7	26.1	26.0	8.9	10.5	403
Maximalwert	51.9	54.8	54.7	12.1	13.7	445
5% Wert aus Versuchen	24.7	26.1	26.0			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{eff}$ , S= 84.1%	26.1	27.6	27.5			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	27.8	29.3	29.3			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						403

Tabelle 4.10: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie A6 (Breite 312 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	18	18	18	18	18	18
<b>Mittelwert</b>	<b>41.3</b>	<b>43.6</b>	<b>43.5</b>	<b>11.0</b>	<b>12.4</b>	<b>430</b>
Standardabweichung	7.56	7.98	7.97	0.61	0.45	14.7
Variationskoeffizient [%]	18.3	18.3	18.3	5.6	3.6	3.4
Minimalwert	27.6	29.1	29.1	10.1	11.8	400
Maximalwert	52.2	55.1	55.0	12.6	13.3	454
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	27.1	28.6	28.6			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	29.5	31.1	31.1			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						406

Tabelle 4.11: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie A7 (Breite 468 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	12	12	12	12	12	12
<b>Mittelwert</b>	<b>43.3</b>	<b>45.7</b>	<b>45.7</b>	<b>10.4</b>	<b>12.3</b>	<b>429</b>
Standardabweichung	5.93	6.26	6.25	0.95	0.82	12.63
Variationskoeffizient [%]	13.7	13.7	13.7	9.2	6.7	2.9
Minimalwert	29.1	30.8	30.7	8.8	10.9	406
Maximalwert	50.5	53.3	53.3	12.0	13.8	449
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	30.8	32.5	32.5			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	33.5	35.3	35.3			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						408

Tabelle 4.12: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie A8 (Breite 624 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	10	10	10	10	10	10
<b>Mittelwert</b>	<b>38.9</b>	<b>41.0</b>	<b>41.0</b>	<b>10.3</b>	<b>12.9</b>	<b>424</b>
Standardabweichung	5.5	5.8	5.8	0.75	0.80	4.4
Variationskoeffizient [%]	14.2	14.2	14.2	7.3	6.2	1.0
Minimalwert	29.9	31.6	31.5	9.4	11.3	417
Maximalwert	46.5	49.0	49.0	11.6	14.0	430
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	27.6	29.1	29.1			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	30.2	31.9	31.9			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						416

## 4.2.4 Wertetabellen

Tabelle 4.13: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie A5

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Abstand Fuge <sup>1</sup> [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]	Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit/fm [N/mm <sup>2</sup> ]		Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
										Querschnitt homogen	Spernholz-analogie mod.		
A5.01	1490	156	83.0	79	8.199	12.5	13.8	21.70	435	431	45.8	48.3	Schubbruch
A5.02	1490	156	80.8	100	7.728	11.0	12.3	24.40	411	411	51.7	54.6	54.5 Biegebruch
A5.03	1490	156	80.7	0	7.984	11.6	12.4	20.92	426	425	44.5	47.0	46.9 Biegebruch
A5.04	1490	156	80.5	0	7.671	10.8	12.6	20.06	410	408	42.9	45.2	45.2 Biegebruch
A5.05	1490	156	80.4	0	7.982	12.1	13.7	20.55	427	423	44.0	46.5	46.4 Biegebruch
A5.06	1490	156	80.4	0	7.910	12.1	13.1	17.57	423	420	37.6	39.7	39.7 Biegebruch
A5.07	1490	156	80.8	0	7.906	8.9	10.5	17.56	421	425	37.2	39.3	39.3 Biegebruch
A5.08	1490	156	80.7	0	7.906	11.6	13.0	15.80	421	419	33.6	35.5	35.4 Biegebruch
A5.09	1490	156	80.6	3	7.984	12.0	13.1	18.17	426	423	38.7	40.9	40.8 Biegebruch
A5.10	1490	156	80.7	3	8.197	11.5	12.2	17.00	437	436	36.1	38.2	38.1 Biege-/Schubbruch
A5.11	1490	156	80.5	100	8.010	11.5	12.6	18.78	428	427	40.1	42.4	42.3 Biegebruch
A5.12	1490	156	80.4	97	7.792	10.7	12.5	16.22	417	416	34.7	36.7	36.6 Biegebruch
A5.13	1490	156	80.7	98	7.772	10.3	11.7	19.54	414	415	43.9	43.9	43.8 Biegebruch
A5.14	1490	156	80.6	3	7.686	10.3	11.6	15.63	410	411	33.3	35.2	35.1 Biegebruch
A5.15	1490	156	80.9	68	8.349	10.6	11.8	20.10	444	445	42.5	44.9	44.8 Biegebruch
A5.16	1490	156	80.6	98	7.690	10.2	11.0	20.84	410	413	44.4	46.9	46.8 Biegebruch
A5.17	1490	156	80.5	0	8.209	10.1	11.3	18.89	439	441	40.4	42.6	42.5 Biegebruch
A5.18	1490	156	80.7	98	8.347	11.0	12.1	15.46	445	445	32.9	34.7	34.6 Biege-/Schubbruch
A5.19	1490	156	80.4	94	7.782	11.1	12.3	24.22	416	416	51.9	54.8	54.7 Biegebruch
A5.20	1490	156	80.2	93	7.590	11.2	12.4	20.36	407	406	43.8	46.3	46.2 Biegebruch
A5.21	1490	156	80.5	0	7.858	11.6	12.4	12.32	420	419	26.3	27.8	27.7 Biegebruch
A5.22	1490	156	80.6	97	7.550	10.6	11.8	11.58	403	403	24.7	26.1	26.0 Biegebruch
A5.23	1490	156	80.5	0	7.913	10.7	11.9	18.68	423	423	39.9	42.1	42.1 Biegebruch
A5.24	1490	156	80.3	92	7.706	11.3	13.5	17.89	413	409	38.4	40.6	40.5 Biegebruch
A5.25	1490	156	80.2	92	7.703	11.2	12.9	18.35	413	411	39.5	41.7	41.6 Biegebruch
A5.26	1490	156	80.4	2	7.696	9.1	11.4	11.55	412	413	24.7	26.1	26.1 Biegebruch
A5.27	1490	156	80.4	0	8.179	9.1	12.3	13.76	438	437	29.5	31.1	31.1 Biegebruch
A5.28	1490	156	80.4	96	7.979	9.4	12.4	17.15	427	426	36.7	38.8	38.7 Biegebruch
A5.29	1490	156	80.3	91	7.797	9.3	12.3	21.06	418	417	45.2	47.7	47.7 Biegebruch
A5.30	1490	156	80.3	90	7.947	9.6	12.6	20.62	426	424	44.3	46.7	46.7 Biegebruch
n					30	30			30	30	30	30	
<b>Mittelwert</b>					<b>10.8</b>	<b>12.3</b>			<b>421</b>	<b>38.9</b>	<b>41.1</b>	<b>41.0</b>	
Standardabweichung					0.98	0.75			11.1	6.90	7.29	7.28	
Variationskoeffizient [%]					9.1	6.1			2.6	17.7	17.7	17.7	
Minimalwert					8.9	10.5			403	24.7	26.1	26.0	
Maximalwert					12.5	13.8			445	51.9	54.8	54.7	
5% Wert aus Versuchen										24.7	26.1	26.0	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub>										26.3	27.8	27.8	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= ∞										28.0	29.5	29.5	
5% Wert, Normalverteilung, n= ∞										403			

Tabelle 4.14: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie A6

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Abstand Fuge <sup>1</sup> [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]	Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit fm [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich	
A6.01	1490	312	79.0	105	15.789	10.5	12.1	36.40	430	40.4	42.6	Biegebruch	Dicke: 78.0 bis 80.0 mm
A6.02	1490	312	79.9	107	15.468	10.8	12.1	28.10	416	30.5	32.2	Biegebruch	
A6.03	1490	312	79.4	101	15.851	10.3	12.3	40.10	429	44.0	46.5	Schubbruch	Dicke: 78.7 bis 80.0 mm
A6.04	1490	312	78.8	103	15.152	10.5	13.1	33.30	414	411	36.8	Biegebruch	
A6.05	1490	312	79.4	107	15.883	10.7	12.3	45.30	430	430	49.7	Biegebruch	Dicke: 78.7 bis 80.0 mm
A6.06	1490	312	78.6	100	15.179	10.1	12.3	33.80	415	415	37.9	Biegebruch	Dicke: 78.0 bis 79.2 mm
A6.07	1490	312	79.2	105	15.729	10.5	12.1	40.50	427	427	44.7	Schubbruch	Dicke: 78.7 bis 79.7 mm
A6.08	1490	312	79.5	103	16.126	10.6	11.8	42.60	436	437	46.7	Biege-/Schubbruch	Decklam. 1x 47 mm (statt 52)
A6.09	1490	312	80.6	6	16.773	12.6	13.3	26.70	448	444	28.5	Biegebruch	
A6.10	1490	312	79.4	100	16.461	10.4	12.3	43.70	446	445	48.0	Biege-/Schubbruch	2 Lam. 47 + 0.5 mm Fuge; Dicke: 78.8 bis 80.0
A6.11	1490	312	80.8	101	16.742	11.2	12.2	49.20	446	445	52.2	Biegebruch	
A6.12	1490	312	80.9	6	16.459	11.7	12.8	33.50	438	436	35.4	Biegebruch	
A6.13	1490	312	80.8	3	15.850	10.4	11.9	38.70	422	422	41.0	Biegebruch	
A6.14	1490	312	80.8	8	17.082	11.1	12.2	48.00	455	454	50.9	Biegebruch	
A6.15	1490	312	80.8	3	16.382	10.8	12.2	41.10	436	436	43.6	Biegebruch	
A6.16	1490	312	80.8	5	16.881	11.8	12.7	41.30	449	447	43.8	Biegebruch	
A6.17	1490	312	80.7	5	16.288	10.8	12.1	46.40	434	434	49.3	Biegebruch	zwischen 2 Lamellen 1mm Luft
A6.18	1490	312	80.7	3	15.704	11.0	12.3	39.40	419	418	41.9	Biegebruch	
A6.19	1490	312	80.6	0	15.060	11.0	12.8	25.90	402	400	27.6	Biegebruch	
A6.20	1490	312	80.8	3	15.919	11.5	13.2	37.10	424	421	39.3	Biegebruch	
n					20			20		20	20		
<b>Mittelwert</b>					<b>10.9</b>	<b>12.4</b>		<b>430</b>	<b>41.6</b>	<b>43.9</b>	<b>43.9</b>		
Standardabweichung					0.61	0.43		13.9	7.22	7.62	7.61		
Variationskoeffizient [%]					5.6	3.5		3.2	17.3	17.3	17.3		
Minimalwert					10.1	11.8		400	27.6	29.1	29.1		
Maximalwert					12.6	13.3		454	52.2	55.1	55.0		
5% Wert aus Versuchen									27.6	29.1	29.1		
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub>									28.0	29.6	29.5		
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$									30.2	31.8	31.8		
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$									407				

Tabelle 4.15: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie A7

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Abstand Fuge <sup>1</sup> [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]	Oberfläche 1/3 Dicke	Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit fm [N/mm <sup>2</sup> ]	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich		
												Sperrholz-analogie mod.	Sperrholz-analogie	
A7.01	1490	468	80.7	18	24.849	11.6	13.8	71.30	442	437	50.5	53.3	53.3 Biege-/Schubbruch	
A7.02	1485	468	80.7	72	25.048	13.1	14.0	70.00	447	441	49.6	52.4	52.3 Schubbruch	
A7.03	1490	468	80.7	79	24.86	12.0	13.3	57.60	442	438	40.8	43.1	43.0 Biegebruch	
A7.04	1490	468	80.7	5	23.445	9.8	11.7	52.00	417	417	36.9	38.9	38.8 Biegebruch	
A7.05	1490	468	80.7	5	22.936	11.0	12.6	66.90	408	406	47.4	50.1	50.0 Biege-/Schubbruch	1 Deckkäm. 47 + 1 mm Fuge
A7.06	1490	468	80.7	3	24.364	11.3	12.7	59.30	433	431	42.0	44.4	44.3 Biegebruch	1 Deckkäm. 47 + 1 mm Fuge
A7.07	1490	468	80.7	3	24.801	9.8	12.3	67.00	441	440	47.5	50.1	50.1 Schubbruch	
A7.08	1490	468	80.8	100	24.265	10.6	12.7	68.60	431	429	48.5	51.2	51.1 Biegebruch	1 Deckkäm. 49 + 1 mm Fuge
A7.09	1490	468	80.8	81	24.441	10.4	11.9	69.50	433	434	49.1	51.9	51.8 Biegebruch	1 Deckkäm. 47 + 1 mm Fuge
A7.10	1490	468	80.8	100	24.986	8.8	11.2	63.90	443	446	45.2	47.7	47.6 Biege-/Schubbruch	
A7.11	1490	468	80.8	66	25.122	10.2	10.9	61.40	446	449	43.4	45.8	45.8 Biegebruch	
A7.12	1490	468	80.8	102	23.554	9.6	12.3	63.20	418	417	44.7	47.2	47.1 Biege-/Schubbruch	Deckkäm. 1 mm Fuge
A7.13	1490	468	80.8	67	23.657	9.9	10.7	66.90	420	423	47.3	49.9	49.9 Schubbruch	1 Deckkäm. 43 + 1 mm Fuge
A7.14	1490	468	80.6	102	23.789	10.0	12.4	41.00	423	422	29.1	30.8	30.7 Biegebruch	
A7.15	1490	468	80.7	67	23.684	9.4	12.0	59.80	421	421	42.4	44.7	44.7 Biegebruch	
n					15	15			15	15	15	15		
<b>Mittelwert</b>		<b>10.5</b>	<b>12.3</b>					<b>430</b>	<b>44.3</b>	<b>46.8</b>	<b>46.7</b>			
Standardabweichung		1.3	0.96					12.07	5.64	5.95	5.94			
Variationskoeffizient [%]		10.7	7.8					2.8	12.7	12.7	12.7			
Minimalwert		8.8	10.7					406	29.1	30.8	30.7			
Maximalwert		13.1	14.0					449	50.5	53.3	53.3			
5% Wert aus Versuchen								n>20	n>20	n>20	n>20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{eff}$									32.5	34.3	34.2			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$									34.7	36.7	36.2			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$									410					

