

# **Tragfähigkeit und Steifigkeit von Verbindungen zwischen Holzfaserdämmplatten und der Holzunterkonstruktion in aussteifenden Wand- und Dachsystemen**

**Dipl.-Ing.  
Gunnar Gebhardt**

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

**Holzbau und Baukonstruktionen  
Karlsruher Institut für Technologie**

**gunnar.gebhardt@kit.edu**



## **Zusammenfassung**

Holzfaserdämmplatten (HFDP) werden im Holzbau bislang zur Wärme- und Schalldämmung eingesetzt. Als plattenförmiger Baustoff können HFDP – insbesondere beim Einbau dicker Platten – aber auch für die Abtragung horizontaler Lasten, wie z. B. Wind- und Erdbebenlasten, herangezogen werden.

Für die Bestimmung des Tragverhaltens von Wand- und Dachscheiben ist die Kenntnis der tragfähigkeitsrelevanten Eigenschaften von HFDP erforderlich. Neben den Eigenschaften bei Schubbeanspruchung sind dies die Tragfähigkeit und Steifigkeit der Verbindung. Für den Nachweis der Verbindung sind sowohl die grundlegenden Parameter, wie die Lochleibungsfestigkeiten der verbundenen Bauteile und die Kopfdurchziehtragfähigkeit des Verbindungsmittels – sofern das Verbindungsmittel direkt in die HFDP eingebracht wird – als auch die Berechnung der Tragfähigkeit der Verbindung notwendig. Die Tragfähigkeit kann im Fall des direkten Einbringens des Verbindungsmittels nach der Theorie von Johansen ermittelt werden. Wird das Verbindungsmittel durch eine Konterlatte eingebracht und werden zwischen Last abtragender HFDP und Holzunterkonstruktion weitere Zwischenlagen (z. B. in Aufsparrendämmsystemen) angeordnet, ist eine Erweiterung der Theorie von Johansen erforderlich.

In diesem Beitrag werden sowohl die Bestimmung der grundlegenden Parameter von HFDP als auch die Erweiterung der Theorie von Johansen vorgestellt. Weiterhin werden die Ergebnisse von Versuchen zur Bestimmung der Tragfähigkeit und der Steifigkeit für unterschiedliche Verbindungen dargestellt.

## **1. Einleitung**

Wände und Decken in Holzbauweise können in unterschiedlichen Bauweisen erstellt werden. In der massiven Bauweise werden Bauteile aus beispielsweise Brettsperrholz flächig hergestellt. Die einzelnen Brettlagen der massiven Bauteile werden miteinander verklebt oder durch mechanische Verbindungsmittel verbunden. In der Holztafelbauweise werden Holztafeln als Wand- und Decken- bzw. Dachelemente eingesetzt. Holztafeln bestehen aus Schwelle, Rähm, Rippen und einer Beplankung. Die parallel angeordneten Rippen sind meist aus Vollholz, können aber in energetisch optimierten Gebäuden auch durch zusammengesetzte I – Träger ersetzt werden. Für die Beplankung von Holztafeln werden bislang Sperrholz-, Span-, Gipskartonplatten und OSB verwendet. Die horizontalen Beanspruchungen von Wänden und Dächern werden durch die Beplankung der Holztafel aufgenommen. In Decken kann die Beplankung zusätzlich zur Abtragung von Biegemomenten herangezogen werden.

Für die Wärme- und Schalldämmung kann eine Vielzahl weiterer Werkstoffe aus Holz oder auch anderen Werkstoffen eingesetzt werden. Ein Beispiel für einen Holzwerkstoff sind Holzfaserdämmstoffe. Diese können in der Zwischensparrendämmung als flexible Matte oder in Aufsparren- oder Untersparrensystemen als Platte verwendet werden. Für die Herstellung von Holzfaserdämmstoffen werden Holzfasern aus Schwachhölzern und Holzresten durch Zermahlung gewonnen. Holzfaserdämmplatten (HFDP) können dann in zwei unterschiedlichen Verfahren hergestellt werden.

