

Abtragung hoher Lasten mit Sherpa-Systemverbindern

Supporting heavy loads with Sherpa system connectors

Descente de charges extrêmes avec les systèmes
d'assemblage Sherpa

Trasmissione di carichi elevati col sistema di raccordo
Sherpa

Manfred Augustin
Kompetenzzentrum
holz.bau forschungs gmbh
Graz, Österreich



Abtragung hoher Lasten mit Sherpa-Systemverbindern

1. Allgemeines

Sherpa, das ist nicht nur der Name für das Volk von Bergführern und Lastenträgern im Himalaya, das ist auch die Bezeichnung für die weltweit größte, und bereits rund 250.000 mal erfolgreich eingesetzte, Steckverbinder-Familie mit System der Fa. Harrer GmbH / Frohnleiten, AT für rationelles Bauen mit Holz. Egal ob für den Einsatz im Möbel- und Innenausbau, für Wintergärten, Balkone und Stiegen oder die Abtragung von Lasten im konstruktiven Holzbau, mit diesem einfach und rasch zu montierenden Steckverbinder-system kann ein hohes Maß an Vorfertigung und somit eine deutliche Reduktion der Montagezeiten erreicht werden. Die breite Produktpalette ist für den jeweiligen Verwendungszweck maßgeschneidert verfügbar und ermöglicht eine sichere und zuverlässige Lastabtragung nicht nur in und quer zur Einschubrichtung, sondern auch bei Beanspruchungen auf Zug/Druck, sowie zur Momentenübertragung um alle drei Raumachsen.

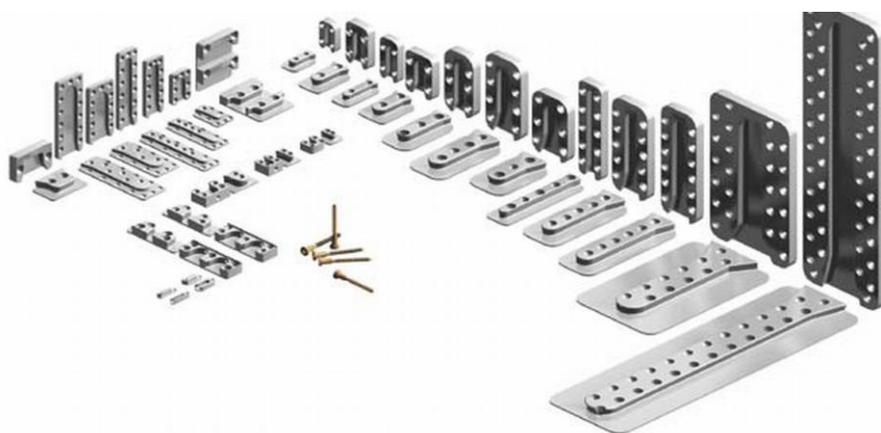


Abbildung 1: Sherpa-Steckverbinder-Produktfamilie

Die Sherpa-Verbinder bestehen jeweils aus zwei entsprechend gefrästen, nach dem Prinzip einer klassischen Schwalbenschwanzverbindung zu einer kraftschlüssigen Verbindung zusammenfügbaren, Teilen aus Aluminium (auch Verbinder aus Kunststoff sind verfügbar), die mittels spezieller Teilgewinde-Holzschrauben (i. Allg. \varnothing 8 mm und 80 bzw. 120 mm lang) mit den zu fügenden Holzteilen verbunden werden. Im Allgemeinen wird dabei der „feder“-förmige Teil mit der Seitenfläche des sog. „Hauptträgers“ (HT) und der „nut“-förmige Teil mit der Stirnfläche des sog. „Nebenträgers“ verschraubt. Je nach Typ des Verbinders vervollständigt Sicherungskeile und/oder -schrauben das Steckverbindersystem.

Die derzeit, je nach Typ des Verbinders von 8 kN bis 72 kN (in Einschubrichtung) reichenden charakteristischen Werte der Beanspruchbarkeit dieser bauaufsichtlich zugelassenen Verbinder (Zulassung Z-9.1-558, [1]) können je nach Beanspruchungssituation und Typ des Verbinders aus der Zulassung bzw. aus Tabellenwerken entnommen werden, wodurch der Umfang der Nachweisführung auf ein Minimum reduziert wird.

Auf Grund des Erfolges der Verbinder im nichtlastabtragenden Bereich bzw. für kleinere Lasten entstand in weiterer Folge von Seiten der Harrer GmbH die Idee, das Grundprinzip dieser Steckverbinder auch für die Abtragung von höheren Lasten im Ingenieurholzbau zu adaptieren.

2. Produktfamilie „Sherpa-XL“

Um das angestrebte Ziel, die Entwicklung eines Sherpa-Verbinders mit einer zulässigen Tragfähigkeit von 100 kN, zu erreichen wurden in einem ersten Schritt die bisher bekannten Sherpa-Verbinder in ihren Abmessungen vergrößert und deren Schraubenzahl erhöht. Dabei zeigte sich, dass die dazu erforderliche Breite (≥ 200 mm), insbesondere des Nebenträgers, den beabsichtigten Anwendungsbereich deutlich einschränkt. Der Hauptgrund für die Größe dieses Verbinders (im Folgenden: „Sherpa-Alt“) ist vorwiegend in der ungünstigen Beanspruchungssituation auf „Abscheren“ der, für eine Beanspruchung auf „Herausziehen“ prädestinierten, Schrauben zu suchen.

Die Harrer GmbH ist daher an das Kompetenzzentrum holz.bau forschungs gmbh (wissenschaftliche Leitung: Prof. G. Schickhofer) an der Technischen Universität Graz mit der Zielvorgabe herangetreten einen Systemsteckverbinder mit der genannten Tragfähigkeit und einer Breite des Nebenträgers von maximal $b_{NT} = 160$ mm zu entwickeln.

An dieser Institution konnte auf die Ergebnisse einer im Vorfeld durchgeführte Diplomarbeit (Hude, 2005 [2]) zurückgegriffen werden. Der, in der genannten Arbeit, verfolgte Ansatz bestand, neben der mit numerischen Methoden durchgeführten Optimierung der Verbindergeometrie (aus Stahl), im Wesentlichen in der Idee die hohe Leistungsfähigkeit von schräg zur Faserrichtung eingedrehten Vollgewindeschrauben zur Abtragung der Beanspruchung zu nutzen. Zur Aufnahme einer allfälligen Momentenbeanspruchung wurden im oberen bzw. unteren Bereich des Verbinders zusätzlich einige sog. „Momentenschrauben“ angeordnet.

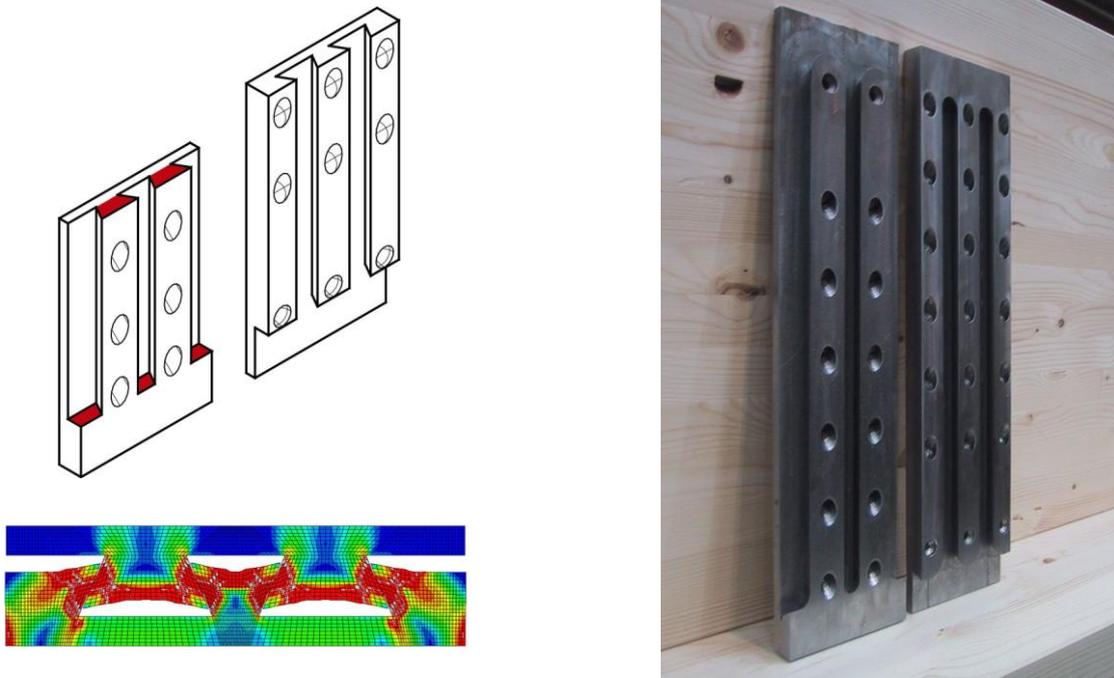


Abbildung 2: Verbindergeometrie der, an der TU Graz entwickelten Steckverbinder mit Doppelnut aus Stahl [2]

Die weitere Entwicklungsarbeit bestand darin, die Vorteile der in [2] erarbeiteten Zusammenhänge auf die vorhandenen Sherpa-(Alt)-Verbinder umzulegen bzw. die Synergieeffekte beider Verbindertypen zu nutzen.

Wie die nachfolgende Abbildung 3 zeigt, liegt das Ergebnis dieser Bemühungen nunmehr in Form der sog. „Sherpa-XL“-Produktfamilie vor. Die Breite dieser Verbinder beträgt einheitlich 140 mm, sodass diese für Holzbauprodukte ab einer Breite von $b \geq 160$ mm einsetzbar sind.

