

# Schraubenpressklebung mit Nagelschrauben

Die Schraubenpressklebung ist eine Methode zum Herstellen tragfähiger geklebter Verbindungen, welche in der neuen überarbeiteten DIN 1052:2008, Abschnitt 14 geregelt ist. Bei der Anwendung dürfen jedoch ausschließlich selbstbohrende Schrauben mit Teilgewinde zum Aufbringen des nötigen Pressdrucks benutzt werden. Im Rahmen grundlegender Untersuchungen wurde die Nagelschraube als Alternative zur bisher geregelten Schraube geprüft. Für die insgesamt drei untersuchten Klebstoffe wurden Verklebungen zwischen Brettschichtholz und Vollholz, Sperrholz, sowie Furnierschichtholz untersucht. Zusammen wurden 932 Prüfkörper in Anlehnung an DIN EN 392:1996 auf deren Klebfugeigenschaften hin getestet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass mit Nagelschrauben hergestellte Verklebungen hinreichende Festigkeiten erzielen, um eine Schrauben-Pressklebung nach DIN 1052:2008 herzustellen.

**Screw-press-bonding with nail screws.** The screw-press-bonding is a method to manufacture glued wooden joints. This technology is regulated in the new revised standard DIN 1052:2008 (which is based on the Eurocode 5). In practice it is only allowed to use self-drilling screws with partial thread to generate the required (contact) pressure. Based on different experiments the nail screw was tested as an alternative method. Three adhesives in all were used to make bonding between glued-laminated timber (BSH) and solid wood (VH), plywood (SH) and also laminated veneer lumber (LVL). Altogether, there were tested 932 specimens on their bonding strength on the basis of DIN EN 392:1996. The results of this experiments show that bonded joints, which were manufactured with nail screws, generate enough strength to make a screw-press-bonding on the basis of DIN 1052:2008.

## 1 Einleitung

Um tragende geklebte Holz-Bauteile herzustellen, ist ein dem Klebstoff entsprechend hinreichend hoher Pressdruck erforderlich. Dieser Pressdruck kann im Ingenieurholzbau auch durch stiftförmige Verbindungsmittel aufgebracht werden. Die Schraubenpressklebung ist eine solche Methode und in der aktuellen Holzbaunorm [12]

geregelt. Dabei wird der nötige Pressdruck allein mit selbstbohrenden Schrauben aufgebracht.

Eine ökonomisch und technisch interessante Alternative bietet die Verwendung von haubold-Nagelschrauben (die nach DIN 1052:2008 als Sondernägel der Tragfähigkeitsklasse 3/C eingestuft werden, Bild 1) zum Aufbringen des Pressdruckes bei der Verklebung. Die Nagelschrauben werden mittels druckluftbetriebenem Schussapparat (s. Bild 2) in das Material eingetrieben. Daraus resultiert eine ra-

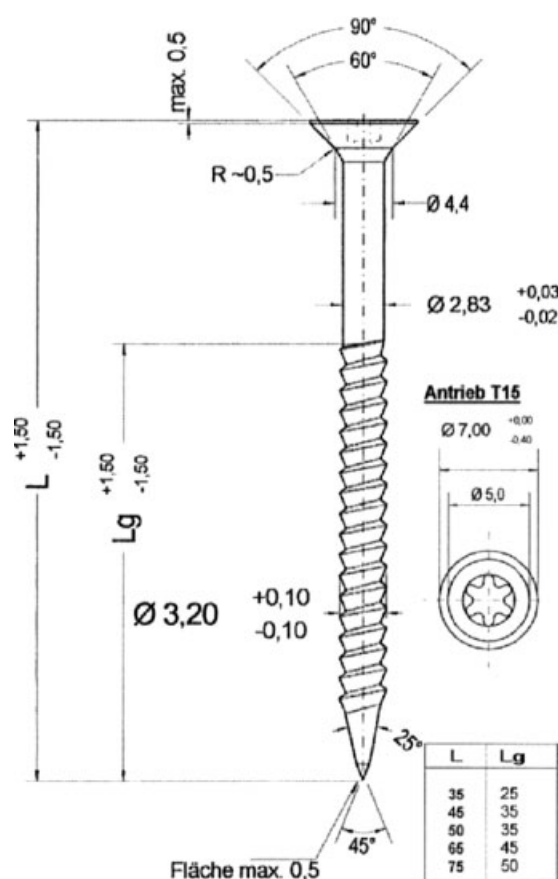


Bild 1. haubold-Nagelschraube  
Fig. 1. haubold-nail screw

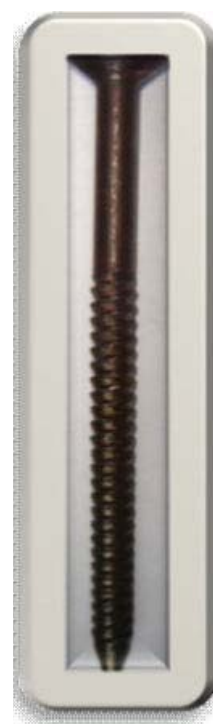




Bild 2. Schraubenmagazin mit Pressluftgerät  
Fig. 2. Screws-magazine with air nailer

sche Nagelung, die letztendlich Zeit und Kosten spart. Bei Bedarf können die Nagelschrauben auch wieder, ohne Spezialwerkzeug, entfernt (herausgeschraubt) werden.

Der Fachbereich Holztechnik an der Fachhochschule Eberswalde hat im Rahmen zweier Diplomarbeiten ([2] und [3]) Versuche zur Schraubenpressklebung mit Nagelschrauben durchgeführt. Der dazu nötige Pressdruck wurde allein durch das maschinelle Eintreiben von Nagelschrauben aufgebracht. Mit Hilfe von Scherfestigkeitsprüfungen und einer Beurteilung der Faserbruchanteile sollte, bei Variation der Pressfläche, untersucht werden, unter welchen Bedingungen die Nagelschraube hinreichende Scherfestigkeiten erreicht.

## 2 Stand der Technik – Schraubenpressklebung

Nagel- und Schraubenpressklebungen zählen zu den Montageklebungen. Die bisher in [11] geregelte Nagelpressklebung wurde mit Einführung der neuen DIN 1052:2008 [12] durch die Schraubenpressklebung ersetzt. Betriebe, die derartige Arbeiten durchführen, müssen entsprechend qualifiziert sein und mindestens die Bescheinigung D für den Nachweis zur Eignung zum Kleben von tragenden Holzbauteilen besitzen (s. DIN 1052:2008, Anhang A).

Im Gegensatz zu den herkömmlichen Methoden, den nötigen Pressdruck beispielsweise durch hydraulische Pressen aufzubringen, werden hier die Füge-teile allein durch stiftför-

mige Verbindungsmittel (heute nach [12] Schrauben, früher nach [11] Nägel) fixiert. Der Pressdruck wird dabei im Wesentlichen von der Art und Länge der Verbindungsmittel, der Pressfläche pro Verbindungsmittel, der Klebstoffart und der Rohdichte des Holzes bestimmt [1].

