

1/3.2 Verbindungsmittel in der DIN 1052



Dr.-Ing. Karin Lißner ist freiberuflich als beratende Ingenieurin und Planerin tätig. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens an der TH in Bratislava war sie als Assistentin an der TU Dresden tätig. Danach arbeitete sie als Dozentin für Holz- und Plastbau und wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Bauakademie der DDR, Abteilung Holzkonstruktionen. Dr.-Ing. Lißner ist darüber hinaus ö. b. u. v. Sachverständige für das Zimmererhandwerk.
Ingenieur- und Sachverständigen Büro
D-01099 Dresden
www.altbauplanung.de



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rug hat nach seinem Studium des Bauingenieurwesens an der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar das Fachgebiet Holzbau der Bauakademie der DDR aufgebaut und geleitet. 1986 promovierte er an der Bauakademie zum Dr.-Ing. Heute ist Prof. Rug als beratender Ingenieur und Prüflingenieur für Baustatik tätig und hat eine Professur für Holzbau an der FH Eberswalde inne.
Ingenieurbüro Prof. Dr. Rug & Partner
D-19322 Wittenberge
www.holzbau-statik.de
www.holzbau-software.com

Autoren

[1] Johansen, K. W.: Theory of timber connections. International Association of Bridge and Structural Engineering, Publication No. 9, pp. 249–262

[2] Lißner, Felkel, Hemmer, Radovic, Rug, Steinmetz: DIN 1052 Praxishandbuch Holzbau (BDZ., Hrsg.), Beuth- und WEKA-Verlag, Berlin/Augsburg 2005

[3] Rug, W; Mönck, W.: Holzbau; 15. vollständig überarbeitete Auflage, Huss Verlag, Berlin 2006; (www.holzbau-statik.de)

[4] Werner, G; Zimmer, K.: Holzbau Teil 1 und 2; 3. Auflage, neu bearbeitet von Zimmer, K. und Lißner, K., Springer Verlag Berlin, Heidelberg 2004/2005

[5] Blaß, Ehlbeck, Kreuzinger, Steck: Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08, DGfH, München 2004

Literatur

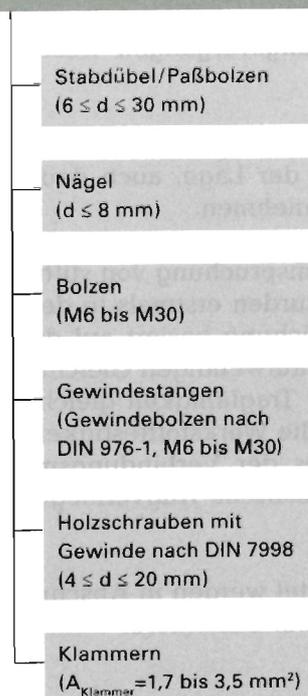
Grundsätze und Grundlagen**1/3.2.1 Grundsätze und Grundlagen**

Ohne leistungsfähige Verbindungen ist ein konkurrenzfähiger Holzbau nicht denkbar. Beim Entwurf von Verbindungen kann der Zimmermann heute auf eine Vielzahl von Verbindungsmitteln mit unterschiedlichen Eigenschaften zurückgreifen.

Tabelle 1: Verbindungsmittel-Bemessungsregeln in DIN 1052:2004

Abschnitt in DIN 1052	Inhalt
12	Verbindungen mit stiftförmigen metallischen Verbindungsmitteln
13	Verbindungen mit sonstigen mechanischen Verbindungsmitteln
14	Geklebte Verbindungen
15	Zimmermannsmäßige Verbindungen

Ein wesentliches Kennzeichen für eine hohe Leistungsfähigkeit von Verbindungsmitteln ist eine möglichst hohe Lastaufnahme bei geringer Verformung. Klebeverbindungen können hohe Beanspruchungen bei sehr geringen Verformungen aufnehmen. Sie werden deshalb als „starre“ Verbindungen bezeichnet. Alle anderen Verbindungsmittel zählen zu den „nachgiebigen“ Verbindungsmitteln.

**DIN 1052, Abschnitt 12 –
Verbindungen mit stiftförmigen
metallischen Verbindungsmitteln**
**Bild 1: Stiftförmige Verbindungsmittel nach DIN 1052:2004**

Bei Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln handelt es sich um Verbindungen mit Stabdübeln, Nägeln, Bolzen bzw. Gewindestangen, Holzschrauben und Klammern (Bild 1). Stiftförmige Verbindungsmittel können Beanspruchungen senkrecht zur Stiftachse (Beanspruchung auf Abscheren), parallel zur Stiftachse (Beanspruchung auf Herausziehen) und in Kombination beider Beanspruchungen übertragen.

Das Tragverhalten stiftförmiger Verbindungsmittel bei Beanspruchung auf Abscheren wird im Wesentlichen durch zwei Brucharten bestimmt, durch den Bruch infolge Überschreitung der Biegefestigkeit des Verbindungsmittels oder durch die Überschreitung der Lochleibungsfestigkeit der Holzwerkstoffe in den Verbindungen.

Optimale Holzdicke

Eine optimale Auslastung der Verbindungsmittel ist immer dann gegeben, wenn die Schlankheit des Verbindungsmittels (Verhältnis Holzdicke zu Verbindungsmitteldurchmesser) auf der Grenze zwischen beiden Bruchursachen liegt. Der namhafte Holzbauforscher Wilhelm Stoy (1887–1958) fand in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts bei zahlreichen Versuchen an Nagelverbindungen heraus, dass zu jedem Nagel eine optimale Holzdicke gehört. Das gilt für alle stiftförmigen Verbindungsmittel.

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 und diese Haftkräfte von der Holzfeuchte oder Trocknungsvorgängen wesentlich beeinflusst werden.

Profilierte Verbindungsmittel

Im Vergleich dazu sind profilierte Verbindungsmittel (z.B. Holzschrauben oder Rillennägel) durchaus in der Lage, auch dauernde Beanspruchungen auf Herausziehen aufzunehmen.

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. In aufwendigen Gleichungen können nunmehr bei der Berechnung der Tragfähigkeit gleichzeitig mehrere einflussgebende Parameter, wie die Werkstofffestigkeit (des zu verbindenden Holzes und des Stahles der Verbindungsmittel), Materialdicken, Rohdichte und das idealplastische Tragvermögen der Materialien berücksichtigt werden.

Als sonstige mechanische Verbindungsmittel werden in Abschnitt 13 der DIN 1052:2004 Nagelplatten und Dübel besonderer Bauart bezeichnet (Bild 3).

Grundsätze und Grundlagen

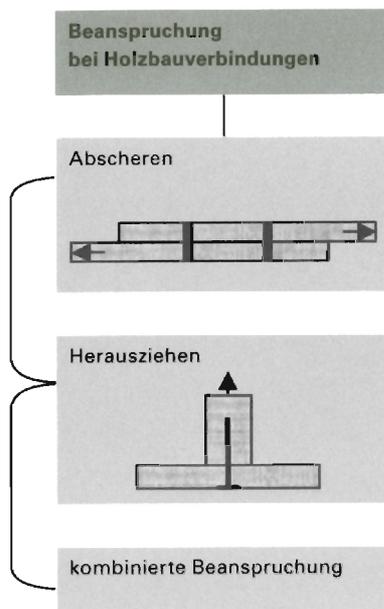


Bild 2: Beanspruchung nach DIN 1052:2004

Für Dübel besonderer Bauart wird die Tragfähigkeit nicht mehr wie bisher in Tabellen angegeben. Sie kann anhand von Gleichungen berechnet werden.



Bild 3: Sonstige mechanische Verbindungsmittel nach DIN 1052:2004

Völlig neu sind die in DIN 1052:2004, Abschnitt 14 verfassten Regeln für geklebte Verbindungen (Bild 4). 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.