Die beiden mittels schwalbenschwanzförmiger Ausfräsungen zu verbindenden Aluminiumformteile sind mittels Vollgewindeschrauben (VG-Schrauben) (\varnothing 8 mm, Länge 160 mm) an den Holzbauteilen („nut“-förmiger Teil am NT, „feder“-förmiger Teil am HT) zu befestigen. Die ohne Vorbohren eingedrehten VG-Schrauben lassen sich in sog. „Schrägschrauben“ (SchS) ($\alpha = 45^\circ$) und unten bzw. oben liegende Momentenschrauben (MomS) gliedern. Die SchS werden zur Erhöhung des beanspruchten Holzvolumens bzw. um keine übereinanderliegenden Risslinien zu erhalten leicht aufgefächert (im HT: stets unter 10° ; im NT: nach innen geneigte Schrauben: 10° ; nach außen geneigte Schrauben 5°), während aus Gründen der leichteren Montierbarkeit je Teil eine MomS im oberen bzw. unteren Bereich des Verbinders parallel (NT) bzw. normal (HT) zur Faserrichtung eingedreht werden. Die übrigen MomS werden, wie die SchS, leicht aufgefächert. Bei Bedarf kann zur Aufnahme von abhebenden Kräften eine Abhebesicherung in Form von zwei, mit ihrem Gewindeteil in die schwalbenschwanzförmige Fuge zwischen „Nut“ und „Feder“ eingedrehte, Blechschrauben eingebaut werden.

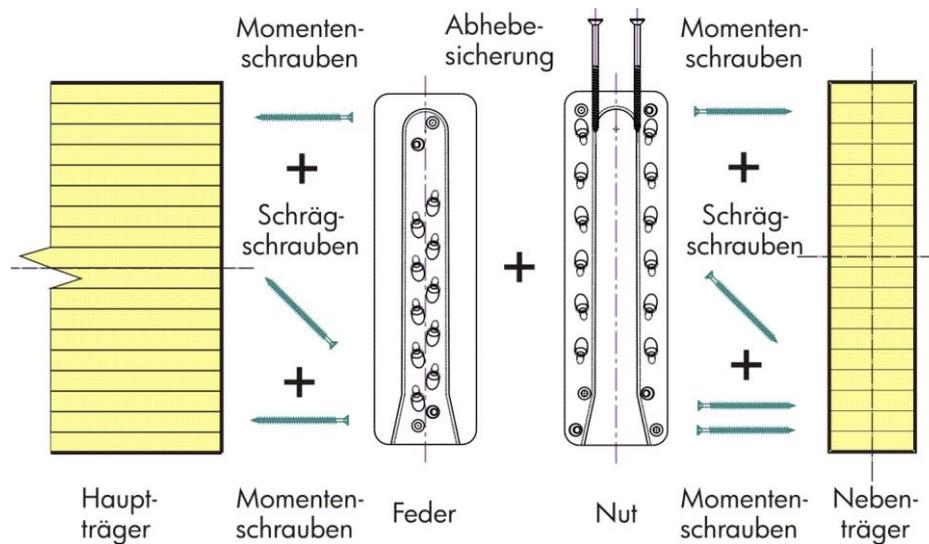


Abbildung 3: Bestandteile der „Sherpa-XL“- Produktfamilie

Um dem Anwender für die entsprechenden Bauaufgaben Verbinder mit unterschiedlichen Tragfähigkeiten in die Hand zu geben, ist von Seiten der Fa. Harrer GmbH geplant die Verbinder in verschiedenen Abmessungen (benannt nach ihrer charakteristischen Tragfähigkeit) in den, in Tabelle 1 angeführten Abstufungen zu vertreiben. Weiters sind dort die geometrischen Abmessungen der Verbindertypen und die Anzahl der einzudrehenden Schrauben angegeben.

Tabelle 1: „Sherpa-XL“- Produktfamilie – Abmessungen und Anzahl der einzudrehenden Schrauben

Bezeichnung	Abmessungen		Anzahl der Schrauben				Gesamt
			Schrägschrauben		Momentenschrauben		
	Breite [mm]	Höhe [mm]	im HT [-]	im NT [-]	im HT [-]	im NT [-]	
Sherpa-XL-80	140	395	6	8	4	6	24
Sherpa-XL-100		425	7	8	4	6	25
Sherpa-XL-120		455	9	10	4	6	29
Sherpa-XL-140		485	10	12	4	6	32
Sherpa-XL-190		545	14	16	4	6	40
Sherpa-XL-250		605	18	20	4	6	48

In Ergänzung zur Produktpalette aus Tabelle 1 liegen – in Anlehnung an die in [2] entwickelten – weitere Verbinder in Doppelnut-Ausführung vor, mit denen eine charakteristische Tragfähigkeit von bis zu 400 kN erreicht werden soll (siehe Abschnitte 3 und 4).

3. Prüfungen

Zur versuchstechnischen Ermittlung der Tragfähigkeit und der Verschiebungsmoduln bzw. zur Erreichung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung wurden in den letzten Monaten am Kompetenzzentrum holz.bau forschungs gmbh in Graz umfangreiche Prüfungen an „Sherpa-XL“-Verbindern durchgeführt. Nachfolgend soll auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen eingegangen werden.

3.1. Vorversuche

3.1.1. Allgemeines

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit und der Verschiebungsmoduln der Sherpa-(Alt)-Verbinder mit konventioneller Verschraubung und einer zulässigen Tragfähigkeit von 100 kN (Typ: Sherpa-Alt-250; Abmessungen: b/h=170/520 mm; Anzahl der Schrauben: 72 Stk. Sherpa-Spezialschrauben (TG-Schrauben) Ø 8 mm, Länge 120 mm) und den, im Abschnitt 2 beschriebenen „Sherpa-XL“-Verbindern (Typ: Sherpa-XL-140; Abmessungen: b/h=140/485 mm; Anzahl der Schrauben: 30 Stk. VG-Schrauben Fa. Schmid, Hainfeld/AT) wurden Vorversuche auf Abscheren mit und ohne Momentenbeanspruchung in Einschubrichtung durchgeführt.

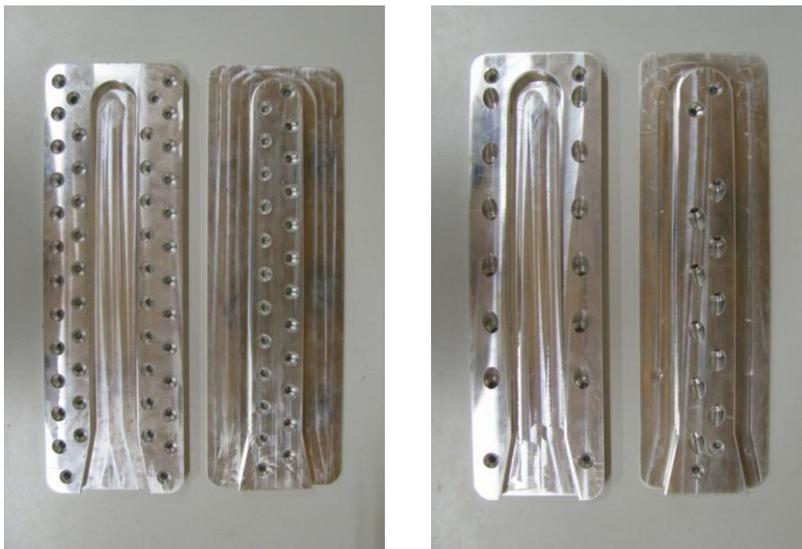


Abbildung 4: Im Zuge der Vorversuche geprüfte Verbinder (Sherpa-Alt-250 (li.) und Sherpa-XL-140* (re.))

Die Bezeichnungen der einzelnen Beanspruchungsarten mit der aufgebracht Lastausmitte (Exzentrizität), sowie die Anzahl der durchgeführten Versuche können der nachfolgenden Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: im Rahmen der Vorversuche geprüfte Beanspruchungsarten, Lastausmitten und Anzahl der Versuche pro Verbinder

Beanspruchungsart	Exzentrizität	Sherpa-Alt-250	Sherpa-XL-140*
	[mm]	[-]	[-]
0	0	3	5
1	+200	3	5
2	-200	3	5
3	+100	-	3
4	-100	-	3
Summe		9	21

3.1.2. Verwendetes Prüfgerüst

Zur Durchführung der Versuche war es erforderlich ein eigenes Prüfgerüst zu entwickeln, welches es erlaubt die genannten Beanspruchungsarten durch Variation der Lastexzentrizität in definierter Weise in die Verbinder einzuleiten. Der mit dem „feder“-förmigen Verbinderteil ausgestattete HT wird dabei mittels vier Gewindestangen und entsprechenden Stahlprofile starr mit dem Prüfgerüst verbunden. Dieses besteht im Wesentlichen aus zwei Klemmböcken aus Stahl die mittels Verschraubung mit einer, in Längsrichtung verschiebbaren Stahltraverse, zur Aufbringung der unterschiedlichen Lastexzentrizitäten verbunden sind. Das Prüfgerüst liegt in Längsrichtung frei dreh- und verschiebbar auf einer Stahlrolle auf.

