

Grundlagen

Für die Ermittlung der Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse (Abscheren) stehen die Bemessungswerte der Tragfähigkeit R_k je Scherfuge und Verbindungsmittel nach dem genaueren Nachweisverfahren in der DIN 1052:2008-12, Anhang G zur Verfügung. Sie gelten für Stabdübel (SDü), Passbolzen (PB), Bolzen (Bo), Gewindestangen (Gewi), Nägel (Nä), Schrauben (Schr) und Klammern (KI). 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. 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. der Holzwerkstoffe ab. Man unterscheidet Versagensmechanismen für ein- und zweischnittige Verbindungen. Die Tragfähigkeit einer mehrschnittigen Verbindung ergibt sich als Summe der Mindesttragfähigkeiten aller Scherfugen, wobei jede Scherfuge als Teil einer Reihe zweischnittiger Verbindungen anzusehen ist. Abb. 1 gibt eine Übersicht über die Verbindungsarten.

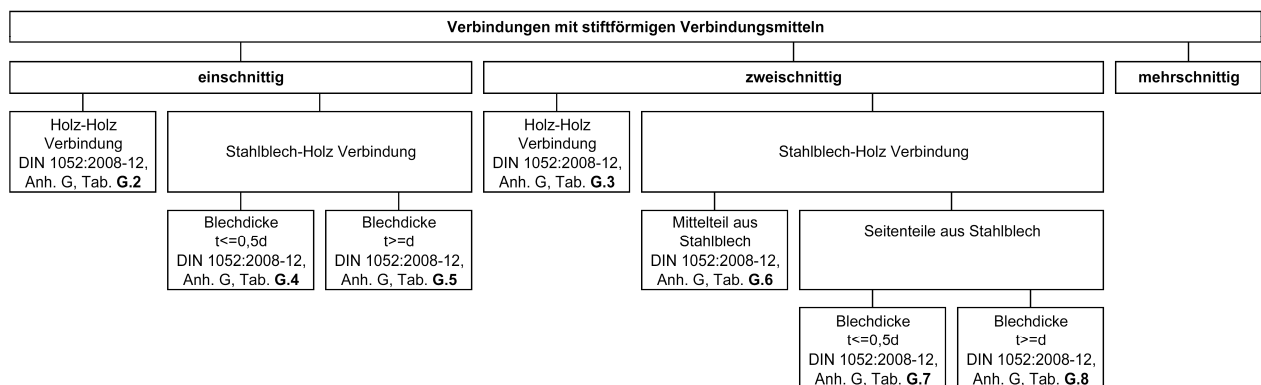


Abb. 1: Übersicht der Verbindungen mit stiftförmigen VM

In Anlehnung an die Theorie von Johansen kann die Tragfähigkeit von Verbindungen mit Zwischenschichten nach Blaß [2], von Verbindungen mit Verstärkungen aus Holzwerkstoffplatten nach Werner [3], von Verbindungen mit Verstärkungen in Form von Nageldübeln nach Blaß und Werner [4] und von Verbindungen mit Verstärkungen aus Faserkunststoffverbunden (FKV) nach einem Bemessungsvorschlag aus dem HHT-Projekt ermittelt werden. Die Lochleibungsfestigkeit der FKV, Nagelplatten bzw. der Holzwerkstoffplatten 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. In den folgenden HHT – Praxisempfehlungen wird die Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit der jeweiligen Verbindung näher erläutert (siehe auch dort):

- Stiftverbindungen mit Zwischenschichten (Bemessungsverfahren nach Blaß)
- Stiftverbindungen mit Verstärkungen aus Holzwerkstoffplatten (Bemessungsverfahren nach Werner)
- Stiftverbindungen mit Verstärkungen aus Nageldübeln (Bemessungsverfahren nach Blaß und Werner)
- Stiftverbindungen mit Verstärkungen aus FKV (Bemessungsvorschlag)

