

Vorlesung Holzbau I



DIN EN 1995-1-1 Eurocode 5:2010-12
DIN EN 1995-1-1 Nationaler Anhang:2013-08
DIN EN 1995-1-1/A2:2014-07

Teil 2
Stiftförmige Verbindungsmittel

Ab 2020

Inhaltsverzeichnis Teil 2 – Stiftförmige Verbindungsmittel

Beispielverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
10 Stiftförmige Verbindungsmittel - Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Abscheren	5
10.1 Grundregeln zu stiftförmigen Verbindungsmitteln	5
10.2 Anordnung und Mindestabstände von stiftförmigen Verbindungsmitteln.....	5
10.3 Tragfähigkeitsnachweis von Verbindungen bei Scherbeanspruchung	6
10.4 Tragfähigkeit von Holz-Holz- und Holz-Holzwerkstoff-Verbindungen bei Scherbeanspruchung	7
10.5 Tragfähigkeit von Stahlblech-Holz-Verbindungen bei Scherbeanspruchung.....	8
10.6 Bemessung von Verbindungen mit Wechselbeanspruchung (Druck/Zug).....	9
11 Verbindungen mit Nägeln	11
11.1 Grundregeln	11
11.1.1 Allgemeine Festlegungen für Nagelverbindungen	11
11.1.2 Mindestholzdicken in nicht vorgebohrten Nagelverbindungen	11
11.1.3 Besondere Regeln für das Übergreifen von nicht vorgebohrten Nägeln	12
11.2 Allgemeines zu Nagelverbindungen unter Scherbeanspruchung	13
11.2.1 Fließmoment von Nägeln	13
11.2.2 Wirksame Nagelanzahl in Faserrichtung (n_{ef})	13
11.3 Holz-Holz-Nagelverbindungen unter Scherbeanspruchung	14
11.3.1 Mindestabstände in Holz-Holz-Nagelverbindungen	14
11.3.2 Tragfähigkeit von Holz-Holz-Nagelverbindungen für Scherbeanspruchung.....	14
11.3.3 Bemessungshilfe Tragfähigkeit von Holz-Holz-Nagelverbindungen mit Hölzern gleicher Rohdichte und Stahlblech-Holz-Verbindungen für Scherbeanspruchung	15
11.4 Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen unter Scherbeanspruchung.....	19
11.4.1 Mindestabstände in Holzwerkstoff -Holz-Nagelverbindungen	19
11.4.2 Tragfähigkeit von Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen auf Abscheren	19
11.5 Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen unter Scherbeanspruchung	22
11.5.1 Mindestabstände in Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen.....	22
11.5.2 Tragfähigkeit von Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen für Scherbeanspruchung	22
11.6 Nagelverbindungen unter Zugbeanspruchung.....	23
11.6.1 Allgemeines zu Nagelverbindungen bei Zugbeanspruchung	23
11.6.2 Mindestabstände in Nagelverbindungen bei Zugbeanspruchung	23
11.6.3 Tragfähigkeit von Nagelverbindungen bei Zugbeanspruchung	23
11.7 Tragfähigkeit kombiniert beanspruchter Nägel (Scher- und Zugbeanspruchung).....	26
12 Verbindungen mit Klammern	27
12.1 Grundregeln	27
12.2 Klammerverbindungen unter Scherbeanspruchung	27
12.2.1 Mindestabstände bei Klammerverbindungen	27
12.2.2 Tragfähigkeit von Klammerverbindungen unter Scherbeanspruchung	27
12.3 Tragfähigkeit von Klammerverbindungen bei Zugbeanspruchung.....	30

12.4	Tragfähigkeit kombiniert beanspruchter Klammern (Scher- und Zugbeanspruchung)	30
13	Verbindungen mit Stabdübeln (SDü) und Passbolzen (PB).....	33
13.1	Grundregeln	33
13.2	Allgemeines zu SDü-Verbindungen unter Scherbelastung	33
13.2.1	Fließmoment des Stabdübels	33
13.2.2	Wirksame Stabdübelanzahl in Faserrichtung (n_{ef})	33
13.2.3	Mindestabstände von SDü-Verbindungen in Holz und Holzwerkstoffen.....	34
13.3	Holz-Holz-SDü-Verbindungen unter Scherbeanspruchung	35
13.3.1	Tragfähigkeit von Holz-Holz-SDü-Verbindungen für Scherbeanspruchung	35
13.3.2	Bemessungshilfe für Holz-Holz-Verbindungen mit SDü, Passbolzen und Bolzen unter Scherbelastung	36
13.4	Holzwerkstoff-Holz-SDü-Verbindungen unter Scherbeanspruchung	39
13.5	Stahlblech-Holz-SDü-Verbindungen unter Scherbelastung	39
13.5.1	Bemessungshilfe für Stahlblech -Holz-Verbindungen mit SDü, Passbolzen und Bolzen unter Scherbelastung.....	39
13.6	Passbolzen und Bolzen-Verbindungen unter Zugbeanspruchung	43
14	Verbindungen mit Bolzen und Gewindestangen.....	49
14.1	Grundregeln	49
14.2	Bolzenverbindungen unter Scherbeanspruchung	49
14.3	Mindestabstände	50
15	Verbindungen mit Holzschrauben.....	55
15.1	Grundregeln	55
15.1.1	Allgemeine Festlegungen für Schraubenverbindungen.....	55
15.2	Schraubenverbindung unter Scherbeanspruchung	55
15.3	Schraubenverbindungen unter Zugbeanspruchung	56
15.3.1	Allgemeine Festlegungen für Schraubenverbindungen bei Zugbeanspruchung	56
15.3.2	Mindestabstände in Schraubenverbindungen bei Zugbeanspruchung.....	56
15.3.3	Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen bei Zugbeanspruchung	56
15.3.4	Auszieh Widerstand des Gewindes aus dem Holz	57
15.3.5	Durchzieh Widerstand der Schraubenköpfe durch das Holz.....	58
15.3.6	Widerstand gegen Abreißen der Schraubenköpfe und Zugversagen des Schraubenschaftes	59
15.4	Tragfähigkeit kombiniert beanspruchter Schrauben (Scher- und Zugbeanspruchung).....	59
	Literaturverzeichnis.....	65
	Stichwortverzeichnis	67

Beispielverzeichnis

Beispiel 11-1	Einschnittige Holz-Holz-Nagelverbindung in C30, nicht vorgebohrt	17
Beispiel 11-2	Zweischchnittige Nagelverbindung Zugstab C30 mit innen liegender Sperrholzlasche20	
Beispiel 11-3	Auf Herausziehen belastete Nagelverbindung Sperrholz mit GL24h.....	25
Beispiel 12-1	Verbundträger aus C24 und Spanplatte P6 mit Klammerverbindung	29
Beispiel 12-2	Kombiniert beanspruchte Klammerverbindung Sperrholz mit GL24h	31
Beispiel 13-1	Einschnittige Stabdübelverbindung in GL28h	44
Beispiel 13-2	Zweischchnittige Stabdübelverbindung C24 mit Sperrholz	46
Beispiel 14-1	Einschnittige Bolzenverbindung in GL28h	50
Beispiel 14-2	Zugstoß mit Bolzen und innen liegendem Stahlblech in GL24h	52
Beispiel 15-1	Zuganschluss mit Holzschrauben Stahl an C24.....	60
Beispiel 15-2	Befestigung von Faserzement-Wellplatten auf C24 durch Holzschrauben	62

Tabellenverzeichnis

Tab. 10-1	Definition der Verbindungsmittelabstände	5
Tab. 11-1	Mindestholzdicke von Schnittholz für Nägel ohne Vorbohrung	12
Tab. 11-2	Beiwert k_{ef} zur Berechnung von n_{ef} bei Nägeln	13
Tab. 11-3	Mindestabstände in Nagelverbindungen	14
Tab. 11-4	$F_{v,Rd,Joh}$ und t_{req} für Nagelverbindungen Holz-Holz und Stahlblech-Holz	16
Tab. 11-5	Lochleibungsfestigkeit von Holz und Holzwerkstoffen für Nägel mit $d \leq 8$ mm	19
Tab. 11-6	Faktor A für Nagelverbindungen Holzwerkstoff-Holz	20
Tab. 11-7	Vereinfachte Tragfähigkeitsberechnung von Nagelverbindungen Stahlblech-Holz..	22
Tab. 11-8	Ausziehparameter $f_{ax,k}$ und Kopfdurchziehparameter $f_{head,k}$ für Nägel.....	25
Tab. 12-1	Mindestabstände von Klammern im Holz.....	27
Tab. 13-1	Festigkeitswerte $f_{u,k}$ für Stabdübel.....	33
Tab. 13-2	Effektive VM-Anzahl n_{ef} bei $a_1 = 5 \cdot d$ für SDÜ, PB, Bolzen, Gewindestangen und Holzschrauben mit $d > 6$ mm und teilweise glattem Schaft	34
Tab. 13-3	Mindestabstände von Stabdübeln und Passbolzen in Holz, Sperrholz, kunstharzgebundenen Spanplatten und OSB-Platten	34
Tab. 13-4	Werte $k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha$ für Nadelholz.....	35
Tab. 13-5	$F_{v,Rd,Joh}$ SDÜ/Bolzen, Holz-Holz einschnittig	36
Tab. 13-6	$F_{v,Rd,Joh}$ SDÜ/Bolzen, Holz-Holz zweischnittig, SH $\alpha = 0^\circ$	37
Tab. 13-7	$F_{v,Rd,Joh}$ SDÜ/Bolzen, Holz-Holz zweischnittig, MH $\alpha = 0^\circ$	38
Tab. 13-8	$F_{v,Rd,Joh}$ SDÜ/Bolzen, Stahl-Holz, dicke Bleche außen und beliebige Bleche innen...	40
Tab. 13-9	$F_{v,Rd,Joh}$ SDÜ/Bolzen, Stahl-Holz einschnittig, dünne Bleche außen.....	41
Tab. 13-10	$F_{v,Rd,Joh}$ SDÜ/Bolzen, Stahl-Holz zweischnittig, dünne Bleche außen	42
Tab. 13-11	Bolzenzugkraft $F_{ax,Rd}$ für Unterlegscheiben von Bolzen und Passbolzen	43
Tab. 14-1	Festigkeitswerte $f_{u,k}$ für Bolzen, Passbolzen und Gewindestangen	49
Tab. 14-2	Mindestabstände von Bolzen und Gewindestangen in Holz, Sperrholz, kunstharzgebundenen Spanplatten und OSB-Platten	50

10 Stiftförmige Verbindungsmittel - Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Abscheren

10.1 Grundregeln zu stiftförmigen Verbindungsmitteln

Stiftförmige Verbindungsmittel (VM) im Sinne dieses Abschnittes sind: **Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, Gewindestangen** (Gewindebolzen nach DIN 976-1), **Nägel, Schrauben** und **Klammern**.

