

Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Holzfaserdämmplatten (HFDP) und Holz-HFDP-Verbindungen

**Dipl.-Ing.
Gunnar Gebhardt**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Hans Joachim Blaß**

**Lehrstuhl für Ingenieurholzbau
und Baukonstruktionen
Universität Karlsruhe (TH)**

gunnar.gebhardt@holz.uka.de



Zusammenfassung

Holzfaserdämmplatten (HFDP) werden im Holzbau zur Wärme- und Schalldämmung eingesetzt. Als plattenförmiger Baustoff eignen sich HFDP – insbesondere beim Einbau dicker Platten – aber auch für eine Lastabtragung zur Aussteifung von Bauwerken, beispielsweise zur Aufnahme von Wind- und Erdbebenlasten. Für die Bestimmung des Tragverhaltens von Wand- und Dachscheiben ist die Kenntnis der tragfähigkeitsrelevanten Eigenschaften von HFDP erforderlich. In Versuchen wurden die Schubtragfähigkeit und die Schubsteifigkeit von HFDP mit unterschiedlichen Eigenschaften ermittelt. Weiterhin wurden der Einsatz von mechanischen Verbindungsmitteln sowie die Tragfähigkeitseigenschaften von Holz-HFDP-Verbindungen untersucht. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der Versuche vorgestellt.

1. Einleitung

Holzfaserdämmplatten (HFDP) zählen zu den Holzwerkstoffen. Ausgangsmaterial der HFDP sind Holzfasern, die aus Schwachhölzern und Holzresten gewonnen werden. Im so genannten Nassverfahren werden die Holzfasern mit Wasser zu einem Brei vermischt und anschließend verpresst und getrocknet. Als Bindemittel dient ausschließlich der holzeigene Stoff Lignin. Im Trockenverfahren werden die Holzfasern mit PUR-Harz besprüht und verpresst. Während HFDP im Trockenverfahren in Dicken bis 200 mm hergestellt werden können, werden die im Nassverfahren hergestellten Platten größerer Dicken aus mehreren Lagen verklebt.

HFDP werden seit einigen Jahren vermehrt im Bereich der Wärme- und Schalldämmung eingesetzt. Die für diese Aufgaben günstige geringe Rohdichte und die damit zu erwartenden geringen Festigkeitseigenschaften verhinderten bislang einen Einsatz als Last abtragendes Bauteil. Diese Aufgabe wird von Sperrholz- und Spanplatten sowie OSB übernommen. Als plattenförmiger Baustoff könnte die HFDP neben dem Wärme- und Schallschutz auch statische Aufgaben übernehmen. Durch die steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz werden vermehrt dickere HFDP eingesetzt. Gerade durch den Einsatz dicker HFDP könnten bauphysikalische Aufgaben und Last abtragende Funktionen in einem Bauteil vereint werden.

Zur Ermittlung einer aussteifenden Wirkung der HFDP sind die Schubtragfähigkeit und die Schubsteifigkeit des Werkstoffes zu ermitteln. Zur Funktion der HFDP als aussteifendes Bauteil müssen die Kräfte aber auch in die Platte eingeleitet werden. Für die verwendeten Verbindungsmittel sind daher die Tragfähigkeit und Steifigkeit in Holz-HFDP-Verbindungen zu ermitteln.

2. Auswahl und Eigenschaften von Holzfaserdämmplatten

Die untersuchten Holzfaserdämmplatten wurden von drei Herstellern zur Verfügung gestellt. HFDP werden sowohl als Unterdeckplatten (UDP), als Dämmplatten (DP) in Aufsparrendämmsystemen sowie als Wärmedämmverbundplatten (WDVP) eingesetzt. Von jedem der Hersteller wurde mindestens ein Plattentyp aus den drei Einsatzbereichen ausgewählt. Die je Plattentyp gelieferten Platten stammten aus bis zu drei Herstellungslagen. Für die Versuche wurden Platten mit Dicken zwischen 18 mm und 60 mm berücksichtigt.

