

# Holzfaserdämmplatten

## als tragende Beplankung von aussteifenden Holztafeln

### 1 Einleitung

Die in den vergangenen Jahren gestiegenen Anforderungen an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz erfordern immer dickere Dämmschichten in Außenbauteilen von Gebäuden – insbesondere von Wohnhäusern. Holz als nachwachsender Rohstoff kann in Form von Holzfaserdämmplatten (HFDP) sehr gut für diesen Zweck eingesetzt werden. Für eine hohe Dämmwirkung eines Bauteils ist ein niedriger Wärmedurchgangskoeffizient erforderlich. Der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils ist abhängig von den Dicken und den Wärmeleitfähigkeiten der einzelnen Schichten. Eine niedrige Wärmeleitfähigkeit ist meist mit einer erhöhten Porosität und einer damit geringeren Rohdichte verbunden.

Festigkeitseigenschaften im Holzbau sind jedoch in hohem Maße von der Rohdichte des Holzwerkstoffes abhängig. Auf Grund der geringen Rohdichte von HFDP wurde bislang ein neben der Dämmung zusätzlicher Einsatz als aussteifende Beplankung nicht untersucht. In einem laufenden Forschungsvorhaben wurden am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe die tragfähigkeitsrelevanten Eigenschaften von HFDP unterschiedlicher Typen und Hersteller untersucht. Im vorliegenden Beitrag werden die durchgeführten Versuche und deren Ergebnisse vorgestellt. An einem Beispiel wird die Berechnung der Tragfähigkeit einer Wandtafel nach DIN 1052:2004 und die Berechnung der Steifigkeit nach den Erläuterungen zu DIN 1052:2004 vorgestellt.

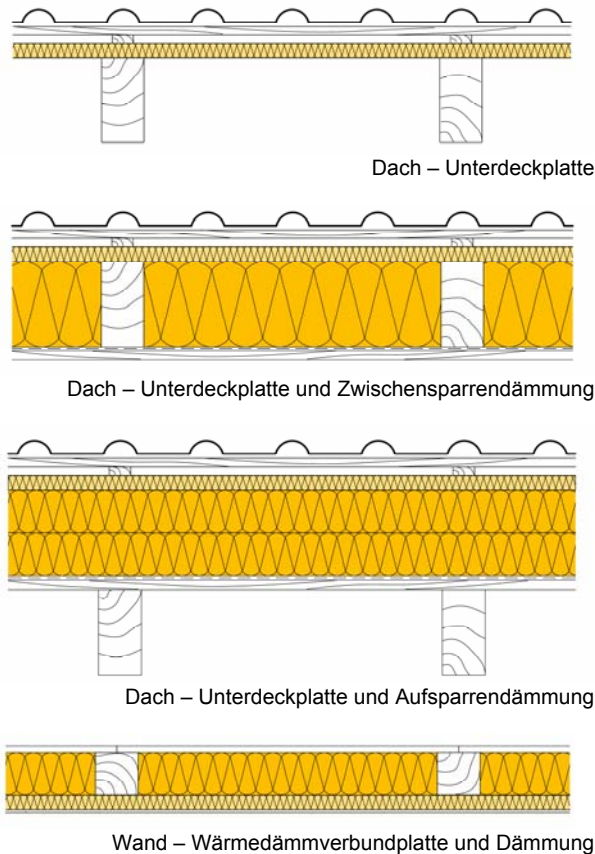
### 2 Eigenschaften von HFDP

HFDP werden in zwei unterschiedlichen Verfahren hergestellt. In beiden Verfahren wird das Ausgangsmaterial (Schwarten und Hackschnitzel) zu Holzfasern zermahlen. Im Nassverfahren werden die Holzfasern mit Wasser und weiteren Zuschlagsstoffen zu einem Brei vermischt und anschließend verpresst und getrocknet. Als Bindemittel dient hierbei ausschließlich das im Holz enthaltene Lignin. Auf Grund des hohen Energieeinsatzes bei der Trocknung werden Platten größerer Dicken durch Verklebung einzelner Platten hergestellt. Hierbei können auch Platten mit unterschiedlichen Rohdichten kombiniert werden. Im Trockenverfahren werden die Holzfasern mit Klebstoff besprüht und anschließend verpresst und getrocknet. Nach der Trocknung und einer eventuellen Verklebung werden die Platten zugeschnitten und nach Bedarf die Plattenränder gefräst.

HFDP können in Gebäuden in verschiedenen Bauteilen zum Einsatz kommen. In Dächern werden HFDP als Unterdeckplatten alternativ zur Unterspannbahn direkt durch die Konterlattung auf den Sparren befestigt. Als zusätzliche Dämmung in Dächern ist eine Zwischensparren- und Aufsparrendämmung mit Dämmplatten möglich. Im Vergleich mit Unterdeckplatten besitzen Dämmplatten eine niedrigere Rohdichte und eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit.

In Wänden können HFDP als Unterdeckplatten in hinterlüfteten Fassaden oder als Wärmedämmverbundplatten eingesetzt werden. Dabei wird der Außenputz in zwei Schichten direkt auf die Wärmedämmverbund-

platte aufgetragen. In **Bild 1** sind die Einsatzmöglichkeiten von HFDP dargestellt.



**Bild 1 Einsatzmöglichkeiten von HFDP**

Für die Bestimmung der tragfähigkeitsrelevanten Eigenschaften von HFDP wurden Unterdeckplatten, Wärmedämmverbundplatten und Dämmplatten von unterschiedlichen Herstellern ausgewählt. Die Nennrohdichten der HFDP lagen in einem Bereich von  $110 \text{ kg/m}^3 - 270 \text{ kg/m}^3$ . Die Rohdichte und der Feuchtegehalt der untersuchten Platten wurden ermittelt. Auf Grundlage der ermittelten Rohdichtewerte wird für Unterdeckplatten eine charakteristische Rohdichte  $\rho_k = 200 \text{ kg/m}^3$ , für Wärmedämmverbundplatten eine charakteristische Rohdichte  $\rho_k = 150 \text{ kg/m}^3$  und für Dämmplatten eine charakteristische Rohdichte  $\rho_k = 100 \text{ kg/m}^3$  vorgeschlagen. Der Feuchtegehalt der untersuchten Platten lag zwischen 7,3 % und 10,3 %.