Die Regeln dieses Abschnittes für Verbindungen mit Bauteilen aus Holz gelten für Vollholz, Brett-schichtholz, Balkenschichtholz und Furnierschichtholz. 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. Vereinfachend dürfen die nachfolgend angegebenen Regeln angewendet werden, wenn kein genauere Nachweis erfolgt.

10.2 Anordnung und Mindestabstände von stiftförmigen Verbindungsmitteln

Bei der Anordnung von Verbindungsmitteln sind Mindestabstände einzuhalten, die von der Art des VM abhängig sind. Dies stellt sicher, dass miteinander verbundene Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen nicht durch Überschreiten der Schub- und Querkzugfestigkeit in der Nähe von VM versagen. Zusätzlich sind jedoch im Anschlussbereich weitere Tragfähigkeitsnachweise erforderlich. In der folgenden Tab. 10-1 ist die Definition der Verbindungsmittelabstände gezeigt.

Es bedeuten:

- $a_1 ; a_2$ Abstand benachbarter VM, gemessen parallel bzw. senkrecht zur Faserrichtung
- $a_{3,t} ; a_{4,t}$ Abstand eines VM zum Rand, gemessen parallel bzw. senkrecht zur Faserrichtung, wenn der Rand durch die Kraft im VM belastet wird (Index t für Tension)
- $a_{3,c} ; a_{4,c}$ Abstand eines VM zum Rand, gemessen parallel bzw. senkrecht zur Faserrichtung, wenn der Rand durch die Kraft im VM nicht belastet wird (Index c für Compression)
- α Winkel zwischen Richtung der VM-Kraft und der Faserrichtung des Holzes/Holzwerkstoffs, $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

Abstände untereinander		
Abstand zum Rand, <u>parallel</u> zur Faserrichtung gemessen		
Abstand zum Rand, <u>senkrecht</u> zur Faserrichtung gemessen		
Wichtig: die dargestellten Pfeile zeigen die Richtung der Kraft, die das Verbindungsmittel in das Holz einleitet		

Tab. 10-1 Definition der Verbindungsmittelabstände

10.3 Tragfähigkeitsnachweis von Verbindungen bei Scherbeanspruchung

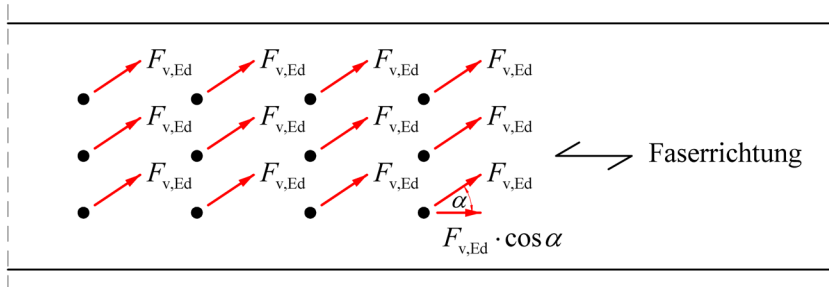


Abb. 10-1 3 Reihen mit jeweils 4 in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmitteln

Der Bemessungswert der Belastung je Scherfläche eines Verbindungsmittels wird berechnet mit

$$F_{v,Ed} = \frac{F_d}{n \cdot m \cdot p} \quad (10.1)$$

- F_d Bemessungswert der Scherbeanspruchung
 $F_{v,Ed}$ Bemessungswert Scherbeanspruchung je Scherfuge eines VM
 n Anzahl von VM in einer Reihe in Faserrichtung hintereinander
 m Anzahl der VM-Reihen senkrecht zur Faserrichtung
 p Anzahl der Scherfugen je VM
 $n \cdot m \cdot p$ Gesamtzahl der Scherfugen zur Übertragung von F_d

Der Tragfähigkeitsnachweis für die Scherbeanspruchung von stiftförmigen Verbindungsmitteln (VM) wird mit den Gleichungen (10.2) und (10.3) geführt. Beide Bedingungen müssen erfüllt sein.

1. Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche eines VM:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad (10.2)$$

2. Die Tragfähigkeit einer Verbindung mit mehreren in Faserrichtung hintereinanderliegenden Verbindungsmitteln kann in Holzteilen wegen der Spaltgefahr wesentlich geringer sein, als die Summe der Tragfähigkeiten der einzelnen Verbindungsmittel. Für jedes angeschlossene Holzteil muss deshalb der folgende Nachweis erfüllt sein:

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} \leq 1 \quad (10.3)$$

Der Nachweis nach Gl. (10.3) ist nicht maßgeblich

- für $\alpha > 40^\circ$: für Holzschrauben mit teilweise glattem Schaft und $d > 6 \text{ mm}$, sowie für SDü/PB, Bolzen, Gewindestangen
- für alle Winkel α : für Nägel mit $d \leq 8 \text{ mm}$ in versetzter Anordnung.

- $F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha$ Anteil der Scherbeanspruchung je Scherfuge eines VM in Faserrichtung
 $F_{v,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfuge eines VM
 α Winkel zwischen Scherkraft und Faserrichtung, $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$
 n Anzahl von VM in Faserrichtung hintereinander ("in einer Reihe")
 n_{ef} effektiv wirksame Anzahl von VM in Faserrichtung hintereinander ("in einer Reihe")
 - bei nicht versetzter Anordnung Nägel mit beliebigem Durchmesser sowie Holzschrauben mit $d \leq 6 \text{ mm}$ nach Kap. 11.2.2 (S.13)
 - Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, Gewindestangen sowie Holzschrauben mit teilweise glattem Schaft und $d > 6 \text{ mm}$ nach Kap. 13.2.2 (S.33) bzw. Tab. 13-2 (S.34)
Wird das Spalten des Holzes durch eine Verstärkung rechtwinklig zur Faserrichtung verhindert, darf $n_{ef} = n$ gesetzt werden.

Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfuge und Verbindungsmittel:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (10.4)$$

$$k_{\text{mod}} = \sqrt{k_{\text{mod},1} \cdot k_{\text{mod},2}} \quad \text{bei } k_{\text{mod},1} \neq k_{\text{mod},2} \text{ der verbundenen Bauteile} \quad (10.5)$$

$$F_{v,Rk} = 1,25 \cdot F_{v,Rk,\text{Joh}} \quad \text{für Bolzen und Passbolzen mit Unterlegscheiben} \quad (10.6)$$

$$F_{v,Rk} = F_{v,Rk,\text{Joh}} + 0,25 \cdot F_{ax,Rk} \quad \text{für beharzte Klammern} \quad (10.7)$$

$$F_{v,Rk} = F_{v,Rk,\text{Joh}} + \min \left\{ 0,25 \cdot F_{ax,Rk}; k_{\text{Joh}} \cdot F_{v,Rk,\text{Joh}} \right\} \quad \text{für Nägel, Schrauben und Stabdübel} \quad (10.8)$$

$$k_{\text{Joh}} = \begin{cases} 0,15 & \text{nicht vorgebohrte glattschaftige runde Nägel / beharzte Klammern} \\ 0,25 & \text{Nägel mit quadratischem Querschnitt} \\ 0,50 & \text{profilierte Nägel} \\ 1,00 & \text{Schrauben} \\ 0,00 & \text{Stabdübel und vorgebohrte glattschaftige Nägel} \end{cases} \quad (10.9)$$

Falls Bemessungswerte der Tragfähigkeit vorliegen, gelten folgende Gleichung alternativ:

$$F_{v,Rd} = 1,25 \cdot F_{v,Rd,\text{Joh}} \quad \text{für Bolzen und Passbolzen mit Unterlegscheiben} \quad (10.10)$$

$$F_{v,Rk} = F_{v,Rd,\text{Joh}} + 0,25 \cdot F_{ax,Rd} \quad \text{für beharzte Klammern} \quad (10.11)$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,\text{Joh}} + \min \left\{ 0,25 \cdot F_{ax,Rd}; k_{\text{Joh}} \cdot F_{v,Rd,\text{Joh}} \right\} \quad \text{für Nägel, Schrauben und Stabdübel} \quad (10.12)$$

$F_{v,Rk}$ Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel

$F_{v,Rk,\text{Joh}}$ Anteil der Tragfähigkeit nach Johansens Fließtheorie, ohne Berücksichtigung der Tragfähigkeit für Zugbeanspruchung

$F_{ax,Rk}$ Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit des Verbindungsmittels für Zugbeanspruchung; falls dieser Wert nicht bekannt ist, wird er mit Null angenommen

k_{mod} Modifikationsbeiwert

$\gamma_M = 1,3$ Teilsicherheitsbeiwert für auf Biegung beanspruchte stiftförmige VM aus Stahl, für außergewöhnliche Bemessungssituationen ist $\gamma_M = 1,0$ anzunehmen

