

lignum

study research engineering test center

Lignum Test Center (LTC)

An
Schilcher Trading & Engineering GmbH
z.H. Herrn Sepp Schilcher
Lamnitz 8
9833 Rangersdorf

Laborleitung
Univ.-Prof. DI. Dr.techn.
Gerhard Schickhofer
Inffeldgasse 24/I
A-8010 Graz

Tel.: +43(316)873-4600
Fax: +43(316)873-104600

ltc@tugraz.at
www.tugraz.at
www.lignum.at

DVR: 008 1833

UID: ATU 574 77 929

Graz, am 09.12.2019

PRÜFBERICHT

NR. PB19-484-1-01

PRÜFUNGEN ZUR BESTIMMUNG DER MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN VON X-FIX-C-VERBINDERN ZUR FÜGUNG VON BSP-ELEMENTEN UNTEREINANDER SOWIE MIT UND VON STABFÖRMIGEN BAUTEILEN AUS BSH UND HOLZWERKSTOFFEN

Auftragsnummer: PA19-484-1

Auftraggeber: Schilcher Trading & Engineering GmbH, 9833 Rangersdorf

Kontaktperson: Sepp Schilcher

Auftragsdatum: 31.07.2019

Prüfdatum: 20.-21.08.2019 und 28.-29.08.2019

Probeneingangsdatum: 09.07.2019 und 17.07.2019

Textseiten gesamt: 31/ davon Bericht: 16, Anlage: 15

Soweit das Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet, falls nicht längere Aufbewahrung beantragt wird.

Dieser Prüfbericht darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung der Leitung des Lignum Test Centers bzw. des Zeichnungsberechtigten. Prüfberichte ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	4
2	Material	4
3	Prüfprogramm	4
3.1	Prüfkörperbezeichnung	4
3.2	Prüfdaten.....	4
3.2.1	Anzahl der Prüfungen	4
3.2.2	Prüfkörpergeometrie	4
3.2.3	Bestimmung der Holzfeuchtigkeit der Prüfkörper	4
3.2.4	Bestimmung der Rohdichte der Prüfkörper	5
3.3	Prüfkonfiguration, -durchführung und Auswertung	5
3.3.1	Allgemeines.....	5
3.3.2	Belastungshysterese.....	5
3.3.3	Prüfaufbau.....	6
3.3.4	Verformungsmessung.....	6
3.3.5	Prüfauswertung	6
4	Prüfergebnisse	7
4.1	Allgemeines	7
4.2	Zugprüfungen.....	7
4.2.1	Holzfeuchte und Rohdichte der Brettschichtholz Prüfkörper	7
4.2.2	maximale Bruchlasten und Versagensformen der Brettschichtholz Prüfkörper	8
4.2.3	Holzfeuchte und Rohdichte der BauBuche Prüfkörper	9
4.2.4	maximale Bruchlasten und Versagensformen der BauBuche Prüfkörper	9
4.3	Schubprüfungen	11
4.3.1	Holzfeuchte und Rohdichte der Prüfkörper mit Stützen aus Brettschichtholz	11
4.3.2	maximale Bruchlasten und Versagensformen der Prüfkörper mit Stützen aus Brettschichtholz.....	11
4.3.3	Holzfeuchte und Rohdichte der Prüfkörper mit Stützen aus BauBuche	13
4.3.4	maximale Bruchlasten und Versagensformen der Prüfkörper mit Stützen aus BauBuche ...	13
5	Zusammenfassung	15
6	Normenverzeichnis und Quellenangaben	16
A	Anhang A – Prüfkonfigurationen	17
A-1.	Zugprüfungen	17
A-2.	Schubprüfungen	18
B	Anhang B – Kraft-Weg-Diagramme	20
B-1.	Zugprüfungen	20
B-2.	Schubprüfungen	22
C	Anhang C – Bruchbilder	24
C-1.	Zugprüfungen BSH.....	24
C-2.	Zugprüfungen BB	26
C-3.	Schubprüfungen BSH-BSP	28

09.12.2019	Lignum Test Center	Seite 3 von 31
 Graz University of Technology	<p style="text-align: center;">PRÜFBERICHT Nr. PB19-484-1-01</p>	 study research engineering test center

C-4. Schubprüfungen BB-BSP30

09.12.2019	Lignum Test Center	Seite 4 von 31
 Graz University of Technology	PRÜFBERICHT Nr. PB19-484-1-01	 study research engineering test center

1 Allgemeines

Herr Sepp Schilcher (im Folgenden kurz Auftraggeber (AG)) beauftragte das Lignum Test Center an der Technischen Universität Graz, Institut für Holzbau und Holztechnologie, mit der Durchführung von Prüfungen zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von X-Fix-C-Verbindern in Kombination mit BSP-Elementen bzw. stabförmigen Bauteilen aus BSH und Holzwerkstoffen gemäß ÖNORM EN 26891 [1]. Die Auswertung erfolgte nach den Festlegungen in ÖNORM EN 14358:2007 [2].

2 Material

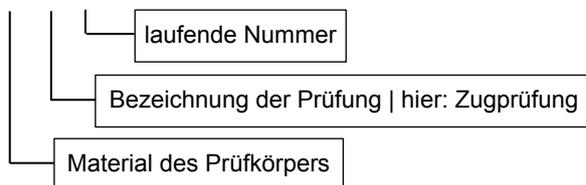
Für die Zugprüfkörper wurde Brettschichtholz (BSH) der Festigkeitsklasse GL24h [3] bzw. BauBuche (BB) der Fa. Pollmeier [4] verwendet. Bei den Schubprüfkörpern kam zusätzlich Brettsperrholz (BSP) nach ETA-12/0281 [5] zum Einsatz. Sämtliche Prüfkörperteile wurden vom Auftraggeber bereitgestellt.

3 Prüfprogramm

3.1 Prüfkörperbezeichnung

Die Prüfkörper wurden mit dem Kürzel BSH bzw. BB für Brettschichtholz bzw. BauBuche, gefolgt von der Prüfungsart (Zugprüfung Z und Schubprüfung S) sowie der laufenden Prüfkörpernummer (01, 02, ...) gekennzeichnet. Exemplarisch wird nachfolgend die Bezeichnung des ersten Prüfkörpers der Zugprüfungen an BSH erläutert:

BSH-Z-01



3.2 Prüfdaten

3.2.1 Anzahl der Prüfungen

Für die Prüfserien wurden je Material (BSH, BB) fünf Zug- und fünf Schubprüfungen an X-Fix-C Verbindern durchgeführt. Der Prüfungsumfang umfasste insgesamt 20 Tests.

3.2.2 Prüfkörpergeometrie

Die Maße der Prüfkörper wurden mit einer Fehlertoleranz von 1 % gemessen. Alle Messungen wurden direkt vor der Prüfung durchgeführt. Die Maße des Querschnitts (Länge, Breite und Dicke) wurden als Mittel aus zwei Einzelmessungen an jedem Prüfkörper ermittelt.

3.2.3 Bestimmung der Holzfeuchtigkeit der Prüfkörper

Die Ermittlung der Holzfeuchte erfolgte nach ÖNORM ISO 3130:1994 [7] an Proben, welche nach Prüfdurchführung aus dem ungestörten Bereich der Prüfkörper entnommen wurden. Ihre Abmessungen entsprachen dabei rund 200 x 120 x 25 mm.

09.12.2019	Lignum Test Center	Seite 5 von 31
 TU Graz Graz University of Technology	PRÜFBERICHT Nr. PB19-484-1-01	 lignum study research engineering test center

Die Holzfeuchte wurde mit nachfolgender Gleichung ermittelt

$$u = \frac{m_u - m_o}{m_o} \cdot 100 . \quad (1)$$

mit: $u...$ Holzfeuchte [%]
 $m_u...$ Masse bei Holzfeuchte u [g]
 $m_o...$ Masse bei darr trockenem Zustand [g]

3.2.4 Bestimmung der Rohdichte der Prüfkörper

Die Ermittlung der Rohdichte wurde im Rahmen der zuvor beschriebenen Bestimmung der Holzfeuchtigkeit in Anlehnung an ÖNORM EN 408 [6] sowie ÖNORM ISO 3130 [7] mit der nachfolgenden Gleichung durchgeführt

$$\rho_u = \frac{m_u}{V_u} . \quad (2)$$

mit: $\rho_u...$ Rohdichte bei Holzfeuchte u [kg/m³]
 $m_u...$ Masse bei Holzfeuchte u [kg]
 $V_u...$ Volumen bei Holzfeuchte u [m³]

Im Zuge der Prüfauswertung erfolgte keine Rohdichtekorrektur auf eine Referenzholzfeuchte von $u_{ref} = 12$ % gemäß ON EN 384:2016 [8].