Tabelle 4.16: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie A8

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Abstand Fuge <sup>1</sup> [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]	Oberfläche 1/3 Dicke	Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit/fm [N/mm <sup>2</sup> ]		Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich	
											Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie mod.			
A8.01	1484	624	80.7	77	31.779	9.7	11.3	82.10	425	427	43.6	46.1	46.0 Biege-/Schubbruch	Decklage 1 mm Fuge	
A8.02	1490	624	80.7	14	31.818	9.4	13.3	87.40	424	421	46.5	49.0	49.0 Biege-/Schubbruch	Decklage 1 mm Fuge	
A8.03	1490	624	80.8	100	32.400	10.5	12.7	75.50	431	429	40.0	42.3	42.2 Biegebruch		
A8.04	1490	624	80.8	100	31.396	10.0	12.5	60.40	418	417	32.0	33.8	33.8 Biegebruch		
A8.05	1490	624	80.8	7	32.570	9.7	13.5	69.70	434	430	37.0	39.0	39.0 Biegebruch		
A8.06	1490	624	80.7	8	31.470	10.1	12.4	56.30	419	418	29.9	31.6	31.5 Biegebruch		
A8.07	1490	624	80.8	100	32.059	11.6	14.0	78.50	427	422	41.6	43.9	43.9 Biegebruch	Decklage 1 mm Fuge	
A8.08	1490	624	80.8	6	32.130	11.1	13.8	84.80	428	423	45.0	47.5	47.4 Biegebruch	Decklage 1 mm Fuge	
A8.09	1490	624	80.7	104	31.975	9.6	12.7	72.40	426	424	38.5	40.6	40.6 Biegebruch		
A8.10	1490	624	80.8	6	32.120	11.0	12.5	65.10	428	426	34.5	36.4	36.4 Biege-/Schubbruch		
n					10	10	10		10	10	10	10	10		
<b>Mittelwert</b>					<b>10.3</b>	<b>12.9</b>			<b>424</b>	<b>38.9</b>	<b>41.0</b>	<b>41.0</b>			
Standardabweichung					0.75	0.80			4.4	5.5	5.8	5.8			
Variationskoeffizient [%]					7.3	6.2			1.0	14.2	14.2	14.2			
Minimalwert					9.4	11.3			417	29.9	31.6	31.5			
Maximalwert					11.6	14.0			430	46.5	49.0	49.0			
5% Wert aus Versuchen										n>20	n>20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n=n <sub>eff</sub> , S=84.1%										27.6	29.1	29.1			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n=∞										30.2	31.9	31.9			
5% Wert, Normalverteilung, n=∞										416					

## 4.3 Serien B1 bis B4

### 4.3.1 Geometrische Parameter

Dicke / Aufbau [mm]: 70 / 10-50-10

Lamellenbreite Decklage [mm]: 26

Breite Mittellage [mm]: 26

Länge / Stützweite [mm]: 1250 / 1050

### 4.3.2 Biegefestigkeit in Funktion von Prüfkörperbreite bzw. Lamellenanzahl in der Decklage

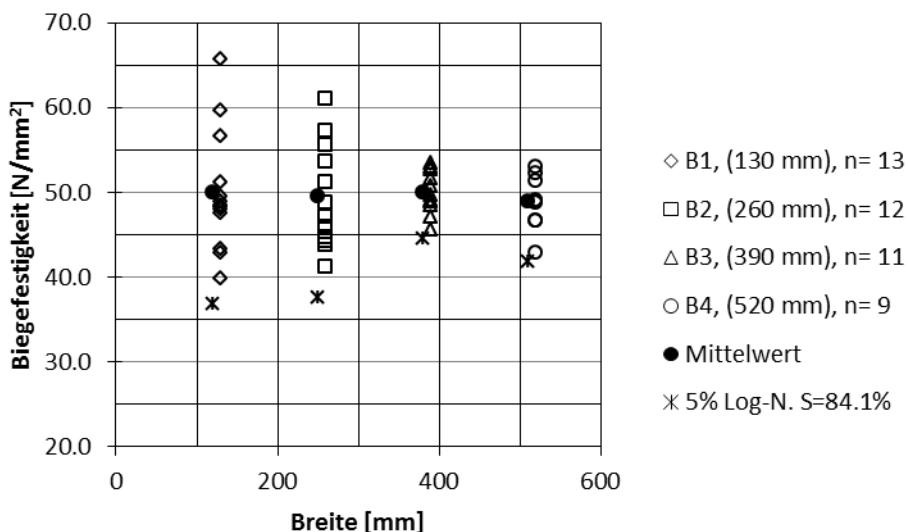


Abbildung 4.7: Einzelwerte, Mittelwerte und 5% Quantilwerte der Prüfkörper berechnet nach der Sperrholzanalogie.

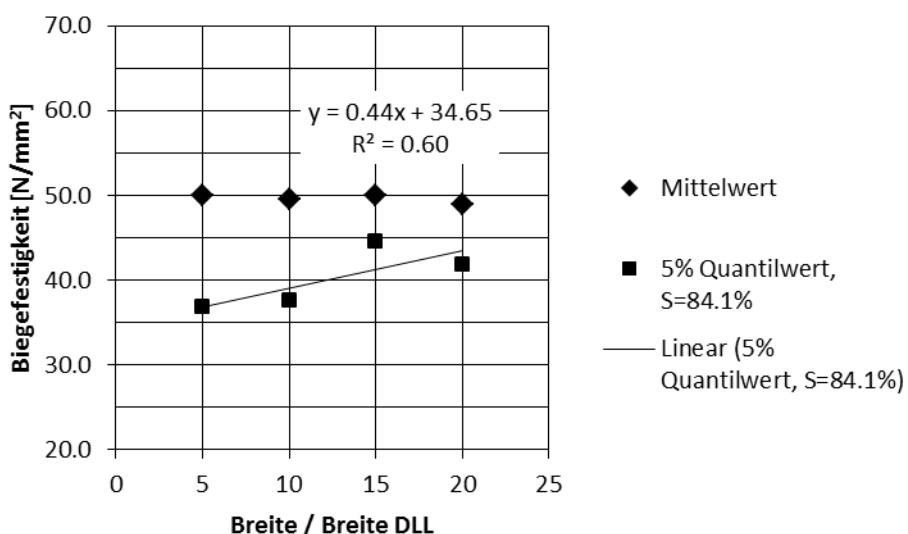


Abbildung 4.8: Biegefestigkeits-Mittelwerte und 5% Quantilwerte, berechnet nach der Sperrholzanalogie, in Abhängigkeit der Prüfkörperbreite / Breite der Decklagen

### 4.3.3 Statistische Auswertung und Vergleich der Biegefestigkeiten

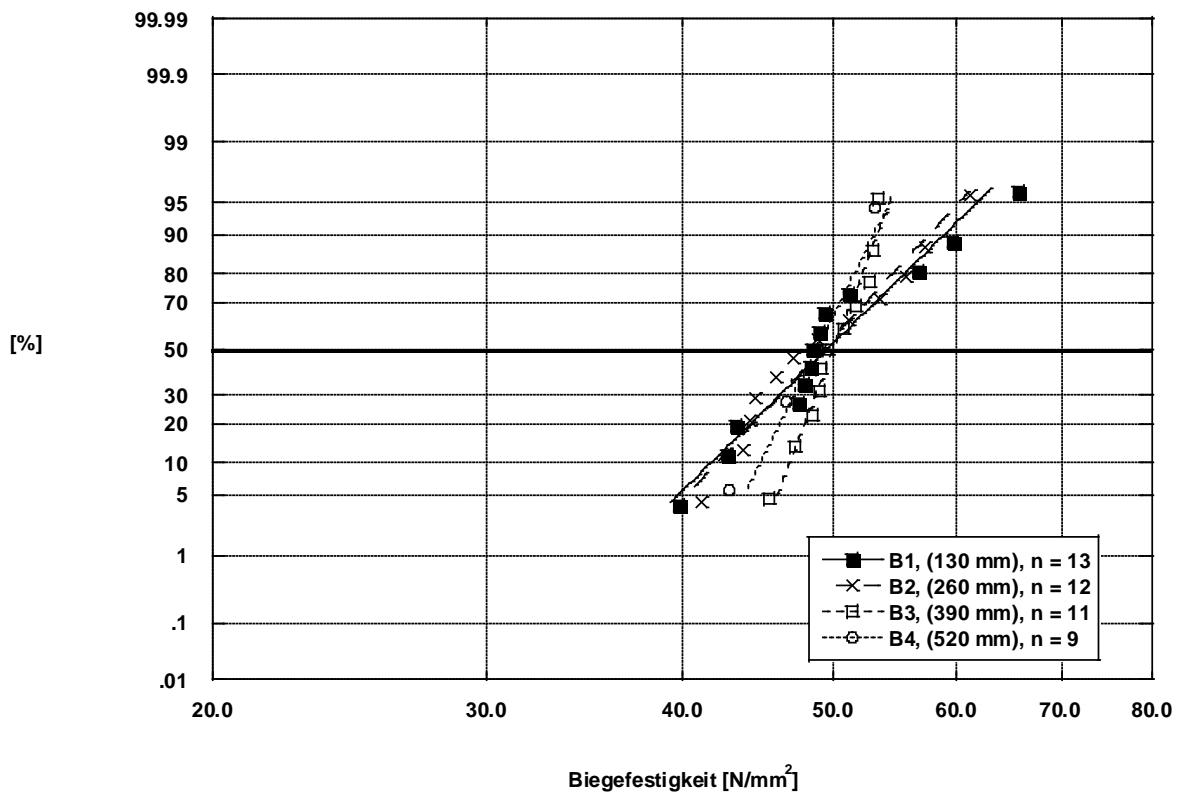


Abbildung 4.9: Biegefestigkeit berechnet nach der Sperrholzanalogie der Serien B1 bis B4

Tabelle 4.17: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B1 (Breite 130 mm)

	Biegefestigkeit $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	13	13	13	13	13	13
<b>Mittelwert</b>	<b>31.8</b>	<b>50.0</b>	<b>49.1</b>	<b>8.7</b>	<b>10.5</b>	<b>471</b>
Standardabweichung	4.50	7.08	6.95	0.69	0.96	9.3
Variationskoeffizient [%]	14.2	14.2	14.2	7.9	9.2	2.0
Minimalwert	25.3	39.8	39.1	8.0	9.1	459
Maximalwert	41.8	65.7	64.5	9.8	12.1	486
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{eff}$ , S= 84.1%	23.4	36.8	36.2			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	25.1	39.6	38.8			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						456

Tabelle 4.18: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B2 (Breite 260 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm $^2$ ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte $_{12}$
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m $^3$ ]
n	12	12	12	12	12	12
<b>Mittelwert</b>	<b>31.5</b>	<b>49.5</b>	<b>48.6</b>	<b>8.8</b>	<b>11.2</b>	<b>470</b>
Standardabweichung	3.94	6.20	6.09	0.66	1.14	5.4
Variationskoeffizient [%]	12.5	12.5	12.5	7.5	10.2	1.2
Minimalwert	26.2	41.2	40.4	7.5	9.7	462
Maximalwert	38.8	61.1	59.9	9.8	13.3	479
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{eff}$ , S= 84.1%	23.9	37.5	36.8			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	25.5	40.2	39.4			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						461

Tabelle 4.19: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B3 (Breite 390 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm $^2$ ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte $_{12}$
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m $^3$ ]
n	11	11	11	11	11	11
<b>Mittelwert</b>	<b>31.8</b>	<b>50.0</b>	<b>49.1</b>	<b>8.6</b>	<b>10.9</b>	<b>474</b>
Standardabweichung	1.60	2.52	2.48	0.83	1.17	10.3
Variationskoeffizient [%]	5.0	5.0	5.0	9.7	10.7	2.2
Minimalwert	28.9	45.5	44.7	6.9	9.3	453
Maximalwert	34.0	53.4	52.4	9.5	12.8	487
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{eff}$ , S= 84.1%	28.4	44.6	43.8			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	29.2	46.0	45.1			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						457

Tabelle 4.20: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B4 (Breite 520 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm $^2$ ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte $_{12}$
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m $^3$ ]
n	9	9	9	9	9	9
<b>Mittelwert</b>	<b>31.0</b>	<b>48.8</b>	<b>48.0</b>	<b>8.2</b>	<b>10.6</b>	<b>468</b>
Standardabweichung	2.02	3.18	3.12	0.55	0.60	7.9
Variationskoeffizient [%]	6.5	6.5	6.5	6.7	5.7	1.7
Minimalwert	27.3	42.9	42.1	7.3	9.6	459
Maximalwert	33.7	53.1	52.1	9.0	11.4	483
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{eff}$ , S= 84.1%	26.6	41.8	41.1			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	27.8	43.7	42.9			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						455

