



# Mechanische Eigenschaften von Buchen-Brettsperrholz

## Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholz in Buche

### Schlussbericht

<b>Bericht Nr.</b>	P.006711-10-77DL-01_PB-01
<b>Auftrag Nr.</b>	P.006711-10-77DL-01
<b>Klassifizierung</b>	Öffentlich
<b>Datum</b>	16.12.2014
<b>Auftraggeber</b>	Fagus Jura SA Stefan Vögtli Route de Bonfol 13 2943 Vendlincourt
<b>Adresse der Forschungsstelle</b>	Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur Kompetenzbereich Holzbau Solothurnstrasse 102, CH-2504 Biel Tel / Fax +41 (0)32 344 0 341 / 391 <a href="http://www.ahb.bfh.ch">www.ahb.bfh.ch</a>
<b>Sachbearbeiter</b>	Steffen Franke Mareike Vogel Martin Lehmann Flavien Sauser
<b>Projektleiter</b>	Steffen Franke
<b>Kompetenzbereichsleiter</b>	Hanspeter Kolb

*Dieses Projekt wurde realisiert mit Unterstützung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) im Rahmen des Aktionsplans Holz.*

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	4
1 Zusammenfassung der Ergebnisse	5
1.1 Biegeprüfung liegend	5
1.2 Biegeprüfung stehend	6
1.3 Rollschubprüfung	6
1.4 Druckprüfung	6
1.5 Scherprüfung	6
1.6 Delaminierungsprüfung	7
2 Einleitung	7
3 Prüfgrundlagen	7
3.1 Grundlagen und Normen, nach denen geprüft wurde	7
3.2 Abweichungen von Prüfvorschriften, spezielle Bedingungen	7
4 Prüfgegenstand	8
4.1 Beschreibung der Gegenstände	8
4.2 Datum des Eingangs und Nummer der Prüfgegenstände	8
4.3 Probenahme	8
4.4 Holzfeuchtemessungen und Beobachtungen bei der Herstellung	8
4.5 Prüfergebnisse	8
5 Biegeprüfungen	9
5.1 Prüfer	9
5.2 Prüfaufbau	9
5.3 Prüfmittel und Prüfhilfsmittel	10
5.4 Vorklimatisierung	10
5.5 Datum der Prüfungsdurchführung	10
5.6 Übersicht Prüfablauf	11
5.7 Prüfergebnisse Biegeprüfung	13
6 Scherprüfung	15
6.1 Prüfer	15
6.2 Prüfaufbau	15
6.3 Prüfmittel und Prüfhilfsmittel	15
6.4 Vorklimatisierung	15
6.5 Datum der Prüfungsdurchführung	15
6.6 Übersicht Prüfablauf	16
6.7 Prüfergebnisse Scherprüfung	16
7 Rollschub	18
7.1 Prüfer	18
7.2 Prüfaufbau	18
7.3 Prüfmittel und Prüfhilfsmittel	18
7.4 Vorklimatisierung	18
7.5 Datum der Prüfungsdurchführung	18
7.6 Übersicht Prüfablauf	18
7.7 Prüfergebnisse Rollschubprüfung	20
8 Druck	21
8.1 Prüfer	21
8.2 Prüfaufbau	21
8.3 Prüfmittel und Prüfhilfsmittel	21

8.4	Vorklimatisierung	21
8.5	Datum der Prüfungsdurchführung	21
8.6	Übersicht Prüfablauf	22
8.7	Prüfergebnisse Druckprüfung	23
9	Delaminierung	26
9.1	Prüfer	26
9.2	Prüfaufbau	26
9.3	Prüfmittel und Prüfhilfsmittel	26
9.4	Vorklimatisierung	26
9.5	Datum der Prüfungsdurchführung	26
9.6	Übersicht Prüfablauf	26
9.7	Prüfergebnisse Delaminierung	27
10	Stellungnahme, Interpretationen, Kommentare, Empfehlungen	30
11	Bestimmungen zum vorliegenden Bericht	30
12	Verzeichnisse	31
12.1	Quellenverzeichnis	31
12.2	Tabellenverzeichnis	31
12.3	Abbildungsverzeichnis	32
Anhang A:	Zuschnittplan	33
Anhang B:	Bruchbilder Biegeprüfung	34
Anhang C:	Bilder Rollschubprüfung	39
Anhang D:	Bilder Druckprüfung	39

## Abkürzungsverzeichnis

a	Abstand zwischen Lasteinwirkung und Auflager
b	Breite
$E_{l_{glob}}$	globale Biegesteifigkeit
$E_{l_{loc}}$	lokale Biegesteifigkeit
$F_{max}$	maximale Bruchkraft
GA	Schubsteifigkeit
h	Höhe
$I_y$	Trägheitsmoment in y-Richtung
l	Länge
$M_{max}$	maximales Biegemoment
n	Anzahl Prüfkörper
q	Querkraft
$R_{50}$	Mittelwert
$R_{05}$	5 %-Fraktile
s	Flächenmoment
$\sigma_{c,0}$	Druckspannung parallel zur Faser
$\sigma_{c,90}$	Druckspannung senkrecht zur Faser
$\sigma_{u,m,b}$	Biegerandspannung in der unteren Decklage
$\sigma_{u,t}$	Zentrumspannung
$\sigma_v$	Scherspannung
$\sigma^*_m$	Biegespannung
$\sigma^*_{max}$	Vergleichsbiegerandspannung
$\tau_{roll}$	Rollschubspannung

# 1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 1 bis Tabelle 10 werden kurz die Ergebnisse der verschiedenen Prüfungen zusammengefasst dargestellt. Die angegebenen Werte sind die Mittelwerte ( $R_{50}$ ) und die 5%-Fraktile ( $R_{05}$ ).

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse

Prüfung	Beschreibung		Wert
Biegeprüfung liegend	Vergleichsbiegerandspannung	$\sigma^*_{\max,05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	43.8
	Biegerandspannung in der unteren Decklage	$\sigma_{u,m,b,05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	61.7
	Zentrumspannung	$\sigma_{u,t,05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	23.7
	globale Biegesteifigkeit	$EI_{\text{glob},50}$ [Nmm <sup>2</sup> ]	835.6*10 <sup>9</sup>
	lokale Biegesteifigkeit	$EI_{\text{loc},50}$ [Nmm <sup>2</sup> ]	886.0*10 <sup>9</sup>
	Schubsteifigkeit	$GA_{50}$ [N]	30.39*10 <sup>6</sup>
Biegeprüfung stehend	Biegespannung	$\sigma^*_{m,05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	37.5
Rollschubprüfung	Rollschubspannung	$\tau_{\text{roll},05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	3.77
Druckprüfung	Druckspannung in Plattenebene parallel zur Decklage	$\sigma_{c,0,05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	61.5
	Druckspannung in Plattenebene senkrecht zur Decklage	$\sigma_{c,0,05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	64.9
	Druckspannung senkrecht zur Plattenebene	$\sigma_{c,90,05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	9.3
Scherprüfung	Scherspannung	$\sigma_{v,05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	5.9
	Faserbruchanteil	$R_{50}$ [%]	25
Delaminierungsprüfung	Fugenlänge delaminiert	$R_{50}$ [%]	19
	Faserbruchanteil	$R_{50}$ [%]	43

## 1.1 Biegeprüfung liegend

Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse Biegeprüfung liegend

n=7	$\sigma^*_{\max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{u,m,b}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{u,t}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$EI_{\text{glob}}$ [Nmm <sup>2</sup> ]	$EI_{\text{loc}}$ [Nmm <sup>2</sup> ]	GA [N]
$R_{50}$	50.3	71.1	55.0	835.6*10 <sup>9</sup>	886.0*10 <sup>9</sup>	30.39*10 <sup>6</sup>
$R_{05}$	43.8	61.7	23.7	-	-	-

## 1.2 Biegeprüfung stehend

Tabelle 3 : Zusammenfassung der Ergebnisse Biegeprüfung stehend

n=6	$F_{\max}$ [N]	$\sigma_m^*$ [N/mm <sup>2</sup> ]
R <sub>50</sub>	157685	46.8
R <sub>05</sub>	126383	37.5

## 1.3 Rollschubprüfung

Tabelle 4 : Zusammenfassung der Ergebnisse Rollschubprüfung

n=4	$F_{\max}$ [N]	$\tau_{\text{roll}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
R <sub>50</sub>	198899	4.1
R <sub>05</sub>	185215	3.8

## 1.4 Druckprüfung

### 1.4.1 Druck in Plattenebene parallel zur Decklage

Tabelle 5 : Zusammenfassung der Ergebnisse Druckprüfung in Plattenebene parallel zur Decklage

n=10	$F_{\max}$ [N]	$\sigma_{c,0}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
R <sub>50</sub>	207273	69.1
R <sub>05</sub>	184630	61.5

### 1.4.2 Druck in Plattenebene senkrecht zur Decklage

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse Druckprüfung in Plattenebene senkrecht zur Decklage

n=10	$F_{\max}$ [N]	$\sigma_{c,0}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
R <sub>50</sub>	215109	71.7
R <sub>05</sub>	194660	64.9

### 1.4.3 Druck senkrecht zur Plattenebene

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse Druckprüfung senkrecht zur Plattenebene

n=10	$F_{\max}$ [N]	$\sigma_{c,90}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
R <sub>50</sub>	102069	10.2
R <sub>05</sub>	92582	9.3

## 1.5 Scherprüfung

Tabelle 8: Zusammenfassung der Ergebnisse Scherprüfung

n=48	$\sigma_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Holzbruch
R <sub>50</sub>	7.9	25%
R <sub>05</sub>	5.9	-

## 1.6 Delaminierungsprüfung

Tabelle 9: Zusammenfassung der Ergebnisse Delaminierungsprüfung (Fugenöffnung)

n=10	Fugenlänge delaminiert ≤ 40%	Fugenlänge total delaminiert ≤ 10%
R <sub>50</sub>	19%	19%

Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse Delaminierungsprüfung (Faserbruchanteil)

n=10	Holzbruch pro Fuge ≥ 50%	Holzbruch pro total ≥ 70%
R <sub>50</sub>	43%	43%

## 2 Einleitung

Die Verwendung des relativ neuen Bauproduktes Brettsperrholz (BSP) in Nadelholz erlebt einen rasanten Aufschwung. Es ist deshalb vorgesehen, im geplanten Buche-Leimholzwerk auch BSP in Buche und Hybrid herzustellen. Da es sich um eine Produkteneuheit handelt, müssen sämtliche Daten und statischen Werte erarbeitet werden, um das Produkt marktfähig zu machen. Die Daten können teils theoretisch hergeleitet werden. Es ist jedoch unerlässlich, auch praktische Versuche und Produkteprüfungen durchzuführen. Die resultierenden Daten in Form von Bemessungstabellen werden für die Marktpotential-Erhebung benötigt.

