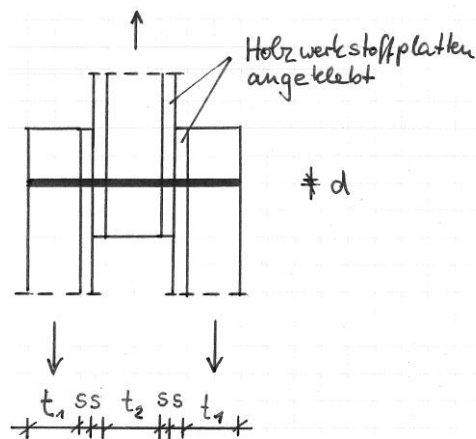


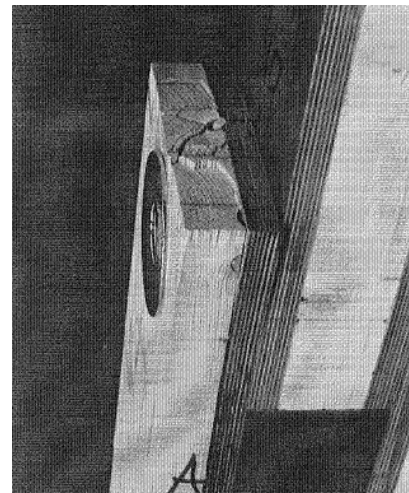
## Grundlagen

Die Tragfähigkeit einer Verbindung mit stiftförmigen Verbindungsmittel unter Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse (Abscheren) wird maßgeblich durch die Lochleibungsfestigkeit der anzuschließenden Holzbauteile bestimmt. D. h. werden die Holzbauteile verstärkt, lassen sich die Verbindungen in ihrer Tragfähigkeit steigern.

Eine Möglichkeit der Verstärkung der Holzbauteile besteht, wenn in den Scherfugen Holzwerkstoffplatten je Holzseite aufgeklebt werden (Abb. 1). Die Lochleibungsfestigkeit der Holzwerkstoffplatten z.B. Baufurniersperrholz aus Buche (BFU-BU), Kunstharzpressholz (KHP) oder Pressfurniersperrholz (PFU) ist um ein vielfaches höher als die der anzuschließenden Holzbauteile, so wird die Tragfähigkeit des Anschlusses wesentlich gesteigert und das Spalten der Hölzer der Verbindung wird verhindert.



(a)



(b)

Abb. 1: Stabdübelverbindung mit (a) Verstärkungen aus Holzwerkstoffplatten und (b) verdichtetem Sperrholz (D VW – densified veneer wood) [TU Dresden]

Für die Ermittlung der Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse (Abscheren) können die Bemessungswerte der Tragfähigkeit  $R_k$  je Scherfuge und Verbindungsmittel nach dem genaueren Nachweisverfahren in der DIN 1052:2008-12, Anhang G nicht ohne weiteres angewendet werden, da die Lochleibungsfestigkeit der Verstärkung dort nicht berücksichtigt wird. Die Grundlage für diese Gleichungen zur Berechnung der Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (VM) gehen auf die Arbeit von Johansen [1] zurück. Dabei darf für die Stifte unter Biegebeanspruchung und für das Holz und die Holzwerkstoffe unter Lochleibungsbeanspruchung ideal-plastisches Verhalten angenommen werden (DIN 1052:2008-12, Abschn. 12.2.1 (1)). Nach der Johansen-Theorie ist die Tragfähigkeit einer Verbindung mit Stiften erreicht, wenn die Lochleibungsspannungen in mindestens einem der verbundenen Bauteile die Lochleibungsfestigkeit erreichen und in bestimmten Fällen gleichzeitig Fließgelenke im Stift auftreten. Der Typ des Versagensmechanismus hängt von der Geometrie der Verbindung, dem Fließmoment des Stiftes und der Lochleibungsfestigkeit des Holzes bzw. der Holzwerkstoffe ab.

In Anlehnung an Johansen [1] hat Werner in [2] die rechnerischen Tragfähigkeiten von Holz-Holz und Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Verstärkungen aus Holzwerkstoffplatten hergeleitet und durch Versuche überprüft. Dabei können die zusätzlichen Systemeigenschaften einer Verbindungsart in einem Systemfaktor  $k_{sys}$  zusammengefasst werden. Bei Versagenskriterien, in denen nur das Lochleibungsversagen die Tragfähigkeit bestimmt, entfällt dieser Systemfaktor. Die Bemessung erfordert die Kenntnis der Lochleibungsfestigkeit der verschiedenen Baustoffe und der Biegetragfähigkeit des Verbindungsmittels. Mit diesen Gleichungen lassen sich nun Verbindungen mit angeklebten Holzwerkstoffplatten nachweisen.