Um die zu erwartenden Abhängigkeiten der Festigkeitseigenschaften von der Rohdichte der HFDP zu ermitteln, wurden HFDP in einem Nennrohddichtegebiet von 110 kg/m^3 – 270 kg/m^3 ausgewählt. Auf Grundlage der ermittelten Rohdichten werden für die drei Plattentypen charakteristische Rohdichten vorgeschlagen. Die nach den Versuchen ermittelten Mittelwerte des Feuchtegehaltes der HFDP lagen in einem Bereich von 7,3% bis 10,3%. Neben einlagigen HFDP wurden auch mehrlagige HFDP berücksichtigt. In Tabelle 1 sind die HFDP mit den ermittelten Eigenschaften zusammengestellt. In Abb. 1 ist ein Querschnitt der untersuchten HFDP dargestellt.

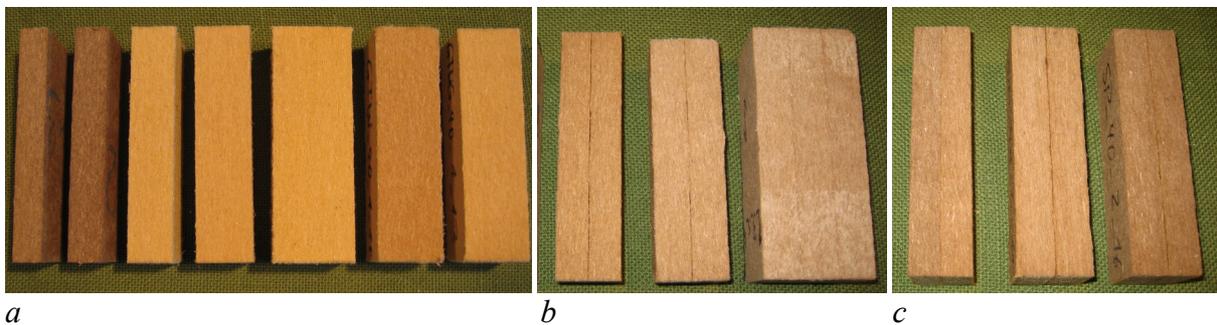


Abb. 1 Untersuchte Holzfaserdämmplatten, einlagig (a) und mehrlagig (b und c)

3. Ermittlung der Schubfestigkeit und des Schubmoduls von HFDP

Die Grundlage für die Ermittlung tragfähigkeitsrelevanter Eigenschaften von Holzwerkstoffplatten ist DIN EN 789:2005-01 [1]. Die Geometrie der Versuchskörper sowie der Versuchsaufbau sind in Abb. 2 dargestellt. Zur Verstärkung der Holzwerkstoffplatte werden seitlich Seitenhölzer auf den ausgeschnittenen Versuchskörper aufgebracht. Diese können mit der Holzwerkstoffplatte verklebt oder verklemmt werden.

In Vorversuchen wurde untersucht, ob das Prüfverfahren auch für HFDP, mit im Vergleich zu anderen Holzwerkstoffplatten geringeren Rohdichten und damit geringeren zu erwartenden Festigkeiten, angewendet werden kann. Hierfür wurden in einer Versuchsreihe unterschiedlich verstärkte Versuchskörper untersucht. Eine der Verklebung gleichwertige Verbindung zwischen Seitenhölzern und HFDP konnte durch fünf Bolzen und eine hohe Klemmwirkung erreicht werden. Abb. 3 zeigt einen Vergleich der Kraft-Verschiebungskurven mit unterschiedlich verstärkten Versuchskörpern. Um den Schubmodul zu ermitteln, wurden in den Druckdiagonalen auf beiden Seiten des Prüfkörpers Verformungsmessgeräte angebracht. Insgesamt wurden 291 Scherversuche durchgeführt. Die in den Versuchen ermittelten Schubfestigkeiten und Schubmoduln sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