Die BFH-AHB wurde angefragt, die mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholz in Buche zu erarbeiten. Diese sollen als Grundlage für die Erarbeitung zukünftiger Bemessungstabellen dienen.

## 3 Prüfgrundlagen

### 3.1 Grundlagen und Normen, nach denen geprüft wurde

Die Durchführung der Druckprüfungen wurde angelehnt an die Norm SN EN 408+A1:2012. Die Biege-, Rollschub- und Delaminierungsprüfungen wurden gemäss FprEN 16351:2013 durchgeführt. Scherprüfung sind in Anlehnung an die Norm SN EN 14080:2013 erfolgt.

### 3.2 Abweichungen von Prüfvorschriften, spezielle Bedingungen

Es handelt sich um Buchen- und nicht Fichtenbrettsperrholz. Die Biegeprüfkörper zur Bestimmung der Steifigkeit wurden abweichend der in der Norm geforderten Länge von 30h = 3600 mm, mit einer Länge von 2400 mm geprüft. Die Biegeproben zur Bestimmung der Biegefestigkeit hatten ebenfalls eine Länge von 2400 mm. Die Norm gibt hier 18h = 4428 mm vor.

Das Trockenklima bei der Delaminierung in Anlehnung an EN 16351 wurde in Anlehnung an SN EN 14080:2013 und SN EN 302-2:2013 auf 27.5 °C ± 2.5 °C und 30 % rLF ± 5 % rLF geändert. Konsequenterweise wurde die Trocknung auf 90 h ± 6 h erhöht. Bedingt durch das Aussenklima wurde die angestrebte Temperatur und Feuchte während der Trocknung teilweise überschritten. Bei den Scherprüfungen in Anlehnung an EN 14080:2013 wurde nicht parallel zur Faserrichtung sondern unter 45° geprüft.

## 4 Prüfgegenstand

### 4.1 Beschreibung der Gegenstände

Bei den Prüfobjekten handelt es sich um verschiedene BSP-Abschnitte die aus einem ganzen Element zugeschnitten wurden. Der Zuschnittplan ist im Anhang A ersichtlich.

### 4.2 Datum des Eingangs und Nummer der Prüfgegenstände

Die Materiallieferung erfolgte am 01.09.2014.

### 4.3 Probenahme

Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte durch die Fagus Jura SA. Der Zuschnitt der einzelnen Prüfkörper und die Nummerierung sind in der folgenden Tabelle ersichtlich.

Tabelle 11: Übersicht Zuschnitt und Nummerierung

Prüfung	Nr. im Zuschnittplan	Nr. bei der Prüfung	Zuschnitt durch
Biegeprüfung liegend	1-7	1-7	Fagus Jura SA
Biegeprüfung stehend	8-13	8a, 8b, 9a, 9b, 10a, 10b	BFH AHB
Rollschubprüfung	14-17	1-4	BFH AHB
Druckprüfung	18-47	1-30	BFH AHB
Scherprüfung	48-77	1-12	BFH AHB
Delaminierung	78-87	1-10	Fagus Jura SA

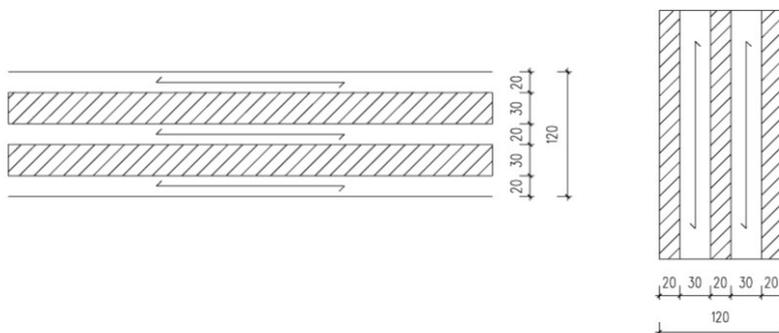


Abbildung 1: Plattenaufbau

### 4.4 Holzfeuchtemessungen und Beobachtungen bei der Herstellung

Es wurde keine Holzfeuchtemessungen durchgeführt.

### 4.5 Prüfergebnisse

Unter diesem Kapitel werden die gesamten Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen dargestellt. Aus den Einzelwerten wurden die Mittelwerte ( $R_{50}$ ), Standardabweichung (StAbw), Variationskoeffizient (COV) und das 5%-Fraktile ( $R_{05}$ ) ausgerechnet. Der 5%-Fraktile-Wert wurde mit Hilfe der Formel [1] und der Tabelle 12 ermittelt.

Tabelle 12:  $k_s$ -Faktoren nach Anzahl Prüfkörper aus EN 14358:2006

Anzahl der Prüfkörper $n$	Faktor $k_s$
3	3,15
5	2,46
10	2,10
15	1,99
20	1,93
30	1,87
50	1,81
100	1,76
500	1,71
$\infty$	1,65

$$R_{05} = R_{50} - (StAbw * k_s)$$

[1]

## 5 Biegeprüfungen

Die Biegeprüfungen wurden in Anlehnung an die FprEN 16351:2013 durchgeführt. 7 Prüfkörper wurden mit liegender und 6 mit stehender Plattenlage geprüft.

### 5.1 Prüfer

Die Prüfungen wurden durchgeführt von Martin Lehmann, Daniel Roder, Lorenz Scherler und Martin Otti.

### 5.2 Prüfaufbau

#### 5.2.1 Biegeprüfung liegend

Die Biegefestigkeit sowie die lokale und globale Biegesteifigkeit (EI) wurden gemäss Abbildung 2 bestimmt. Die Schubsteifigkeit wird aus der lokalen und globalen Biegesteifigkeit errechnet.

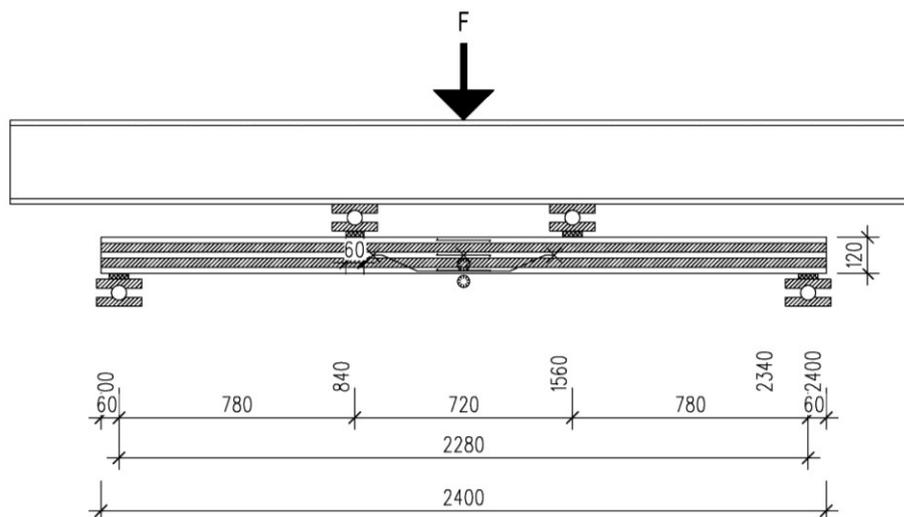


Abbildung 2: Prüfaufbau Biegeprüfung liegend

### 5.2.2 Biegeprüfung stehend

Die Biegefestigkeit wurden gemäss Abbildung 3 bestimmt.

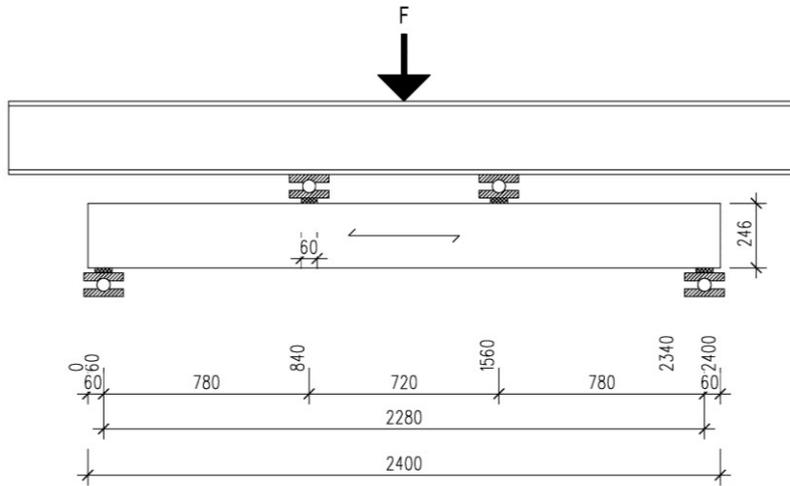


Abbildung 3: Prüfaufbau Biegeprüfung stehend

### 5.3 Prüfmittel und Prüfhilfsmittel

Tabelle 13: Geräte und Messmittel Biegeprüfung

Gerät oder Messmittel	Interne Nr.
Prüfzylinder (Druck) w+b HZWU-400/200/300 reduzierter Messbereich bis 80 kN	42.9119
Wegmessgerät HBM WA L - 20 mm (induktiv)	42.9509
Wegmessgerät HBM WA L - 20 mm (induktiv)	42.9741
Wegmessgerät HBM WA L - 20 mm (induktiv)	42.9066
Wegmessgerät HBM WA L - 20 mm (induktiv)	42.9739
Wegmessgerät HBM WA L - 50 mm (induktiv)	42.9744
Wegmessgerät HBM WA L - 100 mm (induktiv)	42.9531
Wegmessgerät HBM WA L - 100 mm (induktiv)	42.9533

### 5.4 Vorklimatisierung

Es erfolgte keine spezielle Klimatisierung. Die Prüfkörper wurden ab Lieferung im Labor bei Raumtemperatur gelagert und geprüft.

### 5.5 Datum der Prüfungsdurchführung

Die Versuche wurden vom 02.-03.10.2014 durchgeführt.

## 5.6 Übersicht Prüfablauf

Jeder liegend geprüfter Prüfkörper durchlief die Stufen 1 bis 10 und wurde bis zum Erreichen der Maximalkraft geprüft. In der folgenden Tabelle ist der Prüfablauf dargestellt.

