

# Längsschubverbindungen in den Schmalseiten von Brettsperrholzelementen

In plane shear connections in the edges of CLT members

Connecteurs sollicités en cisaillement et orientés dans le sens du raccord entre des éléments en CLT

Tobias Schmidt  
M.Eng.  
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine  
Holzbau und Baukonstruktionen  
Karlsruher Institut für Technologie  
DE-Karlsruhe



Hans Joachim Blaß  
Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine  
Holzbau und Baukonstruktionen  
Karlsruher Institut für Technologie  
DE-Karlsruhe





# Längsschubverbindungen in den Schmalseiten von Brettsperrholzelementen

## 1. Einleitung und Problemstellung

In Gebäuden aus Brettsperrholz (BSP) werden vertikale und horizontale Beanspruchungen durch Platten oder Scheiben aus Brettsperrholz abgetragen. Die mechanischen Eigenschaften von BSP in Verbindung mit einem hohen Vorfertigungsgrad machen die BSP-Bauweise nicht nur für den Wohnungsbau, sondern auch für Anwendungsgebiete interessant, die heute noch wesentlich vom Massiv- und Stahlbau belegt sind. Beispielhaft sind zu nennen: Innerstädtische Gebäude bis zu etwa 10 Stockwerken, höherbeanspruchte Industrie- und Gewerbebauten sowie Ingenieurbauwerke.

Wirken auf Bauwerke horizontale Einwirkungen, wie beispielsweise Lasten aus Wind, Erdbeben oder Abtriebslasten aus Schrägstellung, werden die Flächenbauteile aus BSP in Scheibenebene beansprucht. Für diese Beanspruchung ist BSP wegen der vergleichsweise hohen Schubfestigkeit und Schubsteifigkeit in Scheibenrichtung besonders geeignet.

Einschränkungen aus Herstellung, Transport und Montage begrenzen die Größe der BSP-Bauteile und erfordern u.a. Schmalseitenfugen, die wie die Bauteile selbst durch Schubkräfte beansprucht werden (siehe Abbildung 1). Bei einem aus mehreren BSP-Elementen zusammengesetzten Bauteil (Abbildung 1, rechts), werden die Schubtragfähigkeit und Schubsteifigkeit durch die Eigenschaften der Verbindungen in den Schmalseiten begrenzt. Mit den derzeitigen Verbindungstechniken, wie schräg eingedrehte Vollgewindeschrauben, Fremdfedern mit stiftförmigen Verbindungsmitteln oder industriellen BSP-Verbindern [1] werden lediglich 10 – 20 % der Schubtragfähigkeit des BSP erreicht.

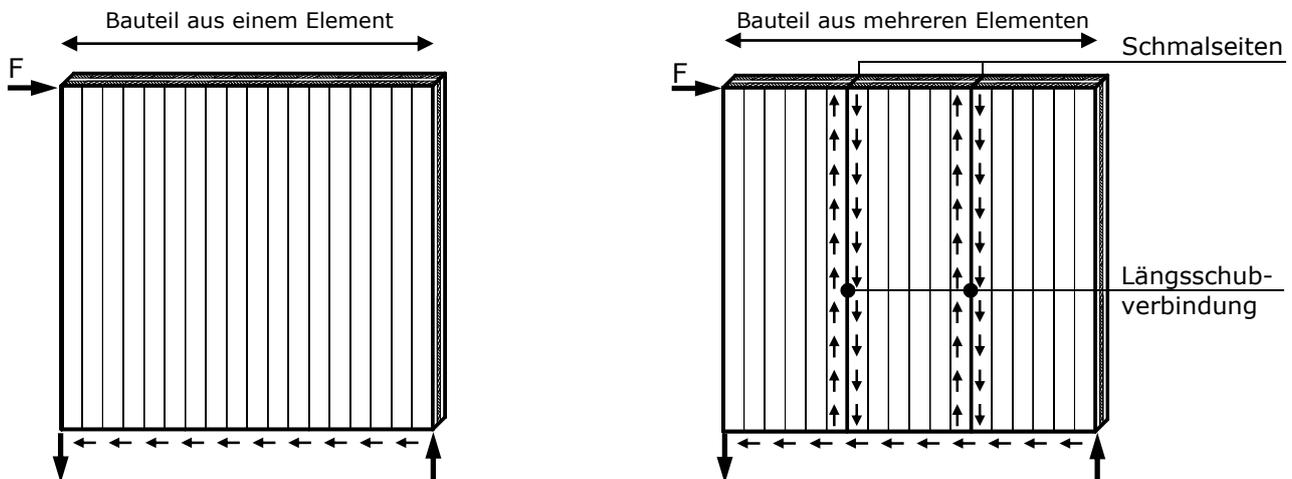


Abbildung 1: Wandscheiben aus BSP unter Scheibenbeanspruchung

Damit klafft eine Lücke zwischen der Leistungsfähigkeit des Holzwerkstoffes BSP einerseits und derjenigen der verfügbaren Verbindungstechniken andererseits. Zur wirtschaftlicheren Nutzung von BSP unter Scheibenbeanspruchung bedarf es daher neuer Ansätze und Entwicklungen in der Verbindungstechnik.

Für stabförmige Bauteile lassen sich mit CNC-gesteuerten Abbundmaschinen bereits leistungsfähige Kontaktverbindungen [2] herstellen. In [3] wurde gezeigt, dass sich Schwalbenschwanzverbinder aus Buchensperrholz u.a. zur Übertragung von Längsschubkräften in den Schmalseiten von BSP-Elementen eignen.

Ziel ist es, effiziente Längsschubverbindungen für BSP-Elemente zu entwickeln. In diesem Beitrag wird eine Auswahl an nichtmetallischen Längsschubverbindungen in den Schmalseiten von BSP vorgestellt, die im Rahmen eines Forschungsprojekts entwickelt und experimentell untersucht wurden. Die vorgestellten Verbindungen sind primär für statische und quasi-statische Beanspruchungen konzipiert.

## 2. Experimentelle Untersuchung

### 2.1. Allgemein

Grundsätzlich sind zwei Arten von Kontaktverbindungen zu unterscheiden. Bei den »direkten Kontaktverbindungen« werden die Kräfte entlang einer gefrästen Kontur durch direkten Kontakt der beiden BSP-Elemente übertragen, bei den »indirekten Kontaktverbindungen« werden zusätzliche Teile als Verbinder in Frästaschen eingebracht und die Kräfte über diese übertragen. Ein Beispiel für beide Verbindungsarten enthält Abbildung 2.

