

DIN 1052:2004 – Neue Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken

Teil 4 (1): Bemessung von Verbindungen und stiftförmigen und sonstigen mechanischen Verbindungsmitteln

Es werden Holzbau-Verbindungsmittel beschrieben und die Regeln für die Bemessung erklärt.

DIN 1052:2004 – New basics for design, calculation and dimensioning of timber structures, Part 4: Ultimate limit state design of timber joints. This paper describes several kinds of fasteners and the verification of load bearing safety for joints in timber structures.

1 Allgemeines Tragverhalten und konstruktive Regeln

Seitdem man Holz für konstruktive Zwecke verwendet, bestehen Aufgabe und Schwierigkeit darin, die durch das natürliche Wachstum begrenzten Holzlängen und Holzquerschnitte zu einer tragfähigen Konstruktion zu verbinden. Diese Eigenart des Baustoffs Holz erfordert, dass man der Verbindung und den Verbindungsmitteln größte Aufmerksamkeit schenkt. Bei der Kraftübertragung in einer Holzbau-Verbindung sind das Verformungs- und Tragverhalten der gewählten Verbindungsmittel von wesentlicher Bedeutung.

Hinsichtlich des Verformungsverhaltens unterscheidet man im Holzbau nach „starr“ und „nachgiebigen“ Verbindungsmitteln. Klebstoffe als Verbindungsmittel weisen ein „starr“ Verformungsverhalten auf. Die Verbindung wird über Flächenverbund hergestellt. Derartige Verbindungen können hohe Beanspruchungen bei sehr geringen Verformungen aufnehmen (s. Bild 1). Alle anderen Verbindungsmittel zeigen mehr oder weniger große Verformungen bei der Lastübertragung. Sie werden auch als „nachgiebige“ Verbindungsmittel bezeichnet (s. Bild 1). Wegen des unterschiedlichen Verformungsverhaltens dürfen Verbindungen aus Klebstoffen und aus „nachgiebigen“ Verbindungsmitteln nicht als gemeinsam wirkend in Rechnung gestellt werden (s. DIN 1052:2004, Abschnitt 11.1.4).

Holzbauverbindungen können auf zwei Arten versagen. Ein sprödes Versagen erfolgt zuerst im Holz bei niedrigen Beanspruchungen und geringen Verformungen. Ganz anders verläuft ein duktileres Versagen. Die Verbindung ist in der Lage, vor dem Bruch relativ hohe Beanspruchungen bei großen Verformungen aufzunehmen. In diesem Fall versagt zuerst das Verbindungsmittel. Dies ist immer dann der Fall, wenn das Verbindungsmittel im Vergleich zu den zu verbindenden Holzquerschnitten ausreichend schlank ist. Bild 2 zeigt dieses Verhalten am Beispiel einer Stabdübelverbindung.

Das duktile Verhalten nimmt mit größer werdender Schlankheit des Stabdübels zu. Eine duktile Verbindung ist in jedem Fall anzustreben, verfügt sie doch über die

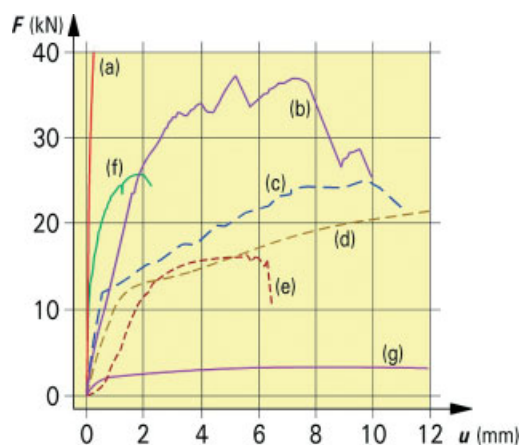


Bild 1. Last-Verformungs-Kurven für verschiedene Verbindungsmittel bei Beanspruchung auf Zug; Kurven: a) geklebte Verbindung ($12,5 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$), b) Einlassdübel ($\varnothing 100 \text{ mm}$), c) zweiseitiger Einpressdübel ($\varnothing 62 \text{ mm}$), d) Stabdübel ($\varnothing 14 \text{ mm}$), e) Bolzen ($\varnothing 14 \text{ mm}$), f) Nagelplatte (10^4 mm^2), g) Nägel ($\varnothing 4,4 \text{ mm}$), aus [8]

Fig. 1. Typical load-slip curves of different kind of fasteners from [8]

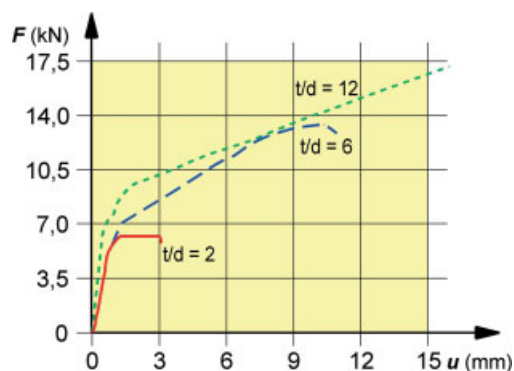


Bild 2. Einfluss der Schlankheit von Stabdübeln (t = Holzdicke des Mittelholzes; d = Stabdübeldurchmesser) auf das Tragverhalten einer Holz-Holz-Verbindung (zweischneitig) bei Zugbeanspruchung parallel zur Faser (nach [8])

Fig. 2. Influence of dowel-type slenderness on the load-deformation curves

nötige Robustheit, Kräfte in der Verbindung umzulagern. Das ist besonders wichtig, wenn mehrere Verbindungsmittel hintereinander angeordnet werden. Eine nicht duktile Verbindung birgt dagegen die Gefahr des Aufspaltens der Verbindung, ohne dass die volle rechnerische Tragfähigkeit erreicht wird.

DIN 1052:2004 benennt in Abschnitt 11.1.4 einige Verbindungsmittel mit duktilem Verhalten. Nach Absatz (3) sind das auf Abscheren beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel, die nach den vereinfachten Regeln der Norm bemessen wurden oder mit einer Schlankheit von mindestens 6, wenn sie nach dem genauen Verfahren berechnet wurden. Dazu zählen auch Kontaktanschlüsse, Einpressdübel und Verbindungen mit Querzugverstärkungen zur Verhinderung des Aufspaltens im Verbindungsbereich. Das Tragverhalten von Holzbau-Verbindungen wird von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. Von maßgebendem Einfluss auf die **Tragfähigkeit** und das **Verformungsverhalten von Verbindungsmitteln** sind u. a.:

- Größe und Anzahl der Verbindungsmittel
- Holzart
- Holzfeuchte
- Art der Belastung (Zug- oder Druckbeanspruchung)
- Last-Faser-Winkel
- Belastungsdauer

Alle diese Einflussgrößen müssen bei der Bemessung Berücksichtigung finden. Die neuen Berechnungsverfahren der DIN 1052:2004 bringen hier eine völlig neue Qualität. Dies führt jedoch, wie im Folgenden gezeigt wird, zu einem sehr hohen Rechenaufwand.

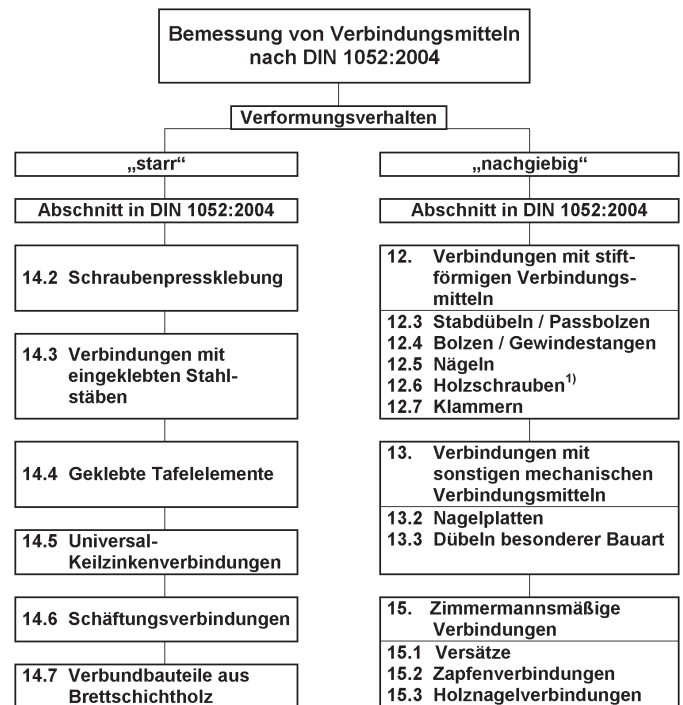
Bild 3 gibt eine Übersicht über die in der DIN 1052:2004 geregelten Verbindungen und Verbindungsmittel.

Die Regelungen zu den „starr“en Verbindungsmitteln enthält der Abschnitt 14 der Norm. Völlig neu sind die Regeln für **geklebte Verbindungen**. Neben der Schraubenpressklebung werden Verbindungen mit eingeklebten Stahlstäben, geklebte Tafелеlemente, Keilzinkenverbindungen und Verbundbauteile aus Brettschichtholz geregelt. Die bisher aus der Praxis bekannte Nagelpressklebung wird nunmehr durch die Schraubenpressklebung ersetzt.

Die „nachgiebigen“ Verbindungen werden in drei Gruppen unterteilt (s. Bild 3).

Bei den Verbindungen mit **stiftförmigen Verbindungsmitteln** handelt es sich um Verbindungen mit Stabdübeln, Nägeln, Bolzen bzw. Gewindestangen, Holzschrauben und Klammern. Stiftförmige Verbindungsmittel können Beanspruchungen senkrecht zur Stiftachse (Beanspruchung auf Abscheren), parallel zur Stiftachse (Beanspruchung auf Herausziehen) und in Kombination beider Beanspruchungsarten übertragen. Das Tragverhalten stiftförmiger Verbindungsmittel bei Beanspruchung auf Abscheren wird im Wesentlichen durch die Biegefestigkeit des Verbindungsmittels und durch die Lochleibungsfestigkeit der zu verbindenden Holzbaustoffe bestimmt.

Die rechnerischen Grundlagen für die Beanspruchung von stiftförmigen Verbindungsmitteln auf Abscheren wurden erstmals in der DIN 1052:2004 vereinheitlicht. Die Vereinheitlichung basiert auf der Arbeit von *Johansen* aus dem Jahre 1949 [9]. In recht aufwendigen Gleichungen können nunmehr bei der Berechnung der Tragfähigkeit gleichzeitig mehrere die Tragfähigkeit beeinflussende Parameter, wie die Werkstofffestigkeit (des zu verbindenden



¹⁾ Geregelt sind Schrauben mit Gewinde nach DIN 7998. Andere Schrauben können in Verbindung mit der jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassung berechnet werden.

Bild 3. Regelungen zu Verbindungen und Verbindungsmitteln in der DIN 1052:2004

Fig. 3. Rules on joints and fasteners in DIN 1052:2004

Holzes und des Stahls der Verbindungsmittel), die Materialdicken, die Rohdichte und das idealplastische Tragvermögen der Materialien berücksichtigt werden.

Die Beanspruchung stiftförmiger Verbindungsmittel auf Herausziehen kann dagegen nur über Reibung entlang der Einbindelänge aufgenommen werden. Hierbei wird klar, dass glattschaftige Verbindungsmittel, wie zum Beispiel Nägel, kaum in der Lage sind, nennenswerte Haftkräfte unter Dauerlast zu aktivieren. Weiterhin werden diese Haftkräfte von der Holzfeuchte und von Trocknungsvorgängen wesentlich beeinflusst. Im Vergleich dazu sind profilierte Verbindungsmittel (wie zum Beispiel Holzschrauben oder Rillennägel) durchaus in der Lage, auch dauernde Beanspruchungen auf Herausziehen aufzunehmen. Außerdem spielt die Materialfestigkeit des Holzwerkstoffs im Bereich des Verbindungsmittelkopfes eine wichtige Rolle (der Kopf darf sich nicht durch den zu befestigenden Holzwerkstoff hindurchziehen).