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Fr. Schäcke	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de

## Ermittlung der Tragfähigkeit $R_d$ der verstärkten Verbindung

Nach Werner (1993) in [2] ergeben sich folgende Gleichungen für die Tragfähigkeit  $R_d$  bei Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse (Abscheren) pro Verbindungsmittel und Scherfuge. Dabei wurde für die untersuchten Holzwerkstoffplatten ein Systemfaktor von  $k_{sys} = 1,1$  zugrunde gelegt. Durch das Aufkleben von Holzwerkstoffplatten auf die Hölzer wird die Art der Stauchung unter dem Verbindungsmittel beeinflusst, so dass die charakteristische Lochleibungsfestigkeit der Hölzer um 10 % gegenüber den in DIN 1052:2008-12, Abschn. 12 angegebenen Werten erhöht werden kann.

Es gelten die Abkürzungen

- $t_1$  und  $t_2$      Dicke der Hölzer oder Eindringtiefe des Verbindungsmittel
- $s$                 Dicke der aufgeklebten Holzwerkstoffplatte
- $f_{h,1}$  und  $f_{h,2}$     Lochleibungsfestigkeiten der Hölzer in  $t_1$  bzw.  $t_2$
- $f_{h,s}$              Lochleibungsfestigkeit der aufgeklebten HWP
- $k_{sys}$             Systemfaktor

und die Substitutionen  $\beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}}$  und  $\eta = \frac{f_{h,s,d}}{f_{h,1,d}}$ .

Zur Vereinfachung der Gleichungen wird davon ausgegangen, dass jeweils gleiche Holzwerkstoffplatten rechts und links der Scherfuge aufgeklebt werden, dass sich also Dicke und Lochleibungsfestigkeit der HWP nicht unterscheiden. Dies stellt sicher auch den baupraktisch mit Abstand am häufigsten auftretenden Fall dar.

Dicke Stahlbleche liegen bei Blechdicken  $t \geq d$  und dünne Stahlbleche bei  $t \leq 0,5 d$  vor. Zwischen den Stahlblechdicken  $0,5 d \leq t \leq d$  ist linear zu interpolieren.

## Einschnittige Verbindungen (nach [2])

### Holz-Holz Verbindung

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d}{f_{h,2,d} \cdot t_2 \cdot d + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d} \\ \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \sqrt{\beta \left( 1 - 4 \cdot \eta \cdot \frac{s^2}{t_1^2} \right) + 2\beta^2 \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} + \frac{t_2^2}{t_1^2} + 4 \frac{s}{t_1} + 8 \frac{s^2}{t_1^2} + 4 \frac{s \cdot t_2}{t_1^2} - 2 \cdot \eta \cdot \frac{s^2}{t_1^2} \right) + \beta^3 \frac{t_2^2}{t_1^2}} \\ - \frac{\beta \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left( 1 + 4 \frac{s}{t_1} + \frac{t_2}{t_1} \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{sys} \cdot \frac{\beta \cdot f_{h,1,d} \cdot d}{2 + \beta} \left( \sqrt{(t_1 + 4s)^2 + \frac{2 + \beta}{\beta} \left( t_1^2 - 4 \cdot \eta \cdot s^2 + \frac{4M_{y,d}}{d \cdot f_{h,1,d}} \right)} - (t_1 + 4s) \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{sys} \cdot \frac{\beta \cdot f_{h,1,d} \cdot d}{1 + 2\beta} \left( \sqrt{(t_2 + 4s)^2 + (1 + 2\beta) \left( t_2^2 - 4 \cdot \eta \cdot s^2 + \frac{4M_{y,d}}{\beta \cdot d \cdot f_{h,1,d}} \right)} - (t_2 + 4s) \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{sys} \cdot \frac{2 \cdot \beta \cdot f_{h,1,d} \cdot d}{1 + \beta} \left( \sqrt{s^2 - \frac{1 + \beta}{2\beta} \left( \eta s^2 - \frac{2M_{y,d}}{d \cdot f_{h,1,d}} \right)} - s \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

### Stahlblech-Holz Verbindung; Blechdicke $t \leq 0,5 d$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,d} \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 \cdot t_1^2 + 2 \cdot (2 - \eta) \cdot s^2 + 4 \cdot s \cdot t_1} - (t_1 + 2 \cdot s) \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{sys} \cdot f_{h,1,d} \cdot d \cdot \left( \sqrt{(4 - \eta) \cdot s^2 + \frac{2M_{y,d}}{d \cdot f_{h,1,d}}} - 2 \cdot s \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

Stahlblech-Holz Verbindung; Blechdicke  $t \geq d$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{\text{sys}} \cdot f_{h,1,d} \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 \cdot t_1^2 + 2 \cdot (2 - \eta) s^2 + 4 \cdot s \cdot t_1 + \frac{4M_{y,d}}{d \cdot f_{h,1,d}}} - (t_1 + 2s) \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{\text{sys}} \cdot f_{h,1,d} \cdot d \cdot \left( \sqrt{(4 - \eta) s^2 + \frac{4M_{y,d}}{d \cdot f_{h,1,d}}} - 2s \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