Bei der Nagelpressklebung nach [11] erfolgte das Einbringen der Nägel entweder von Hand oder maschinell durch entsprechende Eintreibgeräte/Schussapparate. Außerdem durften dabei glattschaftige Nägel und jene mit profilierter Schaftausbildung (Sondernägel) verwendet werden. Allerdings war die maximal mögliche Pressfläche pro Nagel relativ klein (nach [11]  $\leq 6500 \text{ mm}^2$  bei einem maximalen Nagelabstand von 100 mm). Die Pressfläche der nach [12] vorgeschriebenen bauaufsichtlich zugelassenen selbstbohrenden Teilgewindeschrauben ist dagegen sehr viel größer. Sie beträgt  $\leq 15000 \text{ mm}^2$  bei einem maximalen Schraubenabstand von 150 mm.

Angewendet wird die Schraubenpressklebung überall dort, wo mit einfachen Mitteln seitliche Aufklebungen (beispielsweise zur Auflagerverstärkung, Quersugsicherung und Verstärkung von Durchbrüchen) hergestellt werden sollen. Für Sanierungen und planmäßige Verstärkungsmaßnahmen ist es dabei üblich, Holzwerkstoff-Platten mit einer maximalen Dicke bis 50 mm oder Vollholzbretter mit einer maximalen Dicke von 35 mm auf Brett-schichtholz zu verkleben (Bild 3).



Bild 3. Aufkleben von Verstärkungsplatten im querzugbeanspruchten Bereich eines Hallenbinders aus Brettschichtholz; links: die Schrauben werden zur Einhaltung gleicher Abstände mittels Schablone eingeschraubt; rechts: fertige Verstärkung  
Fig. 3. Adhesive bonding of wood-based panels in areas of transverse/lateral tensile load of a hall girder made of glued-laminated timber; left: using a template to screw with similar distance between the screws; right: finished strengthening



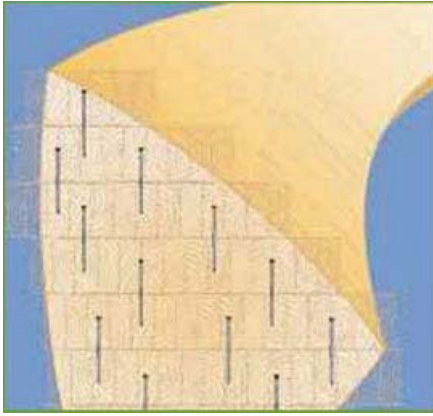


Bild 4. Anwendung Schraubenpressklebung bei einer Blockverklebung für die Träger der Leonardo Da Vinci Brücke, durch Schraubenpressklebung entsteht ein größerer Brett-schichtholz-block (aus [13])

Fig. 4. The screw-press-bonding used for a block bonding for the truss of the Leonardo Da Vinci Bridge, the result is a bigger block of glued-laminated timber (from [13])

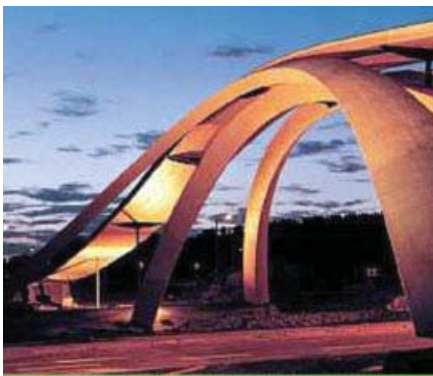


Bild 5. Leonardo Da Vinci Brücke (aus [13])

Fig. 5. Leonardo Da Vinci Bridge (from [13])

Der Einsatz bei der Herstellung von Rippenplattenquerschnitten, Hohlkastenquerschnitten oder Kasten- und Stegträgern findet ebenfalls praktische Anwendung. Aber auch bei der Herstellung von speziellen Bauteilformen, wo eine Klebung mittels herkömmlichen hydraulischen Pressens unwirtschaftlich oder sogar unmöglich wäre, findet dieses Verfahren Anwendung. Ein bekanntes Beispiel ist die Leonardo da Vinci Brücke in Norwegen (Bilder 4 und 5).

### 3 Versuchsaufbau und Probenherstellung

Die Nagelschraube wurde bei der Herstellung von insgesamt vier Klebungen,

bei denen jeweils drei unterschiedliche Pressflächen untersucht wurden, verwendet. Es ergaben sich somit zwölf Serien (mit jeweils ca. 77 Prüfkörpern). Je Serie wurden zunächst zwei Probekörper (bestehend aus Träger- und Decklamelle) hergestellt (s. Bilder 6 und 7).

Die Probekörper waren je nach Pressfläche ca. 1 m lang und etwa 14 cm breit (Bild 7). Als Trägermaterial wurde jeweils Brett-schichtholz (BSH) eingesetzt. Die Decklamellen bestanden wahlweise aus Vollholz

(VH), Sperrholz (SH) und Furnierschichtholz (LVL). Sie wurden mit Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Klebstoff (PRF-Klebstoff) auf das Trägermaterial aus Brett-schichtholz verklebt. Eine Klebung (BSH/VH) wurde durch Einsatz eines Epoxidharzklebstoffs erzeugt (Tabelle 1).

Um den Vorgaben für Schraubenpressklebungen nach DIN 1052:2008 am ehesten zu genügen, wurde die längste erhältliche Nagelschraube (75 mm) ausgewählt. Ebenso sollten die Materialdicken ( $d_{VH,max} = 35 \text{ mm}$ ;

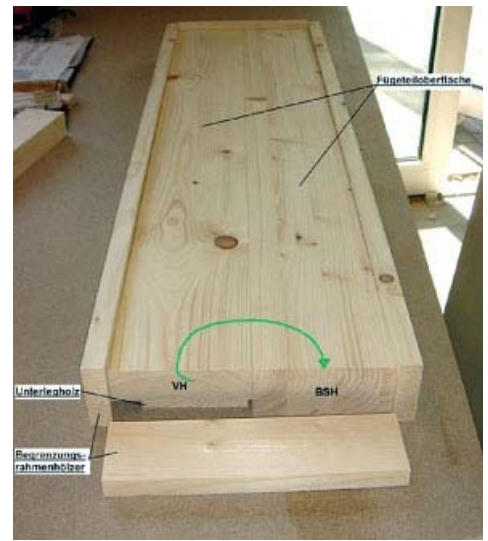


Bild 6. Herstellung der Verklebungen, links: Verklebung Furnierschichtholz auf Brett-schichtholz; rechts: Verklebung Vollholz (VH) auf Brett-schichtholz

Fig. 6. Fabrication of bondings, left: bonding laminated veneer lumber onto glued-laminated timber; right: bonding solid wood onto glued-laminated timber



Bild 7. Fertiger Probekörper nach dem Ausnageln der Raster, links: Verklebung Furnierschichtholz (BSH/LVL) auf Brett-schichtholz (BSH/VH), aus diesen wurden, nach dem Aushärten und dem Entfernen der Nagelschrauben, die Prüfkörper (40 × 40 mm) herausgeschnitten

Fig. 7. Finished specimen after the nailing, left: bonding laminated veneer lumber onto glued-laminated timber; right: bonding solid wood onto glued-laminated timber, after the unscrewing the nail screws were cut out the test specimen (40 × 40 mm)