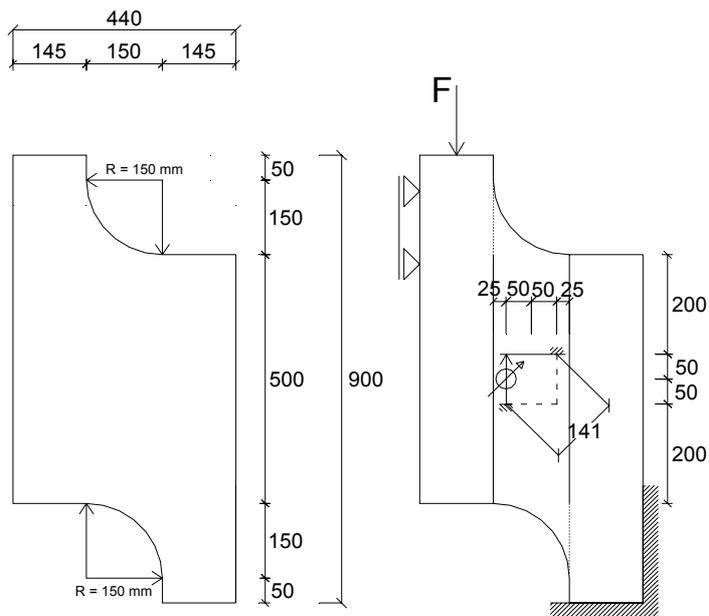


Abb. 2 Versuchskörpergeometrie und Versuchsdurchführung

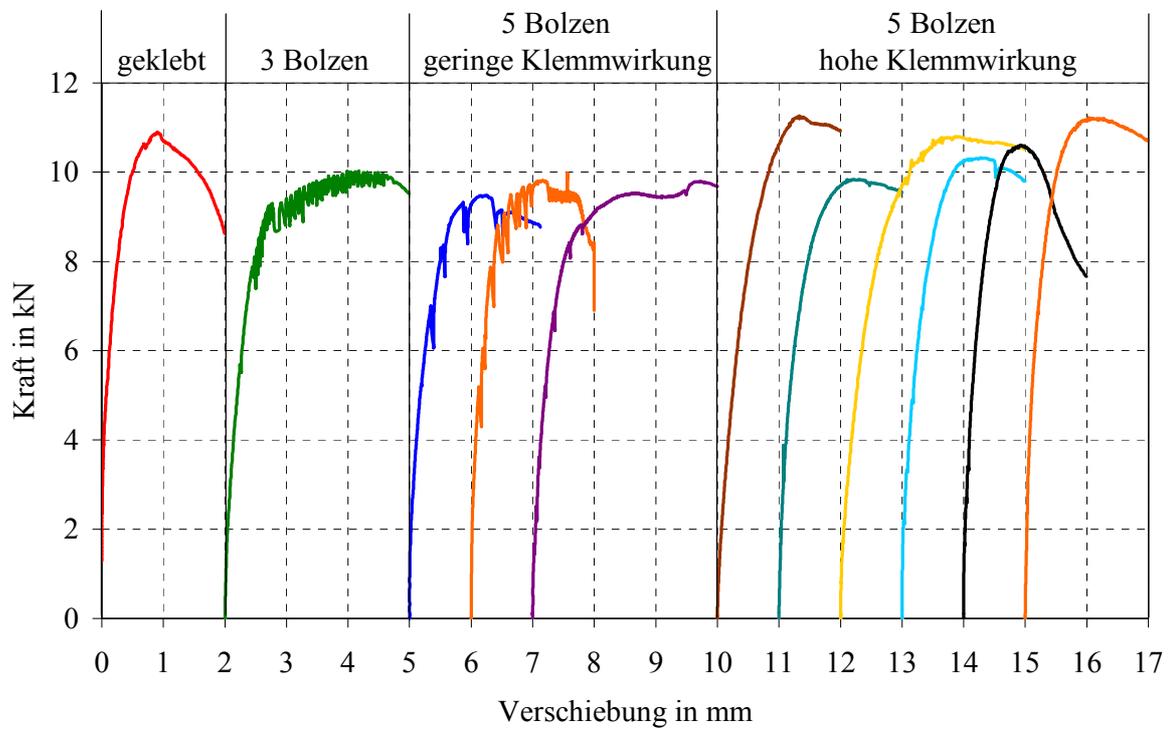


Abb. 3 Kraft-Verschiebungskurven

Weiterhin wurde der Einfluss der Parameter Rohdichte und Plattendicke auf die Schubfestigkeit untersucht. Die Ermittlung der Korrelationskoeffizienten ergibt einen Wert von $R = 0,845$ zwischen der Schubfestigkeit und der Rohdichte sowie einen Wert von $R = -0,544$ zwischen der Schubfestigkeit und der Plattendicke. Zu berücksichtigen ist hierbei ein Wert von $R = -0,429$ zwischen der Rohdichte und der Plattendicke, d.h. die Rohdichte und die Plattendicke der untersuchten Platten sind voneinander abhängig. Die Schubfestigkeit kann nach Gleichung (1) in Abhängigkeit der Rohdichte berechnet werden. In Abb. 4 ist die ermittelte Schubfestigkeit aus den Versuchen über der Rohdichte der Platten dargestellt.

$$f_v = 1,30 \cdot 10^{-6} \cdot \rho^{2,39} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (1)$$