3.3 Prüfkfiguration, -durchführung und Auswertung

3.3.1 Allgemeines

Sämtliche Prüfungen wurden auf der Universalprüfmaschine Zwick Universal 275 (lignum_uni_275) des Instituts für Holzbau und Holztechnologie an der Technischen Universität Graz durchgeführt. Die Lastaufbringung kann dabei stufenlos kraft- bzw. lagegeregt bis zu einer maximalen Kraft von 275 kN erfolgen. Die Fehlergrenze der Kraftmessung liegt unter 1 %. Zur lokalen Verformungsmessung kamen Wegaufnehmer der Fa. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (HBM) mit einem Messbereich von 10 mm zum Einsatz, welche an einem HBM Messverstärker des Typs QuantumX MX840A angeschlossen waren. Die Messdatenaufzeichnung erfolgte mit der Software HBM catman Easy.

Die Prüfungen der insgesamt 20 Prüfkörper fanden am 20. und 21. August 2019 (Zugprüfungen) bzw. am 28. und 29. August 2019 (Schubprüfungen) statt.

3.3.2 Belastungshysterese

Die quasi statischen Prüfungen zur Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit der untersuchten X-Fix-C Verbinder erfolgten in Anlehnung an ÖNORM EN 26891:1991 [1].

Alle Prüfungen wurden mit einer Hystereseschleife durchgeführt. Dazu wurde die Last zunächst kraftgesteuert auf 40 % der vorher geschätzten Bruchlast (F_{est}) gesteigert und dort für 15 s konstant gehalten. Danach erfolgte eine Lastabsenkung auf $0,1 \cdot F_{est}$ und ein erneutes Halten auf diesem Niveau für weitere 15 s. Im Anschluss wurde die Last bis zum Versagen der Prüfkörper bzw. der Verbindungsmittel erhöht (vgl. Abbildung 1). Die Ansteuerung des Prüfzylinders erfolgte am Wiederbelastungsast bis zu $0,4 \cdot F_{est}$ kraftgesteuert und danach lagegeregt. Die Prüfgeschwindigkeit wurde dabei so angepasst, dass die Prüfzeit bis zum Erreichen der Maximalkraft bzw. einer globalen Verformung von 15 mm zwischen 600 s und 900 s lag.

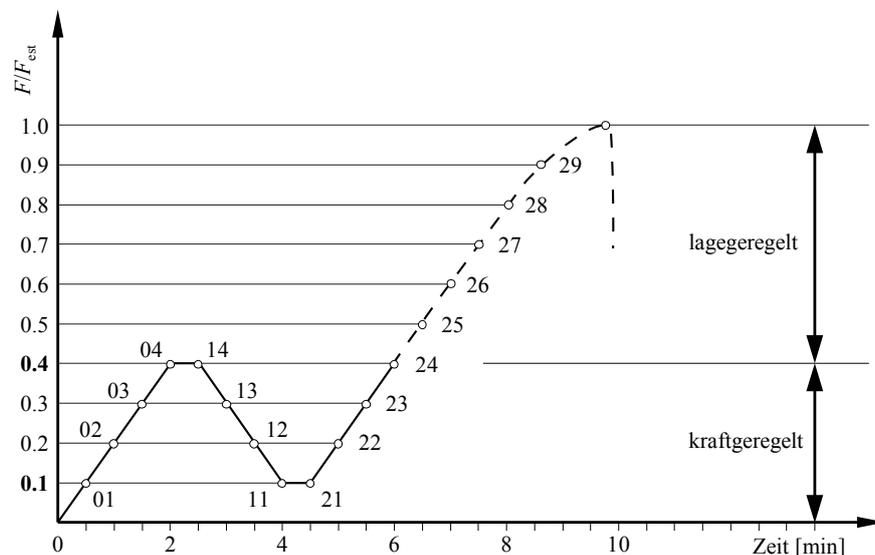


Abbildung 1 Belastungsprotokoll der quasi-statischen Prüfungen nach ÖNORM EN 26891 [1]

3.3.3 Prüfaufbau

▪ Zugprüfungen

Bei den Zugprüfungen wurden je zwei Einzelteile aus Brettschichtholz bzw. BauBuche durch X-Fix-C Verbinder miteinander verbunden und anschließend einer Zugbeanspruchung unterzogen. Die Fräsungen mit einer Tiefe von 105 mm ermöglichten eine mittige Anordnung der Verbinder und somit eine zentrische Beanspruchung des gesamten Prüfkörpers inkl. des Verbindungsmittels (siehe Abbildung 2). Zur Lastaufbringung wurden zwei Stahlteile mit je 6 Stück Holzbau Vollgewindeschrauben $\varnothing 8 \times 120$ mm an den Prüfkörperteilen befestigt (vgl. Abbildung 3).

▪ Schubprüfungen

Zur Simulation eines Wand-Stützenanschlusses wurden Brettsperrholzelemente (Prüfkörpermitelteil) durch je drei Stück X-Fix-C Verbinder mit zwei Prüfkörperseitenteilen aus Brettschichtholz GL24h bzw. BauBuche GL75 verbunden. Zur Minimierung der Reibung wurden die Kontaktflächen der Scherfugen beidseitig abgeklebt und vor dem Zusammenbau mit einem PTFE-Spray behandelt (siehe Abbildung 8). Die Prüfkfiguration (Prüfkörperabmessungen, Anordnung der Verbindungsmittel) kann Abbildung 5 entnommen werden. Die Prüfkraft (Druck) wurde über ein Stahlteil in die Prüfkörpermitelteilteile eingeleitet (siehe Abbildung 6).

3.3.4 Verformungsmessung

Die globale Wegmessung erfolgte über den Zylinderweg der Prüfmaschine. Um die relativen Verformungen der beiden Prüfkörperteile zu ermitteln, wurden zusätzlich an allen vier Ecken der Verbindungsfuge (Zugprüfungen) bzw. an den Scherfugen (Schubprüfungen) Wegaufnehmer (lokale Wegmessung) angebracht (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 7).

3.3.5 Prüfauswertung

Sämtliche Steifigkeitsangaben wurden nach ÖNORM EN 26891:1991 [1] am ersten Belastungsast zwischen rund 10 % und 40 % der vorab geschätzten Maximallast ausgewertet. Bei den Zugprüfungen wurde dazu der Mittelwert aus den Messergebnissen aller vier Wegaufnehmer gebildet. Zur Auswertung

der Schubprüfungen wurden die Mittelwerte der beiden Wegaufnehmer (Vorder- und Rückseite des Prüfkörpers) je Scherfuge (West und Ost) herangezogen.

Die Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeiten erfolgte nach ÖNORM EN 14358 [2]. Die geringen Rohdichtestreuungen wurden durch Anwendung der Technischen Richtlinie EOTA TR 16 [9] korrigiert.

4 Prüfergebnisse

4.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Prüfergebnisse der Zug- und Schubprüfungen in zusammengefasster Form dargestellt und beschrieben. Detaillierte Angaben zu den einzelnen Prüfungen, inklusive der zugehörigen Prüfdiagramme und Bruchbilder finden sich in Anhang A bis Anhang C.

4.2 Zugprüfungen

4.2.1 Holzfeuchte und Rohdichte der Brettschichtholz Prüfkörper

Von jedem Prüfkörperteil wurden Proben zur Bestimmung der Holzfeuchte und Rohdichte entnommen. Zum Zeitpunkt der Prüfung wiesen die Brettschichtholzteile eine mittlere Holzfeuchte u_{mean} von rund 11,5 %, bei einem Variationskoeffizienten $\text{CoV} = 1,95$ %, auf. Die zugehörige mittlere Rohdichte wurde mit $\rho_{u,\text{mean}} = 466 \text{ kg/m}^3$ ($\text{CoV} = 6,18$ %) ermittelt. Die einzelnen Zahlenwerte der Holzfeuchte und Rohdichte je Prüfkörper können Tabelle 1 entnommen werden.

Anmerkung: Prüfkörper BSH-Z-03 wurde bei der folgenden Auswertung aufgrund von starker Vorschädigung beim Einbringen des Verbinders nicht berücksichtigt.