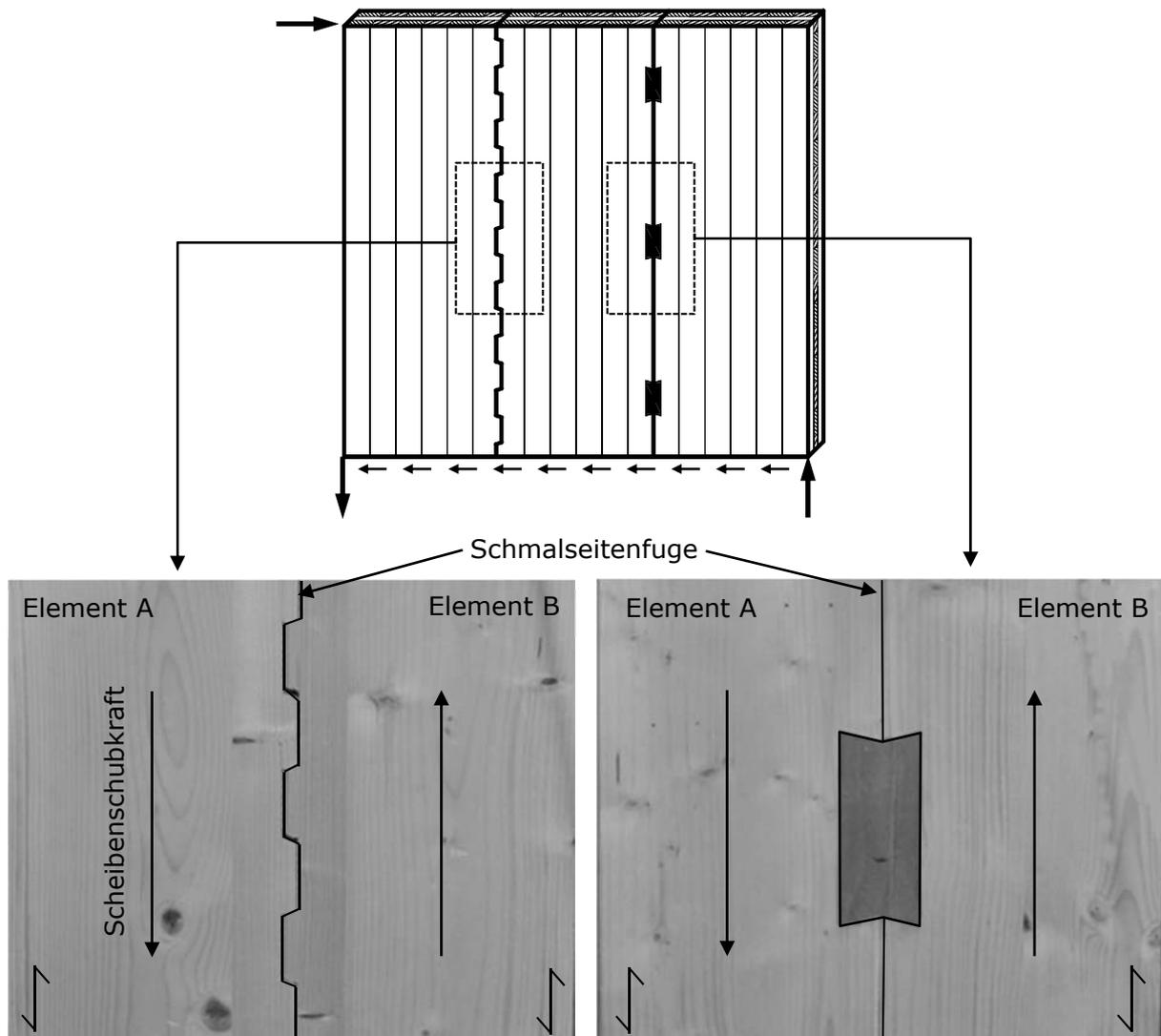


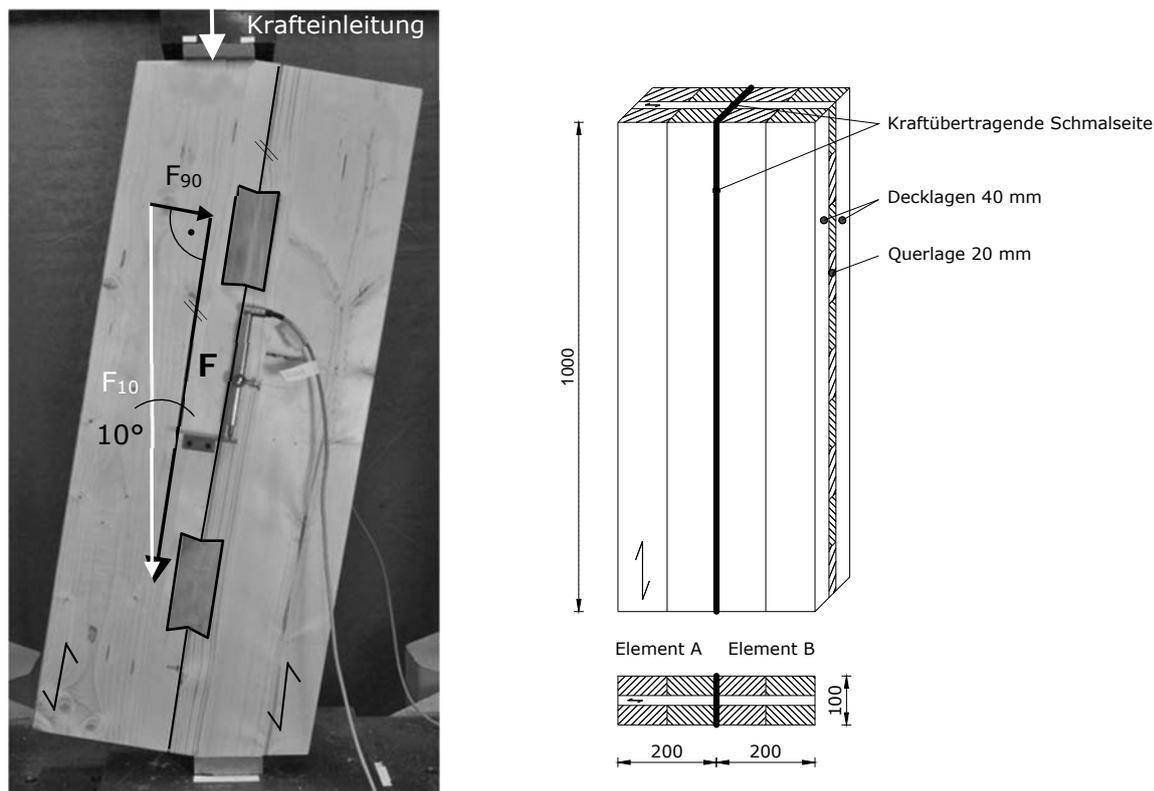
Abbildung 2: Direkte und indirekte Kontaktverbindung

Die Verbindungen wurden mittels einer CNC-gesteuerten Abbundmaschine hergestellt, da die Genauigkeitsanforderungen sowohl an einzelne Verbinder als auch an mehrere Verbinder als Verbindungsgruppe hoch sind.

## 2.2. Material und Methode

### Druckscherversuche

Um das Last-Verformungsverhalten der Verbindungen in einer Wandscheibe zu bestimmen, wurden kleinformatische Druckscherversuche durchgeführt (Abbildung 3, links). Diese Versuche sollen das Verhalten der Verbindungen in einer Wandscheibe möglichst wirklichkeitsnah nachbilden. Die Prüfkörper mit einer Meter Länge sind um  $10^\circ$  zur vertikalen Achse (Krafttrichtung der Prüfmaschine) gedreht. Aus dem gewählten Versuchsaufbau entsteht – im Unterschied zur Situation in der Wandscheibe – eine Kraftkomponente  $F_{90}$ , die rechtwinklig zur Schmalseitenfuge wirkt. Abbildung 3 rechts zeigt die Zeichnung eines Prüfkörperrohlings.



$$F_{10}$$

$$F = F_{10} \times \cos(10^\circ)$$

$$F_{90} = F \times \tan(10^\circ)$$

Maschinenkraft  
Kraft parallel zur Fuge  
Kraft rechtwinklig zur Fuge

Abbildung 3: Druckscherversuch (links) und BSP-Elemente A und B (rechts)

Die Relativverschiebungen wurden beidseitig gemessen und für die Auswertungen wird das arithmetische Mittel aus beiden Aufzeichnungen verwendet. Alle Angaben zu Kräften und Verformungen beziehen sich auf die Fugenrichtung. Die Kraft wurde mit einer Stahlplatte in den Prüfkörper eingeleitet.

Der erste Prüfkörper jeder Reihe wurde weggesteuert bis zum Versagen geprüft. Für die anderen Prüfkörper wurde das Belastungsverfahren nach DIN EN 26891 [4] angewandt. Die gemessene Höchstlast des ersten Versuchs wurde als Schätzlast  $F_{est}$  für das Belastungsverfahren herangezogen. Abweichend von [4] wurde als Höchstlast  $F_{max}$  diejenige Last definiert, welche vor oder beim Erreichen einer Relativverschiebung in Fugenrichtung von 12 mm gemessen wurde.