Geklebte Verbindungsmittel

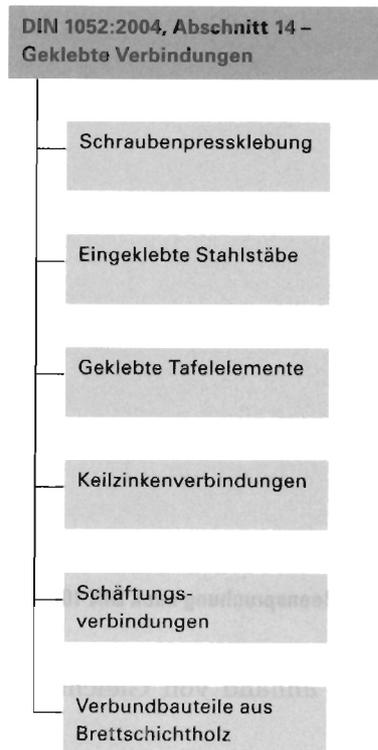


Bild 4: Geklebte Verbindungen nach DIN 1052:2004

Zimmermannsmäßige Verbindungen regelt die DIN 1052:2004 im Abschnitt 15: Versätze, Zapfen- und Holznagelverbindungen (Bild 5).

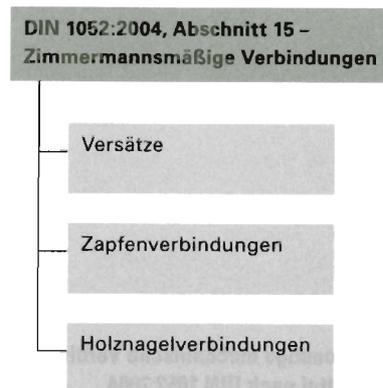


Bild 5: Zimmermannsmäßige Verbindungen nach DIN 1052:2004

Randabstände und Abstände untereinander

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

Grundsätze und Grundlagen

Die Einhaltung der Randabstände ist eine wichtige konstruktive Voraussetzung für die Gültigkeit der Berechnungsgleichungen. Die Abstände sind je nach Verbindungsmittel ein Vielfaches des Durchmessers. Die erforderlichen Abstände hängen ab:

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

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

Je nach Beanspruchung, Art des Holzwerkstoffes und des Verbindungsmittels ist zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Verbindung ein Mindestquerschnitt oder eine Mindestmaterialdicke erforderlich. Sonst besteht zum Beispiel die Gefahr, dass schon beim Einbringen der Verbindungsmittel das Holz aufspaltet (zum Beispiel beim Nageln), Spaltzugkräfte bei Einleitung von Zug- oder Druckkräften die Verbindung zerstören oder Verbindungsmittel sich durch die zu verbindenden Materialien hindurchziehen (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 Stand- und Tragsicherheit 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 zu verhindern. Nachfolgend wird vor allem die Beanspruchung auf Abscheren von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln beschrieben.

Mindestdicke der Bauteile

Mindestabmessungen und -anzahl der Verbindungsmittel

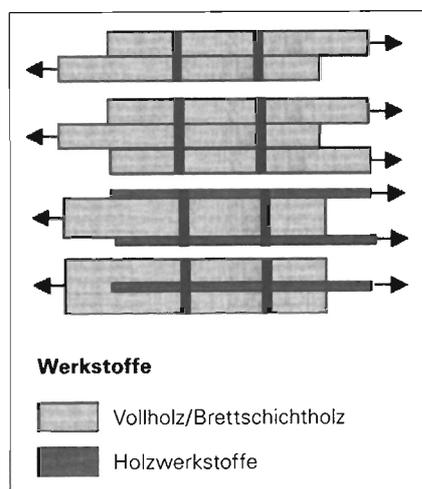


Bild 6: Holz und/oder Holzwerkstoff-Verbindungen

Verbindungen von Bauteilen aus Holz und/oder Holzwerkstoffen

Die klassischen Holzbauverbindungen werden aus zwei oder mehreren Hölzern hergestellt. Die zu verbindenden Teile bestehen vollständig aus Holz. Aus praktischen Gründen bestehen dabei die Hölzer im Allgemeinen 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 außen liegende Stahlbleche die Tragfähigkeit durch örtliche Verstärkung der Verbindungsmittel im Kopfbereich und mit eingeschlizten Stahlblechen kann durch die Mehrschnittigkeit gezielt die Tragfähigkeit erhöht werden.

Die Norm unterscheidet bei stiftförmigen Verbindungen zwei Arten von Stahlblech-Holz-Verbindungen:

- Verbindungen mit innen liegenden Stahlblechen und mit außen liegenden dicken Blechen
- Verbindungen mit außen liegenden dünnen Blechen

Die Kriterien für „dicke“ bzw. „dünne“ Stahlbleche können Tabelle 5 (Näherungsverfahren zur Berechnung der Tragfähigkeit von Stahl/Holzverbindungen) entnommen werden.

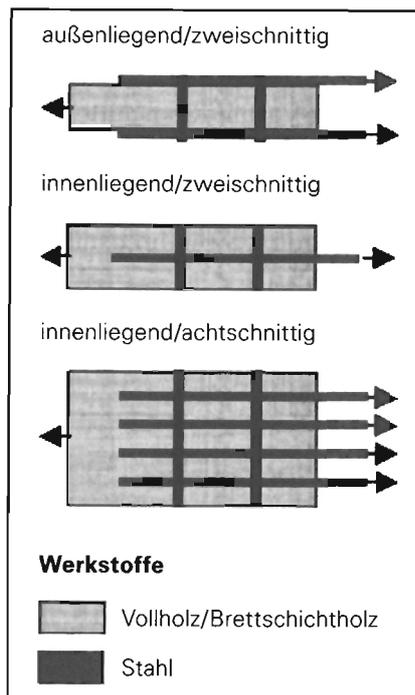


Bild 7: Stahlblech-Holz-Verbindungen

Grundsätze und Grundlagen

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

1. die Berechnung nach dem genauen Verfahren entsprechend den Formeln im Anhang G der Norm
2. die Berechnung nach dem Näherungsverfahren in Abschnitt 12.2. der Norm

Die von Johansen entwickelten Formeln berücksichtigen alle möglichen Versagensfälle bei Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, bestehend aus Holzwerkstoffen und in Kombination mit Stahl. Die genauere Berechnung der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit R_k erfolgt pro Scherfläche nach den in Anhang G der DIN 1052:2004 zusammengestellten Rechenregeln. Für die Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit R_d enthalten die Tabellen in Anhang G auch Angaben für den jeweils geltenden Materialfaktor.

Neben den Abmessungen der für die geplante Verbindung gewählten Holzquerschnitte (mit den Dicken t_1 und t_2) und des Verbindungsmittels (mit dem Durchmesser d) gehen die charakteristische Lochleibungsfestigkeit der Holzwerkstoffe ($f_{h,1,k}$ und $f_{h,2,k}$) und das charakteristische Fließmoment des Verbindungsmittels ($M_{y,k}$) in die Berechnung ein. Die charakteristische Lochleibungsfestigkeit ist abhängig von der charakteristischen Rohdichte des Holzwerkstoffes, der Art und dem Durchmesser des Verbindungsmittels und der Einbettung im Holzwerkstoff (entweder vorgebohrt oder nicht vorgebohrt). Die Gleichungen für die Berechnung der charakteristischen Lochleibungsfestigkeiten sind in den speziellen Abschnitten der Norm für Nägel, Stabdübel, Bolzen und Holzschrauben angegeben. Das charakteristische Fließmoment des Verbindungsmittels ist abhängig vom Durchmesser des Verbindungsmittels und der charakteristischen Mindestzugfestigkeit des Verbindungsmittelwerkstoffes.

Damit wird erstmalig auch die Festigkeit des Verbindungsmittels bei der Berechnung der Verbindungsmitteltragfähigkeit berücksichtigt.

Die Berechnungen sind sehr zeitaufwendig und kaum noch kostengünstig per Hand durchführbar. Um diesem Manko entgegenzuwirken, enthält das BDZ-Praxishandbuch Tragfähigkeitstabellen. Auch spezielle Berechnungssoftware reduziert den Aufwand wesentlich, z.B. www.holzbausoftware.com.