Tabelle 1. Verwendete Materialien  
Table 1. Used materials

Bezeichnung			Verwendung
Brettschichtholz (BSH)	GL 24 h	d = 55 mm	Trägermaterial für Klebung I bis IV
Vollholz (VH)	C 24	d = 35 mm	Decklamelle für Klebung I und III
Sperrholz (SH) Birke-Multiplex	charakteristische Rohdichte 630 kg/m <sup>3</sup>	d = 50 mm	Decklamelle für Klebung IV
Furnierschichtholz (LVL) Kerto-Q	charakteristische Rohdichte 480 kg/m <sup>3</sup>	d = 47 mm	Decklamelle für Klebung II
Epoxidharzklebstoff	Spezialharz EP 20 VP/1	Härter B 20/1	Klebung I (BSH/VH)
Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Klebstoff (PRF-a)	Klebstoff „Prefere 4094“	Härter „Prefere 5827“	Klebung II (BSH/LVL)
Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Klebstoff (PRF-b)	Klebstoff „Prefere 4099“	Härter „Prefere 5827“	Klebung III und IV (BSH/VH und BSH/SH)
Pressfläche	15000; 10000; 5000 (mm <sup>2</sup> )		bei allen Klebungen
haubold-Nagelschraube	Länge: 75 mm, Ø 3,2 mm		bei allen Klebungen

$d_{HWS,max} = 50$  mm) der aufzuklebbenden Decklamellen den maximalen Anforderungen der DIN 1052:2008 entsprechen. Nach DIN 1052:2008 Abschnitt 14.2 ist mindestens eine Schraube je 15000 mm<sup>2</sup> Lamellenfläche anzuordnen, wobei ein maximaler Schraubenabstand von 150 mm eingehalten werden muss. Folglich wurde eine 15000 mm<sup>2</sup>, eine 10000 mm<sup>2</sup> und eine 5000 mm<sup>2</sup> große quadratische Pressfläche untersucht.

#### 4 Untersuchungsmethodik

Als Prüfverfahren dienten Scherfestigkeitsuntersuchungen und die Bestimmung von Faserbruchanteilen an genormten Prüfkörpern. Die Scherfestigkeitsprüfung erfolgte in Anlehnung an „Scherprüfung der Klebfugen“ nach DIN EN 392:1996 (Druckscherversuch parallel zur Faser). Beim Abscheren der Prüfkörper (Bild 8) wurde jeweils die Bruchlast gemessen, mit der sich, bei Berücksichtigung der Scherfläche (an der Klebefuge), die Scherfestigkeit berechnen lässt. Mit der zuvor ermittelten Scherfläche wird die Scherfestigkeit nach DIN EN 392:1996 berechnet:

$$f_v = k \cdot \frac{F_u}{A}$$

mit

A Scherfläche [mm<sup>2</sup>],  $A = b \cdot t$

$f_v$  Scherfestigkeit [N/mm<sup>2</sup>]

$F_u$  Bruchlast [kN]

k Korrekturfaktor:

$$k = 0,78 + 0,0044 \cdot t.$$

Der Faktor k korrigiert die Scherfestigkeit von Prüfkörpern, deren Breite der Scherfläche in Faserrichtung kleiner als 50 mm ist.

Anschließend erfolgte die Bestimmung des Faserbruchanteils, welcher verdeutlicht, welche Güte die Klebfugenfestigkeit gegenüber der Holzfestigkeit hat. Der Faserbruchanteil wird nach der oben genannten

DIN-Norm als prozentualer Anteil der Faserbruchfläche in Bezug zur Gesamtscherfläche angegeben.

Mit Hilfe einer auf die Scherfläche zugeschnittenen transparenten Schablone mit Rastereinteilung konnte der Faserbruchanteil durch Auszählen der Kästchen bestimmt werden. Dabei entspricht ein Kästchen des in Bild 9 dargestellten Rasters 1,56 %

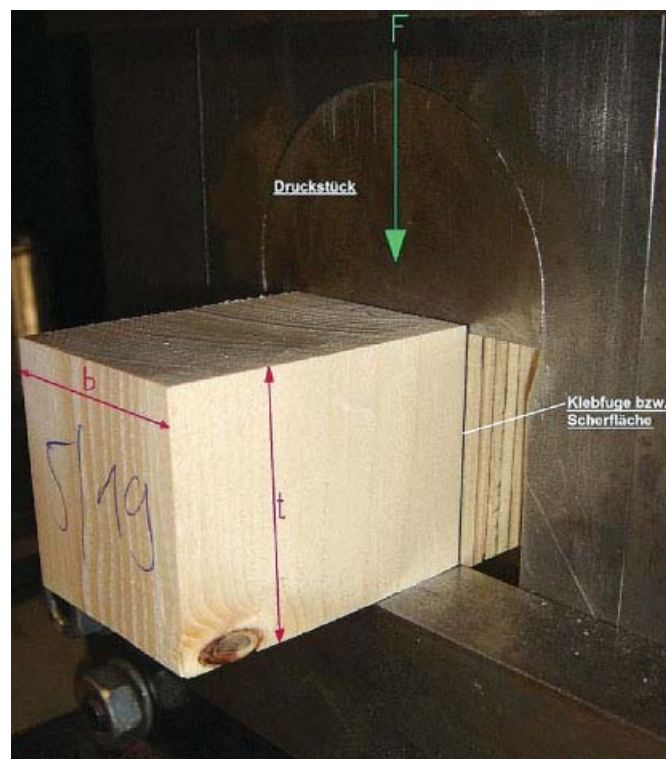


Bild 8. Scherfestigkeitsprüfung in Anlehnung an DIN EN 392:1996, Prüfkörper 40 × 40 mm (b × t)

Fig. 8. Shear strength test on based on DIN EN 392:1996, test specimen 40 × 40 mm (b × t)



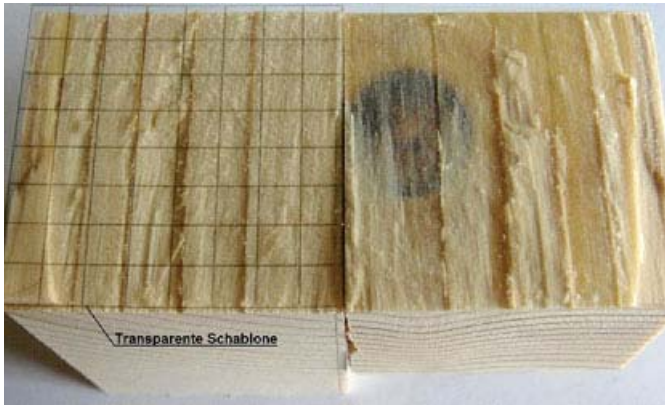


Bild 9. Ermittlung des Faserbruchanteils mittels in Raster eingeteilter Schablone  
Fig. 9. Determining the parts of fiber break through raster template