### Brettsperrholz

Für die Versuchskörper wurde BSP aus Nadelholz nach ETA-11/0210 [5] verwendet. Es handelt sich um einen dreilagigen symmetrischen Aufbau (40–20–40 mm) mit der Gesamtdicke von 100 mm und einem Längslagenanteil von 80%. Die Schmalseiten der Längslagen sind aus optischen Gründen miteinander verklebt. Diese Schmalseitenverklebung darf nicht tragend angesetzt werden, da der Klebstoff die entsprechenden Anforderungen nicht erfüllt. Die Querlagen sind nicht schmalseitenverklebt. Die wirksame Schubfestigkeit unter Scheibenbeanspruchung beträgt nach ETA-11/0210 für den Bruttoquerschnitt  $f_{v,k} = 1,6 \text{ N/mm}^2$ . Die verwendeten BSP-Elemente wurden aus einer Grundgesamtheit mit einer mittleren Brutto-Rohdichte von  $446 \text{ kg/m}^3$  entnommen (Abbildung 4). Der Feuchtegehalt (u) der Längslagen wurde durch das »Elektrische Widerstands-Messverfahren« nach DIN EN 13183-2 [6] geschätzt. Der arithmetische Mittelwert beträgt  $u=9,5 \%$  bei einem Variationskoeffizient (COV) von  $9,6 \%$ .

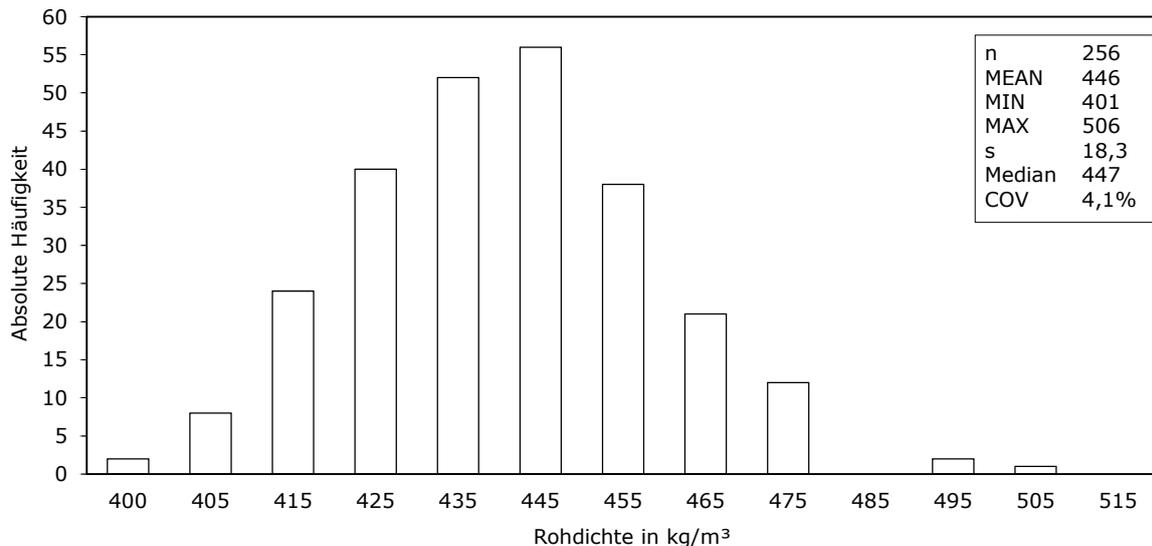


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Brutto-Rohdichte

### Buchenfurnierschichtholz

Die Verbinder wurden aus Buchen-FSH nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Nr. Z-9.1-838 [7] hergestellt, siehe Tabelle 1. Die Rohdichte und der Feuchtegehalt wurden stichprobenartig ermittelt. Die Rohdichte wurde nach DIN EN 408 [8] und der Feuchtegehalt durch das »Darrverfahren« nach DIN EN 13183-1 [9] bestimmt. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Variationskoeffizienten wurde die Stichprobenanzahl nicht vergrößert.

Tabelle 1 Aufbau Buchen-FSH | Ausgangsmaterial

Buchen-FSH	Typ S Dicke 40 mm		Typ Q Dicke 50 mm	
	IIIIIIIIIIIIIIIIIIII		II-I-IIII-I-II (Querlagenanteil ~27 %)	
Lagenaufbau	Mittelwert	COV	Mittelwert	COV
Feuchtegehalt	7,30 %	3,54 %	7,55 %	0,765 %
Rohdichte	868 kg/m <sup>3</sup>	1,95 %	795 kg/m <sup>3</sup>	1,37 %
I	längslaufende Furnierschicht			
-	querlaufende Furnierschicht			

### 2.3. Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm umfasste eine direkte Kontaktverbindung und neun indirekte Kontaktverbindungen. Eine genagelte Vergleichsverbindung wurde ebenfalls geprüft (Abschnitt 2.5). Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die geprüften Verbinder. Jeder Prüfkörper besteht aus zwei Komponenten A und B welche in den zwischenliegenden Schmalseiten zur Kraftübertragung miteinander verbunden sind. Bei den indirekten Verbindungen handelt es sich um zwei BSP-Elemente, welche mit schubübertragenden Teilen für Beanspruchungen in Längsrichtung parallel zur Fuge ausgelegt sind. Im Detail variieren die Geometrie, das Material und die Art der Einbringung dieser »Verbinder«.

Tabelle 2 Versuchsprogramm

Übersicht		S1 Trapez	S2 Typ S	S3 Typ Q	S4 Typ Q	S5 Typ Q	„S5 Schnitt“
		n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	
		S6 Typ S	S7 Typ S	S8 Typ S	S9 Typ S	S10 Typ S	Legende
							Buchen-FSH Decklage Furnierlagen Hauptorientierung
		n=6	n=6	n=6	n=6	n=5	
SP	Schwerpunkt des Verbinders						
n	Versuchsanzahl						

Die Verbindung S1 wurde zusätzlich mit drei Schraubenkreuzen aus Vollgewindeschrauben  $\varnothing 8$  mm und der erste Prüfkörper der Verbindung S2 mit einem Schraubenkreuz zusammengehalten.

Zur Minimierung des Anfangsschlupfes wurden die Verbinder der Reihen S5, S9 und S10 keilförmig mit einem Winkel von  $5^\circ$  zugeschnitten. Dadurch wurde beim Einbau der Verbinder in die Frästaschen eine Vorspannung erzeugt. Abbildung 5 zeigt beispielhaft zwei verschiedene Verbinder aus Buchen-FSH.

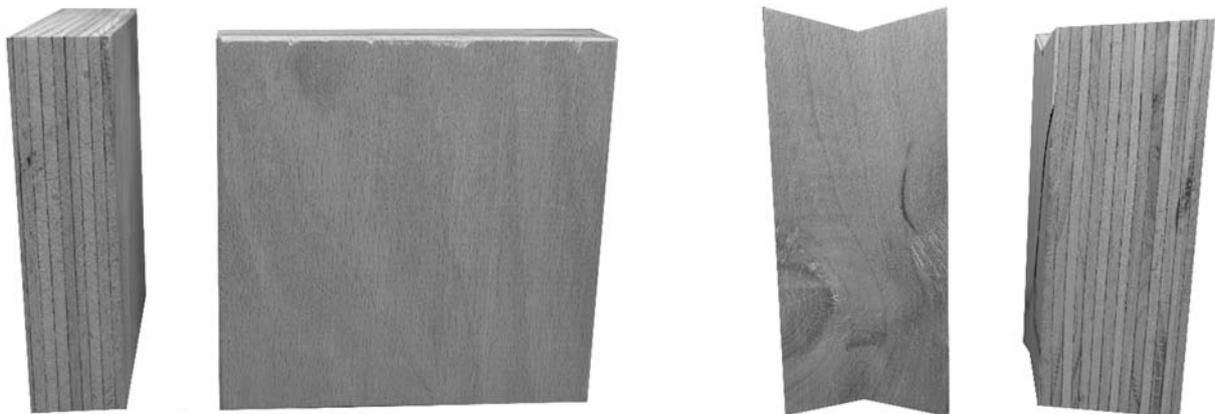


Abbildung 5: Verbinder aus Buchen-FSH

## 2.4. Ergebnisse

Anhand des jeweiligen Last-Verschiebungsverhaltens lassen sich die geprüften Verbindungen in zwei Gruppen einteilen: Gruppe 1 »sprödes Versagen« und Gruppe 2 »duktiles Versagen«. Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 3 mit Angabe des maßgebenden Versagensmechanismus wiedergegeben. In Abbildung 6 sind die gemessenen Höchstlasten und daraus abgeleitete Größen grafisch dargestellt.