Mehrschnittige Verbindungen

Für die mehrschnittigen Verbindungen sind in der Literatur (z.B. in [1]) bereits Angaben zur Berechnung der Tragfähigkeit bei Beanspruchungen rechtwinklig zur Stiftachse (Abscheren) mit einem Berechnungsgang in Anlehnung an EC 5 zu finden. Es werden Versagensarten einer mehrschnittigen Verbindung unter Symmetrie, d.h. mit einer geraden Anzahl von Scherfugen und einer symmetrischen Beanspruchung über die Stiftachse untersucht. Das trifft für allgemeine Anwendungsfälle im Holzbau zu. Sind die Holzbauteile jedoch unterschiedlich beansprucht und werden daher Kräfte unterschiedlicher Größe über Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln übertagen, so liegt eine Unsymmetrie in der

Beanspruchung der Verbindung senkrecht zur Stiftachse vor. Eine unsymmetrische Verbindung liegt auch dann vor, wenn die Anzahl der Scherfugen ungerade ist, unabhängig von der Beanspruchung senkrecht zur Stiftachse (Abb. 2).

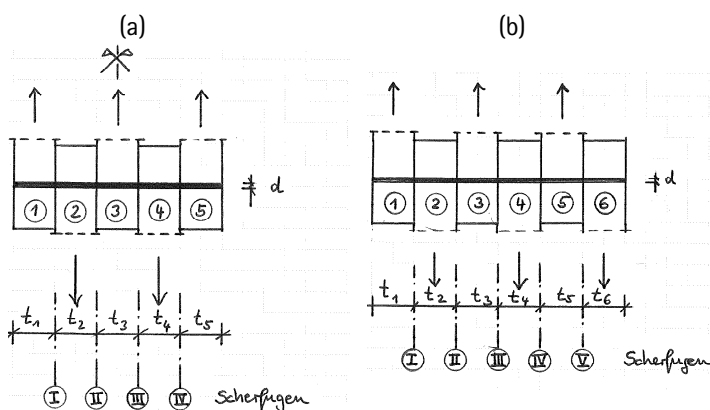


Abb. 2: Mehrschnittige (a) symmetrische bzw. (b) unsymmetrische Stiftverbindung

Für die Berechnung der Tragfähigkeit einer mehrschnittigen Verbindung mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ist die plausible Abfolge möglicher Versagensarten über die Länge des Stiftes zu betrachten. Beispielhaft sind die bekannten Versagensarten einer symmetrischen zwei-, vier- und sechsschnittigen Stiftverbindung und einer unsymmetrischen fünfschnittigen Stiftverbindung in Abb. 3 dargestellt. Die hier verwendeten Buchstaben stellen den Bezug zu den Gleichungen nach DIN 1052:2008-12, Anhang G her.