### 3 Nachweise von Wandtafeln

#### 3.1 Allgemeines

Gebäude können durch Scheiben (Wände, Decken und Dächer) gegen horizontale Lasten wie z.B. Wind- oder Erdbebenlasten aussteift werden. Die Konstruktion der aussteifenden Scheiben kann in Gebäuden aus Holz in Holztafelbauweise erfolgen. Die scheibenartig beanspruchten Tafeln müssen hierfür an allen Rändern durch Randrippen begrenzt werden. Neben den Randrippen besitzen Tafeln randparallele Innenrippen in einem regelmäßigen Abstand. Die einwirkenden Lasten werden über die Kopfrippe in die Beplankung eingeleitet und über die Fußrippe in die angrenzenden Bauteile weitergeleitet. Die Beplankung von Wänden besteht i.d.R. aus über die volle Höhe gehenden Platten. Vertikale Plattenstöße werden auf den Rippen angeordnet. In einem möglichen horizontalen Stoß ist der Schubfluss über ein Stoßholz oder ggf. mit Wellennägeln weiterzuleiten. Freie Plattenränder quer zu den Innenrippen sind in Dach- und Deckentafeln möglich, wenn bestimmte Bedingungen eingehalten sind (s. [1]). Der Verbund zwischen Beplankung und Rippen wird durch einen Schubfluss in Richtung der Stabachsen und ggf. durch einen zusätzlichen Schubfluss rechtwinklig zu den Stabachsen der Rippen beansprucht. Die Verbindungsmittel, die den Schubfluss zwischen Beplankung und Rippe übertragen, sind in einem regelmäßigen Abstand anzuordnen. In Scheiben aus einzelnen Tafel-elementen ist die Übertragung des Schubflusses zu ermöglichen. Die Beplankung kann bislang mit OSB, Spanplatten, Brettsperholz oder Gipskartonplatten ausgeführt werden. Der Nachweis der Tragfähigkeit der Tafel kann nach DIN 1052:2004 erfolgen.

#### 3.2 Nachweis der Tragfähigkeit nach DIN 1052:2004

Für die Bemessung von Wandtafeln ist nach DIN 1052:2004 u.a. der Nachweis des Schubflusses nach Gleichung (1) zu führen:

$$\frac{s_{v,0,d}}{f_{v,0,d}} \leq 1 \quad (1)$$

mit

$s_{v,0,d}$  Bemessungswert des Schubflusses der Beplankung

$f_{v,0,d}$  Bemessungswert der längenbezogenen Schubfestigkeit der Beplankung

Der Bemessungswert der längenbezogenen Schubfestigkeit berücksichtigt ein Versagen der Verbindung, ein Schubversagen der Beplankung sowie ein mögliches Beulen der Beplankung und ist nach Gleichung (2) zu berechnen:

$$f_{v,0,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_{v1} \cdot \frac{R_d}{a_v} \\ k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_{v,d} \cdot t \\ k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_{v,d} \cdot 35 \cdot \frac{t^2}{a_r} \end{array} \right\} \quad (2)$$

mit

$k_{v1}$  Beiwert zur Berücksichtigung der Anordnung und Verbindungsart der Platten

$k_{v2}$  Beiwert zur Berücksichtigung der Zusatzbeanspruchung

$R_d$  Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels auf Abscheren

$a_v$  Abstand der Verbindungsmittel untereinander

$f_{v,d}$  Bemessungswert der Schubfestigkeit der Platten

$t$  Dicke der Platten

$a_r$  Abstand der Rippen

Dabei gilt für den Beiwert  $k_{v1}$ :

$k_{v1} = 1,0$  für Tafeln mit allseitig schubsteif verbundenen Plattenrändern

$k_{v1} = 0,66$  für Tafeln mit nicht allseitig schubsteif verbundenen Plattenrändern

Für den Beiwert  $k_{v2}$  gilt:

$k_{v2} = 0,33$  bei einseitiger Beplankung

$k_{v2} = 0,5$  bei beidseitiger Beplankung

In den Nachweis von mit HFDP beplankten Tafeln gehen die Schubfestigkeit von HFDP und die Tragfähigkeit von Holz-HFDP-Verbindungen ein. Die Schubfestigkeiten von HFDP wurden in Versuchen mit verschiedenen HFDP ermittelt. Die Tragfähigkeit der Holz-HFDP-Verbindung auf Abscheren kann in Abhängigkeit der Geometrie der Verbindung, des Fließmomentes des Verbindungsmittels und der Lochleibungsfestigkeiten der verbundenen Holzwerkstoffe nach DIN 1052:2004 berechnet werden.

In Zugscherversuchen mit Breitückenklammern wurde ein Rückendurchziehen der Breitückenklammer in die HFDP beobachtet. Daher wird für die Berechnung der Tragfähigkeit der Einhängeeffekt der Breitückenklammer berücksichtigt. Der Einhängeeffekt wird in Abhängigkeit des Ausziehparameters und des Kopfdurchziehparameters berechnet. Für die Ermittlung der Tragfähigkeit von Holz-HFDP-Verbindungen wurden die Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in HFDP und die Rückendurchziehtragfähigkeit von Breitückenklammern in HFDP experimentell ermittelt.

### 3.3 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

In DIN 1052:2004 wird für Wandtafeln unter vertikaler Beanspruchung als Grenzwert für die horizontale Verformung der aussteifenden Bauteile im Grenzzustand der Tragfähigkeit ein Grenzwert von  $h/100$  festgelegt. Für die Steifigkeitskennwerte und den Verschiebungsmodul der Verbindung sind die durch den Teilsicherheitsbeiwert dividierten Werte zu verwenden. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist als Grenzwert in der charakteristischen (seltenen) Bemessung

sungssituation der Grenzwert  $h/150$  einzuhalten. Hierbei werden die Mittelwerte der Steifigkeitskennwerte verwendet.

Die Verformung einer Wandtafel unter einer horizontalen Beanspruchung kann nach [2] abgeschätzt werden. Die Gesamtverformung setzt sich aus vier Anteilen zusammen. Der Verformungsanteil durch die Beanspruchung der Verbindungsmittel kann nach Gleichung (3) berechnet werden.

$$u_{K,inst} = (2\ell + 2h) \cdot \frac{a_v}{K_{ser} \cdot \ell^2} \cdot F = \frac{1}{K_K} \cdot F \quad (3)$$

mit

$F$  horizontale Einwirkung

$\ell$  Länge der Wandtafel

$h$  Höhe der Wandtafel

$a_v$  Abstand der Verbindungsmittel

$K_{ser}$  Verschiebungsmodul der Verbindungsmittel

Der Verformungsanteil aus der Schubbeanspruchung der Beplankung wird nach Gleichung (4) berechnet:

$$u_{G,inst} = \frac{F}{G \cdot t} \cdot \frac{h}{\ell} = \frac{1}{K_G} \cdot F \quad (4)$$

mit

$G$  Schubmodul der Beplankung

$t$  Dicke der Beplankung

Der Verformungsanteil aus der Normalkraftbeanspruchung der Randrippen errechnet sich zu:

$$u_{E,inst} = \frac{2}{3} \frac{F}{E_0 A} \left( \ell + \frac{h^2}{l^2} \cdot h \right) = \frac{1}{K_E} \cdot F \quad (5)$$