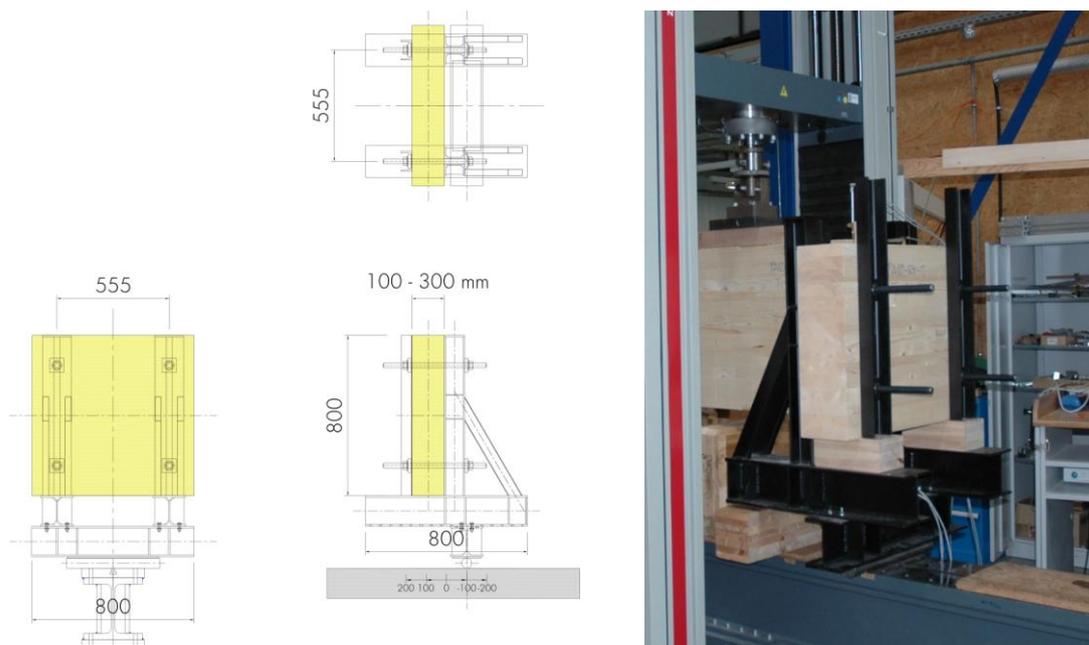


Abbildung 5: für die Prüfungen verwendetes Prüfgerüst

3.1.3. Prüfkongfiguration, sowie Durchführung und Auswertung der Prüfungen

Die Lasteinleitung in den Verbinder erfolgte über den, an der Stirnseite mit dem „nut“-förmigen Teil ausgestatteten NT, der einerseits über den Verbinder mit dem HT verbunden war und andererseits auf einem, in Längsrichtung frei dreh- und verschiebbaren, Lager (Stahlrolle) aufliegt. Um die aufgebrachte Kraft in größtmöglichem Ausmaß auf den Verbinder einwirken zu lassen, erfolgte die Lasteinleitung in den NT asymmetrisch. Der Abstand zwischen der Auflagerlinie des hinteren Auflagers und der Systemlinie der Kräfteinleitung (Abmessung L_2) betrug generell 3000 mm; jener von der Kräfteinleitung und der Mittenachse des Verbinders (Abmessung L_1) wurde zu 560 mm festgelegt.

Alle Prüfungen wurden mit der (Spindel-) Prüfmaschine „Lignum_Zwick 275“ durchgeführt, die eine stufenlos steuerbare weg- und/oder kraftgesteuerte Aufbringung von Kräften bis 275 kN erlaubt. Die Messdatenerfassung erfolgte mit Hilfe eines „Spider 8“-Messwertverstärkers der Fa. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH. Pro Prüfung wurde neben der aufgebrachten Kraft und dem Traversenweg der Prüfmaschine jeweils an der Ober- und Unterseite die vertikale und horizontale Relativverschiebung zwischen dem Haupt- und Nebenträger, sowie die Relativverschiebung zwischen dem Verbinder und dem Haupt- bzw. Nebenträger mit Hilfe von induktiven Weggebern des Typs WA10, WA20 und WA50 der Fa. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH gemessen.

Die Durchführung der Prüfungen erfolgte nach den Bestimmungen von ÖNORM EN 26891:1991 [3]. Dabei ist vorab eine Bruchlast der Verbindung (F_{est}) zu schätzen. Im Anschluss werden in einer Hysterese 40 % von F_{est} kraftgesteuert so aufgebracht, dass diese in zwei Minuten erreicht ist. Anschließend wird dieses Kraftniveau 30 Sekunden gehalten und nachfolgend mit derselben Beanspruchungsgeschwindigkeit auf 10 % von F_{est} abgesenkt, und wieder 30 Sekunden konstant gehalten. Sodann wird – immer noch unter Beibehaltung derselben Beanspruchungsgeschwindigkeit – die Kraft bis 70 % von F_{est} gesteigert und der Versuch ab diesem Kraftniveau weggesteuert so weitergefahren, dass entweder der Bruch der Verbindung nach rund 10 – 15 Minuten Gesamtprüfdauer oder das Erreichen einer Verschiebung des Verbindungsmittels von 15 mm auftritt. Aus den aufgezeichneten Prüfdaten können in der Folge die Bruchkraft, sowie die Verschiebungs- bzw. Verdrehungsmoduln bestimmt werden. Details dazu sind [3] zu entnehmen.

Die statistische Auswertung der durchgeführten Prüfungen erfolgte nach den Bestimmungen von EN 14358:2007 [4] (charakteristische Werte), sowie ÖNORM B 4100-2: 2004 [5] (zulässige Werte). Der Verdrehungsmodul wurde analog zu den Verschiebungsmoduln aus den horizontalen Verschiebungen der oberen bzw. unteren Wegnehmer gemäß der nachfolgenden Formel (1) und dem zugehörigen Moment bestimmt:

$$\varphi = \frac{u_U - u_O}{h} \quad (1)$$

Es bedeuten:

- u_O Verschiebung beim betrachteten Kraftniveau am oberen Ende des Nebenträgers
- u_U Verschiebung beim betrachteten Kraftniveau am unteren Ende des Nebenträgers
- h vertikaler Abstand zwischen den beiden Weggebern ($h = 650$ mm für alle Versuche)

Für alle Vorversuche wurde Brettschichtholz mit den Abmessungen $b/h = 200/600$ mm der Festigkeitsklasse GL28h mit einer Holzfeuchte $u = 12$ % herangezogen. Die Holzfeuchte und die Rohdichtewerte wurden mittels Darmmethode nach ÖNORM EN 13183-1:2004 bestimmt. Die erhaltenen Rohdichtewerte aller Prüfkörper wiesen einen Mittelwert von $\rho_{mean,u} = 478$ kg/m³ und einen charakteristischen Wert von $\rho_{k,u} = 450$ kg/m³ auf.

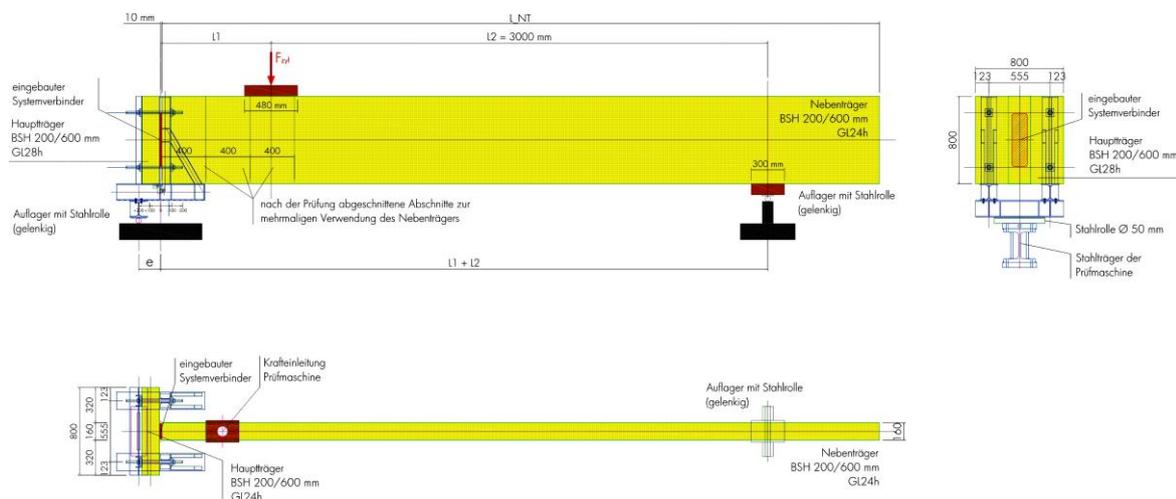


Abbildung 6: verwendete Prüfkonfiguration

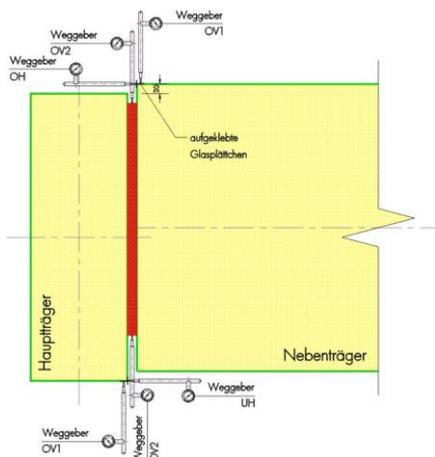


Abbildung 7: Skizze zu den gemessenen Weggrößen (li.) und Bild der verwendeten Prüfkongfiguration (re.)

3.1.4. Ergebnisse der Vorversuche „Sherpa-Alt-250“

Die Ergebnisse der Vorversuche für den Verbindertyp „Sherpa-Alt-250“ können der nachfolgenden Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Rohdichten, Tragfähigkeiten und Verschiebungs- bzw. Verdrehungsmoduln der Prüfungen an „Sherpa-Alt-250“-Verbindern

Beanspruchungsart		0 ¹⁾	1	2
Lastexzentrizität [mm]		0	+ 200	-200
Prüfkörperanzahl	geprüft	3	3	3
	Bruch erreicht	0	3	3
Rohdichte ρ_u [kg/m ³]	im HT	Mittelwert	492	489
		Var.-Koeff.	0,78%	1,77%
	im NT	Mittelwert	461	473
		Var.-Koeff.	1,94%	1,03%
Tragfähigkeit	V [kN]	Mittelwert	(250,26)	163,46
		Var.-Koeff.	-	2,33%
		charakt. Wert	-	139,61 ²⁾
		zul. Wert	-	54,49 ³⁾
	M [kNm]	Mittelwert	-	-33,12
		Var.-Koeff.	-	2,30%
		charakt. Wert	-	-28,29 ²⁾
		zul. Wert	-	-11,04 ³⁾
Verschiebungsmodul $k_s (=K_{ser,v})$ [kN/mm]	Mittelwert	43	68	
	Var.-Koeff.	50,55%	44,73%	
Verdrehungsmodul $k_\phi (=K_{ser,\phi})$ [kNm/rad]	Mittelwert	-	5341	
	Var.-Koeff.	-	11,86%	
¹⁾ Bei keinem der Prüfkörper konnte der Bruchzustand erreicht werden (maximale Kraft der Prüfmaschine erreicht). Die angegebenen Werte stellen somit einen unteren Grenzwert der Tragfähigkeit dar und dürfen nicht als „tatsächliche“ Tragfähigkeiten betrachtet werden.				
²⁾ Variationskoeffizient kleiner als 0,05; zur Berechnung ist laut ÖNORM EN 14358 ein Mindestwert von 0,05 anzusetzen.				
³⁾ Gemäß ÖNORM B 4100-2 ist zur Bestimmung eines zulässigen Wertes (Mittelwert/3; kleinster Wert/2,5) eine Mindestprüfkörperanzahl von 5 erforderlich. Die angegebenen Werte sind somit als informative Werte zu betrachten.				