Als **sonstige mechanische Verbindungsmittel** werden in Abschnitt 13 der DIN 1052:2004 Nagelplatten und Dübel besonderer Bauart bezeichnet (s. Bild 3). Auf Nagelplatten wird hier nicht weiter eingegangen. In der Praxis wird die Bemessung von Nagelplattenverbindungen ausschließlich von den Binderherstellern durchgeführt.

Für die **Dübel besonderer Bauart** wird die Tragfähigkeit nicht mehr wie in der DIN 1052-2:1988/1996 in Tabellen angegeben, sondern diese kann jetzt anhand von Gleichungen berechnet werden.

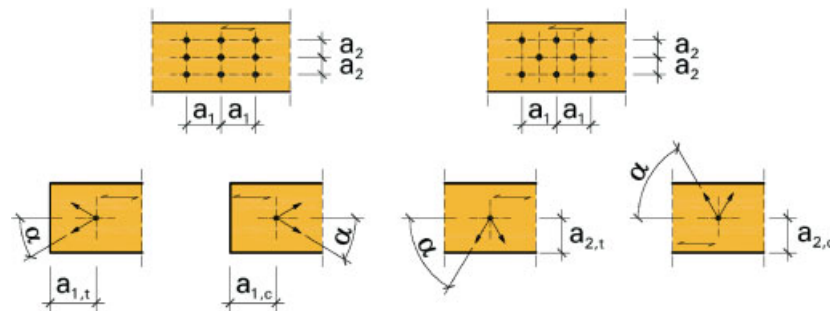
Im Abschnitt 15 – **Zimmermannsmäßige Verbindungen** – regelt die DIN 1052:2004 Versätze, Zapfen- und Holznagelverbindungen.

Die Verbindungsmittel können ihre rechnerische Lastaufnahme bei Beanspruchung auf Abscheren nur dann voll entfalten, wenn bestimmte **Abstände** zum Querschnittsrand und zwischen den in einer Reihe hintereinander oder übereinander angeordneten Verbindungsmitteln eingehalten werden. Andernfalls versagt das Holz wegen ungenügender Vorholzlänge, noch bevor die volle Tragfähigkeit erreicht ist. Die Einhaltung der Abstände ist deshalb eine

wichtige konstruktive Voraussetzung für die Gültigkeit der Berechnungsgleichungen. Die Abstände sind je nach Verbindungsmittel im Allgemeinen ein Vielfaches des Verbindungsmitteldurchmessers (s. Tabelle 1). Die erforderlichen Abstände hängen ab:

- vom Lastangriff (parallel oder im Winkel zur Faser)
- von der Lage der Verbindungsmittel
- von der Größe der Verbindungsmitteldurchmesser.

Tabelle 1. Mindestabstände stiftförmiger Verbindungsmittel (ohne Klammern) nach DIN 1052:2004
 Table 1. Minimum distances of bolts and fasteners according to DIN 1052:2004



Wegen der Spaltgefahr des Holzes ist für mehrere in Faserrichtung hintereinander angeordnete Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, Gewindestangen, Nägel mit Durchmessern > 6 mm und Schrauben mit Durchmessern > 8 mm die wirksame Anzahl n_{ef} mit Gl. (210) zu berechnen:

$$n_{ef} = \left[\min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \end{array} \right\} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} \cdot n \cdot \frac{\alpha}{90} \right]$$

Wird das Spalten des Holzes durch eine Verstärkung rechtwinklig zur Faser verhindert ist $n_{ef} = n!$

Symbol	Abstand Bezeichnung	Nagelverbindung (Schrauben mit Gewinde nach DIN 7998)		Stabdübel und Passbolzen	Bolzen und Gewindestangen
		nicht vorgebohrt $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	vorgebohrt $420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$ generell bei $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$ und Douglasienholz		
$a_1^{1)}$	parallel zur Faserrichtung	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5 + 7 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(7 + 8 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ (jedoch mindestens $4 \cdot d$)
$a_2^{1)}$	rechtwinklig zur Faserrichtung	$5 \cdot d$	$7 \cdot d$	$3 \cdot d$	$4 \cdot d$
$a_{1,t}$	beanspruchtes Hirnholzende	$d < 5 \text{ mm:}$ $(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$7 \cdot d$ (jedoch mindestens 80 mm) $(jedoch mindestens 80 \text{ mm})$
$a_{1,c}$	unbeanspruchtes Hirnholzende	$d < 5 \text{ mm:}$ $7 \cdot d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $10 \cdot d$	$15 \cdot d$	$7 \cdot d$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ (jedoch mindestens $3 \cdot d$) $(jedoch mindestens 4 \cdot d)$
$a_{2,t}$	beanspruchter Rand	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(7 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(7 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$(3 + 4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$3 \cdot d$
$a_{2,c}$	unbeanspruchter Rand	$5 \cdot d$	$7 \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$

α = Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung;

¹⁾ Bei Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen dürfen die bis auf 0,5-fachen Werte der Spalte für nicht vorgebohrte Nägel mit $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ verwendet werden (a_1 muss mindestens $5 \cdot d$ betragen)

Daher sind sie unterschiedlich groß in Bezug auf die Angriffsrichtung der Last und der Lage des Verbindungsmittels zum beanspruchten oder unbeanspruchten Rand. Zusätzlich sind die Abstände bei Nägeln abhängig von der charakteristischen Rohdichte des Holzes und davon, ob die Nagellöcher vorgebohrt oder nicht vorgebohrt sind sowie bei Klammern vom Winkel zwischen Klammerrücken und Faserrichtung.

Je nach Beanspruchung, Art des Holzwerkstoffs und des Verbindungsmittels ist zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Verbindung ein Mindestquerschnitt oder eine Mindestmaterialdicke, auch als t_{req} bezeichnet, erforderlich. Sonst besteht die Gefahr, dass schon beim Einbringen der Verbindungsmittel das Holz aufspaltet (zum Beispiel beim Nageln oder beim Schrauben ohne Vorbohren), Spaltzugkräfte bei Einleitung von Zug- oder Druckkräften die Verbindung zerstören oder Verbindungsmittel sich durch die zu verbindenden Materialien hindurch ziehen (zum Beispiel bei Deckenverkleidungen aus Holzwerkstoffen mit Beanspruchung auf Herausziehen). Auch bei diesen Regeln der Norm handelt es sich um konstruktive Voraussetzungen zur Gewährleistung der Tragsi-

cherheit sowie der Gebrauchstauglichkeit von Verbindungen.

Die Einhaltung von Mindestabmessungen für Verbindungsmittel und einer Mindestanzahl an Verbindungsmitteln oder Scherflächen dient ebenfalls dem Ziel, ein vorzeitiges Versagen der Verbindungsmittel bzw. der Verbindung zu verhindern.

Wegen der Spaltgefahr des Holzes ist für mehrere in Faserrichtung hintereinander angeordnete Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, Gewindestangen, Nägel mit Durchmessern > 6 mm und Schrauben mit Durchmessern > 8 mm die wirksame Anzahl n_{ef} mit Gl. (210) zu berechnen (s. Tabelle 1).

Beispiel 1

Es soll n_{ef} für den in Bild 4 dargestellten Zuganschluss berechnet werden.

n_{ef} wird nach Gl. (210) berechnet:

$$n_{ef} = \left[\min \left\{ \begin{matrix} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \end{matrix} \right\} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right]$$

Mit $n = 3$, $a_1 = 100 \text{ mm}$ = Abstand der Stabdübel untereinander und $\alpha = 45^\circ$ erhält man für n_{ef} :

$$n_{ef} = \left[\min \left\{ \begin{matrix} 3 \\ 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{10 \cdot 20}} \end{matrix} \right\} \cdot \frac{90 - 45}{90} + 3 \cdot \frac{45}{90} \right] = 2,63$$

Wird das Spalten des Holzes durch eine Verstärkung rechtwinklig zur Faser verhindert, ist $n_{ef} = n$ (s. DIN 1052:2004, Abschnitt 12.3.(10)). Eine wirkungsvolle Verstärkung kann mittels selbstbohrenden Vollgewindeschrauben erreicht werden. Bild 5 zeigt die Wirkung einer Verstärkung mittels selbstbohrenden Schrauben, eingedreht senkrecht zur Faser. Wird die Verstärkung direkt am Verbindungsmittel platziert, entsteht eine zusätzliche Stützung des Verbindungsmittels, und das Tragverhalten wird im Vergleich zur unverstärkten Lösung wesentlich verbessert.

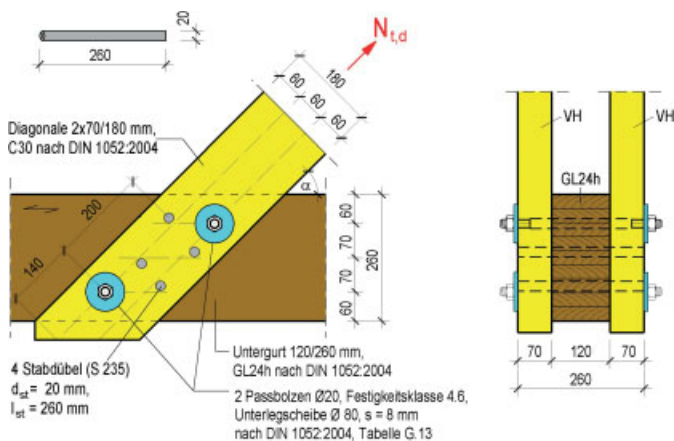


Bild 4. Zuganschluss
Fig. 4. Tension joint

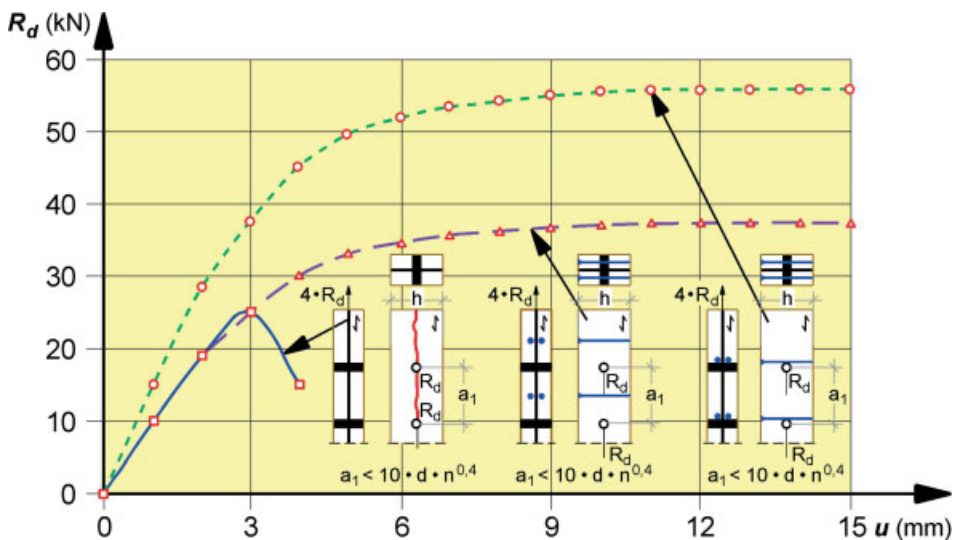


Bild 5. Last-Verformungskurven verstärkter Zugverbindungen mit Stabdübeln im Vergleich zu einer unverstärkten Verbindung nach [10]

Fig. 5. Load-deformation curves from reinforced joints and no reinforced joints according to [10]

2 Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

2.1 Beanspruchung auf Abscheren

Das Tragverhalten stiftförmiger Verbindungsmittel bei Beanspruchung auf Abscheren wird im Wesentlichen durch den Biege- und Schubwiderstand der Verbindungsmittel und die Lochleibungsfestigkeit der Holzwerkstoffe in der Verbindung bestimmt. Die Tragfähigkeit wird deshalb von der Geometrie der Verbindungsmittel, der Festigkeit der Verbindungsmittel und der Festigkeit der zu verbindenden Baustoffe beeinflusst.

