

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 im Anschluss verstärkt, lassen sich die Verbindungen in ihrer Tragfähigkeit steigern.

Eine Möglichkeit der Verstärkung der Holzbauteile besteht, wenn Faserkunststoffverbunde (FKV) in Form von Patches in die Holzbauteile je Scherfugenseite eingelassen und eingeklebt werden (Abb. 1). Patches aus FKV sind Gestricke, Gelege oder Gewebe aus Fasern, beanspruchungs- und formgerecht in einer Matrix eingebettet. Die Lochleibungsfestigkeit dieser Patches (z. B. Glasfaser-Mehrlagengestricke (MLG), kreisringförmig in Epoxidharzmatrix) sind 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.

- Vorteil: keine Querschnittsverbreiterung, da im Holzbauteil eingelassen
- Nachteil: Querschnittsreduzierung für Nachweis des Holzbauteils im Anschluss

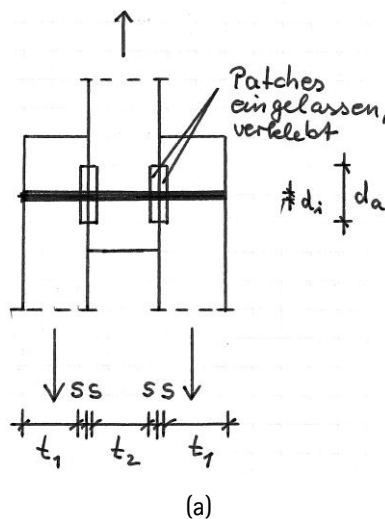


Abb. 1: Stabdübelverbindung mit Verstärkungen aus Patches (FKV), (a) System und (b) eingeklebtes Patch im Bauteil

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 gehen auf die Arbeit von Johansen [1] zurück. Dabei darf für die stiftförmigen Verbindungsmittel 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 verbundenen 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.

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. Mit diesen Gleichungen lassen sich Verbindungen mit angeklebten Holzwerkstoffplatten nachweisen (siehe auch die gleichnamige HHT-Praxisempfehlung (Bemessungsverfahren)).

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

## Stabdübel- und Passbolzenverbindungen mit Verstärkungen aus Patches (FKV)

Im Folgenden wird nun ein Bemessungsvorschlag aus [3] vorgestellt, der die hergeleiteten Gleichungen für die rechnerische Tragfähigkeit von Stiftverbindungen mit Verstärkungen aus FKV liefert. Die Bemessung erfordert die Kenntnis der Lochleibungsfestigkeit der verschiedenen Baustoffe und der Biegetragfähigkeit des Verbindungsmittels. Bisher wurde der Bemessungsvorschlag noch nicht durch Versuche in ausreichender Zahl überprüft. Falls als maßgebender Versagensmechanismus nicht das Lochleibungsversagen einzelner Bauteile sondern plastische Gelenke im Verbindungsmittel auftreten können, sind die entsprechenden Gleichungen für Versagensmechanismen mit Ausbildung von Fließgelenken im Verbindungsmittel in der Praxis noch nicht gesichert anwendbar.

Der Nachweis der Klebefuge ist zu führen und die Klebefuge so zu dimensionieren, dass diese nicht maßgebend wird.

### Dimensionierung der Klebefuge

Der Bemessungsvorschlag von Stiftverbindungen mit Verstärkungen aus Patches (FKV) sieht vor, dass die Klebefuge nicht versagt und somit der Nachweis der Klebefuge nicht maßgebend wird. Dafür ist die Klebefuge ausreichend groß zu dimensionieren. Das heißt, ist die Scherfläche des Patch ( $A_0$ ) und der mitwirkenden Vorholzfläche ( $A_H$ ) zu klein, um die Tragfähigkeit der Lochleibung des eingeklebten Patch zu übertragen, so muss das Patch eine zusätzliche Rückverankerung aus FKV ( $A_R$ ) erhalten (Abb. 2). Da die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_M$  für FKV noch nicht bestimmt sind, können bisher nur die charakteristischen Werte angegeben werden.

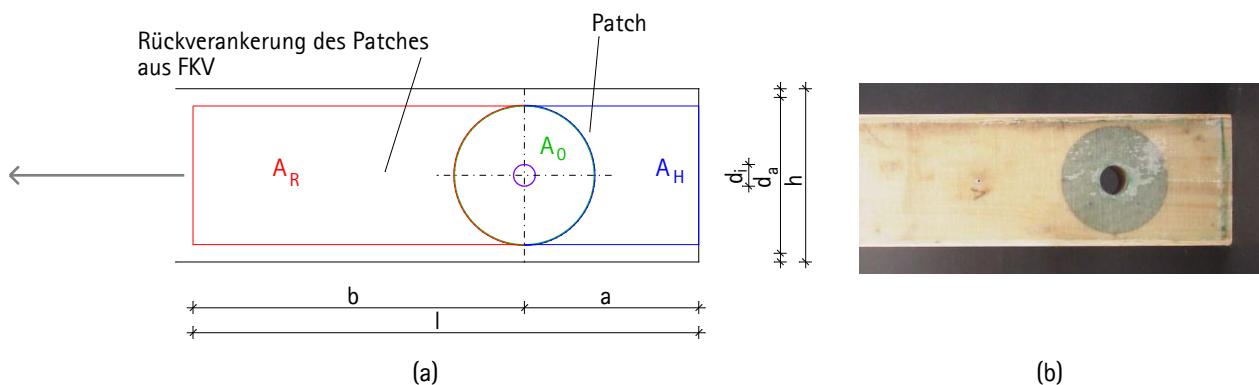


Abb. 2: Klebefuge (a) Ansicht und (b) Patch mit Rückverankerung aus FKV

### Tragfähigkeit der Lochleibung des Patch

$$R_{L,k} = f_{h,s,k} \cdot s \cdot d$$

mit

$f_{h,s,k}$  Lochleibungsfestigkeit des Patch (FKV)