3.1.5. Diskussion der Ergebnisse der Vorversuche „Sherpa-Alt-250“

Wie die in Tabelle 3 dargestellten Ergebnisse der Versuche an „Sherpa-Alt-250“-Verbindern wiedergeben, konnte bei keinem der auf „reines“ Abscheren (Beanspruchungsart 0) geprüften Prüfkörper ein Versagen erreicht werden, weil unerwarteterweise für alle Prüfkörper die maximale Kapazität der verwendeten Prüfmaschine erreicht wurde. Aus der Abschätzung mit Hilfe der Ergebnisse der Beanspruchungsarten 1 und 2 (Exzentrizität $e=+200$ mm bzw. $e=-200$ mm) kann jedoch extrapoliert werden, dass dieser Verbindertyp eine Tragfähigkeit von rund 350 kN (Mittelwert) erreichen kann. Dies ergibt einen zulässigen Wert der Beanspruchbarkeit von rund 108 kN, womit das gesteckte Ziel (zul $F=100$ kN) erreicht wurde. Bei einer Momentenbeanspruchung mit einer Lastexzentrizität von $e=+200$ mm bzw. $e=-200$ mm wurden charakteristische Tragfähigkeiten in Einschubrichtung von rund $V_k=138$ kN bzw. $V_k=140$ kN, mit den zugehörigen Momenten $M_k=+27,9$ kNm bzw. $M_k=-28,3$ kNm (zulässige Tragfähigkeiten: zul $V=53,7$ kN bzw. zul $V=54,5$ kN; zul $M=+10,9$ kNm bzw. zul $M=-11,0$ kNm erreicht. Auf Grund der Schraubenanordnung treten also wenig überraschend dieselben Tragfähigkeiten, sowohl bei positiver als auch negativer Momentenbeanspruchung auf.

Für den Verschiebungsmodul in Einschubrichtung kann ein Wert von $k_s (=K_{ser,v})$ von rund 40 kN/mm angegeben werden, wobei sich dieser Wert bei einer Momentenbeanspruchung von +/- 200 mm auf Grund der auftretenden Reibung zwischen Verbinder und Holz auf einen Wert von rund 65 kN/mm erhöht. Der Verdrehungsmodul $k_\phi (=K_{ser,\phi})$ weist für eine Lastexzentrizität von $e=+200$ mm einen Wert von rund 4800 kNm/rad und rund 5300 kNm/rad bei $e=-200$ mm auf. Der Differenzbetrag Δk_ϕ von rund 500 kNm/rad lässt sich dabei auf die größere Nachgiebigkeit des „Schwalbenschwanzes“ am unteren Ende des Verbinders zurückführen.

3.1.6. Ergebnisse der Vorversuche „Sherpa-XL-140“

Tabelle 4: Rohdichten, Tragfähigkeiten und Verschiebungs- bzw. Verdrehungsmoduln der Prüfungen an „Sherpa-XL-140“-Verbindern

Beanspruchungsart		0	1	2	3	4	
Lastexzentrizität [mm]		0	+ 200	-200	+100	-100	
Prüfkörperanzahl	geprüft	5	5	5	3	3	
	Bruch erreicht	5	5	5	3	1	
Rohdichte ρ_u [kg/m ³]	im HT	Mittelwert	476	474	482	467	477
		Var.-Koeff.	2,12%	5,20%	2,87%	2,40%	2,67%
	im NT	Mittelwert	469	478	463	471	465
		Var.-Koeff.	4,25%	3,80%	4,12%	2,02%	3,87%
Tragfähigkeit	V [kN]	Mittelwert	222,94	77,33	114,08	232,31	232,90 ³⁾
		Var.-Koeff.	4,64%	6,79%	6,41%	2,26%	-
		charakt. Wert	196,97 ¹⁾	65,31	97,41	205,39	-
		zul. Wert	74,31	25,78	38,03	77,44 ²⁾	-
	M [kNm]	Mittelwert	-	15,88	-23,25	23,43	-23,51 ³⁾
		Var.-Koeff.	-	6,62%	6,29%	2,24%	-
		charakt. Wert	-	13,47	-19,91	20,72 ²⁾	-
		zul. Wert	-	5,29	-7,75	7,81	-
Verschiebungsmodul $k_s (=K_{ser,v})$ [kN/mm]	Mittelwert	41	41	39	60	52	
	Var.-Koeff.	17,07%	40,81%	23,01%	17,72%	7,69%	
Verdrehungsmodul $k_\phi (=K_{ser,\phi})$ [kNm/rad]	Mittelwert	-	1426	1945	1905	2415	
	Var.-Koeff.	-	14,55%	16,71%	4,37%	28,54%	
¹⁾ Variationskoeffizient kleiner als 0,05; zur Berechnung ist laut ÖNORM EN 14358 ein Mindestwert von 0,05 anzusetzen.							
²⁾ Gemäß ÖNORM B 4100-2 ist zur Bestimmung eines zulässigen Wertes (Mittelwert/3; kleinster Wert/2,5) eine Mindestprüfkörperanzahl von 5 erforderlich. Die angegebenen Werte sind somit als informative Werte zu betrachten.							
³⁾ Bei zwei der drei Prüfkörper konnte der Bruchzustand nicht erreicht werden (maximale Kraft der Prüfmaschine erreicht). Die angegebenen Werte stellen somit einen unteren Grenzwert der Tragfähigkeit dar und dürfen nicht als „tatsächliche“ Tragfähigkeiten betrachtet werden.							

3.1.7. Diskussion der Ergebnisse der Vorversuche „Sherpa-XL-140*“

Im Rahmen der Prüfungen an „Sherpa-XL-140*“-Verbindern wurde für „reines“ Abscheren ein charakteristischer Wert von rund 197 kN bzw. ein zulässiger Wert von rund 74 kN erreicht. Berücksichtigt man – auf Grund des vorherrschenden Versagensmechanismus „Ausziehen“ der Holzschrauben ist dieses Vorgehen begründbar – einen linearen Ansatz des Einflusses der Rohdichte in Bezug auf den charakteristische Wert der Rohdichte für den NT und HT der Versuche ($\rho_{k,Test} = 448 \text{ kg/m}^3$) und stellt einen Bezug zum charakteristischen Wert der am häufigsten verwendeten BSH-Festigkeitsklasse GL24h ($\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$) her, so ergibt sich:

$$\text{zul } V_{GL24h} = \left(\frac{\rho_{k,GL24h}}{\rho_{k,Test}} \right) \cdot \text{zul } V_{Test} = \left(\frac{380}{448} \right) \cdot 74 = 62,8 \text{ kN} \quad (2)$$

, womit sich die Benennung des Verbinders ergibt.

Bei weiterer Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass die Prüfwerte für eine Exzentrizität von +/- 100 mm (Beanspruchungsarten 3 und 4) in etwa jenen bei „reinem“ Abscheren entsprechen, d.h. auf Grund auftretender Reibungseffekte zwischen Holz und Verbinder treten hier keine signifikante Tragfähigkeitsverminderungen bzw. sogar leicht höhere Werte auf.

Für die Beanspruchungsarten 1 und 2 ($e = +200 \text{ mm}$ bzw. $e = -200 \text{ mm}$) ist aus den Prüfdaten, neben dem naturgemäß zu erwartenden Abfall in Bezug auf die Beanspruchungsart 0, eine deutliche Differenz zwischen den beiden Beanspruchungsarten abzulesen. So ergibt sich für die Beanspruchungsart 1 ein charakt. Wert der Tragfähigkeit von rund $V_k = 65,3 \text{ kN}$ bei einem zugehörigen Moment von $M_k = 13,5 \text{ kNm}$ (zulässige Werte von $\text{zul } V = 25,8 \text{ kN}$ und $\text{zul } M = +5,3 \text{ kNm}$), gegenüber $V_k = 97,4 \text{ kN}$ und $M_k = -19,9 \text{ kNm}$ (zulässige Werte $\text{zul } V = 38,0 \text{ kN}$ und $\text{zul } M = -7,8 \text{ kNm}$), d.h. ein Abfall der Tragfähigkeit in Bezug auf die Beanspruchungsart 2 von rund 33%. Diese Differenz lässt sich auf Grund der Bruchursachen (siehe Abschnitt 4) auf die geringe Steifigkeit bzw. die geringere Tragfähigkeit der Momentenschrauben des „nut“-förmigen Verbinderteils im Nebenträgers zurückführen. Dieser Sachverhalt kann auch aus den unterschiedlichen Verdrehungsmoduln bei annähernd gleichen Verschiebungsmoduln ($k_{s,1} = 41 \text{ kN/mm}$; $k_{s,2} = 29 \text{ kN/mm}$) für die genannten Beanspruchungsarten ($k_{\phi,1} = 1426 \text{ kNm/rad}$; $k_{\phi,2} = 1945 \text{ kNm/rad}$) abgeleitet werden.

4. Zulassungsprüfungen

4.1. Allgemeines

Um die Leistungsfähigkeit des in den Vorversuchen geprüften Sherpa-Verbinders zu erhöhen lag es nahe für die Prüfungen zur Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung den, am NT befestigten, „Sherpa-XL“-Verbinderteil mit zwei zusätzlichen MomS auszustatten.

Weiters waren gegenüber den Vorversuchen zusätzliche Beanspruchungsarten (Abscheren mit und ohne Momentenbeanspruchung quer zur Einschubrichtung, Zug in Richtung des Nebenträgers) abzudecken. Zusätzlich wurde die Tragfähigkeit einer Abhebesicherung geprüft.

Der Prüfplan sah dabei eine, bezgl. der zu untersuchenden Beanspruchungsarten und Prüfkörperanzahl, umfangreichere Prüfserie mit dem (modifizierten) Verbindertyp „Sherpa-XL-140“ vor. Um die Kennwerte für die in Tabelle 1 angeführte Produktfamilie bestmöglich abzudecken wurden weiters Prüfserien mit Verbindern geringerer (Sherpa-XL-80) und höherer (Sherpa-XL-250) Tragfähigkeit untersucht.