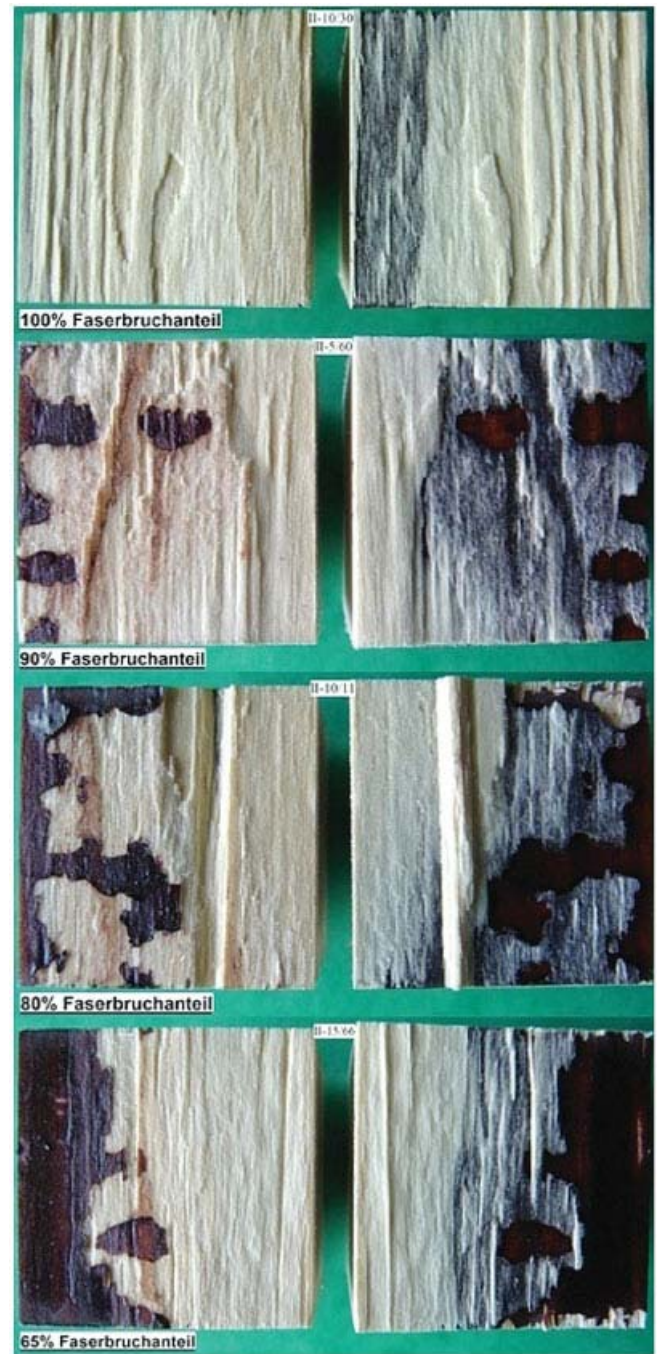


Bild 10. Verschiedene Faserbruchanteile; links: Klebung I (Epoxidharz Wevo EP20 VP/1); rechts: Klebung II (Phenol-Resorcin-Harz prefer 4094)

Fig. 10. Several parts of fiber break; left: bonding I (Epoxidharz Wevo EP20 VP/1); right: bonding II (Phenol-Resorcin Resin prefer 4094)

**Tabelle 2a. Werte der Bruchlast und Scherfestigkeit für Klebung I von BSH/VH [3]**  
**Table 2a. Data failure load and shear strength of bonding I BSH/VH [3]**

Pressfläche	15000 mm <sup>2</sup>		10000 mm <sup>2</sup>		5000 mm <sup>2</sup>	
	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
Mittelwert	14174,61	8,46	14004,62	8,37	14245,33	8,54
Median	14245,50	8,51	14095,08	8,40	14216,86	8,52
Maximum	16242,98	9,69	16327,39	10,34	16663,18	9,99
Minimum	10817,50	6,44	9907,34	5,90	9939,64	5,96
Spannweite	5425,48	3,25	6420,05	4,44	6723,54	4,03
Standardabweichung	1063,68	0,64	1007,20	0,65	1087,34	0,65
Variationskoeffizient	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08
Varianz	1131414,89	0,41	1014460,98	0,42	1182305,21	0,42
5 %-Quantil	12429,71	7,43	12427,71	7,40	12740,51	7,64
Probenanzahl	79		66		78	

Faserbruchanteil. Gemäß DIN EN 392:1995 wurde der Faserbruchanteil gerundet und auf die nächste durch fünf teilbare Zahl angegeben. Bild 10 zeigt einige Ergebnisse der Faserbruchbestimmung.

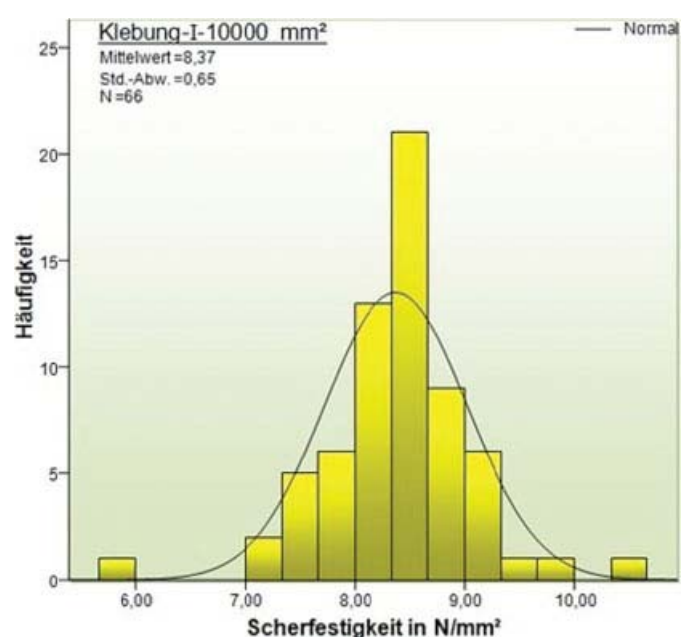
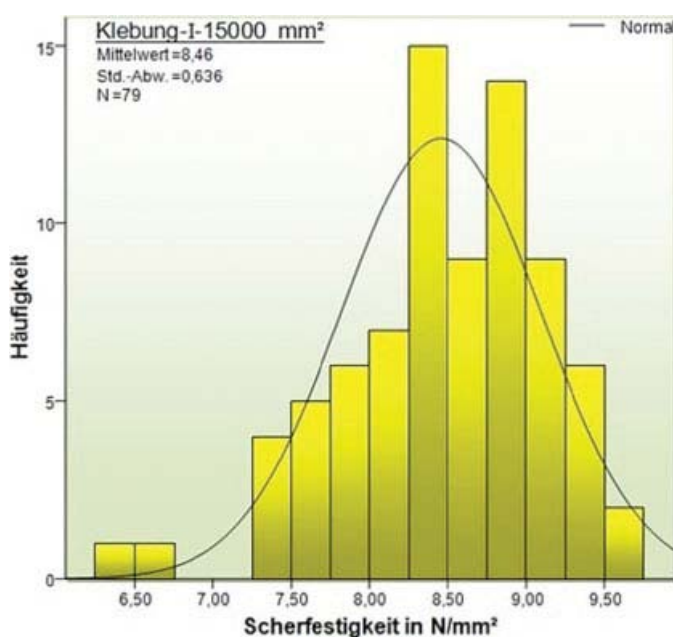
## 5 Versuchsergebnisse

### 5.1 Auswertung nach der mittleren Scherfestigkeit

Bei mit Epoxidharz verklebtem Vollholz auf Brettschichtholz (BSH/VH) werden mit allen drei Pressflächen die insgesamt höchsten Werte erzielt. Der höchste Mittelwert liegt hier mit der kleinsten Pressfläche bei  $f_{v,mean} = 8,54 \text{ N/mm}^2$  (s. Tabelle 2a).