Tabelle 14: Prüfablauf Steifigkeit

<b>Stufe 1</b>	Kraft Anfang [kN]	0
	Kraft Ende [kN]	63
	Prüfgeschwindigkeit [N/s]	233
<b>Stufe 2</b>	Haltezeit [s]	20
<b>Stufe 3</b>	Kraft Anfang [kN]	63
	Kraft Ende [kN]	7
	Prüfgeschwindigkeit [N/s]	233
<b>Stufe 4</b>	Haltezeit [s]	20
<b>Stufe 5</b>	Kraft Anfang [kN]	7
	Kraft Ende [kN]	63
	Prüfgeschwindigkeit [N/s]	233
<b>Stufe 6</b>	Haltezeit [s]	20
<b>Stufe 7</b>	Kraft Anfang [kN]	63
	Kraft Ende [kN]	7
	Prüfgeschwindigkeit [N/s]	233
<b>Stufe 8</b>	Haltezeit [s]	20
<b>Stufe 9</b>	Kraft Anfang [kN]	7
	Kraft Ende [kN]	63
	Prüfgeschwindigkeit [N/s]	233
<b>Stufe 10</b>	Kraft Anfang [kN]	63
	Kraft Ende [kN]	Fmax
	Prüfgeschwindigkeit [mm/s]	0.15

Die Biegesteifigkeit wurde beim ersten und zweiten Anstieg der Kraft bestimmt.

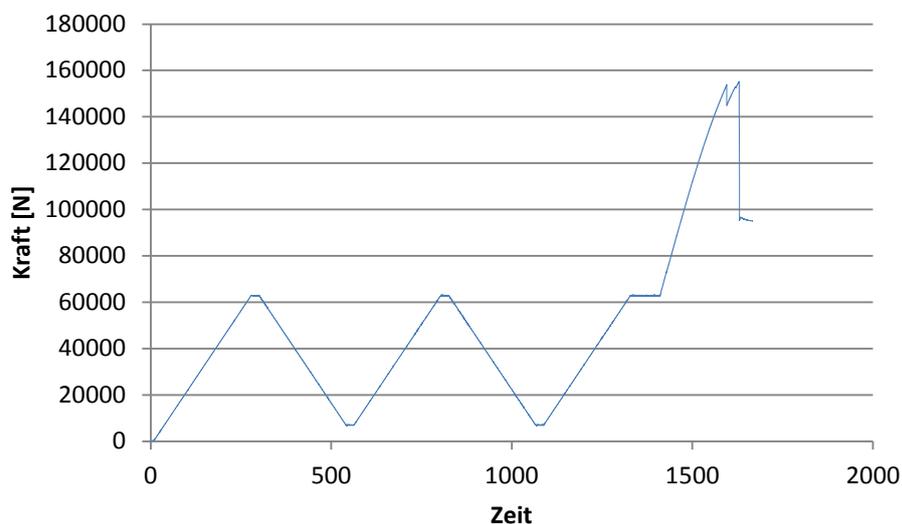


Abbildung 4: Prüfablauf der Biegeprüfungen liegend am Beispiel des Prüfkörpers 3 (Kraft/Zeit)

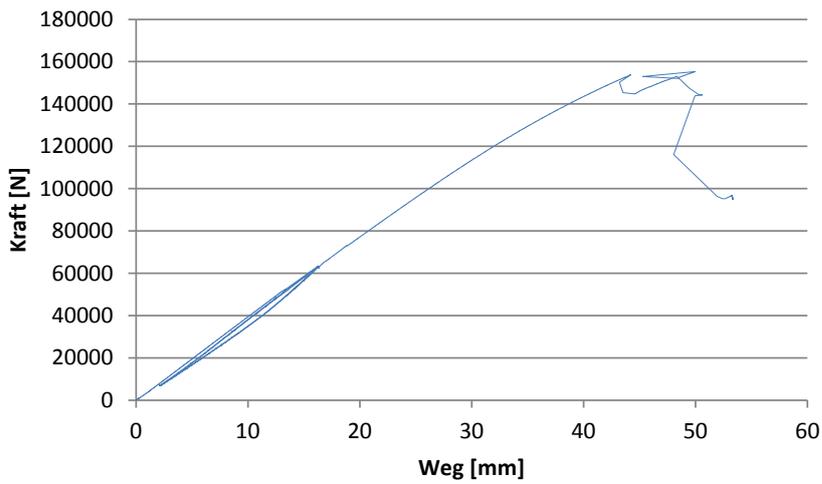


Abbildung 5: Kraft-Weg-Diagramm der Biegeprüfungen liegend am Beispiel des Prüfkörpers 3 (Kraft/Weg)

Die stehenden Prüfkörper wurden bis zum Erreichen der Maximalkraft geprüft. Die Prüfgeschwindigkeit betrug 0.18 mm/s.

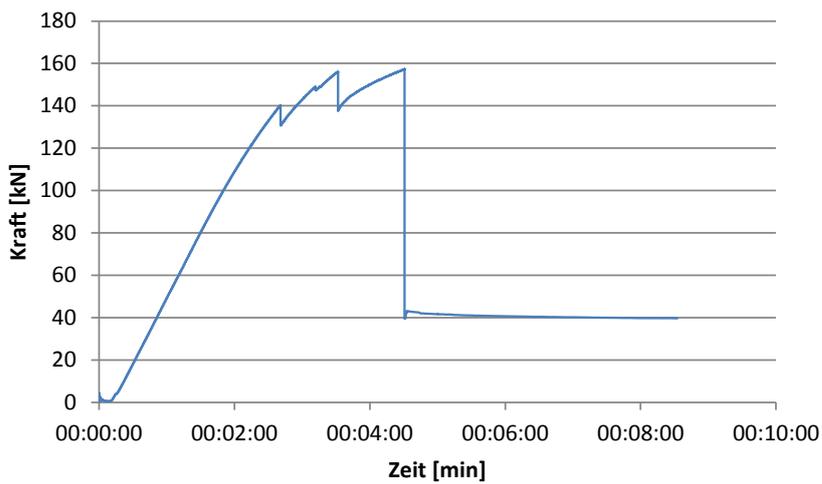


Abbildung 6: Prüfablauf der Biegeprüfungen stehend am Beispiel des Prüfkörpers 8a (Kraft/Zeit)

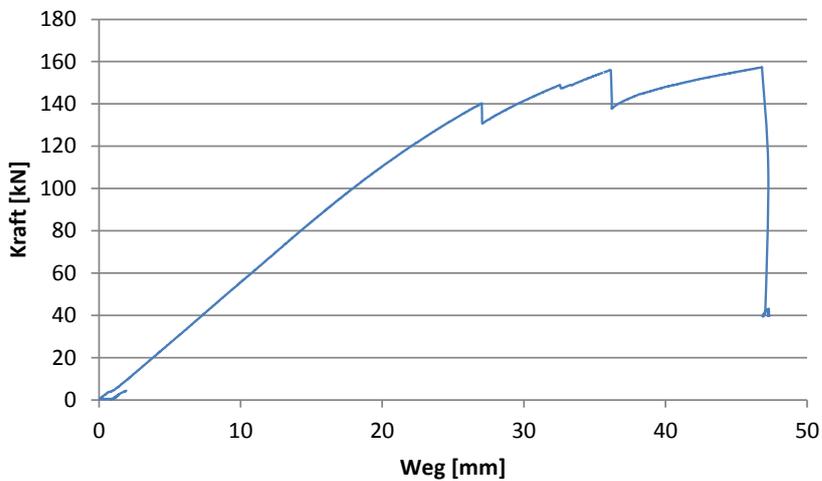


Abbildung 7: Kraft-Weg-Diagramm der Biegeprüfungen stehend am Beispiel des Prüfkörpers 8a (Kraft/Weg)

## 5.7 Prüfergebnisse Biegeprüfung

### 5.7.1 Biegeprüfung liegend

Die Biegerandspannung in einem Vergleichsquerschnitt wurde mit Formel [2] berechnet. Für die Berechnung der Biegerandspannung in der unteren Decklage wurde Formel [3] verwendet.

$$\sigma^*_{max} = \frac{M_{max}}{b * h^2} \quad [2]$$

$$\sigma_{u,m,b} = \frac{M_{max}}{I_y} \cdot \frac{h}{2} \quad [3]$$

$$\sigma_{u,t} = \frac{M_{max}}{I_y} \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right) \quad [4]$$

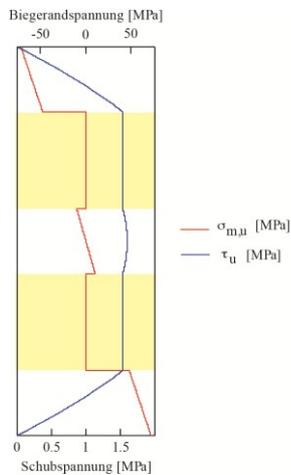


Tabelle 15: Ergebnisse Biegeprüfung liegend

Pk Nr	F <sub>max</sub> [kN]	M <sub>max</sub> [kNm]	σ* <sub>max</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>u,m,b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>u,t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	E <sub>Iglob</sub> [Nmm <sup>2</sup> ]	E <sub>Iloc</sub> [Nmm <sup>2</sup> ]	GA [N]
1	156.22	60.9	50.8	71.8	59.8	888.5*10 <sup>9</sup>	937.4*10 <sup>9</sup>	30.75*10 <sup>6</sup>
2	163.71	63.8	53.2	75.2	62.7	853.2*10 <sup>9</sup>	934.6*10 <sup>9</sup>	17.71*10 <sup>6</sup>
3	155.28	60.6	50.5	71.4	59.5	855.2*10 <sup>9</sup>	918.6*10 <sup>9</sup>	22.36*10 <sup>6</sup>
4	152.66	59.5	49.6	70.2	58.5	820.6*10 <sup>9</sup>	843.5*10 <sup>9</sup>	54.72*10 <sup>6</sup>
5	141.42	55.2	46.0	65	54.2	805.1*10 <sup>9</sup>	855.5*10 <sup>9</sup>	24.65*10 <sup>6</sup>
6	149.12	58.2	48.5	68.2	26.9	810.4*10 <sup>9</sup>	842.3*10 <sup>9</sup>	38.61*10 <sup>6</sup>
7	165.02	64.4	53.6	75.9	63.2	816.5*10 <sup>9</sup>	870.2*10 <sup>9</sup>	23.92*10 <sup>6</sup>
<b>R<sub>50</sub></b>	154.7	60.3	50.3	71.1	54.97	835.6*10 <sup>9</sup>	886.0*10 <sup>9</sup>	30.39*10 <sup>6</sup>
<b>StAbw</b>	8.19	3.19	2.66	3.80	12.73	3.1*10 <sup>10</sup>	4.28*10 <sup>10</sup>	12.65*10 <sup>6</sup>
<b>COV</b>	5.3%	5.3%	5.3%	5.4%	23.2%	3.7%	4.8%	41.6%
<b>k<sub>s</sub></b>	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46
<b>R<sub>05</sub></b>	-	-	43.76	61.74	23.66	-	-	-