Allerdings wird ausdrücklich in Abschnitt 12, Absatz (2) der DIN 1052:2004 darauf hingewiesen, dass bei Holzbau-Verbindungen die Tragfähigkeit auch durch Scherveragen des Holzes entlang der Verbindungsmittelreihe oder durch Zugversagen des Holzes begrenzt wird, was stets beim rechnerischen Entwurf der Verbindung zu berücksichtigen ist (siehe dazu die Erläuterungen E12.1(2) in [7] und EC 5, Teil 1-1:2004, Anhang A). Insbesondere bei Holz-Stahl-Verbindungen kann es entlang der äußeren Verbindungsmittelreihen zum sogenannten „Blockscherveragen“ (s. Bild 6) oder zum Zugversagen des Holzes (s. Bild 7) kommen.

Die DIN 1052:2004 bietet bei Beanspruchung auf Abscheren zwei Möglichkeiten für die Berechnung von stiftförmigen Verbindungsmitteln:

- die Berechnung nach dem genauen Verfahren entsprechend den Formeln im Anhang G der Norm

- die Berechnung nach dem Näherungsverfahren entsprechend den Formeln in Abschnitt 12. 2 der Norm

Genaueres Nachweisverfahren:

Die von *Johansen* entwickelten Formeln [9] berücksichtigen alle möglichen Versagensfälle bei Verbindungen mit

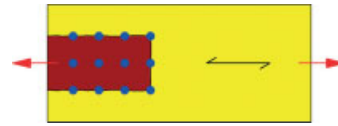


Bild 6. Scherveragen entlang der Verbindungsmittelreihe nach EC 5:2004, Teil 1-1, Anhang A

Fig. 6. Shear failure along the outside fasteners according to EC 5:2004, part 1-1

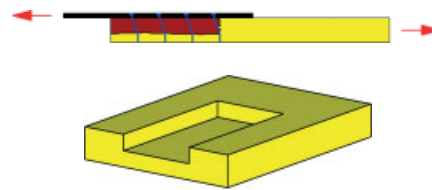


Bild 7. Zugversagen des Holzes im Bereich der Verbindungsmittel nach EC 5:2004, Teil 1-1, Anhang A

Fig. 7. Tension failure of wood in the stressed surface according to EC 5:2004, part 1-1

Tabelle 2. Charakteristische Werte R_K einer einschnittigen Verbindung **pro Scherfuge** von Bauteilen aus Holz bzw. Holzwerkstoffen (Tabelle G.2 in DIN 1052:2004 – weitere Tabellen siehe DIN 1052:2004, Anhang G)

Table 2. Characteristic values R_K per shear joint of wood members

Berechnungsgleichung für den charakteristischen Wert R_K	Gleichung	Versagensfall
$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$ $\gamma_M = 1,3$	(G.1)	
$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta$ $\gamma_M = 1,3$	(G.2)	
$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left\{ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right\}$ $\gamma_M = 1,3$	(G.3)	
$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$ $\lambda_M = 1,2$	(G.4)	
$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right]$ $\lambda_M = 1,2$	(G.5)	
$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$ $\lambda_M = 1,1$	(G.6)	

stiftförmigen Verbindungsmitteln, bestehend aus Holzwerkstoffen (s. Tabelle 2) und in Kombination mit Stahl (s. Tabelle 3). **Die Berechnung von R_k muss für alle dort aufgeführten Versagensfälle durchgeführt werden, und der kleinste rechnerische Wert aus R_k/γ_M ist maßgebend** (Tabellen 2 und 3 – weitere Tabellen siehe DIN 1052:2004, Anhang G).

Für die Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit R_d nach Gl. (195) enthalten die Tabellen auch Angaben für den jeweils geltenden Materialfaktor γ_M .

Verbindungen von Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen:

Die klassischen Holzbauverbindungen werden aus zwei oder mehreren Hölzern hergestellt. Aus praktischen Gründen bestehen dabei die Hölzer i. Allg. aus einer Holzart und gleicher Festigkeitsklasse. Mit den neuen Berechnungsgrundlagen der DIN 1052:2004 lassen sich aber auch Verbindungen aus Holz unterschiedlicher Holzarten und Festigkeitsklassen oder aus Holz und Holzwerkstoffen berechnen.

Stahlblech-Holz-Verbindungen:

Die Leistungsfähigkeit einer Holzbauverbindung kann in Kombination mit Stahlblechen wesentlich erhöht werden. So erhöhen außenliegende dicke Stahlbleche die Tragfähigkeit durch örtliche Verstärkung bzw. Einspannung im Kopfbereich des Verbindungsmittels, und mit eingeschlizten Stahlblechen kann gezielt eine tragfähigkeitserhöhende Mehrschnittigkeit hergestellt werden. Die Norm unterscheidet bei stiftförmigen Verbindungen zwei Arten von Stahlblech-Holz-Verbindungen:

- Verbindungen mit innenliegenden Stahlblechen und mit außenliegenden dicken Blechen
- Verbindungen mit außenliegenden dünnen Blechen

Die Kriterien für „dicke“ bzw. „dünne“ Stahlbleche können Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 3. Charakteristische Werte R_k für einschnittige Stahlblech-Holz-Verbindungen pro Scherfuge für Blechdicke $t \geq 0,5 \cdot d$, dicke Bleche außenliegend (Tabelle G.5 in DIN 1052:2004 – weitere Tabellen siehe DIN 1052:2004, Anhang G)

Table 3. Characteristic values R_k of steel-wood connections – external thick steel sheets

Berechnungsgleichung für den charakteristischen Wert R_k	Gleichung	Versagensart
$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$ $\gamma_M = 1,3$	(G.13)	
$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \times$ $\times \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]$ $\lambda_M = 1,2$	(G.14)	
$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$ $\gamma_M = 1,1$	(G.15)	

Die Berechnungen nach dem genauen Verfahren sind sehr zeitaufwendig und kaum noch kostengünstig per Hand durchführbar. Um diesem Manko entgegenzuwirken, wurde eine Berechnungssoftware entwickelt, die den Aufwand zur Berechnung der Tragfähigkeit stiftförmiger Verbindungsmittel nach DIN 1052:2004 minimieren soll (www.holzbau-software.com).

Näherungsverfahren:

Die Berechnung der Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen kann näherungsweise nach der Gleichung (G. 6) in Tabelle 2 erfolgen. Dieser Versagensfall stellt sich ein, wenn zwei plastische Gelenke im Verbindungsmittel entstehen. Möglich ist das aber nur, wenn ganz bestimmte geometrische Verhältnisse vorliegen, d. h., die Formel ist nur gültig, wenn in Abhängigkeit von der Art des Verbindungsmittels und dem Holzwerkstoff sowie seiner Festigkeit ganz bestimmte Mindestholzdicken t_{req} eingehalten werden.

Verbindungen von Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen:

Bei Einhaltung der Mindestholzdicken $t_{1,req}$ und $t_{2,req}$ nach Gl. (192) bis (194) in DIN 1052:2004 (siehe auch Tabelle 4), erfolgt die Berechnung des charakteristischen Wertes der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel nach Gl. (191)

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$$

mit

$$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$$

Bei geringeren Holzdicken ist der Wert R_k mit dem jeweils kleineren Wert von $k_t = t_1/t_{1,req}$ und $k_t = t_2/t_{2,req}$ zu korrigieren. Die Formeln für $t_{1,req}$ bzw. $t_{2,req}$ können Tabelle 4 entnommen werden.

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel wird nach Gl. (195) berechnet:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_M};$$

mit $\gamma_M = 1,1$ = Wert für auf Biegung beanspruchten Stahl

Ist zum Beispiel aufgrund unterschiedlicher Materialverwendung k_{mod} unterschiedlich groß, dann ist k_{mod} nach Gl. (196) zu bilden:

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}}$$

Stahlblech-Holz-Verbindungen:

Bei Einhaltung der Mindestholzdicke t_{req} errechnet sich der charakteristische Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel nach den Formeln Gl. (197) und (199) gemäß Tabelle 5. Die Formeln nach Gl. (197) und Gl. (199) entsprechen den Gln. (G.15) bzw. (G.18) und den Gln. (G.12) bzw. (G.20) in Anhang G der Norm.

Die Bemessung der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel wird wieder nach Gl. (195) ermittelt.

Tabelle 4. Berechnung der Mindestholzdicken für Holz/Holzwerkstoffverbindungen bei Anwendung des Näherungsverfahrens nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.2.2

Table 4. Calculation of the minimum thickness in wooden joints with approximate method according to DIN 1052:2004

einschnittige Verbindung		zweischnittige Verbindung	
	Bezeichnung von t bei Nägeln 		Bezeichnung von t bei Nägeln
Gl. (192) ¹⁾			
$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$			
Gl. (193) ¹⁾		Gl. (194) ¹⁾	
$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$		$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(\frac{4}{\sqrt{1+\beta}} \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$	
Symbole	nach DIN 1052:2004		
t ₁ , t ₂	Holz- oder Holzwerkstoffdicke oder Eindringtiefe der Verbindungsmittel in [mm]		
f _{h,1,k} ; f _{h,2,k}	charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit im Holz 1 bzw. Holz 2 in [N/mm ²]		
β =	f _{h,2,k} /f _{h,1,k}		
d	Durchmesser des Verbindungsmittels in [mm]		
M _{y,k}	charakteristischer Wert des Fließmoments des Verbindungsmittels in [Nmm]		

¹⁾ In Abweichung von diesen Gleichungen dürfen die Mindestholzdicken t_{1,req} (Holzdicken oder Eindringtiefen der Nägel mit rundem Querschnitt) für Verbindungen zwischen Bauteilen aus Nadelholz mit Gl. (219) t_{req} = 9 · d angenommen werden. In Abweichung zur Berechnung nach diesen Gleichungen dürfen für Nagel-Verbindungen aus Holz- oder Gipswerkstoffen und Holz die in DIN 1052:2004, Tabelle 11 festgelegten Werte für t_{req} angenommen werden.

Beispiel 2

Der in Bild 8 dargestellte Zugstoß soll eine Zugkraft von N_{t,d} = 150 kN übertragen. Die Laschen (45/260 mm) werden aus Furnierschichtholz nach bauaufsichtlicher Zulassung Z.9.1-100 (Kerto-S) hergestellt. Die gestoßenen Holzquerschnitte (200/240 mm) bestehen aus Nadelholz S13 nach DIN 4074-1:2003. Als Verbindungsmittel sollen Nägel verwendet werden (Ng. 4,6 × 130 nach DIN EN 10230-1:2000 – nicht vorgebohrt). Die Tragfähigkeit der Nägel wird mit dem vereinfachten und genauen Verfahren ermittelt.

Lösung:

Nutzungsklasse (Nkl.) 1, Klasse der Lastweinvirkungsdauer (KLED) „kurz“
→ nach Tabelle F.1 in DIN 1052:2004 gilt hierfür k_{mod} = 0,9.