Tabelle 1 Rohdichte- und Holzfeuchtwerte der Prüfkörperteile aus Brettschichtholz

	Holzfeuchte		Rohdichte	
	unten	oben	unten	oben
Bezeichnung	u_u [%]	u_o [%]	ρ_u [kg/m ³]	ρ_o [kg/m ³]
BSH-Z-01	11,9	11,7	495	472
BSH-Z-02	11,6	11,4	447	411
BSH-Z-03	(11,3)	(11,5)	(462)	(426)
BSH-Z-04	11,4	11,5	500	468
BSH-Z-05	11,4	11,2	482	455
Anzahl	8		8	
Max	11,9		500	
Min	11,2		411	
Mittelwert	11,5		466	
Standardabw.	0,225		28,8	
CoV [%]	1,95		6,18	

4.2.2 maximale Bruchlasten und Versagensformen der Brettschichtholz Prüfkörper

Anmerkung: Prüfkörper BSH-Z-03 wurde bei der folgenden Auswertung aufgrund von starker Vorschädigung beim Einbringen des Verbinders nicht berücksichtigt.

Das in ÖNORM EN 26891 [1] geforderte Zeitfenster von 600 s bis 900 s, gemessen vom Prüfbeginn bis zum Versagen des Prüfkörpers, wurde nur bei Prüfkörper BSH-Z-02 (683 s) eingehalten. Bei den Prüfkörpern BSH-Z-01, BSH-Z-04 und BSH-Z-05 wurde die Prüfdauer mit 548 s, 523 s und 417 s unterschritten sowie bei Prüfkörper BSH-Z-03 mit 1110 s überschritten.

Der Mittelwert der Bruchlasten betrug $F_{\max, \text{mean}} = 15,9$ kN, bei einem Variationskoeffizienten $\text{CoV} = 17,6$ % (siehe Tabelle 2). Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit wurde nach ÖNORM EN 14358 [2] berechnet und betrug $R_k = 9,47$ kN. Die mittlere Verformung aller ausgewerteten Prüfkörper wurde bei Erreichen der maximalen Prüfkraft mit 2,18 mm, bei einem Variationskoeffizienten von 24,0 %, ermittelt (vgl. Tabelle 2). Sämtliche Verbindungssteifigkeiten wurden am ersten Belastungsast zwischen rund 10 % und 40 % der abgeschätzten Maximallast ausgewertet. Die Steifigkeit pro Verbinder kann im Mittel mit $K_{\text{ser}} = 29,5$ kN/mm, bei einem Variationskoeffizienten von 10,0 %, angegeben werden (siehe Tabelle 2).

Versagensformen

Bei allen Prüfkörpern konnte ein Querzugversagen in den Brettschichtholzteilen beobachtet werden. Das Risswachstum ging dabei von den ausgerundeten Ecken der X-Fix-C Fräsung aus. Das Einschlagen der Verbindungskeile führte, mit Ausnahme von Prüfkörper BSH-Z-03, welcher bereits eine starke Vorschädigung aufwies, zu leichten Rissbildungen in den Brettschichtholzteilen. Ein Versagen der Verbindungskeile konnte bei dieser Prüfserie nicht festgestellt werden.

Tabelle 2 Zugprüfungen Brettschichtholz: maximale Bruchlasten F_{\max} und Verbindungssteifigkeiten

Prüfserie	PA19-484-1 X-Fix-C Zugprüfungen BSH		
Bezeichnung	maximale Kraft	Verformung bei F_{\max}	Verbindungssteifigkeit
			lokal 1. Ast (10-40 %)
	F_{\max} [kN]	u_{global} [mm]	[kN/mm]
BSH-Z-01	18,2	2,04	32,0
BSH-Z-02	17,7	2,95	25,9
BSH-Z-03	(14,1)	(6,09)	(15,0)
BSH-Z-04	15,9	1,86	31,7
BSH-Z-05	12,0	1,86	28,1
Anzahl	4	4	4
Max	18,2	2,95	32,0
Min	12,0	1,86	25,9
Mittelwert	15,9	2,18	29,5
Standardabw.	2,79	0,521	2,95
CoV [%]	17,6	24,0	10,0
Faktor k_s	2,681		
R_k nach EN 14358	9,47		
R_k nach EN 14358+TR016	9,09		

4.2.3 Holzfeuchte und Rohdichte der BauBuche Prüfkörper

Für die Prüferserie mit BauBuche kann zum Zeitpunkt der Prüfung eine mittlere Holzfeuchte u_{mean} von rund 5,79 %, bei einem Variationskoeffizienten $\text{CoV} = 1,85 \%$ angegeben werden. Die Prüfkörperteile wiesen bei dieser Holzfeuchte eine mittlere Rohdichte von $\rho_{u,\text{mean}} = 838 \text{ kg/m}^3$ ($\text{CoV} = 2,23 \%$) auf. Die zugehörigen Zahlenwerte sind in Tabelle 3 angeführt.

Tabelle 3 Rohdichte- und Holzfeuchtwerte der Prüfkörperteile aus BauBuche

	Holzfeuchte		Rohdichte	
	unten	oben	unten	oben
Bezeichnung	u_u [%]	u_o [%]	ρ_u [kg/m ³]	ρ_o [kg/m ³]
BB-Z-01	5,72	5,88	821	817
BB-Z-02	5,79	5,83	825	842
BB-Z-03	5,80	5,60	825	838
BB-Z-04	5,89	5,82	844	833
BB-Z-05	5,64	5,94	876	862
Anzahl	10		10	
Max	5,94		876	
Min	5,60		817	
Mittelwert	5,79		838	
Standardabw.	0,107		18,7	
CoV [%]	1,85		2,23	

4.2.4 maximale Bruchlasten und Versagensformen der BauBuche Prüfkörper

Die geforderte Mindestprüfdauer von 600 s [1] wurde bei Prüfkörper BB-Z-02 mit 588 s geringfügig unterschritten. Alle anderen Prüfungen lagen im geforderten Zeitfenster von 600 s bis 900 s, gemessen vom Prüfbeginn bis zum Versagen des Prüfkörpers.

Für die Zugprüfungen mit BauBuche kann der Mittelwert der Bruchlasten mit $F_{\text{max,mean}} = 32,3 \text{ kN}$, bei einem Variationskoeffizienten von $\text{CoV} = 2,44 \%$ angegeben werden. Die charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung wurde nach ÖNORM EN 14358 [2] berechnet und beträgt $R_k = 28,5 \text{ kN}$.

Bei Auftreten der mittleren maximalen Last konnte eine Verformung von 4,12 mm ermittelt werden. Der zugehörige Variationskoeffizient liegt bei 9,91 %.

Die mittlere Steifigkeit der Verbindung ergibt sich zu $K_{\text{ser}} = 39,7 \text{ kN/mm}$ bei einem Variationskoeffizienten von 20,5 % (vgl. Tabelle 4).

Versagensformen

Anders als bei den Zugprüfungen mit Brettschichtholz, kam es bei dieser Prüferserie bei allen Prüfkörpern zu einem Versagen der Verbindungskeile auf Rollschub. Bei weiterer Laststeigerung und damit verbundener Verformungszunahme konnten bei einigen Prüfkörpern Querschnittsrisse in den BauBuche-Teilen beobachtet werden (siehe Abbildung 19 und Abbildung 20).

Tabelle 4 Zugprüfungen BauBuche: maximale Bruchlasten F_{max} und Verbindungssteifigkeiten

Prüfserie	PA19-484-1 X-Fix-C Zugprüfungen BB		
Bezeichnung	maximale Kraft	Verformung bei F_{max}	Verbindungssteifigkeit
	F_{max} [kN]	U_{global} [mm]	lokal 1. Ast (10-40 %) [kN/mm]
BB-Z-01	33,1	4,75	33,8
BB-Z-02	31,7	3,94	41,3
BB-Z-03	32,9	3,63	53,3
BB-Z-04	31,2	4,13	36,1
BB-Z-05	32,5	4,13	34,1
Anzahl	5	5	5
Max	33,1	4,75	53,3
Min	31,2	3,63	33,8
Mittelwert	32,3	4,12	39,7
Standardabw.	0,786	0,408	8,14
CoV [%]	2,44	9,91	20,5
Faktor k_s	2,463		
R_k nach EN 14358	28,5		
R_k nach EN 14358+TR016	26,1		

4.3 Schubprüfungen

4.3.1 Holzfeuchte und Rohdichte der Prüfkörper mit Stützen aus Brettschichtholz

Die Brettschichtholzteile (Stützen) wiesen bei der Prüfung mittlere Holzfeuchten von $u_{\text{mean,BSH}} = 12,0 \%$ bzw. $11,8 \%$, bei Variationskoeffizienten von $\text{CoV} = 1,06 \%$ bzw. $2,33 \%$, auf. Für die Rohdichten können Mittelwerte von 409 kg/m^3 ($\text{CoV} = 1,32 \%$) und 430 kg/m^3 ($\text{CoV} = 6,73 \%$) angegeben werden.