**Tabelle 2b. Werte der Faserbruchanteile für Klebung I von BSH/ VH[3]**  
**Table 2b. Data parts of fiber breaking of bonding I BSH/VH [3]**

Pressfläche	15000 mm <sup>2</sup>	10000 mm <sup>2</sup>	5000 mm <sup>2</sup>
Mittelwert	95,00	90,98	95,83
Median	95,00	90,00	95,00
Maximum	100,00	100,00	100,00
Minimum	75,00	70,00	80,00
Spannweite	25,00	30,00	20,00
Standardabweichung	5,60	7,03	4,14
Variationskoeffizient	0,06	0,08	0,04
Varianz	31,41	49,40	17,15
5 %-Quantil	85,00	80,00	90,00
Probenanzahl	79	66	78



**Bild 11. Statistische Verteilung für Klebung I BSH/ VH [3]**  
**Fig. 11. Statistical diagram of bonding I BSH/ VH [3]**



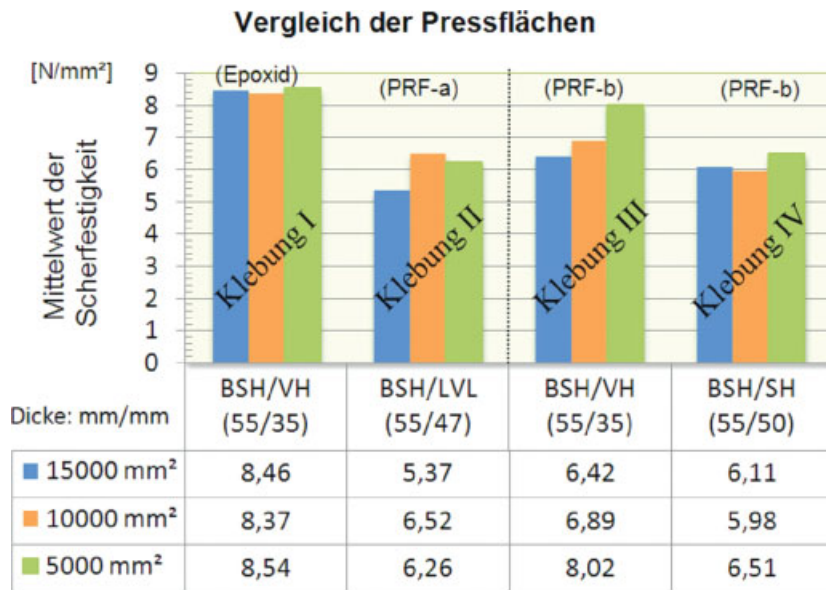


Bild 12. Mittelwert der Scherfestigkeiten – Vergleich der Pressflächen, PRF-a = Prefere 4094; PRF-b = Prefere 4099 mit Epoxidharzklebstoff  
 Fig. 12. Arithmetic mean value of shear strength – contrast of the press areas, PRF-a = Prefere 4094; PRF-b = Prefere 4099 with epoxy-glue

Tabelle 3a. Werte der Bruchlast und Scherfestigkeit für Klebung II von BSH/ LVL [3]  
 Table 3a. Data failure load and shear strength of bonding II BSH/LVL [3]

Pressfläche	15000 mm²		10000 mm²		5000 mm²	
	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm²]	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm²]	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm²]
Mittelwert	9012,27	5,37	10993,13	6,52	10573,89	6,26
Median	8983,70	5,34	11333,86	6,76	11074,60	6,56
Maximum	13586,11	8,12	13182,47	7,80	13997,88	8,25
Minimum	4814,45	2,86	7056,09	4,18	6247,99	3,69
Spannweite	8771,66	5,26	6126,38	3,62	7749,89	4,56
Standardabweichung	2088,58	1,25	1514,57	0,90	2004,95	1,19
Variationskoeffizient	0,23	0,23	0,14	0,14	0,19	0,19
Varianz	4362156,10	1,56	2293925,50	0,80	4019836,16	1,41
5 %-Quantil	5870,59	3,49	7759,22	4,61	7071,77	4,19
Probenanzahl	79		74		79	

Tabelle 3b. Werte der Faserbruchanteile für Klebung II von BSH/LVL [3]  
 Table 3b. Data parts of fiber breaking of bonding II BSH/LVL [3]

Pressfläche	15000 mm²	10000 mm²	5000 mm²
Mittelwert	92,78	94,26	96,77
Median	95,00	95,00	95,00
Maximum	100,00	100,00	100,00
Minimum	65,00	80,00	90,00
Spannweite	35,00	20,00	10,00
Standardabweichung	8,76	6,29	3,49
Variationskoeffizient	0,09	0,07	0,04
Varianz	76,76	39,51	12,20
5 %-Quantil	75,00	83,25	90,00
Probenanzahl	79	74	79

Die beiden größeren Pressflächen dieser Klebung liegen in etwa auf einem gleichen hohen Niveau und unterscheiden sich kaum bei den Scherfestigkeiten (s. Bilder 11 und 12).

Bei den mit PRF-Klebstoff verklebten Serien liegt der höchste Wert, ebenfalls mit der kleinsten Pressfläche erreicht, bei  $f_{v,mean} = 8,02 \text{ N/mm}^2$  (BSH/VH). Die statistische Auswertung der Ergebnisse für die größeren Pressflächen bei dem Phenolharz-Klebstoff Prefere 4099 zeigt, dass die Minimalwerte bei  $f_{v,min} = 1,96 \text{ N/mm}^2$  und  $f_{v,min} = 0,93 \text{ N/mm}^2$  liegen (s. Tabelle 4a). Gleichzeitig liegen bei diesen Proben die Faserbruchanteile deutlich unter 50 % (s. Tabelle 4b). Dabei handelt es sich um Einzelwerte, die auf eine Fehlverklebung hindeuten. Berücksichtigt man diese Einzelergebnisse bei der statistischen Auswertung nicht, so liegen die Werte für

die mittlere Scherfestigkeit bei  $f_{v,mean} = 6,54 \text{ N/mm}^2$  (Pressfläche = 15000 mm²) und  $f_{v,mean} = 7,10 \text{ N/mm}^2$  (Pressfläche = 10000 mm²).

Die Serien, bei denen Holzwerkstoffplatten (LVL, Sperrholz) auf Brett-schichtholz verklebt wurden, weisen etwas geringere Werte auf. Der niedrigste Mittelwert der Scherfestigkeit liegt hier bei  $f_{v,mean} = 5,37 \text{ N/mm}^2$  (Pressfläche 15000 mm², s. Tabelle 3a). Bei der Verklebung von Sperrholz auf Brett-schichtholz (BSH/SH) (s. Tabelle 5a) wurde die Faser der Deck-lage der Sperrholzplatte parallel zur Richtung der Scherkraft angeordnet. Der Bruch trat bei allen Proben nicht in der Klebefuge zwischen aufgekleb-

**Tabelle 4a. Werte der Bruchlast und Scherfestigkeit für Klebung III BSH/ VH [2]**  
**Table 4a. Data failure load and shear strength of bonding III BSH/ VH [2]**