Laschen:

Kerto-S nach Z.9.1-100, aus der Zulassung erhält man die Werte für die charakteristische Holzfestigkeit und Rohdichte: f_{t,0,k} = 38 N/mm², ρ_k = 480 kg/m³ < 500 kg/m³, nach Abschnitt 12.5.2, Absatz (6) müssen Nagelverbindungen bei

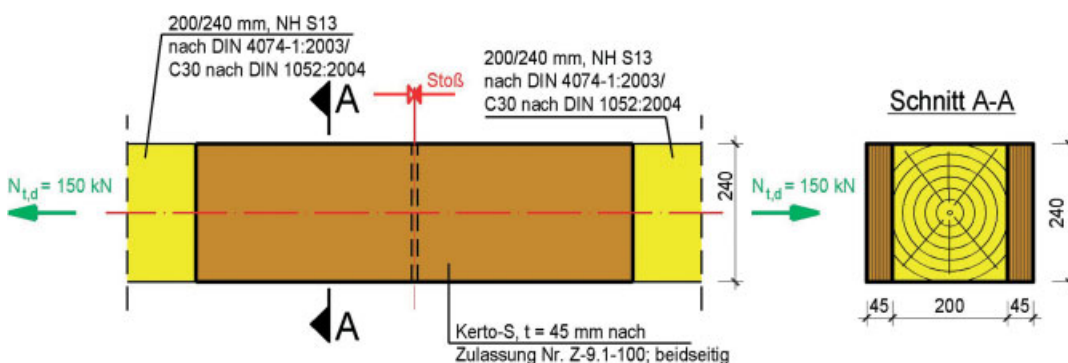

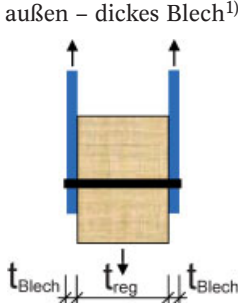
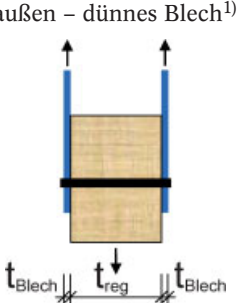


Bild 8. Zugstoß
Fig. 8. Tension joint

Tabelle 5. Näherungsverfahren zur Berechnung des charakteristischen Wertes der Tragfähigkeit R_k von Stahl-Holz-Verbindungen **pro Scherfuge** und Verbindungsmittel nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.2.3

Table 5. Approximate method to calculate the characteristic values R_k per shear joint of steel-wood connections according to DIN 1052:2004

Lage der Bleche		
 <p>innen</p>	 <p>außen – dickes Blech¹⁾</p>	 <p>außen – dünnes Blech¹⁾</p>
	<p>Bedingungen für „dicke“ Stahlbleche: $t \geq d$ sowie Stahlbleche $t \geq 2 \text{ mm}$, die mit Sondernägeln der Tragfähigkeitsklasse 3 mit einem Durchmesser $d \leq 2 \cdot t$ angeschlossen sind</p>	<p>Bedingungen für „dünne“ Stahlbleche: $t \leq 0,5 \cdot d$</p>
R_k		
<p>Gl. (197)</p> $R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$		<p>Gl. (199)</p> $R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$
t_{req}		
Seitenholz	Mittelholz	
zweischnittig Gl. (198) ²⁾	zweischnittig Gl. (200) ²⁾	mehrschnittig Gl. (201) ²⁾
$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$	$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 \cdot \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$	$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 \cdot \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$
Symbole	nach DIN 1052	
t_{req}	Mindestholzdicken in [mm]	
$f_{h,k}$	charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit des Holzes in [N/mm ²]	
R_k	charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge in [N]	
d	Durchmesser des Verbindungsmittels in [mm]	
$M_{y,k}$	charakteristischer Wert des Fließmoments des Verbindungsmittels in [Nmm]	

¹⁾ Ist $0,5 \cdot d < d < 1,0 \cdot d$, so ist zwischen den Werten R_k nach Gl. (197) und Gl. (199) und t_{req} nach Gl. (198) und Gl. (201) zu interpolieren.

²⁾ Abweichend von diesen Gleichungen dürfen bei Nagelverbindungen die in DIN 1052:2004, Tabelle 12 festgelegten Werte für t_{req} angenommen werden.

$\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$ vorgebohrt werden – in diesem Fall nicht erforderlich!

gestoßene Querschnitte:

NH S13 nach DIN 4074-1:2003, das entspricht nach Tabelle F.6 in DIN 1052:2004 der Festigkeitsklasse C30. Nach DIN 1052:2004, Tabelle F.5 erhält man die Werte für die charakteristische Holzfestigkeit und Rohdichte:

$$f_{t,0,k} = 18 \text{ N/mm}^2, \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3.$$

Berechnung der Mindestdicke bzw. der Mindesteindringtiefe zur Sicherung der vollen Tragfähigkeit der Nägel:

Vorhandene Laschendicke $t_{\text{vorh}} = 45 \text{ mm}$

Vorhandene Eindringtiefe des Nagels

$$t_{\text{vorh}} = 130 - 45 = 85 \text{ mm}$$

Berechnung der Tragfähigkeit der Nagelverbindung:

Nach Abschnitt 12.5.1, Absatz (3) beträgt die Mindestzugfestigkeit der Nägel $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$

Charakteristisches Fließmoment nach Gl. (214) in Nmm:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 4,6^{2,6} = 9516 \text{ Nmm}$$

Charakteristische Lochleibungsfestigkeit für Furnierschichtholz in N/mm^2 (für nicht vorgebohrte Nägel):

In der Zulassung ist keine Formel für die Berechnung angegeben. Es wird die Formel für Furnierschichtholz des EC5, Abschnitt 8.3.1.1(5) Gl. (8.15) – EN 1995-1-1:2004 angewendet:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 480 \cdot 4,6^{-0,3} = 24,9 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristische Lochleibungsfestigkeit für Nadelholz in N/mm² nach Gl. (212) (für **nicht vorgebohrte** Nägel):
für NH C30 nach DIN 1052:2004, Tabelle F.5 erhält man $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 4,6^{-0,3} = 19,71 \text{ N/mm}^2$$

Verhältniswert β nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.2.2(1):

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{19,71}{24,9} = 0,79$$

Berechnung der Mindestholzdicken nach Gl. (192) und Gl. (193) – siehe auch Tabelle 3:

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$$

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{0,79}{1+0,79}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{9516}{24,9 \cdot 4,6}}$$

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot 3,33 \cdot 9,11 = 35 \text{ mm} < t_{1,vorh} = 45 \text{ mm}$$

$$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$$

$$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{0,79}{1+0,79}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{9516}{19,71 \cdot 4,6}}$$

$$t_{2,req} = 1,15 \cdot 3,33 \cdot 10,24 = 39,21 \text{ mm}$$

< $t_{2,vorh} = 85 \text{ mm}$ Eindringtiefe des Nagels
< $t_{2,vorh} = 200 \text{ mm}$ Holzdicke für Mittelholz

Wegen ausreichend dicker Holzbauteile und Mindesteindringtiefe muss die berechnete Tragfähigkeit R_k nicht abgemindert werden ($k_t = t_{vorh}/t_{req} = 45/35 = 1,29 > 1$ bzw. $85/35 = 2,43 > 1$).

Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit pro Scherfläche nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren nach Gl. (191) in N:

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 0,79}{1+0,79}} \cdot \sqrt{2 \cdot 9516 \cdot 24,9 \cdot 4,6}$$

$$R_k = 0,94 \cdot 1477 = 1388 \text{ N} = 1,39 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Scherfläche nach Gl. (195):

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,39}{1,1} = 1,14 \text{ kN}$$

Berechnung der Tragfähigkeit über Tragfähigkeitstabelle in [4]:

Aus Tabelle 6-36 in [4] erhält man den Wert $R_d = 0,92 \text{ kN}$. Dieser Wert gilt für Nadelholz der Festigkeitsklasse C24 und $k_{mod} = 0,8$. Nach Tabelle 6-38 kann der Wert auf die tatsächliche Nutzungsklasse umgerechnet werden. Der Umrechnungsfaktor beträgt für NKL 1 und KLED „kurz“ $k = 1,13$. Daraus erhält man einen Wert für $R_d = 1,13 \cdot 0,92 \text{ kN} = 1,04 \text{ kN}$.

Berücksichtigt man die beiden unterschiedlichen charakteristischen Lochleibungsfestigkeiten für das gestoßene Bauteil und die Laschen, so ergibt sich ein Wert für R_d :

$$k_{f,h,k} = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{k,Kerto}}{\rho_{k,C24}}} = 0,94 \cdot 1,12 = 1,1$$

$$R_d = k_{f,h,k} \cdot 1,04 = 1,1 \cdot 1,04 \text{ kN} = 1,14 \text{ kN}$$

Der Stoß wird pro Stoßseite und Lasche mit 6 Nagelreihen in 12 Spalten hergestellt (Bild 9).

Der Bemessungswert der Gesamttragfähigkeit des Zugstoßes beträgt:

$$R_{d,Anschluss} = n_{Laschen} \cdot n_{Reihen} \cdot n_{Spalten} \cdot R_d = 2 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 1,14 = 164,16 \text{ kN}$$

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Zugstoßverbindung:

$$\frac{N_{t,d}}{R_{d,Anschluss}} = \frac{150}{164,16} = 0,91 < 1$$

Berechnung der Mindestabstände für Nadelholz nach Tabelle 10 in DIN 1052:2004 und für Furnierschichtholz nach Z-9.1-100. In der Zulassung sind nur Festlegungen für Kerto-Q enthalten. Es werden für Kerto-S die Festlegungen der Norm für Nadelholz zugrunde gelegt:

Abstand zum Rand senkrecht zur Faser:
 $a_{2,c} = 5 \cdot d = 5 \cdot 4,6 = 23 \text{ mm}$
⇒ gewählt: $a_{2,c} = 57,5 \text{ mm}$

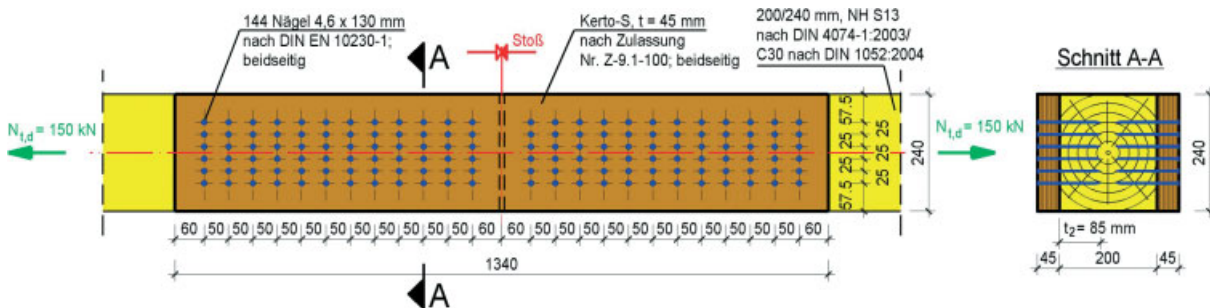
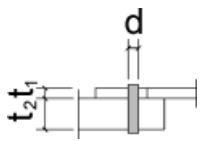
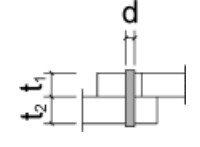
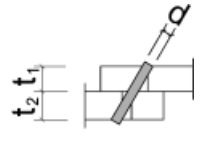
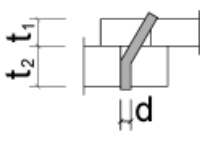
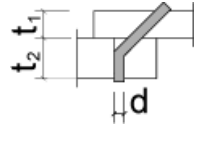
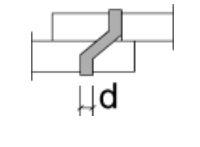


Bild 9. Konstruktion des Zugstoßes mit Laschen aus Furnierschichtholz und nicht vorgebohrten Nägeln
Fig. 9. Details of tension joint with cleats from parallel laminated veneer