Für die Brettsperrholzteile (Wände) konnte der Mittelwert der Holzfeuchte mit $u_{\text{mean,BSP}} = 10,9 \%$ bestimmt werden. Der zugehörige Variationskoeffizient CoV lag bei $1,11 \%$. Die mittleren Prüfkörperteile hatten eine Rohdichte von $\rho_{u,\text{mean}} = 460 \text{ kg/m}^3$ bei einem Variationskoeffizienten von $2,16 \%$.

Die einzelnen Zahlenwerte der Holzfeuchte und Rohdichte sind in Tabelle 5 angeführt.

Tabelle 5 Rohdichte- und Holzfeuchtwerte der Schubprüfkörper BSH-BSP

	Holzfeuchte			Rohdichte		
	Teil West (BSH)	mittlerer Teil (BSP)	Teil Ost (BSH)	Teil West (BSH)	mittlerer Teil (BSP)	Teil Ost (BSH)
	u_w [%]	u_M [%]	u_o [%]	ρ_w [kg/m ³]	ρ_M [kg/m ³]	ρ_o [kg/m ³]
BSH-S-01	11,9	10,9	11,8	403	461	405
BSH-S-02	11,9	11,0	11,8	408	450	409
BSH-S-03	12,2	10,9	11,9	411	465	415
BSH-S-04	11,9	10,8	11,3	417	451	450
BSH-S-05	12,1	11,1	12,0	406	473	471
Anzahl	5	5	5	5	5	5
Max	12,2	11,1	12,0	417	473	471
Min	11,9	10,8	11,3	403	450	405
Mittelwert	12,0	10,9	11,8	409	460	430
Standardabw.	0,127	0,122	0,275	5,39	9,94	28,9
CoV [%]	1,06	1,11	2,33	1,32	2,16	6,73

4.3.2 maximale Bruchlasten und Versagensformen der Prüfkörper mit Stützen aus Brettschichtholz

Anmerkung: Laut ON EN 26891 [1] dürfen Prüfungen, sofern bis dahin kein Versagen eingetreten ist, nach Erreichen einer (globalen) Verschiebung (hier: Weg des Prüfzylinders) von 15 mm abgebrochen werden. Bei der nachfolgenden Auswertung wurde die Prüfkraft, aufgrund von Gebrauchstauglichkeitsüberlegungen, bei einer globalen Grenzverformung von 10 mm ausgewertet und angegeben.

Der Mittelwert der Prüfkraft bei Erreichen einer Verschiebung von 10 mm beträgt $F_{10\text{mm,mean}} = 154 \text{ kN}$ bei einem Variationskoeffizienten von $3,74 \%$. Die charakteristische Tragfähigkeit der Prüfkfiguration beträgt $R_k = 137 \text{ kN}$ bzw. $22,8 \text{ kN}$ je Verbindungsmittel.

Nach dem ersten Test dieser Prüfserie wurden diverse Einstellungen (abgeschätzte Maximallast, Prüfungsgeschwindigkeit, ...) angepasst. Da sich diese Veränderungen auch auf die Steifigkeitsauswertung

auswirken, wurden für die Ermittlung der Verbindungssteifigkeiten K_{ser} nur die Prüfkörper BSH-S-02 bis BSH-S-05 berücksichtigt. Die mittlere Verbindungssteifigkeit der gesamten Verbindung konnte zu $K_{ser,mean} = 76,0$ kN/mm, bei einem Variationskoeffizienten von $CoV = 6,36$ % errechnet werden. Je X-Fix-C Verbinder ergibt sich so ein mittlerer Wert der Verbindungssteifigkeit von 12,7 kN/mm (vgl. Tabelle 6).

Bis auf Prüfkörper BSH-S-01, bei dem die maximale Prüfdauer überschritten wurde, konnte bei allen Prüfkörpern die in [1] angegebene Prüfdauer von 600 s bis 900 s eingehalten werden.

Versagensformen

Bei den Schubprüfungen kam es zu einem Querkzugversagen der Verbindungskeile und in weiterer Folge, aufgrund der geringen Vorholzlänge von 150 mm (= vertikaler Abstand von der horizontalen Achse des Verbindungsmittels bis zum Prüfkörperperrand), zu einem Schubversagen in der äußeren BSP-Lamelle (siehe Abbildung 22).

Tabelle 6 Schubprüfungen BSH-BSP: maximale Bruchlasten F_{max} und Verbindungssteifigkeiten

Prüfserie	PA19-484-1 X-Fix-C Schubprüfungen BSH-BSP			
Bezeichnung	Kraft bei einer globalen Verformung von	Verbindungssteifigkeit K_{ser}		
	10 mm	lokal 1. Ast (West)	lokal 1. Ast (Ost)	Mittelwert
	F_{10mm} [kN]	[kN/mm]	[kN/mm]	[kN/mm]
BSH-S-01	152	(141)	(109)	(125)
BSH-S-02	148	66,4	72,2	69,3
BSH-S-03	162	80,0	72,5	76,2
BSH-S-04	152	93,8	67,8	80,8
BSH-S-05	158	73,9	81,1	77,5
Anzahl	5	4	4	4
Max	162	93,8	81,1	80,8
Min	148	66,4	67,8	69,3
Mittelwert	154	78,5	73,4	76,0
Standardabw.	5,78	11,6	5,56	4,83
COV [%]	3,74	14,8	7,57	6,36
R_k nach EN 14358	137			
R_k nach EN 14358+TR016	122			
R_k $R_{k,TR016}$ bzw. $K_{ser,mean}$ je Verbinder	22,8 20,4			12,7

4.3.3 Holzfeuchte und Rohdichte der Prüfkörper mit Stützen aus BauBuche

Die Rohdichte der Prüfkörpereinzerteile aus BauBuche kann mit $\rho_{u,mean,WEST} = 801 \text{ kg/m}^3$ (Teil West) bzw. $\rho_{u,mean,OST} = 811 \text{ kg/m}^3$ (Teil Ost) und zugehörigen Variationskoeffizienten von $CoV = 2,51 \%$ bzw. $1,47 \%$ angegeben werden. Für den Brettsperrholzteil ergibt sich ein Wert von $\rho_{u,mean,BSP} = 449 \text{ kg/m}^3$ ($CoV = 5,04 \%$).

Die ermittelten Holzfeuchten lagen bei $u_{mean} = 5,80 \%$ bzw. $5,74 \%$ (BauBuche) und $u_{mean} = 10,9 \%$ (BSP), bei zugehörigen Variationskoeffizienten von $CoV = 1,46 \%$ bzw. $2,68 \%$ (BauBuche) und $0,718 \%$ (BSP).

Tabelle 7 Rohdichte- und Holzfeuchtwerte der Schubprüfkörper BB-BSP

	Holzfeuchte			Rohdichte		
	Teil West (BB)	mittlerer Teil (BSP)	Teil Ost (BB)	Teil West (BB)	mittlerer Teil (BSP)	Teil Ost (BB)
Bezeichnung	u_W [%]	u_M [%]	u_O [%]	ρ_W [kg/m ³]	ρ_M [kg/m ³]	ρ_O [kg/m ³]
BB-S-01	5,88	11,0	5,64	789	433	806
BB-S-02	5,73	10,9	5,56	804	440	794
BB-S-03	5,80	11,0	5,70	812	442	816
BB-S-04	5,71	10,8	5,83	824	443	825
BB-S-05	5,90	11,0	5,95	773	489	813
Anzahl	5	5	5	5	5	5
Min	5,71	10,8	5,56	773	433	794
Max	5,90	11,0	5,95	824	489	825
Mittelwert	5,80	10,9	5,74	801	449	811
Standardabw.	0,0849	0,0785	0,154	20,1	22,7	11,9
CoV [%]	1,46	0,718	2,68	2,51	5,04	1,47

4.3.4 maximale Bruchlasten und Versagensformen der Prüfkörper mit Stützen aus BauBuche

Anmerkung: Laut ON EN 26891 [1] dürfen Prüfungen, sofern bis dahin kein Versagen eingetreten ist, nach Erreichen einer (globalen) Verschiebung (hier: Weg des Prüfzylinders) von 15 mm abgebrochen werden. Bei der nachfolgenden Auswertung wurde die Prüfkraft, aufgrund von Gebrauchstauglichkeitsüberlegungen, bei einer globalen Grenzverformung von 10 mm ausgewertet und angegeben.

Sämtliche Prüfkörper dieser Serie erreichten eine globale Verschiebung von 15 mm innerhalb des nach ON EN 26891 [1] geforderten Zeitfensters von 600 s bis 900 s.