Um das Tragfähigkeitspotenzial von, in Anlehnung an die Arbeit von Hude [2], entwickelten Verbindern mit Doppelnut (b/h = 140/605 mm; im HT: 16 SchS + 4 MomS; im NT: 24 SchS + 5 Moms; Gesamt: 49 Schrauben) zu untersuchen, wurden weitere Prüfungen mit diesem Typ durchgeführt, während aus Gründen des beschränkten Anwendungsbereiches (Breite des NT ≥ 200 mm) von weiteren Prüfungen des Typs „Sherpa-Alt“ abgesehen wurde. Abbildung 8 zeigt die geprüften unterschiedlichen Verbindertypen, während Tabelle 5 eine Übersicht über die untersuchten Belastungsrichtungen und -arten, deren Exzentrizitäten und die geprüfte Anzahl von Prüfkörpern je Verbindertyp angibt.



Abbildung 8: Im Zuge der Zulassungsprüfungen untersuchte Verbindertypen (v.l.n.r.: Sherpa-XL-80; -XL-140; -XL-250; -XLD-220)

Tabelle 5: Beanspruchungsarten, deren Lastexzentrizität und Anzahl der Versuche pro Verbinder für die Zulassungsprüfungen

Beanspruchungsrichtung	Beanspruchungsart	Exzentrizität	Sherpa-XL-80	Sherpa-XL-140	Sherpa-XL-250	Sherpa-XLD-220	Summe
		[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
in Einschubrichtung (EinSchR)	0	0	5	5	3	3	16
	1	+200	3	5 (8)	3	-	11 (14)
	2	-200	3	5	3	-	11
	3	+100	3	5 (6)	-	-	8 (9)
	4	-100	3	5	-	-	8
quer zur Einschubrichtung	5	0	5	5	-	3	13
	6	200	-	3	-	-	3
	7	100	-	3 (4)	-	-	3 (4)
Zug in Richtung des NT	8	-	5	5	-	3	13
entgegen der EinSchR	9	0	-	5	-	-	5
Summe			27	46 (51)	9	9	91 (96)
Anmerkung: Die mit Klammern versehenen Zahlen geben die Anzahl der tatsächlich geprüften Probekörper wieder, während die Zahlen ohne Klammern die Anzahl der in der statistischen Auswertung berücksichtigten Prüfkörper bedeuten.							

4.2. Prüfkonfiguration, sowie Durchführung und Auswertung der Prüfungen

Die Prüfkonfiguration für die Beanspruchungsarten 0 bis 4 blieb gegenüber den Vorversuchen im Wesentlichen unverändert. Zur Erreichung höherer Kräfte auf den Verbinder wurden lediglich die Spannweitenabmessungen für die Typen Sherpa-XL-140, -XL-250 und -XLD-220 auf $L_1 = 4500$ mm und $L_2 = 1000$ mm erhöht. Für die Prüfungen mit einer Beanspruchung quer zur Einschubrichtung wurden die Abmessungen mit $L_1 = 3000$ mm und $L_2 = 800$ mm durchgeführt.

Für die letztgenannten Prüfungen wurden die mittels Sherpa-Verbindern verbundenen HT und NT um 90° gedreht und in das, mittels passender Stahlprofile, adaptierte Prüfgerüst eingebaut.

Um Prüfwerte für repräsentative Werte der BSH-Prüfkörper zu erhalten wurde für die Zulassungsprüfungen generell Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24h verwendet. Die Abmessungen der Querschnitte betragen für die Prüfungen der Sherpa-XL-80 Verbindner $b/h = 160/440$ mm, für alle weiteren Verbindner $b/h = 160/800$ mm. Um eine statistisch zufällige Verteilung der Prüfkörperrohlichten zu erreichen wurden im Vorfeld mehrere 800 mm lange Trägerabschnitte von den BSH-Trägern abgekappt und nach einem im Vorhinein festgelegten Schema miteinander kombiniert.

Wie aus den Ergebnissen der Vorversuche ersichtlich wurde reichte die Kapazität der Prüfmaschine – insbesondere für die Prüfungen in Einschubrichtung der Verbindner Sherpa-XL-140, -XL-250 und -XLD-220 – nicht aus um einen Bruch herbeizuführen. Aus diesem Grund wurden die genannten Prüfungen am servohydraulisch betriebenen 1 MN-Prüfgerüst im Bautechnikzentrum der TU Graz in Zusammenarbeit mit dem Labor für Konstruktiven Ingenieurbau durchgeführt.

Für die Zugprüfungen in Richtung des Nebenträgers (Beanspruchungsart 8) wurde einerseits der HT über Gewindestangen und querliegende Stahlprofile mit der Auflagerbank der Prüfmaschine verbunden, andererseits wurde die Krafteinleitung der Prüfmaschine mittels eines T-förmigen Stahlformteiles, der mit 8 x Ø 10 mm, Länge 300 mm VG-Schrauben mit dem NT verbunden war, umgesetzt. Aus den Ergebnissen der vorher durchgeführten Prüfungen der Beanspruchungsarten 1 und 2 war bekannt, dass bei positiven bzw. negativen Momentenangriff verschiedene Verdrehungsmoduln auftreten. Aus diesem Grund wurde der Kraftangriff bei den Typen Sherpa-XL-80 bzw. Sherpa-XL-140 um 25 mm bzw. 32,5 mm in Richtung des steiferen „Kopfes“ der Verbindner verschoben.



Abbildung 9: 1-MN-Prüfgerüst am Aufspannfeld des Bautechnikzentrums der TU Graz

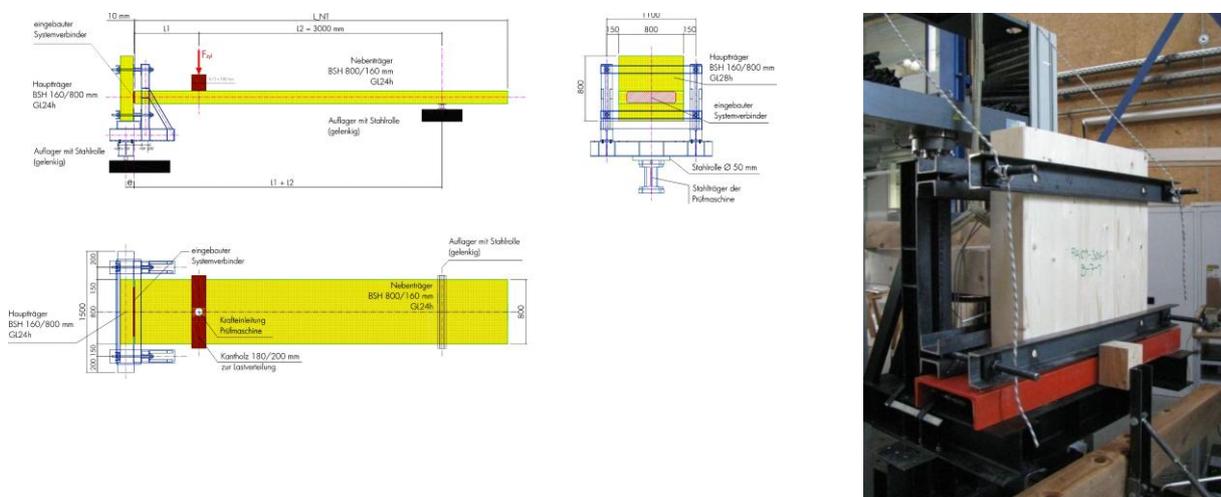


Abbildung 10: Prüfkonfiguration für die Prüfungen quer zur Einschubrichtung (Beanspruchungsarten 5 bis 7)

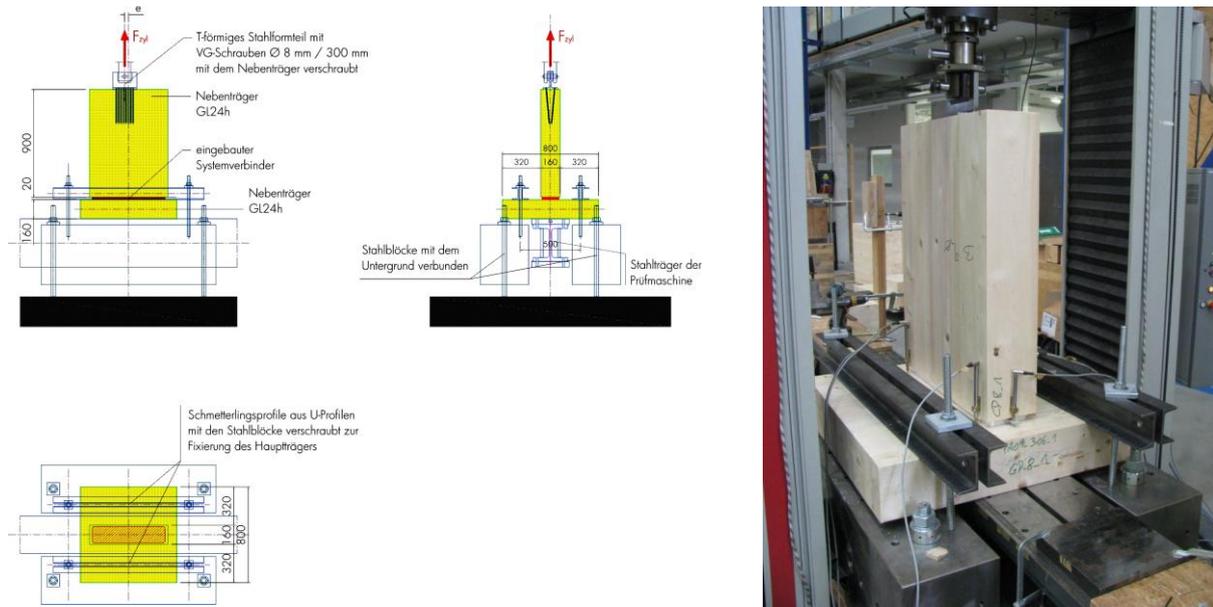


Abbildung 11: Prüfkongfiguration für die Prüfungen auf Zug in Richtung des NT (Beanspruchungsart 8)

