

Kontaktverbindungen zur Längsschubübertragung in den Schmalseiten von Brettsperrholzelementen

**SCHMIDT
TOBIAS**

M.Eng.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Holzbau und Baukonstruktionen
Karlsruher Institut für Technologie
tobias.schmidt2@kit.edu



1980 geboren in Freiburg
2004 Abschluss Zimmerermeister
2007 bis 2011 Studium Bauingenieurwesen – Hochschule Karlsruhe
2012 Tragwerksplaner im Hochbau
Seit 2013 Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Zusammenfassung

Flächenbauteile aus Brettsperrholz (BSP) sind aufgrund ihrer hohen Schubsteifigkeit und Schubfestigkeit besonders geeignet für Beanspruchungen in Scheibenebene. Mit den derzeitigen Verbindungstechniken können diese Eigenschaften des BSP nicht annähernd erreicht werden. Um das Potential von BSP unter Scheibenbeanspruchung nutzen zu können, wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens »Kontaktverbindungen« in den Schmalseiten von BSP-Elementen entwickelt.

In diesem Beitrag wird eine Auswahl von Kontaktverbindungen (KV) aus Buchenfurnierschichtholz (Buchen-FSH), die für Schmalseitenfugen in Wand- und Deckenscheiben unter quasi-statischen Einwirkungen entwickelt wurden, gezeigt.

Weiter sollen experimentelle Untersuchungen zur Längsschubtragfähigkeit von BSP im Verbindungsbereich darüber Aufschluss geben, welche Mindestabstände einzuhalten sind, um sprödes Längsschubversagen im BSP zu vermeiden.

Für Erdbebeneinwirkungen wird ein duktiler Verbinder für die Schmalseitenfugen von BSP-Wandscheiben vorgestellt. Ein Stahlbau-Biegedämpfer wurde so auf die Besonderheiten des Holzbaus angepasst, dass die plastische Hysterese nahezu vollständig im Stahl stattfindet.

1. Einleitung

Horizontale Einwirkungen aus Wind und Erdbeben führen zu Scheibenbeanspruchungen in Wand- und Deckenscheiben, siehe Abb. 1. Herstellungs- und transportbedingt sind diese oft aus mehreren Elementen zusammengesetzt. Die mechanischen Scheibeneigenschaften werden durch das Last-Verschiebungsverhalten der eingesetzten Verbindungen bestimmt. Bei wirtschaftlicher Anordnung können mit traditionellen Verbindungen zwischen 10 % bis 20 % der Tragfähigkeit des BSP erreicht werden.

Um BSP unter quasi-statischer Einwirkung besser ausnutzen zu können, wurden direkte und indirekte Kontaktverbindungen mit hohen Tragfähigkeiten entwickelt, siehe Abb. 1 [1].

Im Gegensatz zu quasi-statischen Einwirkungen, stellen die Schmalseitenfugen von segmentierten BSP-Wandscheiben bei Erdbebeneinwirkungen nicht zwingend Schwachstellen dar. Vielmehr können sie dazu genutzt werden, das Tragverhalten mittels Hysteresedämpfer (siehe Abschnitt 4) zu kontrollieren.

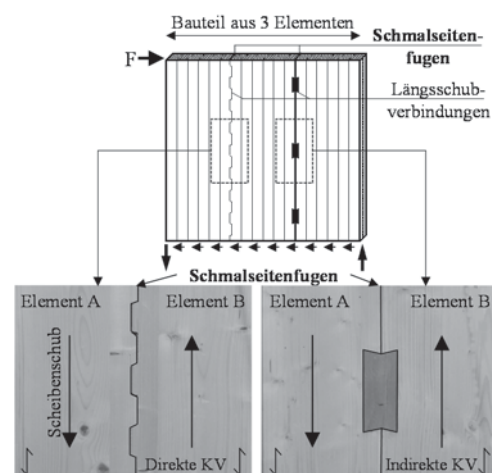


Abb. 1: BSP-Wandscheibe. Direkte und indirekte Kontaktverbindung

2. Kontaktverbindungen

In [1] werden 10 verschiedene Kontaktverbindungen (S1 – S10) vorgestellt. Davon sind die drei Verbindungen S4, S5 und S6 in Abb. 2 (c) und Abb. 3 (a, b) dargestellt.