Für die Schubprüfungen mit Stützen aus BauBuche kann der Mittelwert der Lasten bei 10 mm mit $F_{10mm,mean} = 161 \text{ kN}$ bei einem Variationskoeffizienten von $CoV = 4,59 \%$ angegeben werden. Die charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung wurde nach ÖNORM EN 14358 [2] berechnet und beträgt $R_k = 142 \text{ kN}$ (gesamt) bzw. $23,7 \text{ kN/X-fix-C}$ (vgl. Tabelle 6).

Die mittlere Steifigkeit der Verbindung ergibt sich zu $K_{ser,mean} = 56,8 \text{ kN/mm}$, bei einem Variationskoeffizienten von $28,8 \%$ bzw. zu $9,46 \text{ kN/mm}$ je X-Fix-C Verbinder (vgl. Tabelle 8).

Versagensformen

Auch bei den Schubprüfungen mit Stützen aus BauBuche kam es zu einem Querkzugversagen der Verbindungskeile (Ablösen der Flanken) und zu einem Schub-/Querkzugversagen in den äußeren BSP-Lamellen. Analog zu den Schubprüfungen mit Stützen aus Brettschichtholz beschränkt sich das Versagen auf die X-Fix-C Verbinder und die Brettsperrholzelemente. Bei den Stützen konnte keine Schädigung beobachtet werden.

Tabelle 8 Schubprüfungen BB-BSP: maximale Bruchlasten F_{max} und Verbindungssteifigkeiten

Prüfserie	PA19-484-1 X-Fix-C Schubprüfungen BB-BSP			
Bezeichnung	Kraft bei einer globalen Verformung von	Verbindungssteifigkeit K_{ser}		
	10 mm	lokal 1. Ast (West)	lokal 1. Ast (Ost)	Mittelwert
	F_{10mm} [kN]	[kN/mm]	[kN/mm]	[kN/mm]
BB-S-01	161	69,4	65,1	67,2
BB-S-02	173	92,0	67,5	79,8
BB-S-03	152	43,4	50,4	46,9
BB-S-04	161	42,8	36,7	39,8
BB-S-05	159	53,8	46,3	50,0
Anzahl	5	5	5	5
Max	173	92,0	67,5	79,8
Min	152	42,8	36,7	39,8
Mittelwert	161	60,3	53,2	56,8
Stabw.	7,39	20,8	13,0	16,4
COV [%]	4,59	34,4	24,4	28,8
R_k nach EN 14358	142			
R_k nach EN 14358+TR016	129			
R_k $R_{k,TR016}$ bzw. $K_{ser,mean}$ je Verbinder	23,7 21,5			9,46

5 Zusammenfassung

Als Ergebnis der Prüfungen werden die in Tabelle 9 angeführten Tragfähigkeiten und Steifigkeiten je Verbindungsmittel (X-Fix-C) angegeben. Die zusammengefassten Prüfergebnisse sind Abschnitt 4 zu entnehmen. Alle Kraft-Weg-Diagramme sowie die Fotodokumentation zu den Prüfungen sind in den Anhängen A, B und C angeführt.

Tabelle 9 Ergebnisse der Zug- und Schubprüfungen umgelegt auf ein Verbindungsmittel X-Fix-C

Prüfkonfiguration		Keilmaterial	charakt. Wert der Tragfähigkeit R_k	Verbindungssteifigkeit K_{ser}
[-]		[-]	[kN]	[kN/mm]
X-Fix-C	ZUG	BSH-BSH	9,47 9,09	29,5
		BB-BB	28,5 26,1	39,7
	SCHUB	BSH-BSP	22,8 20,4	12,7
		BB-BSP	23,7 21,5	9,46
		Furniersperrholz (Birke)		

Graz, am 09.12.2019



DI Gregor Silly
Sachbearbeiter





Univ.-Prof. DI. Dr.-techn.
Gerhard Schickhofer
Laborleitung

09.12.2019	Lignum Test Center	Seite 16 von 31
 <p>TU Graz Graz University of Technology</p>	<p>PRÜFBERICHT Nr. PB19-484-1-01</p>	 <p>lignum study research engineering test center</p>

6 Normenverzeichnis und Quellenangaben

- [1] ÖNORM EN 26891:1991-02. Holzbauwerke – Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln, Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens
- [2] ÖNORM EN 14358:2007-04-01. Holzbauwerke – Berechnung der 5%-Quantile für charakteristische Werte und Annahmekriterien für Proben
- [3] ÖNORM EN 14080:2013-08-01. Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen
- [4] ETA-14/0354: Europäische Technische Bewertung für BauBuche GL75 der Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH, 11.07.2018
- [5] ETA-12/0281: Europäische Technische Bewertung für NORITEC X-LAM der NORITEC Holzindustrie GmbH, 28.07.2017
- [6] ÖNORM EN 408:2012-09-01. Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften
- [7] ÖNORM ISO 3130:1994-10-01. Holz – Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes für physikalische und mechanische Prüfungen (Darrverfahren – Labormethode)
- [8] ÖNORM EN 384:2010-05-15. Bauholz für tragende Zwecke – Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte
- [9] EOTA TECHNICAL REPORT TR 16: Method of testing Three-Dimensional Nailing Plates with examples, Edition February 2002, Amended October 2012
- [10] SILLY, G.: GREENETHIC Verbindungssysteme für BSP – X-FIX-C und X-FIX-L, Prüfbericht, Lignum Test Center Graz, April 2016

A Anhang A – Prüfkonfigurationen

A-1. Zugprüfungen



Abbildung 2 Übersicht der Prüfkonfiguration Zug BSH bzw. Zug BB (Maße in [mm])



Abbildung 3 Lagerung und Lasteinleitung der Prüfkonfigurationen Zug BSH bzw. Zug BB

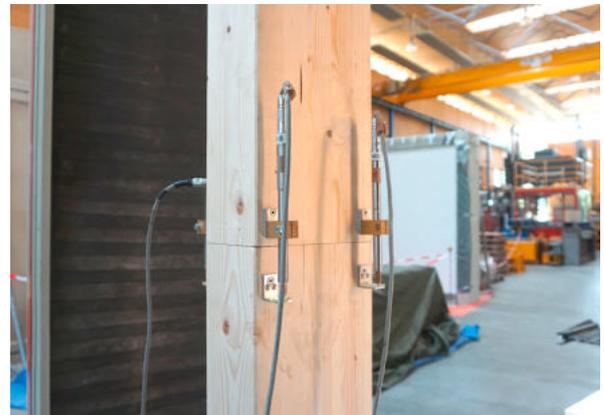


Abbildung 4 lokale Wegmessung der Prüfkongfigurationen Zug BSH bzw. Zug BB

A-2. Schubprüfungen

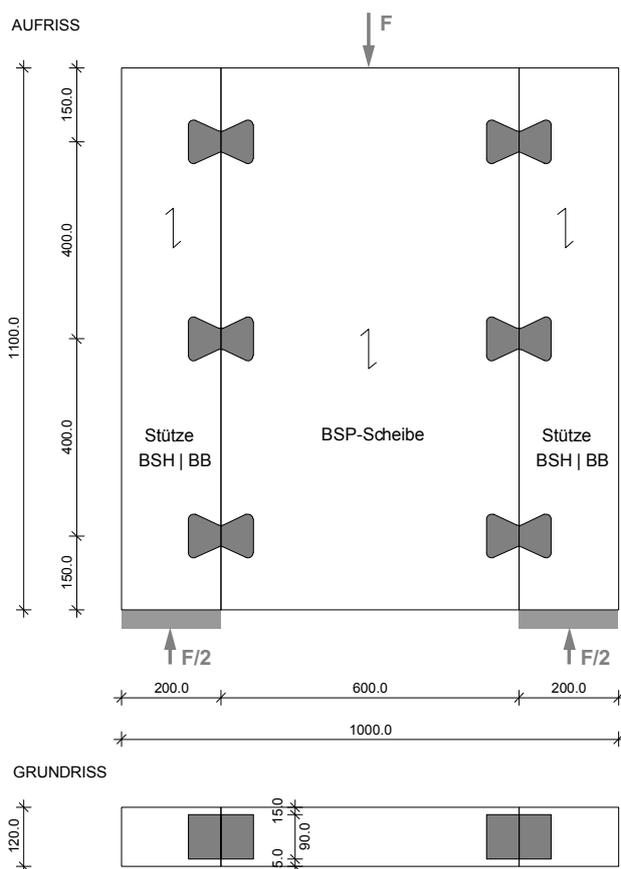


Abbildung 5 Übersicht Prüfkongfiguration Schub BSH-BSP bzw. Schub BB-BSP (Maße in [mm])



Abbildung 6 Lagerung und Lasteinleitung der Prüfkfigurationen Schub BSH-BSP bzw. Schub BB-BSP



