

## 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 Nagelplatten je Holzseite eingepresst werden (Abb. 1). Die Lochleibungsfestigkeit der Nagelplatten 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.

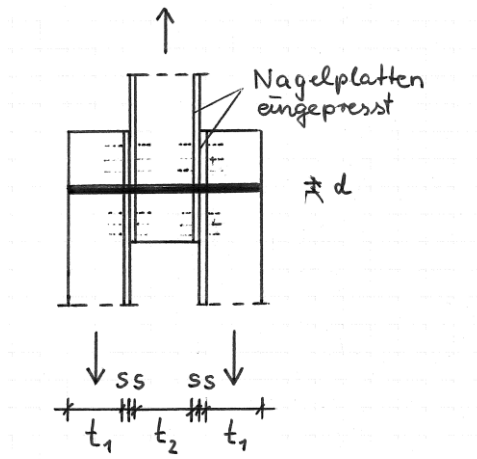


Abb. 1: Stabdübelverbindung mit Verstärkung aus Nageldübeln

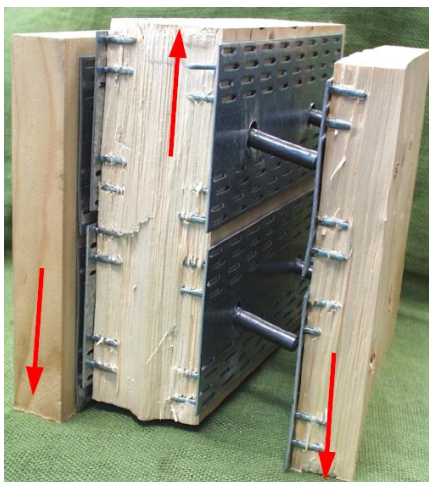


Abb. 2: Nagelplattenverstärkung (Nageldübel) von stiftförmigen Verbindungsmitteln nach [2]

Diese Art der Verstärkung mit sog. Nageldübeln wurde in Finnland (Kevarinmäki et al., 1995) entwickelt. Im Bereich der Nagelplatten zwischen den Ausstanzungen können die Stabdübel oder Passbolzen angeordnet werden (Abb. 2).

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) geht 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 stiftförmigen Verbindungsmitteln erreicht, wenn die Lochleibungsspannungen in mindestens einem der ver-

bundenen Bauteile die Lochleibungsfestigkeit erreichen und in bestimmten Fällen gleichzeitig Fließgelenke im Verbindungsmittel auftreten. Der Typ des Versagensmechanismus hängt von der Geometrie der Verbindung, dem Fließmoment des Verbindungsmittels und der Lochleibungsfestigkeit des Holzes bzw. Holzwerkstoffes ab.

Auf der Grundlage eines erweiterten mechanischen Modells nach Johansen [1] haben Blaß, Schmid und Werner in [2] die rechnerischen Tragfähigkeiten von Holz-Holz und Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Verstärkungen in Form von Nageldübeln entwickelt und durch Versuche überprüft (Abb. 2). Die Bemessung erfordert die Kenntnis der Lochleibungsfestigkeit der verschiedenen Baustoffe und der Biegetragfähigkeit des Verbindungsmittels. Mit diesen Gleichungen lassen sich nun Verbindungen mit Nageldübeln nachweisen.

### Stabdübel- oder Passbolzenverbindungen mit Verstärkung aus Nagelplatten (Nageldübeln)

In Anlehnung an die DASt-Richtlinie 016 „Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandigen kaltgeformten Bauteilen“ (1988) wird die Lochleibungsfestigkeit der Nagelplatte  $t \leq 3\text{mm}$  mit der Streckgrenze des Nagelplattenbleches  $f_{y,k}$  zu

$$f_{h,s,k} = 2 \cdot f_{y,k}$$

berechnet. Die Randabstände in Anlehnung an die DASt-Richtlinie 016 sind in Abb. 3 dargestellt.

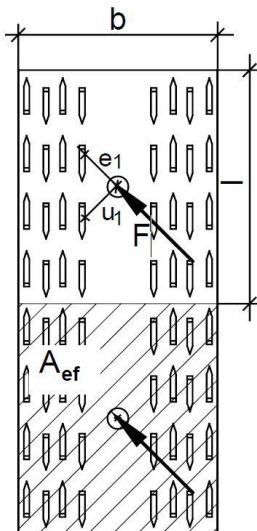


Abb. 3: Randabstände in Anlehnung an DASt-Richtlinie 016 aus [2]

Die Beanspruchbarkeit der Nagelplatte lautet

$$V_{I,R,k} = s \cdot f_{h,s,k} \cdot d$$

Die erforderliche Anschlussfläche zwischen Nagelplatte und Holz beträgt

$$A_{ef} = \frac{V_{I,R,k}}{f_{a,\alpha,\beta,d} \cdot \gamma_M}$$

mit  $\gamma_M = 1,1$  und  $f_{a,\alpha,\beta,d}$  dem Bemessungswert der Nageltragfähigkeit in Abhängigkeit vom Winkel  $\alpha$  zwischen Plattenlängsrichtung und Krafrichtung und dem Winkel  $\beta$  zwischen Kraft- und Faserrichtung des Holzes.