Die Tragfähigkeit von Holz bzw. Holzwerkstoffverbindungen kann näherungsweise nach Gleichung (Gl. 6) in Tabelle 2 erfolgen. Der Versagensfall tritt ein, wenn zwei plastische Gelenke im Verbindungsmittel entstehen. Möglich ist das nur, wenn bestimmte geometrische Verhältnisse vorliegen. Die Formel gilt dann, wenn in Abhängigkeit von der Art des gewählten Verbindungsmittels bzw. Holzwerkstoffes und seiner Festigkeit bestimmte Mindestholzdicken ein-

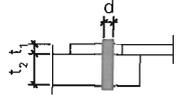
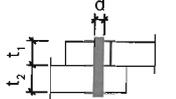
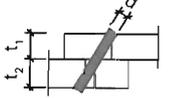
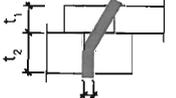
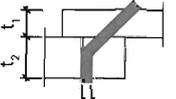
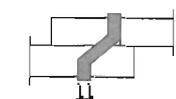
Berechnung der Tragfähigkeit stiftförmiger Verbindungsmittel

Genaueres Nachweisverfahren

Näherungsverfahren

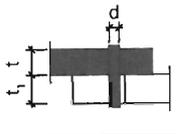
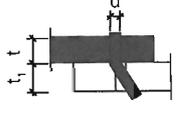
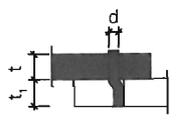
gehalten werden. Für andere Verbindungen werden die Gleichungen aus Anhang G der Norm zur Vereinfachung der Berechnung der Tragfähigkeit genutzt.

Tabelle 2: Charakteristische Werte R_k pro Scherfuge einer einschnittigen Verbindung von Bauteilen aus Holz bzw. Holzwerkstoffen (entspricht Tabelle G.2 in DIN 1052:2004)

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

Grundsätze und Grundlagen

Tabelle 3: Charakteristische Werte R_k pro Scherfuge für einschnittige Stahlblech-Holz-Verbindungen für eine Blechdicke $t \geq 1,0 \cdot d$ (dicke Bleche) außen liegend (entspricht Tabelle G.5 in DIN 1052:2004)

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

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

Holz und/oder Holzwerkstoffe

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

Bei geringeren Holz厚ken ist R_k mit dem jeweils kleineren Wert von $t_1/t_{1,req}$ und $t_1/t_{2,req}$ zu korrigieren. Die Formeln für $t_{1,req}/t_{2,req}$ enthält Tabelle 4. Die Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel berechnet sich nach Gl. (195):

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

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

Ist aufgrund unterschiedlicher Materialverwendung k_{mod} unterschiedlich groß, ergibt sich k_{mod} nach Gl. (196):

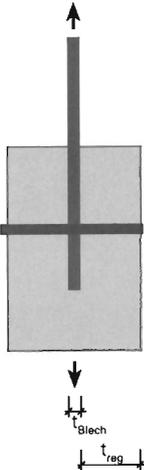
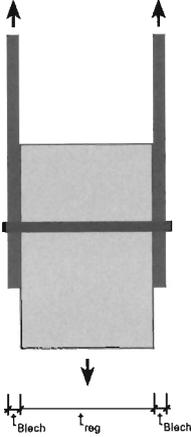
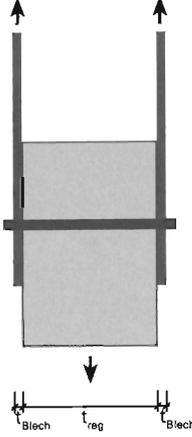
$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}}$$

Stahlblech-Holz-Verbindungen: Bei Einhaltung der Mindestholzdicke t_{req} errechnet sich der charakteristische Wert der Tragfähigkeit R_k pro Scherfuge und Verbindungsmittel nach Gl. (197) und (199) gemäß Tabelle 5. Die Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel ergibt sich nach Gl. (195).

Tabelle 4: Berechnung der Mindestholzdicken für Holz/Holzwerkstoffverbindungen bei Anwendung des Näherungsverfahrens nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.2.2 [6]

<p>einschnittige Verbindung</p>  <p>Bezeichnung von t bei Nägeln</p> 		<p>zweischrittige Verbindung</p>  <p>Bezeichnung von t bei Nägeln</p> 	
<p>Gl. (192)</p>			
$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$			
<p>Gl. (193)</p>		<p>Gl. (194)</p>	
$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$		$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(\frac{4}{\sqrt{1+\beta}} \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$	
Symbole	nach DIN 1052		
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]		

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

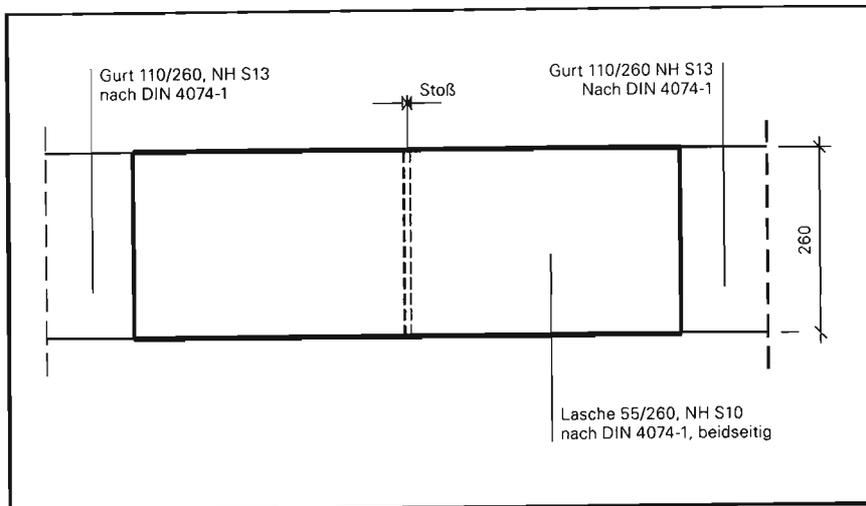
Lage der Bleche		
innen	außen – dickes Blech ¹	außen – dünnes Blech ¹
		
	Bedingungen für „dicke“ Stahlbleche: $t \geq d$ sowie Stahlbleche $t \geq 2 \text{ mm}$, die mit Sondernägeln der Tragfähigkeits- klasse 3 mit einem Durchmesser $d \leq 2 \cdot t$ angeschlossen sind	Bedingungen für „dünne“ Stahlbleche: $t \leq 0,5 d$
R_k		R_k
Gl. (197)		Gl. (199)
$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$		$R_k = \sqrt{2} \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,2,k} \cdot d$
t_{req}		
Seitenholz	Mittelholz	
zweischnittig	zweischnittig	mehrschnittig
Gl. (198)	Gl. (200)	Gl. (201)
$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$	$t_{req} = 1,15 \cdot (2 \cdot \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$	$t_{req} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$
Symbole	nach DIN 1052:2004	
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.		

**Stahlblech-Holz-
Verbindungen**

Bei Einhaltung der Mindestholzdicke t_{req} errechnet sich der charakteristische Wert der Tragfähigkeit R_k pro Scherfuge und Verbindungsmittel nach Gl. (197) und (199) gemäß Tabelle 5. Die Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel ergibt sich nach Gl. (195).

Rechenbeispiel 1: Zugstoß aus Nadelschnittholz**1/3.2.2 Rechenbeispiel 1: Zugstoß aus Nadelschnittholz**

Der in Bild 1 dargestellte Zugstoß aus Nadelschnittholz (S13 nach DIN 4074-1:2003) soll eine Zugkraft von $N_{t,d} = 185 \text{ kN}$ übertragen. Die Laschen (55/260 mm) werden aus Nadelholz S10 nach DIN 4074-1:2003 hergestellt. Die gestoßenen Holzquerschnitte (110/260 mm) sind aus Nadelholz S13 nach DIN 4074-1:2003. Als Verbindungsmittel sollen Nägel nach DIN EN 10230-1:2000 verwendet werden ($N_g 4,2 \times 100$ nach DIN EN 10230-1:2000 – nicht vorgebohrt). Die Tragfähigkeit der Nägel wird mit dem vereinfachten und genauen Verfahren ermittelt.

