

Starre und duktile Klebeverbindungen für BSP-Anwendungen

Rigid and ductile adhesive bonds for
Cross-Laminated-Timber

Assemblages collés rigides et ductiles à destination des
systèmes constructifs en CLT

Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen
Institut für Baustoffe und Konstruktion
MPA Wiesbaden & Labor für Holzbau
DE-Wiesbaden



Prof. Dr. L Bathon



Dipl.-Ing.
O. Bletz-Mühdorfer



M. Eng. F. Diehl



M. Eng. J. Schmidt



B. Eng. A. Wagner



Dipl.-Ing.(FH) M. Weil

Starre und duktile Klebeverbindungen für BSP-Anwendungen

1. Verbindungen in Brettsperrholz

In den letzten Jahren wurden vermehrt Gebäude in Massivholzbauweise errichtet. Das Bauen mit Brettsperrholz beinhaltet völlig neue Herausforderungen an die Verbindungsmitteltechnologie. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Brettschichtholzplatten beeinflussen die Tragwirkung eines Gebäudes maßgeblich. Um statische und quasistatische Beanspruchungen aufzunehmen, sind Verbindungen mit hoher Steifigkeit und Tragfähigkeit geeignet. Beanspruchungen aus Erdbeben erfordern darüber hinaus Verbindungen, welche dazu in der Lage sind mit hoher Duktilität zur Energiedissipation beizutragen.

Im klassischen Holzbau werden vorwiegend stabförmige Holzbauteile verwendet, die in Knotenpunkten aufeinander treffen und punktuell verbunden werden. Im Gegensatz dazu werden in der Massivholzbauweise flächige Bauteile eingesetzt. Die einzelnen Platten treffen bei dieser Bauweise in Form von Linien aufeinander, weshalb es sinnvoll erscheint, nach linienförmigen Verbindungen zu suchen.

Das Labor für Holzbau an der Hochschule RheinMain in Wiesbaden hat sich in den vergangenen Jahren bei der Entwicklung eines Holz-Beton-Verbundsystems und eines Holz-Stahl-Klebeverbundsystems mit solchen linienförmigen Verbindungen beschäftigt [1]. Die Leistungsfähigkeit beider Systeme wurde in umfangreichen Versuchen unter Beweis gestellt und in zahlreichen Veröffentlichungen festgehalten. Aufgrund der festgestellten Eigenschaften des Holz-Stahl-Klebeverbundsystems ist davon auszugehen, dass das System auch beim Einsatz in der Massivholzbauweise einen positiven Beitrag leisten kann.

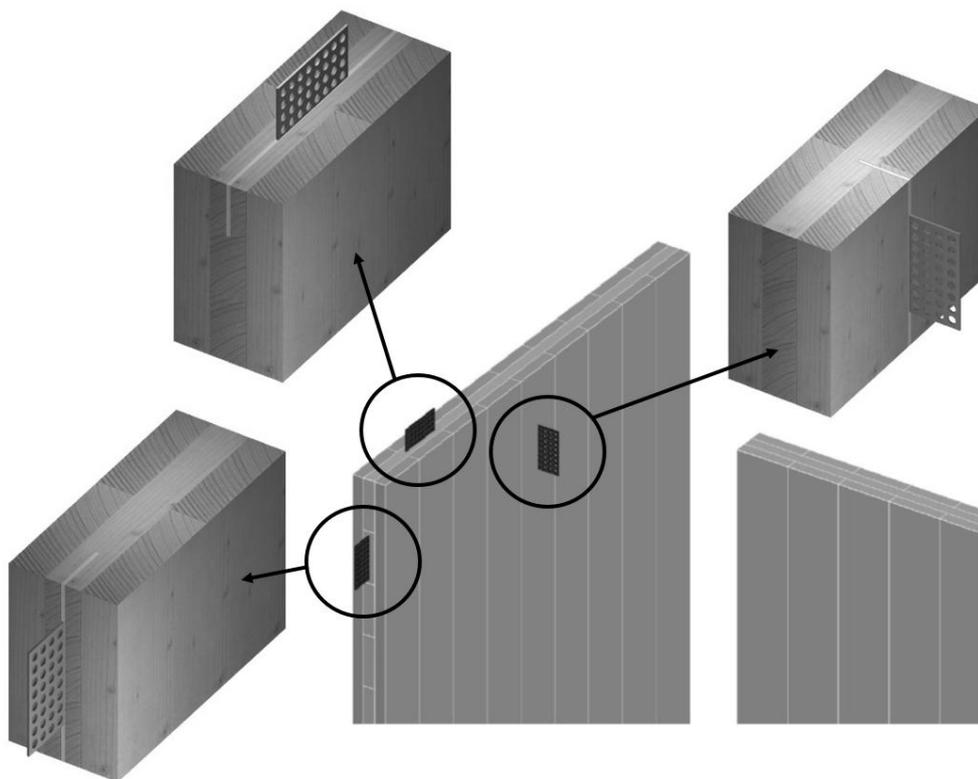


Abbildung 1: Verbindungen zwischen Brettsperrholzplatten

Für die Massivholzbauweise werden Lösungen für unterschiedliche Anschlussdetails gesucht:

- Innerhalb einer Wand: Schmalseite – Schmalseite
- Zwischen zwei Wänden: Schmalseite – Fläche
- Zwischen Wand und Decke: Schmalseite – Fläche

In Abbildung 1 werden mögliche Verbindungen mit eingeklebten Lochblechen dargestellt. Da die Verbindungen im Bauwerk sowohl auf Zug als auch auf Schub belastet werden, muss darauf geachtet werden, ob die Verbindungen längs oder quer zur Faserrichtung des Holzes beansprucht werden. Für den Einsatz der eingeklebten Lochbleche in Brettsperrholz wurden deshalb Versuche durchgeführt, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden. Darüber hinaus wurde das Potential der Energiedissipation von eingeklebten Lochblechen in weiteren Versuchen untersucht.