Abbildung 8: Typisches Bruchbild Biegeprüfung liegend Prüfkörper 2

### 5.7.2 Biegeprüfung stehend

Um die Biegefestigkeit ( $\sigma^*_m$ ) zu berechnen wurde die Formel [5] angewendet

$$\sigma^*_m = \frac{3 * F_{max} * a}{b * h^2} \quad [5]$$

Tabelle 16: Ergebnisse Biegeprüfung stehend

Pk Nr	b [mm]	h [mm]	l [mm]	a [mm]	Fmax [N]	$\sigma^*_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
8a	120	246	2400	718	157310	46.66
8b	120	246	2400	718	166750	49.46
9a	120	246	2400	718	174960	51.90
9b	120	246	2400	718	155720	46.19
10a	120	246	2400	718	137410	40.76
10b	120	246	2400	718	153960	45.67
				<b>R<sub>50</sub></b>	157685	46.77
				<b>StAbw</b>	12724	3.77
				<b>COV</b>	8.1%	8.1%
				<b>k<sub>s</sub></b>	2.46	2.46
				<b>R<sub>05</sub></b>	-	37.49

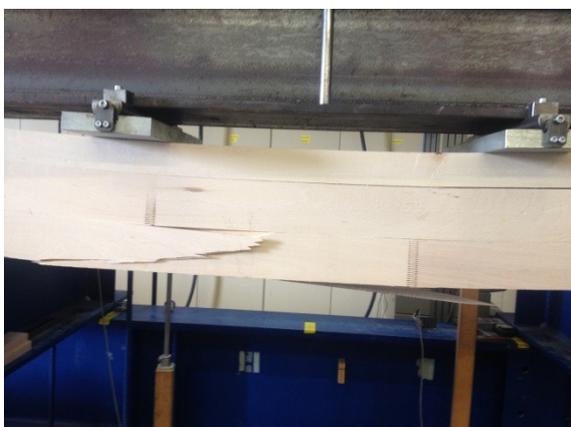


Abbildung 9: Typisches Bruchbild Biegeprüfung stehend Prüfkörper 8a

## 6 Scherprüfung

### 6.1 Prüfer

Die Prüfungen wurden durchgeführt von Martin Lehmann und Mareike Vogel.

### 6.2 Prüfaufbau

Die Scherprüfungen der Klebefugen wurde in Anlehnung an die EN 14080:2013 durchgeführt. Um eine Prüfung unter Rollschub zu verhindern, wurden die Prüfkörper nicht parallel zur Faser der Decklagen sondern unter 45° geprüft (siehe Abbildung 10). Der zeitliche Ablauf ist in Tabelle 17 aufgezichnet.

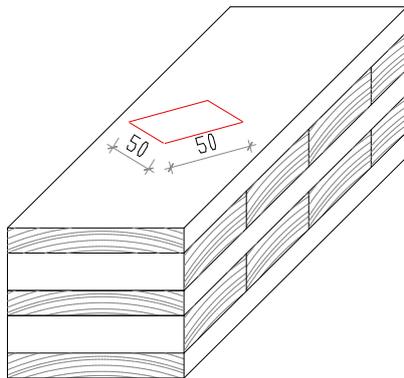


Abbildung 10: Schematische Darstellung des Zuschnittes der Scherprüfkörper

Tabelle 17: Prüfablauf bei der Scherprüfung der Klebefugen

Vorgang	Datum
Messen der Prüfkörper	19.09.2013
Lagerung in 20°C / 65% rLF	19.09.2014 bis 24.09.2014
Abscheren entlang der Klebefugen	24.09.2013
Bestimmung Faserbruchanteil	26.09.2014

### 6.3 Prüfmittel und Prüfhilfsmittel

Tabelle 18: Geräte und Messmittel Scherprüfung

Gerät oder Messmittel	Interne Nr.
Prüfmaschine Zwick 50 kN TAG2 US	36.9489

### 6.4 Vorklimatisierung

Die Prüfkörper wurden 5 Tage in 20 °C / 65 % rLF gelagert.

### 6.5 Datum der Prüfungsdurchführung

Die Versuche wurden vom 24. bis 26.09.2014 durchgeführt.

## 6.6 Übersicht Prüfablauf

Jeder Prüfkörper wurde bis zum Erreichen der Maximalkraft geprüft. Die Prüfgeschwindigkeit betrug 5 mm/min. Da es für diese Prüfung unter 45° keine abgesicherten Beurteilungskriterien gibt, wurde auf eine Klassierung verzichtet.

## 6.7 Prüfergebnisse Scherprüfung

In Tabelle 19 sind die Resultate der Scherprüfungen aufgeführt. Die Formel [6] diente der Ermittlung der Scherfestigkeit  $\sigma_v$ .

$$\sigma_v = \frac{F_{max}}{b * h}$$

[6]

Tabelle 19: Resultate der Scherprüfung unter 45°

Pk Nr	Fuge	$\sigma_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Holzbruch	Pk Nr	Fuge	$\sigma_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Holzbruch
1	1	8.9	30 %	7	1	6.3	25 %
	2	7.7	10 %		2	7.5	20 %
	3	7.7	30 %		3	9.1	5 %
	4	8.7	20 %		4	10.2	10 %
2	1	7.1	5 %	8	1	6.8	15 %
	2	7.5	35 %		2	8.0	10 %
	3	6.8	5 %		3	8.5	5 %
	4	7.6	20 %		4	9.6	40 %
3	1	7.8	50 %	9	1	7.5	30 %
	2	7.4	30 %		2	8.1	40 %
	3	8.6	20 %		3	8.1	25 %
	4	8.4	50 %		4	7.7	30 %
4	1	7.1	50 %	10	1	7.3	25 %
	2	7.8	40 %		2	8.1	30 %
	3	7.5	0 %		3	8.8	5 %
	4	7.6	40 %		4	9.0	70 %
5	1	6.7	80 %	11	1	6.7	20 %
	2	8.1	40 %		2	7.0	5 %
	3	8.4	10 %		3	8.3	10 %
	4	9.8	15 %		4	9.2	20 %
6	1	7.7	30 %	12	1	5.9	15 %
	2	7.1	15 %		2	7.2	5 %
	3	6.3	5 %		3	7.8	5 %
	4	8.8	30 %		4	8.5	60 %
<b>R<sub>50</sub></b>						7.9	25%
<b>StAbw</b>						0.93	
<b>COV</b>						12 %	
<b>k<sub>s</sub></b>						2.1	
<b>R<sub>05</sub></b>						5.9	



Abbildung 11: Faserbruchanteil Prüfkörper 4, Fuge 3



Abbildung 12: Faserbruchanteil Prüfkörper 5, Fuge 1

Die restlichen Ergebnisse der Scherversuche sind ausführlich im Prüfbericht „63DL-006670-D-01-PB-01“ aufgeführt.

## 7 Rollschub

An 4 Prüfkörpern wurde die Rollschubfestigkeit gemäss FprEN 16351:2013 ermittelt.

### 7.1 Prüfer

Die Prüfungen wurden durchgeführt von Flavien Sauser.

### 7.2 Prüfaufbau

Die Prüfkörper wurden keiner Klimatisierung unterzogen. Die Rollschubfestigkeit wurde gemäss Abbildung 13 bestimmt.

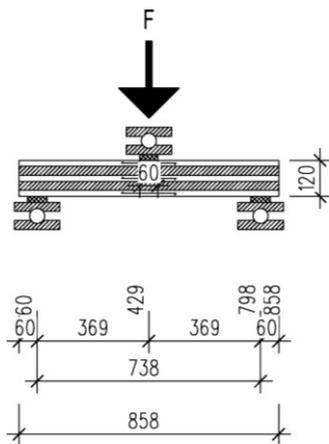


Abbildung 13: Prüfaufbau Rollschubfestigkeit

### 7.3 Prüfmittel und Prüfhilfsmittel

Tabelle 20: Geräte und Messmittel Rollschub

Gerät oder Messmittel	Interne Nr.
Schenck Trebel 250 kN	36.0120

### 7.4 Vorklimatisierung

Es erfolgte keine spezielle Klimatisierung. Die Prüfkörper wurden ab Lieferung im Labor bei Raumtemperatur gelagert und geprüft.

### 7.5 Datum der Prüfungsdurchführung

Die Versuche wurden am 03.10.2014 durchgeführt.

### 7.6 Übersicht Prüfablauf

Jeder Prüfkörper wurde bis zum Erreichen der Maximalkraft geprüft. Die Prüfungsgeschwindigkeit betrug 2 mm/min.

Die Rollschubfestigkeit wurde anhand der maximalen Bruchkraft ermittelt.

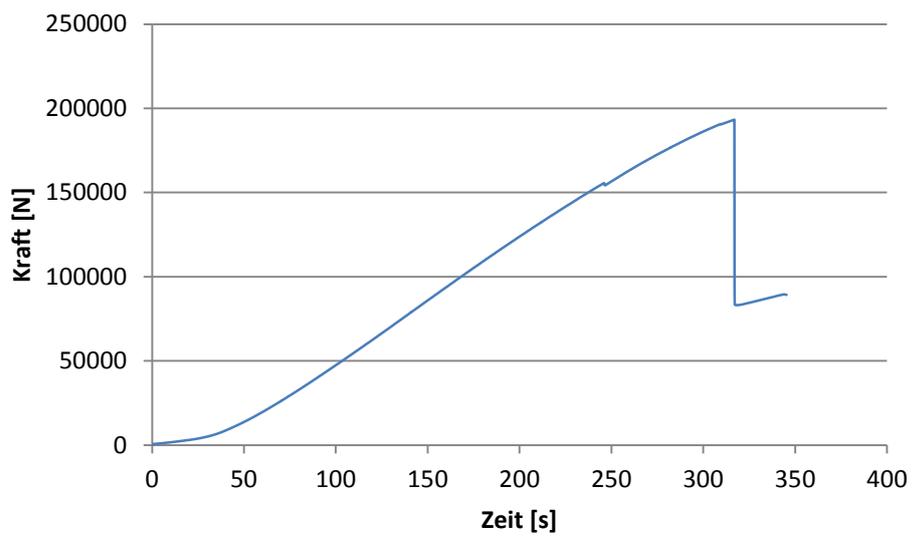


Abbildung 14: Prüfablauf der Rollschubprüfungen am Beispiel des Prüfkörpers 2 (Kraft/Zeit)