Tabelle 3 Ergebnisse der durchgeführten Versuche | Mittelwerte

Reihe	$F_{\max}$ in kN	$v(F_{\max})$ in mm	$F_{(1,2\text{ mm})}$ in kN	$F_{(6\text{ mm})}$ in kN	$F_{(12\text{ mm})}$ in kN	Verschiebungs- modul in kN/mm	Versagen	
Gruppe 1	S1	135	1,39	115	98,5	-	187	1
	S2	84,7	1,64	67,5	42,6	37,3	138	1
	S3	129	8,10	61,4	114	96,4	48,7	1
	S4	209	2,59	101	159	-	130	1
	S5	114	0,896	101	64,5	-	311	1
Gruppe 2	S6	209	9,50	62,0	200	198	71,4	2
	S7	119	11,1	42,5	109	116	42,5	2
	S8	166	9,95	68,8	150	163	64,1	2
	S9	182	11,1	64,0	163	180	59,5	2
	S10	150	10,5	76,3	136	148	73,7	2

1 Vorwiegend Längsschubversagen BSP  
2 Abscheren der Verbinder und Lochleibungsversagen BSP

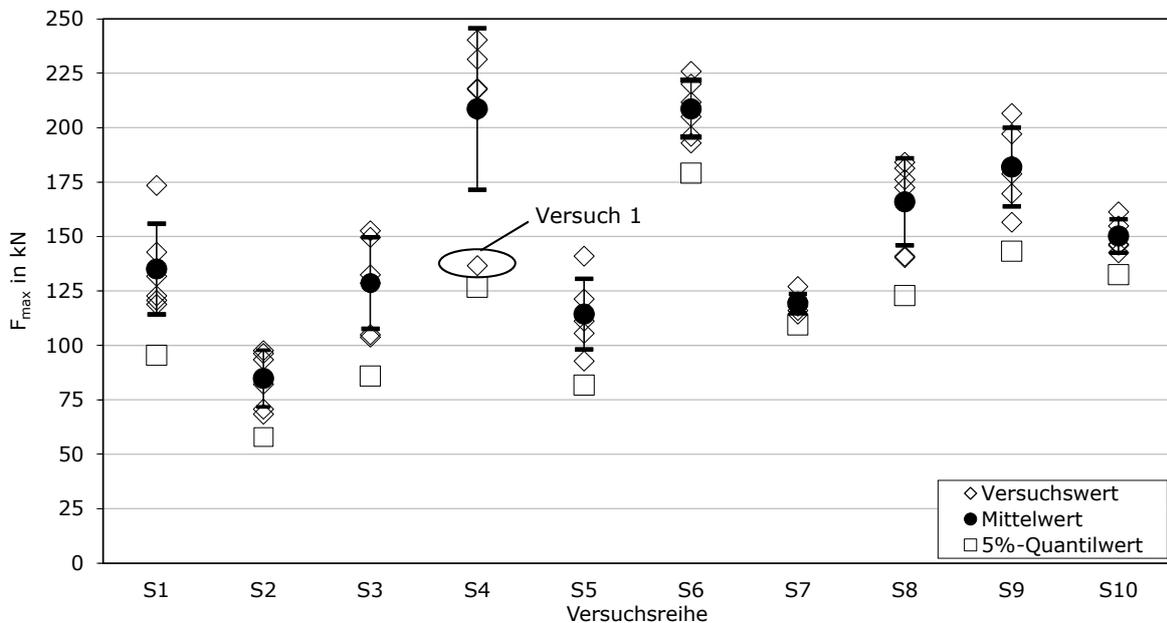


Abbildung 6: Tragfähigkeiten der Verbindungen

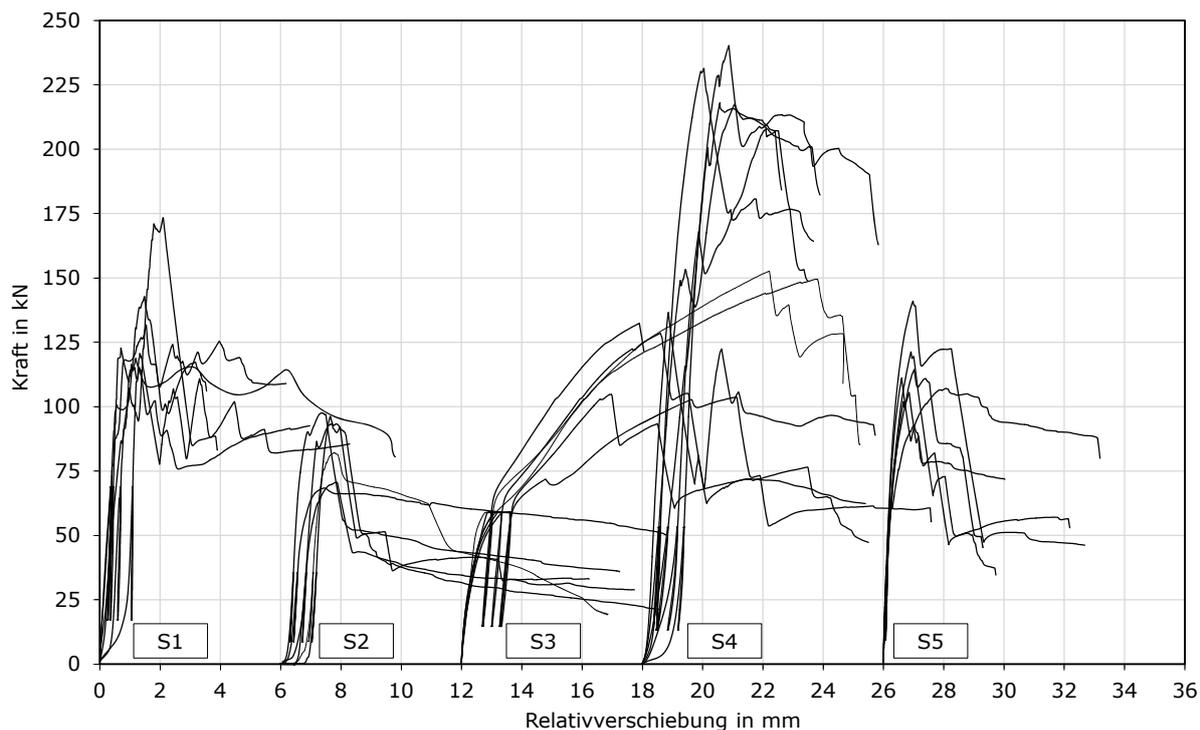


Abbildung 7: Last-Verschiebungsverläufe der Gruppe 1

Für Gruppe 1 charakteristisch sind hohe Anfangssteifigkeiten, hohe Kräfte bei geringen Verformungen (vgl.  $F_{(1,2\text{mm})}$ ) und das spröde Versagen nach Erreichen der Höchstlast, siehe Abbildung 7. Als dominierender Versagensmechanismus wurde bei allen Verbindungen dieser Gruppe Längsschubversagen im BSP, vordringlich im Bereich der Prüfkörperenden, festgestellt. Abbildung 8 zeigt jeweils eine Verbindung der Gruppe 1 nach dem Versagen.