Im Nassverfahren wird aus Holzfasern, Wasser und Zuschlagstoffen ein Holzfaserbrei erzeugt, der zu einer Platte verpresst wird. Anschließend werden die Platten in einer Trocknungsanlage getrocknet. Der im Holz natürlich enthaltene Stoff Lignin dient dabei als alleiniges Bindemittel.

Im Trockenverfahren werden die Holzfasern nach der Herstellung und Trocknung mit Klebstoff besprüht und anschließend zu einer Matte aufgeschichtet und gepresst.

In beiden Verfahren wird die Rohplatte zugeschnitten und nach Bedarf Nut und Feder eingefräst. Durch den hohen Energieeinsatz bei der Trocknung werden im Nassverfahren nur Platten mit Dicken bis ca. 20 mm hergestellt. Dickere Platten werden aus mehreren Platten durch Verklebung hergestellt. Im Trockenverfahren können hingegen auch Platten mit Dicken bis zu 240 mm in einer Lage hergestellt werden. In Abb. 1 sind Querschnitte verschiedener HFDP dargestellt.

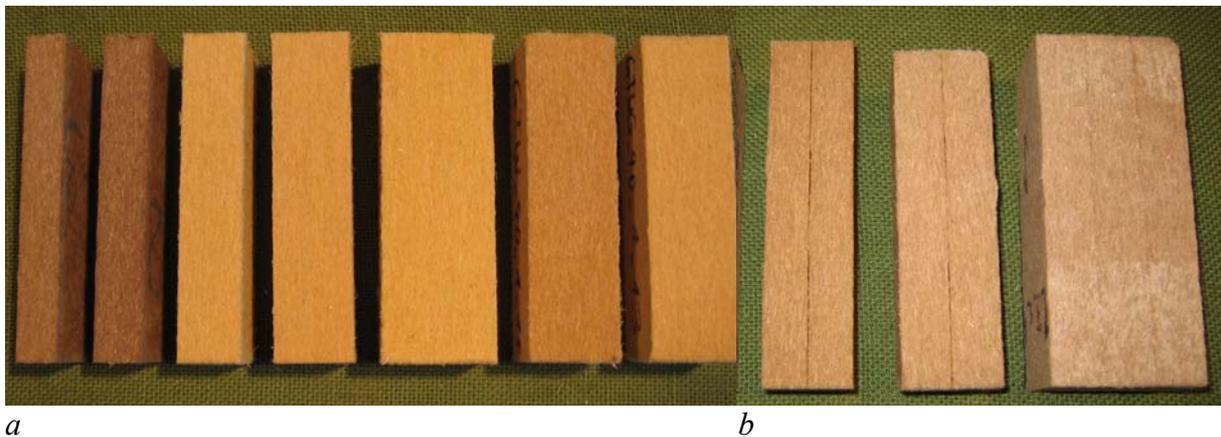


Abb. 1 Holzfaserdämmplatten, einlagig (a) und mehrlagig (b)

HFDP besitzen eine im Vergleich mit anderen Holzwerkstoffen geringere Rohdichte, die sich günstig auf die Wärmedämmeigenschaften auswirkt. Mit der geringeren Rohdichte sinken allerdings auch die Festigkeits- und Steifigkeitswerte. Daher wurden bislang die Funktionen Aussteifung der Holztafel und die bauphysikalischen Anforderungen von unterschiedlichen Holzwerkstoffen übernommen. Durch die wachsenden Anforderungen an den Wärmeschutz werden zunehmend dickere HFDP eingesetzt. Mit einer größeren Dicke der HFDP können die geringeren Festigkeitseigenschaften zumindest teilweise kompensiert werden. Somit können statische und bauphysikalische Aufgaben in einem Werkstoff vereint werden. Dies eröffnet neue Möglichkeiten in der Planung und Montage von Gebäuden aus Holz.

## 2. Einsatzfelder von HFDP in Gebäuden und Anforderungen an aussteifende Beplankungen

HFDP können in Gebäuden in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden. In Dächern können sie als Unterdeckplatte (UDP) zwischen Sparren und Konterlatte alternativ zur Unterspannbahn eingebaut werden. Eine zusätzliche Dämmung ist in Dächern als Zwischensparren-, Untersparren- oder Aufsparrendämmung möglich. Als Zwischensparrendämmung werden flexible Holzfaserplatten eingesetzt, die zwischen die Sparren geklemmt werden. In der Untersparren- oder Aufsparrendämmung werden Dämmplatten eingesetzt. Die Rohdichte nimmt in der Reihenfolge Unterdeckplatte – Dämmplatte – Dämmmatte ab.