Mit ρ Rohdichte der HFDP in kg/m^3

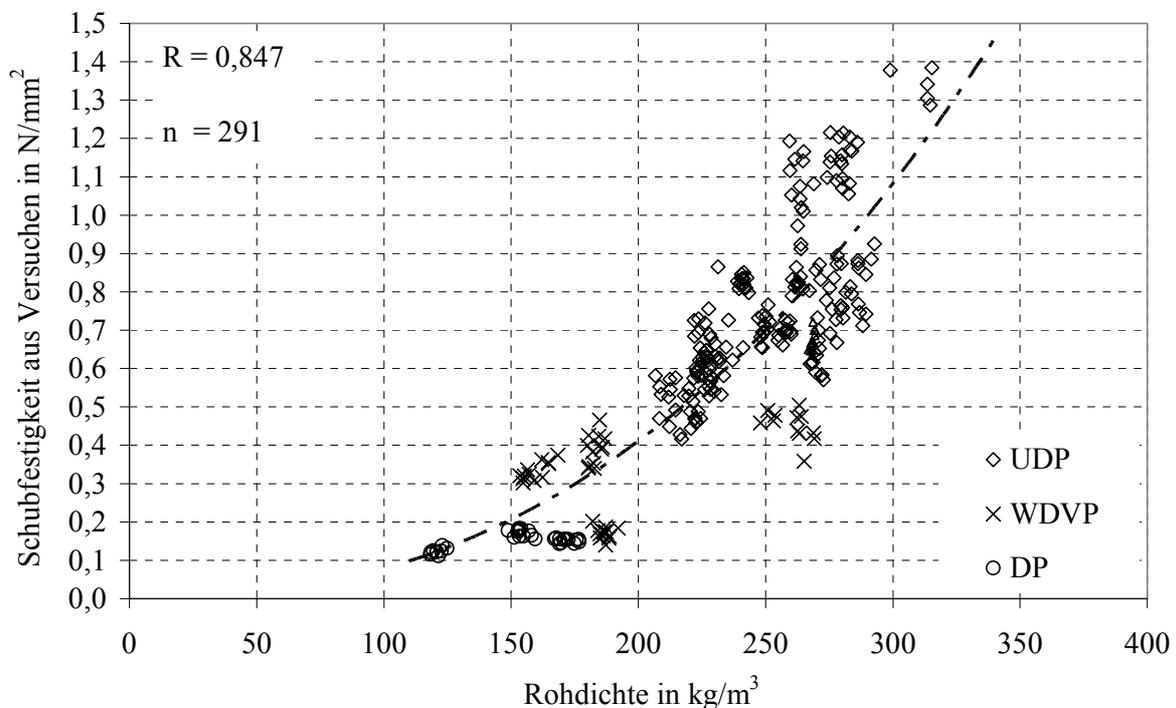


Abb. 4 Einfluss der Rohdichte auf die Schubfestigkeit

Für den Nachweis der Scheibenbeanspruchung von Tafeln nach DIN 1052:2004-08 [2] wird neben dem Versagensmechanismus Erreichen der Schubfestigkeit der Beplankung der Versagensmechanismus Beulen berücksichtigt. Der Widerstand gegen Schubversagen steigt mit zunehmender Plattendicke linear an, der Widerstand gegen Beulen quadratisch. Daher wurde für die Ermittlung der charakteristischen Werte der Schubfestigkeit für Unterdeckplatten eine Unterteilung nach der Plattendicke vorgenommen. Für Unterdeckplatten mit Plattendicken $t \leq 22$ mm und für Platten mit Plattendicken $t > 22$ mm wurden die charakteristischen Werte getrennt bestimmt. Für Unterdeckplatten mit $t \leq 22$ mm wird als charakteristischer Wert $f_{v,k} = 0,6 \text{ N/mm}^2$ und für Unterdeckplatten mit $t > 22$ mm als charakteristischer Wert $f_{v,k} = 0,4 \text{ N/mm}^2$ vorgeschlagen. Ein Überblick über die vorgeschlagenen charakteristischen Werte der Schubfestigkeit und die Berechnungswerte des Schubmoduls für HFDP ist in Tabelle 1 gegeben.

Tab. 1 Eigenschaften und Versuchsergebnisse der untersuchten HFDP

Plattentyp	Hersteller (_Platte)	Herstell- verfahren	Dicke in mm	Lagen	ρ_{mittel} in kg/m ³	u_{mittel} in %	ρ_k in kg/m ³	$f_{v,\text{mittel}}$ in N/mm ²	G_{mittel} in N/mm ²	$f_{v,k}$ in N/mm ²	G_{mean} in N/mm ²
UDP	1_1a	N	18	1	274	9,2		0,96	440	0,6	