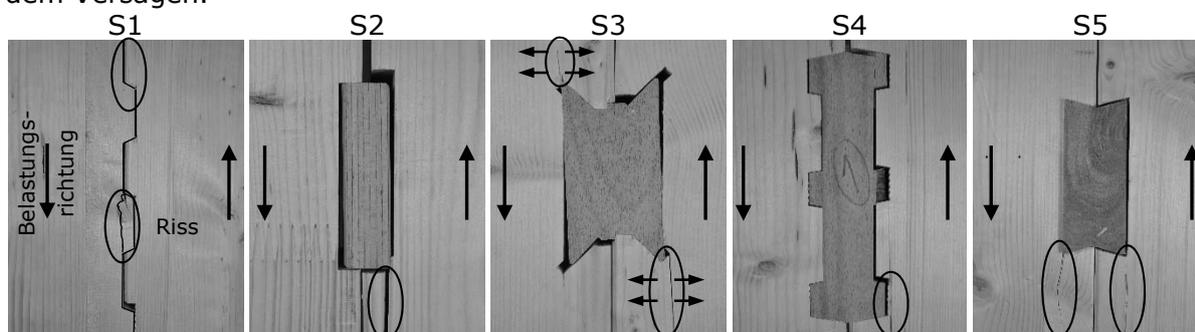


Abbildung 8: Versagensbilder der Gruppe 1

Bei der Verbindung S3 entstanden aufgrund der Verbindergeometrie bereits im frühen Versuchsstadium Querschnittsrisse durch Umlenkkräfte im BSP. Diese Risse schwächten progressiv den schubübertragenden Bereich des BSP. Dadurch wurde das Längsschubversagen des BSP begünstigt.

Bei der Reihe S4 trat zudem ein Schubversagen der Verbindungen auf. Die erste Verbindung der Reihe S4 versagte bereits bei 137 kN deutlich unterhalb des Mittelwertes aller Verbindungen dieser Reihe. Der Verschiebungsmodul erreichte den höchsten Wert dieser Reihe. Es zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede im Versagensbild.

Bei dieser einen Verbindung trat, lokal betrachtet, ein progressives Versagen auf. Ursächlich hierfür waren Fertigungstoleranzen. Die mittleren »Zähne« der Verbindungen hatten bei Belastungsbeginn keinen Kontakt mit dem BSP. Somit konnten sie sich erst am Lastabtrag beteiligen, nachdem der Vorholzbereich im BSP spröde versagte.

Alle geprüften Verbindungen der Gruppe 1 weisen nach dem primären Längsschubversagen im BSP eine gewisse Resttragfähigkeit auf. Dabei trat das spröde Längsschubversagen vorwiegend im Bereich zwischen dem Verbinder und dem Prüfkörperende, im sogenannten »Vorholzbereich« auf (Abbildung 9, links).

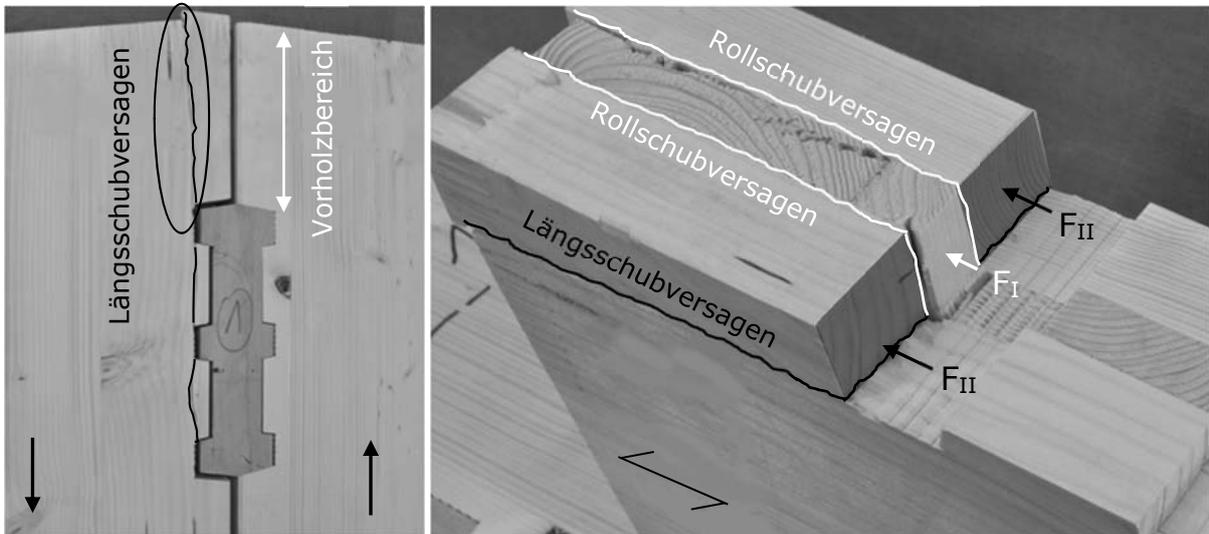


Abbildung 9: Längsschubversagen im Vorholzbereich links und Kräfteinleitung in die Querlage rechts

Die in den Last-Verschiebungsverläufen erkennbare Resttragfähigkeit lässt sich durch nachfolgende Überlegung erklären. Bedingt durch die höhere Steifigkeit der Längslagen wird die Kraft zu Beginn nahezu vollständig über die Längslagen in das BSP-Element eingeleitet. Bei Erreichen der Schubfestigkeit der Längslagen tritt das Primärversagen ohne Vorankündigung auf, (Abbildung 9, links). Nach dem Ausfall der Längslagen und dem damit einhergehenden Tragfähigkeits- und Steifigkeitsverlust kann der Verbinder Kraft über zwei sekundäre Pfade übertragen. Zum einen wird Kraft über Querdruck in die mittlere Lage ( $F_I$ ) übertragen, zum anderen übertragen die abgescherten Längslagen über Rollschub in die Querlage ( $F_{II}$ ), (Abbildung 9, rechts). Die Resttragfähigkeit kann auf die Schubtragfähigkeit der Querlage rechtwinklig zur Faser zurückgeführt werden.