4.3. Ergebnisse der Zulassungsprüfungen „Sherpa-XL-80“

Die Ergebnisse der Zulassungsprüfungen für den Verbindertyp „Sherpa-XL-80“ können der nachfolgenden Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 6: Ergebnisse der Zulassungsprüfungen für den Verbindertyp „Sherpa-XL-80“

Beanspruchungsrichtung		in Einschubrichtung					quer	Zug	
Beanspruchungsart		0	1	2	3	4	5	8	
Lastexzentrizität [mm]		0	+ 200	-200	+100	-100	0	25	
Prüfkörperanzahl	geprüft	5	3	3	3	3	5	5	
	in Auswertung berück.	5	3	3	3	3	5	5	
Rohdichte ρ_u [kg/m ³]	im HT	Mittelwert	421	410	415	439	441	423	433
		Var.-Koeff.	4,90%	3,41%	0,97%	9,48%	2,71%	6,20%	1,18%
	im NT	Mittelwert	435	430	415	425	430	429	441
		Var.-Koeff.	3,41%	3,26%	5,08%	5,77%	1,95%	2,73%	4,19%
Tragfähigkeit	V bzw. T [kN]	Mittelwert	147,73	88,60	74,79	131,03	140,42	51,88	73,94
		Var.-Koeff.	7,00%	7,01%	13,45%	7,72%	5,42%	9,29%	5,70%
		charakt. Wert	124,38	71,17	49,37	103,02	118,52	41,00	64,34
		zul. Wert	49,24	29,53 ¹⁾	24,93 ¹⁾	43,68 ¹⁾	46,81 ¹⁾	17,29	24,65
	M [kNm]	Mittelwert	-	18,09	-15,37	13,28	-14,26	-	-
		Var.-Koeff.	-	6,87%	13,10%	7,61%	5,33%	-	-
		charakt. Wert	-	14,60	-10,25	10,47	-12,06	-	-
		zul. Wert	-	6,03 ¹⁾	-7,08 ¹⁾	4,43 ¹⁾	-6,05 ¹⁾	-	-
Verschiebungsmodul $k_s (=K_{ser,V})$ [kN/mm]	Mittelwert	39	57	57	40	41	7,30	24	
	Var.-Koeff.	9,32%	17,15%	16,03%	14,14%	8,21%	6,45%	13,16%	
Verdrehungsmodul $k_\phi (=K_{ser,\phi})$ [kNm/rad]	Mittelwert	-	1688	1384	2253	1663	-	-	
	Var.-Koeff.	-	9,03%	6,26%	23,09%	18,35%	-	-	

¹⁾ Gemäß ÖNORM B 4100-2 ist zur Bestimmung eines zulässigen Wertes (Mittelwert/3; kleinster Wert/2,5) eine Mindestprüfkörperanzahl von 5 erforderlich. Die angegebenen Werte sind somit als informative Werte zu betrachten.

4.3.1. Ergebnisse der Zulassungsprüfungen „Sherpa-XL-140“

Die Ergebnisse der Zulassungsprüfungen für den Verbindertyp „Sherpa-XL-140“ können der nachfolgenden Tabelle 7 entnommen werden.

Tabelle 7: Ergebnisse der Zulassungsprüfungen für den Verbindertyp „Sherpa-XL-140“

Beanspruchungsrichtung		in Einschubrichtung					
Beanspruchungsart		0	1	2	3	4	
Lastexzentrizität [mm]		0	+ 200	-200	+100	-100	
Prüfkörperanzahl	geprüft	5	8 ¹⁾	5	6 ²⁾	5	
	in Auswertung berück.	5	5	5	5	5	
Rohdichte ρ_u [kg/m ³]	im HT	Mittelwert	435	422	448	442	445
		Var.-Koeff.	3,98%	3,64%	3,12%	5,19%	4,56%
	im NT	Mittelwert	442	443	433	432	430
		Var.-Koeff.	3,35%	4,06%	2,56%	3,72%	3,97%
Tragfähigkeit	V [kN]	Mittelwert	225,43	120,19	106,89	212,05	212,91
		Var.-Koeff.	7,06%	5,61%	10,53%	3,54%	4,79%
		charakt. Wert	188,19	104,54	81,98	187,41 ³⁾	188,10 ³⁾
		zul. Wert	75,14	40,06	35,63	70,68	70,97
	M [kNm]	Mittelwert	-	24,44	-21,82	21,39	-21,52
		Var.-Koeff.	-	5,52%	10,31%	3,51%	4,74%
		charakt. Wert	-	21,30	-16,33	18,91 ³⁾	-19,01 ³⁾
		zul. Wert	-	8,15	-9,80	7,13	-9,15
Verschiebungsmodul $k_s (=K_{ser,v})$ [kN/mm]	Mittelwert	40	77	45	47	40	
	Var.-Koeff.	4,58%	11,61%	6,39%	17,99%	5,20%	
Verdrehungsmodul $k_\phi (=K_{ser,\phi})$ [kNm/rad]	Mittelwert	-	2379	1626	2053	2303	
	Var.-Koeff.	-	7,60%	11,85%	32,67%	24,30%	

Beanspruchungsrichtung		quer zur Einschubrichtung			Zug	Abheben	
Beanspruchungsart		5	6	7	8	9	
Lastexzentrizität [mm]		0	200	-100	32,5		
Prüfkörperanzahl	geprüft	5	3	4	5	5	
	in Auswertung berück.	5	3	3	5	5	
Rohdichte ρ_u [kg/m ³]	im HT	Mittelwert	433	433	428	436	443
		Var.-Koeff.	2,23%	6,31%	2,87%	3,62%	3,11%
	im NT	Mittelwert	438	437	423	442	432
		Var.-Koeff.	2,33%	0,23%	1,98%	6,54%	1,63%
Tragfähigkeit	V bzw. T [kN]	Mittelwert	62,81	23,63	58,75	79,74	40,00 ⁵⁾
		Var.-Koeff.	7,96%	2,75%	19,51%	7,15%	
		charakt. Wert	51,48	20,18 ³⁾	43,81	67,10	
		zul. Wert	20,94	7,88 ⁴⁾	19,58	26,58	
	M [kNm]	Mittelwert	-	5,40	-6,25	-	-
		Var.-Koeff.	-	2,44%	18,35%	-	
		charakt. Wert	-	4,61 ³⁾	-4,75	-	
		zul. Wert	-	1,80 ⁴⁾	-3,17	-	
Verschiebungsmodul $k_s (=K_{ser,v})$ [kN/mm]	Mittelwert	8,20	87	26	25	-	
	Var.-Koeff.	10,22%	21,66%	27,41%	6,36%		
Verdrehungsmodul $k_\phi (=K_{ser,\phi})$ [kNm/rad]	Mittelwert	-	152	107	-	-	
	Var.-Koeff.	-	19,74%	17,15%	-		

¹⁾ Bei drei Prüfkörpern traten Querzugrisse auf Höhe der unteren Momentenschrauben auf. Diese sind auf Nichteinhaltung der (a/h)-Verhältnisse laut Zulassung zurückzuführen. Diese Prüfkörper blieben in der statistischen Auswertung unberücksichtigt.

²⁾ Bei einem Prüfkörper trat im Bereich der unteren Momentenschrauben während der Prüfung ein Querzugriss auf. Dieser Prüfkörper blieb in der statistischen Auswertung unberücksichtigt. Grund: siehe ¹⁾

³⁾ Variationskoeffizient kleiner als 0,05; zur Berechnung ist laut ÖNORM EN 14358 ein Mindestwert von 0,05 anzusetzen.

⁴⁾ Gemäß ÖNORM B 4100-2 ist zur Bestimmung eines zulässigen Wertes (Mittelwert/3; kleinster Wert/2,5) eine Mindestprüfkörperanzahl von 5 erforderlich. Die angegebenen Werte sind somit als informative Werte zu betrachten.

⁵⁾ In den Prüfungen konnte kein Versagen der Abhebesicherung erreicht werden. Aus dem Verlauf der Kraft-Weg-Diagramme wurde der Wert für die Abhebesicherung mit 40 kN abgelesen. Die Abhebesicherung ist für 10% der Beanspruchung von Beanspruchungsart 0 ausgelegt.

4.3.2. Ergebnisse der Zulassungsprüfungen „Sherpa-XL-250“

Die Ergebnisse der Zulassungsprüfungen für den Verbindertyp „Sherpa-XL-250“ können der nachfolgenden Tabelle 8 entnommen werden.

Tabelle 8: Ergebnisse der Zulassungsprüfungen für den Verbindertyp „Sherpa-XL-250“

Beanspruchungsrichtung		in Einschubrichtung			
Beanspruchungsart		0 ¹⁾	1	2	
Lastexzentrizität [mm]		0	+ 200	-200	
Prüfkörperanzahl	geprüft	3	3	3	
	in Auswertung berücks.	3	3	3	
Rohdichte ρ_u [kg/m ³]	im HT	Mittelwert	454	418	434
		Var.-Koeff.	2,17%	2,50%	2,66%
	im NT	Mittelwert	438	434	448
		Var.-Koeff.	4,62%	3,33%	4,40%
Tragfähigkeit	V [kN]	Mittelwert	339,89	219,75	214,53
		Var.-Koeff.	0,77%	15,49%	8,03%
		charakt. Wert	290,36 ²⁾	135,01	166,37
		zul. Wert	113,30 ³⁾	73,25 ³⁾	71,51 ³⁾
	M [kNm]	Mittelwert	-	44,35	-43,35
		Var.-Koeff.	-	15,35%	7,95%
		charakt. Wert	-	30,37	-33,70
		zul. Wert	-	14,78 ³⁾	-18,78 ³⁾
Verschiebungsmodul $k_s (=K_{ser,v})$ [kN/mm]	Mittelwert	59	80	63	
	Var.-Koeff.	3,67%	22,21%	3,60%	
Verdrehungsmodul $k_\phi (=K_{ser,\phi})$ [kNm/rad]	Mittelwert	-	4579	4010	
	Var.-Koeff.	-	4,63%	10,79%	

¹⁾ Bei zwei der drei Prüfkörper trat kein Versagen der Verbinder auf - ein Prüfkörper wies einen Schubbruch, bei einem anderen trat ein Querkzugriss auf - in beiden Fällen auf einem relativ hohen Lastniveau. Auf Grund der geringen Prüfkörperanzahl wurden beide Prüfkörper in der statistischen Auswertung belassen. Beim angegebenen Wert handelt es sich somit um einen unteren Grenzwert dieses Verbindertyps.