**Bild 1: Zugstoß**

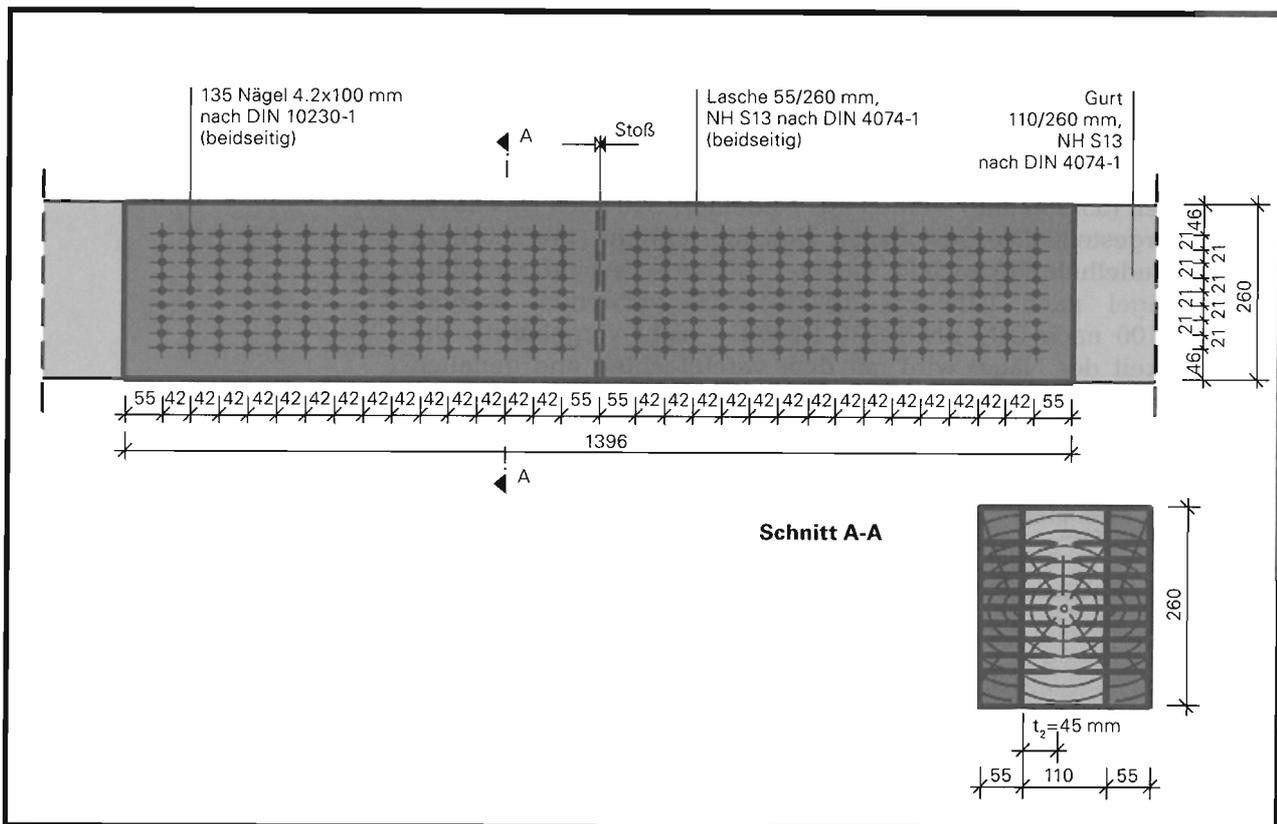


Bild 2: Konstruktive Durchbildung des Zugstoßes mit Nägeln

Die Lösung

Nutzungsklasse (Nkl.) 3, Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) „kurz“ → nach Tabelle F.1 in DIN 1052:2004 gilt hierfür $k_{mod}=0,7$

Laschen:

NH S10 nach DIN 4074-1, das entspricht nach Tabelle F.6 in DIN 1052:2004 der Festigkeitsklasse C24, nach DIN 1052:2004, Tabelle F.5, erhalten wir die Werte für die charakteristische Holzfestigkeit und Rohdichte: $f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$, $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$

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, erhalten wir 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:

vorh. Holzdicke $t_{vorh} = 55 \text{ mm}$

vorh. Eindringtiefe des Nagels $t_{vorh} = 100 - 55 = 45 \text{ mm}$

Nach Abschnitt 12.5.2, Absatz (7) dürfen abweichend von Gl. (192) bis Gl. (194) (siehe Tabelle 4) die Mindestdicken $t_{i,req}$ (Holzdicken oder Eindringtiefen der Nägel mit rundem Querschnitt) für Verbin-

Rechenbeispiel 1: Zugstoß aus Nadelschnittholz

dungen zwischen Bauteilen aus Nadelholz mit Gl. (217) berechnet werden.

Mindestholzdicke bzw. Mindest eindringtiefe nach Gl. (217):

$$\begin{aligned}
 t_{\text{req}} &= 9 \cdot d_{\text{Nagel}} = 9 \cdot 4,2 = 37,8 \text{ mm} \\
 &< t_{\text{vorh}} = 45 \text{ mm vorhandene Eindringtiefe} \\
 &< t_{\text{vorh}} = 55 \text{ mm vorhandene Seitenholzdicke} \\
 &< t_{\text{vorh}} = 110 \text{ mm vorhandene Mittelholzdicke}
 \end{aligned}$$

Wegen ausreichend dicker Holzbauteile und Mindesteindringtiefe muss die berechnete Tragfähigkeit nicht abgemindert werden ($t_{\text{vorh}}/t_{\text{req}} = 45/37,5 = 1,2$ bzw. $55/37,5 = 1,47$).

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 zu überprüfen. Dabei sind die Anforderungen für Bauteile aus Nadelhölzern höher als für Bauteile aus Kiefernholz, wenn nicht größere Mindestabstände zum Bauteilrand rechtwinklig zur Faser gewählt werden.

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

$$\min t = \max \left\{ \begin{array}{l} 14d = 14 \cdot 4,2 = 58,5 >_{\text{vorh}} t = 55 \text{ mm} \\ (13d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{200} = (13 \cdot 4,2 - 30) \cdot \frac{350}{200} = 43,05 <_{\text{vorh}} t = 55 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Die Mindestholzdicke der Laschen reicht nicht aus.

Es kann die nachfolgende Gl. (219) angewendet werden, wenn für den Mindestnagelabstand zum Rand rechtwinklig zur Faser mindestens $10 \cdot d = 10 \cdot 4,2 = 42 \text{ mm}$ eingehalten werden.

Bedingung ist, dass die charakteristische Rohdichte $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ beträgt, was in unserem Fall zutrifft. Wir wählen als einzuhaltenden Randabstand senkrecht zur Faser $a_{2,c} = 46 \text{ mm}$ und berechnen die Mindestholzdicke des Seitenholzes aus der Spaltgefahr des Holzes für nicht vorgebohrte Nägel nach Gl. (219):

$$\min t_{\text{Seitenholz}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d = 7 \cdot 4,2 = 29,4 <_{\text{vorh}} t = 55 \text{ mm} \\ (13d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} = (13 \cdot 4,2 - 30) \cdot \frac{350}{400} = 21,53 <_{\text{vorh}} t = 55 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Die Mindestholzdicken sind eingehalten.