Pressfläche	15000 mm <sup>2</sup>		10000 mm <sup>2</sup>		5000 mm <sup>2</sup>	
	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
Mittelwert	10898,02	6,42	11543,32	6,89	13414,40	8,02
Median	10487,39	6,17	12526,35	7,49	13713,28	8,25
Maximum	17360,66	10,20	15406,03	9,20	16306,50	9,85
Minimum	3298,73	1,96	1546,21	0,93	7872,55	4,73
Spannweite	14061,93	8,24	13859,82	8,27	8433,95	5,12
Standardabweichung	3006,38	1,78	3043,58	1,81	1824,19	1,11
Variationskoeffizient	0,28	0,28	0,26	0,26	0,14	0,14
Varianz	9038339,71	3,16	9263405,21	3,28	3327652,79	1,22
5 %-Quantil	6583,59	3,83	5150,43	3,08	10308,24	6,19
Probenanzahl	80		80		80	

**Tabelle 4b. Werte der Faserbruchanteile für Klebung III BSH/ VH [2]**  
**Table 4b. Data parts of fiber breaking of bonding III BSH/ VH [2]**

Pressfläche	15000 mm <sup>2</sup>	10000 mm <sup>2</sup>	5000 mm <sup>2</sup>
Mittelwert	84,69	88,44	94,13
Median	90,00	95,00	95,00
Maximum	100,00	100,00	100,00
Minimum	10,00	20,00	70,00
Spannweite	90,00	80,00	30,00
Standardabweichung	16,25	16,83	6,15
Variationskoeffizient	0,19	0,19	0,07
Varianz	264,14	283,29	37,83
5 %-Quantil	59,50	54,25	84,50
Probenanzahl	80	80	80

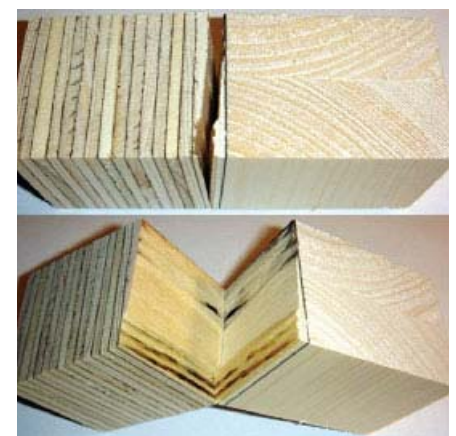
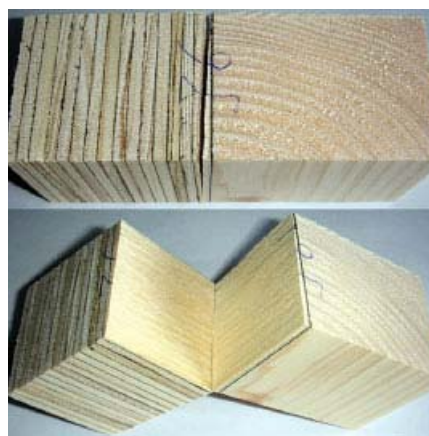
ter Platte und Trägermaterial auf, sondern in der ersten Querlage des Sperrholzes. Diese Furnierlage versagte, weil die Rollschubfestigkeit des Furniers erreicht wurde.

Bei der Verklebung von Furnierschichtholz auf Brettschichtholz (BSH/LVL, s. Tabelle 3a) wurde ebenfalls darauf geachtet, dass die Faserichtung der Decklage wiederum parallel zur Scherkkrafttrichtung lag. Bei der hier untersuchten Verklebung war nicht die Rollschubfestigkeit maßgebend bzw. die Bruchursache. Dafür waren die im Furnierschichtholz vorhandenen Querschnitte zu weit von der Scherbeanspruchung entfernt. Als Bruchursache wurde oft die geringere Festigkeit der Furnierdeckschicht festgestellt. Diese wurde zwar in Faserrichtung beansprucht, jedoch lag in dieser etwa 3 bis 4 mm dicken Furnierschicht oft ein Jahrring mit

Früh- und Spätholz. Der Bruch fand dann entweder komplett entlang des Jahrrings zwischen Früh- und Spätholz über die gesamte Prüfkörperbreite statt, oder zu einem Teil entlang

des Jahrrings und zum anderen Teil innerhalb der Verklebung (s. Bild 13).

Die Größe der Pressfläche pro Nagelschraube spielte bei der Beurteilung der Ergebnisse eine besondere Rolle, weil sie den Pressdruck, bezogen auf die Pressfläche, bestimmt. Einen Überblick, welche mittlere Festigkeit mit den verschiedenen Pressflächen und Materialkombinationen der vier verschiedenen Klebungen erreicht wurde, zeigt Bild 12. Bei dieser Betrachtung ist nicht zu erkennen, dass besonders bei den Verklebungen mit Phenol-Resorcin-Harz mit kleiner werdender Pressfläche die Scherfestigkeit etwas ansteigt. Jedoch werden mit der größten Pressfläche (15000 mm<sup>2</sup>) zuverlässig hohe Werte erreicht. Auch bei den Untersuchungen in [1] erreichten größer gewählte Pressflächen (14400 mm<sup>2</sup>) oft ebenso gute Werte wie die kleinsten Pressflächen (6400 mm<sup>2</sup>). Dies wurde nicht nur bei Klebungen



**Bild 13. Bruchstellen (beispielhaft) für Klebung II [3]**  
**Fig. 13. Failure areas (examples) for bonding II [3]**



Tabelle 5a. Werte der Bruchlast und Scherfestigkeit für Klebung IV BSH/SH [2]  
 Table 5a. Data failure load and shear strength of bonding IV BSH/SH [2]

Pressfläche	15000 mm <sup>2</sup>		10000 mm <sup>2</sup>		5000 mm <sup>2</sup>	
	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>u</sub> [N]	f <sub>v</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
Mittelwert	10394,09	6,11	10089,36	5,98	10920,59	6,51
Median	10338,18	6,11	10275,19	6,11	11113,72	6,59
Maximum	13977,76	8,35	14300,06	8,46	13541,63	8,08
Minimum	4318,22	2,55	5084,36	3,01	6725,17	3,98
Spannweite	9659,54	5,80	9215,70	5,45	6816,46	4,10
Standardabweichung	1916,53	1,13	1759,25	1,04	1256,34	0,74
Variationskoeffizient	0,19	0,18	0,17	0,17	0,11	0,12
Varianz	3673086,46	1,29	3094953,67	1,09	1578386,16	0,55
5 %-Quantil	7528,20	4,43	7011,32	4,15	8829,37	5,30
Probenanzahl	80		80		77	

Tabelle 5b. Werte der Faserbruchanteile für Klebung IV BSH/SH [2]  
 Table 5b. Data parts of fiber breaking of bonding IV BSH/SH [2]

Pressfläche	15000 mm <sup>2</sup>	10000 mm <sup>2</sup>	5000 mm <sup>2</sup>
Mittelwert	94,25	95,00	99,48
Median	100,00	100,00	100,00
Maximum	100,00	100,00	100,00
Minimum	40,00	55,00	85,00
Spannweite	60,00	45,00	15,00
Standardabweichung	11,99	10,03	2,23
Variationskoeffizient	0,13	0,11	0,02
Varianz	143,73	100,63	4,99
5 %-Quantil	69,75	69,75	95,00
Probenanzahl	80	80	77

mit Holzwerkstoffplatten beobachtet, sondern auch bei denen mit Vollholzlamellen.