2.1 Material und Methode

Für die Versuchskörper wurde BSP aus Nadelholz nach ETA-11/0210 verwendet. Es handelt sich um einen dreilagigen symmetrischen Aufbau (40 – 20 – 40 mm) mit der Gesamtdicke von 100 mm und einem Längslagenanteil von 80 %, Abb. 2 (a). Beispielhaft zeigt Abb. 2 (b) zwei verschiedene Kontaktverbinder aus Buchen-FSH aus Typ S und Typ Q nach Z-9.1-838. Um das Last-Verschiebungsverhalten zu bestimmen, wurden monotone Druckscherversuche durchgeführt, siehe Abb. 2 (c).



Abb. 2: BSP-Lagenaufbau (a), Kontaktverbinder (b) und Druckscherversuch (c)

2.2 Ergebnisse und Diskussion

Das Last-Verschiebungsverhalten kann in zwei Gruppen unterteilt werden: Gruppe 1 mit parallel zur Fuge ausgerichteten Verbindern zeigt ein eher sprödes Verhalten, Abb. 3 (a). Gruppe 2 mit ungefähr rechtwinklig zur Fuge orientierten Verbindern verhält sich quasi-duktil, Abb. 3 (b).

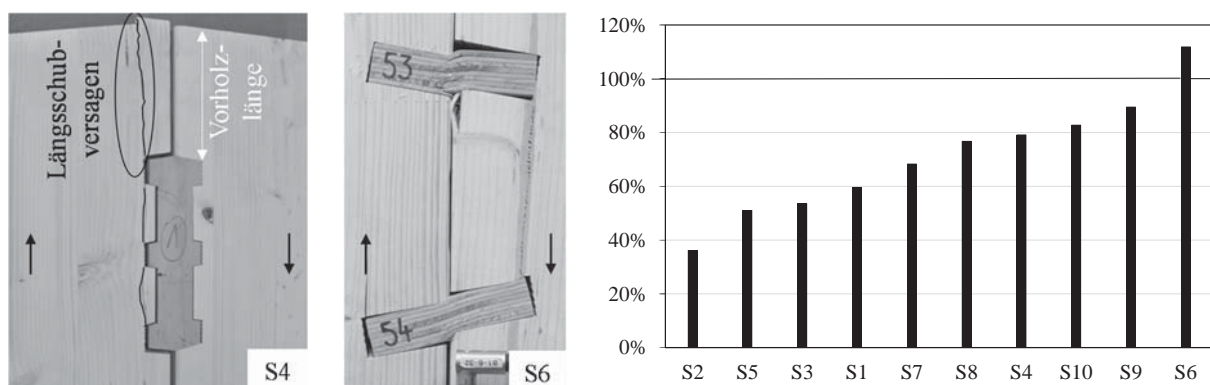


Abb. 3: Sprödes Längsschubversagen des BSP (a), duktiles Querdruckversagen des Verbinders (b) und Verhältnis der charakteristischen Tragfähigkeiten Verbindung/BSP (c)

Die Schubtragfähigkeit einer aus mehreren Elementen zusammengesetzten Scheibe ist das Minimum aus der Tragfähigkeit des BSP und der Verbindung. Die charakteristische Schubfestigkeit nach ETA-11/0210 mit nicht verklebten Schmalseiten wird mit 100 % definiert. Auf dem Niveau von 5 %-Quantilwerten erreichen die meisten der geprüften Verbindungen zwischen 36 % und 100 % der charakteristischen Längsschubfestigkeit des BSP (Abb. 3 (c)).

Bei einigen der Verbindungen trat sprödes Längsschubversagen des BSP auf. Ein quasi-duktiler Last-Verschiebungsverlauf der Verbindungsmittel ist im Hinblick auf Gruppeneffekte und die Robustheit einer Verbindungsmittelgruppe jedoch von großem Vorteil und daher anzustreben.

3. Längsschubversuche im BSP

Es sollte überprüft werden, inwieweit der spröde Versagensmechanismus »Längsschub« durch eine Vergrößerung der Vorholzlänge vermieden werden kann. Hierzu wurden Längsschubversuche durchgeführt. Ziel war es, mit den gewonnenen Erkenntnissen Vorholzlängen sinnvoll festlegen zu können.

3.1 Material und Methode

In Anlehnung an einen »Druckscherversuch« wurde der in Abb. 4 (a) dargestellte Versuchsaufbau entwickelt. Es wurde BSP aus Abschnitt 2.1 verwendet. Die Längsschubkraft F_s wurde mittels eines Buchen-FSH-Quaders, der auf dem Versuchsstand lose aufgesetzt war, eingeleitet. Dieser konnte sich, ähnlich einem Verbinder, verdrehen. Durch die Neigung von 10° zur vertikalen Maschinenachse errechnet sich die Längsschubkraft wie folgt: $F_s = F_0 \times \cos 10^\circ$. Die aus dem Versuchsaufbau resultierende Kraftkomponente $F_{90} = F_s \times \tan 10^\circ$ wirkte rechtwinklig auf die Fuge. Zur Minimierung der daraus resultierenden Reibung wurde zwischen Prüfkörper und Versuchsstand ein Gleitlager angeordnet. Die Last wurde weggesteuert mit einer Geschwindigkeit von 1,0 mm/s bis zum Versagen aufgebracht.