10.4 Tragfähigkeit von Holz-Holz- und Holz-Holzwerkstoff-Verbindungen bei Scherbeanspruchung

Tragfähigkeit je Scherfuge ein-/zweischnittige Holz-Holz-/Holz-Holzwerkstoff-Verbindungen:

$$F_{v,Rk,\text{Joh}} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t/t_{\text{req}}}{1} \right\} \quad (\text{bei } f_{h,1,k} \neq f_{h,2,k}) \quad (10.13)$$

$$F_{v,Rk,\text{Joh}} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t/t_{\text{req}}}{1} \right\} \quad (\text{bei } f_{h,1,k} = f_{h,2,k}) \quad (10.14)$$

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

$M_{y,Rk}$ Charakteristischer Wert des Fließmomentes des VM

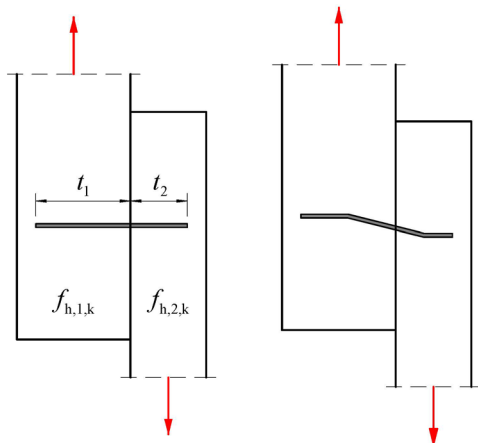
$f_{h,1,k}; f_{h,2,k}$ Charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit, siehe Abb. 10-2 und Abb. 10-3

d Durchmesser des Verbindungsmittels

$t_{1,\text{req}}, t_{2,\text{req}}$ Mindesteinbindetiefe des Verbindungsmittels

t_1, t_2 vorhandene Einbindetiefe (siehe Abb. 10-2 und Abb. 10-3)

Mindesteinbindetiefen in der einschnittigen Holz-Holz-/Holz-Holzwerkstoff-Verbindung:



bei $f_{h,1,k} \neq f_{h,2,k}$:

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d}} \quad (10.15)$$

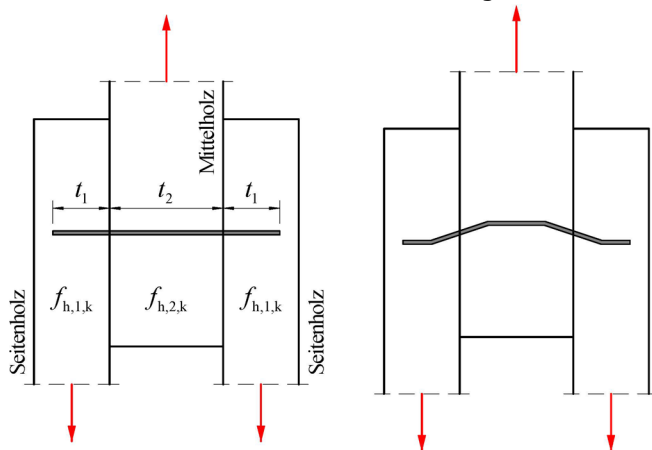
$$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,2,k} \cdot d}} \quad (10.16)$$

bei $f_{h,1,k} = f_{h,2,k}$:

$$t_{1,req} = t_{2,req} = 3,926 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d}} \quad (10.17)$$

Abb. 10-2 Einbindetiefen in einschnittigen Verbindungen aus Holz und Holzwerkstoffen

Mindesteinbindetiefen in der zweischnittigen Holz-Holz-/Holz-Holzwerkstoff-Verbindung:



$t_{1,req}$ identisch zu Gl. (10.15)

$$t_{2,req} = 1,15 \cdot \frac{4}{\sqrt{1+\beta}} \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,2,k} \cdot d}} \quad (10.18)$$

bei $f_{h,1,k} = f_{h,2,k}$:

$t_{1,req}$ identisch zu Gl.(10.17)

$$t_{2,req} = 0,8284 \cdot t_{1,req}$$

Abb. 10-3 Einbindetiefen in zweischnittigen Verbindungen aus Holz und Holzwerkstoffen

10.5 Tragfähigkeit von Stahlblech-Holz-Verbindungen bei Scherbeanspruchung

Mit innen liegenden Stahlblechen oder mit außen liegenden dicken Stahlblechen

Definition "dickes Stahlblech": in der Regel Blechdicke $\geq d$

Ausnahme für Sondernägel in Tragfähigkeitsklasse 3: Blechdicke $\geq 0,5 \cdot d$ wenn Blechdicke ≥ 2 mm

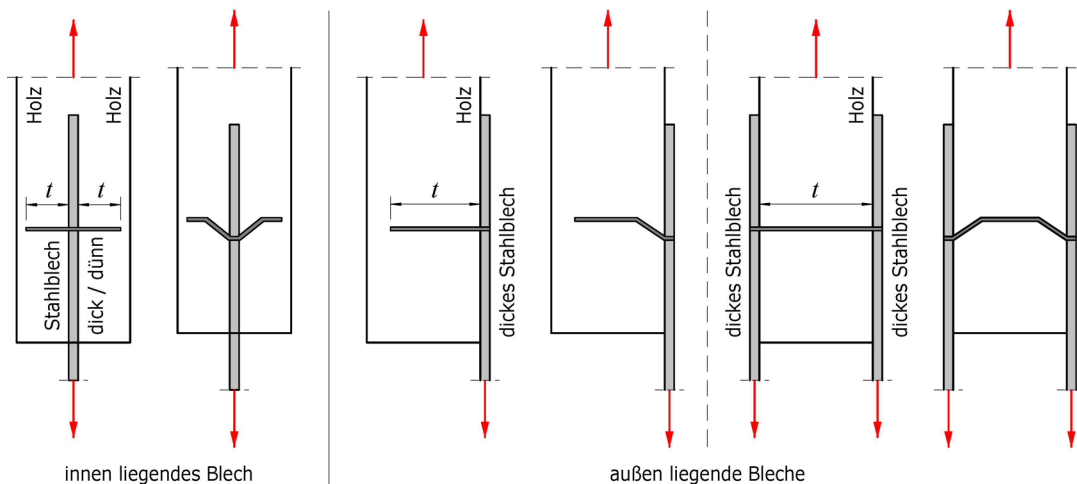


Abb. 10-4 Einbindetiefen bei innen liegenden Blechen und außen liegenden dicken Blechen

Tragfähigkeit je Scherfugefür Stahl-Holz-Verbindungen mit innen liegenden Blechen oder außen liegenden dicken Blechen:

$$F_{v,Rk,Joh} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t}{t_{req}} \right. \\ \left. 1 \right\} \quad (10.19)$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} \quad (10.20)$$

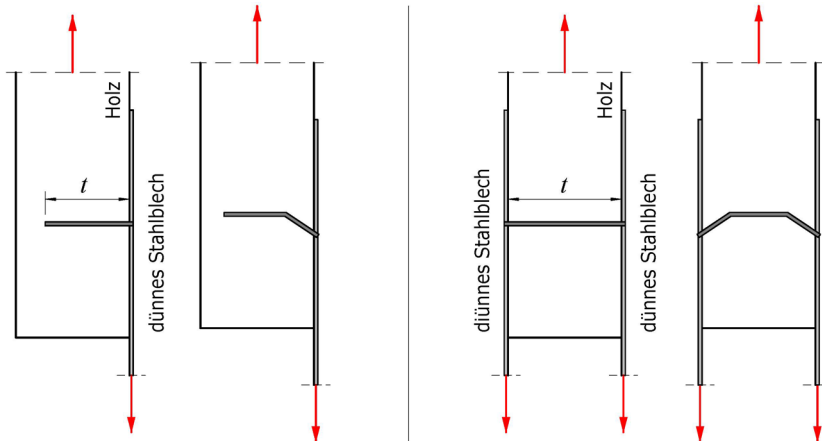
Mit außen liegenden dünnen StahlblechenDefinition "dünnnes Stahlblech": Blechdicke $\leq 0,5 \cdot d$. Bei Stabdübel-Verbindungen mit außen liegenden Stahlblechen sind anstelle der Stabdübel Passbolzen zu verwenden.

Abb. 10-5 Einbindetiefen und Scherversagen in Verbindungen mit außen liegenden dünnen Blechen

Tragfähigkeit je Scherfuge für Stahl-Holz-Verbindungen mit außen liegenden dünnen Blechen:

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t}{t_{req}} \right. \\ \left. 1 \right\} \quad (\text{identisch mit Gl. (10.14)}) \quad (10.21)$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} \quad \text{Mindesteinbindetiefe in einschnittiger Stahlblech-Holz-} \\ \text{Verbindung mit außen liegendem dünnem Stahlblech} \quad (10.22)$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot (2\sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} \quad \text{Mindesteinbindetiefe in zweischnittiger Stahlblech-Holz-} \\ \text{Verbindung mit außen liegenden dünnen Stahlblechen} \quad (10.23)$$

Mit außen liegenden Stahlblechen bei Blechdicke zwischen $d/2$ und d Für Stahlblechdicken zwischen $0,5 \cdot d$ und d darf bei der Berechnung des charakteristischen Wertes der Tragfähigkeit zwischen den Werten nach Gleichung (10.19) und Gleichung (10.21) geradlinig interpoliert werden. Analog dürfen die Mindesteinbindetiefen t_{req} nach den Gleichungen (10.20) und (10.22) bzw. (10.23) ermittelt und erforderlichenfalls geradlinig interpoliert werden.**10.6 Bemessung von Verbindungen mit Wechselbeanspruchung (Druck/Zug)**

Die Tragfähigkeit stiftförmiger metallischer Verbindungsmittel unter Wechselbeanspruchung muss für die beiden Bemessungswerte der Einwirkungen nach Gl. (10.24) nachgewiesen wird.

$$F_{Ed} = F_{t,Ed} + 0,5 \cdot F_{c,Ed} \quad \text{und} \quad F_{Ed} = F_{c,Ed} + 0,5 \cdot F_{t,Ed} \quad (10.24)$$

Dieser Nachweis darf bei kurzer Lasteinwirkungsdauer entfallen.