	1_1b	N	22	1	281	8,9		1,14	458	0,6	
	1_1c	T	28	1	232	9,6		0,71	362	0,4	
	1_1d	T	35	1	227	9,7		0,60	275	0,4	
	1_2	T	50	1	213	9,2		0,54	344	0,4	
	2_a	N	18	1	244	9,1		0,85	337	0,6	
	2_b	N	22	1	241	8,9	200	0,82	441	0,6	350
	2_c	N	35	2	221	9,4		0,47	423	0,4	
	2_d	N	60	3	263	9,6		0,84	187	0,4	
	3_a	N	18	1	274	7,8		0,74	295	0,6	
	3_b	N	22	1	282	7,3		0,82	481	0,6	
	3_c	N	35	2	281	7,9		0,75	436	0,4	
	3_d	N	52	3	268	8,8		0,67	254	0,4	
	WDVP	1_1	T	40	1	159	9,2		0,33	250	0,3
1_2		T	40	1	184	9,5		0,39	331	0,3	
2		N	60	3	187	10,3	150	0,17	313	0,1	300
3		N	40	2	260	7,9		0,45	340	0,3	
DP	1	T	40	1	121	9,5	100	0,12	343		
	2	N	40	2	172	10,3	150	0,15	331	0,1	300
	3	N	40	2	154	9,2	150	0,17	361		

N Nassverfahren

T Trockenverfahren

4. Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in HFDP

HFDP werden auf der Holzunterkonstruktion mit Schrauben, Klammern oder Nägeln befestigt. Die Tragfähigkeit von Verbindungen in Holz und Holzwerkstoffen ist von der Geometrie der Verbindung (Dicke der Bauteile und Durchmesser des Verbindungsmittels), dem Fließmoment des Verbindungsmittels und den Lochleibungsfestigkeiten der verbundenen Bauteile abhängig. Die Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in Holz und Holzwerkstoffen wird nach DIN 1052:2004-08 in Abhängigkeit des Durchmessers des Verbindungsmittels und der Rohdichte bzw. der Plattendicke berechnet. Die Lochleibungsfestigkeit von Schrauben und Klammern kann nach der Gleichung für Nägel berechnet werden.

Zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in Holzfaserdämmplatten wurden 608 Versuche in Anlehnung an DIN EN 383:1993 [3] durchgeführt. Dabei wurden fünf Nageldurchmesser (3,1 mm – 3,4 mm – 3,8 mm – 4,6 mm – 5 mm) in den ausgewählten HFDP untersucht. Aus den Versuchen wurde mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse eine Gleichung zur Bestimmung des Vorhersagewerts der Lochleibungsfestigkeit hergeleitet. Eine sehr gute Korrelation wurde für Gleichung (2) in Abhängigkeit der Rohdichte und des Verbindungsmitteldurchmessers ermittelt. Die Versuchsergebnisse sind in Abb. 5 den mit Gleichung (2) berechneten Vorhersagewerten gegenübergestellt. Der Korrelationskoeffizient wurde zu $R = 0,916$, der Achsenabschnitt der Regressionsgeraden zu $b = -0,08$ und die Steigung der Regressionsgeraden zu $m = 1,02$ bestimmt.

$$f_h = 18,3 \cdot 10^{-5} \cdot \rho^{2,04} \cdot d^{-0,74} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (2)$$

Mit d Durchmesser des Verbindungsmittels in mm

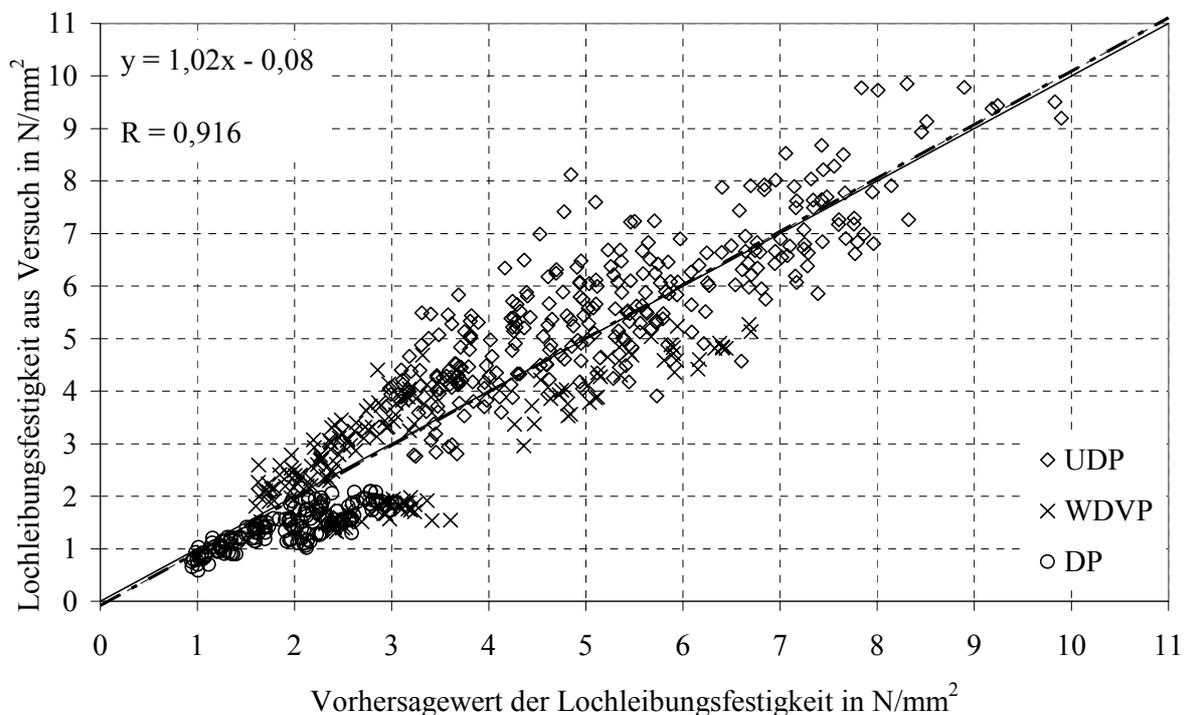


Abb. 5 Lochleibungsfestigkeit aus Versuchen über Vorhersagewerten

Gleichungen für die Bestimmung der charakteristischen Werte können durch eine Anpassung der Vorfaktoren hergeleitet werden. Hierbei wird für die drei Plattentypen jeweils eine Gleichung vorgeschlagen, Gleichungen (3) bis (5). Werden die ermittelten charakteristischen Rohdichten in die Gleichungen (3) bis (5) eingesetzt, kann die Berechnung der charakteristischen Lochleibungsfestigkeit vereinfacht werden, Gleichungen (6) bis (9).

$$\text{UDP} \quad f_{h,k} = 22 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_k^2 \cdot d^{-0,75} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (3)$$