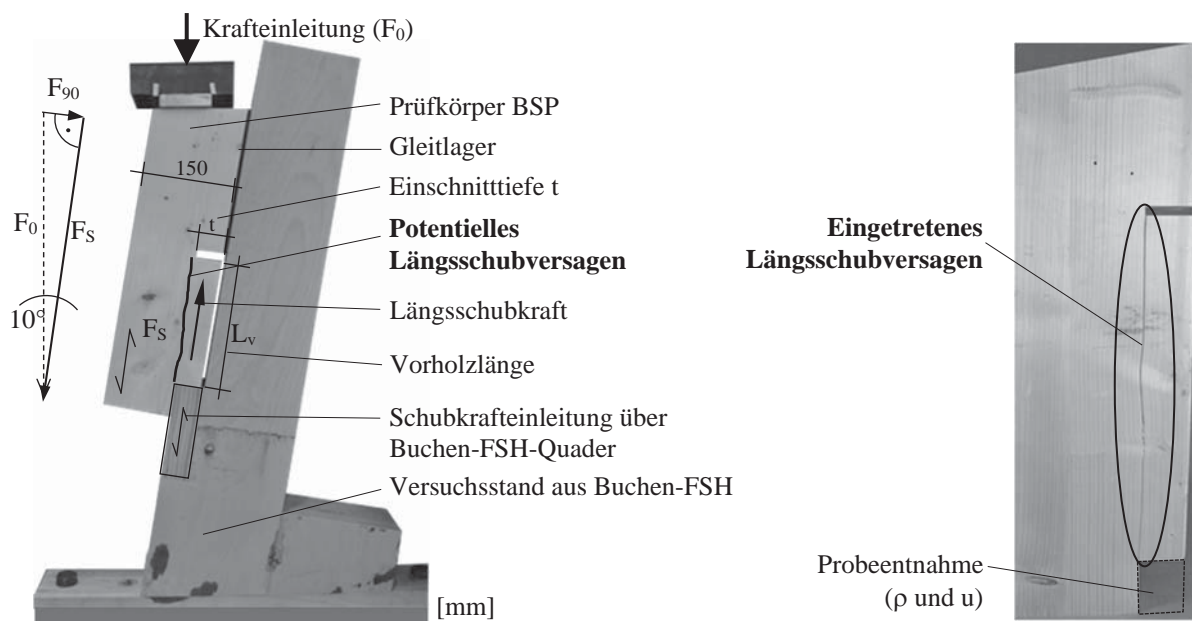


Abb. 4: Versuchsaufbau (a) und Längsschubversagen des BSP (b)

Es wurden vier verschiedene Versuchsreihen mit jeweils 10 Einzelversuchen durchgeführt. Die untersuchten Vorholzlängen „ L_v “ betragen 200, 250, 300 und 350 mm. Die Einschnitttiefe betrug bei allen Versuchen $t = 40$ mm. Die Rohdichte und der Feuchtegehalt der Längslagen wurden nach DIN EN 408 bzw. dem Darrverfahren nach DIN EN 13183-1 bestimmt. Im Mittel betrug die Rohdichte $\rho = 441 \text{ kg/m}^3$ (COV 6,0 %) und der Feuchtegehalt $u = 10,5 \%$ (COV 2,7 %).

3.2 Ergebnisse

Beim Erreichen der Höchstlast trat bei 39 von 40 Versuchen schlagartig Längsschubversagen ein, welches mit einem deutlichen Abfall der Kraft einherging, siehe Abb. 4 (b). In Tab. 1 werden die Längsschubfestigkeiten auf die Längslagen (Breite = 80 mm), also den Nettoquerschnitt (*net*), bezogen. Dabei wird von einer konstanten Spannungsverteilung über die Vorholzlänge L_v ausgegangen. In einem Versuch wurde die Druckfestigkeit der Längslagen parallel zur Faser erreicht. Die rechnerische Druckspannung parallel zur Faser ist in Tab. 1, unter Annahme eines konstanten Spannungsverlaufs über die Einschnitttiefe t , angegeben. Abb. 5 links zeigt die schwache Korrelation zwischen der Längsschubfestigkeit und der Rohdichte.