11 Verbindungen mit Nägeln

11.1 Grundregeln

11.1.1 Allgemeine Festlegungen für Nagelverbindungen

Die Festlegungen für *Nagelverbindungen* gelten für die Anwendung von Nägeln mit glatter, gerau-ter, angerollter oder gerillter Schaftform mit rundem Flachkopf oder flachem Senkkopf mit oder ohne Einsenkung nach DIN EN 10230. Andere als in dieser Norm angegebene Nagellängen sind zulässig. Von DIN EN 10230 abweichende Kopfformen sind zulässig, wenn die Kopffläche mindestens $2,5 \cdot d^2$ beträgt. Die Länge der Nagelspitze muss mindestens $0,7 \cdot d$ betragen, darf jedoch nicht größer als $2 \cdot d$ sein.

Nägel mit angerolltem Schaft werden als Sondernägel bezeichnet. Der Nagelschaft von Sondernägeln darf über die gesamte Nagellänge oder ausgehend von der Nagelspitze über einen Teil der Nagellänge angerollt sein. Nägel dürfen beharzt sein.

Für den Nachweis der Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Nagelachse (Abscheren) gelten die Bestimmungen in Kapitel 10.

Nägel sollten rechtwinklig zur Holzfaserrichtung und bis in eine solche Tiefe eingeschlagen werden, dass die Nagelköpfe mit der Holzoberfläche bündig abschließen.

Der Durchmesser von *vorgebohrten Löchern für Nägel* sollte etwa $0,9 \cdot d$ betragen. Bei Stahlblech-Holz-Verbindungen darf der Lochdurchmesser im Stahlblech bis zu 1 mm größer sein als der Nageldurchmesser. Bei Anschlüssen von Holzwerkstoffen an Bauteile aus Holz dürfen die Nägel nicht mehr als 2 mm tief versenkt werden, müssen jedoch mindestens bündig mit der Oberfläche des Holzwerkstoffes eingeschlagen werden. Ein bündiger Abschluss des Nagelkopfes mit der Plattenoberfläche gilt als nicht versenkt. Bei versenkter Anordnung der Nägel müssen die Mindestdicken der Holzwerkstoffe um 2 mm erhöht werden.

Bei Anschlüssen von Brettern, Bohlen, Holzwerkstoffplatten und dergleichen an Rundholz ohne passende Bearbeitung der Berührungsflächen des Rundholzes dürfen die charakteristischen Werte der Tragfähigkeit nur zu 2/3 in Rechnung gestellt werden. Für Verbindungen von Bauteilen aus Rundholz ist ein genauerer Nachweis erforderlich, sofern die Berührungsflächen im Anschlussbereich nicht passend bearbeitet sind.

Holz sollte vorgebohrt werden, wenn $d > 6 \text{ mm}$ oder $\rho_k \geq 500 \text{ kg/m}^3$ ist.

11.1.2 Mindestholzdicken in nicht vorgebohrten Nagelverbindungen

Die in diesem Kapitel dargestellten Regeln dienen dazu, das Spalten des Holzes für die Fäule zu verhindern, in denen Nägel ohne Vorbohren eingeschlagen werden. In vorgebohrten Verbindungen müssen keine Mindestholzdicken zur Vermeidung der Spaltgefahr eingehalten werden.

Wegen der Spaltgefahr des Holzes muss bei *Nagelverbindungen ohne Vorbohrung* die Dicke t von Bauteilen aus Vollholz (Laubholz oder Nadelholz) mindestens betragen:

für Bauteile aus Kiefernholz:

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7 \cdot d \\ (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right\} \quad (11.1)$$

für Vollholzbauteile aus anderen Holzarten:

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 14 \cdot d \\ (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{200} \end{array} \right\} \quad (11.2)$$

Die geringere Mindestdicke t nach Gleichung (11.1) gilt auch für Bauteile aus anderen Nadelholzarten, falls die Mindestnagelabstände zum Rand rechtwinklig zur Faser mindestens $10 \cdot d$ für $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ und mindestens $14 \cdot d$ für $420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$ betragen.

Außerdem darf die geringere Mindestdicke t nach Gleichung (11.1) für Schalungen, Trag- oder Konterlattung und die Zwischenanschlüsse von Windrispen, sowie von Querriegeln auf Rahmenhölzern für alle Holzarten angewendet werden, wenn diese Bauteile insgesamt mit mindestens zwei Nägeln angeschlossen sind.

\emptyset $d \text{ [mm]}$	Mindestholzdicke $t \text{ [mm]}$			
	für Vollholzbauteile aus Kiefernholz ¹⁾		für Vollholzbauteile aus anderen Holzarten	
	C24	C30	C24	C30
2,0	14,0		28,0	
2,2	15,4		30,8	
2,4	16,8		33,6	
2,7	18,9		37,8	
3,0	21,0		42,0	
3,4	23,8		47,6	
3,8	26,6		53,2	
4,2	29,4		58,8	
4,6	32,2		64,4	
5,0	35,0		70,0	
5,5	38,5	39,4	77,0	78,9
6,0	42,0	45,6	84,0	91,2

¹⁾ die geringeren Mindestholzdicken für Kiefernholz gelten auch für andere Nadelholzarten, wenn abweichend von Tab. 11-3 (S.14) $a_{2,c} \geq 10 \cdot d$ und $a_{2,t} \geq 10 \cdot d$ gewählt werden.

Tab. 11-1 Mindestholzdicke von Schnittholz für Nägel ohne Vorbohrung

11.1.3 Besondere Regeln für das Übergreifen von nicht vorgebohrten Nägeln

Falls die Teildicke des Holzes vor der Nagelspitze ($t_2 - l$) größer als $4 \cdot d$ ist, dürfen sich die Nägel übergreifen.

Die Regelung gilt für Nägel, die von beiden Seiten eines Holzes in nicht vorgebohrte Nagellöcher eingeschlagen sind und sich übergreifen.

Das Übergreifen von Nägeln in vorgebohrten Verbindungen ist nicht zulässig.

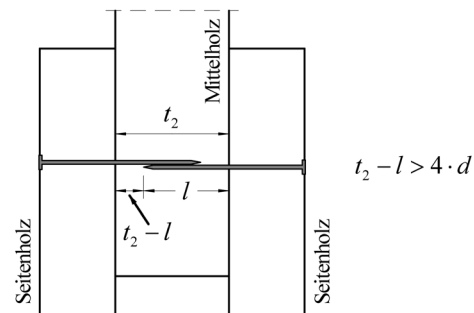


Abb. 11-1 Übergreifende Nägel

11.2 Allgemeines zu Nagelverbindungen unter Scherbeanspruchung

11.2.1 Fließmoment von Nägeln

Der charakteristische Wert des *Fließmomentes* für *runde glattschaftige Nägel* und für Sondernägel, die jeweils aus Draht mit einer Mindestzugfestigkeit von $f_{u,k} \geq 600 \text{ N/mm}^2$ hergestellt worden sind, darf angenommen werden zu:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad \text{in Nmm} \quad (11.3)$$

d Nageldurchmesser in mm

$f_{u,k}$ charakteristische Zugfestigkeit des Stahls, mindestens 600 N/mm^2

11.2.2 Wirksame Nagelanzahl in Faserrichtung (n_{ef})

Wenn die Nägel in der Reihe senkrecht zur Faserrichtung um mindestens $1 \cdot d$ versetzt angeordnet sind, ist $n_{ef} = n$.

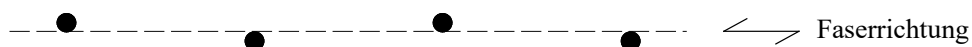


Abb. 11-2 Nägel einer faserparallelen Reihe in versetzter Anordnung

Bei nichtversetzter Anordnung wird die effektive Nagelanzahl in einer Reihe wie folgt berechnet:

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (11.4)$$

Vorstehende Gleichung gilt auch für Holzschrauben mit teilweise glattem Schaft und $d \leq 6 \text{ mm}$.

n Anzahl der Nägel hintereinander in Faserrichtung

k_{ef} Beiwert nach Tab. 11-2

Nagelabstand	k_{ef}			
	$a_1 = 4 \cdot d$	$a_1 = 7 \cdot d$	$a_1 = 10 \cdot d$	$a_1 \geq 14 \cdot d$
nicht vorgebohrt	---	0,7	0,85	1,0
vorgebohrt	0,5			
für Zwischenwerte der Nagelabstände darf k_{ef} linear interpoliert werden				

Tab. 11-2 Beiwert k_{ef} zur Berechnung von n_{ef} bei Nägeln

11.2.3 Mindestabstände in Nagelverbindungen

Die *Mindestnagelabstände* untereinander und von den Rändern sind in Tab. 11-3 angegeben. Die Definition der Abstände ist in Tab. 10-1 (S.5) zu finden.

Mindestabstände in Holz-Holz-Nagelverbindungen für Vollholz und Brettschichtholz						
	nicht vorgebohrt				vorgebohrt	
	$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ sowie alle BSH (GL) aus NH		$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$			
	$d < 5 \text{ mm}$	$d \geq 5 \text{ mm}$	$d < 5 \text{ mm}$	$d \geq 5 \text{ mm}$	$d < 5 \text{ mm}$	$d \geq 5 \text{ mm}$
a_1	$(5 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(5 + 7 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(7 + 8 \cdot \cos \alpha) \cdot d$		$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	
a_2	$5 \cdot d$		$7 \cdot d$		$(3 + \sin \alpha) \cdot d$	
$a_{3,t}$	$(10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$		$(15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$		$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	
$a_{3,c}$	$10 \cdot d$		$15 \cdot d$		$7 \cdot d$	
$a_{4,t}$	$(5 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$(5 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$(7 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$(7 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$(3 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$(3 + 4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
$a_{4,c}$	$5 \cdot d$		$7 \cdot d$		$3 \cdot d$	
α ist der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung						
Mindestabstände in Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen für Sperrholz, OSB und kunstharzgebundene Spanplatten						

a_1 / a_2	Abstände a_1 und a_2 für Holz-Holz-Nagelverbindungen werden mit 0,85 multipliziert, s.o.	
$a_{3,c} / a_{4,c}$	$3 \cdot d$	
$a_{3,t} / a_{4,t}$	$(3 + 4 \cdot \sin \beta) \cdot d$	Randabstand im Sperrholz β = Winkel zwischen Krafrichtung und belastetem Holzrand
	$7 \cdot d$	Randabstand in OSB und kunstharzgebundenen Spanplatten
Mindestabstände in Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen für Vollholz und Brettschichtholz		
a_1 / a_2	Abstände a_1 und a_2 für Holz-Holz-Nagelverbindungen werden mit 0,70 multipliziert, s.o.	