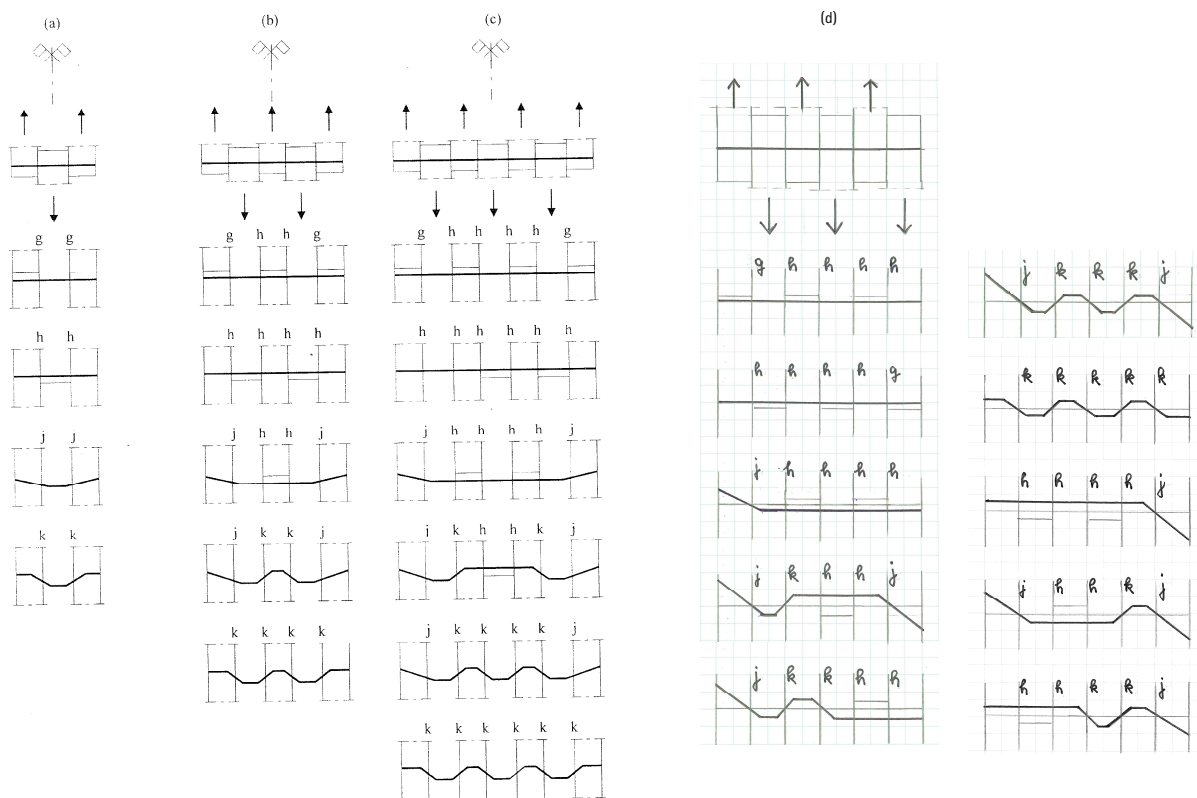
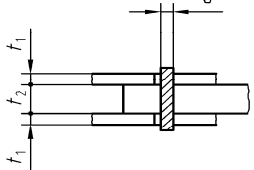
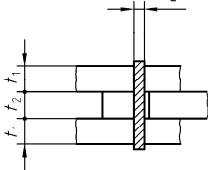
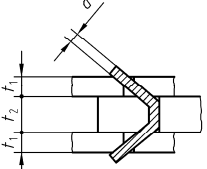
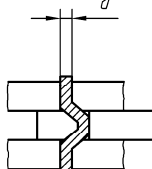


Abb. 3: Versagensarten einer (a) zwei-, (b) vier- und (c) sechsschnittigen Stiftverbindung aus [1] und einer (d) fünfschnittigen Stiftverbindung

Gesucht wird dabei die Versagensart, die den kleinsten Bemessungswert der Tragfähigkeit liefert. Dabei ist festzustellen, dass in einer unsymmetrischen Verbindung im Vergleich zu einer symmetrischen Verbindung die Versagensarten in der ersten und fünften (letzten) Scherfuge nicht identisch sein müssen. Somit ergibt sich eine größere Anzahl von möglichen Versagensarten bei den unsymmetrischen Verbindungen.

Die folgende Tabelle 1 zeigt die möglichen Versagensarten einer zweischnittigen Verbindung von Bauteilen aus Holz bzw. Holzwerkstoffen (HW) und die Zuordnung der verwendeten Buchstaben.

Tabelle 1: Versagensarten einer zweischnittigen Verbindung von Bauteilen aus Holz bzw. HW

 <p>(g) Lochleibungsversagen in Bauteil 1 (DIN 1052:2008-12, Anhang G, Gl. G.7)</p>	 <p>(h) Lochleibungsversagen in Bauteil 2 (DIN 1052:2008-12, Anhang G, Gl. G.8)</p>
 <p>(i) Lochleibungsversagen in Bauteil 1 und 2, Ausbildung eines Fließgelenkes in Bauteil 2 je Scherfuge (DIN 1052:2008-12, Anhang G, Gl. G.9)</p>	 <p>(j) Lochleibungsversagen in Bauteil 1 und 2, Ausbildung zweier Fließgelenke in Bauteil 1 und 2 je Scherfuge (DIN 1052:2008-12, Anhang G, Gl. G.10)</p>

EC5 legt fest, dass in mehrschnittigen Verbindungen die Gesamttragfähigkeit als Summe der Mindesttragfähigkeiten aller Scherfugen bestimmt wird, wobei jede Scherfuge als Teil einer Reihe zweischnittiger Verbindungen anzusehen ist.