Abbildung 7 lokale Wegmessung der Prüfkfigurationen Schub BSH-BSP bzw. Schub BB-BSP



Abbildung 8 zur Reibungsminimierung abgeklebte und mit PTFE-Spray behandelte Kontaktflächen

B Anhang B – Kraft-Weg-Diagramme

B-1. Zugprüfungen

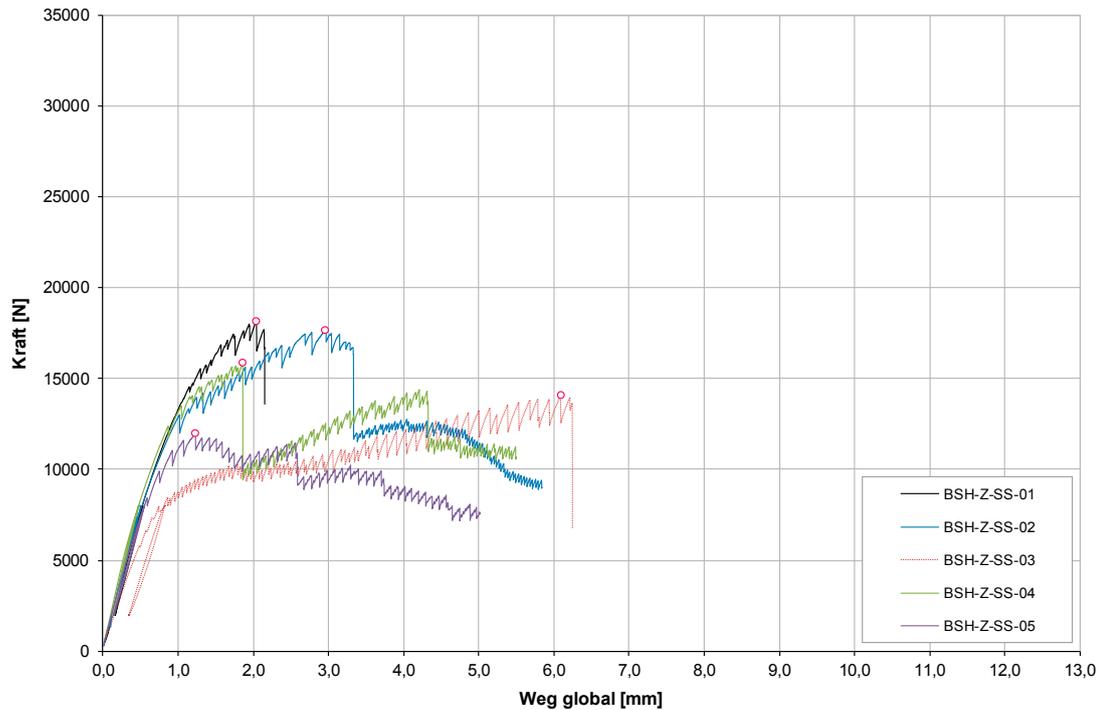


Abbildung 9 Zug BSH: Kraft-Weg-Diagramme (globale Wegmessung) und max. Bruchlasten F_{\max}

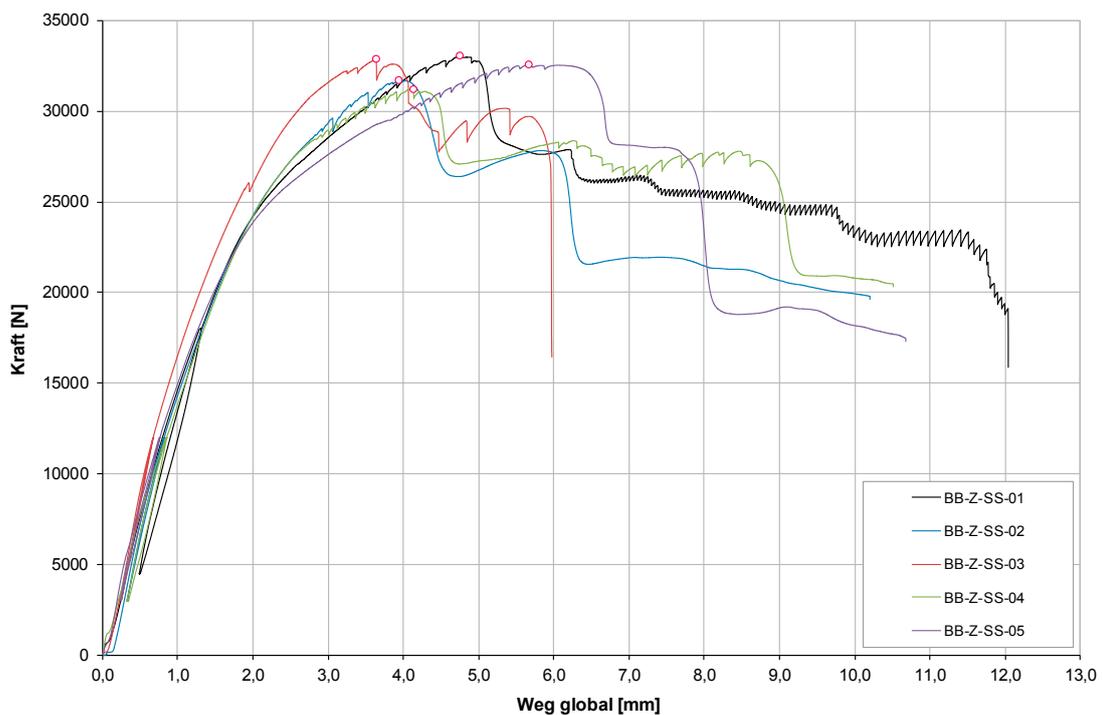


Abbildung 10 Zug BB: Kraft-Weg-Diagramme (globale Wegmessung) und max. Bruchlasten F_{\max}

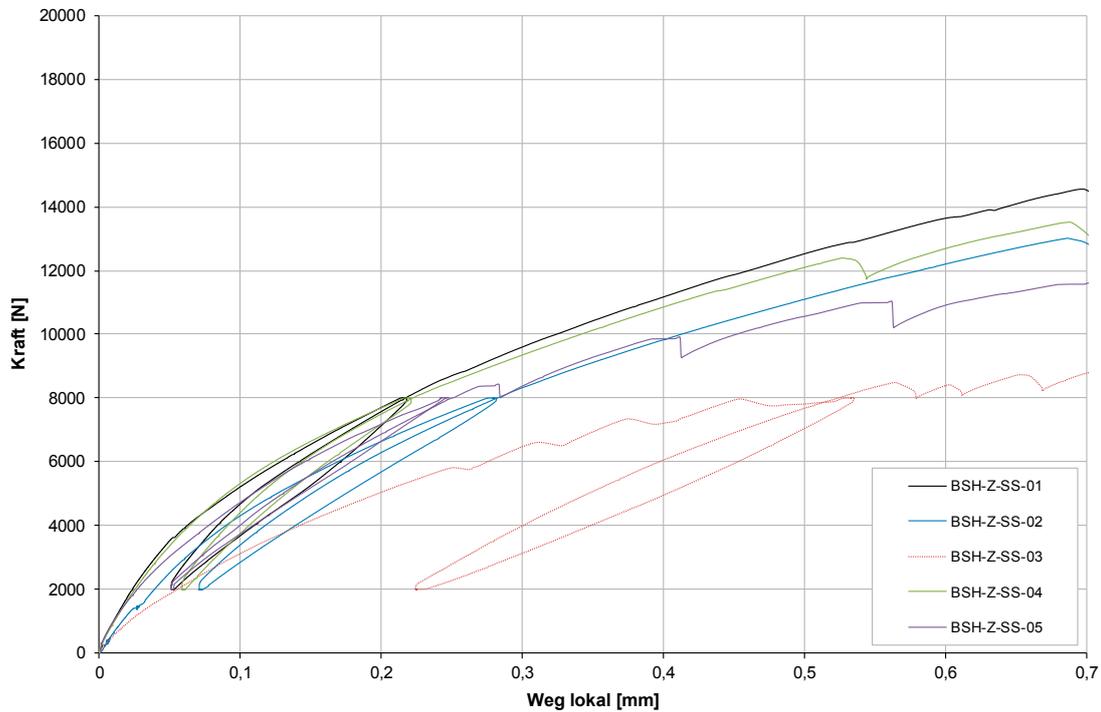


Abbildung 11 Zug BSH: Kraft-Weg-Diagramme (lokale Wegmessung)