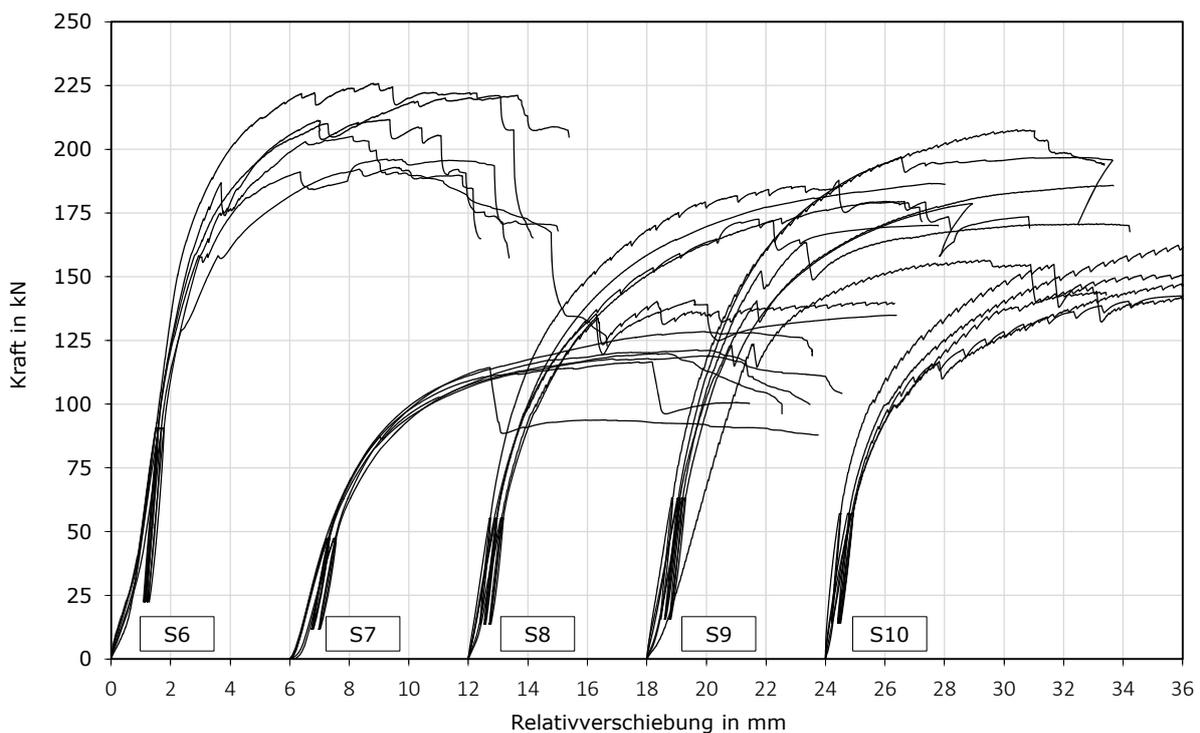


Abbildung 10: Last-Verschiebungsverläufe der Gruppe 2

Die Last-Verschiebungsverläufe der Gruppe 2 verhielten sich gegen Versuchsende quasi-duktil, siehe Abbildung 10. Die Verbindungen erreichten im Allgemeinen den Verformungsgrenzwert von 12 mm ohne signifikanten Lastabfall. Als Versagensmechanismus wurde Querdruckversagen der Verbinder beobachtet. Bei den Verbindern der Reihe S7 war Biegeversagen zu beobachten. Beide Versagensarten traten in Kombination mit Lochleibungsversagen im BSP auf. Abbildung 11 zeigt die Verbinder der Gruppe 2 nach dem Versagen.

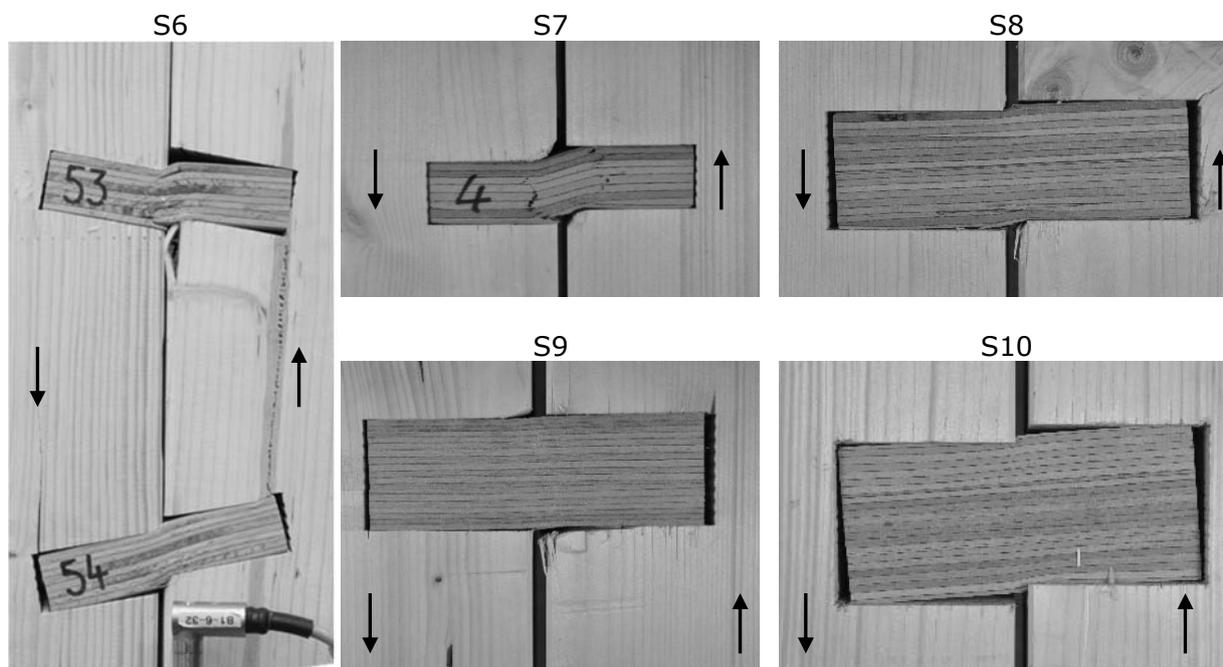


Abbildung 11: Versagensbilder der Gruppe 2

Die Last-Verschiebungsverläufe aller Verbindungen (Gruppe 1 und Gruppe 2) verhielten sich degressiv. Versteifungs- oder Einhängeneffekte waren nicht zu beobachten.

Die gemessenen Einzelwerte und die Mittelwerte der Verschiebungsmoduln sind in Abbildung 12 dargestellt. Die durch den keilförmigen Zuschnitt vorgespannten Verbinder der Reihe S5 erreichen im Mittel einen Verschiebungsmodul  $>300$  kN/mm.

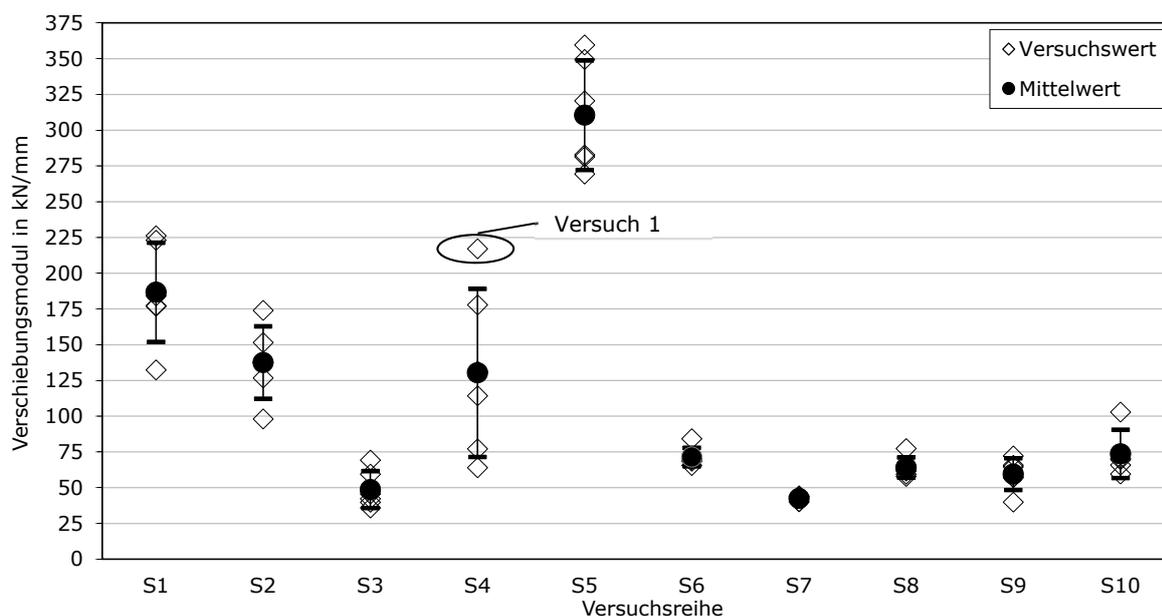


Abbildung 12: Verschiebungsmoduln der Verbindungen

## 2.5. Diskussion

### Kontaktverbindungen

Die Schubtragfähigkeit eines aus mehreren Elementen zusammengesetzten BSP-Bauteils ergibt sich aus dem Minimum der Schubtragfähigkeit des BSP-Elements und derjenigen der Verbindung. In der nachfolgenden Betrachtung werden die Tragfähigkeiten der Verbindungen und des BSP eingeordnet. Grundlage hierfür ist die Tragfähigkeit eines ungeschwächten BSP-Elementes ohne Schmalseitenfuge. Die charakteristische Schubtragfähigkeit im Bruttoquerschnitt des BSP [5] wird mit 100 % dargestellt. Die jeweilige charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung wird darauf bezogen und in Abbildung 13 als Prozentsatz dargestellt.