In Wänden können Unterdeckplatten zwischen Rippen und Lattung einer hinterlüfteten Fassade angeordnet werden. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz einer Wärmedämmverbundplatte. Hierbei wird die Wärmedämmverbundplatte auf den Rippen befestigt. Der Putz wird direkt auf die Wärmedämmverbundplatte aufgetragen. Die Rohdichte der Wärmedämmverbundplatte liegt zwischen der Rohdichte von Unterdeckplatten und Dämmplatten. In Abb. 2 sind die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten von HFDP dargestellt.

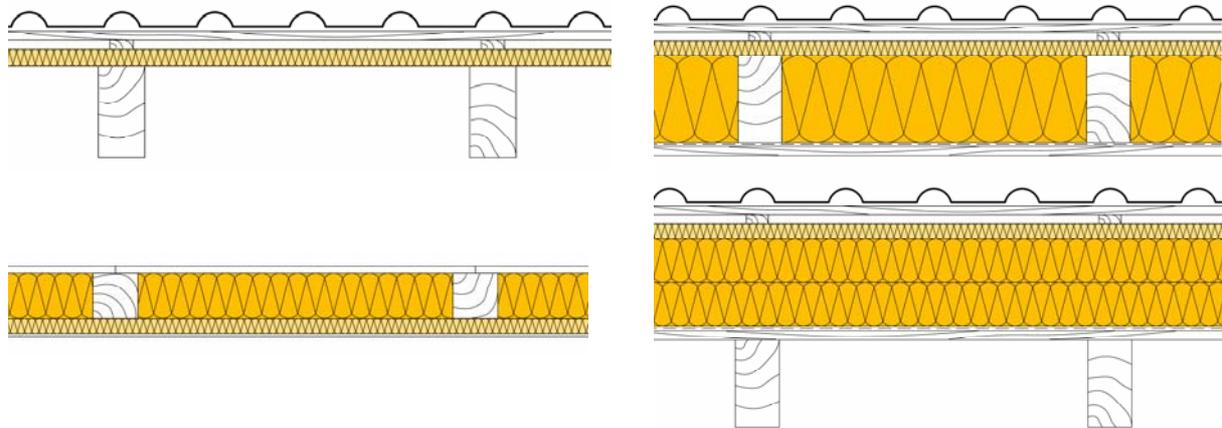


Abb. 2 Einsatzmöglichkeiten von HFDP in Gebäuden: Unterdeckplatte (oben links), Unterdeckplatte und Zwischensparrendämmung (oben rechts), Wärmedämmverbundplatte und Dämmung (unten links), Unterdeckplatte und Aufsparrendämmung (unten rechts)

Für einen möglichen Einsatz von HFDP als aussteifende Beplankung ist der Nachweis der Tragfähigkeit nach DIN 1052:2008-12 oder Eurocode 5 zu führen. Im Nachweis lassen sich systemspezifische und materialspezifische Einflussparameter unterscheiden. Zu den systemspezifischen Parametern gehört die Anordnung der Beplankung (einseitig oder beidseitig), die Anordnung der Verbindungsmittel (umlaufend oder abschnittsweise) sowie die Geometrie der Tafel (Länge der Tafel, Höhe der Tafel, Abstand der Rippen). Zu den materialspezifischen Parametern zählen die Schubfestigkeit der Beplankung und die Tragfähigkeit der Verbindung zwischen Beplankung und Holzunterkonstruktion. Nach Eurocode 5 ist lediglich der Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindung zu führen.