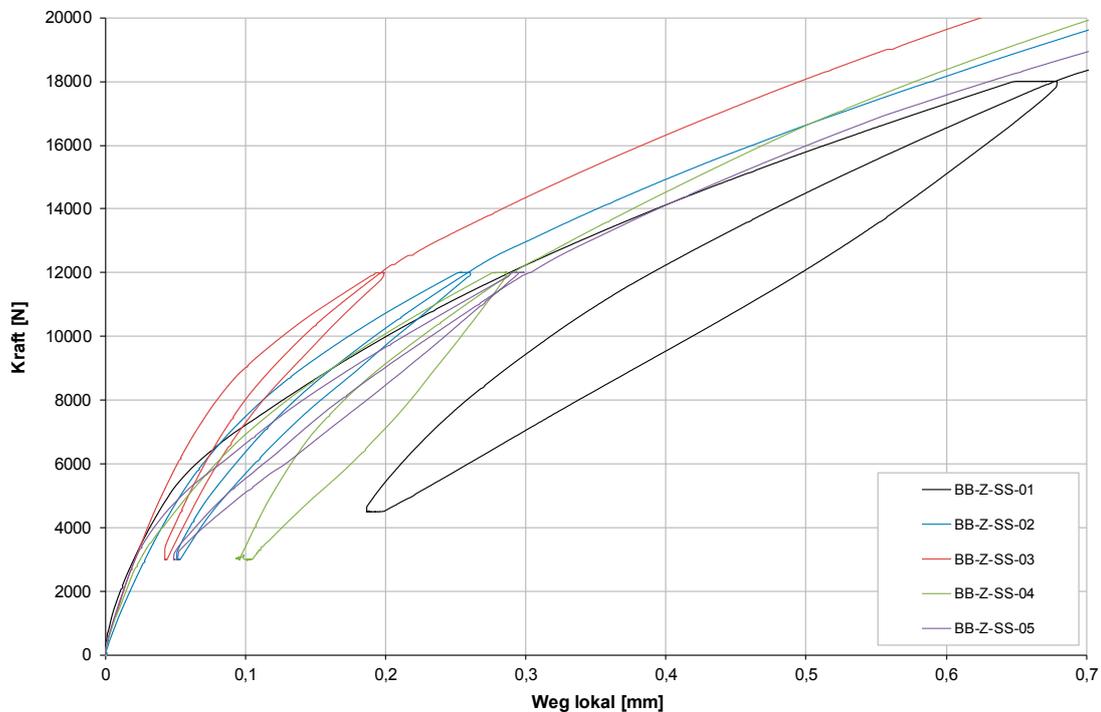


Abbildung 12 Zug BB: Kraft-Weg-Diagramme (lokale Wegmessung)

B-2. Schubprüfungen

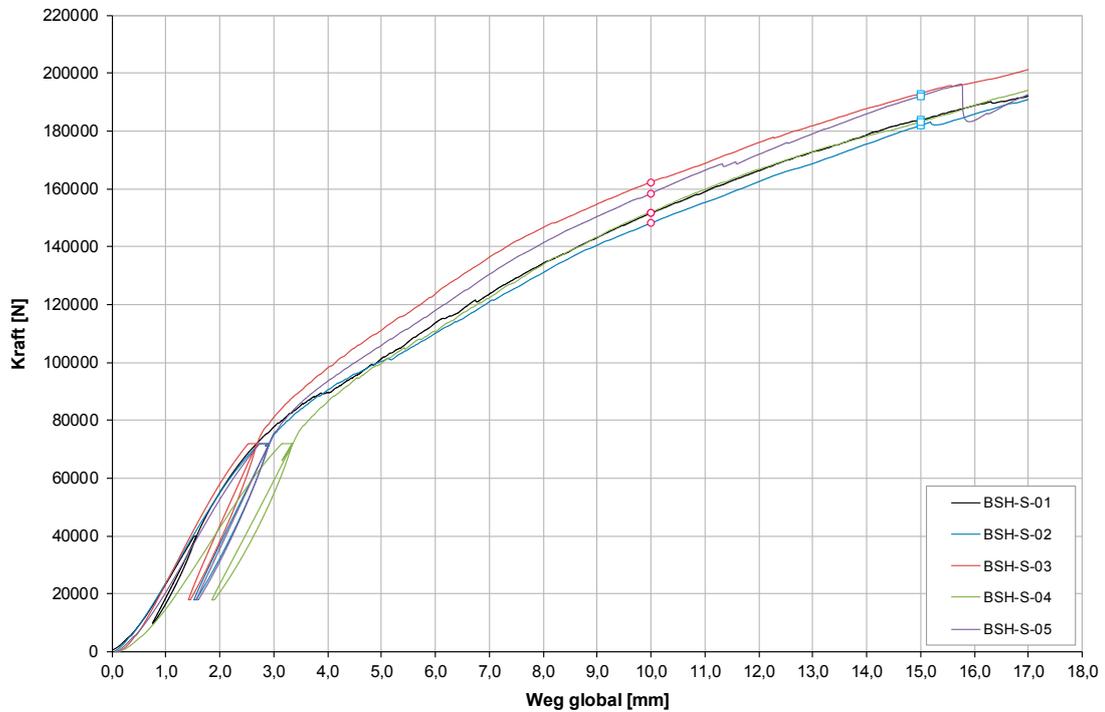


Abbildung 13 Schub BSH-BSP: Kraft-Weg-Diagramme (globale Wegmessung) und Prüflasten $F_{10\text{mm}}$ bzw. $F_{15\text{mm}}$

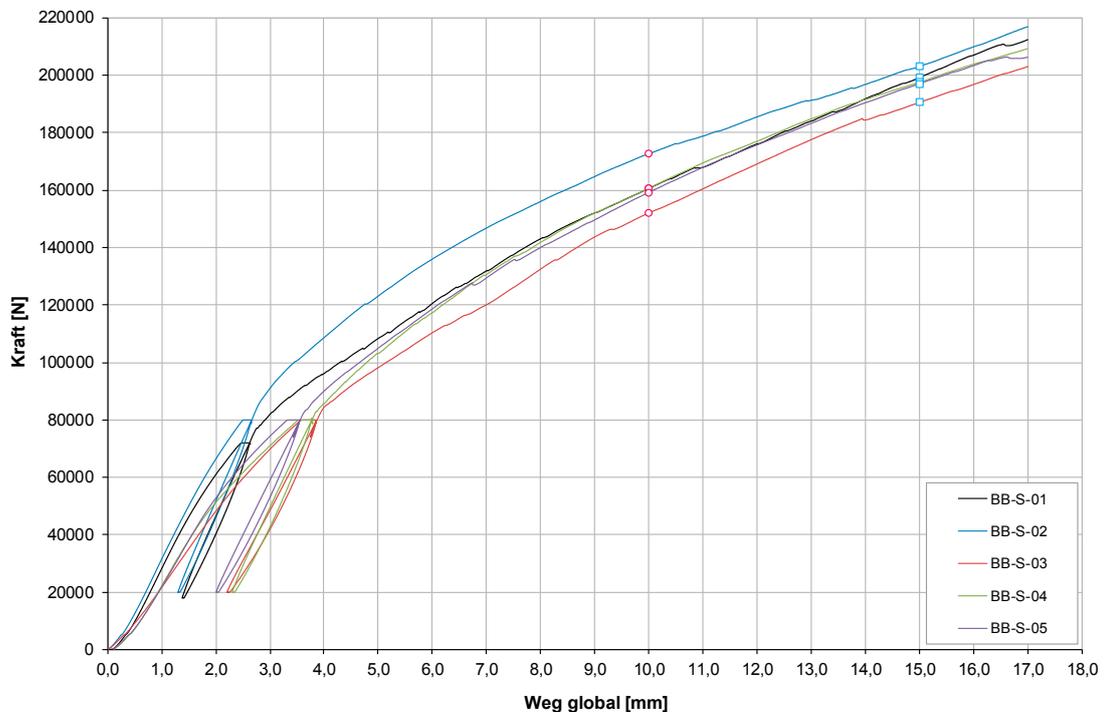


Abbildung 14 Schub BB-BSP: Kraft-Weg-Diagramme (globale Wegmessung) und Prüflasten $F_{10\text{mm}}$ bzw. $F_{15\text{mm}}$