Die höchsten Festigkeiten wurden bei den hier beschriebenen Versuchen, unabhängig von den verschiedenen Klebstoffen, mit den BSH/VH-Serien (Klebung I und III) erzielt (siehe Bilder 12 und 13). Dieser Umstand hängt aber auch mit den verschiedenen Versagensfällen zusammen. Schließlich war beispielsweise bei Klebung IV die geringere Rollschubfestigkeit der aufgeklebten Holzwerkstoffplatten maßgebend.

Der Vergleich der verwendeten Klebstoffe zeigt, dass mit Epoxidharzklebstoff bei allen drei Pressflächen die höchsten mittleren Festigkeiten erzielt werden (Bilder 12 und 14).

Der Klebstoff vom Typ Phenol-Resorcin-Formaldehyd, als typischer Holzbau-Klebstoff weit verbreitet, liefert ebenfalls gute Werte. Mit kleiner werdender Pressfläche steigen die Werte für die Scherfestigkeit soweit an, dass mit der 5000 mm<sup>2</sup> großen Pressfläche fast ebenso hohe Werte wie mit dem Epoxidharzklebstoff erreicht werden. Bild 14 zeigt einen direkten Vergleich dieser Klebstofftypen, die mit gleichen Werkstoffen bei gleichen Randbedingungen verwendet wurden.

Die Auswahl der Holzwerkstoffplattendicken entsprach den maximalen Anforderungen aus DIN 1052: 2008. Da die Nagelschrauben jedoch nur 75 mm lang waren, verblieb der Großteil der schraubförmigen Profilierung in dem aufgeklebten Holzwerk-

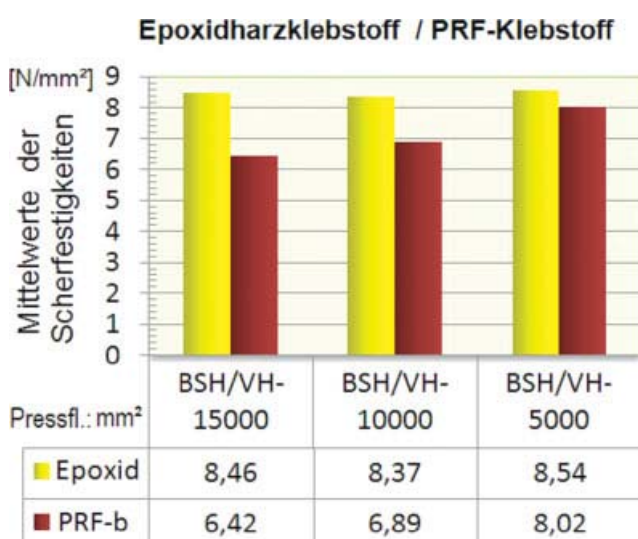


Bild 14. Vergleich der Klebstoffe (Mittelwerte) bei Verklebung von Vollholzlamellen mit Brettchichtholz

Fig. 14. Comparison of the adhesives (mean values) bonding solid wood of glued-laminated timber

stoff. Trotz dieses Umstands wurden relativ hohe Festigkeiten erreicht. Die in DIN 1052:2008, Abschnitt 14.2(2) festgelegte Regel, dass in dem aufzuklebenden Werkstoff kein Schraubgewinde vorhanden sein darf, konnte bei den Nagelschrauben nicht eingehalten werden.

Folglich war der Pressdruck völlig ausreichend. Ferner ist davon auszugehen, dass bei der Wahl dünnerer Platten bis zu einer gewissen Grenze, die bei Sperrholzplatten vermutlich zwischen 18 und 30 mm liegt, die Festigkeit etwas ansteigt.

## 5.2 Auswertung nach der charakteristischen Scherfestigkeit

Für jeden geregelten Holzbaustoff ist ein 5 %-Quantilwert der wesentlichen Festigkeitswerte im Anhang F der DIN 1052:2008 angegeben. Als Maßstab für die vorliegende Untersuchung wurde die charakteristische Scherfestigkeit von  $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$  gewählt. Dieser Wert stellt das Maximum für die verklebten Baustoffe dar und sollte mindestens von den untersuchten Klebfugenfestigkeiten erreicht werden.

Die ermittelten 5 %-Quantile der Scherfestigkeiten der mittels Pressdruck durch Nagelschrauben erzeugten Klebungen, sind in Bild 15 grafisch dargestellt. Es kann festgehalten werden, dass bei allen Verklebungen mit allen drei Pressflächen der geforderte Wert von  $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$  erreicht und z. T. deutlich überschritten wird. Damit liegen die erreichten charakteristischen Klebfugenfestigkeiten alle über den charakteristischen Festigkeitskennwerten der verwendeten Baustoffe. Das Minimum wurde bei der Klebung III (s. Bild 15) mit der  $10000 \text{ mm}^2$  großen Pressfläche festgestellt. Dennoch ist dieser Wert etwa 23 % höher als das oben genannte Maß.

Ferner werden bei der Darstellung der 5 %-Quantile deutlichere Unterschiede zwischen den Pressflächen einer Klebung erkennbar. So erreicht die kleinste Pressfläche ( $5000 \text{ mm}^2$ ) jeweils bei Klebung III und IV eindeutig höhere Festigkeiten.

Die charakteristische Klebfugenfestigkeit wird in DIN 1052:2008 für aufgeklebte Verstärkungen deutlich niedriger als für die Scherfestigkeit des Holzes festgelegt. Danach gilt ent-

sprechend Tabelle F.23 ein Grenzwert von  $f_{K2,k} = 0,75 \text{ N/mm}^2$ . Im Vergleich zu diesem Wert liegen die Untersuchungsergebnisse um das 5,5- bis 10-fache höher.

Die Beurteilung der Faserbruchanteile wurde mit Hilfe der Definitionen nach [9] vorgenommen. Ein unter 50 % liegender Faserbruchanteil bedeutet, dass die Klebfuge eine niedrigere Festigkeit als die des Holzes aufweist. Danach stellt das Maß von 50 % Faserbruchanteil einen einzu-

haltenden Grenzwert dar, um die hinreichend hohen Scherfestigkeiten der Klebfugen zu untermauern. Auch hier kann festgehalten werden, dass von allen Klebungen mit allen drei Pressflächen das gewählte Maß erzielt und z. T. deutlich überschritten wird. Die kleinste Pressfläche von  $5000 \text{ mm}^2$  erreicht bei allen Klebungen dabei die höchsten Werte. Den niedrigsten Faserbruchanteil erzielt die bereits erwähnte Klebung III mit der  $10000 \text{ mm}^2$  großen Pressfläche (Bild 16).