2. Eingeklebte Lochbleche unter Winkleinfluss

In zwei verschiedenen Versuchsreihen wurde die Tragfähigkeit von eingeklebten Lochblechen unter verschiedenen Winkeln zwischen Kraft und Holzfasern in Zugversuchen untersucht. Bei der Versuchsreihe HSKW1 wurden 12 Klebstoffdübel (3 x 4 Dübel) und bei der Versuchsreihe HSKW2 wurden 9 Klebstoffdübel (3 x 3 Dübel) je Verbindung eingeklebt. In Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen exemplarisch zwei Prüfkörper der beiden Versuchsreihen.

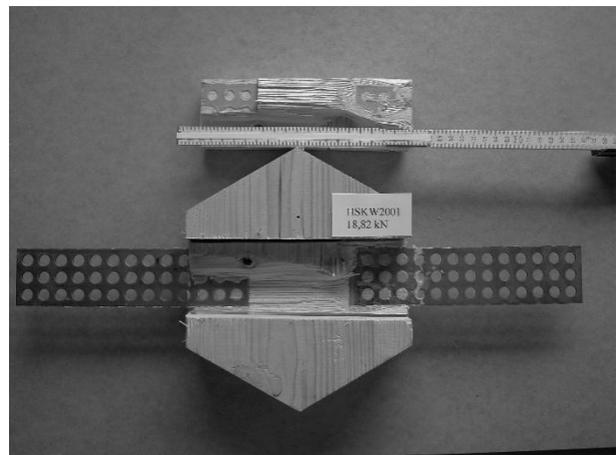
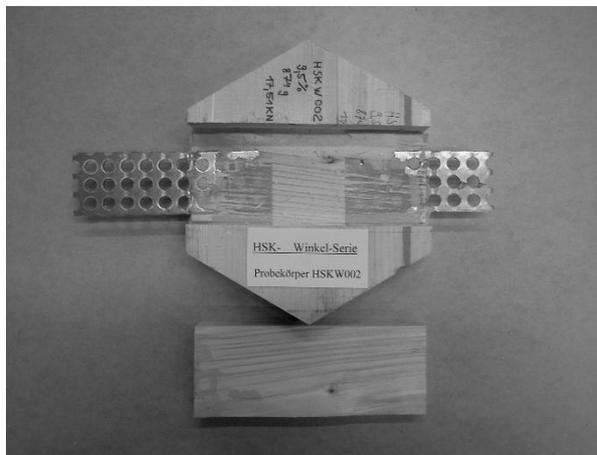


Abbildung 2: Prüfkörper der Versuchsreihe HSKW1

Abbildung 3: Prüfkörper der Versuchsreihe HSKW2

Die Lochbleche hatten die Festigkeitsklasse S 235 und eine Blechdicke von 2,5 mm. Die Löcher hatten einen Durchmesser von 10 mm und einen Achsabstand von 15 mm. Diese Verbinder wurden in dreilagiges Brettsperrholz mit einer Gesamtdicke von 58 mm und einer Mittellage von 20 mm eingeklebt. Die Länge des Holzes betrug in Kraftrichtung etwa 170 mm.

Es wurden jeweils drei Prüfkörper hergestellt, bei denen die Bleche in einem Winkel von 0°, 30°, 60° oder 90° zu den Holzfasern der mittleren Brettlage ausgerichtet waren. Es wurden also 12 Prüfkörper je Versuchsreihe geprüft. In Tabelle 1 werden die Ergebnisse der Versuche zusammengefasst.

Tabelle 1: Ergebnisse der Zugversuche unter Winkleinfluss

Bezeichnung	Winkel Kraft/Faser	Schlitztiefe	mittlere Bruchlast	Dübel	Kraft / Dübel
	[°]	[cm]	[kN]	[-]	[kN]
HSKW1001 bis 3	0	6,5	18,31	12	1,53
HSKW1301 bis 3	30	6,5	18,60	12	1,55
HSKW1601 bis 3	60	6,5	19,03	12	1,59
HSKW1901 bis 3	90	6,5	17,92	12	1,49
HSKW2001 bis 3	0	5,0	19,57	9	2,17
HSKW2301 bis 3	30	5,0	15,95	9	1,77
HSKW2601 bis 3	60	5,0	13,69	9	1,52
HSKW2901 bis 3	90	5,0	14,15	9	1,57

Bei Versuchsreihe HSKW1 mit 12 Klebstoffdübeln je Lochblech kam es bei allen Prüfkörpern zu einem Stahlversagen. Die mittlere Bruchlast variierte deshalb nur geringfügig, was auch die Trendlinie «Linear (HSKW1)» in Diagramm 1 zeigt. Bei Versuchsreihe HSKW2 mit 9 Klebstoffdübeln je Lochblech wurde vorwiegend Holz-Klebstoffversagen oder Klebstoffversagen festgestellt. Hier ist ein Einfluss des Winkels zwischen Kraft und Holzfaser zu erkennen, der durch die zugehörige abfallende Trendlinie verdeutlicht wird.

In Diagramm 1 werden zusätzlich die erreichten Bruchlasten mit dem charakteristischen Tragwiderstand nach Zulassung Z-9.1-770 [2] für das HSK-System verglichen. Es wird deutlich, dass die Bruchlasten mit variierenden Winkeln zwischen Kraft und Holzfaser über dem charakteristischen Traglastniveau liegen.