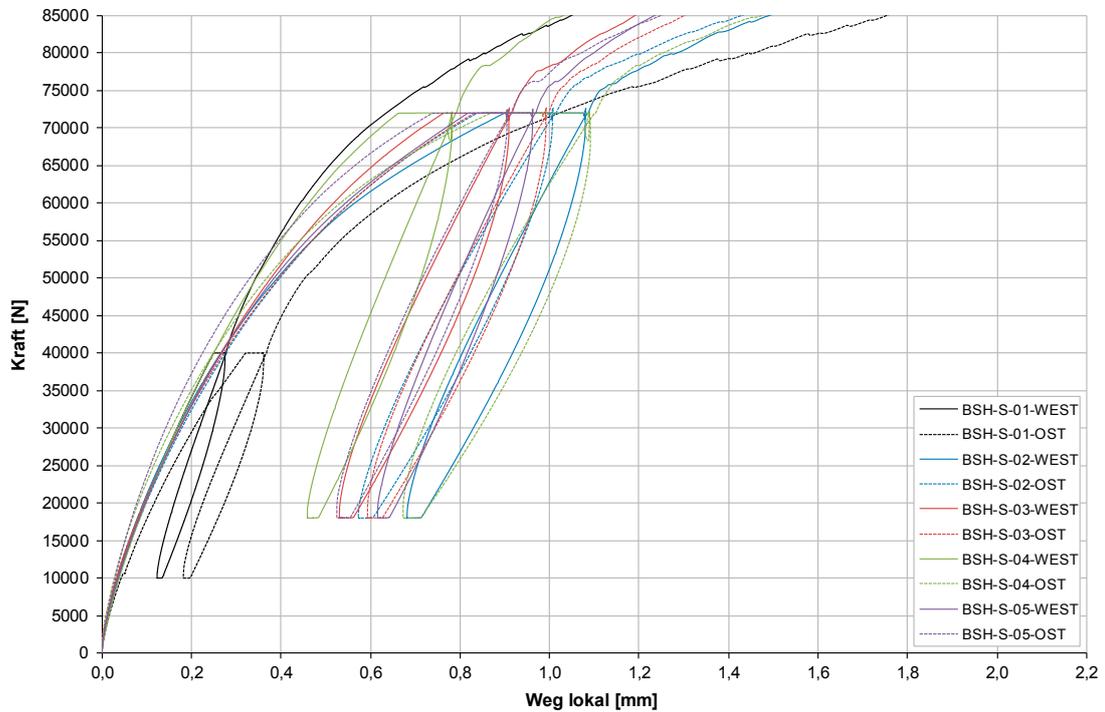


Abbildung 15 X-Fix-C | Schub BSH-BSP: Kraft-Weg-Diagramme (lokale Wegmessung)

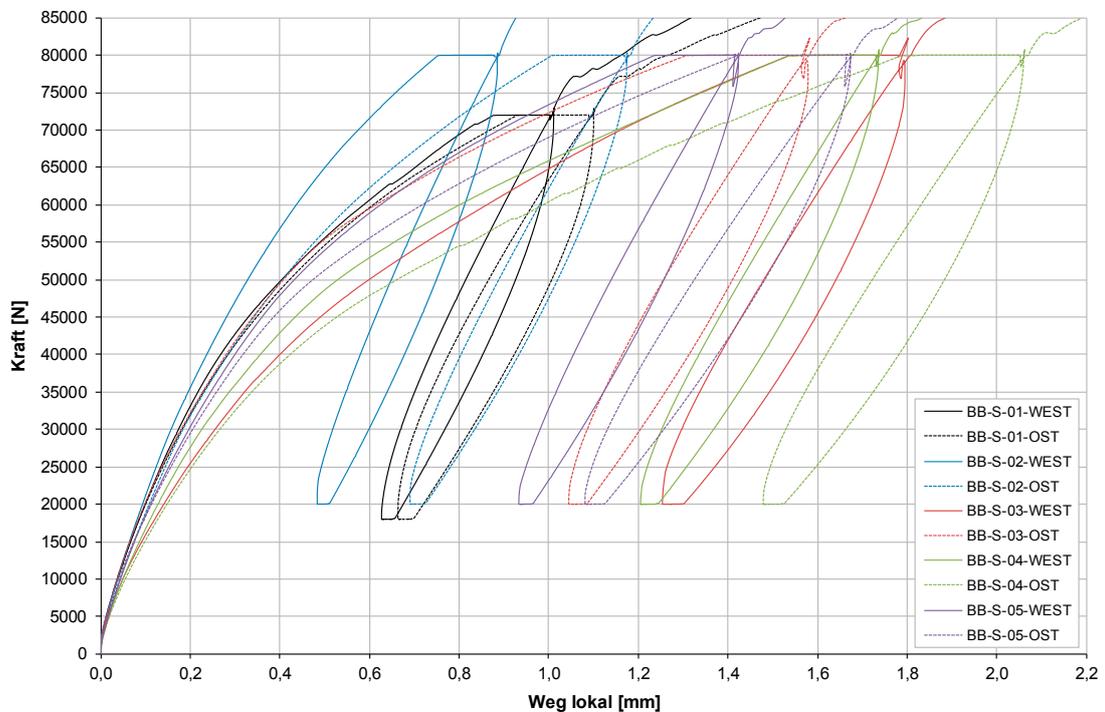


Abbildung 16 X-Fix-C | Schub BB-BSP: Kraft-Weg-Diagramme (lokale Wegmessung)

C Anhang C – Bruchbilder

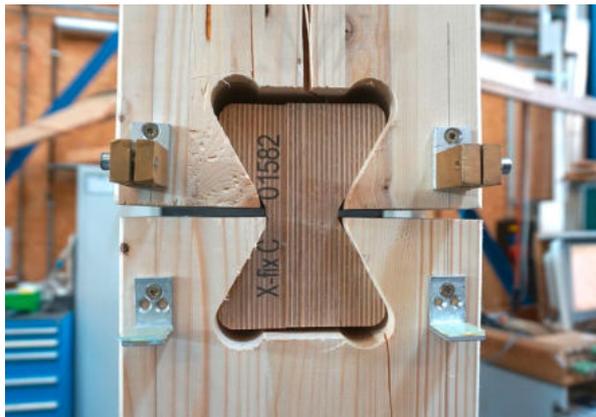
C-1. Zugprüfungen BSH



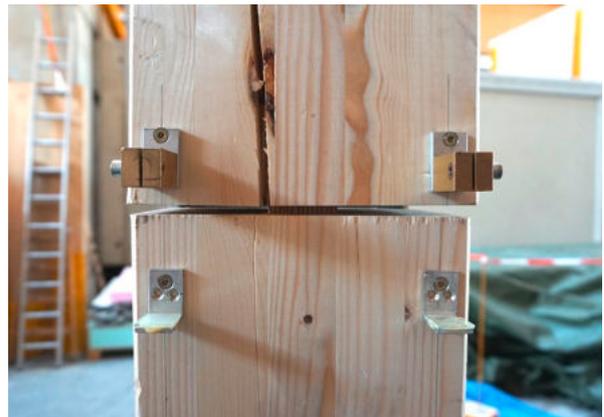
BSH-Z-01_1



BSH-Z-01_2



BSH-Z-02_1



BSH-Z-02_2



BSH-Z-03_1



BSH-Z-03_2

Abbildung 17 Bruchbilder der Prüfkörper BSH-Z-01 bis BSH-Z-03



BSH-Z-04_1



BSH-Z-04_2



BSH-Z-05_1



BSH-Z-05_2

Abbildung 18 Bruchbilder der Prüfkörper BSH-Z-04 und BSH-Z-05

C-2. Zugprüfungen BB



BB-Z-01_1



BB-Z-01_2



BB-Z-02_1



BB-Z-02_2



BB-Z-03_1



BB-Z-03_2

Abbildung 19 Bruchbilder der Prüfkörper BB-Z-01 bis BB-Z-03



BB-Z-04_1



BB-Z-04_2



BB-Z-05_1



BB-Z-05_2

Abbildung 20 Bruchbilder der Prüfkörper BB-Z-04 und BB-Z-05

C-3. Schubprüfungen BSH-BSP



BSH-S-01_1



BSH-S-01_2



BSH-S-02_1



BSH-S-02_2



BSH-S-03_1



BSH-S-03_2

Abbildung 21 Bruchbilder der Prüfkörper BSH-S-01 bis BSH-S-03



BSH-S-04_1



BSH-S-04_2



BSH-S-05_1



BSH-S-05_2

Abbildung 22 Bruchbilder der Prüfkörper BSH-S-04 und BSH-S-05

C-4. Schubprüfungen BB-BSP



BB-S-01_1



BB-S-01_2



BB-S-02_1



BB-S-02_2



BB-S-03_1



BB-S-03_2

Abbildung 23 Bruchbilder der Prüfkörper BB-S-01 bis BB-S-03



BB-S-04_1



BB-S-04_2



BB-S-05_1



BB-S-05_2

Abbildung 24 Bruchbilder der Prüfkörper BB-S-04 und BB-S-05