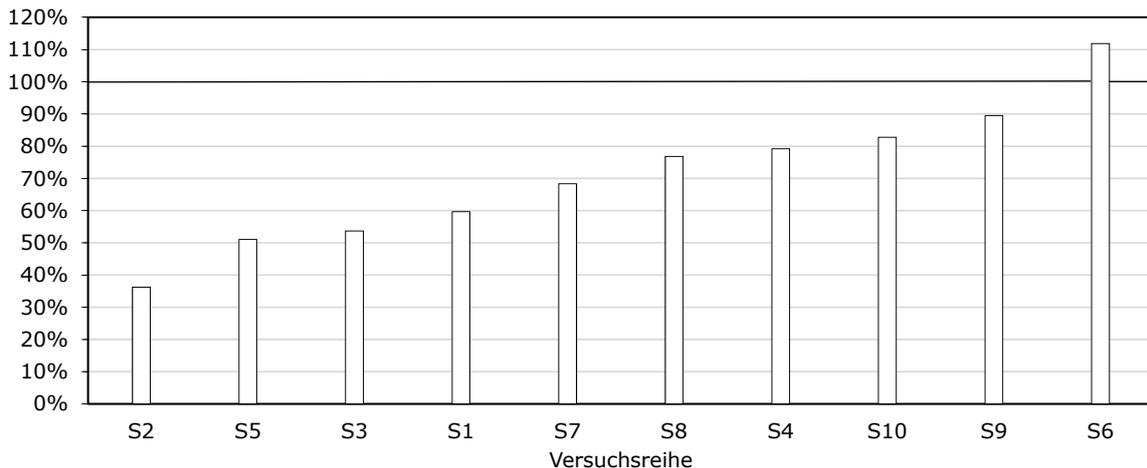


Abbildung 13: Quotient aus der charakteristischen Tragfähigkeit Verbindung/BSP in %

Im Mittel erreichen die Verbindungen etwa zwei Drittel der charakteristischen Schubtragfähigkeit des BSP. Die untere Grenze bildet dabei die Verbindung S2 mit 36 % und die obere Grenze die Verbindung S6 mit 112 %. Auf dem Niveau von 5 %-Quantilwerten ist im Fall S6 die Tragfähigkeit der Verbindung rechnerisch höher, als die des Werkstoffes. Trotzdem wurde kein Versagen des ungeschwächten BSP außerhalb des Verbindungsbereiches im Bruttoquerschnitt beobachtet.

Erklärbar ist dies durch die in Abschnitt 2.2 beschriebene Schmalseitenverklebung der Längslagen aus optischen Gründen. Die Schubtragfähigkeit von BSP in Scheibenebene ergibt sich nach [10] aus dem Minimum dreier möglicher Versagensmechanismen. Durch die Schmalseitenverklebung werden die Längslagen kraftschlüssig miteinander verbunden. Dies bewirkt, dass sich der Versagensmechanismus mit der geringsten Tragfähigkeit, auf der die Angaben nach [5] basieren, nicht einstellt. Die Schubfestigkeit nach [5] ist in diesem Zusammenhang als konservativ zu betrachten.

Eine Vergrößerung der Vorholzlänge könnte bewirken, dass der spröde Versagensmechanismus »Längsschubversagen BSP im Vorholzbereich« nicht oder erst bei höheren Lasten auftritt. Die damit einhergehende Änderung des Versagensmechanismus könnte bei Verbindungen der Gruppe 1 ebenfalls zu einem duktilen Last-Verformungsverhalten führen.

### Vergleichsverbindung

Als Vergleichsverbindung (V) wurde eine klassische Verbindungsvariante geprüft. Diese besteht aus zwei einseitig ausgefrästen BSP-Elementen, die mittels eines Stoßbrettes aus OSB/4 [11] und einer einschnittigen Nagelverbindung mit Sondernägeln verbunden werden, siehe Abbildung 14. Die Länge der Verbindung betrug einen Meter. Bei den Nägeln stellten sich Fließgelenke ein, was zu einem duktilen Versagen führte. Die Mittelwerte der Ergebnisse können Tabelle 4 entnommen werden. Die Vergleichsverbindung erreicht nicht die Größenordnung der Kontaktverbindungen. Dies gilt sowohl für die Tragfähigkeit als auch für den Verschiebungsmodul. Der zuvor dargestellte Quotient aus der charakteristischen Tragfähigkeit Verbindung/BSP beträgt hier lediglich 8 %.

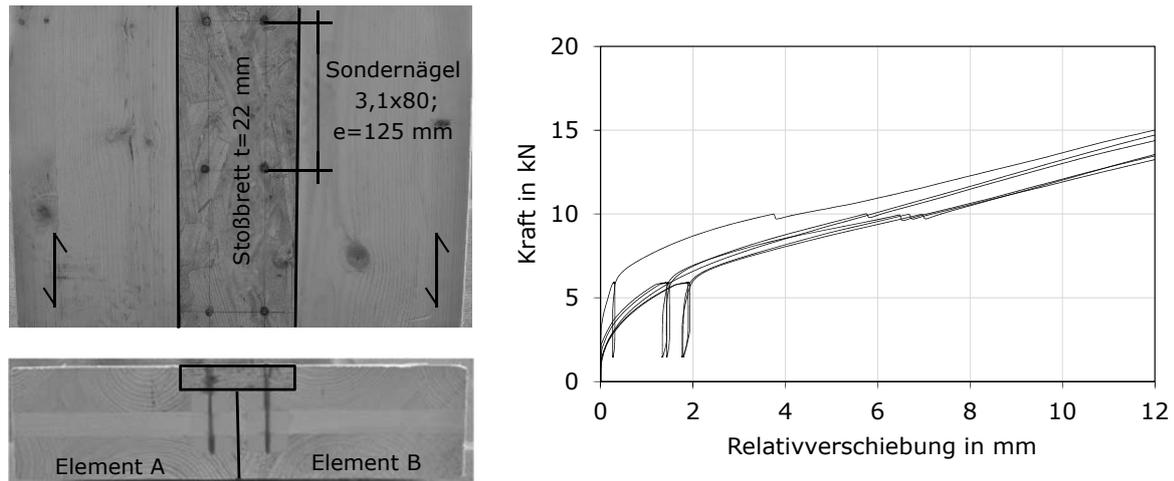


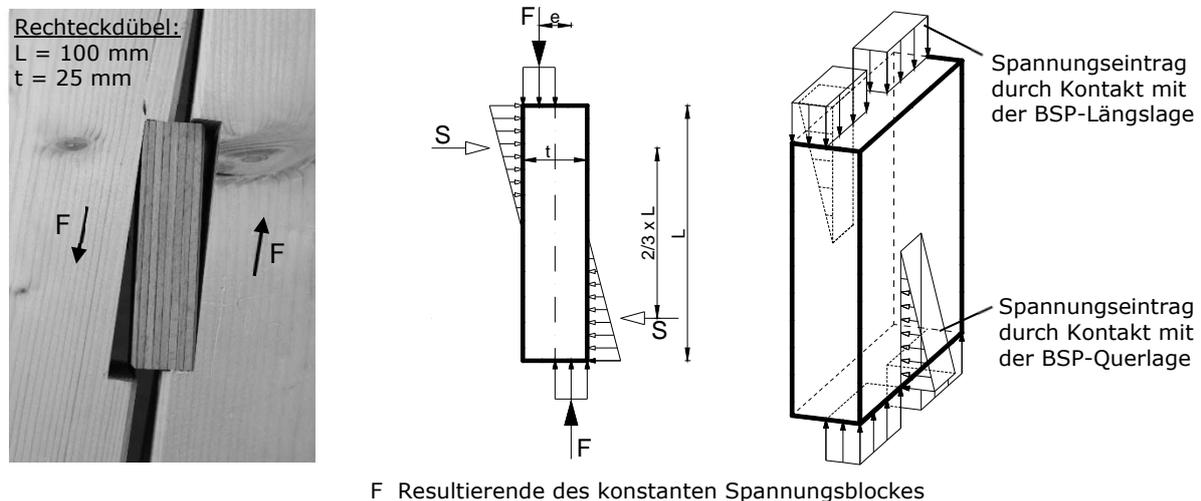
Abbildung 14: Aufbau und Last-Verschiebungsverlauf der Vergleichsverbindung

Tabelle 4 Ergebnisse der Vergleichsverbindung | Mittelwerte

Reihe	$F_{\max}$ in kN	$v(F_{\max})$ in mm	$F_{(1,2 \text{ mm})}$ in kN	$F_{(6 \text{ mm})}$ in kN	$F_{(12 \text{ mm})}$ in kN	Verschiebungs- modul in kN/mm	Versagen
V	14,1	12,0	5,81	9,92	14,1	2,78	Fließgelenke

## 2.6. Spreizversagen als Versagensmechanismus

Bei Kontaktverbindungen kann ein weiterer Versagensmechanismus auftreten. Das sogenannte »Spreizversagen« tritt schlagartig ein und kann mit einem vollständigen Verlust der Tragfähigkeit einhergehen. Abbildung 15 links zeigt ein solches Versagen bei einer Verbindung mit Rechteckdübeln.