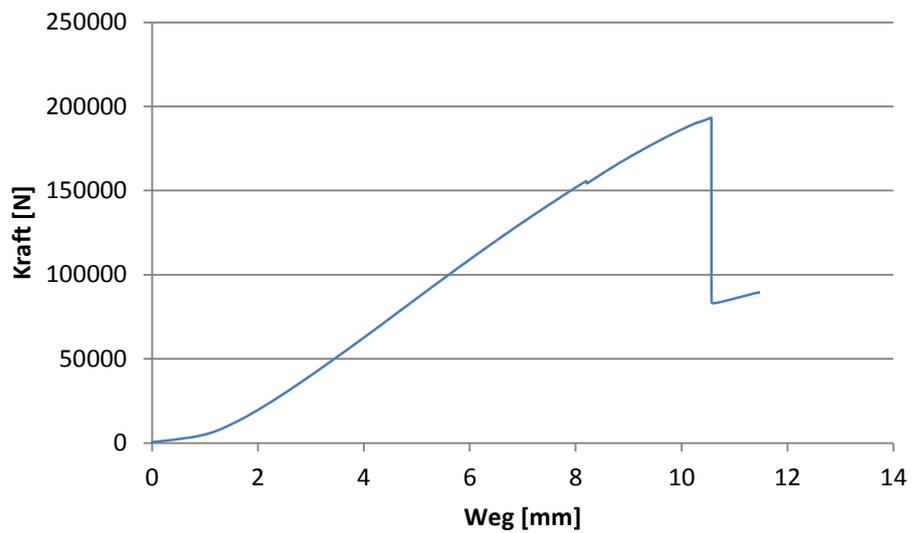


Abbildung 15: Prüfablauf der Rollschubprüfungen am Beispiel des Prüfkörpers 2 (Kraft/Weg)

## 7.7 Prüfergebnisse Rollschubprüfung

Die Formel [7] wurde für die Berechnung der Rollschubfestigkeit  $\tau_{roll}$  angesetzt.

$$\tau_{roll} = 1.5 * \frac{\frac{F_{max}}{2}}{b * h}$$

[7]

Tabelle 21: Ergebnisse Rollschubprüfung

Pk Nr	Breite	Höhe	Länge	F <sub>max</sub>	$\tau_{roll}$
	mm	mm	mm	N	N/mm <sup>2</sup>
1	307	120	858	196860	4.01
2	307	120	858	193270	3.93
3	307	120	858	199018	4.05
4	307	120	858	206446	4.20
			<b>R<sub>50</sub></b>	198899	4.05
			<b>StAbw</b>	5562	0.11
			<b>COV</b>	2.8%	2.8%
			<b>k<sub>s</sub></b>	2.46	2.46
			<b>R<sub>05</sub></b>	-	3.77



Abbildung 16: Typisches Bruchbild Rollschubprüfung Prüfkörper 1

## 8 Druck

Die Vorgaben den SN EN 408+A1:2012 dienen zur Ermittlung der Druckfestigkeit. Es wurden für jede der 3 Faserorientierung 10 Prüfkörper geprüft. Die Prüfungen wurden ohne Vorholz durchgeführt.

### 8.1 Prüfer

Die Prüfungen wurden durchgeführt von Flavien Sauser.

### 8.2 Prüfaufbau

Die Prüfkörper wurden keiner Klimatisierung unterzogen. Die Druckfestigkeit wurde gemäss Abbildung 17 bis Abbildung 19 bestimmt. Die Druckfestigkeit parallel wurde anhand der maximalen Bruchkraft ermittelt.

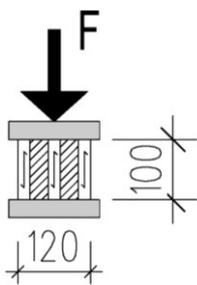


Abbildung 17: Druck in Plattenebene parallel zur Decklage

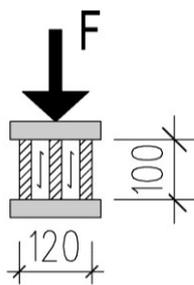


Abbildung 18: Druck in Plattenebene senkrecht zur Decklage

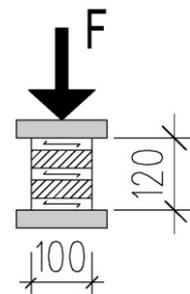


Abbildung 19: Druck senkrecht zur Plattenebene

### 8.3 Prüfmittel und Prüfhilfsmittel

Tabelle 22: Geräte und Messmittel Druckprüfung

Gerät oder Messmittel	Interne Nr.
Schenck Trebel 250 kN	36.0120

### 8.4 Vorklimatisierung

Es erfolgte keine spezielle Klimatisierung. Die Prüfkörper wurden ab Lieferung im Labor bei Raumtemperatur gelagert und geprüft.

### 8.5 Datum der Prüfungsdurchführung

Die Versuche wurden am 03. und 06.10.2014 durchgeführt.

## 8.6 Übersicht Prüfablauf

### 8.6.1 Druck in Plattenebene

Jeder Druckprüfkörper parallel zur Plattenebene wurde bis zum Erreichen der Maximalkraft geprüft. Die Prüfgeschwindigkeit betrug 0.6 mm/min.

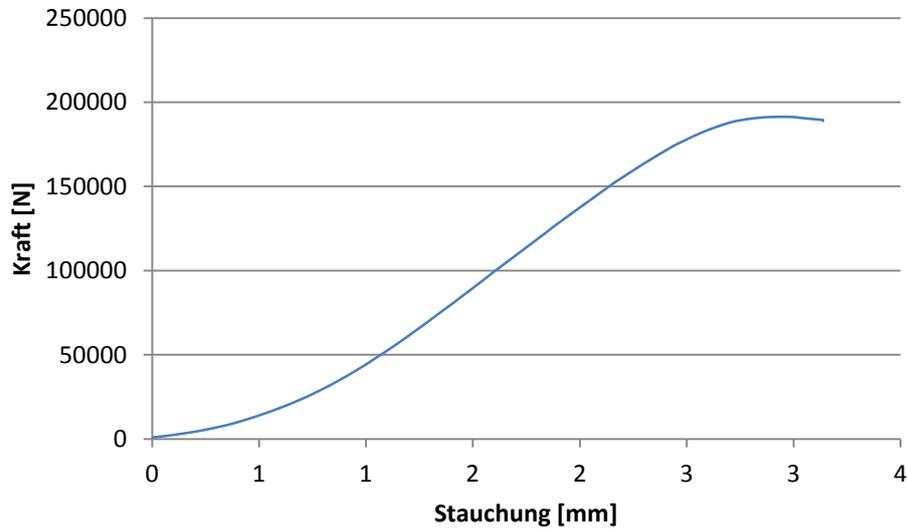


Abbildung 20: Prüfablauf Druck in Plattenebene

### 8.6.2 Druck senkrecht zur Plattenebene

Die Druckprüfkörper senkrecht zur Plattenebene wurden bis zu einer Stauchung von 7 mm geprüft. Die Prüfgeschwindigkeit betrug 1 mm/min.

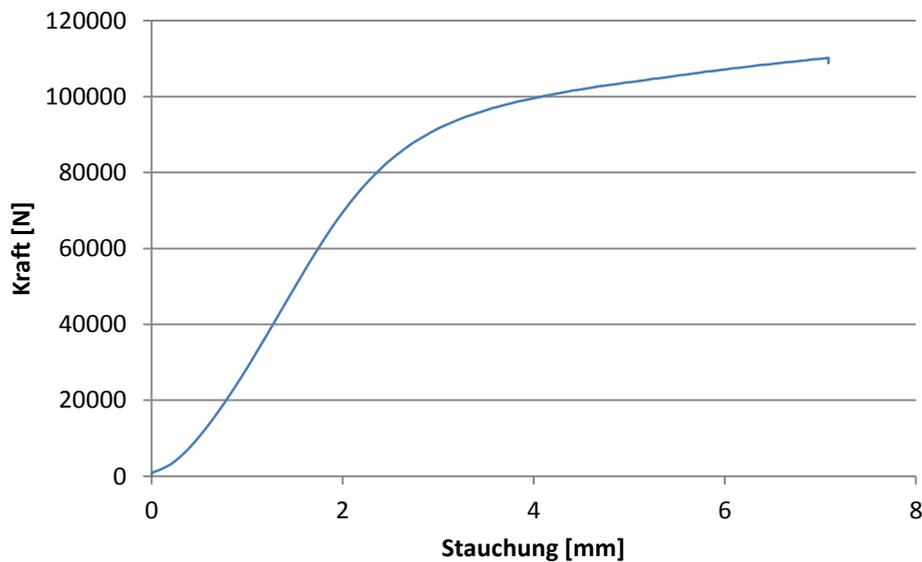


Abbildung 21: Prüfablauf Druck senkrecht zur Plattenebene

## 8.7 Prüfergebnisse Druckprüfung

Die Druckfestigkeit ( $\sigma_{c,0}$  und  $\sigma_{c,90}$ ) wurde anhand der Formeln [8] und [9] ermittelt

$$\sigma_{c,0} = \frac{F_{max}}{b * h} \quad [8]$$

$$\sigma_{c,90} = \frac{F_{max}}{b * h} \quad [9]$$

### 8.7.1 Druck in Plattenebene parallel zur Decklage

Tabelle 23: Ergebnisse Druckprüfung in Plattenebene parallel zur Decklage

Pk Nr	Breite	Höhe	Länge	Fmax	$\sigma_{c,0}$
	mm	mm	mm	N	N/mm <sup>2</sup>
1	120	50	100	191343	63.8
2	120	50	100	203175	67.7
3	120	50	100	194393	64.8
4	120	50	100	206073	68.7
5	120	50	100	217267	72.4
6	120	50	100	211750	70.6
7	120	50	100	198598	66.2
8	120	50	100	210427	70.1
9	120	50	100	213270	71.1
10	120	50	100	226439	75.5
			<b>R<sub>50</sub></b>	207273	69.1
			<b>StAbw</b>	10782	3.6
			<b>COV</b>	5 %	5.2 %
			<b>k<sub>s</sub></b>	2.1	2.1
			<b>R<sub>05</sub></b>	-	61.5

### 8.7.2 Druck in Plattenebene senkrecht zur Decklage

Tabelle 24: Ergebnisse Druckprüfung in Plattenebene senkrecht zur Decklage

Pk Nr	Breite	Höhe	Länge	$F_{max}$	$\sigma_{c,0}$
	mm	mm	mm	N	N/mm <sup>2</sup>
11	120	100	50	205782	68.6
12	120	100	50	205112	68.4
13	120	100	50	203455	67.8
14	120	100	50	207464	69.2
15	120	100	50	210372	70.1
16	120	100	50	220304	73.4
17	120	100	50	220111	73.4
18	120	100	50	227872	76.0
19	120	100	50	228971	76.3
20	120	100	50	221644	73.9
			<b>R<sub>50</sub></b>	215109	71.70
			<b>StAbw</b>	9737	3.25
			<b>COV</b>	5 %	4.5 %
			<b>k<sub>s</sub></b>	2.1	2.1
			<b>R<sub>05</sub></b>	-	64.89

### 8.7.3 Druck senkrecht zur Plattenebene

Für die Ermittlung der maximalen Druckkraft  $F_{\max}$  wurde die Vorgabe der EN 408+A1:2012 gemäss Abbildung 22 berücksichtigt.