#### 4.3.4 Wertetabellen

Tabelle 4.21: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B1

Probe	Länge	Breite	Dicke	Gewicht	Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>w</sub>	Rohdichte <sub>12</sub>	Festigkeit f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]		Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich	
					Oberfläche	1/3 Dicke			Querschnitt homogen	Sperrholz- analoge mod.			
B1.01	1247	130	69.9	5.209	8.0	12.1	16.84	459	41.8	65.7	64.5 Biegebruch		
B1.02	1247	130	69.8	5.205	8.8	12.0	12.14	460	30.2	47.5	46.6 Biege-/Schubbruch Typ 2		
B1.03	1247	130	69.7	5.243	8.3	11.0	15.21	464	37.9	59.7	58.6 Biege-/Schubbruch Typ 1		
B1.04	1247	130	69.8	5.177	8.0	11.0	12.52	458	460	31.1	49.0	48.1 Biegebruch	tw. Biegebruch bei 8.5 kN
B1.05	1250	130	70.3	5.391	8.0	9.1	12.82	472	481	31.4	49.4	48.5 Biege-/Schubbruch Typ 2	
B1.06	1250	130	70.3	5.343	9.2	10.8	11.80	468	471	28.9	45.5	44.7 Schubbruch Typ 2	
B1.07	1250	130	70.3	5.331	8.2	9.4	11.66	467	474	28.6	45.0	44.2 Schubbruch Typ 2	
B1.08	1250	130	70.3	5.453	7.8	10.4	13.43	477	482	32.9	51.8	50.9 Schubbruch Typ 2	
B1.09	1250	130	70.4	5.306	8.3	10.1	12.07	464	469	29.5	46.4	45.6 Schubbruch Typ 2	
B1.10	1250	130	70.3	5.346	7.6	10.4	13.18	468	473	32.3	50.8	49.9 Schubbruch Typ 2	
B1.11	1250	130	70.3	5.427	10.2	11.0	13.55	475	478	33.2	52.3	51.3 Schubbruch Typ 1	
B1.12	1250	130	70.3	5.496	9.5	10.3	11.22	481	486	27.5	43.3	42.5 Biege-/Schubbruch Typ 1	
B1.13	1250	130	70.4	5.492	8.8	10.7	14.71	480	484	36.0	56.6	55.5 Biege-/Schubbruch Typ 1	
B1.14	1250	130	70.4	5.524	9.6	11.2	13.30	483	485	32.5	51.2	50.2 Schubbruch Typ 2	
B1.15	1250	130	70.4	5.336	9.6	10.5	12.35	466	471	30.2	47.5	46.6 Schubbruch Typ 2	
B1.16	1250	130	70.4	5.309	8.7	9.5	12.41	464	471	30.3	47.7	46.9 Schubbruch Typ 2	
B1.17	1250	130	70.3	5.389	9.1	10.3	13.98	472	477	34.3	53.9	52.9 Schubbruch Typ 1	
B1.18	1250	130	70.3	5.390	9.3	9.7	13.28	472	479	32.6	51.2	50.3 Schubbruch Typ 2	
B1.19	1250	130	70.4	5.437	9.2	9.5	13.41	475	483	32.8	51.6	50.6 Schubbruch Typ 2	
B1.20	1250	130	70.4	5.332	9.8	9.3	12.25	466	474	29.9	47.1	46.3 Schubbruch Typ 2	
B1.21	1250	130	70.5	5.229	8.8	9.8	13.35	456	463	32.5	51.2	50.3 Schubbruch Typ 1	
B1.22	1250	130	70.4	5.363	9.1	10.3	12.49	469	474	30.5	48.0	47.2 Schubbruch Typ 2	
B1.23	1250	130	70.5	5.287	9.4	11.0	12.50	461	464	30.5	47.9	47.1 Biege-/Schubbruch Typ 2	
B1.24	1250	130	70.5	5.232	8.2	9.4	12.59	457	464	30.7	48.3	47.4 Biege-/Schubbruch Typ 2	
B1.25	1250	128.4	70.4	5.270	9.6	9.4	11.00	466	474	27.2	42.8	42.1 Biege-/Schubbruch Typ 2	
B1.26	1250	130	70.4	5.273	9.7	10.5	11.74	461	465	28.7	45.2	44.3 Schubbruch Typ 2	
B1.27	1250	130	70.5	5.337	7.6	10.5	11.89	466	470	29.0	45.6	44.8 Schubbruch Typ 2	
B1.28	1250	130	70.5	5.359	9.2	9.6	10.38	468	475	25.3	39.8	39.1 Biegebruch	3 Stoß Zugzone (stumpf)
B1.29	1250	130	70.4	5.382	9.8	10.4	13.32	470	475	32.6	51.2	50.3 Biegebruch	
B1.30	1250	130	70.5	5.394	8.0	9.9	12.65	471	477	30.8	48.5	47.6 Biege-/Schubbruch Typ 2	
n					30	30			30	30	30	30	
<b>Mittelwert</b>				<b>8.8</b>	<b>10.3</b>			<b>468</b>	<b>473</b>	<b>31.4</b>	<b>49.4</b>	<b>48.5</b>	
Standardabweichung				0.74	0.76			7.1	7.6	3.23	5.08	4.98	
Variationskoeffizient [%]				8.4	7.4			1.5	1.6	10.3	10.3	10.3	
Minimalwert				7.6	9.1			456	459	25.3	39.8	39.1	
Maximalwert				10.2	12.1			483	486	41.8	65.7	64.5	
5% Wert aus Versuchen										26.3	41.3	40.6	
5% Wert, Lognormal Verteilung, n=n <sub>eff</sub> , 5=84.1%										3.23	5.08	4.98	
5% Wert, Lognormal Verteilung, n=∞										10.3	10.3	10.3	
5% Wert, Normalverteilung, n=∞										25.7	40.5	39.8	

Tabelle 4.22: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B2

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]		Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
					Oberfläche	1/3 Tiefe						
B2.01	1247	260	70.0	10.601	9.8	12.2	31.39	467	38.8	61.1	59.9 Biegebruch	
B2.02	1247	260	70.0	10.530	7.5	12.1	28.59	454	464	35.3	55.6	54.6 Biege-/Schubbruch Typ 1
B2.03	1247	260	69.7	10.461	7.9	12.3	20.98	463	462	26.2	41.2	40.4 Biege-/Schubbruch Typ 2
B2.04	1247	260	69.8	10.609	8.7	13.3	29.23	469	465	36.3	57.2	56.1 Biegebruch
B2.05	1247	260	70.5	10.793	8.7	9.7	23.04	472	479	28.1	44.2	43.4 Biegebruch
B2.06	1247	260	70.3	10.727	9.5	9.8	25.32	471	477	31.0	48.8	47.9 Biege-/Schubbruch Typ 2
B2.07	1247	260	70.4	10.762	8.3	10.5	27.89	471	476	34.1	53.6	52.7 Biege-/Schubbruch Typ 2
B2.08	1247	260	70.6	10.626	8.5	10.6	24.36	464	468	29.6	46.6	45.7 Schubbruch Typ 2
B2.09	1247	260	70.5	10.488	8.3	10.5	24.22	459	463	29.5	46.4	45.6 Schubbruch Typ 2
B2.10	1247	260	70.4	10.695	8.7	11.6	23.85	469	470	29.2	45.9	45.0 Biege-/Schubbruch Typ 2
B2.11	1247	260	70.4	10.767	7.0	9.8	19.34	472	478	23.6	37.2	36.5 Schubbruch Typ 2
B2.12	1247	260	70.4	10.671	8.6	9.9	26.62	468	474	32.5	51.2	50.3 Biegebruch
B2.13	1247	260	70.4	10.638	9.4	11.0	24.47	466	469	29.9	47.1	46.2 Biegebruch
B2.14	1247	260	70.5	10.422	7.3	9.8	26.60	456	462	32.4	51.0	50.1 Schubbruch Typ 2
B2.15	1247	260	70.3	10.680	9.0	11.0	23.15	469	471	28.4	44.6	43.8 Biege-/Schubbruch Typ 2
B2.16	1247	260	70.3	10.687	9.4	10.7	23.69	469	473	29.0	45.7	44.9 Schubbruch Typ 2
B2.17	1247	260	70.4	10.612	9.1	10.8	22.78	465	468	27.8	43.8	43.0 Biegebruch
B2.18	1247	260	70.5	10.561	8.8	11.4	24.49	462	464	29.8	47.0	46.1 Schubbruch Typ 1
B2.19	1247	260	70.5	10.622	9.8	11.1	23.36	465	467	28.5	44.8	44.0 Schubbruch Typ 2
B2.20	1247	260	70.4	10.502	9.7	9.9	20.64	460	466	25.2	39.7	39.0 Schubbruch Typ 2
<i>n</i>				20	20	20		20	20	20	20	20
<b>Mittelwert</b>				<b>8.7</b>	<b>10.9</b>			<b>466</b>	<b>469</b>	<b>30.3</b>	<b>47.6</b>	<b>46.8</b>
Standardabweichung				0.81	1.00			4.5	5.4	3.76	5.91	5.80
Variationskoeffizient [%]				9.4	9.2			1.0	1.2	12.4		12.4
Minimalwert				7.0	9.7			456	462	23.6	37.2	36.5
Maximalwert				9.8	13.3			472	479	38.8	61.1	59.9
5% Wert aus Versuchen										23.6	37.2	36.5
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%										23.4	36.8	36.2
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$										24.6	38.7	38.0
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$										460		

Tabelle 4.23: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B3

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]	Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit <i>fm</i> [N/mm <sup>2</sup> ]		Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
									Querschnitt homogen	Sperrholz- analogie mod.		
B3.01	1247	390	70.0	15.514	8.0	12.8	41.20	456	453	34.0	53.4	3 Stösse Zugzone
B3.02	1247	390	69.7	15.696	8.8	12.8	39.50	463	461	32.8	51.7	50.7 Biegebruch
B3.03	1247	390	70.5	16.313	8.7	12.2	38.30	476	475	31.1	49.0	48.1 Biege-/Schubbruch Typ 2
B3.04	1247	390	70.4	16.091	9.5	10.1	37.80	470	476	30.8	48.5	47.6 Biege-/Schubbruch Typ 1
B3.05	1247	390	70.4	16.017	8.7	10.5	38.30	468	472	31.2	49.1	48.2 Schubbruch Typ2
B3.06	1247	390	70.5	16.186	9.1	10.6	38.50	472	476	31.3	49.2	48.3 Schubbruch Typ 2
B3.07	1247	390	70.5	16.200	9.3	11.1	35.60	472	475	28.9	45.5	44.7 Biege-/Schubbruch Typ 2
B3.08	1247	390	70.4	15.994	8.0	9.0	35.20	467	476	28.7	45.1	44.3 Schubbruch Typ2
B3.09	1247	390	70.5	15.855	8.3	10.6	32.90	462	466	26.7	42.1	41.3 Schubbruch Typ 2
B3.10	1247	390	70.3	16.334	8.5	10.9	38.60	478	481	31.5	49.6	48.7 Biegebruch
B3.11	1247	390	70.4	16.408	6.9	9.3	38.30	479	487	31.2	49.1	48.2 Biegebruch
B3.12	1247	390	70.3	16.353	8.3	10.3	41.00	478	483	33.5	52.7	51.7 Biegebruch
B3.13	1247	390	70.4	16.080	7.8	10.5	39.60	470	474	32.3	50.8	49.8 Biege-/Schubbruch Typ 2
B3.14	1247	389	70.4	16.352	9.5	10.1	41.20	479	485	33.7	53.0	52.0 Biegebruch
B3.15	1247	390	70.5	15.870	9.5	10.3	36.90	463	468	30.0	47.2	46.3 Biegebruch
<i>n</i>				15	15		15	15	15	15	15	
<b>Mittelwert</b>				<b>8.6</b>	<b>10.7</b>		<b>470</b>	<b>474</b>	<b>31.2</b>	<b>49.1</b>	<b>48.2</b>	
Standardabweichung				0.74	1.11		7.1	9.0	2.00	3.15	3.09	
Variationskoeffizient [%]				8.6	10.3		1.5	1.9	6.4	6.4	6.4	
Minimalwert				6.9	9.0		456	453	26.7	42.1	41.3	
Maximalwert				9.5	12.8		479	487	34.0	53.4	52.4	
5% Wert aus Versuchen									n<20	n<20		
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n=1										42.6	41.8	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n=∞										27.1	44.0	43.2
5% Wert, Normalverteilung, n=∞										27.9	459	

Tabelle 4.24: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B4

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]	Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>1,2</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
B4.01	1247	520	69.7	20.751	7.3	11.2	52.30	45.9	46.1	51.3	50.4 Biege-/Schubbruch Typ 2
B4.02	1247	520	69.9	20.852	8.7	11.4	54.40	46.0	46.2	53.1	52.1 Biegebruch
B4.03	1247	520	69.9	20.922	8.0	11.3	44.00	46.2	46.4	27.3	42.1 Biege-/Schubbruch Typ 2
B4.04	1247	520	70.0	20.644	7.8	10.6	47.90	45.5	45.9	29.6	46.6
B4.05	1247	520	70.6	21.541	8.9	10.7	51.10	47.1	47.4	31.1	48.9
B4.06	1247	520	70.5	21.824	9.0	10.2	50.90	47.7	48.3	31.0	48.8
B4.07	1247	520	70.5	21.359	8.0	9.6	51.20	46.7	47.4	31.2	49.1
B4.08	1247	520	70.6	21.176	9.6	11.6	54.60	46.3	46.4	33.2	52.2
B4.09	1247	520	70.4	21.264	8.3	10.2	54.40	46.6	47.1	33.2	52.3
B4.10	1247	520	70.5	21.068	8.2	10.3	48.70	46.1	46.6	29.7	46.7
n					10	10		10	10	10	10
<b>Mittelwert</b>					<b>8.4</b>	<b>10.7</b>	<b>46.4</b>	<b>46.8</b>	<b>49.2</b>	<b>48.3</b>	
Standardabweichung					0.67	0.65	6.5	7.6	2.02	3.18	3.12
Variationskoeffizient [%]					8.0	6.1	1.4	1.6	6.5	6.5	6.5
Minimalwert					7.3	9.6	45.5	45.9	27.3	42.9	42.1
Maximalwert					9.6	11.6	47.7	48.3	33.7	53.1	52.1
5% Wert aus Versuchen									n<20	n<20	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n=n <sub>eff</sub> , S= 84.1%									26.9	42.3	41.5
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n=∞									28.0	44.0	43.2
5% Wert, Normalverteilung, n=∞									455		