$s$  Plattendicke

$d$  Durchmesser des Verbindungsmittels

### Tragfähigkeit der Klebefuge ohne zusätzliche Rückverankerung des Patch

$$R_{Klebung,k} = f_{v,k} (A_0 + A_H)$$

mit

$$A_0 = \frac{\pi}{4} (d_a - d_i)^2$$

$$A_H = a \cdot d_a - \frac{\pi}{4} (d_a - d_i)^2 / 2$$

und

$f_{v,k}$  wirksame Scherfestigkeit der Klebefuge bzw. des Holzes,  
für Brettschichtholz beispielsweise  $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ ,  
Klebefugenfestigkeit bei nicht faserparallelen Scherbeanspruchungen (Rollschub)  $f_{k2,k} = 0,75 \text{ N/mm}^2$

$A_0$  Klebefläche Patch

$A_H$  Scherfläche Vorholz

$d_a$  Außendurchmesser des Patch

$d_i$  Innendurchmesser des Patch

Tragfähigkeit der Klebefuge mit zusätzlicher Rückverankerung des Patch

$$R_{\text{Klebung,Rück,k}} = f_{v,k} (A_0 + A_H) + R_{\text{Rückverankerung,k}}$$

Die Tragfähigkeit der Rückverankerung des Patch wird beschrieben durch die Zugfestigkeit des Geleges (FKV), die Scherfestigkeit zwischen dem Patch und der Rückverankerung und der Scherfestigkeit der Klebefuge der Rückverankerung. Der kleinste Wert ist maßgebend.

$$R_{\text{Rückverankerung,k}} = \min \begin{cases} R_{\text{Zug,Gelege}} \\ R_{\text{AbscherenFKV-FKV}} \\ R_{\text{AbscherenRück}} \end{cases} \quad \text{das bedeutet: } R_{\text{Rückverankerung,k}} = \min \begin{cases} f_{f,G,k} \cdot d_a \\ f_{v,s,k} \cdot A_0 \\ f_{v,k} \cdot A_R \end{cases}$$

mit

$$A_R = a \cdot d_a - \frac{\pi}{4} (d_a - d_i)^2 / 2$$

und

$f_{t,G,k}$  Zugfestigkeit des Geleges je Flächengewicht der Fasern in [N/mm]

$f_{v,s,k}$  Scherfestigkeit der Matrix,

nach BS4995 z.B. Epoxy  $f_{v,s,k} = 12 \text{ N/mm}^2$  (EUROCOMP)

Ermittlung der Tragfähigkeit  $R_d$  der verstärkten Verbindung

Es ergeben sich folgende Gleichungen für die Tragfähigkeit  $R_d$  bei Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse (Abscheren) pro Verbindungsmittel und Scherfuge.

Dabei gelten die Abkürzungen

$t_1$  und  $t_2$  Dicke der Hölzer oder Eindringtiefe des Verbindungsmittel

$s$  Dicke der eingeklebten Patches (FKV)

$f_{h,1}$  und  $f_{h,2}$  Lochleibungsfestigkeiten der Hölzer in  $t_1$  bzw.  $t_2$

$f_{h,s}$  Lochleibungsfestigkeit der eingeklebten Patches (FKV)

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

Es wird davon ausgegangen, dass jeweils gleichartige Patches links und rechts der Scherfuge eingeklebt werden, dass sich also Dicke und Lochleibungsfestigkeit der Patches nicht unterscheiden. Dies wird sicherlich auch baupraktisch in den allermeisten Fällen so ausgeführt.

Verbindungen mit zusätzlichen Stahlblechen wurden nicht untersucht. Daher werden für diese Fälle auch keine Formeln angegeben. Grundsätzlich sollte eine Verstärkung mit Patches dazu dienen, den Stahlanteil in den Verbindungen zu minimieren, daher wird nicht empfohlen, diese mit Stahlblechen zu kombinieren.

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

## Einschnittige Holz-Holz-Verbindungen

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

## Zweischchnittige Holz-Holz-Verbindungen

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

## Nachweise

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit  $R_d$  pro Verbindungsmittel und Scherfuge mit Verstärkungen aus Patches (FKV) berechnet sich zu

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

Nachweis der Tragfähigkeit des Stiftes:

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

Nachweis der Klebefuge:

ohne zusätzliche Rückverankerung des Patch:  $R_{\text{Klebung},k} \geq R_{L,k}$

mit zusätzlicher Rückverankerung des Patch:  $R_{\text{Klebung},\text{Rück},k} \geq R_{L,k}$

## 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
- [3] Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 0330722A-C Hochleistungsholztragwerke – HHT, 2010