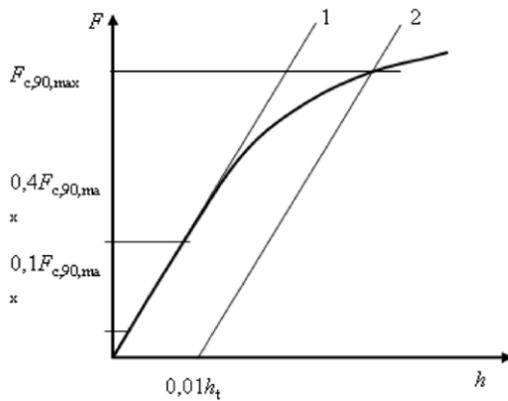


Abbildung 22 :  $F_{\max}$  Ermittlung gemäss EN 408+A1:2012

Tabelle 25: Ergebnisse Druckprüfung senkrecht zur Plattenebene

Pk Nr	Breite	Höhe	Länge	$F_{\max}$	$\sigma_{c,90}$
	mm	mm	mm	N	N/mm <sup>2</sup>
21	100	120	100	104137	10.4
22	100	120	100	104458	10.4
23	100	120	100	110648	11.1
24	100	120	100	107504	10.8
25	100	120	100	97646	9.8
26	100	120	100	100890	10.1
27	100	120	100	100529	10.1
28	100	120	100	96560	9.7
29	100	120	100	99228	9.9
30	100	120	100	99093	9.9
<b>R<sub>50</sub></b>				102069	10.2
<b>StAbw</b>				4517	0.45
<b>COV</b>				4.4 %	4.4 %
<b>k<sub>s</sub></b>				2.1	2.1
<b>R<sub>05</sub></b>				-	9.3

## 9 Delaminierung

### 9.1 Prüfer

Die Prüfungen wurden durchgeführt von Martin Lehmann.

### 9.2 Prüfaufbau

Die Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit wurde in Anlehnung an FprEN 16351:2013 (Anhang C) durchgeführt. Das Trocknungsklima wurde in Anlehnung an SN EN 14080:2013 und SN EN 302-2:2013 auf  $27.5\text{ °C} \pm 2.5\text{ °C}$  und  $30\% \text{ rF.} \pm 5\% \text{ rF.}$  geändert. Konsequenterweise wurde die Trocknungsdauer auf  $90\text{ h} \pm 6\text{ h}$  erhöht. Diese sanftere Trocknung ist in den erwähnten Normen für Produkte, welche in den Nutzungsklassen 1 und 2 eingesetzt werden, vorgesehen.

Tabelle 26: Prüfablauf bei der Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit

Vorgang	Datum
Zuschnitt der Prüfkörper	09.09.2013
Wässerung der Prüfkörper	09.09.2013
Trocknung bei $27.5\text{ °C} \pm 2.5\text{ °C}$ und $30\% \text{ rF.} \pm 5\% \text{ rF.}$	09.09.2014 bis 13.09.2014
Auswertung der Delaminierung (ohne Faserbruchanteil)	13.09.2014
Bestimmung Faserbruchanteil	17.09.2014

### 9.3 Prüfmittel und Prüfhilfsmittel

Tabelle 27: Geräte und Messmittel Delaminierung

Gerät oder Messmittel	Interne Nr.
Autoklav	36.9758
Trockenschrank	36.9757
Metallmassstab	42.9751
Blattlehre	-
Lupe x 10	-

### 9.4 Vorklimatisierung

Es erfolgte keine spezielle Klimatisierung. Die Prüfkörper wurden ab Lieferung im Labor bei Raumtemperatur gelagert und 12 Tagen nach Anlieferung geprüft.

### 9.5 Datum der Prüfungsdurchführung

Die Versuche wurden am 13.09.2014 durchgeführt.

### 9.6 Übersicht Prüfablauf

Die Prüfkörper zur Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit wurden nach dem Prüfzyklus zweimal ausgewertet. Direkt nach der Prüfung wurde die Auswertung bezüglich Fugenöffnung durchgeführt (Tabelle 28). Da die Mehrheit der Prüfkörper dieses Kriterium nicht erfüllten, wurden die Prüfkörper entlang der Fugen gespaltet und bezüglich des Faserbruchanteils ausgewertet (Tabelle 29), auch dieses Kriterium wurde von den meisten Prüfkörpern nicht erfüllt.

## 9.7 Prüfergebnisse Delaminierung

Tabelle 28: Resultate der Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit (Fugenöffnung)

Pk Nr	Fuge	Fu- gen- länge [mm]	Fugenlänge delaminiert [mm]	Fugenlänge delaminiert ≤ 40%	Fugenlänge total [mm]	Fugenlänge total delaminiert [mm]	Fugenlänge total delaminiert ≤ 10%	Anforderung FprEN 16351 erfüllt
1	1	440	0	0%	1760	239.5	14%	Nein
	2	440	111	25%				
	3	440	54.5	12%				
	4	440	74	17%				
2	1	440	5	1%	1760	31	2%	Ja
	2	440	26	6%				
	3	440	0	0%				
	4	440	0	0%				
3	1	440	51	12%	1760	295	17%	Nein
	2	440	213.5	49%				
	3	440	11.5	3%				
	4	440	19	4%				
4	1	440	244	55%	1760	747.5	42%	Nein
	2	440	118.5	27%				
	3	440	200	45%				
	4	440	185	42%				
5	1	440	14	3%	1760	451	26%	Nein
	2	440	153	35%				
	3	440	128.5	29%				
	4	440	155.5	35%				
6	1	440	20.5	5%	1760	220	13%	Nein
	2	440	59	13%				
	3	440	121	28%				
	4	440	19.5	4%				
7	1	440	7.5	2%	1760	317.5	18%	Nein
	2	440	65	15%				
	3	440	71	16%				
	4	440	174	40%				
8	1	440	12	3%	1760	161.4	9%	Ja
	2	440	59	13%				
	3	440	66.9	15%				
	4	440	23.5	5%				
9	1	440	122.5	28%	1760	201	11%	Nein
	2	440	38	9%				
	3	440	40.5	9%				
	4	440	0	0%				
10	1	440	58	13%	1760	597.5	34%	Nein
	2	440	304	69%				
	3	440	49.5	11%				
	4	440	186	42%				

Tabelle 29: Resultate der Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit (Faserbruchanteil)

#	Fuge	Holzbruch pro Fuge ≥ 50%	Holzbruch pro total ≥ 70%	Anforderung FprEN 16351 erfüllt
1	1	50%	45%	Nein
	2	50%		
	3	55%		
	4	25%		
2	1	60%	75%	Ja
	2	75%		
	3	80%		
	4	85%		
3	1	35%	56%	Nein
	2	40%		
	3	50%		
	4	100%		
4	1	25%	28%	Nein
	2	50%		
	3	10%		
	4	25%		
5	1	45%	43%	Nein
	2	40%		
	3	40%		
	4	45%		
6	1	45%	46%	Nein
	2	30%		
	3	20%		
	4	90%		
7	1	30%	31%	Nein
	2	50%		
	3	25%		
	4	20%		
8	1	10%	26%	Nein
	2	10%		
	3	40%		
	4	45%		
9	1	50%	54%	Nein
	2	75%		
	3	45%		
	4	45%		
10	1	0%	21%	Nein
	2	15%		
	3	50%		
	4	20%		