## 4.4 Serien B5 bis B8

### 4.4.1 Geometrische Parameter

Dicke / Aufbau [mm]: 80 / 15-50-15

Lamellenbreite Decklage [mm]: 26

Breite Mittellage [mm]: 26

Länge / Stützweite [mm]: 1490 / 1440

### 4.4.2 Biegefestigkeit in Funktion von Prüfkörperbreite bzw. Lamellenanzahl in der Decklage

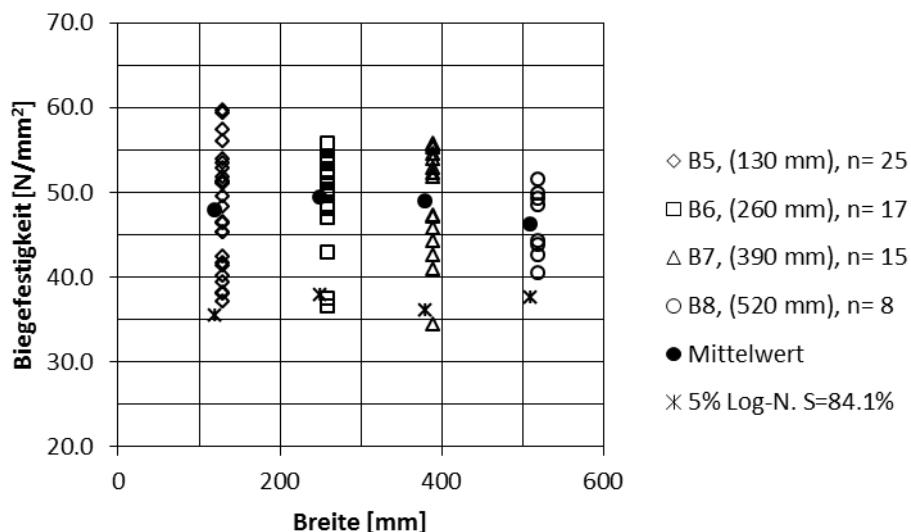


Abbildung 4.10: Einzelwerte, Mittelwerte und 5% Quantilwerte der Prüfkörper berechnet nach der Sperrholzanalologie.

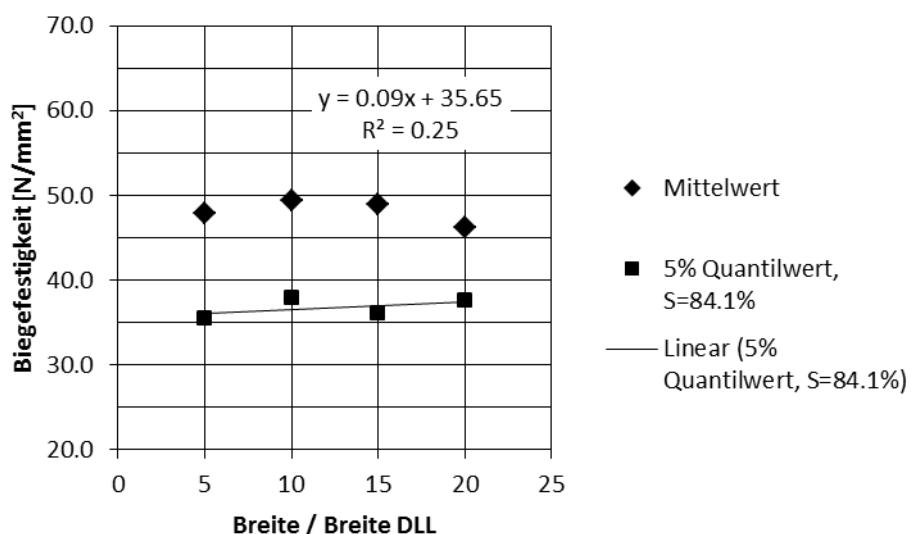


Abbildung 4.11: Biegefestigkeits-Mittelwerte und 5% Quantilwerte, berechnet nach der Sperrholzanalogie, in Abhängigkeit der Prüfkörperbreite / Breite der Decklagen

#### 4.4.3 Statistische Auswertung und Vergleich der Biegefestigkeiten

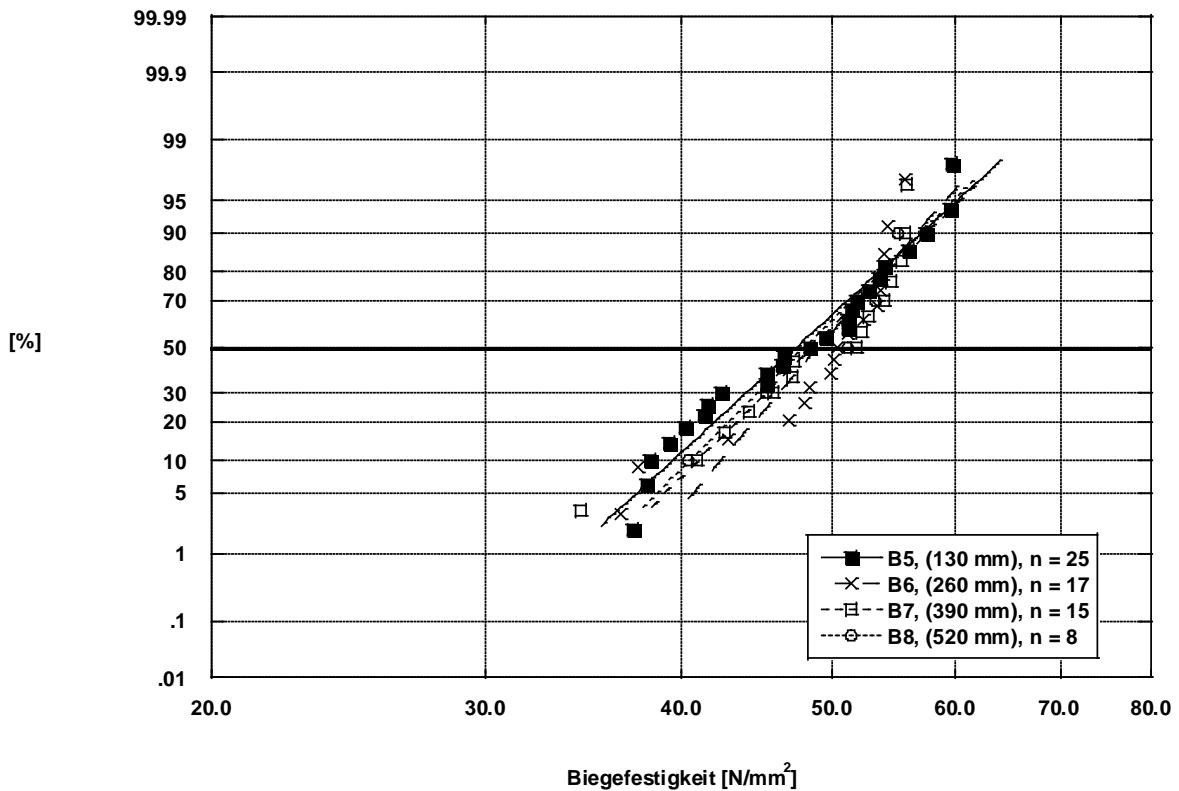


Abbildung 4.12: Biegefestigkeit berechnet nach der Sperrholzanalogie der Serien B5 bis B8

Tabelle 4.25: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B5 (Breite 130 mm)

	Biegefestigkeit $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte $\rho_{12}$
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	25	25	25	25	25	25
<b>Mittelwert</b>	<b>36.2</b>	<b>47.9</b>	<b>47.4</b>	<b>9.5</b>	<b>11.4</b>	<b>465</b>
Standardabweichung	5.21	6.90	6.83	0.69	0.50	5.0
Variationskoeffizient [%]	14.4	14.4	14.4	7.3	4.3	1.1
Minimalwert	28.1	37.2	36.8	7.9	10.2	456
Maximalwert	45.1	59.7	59.1	10.4	12.3	474
5% Wert aus Versuchen	28.3	37.4	37.0			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{eff}$ , S= 84.1%	26.8	35.5	35.1			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	28.2	37.3	36.9			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						457

Tabelle 4.26: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B6 (Breite 260 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	17	17	17	17	17	17
<b>Mittelwert</b>	<b>37.3</b>	<b>49.3</b>	<b>48.8</b>	<b>9.7</b>	<b>11.9</b>	<b>466</b>
Standardabweichung	4.26	5.64	5.58	0.75	0.82	4.8
Variationskoeffizient [%]	11.4	11.4	11.4	7.7	6.9	1.0
Minimalwert	27.6	36.6	36.2	8.3	10.7	457
Maximalwert	42.1	55.7	55.1	10.7	14.0	473
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	28.6	37.8	37.4			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	30.2	40.0	39.5			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						458

Tabelle 4.27: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B7 (Breite 390 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	15	15	15	15	15	15
<b>Mittelwert</b>	<b>37.0</b>	<b>48.9</b>	<b>48.4</b>	<b>9.3</b>	<b>11.7</b>	<b>470</b>
Standardabweichung	4.84	6.40	6.34	1.80	1.43	8.5
Variationskoeffizient [%]	13.1	13.1	13.1	19.3	12.2	1.8
Minimalwert	26.0	34.5	34.1	6.0	7.4	458
Maximalwert	42.1	55.8	55.2	12.3	13.3	489
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	27.3	36.1	35.7			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	29.1	38.6	38.1			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						456

Tabelle 4.28: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B8 (Breite 520 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	8	8	8	8	8	8
<b>Mittelwert</b>	<b>35.0</b>	<b>46.3</b>	<b>45.8</b>	<b>8.3</b>	<b>11.7</b>	<b>470</b>
Standardabweichung	3.02	3.99	3.95	1.32	0.67	6.1
Variationskoeffizient [%]	8.6	8.6	8.6	16.0	5.7	1.3
Minimalwert	30.5	40.4	40.0	6.5	10.5	461
Maximalwert	38.9	51.4	50.9	10.0	12.5	476
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	28.3	37.5	37.1			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	30.2	40.0	39.5			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						461

#### 4.4.4 Wertetabellen

Tabelle 4.29: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B5

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]	F <sub>max</sub> [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit fm [N/mm <sup>2</sup> ]		Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
									Querschnitt homogen	Sperrholz <sup>2</sup> analoge mod.		
B5.01	1490	130	79.4	7.165	7.9	11.8	13.04	466	466	45.3	44.8 Biegebruch	
B5.02	1490	130	79.5	7.063	9.4	12.3	10.92	459	458	38.0	37.6 Biegebruch	
B5.03	1490	130	80.0	7.166	8.4	11.0	12.35	462	465	32.1	42.0 Biegebruch	
B5.04	1490	130	80.0	7.306	9.2	11.5	15.58	471	473	40.4	53.5 Biege-/Schubbruch Typ 1	
B5.05	1490	130	80.4	7.252	8.9	10.1	12.22	466	471	31.4	41.6 Schubbruch Typ 2	
B5.06	1490	130	80.5	7.290	9.4	11.3	12.27	468	470	31.5	41.2 Biegebruch	
B5.07	1490	130	80.5	7.302	9.8	11.7	10.96	468	469	28.1	36.8 Biegebruch	
B5.08	1490	130	80.4	7.203	8.1	10.2	13.63	463	468	35.0	45.9 Biegebruch	
B5.09	1490	130	80.3	7.287	9.6	11.1	15.01	468	471	38.7	50.6 Biegebruch	
B5.10	1490	130	80.3	7.223	8.0	11.8	11.31	464	465	29.1	38.6 Schubbruch Typ 2	
B5.11	1490	130	80.3	7.242	10.2	11.3	13.28	466	468	34.2	44.8 Biegebruch	
B5.12	1490	130	80.5	7.199	10.4	11.6	16.91	462	463	43.4	57.4 Biege-/Schubbruch Typ 1	
B5.13	1490	130	80.5	7.334	10.1	11.5	15.15	470	472	38.8	51.4 Biegebruch	
B5.14	1490	130	80.4	7.226	9.9	11.7	15.02	464	465	38.6	51.1 Biegebruch	
B5.15	1490	130	80.5	7.069	9.1	11.4	16.48	453	455	42.3	55.9 Schubbruch Typ 2	
B5.16	1490	130	80.4	7.180	9.6	12.1	11.56	461	461	29.7	39.3 Biegebruch	
B5.17	1490	130	80.6	7.200	8.6	11.1	4.66	461	464	11.9	15.8 Schubbruch Typ 2	schlechte Verklebung
B5.18	1490	130	80.4	7.207	9.9	11.2	14.21	463	465	36.5	48.3 Biegebruch	
B5.19	1490	130	80.0	7.236	10.1	11.6	15.71	467	468	40.8	53.4 Biegebruch	
B5.20	1490	130	80.6	7.330	8.9	10.5	12.24	470	474	31.3	41.4 Biege-/Schubbruch Typ 2	schlechte Verklebung
B5.21	1490	130	80.4	7.235	10.0	12.1	11.23	465	464	28.9	38.2 Biegebruch	2 Stöße Zugzone
B5.22	1490	130	80.3	7.175	9.3	11.2	14.53	461	464	37.4	49.5 Biegebruch	
B5.23	1490	130	80.4	7.082	9.6	11.7	15.24	455	456	39.2	51.8 Biegebruch	
B5.24	1490	130	80.5	7.139	8.3	11.7	16.52	458	459	42.4	56.0 Biegebruch	
B5.25	1490	130	80.4	7.152	9.5	11.9	17.47	459	460	44.9	59.4 Biegebruch	
B5.26	1490	130	80.4	7.103	10.0	11.3	13.66	456	458	35.1	46.5 Biegebruch	
B5.27	1490	130	80.7	7.216	9.3	10.8	11.91	462	465	30.4	40.2 Biegebruch	2 Stöße Zugzone
B5.28	1490	130	80.3	7.100	9.6	10.8	15.12	456	460	39.0	51.5 Schubbruch Typ 1	
B5.29	1490	130	80.4	7.171	9.3	11.0	17.56	460	463	45.1	59.7 Biege-/Schubbruch Typ 1	
B5.30	1490	130	80.0	7.282	10.4	11.8	15.37	470	471	39.9	52.8 Biegebruch	1.5 Stöße Zugzone
n				30	30	30	30	30	30	30	30	
<b>Mittelwert</b>			<b>9.4</b>	<b>11.4</b>				<b>463</b>	<b>465</b>	<b>35.3</b>	<b>46.7</b>	<b>46.2</b>
Standardabweichung			0.71	0.53				4.8	5.2	6.78	8.98	
Variationskoeffizient [%]			7.6	4.7				1.0	1.1	19.2	19.2	
Minimalwert			7.9	10.1				453	455	11.9	15.8	15.6
Maximalwert			10.4	12.3				471	474	45.1	59.7	59.1
5% Wert aus Versuchen										20.0	26.5	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n = n <sub>eff</sub> , S = 84.1%										21.2	28.1	27.8
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n = ∞										23.0	30.4	30
5% Wert, Normalverteilung, n = ∞										457		