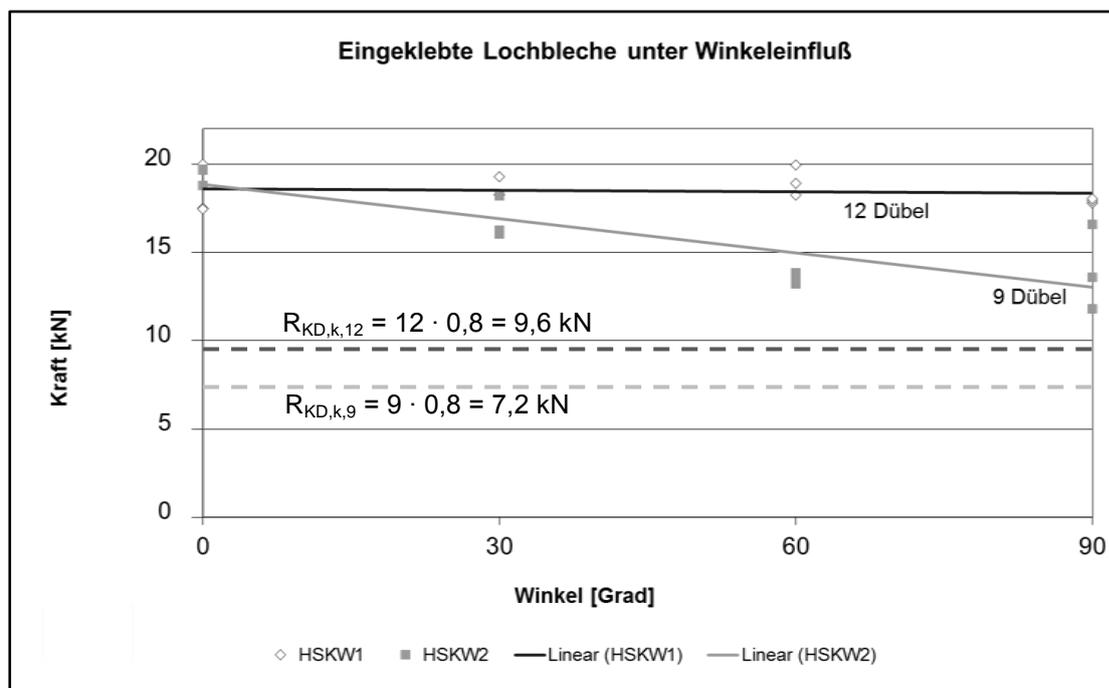


Diagramm 1: Eingeklebte Lochbleche unter Winkeleinfluss

3. HSK-Verbinder in der Schmalseite von BSP

Zur weiteren Untersuchung des Tragverhaltens des HSK-Systems in Brettschichtholz wurden Scherversuche durchgeführt, bei denen die HSK-Verbinder in der Schmalseite der BSP-Platten eingeklebt wurden.

3.1. Prüfkörper und Versuchsdurchführung

Die eingesetzten HSK-Lochbleche der Festigkeitsklasse S 235 hatten eine Gesamtlänge von 185 mm, eine Gesamtbreite von 110 mm und eine Dicke von 2,5 mm. Die Prüfkörper bestanden aus zwei Hälften mit je einer Breite von 140 mm, einer Länge von 554 mm und einer Dicke von 61 mm. Die eingesetzten Brettsper Holzplatten aus Fichtenholz hatten zwei äußere Lagen mit 19 mm Dicke und eine Mittellage von 23 mm Dicke. Eine Schmalseitenverklebung war nicht gegeben.

Die beiden Prüfkörperhälften wurden zunächst jeweils mit zwei Bohrungen mit einem Durchmesser von 20 mm versehen. Diese wurden oberhalb und unterhalb des später eingeklebten HSK-Verbinders im Abstand von 230 mm angeordnet. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die aufgebrachte Scherkraft über eine definierte Scherfläche übertragen werden musste, die nicht wesentlich größer war, als die Mantelfläche des eingeklebten Lochblechs. Im Anschluss wurden die HSK-Verbinder jeweils 55 mm tief in jede Prüfkörperhälfte in einen 4 mm breiten Schlitz eingeklebt. Innerhalb der 55 mm tiefen Schlitz wurden auf einer Länge von 185 mm somit 36 Klebstoffdübel (3 x 12) je Prüfkörperhälfte eingeklebt (siehe Abbildung 1). Für die Verklebung wurde der 2K-EP-Klebstoff WEVO-Spezialharz EP 32 S mit WEVO-Härter B 22 TS verwendet.

Abbildung 4 stellt die Seitenansicht des Prüfkörpers dar. Der Winkel von $7,2^\circ$ sowie die beiden Plattenbreiten wurden so gewählt, dass die vertikal aufgebrachte Last genau den Mittelpunkt der Scherfuge und des Verbindungsmittels traf.

Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen den Schnitt A-A für zwei unterschiedliche Prüfkörpertypen. Während bei den drei Prüfkörpern HSK-Roll 01 bis 03 das Blech längs zur Faserrichtung eingeklebt wurde, wurde es bei den Prüfkörpern HSK-Roll 04 bis 09 quer zur Faserrichtung eingeklebt.

Über induktiven Wegaufnehmer an der Vorder- und Hinterseite des Prüfkörpers wurde die Relativverschiebung der beiden Prüfkörperhälften zueinander gemessen. Die Lastaufbringung erfolgte in Form einer Hysterese kraft geregelt.