Tab. 1: Mittelwerte der Versuchsergebnisse

Vorholzlänge L_v	Verhältnis L_v / t	$F_{s,max}$	$f_{v,net}$	COV	$\sigma_{c,0,net}$	$\rho_{längs}$
[mm]	[-]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	[N/mm ²]	[kg/m ³]
200	5,00	96,2	6,02	16,4	30,1	442
250	6,25	122	6,12	13,8	38,3	448
300	7,50	127	5,31	4,56	39,8	431
350	8,75	128	4,58	9,04	40,0	441

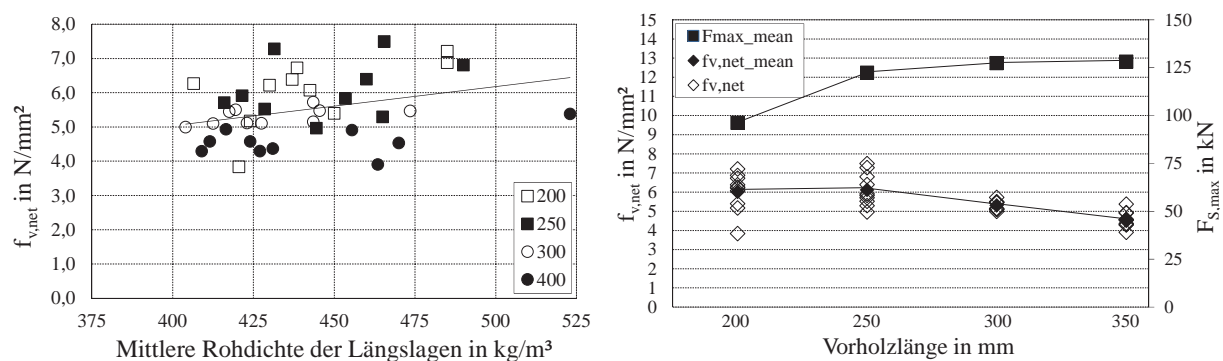


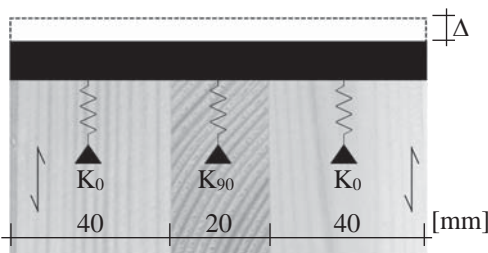
Abb. 5: Darstellung der Längsschubfestigkeit und der Höchstlast

3.3 Diskussion

Aus Abb. 5 rechts geht hervor, dass die maximale Längsschubkraft, ab einer Vorholzlänge von 250 mm im Mittel, nahezu konstant bleibt. Unter der Annahme einer konstanten Spannungsverteilung im Vorholzbereich verringert sich die mittlere Längsschubfestigkeit mit zunehmender Vorholzlänge. Eine ähnliche Situation ist im Ingenieurholzbau vom »Versatzanschluss bei stabförmigen Bauteilen« bekannt. Für den Vorholzbereich von Stirnversätzen in Schnittholz stellte u. a. Stephan [2] fest, dass „mit zunehmender Scherlänge, die gleichmäßig verteilte Scherspannung abnimmt. Jedoch bleibt der Scherspannungsspitzenpunkt, der für den Bruchzustand maßgebend ist, konstant“. Obwohl die Versuche mit BSP durchgeführt wurden, zeigen die Versuchsergebnisse mit der Aussage von Stephan eine gute Übereinstimmung. Die Spannungssituation im Vorholzbereich eines Kontaktverbinders in der Längsfuge von BSP stimmt mit der eines Versatzanschlusses in Schnittholz qualitativ überein.

Die Annahme einer konstanten Schubspannungsverteilung im Vorholzbereich stellt jedoch eine zu starke Vereinfachung dar. Numerische Untersuchungen werden erforderlich, um hinreichende Angaben über die Spannungsverteilung machen zu können. Abb. 6 zeigt in erster Näherung einen Ansatz zur Abschätzung der Steifigkeitsverteilung im Lasteinleitungsbereich des BSP. Unter der Annahme $E_{90} = E_0 / 20$ beträgt der Steifigkeitsanteil der Querlage an der

Gesamtsteifigkeit ungefähr 1,2 %. Die wesentlich höhere Steifigkeit der Längslagen führt dazu, dass die Kraft vom Verbinder nahezu vollständig in diese eingeleitet wird. Mit dieser Steifigkeitsverteilung kann der primäre Versagensmechanismus »Schubversagen der Längslagen« erklärt werden.