Tabelle 4.30: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B6

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Gewicht	Holzfeuchte [%]		Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit fm [N/mm <sup>2</sup> ]			Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich	
					Oberfläche	1/3 Tiefe				Sperrholz- analoge mod.	Sperrholz- analoge				
B6.01	1490	260	80.2	14.641	8.7	11.3	471	473	37.6	49.8	49.2	49.2	Biege-/Schubbruch Typ 2		
B6.02	1490	260	79.6	14.444	9.3	12.1	29.44	468	38.6	51.1	50.5	49.6	49.6	Biege-/Schubbruch Typ 1	
B6.03	1490	260	80.0	14.570	9.5	12.8	29.20	470	468	37.9	50.1	49.6	49.6	Biege-/Schubbruch Typ 1	
B6.04	1490	260	80.3	14.387	10.4	14.0	31.48	462	457	40.6	53.7	53.1	53.1	Biege-/Schubbruch Typ 1	
B6.05	1490	260	80.3	14.385	8.9	10.7	32.65	462	466	42.1	55.7	55.1	55.1	Biegebruch	4 Stütze
B6.06	1490	260	80.2	14.512	10.6	12.0	31.23	467	467	40.3	53.4	52.8	52.8	Biegebruch	3 Stütze
B6.07	1490	260	80.2	14.662	10.2	11.6	21.92	472	473	28.3	37.5	37.1	37.1	Biege-/Schubbruch Typ 1	3 Stütze
B6.08	1490	260	80.3	14.443	10.7	11.8	28.35	464	465	36.5	48.3	47.8	47.8	Biegebruch	2 Stütze
B6.09	1490	260	80.2	14.566	9.5	10.9	31.63	469	472	40.9	54.0	53.5	53.5	Biegebruch	2.5 Stütze
B6.10	1490	260	80.2	14.363	10.7	11.4	29.44	462	464	38.0	50.3	49.8	49.8	Biegebruch	3 Stütze
B6.11	1490	260	80.2	14.569	9.2	12.4	30.58	469	468	39.5	52.3	51.7	51.7	Biege-/Schubbruch Typ 1	
B6.12	1490	260	80.2	14.484	9.4	11.2	28.10	466	468	36.3	48.0	47.5	47.5	Biegebruch	3 Stütze
B6.13	1490	260	80.2	14.485	9.7	11.5	31.45	466	468	40.6	53.7	53.2	53.2	Schubbruch Typ 1	
B6.14	1490	260	80.2	14.469	8.3	12.6	31.76	466	464	41.0	54.3	53.7	53.7	Biege-/Schubbruch Typ 1	
B6.15	1490	260	80.2	14.367	10.1	11.5	25.12	462	464	32.4	42.9	42.5	42.5	Biege-/Schubbruch Typ 1	
B6.16	1490	260	80.4	14.488	10.5	12.6	21.50	465	463	27.6	36.6	36.2	36.2	Biege-/Schubbruch Typ 1	
B6.17	1490	260	80.1	14.309	10.3	11.8	31.39	461	462	40.6	53.8	53.2	53.2	Biege-/Schubbruch Typ 2	2 Stütze
B6.18	1490	260	80.2	14.130	9.3	11.3	27.44	455	457	35.4	46.9	46.4	46.4	Biegebruch	2 Stütze
B6.19	1490	260	80.4	14.344	9.8	12.0	30.68	461	461	39.4	52.2	51.6	51.6	Schubbruch Typ 1	
B6.20	1490	260	80.2	14.452	9.8	11.1	31.28	465	468	40.4	53.5	52.9	52.9	Biegebruch Typ 1	
$n$					20	20		20	20	20	20	20	20		
<b>Mittelwert</b>				<b>9.7</b>	<b>11.8</b>			<b>465</b>	<b>47.7</b>		<b>49.9</b>	<b>49.4</b>			
Standardabweichung				0.69	0.77			4.2	4.6	4.06	5.36	5.31			
Variationskoeffizient [%]				7.1	6.5			0.9	1.0	1.08	10.8	10.8			
Minimalwert				8.3	10.7			455	457	27.6	36.6	36.2			
Maximalwert				10.7	14.0			472	473	42.1	55.7	55.1			
5% Wert aus Versuchen										27.6	36.6	36.2			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, $n = n_{eff}$ , $S = 84.1\%$										29.5	39.0	38.6			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, $n = \infty$										30.5	40.9	40.4			
5% Wert, Normalverteilung, $n = \infty$										458					

Tabelle 4.31: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B7

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]		F <sub>max</sub> [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]		Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
					Oberfläche	1/3 Dicke				Querschnitt homogen	Sperrholt-analogie mod.		
B7.01	1490	390	80.0	22.367	9.5	11.0	48.60	481	484	42.1	55.6	55.1 Biege-/Schubbruch Typ 1	
B7.02	1485	390	80.0	21.949	8.7	11.8	35.70	474	474	30.9	40.9	40.4 Biegebruch	5 offene Längsstöße Zugzone
B7.03	1490	390	79.8	21.767	7.0	12.8	46.80	469	467	40.7	53.9	53.3 Biegebruch	
B7.04	1490	390	80.0	21.730	7.7	11.0	40.00	467	470	34.6	45.8	45.3 Biegebruch	
B7.05	1490	390	79.8	22.033	7.0	7.4	40.90	475	489	35.6	47.1	46.6 Biegebruch	5 offene Längsstöße Zugzone
B7.06	1490	390	80.0	21.900	6.0	11.9	37.20	471	471	32.2	42.6	42.1 Biege-/Schubbruch Typ 1	
B7.07	1490	390	80.0	21.943	9.6	11.0	48.70	472	475	42.1	55.8	55.2 Biege-/Schubbruch Typ 1	Steigerung bis Schubbruch
B7.08	1490	390	80.0	22.041	9.7	11.8	38.60	474	475	33.4	44.2	43.7 Biegebruch	
B7.09	1490	390	80.5	21.957	11.6	13.3	45.80	469	466	39.1	51.8	51.2 Biegebruch	4 Stöße
B7.10	1490	390	80.5	21.798	9.6	11.6	48.20	466	467	41.2	54.5	53.9 Biegebruch	4 Stöße
B7.11	1490	390	80.5	21.581	12.3	13.2	48.90	461	458	41.8	55.3	54.7 Biege-/Schubbruch Typ 2	
B7.12	1490	390	80.4	21.573	11.3	12.6	41.70	462	460	35.7	47.3	46.8 Biegebruch	4 Stöße
B7.13	1490	390	80.4	21.764	10.3	12.4	30.40	466	465	26.0	34.5	34.1 Biegebruch	5 Stöße
B7.14	1490	390	80.4	21.741	10.5	12.7	46.60	465	463	39.9	52.8	52.3 Biegebruch	3.5 Stöße
B7.15	1490	390	80.2	21.524	9.1	11.4	45.80	462	464	39.4	52.2	51.6 Biegebruch	5 Stöße
n				15	15			15	15	15	15		
<b>Mittelwert</b>				<b>9.3</b>	<b>11.7</b>			<b>469</b>	<b>470</b>	<b>37.0</b>	<b>48.9</b>	<b>48.4</b>	
Standardabweichung				1.80	1.43			5.6	8.5	4.84	6.40	6.34	
Variationskoeffizient [%]				19.3	12.2			1.2	1.8	13.1	13.1	13.1	
Minimalwert				6.0	7.4			461	458	26.0	34.5	34.1	
Maximalwert				12.3	13.3			481	489	42.1	55.8	55.2	
5% Wert aus Versuchen										n<20	n<20	n<20	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n = n <sub>eff</sub>										27.3	36.1	35.7	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n = ∞										29.1	38.6	38.1	
5% Wert, Normalverteilung, n = ∞										456			

Tabelle 4.32: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B8

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]		Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]		Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich	
					Oberfläche 1/3 Dicke	9.7				Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie mod.			
B8.01	1490	520	80.0	29.323	9.7	10.3	62.40	473	478	40.5	53.6	53.0 Schubbruch Typ 1		
B8.02	1490	520	80.0	29.484	9.6	12.1	57.30	476	475	37.2	49.2	48.7 Biegebruch		
B8.03	1490	520	80.0	29.319	10.0	10.5	59.90	473	477	38.9	51.4	50.9 Biegebruch		
B8.04	1490	520	80.0	29.214	8.4	12.2	49.40	471	471	32.1	42.4	42.0 Schubbruch Typ 1		
B8.05	1490	520	79.8	29.000	8.7	11.7	49.30	469	470	32.2	42.5	42.1 Biege-/Schubbruch Typ 1		
B8.06	1490	520	79.8	28.909	7.0	12.3	46.80	468	467	30.5	40.4	40.0 Biegebruch	5 Stöße	
B8.07	1490	520	79.8	29.346	6.5	12.1	56.20	475	474	36.7	48.5	48.0 Biege-/Schubbruch Typ 1		
B8.08	1490	520	79.8	29.440	7.0	12.5	51.30	476	475	33.5	44.3	43.8 Biegebruch	4 Stöße	
B8.09	1490	520	80.5	28.815	8.1	11.1	58.80	462	465	37.7	49.9	49.3 Biegebruch	5.5 Stöße	
B8.10	1490	520	80.5	28.739	9.2	11.6	51.70	461	462	33.1	43.8	43.4 Biegebruch	4.5 Stöße	
n					10	10		10	10	10	10	10		
<b>Mittelwert</b>				<b>8.4</b>	<b>11.6</b>		<b>470</b>	<b>471</b>	<b>471</b>	<b>35.2</b>	<b>46.6</b>	<b>46.1</b>		
Standardabweichung				1.25	0.77		5.4	5.6	3.37	4.46	4.41			
Variationskoeffizient [%]				14.8	6.6		1.2	1.2	9.6	9.6	9.6			
Minimalwert				6.5	10.3		461	462	30.5	40.4	40.0			
Maximalwert				10.0	12.5		476	478	40.5	53.6	53.0			
5% Wert aus Versuchen								463	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n = n <sub>eff</sub>									28.3	37.4	37.0			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n = ∞									30.0	39.7	39.3			
5% Wert, Normalverteilung, n = ∞									461					

## 4.5 Serien B9 bis B11

### 4.5.1 Geometrische Parameter

Dicke / Aufbau [mm]: 110 / 20-70-20

Lamellenbreite Decklage [mm]: 26

Breite Mittellage [mm]: 26

Länge / Stützweite [mm]: 2200 / 1980

### 4.5.2 Biegefestigkeit in Funktion von Prüfkörperbreite bzw. Lamellenanzahl in der Decklage

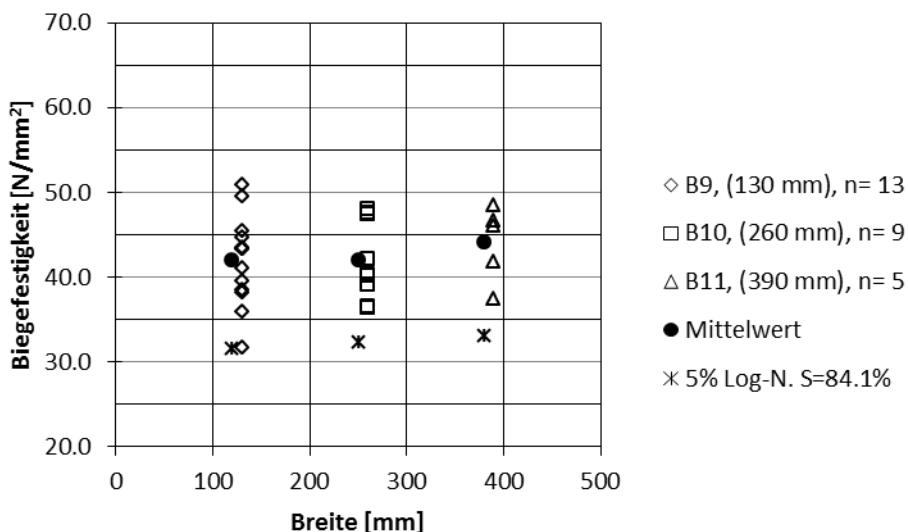


Abbildung 4.13: Einzelwerte, Mittelwerte und 5% Quantilwerte der Prüfkörper berechnet nach der Sperrholzanalogie.