²⁾ Variationskoeffizient kleiner als 0,05; zur Berechnung ist laut ÖNORM EN 14358 ein Mindestwert von 0,05 anzusetzen.

³⁾ Gemäß ÖNORM B 4100-2 ist zur Bestimmung eines zulässigen Wertes (Mittelwert/3; kleinster Wert/2,5) eine Mindestprüfkörperanzahl von 5 erforderlich. Die angegebenen Werte sind somit als informative Werte zu betrachten.

4.3.3. Ergebnisse der Zulassungsprüfungen „Sherpa-XLD-220“

Die Ergebnisse der Zulassungsprüfungen für den Verbindertyp „Sherpa-XLD-220“ können der nachfolgenden Tabelle 9 entnommen werden.

Tabelle 9: Ergebnisse der Zulassungsprüfungen für den Verbindertyp „Sherpa-XLD-220“

Beanspruchungsrichtung		in Einschubrichtung			
Beanspruchungsart		0 ¹⁾	5	8	
Lastexzentrizität [mm]		0	0	0	
Prüfkörperanzahl	geprüft	3	3	3	
	in Auswertung berücks.	3	3	3	
Rohdichte ρ_u [kg/m ³]	im HT	Mittelwert	432	441	426
		Var.-Koeff.	1,19%	4,59%	1,88%
	im NT	Mittelwert	443	431	446
		Var.-Koeff.	1,60%	1,80%	1,84%
Tragfähigkeit	V bzw. T [kN]	Mittelwert	338,15	112,16	133,11
		Var.-Koeff.	4,40%	4,30%	2,92%
		charakt. Wert	288,69 ²⁾	95,76 ²⁾	113,68 ²⁾
		zul. Wert	112,72 ³⁾	37,39 ³⁾	44,37 ³⁾
Verschiebungsmodul $k_s (=K_{ser,v})$ [kN/mm]	Mittelwert	85	12,82	29	
	Var.-Koeff.	2,60%	7,73%	19,26%	

¹⁾ Bei zwei der drei Prüfkörper traten Schubbrüche auf einem hohen Lastniveau auf. Auf Grund der geringen Prüfkörperanzahl wurden beide Prüfkörper in der statistischen Auswertung belassen. Beim angegebenen Wert handelt es sich also um einen unteren Grenzwert dieses Verbindertyps.

²⁾ Variationskoeffizient kleiner als 0,05; zur Berechnung ist laut ÖNORM EN 14358 ein Mindestwert von 0,05 anzusetzen.

³⁾ Gemäß ÖNORM B 4100-2 ist zur Bestimmung eines zulässigen Wertes (Mittelwert/3; kleinster Wert/2,5) eine Mindestprüfkörperanzahl von 5 erforderlich. Die angegebenen Werte sind somit als informative Werte zu betrachten.

4.4. Diskussion der Ergebnisse der Zulassungsprüfungen

Wie aus den angeführten Ergebnissen der Tabellen 6 bis 9 ersichtlich wird, kann die Tragfähigkeit von Sherpa-XL-Verbindern in Einschubrichtung ohne bzw. bei einer geringen Lastausmitte auf das hohe Tragfähigkeitspotenzial der eingedrehten SchS zurückgeführt werden. Mit ansteigender Anzahl an SchS und unter Beachtung einer Referenzroh-dichte (von z.B. $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ für GL24h) ergibt sich eine, in etwa linear mit zunehmender SchS-Anzahl ansteigende Tragfähigkeit. Ab einer, vom Verbindertyp bzw. dessen geometrischen Abmessungen abhängigen Lastausmitte sind zusätzlich zur einwirkenden Querkraft auch Momente vom Verbinder aufzunehmen. Diese Funktion wird von den eingedrehten MomS wahrgenommen. Auf Grund der unterschiedlichen geometrischen Abmessungen der Verbinder und der damit verbundenen Hebel der MomS können folglich auch unterschiedlich hohe (Trag-) Momente aufgenommen werden. Die gegenüber den Vorversuchen durchgeführte Modifikation in Form der Anordnung von zwei zusätzlichen MomS im „NT“ gegenüber den Vorversuchen kann als erfolgreich bezeichnet werden. Sowohl die Tragfähigkeits-, als auch die Steifigkeitskennwerte der Beanspruchungsart 1 ($e = +200 \text{ mm}$) liegen nunmehr über jenen der Beanspruchungsart 2 ($e = -200 \text{ mm}$), womit die signifikanten Unterschiede der Vorversuche für die genannten Beanspruchungsarten kompensiert werden konnten.

Bei einer Beanspruchung quer zur Einschubrichtung kommt es zu einer Beanspruchung des Verbinders bzw. der Schrauben auf Abscheren. Aus den Bruchbildern kann auch das Auftreten des sog. „Seileffektes“ in den Schrauben beobachtet werden. Somit können die Tragfähigkeiten unter Beachtung der entsprechenden Festlegungen für die Lochleibungs-festigkeit und das Fließmoment mit Hilfe der Johansen-Gleichungen ermittelt werden, wobei auf Grund der Ausbildung bzw. Lagerung des Schraubenkopfes von dessen Ein-spannung („dickes“ Blech) ausgegangen werden kann. Auf Grund der geometrischen Verhältnisse stellt dabei immer der NT-Anschluss den Schwachpunkt der Verbindung dar, d.h. es tritt dort ein Abscheren der Holzschrauben verbunden mit nachfolgendem Aufreißen der Holzoberfläche auf. Die Tragfähigkeitswerte erreichen für die geprüften Verbinder rund 1/3 der Werte in Einschubrichtung.

Bei den Prüfungen auf Zug zeigte sich, dass die Tragfähigkeit der Verbinder vorwiegend durch ein „Ausziehen“ der Momentenschrauben, verbunden mit einer Aufwölbung des schwalbenschwanzförmigen Teils zwischen „Nut“ und „Feder“ und nachfolgendem Ausziehen desselben bestimmt wird. Die Tragfähigkeit kann somit über die Tragfähigkeit der annähernd normal (HT) bzw. parallel (NT) zur Faserrichtung eingedrehten MomS bestimmt werden.

Im Zuge der Prüfungen für die Abhebesicherung (Beanspruchungsart 9), welche in Form von zwei in die Fuge zwischen „Nut“ und „Feder“ eingedrehte Blechschrauben umgesetzt wurde, konnte bei keinem Prüfkörper ein Versagen festgestellt werden. Wie aus den aufgezeichneten Kraft-Weg-Diagrammen zu folgern ist, wird die Abhebesicherung bis ca. 40 kN beansprucht, danach kommt es infolge der Verdrehungen von „Nut“ und „Feder“-Teil zum Verkeilen bzw. zum Aufbau einer Haftreibung zwischen den beiden Verbinderteilen. Bereits vor der Durchführung der Prüfungen wurde mit dem Auftraggeber vereinbart die Abhebesicherung für eine Beanspruchung von rund 10% der Tragfähigkeit in Einschubrichtung auszulegen. Dieser Wert für die Tragfähigkeit kann trotz fehlender, auf die Abhebesicherung beziehbarer Versagenserscheinungen – im Zuge der Prüfungen wurden auf Grund des oben beschriebenen Effektes Tragfähigkeiten von rund 90 kN aufgezeichnet – bestätigt werden.

5. Bruchmechanismen und -bilder

Bezüglich der in den Prüfungen aufgetretenen Bruchmechanismen ist anzumerken, dass für die jeweiligen Beanspruchungsarten in den Prüfserien jeweils gleichartige Versagensmechanismen festgestellt werden konnten. Im Folgenden sind diese an Hand einiger typischer Bruchbilder – auf Grund des beschränkten Umfangs - selbsterklärend angefügt. Anzumerken ist weiters, dass bei keinem der geprüften Verbinder ein sprödes Versagen zu verzeichnen war. Vielmehr zeigte sich, dass die Aluminiumteile ein sehr duktilen Verhalten aufweisen und somit den gewünschten Effekt einer hohen Plastizität sicherstellen.

Im Zuge der Prüfungen der Beanspruchungsarten 0 und 1 kam es bei einigen wenigen Prüfkörpern zu einer Rissbildung infolge einer Querkzugbeanspruchung im Bereich der unteren MomS. Dieses Bruchverhalten trat jedoch bei einem relativ hohen Lastniveau auf und ergibt bei Einhaltung der entsprechenden Regelungen der Zulassungen bzw. normativen Festlegungen (a/h -Verhältnis $> 0,7$) keinen Grund zur Sorge.

Bei insgesamt drei Prüfkörpern traten – ebenfalls bei sehr hohen Lasten - Schubbrüche auf, d.h. es wurde nicht die Tragfähigkeit des Verbinders sondern jene des Nebenträgers maßgebend.

- Beanspruchungsart 0 („reines“ Abscheren in Einschubrichtung)

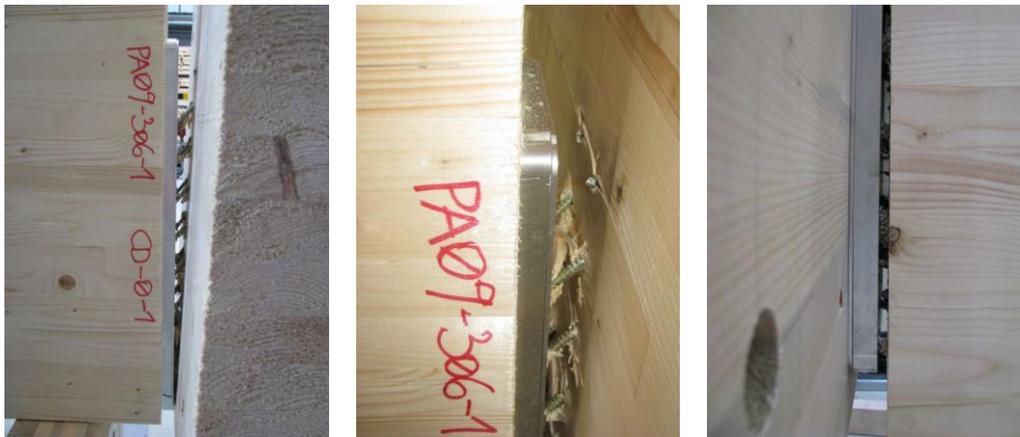


Abbildung 12: Bruchbilder – Beanspruchungsart 0; Ausziehen der SchS im HT (li.); Detail mit abgescherten MomS (Mitte); Ausziehen der SchS im NT (re.)