Für die Bestimmung der Tragfähigkeit der Verbindung zwischen HFDP und Holzunterkonstruktion sind folgende Parameter erforderlich: die Lochleibungsfestigkeiten der verbundenen Bauteile, das Fließmoment des Verbindungsmittels und die Geometrie der Verbindung. Zusätzlich steigt die laterale Tragfähigkeit mit der axialen Tragfähigkeit des Verbindungsmittels. Die axiale Tragfähigkeit ist abhängig vom Ausziehparameter und vom Kopfdurchziehparameter des Verbindungsmittels in den jeweiligen Bauteilen. Die Parameter von Verbindungsmitteln in Vollholz sind bekannt, während diese in HFDP bislang nicht untersucht wurden. Daher wurden Versuche zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit und der Rückendurchziehtragfähigkeit durchgeführt. Die Lochleibungsfestigkeit wurde in Gebhardt und Blaß [1] vorgestellt. Die Rückendurchziehtragfähigkeit wird in Abschnitt 4 vorgestellt. Zusätzlich wurden Versuche mit Verbindungen zwischen HFDP und Holzunterkonstruktion durchgeführt. Hierbei wurden eine direkte Verbindung der HFDP auf der Holzunterkonstruktion und eine Verbindung durch einer Konterlatte untersucht. Die Ergebnisse der Versuche werden in Blaß und Gebhardt [2] sowie in Abschnitt 5 vorgestellt.

### 3. Berechnung der Tragfähigkeit von Holz-HFDP-Verbindungen

Für die Verbindung der HFDP mit der Holzunterkonstruktion können unterschiedliche stiftförmige Verbindungsmittel verwendet werden. Eine direkte Verbindung der HFDP mit der Holzunterkonstruktion ist mit Breit Rückenklammern oder speziellen Schrauben möglich. Die spezielle Schraube ist eine Teilgewindeschraube mit einem Plastikteller als Unterlegscheibe und wird mit dem Plastikteller in die HFDP eingedreht. Der Plastikteller erhöht die Kopfdurchziehtragfähigkeit des Verbindungsmittels in der HFDP. Eine direkte Verbindung wird hauptsächlich bei der Befestigung von Wärmedämmverbundplatten ausgeführt. In



$$\delta = \frac{f_{h,zw}}{f_{h,1}} \quad \beta_2 = \frac{f_{h,2}}{f_{h,1}} \quad \beta_3 = \frac{f_{h,3}}{f_{h,1}}$$

In Aufsparrendämmsystemen mit zwei Dämmlagen sind die grundlegenden Gleichungen unter Berücksichtigung einer zweiten Zwischenschicht herzuleiten. Für die entsprechenden Fälle kann dann zusätzlich der Einfluss der Konterlatte berücksichtigt und die Tragfähigkeit erhöht werden. Die Verteilung der Lochleibungsfestigkeit in einer Verbindung mit Konterlatte ist in Abb. 4 für die sechs möglichen Versagensmechanismen dargestellt. Die Tragfähigkeiten für reines Lochleibungsversagen in einem der verbundenen Bauteile entsprechen den zugehörigen Gleichungen nach Johansen. Die Tragfähigkeit der weiteren Fälle kann nach den Gleichungen (3) bis (6) berechnet werden.