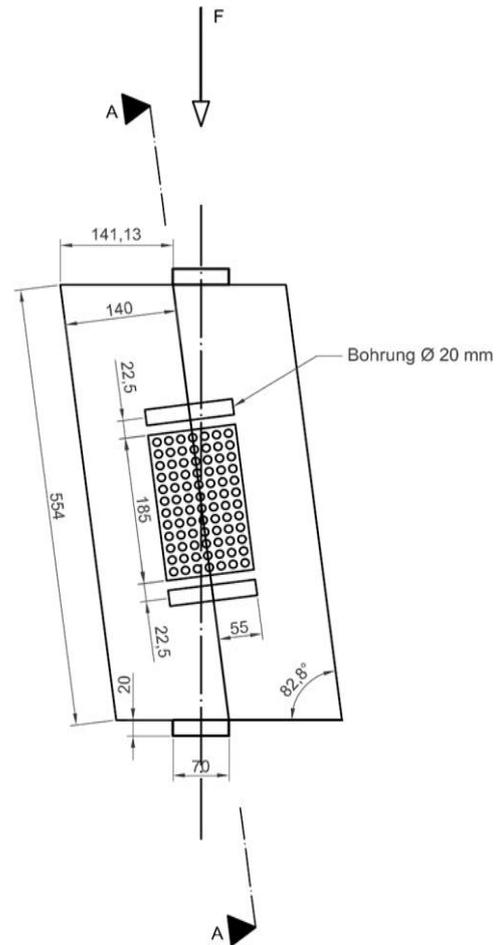


Abbildung 4: Seitenansicht der Druckscherprüfkörper

Schnitt A - A
HSK-Roll_01 bis 03

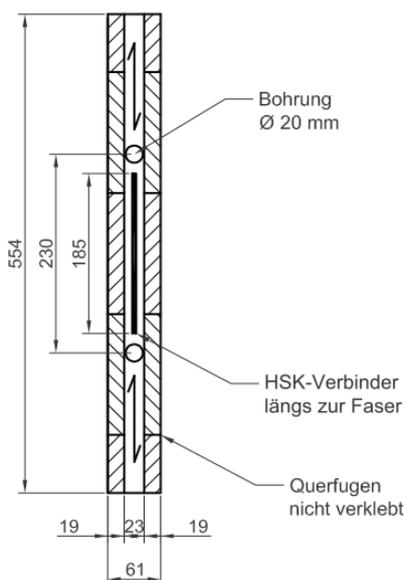


Abbildung 5: Prüfkörper HSK-Roll_01 bis 03 mit eingeklebtem HSK-Verbindelement längs zur Faser

Schnitt A - A
HSK-Roll_04 bis 09

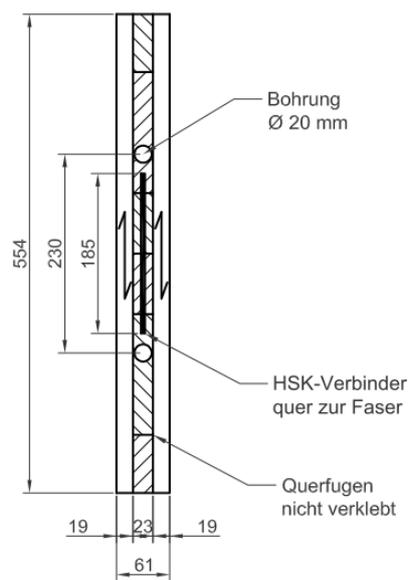


Abbildung 6: Prüfkörper HSK-Roll_04 bis 09 mit eingeklebtem HSK-Verbindelement quer zur Faser

Durch die Bohrungen mit 20 mm Durchmesser werden zwei Effekte erzielt. Der erste Effekt ist, dass sich das Lochblech in Krafrichtung nicht auf seiner Kante (Fläche mit 55 mm * 2,5 mm) «abstützen» kann. Es wird also nur die Scherfläche entlang der Mantelfläche des Lochblechs aktiviert. Der zweite Effekt besteht darin, dass bei den Prüfkörpern mit längs zur Faser eingeklebtem Lochblech die Spannungen zunächst in Faserrichtung vom Lochblech aufs Holz übertragen werden, jedoch anschließend gebündelt durch die Klebefuge zwischen den verschiedenen Brettlagen verlaufen müssen. Dadurch wird auch bei diesen Prüfkörpern eine Beanspruchung auf «Rollschub» erzeugt.



Abbildung 7: Einkleben des Lochblechs im Bereich zwischen den Bohrungen \varnothing 20 mm



Abbildung 8: Eingebauter Druckscherprüfkörper mit Kipphalterung

3.2. Versuchsergebnisse

Das typische Versagensbild der Versuche wird in Abbildung 9 dargestellt. Die Verschiebung zwischen den beiden Prüfkörperhälften ist hier deutlich zu erkennen.



Abbildung 9: Typisches Versagensbild der Prüfkörper am Beispiel HSK-Roll 02

In Diagramm 2 sind die Kraft-Verformungs-Kurven der Versuche mit längs zur Faser eingeklebten Lochblechen dargestellt. Die Scherkraft entspricht dabei der Kraft, die parallel zur Scherfuge wirkt. Bis zu einer Scherkraft von ca. 32 kN ist ein etwa linearer Lastanstieg zu verzeichnen. Danach kommt es zum Stahlfließen in der Verbindung, wobei die Last weiter ansteigt.

Das Stahlfließen, ist in der ausgeprägten plastischen Verformungen der mittleren Lochreihe in Abbildung deutlich zu erkennen. Diese Lochreihe war beim Einkleben der Lochbleche absichtlich nicht mit Klebstoff gefüllt worden, um eine «Sollbruchstelle» zu generieren, in deren Bereich sich das Lochblech verformen konnte.

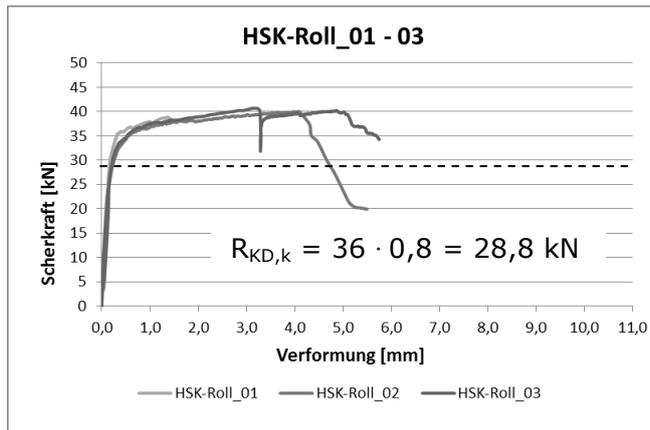


Diagramm 2: Kraft- Verformungs-Diagramm der Druckscherversuche längs zur Faser

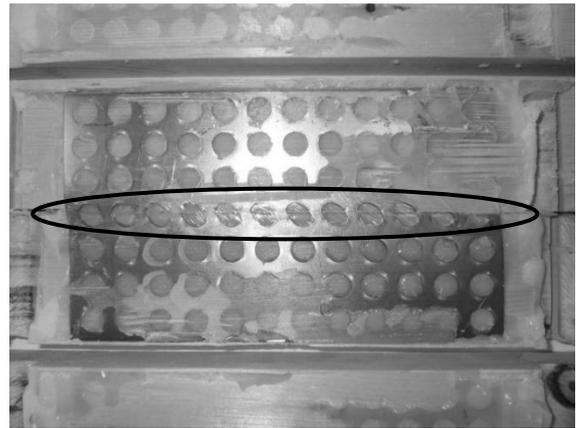


Abbildung 10: Geöffneter Prüfkörper HSK-Roll 02, Stahlfließen als typisches Versagensbild bei längs zur Faser eingeklebten Blechen