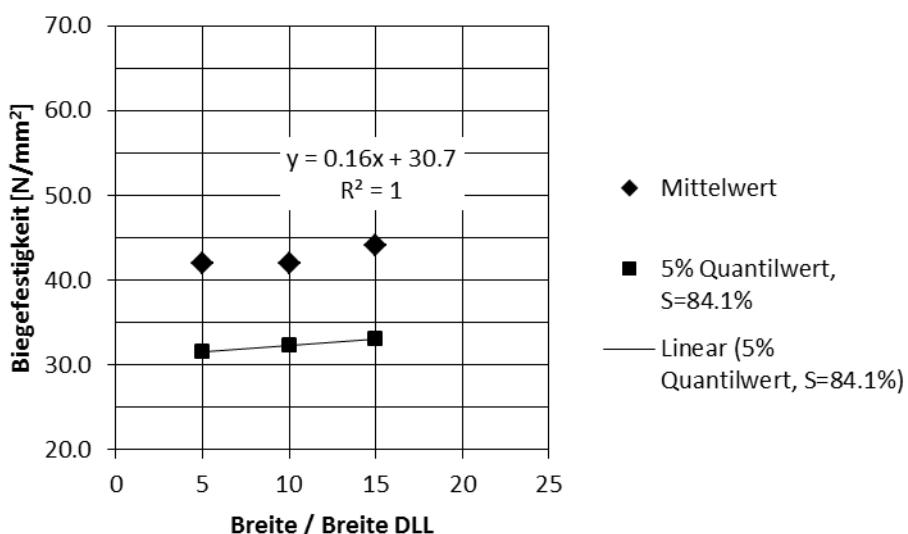


Abbildung 4.14: Biegefestigkeits-Mittelwerte und 5% Quantilwerte, berechnet nach der Sperrholzanalogie, in Abhängigkeit der Prüfkörperbreite / Breite der Decklagen

#### 4.5.3 Statistische Auswertung und Vergleich der Biegefestigkeiten

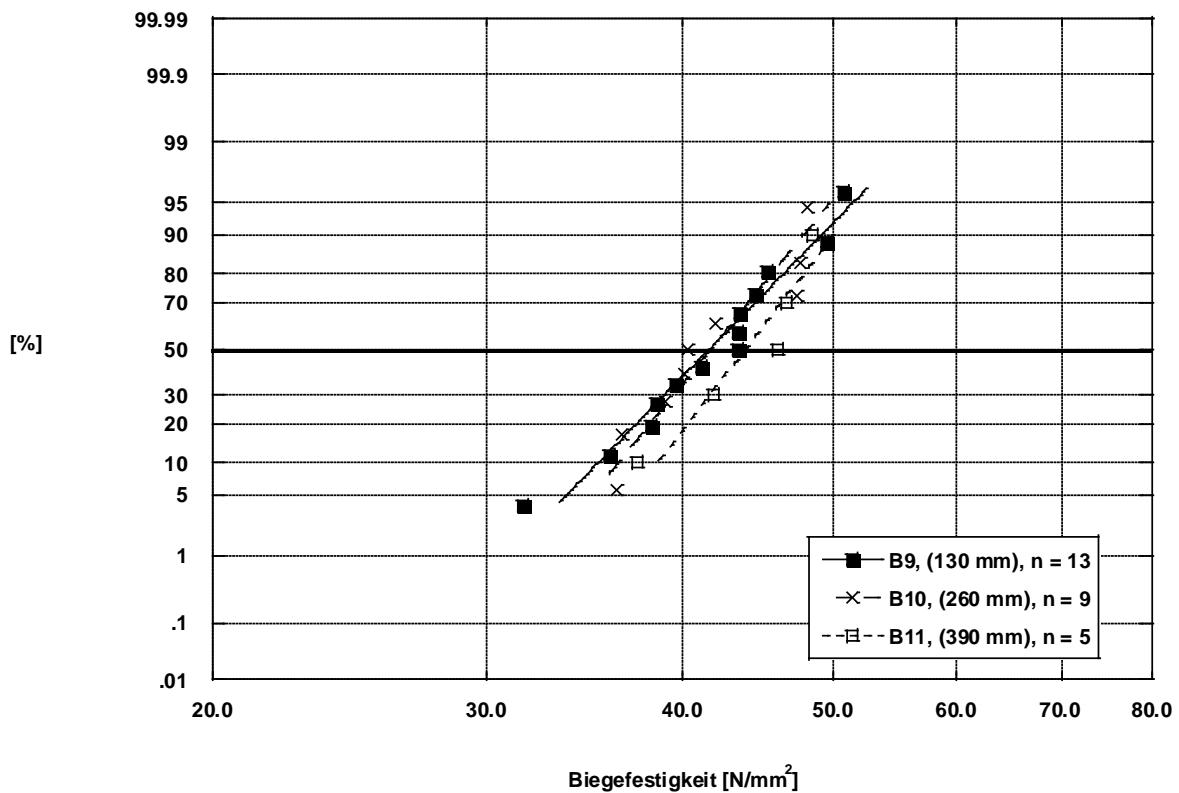


Abbildung 4.15: Biegefestigkeit berechnet nach der Sperrholzanalogie der Serien B9 bis B11

Tabelle 4.33: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B9 (Breite 130 mm)

	Biegefestigkeit $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte <sub>12</sub>
	Querschnitt-homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m <sup>3</sup> ]
n	13	13	13	13	13	13
<b>Mittelwert</b>	<b>31.2</b>	<b>42.0</b>	<b>41.5</b>	<b>9.2</b>	<b>12.7</b>	<b>475</b>
Standardabweichung	3.93	5.30	5.24	0.52	0.57	6.3
Variationskoeffizient [%]	12.6	12.6	12.6	5.7	4.5	1.3
Minimalwert	23.5	31.6	31.3	8.4	11.8	467
Maximalwert	37.7	50.8	50.3	9.8	13.6	484
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= n <sub>eff</sub> , S= 84.1%	23.4	31.5	31.1			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	25.0	33.7	33.3			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						465

Tabelle 4.34: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B10 (Breite 260 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm $^2$ ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte $_{12}$
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m $^3$ ]
n	9	9	9	9	9	9
<b>Mittelwert</b>	<b>31.1</b>	<b>41.9</b>	<b>41.5</b>	<b>9.3</b>	<b>12.5</b>	<b>474</b>
Standardabweichung	3.47	4.67	4.62	0.37	0.62	3.35
Variationskoeffizient [%]	11.1	11.1	11.1	4.0	5.0	0.7
Minimalwert	27.0	36.3	35.9	8.6	11.0	469
Maximalwert	35.7	48.1	47.5	9.8	13.1	480
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{eff}$ , S= 84.1%	24.0	32.3	31.9			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	25.8	34.8	34.4			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						469

Tabelle 4.35: Statistische Kennwerte der Biegefestigkeiten in der Serie B11 (Breite 390 mm)

	Biegefestigkeit $fm$ [N/mm $^2$ ]			Holzfeuchte [%]		Rohdichte $_{12}$
	Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie	Mod. Sperrholz-analogie	Oberfläche	1/3 Dicke	[kg/m $^3$ ]
n	5	5	5	5	5	5
<b>Mittelwert</b>	<b>32.7</b>	<b>44.1</b>	<b>43.6</b>	<b>9.2</b>	<b>12.6</b>	<b>474</b>
Standardabweichung	3.31	4.46	4.41	0.33	0.62	1.4
Variationskoeffizient [%]	10.1	10.1	10.1	3.6	4.9	0.3
Minimalwert	27.8	37.4	37.0	8.9	11.6	472
Maximalwert	36.0	48.5	48.0	9.7	13.2	476
5% Wert aus Versuchen	n<20	n<20	n<20			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{eff}$ , S= 84.1%	24.6	33.1	32.7			
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$	27.4	37.0	36.5			
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$						472

#### 4.5.4 Wertetabellen

Tabelle 4.36: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B9

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]		Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit fm [N/mm <sup>2</sup> ]		Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
					Oberfläche	1/3 Dicke				Querschnitt homogen	Sperrholz-analogie mod.		
B9.01	2196	130	109.7	14.958	8.5	11.9	16.95	478	478	32.2	43.4	42.9 Biegebruch	2 Stöße
B9.02	2196	130	109.8	14.724	9.2	13.0	17.05	470	467	32.3	43.5	43.0 Biegebruch	2 Stöße
B9.03	2196	130	15.143	9.5	12.6	14.93	484	482	28.3	38.2	37.8 Biegebruch		
B9.04	2196	130	109.7	14.907	8.8	12.5	15.07	476	475	28.6	38.5	38.1 Biegebruch	2.5 Stöße
B9.05	2196	130	109.9	14.839	9.6	12.6	19.43	473	471	36.8	49.5	49.0 Biegebruch	eine DLL 19 mm (statt 26)
B9.06	2195	130	109.7	14.727	9.8	13.3	17.45	470	467	33.1	44.6	44.1 Biege-/Schubbruch Typ 1	
B9.07	2195	130	109.7	15.13	9.7	13.3	14.04	483	480	26.7	35.9	35.5 Biegebruch	
B9.08	2198	130	109.6	15.049	8.6	11.8	17.72	481	481	33.7	45.4	44.9 Biegebruch	2 Stöße
B9.09	2195	130	109.6	15.182	9.8	12.6	19.84	485	484	37.7	50.8	50.3 Biegebruch	
B9.10	2195	130	109.8	15.134	8.7	12.9	12.39	483	480	23.5	31.6	31.3 Biegebruch	
B9.11	2195	130	109.6	14.941	9.6	11.9	16.04	478	478	30.5	41.1	40.6 Biegebruch	2 Stöße
B9.12	2195	130	109.9	14.774	8.4	13.6	17.02	471	467	32.2	43.4	42.9 Biegebruch	
B9.13	2195	130	109.7	14.782	9.3	13.0	15.47	472	469	29.4	39.6	39.1 Biegebruch	
n					13	13				13	13	13	
<b>Mittelwert</b>				<b>9.2</b>	<b>12.7</b>			<b>477</b>	<b>475</b>	<b>31.2</b>	<b>42.0</b>	<b>41.5</b>	
Standardabweichung				0.52	0.57			5.6	6.3	3.93	5.30	5.24	
Variationskoeffizient [%]				5.7	4.5			1.2	1.3	12.6	12.6	12.6	
Minimalwert				8.4	11.8			470	467	23.5	31.6	31.3	
Maximalwert				9.8	13.6			485	484	37.7	50.8	50.3	
5% Wert aus Versuchen										n<20	n>20		
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n = n <sub>eff</sub>										23.4	31.5	31.1	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n = ∞										25.0	33.7	33.3	
5% Wert, Normalverteilung, n = ∞										465			

Tabelle 4.37: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B10

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]		Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit fm [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
					Oberfläche	1/3 Dicke						
B10.01	2196	260	109.7	29.531	9.6	11.0	31.50	471	474	29.9	40.3	39.8 Biege-/Schubbruch Typ 1
B10.02	2198	260	109.5	30.24	9.6	13.0	30.40	483	480	29.0	39.0	38.6 Biegebruch
B10.03	2196	260	109.6	29.741	8.6	12.4	37.00	475	474	35.2	47.4	46.9 Biegebruch
B10.04	2196	260	109.7	29.747	9.2	12.6	37.20	475	473	35.3	47.6	47.0 Biege-/Schubbruch Typ 1
B10.05	2196	260	109.9	30.108	9.1	12.4	33.00	480	479	31.2	42.0	41.6 Biegebruch
B10.06	2195	260	109.7	29.679	9.8	12.2	28.40	474	473	27.0	36.3	35.9 Biegebruch
B10.07	2195	260	109.6	29.544	9.2	13.1	31.30	472	469	29.8	40.1	39.7 Biegebruch
B10.08	2195	260	109.7	29.597	10.3	12.3	38.70	473	472	36.7	49.5	48.9 Schubbruch Typ 1
B10.09	2195	260	109.7	29.671	9.0	12.7	28.60	474	472	27.1	36.6	36.2 Biegebruch
B10.10	2195	260	109.7	29.765	9.5	12.7	37.60	475	473	35.7	48.1	47.5 Biegebruch
n					10	10	10	10	10	10	10	
<b>Mittelwert</b>	<b>9.4</b>	<b>12.4</b>	<b>475</b>	<b>474</b>	<b>31.7</b>	<b>42.7</b>	<b>42.2</b>					
Standardabweichung	0.47	0.58	3.60	3.25	3.72	5.01	4.95					
Variationskoeffizient [%]	5.1	4.7	0.8	0.7	11.7	11.7	11.7					
Minimalwert	8.6	11.0	471	469	27.0	36.3	35.9					
Maximalwert	10.3	13.1	483	480	36.7	49.5	48.9					
5% Wert aus Versuchen					n<20	n<20	n<20					
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{\text{eff}}$ , S= 84.1%					24.1	32.5	32.2					
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$					26.0	35.0	34.6					
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$					469							

Tabelle 4.38: Einzelwerte und statistische Auswertung der Kennwerte aller Prüfkörper der Serie B11