- Beanspruchungsart 1 (Abscheren mit Momentenbeanspruchung in Einschubrichtung; $e = + 200$ mm)



Abbildung 13: Bruchbilder – Beanspruchungsart 1; Ausziehen der MomS im NT und Aufwölbung des „nut“-förmigen Teils (Vorversuche) (li.); wie vorher, jedoch Ausziehen des unteren, schwalbenschwanzförmigen Teils des Verbinders (Mitte); Detail des vorherigen Bildes (re.)

- Beanspruchungsart 2 (Abscheren mit Momentenbeanspruchung in Einschubrichtung; $e = -200 \text{ mm}$)



Abbildung 14: Bruchbilder – Beanspruchungsart 2; Ausziehen der oberen MomS im HT (li.); wie vorher jedoch mit Ausziehen des „Kopfes“ der Verbindung (Mitte); Detail der ausgezogenen MomS und des „Kopfes“ (re.)

- Beanspruchungsart 5 (Abscheren mit Momentenbeanspruchung quer zur Einschubrichtung; $e = 0 \text{ mm}$)



Abbildung 15: Bruchbilder – Beanspruchungsart 5; Rissbildung und Abscheren von plattenförmigen Holzteilen im Bereich der oberen Schraubenreihe (li.); seitliche Rissbildung im Bereich der oberen Schraubenreihe; Fließgelenkbildung mit „Seilwirkung“ der Schrauben (Mitte); Verschiebung des Verbinders infolge der Beanspruchung auf Abscheren und der damit verbundenen Rissbildung (re.)

- Beanspruchungsart 8 (Zug in Richtung des Nebenträgers)



Abbildung 16: Bruchbilder – Beanspruchungsart 8; Ausziehen des Schwalbenschwanzes im NT (li.); Ausziehen des Schwalbenschwanzes bzw. MomS, Verwölbung des Verbinders (Mitte); ausgezogene MomS (re.)

6. Zusammenfassung und weitere Schritte

Die durchgeführten Prüfungen an den, in Zusammenarbeit zwischen der Fa. Harrer / GmbH. / Frohnleiten, AT und der holz.bau forschungs gmbh an der Technischen Universität Graz, entwickelten Sherpa-XL-Systemsteckverbindern zeigen, dass mit diesen Verbindern zulässige Kräfte von bis zu rund 110 kN bzw. charakteristische Beanspruchungen von bis zu 290 kN in Einschubrichtung (ohne Momentenbeanspruchung) für Holzquerschnitte mit einer Breite $b \geq 160$ mm aufnehmbar sind. Die Tragfähigkeit wird vorwiegend durch die Anzahl der eingesetzten Schrägschrauben bestimmt, wodurch deren Bestimmung für diese Beanspruchungsart in einfacher Weise ermöglicht wird. Bei einer zusätzlichen Momentenbeanspruchung sind entsprechend der auftretenden Lastausmitten Abminderungen der Tragfähigkeit zu berücksichtigen (siehe dazu z.B. Zulassung Z-9.1-558 [1]).

Quer zur Einschubrichtung werden die eingebauten Schrauben auf Abscheren beansprucht. Die Tragfähigkeit erreicht rund 1/3 der Werte bei einer Beanspruchung in Einschubrichtung.

Für die Beanspruchungsart Zug in Richtung der Nebenträgerachse ist vorwiegend das Potenzial der in etwa quer (HT) bzw. parallel (NT) zur Faserrichtung eingedrehten Momentenschrauben maßgebend (der kleinere Wert ist maßgebend).

Zur Aufnahme von Kräften entgegen der Einschubrichtung (Abheben) kann eine Abhebesicherung eingebaut werden. Diese ist in der Lage eine Kraft von 10 % der Einwirkungen in Einschubrichtung zu übertragen.

Bei keinem der durchgeführten Prüfungen – sowohl der Vorversuche, als auch der Zulassungsprüfungen – kam es zu einem sprödartigen Versagen, vielmehr zeichnen sich „Sherpa-XL“-Verbinder durch ein duktileres Tragverhalten bei hoher Tragfähigkeit und hoher Steifigkeit aus. Damit sind die drei wichtigsten technischen Voraussetzungen an Verbindungen in bester Weise erfüllt, womit einem praktischen Einsatz – unter Beachtung einiger weniger Bemessungs- und Ausführungsregeln – nichts mehr im Wege stehen sollte.

Auf Basis der vorliegenden Prüfungen wird derzeit um eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die Produktfamilie „Sherpa-XL“ bei Deutschen Institut für Bautechnik ange-sucht.

Weitere Entwicklungen betreffen eine Optimierung der Doppelnut-Verbinder. So ist unter Beibehaltung der bestehenden geometrischen Abmessungen bei Erhöhung der Schrägschraubenanzahl im „feder“-förmigen Teil des Verbinders von 16 auf 20 das Erreichen einer charakteristischen Beanspruchbarkeit in Einschubrichtung und bei kleiner Lastausmitte von rund 280 kN ohne größeren Aufwand möglich. Von Seiten der Harrer GmbH ist geplant diesen Verbindertyp bis zu einer zulässigen Tragfähigkeit von 400 kN weiter zu entwickeln. Diese Last ist bei Anordnung einer entsprechenden Schrägschraubenanzahl und Anpassung der Verbindergeometrie, sowie der Resultate aus den vorliegenden Prüfungen erreichbar.

Für den sicheren und zuverlässigen Einsatz der „Sherpa-XL“-Verbinder soll in den nächsten Monaten eine Benutzerbroschüre erarbeitet werden, die neben technischen Angaben zu den einzelnen Verbindertypen und dem Berechnungsmodell aus der angestrebten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung auch praktische Anwendungsfälle beinhalten soll. Um dem Anwender den sicheren Umgang in der Bemessung dieser Verbinder zu vermitteln soll diese an Hand einiger ausgewählter Bemessungsfälle in Form von vorgerechneten Beispielen dargestellt werden.

Weitere Überlegungen zur Weiterentwicklung dieses Verbindersystems betreffen den Einsatz von Verbindern für Brettsperrholz, sowie Laubholz. Um ein Online-Monitoring der Steckverbinder zu ermöglichen sollen in Zukunft weiters sog. „Smart-Sherpa“-Verbinder entwickelt werden, in denen durch Implementierung entsprechender messtechnischer Ausrüstung die aktuellen Beanspruchung auf den Verbinder abgefragt werden kann.

7. Danksagung

Der Verfasser dieses Berichtes bedankt sich bei DI S. Rauter für die Entwicklung des Prüfgerüsts, sowie die Durchführung eines Großteils der Vorversuche und der dafür erforderlichen Versuchsplanung im Rahmen seiner Tätigkeit an der hbf Graz. Für die, unter großem Zeitdruck erbrachte Durchführung der Zulassungsprüfungen und den dabei gezeigten persönlichen Einsatz gebührt Ing. B. Heissenberger (Institut für Holzbau und Holztechnologie und hbf gmbh) und T. Kröpfl (hbf gmbh), sowie DI R.A. Jöbstl (Institut für Holzbau und Holztechnologie), als auch dem Team des Labors für Konstruktiven Ingenieurbau an der TU Graz (DI J. Linder, Ing. U. Fülöp, R. Holzschuster) größter Dank und Anerkennung. Weiters haben DI (FH) B. Lederwasch (Fa. Harrer GmbH) und A. Eberhard, sowie dessen Mutter (!) (Fa. Fisch-Tools) durch ihr persönliches Engagement zur Einhaltung des knapp gehaltenen Prüfzeitraumes beigetragen. Last-but-not least sei V. Harrer für seine gezeigte Innovations- und Entschlussfreudigkeit und – in Zeiten wie diesen nicht selbstverständlich – für die Möglichkeit zur Durchführung, insbesondere aber auch für die zur Verfügung gestellte finanzielle Bedeckung dieses Projektes gedankt.

Die Vorversuche im Rahmen dieses Projektes (p_1.2.4) wurden vom Kompetenzzentrum holz.bau forschungs gmbh finanziert und in Kooperation mit dem Institut für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz und dem Industriepartner Harrer GmbH bearbeitet.

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, der Steirischen Wirtschaftsförderungsgesellschaft mbH und des Landes Steiermark gefördert.

8. Literatur

- [1] Deutsches Institut für Bautechnik, Zulassung Z-9.1-558 „Verbinder SHERPA als Holzverbindungsmittel“, Berlin, 29. April 2005
- [2] Hude, F.; „Verbindungssysteme für Queranschlüsse von Neben- und Hauptträger im Ingenieurholzbau“, Diplomarbeit, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz, 2005
- [3] ÖNORM EN 26891, Ausgabe: 1. August 1991, „Holzbauwerke – Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln, Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens (ISO 6891:1983)“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1991
- [4] ÖNORM EN 14358, Ausgabe: 2007-04-01, „Holzbauwerke – Berechnung der 5%-Quantile für charakteristische Werte und Annahmekriterien für Proben“, Österreichisches Normeninstitut, Wien, 2007
- [5] ÖNORM B 4100-2, Ausgabe: 2004-03-01, „Holzbau – Holztragwerke, Teil 2: Berechnung und Ausführung“, Österreichisches Normeninstitut, Wien, 2004
- [6] Schickhofer, G.; Jöbstl, R.A.; Augustin, M.; „Harrer Sherpa-Steckverbindungen, Prüfungen der Tragfähigkeit und Steifigkeit“, Prüfbericht Nr. PB09-124-1-01, Lignum Test Center, Graz, 17.09.2009
- [7] Schickhofer, G.; Jöbstl, R.A.; Augustin, M.; „Harrer Sherpa-Steckverbindungen, Prüfungen der Tragfähigkeit und Steifigkeit“, Prüfbericht Nr. PB09-306-1-01, Lignum Test Center, Graz, 12.10.2009