mit

$E_0$  Elastizitätsmodul der Rippe

$A$  Querschnittsfläche der Rippe

Der Verformungsanteil der Wandtafel aus Querdruck wird nach Gleichung (6) berechnet:

$$u_{v,inst} = v_{90} \cdot \frac{h}{\ell} \cdot \frac{\sigma_{c,90,k}}{1,2 \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,k} \cdot k_{mod}} = v_{90} \cdot \frac{h^2}{\ell^2} \cdot \frac{F}{1,2 \cdot A_{ef} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,k} \cdot k_{mod}} = \frac{1}{K_v} \cdot F \quad (6)$$

mit

$v_{90}$  Querdruckverformung

$\sigma_{c,90,k}$  Querdruckspannung

$A_{ef}$  Wirksame Querdruckfläche

$k_{c,90}$  Querdruckbeiwert

$f_{c,90,k}$  charakteristische Querdruckfestigkeit

$k_{mod}$  Modifikationsbeiwert

Für die Querdruckverformung  $v_{90}$  darf bei voller Auslastung der Kontaktfläche  $v_{90} = 1$  mm angenommen werden.

Die Gesamtverformung der Tafel ist die Summe der Einzelanteile:

$$u_{ges} = u_{K,inst} + u_{G,inst} + u_{E,inst} + u_{v,inst} = \frac{1}{K_K} F + \frac{1}{K_G} F + \frac{1}{K_E} F + \frac{1}{K_v} F = \frac{1}{K_{ges}} F \quad (7)$$

Damit kann die Gesamtsteifigkeit der Tafel formuliert werden als:

$$\frac{1}{K_{ges}} = \frac{1}{K_K} + \frac{1}{K_G} + \frac{1}{K_E} + \frac{1}{K_v} \quad (8)$$

mit

$$K_K = \frac{K_{ser}}{a_v} \cdot \frac{\ell^2}{(2\ell + 2h)} \quad K_E = \frac{3E_0 A}{2 \left( \ell + \frac{h^2}{l^2} \cdot h \right)}$$

$$K_G = G \cdot t \cdot \frac{\ell}{h} \quad K_v = \frac{1,2 \cdot A_{ef} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,k} \cdot k_{mod} \cdot \ell^2}{v_{90} \cdot h^2}$$

Die rechnerische Gesamtsteifigkeit kann der Steifigkeit aus den Versuchen mit Wandscheiben gegenübergestellt werden.

#### 4 Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in HFDP

Während die Lochleibungsfestigkeit für Hartfaserplatten nach DIN 1052:2004 in Abhängigkeit der Rohdichte und der Plattendicke berechnet werden kann, liegen für HFDP bislang keine Werte für die Lochleibungsfestigkeit vor. In Versuchen wurden die Lochleibungsfestigkeiten von Nägeln mit fünf unterschiedlichen Durchmessern in den ausgewählten HFDP ermittelt. Hierbei wird der Nagel in die Probe eingeschlagen und bis zu einer festgelegten Verschiebung belastet. Die Lochleibungsfestigkeit wird aus der Maximallast in Abhängigkeit des Nageldurchmessers und der Proben dicke berechnet. In **Bild 2** ist die Versuchsdurchführung dargestellt.



Bild 2 Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit von HFDP

Die mittlere Lochleibungsfestigkeit von HFDP kann in Abhängigkeit des Durchmessers und der Rohdichte nach Gleichung (9) berechnet werden. In **Bild 3** sind die Versuchsergebnisse den mit Gleichung (9) berechneten Werten gegenübergestellt.

$$f_h = 18,3 \cdot 10^{-5} \cdot \rho^{2,04} \cdot d^{-0,74} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (9)$$

mit

$\rho$  Mittlere Rohdichte in  $\text{kg/m}^3$

$d$  Durchmesser in mm

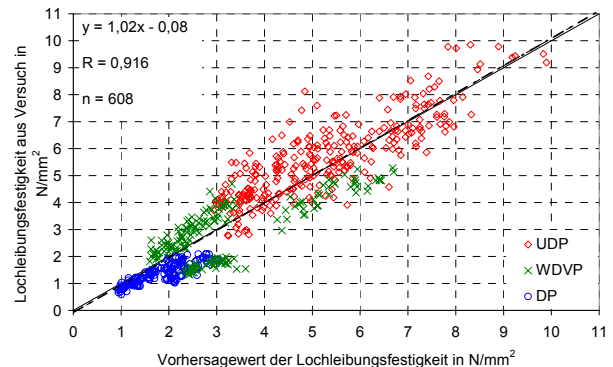


Bild 3 Versuchsergebnisse über Vorhersagewert der Lochleibungsfestigkeit

Die charakteristische Lochleibungsfestigkeit kann unter Berücksichtigung der jeweiligen charakteristischen Rohdichte in Abhängigkeit des Durchmessers für Unterdeckplatten (UDP), Wärmedämmverbundplatten (WDVP) und Dämmplatten (DP) nach den Gleichungen (10) – (12) berechnet werden:

$$\text{UDP} \quad f_{h,k} = 8,88 \cdot d^{-0,75} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (10)$$

$$\text{WDVP} \quad f_{h,k} = 4,25 \cdot d^{-0,75} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (11)$$

$$\text{DP} \quad f_{h,k} = 1,57 \cdot d^{-0,75} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (12)$$

mit

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

#### 5 Ermittlung der Rückendurchziehtragfähigkeit von Klammern in HFDP

In weiteren Versuchen wurde die Rückendurchziehtragfähigkeit von Breitückenklammern in Unterdeck-

platten und Wärmedämmverbundplatten ermittelt. Die Rückendurchziehtragfähigkeit entspricht der im Versuch ermittelten Maximallast. In **Bild 4** ist die Versuchsdurchführung zur Ermittlung der Rückendurchziehtragfähigkeit dargestellt. Die mittlere Rückendurchziehtragfähigkeit kann nach Gleichung (13) berechnet werden. In **Bild 5** sind die mit Gleichung (13) berechneten Werte den Versuchsergebnissen gegenübergestellt.