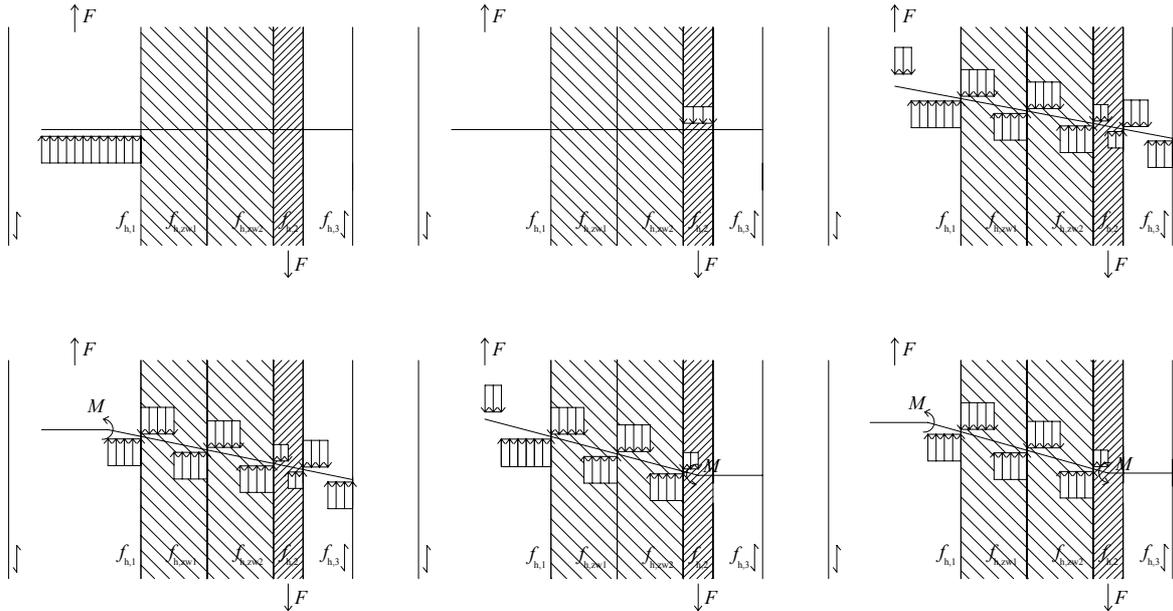


Abb. 4 Versagensmechanismus mit zwei Zwischenlagen und Ansatz einer Außenschicht

$$R = \frac{f_{h,1} \cdot d \cdot \beta_2}{1 + \beta_2} \left[ \begin{array}{l} -2t_{zw1} - 2t_{zw2} - t_1 - t_2 \\ + \sqrt{t_{zw1}^2 \left( 4 + \frac{\delta_1}{\beta_2} + \delta_1 \right) + t_{zw2}^2 \left( 4 + \frac{\delta_2}{\beta_2} + \delta_2 \right) + t_1^2 \left( 2 + \frac{1}{\beta_2} \right) + t_2^2 (2 + \beta_2)} \\ + t_3^2 \cdot \beta_3 \left( 1 + \frac{1}{\beta_2} \right) + 8t_{zw1} \cdot t_{zw2} + t_{zw1} (4t_1 + 4t_2) + t_{zw2} (4t_1 + 4t_2) + 2t_1 \cdot t_2 \end{array} \right] \quad (3)$$

$$R = \frac{f_{h,1} \cdot d \cdot \beta_2}{\frac{1}{2} + \beta_2} \left[ \begin{array}{l} -t_{zw1} - t_{zw2} - \frac{t_2}{2} \\ + \sqrt{t_{zw1}^2 \left( 1 + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_1}{4\beta_2} \right) + t_{zw2}^2 \left( 1 + \frac{\delta_2}{2} + \frac{\delta_2}{4\beta_2} \right) + t_2^2 \left( \frac{1}{2} + \frac{\beta_2}{2} \right)} \\ + t_3^2 \cdot \beta_3 \left( \frac{1}{4\beta_2} + \frac{1}{2} \right) + 2t_{zw1} \cdot t_{zw2} + t_2 (t_{zw1} + t_{zw2}) + \frac{2M_y}{f_{h,1} \cdot d} + \frac{M_y}{f_{h,1} \cdot d \cdot \beta_2} \end{array} \right] \quad (4)$$

$$R = \frac{f_{h,1} \cdot d \cdot \beta_2}{\beta_2 + 2} \left[ \begin{array}{l} -2t_{zw1} - 2t_{zw2} - t_1 \\ \sqrt{t_{zw1}^2 \left( 4 + \delta_2 + \frac{2\delta_2}{\beta_2} \right) + t_{zw2}^2 \left( 4 + \delta_1 + \frac{2\delta_1}{\beta_2} \right) + 4t_{zw1} \cdot t_1 + 4t_{zw2} \cdot t_1 + 8t_{zw1} \cdot t_{zw2}} \\ + t_1^2 \left( 2 + \frac{2}{\beta_2} \right) + \frac{4M_y}{f_{h,1} \cdot d} + \frac{8M_y}{\beta_2 \cdot f_{h,1} \cdot d} \end{array} \right] \quad (5)$$

$$R = \frac{f_{h,1} \cdot d \cdot \beta_2}{\beta_2 + 1} \left[ \begin{array}{l} -t_{zw1} - t_{zw2} \\ \sqrt{t_{zw1}^2 \left( 1 + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_1}{2\beta_2} \right) + t_{zw2}^2 \left( 1 + \frac{\delta_2}{2} + \frac{\delta_2}{2\beta_2} \right) + 2t_{zw1} \cdot t_{zw2} + \frac{4M_y}{f_{h,1} \cdot d} + \frac{4M_y}{f_{h,1} \cdot d \cdot \beta_2}} \end{array} \right] \quad (6)$$