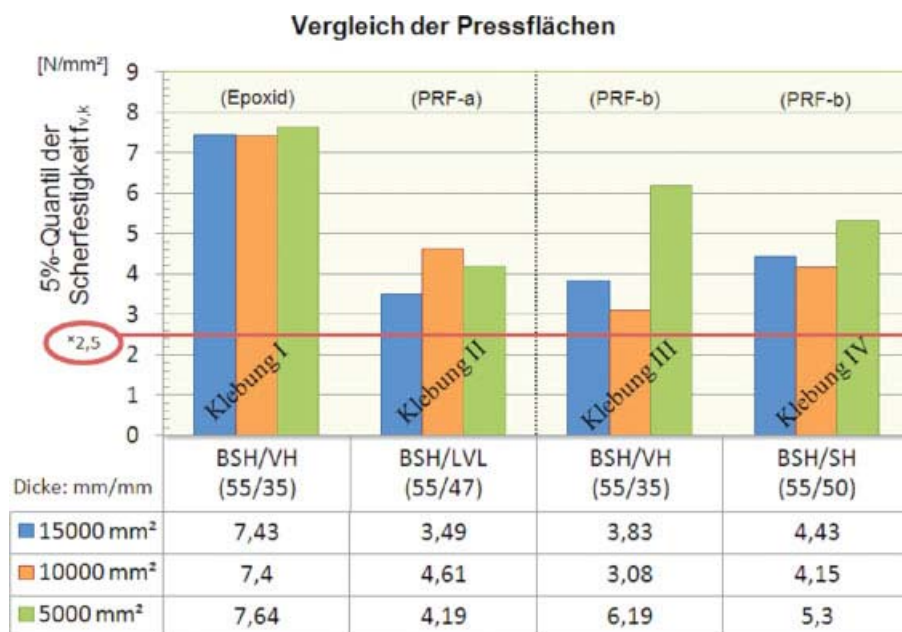


Bild 15. 5 %-Quantile der Scherfestigkeiten – Vergleich der Pressflächen  
Fig. 15. 5 %-quantils of shear strength – comparison of the press areas

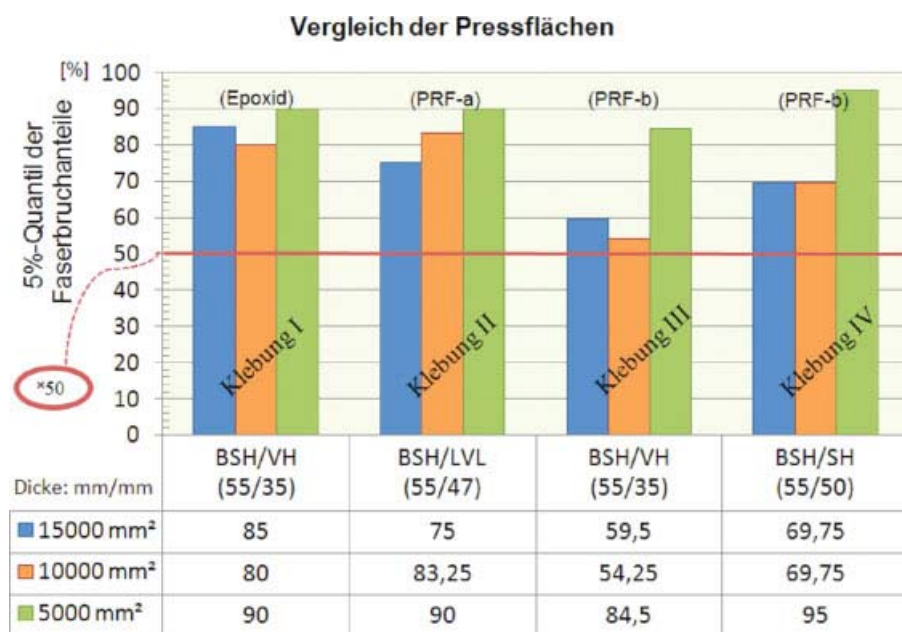


Bild 16. 5 %-Quantile der Faserbruchanteile – Vergleich der Pressflächen,  
Fig. 16. 5 %-quantils parts of fiber breaking – comparison of the press areas



## 6 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine im Sinne der DIN 1052:2008 mittels haubold-Nagelschrauben hergestellte Pressklebung hinreichend hohe Festigkeiten erreicht. Ein so erzeugtes Holz-Bauteil würde bei Beanspruchung auf Abscheren mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit nicht in der Klebfuge versagen, und dies bei allen eingesetzten Materialien und den drei untersuchten Pressflächen. Darüber hinaus wird dieses Ergebnis durch die Auswertung der Faserbruchanteile gestützt.

Die für die Schraubenpressklebung in DIN 1052:2008, Abschnitt 14.2 festgelegten Regeln sind einzuhalten. Zusätzlich gilt für Holzwerkstoffe, dass die Faserrichtung der Decklage stets faserparallel zur Beanspruchungsrichtung aufzukleben ist.

Die „Nagelschraubenpressklebung“ bietet eine wirtschaftliche Lösung für die Ausführung einer (Montage-)Pressklebung im Sinne der DIN 1052:2008. Denn die „Nagelschraubenpressklebung“ verbindet die Vorteile, wie rasches Aufbringen von Pressdruck durch maschinelle Nagelung und Aufrechterhalten dieses Pressdrucks aufgrund des profilierten bzw. schraubenförmigen Schafts. Außerdem ist das Entfernen der Nagelschrauben, nach der Aushärtung der

Klebfugen, problemlos möglich. Nach dem Entfernen der Nagelschrauben ist eine ungehinderte spanende Bearbeitung der Bauteile möglich. Davon würden ausführende Betriebe profitieren, die somit, alternativ zur aktuell geregelten Schraubenpressklebung, eine gleichwertige Klebung rascher und kostengünstiger herstellen könnten.

### Literatur

- [1] *Brüninghoff, H.* 1991: Abklärung der sicherheitstechnisch maßgebenden Faktoren bei der Herstellung von kostensparenden Nagelpressklebungen. Bergische Universität Wuppertal. Forschungsauftrag EGH Projekt E-86/10.
- [2] *Schulze, D.* 2007: Untersuchung von mittels Pressdruck durch haubold-Nagelschrauben hergestellten Klebeverbindungen. Fachhochschule Eberswalde. Fachbereich Holztechnik.
- [3] *Gehring, S.*: Untersuchungen zur Schraubenpressklebung mit haubold-Nagelschrauben. Fachhochschule Eberswalde. Fachbereich Holztechnik 2009.
- [4] haubold 2007: Einstufungsschein Nr. VHT-3.4.2/49. haubold Befestigungstechnik GmbH.
- [5] dynea 2004: Technisches Merkblatt für Prefere 4094. dynea – Wood & Specialty Adhesives.
- [6] WEVO 2002: Technisches Merkblatt für Wevo – Spezialharz EP 20 VP/1. Wevo – Chemie GmbH.

- [7] finnforest Oyi: Kerto, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Z-9.1-100. Deutsches Institut für Bautechnik 2006.
- [8] Verband der finnischen Forstindustrie: Handbuch über finnisches Sperrholz. Kirjapaino Markprint Oy, Lahiti, Finnland 2001.
- [9] *Zeppenfeld, G., Grunwald, D.*: Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co. KG, Leinfelden-Echterdingen 2005.
- [10] DIN EN 392:1996-04, Brettschichtholz – Scherprüfung der Leimfugen; Deutsche Fassung EN 392:1995.
- [11] DIN 1052 Teil 1 1988/96: Holzbauwerke – Berechnung und Ausführung. 34 S.
- [12] DIN 1052:2008-12, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. 239 S.
- [13] SFS intec, Praxisreport 2003.

### Autoren dieses Beitrages:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rug,  
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Gehring, Fachhochschule Eberswalde, Fachbereich Holztechnik, Fachgebiet Holzbau, Alfred-Möller-Straße 1, 16225 Eberswalde  
Dipl.-Ing. (FH) Klaas Gümmer, ITW-Befestigungssysteme GmbH, Carl-Zeiss-Straße 19, 30966 Hemmingen