Symmetrische mehrschnittige Verbindungen

Um die Vorgehensweise bei einer symmetrischen Verbindung (Abb. 2) näher zu erläutern, wird der Berechnungsgang in Anlehnung an den EC 5 am vierschnittigen Fall beschrieben (Abb. 4). Zu Beginn wird die mehrschnittige Verbindung in zweischnittige Verbindungen I, II, III und IV aufgeteilt. Die Hölzer 1, 2 und 3 bilden die erste zweischnittige Verbindung I, von der aber nur die Scherfuge I zwischen Holz 1 und 2 untersucht wird. Das Holz 3 wird als identisch mit Holz 1 angenommen, um die Verhältnisse der zweischnittigen Verbindung nach Tabelle 1 zu erhalten. Für die Verbindung I werden anhand der Versagensarten g, h, j und k die entsprechenden Bemessungswerte der Tragfähigkeit $R_{t,d}$ des Stiftes in der Scherfuge I ermittelt, um daraus im Anschluss den kleinsten Wert zu bestimmen.

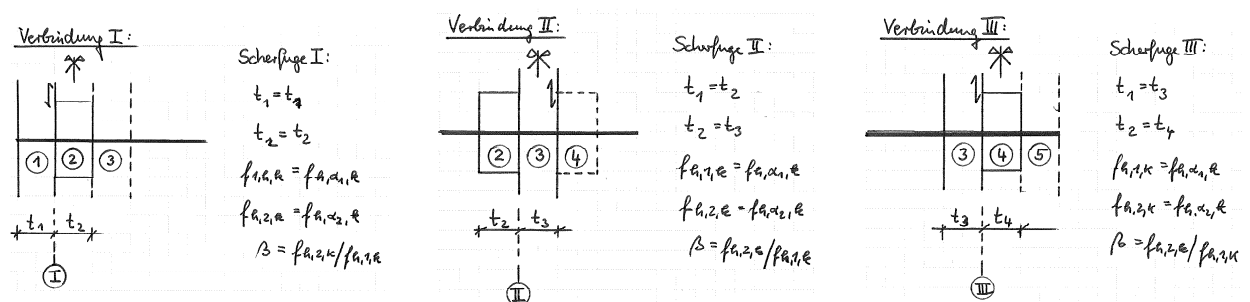


Abb. 4: Aufteilung der symmetrischen Verbindung in zweischnittige Verbindungen I, II, ...

Die Hölzer 2, 3 und 4 bilden die zweite zweischnittige Verbindung II, von der aber nur die Scherfuge II zwischen den Hölzern 2 und 3 untersucht wird. Das Holz 4 wird als identisch mit dem Holz 2 angenommen. Es sind die Versagensarten g, h und k zu untersuchen. Die Versagensart j entfällt, da sie sich nur in einem Randholz einstellen kann. Nur ein Fließgelenk im Mittelholz der zweischnittigen Verbindung, hier also Holz 3, kann sich nicht ausbilden, wenn noch weitere Scherfugen nach links bzw. rechts folgen. Die Hölzer 3, 4 und 5 bilden die dritte zweischnittige Verbindung III, von der aber nur die Scherfuge III zwischen den Hölzern 3 und 4 untersucht wird. Die Vorgehensweise erfolgt wie bei der Verbindung II. Die Scherfuge IV ist aufgrund der Symmetrie identisch mit der Scherfuge I.

Der jeweils maßgebende Bemessungswert der Tragfähigkeit in den Fugen I bis IV ist der kleinste Wert aus (g), (h), (j) oder (k). Der Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes ergibt sich zu:

$$R_{\text{Stift,d}} = 2 \cdot R_{\text{I,min,d}} + 2 \cdot \min \{ R_{\text{II,min,d}}; R_{\text{III,min,d}} \} \quad (1)$$

Für die Ermittlung der Tragfähigkeit der stiftförmigen Verbindung ist es erforderlich, die Lage der Kraft zur Faserrichtung des Holzes zu berücksichtigen (vgl. Abb. 5), da die Lochleibungsfestigkeit von der Beanspruchungsrichtung abhängt.