$$R_{ax,2} = 0,040 \cdot \rho^{1,17} \cdot t^{0,95} \quad \text{in N} \quad (13)$$

mit

$\rho$  Rohdichte der HFDP in  $\text{kg/m}^3$

$t$  Dicke der HFDP in mm



Bild 4 Ermittlung der Rückendurchziehtragfähigkeit

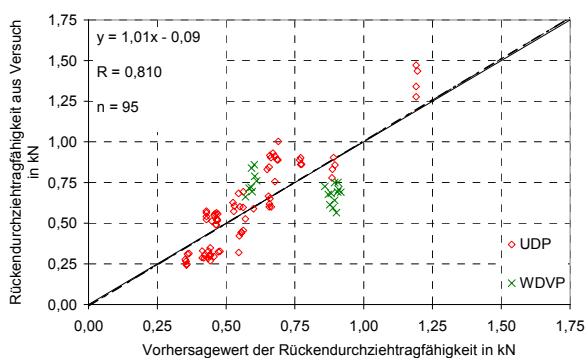


Bild 5 Versuchsergebnisse über Vorhersagewert der Rückendurchziehtragfähigkeit

Die charakteristische Rückendurchziehtragfähigkeit kann nach Gleichung (14) berechnet werden:

$$R_{ax,2,k} = 0,032 \cdot \rho_k^{1,17} \cdot t^{0,95} \quad \text{in N} \quad (14)$$

mit

$\rho_k$  Char. Rohdichte der HFDP in  $\text{kg/m}^3$

Die Tragfähigkeit auf Herausziehen des Klammerschaftes aus Vollholz kann nach DIN 1052:2004 berechnet werden. Die Befestigung der HFDP mit Nägeln oder Schrauben erfolgt durch die Konterlattung hindurch. Die Herausziehtragfähigkeit und die Kopfdurchziehtragfähigkeit für Nägel und Schrauben können nach DIN 1052:2004 berechnet werden. Die Ermittlung der Tragfähigkeit kann nach der Johansen-Theorie unter Berücksichtigung der außen angeordneten Konterlattung erfolgen.

## 6 Erweiterung der Johansen-Theorie

Die Tragfähigkeit der Holz-HFDP-Verbindung mit mechanischen Verbindungsmittel kann im Allgemeinen nach der Johansen-Theorie berechnet werden. Für die Befestigung der HFDP auf der Holzunterkonstruktion durch die Konterlattung hindurch können sich die Versagensmechanismen G.3 und G.5 nach DIN 1052:2004 nicht einstellen. Die Erhöhung der Tragfähigkeit durch die außen liegende Konterlattung kann durch eine Erweiterung der Gleichungen G.3 und G.5 berücksichtigt werden. Die Gleichungen zur Berechnung der Tragfähigkeiten lassen sich durch das Aufstellen und Lösen des Kräfte- und Momentengleichgewichtes herleiten (s. **Bild 6** und **Bild 7**). Die erweiterten Berechnungsgleichungen sind in den Gleichungen (15) und (16) angegeben.

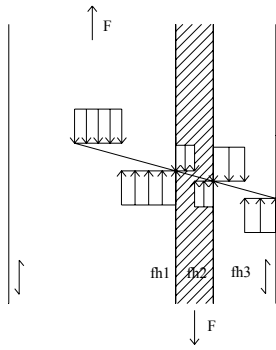


Bild 6 Versagensmechanismus G.3 mit Konterlatte

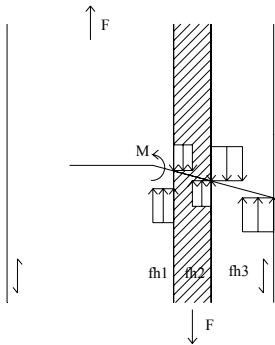


Bild 7 Versagensmechanismus G.5 mit Konterlatte

$$R = \frac{f_{h1} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta_2} \sqrt{\beta_2 + 2\beta_2^2 \left[ 1 + \left( \frac{t_2}{t_1} \right) + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta_2^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 + \beta_2 \cdot \beta_3 (1 + \beta_2) \left( \frac{t_3}{t_1} \right)^2 - \beta_2 \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right)} \quad (15)$$

$$R = \frac{f_{h1} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta_2} \sqrt{2\beta_2^2 (1 + \beta_2) + \frac{4\beta_2 (1 + 2\beta_2) M_y}{f_{h1} \cdot d \cdot t_2^2} + \beta_2 \cdot \beta_3 (1 + 2\beta_2) \left( \frac{t_3}{t_2} \right)^2 - \beta_2} \quad (16)$$

mit

$t_3$  Dicke der Konterlatte in mm

$f_{h3}$  Lochleibungsfestigkeit der Konterlatte in  $\text{N/mm}^2$

$$\beta_2 = \frac{f_{h2}}{f_{h1}} \quad \beta_3 = \frac{f_{h3}}{f_{h1}}$$

Zur Verifizierung der Grundlagenversuche und zur Ermittlung von Verschiebungsmodul von Holz-HFDP-Verbindungen wurden Zugscherversuche durchgeführt. Hierfür wurden Zugscherkörper mit Nägeln, Klammern und Breitrückensklammern hergestellt. Die Befestigung der HFDP auf der Holzunterkonstruktion mit Nägeln und Klammern erfolgte durch die Konterlattung hindurch. Die Breitrückensklammern wurden direkt in die HFDP eingebracht. Ein Versuchskörper mit Konterlattung und Nägeln im Versuchsaufbau ist in **Bild 8** dargestellt.

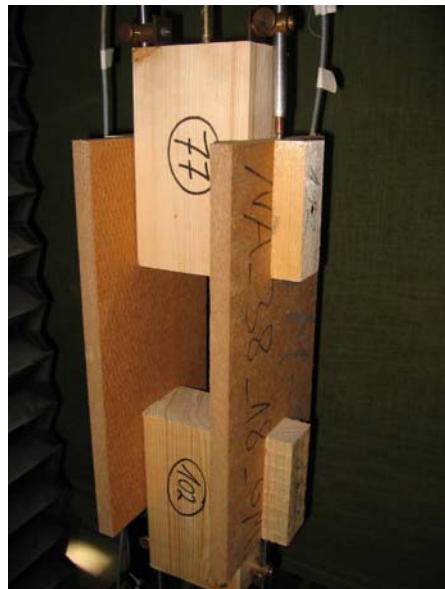


Bild 8 Versuchskörper im Zugscherversuch zur Ermittlung der Verschiebungsmodul

Der Verschiebungsmodul von Holz-HFDP-Verbindungen kann nach Gleichung (17) abgeschätzt werden:

$$K_{ser} = 1,25 \cdot \rho_{HFDP}^{0,8} \cdot \rho_{VH}^{0,3} \cdot t_{HFDP}^{-0,32} \cdot d^{1,29} \quad \text{in N/mm} \quad (17)$$

mit

$\rho_{HFDP}$  Mittlere Rohdichte der HFDP in  $\text{kg/m}^3$

$\rho_{VH}$  Mittlere Rohdichte des VH in  $\text{kg/m}^3$

$t_{HFDP}$  Dicke der HFDP in mm

$d$  Durchmesser des VM in mm

## 7 Ermittlung der Schubfestigkeiten und Schubmoduln von HFDP

In DIN 1052:2004 werden für Hartfaserplatten und mitteldichte Faserplatten Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte angegeben. Für HFDP liegen bislang keine Werte für die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften in Plattenebene vor. In Versuchen wurden die Schubfestigkeiten und Schubmoduln der ausgewählten HFDP ermittelt. Hierfür wurden aus den Platten Proben ausgeschnitten und mit Seitenhölzern verstärkt. In **Bild 9** ist ein Versuchskörper im Versuchsaufbau dargestellt.