Tab. 11-3 Mindestabstände in Nagelverbindungen

11.3 Holz-Holz-Nagelverbindungen unter Scherbeanspruchung

Ein Anschluss muss mindestens zwei Nägel enthalten. Dies gilt nicht für die Befestigung von Schallungen, Trag- und Konterlatten und die Zwischenanschlüsse von Windrispen, auch nicht für die Befestigung von Sparren und Pfetten auf Bindern und Rähmen sowie von Querträgern auf Rahmenhölzern, wenn diese Bauteile insgesamt mit mindestens zwei Nägeln angeschlossen sind.

Bei Einschlagtiefen unter $4 \cdot d$ darf die der Nagelspitze nächstliegende Scherfuge nicht in Rechnung gestellt werden. Nägel, die parallel zur Faserrichtung des Holzes eingeschlagen sind, dürfen nicht zur Kraftübertragung in Rechnung gestellt werden.

11.3.1 Mindestabstände in Holz-Holz-Nagelverbindungen

Bei tragenden Nägeln und bei Heftnägeln soll der größte Abstand in Faserrichtung des Holzes $40 \cdot d$ und rechtwinklig dazu $20 \cdot d$ nicht überschreiten.

11.3.2 Tragfähigkeit von Holz-Holz-Nagelverbindungen für Scherbeanspruchung

Für etwa rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes eingeschlagene Nägel bis zu einem Nageldurchmesser von $d \leq 8$ mm und für alle Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung des Holzes dürfen folgende charakteristische Werte der *Lochleibungsfestigkeit* angenommen werden:

für nicht vorgebohrtes Vollholz und Brettschichtholz, Nägel mit $d \leq 6$ mm :

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (11.5)$$

für vorgebohrtes Vollholz und Brettschichtholz, Nägel mit $d \leq 8$ mm :

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad \text{in N/mm}^2 \quad (11.6)$$

ρ_k charakteristische Rohdichte in kg/m³

Für Nageldurchmesser mit $d > 8$ mm wird die Lochleibungsfestigkeit wie für Stabdübel in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung des Holzes nach Gl. (13.3) berechnet.

Für Verbindungen zwischen Bauteilen aus Nadelholz dürfen abweichend von Gleichungen (10.15), (10.16) und (10.18) die Mindesteinbindetiefen der Nägel mit rundem Querschnitt vereinfacht berechnet werden mit:

$$t_{1,req} = t_{2,req} = 9 \cdot d \quad (11.7)$$

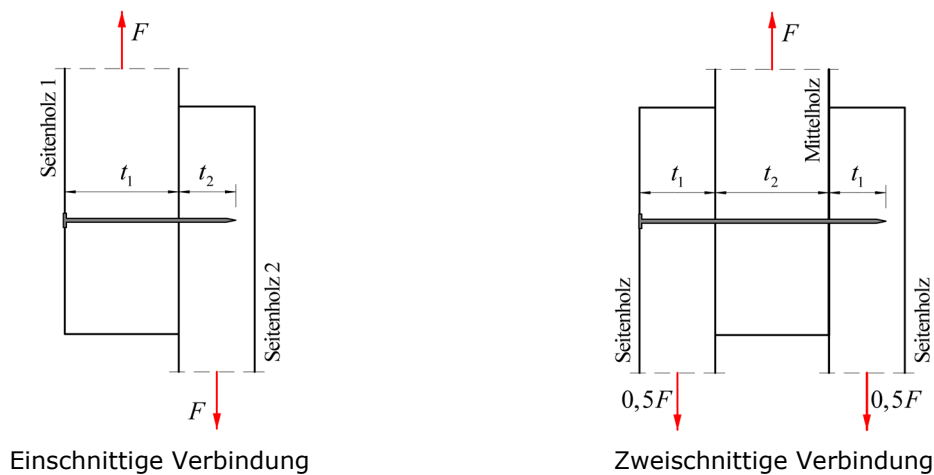


Abb. 11-3 Definition der Einbindetiefen von Nägeln

Bei Holz mit einer charakteristischen Rohdichte von über 500 kg/m^3 sind die Nagellöcher über die ganze Nagellänge vorzubohren.

11.3.3 Bemessungshilfe Tragfähigkeit von Holz-Holz-Nagelverbindungen mit Hölzern gleicher Rohdichte und Stahlblech-Holz-Verbindungen für Scherbeanspruchung

In Tab. 11-4 sind für ein- und zweischnittige Nagelverbindungen die Bemessungswerte $F_{v,Rd,Joh}$ für die Tragfähigkeit je Nagel und Scherfuge für runde Nägel mit einer Mindestzugfestigkeit von $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$ nach Gln. (10.4) und (10.14) gegeben. Die Mindesteinbindetiefe $t_{1,req}$ ist nach Gl. (10.15) berechnet (der Wert nach der vereinfachten Gl. (11.7) ist aufgeführt, sofern er geringer ist).

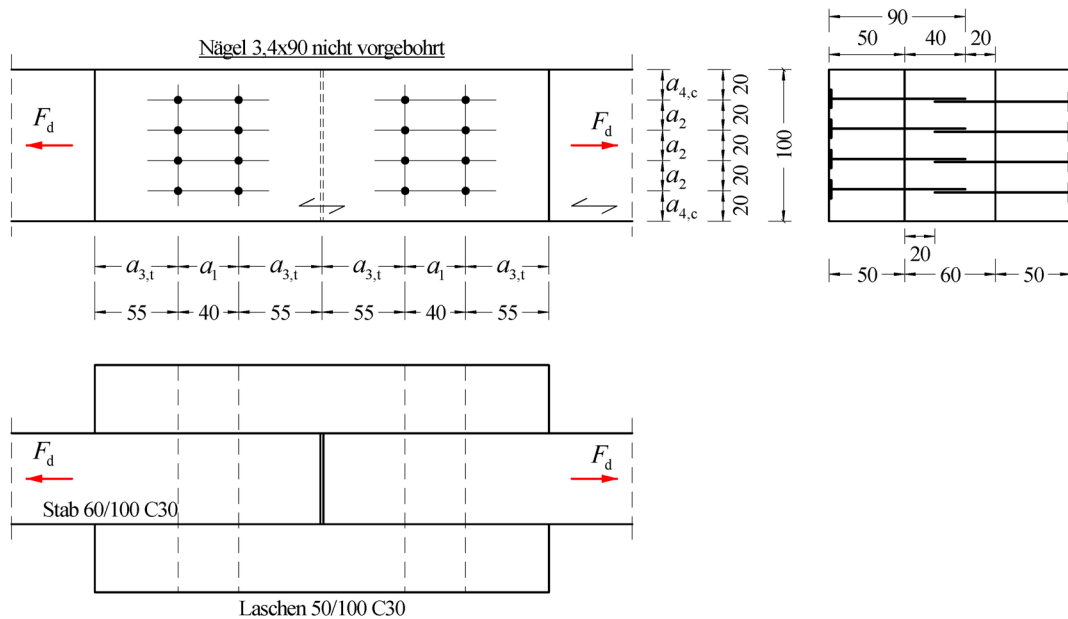
Holz-Holz-Nagelverbindungen von Hölzern gleicher Rohdichte und Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen																	
Werte $F_{v,Rd,Joh}$ [N] und t_{req} [mm] bei KLED mittel / NKL 1 und 2 / $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$																	
												$F_{v,Rd,Joh}$ = Tabellenwert $t_{1,req}$ = Tabellenwert $t_{2,req} = t_{1,req}$					
						$F_{v,Rd,Joh}$ = Tabellenwert $t_{1,req}$ = Tabellenwert $t_{2,req} = 0,8284 \cdot t_{1,req}$											
												$F_{v,Rd,Joh}$ = $\sqrt{2}$ · Tabellenwert $t_{1,req}$ = 1,172 · Tabellenwert					
NICHT VORGEBOHRT																	
$\varnothing d$	$M_{y,Rk}$	C24		C30		GL24h		GL24c		GL28h		GL28c		GL32h		GL32c	
[mm]	[Nmm]	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$
2,0	1.091	18	226	18	235	18	237	19	231	17	249	18	238	17	253	18	241
2,2	1.398	20	264	20	275	20	277	20	270	19	291	20	279	19	296	19	282
2,4	1.753	22	305	22	318	22	320	22	311	20	336	21	322	20	342	21	326
2,7	2.381	24	370	24	386	24	388	25	378	23	408	24	391	23	415	24	396
3,0	3.132	27	441	27	459	27	462	27	450	25	486	26	465	25	494	26	471
3,4	4.336	31	542	30	565	30	568	31	553	29	597	30	572	28	608	29	579
3,8	5.790	34	651	34	678	33	683	34	665	32	717	33	687	31	730	33	696
4,2	7.511	38	768	37	800	37	805	38	784	35	846	36	811	34	861	36	821
4,6	9.516	41	892	40	930	40	936	41	911	38	983	40	942	37	1.000	39	954
5,0	11.819	45	1.024	44	1.067	43	1.074	44	1.046	41	1.128	43	1.081	40	1.148	42	1.095
5,5	15.143	50	1.198	48	1.249	47	1.257	49	1.224	45	1.320	47	1.265	44	1.343	46	1.281
6,0	18.987	54	1.383	52	1.441	51	1.451	53	1.413	49	1.524	51	1.460	48	1.551	50	1.479
7,0	28.348	62	1.784	60	1.859	60	1.871	61	1.822	57	1.966	59	1.883	56	2.000	58	1.907
8,0	40.115	71	2.223	68	2.317	68	2.332	69	2.271	64	2.450	67	2.347	63	2.493	66	2.377
VORGEBOHRT																	
$\varnothing d$	$M_{y,Rk}$	C24		C30		GL24h		GL24c		GL28h		GL28c		GL32h		GL32c	
[mm]	[Nmm]	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$
2,0	1.091	17	248	17	258	16	260	17	253	16	273	16	262	15	278	16	265
2,2	1.398	19	294	18	306	18	308	18	300	17	324	18	310	17	330	17	314
2,4	1.753	20	344	19	358	19	360	20	351	18	379	19	363	18	385	19	367
2,7	2.381	22	424	21	442	21	445	22	433	20	467	21	448	20	475	21	453
3,0	3.132	24	512	23	533	23	537	24	523	22	564	23	540	21	574	22	547
3,4	4.336	27	640	26	667	25	671	26	653	24	705	25	675	24	717	25	684
3,8	5.790	29	780	28	813	28	818	29	797	26	860	28	823	26	875	27	834
4,2	7.511	32	932	30	971	30	978	31	952	29	1.027	30	984	28	1.045	30	996
4,6	9.516	34	1.096	33	1.142	33	1.149	33	1.119	31	1.207	32	1.157	30	1.228	32	1.171
5,0	11.819	37	1.270	35	1.324	35	1.332	36	1.297	33	1.400	35	1.341	33	1.424	34	1.358
5,5	15.143	40	1.504	38	1.567	38	1.578	39	1.536	36	1.658	37	1.588	35	1.687	37	1.608
6,0	18.987	43	1.755	41	1.828	41	1.840	42	1.792	39	1.933	40	1.852	38	1.967	40	1.876
7,0	28.348	48	2.303	46	2.400	46	2.416	47	2.352	44	2.538	46	2.431	43	2.583	45	2.462
8,0	40.115	54	2.913	52	3.036	52	3.056	53	2.975	49	3.210	51	3.075	48	3.267	51	3.115
Für $f_{u,k} \neq 600 \text{ N/mm}^2$ müssen $F_{v,Rd,Joh}$, $t_{1,req}$ und $t_{2,req}$ mit $\sqrt{f_{u,k}/600}$ multipliziert werden.																	
Für andere KLED sind die Werte $F_{v,Rd,Joh}$ zu multiplizieren mit: ständig: 0,750; lang: 0,875; kurz: 1,125																	