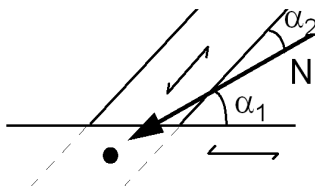


Abb. 5: Bestimmung des Kraft-Faser-Winkels α

Die ermittelten Bemessungswerte der Tragfähigkeit des Verbindungsmittels als plausible Abfolge der Versagensarten über seine Länge liegen höher als der ermittelte Bemessungswert der Tragfähigkeit nach EC 5, da dort die Gesamttragfähigkeit als Summe der Mindesttragfähigkeiten je Scherfugen bestimmt wird (während hier, zwar in Anlehnung an EC 5, jedoch unter Berücksichtigung plausibler Versagenszustände, bereits bestimmte Versagensarten ausgeschlossen wurden).

Berechnungsgang einer symmetrischen Verbindung in Anlehnung an den EC 5:

- Die Verbindung wird aufgeteilt in zweischnittige Verbindungen I, II, ...
- Bei den zweischnittigen Verbindungen I, II, ... gehen jeweils nur die an die betrachtete Scherfuge angrenzenden Teile in die Berechnung von R_d ein.
- Die Versagensart (G.9) DIN 1052:2008-12 kann bei den innenliegenden Scherfugen II, III, ... nicht auftreten.
- Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit pro Scherfuge R_d nach DIN 1052:2008-12, Anhang G, Tabelle G.3
- Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes $R_{\text{Stift,d}}$ ermittelt sich nach der Gleichung (1).

Für die Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit senkrecht zur Stiftachse pro Scherfuge und Verbindungsmittel unter Berücksichtigung des Kraft-Faser-Winkels α wurde für den Anwender eine Excel - Arbeitsmappe „Berechnung einer vierschnittigen Passbolzenverbindung auf Abscheren“ erstellt. Weitere Informationen können der Website www.iafb.de entnommen werden.

Die Nachweise einer vierschnittigen symmetrischen Verbindung mit stiftförmigen Verbindungsmittel lauten:

Nachweis der Gesamttragfähigkeit des Stiftes:

$$\frac{F_{\text{Stift,d}}}{R_{\text{Stift,d}}} \leq 1 \quad (2)$$

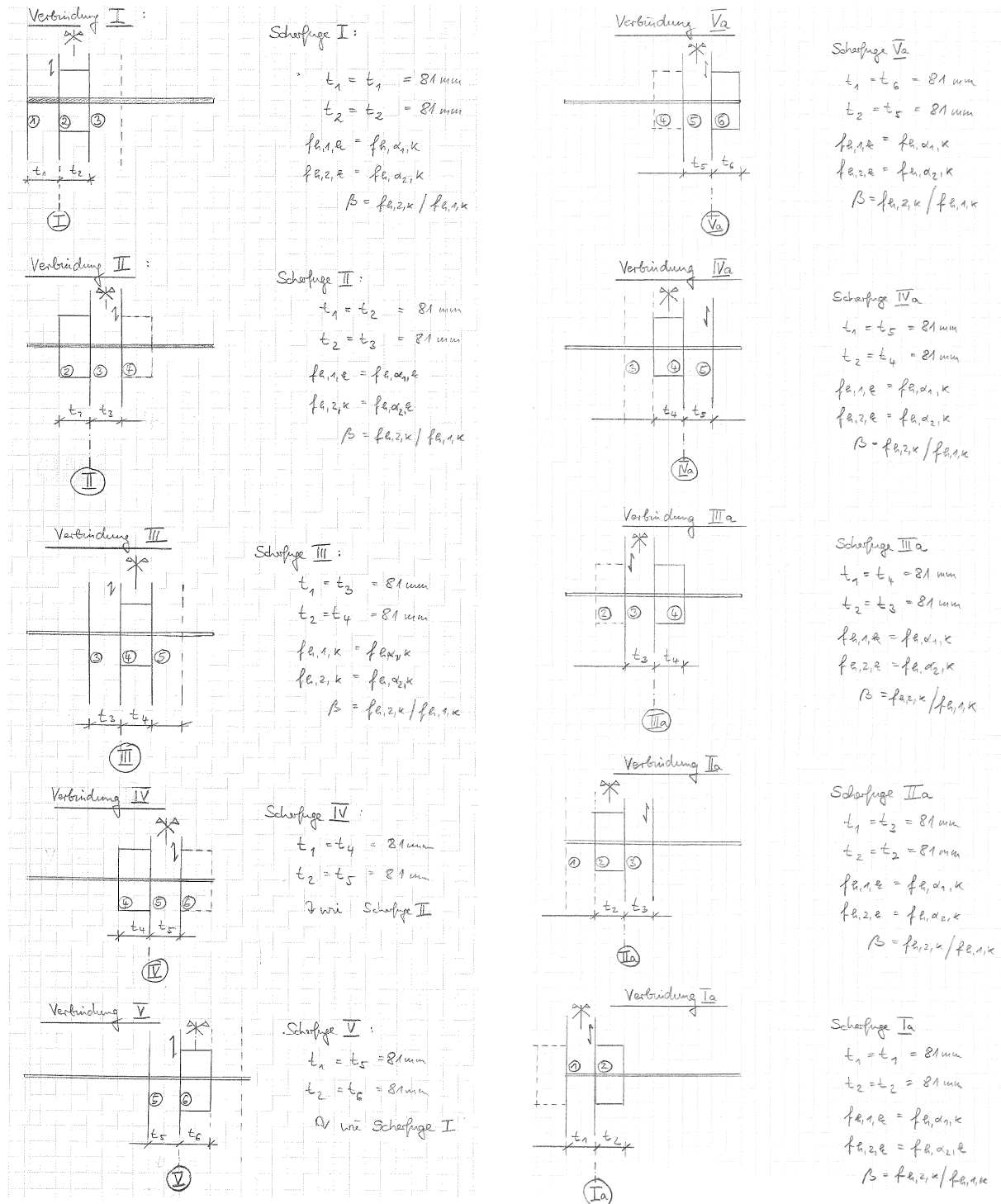
Nachweis der einzelnen Scherfuge einer vierschnittigen symmetrischen stiftförmigen Verbindung:

$$\frac{F_{\text{I,(IV),d}}}{R_{\text{I,min,d}}} \leq 1 \quad (3)$$

$$\frac{F_{\text{II,(III),d}}}{\min \{ R_{\text{II,min,d}}; R_{\text{III,min,d}} \}} \leq 1 \quad (4)$$

Unsymmetrische mehrschnittige Verbindungen

Um die Vorgehensweise nun auch bei einer unsymmetrischen Verbindung (Abb. 2) näher zu erläutern, wird der Berechnungsgang in Anlehnung an den EC 5 am fünfschnittigen Fall beschrieben (Abb. 6).



von oben (links) betrachtet

von unten (rechts) betrachtet

Abb. 6: Aufteilung der unsymmetrischen Verbindung in zweischnittige Verbindungen I, II, ...und Ia, IIa,...

Zu Beginn wird die mehrschnittige Verbindung in zweischnittige Verbindungen I, II, III, IV und V von links betrachtet aufgeteilt. Bei unsymmetrischen mehrschnittigen Verbindungen muss die Aufteilung sowohl von links als auch von rechts vorgenommen werden, um den ungünstigsten Bemessungswert jeder Scherfuge zu ermitteln. Die Hölzer 1, 2 und 3 bilden die erste zweischnittige Verbindung I, von der aber nur die Scherfuge I zwischen Holz 1 und 2 untersucht wird. Das Holz 3 wird als identisch mit Holz 1 angenommen, um die Verhältnisse der zweischnittigen Verbindung nach Tabelle

1 zu erhalten. Für die Verbindung I werden anhand der Versagensarten g, h, j und k die entsprechenden Bemessungswerte der Tragfähigkeit $R_{I,d}$ des Stiftes in der Scherfuge I ermittelt, um daraus im Anschluss den kleinsten Wert zu bestimmen.