Probe	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]	Gewicht [kg]	Holzfeuchte [%]		Fmax [kN]	Rohdichte <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte <sub>12</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Festigkeit/tm [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchart	Bemerkungen / Merkmale im Bruchbereich
					Oberfläche	1/3 Dicke						
B11.01	2196	390	109.9	44.700	9.2	12.9	54.20	475	472	34.2	46.0	45.5 Biege-/Schubbruch Typ 1
B11.02	2196	390	109.9	44.800	8.9	12.4	54.90	476	475	34.6	46.6	46.1 Biegebruch
B11.03	2196	390	109.8	43.780	9.5	12.9	57.70	466	463	36.4	49.1	48.6 Schubbruch Typ 1
B11.04	2196	390	109.5	44.900	8.9	13.2	43.70	479	475	27.8	37.4	37.0 Biegebruch
B11.05	2195	390	109.7	44.330	9.1	11.6	56.90	472	473	36.0	48.5	48.0 Biegebruch
B11.06	2196	390	109.9	44.800	9.9	12.9	54.80	476	473	34.6	46.5	46.0 Schubbruch Typ 1
B11.07	2196	390	109.8	44.950	9.7	12.8	49.20	478	476	31.1	41.9	41.4 Biegebruch
n					7	7				7	7	7
<b>Mittelwert</b>		<b>9.3</b>	<b>12.7</b>				<b>474</b>	<b>473</b>	<b>33.5</b>	<b>45.2</b>	<b>44.7</b>	
Standardabweichung		0.39	0.53				4.5	4.4	3.07	4.14	4.09	
Variationskoeffizient		4.2	4.2				0.9	0.9	9.2	9.2	9.2	
Minimalwert		8.9	11.6				466	463	27.8	37.4	37.0	
Maximalwert		9.9	13.2				479	476	36.4	49.1	48.6	
5% Wert aus Versuchen									n<20	n<20	n<20	
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $n_{\text{eff}}$ , S= 84.1%										26.4	35.5	35.1
5% Wert, Lognormal-Verteilung, n= $\infty$										28.5	38.4	38.0
5% Wert, Normalverteilung, n= $\infty$										465		

## 5 Auswertung

Abbildung 5.1 bis Abbildung 5.5 zeigen die proportional auf eine Rohdichte von  $420 \text{ kg/m}^3$  korrigierte Biegefestigkeit, errechnet nach der Sperrholzanalogie und die Festigkeitszunahme in Abhängigkeit der Anzahl Decklamellen bzw. in Abhängigkeit der Prüfkörperbreite. Die Festigkeitszunahme bezieht sich jeweils auf die Biegefestigkeit der Prüfkörperserie geringster Streifenbreite. In der Datenauswertung wurden nur Biegebrüche und Mischbrüche Biegung / Schub berücksichtigt.

### 5.1 Serien A1 bis A4 (Produkt A, Aufbau 10-50-10 mm)

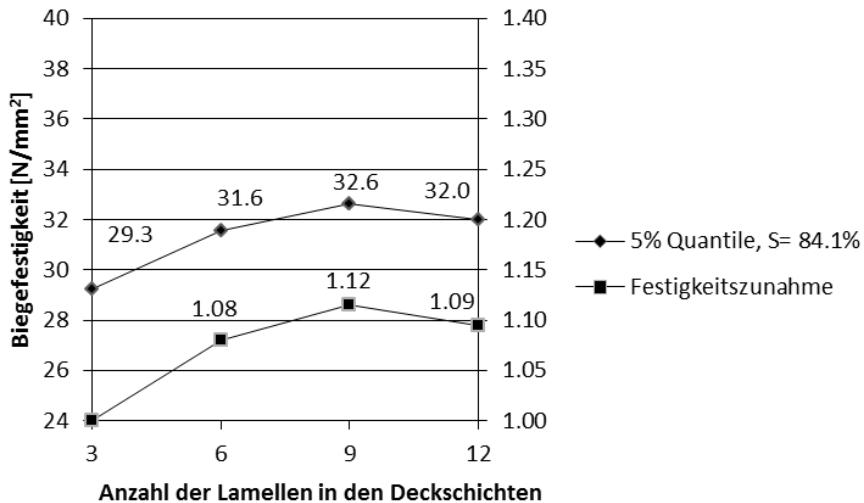


Abbildung 5.1: 5% Quantilwerte und Festigkeitszunahme in den Serien A1 (Breite 156 mm), A2 (Breite 312 mm), A3 (Breite 468 mm), und A4 (Breite 624 mm). Die Biegefestigkeitswerte sind auf eine einheitliche Rohdichte von  $420 \text{ kg/m}^3$  bezogen.

### 5.2 Serien A5 bis A8 (Produkt A, Aufbau 25-30-25 mm)

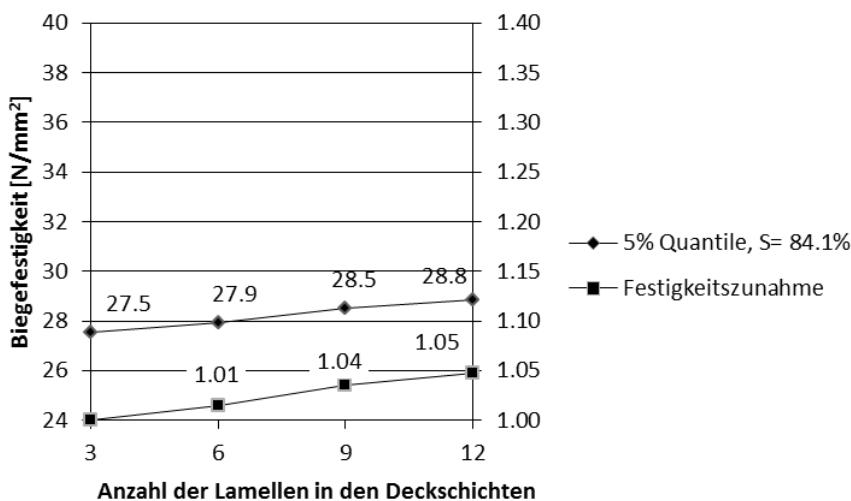


Abbildung 5.2: 5% Quantilwerte und Festigkeitszunahme in den Serien A5 (Breite 156 mm), A6 (Breite 312 mm), A7 (Breite 468 mm), und A8 (Breite 624 mm). Die Biegefestigkeitswerte sind auf eine einheitliche Rohdichte von  $420 \text{ kg/m}^3$  bezogen. Bei der Serie A7 wurden in dieser Auswertung nur die Biegebrüche berücksichtigt.

### 5.3 Serien B1 bis B4 (Produkt B, Aufbau 10-50-10 mm)

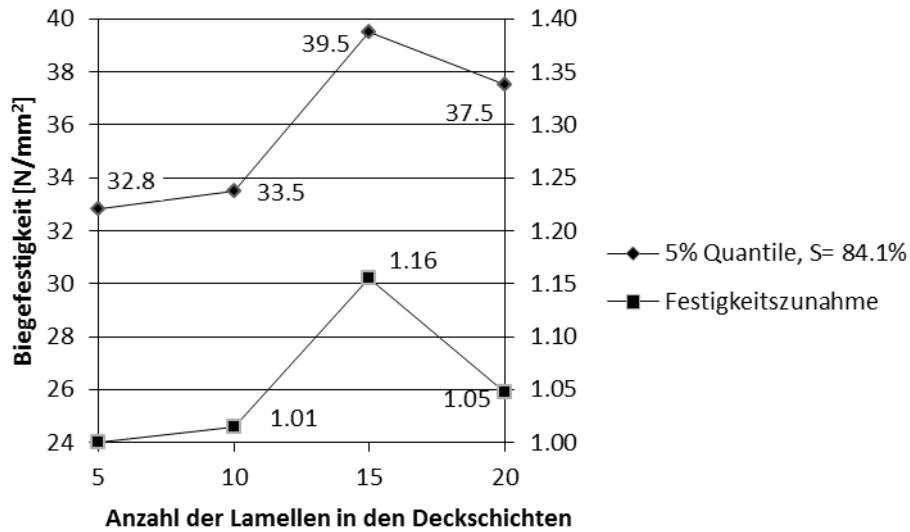


Abbildung 5.3: 5% Quantilwerte und Festigkeitszunahme in den Serien B1 (Breite 130 mm), B2 (Breite 260 mm), B3 (Breite 390 mm), und B4 (Breite 520 mm). Die Biegefestigkeitswerte sind auf eine einheitliche Rohdichte von  $420 \text{ kg/m}^3$  bezogen.

### 5.4 Serien B5 bis B8 (Produkt B; Aufbau 15-50-15 mm)

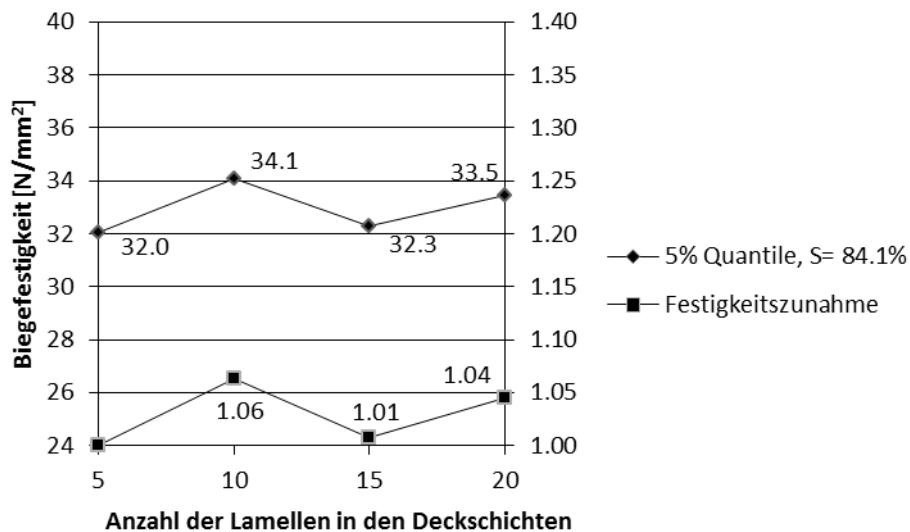


Abbildung 5.4: 5% Quantilwerte und Festigkeitszunahme in den Serien B5 (Breite 130 mm), B6 (Breite 260 mm), B7 (Breite 390 mm), und B8 (Breite 520 mm). Die Biegefestigkeitswerte sind auf eine einheitliche Rohdichte von  $420 \text{ kg/m}^3$  bezogen.

## 5.5 Serien B9 bis B11 (Produkt B, Aufbau 20-70-20 mm)

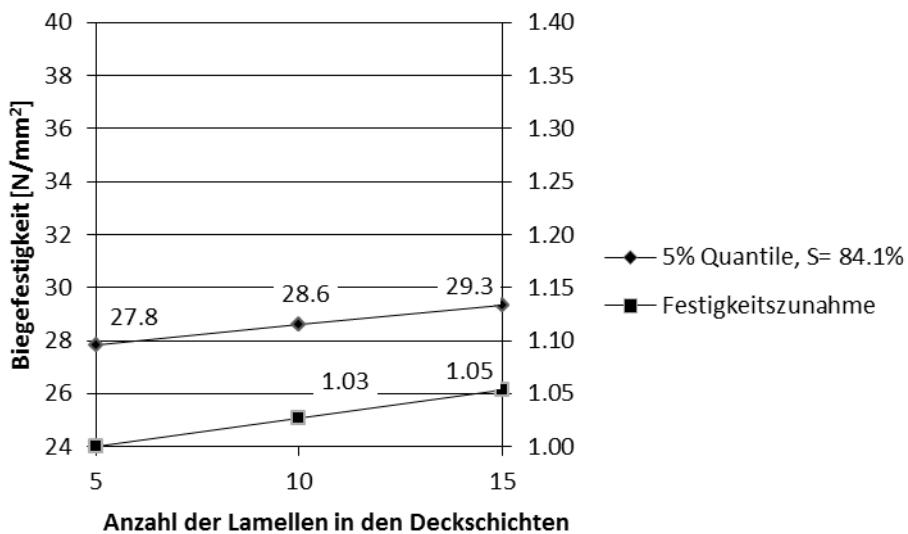


Abbildung 5.5: 5% Quantilwerte und Festigkeitszunahme in den Serien B9 (Breite 130 mm), B10 (Breite 260 mm) und B11 (Breite 390 mm). Die Biegefestigkeitswerte sind auf eine einheitliche Rohdichte von  $420 \text{ kg/m}^3$  bezogen.

## 5.6 Streuung der Biegefestigkeitswerte

Die Streuung der Biegefestigkeiten ist in Form des Variationskoeffizienten in Abbildung 5.6 dargestellt. Die numerischen Werte findet man in Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2.