Tab. 11-4 $F_{v,Rd,Joh}$ und t_{req} für Nagelverbindungen Holz-Holz und Stahlblech-Holz

Beispiel 11-1 Einschnittige Holz-Holz-Nagelverbindung in C30, nicht vorgebohrt

Der Laschenstoß eines Stabes aus Nadelvollholz C30 ist durch eine Zugkraft belastet. Die Nutzungsklasse ist NKL 1 und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist KLED kurz.

- Es soll der Nachweis der Tragfähigkeit für eine Zugkraft $F_d = 9,0 \text{ kN}$ unter der Bedingung geführt werden, dass die Tragfähigkeit der Nägel für Zugbeanspruchung nicht berücksichtigt wird,
- es soll berechnet werden, wie hoch die Zugkraft maximal werden darf, wenn der charakteristische Wert der Tragfähigkeit für Zugbeanspruchung je Nagel mit $F_{ax,Rk} = 370 \text{ N}$ berücksichtigt wird,
- es soll der Tragfähigkeitsnachweis der Hölzer im Anschlussbereich für die maximale Zugkraft nach b) geführt werden.

**Überprüfung der Geometrie**

Mindestholzdicke zur Vermeidung der Spaltgefahr

$$t = 47,6 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

Begrenzung der Übergreifungslänge

$$20 \text{ mm} > (4 \cdot d = 13,6 \text{ mm}) \rightarrow \text{Übergreifungslänge zulässig}$$

Nagelanordnung:

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	mindestens [mm] bei $d = 3,4 \text{ mm}$	vorhanden [mm]
a_1	$(5 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 10 \cdot d$	34,0	40 mm
a_2	$5 \cdot d$	17,0	20 mm
$a_{3,t}$	$(10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 15 \cdot d$	51	55 mm
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$5 \cdot d$	17,0	20 mm

Tragfähigkeitsberechnung für Johansen-Anteil

Mindesteinbindetiefe: $t_{\text{req}} = 30 \text{ mm}$, Laschen: $t_1 = 50 \text{ mm} > t_{\text{req}}$, Stab: $t_2 = 40 \text{ mm} > t_{\text{req}}$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 3,4^{-0,3} = 21,59 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 3,4^{2,6} = 4.336 \text{ Nmm}$$

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t/t_{\text{req}}}{1} \right\} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 4.336 \cdot 21,59 \cdot 3,4} \cdot 1 = 917,5 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,Joh} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{v,Rk,Joh}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 917,5}{1,3} = 635 \text{ N} \quad \text{bzw. Tab. 11-4 (S.16): } F_{v,Rd,Joh} = 1,125 \cdot 565 = 636 \text{ N}$$

a) Maximale Zugkraft F_d , Zugbeanspruchbarkeit der Nägel nicht berücksichtigt

$$\frac{a_1}{d} = \frac{40}{3,4} = 11,8 \rightarrow a_1 = 11,8 \cdot d \rightarrow k_{\text{ef}} = 0,918 \quad \text{Interpolation nach Tab. 11-2 (S.13)}$$

$$n_{\text{ef}} = n^{k_{\text{ef}}} = 2^{0,918} = 1,889$$

$$F_{v,Ed} = \frac{9.000}{16 \cdot 1} = 562,5 \text{ N} \quad \text{Scherbeanspruchung je Scherfläche (16 Nägel, je 1 Scherfläche)}$$

Tragfähigkeitsnachweise nach Gl.n.(10.2) und (10.3)

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{562,5}{636} = 0,88 < 1 \quad \text{und} \quad \frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{\text{ef}}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{562,5 \cdot \cos 0^\circ}{(1,889/2) \cdot 636} = 0,94 < 1$$

b) maximale Zugkraft $f_{u,k} > 600 \text{ N/mm}^2$, Zugbeanspruchbarkeit der Nägel berücksichtigt

$$F_{v,Rk} = F_{v,Rk,Joh} + \min \left\{ 0,25 \cdot F_{ax,Rk}, k_{Joh} \cdot F_{v,Rk,Joh} \right\} = 917,5 + \min \left\{ 0,25 \cdot 370, 0,15 \cdot 917,5 \right\} = 917,5 + 92,5 = 1.010 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1.010}{1,3} = 699 \text{ N}$$

$$F_d \leq 2 \cdot 4 \cdot 2 \cdot (n_{\text{ef}}/n) \cdot F_{v,Rd} = 16 \cdot (1,889/2) \cdot 699 = 10.560 \text{ N}$$

c) Tragfähigkeitsnachweis der Hölzer im Anschlussbereich:

Nägel $d < 6 \text{ mm}$ ohne Vorbohren: keine Querschnittsschwächung zu berücksichtigen

Zugstab:

$$\max(b; h) = 100 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \rightarrow f_{t,0,d} = k_h \cdot 1,125 \cdot 11,7 = 1,084 \cdot 1,125 \cdot 11,7 = 14,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{10.560}{60 \cdot 100}}{14,3} = \frac{1,76}{14,3} = 0,12 \leq 1$$

Außen liegende Laschen, einseitig beansprucht, nicht vorgebohrte Nägel:

$$\max(b; h) = 100 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \rightarrow f_{t,0,d} = k_h \cdot 1,125 \cdot 11,7 = 1,084 \cdot 1,125 \cdot 11,7 = 14,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{10.560}{2 \cdot 50 \cdot 100}}{\frac{2}{3} \cdot 14,3} = \frac{1,06}{9,53} = 0,11 \leq 1$$

Ende Beispiel 11-1

11.4 Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen unter Scherbeanspruchung

In dieser Lehrveranstaltung werden nur Verbindungen mit Sperrholz, OSB-Platten und kunstharzgebundenen Spanplatten behandelt.

11.4.1 Mindestabstände in Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen

Die Mindestabstände von Nägeln in Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen sind in Tab. 11-3 (S.14) gegeben. Der größte Abstand sollte in keiner Richtung $40 \cdot d$ überschreiten. Haben die Werkstoffplatten nur aussteifende Funktion, ist ein Abstand bis zu $80 \cdot d$ zulässig. Dies gilt auch für den Anschluss mittragender Beplankungen an Mittelrippen von Wandtafeln.