Die Ergebnisse der Versuche werden in Tabelle 2 aufgeführt. Zur Berechnung der gemittelten Scherspannung in der Klebefuge wird dabei die Scherkraft auf die seitliche Klebefläche entlang des Blechs angesetzt:

$$\tau_{Kl} = \frac{F_{Scher}}{A_{Scher}} = \frac{F_{Scher}}{185 \text{ mm} \cdot 55 \text{ mm} \cdot 2 \text{ Blechseiten}}$$

Da die Prüfkörper aufgrund von ausgeprägtem Stahlfließen beendet wurden, wird auch die gemittelte Scherspannung im Stahlblech auf ultimativem Lastniveau berechnet:

$$\tau_{Scher,u} = \frac{F_{Scher}}{A_{netto}} = \frac{F_{Scher}}{(185 \text{ mm} - 12 \cdot 10 \text{ mm}) \cdot 2,5 \text{ mm}}$$

Tabelle 2: Versuchsergebnisse der Druckscherversuche längs zur Faser

Versuchskörper	maximale Scherkraft	Scherspannung im Stahl	Scherspannung im Kleber	Kraft pro Dübel
	F_{Scher}	$\tau_{Scher,u}$	τ_{Kl}	F_D
	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]
HSK-Roll_01*	38,85	239,1	1,91	1,08
HSK-Roll_02	40,02	246,3	1,97	1,11
HSK-Roll_03*	40,67	250,3	2,00	1,13
Ø	39,84	245,2	1,96	1,11

Analog zu den oben beschriebenen Ergebnissen werden im Folgenden die Ergebnisse der Prüfkörper mit quer zur Faser eingeklebten Lochblechen dargestellt. Die mittlere Scherspannung im Stahl lag bei den Prüfkörpern mit längs zur Faser eingeklebtem Lochblech auf Bruchlastniveau bei etwa 245 N/mm². Bei den Prüfkörpern mit quer zur Faser eingeklebtem Lochblech betrug sie etwa 280 N/mm². Das Stahlfließen begann jedoch bei allen Prüfkörpern bereits bei ca. 32 kN, was einer mittleren Scherspannung im Stahl von 197 N/mm² entspricht.

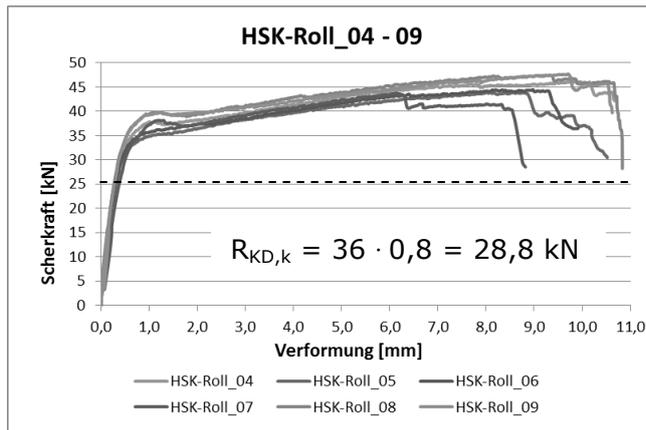


Diagramm 3: Kraft- Verformungsdiagramm der Druckscherversuche quer zur Faser

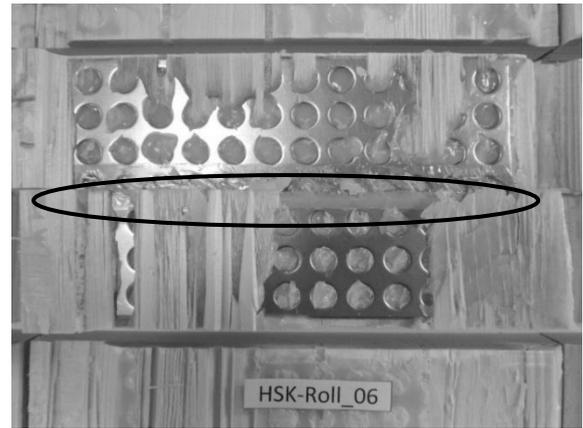


Abbildung 9: Geöffneter Prüfkörper HSK-Roll 04, Stahlfließen als typisches Versagensbild bei quer zur Faser eingeklebten Blechen

Die in Tabelle 2 und Tabelle 3 angegebenen Werte für die Kraft pro Dübel stellen nicht die maximale Tragfähigkeit der Klebstoffdübel dar, sondern nur die in den Versuchen maximal aufgebrachten Kräfte. Das ultimative Traglastniveau wurde durch die Stahlkapazität der Lochbleche definiert.