Bild 9 Ermittlung der Schubfestigkeit und der Schubmoduln

Die Schubfestigkeit wird aus der Maximallast in Abhängigkeit der Geometrie der Probe bestimmt. Die mittlere Schubfestigkeit von HFDP kann in Abhängigkeit der Rohdichte nach Gleichung (18) abgeschätzt werden. In **Bild 10** sind die mit Gleichung (18) berechneten Werte den Versuchsergebnissen gegenübergestellt.

$$f_v = 1,30 \cdot 10^{-6} \cdot \rho^{2,39} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (18)$$

mit

$\rho$  Mittlere Rohdichte der HFDP in  $\text{kg/m}^3$

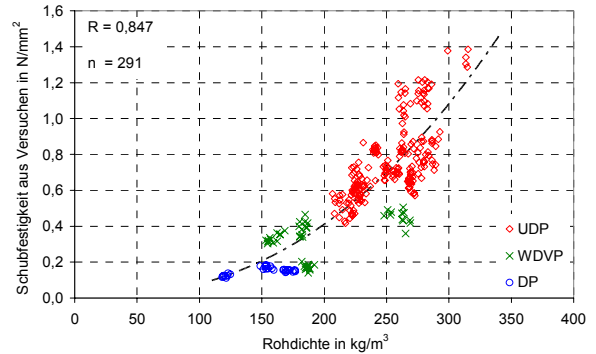


Bild 10 Schubfestigkeit über Rohdichte

Für die Bestimmung charakteristischer Werte der Schubfestigkeit und der Schubmoduln wurden die ausgewählten HFDP in vier Gruppen eingeteilt: UDP mit  $t \leq 22$  mm, UDP mit  $t > 22$  mm, homogen aufgebaute WDVP sowie kombiniert aufgebaute WDVP und DP. Die ermittelten charakteristischen Schubtragfähigkeiten und Schubmoduln sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 Kennwerte von HFDP

HFDP	$\rho_k$	$f_{v,k}$	$G_{\text{mean}}$
UDP $t \leq 22$ mm	200	0,6	350
UDP $t > 22$ mm	200	0,4	300
WDVPh	150	0,3	300
WDVPh / DP	150 / 100	0,1	250

## 8 Versuche mit Wandscheiben

### 8.1 Berechnung der Tragfähigkeit der Wandscheiben

Zum Vergleich der Ergebnisse der Wandscheibenversuche mit den Vorversuchen wird für zwei Wandscheiben beispielhaft die mittlere Tragfähigkeit in Anlehnung an DIN 1052:2004 berechnet. Im Nachweisformat muss die Berechnung der charakteristi-



schen Tragfähigkeit mit den charakteristischen Werten durchgeführt werden. Für die Berechnung werden zwei Möglichkeiten vorgestellt. Die erste Möglichkeit (a) baut auf den Ergebnissen der Vorversuche auf. Die Tragfähigkeit der Holz-HFDP-Verbindung und die Schubfestigkeit wurden in Versuchen ermittelt und können direkt in die Berechnung der längenbezogenen Schubfestigkeit übernommen werden. Damit kann relativ schnell die erwartete Tragfähigkeit der Wandscheibe berechnet werden. Die zweite Möglichkeit (b) geht von der Nennrohdichte der HFDP aus und ermittelt die grundlegenden tragfähigkeitsrelevanten Größen in Abhängigkeit der Nennrohdichte nach den vorgestellten Gleichungen. Im Folgenden werden die beiden Möglichkeiten an zwei Beispielen erläutert.

#### a) Berechnung auf Grundlage der Ergebnisse der Vorversuche

Die Tragfähigkeit der Verbindung VH – HFDP und die Schubfestigkeit der HFDP wurden in Vorversuchen bestimmt.

Länge der Wandscheibe:  $\ell = 630 \text{ mm}$

Dicke der HFDP:  $t = 36 \text{ mm}$

Abstand der Verbindungsmittel:  $a_v = 100 \text{ mm}$

Plattenränder der Tafel allseitig schubsteif verbunden:  
 $k_{v1} = 1,0$

Beidseitige Beplankung:  $k_{v2} = 0,5$

Mittlere Tragfähigkeit der Verbindung VH – HFDP:  
 $F = 758 \text{ N}$

Mittlere Schubfestigkeit der HFDP:  $f_v = 0,71 \text{ N/mm}^2$

Mittlere längenbezogene Schubfestigkeit (Verbindungsmittel):

$$f_{v,0,VM} = k_{v1} \cdot \frac{F}{a_v} = 1,0 \cdot \frac{758}{100} = 7,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Mittlere längenbezogene Schubfestigkeit (Schubfestigkeit Beplankung):

$$f_{v,0,fv} = k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_v \cdot t = 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,71 \cdot 36 = 12,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Mittlere längenbezogene Schubfestigkeit (Beulen):

$$f_{v,0,Beulen} = k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_v \cdot 35 \cdot \frac{t^2}{a_v} = 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,71 \cdot 35 \cdot \frac{36^2}{630} = 25,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Maßgebende mittlere längenbezogene Schubfestigkeit:

$$f_{v,0} = f_{v,0,VM} = 7,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Mittlere Tragfähigkeit der Wandscheibe:

$$R_{v,0} = 2 \cdot f_{v,0} \cdot \ell = 2 \cdot 7,58 \cdot 630 = 9,55 \text{ kN}$$

Die Berechnung der Tragfähigkeit der Wandscheiben auf Grundlage der Vorversuche und die zugehörigen Versuchsergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

#### b) Berechnung auf Grundlage der Nennrohdichte

Für eine weitere HFDP, die in den Vorversuchen nicht untersucht wurde, wird die Tragfähigkeit der Wandscheibe in Abhängigkeit der Nennrohdichte berechnet.