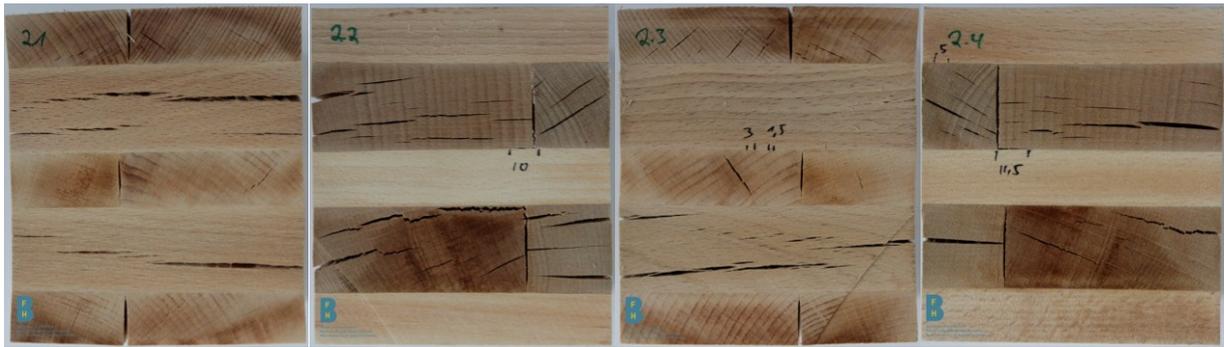


Abbildung 23: Fugenöffnung Prüfkörper 2

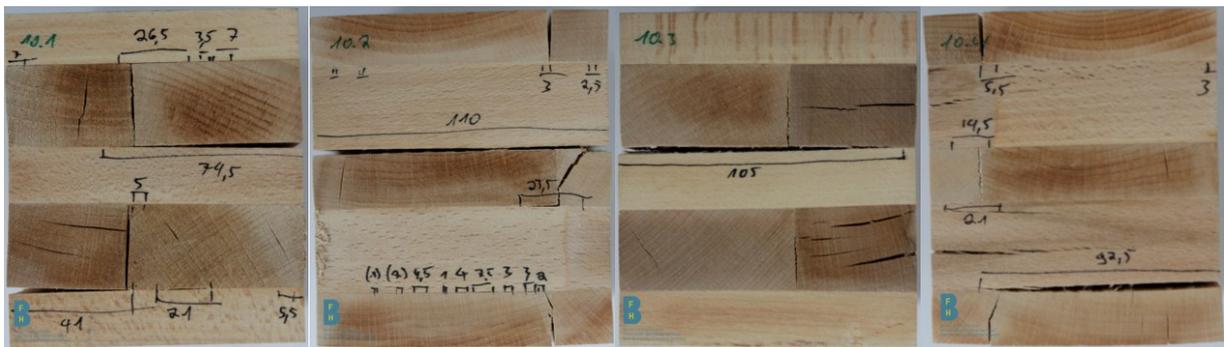


Abbildung 24: Fugenöffnung Prüfkörper 10

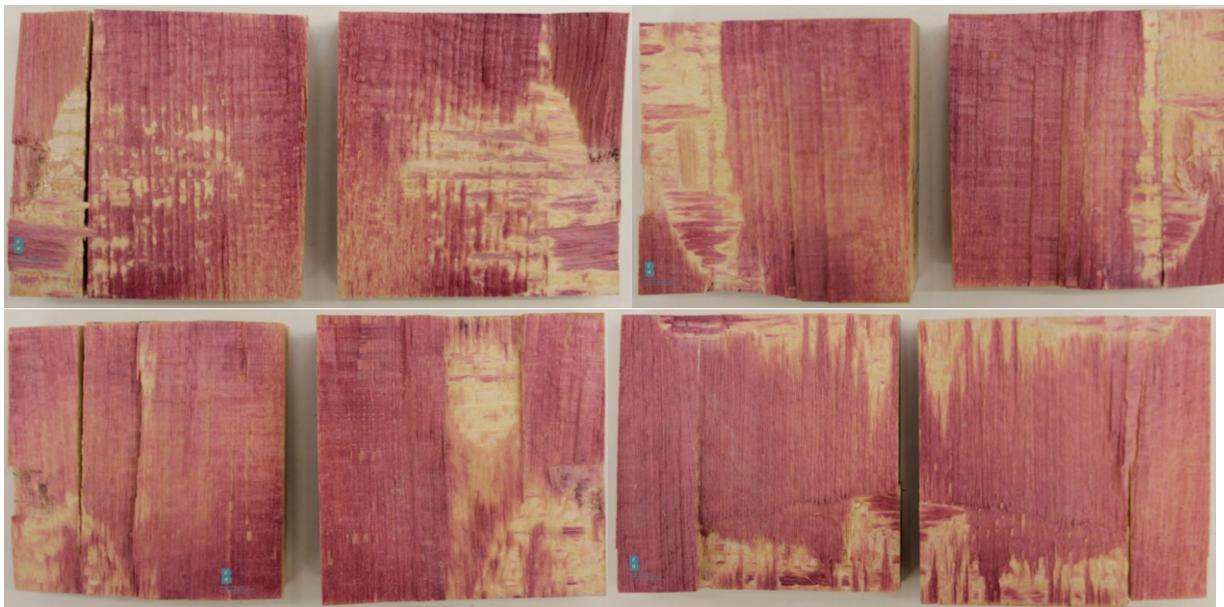


Abbildung 25: Faserbruchanteil Prüfkörper 2



Abbildung 26: Faserbruchanteil Prüfkörper 10

Die restlichen Ergebnisse der Delaminierungsversuche sind ausführlich im Prüfbericht „63DL-006670-D-01-PB-01“ aufgeführt.

## 10 Stellungnahme, Interpretationen, Kommentare, Empfehlungen

Im Rahmen der Untersuchungen konnten erste Kennwerte, die das Potential von Buche als Brettsperrholz aufzeigen, experimentell erarbeitet werden. Die Festigkeiten für Biegung, Schub, Rollschub und Druckfestigkeit liegen bis über 300 % über den vergleichbaren Festigkeiten von Fichtenbrettsperrholz. Für die Anwendung von Brettsperrholzelemente als Biegeelemente sind vor allem die Rollschubfestigkeit mit  $3.77 \text{ N/mm}^2$  sowie die Druckfestigkeit senkrecht zur Plattenebene mit  $9.3 \text{ N/mm}^2$  wichtig und liegen sehr hoch wodurch wesentlich höhere Lasten übertragen werden können.

Die vorliegenden Prüfergebnisse wurden mit Hilfe von Prüfkörpern ermittelt, welche aus einer einzelnen Platte zugeschnitten wurden und somit keine repräsentative allgemeingültige Aussage für andere Ausgangsmaterialien und Herstellungsprozesse haben. Zur Ermittlung statistisch abgesicherter Werte für Bemessungszwecke sind weitere Prüfungen mit einer grösseren Prüfkörperanzahl und unter Berücksichtigung verschiedener Platten aus dem standardisierten Produktionsprozess notwendig.

## 11 Bestimmungen zum vorliegenden Bericht

Dieser Bericht kann von Dritten (exkl. BAFU) mit Genehmigung der Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau und des Auftraggebers vervielfältigt werden (Ansprechpersonen siehe Impressum). Veröffentlichungen des Berichts oder von Teilen davon sind bei einer Zusendung von Belegexemplaren an die Berner Fachhochschule und das Auftraggebers möglich, dabei müssen bei einer Veröffentlichung von Ausschnitten aus dem Bericht Referenzen auf den Gesamtbericht mit publiziert werden.

Ein Original dieses Berichts wird für 5 Jahre aufbewahrt. Dieser Bericht ist nur mit den Unterschriften des Kompetenzbereichsleiters Holzbau und des Projektleiters gültig.

Dieser Bericht besteht aus 40 Seiten inkl. Anhang.

Dieses Projekt wurde realisiert mit Unterstützung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) im Rahmen des Aktionsplans Holz.

## 12 Verzeichnisse

### 12.1 Quellenverzeichnis

SN EN 408+A1:2012	Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften
SN EN 14080:2013	Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen
FprEN 16351:2013	Timber structures – Cross laminated timber – Requirements
63DL-006670-D-01-PB-01	Prüfung von Klebefugen in Buchen Brettspertholz

### 12.2 Tabellenverzeichnis

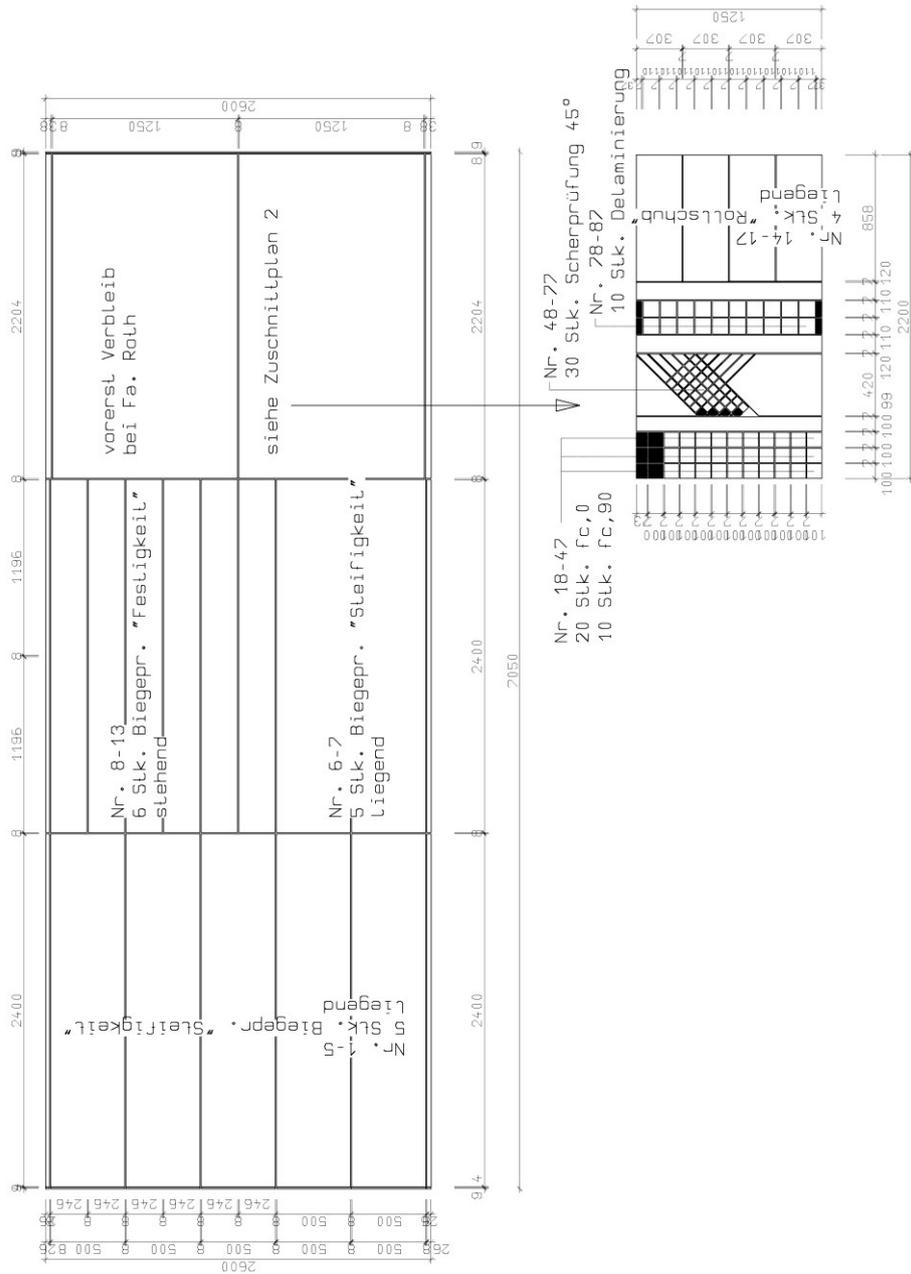
Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse	5
Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse Biegeprüfung liegend	5
Tabelle 3 : Zusammenfassung der Ergebnisse Biegeprüfung stehend	6
Tabelle 4 : Zusammenfassung der Ergebnisse Rollschubprüfung	6
Tabelle 5 : Zusammenfassung der Ergebnisse Druckprüfung in Plattenebene parallel zur Decklage	6
Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse Druckprüfung in Plattenebene senkrecht zur Decklage	6
Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse Druckprüfung senkrecht zur Plattenebene	6
Tabelle 8: Zusammenfassung der Ergebnisse Scherprüfung	6
Tabelle 9: Zusammenfassung der Ergebnisse Delaminierungsprüfung (Fugenöffnung)	7
Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse Delaminierungsprüfung (Faserbruchanteil)	7
Tabelle 11: Übersicht Zuschnitt und Nummerierung	8
Tabelle 12: $k_s$ -Faktoren nach Anzahl Prüfkörper aus EN 14358:2006	9
Tabelle 13: Geräte und Messmittel Biegeprüfung	10
Tabelle 14: Prüfablauf Steifigkeit	11
Tabelle 15: Ergebnisse Biegeprüfung liegend	13
Tabelle 16: Ergebnisse Biegeprüfung stehend	14
Tabelle 17: Geräte und Messmittel Rollschub	18
Tabelle 18: Ergebnisse Rollschubprüfung	20
Tabelle 19: Geräte und Messmittel Druckprüfung	21
Tabelle 20: Ergebnisse Druckprüfung in Plattenebene parallel zur Decklage	23
Tabelle 21: Ergebnisse Druckprüfung in Plattenebene senkrecht zur Decklage	24
Tabelle 22: Ergebnisse Druckprüfung senkrecht zur Plattenebene	25
Tabelle 23: Prüfablauf bei der Scherprüfung der Klebefugen	15
Tabelle 24: Geräte und Messmittel Scherprüfung	15
Tabelle 25: Resultate der Scherprüfung unter 45°	16
Tabelle 26: Prüfablauf bei der Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit	26
Tabelle 27: Geräte und Messmittel Delaminierung	26
Tabelle 28: Resultate der Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit (Fugenöffnung)	27
Tabelle 29 : Resultate der Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit (Faserbruchanteil)	28