Tabelle 3: Versuchsergebnisse der Druckscherversuche quer zur Faser

Versuchskörper	maximale Scherkraft	Scherspannung im Stahl	Scherspannung im Kleber	Kraft pro Dübel
	F_{Scher}	τ_{Scher}	τ_{KI}	F_{D}
	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]
HSK-Roll_04	46,12	283,8	2,27	1,28
HSK-Roll_05	43,85	269,9	2,15	1,22
HSK-Roll_06	44,44	273,5	2,18	1,23
HSK-Roll_07	43,79	269,5	2,15	1,22
HSK-Roll_08	47,10	289,8	2,31	1,31
HSK-Roll_09	47,71	293,6	2,34	1,33
Ø	45,50	280,0	2,24	1,26

4. Erdbebenbeanspruchung auf HSK-Verbinder

In dieser Versuchsreihe wurde das HSK-System unter zyklischen Belastungen untersucht. Diese Orientierungsversuche sollten die Einsetzbarkeit des Systems für Erdbebenbeanspruchungen abprüfen.

4.1. Prüfkörper

Die Prüfkörper wurden aus Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL 24 h hergestellt. Die Querschnittsabmessungen betragen $B/H = 20 \text{ cm} / 16 \text{ cm}$, wobei die Lamellen stehend angeordnet waren. Zur Lasteinleitung wurde eine Bohrung von 30 mm Durchmesser im rechten Teilquerschnitt angeordnet. Die Prüfkörperlänge betrug insgesamt ca. 333 cm.

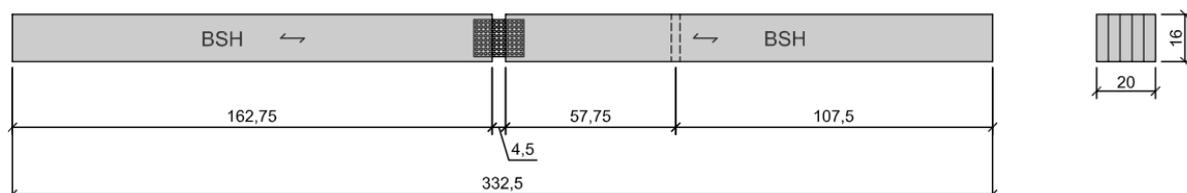


Abbildung 10: Darstellung des Prüfkörpers

suchen HSK-CYC 2 und HSK-CYC 3 angebracht, wodurch das seitliche Ausweichen der Prüfkörper verhindert werden konnte.

Mit Hilfe von 4 Wegaufnehmern wurde die Verschiebung zwischen den beiden Teilquerschnitten der Prüfkörper ermittelt. Dazu wurden die Relativverschiebungen der beiden Hirnholzflächen zum Boden des Aufspannfeldes gemessen.

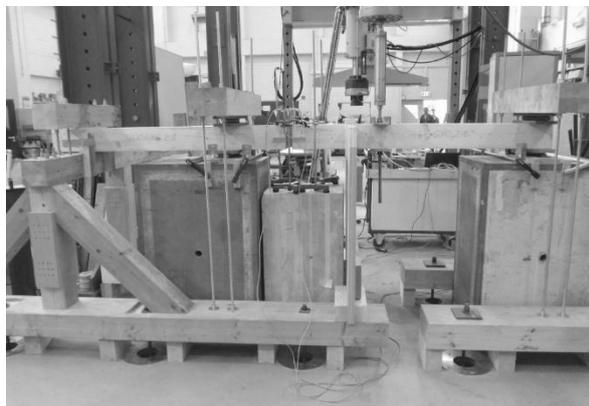


Abbildung 12: Versuchsstand mit eingebautem Prüfkörper



Abbildung 13: Seitenansicht der Verbindung mit Wegaufnehmern

4.3. Versuchsergebnisse

Die Versuchsdurchführung erfolgte in Anlehnung an die ISO 21581 [4] für Scherwände aus Holz unter statischen und zyklischen Seitenlasten. Diese Norm sieht eine wiederholte dreiecksförmige Belastung der Prüfkörper vor, bei der die Amplitude nach einer definierten Anzahl von Zyklen erhöht wird. Die Belastung wird bei diesen Versuchen Weggesteuert aufgebracht. Bei den vorliegenden Versuchen wurde der maximale Kolbenweg auf 10 mm und die maximale Kolbenkraft auf 48 kN geschätzt. Tabelle 4 zeigt die Belastungsschritte des Versuchsprogramms.

Da die Schritte 1 und 2 nach ISO 21581 Kolbenwege von maximal 0,25 mm bzw. ca. 1,2 kN Kolbenkraft aufweisen und dies für einen Kolben mit einem maximalen Weg von 250 mm und einer maximalen Druckkraft von 400 kN sehr kleine Wege bzw. Kräfte sind, wurden diese Schritte nicht berücksichtigt. Die Belastung begann also mit Schritt 3 bei 0,5 mm Kolbenweg. Ab Schritt 6 wurde die Anzahl der Zyklen je Schritt von 1 auf 3 erhöht. Die Belastungsgeschwindigkeit betrug 0,485 mm/sec.

Tabelle 4: Belastungsschritte in Anlehnung an ISO 21581

Schritt	Anzahl der Zyklen	max / min Kolbenweg [% oflu]	max / min Kolbenweg [mm]	erwartete Kolbenkraft [kN]	erwartete Querkraft [kN]	Kolbenweg je Schritt [mm]
1	1	± 1,25	± 0,125	± 0,6	± 0,375	0,5
2	1	± 2,5	± 0,25	± 1,2	± 0,75	1
3	1	± 5	± 0,5	± 2,4	± 1,5	2
4	1	± 7,5	± 0,75	± 3,6	± 2,25	3
5	1	± 10	± 1	± 4,8	± 3	4
6	3	± 20	± 2	± 9,6	± 6	24
7	3	± 40	± 4	± 19,2	± 12	48
8	3	± 60	± 6	± 28,8	± 18	72
9	3	± 80	± 8	± 38,4	± 24	96
10	3	± 100	± 10	± 48	± 30	120
11	3	± 120	± 12	± 57,6	± 36	144
12	3	± 140	± 14	± 67,2	± 42	168
13	3	± 160	± 16	± 76,8	± 48	192

Bei Prüfkörper HSK-CYC 1 wurde der Versuch nach Zyklus 2 des Schritts 11 mit einem maximalen Kolbenweg von 12 mm abgebrochen. Bei Prüfkörper HSK-CYC 2 erfolgte der Abbruch nach Zyklus 1 des Schritts 13 mit maximal 16 mm Kolbenweg. Bei Prüfkörper HSK-CYC 3 wurde, abweichend von Tabelle 4, der maximale Kolbenweg auf 10 mm begrenzt. Der Schritt 10 mit maximal 10 mm Kolbenweg wurde so oft wiederholt, bis es zum Versagen des Prüfkörpers kam. Dies war nach 13 Zyklen der Fall.