Länge der Wandscheibe:  $\ell = 630 \text{ mm}$

Dicke der HFDP:  $t = 60 \text{ mm}$

Abstand der Verbindungsmittel:  $a_v = 100 \text{ mm}$

Durchmesser des Klammerschaftes:  $d = 2 \text{ mm}$

Länge der Klammer:  $\ell = 100 \text{ mm}$

Nennrohdichte der HFDP:  $\rho_{\text{HFDP}} = 250 \text{ kg/m}^3$

Mittlere Rohdichte der Kopfrippe:  $\rho_{\text{VH}} = 441 \text{ kg/m}^3$

Mittlere Zugfestigkeit Klammer:  $f_u = 781 \text{ N/mm}^2$

Plattenränder der Tafel allseitig schubsteif verbunden:

$$k_{v1} = 1,0$$

Beidseitige Beplankung:  $k_{v2} = 0,5$

Mittlere Lochleibungsfestigkeit HFDP:

$$f_{h,HFDP} = 18,3 \cdot 10^{-5} \cdot \rho^{2,04} \cdot d^{-0,74} = 18,3 \cdot 10^{-5} \cdot 250^{2,04} \cdot 2^{-0,74} = 8,54 \frac{N}{mm^2}$$

Mittlere Lochleibungsfestigkeit VH:

$$f_{h,VH} = 0,082 \cdot \rho \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 441 \cdot 2^{-0,3} = 29,4 \frac{N}{mm^2}$$

Mittleres Fließmoment der Klammer:

$$M_y = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 781 \cdot 2^{2,6} = 1421 \text{ Nmm}$$

Ermittlung der lateralen Tragfähigkeit der Verbindung:

$$f_{h,1} = 8,54 \frac{N}{mm^2} \quad f_{h,2} = 29,4 \frac{N}{mm^2} \quad \beta = 3,44$$

$$t_1 = 60 \text{ mm} \quad t_2 = 40 \text{ mm} \quad M_y = 1421 \text{ Nmm}$$

G.1  $R = f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d = 8,54 \cdot 60 \cdot 2 = 1025 \text{ N}$

G.2  $R = f_{h,1} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta = 8,54 \cdot 40 \cdot 2 \cdot 3,44 = 2350 \text{ N}$

G.3 
$$R = \frac{f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right)}$$

$$= \frac{8,54 \cdot 60 \cdot 2}{1 + 3,44} \sqrt{3,44 + 2 \cdot 3,44^2 \left[ 1 + \frac{40}{60} + \left( \frac{40}{60} \right)^2 \right] + 3,44^3 \left( \frac{40}{60} \right)^2 - 3,44 \left( 1 + \frac{40}{60} \right)}$$

= 628 N

$$R = \frac{f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_y}{f_{h,1} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$$

G.4 
$$= \frac{8,54 \cdot 60 \cdot 2}{2 + 3,44} \left[ \sqrt{\frac{2 \cdot 3,44 \cdot (1 + 3,44) + 4 \cdot 3,44 \cdot (2 + 3,44) \cdot 1421}{8,54 \cdot 2 \cdot 60^2}} - 3,44 \right]$$

= 422 N

G.5 
$$R = \frac{f_{h,1} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_y}{f_{h,1} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right]$$

$$= \frac{8,54 \cdot 40 \cdot 2}{1 + 2 \cdot 3,44} \left[ \sqrt{\frac{2 \cdot 3,44^2 (1 + 3,44) + 4 \cdot 3,44 \cdot (1 + 2 \cdot 3,44) \cdot 1421}{8,54 \cdot 2 \cdot 40^2}} - 3,44 \right]$$

= 614 N

G.6 
$$R = \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_y \cdot f_{h,1} \cdot d}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 3,44}{1 + 3,44}} \cdot \sqrt{2 \cdot 1421 \cdot 8,54 \cdot 2} = 274 \text{ N}$$

$$R_{kl} = 2 \cdot \min \{ R_{G,1}; R_{G,2}; R_{G,3}; R_{G,4}; R_{G,5}; R_{G,6} \}$$

$$= 2 \cdot 274 \text{ N} = 548 \text{ N}$$

Ermittlung der axialen Tragfähigkeit der Verbindung:

$$R_{ax,1} = 2 \cdot f_1 \cdot d \cdot \ell_{ef}$$

$$= 2 \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot 441^2 \cdot 2 \cdot 40 = 1245 \text{ N}$$

$$R_{ax,2} = 0,040 \cdot \rho_{HFDP}^{1,17} \cdot t^{0,95}$$

$$= 0,040 \cdot 250^{1,17} \cdot 60^{0,95} = 1250 \text{ N}$$

$$R_{ax,kl} = \min \{ R_{ax,1}; R_{ax,2} \} = \min \{ 1245; 1250 \} = 1245 \text{ N}$$

Erhöhung der lateralen Tragfähigkeit:

$$\Delta R = \min \{ 0,5 \cdot R; 0,25 \cdot R_{ax} \} =$$

$$\min \{ 0,5 \cdot 548; 0,25 \cdot 1245 \} = 274 \text{ N}$$

Gesamttragfähigkeit der Verbindung:

$$R = R + \Delta R = 548 + 274 = 822 \text{ N}$$

Mittlere Schubfestigkeit der Beplankung:

$$f_v = 1,30 \cdot 10^{-6} \cdot \rho^{2,39} = 1,30 \cdot 10^{-6} \cdot 250^{2,39} = 0,70 \frac{N}{mm^2}$$

Mittlere längenbezogene Schubfestigkeit (Verbindungsmittel):

$$f_{v,0,VM} = k_{v1} \cdot \frac{R}{a_v} = 1,0 \cdot \frac{822}{100} = 8,22 \frac{N}{mm}$$

Mittlere längenbezogene Schubfestigkeit (Schubfestigkeit Beplankung):

$$f_{v,0,fv} = k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_v \cdot t = 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,70 \cdot 60 = 21,0 \frac{N}{mm}$$

Mittlere längenbezogene Schubfestigkeit (Beulen):

$$f_{v,0,Beulen} = k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_v \cdot 35 \cdot \frac{t^2}{a_r} = 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,70 \cdot 35 \cdot \frac{60^2}{630} = 70,0 \frac{N}{mm}$$

Maßgebende mittlere längenbezogene Schubfestigkeit:

$$f_{v,0} = f_{v,0,VM} = 8,22 \frac{N}{mm}$$

Mittlere Tragfähigkeit der Wandscheibe:

$$R_{v,0} = 2 \cdot f_{v,0} \cdot \ell = 2 \cdot 8,22 \cdot 630 = 10,4 \text{ kN}$$

Die Berechnung der Tragfähigkeit der Wandscheiben auf Grundlage der Nennrohrdicke und die Versuchsergebnisse der Wandscheibenversuche sind in Tabelle 3 zusammengestellt. In **Bild 13** sind die nach den beiden vorgestellten Möglichkeiten berechneten Tragfähigkeiten den Versuchsergebnissen gegenübergestellt.

## 8.2 Berechnung der Steifigkeit der Wandscheiben

Die Steifigkeit von Wandscheiben kann nach den oben genannten Formeln berechnet werden.