$$\frac{k_{90}}{k_{ges}} = \frac{E_{90} \cdot A_{90}}{2 \cdot E_0 \cdot A_0 + E_{90} \cdot A_{90}} \quad (1)$$

$$\frac{k_{90}}{k_{ges}} = \frac{1}{81} \approx 1,2\%$$

Abb. 6: Angenommene Steifigkeitsverteilung im Lasteinleitungsbereich

Betrag die Vorholzlänge mehr als das Sechsfache der Einschnitttiefe, konnte die Längsschubtragfähigkeit nicht nennenswert gesteigert werden. Das bedeutet, dass eine Vergrößerung der Vorholzlänge über diesen Grenzwert hinaus nicht zu höheren Verbindungstragfähigkeiten führen wird. Zum Vergleich, DIN EN 1995-1-1/NA regelt für Versätze, dass Vorholzlängen $> 8 \times t_v$ rechnerisch nicht berücksichtigt werden dürfen. Bei einer Verbindungsmittelgruppe wird durch eine weitere Vergrößerung der Vorholzlänge die Tragfähigkeit der Verbindungsmittelgruppe reduziert, da pro Längeneinheit weniger Verbindungsmittel angeordnet werden können.

Die in Tab. 1 ausgewerteten Druckspannungen parallel zur Faser bezogen auf die Längslagen zeigen, dass ab einem L_v/t -Verhältnis von ~ 6 die Längsdruckspannungen die Größenordnung der Längsdruckfestigkeit von BSP erreichen ($f_{c,0,net,mean} = 37,8 \text{ N/mm}^2$ bei ähnlicher Rohdichte [3]) und somit duktiler Längsdruckversagen möglich erscheint.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen können Vorholzlängen für indirekte KV festgelegt werden, sofern die Aussparungen für die Verbinder rechtwinklig zur Schmalseitenfuge des BSP eingeschnitten sind (Kraft-Faser-Winkel 0°). Für davon abweichende Verbindungsgeometrien (Abb. 3 (a, b)) können die Ergebnisse, aufgrund von Spannungsüberlagerungen, nicht direkt übertragen werden. Hier werden numerische Untersuchungen erforderlich, um hinreichende Angaben über die Spannungsverteilung machen zu können.

4. Duktiler Verbinder für BSP-Wandscheiben

Die Duktilität eines Tragwerks aus BSP wird maßgeblich durch die Verbindungsmittel bestimmt. Dabei wird die erforderliche Energiedissipation im Lastfall Erdbeben vorwiegend durch metallische stiftförmige Verbindungsmittel (VM) erreicht, sofern diese über die Fließgrenze hinaus beansprucht werden. Die Last-Verformungskurven dieser Verbindungen weisen bei zyklischer Belastung eingeschnürte Hystereseschleifen (*pinching behaviour*) auf. Das bedeutet, dass die Energiedissipation nach dem ersten Belastungszyklus signifikant abnimmt. Beeinflusst wird dieses Verhalten neben der Verbindungsgeometrie und dem Fließmoment vor allem durch das plastische Lochleibungsverhalten. Aus dem Stahlbau sind aus Flachstählen zusammengesetzte Hysteresedämpfer bekannt, deren Hystereseeigenschaften über die Beanspruchungszeit nahezu unverändert bleiben [7]. Eine Verbindung mit solchen Eigenschaften wäre für BSP-Gebäude unter Erdbebeneinwirkung wünschenswert.

Entwurfsziel des in diesem Abschnitt vorgestellten Verbinders war es folglich, den Einfluss von plastischen Lochleibungsverformungen zu minimieren. Es sollte im Rahmen von Tastversuchen überprüft werden, ob durch nachgiebig eingespannte Stahlplatten in Buchen-FSH mit Zwischenabstand folgende Eigenschaften erreicht werden können:

- Hohe Energiedissipation und minimierte Einschnürungen der Hysterese
- Geringe Festigkeitsminderung nach mehreren Zyklen

4.1 Material und Methode

Abb. 7 zeigt einen Verbinder, bestehend aus Buchen-FSH Typ Q und zwei Stahlplatten, welcher in Aussparungen zwischen zwei BSP-Elemente eingebaut ist. Die Stahlplatten ($f_y \approx 270 \text{ N/mm}^2$) sind mit der Tiefe von 40 mm in das Buchen-FSH eingebunden und überspannen eine freie Länge l_s .