Berechnung der Tragfähigkeit der Nagelverbindung:

Charakteristisches Fließmoment $M_{y,k}$ und charakteristische Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$:

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:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 4,2^{2,6} = 7511,40 \text{ Nmm}$$

Charakteristische Lochleibungsfestigkeit in N/mm^2 nach Gl. (212) (für nicht vorgebohrte Nägel):

- für NH C24 nach DIN 1052:2004, Tabelle F.5 $f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 4,2^{-0,3} = 18,66 \text{ N/mm}^2$
- für NH C30 nach DIN 1052:2004, Tabelle F.5 erhält man $f_{h,2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 4,2^{-0,3} = 20,26 \text{ N/mm}^2$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{20,26}{18,66} = 1,086$$

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

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,086}{1 + 1,086}} \sqrt{2 \cdot 7511,4 \cdot 18,66 \cdot 4,2}$$

$$R_k = 1,02 \cdot 1085,07 = 1106,77 \text{ N} = 1,11 \text{ kN}$$

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

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 1,11}{1,1} = 0,71 \text{ kN}$$

Abweichend zu Gl. (191) darf der charakteristische Wert der Tragfähigkeit für Nagelverbindungen aus Nadelholz auch mit dem größeren Wert der Lochleibungsfestigkeit nach Gl. (216) in N berechnet werden:

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} = \sqrt{2 \cdot 7511,40 \cdot 20,26 \cdot 4,2}$$

$$R_k = 1130,63 \text{ N} = 1,13 \text{ kN}$$

Rechenbeispiel 1: Zugstoß aus Nadelnschnittholz

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

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 1,13}{1,1} = 0,72 \text{ kN}$$

Aus Tabelle 6-36 des BDZ-Fachbuches erhält man den Wert $R_d = 0,79$ kN. Dieser Wert gilt für Nadelholz der Festigkeitsklasse C24 und $k_{\text{mod}} = 0,8$. Nach Tabelle 6-38 kann der Wert auf die tatsächliche Nutzungsklasse umgerechnet werden. Der Umrechnungsfaktor beträgt für NKL. 3 und KLED „kurz“ $k = 0,88$. Daraus ergibt sich ein $R_d = 0,88 \cdot 0,79 = 0,7$.

Berücksichtigt man die zwei unterschiedlichen Festigkeitsklassen für das gestoßene Bauteil und die Laschen mit dem Wert 1,02 aus der vorherigen Berechnung, so ergibt sich ein Wert für $R_d = 0,71$ kN.

Der Stoß wird pro Stoßseite und Lasche mit 9 Nagelreihen in 15 Spalten hergestellt.

**Berechnung der
Tragfähigkeit über
Tragfähigkeitstabelle im
Praxishandbuch Holzbau**

Tabelle 6:

Berechnung des charakteristischen Wertes R_k pro Scherfuge	Gleichung	Versagensfall
$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 18,66 \cdot 55 \cdot 4,2 = 4310,46 \text{ N} = 4,31 \text{ kN}$ $\gamma_M = 1,3$	Gl. (1)	
$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta = 18,66 \cdot 45 \cdot 4,2 \cdot 1,086 = 3830,04 \text{ N} = 3,83 \text{ kN}$ $\gamma_M = 1,3$	Gl. (2)	
$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left\{ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right\}$ $= \frac{18,66 \cdot 55 \cdot 4,2}{1 + 1,086} \left\{ \sqrt{1,086 + 2 \cdot 1,086^2 \left[1 + \left(\frac{45}{55} \right) + \left(\frac{45}{55} \right)^2 \right] + 1,086^3 \cdot \left(\frac{45}{55} \right)^2} - 1,086 \cdot \left(1 + \frac{45}{55} \right) \right\} =$ $= 1695,12 \text{ N} = 1,70 \text{ kN}$ $\gamma_M = 1,3$	Gl. (3)	
$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$ $R_k = \frac{18,66 \cdot 55 \cdot 4,2}{2 + 1,086} \left[\sqrt{2 \cdot 1,086 \cdot (1 + 1,086) + \frac{4 \cdot 1,086 \cdot (2 + 1,086) \cdot 7511,40}{18,66 \cdot 4,2 \cdot 55^2}} - 1,086 \right]$ $R_k = 1592,44 \text{ N} = 1,59 \text{ kN}$ $\gamma_M = 1,2$	Gl. (4)	
$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right]$ $R_k = \frac{18,66 \cdot 45 \cdot 4,2}{1 + 2 \cdot 1,086} \left[\sqrt{2 \cdot 1,086^2 \cdot (1 + 1,086) + \frac{4 \cdot 1,086 \cdot (1 + 2 \cdot 1,086) \cdot 7511,40}{18,66 \cdot 4,2 \cdot 45^2}} - 1,086 \right]$ $R_k = 1417 \text{ N} = 1,42 \text{ kN}$ $\gamma_M = 1,2$	Gl. (5)	
$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$ $= \sqrt{\frac{2 \cdot 1,086}{1 + 1,086}} \cdot \sqrt{2 \cdot 7511,40 \cdot 18,66 \cdot 4,2}$ $R_k = 1106,77 \text{ N} = 1,11 \text{ kN (maßgebend)}$ $\gamma_M = 1,1$	Gl. (6)	

Rechenbeispiel 1: Zugstoß aus Nadelschnittholz

Bemessungswert der Gesamttragfähigkeit des Stoßes:

$$R_{d, \text{Anschluss}} = n_{\text{Laschen}} \cdot n_{\text{Reihen}} \cdot n_{\text{Spalten}} \cdot R_d = 2 \cdot 9 \cdot 15 \cdot 0,71 = 191,70 \text{ kN}$$

Nachweis Grenzzustand der Tragfähigkeit der Stoßverbindung:

$$\frac{N_{t,d}}{R_{d, \text{Anschluss}}} = \frac{185}{191,70} = 0,97 < 1$$

Berechnung der Mindestabstände nach Tabelle 10 in DIN 1052:2004 unter Berücksichtigung der festgelegten Vergrößerung für den Abstand zum Rand senkrecht zur Faser:

Abstand zum Rand senkrecht zur Faser:

$$\rightarrow \text{gewählt: } a_{2,c} = 46 \text{ mm} > a_{2,c, \text{erf, Tabelle 10}} = 5 \cdot d = 5 \cdot 4,2 = 21 \text{ mm}$$

Abstand vom beanspruchten Hirnholzende:

$$a_{1,t} = (7 + 5 \cos \alpha) \cdot d = (7 + 5 \cos 0^\circ) \cdot d = 12 \cdot d = 12 \cdot 4,2 = 50,4 \text{ mm}$$

(gilt für $d < 5 \text{ mm}$, $\alpha = \text{Last-Faser-Winkel} = 0^\circ$),

$$\rightarrow \text{gewählt: } a_{1,t} = 55 \text{ mm}$$

Abstand vom unbeanspruchten Hirnholzende:

$$a_{1,c} = 7 \cdot d = 7 \cdot 4,2 = 29,4 \text{ mm (gilt für } d < 5 \text{ mm)},$$

$$\rightarrow \text{gewählt: } a_{2,t} = 35 \text{ mm}$$

Abstand untereinander parallel zur Faser

$$a_1 = (5 + 5 \cos \alpha) \cdot d = (5 + 5 \cos 0^\circ) \cdot d = 10 \cdot d = 10 \cdot 4,2 = 42 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{gewählt: } a_1 = 42 \text{ mm}$$

Abstand untereinander senkrecht zur Faser:

$$a_2 = 5 \cdot d = 5 \cdot 4,2 = 21 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{gewählt: } a_2 = 21 \text{ mm}$$

Zum Vergleich berechnen wir die charakteristische Tragfähigkeit R_k nach dem genauen Verfahren nach Tabelle 2. Dabei ist Bild 43 der Norm zu beachten. Die Eindringtiefe des Nagels ist mit t_2 festgelegt und in die Gleichungen ist der kleinere Wert von t_2 (d.h. t_2 , Eindringtiefe = 45 mm) einzusetzen!

Den kleinsten rechnerischen Wert für R_k (Tabelle 6) erhält man aus Gl. (6), die auch der Berechnungsformel des Näherungsverfahrens entspricht. Für $R_k = 1,11 \text{ kN}$ ist ebenfalls $\gamma_M = 1,1$ maßgebend. Mindestholzdicken müssen beim genauen Verfahren nicht ermittelt werden.

Nachweis der Holzquerschnitte:

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 (siehe DIN 1052:2004, Abschnitt 11.1.2. (1)).