$$\text{WDVP} \quad f_{h,k} = 19 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_k^2 \cdot d^{-0,75} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (4)$$

$$\text{DP} \quad f_{h,k} = 16 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_k^2 \cdot d^{-0,75} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (5)$$

$$\text{UDP} \quad f_{h,k} = 8,88 \cdot d^{-0,75} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (6)$$

$$\text{WDVP} \quad f_{h,k} = 4,25 \cdot d^{-0,75} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (7)$$

$$\text{DP, } \rho_k = 150 \text{ kg/m}^3 \quad f_{h,k} = 3,53 \cdot d^{-0,75} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (8)$$

$$\text{DP, } \rho_k = 100 \text{ kg/m}^3 \quad f_{h,k} = 1,57 \cdot d^{-0,75} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (9)$$

Mit ρ_k Charakteristische Rohdichte der HFDP in kg/m^3

5. Berechnung der Tragfähigkeit von Holz-HFDP-Verbindungen

Die Tragfähigkeit von Verbindungen zwischen Holz und HFDP kann nach Johansen [4] bzw. DIN 1052:2004-08 [2] berechnet werden. Die Kraft wird von den Holzbauteilen in die HFDP übertragen. Für die Ermittlung der Tragfähigkeit ist der kleinste Wert der möglichen Versagensmechanismen maßgebend. Wird bei der Bestimmung der Tragfähigkeit einer der beiden Fälle G.3 oder G.5 maßgebend, kann die Tragfähigkeit durch Berücksichtigung der außen liegenden Schicht erhöht werden. Hierfür wurden die Gleichungen G.3 und G.5 erweitert. Die Verteilung der Lochleibungsfestigkeit in der Holz-HFDP-Verbindung ist in Abb. 6 für die beiden Fälle dargestellt. Hierbei wird keine resultierende Kraft in die außen liegende Schicht übertragen, d.h. die Summe aller vertikalen Kräfte in der Außenschicht ergibt Null. Durch Auflösung des Kräfte- und Momentengleichgewichtes ergeben sich die Gleichungen (10) und (11) für die erweiterten Fälle.