### 12.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Plattenaufbau .....	8
Abbildung 2: Prüfaufbau Biegeprüfung liegend .....	9
Abbildung 3: Prüfaufbau Biegeprüfung stehend .....	10
Abbildung 4: Prüfablauf der Biegeprüfungen liegend am Beispiel des Prüfkörpers 3 (Kraft/Zeit) .....	11
Abbildung 5: Prüfablauf der Biegeprüfungen liegend am Beispiel des Prüfkörpers 3 (Kraft/Weg) .....	12
Abbildung 6: Prüfablauf der Biegeprüfungen stehend am Beispiel des Prüfkörpers 8a (Kraft/Zeit) .....	12
Abbildung 7: Prüfablauf der Biegeprüfungen stehend am Beispiel des Prüfkörpers 8a (Kraft/Weg) .....	12
Abbildung 8: Typisches Bruchbild Biegeprüfung liegend Prüfkörper 2 .....	14
Abbildung 9: Typisches Bruchbild Biegeprüfung stehend Prüfkörper 8a .....	14
Abbildung 10: Prüfaufbau Rollschubfestigkeit .....	18
Abbildung 11: Prüfablauf der Rollschubprüfungen am Beispiel des Prüfkörpers 2 (Kraft/Zeit) .....	19
Abbildung 12: Prüfablauf der Rollschubprüfungen am Beispiel des Prüfkörpers 2 (Kraft/Weg) .....	19
Abbildung 13: Typische Bruchbild Rollschubprüfung Prüfkörper 1 .....	20
Abbildung 14: Druck in Plattenebene parallel zur Decklage .....	21
Abbildung 15: Druck in Plattenebene senkrecht zur Decklage .....	21
Abbildung 16: Druck senkrecht zur Plattenebene .....	21
Abbildung 17: Prüfablauf Druck in Plattenebene .....	22
Abbildung 18: Prüfablauf Druck senkrecht zur Plattenebene .....	22
Abbildung 19 : $F_{max}$ Ermittlung gemäss EN 408+A1:2012 .....	25
Abbildung 20: Schematische Darstellung des Zuschnittes der Scherprüfkörper .....	15
Abbildung 21: Faserbruchanteil Prüfkörper 4, Fuge 3 .....	17
Abbildung 22: Faserbruchanteil Prüfkörper 5, Fuge 1 .....	17
Abbildung 23: Fugenöffnung Prüfkörper 2 .....	29
Abbildung 24: Fugenöffnung Prüfkörper 10 .....	29
Abbildung 25: Faserbruchanteil Prüfkörper 2 .....	29
Abbildung 26: Faserbruchanteil Prüfkörper 10 .....	30
Abbildung 27: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 1 .....	34
Abbildung 28: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 2 .....	34
Abbildung 29: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 3 .....	34
Abbildung 30: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 4 .....	35
Abbildung 31: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 5 .....	35
Abbildung 32: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 6 .....	35
Abbildung 33: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 7 .....	36
Abbildung 34: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 8a .....	37
Abbildung 35: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 8b .....	37
Abbildung 36: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 9a .....	37
Abbildung 37: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 9b .....	38
Abbildung 38: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 10a .....	38
Abbildung 39: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 10b .....	38
Abbildung 40: Prüfungsaufbau Rollschub .....	39
Abbildung 41: Bruchbild Rollschub .....	39
Abbildung 42: Prüfungsaufbau Druck in Plattenebene parallel zur Decklage .....	39
Abbildung 43: Prüfungsaufbau Druck in Plattenebene senkrecht zur Decklage .....	39
Abbildung 44: Prüfungsaufbau Druck senkrecht zur Plattenebene .....	40

## Anhang A: Zuschnittplan

alle Querschnitte sind vor Prüfbeginn zu kontrollieren!



## Anhang B: Bruchbilder Biegeprüfung



Abbildung 27: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 1

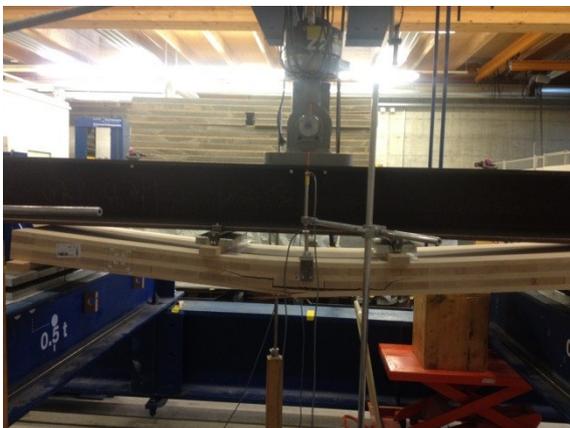


Abbildung 28: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 2



Abbildung 29: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 3

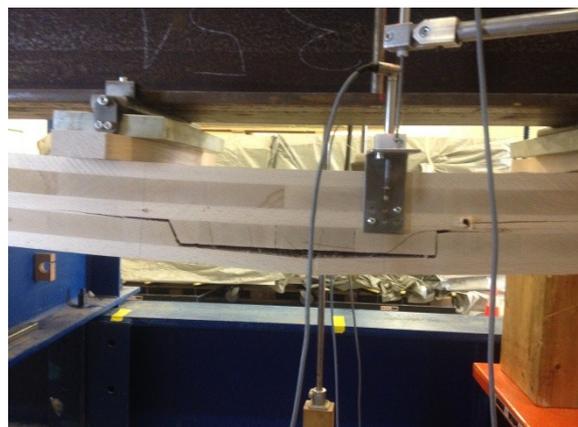




Abbildung 30: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 4



Abbildung 31: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 5



Abbildung 32: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 6





Abbildung 33: Bruchbild Steifigkeitsprüfung Prüfkörper 7



Abbildung 34: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 8a

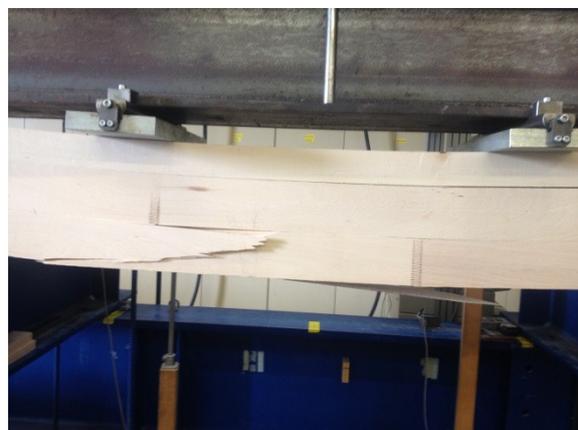


Abbildung 35: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 8b



Abbildung 36: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 9a

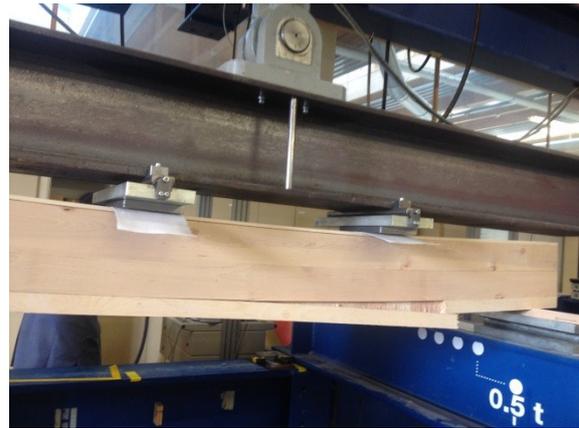


Abbildung 37: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 9b



Abbildung 38: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 10a



Abbildung 39: Bruchbild Biegefestigkeitsprüfung Prüfkörper 10b

## Anhang C: Bilder Rollschubprüfung



Abbildung 40: Prüfungsaufbau Rollschub



Abbildung 41: Bruchbild Rollschub

## Anhang D: Bilder Druckprüfung



Abbildung 42: Prüfungsaufbau Druck in Plattenebene parallel zur Decklage

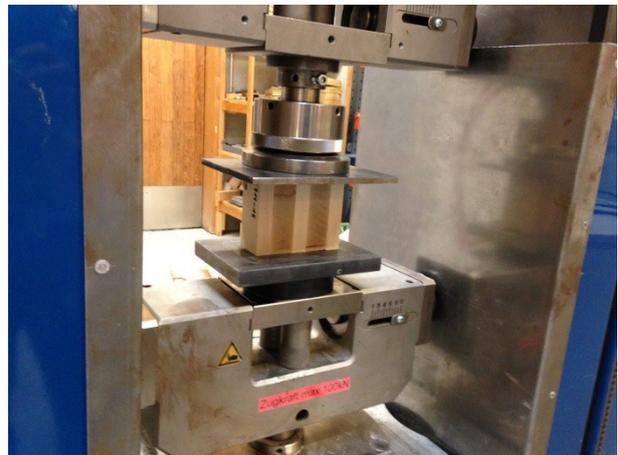


Abbildung 43: Prüfungsaufbau Druck in Plattenebene senkrecht zur Decklage



Abbildung 44: Prüfungsaufbau Druck senkrecht zur Plattenebene