Diagramm 4 zeigt exemplarisch das Verformungs-Zeit-Diagramm des zweiten Versuchs. Da der Kolben mittels einer Gewindestange mit dem Prüfkörper verbunden war, entspricht der Kolbenweg der Verformung des Prüfkörpers am Lasteinleitungspunkt.

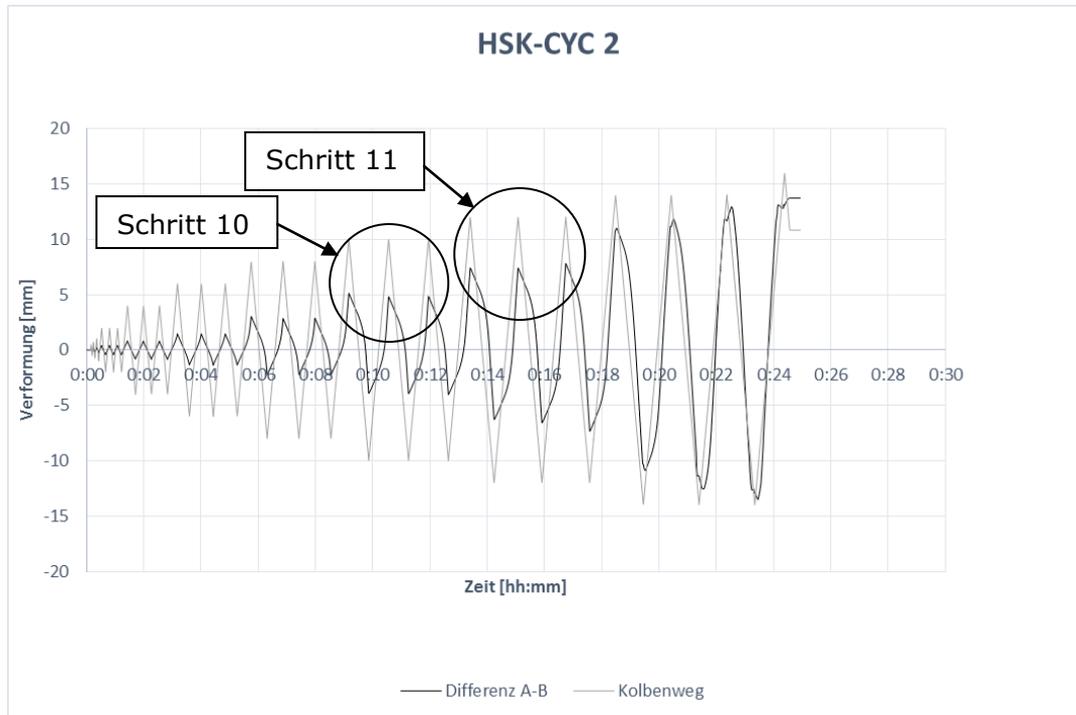


Diagramm 4: Verformungs-Zeit-Diagramm, Prüfkörper HSK-CYC 2

4.4. Versuchsergebnisse und Auswertung

Abbildung 17 stellt das statische System des Versuchsaufbaus und die zugehörige Querkraftlinie und Momentenlinie qualitativ dar. Es ist zu erkennen, dass sich die Verbindung, die bei $x = 140$ cm liegt, genau im Momentennulldurchgang befindet. Für die Auswertung des Versuches wird lediglich die Querkraft, welche die Verbindung belastet, aufgrund der Abmessungen mit $5/8 \cdot F$ angesetzt.

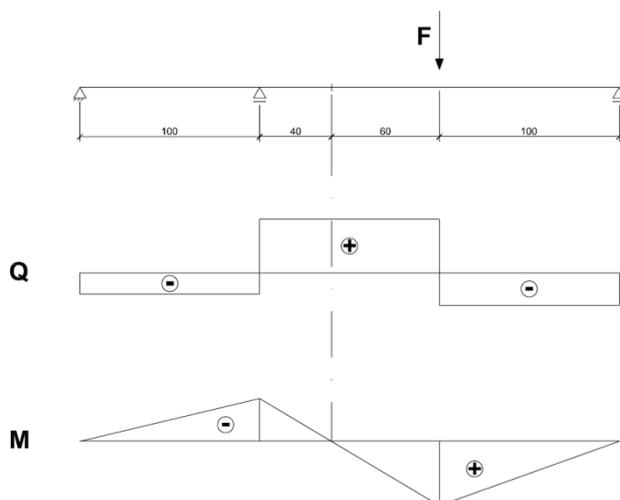


Abbildung 17: Statisches System des Versuchs mit zugehöriger Querkraft- und Momentenlinie

Tabelle 5 stellt die wesentlichen Versuchsergebnisse der drei Versuche zusammen.

Tabelle 5: Versuchsergebnisse der Versuche zur Erdbebenbeanspruchung

	HSK-CYC 1	HSK-CYC 2	HSK-CYC 3
max Kolbenweg [mm]	11,95	15,96	9,71
min Kolbenweg [mm]	-12,01	-13,98	-10,31
max Kolbenkraft [kN]	32,39	33,00	33,19
min Kolbenkraft [kN]	-34,52	-35,46	-33,72
max Querkraft [kN]	20,24	20,62	20,74
min Querkraft [kN]	-21,57	-22,16	-21,07
max Verformung [mm]	13,16	13,75	11,99
min Verformung [mm]	-3,63	-13,50	-12,53
Holzfeuchte [%]	A = 13,8 B = 12,0	A = 14,1 B = 14,3	A = 13,7 B = 13,9
Bemerkung	ohne seitliche Halterung	mit seitlicher Halterung	maximaler Kolbenweg auf 10 mm begrenzt

Diagramm 4 zeigt die Kraft-Verformungs-Kurve des zweiten Versuchs. Es ist zu erkennen, dass mit steigender Belastung der Anteil aus plastischer Verformung zunimmt.