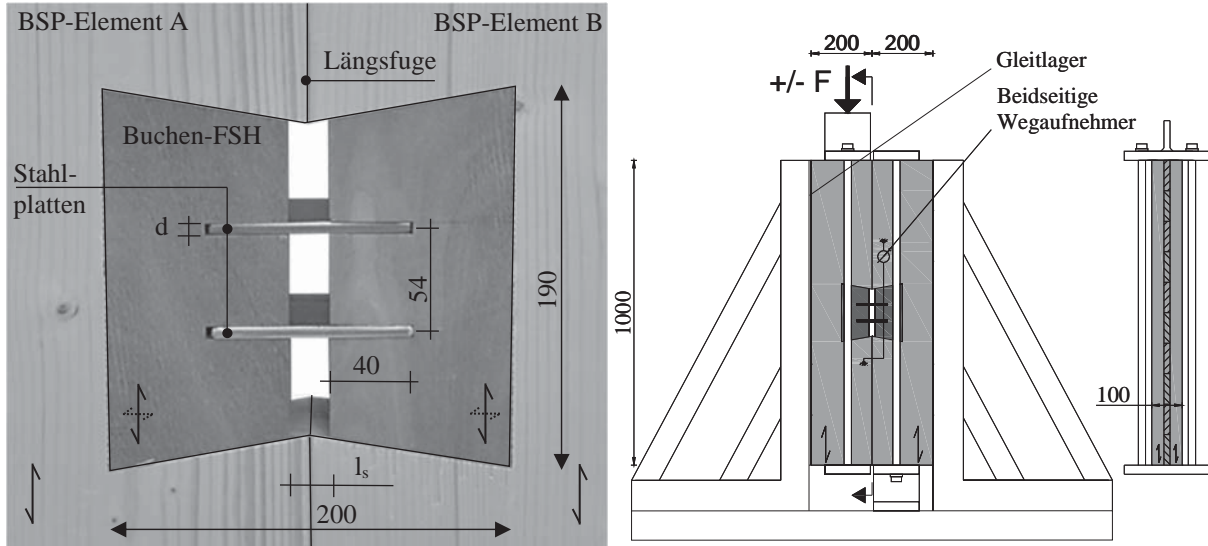
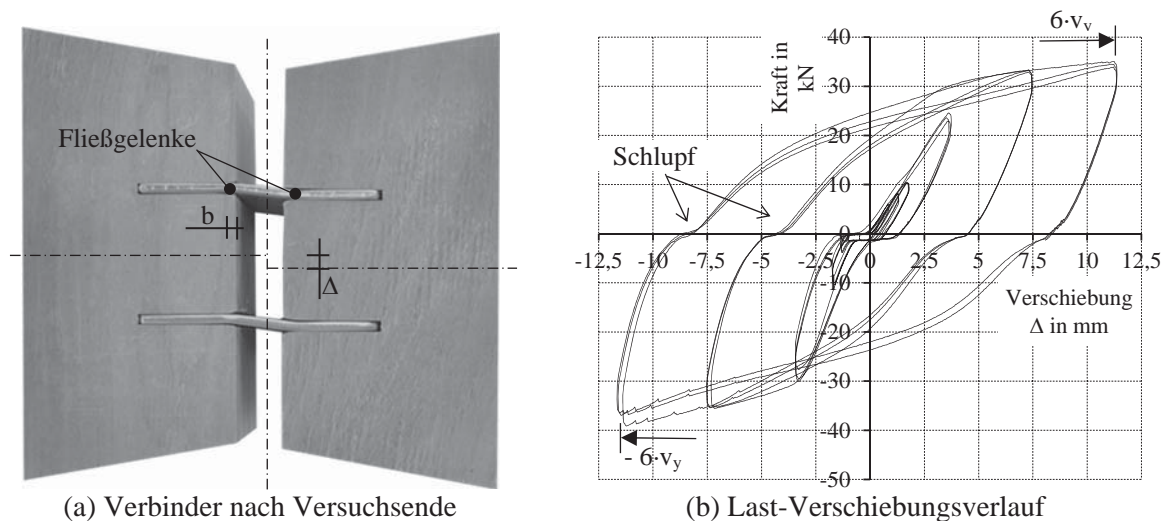


Abb. 7: Duktiler Verbinder (a) und Versuchsaufbau (b), Maße in mm

Es wurden vier Konfigurationen, bei denen die Stahlplattendicke und die freie Länge (l_s) variierten, mit jeweils einem Versuch geprüft. Als Grundlage für das Lastprotokoll nach DIN EN 12512 [4], wurde die Fließverschiebung v_y auf 2,0 mm geschätzt und über den Maschinenweg angesteuert.