Nachweis Grenzzustand der Tragfähigkeit für die Laschen:

Bemessungswert der Zugbeanspruchung

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

$$A_{\text{netto}} = A_{\text{brutto}} = 2 \cdot b \cdot h = 2 \cdot 55 \cdot 260 = 28\,600 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{\text{netto,Laschen}}} = \frac{185 \cdot 10^3}{28\,600} = 6,47 \text{ N/mm}^2$$

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

$$f_{t,0,d,C24} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{t,0,k,C24}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 14}{1,3} = 7,54 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{0,66 \cdot f_{t,0,d,C24}} = \frac{6,47}{0,66 \cdot 7,54} = 1,3 > 1,0$$

Nachweis nicht erfüllt, die Lasche muss mindestens aus NH C30 sein!

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

$$f_{t,0,d,C30} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{t,0,k,C30}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 18}{1,3} = 9,7 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Stoßlaschen aus C30 mit ausziehfesten Verbindungsmitteln nach DIN 1052:2004, Abschnitt 11.1.2 (1):

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{0,66 \cdot f_{t,0,d,C30}} = \frac{6,47}{0,66 \cdot 9,7} = 1,01 \approx 1$$

Nachweis Grenzzustand der Tragfähigkeit für die gestoßenen Holzquerschnitte Bemessungswert der Zugbeanspruchung:

$$A_{\text{netto}} = A_{\text{brutto}} = b \cdot h = 110 \cdot 260 = 28\,600 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{\text{netto,Zugstab}}} = \frac{185 \cdot 10^3}{28\,600} = 6,47 \text{ N/mm}^2$$

Rechenbeispiel 1: Zugstoß aus Nadelholz

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

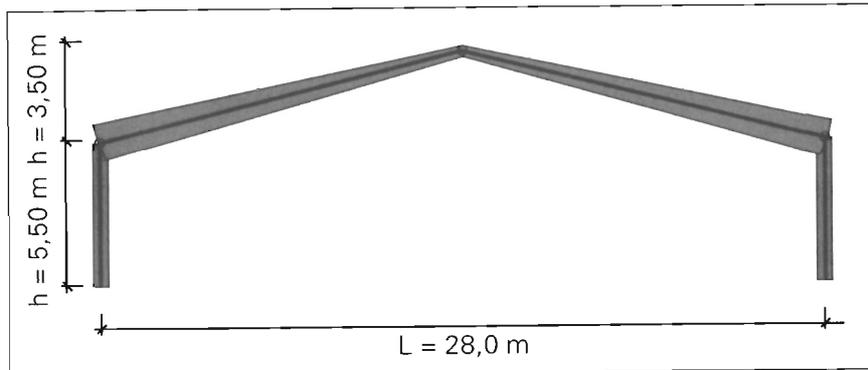
$$f_{t,0,d,C30} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{t,0,k,C30}}{\gamma_M} = \frac{0,718}{1,3} = 9,7 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für die gestoßenen Bauteile:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,C24}} = \frac{6,47}{9,69} = 0,67 < 1$$

Rechenbeispiel 2: Dreigelenkrahmen

1/3.2.3 Rechenbeispiel 2: Dreigelenkrahmen



Es soll ein Dreigelenkrahmen aus Stahlstützen und Brettschichtholzriegeln hergestellt werden. Die Rahmenecke wird im Bereich des biegesteifen Anschlusses zwischen Brettschichtholz und der Stahlstütze (IPBI 500 nach DIN 1025-3) so gestaltet, dass die Druckkräfte direkt über Kontaktpressung und die Zugkraft über eine Nagelverbindung übertragen werden. Die Riegel bestehen aus BSH GL36h nach DIN 1052:2004.

Maßgebende Schnittkräfte an der Anschlussstelle zwischen Holzbauteil und Stahlbauteil:

$$M_{2,d} = -657 \text{ kNm} \quad (k_{\text{mod}} = 0,9)$$

$$V_{2,d} = 128 \text{ kN} \quad (k_{\text{mod}} = 0,9)$$

$$N_{2,d} = -161 \text{ kN} \quad (k_{\text{mod}} = 0,9)$$

Das Moment wird in ein Kräftepaar aus einer Druckkraft und einer Zugkraft zerlegt. Der innere Hebelarm beträgt 0,9 m.

Die Übertragung der Druckkräfte wird an dieser Stelle nicht geführt. Auch werden die Nachweise für die Stahlstütze im Bereich der Lastübertragung hier nicht geführt. Die nachfolgende Bemessung beschränkt sich auf die Nachweise für die Übertragung der Zugkraft.

Der Bemessungswert der Zugkraft beträgt:

$$F_{t,d} = \frac{M_{2,d}}{e} + \frac{N_{2,d}}{2} = \frac{657000}{900} + \left(-\frac{161}{2}\right) = 650 \text{ kN}$$

Die Zugkraft wird durch Nägel (4,2 × 100 nach DIN EN 10230-1:2000 – vorgebohrt) in Verbindung mit Stahlblechen ($t_{\text{Blech}} = 10 \text{ mm}$) übertragen.

Riegel aus BSH GL36h nach DIN 1052:2004, Tabelle F.9, mit den charakteristischen Werten für die Festigkeit $f_{t,0,k} = 26 \text{ N/mm}^2$, $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ und einer charakteristischen Rohdichte von $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$

Charakteristische Fließfestigkeit des Nagels nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.5.2.(3): $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$ Nutzungsklasse (Nkl.) 1, Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) „kurz“ $k_{\text{mod}} = 0,9$ nach DIN 1052:2004, Tabelle F.1

Charakteristische Lochleibungsfestigkeit (Nägel vorgebohrt) nach Gl. (213):

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 4,2) \cdot 450 = 35,35 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristisches Fließmoment des Nagels nach Gl. (214):

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 4,2^{2,6} = 7511,40 \text{ Nmm}$$

Charakteristische Tragfähigkeit pro Scherfläche nach Gl. (228):

Nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.5.4.(1) darf abweichend von Gl. (191) der charakteristische Wert der Tragfähigkeit nach Gl. (228) berechnet werden:

$$R_k = A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$$

mit $A = 1,4$ nach Tabelle 12 der Norm für dickes Blech. In unserem Fall ist das Kriterium für ein dickes Blech erfüllt:

$$t_{\text{Blech}} = 10 \text{ mm} > 1,0 \cdot d_{\text{Nagel}} > 1,0 \cdot 4,2 = 4,2 \text{ mm}$$

$$R_k = 1,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 7511,4 \cdot 35,35 \cdot 4,2} = 2090,85 \text{ N} = 2,09 \text{ kN}$$

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

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 2,09}{1,1} = 1,71 \text{ kN}$$

Zum Vergleich erhält man aus Tabelle 6-37 im BDZ-Praxishandbuch einen Wert für $R_d = 1,1 \text{ kN}$. Dieser Wert gilt für Nadelholz C24 mit $k_{\text{mod}} = 0,8$ und nicht vorgebohrte Nägel.

Nach Tabelle 6-38 ist dieser Wert für Nutzungsklasse (Nkl.) 1 und eine Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) „kurz“ mit 1,13 zu korrigieren:

$$R_d = 1,13 \cdot 1,1 = 1,24 \text{ kN.}$$

Rechenbeispiel 2: Dreigelenkrahmen

Dieser Wert ist, bezogen auf die vorhandene charakteristische Lochleibungsfestigkeit, mit dem Wert k_p zu korrigieren:

$$k_p = \sqrt{\frac{f_{h,k,GI36h,vorgebohrt}}{f_{h,k,C24,nichtvorgebohrt}}} = \sqrt{\frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k}{0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,082 \cdot (1 - 0,014 \cdot 2) \cdot 450}{0,082 \cdot 350 \cdot 4,2^{-0,3}}} = \sqrt{\frac{35,35}{18,66}} = 1,38$$

Es ergibt sich ein Wert für $R_d = 1,38 \cdot 1,24 = 1,71$ kN

Bemessungswert der Tragfähigkeit des Anschlusses:

Es werden pro Blech 10 Reihen Nägel in mindestens 22 Spalten angeordnet (siehe Bild 1)

$$R_d = n_{\text{Bleche}} \cdot n_{\text{Spalten}} \cdot n_{\text{Reihen}} \cdot R_d = 2 \cdot 22 \cdot 10 \cdot 1,71 = 752,4 \text{ kN}$$