Tabelle 6. Berechnung des charakteristischen Wertes R_k pro Scherfuge
 Table 6. Calculation of the characteristic value R_k per shear joint

	Gleichung	Versagensfall
$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 24,9 \cdot 45 \cdot 4,6 = 5154 \text{ N} = 5,15 \text{ kN}$ $\lambda_M = 1,3$ $\frac{R_k}{\gamma_M} = 3,96 \text{ kN}$	(G.1)	
$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta = 24,9 \cdot 85 \cdot 4,6 \cdot 0,79 = 7691 \text{ N} = 7,69 \text{ kN}$ $\gamma_M = 1,3$ $\frac{R_k}{\gamma_M} = 5,92 \text{ kN}$	(G.2)	
$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left\{ \sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right\}$ $R_k = \frac{24,9 \cdot 45 \cdot 4,6}{1 + 0,79} \left\{ \sqrt{0,79 + 2 \cdot 0,79^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{85}{45} \right) + \left(\frac{85}{45} \right)^2 \right] + 0,79^3 \cdot \left(\frac{85}{45} \right)^2} - 0,79 \cdot \left(1 + \frac{85}{45} \right) \right\}$ $R_k = 2807 \text{ N} = 2,81 \text{ kN}$ $\gamma_M = 1,3$ $\frac{R_k}{\gamma_M} = 2,16 \text{ kN}$	(G.3)	
$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$ $R_k = \frac{24,9 \cdot 45 \cdot 4,6}{2 + 0,79} \left[\sqrt{2 \cdot 0,79 \cdot (1 + 0,79) + \frac{4 \cdot 0,79 \cdot (2 + 0,79) \cdot 9516}{24,9 \cdot 4,6 \cdot 45^2}} - 0,79 \right]$ $R_k = 1840 \text{ N} = 1,84 \text{ kN}$ $\gamma_M = 1,2$ $\frac{R_k}{\gamma_M} = 1,53 \text{ kN}$	(G.4)	
$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right]$ $R_k = \frac{24,9 \cdot 85 \cdot 4,6}{1 + 2 \cdot 0,79} \left[\sqrt{2 \cdot 0,79^2 \cdot (1 + 0,79) + \frac{4 \cdot 0,79 \cdot (1 + 2 \cdot 0,79) \cdot 9516}{24,9 \cdot 4,6 \cdot 85^2}} - 0,79 \right]$ $R_k = 2777 \text{ N} = 2,77 \text{ kN}$ $\gamma_M = 1,2$ $\frac{R_k}{\gamma_M} = 2,32 \text{ kN}$	(G.5)	
$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,79}{1 + 0,79}} \cdot \sqrt{2 \cdot 9516 \cdot 21,9 \cdot 4,6}$ $R_k = 1387 \text{ N} = 1,39 \text{ kN}$ $\gamma_M = 1,1$ $\frac{R_k}{\gamma_M} = 1,26 \text{ kN} \Rightarrow (\text{maßgebend!})$	(G.6)	

Abstand vom beanspruchten Hirnholzende:

$$a_{1,t} = (7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (7 + 5 \cdot \cos 0^\circ) \cdot d = 12 \cdot d = 12 \cdot 4,6 = 55,2 \text{ mm (gilt für } d < 5 \text{ mm, } \alpha = \text{Last-Faser-Winkel} = 0^\circ),$$

\Rightarrow gewählt: $a_{1,t} = 60 \text{ mm}$

Abstand untereinander parallel zur Faser:

$$a_1 = (5 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (5 + 5 \cdot \cos 0^\circ) \cdot d = 10 \cdot d = 10 \cdot 4,6 = 46 \text{ mm}$$

\Rightarrow gewählt: $a_1 = 50 \text{ mm}$

Abstand untereinander senkrecht zur Faser:

$$a_2 = 5 \cdot d = 5 \cdot 4,6 = 23 \text{ mm}$$

⇒ gewählt: $a_2 = 25 \text{ mm}$

Zum Vergleich zur Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren wird die charakteristische Tragfähigkeit R_k nach dem genauen Verfahren nach Tabelle 2 berechnet. Dabei ist Bild 43 der Norm mit den Festlegungen für die Eindringtiefe zu beachten. Die Eindringtiefe des Nagels ist für einschnittig beanspruchte Nägel mit t_2 festgelegt, in die Gleichungen ist der kleinere Wert von t_2 (d. h. $t_{2,\text{Eindringtiefe}} = 85 \text{ mm}$) einzusetzen!

Den kleinsten rechnerischen Wert für R_k/γ_M erhält man aus Gl. (G.6), die auch der Berechnungsformel des Näherungsverfahrens entspricht. Für $R_k = 1,39 \text{ kN}$ ist ebenfalls $\gamma_M = 1,1$ maßgebend. Mindestholzdicken müssen beim genauen Verfahren nicht ermittelt werden!

Würde man als alternative Konstruktion nicht Furnierschichtholz verwenden, sondern normales Nadelschnittholz, so ist zu beachten, dass wegen der niedrigeren charakteristischen Rohdichte des Holzes, z. B. für Festigkeitsklasse C30, eine größere Dicke t_{req} für die Laschen erforderlich wäre. Diese größere Dicke resultiert vorrangig aus der Spaltgefahr beim Nageln mit nicht vorgebohrten Nägeln, wie im Folgenden gezeigt wird.

Nach Abschnitt 12.5.2, Absatz (7) dürfen abweichend von Gl. (192) bis Gl. (194) (s. Tabelle 4) die Mindestdicken $t_{i,\text{req}}$ (Holzdicken oder Eindringtiefen der Nägel mit rundem Querschnitt) für Verbindungen zwischen Bauteilen aus Nadelholz mit Gl. (217) berechnet werden.

Mindestholzdicke bzw. Mindesteindringtiefe zur Sicherung der vollen rechnerischen Tragfähigkeit des Verbindungsmittels nach Gl. (217):

$$t_{\text{req}} = 9 \cdot d_{\text{Nagel}} = 9 \cdot 4,6 = 41,4 \text{ mm}$$

< $t_{\text{vorh}} = 85 \text{ mm}$ vorhandene Eindringtiefe

< $t_{\text{vorh}} = 45 \text{ mm}$ vorhandene Seitenholzdicke

< $t_{\text{vorh}} = 200 \text{ mm}$ vorhandene Mittelholzdicke

Die rechnerische Tragfähigkeit R_k muss wegen der Einhaltung der Mindestholzdicke bzw. der Mindesteindringtiefe nicht abgemindert werden.

Zusätzlich besteht bei nicht vorgebohrten Nagelverbindungen die Gefahr der Aufspaltung des Holzes. Deshalb ist nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.5.2, Absatz (13) ein weiteres Kriterium für die Mindestholzdicke t_{req} zu überprüfen. Dabei sind die Anforderungen für Bauteile aus **Nadelhölzern** (es gilt dann zusätzlich Gl. (218)) höher, als für Bauteile aus Kiefernholz (es gilt dann zusätzlich Gl. (219)), wenn nicht größere Mindestabstände zum Bauteilrand rechtwinklig zur Faser gewählt werden.

Berechnung der Mindestdicke des Seitenholzes (für Nadelholz) aus der Spaltgefahr des Holzes für nicht vorgebohrte Nägel nach Gl. (218):

$$t = \max \begin{cases} 14 \cdot d = 14 \cdot 4,6 = 64,4 \\ >_{\text{vorh}} t = 45 \text{ mm (maßgebend)} \\ (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{200} = (13 \cdot 4,6 - 30) \cdot \frac{380}{200} \\ = 56,62 >_{\text{vorh}} t = 45 \text{ mm} \end{cases}$$

Die bisherige Mindestholzdicke der Laschen von 45 mm reicht aus der Sicht der Spaltgefahr keinesfalls aus. Die

folgende Gl. (219) kann auch für Nadelholz angewendet werden, wenn für den Mindestnagelabstand zum Rand rechtwinklig zur Faser mindestens $10 \cdot d = 10 \cdot 4,6 = 46 \text{ mm}$ eingehalten werden. Bedingung ist, dass die charakteristische Rohdichte des Holzes $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ beträgt, was in diesem Fall zutrifft.

Man wählt als einzuhaltenden Randabstand senkrecht zur Faser $a_{2,c} = 57,5 \text{ mm}$ und berechnet die Mindestholzdicke des Seitenholzes aus der Spaltgefahr des Holzes für nicht vorgebohrte Nägel nach Gl. (219):

$$t = \max \begin{cases} 7 \cdot d = 7 \cdot 4,6 = 32,2 \\ <_{\text{vorh}} t = 45 \text{ mm (maßgebend)} \\ (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} = (13 \cdot 4,6 - 30) \cdot \frac{380}{400} \\ = 28,31 <_{\text{vorh}} t = 45 \text{ mm} \end{cases}$$

Die Mindestholzdicke ist dann eingehalten. Die Ausführung ist also nach Bild 9 mit Laschen aus Nadelholz S13 nach DIN 4047-1 und gleicher Holzdicke wie beim Furnierschichtholz möglich.

Alternativ soll unter Verwendung von Nadelholz S13 für die Laschen eine Lösung unter Verwendung von vorgebohrten Nägeln untersucht werden. Abgesehen vom größeren Arbeitsaufwand (nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.5.1(7) ist mit $0,9 \cdot d$ vorzubohren) haben vorgebohrte Nägel eine größere Tragfähigkeit.

Zum Vergleich berechnet man zunächst für $\beta = 1$ die Tragfähigkeit des **nicht vorgebohrten Nagels** für eine Verbindung aus Nadelholz gleicher Festigkeitsklasse:

Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge nach Gl. (191):

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = \sqrt{2 \cdot 9516 \cdot 19,71 \cdot 4,6}$$

$$R_k = 1314 = 1,31 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Scherfläche nach Gl. (195):

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,31}{1,1} = 1,07 \text{ kN}$$

Bei gleicher Anzahl von Nägeln wie in Bild 9 beträgt die Anschlusstragfähigkeit:

$$R_{d,\text{Anschluss}} = n_{\text{Laschen}} \cdot n_{\text{Reihen}} \cdot n_{\text{Spalten}} \cdot R_d = 2 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 1,07 = 154 \text{ kN} > N_{t,d,\text{vorh}} = 150 \text{ kN}$$

Für **vorgebohrte Nägel** erhält man eine höhere Tragfähigkeit pro Scherfläche. Die charakteristische Lochleibungsfestigkeit wird nach Gl. (213) berechnet:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 4,6) \cdot 380 = 29,73 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Nageltragfähigkeit beträgt dann pro Scherfläche:

$$k_{\text{vorgebohrt/nicht vorgebohrt}} = \sqrt{\frac{f_{h,1,k,\text{vorgebohrt}}}{f_{h,1,k,\text{nicht vorgebohrt}}}} = \sqrt{\frac{29,73}{19,71}} = 1,23$$

$$R_d = k \cdot R_d = 1,23 \cdot 1,07 = 1,32 \text{ kN}$$

Berechnung der Tragfähigkeit über Tragfähigkeitstabellen in [4]:

Aus Tabelle 6-36 in [4] erhält man den Wert $R_d = 1,13 \text{ kN}$. Dieser Wert gilt für Nadelholz der Festigkeitsklasse C24 und $k_{mod} = 0,8$. Nach Tabelle 6-38 kann der Wert auf die tatsächliche Nutzungsklasse umgerechnet werden. Der Umrechnungsfaktor beträgt für NKL. 1 und KLED „kurz“ $k = 1,13$. Daraus erhält man einen Wert für

$$R_d = 1,13 \cdot 1,13 \text{ kN} = 1,28 \text{ kN}$$

Berücksichtigt man die höhere Rohdichte von C30, so ergibt sich ein Wert für R_d :

$$k_p = \sqrt{\frac{\rho_{k,C30}}{\rho_{k,C24}}} = \sqrt{\frac{380}{350}} = 1,04$$

$$R_d = k_p \cdot 1,28 = 1,04 \cdot 1,28 \text{ kN} = 1,33 \text{ kN}$$

Es können 14 Nägel pro Laschenhälfte eingespart werden. Außerdem spart diese Lösung an Laschenlänge, da die Nagelabstände hintereinanderliegender Nägel halbiert und der Abstand der Reihen verringert werden können (Bild 10).