4.2 Ergebnisse

Abb. 8 zeigt den plastisch verformten Verbinder und den Last-Verschiebungsverlauf des Versuchs Nr. 1. Die Ausbildung von Fließlinien, nachfolgend Fließgelenke genannt, ist deutlich erkennbar, siehe Abb. 8 (a). Plastische Lochleibungsverformungen traten nur im Randbereich des Buchen-FSH ($b \approx 1-5 \text{ mm}$) auf. Die Position der Fließgelenke ist von der Vorderkante der nachgiebigen Einspannung im Buchen-FSH um wenige Millimeter eingerückt.



(a) Verbinder nach Versuchsende

(b) Last-Verschiebungsverlauf

Abb. 8: Versuch Nr. 1. Plattendicke $d = 4,0 \text{ mm}$ und $l_s = 20 \text{ mm}$

Abb. 8 (b) zeigt, dass bei den Lastwechselln Schlupf in der Verbindung aufgetreten ist. Tab. 2 enthält für die vier verschiedenen Konfigurationen die Ergebnisse der letzten drei Zyklen mit maximaler Amplitude ($6 \cdot v_y = 12 \text{ mm}$). Wesentliche qualitative Unterschiede im Last-Verschiebungs-Verhalten der vier Verbinder wurden nicht beobachtet.

Tab. 2: Versuchsergebnisse bei maximaler Amplitude

Versuch Nr.:	d [mm]	l_s [mm]	ΔF_{1-3} [%]	$v_{eq,mean}$ [%]	$\min F_u $ [kN]	$\Delta(\min F_u)$ [mm]
1	4,0	20	6,5	32,6	33,9	11,2*
2		40	0,9	31,4	17,6	11,7*
3	6,0	20	3,6	27,6	58,6	8,60*
4		40	1,1	33,8	33,0	10,1*

* Die gemessene Verschiebung Δ weicht, durch Schlupf im Versuchsaufbau, von der planmäßigen Amplitude ($6 \cdot v_y = 12 \text{ mm}$) ab.

4.3 Diskussion

Die Festigkeitsminderung ΔF_{1-3} zwischen dem 1. und 3. Zyklus (Tab. 2) ist verglichen mit dem Grenzwert von 20 % nach DIN-EN 1998 gering. Der Mittelwert des äquivalenten Dämpfungsverhältnisses v_{eq} liegt zwischen 27,6 % bis 33,8 %, siehe Tab. 2. Übliche Verbindungen für die Längsfugen von BSP erreichen ein äquivalentes Dämpfungsverhältnis $v_{eq} \approx 11 \%$ [5]. Die Verbindung zeigt nahezu kein einschnürendes Verhalten. Der aufgetretene Schlupf bei den Lastwechselln kann auf Herstellungstoleranzen zurückgeführt werden.

Die Kombination von Buchen-FSH mit erhöhter Lochleibungsfestigkeit, Stahlplatten anstelle von Stiften mit Kreisquerschnitt und einer freien Länge zwischen den nachgiebigen Einspannungen führt dazu, dass die plastische Hysterese nahezu vollständig im Stahlblech stattfindet. Plastische Lochleibungsverformungen im Buchen-FSH sind schwach ausgeprägt. Dadurch kann eine hohe Energiedissipation, minimiertes Einschnüren sowie eine geringe Festigkeitsminderung nach mehreren Zyklen erreicht werden.

Weitere numerische Untersuchungen sollen zeigen, welchen quantitativen Einfluss die Parameter Lochleibungsfestigkeit, Stahlblechdicke und -güte, die freie Länge und die Anzahl der Stahlplatten, haben. Mit Variation dieser Parameter kann, idealerweise, das Tragverhalten nach den jeweiligen Anforderungen »eingestellt« werden. Weiter ist zu überprüfen, ob die Annahme von starr-plastischem Lochleibungsverhalten hinreichend ist, um die mechanischen Eigenschaften, insbesondere die Tragfähigkeit, mit analytischen Ansätzen zu berechnen.

Wird ein Bauteil betrachtet, so soll sich dieses unter Gebrauchslasten (z. B. Wind) nur gering verformen. Hierzu muss es eine hohe Steifigkeit aufweisen und elastisch sein. Im Lastfall Erdbeben hingegen sind im Allgemeinen eine geringe Steifigkeit und eine hohe Duktilität von Vorteil. In einem Aufsatz von Dimitrov und Pocanschi [6] wird –für segmentierte Stahlbeton-Wandscheiben– folgende Möglichkeit aufgezeigt, diese konträren Anforderungen gleichermaßen zu erfüllen: Kombiniertes Einsatz von »Sprödbbruchverbinder« und »plastischen Hysteresedämpfer«. Gebrauchslasten werden von Sprödbrucholementen bei geringer Gesamtverformung abgetragen, die Wandscheibe verhält sich elastisch. Im Lastfall Erdbeben sollen die Sprödbrucholemente auf einem definierten Lastniveau planmäßig versagen. Dabei wird die Steifigkeit der Wandscheibe verringert und Relativverschiebungen Δ in den Längsfugen ermöglicht. Diese führen zu Fließverschiebungen und zur Energiedissipation des Hysteresedämpfers. Inwieweit ein solches System mit einem zweistufigen Last-Verformungs-Verhalten auf den Holzbau übertragbar ist, ist durch weitere Untersuchungen zu klären.