Länge der Wandscheibe:  $\ell = 630 \text{ mm}$

Höhe der Wandscheibe:  $h = 2390 \text{ mm}$

Dicke der HFDP:  $t = 36 \text{ mm}$

Abstand der Verbindungsmittel:  $a_v = 100 \text{ mm}$

Breite der Rippen  $b' = 100 \text{ mm}$

Höhe der Rippen  $h' = 120 \text{ mm}$

Mittlerer Schubmodul der HFDP  $G = 172 \text{ N/mm}^2$

Mittlerer Verschiebungsmodul der Verbindung VH – HFDP  $K_{ser} = 690 \text{ N/mm}^2$

Mittlerer E-Modul der Rippen  $E = 12452 \text{ N/mm}^2$

Angenommene mittlere Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faser der Fußrippe  $f_{c,90} = 4 \text{ N/mm}^2$

Beiwert  $k_{c,90} = 1,25$

$$K_K = \frac{K_{ser} \cdot \ell^2}{(2\ell + 2h) \cdot a_v} = \frac{690 \cdot 630^2}{(2 \cdot 630 + 2 \cdot 2390) \cdot 100} = 453 \frac{N}{mm}$$

$$K_G = \frac{G \cdot t \cdot \ell}{h} = \frac{172 \cdot 36 \cdot 630}{2390} = 1632 \frac{N}{mm}$$

$$K_E = \frac{3E_0A}{2 \left( \ell + \frac{h^2}{\ell^2} \cdot h \right)} = \frac{3 \cdot 12452 \cdot 100 \cdot 120}{2 \left( 630 + \frac{2390^2}{630^2} \cdot 2390 \right)} = 6399 \frac{N}{mm}$$

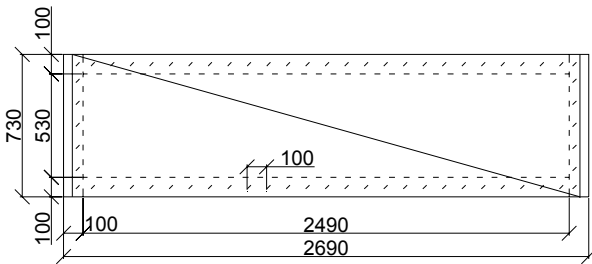
$$K_v = \frac{1,2 \cdot A_{ef} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90} \cdot k_{mod} \cdot \ell^2}{v_{90} \cdot h^2} = \frac{1,2 \cdot (100 + 30) \cdot 120 \cdot 1,25 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 630^2}{1 \cdot 2390^2} = 6504 \frac{N}{mm}$$

$$K_{ges} = \frac{2}{\frac{1}{K_K} + \frac{1}{K_G} + \frac{1}{K_E} + \frac{1}{K_v}} = \frac{2}{\frac{1}{453} + \frac{1}{1632} + \frac{1}{6399} + \frac{1}{6504}} = 0,639 \frac{kN}{mm}$$

Die Berechnung der Steifigkeiten der weiteren Wandscheiben ist in **Tabelle 4** zusammengestellt. In **Bild 14** sind die ermittelten Steifigkeiten den berechneten Steifigkeiten gegenübergestellt.

### 8.3 Versuche zur Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit von Wandscheiben

Zur Verifizierung der Ergebnisse der Grundlagenversuche wurden Versuche mit 16 bauteilgroßen Wandscheiben durchgeführt. Die Konstruktion der Wandscheiben ist in **Bild 11** gezeigt. Die Abmessungen wurden in Anlehnung an ein Standardelement eines am Vorhaben beteiligten Fertighausherstellers gewählt. Jeweils zwei Wandscheiben wurden miteinander verbunden und in einem Versuch geprüft. Die Versuchskörper wurden sowohl einseitig als auch beidseitig mit HFDP beplankt und umlaufend mit Breitrückensklammern ( $d = 2 \text{ mm}$ ) im Abstand von 100 mm befestigt. Ein Versuchskörper im Versuch ist in **Bild 12** dargestellt.



**Bild 11 Versuchskörper zur Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit von Wandscheiben**



**Bild 12 Versuchsaufbau zur Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit von Wandscheiben**

Für die Beplankung der Wandscheiben wurden sowohl HFDP verwendet, deren Trageigenschaften in Vorversuchen ermittelt wurden, als auch eine HFDP,

deren Eigenschaften über die Nennrohdichte und die bereits vorgestellten Gleichungen bestimmt wurden. In **Tabelle 2** und **Tabelle 3** sind die rechnerischen Tragfähigkeiten in Abhängigkeit der Ergebnisse der Vorversuche und die in den Versuchen ermittelten Tragfähigkeiten zusammengestellt. Rechnerisch wurde für die dickeren Platten die Verbindungsmitteltragfähigkeit und für die dünneren Platten die Schubtragfähigkeit maßgebend. In den Versuchen stellten sich zwei der drei möglichen Versagensmechanismen ein. Bei einer 18 mm dicken Platte kam es zu einem Schubversagen der Beplankung. Dieser Versagensmechanismus ist durch ein sprödes Versagen gekennzeichnet. Die restlichen Wandscheiben versagten durch Erreichen der Tragfähigkeit der Verbindung. Dieser Versagensmechanismus ist generell durch ein duktiles Verhalten gekennzeichnet. Ein Versuchskörper mit einer 18 mm dicken Beplankung versagte durch Rückendurchziehen der Verbindungsmittel. Dieser Versagensmechanismus ist wie das Schubversagen der Beplankung durch ein sprödes Verhalten gekennzeichnet. In **Tabelle 4** sind die berechneten Steifigkeiten und die ermittelten Steifigkeiten zusammengestellt. In **Bild 13** sind die berechneten Tragfähigkeiten den ermittelten Tragfähigkeiten gegenübergestellt, sowie in **Bild 14** die berechneten Steifigkeiten den ermittelten Steifigkeiten.

Durch die Versuche können die Ergebnisse der Vorversuche bestätigt werden. Die Tragfähigkeiten liegen über den mit den Mittelwerten vorhergesagten Werten. Damit kann die Bemessung von Wandtafeln nach den vorgestellten Bemessungsregeln erfolgen. In der Bemessung sollte ein duktiler Versagen angestrebt werden. Dieses kann durch dicke Platten und Verbindungsmittelversagen als maßgebendem Versagen erreicht werden.

Tabelle 2 Berechnung der Tragfähigkeit - 1

		1 - 36 - 1	1 - 36 - 2	1 - 18	2 - 18	3 - 18
$l = a_r$	mm	630	630	630	630	630
$t$	mm	36	36	18	18	18
$a_v$	mm	100	100	100	100	100
$k_{v1}$	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$k_{v2}$	-	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33
$F_{VM}$	N	758	758	669	815	650
$f_v$	N/mm <sup>2</sup>	0,71	0,71	0,70	1,08	0,62
$f_{v0, VM}$	N/mm	7,58	7,58	6,69	8,15	6,50
$f_{v0, fv}$	N/mm	12,8	8,43	4,16	6,42	3,68
$f_{v0, Beulen}$	N/mm	25,6	16,9	4,16	6,42	3,68
$f_{v0}$	N/mm	7,58	7,58	4,16	6,42	3,68
$R_{v0}$	kN	9,55	4,78	2,62	4,04	2,32
$F_{max}$	kN	10,9	5,14	4,34	5,42	3,68