F Resultierende des konstanten Spannungsblockes

Abbildung 15: Rechteckdübel. Spreizversagen Verbindung S2 (links), 2D-Modell (Mitte) und 3-dimensionale äußere Spannungsverteilung (rechts)

Zur quantitativen Abschätzung der Spreizkraft eines Rechteckdübels wird ein analytisches Modell (Abbildung 15, Mitte) mit folgenden Vereinfachungen verwendet:

- 2D-Modell; Gleichgewicht am unverformten System (Theorie I. Ordnung),
- konstanter Spannungsverlauf an den Stirnseiten (plastizierte BSP-Längslagen),
- linear veränderlicher Spannungsverlauf an den Längsseiten.

Wird die Verbindung im Detail betrachtet, ist die Anschlussexzentrizität  $e$  erkennbar. Aus dieser Exzentrizität resultiert beim Übertragen der Kraft  $F$  das Kippmoment  $M_{\text{Kipp}}$ . Das Momentengleichgewicht wird durch das Haltemoment  $M_{\text{Halt}}$  erfüllt, welches durch den Kontakt des Dübels mit den seitlichen BSP-Elementen entsteht. Daraus folgt:

$$M_{\text{Kipp}} = M_{\text{Halt}} \longrightarrow F \cdot \frac{t}{2} = S \cdot \frac{2}{3} \cdot L \longrightarrow S = F \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{t}{L}$$

Die Spreizkraft  $S$  ist eine Reaktionskraft und wirkt rechtwinklig zur Schmalseitenfuge. Auf die Verbindung S2 angewendet, gilt: Spreizkraft  $S = 0,19 \times F$ . Das bedeutet, dass  $\sim 19\%$  der Kraft in Fugenrichtung als Spreizkraft die BSP-Elemente auseinanderdrückt. Spreizkräfte sind bei einer Bemessung abhängig von der Verbindergeometrie zu berücksichtigen. Die Aufnahme der Spreizkräfte kann entweder durch externe Verbindungsmittel erfolgen oder durch das »Kurzschließen« der Kräfte innerhalb eines Verbinders (vgl. S3 und S5).

Abbildung 15 rechts zeigt die 3-dimensionale äußere Spannungsverteilung am Rechteckdübel. Vereinfachend wird angenommen, dass rechtwinklig zur Faser des BSP keine Spannungen übertragen werden können ( $E_{90,\text{BSP}} \approx 0$ ). Diese komplexe Einwirkungssituation führt zu einem nicht-trivialen Spannungszustand im Rechteckdübel, welcher beim Nachweis der Tragfähigkeit des Rechteckdübels zu berücksichtigen ist.

### 3. Zusammenfassung

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden Längsschubverbindungen in den Schmalseiten von BSP entwickelt und experimentell untersucht. Eine Auswahl von zehn nichtmetallischen Verbindungen wird in diesem Beitrag vorgestellt.

Einige Verbindungen einfacher Geometrie, und somit einfacher Fertigungstechnik, erreichen auf dem Niveau von 5%-Quantilwerten Tragfähigkeiten, die zwischen 40 – 70 % der rechnerischen Längsschubtragfähigkeit des BSP liegen. Bei einer optimierten Verbindung komplexer Geometrie konnte das Tragfähigkeitsniveau von BSP erreicht werden. Es wurde gezeigt, dass auch Verbindungen mit nichtmetallischen Verbindern so ausgelegt werden können, dass ein quasi-duktiler, also »gutmütiger«, Last-Verformungsverhalten erreicht werden kann. Buchen-FSH hat sich dabei als geeignetes Material erwiesen.

Um den spröden Versagensmechanismus »Längsschubversagen BSP« konstruktiv auszuschließen, sollten Mindestabstände festgelegt werden. Hierzu sind weitere numerische und experimentelle Untersuchungen erforderlich.

Neben den primären Anforderungen an eine Verbindung, wie Tragfähigkeit, Steifigkeit und Wirtschaftlichkeit, gibt es auch Anforderungen an die Robustheit von Bauteilen. Wesentlich ist, dass mit den Verbindungen Bauteile konstruiert werden können, die eine geringe Anfälligkeit gegenüber einem progressiven Versagen [12] haben. Erreicht werden kann dies, wenn Lastumlagerungen innerhalb einer Verbindungsgruppe möglich sind. Hierzu ist es von großem Vorteil, wenn ein duktiler Last-Verformungsverhalten sichergestellt wird.

Das Verhalten der Verbindungen in einem Bauteil ist Gegenstand weiterer Untersuchungen. In diesem Stadium können die Ergebnisse noch nicht auf Wand- und Deckenscheiben extrapoliert werden. Insbesondere sind Gruppeneffekte, Auswirkungen von Fertigungstoleranzen auf die Tragfähigkeit und Steifigkeit zu betrachten. Die Spreizkräfte sind zu quantifizieren und zu validieren und erforderlichenfalls durch Verbindungsmittel aufzunehmen.

Es wurde gezeigt, dass Holzwerkstoffe, Verarbeitungstechnik und ingenieurtechnische Ansätze vorhanden sind, um effiziente Längsschubverbindungen für BSP herzustellen. Weitere Versuche und numerische Untersuchungen sind noch erforderlich, bevor Bemessungsgleichungen für die Praxis angegeben werden können.

## 4. Literaturverzeichnis

- [1] Kögl, J.; Maderebner, R.: Systemverbinder für Holzflächenelemente aus Brettsperrholz. 19. Internationales Holzbau-Forum 2013, Garmisch-Partenkirchen 2013
- [2] Blaß, H.J.; Enders-Comberg, M. (2012): Fachwerkträger für den industriellen Holzbau. Bd. 22, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe
- [3] Stecher, G.; Kögl, J.; Beikircher, W. (2014): MECHANICAL BEHAVIOR OF DOVE-TAIL CONNECTIONS FOR CROSS LAMINATED TIMBER WALL ELEMENTS. World Conference on Timber Engineering, Quebec City, Canada
- [4] DIN EN 26891:1991-07 Holzbauwerke – Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln – Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens
- [5] ETA-11/0210 Europäische Technische Zulassung für Merkle Brettsperrholz, Gültigkeit vom 20.09.2011 bis 05.07.2016
- [6] DIN EN 13183-2:2002-07 Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstandsmessverfahren
- [7] Z-9.1-838 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Furnierschichtholz aus Buche zur Ausbildung stabförmiger und flächiger Bauteile, Gültigkeit vom 21.09.2013 bis 21.9.2018
- [8] DIN EN 408:2010+A1:2012 Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften
- [9] DIN EN 13183-1:2002-07 Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften
- [10] Flaig, M. (2013): Biegeträger aus Brettsperrholz bei Beanspruchung in Plattenebene. Bd. 26, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe
- [11] Z-9.1-566 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für EUROSTRAND OSB 4 TOP, Gültigkeit vom 31.01.2013 bis 31.01.2018
- [12] Starossek, U. (2005): Progressiver Kollaps von Bauwerken; Beton- und Stahlbetonbau, Heft 4