Für BSP-Wandscheiben könnte ein solches System aus in den Schmalseitenfugen angeordneten KV aus Abschnitt 2 als Sprödbrucholemente (resp. Lastbegrenzer) für quasi-statische

Einwirkungen, kombiniert mit dem duktilen Verbinder für Erdbebeneinwirkungen aufgebaut werden.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

In diesem Beitrag wurden verschiedene indirekte Kontaktverbindungen zur Übertragung von Scheibenschubkräften in der Schmalseitenfuge von BSP vorgestellt.

Experimentelle Untersuchungen zur Festlegung von geeigneten Vorholzlängen wurden durchgeführt. Es wurde gezeigt, dass die Längsschubtragfähigkeit des BSP im Verbindungsbereich für Kontaktverbindungen ab einer bestimmten Vorholzlänge durch eine Vergrößerung der Vorholzlänge nicht mehr gesteigert werden kann. Grund hierfür ist eine nicht gleichförmige Schubspannungsverteilung in den Längslagen.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse können für bestimmte Kontaktverbindungen sowohl Mindestvorholzlängen als auch maximal anrechenbare Vorholzlängen abgeleitet werden.

Im Stahlbau werden Hysteresedämpfer eingesetzt, deren Wirkung auf biegebeanspruchten Stahlstäben beruht. Durch einige Modifikationen konnte dieser Ansatz – im Rahmen der hier vorgestellten Tastversuche – auf den Holzbau übertragen werden. Das bei dissipativen Holzverbindungen typische einschnürende und festigkeitsmindernde Verhalten konnte vermieden, oder zumindest signifikant verringert werden. Aufgrund der vollflächigen Bettung erscheint die Verwendung von Stahlplatten zielführender als die Verwendung von Stabdübeln. Deshalb sind auch direkt in das BSP eingearbeitete Stahlblechverbindungen mit freier Länge ohne Lochleibungsverstärkung Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Des Weiteren soll untersucht werden, ob neben steifen Verbindungsmitteln mit einer hohen Schubtragfähigkeit auch dissipative Verbinder in den Schmalseitenfugen von BSP-Wandscheiben kombiniert angeordnet werden können. Gelingt dies, so könnten mehrere (herstellungsbedingte) Schmalseitenfugen je BSP-Wandscheibe vorteilhaft sein, um das Tragverhalten kontrollieren und einzustellen zu können.

Die einfache Geometrie der vorgestellten Verbindungen soll eine wirtschaftliche Herstellung mittels CNC-Abundanlagen ermöglichen.

Literatur

- [1] Schmidt T., Blaß H. J.: „Längsschubverbindungen in den Schmalseiten von Brettsperrholzelementen“, 21. Internationales Holzbauforum, Band 1, Garmisch-Partenkirchen, 2.-4. Dezember 2015.
- [2] Stephan R.: „Beitrag zur Spannungsermittlung beim Versatzanschluss im Holzbau“, Dissertation, Technische Hochschule Hannover, 17.07.1950
- [3] Flaig M., Blaß H. J.: „Keilgezinkte Rahmenecken und Satteldachträger aus Brettsperrholz“, Bd. 29, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.
- [4] DIN EN 12512:2005-12 Holzbauwerke – Prüfverfahren – Zyklische Prüfung von Anschlüssen mit mechanischen Verbindungsmitteln; Deutsche Fassung EN 12512:2001 + A1:2005.
- [5] Sandhaas C., van de Kuilen J.-W. G., Boukes J., Ceccotti A.: „Analysis of X-lam panel-to-panel connections under monotonic and cyclic loading“, Proceedings CIB-W18, Meeting 44, Paper 42-12-2, Italy.
- [6] Dimitrov N., Pocanschi A.: „Wandscheiben mit dynamischer Anpassungsfähigkeit für Bauten in Erdbebengebieten“, Bauingenieur, Bd. 60, 1985.
- [7] Pocanschi A., Phocas M.C.: „Kräfte in Bewegung – Die Techniken des erdbebensicheren Bauens“, Teubner Verlag, 07.2003.