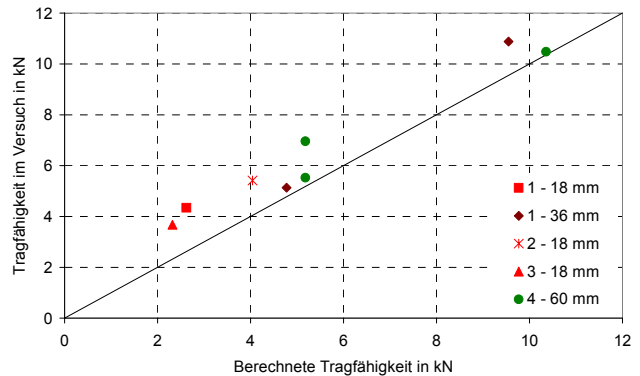


Bild 13 Berechnete Tragfähigkeit über Tragfähigkeit aus Versuch

Tabelle 3 Berechnung der Tragfähigkeit - 2

		4 - 60 - 1	4 - 60 - 2	4 - 60 - 3
$l = a_r$	mm	630	630	630
$t$	mm	60	60	60
$a_v$	mm	100	100	100
$d$	mm	2	2	2
$k_{v1}$	-	1,0	1,0	1,0
$k_{v2}$	-	0,50	0,33	0,33
$\rho_N$	kg/m <sup>3</sup>	250	250	250
$f_h$	N/mm <sup>2</sup>	8,54	8,54	8,54
$M_y$	Nmm	1421	1421	1421
$R_{VM, Joh.}$	N	548	548	548
$R_{ax, 2}$	N	1245	1245	1245
$R_{VM}$	N	822	822	822
$f_v$	N/mm <sup>2</sup>	0,70	0,70	0,70
$f_{v0, VM}$	N/mm	8,22	8,22	8,22
$f_{v0, fv}$	N/mm	21,0	13,9	13,9
$f_{v0, Beulen}$	N/mm	70,0	46,2	46,2
$f_{v0}$	N/mm	8,22	8,22	8,22
$R_{v0}$	kN	10,4	5,18	5,18
$F_{max}$	kN	10,5	5,53	6,96

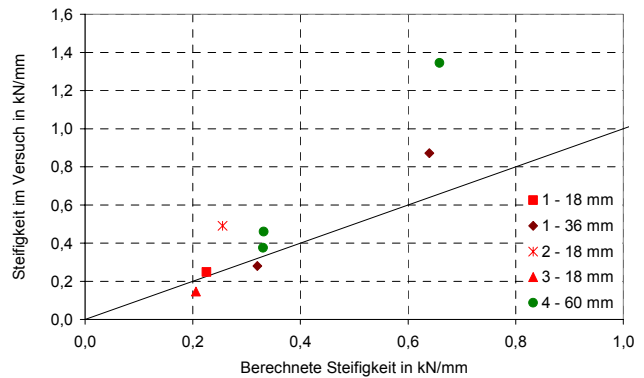


Bild 14 Berechnete Steifigkeit über Steifigkeit aus Versuch

Tabelle 4 Berechnung der Steifigkeit

		1 - 36 - 1	1 - 36 - 2	4 - 60 - 1	4 - 60 - 2	4 - 60 - 3	1 - 18	2 - 18	3 - 18
$t$	mm	36	36	60	60	60	18	18	18
$h$	mm	2390	2390	2590	2590	2590	2390	2390	2390
$l$	mm	630	630	630	630	630	630	630	630
$a_v$	mm	100	100	100	100	100	100	100	100
$b'$	mm	100	100	100	100	100	100	100	100
$h'$	mm	120	120	120	120	120	120	120	120
$G$	N/mm <sup>2</sup>	172	172	300	300	300	199	304	178
$K_s$	N/mm	690	690	661	661	661	499	528	446
$E$	N/mm <sup>2</sup>	12452	12747	14156	15440	16215	11521	10332	18458
$f_{c,90}$	N/mm <sup>2</sup>	4	4	4	4	4	4	4	4
$k_{c,90}$	-	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
$K_K$	N/mm	453	453	407	407	407	328	347	293
$K_E$	N/mm	6399	6551	5738	6259	6573	5921	5310	9486
$K_G$	N/mm	1632	1632	4378	4378	4378	944	1442	845
$K_V$	N/mm	6504	6504	5538	5538	5538	6504	6504	6504
$K$	kN/mm	0,639	0,320	0,658	0,331	0,332	0,226	0,255	0,206
$K_{Versuch}$	kN/mm	0,871	0,280	1,345	0,375	0,460	0,249	0,490	0,146

## 9 Zusammenfassung

Für die Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von HFDP als aussteifende Beplankung von Holztafeln wurden unterschiedliche Typen von HFDP von verschiedenen Herstellern ausgewählt. Die tragfähigkeitsrelevanten Eigenschaften von HFDP wurden in Versuchen ermittelt. In Grundlagenversuchen wurden die Schubfestigkeiten und die Schubmoduln von HFDP ermittelt. In weiteren Versuchen wurde die Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in HFDP ermittelt. Die Lochleibungsfestigkeit kann in Abhängigkeit der charakteristischen Rohdichte und des Durchmessers des Verbindungsmittels berechnet werden. Der Rückendurchziehewiderstand wurde für Bereitückenklammern in HFDP ermittelt und kann in Abhängigkeit der charakteristischen Rohdichte und der Plattendicke abgeschätzt werden. Mit Hilfe erweiterter Gleichungen der Johansen-Theorie kann die Tragfähigkeitserhöhung von Verbindungen unter Berücksichtigung der Konterlattung berechnet werden. In Zugscherversuchen wurden die Grundlagenversuche verifiziert und Verschiebungsmoduln für Holz-HFDP-Verbindungen bestimmt. Eine Abschätzung des Verschiebungsmoduls kann über die Rohdichten der verbundenen Baustoffe, den Durchmesser des Verbindungsmittels und die Plattendicke erfolgen. In abschließenden Wandscheibenversuchen wurde eine Übertragung der Einzelversuche auf Wandscheiben in Bauteilgröße bestätigt. Die Traglasten und Steifigkeiten von mit HFDP beplankten Wandscheiben stimmen mit den berechneten Werten überein. Somit kann die Tragfähigkeit von mit HFDP beplankten, aussteifenden Wandscheiben abgeschätzt werden. Durch den nun möglichen aussteifenden Einsatz können HFDP sowohl Aufgaben des Wärmeschutzes als auch der Aussteifung von Gebäuden übernehmen. Sie besitzen damit ein Alleinstellungsmerkmal gegenüber

anderen aussteifenden Holzwerkstoffplatten und weiteren Dämmstoffen.

## 10 Literatur

- [1] DIN 1052:2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregel für den Hochbau
- [2] Blaß, H. J.; Ehlbeck, J.; Kreuzinger, H.; Steck, G.: Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08, Hrsg.: DGfH Innovations- und Service GmbH, München; 2004, Bruderverlag, ISBN 3-87104-152-1