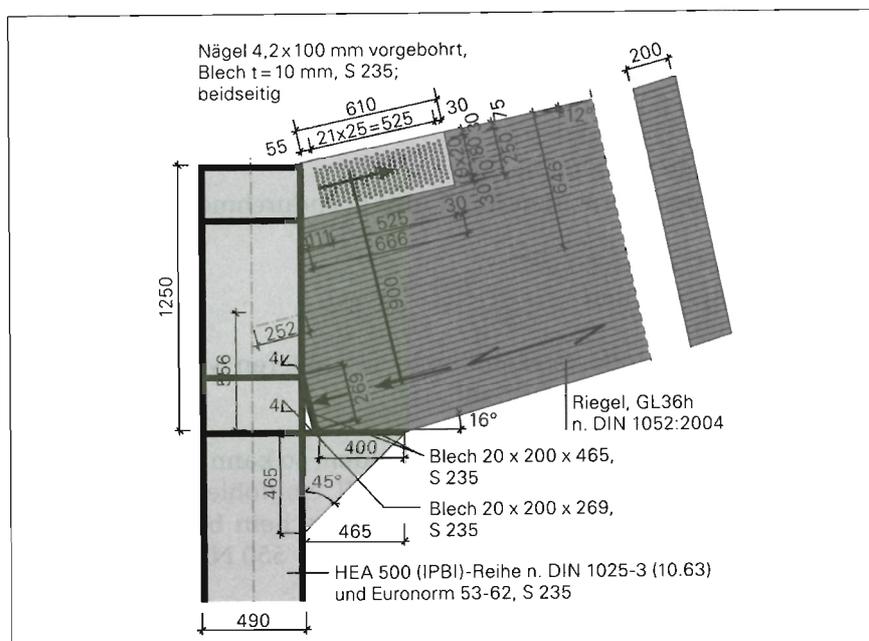


Bild 1: Konstruktion der Rahmenecke

Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel:

$$\frac{N_d}{R_d} = \frac{650}{752,4} = 0,86 < 1$$

Berechnung der Mindestabstände:

Die Mindestabstände ergeben sich nach Tabelle 10 der Norm für vorgebohrte Nägel.

Diese Werte dürfen im Gegensatz zu nicht vorgebohrten Nägeln nach Abschnitt 12.5.4.(5) für Stahlblech-Holz- Nagelverbindungen nicht vermindert werden.

Die Randabstände zu den Blechrändern regelt DIN 18800-1:1990.

Mindestabstände im BSH nach Tabelle 10: Abstand vom beanspruchten Hirnholzende:

$$a_{1,t} = (7 + 5 \cos\alpha) \cdot d = (7 + 5 \cos 0^\circ) \cdot d = 12 \cdot d = 12 \cdot 4,2 = 50,4 \text{ mm } (\alpha = \text{Last-Faser-Winkel} = 0^\circ),$$

$$\rightarrow \text{gewählt: } a_{1,t} = 55 \text{ mm}$$

Abstand untereinander parallel zur Faser:

$$a_1 = (3 + 2 \cos\alpha) \cdot d = (3 + 2 \cos 0^\circ) \cdot d = 5 \cdot d = 5 \cdot 4,2 = 21 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{gewählt: } a_1 = 25 \text{ mm}$$

Abstand untereinander senkrecht zur Faser:

$$a_2 = 3 \cdot d = 3 \cdot 4,2 = 12,6 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{gewählt: } a_2 = 20 \text{ mm}$$

Abstand zum Rand senkrecht zur Faser:

$$a_{2,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 4,2 = 12,6 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{gewählt: } a_2 = 30 \text{ mm}$$

Mindestabstände im Stahlblech:

Abstand zum beanspruchten Rand (der Lochdurchmesser beträgt $d_L = 5 \text{ mm}$):

$$e_1 = 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 5 = 6 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{gewählt: } e_1 = 30 \text{ mm}$$

Alle anderen Abstände werden durch die größeren Mindestabstände im Brettschichtholz überschritten!

Will der Zimmerer das Vorbohren vermeiden, so kann der Einsatz von Sondernägeln der Tragfähigkeitsklasse III empfohlen werden, z.B. BMF-Kammnägeln $4,0 \times 60$. Laut Einstufungsschein beträgt die Mindestzugfestigkeit für den Nagelwerkstoff $f_{u,k} = 550 \text{ N/mm}^2$.

Charakteristische Lochleibungsfestigkeit (Nägel nicht vorgebohrt) nach Gl. (212):

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 450 \cdot 4^{-0,3} = 24,23 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristisches Fließmoment des Nagels nach Gl. (214)

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 550 \cdot 4^{2,6} = 6065,13 \text{ Nmm}$$

Charakteristische Tragfähigkeit R_k pro Scherfläche nach Gl. (228) mit $A = 1,4$

Rechenbeispiel 2: Dreigelenkrahmen

$$R_k = 1,4 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} = 1,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 6065,13 \cdot 24,34 \cdot 4} =$$

$$= 1521,43 \text{ N} = 1,52 \text{ kN}$$

Nach DIN 1052:2004, Abschnitt 12.5.4.(3) darf bei einschnittigen Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Sondernägeln der Tragfähigkeitsklasse III der charakteristische Wert der Tragfähigkeit R_k nach Gl. (228) um einen Anteil ΔR_k erhöht werden. Dieser Anteil wird nach Gl. (229) berechnet:

$$R_k = \min\{0,5 \cdot R_k; 0,25 \cdot R_{ax,k}\}$$

Der Wert $R_{ax,k}$ ist die charakteristische Tragfähigkeit auf Herausziehen. Dieser Wert wird nach Abschnitt 12.8.1. der Norm berechnet. Geht man davon aus, dass die gewählten Kammnägel gemäß der Tabelle 14 der DIN 1052:2004 in die Tragfähigkeitsklasse 3C eingestuft werden können, so berechnet man die charakteristischen Werte für den Ausziehparameter $f_{1,k}$ und den Kopfdurchziehparameter $f_{2,k}$ nach den Angaben in Tabelle 14 wie folgt:

$$f_{1,k} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 450^2 = 10,13 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{2,k} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 450^2 = 20,25 \text{ N/mm}^2$$

Der charakteristische Wert des Ausziehwiderstandes $R_{ax,k}$ wird nach Gl. (233) in N berechnet:

$$R_{ax,k} = \min\{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}; f_{2,k} \cdot d_k^2\}$$

mit

l_{ef} = wirksame Einschlagtiefe. Diese entspricht höchstens der Länge des profilierten Schaftes (in diesem Fall ist $l_{ef} = 50 \text{ mm}$ – siehe DIN 1052:2004, Abschnitt 12.8.1.(9))

d_k = Kopfdurchmesser (in diesem Fall $d_k = 8 \text{ mm}$)

$$R_{ax,k} = \min\{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}; f_{2,k} \cdot d_k^2\} = \{\min 10,13 \cdot 4 \cdot 50; 20,25 \cdot 8^2\}$$

$$R_{ax,k} = \min\{2026 \text{ N}; 1296 \text{ N}\} = 1296 \text{ N} \approx 1,3 \text{ kN}$$

Der Wert ΔR_k beträgt dann nach Gl. (228)

$$\Delta R_k = \min\{0,5 \cdot R_k; 0,25 \cdot R_{ax,k}\} = \min\{0,5 \cdot 1,52; 0,25 \cdot 1,3\} = \min\{0,76; 0,33\} = 0,33 \text{ kN}$$

Für R_k ergibt sich dann

$$R_k = R_k + \Delta R_k = 1,52 + 0,33 = 1,85 \text{ kN}$$

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

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,85}{1,1} = 1,54 \text{ kN}$$

Bei gleicher Anzahl der Nägel erhalten wir einen Bemessungswert der Tragfähigkeit für den Anschluss

$$R_d = n_{\text{Bleche}} \cdot n_{\text{Spalten}} \cdot n_{\text{Reihen}} \cdot R_k = 2 \cdot 22 \cdot 10 \cdot 1,54 = 677,5 \text{ kN}$$

Die Nägel können die Beanspruchung aufnehmen. Die geringere Lochleibungsfestigkeit (im Vergleich zum vorgebohrten Nagel ca. 69 %) kann durch die mögliche Erhöhung der Tragfähigkeit infolge Nutzung des sog. „Einhangeffektes“ (mit der Möglichkeit der Erhöhung der Tragfähigkeit um ΔR_k) teilweise aufgefangen werden (im Vergleich zum vorgebohrten Nagel beträgt die Tragfähigkeit des nicht vorgebohrten Nagels ohne Nutzung des Einhangeffektes ca. 73 % und mit Nutzung dieses Effektes ca. 89 %).