Mit  $t_{zw1}$  Dicke der Zwischenlage 1

$t_{zw2}$  Dicke der Zwischenlage 2

$$\delta_1 = \frac{f_{h,zw1}}{f_{h,1}} \quad \delta_2 = \frac{f_{h,zw2}}{f_{h,1}} \quad \beta_2 = \frac{f_{h,2}}{f_{h,1}} \quad \beta_3 = \frac{f_{h,3}}{f_{h,1}}$$

#### 4. Ermittlung der Rückendurchziehtragfähigkeit von Breitrückenklammern in HFDP

Die laterale Tragfähigkeit einer Verbindung nach Johansen wird durch die axiale Tragfähigkeit des Verbindungsmittels erhöht (Einhängeeffekt). Die Tragfähigkeit nach DIN 1052: 2008-12 oder Eurocode 5 kann dabei höchstens das Doppelte der lateralen Tragfähigkeit betragen.

Die axiale Tragfähigkeit einer Verbindung ist der kleinere Wert der Ausziehtragfähigkeit des Verbindungsmittels aus dem Bauteil mit der Spitze und der Kopf- bzw. Rückendurchziehtragfähigkeit des Verbindungsmittels aus dem Bauteil mit dem Kopf bzw. Rücken. Die Ausziehtragfähigkeit hängt vom Ausziehparameter, von der Länge des Verbindungsmittels im Bauteil mit der Spitze und vom Durchmesser ab. Die Kopfdurchziehtragfähigkeit ist vom Kopfdurchziehparameter und vom Kopfdurchmesser abhängig.

In Verbindungen zwischen HFDP und Holzunterkonstruktion liegt die Spitze des Verbindungsmittels im Holz. Der Kopf bzw. Rücken des Verbindungsmittels ist bei einem direkt in die HFDP eingebrachten Verbindungsmittel in der HFDP angeordnet. Wird das Verbindungsmittel durch eine Konterlatte eingebracht, liegt sowohl die Spitze als auch der Kopf bzw. Rücken des Verbindungsmittels im Holz.

Für direkt eingebrachte Verbindungsmittel kann die Tragfähigkeit in Abhängigkeit der Kopf- bzw. Rückendurchziehtragfähigkeit erhöht werden. Daher wurden Versuche zur Bestimmung der Rückendurchziehtragfähigkeit von Breitrückenklammern in HFDP durchgeführt. Es wurden Unterdeckplatten und Wärmedämmverbundplatten berücksichtigt. Die untersuchten Holzfaserdämmplatten wurden von drei Herstellern zur Verfügung gestellt. Die je Plattentyp gelieferten Platten stammten aus bis zu drei Herstellungschargen. Neben einlagigen HFDP wurden auch mehrlagige HFDP berücksichtigt. Für die Versuche wurden Platten mit Dicken zwischen 18 mm und 60 mm verwendet.

Die Versuche wurden in Anlehnung an DIN EN 1383:2000 [6] durchgeführt. Neben der Kraft wurde die Verschiebung gemessen. Die Tragfähigkeit wird im Mittel bei einer Verschiebung erreicht, die der halben Plattendicke entspricht. Mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse wurde Gleichung (7) zur Bestimmung der Tragfähigkeit hergeleitet. Die Rückendurchziehtragfähigkeit kann in Abhängigkeit von der Rohdichte und der Plattendicke berechnet werden. In Abb. 5 sind die Versuchsergebnisse über den mit Gleichung (7) berechneten Werten darge-

stellt. Durch eine Anpassung des Vorfaktors wurde Gleichung (8) für die Berechnung des charakteristischen Wertes der Rückendurchziehtragfähigkeit ermittelt.