11.4.2 Tragfähigkeit von Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen auf Abscheren

1. $M_{y,k}$ wird nach Gl. (11.3) berechnet: $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$ in Nmm.
2. Lochleibungsfestigkeiten $f_{h,1,k}$ und $f_{h,2,k}$ werden nach den Gleichungen in Tab. 11-5 bestimmt, hierbei wird vorausgesetzt, dass der Kopfdurchmesser des Nagelkopfes $d_h \geq 2 \cdot d$ ist.
3. $F_{v,Rk,Joh}$ pro Scherfuge und Nagel wird nach Gl. (10.13) berechnet.
4. Mindesteinbindetiefen $t_{1,req}$ und $t_{2,req}$ werden für das Holz und die Holzwerkstoffplatte nach Gln. (10.15) bis (10.18) ermittelt.

	nicht vorgebohrt	vorgebohrt
Vollholz und Brettschichtholz Gln. (11.5), (11.6)	$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$	$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$
Sperrholz	$f_{h,k} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$ (11.8)	$f_{h,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$ (11.9)
OSB-Platten und kunstharzgebundene Spanplatten	$f_{h,k} = 65 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{0,1}$ (11.10)	$f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2}$ (11.11)
t = Dicke der Holzwerkstoffplatte		

Tab. 11-5 Lochleibungsfestigkeit von Holz und Holzwerkstoffen für Nägel mit $d \leq 8$ mm

Alternativ kann die Mindestdicke t_{req} der Holzwerkstoffplatte nach Tab. 11-6 und der charakteristische Wert der Tragfähigkeit nach Gl. (11.12) bestimmt werden:

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t}{t_{req}}, 1 \right\} \quad (11.12)$$

A Faktor nach Tab. 11-6

$f_{h,k}$ Char. Wert der Lochleibungsfestigkeit der Holzwerkstoffplatte nach Tab. 11-5

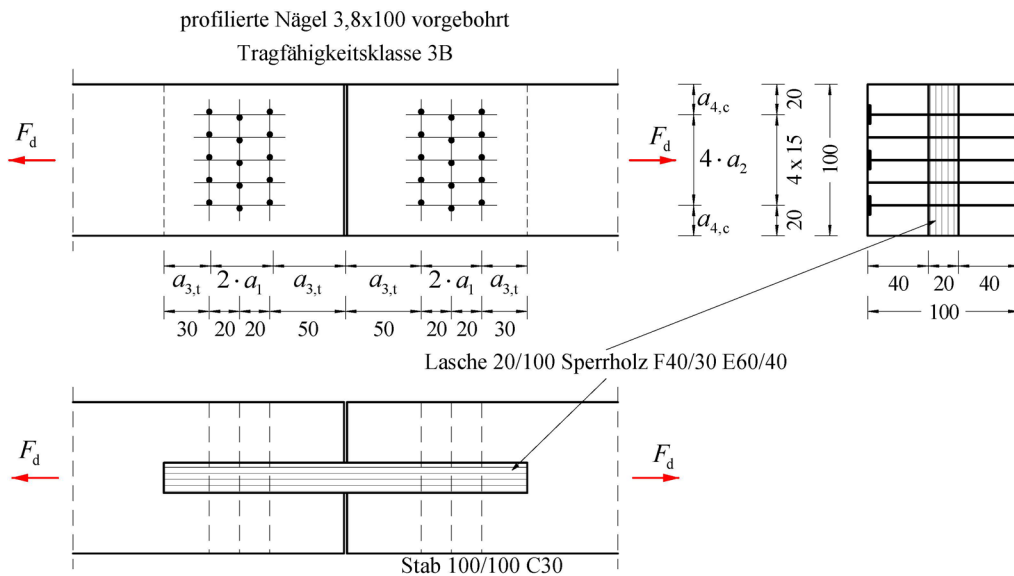
$M_{y,k}$ $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$ [Nmm] mit $f_{u,k} \geq 600$ N/mm², identisch Gl. (11.3)

	$\rho_k \left[\text{kg/m}^3 \right]$	A	Mindestdicke der Holzwerkstoffplatte t_{req}	
			Platte außen liegend (einschnittige Verbindung)	Platte innen liegend (zweischchnittige Verbindung)
Sperrholz der Biegefestigkeitsklasse nach DIN 636				
F20/10 E40/20 F20/15 E30/25	350	0,9	$7 \cdot d$	$6 \cdot d$
F40/30 E60/40 F50/25 E70/25 F60/10 E90/10	600	0,8	$6 \cdot d$	$4 \cdot d$
OSB-Platten				
OSB/2, OSB/3, OSB/4	550	0,8	$7 \cdot d$	$6 \cdot d$
kunstharzgebundene Spanplatten				
P4, P5, P6 und P7	$6 < t \leq 13$	650	$7 \cdot d$	$6 \cdot d$
	$13 < t \leq 20$	600		
	$20 < t \leq 32$	550		
	$32 < t \leq 50$	500		

Tab. 11-6 Faktor A für Nagelverbindungen Holzwerkstoff-Holz

Beispiel 11-2 Zweischchnittige Nagelverbindung Zugstab C30 mit innen liegender Sperrholzlasche

Der Stoß eines Stabes aus Nadelholz C30 mit einer innen liegenden Lasche aus Sperrholz F40/30 E60/40 ist durch eine Zugkraft $F_d = 32 \text{ kN}$ belastet. Die Nutzungsklasse ist NKL 1 und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist KLED kurz. Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit für Zugbeanspruchung je Nagel wird mit $F_{\text{ax,Rk}} = 1.430 \text{ N}$ berücksichtigt.



Mindestabstände im Holz:

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	min. [mm] bei $d = 3,8 \text{ mm}$	vorh. [mm]
a_1	$0,85 \cdot (4 + \cos \alpha) \cdot d$	16,2	20
a_2	$0,85 \cdot (3 + \sin \alpha) \cdot d$	9,7	15
$a_{3,t}$	$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	45,6	50
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	11,4	20

Mindestabstände im Sperrholz

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	min. [mm] bei $d = 3,8 \text{ mm}$	vorh. [mm]
a_1			20
a_2			15
$a_{3,t}$	$(3 + 4 \cdot \sin 90^\circ) \cdot d$	26,6	30
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	11,4	20

Charakteristische Werte für Lochleibungsfestigkeiten und Fließmoment

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 3,8) \cdot 380 = 29,98 \text{ N/mm}^2 \quad \text{C30}$$

$$f_{h,2,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot 3,8) \cdot 600 = 63,49 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Sperrholz}$$

$$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k} = 63,49 / 29,98 = 2,12$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 3,8^{2,6} = 5.790 \text{ Nmm}$$

Mindesteinbindetiefe im Seitenholz (C30) gemäß Gl. (10.15):

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{2,12}{1+2,12}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{5.790}{29,98 \cdot 3,8}} = 29,9 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Mindesteinbindetiefe im Mittelholz (Sperrholz) gemäß Tab. 11-6 (S.20):

$$t_{2,req} = 4 \cdot d = 4 \cdot 3,8 = 15,2 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$$

Berechnung der Tragfähigkeit auf Abscheren $F_{v,Rk,Joh}$ je Nagel und Scherfuge nach Gl. (11.12)

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} = 1,15 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2 \cdot 5.790 \cdot 63,49 \cdot 3,8} = 1.538 \text{ N}$$

Berücksichtigung des Auszieh Widerstands, siehe Kap. 10.4

$$F_{v,Rk} = F_{v,Rk,Joh} + \min \left\{ 0,25 \cdot F_{ax,Rk} \right\} = 1.540 + \min \left\{ 0,25 \cdot 1.430 \right\} = 1.540 + 358 = 1.898 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1.898}{1,3} = 1.314 \text{ N}$$

$n_{ef} = n$ wegen versetzter Anordnung der Nägel

$$F_{v,Ed} = \frac{32.000}{15 \cdot 2} = 1.067 \text{ N} \quad \text{Scherbeanspruchung je Scherfläche (15 Nägel, je 2 Scherflächen)}$$

Tragfähigkeitsnachweise nach Gln.(10.2) und (10.3)

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{1.067}{1.314} = 0,81 < 1 \quad \text{und} \quad \frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{1.067 \cdot \cos 0^\circ}{(3/3) \cdot 1.314} = 0,81 < 1$$

Tragfähigkeitsnachweis der Hölzer im Anschlussbereich:

Der Zugstab entspricht im Anschlussbereich außen liegenden Laschen, einseitig beansprucht, vorgebohrte Nägel und keine Maßnahmen zur Verhinderung der Verkrümmung:

$$b = 40 \text{ mm} \rightarrow k_h = 1,30 \rightarrow f_{t,0,d} = 1,30 \cdot 1,125 \cdot 11,7 = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

$$A_n = 2 \cdot 40 \cdot (100 - 5 \cdot 3,8) = 2 \cdot 40 \cdot 81 = 6.480 \text{ mm}^2 \quad (\text{Querschnittsschwächung durch 5 Bohrungen})$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{32.000}{6.480}}{0,4 \cdot 17,1} = \frac{4,94}{6,84} = 0,72 \leq 1$$

Innen liegende Sperrholzlasche, mittig beansprucht:

$$f_{t,0,d} = 1,125 \cdot 17,8 = 20,0 \text{ N/mm}^2$$

$$A_n = 20 \cdot (100 - 5 \cdot 3,8) = 20 \cdot 81 = 1.620 \text{ mm}^2 \quad (\text{Querschnittsschwächung durch 5 Bohrungen})$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{32.000}{1.620}}{20,0} = \frac{19,8}{20,0} = 0,99 \leq 1$$

Ende Beispiel 11-2

11.5 Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen unter Scherbeanspruchung

11.5.1 Mindestabstände in Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen

Es müssen die Mindestabstände nach Tab. 11-3 (S.14) eingehalten werden.

11.5.2 Tragfähigkeit von Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen für Scherbeanspruchung

Normen [DIN 1] und [DIN 2] bieten zwei Alternativen zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen an.

Alternative 1: die Tragfähigkeit wird nach den Regeln des Kap. 10.5 (S.8) bestimmt.

Innen liegende Stahlbleche und außen liegende dicke Stahlbleche

Die Berechnung erfolgt nach Gln. (10.19) und (10.20) oder unter Verwendung von Tab. 11-4.

Definition "dickes Stahlblech": Blechdicke $\geq d$,

Ausnahme: profilierte Nägel Tragfähigkeitsklasse 3: Blechdicke $\geq 0,5 \cdot d$ wenn Blechdicke ≥ 2 mm.

Außen liegende dünne Stahlbleche

Die Berechnung erfolgt nach Gln. (10.21) bis (10.23) oder unter Verwendung von Tab. 11-4.

Definition "dünnes Stahlblech": Blechdicke $\leq 0,5 \cdot d$

Bei Blechdicken $0,5 \cdot d \leq t \leq d$ dürfen die Werte linear interpoliert werden

Alternative 2: Tragfähigkeit und Mindestholzdicke werden nach den folgenden vereinfachten Regeln bestimmt.