Zweischnittige Verbindungen (nach [2])

Holz-Holz Verbindung

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ 0,5 \cdot f_{h,2,d} \cdot t_2 \cdot d + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{\text{sys}} \cdot \frac{\beta \cdot f_{h,1,d} \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left( \sqrt{(t_1 + 4s)^2 + \frac{2 + \beta}{\beta} \left( t_1^2 - 4 \cdot \eta \cdot s^2 + \frac{4M_{y,d}}{d \cdot f_{h,1,d}} \right)} - (t_1 + 4s) \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{\text{sys}} \cdot \frac{2 \cdot \beta \cdot f_{h,1,d} \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left( \sqrt{s^2 - \frac{1 + \beta}{2\beta} \left( \eta s^2 - \frac{2M_{y,d}}{d \cdot f_{h,1,d}} \right)} - s \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

Stahlblech-Holz Verbindung; Mittelteil aus Stahlblech (Der Wert in den großen Klammern muss immer größer gleich Null sein.)

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{\text{sys}} \cdot f_{h,1,d} \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 \cdot t_1^2 + 2 \cdot (2 - \eta) s^2 + 4 \cdot s \cdot t_1 + \frac{4M_{y,d}}{d \cdot f_{h,1,d}}} - (t_1 + 2s) \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{\text{sys}} \cdot f_{h,1,d} \cdot d \cdot \left( \sqrt{(4 - \eta) s^2 + \frac{4M_{y,d}}{d \cdot f_{h,1,d}}} - 2s \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

Stahlblech-Holz Verbindung; Seitenteil aus Stahlblech; Blechdicke  $t \leq 0,5 d$  (Der Wert in den großen Klammern muss immer größer gleich Null sein.)

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,d} \cdot t_2 \cdot d + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{\text{sys}} \cdot f_{h,2,d} \cdot d \cdot \left( \sqrt{\left( 4 - \frac{f_{h,s,d}}{f_{h,2,d}} \right) s^2 + \frac{2M_{y,d}}{d \cdot f_{h,2,d}}} - 2s \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

Stahlblech-Holz Verbindung; Seitenteil aus Stahlblech; Blechdicke  $t \geq d$  (Der Wert in den großen Klammern muss immer größer gleich Null sein.)

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,d} \cdot t_2 \cdot d + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \\ k_{\text{sys}} \cdot f_{h,2,d} \cdot d \cdot \left( \sqrt{\left( 4 - \frac{f_{h,s,d}}{f_{h,2,d}} \right) s^2 + \frac{4M_{y,d}}{d \cdot f_{h,2,d}}} - 2s \right) + f_{h,s,d} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

Die Tragfähigkeit der Stahlbleche ist zusätzlich zu überprüfen.

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Fr. Schäcke	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de

Für die Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit senkrecht zur Stiftachse pro Scherfuge und Verbindungsmittel unter Berücksichtigung des Kraft-Faser-Winkels  $\alpha$  wurde für den Anwender eine Excel-Arbeitsmappe „Berechnung stiftförmiger Verbindungsmittel auf Abscheren“ erstellt. Weitere Informationen können der Website [www.iafb.de](http://www.iafb.de) entnommen werden.

## Nachweise

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit  $R_d$  pro Verbindungsmittel und Scherfuge mit Verstärkungen aus Holzwerkstoffplatten berechnet sich zu

$$R_{\text{Stift},d} = R_{\text{min},d}$$

Nachweis der Tragfähigkeit des Stiftes:

$$\frac{F_{\text{Stift},d}}{R_{\text{Stift},d}} \leq 1$$

Nachweis der Klebefuge bei Verstärkungen aus KHP oder PFU:

Die Fläche der Klebefuge muss groß genug sein, die über die Lochleibung aufgenommenen Kräfte über die Fuge in das Holzbauteil einzuleiten. Im Holzbauteil müssen diese über Schub weitergeleitet werden. Maßgebend ist die geringere Schubfestigkeit des Holzes. Daher gilt als mindestens einzuhaltende Größe für die Klebefläche:

$$A_L = \frac{f_{h,s}}{f_v} \cdot n \cdot s \cdot d$$

mit

- $f_{h,s}$  Lochleibungsfestigkeit der HWP
- $f_v$  wirksame Scherfestigkeit der Klebefuge bzw. des Holzes
- $n$  Anzahl der Verbindungsmittel
- $s$  Plattendicke
- $d$  Durchmesser des Verbindungsmittels

## Literatur

- [1] Johansen, K.W.: Theory of timber connections. International Association of Bridge and Structural Engineering. Publication No. 9:249-262. Bern, Schweiz, 1949
- [2] Werner, H.: Stiftverbindungen – Spalteffekte und Verstärkungsmaßnahmen, Holzbauwerke nach Eurocode 5, Grundlagen Entwicklungen Ergänzungen Step 3, S.9/1-9/29, Informationsdienst Holz, Fachverlag Holz, 1995

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (iaFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Fr. Schäcke	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de