Bemessungswert der Anschlusstragfähigkeit

$$R_{d,Anschluss} = n_{Laschen} \cdot n_{Reihen} \cdot n_{Spalten} \cdot R_d = 2 \cdot 13 \cdot 5 \cdot 1,32 = 171 > N_{t,d,vorh} = 150 \text{ kN}$$

Eine andere wirtschaftliche Lösung ergibt sich aus der Verwendung von selbstbohrenden Schrauben nach bauaufsichtlicher Zulassung, die ohne Vorbohren eingebracht werden. Im Folgenden wird eine Lösung mit Teilgewindeschrauben $\varnothing 5 \times 120 \text{ mm}$ nach bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-514 bei Verwendung von Laschen aus Nadelholz Kiefer S13 nach DIN 4074-1/C30 nach DIN 1052:2004 untersucht.

Charakteristische Lochleibungsfestigkeit für Laschen nach Gl. (212):

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 5^{-0,3} = 19,23 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 5^{-0,3} = 19,23 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{19,23}{19,23} = 1$$

Berechnung der Mindestholzdicken nach Gl. (192) und Gl. (193) – s. auch Tabelle 3

$M_{y,k}$ wird aus der Zulassung, Tabelle 3, entnommen. $M_{y,k} = 5900 \text{ Nmm}$

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$$

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1}{1+1}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{5900}{19,23 \cdot 5}}$$

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot 3,41 \cdot 7,83 = 30,7 \text{ mm} < t_{1,vorh} = 45 \text{ mm}$$

$$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$$

$$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1}{1+1}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{5900}{19,23 \cdot 5}}$$

$$t_{2,req} = 1,15 \cdot 3,41 \cdot 7,83 = 30,71 \text{ mm}$$

$< t_{2,vorh} = 75 \text{ mm}$ Eindringtiefe der Schraube
 $< t_{2,vorh} = 200 \text{ mm}$ Holzdicke für Mittelholz

Charakteristische Tragfähigkeit pro Scherfläche nach Gl. (191):

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1+1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 5900 \cdot 19,23 \cdot 5}$$

$$R_k = 1 \cdot 1065 = 1,07 \text{ kN}$$

Nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.6(8) darf bei einschneitigen Holzschraubenverbindungen der charakteristische Wert der Tragfähigkeit R_k um einen Anteil ΔR_k erhöht werden. Dieser Anteil wird nach Gl. (231) berechnet:

$$\Delta R_k = \min\{R_k; 0,25 \cdot R_{ax,k}\}$$

Man spricht in diesem Zusammenhang von einem sogenannten „Einhangeffekt“. Bei Versuchen hat man festgestellt, dass durch die Profilierung der Schrauben ein höherer Widerstand gegen Herausziehen besteht, die sich auch

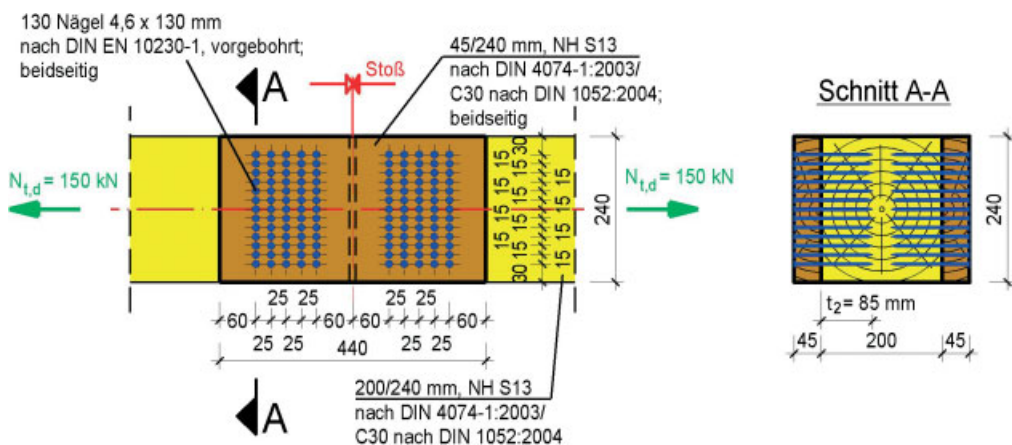


Bild 10. Konstruktion des Zugstoßes mit vorgebohrten Nägeln und Laschen aus Nadelholz S13 nach DIN 4074-1
 Fig. 10. Details of tension joint with cleats from softwood S13 according to DIN 4074-1 and predrilled nails

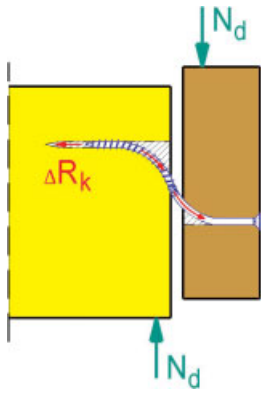


Bild 11. „Einhangeffekt“ bei einschnittig beanspruchten Schrauben
Fig. 11. Effect of ΔR_k at single-shear screws

bei der Beanspruchung auf Abscheren bemerkbar macht und zur Erhöhung der Tragfähigkeit führt (s. Bild 11). Dieser Effekt kann nach DIN 1052:2004 auch bei einschnittig beanspruchten Nägeln der Tragfähigkeitsklasse III (s. DIN 1052:2004, Abschnitt 12.5.3(9) und 12.5.4(3)) und bei Passbolzenverbindungen (s. DIN 1052:2004, Abschnitt 12.3(8)) genutzt werden.

$R_{ax,k}$ wird nach bauaufsichtlicher Zulassung Gl. (7) und Gl. (8) berechnet:

$\ell_{ef} = b = 70 \text{ mm}$, $d_k = 13,5 \text{ mm}$ aus der bauaufsichtlichen Zulassung

$$R_{ax,k} = \min \begin{cases} 10 \cdot \ell_{ef} \cdot d \\ 10 \cdot d_k \end{cases}$$

$$= \min \begin{cases} 10 \cdot 70 \cdot 5 = 3500 \text{ N} = 3,5 \text{ kN} \\ 10 \cdot 13,5^2 = 1822,5 \text{ N} = 1,82 \text{ kN maßgebend} \end{cases}$$

Berechnung ΔR_k nach Gl. (231):

$$\Delta R_k = \min\{R_k; 0,25 \cdot R_{ax,k}\} = \min\{1,07; 0,25 \cdot 1,82\}$$

$$= \min\{1,07; 0,455\} = 0,46 \text{ kN}$$

$$R_k = R_k + \Delta R_k = 1,07 + 0,46 = 1,53 \text{ kN}$$

ΔR_k erhöht die rechnerische Tragfähigkeit wesentlich (ca. 40 %), so dass gegenüber der Lösung mit nicht vorgebohrten Nägeln nur 48 Schrauben pro Laschenhälfte erforderlich werden. Für die Mindestabstände gelten die Regeln

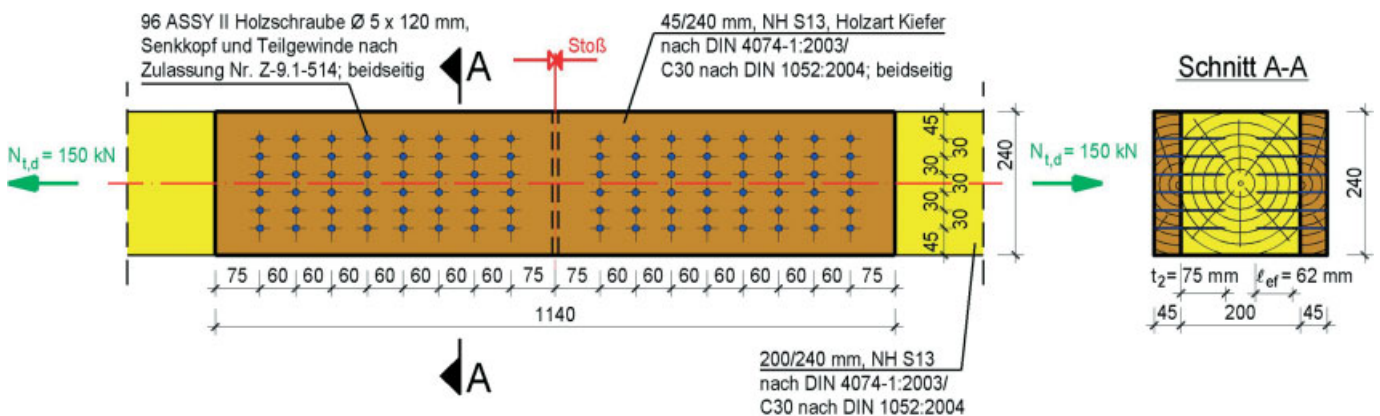


Bild 12. Konstruktion des Zugstoßes mit Laschen aus Nadelholz S13 nach DIN 4074-1 und selbstbohrenden Schrauben nach Z-9.1-514

Fig. 12. Details of tension joint with cleats from softwood S13 according to DIN 4074-1 and self-drilled screws

für **nicht vorgebohrte Nägel** (Bild 12). Ebenfalls ist wie bei nicht vorgebohrten Nägeln die Mindestdicke des Holzes aus der Spaltgefahr zu berücksichtigen.

Die Mindestholzdicke des Seitenholzes aus der Spaltgefahr des Holzes für nicht vorgebohrte Nägel berechnet sich für die Laschen aus Kiefernholz nach Gl. (219):

$$t = \max \begin{cases} 7 \cdot d = 7 \cdot 5 = 35 \\ <_{\text{vorh}} t = 45 \text{ mm (maßgebend)} \\ (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} = (13 \cdot 5 - 30) \cdot \frac{380}{400} = 33,25 \\ <_{\text{vorh}} t = 45 \text{ mm} \end{cases}$$

Wenn für die Laschen Kiefernholz verwendet wird, kann die bisherige Holzdicke von 45 mm beibehalten werden.

Nachweis der Holzquerschnitte für die Konstruktionslösung gemäß Bild 9

Für die Nachweisführung sind die Regeln des Abschnittes 11.1.2 der DIN 1052:2004 zu beachten. Durch die Umlenkung der Zugkraft an der Stoßstelle über die Laschen entsteht ein örtliches Zusatzmoment in den Laschen. Dessen Wirkung wird beim Nachweis der Laschen bei Verwendung von Nägeln in **nicht vorgebohrten** Nagellöchern vereinfacht durch eine Verminderung der Zugfestigkeit um 1/3 berücksichtigt (s. DIN 1052:2004, Abschnitt 11.1.2(1)).