Die Nachweise der Nagelplatte gegen Abscheren und gegen Zug bzw. Druckversagen sind nach DIN 1052:2008-12, Abschn. 13.2. mit der Beanspruchung  $F_d$  zu führen.

$$F_d = V_{I,R,d} = \frac{V_{I,R,k}}{\gamma_M}$$

Bei Symmetrie des Verbindungsmittels im Nageldübel gilt:  $F_d = F/2$ .

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

Das Abscheren zwischen Bolzen und Nagelplatte ist nach DASt-Richtlinie 016 bzw. nach DIN 18800 (1990) nachzuweisen.

### Ermittlung der Tragfähigkeit $R_k$ der verstärkten Verbindung

Nach Blaß [2] ergeben sich folgende Gleichungen für die Tragfähigkeit  $R_k$  bei Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse (Abscheren) pro Verbindungsmittel und Scherfuge.

Es gelten die Abkürzungen

- $t_1$  und  $t_2$  Dicke der Hölzer oder Eindringtiefe des Verbindungsmittel
- $s$  Blechdicke der Nagelplatte
- $f_{h,1}$  und  $f_{h,2}$  Lochleibungsfestigkeiten der Hölzer oder Holzwerkstoffe in  $t_1$  bzw.  $t_2$
- $f_{h,s}$  Lochleibungsfestigkeit der Nagelplatte

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

Der Fußzeiger  $k$  zur Kennzeichnung der Werte als charakteristische Größen ist jeweils hinzuzufügen.

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

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

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

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1} \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 \cdot t_1^2 + 2 \cdot (2 - \eta) s^2 + 4st_1} - (t_1 + 2s) \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,1} \cdot d \cdot \left( \sqrt{(1 - \eta) s^2 + \frac{2M_y}{d \cdot f_{h,1}}} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

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

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,1} \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 \cdot t_1^2 + 2 \cdot (2 - \eta) s^2 + 4st_1 + \frac{4M_y}{d \cdot f_{h,1}}} - (t_1 + 2s) \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,1} \cdot d \cdot \left( \sqrt{(1 - \eta) s^2 + \frac{4M_y}{d \cdot f_{h,1}}} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

Zweischrittige Verbindungen (nach [2])

Holz-Holz Verbindung

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

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

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,1} \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 \cdot t_1^2 + 2 \cdot (2 - \eta) s^2 + 4st_1 + \frac{4M_y}{d \cdot f_{h,1}}} - (t_1 + 2s) \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,1} \cdot d \cdot \left( \sqrt{(1 - \eta) s^2 + \frac{4M_y}{d \cdot f_{h,1}}} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

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

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2} \cdot t_2 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,2} \cdot d \cdot \left( \sqrt{\left(1 - \frac{\eta}{\beta}\right) s^2 + \frac{2M_y}{d \cdot f_{h,2}}} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

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

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2} \cdot t_2 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,2} \cdot d \cdot \left( \sqrt{\left(1 - \frac{\eta}{\beta}\right) s^2 + \frac{4M_y}{d \cdot f_{h,2}}} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

Für die Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit quer 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

Zuvor wurden die Gleichungen zur Ermittlung des charakteristischen Bemessungswertes der Tragfähigkeit  $R_k$  angegeben.

Für die Ermittlung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit  $R_d$  unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte pro Verbindungsmittel und Scherfuge mit Verstärkungen aus Nagelplatten sind die zuvor angegebenen Gleichungen in Anlehnung an EC5 entsprechend zu ergänzen:

$$R_{\text{Stift,d}} = R_d = \text{Funktion aus}(f_{h,i,d}; f_{h,s,d}; M_{y,d})$$

mit

$$f_{h,i,d} = \frac{k_{\text{mod},i} \cdot f_{h,i,k}}{\gamma_M} \quad i = 1; 2$$

$f_{h,i,k}$  Lochleibungsfestigkeiten der Hölzer oder Holzwerkstoffe 1 bzw. 2

$k_{\text{mod}}$  Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung der Holzfeuchte und der Lasteinwirkungsdauer

$\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert der Hölzer bzw. Holzwerkstoffplatten

$$f_{h,s,d} = \frac{f_{h,s,k}}{\gamma_M}$$

$\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert der Nagelplatte

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M}$$

$\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert des VM

Nachweis der Tragfähigkeit des Stiftes:

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

## 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] Blaß, H.J.; Schmid, M.; Werner, H.: Verstärkung von Verbindungen, Bauen mit Holz, Heft 9, 2001