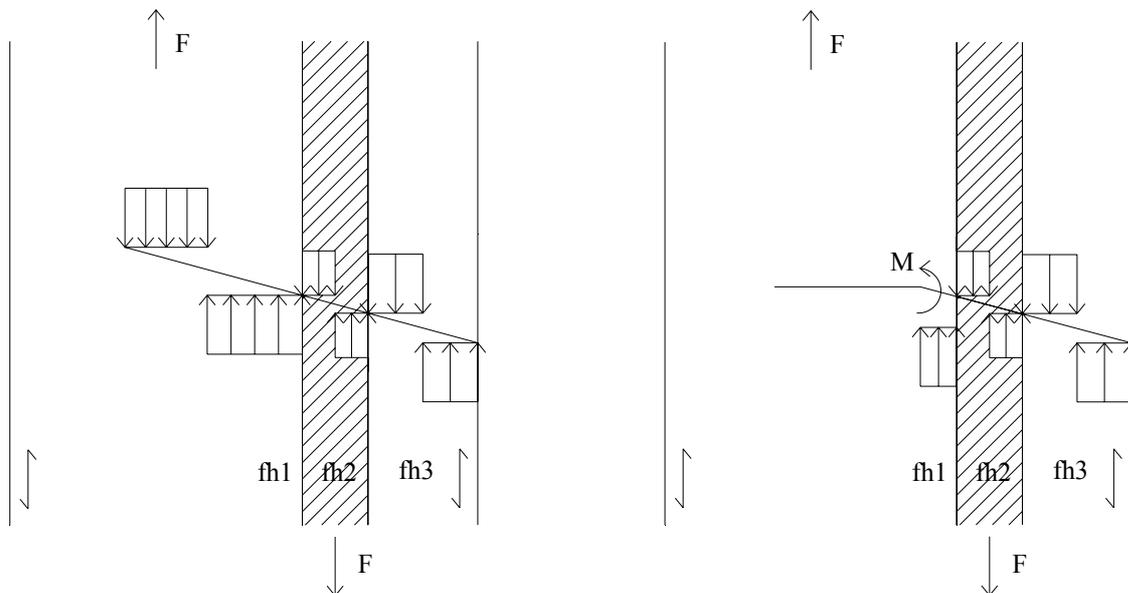


Abb. 6 Versagensmechanismus G.3 und G.5 mit Ansatz einer Außenschicht

$$R = \frac{f_{h1} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta_2} \left[\sqrt{\beta_2 + 2\beta_2^2 \left[1 + \left(\frac{t_2}{t_1} \right) + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta_2^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 + \beta_2 \cdot \beta_3 (1 + \beta_2) \left(\frac{t_3}{t_1} \right)^2} - \beta_2 \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \quad (10)$$

$$R = \frac{f_{h1} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta_2} \left[\sqrt{2\beta_2^2 (1 + \beta_2) + \frac{4\beta_2 (1 + 2\beta_2) M_y}{f_{h1} \cdot d \cdot t_2^2} + \beta_2 \cdot \beta_3 (1 + 2\beta_2) \left(\frac{t_3}{t_2} \right)^2} - \beta_2 \right] \quad (11)$$

Mit t_3 Dicke der Außenschicht in mm

$$\beta_2 = \frac{f_{h2}}{f_{h1}}$$

$$\beta_3 = \frac{f_{h3}}{f_{h1}}$$

6. Zusammenfassung und Ausblick

Verschiedene Holzfaserdämmplatten (HFDP) wurden ausgewählt und neben der Rohdichte und dem Feuchtegehalt die Schubfestigkeit und der Schubmodul in Scherversuchen bestimmt. Weiterhin wurden die Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in HFDP bestimmt und Gleichungen zur Bestimmung des Vorhersagewertes und der charakteristischen Werte hergeleitet. Dabei ist die Lochleibungsfestigkeit abhängig von der Rohdichte der HFDP und dem Durchmesser des Verbindungsmittels. Für die Berechnung der Tragfähigkeit von Holz-HFDP-Verbindungen wurden die Gleichungen nach Johansen erweitert. Hierbei wird der Einfluss einer Außenschicht auf das Tragverhalten berücksichtigt. In Zugscherversuchen sollen die Berechnung der Tragfähigkeit verifiziert und Verschiebungsmoduln von Holz-HFDP-Verbindungen bestimmt werden. Abschließend werden Versuche an Tafeln in Bauteilgröße durchgeführt.

7. Literatur

- [1] DIN EN 789:2005-01 Holzbauwerke – Prüfverfahren – Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen; Deutsche Fassung EN 789:2004
- [2] DIN 1052:2004-08 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- [3] DIN EN 383:1993-10 Holzbauwerke – Prüfverfahren – Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit und Bettungswerte für stiftförmige Verbindungsmittel
- [4] Johansen, K. W.: Theory of timber connections. International Association of bridge and structural Engineering, Bern, 1949, S. 249-262