Allerdings sind größere Mindestabstände für nicht vorgebohrte Nägel erforderlich.

Es gelten die Festlegungen nach Tabelle 10 der DIN 1052:2004 (in unserem Fall für $420 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$). Für a_1 und a_2 dürfen bei Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen die 0,5-fachen Werte verwendet werden (siehe DIN 1052:2004, Abschnitt 12.5.4.(5)).

Abstand vom beanspruchten Hirnholzende:

$$a_{1,t} = (15 + 5 \cos\alpha) \cdot d = (15 + 5 \cos 0^\circ) \cdot d = 20 \cdot d = 20 \cdot 4 = 80 \text{ mm}$$

($\alpha = \text{Last-Faser-Winkel} = 0^\circ$),
→ gewählt: $a_{1,t} = 100 \text{ mm}$

Abstand untereinander parallel zur Faser:

$$a_1 = 0,5 \cdot (7 + 8 \cos\alpha) \cdot d = 0,5 \cdot (7 + 8 \cos 0^\circ) \cdot d = 0,5 \cdot (15 \cdot d) = 0,5 \cdot (15 \cdot 4) = 30 \text{ mm}$$

→ gewählt: $a_1 = 30 \text{ mm}$

Abstand untereinander senkrecht zur Faser:

$$a_2 = 0,5 \cdot (7 \cdot d) = 0,5 \cdot (7 \cdot 4) = 14 \text{ mm}$$

→ gewählt: $a_2 = 20 \text{ mm}$

Abstand zum Rand senkrecht zur Faser:

$$a_{2,c} = 7 \cdot d = 7 \cdot 4 = 28 \text{ mm}$$

→ gewählt aus Konstruktiven Gründen: $a_{2,c} = 95 \text{ mm}$

Würde man selbstbohrende Schrauben nach bauaufsichtlicher Zulassung verwenden, können die gleichen Effekte wie bei einschnittigen Sondernägeln der Tragfähigkeitsklasse III in Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen genutzt werden (siehe DIN 1052:2004, Abschnitt 12.6.(8)). Allerdings gilt dann für die Berechnung von ΔR_k die Gl. (231). Derartige Schrauben gibt es ab 5 mm. Bei Verwendung eines Durchmessers $d = 5 \text{ mm}$ könnte die Anzahl der bisher erforderlichen Verbindungsmittel je nach Länge der nutzbaren Gewindelänge um etwa 50 bis 80 Stück pro Blech vermindert werden!

Die Mindestabstände sind wiederum für nicht vorgebohrte Nägel festzulegen.

Rechenbeispiel 2: Dreigelenkrahmen

Weitere notwendige Nachweise

Bei sehr kompakten Stahlblech-Holz-Verbindungen mit vielen Verbindungsmittelreihen und -spalten kann es vor Erreichen der vollen rechnerischen Tragfähigkeit zum Versagen der Verbindung durch Blockscherversagen kommen. Durch Überschreiten der Scherfestigkeit in den Holzfasern im Bereich einer Verbindungsmittelreihe versagt der Holzquerschnitt.

Darauf weist DIN 1052:2004 ausdrücklich hin. In DIN 1052:2004, Abschnitt 12.1(2) heißt es dazu: „Bei der Bemessung der Verbindungen ist zu berücksichtigen, dass die Tragfähigkeit auch durch ein Scherversagen des Holzes entlang der äußeren Verbindungsmittelreihen oder durch Zugversagen des Holzes begrenzt werden kann.“

Die Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08 der DGfH schlagen vor, die Tragfähigkeit des gefährdeten Holzquerschnittes entlang der äußeren Verbindungsmittelreihen auf Zug und auf Abscheren zu berechnen und den größeren Wert für den Vergleich mit der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel zugrunde zu legen. Man geht davon aus, dass bei einem spröden Versagen bei Zug- oder Scherbeanspruchung ein Zusammenwirken von Schub und Zugtragfähigkeit nicht eintritt, sodass der größere Wert angesetzt werden kann.

Der gefährdete Holzquerschnitt ergibt sich aus dem Nagelbild.

Wirksame Länge:

$$l_{ef} = a_{1,t} + 22 \cdot a_1 = 55 + 21 \cdot 25 = 580 \text{ mm}$$

Wirksame Höhe:

$$h_{ef} = a_{2,c} + 9 \cdot a_2 = 105 + 9 \cdot 20 = 285 \text{ mm}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit des gefährdeten Querschnittes bei Zugversagen:

$$R_d = \frac{b \cdot h_{ef} \cdot f_{t,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{200 \cdot 285 \cdot 26 \cdot 0,9}{1,3} = 1026000 \text{ N} = 1026,0 \text{ kN} > R_d = 752,4 \text{ kN}$$

Dieser Wert ist größer als der Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel.

Bemessungswert der Tragfähigkeit des gefährdeten Querschnittes bei Scherversagen:

$$R_d = \frac{b \cdot l_{ef} \cdot f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{200 \cdot 580 \cdot 205 \cdot 0,9}{1,3} = 200769,23 \text{ N} = 200,8 \text{ kN}$$

Damit kann die volle Tragfähigkeit der Verbindungsmittel ausgenutzt werden, da der größere Wert der Tragfähigkeit des gefährdeten Querschnittes größer ist als die Tragfähigkeit der gewählten Verbindungsmittel.

Stand: Oktober 2008

Klaus J. Galiläa

Zimmererarbeiten clever planen und ausführen

- Holzbaudetails mit bauphysikalischen Kennwerten
- Praxistipps für eine schadensfreie Konstruktion
- Aktuelle Bauprodukte und Normen im Überblick

IMPRESSUM

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Grundwerk einschließlich Aktualisierungs- und Ergänzungslieferung
Oktober 2008

© 2004–2008 by WEKA MEDIA GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck und Vervielfältigung
– auch auszugsweise – nicht gestattet.

Wichtiger Hinweis

Die WEKA MEDIA GmbH & Co. KG ist bemüht, ihre Produkte jeweils nach neuesten Erkenntnissen zu erstellen. Deren Richtigkeit sowie inhaltliche und technische Fehlerfreiheit werden ausdrücklich nicht zugesichert. Die WEKA MEDIA GmbH & Co. KG gibt auch keine Zusicherung für die Anwendbarkeit bzw. Verwendbarkeit ihrer Produkte zu einem bestimmten Zweck. Die Auswahl der Ware, deren Einsatz und Nutzung fallen ausschließlich in den Verantwortungsbereich des Kunden.

WEKA MEDIA GmbH & Co. KG
Sitz in Kissing
Registergericht Augsburg
HRA 13940

Persönlich haftende Gesellschafterin:
WEKA MEDIA Beteiligungs-GmbH
Sitz in Kissing
Registergericht Augsburg
HRB 9723
Geschäftsführer: Mirko Meurer, Werner Pehland, Dr. Heinz Weinheimer

WEKA MEDIA GmbH & Co. KG
Römerstraße 4, D-86438 Kissing
Fon +49.82 33.23-40 40
Fax +49.82 33.23-72 30
service.handwerk@weka.de
www.weka.de

Umschlag geschützt als Geschmacksmuster der
WEKA MEDIA GmbH & Co. KG
Satz: abavo GmbH, 86807 Buchloe, Nebelhornstraße 8 · www.abavo.de
Druck: Kessler Druck + Medien, Michael-Schäffer-Str. 1, 86399 Bobingen
Printed in Germany 2008

ISBN 978-3-8277-3079-4
1065010