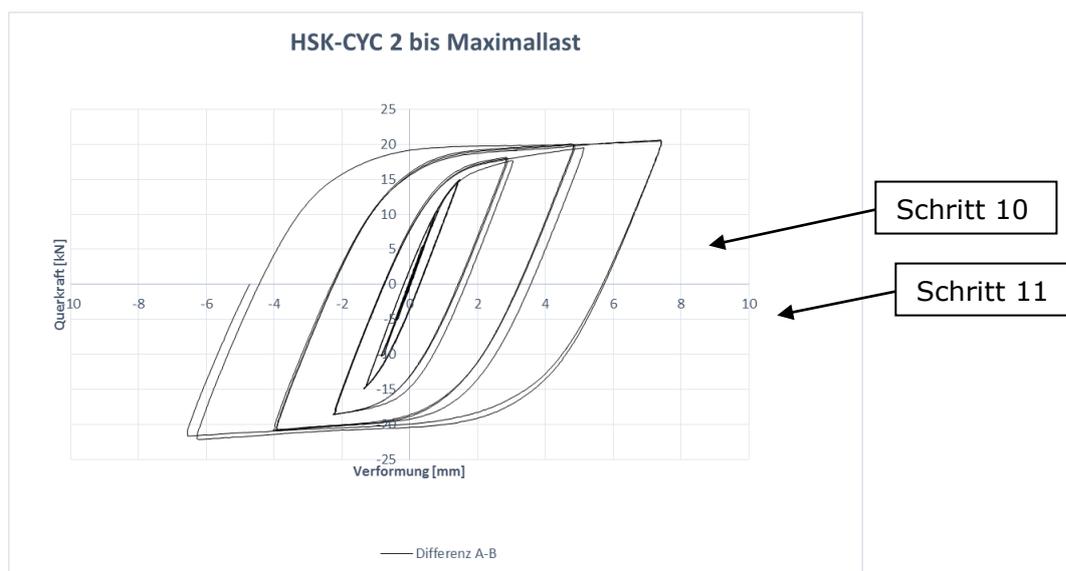


Diagramm 5: Kraft-Verformungs-Kurve, Prüfkörper HSK-CYC 2



Abbildung 14: Verbindung während dem Versuch, Ausbildung von Beulfeldern

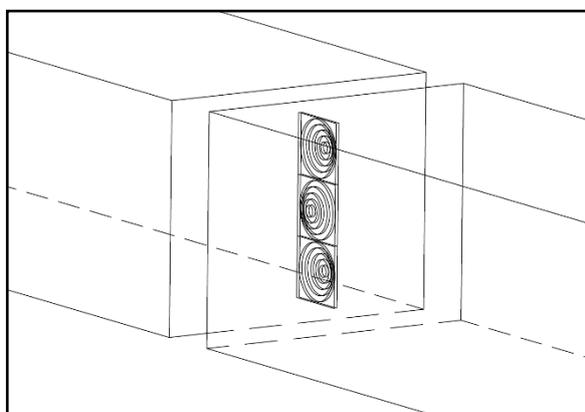


Abbildung 15: Schematische Darstellung der entstandenen Beulfelder

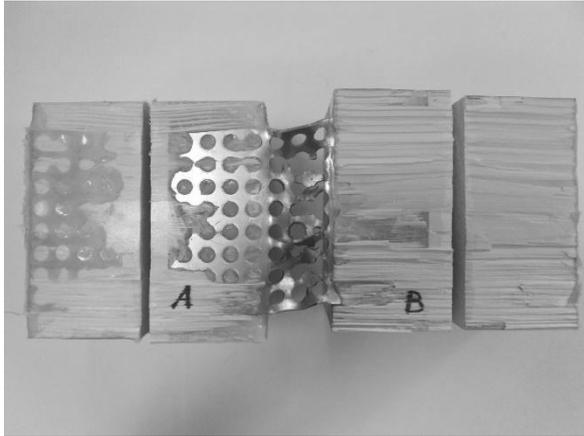


Abbildung 16: Verbindung nach Aufstemmen des Prüfkörpers, Stahlversagen ohne Zerstörung des Klebstoffs

Nach der Versuchsdurchführung wurden die Prüfkörper geöffnet (siehe Abbildung 16). Hier ist zu erkennen, dass die Verankerung des Lochbleches über die Klebstoffdübel ohne Schädigung gegeben ist, während das Lochblech im mittleren Teil gerissen ist.

Die Versuche zeigen, dass eingeklebte Lochbleche auch für Erdbebenbeanspruchungen so ausgelegt werden können, dass der Stahl das schwächste Glied in der Kette ist. Dadurch kann eine hohe Duktilität der Verbindungen realisiert werden. Aus Sicht der Autoren kann das HSK-System somit einen Beitrag zur Energiedissipation im Erdbebenfall leisten.

5. Literatur

- [1] Bathon, L.; Bletz, O.; Schmidt, J.: «Untersuchungsbericht zum Holz-Stahl-Klebeverbundsystem mit eingeklebten Lochblechen», Fachhochschule Wiesbaden, Holzbaulabor, 2006
- [2] Deutsches Institut für Bautechnik: «Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-770, Holz-Stahl-Klebeverbundsystem (HSK-System) mit eingeklebten HSK-Verbindern», 2014
- [3] TiComTec GmbH; <http://www.ticomtec.de/hsk/index.htm>
- [4] ISO 21581, «Timber structures – Static and cyclic lateral load test methods for shearwalls», 2010