Die Hölzer 2, 3 und 4 bilden die zweite zweischnittige Verbindung II, von der aber nur die Scherfuge II zwischen den Hölzern 2 und 3 untersucht wird. Das Holz 4 wird als identisch mit dem Holz 2 angenommen. Es sind die Versagensarten g, h und k zu untersuchen. Die Versagensart j entfällt, da sie sich nur in einem Randholz einstellen kann. Nur ein Fließgelenk im Mittelholz der zweischnittigen Verbindung, hier also Holz 3, kann sich nicht ausbilden, wenn noch weitere Scherfugen nach links bzw. rechts folgen. Bei den zweischnittigen Verbindungen III und IV ist ebenso zu verfahren. Die Hölzer 5, 6 und ein gedachtes Holz 7 bilden die fünfte zweischnittige Verbindung V, von der aber nur die Scherfuge V zwischen den Hölzern 5 und 6 untersucht wird. Die Vorgehensweise erfolgt wie bei der Verbindung I. Aufgrund der unsymmetrischen Verbindung muss nun die Aufteilung der mehrschnittigen Verbindung in die entgegengesetzte Betrachtungsrichtung erfolgen. Das heißt, die Hölzer 4, 5 und 6 bilden die erste zweischnittige Verbindung Va, von der aber nur die Scherfuge Va zwischen Holz 5 und 6 untersucht wird. Die weitere Vorgehensweise erfolgt analog zu den Verbindungen I bis V.

Der jeweils maßgebende Bemessungswert der Tragfähigkeit in den Fugen I bis V und Ia bis Va ist der kleinste Wert aus (g), (h), (j) oder (k). Die Scherfugen I, II, IV, V und die Scherfugen Ia, IIa, IIIa, IVa, Va treten jeweils nicht gleichzeitig auf, der minimale Wert aus jeweiligem Paar (z.B. I oder Ia) ist maßgebend. Aufgrund der Unsymmetrie in der Verbindung kann für die Ermittlung der Gesamttragfähigkeit der fünfschnittigen unsymmetrischen stiftförmigen Verbindung die Versagensart (g) bzw. (h) in den Scherfugen I bzw. Ia und V bzw. Va nicht gleichzeitig auftreten. Da bei gleichen Bauteildicken die Versagensart (h) den kleineren Wert aus (h) und (g) liefert, ergibt sich der Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes zu:

$$R_{\text{Stift},d} = \min \{R_{I,\min,d}; R_{Ia,\min,d}\} + \min \{R_{II,\min,d}; R_{IIa,\min,d}\} + \min \{R_{III,\min,d}; R_{IIIa,\min,d}\} + \min \{R_{IV,\min,d}; R_{IVa,\min,d}\} + \min \{R_{V,\min,d}; R_{Va,\min,d}\} \quad (5)$$

mit den Bedingungen:

falls

$$\min \{R_{I,\min,d}; R_{Ia,\min,d}\} = (h) \quad \text{dann} \quad \min \{R_{V,\min,d}; R_{Va,\min,d}\} \neq (h) \quad (6)$$

bzw. falls

$$\min \{R_{V,\min,d}; R_{Va,\min,d}\} = (h) \quad \text{dann} \quad \min \{R_{I,\min,d}; R_{Ia,\min,d}\} \neq (h) \quad (7)$$

Die Lage der Kraft zur Faserrichtung des Holzes ist entsprechend Abb. 5 zu berücksichtigen.

Berechnungsgang einer unsymmetrischen Verbindung in Anlehnung an den EC 5:

- Die Verbindung wird aufgeteilt in zweischnittige Verbindungen I, II, ... und Ia, IIa, ...
- Bei den zweischnittigen Verbindungen I, II, ... und Ia, IIa, ... gehen jeweils nur die an die betrachtete Scherfuge angrenzenden Teile in die Berechnung von R_d ein.
- Die Versagensart (G.9) DIN 1052:2008-12 kann bei den innenliegenden Scherfugen II, III, ... und IIa, IIIa, ... nicht auftreten.
- Wegen Unsymmetrie in der Verbindung kann die Versagensart (G.7) DIN 1052:2008-12 bzw. (G.8) DIN 1052:2008-12 in den Scherfugen I bzw. Ia und V bzw. Va nicht gleichzeitig auftreten.
- Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit pro Scherfuge R_d nach DIN 1052:2008-12, Anhang G, Tabelle G.3
- Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes $R_{\text{Stift},d}$ ermittelt sich nach der Gleichung (5) und deren Bedingungen (6) und (7)

Für die Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit quer zur Stiftachse pro Scherfuge und Verbindungsmittel unter Berücksichtigung des Kraft-Faser-Winkels α wurde für den Anwender eine Excel - Arbeitsmappe „Berechnung einer fünfschnittigen Passbolzenverbindung auf Abscheren“ erstellt. Weitere Informationen können der Website www.iafb.de entnommen werden.