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit für die Laschen

Bemessungswert der Zugbeanspruchung:

⇒ bei **nicht vorgebohrten** Nägeln bis 6 mm Durchmesser braucht keine Querschnittsschwächung berücksichtigt zu werden (siehe DIN 1052:2004, Abschnitt 7.2.4(2)).

$$A_{\text{netto}} = A_{\text{brutto}} = 2 \cdot b \cdot h = 2 \cdot 45 \cdot 240 = 21600 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{\text{netto,Laschen}}} = \frac{150 \cdot 10^3}{21600} = 6,94 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Holzfestigkeit nach Gl. (3) in DIN 1052:2004:

$$f_{t,0,k,\text{Kerto-S}} = 38 \text{ N/mm}^2 \text{ aus Zulassung, Tabelle 3}$$

$$f_{t,0,d,C24} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{t,0,k,\text{Kerto-S}}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 38}{1,3} = 26,31 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Stoßlaschen mit ausziehfesten Verbindungsmitteln nach DIN 1052:2004, Abschnitt 11.1.2 (1):

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{0,66 \cdot f_{t,0,d,C24}} = \frac{6,94}{0,66 \cdot 26,31} = 0,4 < 1,0$$

Nachweis erfüllt!

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit für die gestoßenen Holzquerschnitte

Bemessungswert der Zugbeanspruchung:

$$A_{\text{netto}} = A_{\text{brutto}} = b \cdot h = 200 \cdot 240 = 48000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{\text{netto,Zugstab}}} = \frac{150 \cdot 10^3}{48000} = 3,13 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Holzfestigkeit nach Gl. (3) in DIN 1052:2004:

$$f_{t,0,d,C30} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{t,0,k,C30}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 18}{1,3} = 12,46 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für die gestoßenen Bauteile:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,C24}} = \frac{3,13}{12,46} = 0,25 < 1$$

Beispiel 3

Für einen Fachwerkbinder aus Brettschichtholz GL28h mit einer Spannweite von 21 m sind die Verbindungsmittel für den gemäß Bild 13a gekennzeichneten Anschlussknoten festzulegen. Die Knotenkräfte sollen über ein eingeschlitztes Blech und Stabdübel WS-T Ø 7 × 113 mm übertragen werden. Mit diesen Stabdübeln kann man Bohrungen im Holz und im Stahlblech in einem Arbeitsgang herstellen. Möglich ist die Herstellung von Knoten mit bis zu 3 Blechen (t ≤ 5 mm) in einem Arbeitsgang. Damit sind bis maximal 6-schnittige Stabdübelverbindungen möglich.

Nutzungsklasse (Nkl.) 1, Klasse der Lastweinsteinwirkungsdauer (KLED) „kurz“

→ nach Tabelle F.1 in DIN 1052:2004 gilt hierfür k_{mod} = 0,9

gewählt:

Blech t = 5 mm, S 235 Stabdübel Ø 7 × 113 mm SFS WS-T, S 235, f_{u,k} = 360 N/mm², BSH GL28h, ρ_k = 410 kg/m³

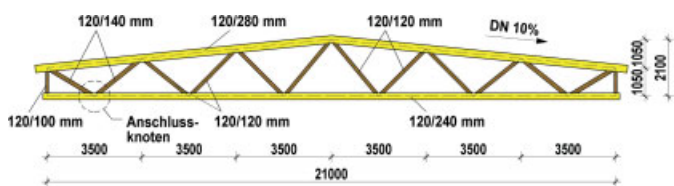


Bild 13. a) Fachwerkbinder in Brettschichtholz, Spannweite 21 m, b) Stabdübel SFS-WS-T Ø 7 mm
Fig. 13. a) Truss from glued laminated timber, span 21 m, b) drift bolt SFS-WS-T Ø 7 mm

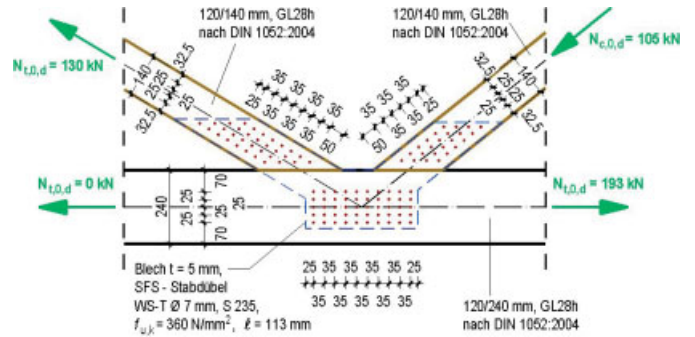


Bild 14. Details am Fachwerkknoten
Fig. 14. Details of the truss joint



Bild 15. Ansicht des Fachwerkknotens
Fig. 15. View of the truss joint

Charakteristischer Wert des Fließmoments nach Gl. (208):

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 7^{2,6} = 17009 \text{ Nmm}$$

Charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit für α = 0° nach Gl. (203):

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 7) \cdot 410 = 31,27 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit des Stabdübels pro Scherfläche nach Gl. (197):

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 17009 \cdot 31,27 \cdot 7} = 3859 \text{ N} = 3,86 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stabdübels pro Scherfläche nach Gl. (195):

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 3,86}{1,1} = 3,16 \text{ kN}$$

Mindestholzdicke nach Gl. (198):

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{17009}{31,27 \cdot 7}} = 40,5$$

$$< t_{\text{vorh}} = \frac{113 - 7}{2} = 53 \text{ mm}$$

Bei Anordnung von mehreren Stabdübeln in einer Reihe hintereinander nimmt die Gefahr der Aufspaltung des Holzes zu. Deshalb ist die Wirksamkeit mehrerer Stabdübel hintereinander nach DIN 1052:2004 Gl. (216) für α = 0° (Last-Faser-Winkel?) wie folgt zu berechnen:

$$n_{\text{ef}} = \left(\min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot 4 \sqrt{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \end{array} \right. \right)$$

Für $a_1 = 5 \cdot d$ erhält man für $n = 6$ ein $n_{ef} = 4,22$, für $n = 8$ ein $n_{ef} = 5,46$ und für $n = 10$ ein $n_{ef} = 6,68$.

Berechnung der Tragfähigkeit für den Anschluss der Zugdiagonale:

$$R_{d,Anschluss} = n_{ef} \cdot n_{Scherflächen} \cdot n_{Reihen} \cdot R_d = 5,46 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 3,16 = 138,03 \text{ kN} > N_{t,0,d,vorh} = 135 \text{ kN}$$

Berechnung der Tragfähigkeit für den Anschluss der Druckdiagonale:

$$R_{d,Anschluss} = n_{ef} \cdot n_{Scherflächen} \cdot n_{Reihen} \cdot R_d = 4,22 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 3,16 = 106,68 \text{ kN} > N_{c,0,d,vorh} = 105 \text{ kN}$$

Berechnung der Tragfähigkeit für den Anschluss an den Untergurt:

$$R_{d,Anschluss} = n_{ef} \cdot n_{Scherflächen} \cdot n_{Reihen} \cdot R_d = 6,68 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 3,16 = 211,09 \text{ kN} > N_{t,0,d,vorh} = 193 \text{ kN}$$

Der Nachweis für das Stahlblech wird an dieser Stelle nicht geführt.

2.2 Beanspruchung auf Herausziehen

DIN 1052:2004 enthält in Abschnitt 12.8 Regeln für die Berechnung der Tragfähigkeit auf Herausziehen für Nägel, Holzschrauben und Klammern.

Maßgebend für die Beanspruchung in Schaftrichtung sind zwei Größen, der Widerstand gegen Herausziehen und der Widerstand gegen Kopfdurchziehen. Die jeweiligen charakteristischen Werte gehen in die Berechnung ein. Die wesentlichen Grundlagen der Bemessung werden anhand der in der Norm geregelten Schrauben dargelegt.

Schrauben: Holzschrauben mit Gewinde nach DIN 7998 werden nach DIN 1052:2004 in die Tragfähigkeitsklasse 2A eingestuft (s. Tabelle 7).

Die entsprechenden charakteristischen Werte für die Auszieh- und Kopfdurchzieh-Parameter von Schrauben enthält Tabelle 7. Analog zu Nägeln gelten beim Anschrauben von Holzwerkstoffplatten bestimmte Mindestplattendicken, die zu beachten sind.

Ansonsten gelten für die Mindestabstände, Mindestholzdicken und Mindesteinschraubtiefen die gleichen Regeln wie für auf Abscheren beanspruchte Holzschrauben, d. h. konkret, es gelten die Mindestabstände wie für vorgebohrte Nägel nach Tabelle 10 der Norm.

Beispiel 4

Eine Deckenverkleidung soll auf einer Lattenkonstruktion befestigt werden. Die Latten werden über Sechskantholzschrauben an den Kanthölzern befestigt. Pro Befestigung aus einer Schraube wirkt eine Zugkraft von $N_{t,d} = 1,25 \text{ kN}$.

Der Anschluss soll mit einer Sechskantholzschraube nach DIN 571 $\varnothing 10 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ realisiert werden. Diese besitzt ein Gewinde nach DIN 7998:1975-02 und wird damit nach DIN 1052 ohne weiteren Nachweis in die Tragfähigkeitsklasse 2A eingestuft. Aus Tabelle 7 erhält man für die charakteristischen Werte des Auszieh- bzw. Kopfdurchziehparameters:

$$f_{1,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 70 \cdot 10^{-6} \cdot 350^2 = 8,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{2,k} = 60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 60 \cdot 10^{-6} \cdot 350^2 = 7,4 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Herausziehen durch Versagen des Holzes (Herausziehen oder Kopfdurchziehen):

$\ell_{ef} = 60 \text{ mm}$, $d_k = 17 \text{ mm}$ nach DIN 571

für $\alpha = 90^\circ$ ergibt sich $R_{ax,k}$ aus Gl. (235)

$$R_{ax,k} = \min \begin{cases} f_{1,k} \cdot d \cdot \ell_{ef} = 8,6 \cdot 10 \cdot 60 = 5160 \text{ N} \\ = 5,16 \text{ kN} \\ f_{2,k} \cdot d_k^2 = 7,4 \cdot 17^2 = 2139 \text{ N} = 2,14 \text{ kN} \\ (\text{maßgebend}) \end{cases}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Herausziehen durch Versagen des Holzes nach Gl. (234):
 \Rightarrow KLED „ständig“, nach Tabelle F.1 ist $k_{mod} = 0,6$

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{ax,k}}{\gamma_M} = \frac{0,6 \cdot 2,14}{1,3} = 0,98 \text{ kN (maßgebend)}$$

oder nach Tabelle 6.2-47 in [4] erhält man:

$R_{ax,d}$ für $\ell = 100 \text{ mm}$ und $d = 10 \text{ mm}$ abgelesen:
 $R_{ax,d} = 1,31 \text{ kN}$ (gilt für $k_{mod} = 0,8$ und Nutzungsklasse 1)

Korrektur mit Tabelle 6.2- 48, da $k_{mod} = 0,6$ in [4]:

$$R_{ax,d} = 0,75 \cdot 1,31 = 0,98 \text{ kN}$$

Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Herausziehen durch Versagen des Schraubenwerkstoffs nach Gl. (236):

$$R_{ax,k} = 75 \cdot \pi \cdot (0,9 \cdot d_k)^2 = 75 \cdot \pi \cdot (0,9 \cdot 10)^2$$

$$R_{ax,k} = 19085 \text{ N} = 19,09 \text{ kN} \quad \text{nicht maßgebend!}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Herausziehen durch Versagen des Schraubenwerkstoffs mit $\gamma_M = 1,25$ nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.8.2.(7)

$$R_d = \frac{R_{ax,k}}{\gamma_M} = \frac{19,09}{1,25} = 15,27 \text{ kN}$$

Nachweis der Tragfähigkeit des Anschlusses für die maßgebende Tragfähigkeit:

$$\frac{N_{t,d}}{R_{ax,d}} = \frac{1,25 \text{ kN}}{0,98 \text{ kN}} = 1,26 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erfüllt!}$$