$$R_{ax,2} = 0,040 \cdot \rho^{1,17} \cdot t^{0,95} \quad \text{in N} \quad (7)$$

Mit  $\rho$  Rohdichte der HFDP in  $\text{kg/m}^3$   
 $t$  Plattendicke der HFDP in mm

$$R_{ax,2,k} = 0,032 \cdot \rho_k^{1,17} \cdot t^{0,95} \quad \text{in N} \quad (8)$$

Mit  $\rho_k$  Charakteristische Rohdichte der HFDP in  $\text{kg/m}^3$

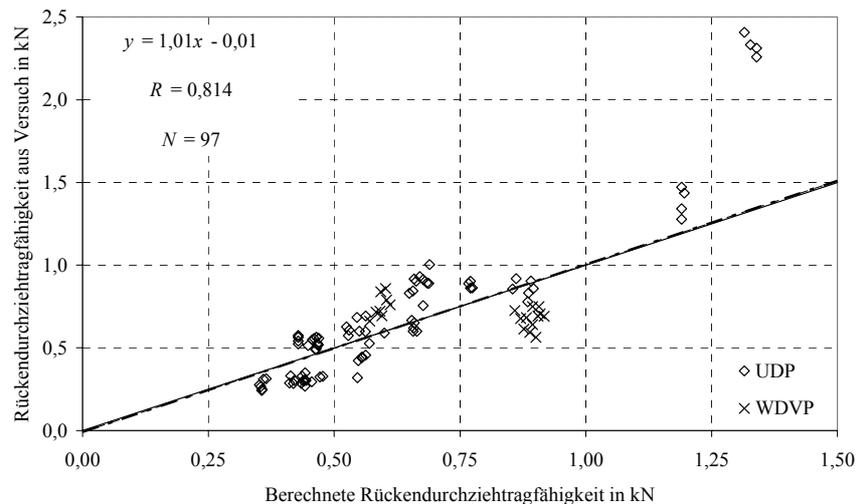


Abb. 5 Rückendurchziehtragfähigkeit – Versuchsergebnisse über Vorhersagewerten

## 5. Versuche mit Verbindungen zwischen HFDP und VH

Während die Tragfähigkeit mit den vorgestellten Gleichungen und Versuchsergebnissen berechnet werden kann und in Versuchen lediglich überprüft wird, müssen für eine Abschätzung der Steifigkeit der Verbindung weitere Versuche durchgeführt werden. Hierfür wurden Versuche mit Breitrückenklammern, Klammern und Nägeln durchgeführt. Die Breitrückenklammern wurden direkt in die HFDP eingebracht. Die Klammern und die Nägel wurden durch eine Konterlatte eingebracht. Der Versuchsaufbau und die Ergebnisse werden in Blaß und Gebhardt [2] vorgestellt.

Die Steifigkeit wurde auf Grund des frühen nicht-linearen Verhaltens der Verbindung für alle Verbindungsmittel für eine konstante relative Verschiebung zwischen den verbundenen Bauteilen von 0,3 mm ausgewertet. Mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse wurde Gleichung (9) für die Bestimmung des Verschiebungsmoduls hergeleitet. Der Verschiebungsmodul kann in Abhängigkeit von den Rohdichten der verbundenen Bauteile, der Plattendicke der HFDP und dem Durchmesser des Verbindungsmittels berechnet werden. In Abb. 6 sind die Versuchsergebnisse über den mit Gleichung (9) berechneten Werten dargestellt.

$$K_{ser} = 1,25 \cdot \rho_{HFDP}^{0,80} \cdot \rho_{VH}^{0,30} \cdot t^{-0,32} \cdot d^{1,29} \quad \text{in N/mm} \quad (9)$$

Mit  $\rho_{HFDP}$  Rohdichte der HFDP in  $\text{kg/m}^3$   
 $\rho_{VH}$  Rohdichte des VH in  $\text{kg/m}^3$   
 $t$  Plattendicke der HFDP in mm  
 $d$  Durchmesser des Verbindungsmittels in mm