Bei einer unsymmetrischen Beanspruchung senkrecht zur Stiftachse kann sich zusätzlich der Versagensfall Schiefstellung des Bolzens (Abb. 7) in der Verbindung einstellen. Dabei tritt am oberen oder unteren Holzgurt eine große Beanspruchung F_d in der Scherfuge I bzw. V auf, so dass sich der Bolzen schieft. Zur Ermittlung der Tragfähigkeit für diesen Versagensfall wird eine einschnittige Verbindung der Hölzer 1 und 2 betrachtet, wobei die restlichen Hölzer der Verbindung gedanklich versagen. Für die Scherfuge I wird der ungünstigste Kraft-Faser-Winkel α ermittelt, der den kleinsten und damit maßgebenden Bemessungswert $R_{\text{Stift,Bolzenschiefstellung,d}}$ liefert.

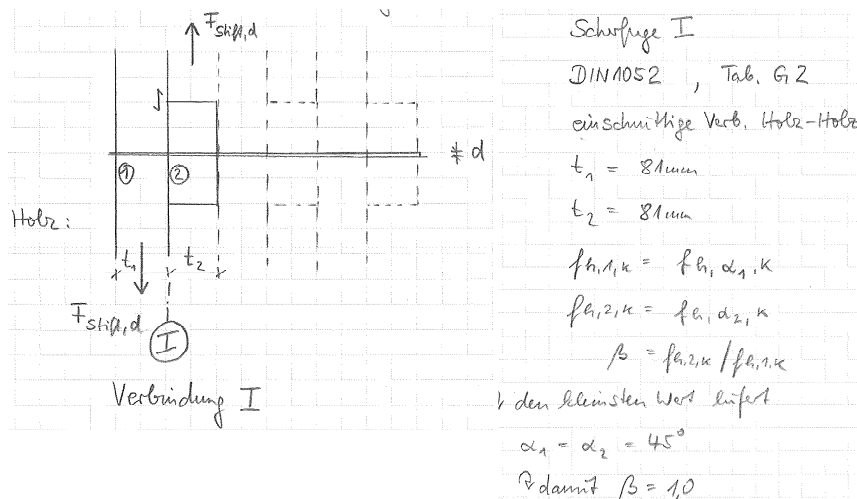


Abb. 7: Versagensfall Schiefstellung des Bolzens, einschnittige Verbindung in Scherfuge I

Die Nachweise einer fünfschnittigen unsymmetrischen Verbindung mit stiftförmigen Verbindungsmitteln lauten:

Nachweis der Gesamttragfähigkeit des Stiftes:

$$\frac{F_{\text{Stift,d}}}{R_{\text{Stift,d}}} \leq 1 \quad (8)$$

Nachweis der einzelnen Scherfuge einer fünfschnittigen unsymmetrischen stiftförmigen Verbindung:

$$\frac{F_{i,d}}{\min\{R_{i,\min,d}; R_{ia,\min,d}\}} \leq 1 \quad \text{mit } i = \text{I, II, III, IV, V} \quad (9)$$

Nachweis bei Schiefstellung des Bolzens:

$$\frac{F_{\text{Stift,d}}}{R_{\text{Stift,Bolzenschiefstellung,d}}} \leq 1 \quad (10)$$

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. und Laskewitz, B.: Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln und Zwischenschichten, Bauen mit Holz, Heft 1 S.26 und Heft 2 S.30, 2003
- [3] 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
- [4] Blaß, H.J.; Schmid, M.; Werner, H.: Verstärkung von Verbindungen, Bauen mit Holz, Heft 9, 2001
- [5] Steck, Günther: Euro-Holzbau, Bd. 1, Grundlagen, Werner Verlag, 1997

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