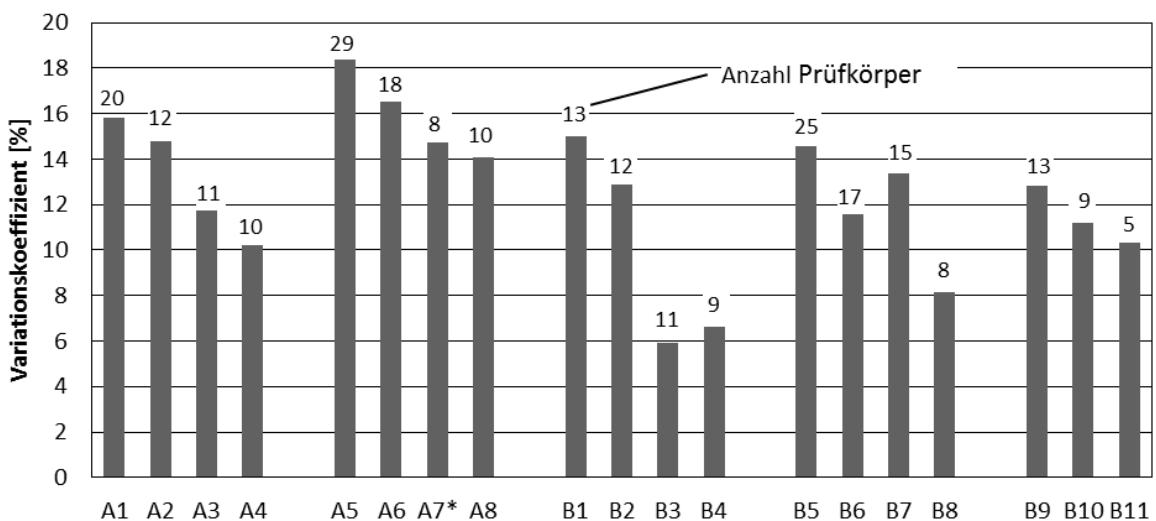


Abbildung 5.6: Streuung der Rohdichte-korrigierten Biegefestigkeitswerte aller Prüfserien. Bei der Serie A7 sind nur die Biegebrüche ausgewertet (keine Biege-/Schubbrüche).

Tabelle 5.1: Variationskoeffizienten der Biegefestigkeitswert von Produkt A

Variationskoeffizient	Serie							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Einzelwerte, Max, Min	15.8%	14.8%	11.7%	10.2%	<b>18.4%</b>	16.5%	14.7%	14.1%
Mittelwert	14.5%							

Tabelle 5.2: Variationskoeffizienten der Biegefestigkeitswert von Produkt B

Variations- koeffizient	Serie										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
Einzelwerte	<b>15.0%</b>	12.9%	5.9%	6.6%	14.6%	11.6%	13.4%	8.1%	12.8%	11.2%	10.3%
Mittelwert								11.1%			

## 6 Schlussfolgerungen

### 6.1 Festigkeitsklasse der geprüften Produkte

Sämtliche geprüften Serien des Produktes A erfüllten die Anforderungen an den 5%-Fraktilwert der Biegefestigkeit der BSH-Festigkeitsklasse GL24 ( $f_{m,k} \geq 24 \text{ N/mm}^2$ ). Beim Produkt B entsprach die Biegefestigkeit einem BSH der Festigkeitsklasse GL28 ( $f_{m,k} \geq 28 \text{ N/mm}^2$ ). Für das Produkt A betrug der geringste auf Basis der effektiven Stichprobengrösse unter Annahme einer Log-Normalverteilung und eines Vertrauensintervalls von 84.1% [1] nach der Sperrholzanalogie ermittelte 5%-Fraktilwert  $27.6 \text{ N/mm}^2$  (Tabelle 4.9) und für das Produkt B  $31.5 \text{ N/mm}^2$  (Tabelle 4.33).

### 6.2 Homogenisierung

Der Homogenisierungseffekt, wie er in Abschnitt 2.1.1 beschrieben ist, ist bei beiden Produkten erkennbar. Der mittlere Variationskoeffizient der Biegefestigkeit wurde für Produkt A zu 14.5% ermittelt (Tabelle 5.1) und für Produkt B zu 11.5% (Tabelle 5.2). Diese Werte sind deutlich geringer als der Erfahrungswert des Variationskoeffizienten der Biegefestigkeit von Vollholz von 25% [2] und entsprechen eher denjenigen der Biegefestigkeit von BSH von 15% [2].

Wie dies aus Abbildung 5.6 und den Tabellen 5.1 und 5.2 ersichtlich ist, nimmt der Variationskoeffizient mit zunehmender Prüfkörperbreite ab. Dieser Effekt tritt beim Produkt A gleichförmiger auf als beim Produkt B.

Die Variationskoeffizienten der Biegefestigkeit sind beim Produkt B für die gleiche Prüfkörperbreite geringer als bei Produkt A (Abbildung 5.6). Der Grund dafür ist die kleinere Breite der Einzellamellen beim Produkt B (26 mm gegenüber 52 mm). Der höhere Zerlegungsgrad der Einzelteile bei Produkt B führt zu einer stärkeren Homogenisierung.

### 6.3 Systemwirkung

Die Schlussfolgerungen betreffend Systemwirkung, wie sie in Abschnitt 2.1.2 beschrieben ist, gestaltet sich schwierig, da (i) im Testverlauf sehr viele Schubbrüche aufgetreten sind und (ii) die Breite der parallel verlaufenden bzw. wirkenden Tragelemente (Lamellenbreite Zugzone) mit 52 mm (Produkt A) bzw. 26 mm (Produkt B) vergleichsweise gering waren. Trotzdem kann man, was die Systemwirkung infolge parallel verlaufender Tragelemente betrifft, aus den Versuchsdaten (Abbildungen 5.1 bis 5.5) die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- Grundsätzlich ist bei beiden Produkten eine Tendenz zu einer höheren Biegefestigkeit mit zunehmender Prüfkörperbreite feststellbar. Es ist daher korrekt, in den Anforderungs- und Prüfnormen, für die Angabe der charakteristischen Werte der Biegefestigkeit eine Bezugsbreite festzulegen.
- Beim Produkt A ist der Systemeffekt gleichmässig, bei Produkt B nur in den Serien B9 bis B11 (Aufbau 20-70-20 mm); bei den Serien B1 bis B8 (Aufbauten 10-50-10 mm und 15-50-15 mm) treten starke Schwankungen auf.
- Der Systemeffekt beträgt zwischen 1% und 12% bei Produkt A und zwischen 1% und 5% bei Produkt B. Bei der Serie B3 (Breite 390 mm, Aufbau 10-50-10 mm) handelt es sich um einen Ausreisser nach oben, für welchen keine Erklärung gefunden werden konnte.
- Bezogen auf die gemäss der Prüfnorm [3] geforderte minimale Streifenbreite von 300 mm ergibt sich beim Produkt A eine Systemwirkung von 1% bis 4%, beim Produkt B in den Serien B9 bis B11 von 2%. Diese Werte sind äusserst gering und rechtfertigen nicht, dass man sie in der Bemessung berücksichtigt.
- Bei einem hohen Zerlegungsgrad des Rohmaterials und geringen Breiten der einzelnen Lamellen, wie dies beim Produkt B der Fall ist, ergibt sich zwar eine bessere Homogenisierung (siehe 6.2), der Systemeffekt ist jedoch geringer und v.a. für dünne Decklagen (Serien B1 bis B4

und B5 bis B8) stark schwankend. Es muss allerdings beachtet werden, dass die geringste geprüfte Streifenbreite bei Produkt B bereits 5 parallel geschaltete Elemente umfasste und die Systemwirkung bekannter Weise bereits ab 4 parallel geschalteten Elementen das Maximum nahezu erreicht. Die geringere Deutlichkeit des Systemeffekts bei Produkt B röhrt daher, dass der Systemeffekt bei  $n = 1$  bis 4 parallel geschalteten Elementen deutlich auftritt und dann mit zunehmender Anzahl der parallel geschalteten Elemente nur noch wenig ansteigt (siehe u.a. Abbildung 2.4).

Bezüglich  $k_{sys}$ -Beiwert, wie er in den Bemessungsnormen [4-6] zur Erfassung der Systemwirkung für Bauteile aus parallel geschalteten Komponenten erwähnt ist, lassen die Versuchsresultate aus der vorliegenden Studie nur sehr beschränkt Aussagen zu.

- Der maximale Systemeffekt von  $k_{sys} = 1.2$  (d. h. 20%) für flächenhaft untereinander verbundene parallel geschaltete Komponenten liess sich durch die Versuche in der vorliegenden Studie nicht bestätigen. Es sind daher auch keine Aussagen möglich darüber, ob ein  $k_{sys}$ -Wert von 1.2 erst ab 8 parallel geschalteter Komponenten [4, 5] oder bereits ab 4 Komponenten [6] erreicht wird.
- Für die geprüften MHP liegt der Systemfaktor eher im Bereich von  $k_I$  gemäss Formel 2.1, wie er im BSP-Handbuch [7] angegeben ist, d. h. bei nicht mehr als 10%.

## 6.4 Empfehlungen

### 6.4.1 Produktion

Mit Blick auf eine möglichst gute Homogenisierung betreffend Biegefestigkeit und auf das Bruchverhalten resultieren aus dem Forschungsprojekt die folgenden Empfehlungen für die Produktion von MHP, welche als Biegetragelemente eingesetzt werden:

- Unverklebte Seitenflächen der Lamellen in den Decklagen wirken sich je nach Prüfkörperbreite und Lage der Stösse ungünstig auf die Biegefestigkeit der MHP aus. Es wird daher empfohlen, die Seitenflächen der Lamellen in den Decklagen bei schmalen Plattenstreifen grundsätzlich zu verkleben.
- Wenn bei MHP mit dünnen Decklagen trotz Sortierung des Rohmaterials Fehlstellen wie Äste oder Schräglasurigkeit vorhanden sind, kann sich dies insbesondere bei Plattenstreifen geringer Breite reduzierend auf die Biegefestigkeit auswirken, wenn solche Zonen in Bereiche maximaler Biegerandspannung fallen. Es wird daher empfohlen, bei Plattenstreifen geringer Breite aus MHP mit dünnen Decklagen ein besonderes Augenmerk auf die Qualität der Decklagen in der Biegezugzone zu richten.
- Die Schubfestigkeit von MHP mit dicken Mittellagen und dünnen Decklagen ist vergleichsweise geringer als diejenige von MHP mit ausgeglichenem Dickenverhältnis der Lagen. Insbesondere bei schmalen und mittleren Plattenbreiten treten gehäuft Schubbrüche auf. Erst bei grossen Plattenbreiten nimmt dieser Effekt ab. Unverklebte Seitenflächen in den Mittellagen wirken sich dabei verschärfend aus. Es ist eine Versagensart feststellbar, welche einem Durchstanzen gleicht. MHP mit dünnen Decklagen und dicken Mittellagen mit unverklebten Seitenflächen der Lamellen eignen sich daher nicht als tragende Biegestreifen mit geringer Breite.
- Bei starkem Zerlegungsgrad des Rohmaterials ist zwar die Homogenisierung gut, der Systemeffekt infolge der parallel geschalteten Elemente in den Decklagen ist allerdings geringer, da bereits ab 4 parallel geschalteten Elementen nahezu das Maximum der Systemtragwirkung erreicht ist. Hier gilt es für jedes Produkt ein Optimum zu finden.

### 6.4.2 Produkteprüfung

Die gemäss den Anforderungsnormen [8, 9] und der Prüfnorm [3] verlangte minimale Prüfkörperbreite von  $300 \pm 5$  mm zur Bestimmung der charakteristischen Eigenschaften für Biegung erscheint angebracht. Je nach Plattenaufbau sind die im WHFF-Projekt an Prüfkörpern der Breiten 156 mm (Produkt A) bzw. 130 mm (Produkt B) ermittelten charakteristischen Werte der Biegefestigkeit deutlich bis moderat geringer, als die Werte ermittelt an Prüfkörpern mit  $b \geq 300$  mm (Produkt A:  $b = 312$  mm, Produkt B:  $b = 390$  mm). Erkennbar ist dies in den Abbildungen 5.1 bis 5.5.

Da ausserdem ein Einfluss der Prüfkörperbreite auf die Festigkeit klar erkennbar ist, ist es von absoluter Notwendigkeit die Angabe des charakteristischen Wertes der Biegefestigkeit auf eine minimale Bezugsbreite zu beziehen. Die Wahl einer Bezugsbreite von  $300 \pm 5$  mm erscheint als korrekt.

### 6.4.3 Bemessung

Bezüglich der Fragestellung nach der minimalen Anzahl parallel geschalteter Komponenten lässt die vorliegende Studie keine Aussage zu. Der Grad des Systemeffekts lag deutlich unter 10%, erreicht damit für die geprüften MHP-Produkte auf keinen Fall das Niveau der  $k_{sys}$ -Werte in den Bemessungsnormen [4-6], sondern liegt eher im Bereich des Systemfaktors für BSP gemäss Formel 2.1 bzw. BSP-Handbuch [7].

Allenfalls müssten die Normvorschriften betreffend Beiwert  $k_{sys}$  dahingehend präzisiert werden, dass sie nur ab bestimmten minimalen Querschnittsabmessungen der parallel verlaufen Komponenten gelten.

## 6.5 Literatur zu Kapitel 6

1. Norm SIA 265/1:2009: Holzbau - Ergänzende Festlegungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein Zürich, Schweiz.
2. Joint Committee on Structural Safety JCSS 2001: Probabilistic Model Code. Available from: <http://www.jcss.byg.dtu.dk/>.
3. EN 789:2004: Holzbauwerke – Prüfverfahren – Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen. Europäisches Komitee für Normung CEN, Brüssel, Belgien.
4. DIN 1052:2008-12: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken: Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Dezember 2008. Deutsches Institut für Normung DIN, Berlin, Deutschland.
5. EN 1995-1-1 (Eurocode 5-1-1): Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. November 2004. Europäisches Komitee für Normung CEN, Brüssel, Belgien.
6. Norm SIA 265: Holzbau. Januar 2012. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA, Zürich, Schweiz.
7. Schickhofer G., Bogensperger T., Moosbrugger T. 2010: Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normenkonzepts. In: BSPhandbuch – Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz. 2., überarbeitete Auflage 2010. Verlag der Technischen Universität Graz, Österreich.
8. prEN 16351:2011: Holzbauwerke – Brettsperrholz – Anforderungen. November 2011. Europäisches Komitee für Normung CEN, Brüssel, Belgien.
9. EN 13986:2004: Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung. Oktober 2004. Europäisches Komitee für Normung CEN, Brüssel, Belgien.