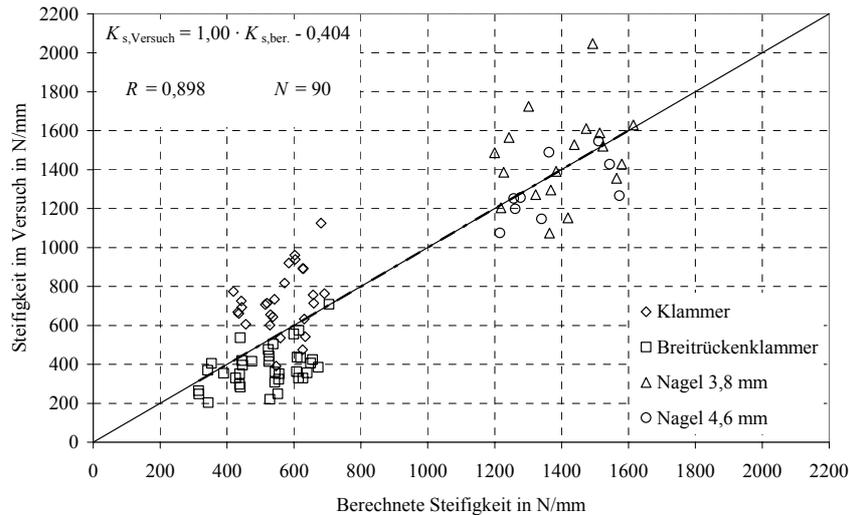


Abb. 6 Verschiebungsmodul – Versuchsergebnisse über Vorhersagewerten

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Für einen Einsatz von Holzfaserdämmplatten als aussteifende Beplankung wurden analytische und experimentelle Untersuchungen von Verbindungen zwischen HFDP und Holz durchgeführt. Die Tragfähigkeit kann nach der Theorie von Johansen berechnet werden. Durch das Einbringen des Verbindungsmittels durch eine Konterlatte kann die Tragfähigkeit erhöht werden. Werden in Aufsparrendämmsystemen Zwischenlagen angeordnet, ist der Einfluss der Zwischenlagen auf die Tragfähigkeit zu berücksichtigen. Beide Möglichkeiten werden in einer Erweiterung der Theorie von Johansen berücksichtigt. In Versuchen wurde die Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in HFDP bestimmt. Für eine Erhöhung der Tragfähigkeit der Verbindung in Abhängigkeit der axialen Tragfähigkeit wurde die Rückendurchziehtragfähigkeit von Breitrückenklammern in HFDP ermittelt. In Versuchen wurden die Verschiebungsmoduln der Verbindungen bestimmt und die rechnerischen Tragfähigkeiten den Versuchsergebnissen gegenübergestellt. In weiteren Versuchen werden die Tragfähigkeit und die Steifigkeit von Verbindungen in Aufsparrendämmsystemen untersucht. Mit der Kenntnis der Tragfähigkeit und Steifigkeit von Verbindungen zwischen HFDP und der Holzunterkonstruktion wird eine Grundlage für den Einsatz von HFDP als aussteifende Beplankung von Holztafeln geschaffen.

## 7. Literatur

- [1] Gebhardt, G.; Blaß, H.J.: Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Holzfaserdämmplatten (HFDP) und Holz-HFDP-Verbindungen. Doktorandenkolloquium Holzbau Forschung und Praxis, Stuttgart, 2008, S. 143-150
- [2] Blaß, H.J.; Gebhardt, G.: Holzfaserdämmplatten – Trag- und Verformungsverhalten in aussteifenden Holztafeln. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Band 14, Universitätsverlag Karlsruhe, 2009
- [3] Johansen, K. W.: Theory of timber connections. International Association of bridge and structural Engineering, Bern, 1949, S. 249-262
- [4] DIN 1052:2008-12 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- [5] Blaß, H.J.; Laskewitz, B.: Tragfähigkeit von Verbindungen an Holztafelelementen. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe, 2000
- [6] DIN EN 1383:2000-03 Holzbauwerke, Prüfverfahren, Prüfung von Holzverbindungsmitteln auf Kopfdurchziehen