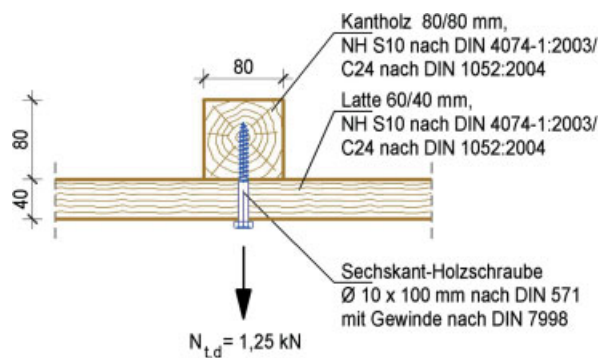
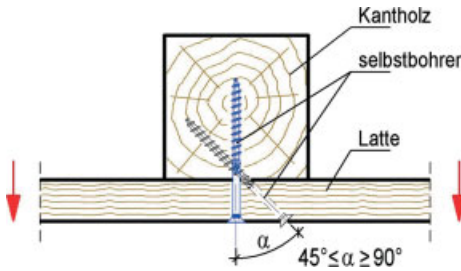
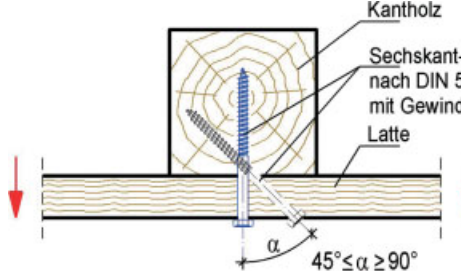


Bild 16. Ausführung mit Sechskantholzschraube
 Fig. 16. Execution with coach screw

Tabelle 7. Berechnung des charakteristischen Widerstandes $R_{ax,k}$ und des Bemessungswertes gegen Herausziehen (Auszieh-widerstand) nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.8.2

Table 7. Calculation of the characteristic values $R_{ax,k}$ and $R_{ax,d}$ against pullout according to DIN 1052:2004

<p>Allgemein bei Einschraubwinkel $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$</p> 		<p>Holzschrauben mit Gewinde nach DIN 7998, $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$</p> 	
DIN 1052, Gleichung (235)		DIN 1052, Gleichung (235)	
$R_{ax,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot \ell_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cos^2 \alpha} \\ f_{2,k} \cdot d_k \end{array} \right.$		$R_{ax,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot \ell_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cos^2 \alpha} \\ f_{2,k} \cdot d_k \end{array} \right.$ <p>mit $f_{1,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$ und $f_{2,k} = 60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$</p>	
Bemessungswert der Tragfähigkeit im Holz $R_{ax,d}$ nach Gleichung (234)			
$R_{ax,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{ax,k}}{\gamma_M} \text{ mit } \gamma_M = 1,3$			
		charakteristische Tragfähigkeit des Schraubenwerkstoffes $R_{ax,k}$, nach Gleichung (236) $R_{ax,k} = 75 \cdot \pi \cdot (0,9 \cdot d_k)^2$ Bemessungswert der Tragfähigkeit des Schraubenwerkstoffes $R_{ax,d}$ nach Gleichung (234) $R_{ax,d} = \frac{R_{ax,k}}{\gamma_M} \text{ mit } \gamma_M = 1,25$	
charakteristische Werte für den Ausziehparameter $f_{1,k}$		charakteristische Werte für den Kopfdurchziehparameter $f_{2,k}$	
Tragfähigkeitsklasse:	$f_{1,k}$	Tragfähigkeitsklasse:	$f_{2,k}$
1	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	A	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
2	$70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	B	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
3	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	C	$100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
Charakteristische Rohdichte ρ_k in kg/m^3 , jedoch höchstens 500 kg/m^3			
Symbole	nach DIN 1052		
$f_{1,k}$	charakteristische Werte des Ausziehparameters in N/mm^2		
$f_{2,k}$	charakteristische Werte des Kopfdurchziehparameters in N/mm^2		
d	Nenndurchmesser der Schraube in mm		
d_k	Kopfdurchmesser der Schraube in mm		
ℓ_{ef}	wirksame Eindringtiefe der Schraube in mm		
Die unterlegten Felder entsprechen den Werten, die für Schrauben mit einem Gewinde nach DIN 7998:1975-02 ohne weiteren Nachweis angesetzt werden dürfen.			

Nach oben dargestellter Berechnung ist Kopfdurchziehen maßgebend. Die Tragfähigkeit kann durch eine Unterlegscheibe, z. B. nach DIN 440, verbessert werden. Dann wird Herausziehen maßgebend.

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{1,k} \cdot d \cdot \ell_{ef} = 8,6 \cdot 10 \cdot 60 = 5160 \text{ N} \\ 5,16 \text{ kN (maßgebend)} \\ f_{2,k} \cdot d_k^2 = 7,4 \cdot 45^2 = 14985 \text{ N} = 14,99 \text{ kN} \end{array} \right.$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Herausziehen durch Versagen des Holzes nach Gl. (234):

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{ax,k}}{\gamma_M} = \frac{0,6 \cdot 5,16 \text{ kN}}{1,3} = 2,4 \text{ kN}$$

Nachweis der Tragfähigkeit des Anschlusses für die maßgebende Tragfähigkeit:

$$\frac{N_{t,d}}{R_{ax,d}} = \frac{1,25 \text{ kN}}{2,4 \text{ kN}} = 0,52 < 1,0$$

Alternativ kann auch eine Befestigung mittels selbstbohrender Holzschraube mit Teilgewinde Ø 10 × 100 nach bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-514 gewählt werden. Zur Verbesserung der Tragfähigkeit gegen Kopfdurchziehen wird zusätzlich eine Senkscheibe gewählt.

Für $\ell_{ef} = 60 \text{ mm}$ und $d_k = 33 \text{ mm}$ (Durchmesser der Senkscheibe) erhält man aus Gl. (7) und Gl. (8) den maßgebenden Wert für $R_{ax,k}$

$$R_{ax,k} = \min \begin{cases} 10 \cdot \ell_{ef} \cdot d_1 = 10 \cdot 60 \cdot 10 = 6000 \text{ N} \\ 6 \text{ kN (maßgebend)} \\ 10 \cdot d_k^2 = 10 \cdot 33^2 = 10890 \text{ N} = 10,89 \text{ kN} \end{cases}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Herausziehen durch Versagen des Holzes nach Gl. (234):

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{ax,k}}{\gamma_M} = \frac{0,6 \cdot 6 \text{ kN}}{1,3} = 2,77 \text{ kN}$$

Nachweis der Tragfähigkeit des Anschlusses für die maßgebende Tragfähigkeit:

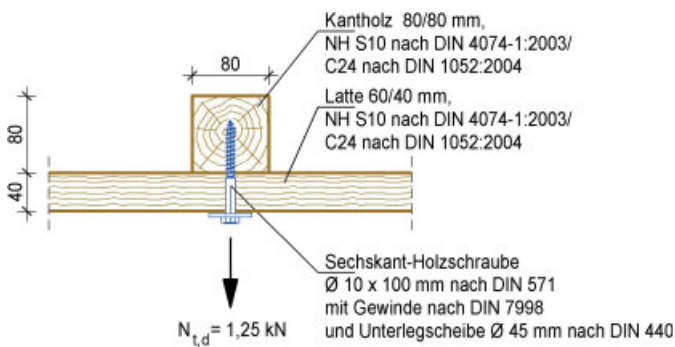


Bild 17. Ausführung mit Sechskantholzschaube und Unterlegscheibe

Fig. 17. Execution with coach screw and washer

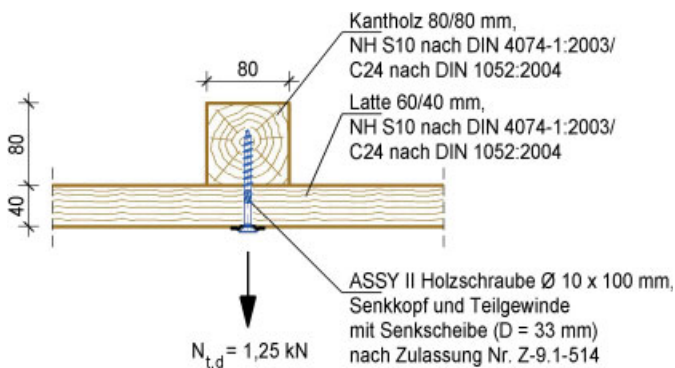


Bild 18. Ausführung mit selbstbohrender Schraube und Unterlegscheibe

Fig. 18. Execution with self-drilled screw and washer

$$\frac{N_{t,d}}{R_{ax,d}} = \frac{1,25 \text{ kN}}{2,77 \text{ kN}} = 0,45 < 1,0$$

2.3 Tragfähigkeit von Nägeln, Schrauben und Klammern unter kombinierter Beanspruchung (Abscheren und Herausziehen)

Werden Nägel, Holzschrauben und Klammern sowohl senkrecht, als auch parallel zu ihrer Stiftachse beansprucht, muss folgende Gl. (237) eingehalten sein:

$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^m + \left(\frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \right)^m \leq 1$$

mit

- m = 1 glattschaftige Nägel, Sondernägel der Tragfähigkeitsklasse 1, Klammern
- m = 2 Sondernägel der Tragfähigkeitsklasse 2 und Holzschrauben

Literatur

- [1] Lißner, K., Rug, W., Steinmetz, D.: DIN 1052:2004 – Neue Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken, Teil 1: Material- und Werkstoffverhalten. In: Bautechnik 84 (2007), H. 8, S. 544–58.
- [2] Lißner, K., Rug, W., Steinmetz, D.: DIN 1052:2004 – Neue Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken, Teil 2: Anwendungsbereich und holzbau-spezifische Grundlagen des neuen Sicherheitskonzeptes. In: Bautechnik 84 (2008), H. 1, S. 1–17.
- [3] Lißner, K., Rug, W., Steinmetz, D.: DIN 1052:2004 – Neue Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken, Teil 3: Bemessung von einteiligen Holzbauteilen. In: Bautechnik 84 (2008), H. 4, S. 258–276.
- [4] Lißner, K., Felkel, A., Hemmer, K., Radovic, B., Rug, W., Steinmetz, D.: DIN 1052 Praxishandbuch Holzbau (BDZ., Hrsg), Beuth- und WEKA-Verlag, Berlin/Augsburg 2005.
- [5] Rug, W., Mönck, W.: Holzbau; 15. Auflage, Berlin: Verlag Bauwesen 2007; (www.holzbau-statik.de).
- [6] Werner, G., Zimmer, K.: Holzbau Teil 1 und 2; 3. Auflage, neubearbeitet von Zimmer, K. und Lißner, K., Springer Verlag Berlin, Heidelberg 2004/2005.
- [7] Blaß, H. J., Ehlbeck, J., Kreuzinger, H., Steck, G.: Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08, 2. Auflage, DGfH, Bruderverlag, München/Karlsruhe 2005.
- [8] Racher, P.: Mechanische Holzverbindungen – Allgemeines. In: Step 1, Düsseldorf 1995.
- [9] Johansen, K. W.: Theory of timber connections. International Association of Bridge and Structural Engineering, Publication No. 9, pp. 249–262.
- [10] Bejtka, I.: Verstärkung von Stabdübelverbindungen. In: Ingenieurholzbau; Karlsruher Tage, Bruderverlag/Universität Karlsruhe 2005.
- [11] Werner, H.: Tragfähigkeit von Holz-Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln unter Berücksichtigung streuender Einflußgrößen, Universität Karlsruhe, Dissertation, 1993.

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Karin Lißner, Ingenieurbüro Lißner, Forststraße 35, 01099 Dresden
 Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rug, Ingenieurbüro Prof. Rug, Wilhelmstraße 25, 19322 Wittenberge
 Prof. Dipl.-Ing. Dieter Steinmetz, SUS-Ingenieure GmbH, Pforzheimer Straße 53, 76275 Ettlingen

(Fortsetzung im nächsten Heft)