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t}{t_{req}}, 1 \right\} \quad (11.13)$$

A Faktor nach Tab. 11-7

Stahlblech	A	t_{req}	
		einschnittig	zweischchnittig
innen liegend / außen liegend und dick	1,4	$10 \cdot d$	$10 \cdot d$
außen liegend und dünn	1,0	$9 \cdot d$	$7 \cdot d$

Definition "dünnes Stahlblech": Blechdicke $\leq 0,5 \cdot d$
 Definition "dickes Stahlblech": Blechdicke $\geq d$
 Sondernägel in Tragfähigkeitsklasse 3: "dickes Stahlblech" Blechdicke $\geq 0,5 \cdot d$ wenn Blechdicke ≥ 2 mm
 bei Blechdicken $0,5 \cdot d \leq t \leq d$ dürfen die Werte linear interpoliert werden

Tab. 11-7 Vereinfachte Tragfähigkeitsberechnung von Nagelverbindungen Stahlblech-Holz

11.6 Nagelverbindungen unter Zugbeanspruchung

11.6.1 Allgemeines zu Nagelverbindungen bei Zugbeanspruchung

Nägel in Hirnholz und vorgebohrte glattschaftige Nägel sind für Zugbeanspruchung ungeeignet.

Profilierte Nägel werden entsprechend ihrem Widerstand gegen Herausziehen in die Tragfähigkeitsklassen 1, 2 oder 3 eingeteilt. Darüber hinaus werden sie entsprechend ihrem Widerstand gegen Kopfdurchziehen den Tragfähigkeitsklassen A bis F zugeordnet.

Die charakteristische Tragfähigkeit nach dem oberen Ausdruck in Gln. (11.16) bis (11.18) darf bei Verbindungen von Bauteilen aus Vollholz, die mit einer Holzfeuchte oberhalb der Fasersättigung eingebaut werden und dann trocknen können, nur zu 2/3 in Rechnung gestellt werden.

Bei Verbindungen mit Sondernägeln in vorgebohrten Nagellöchern darf die Tragfähigkeit $f_{ax,k}$ nur mit 70 % des Wertes nach Tab. 11-8 in Ansatz gebracht werden, wenn der Bohrlochdurchmesser nicht größer als der Kerndurchmesser des Sondernagels ist. Bei größerem Bohrlochdurchmesser darf der Sondernagel nicht auf Herausziehen beansprucht werden.

Glattschaftige Nägel und profilierte Nägel der Tragfähigkeitsklasse 1 dürfen nur für kurze Lasteinwirkungen (z.B. Windsogkräfte) durch Zug beansprucht werden. Ausnahme: Anschluss von Koppelpfetten, wenn infolge einer Dachneigung von höchstens 30° die Nägel dauernd auf Herausziehen beansprucht werden. Der Ausziehparameter $f_{ax,k}$ muss um 40 % abgemindert werden.

11.6.2 Mindestabstände in Nagelverbindungen bei Zugbeanspruchung

Die Nagelabstände in Schafrichtung beanspruchter Nägel müssen den Abständen rechtwinklig zur Nagelachse beanspruchter Nägel entsprechen. Bei Schrägnagelung muss der Abstand zum beanspruchten Rand mindestens $10 \cdot d$ betragen (siehe Abb. 11-4 b) und es müssen mindestens zwei Nägel in der Verbindung sein.

11.6.3 Tragfähigkeit von Nagelverbindungen bei Zugbeanspruchung

Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \leq 1 \quad (11.14)$$

$F_{ax,Ed}$ Bemessungswert der Zugbeanspruchung eines Nagels

$F_{ax,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Nagels für Zugbeanspruchung

Der Bemessungswert der *Zugtragfähigkeit* $F_{ax,Rd}$ von Nägeln bei Nagelung rechtwinklig zur Faserichtung (Abb. 11-4 a) und bei Schrägnagelung (Abb. 11-4 b) darf wie folgt berechnet werden:

$$F_{ax,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax,Rk}}{\gamma_M (=1,3)} \quad (11.15)$$

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}} \quad \text{bei } k_{mod,1} \neq k_{mod,2} \text{ der verbundenen Bauteile}$$

Wenn der Nagelkopf an Holz bzw. einem Holzwerkstoff anliegt, also durchgezogen werden könnte, gelten Gl. (11.16) bzw. (11.17):

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{array} \right\} \quad \text{für profilierte Nägel} \quad (11.16)$$

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{array} \right\} \quad \text{für glattschaftige Nägel} \quad (11.17)$$

Bei glattschaftigen Nägeln darf t_{pen} maximal mit $\leq 20 \cdot d$ angesetzt werden.

Wenn der Nagelkopf an einem Stahlblech anliegt, also nicht durchgezogen werden kann, gilt Gl. (11.18):

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \quad (11.18)$$

$F_{ax,Rk}$ charakteristische Tragfähigkeit eines Nagels für Zugbeanspruchung

$f_{ax,k}$ charakteristische Ausziehfestigkeit des Nagels für das jeweilige Holzteil

$f_{head,k}$ charakteristische Kopfdurchziehfestigkeit

bei Nägeln nach DIN EN 14592 dürfen für $f_{ax,k}$ und $f_{head,k}$ die in Tab. 11-8 (S.25) angegebenen Werte in Rechnung gestellt werden.

d Nenndurchmesser des Nagels

t_{pen} Eindringtiefe auf der Seite der Nagelspitze bzw. Länge des profilierten Schaftteils im Bauteil mit der Nagelspitze, unter Abzug der Länge der Nagelspitze

Für glattschaftige Nägel sollte die Eindringtiefe $t_{pen} \geq 8 \cdot d$ betragen. Für Nägel mit

$t_{pen} < 12 \cdot d$ sollte $f_{ax,k}$ mit dem Faktor nach Gl. (11.19) multipliziert werden

$$\frac{t_{pen}}{4 \cdot d} - 2 \quad (11.19)$$

Für Nägel mit profiliertem Schaft sollte die Eindringtiefe $t_{pen} \geq 6 \cdot d$ betragen. Für Nägel mit

$t_{pen} < 8 \cdot d$ sollte $f_{ax,k}$ mit dem Faktor nach Gl. (11.20) multipliziert werden

$$\frac{t_{pen}}{2 \cdot d} - 3 \quad (11.20)$$

d_h Außendurchmesser des Nagelkopfes

t Dicke des Bauteils auf der Seite des Nagelkopfes



Abb. 11-4 Nagelung rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes (a) und Schrägnagelung (b)

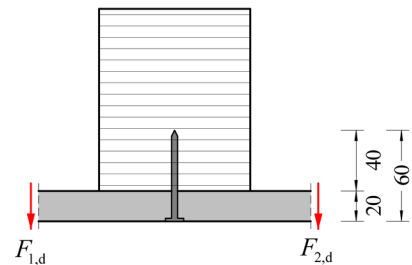
Glattschaftige Nägel			
$f_{ax,k}$ [N/mm ²]		$f_{head,k}$ [N/mm ²]	
$20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \cdot k_{pen}$		$70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	
$t_{pen} \leq 8 \cdot d \rightarrow k_{pen} = 0$			
$8 \cdot d < t_{pen} < 12 \cdot d \rightarrow k_{pen} = (t_{pen} / 4 \cdot d) - 2$			
$t_{pen} \geq 12 \cdot d \rightarrow k_{pen} = 1$			
Profilierte Nägel nach Tragfähigkeitsklasse			
Klasse	$f_{ax,k}$ [N/mm ²] ¹⁾	Klasse	$f_{head,k}$ [N/mm ²]
1	$33 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \cdot k_{pen}$	A	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
2	$44 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \cdot k_{pen}$	B	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
3	$55 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \cdot k_{pen}$	C	$100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
	$t_{pen} < 6 \cdot d \rightarrow k_{pen} = 0$ $6 \cdot d \leq t_{pen} < 8 \cdot d \rightarrow k_{pen} = (t_{pen} / 2 \cdot d) - 3$ $t_{pen} \geq 8 \cdot d \rightarrow k_{pen} = 1$	D	$120 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
		E	$140 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
		F	$160 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
Charakteristische Rohdichte ρ_k in kg/m ³ , jedoch höchstens 500 kg/m ³			
¹⁾ Bei vorgebohrten profilierten Nägeln ist der Wert mit 0,7 abzumindern. Beim Anschluss von Massivholzplatten, Sperrholzplatten, OSB-Platten, kunstharz- oder zementgebundenen Spanplatten darf für $f_{head,k}$ höchstens der Wert der Tragfähigkeitsklasse C in Rechnung gestellt werden nach folgenden Bedingungen: Plattendicke ≥ 20 mm: $f_{head,k}$ wird berechnet mit $\rho_k = 380$ kg/m ³ 12 mm \leq Plattendicke < 20 mm: $f_{head,k} = 8$ N/mm ² Plattendicke < 12 mm: $F_{ax,k} = 400$ N			

Tab. 11-8 Ausziehparameter $f_{ax,k}$ und Kopfdurchziehparameter $f_{head,k}$ für Nägel

Beispiel 11-3 Auf Herausziehen belastete Nagelverbindung Sperrholz mit GL24h

Eine Sperrholzplatte F40/30 E60/40 ist an einen Querschnitt aus Brettschichtholz GL24h mit profilierten Nägeln 4,0x60, Klasse 3B, Kopfdurchmesser $d_h = 10$ mm befestigt. Die Nutzungsklasse ist NKL 2 und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist KLED ständig.

$$F_{1,d} = F_{2,d} = 250 \text{ N}$$



Die Länge des profilierten Schaftteils im Bauteil mit der Nagelspitze muss für Sondernägel der Tragfähigkeitsklasse 3 mindestens $8 \cdot d$ betragen, sonst muss die Tragfähigkeit abgemindert werden.

$$t_{pen} = 40 \text{ mm} > 8 \cdot 4,0 = 32 \text{ mm} \rightarrow k_{pen} = 1$$

$$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3 \text{ für GL24h}$$

$$\rho_k = 600 \text{ kg/m}^3 \text{ für Sperrholz F40/30 E60/40, für } t = 20 \text{ mm höchstens ansetzbar } \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \right\} = \min \left\{ \left(55 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \cdot k_{pen} \right) \cdot d \cdot t_{pen} \right\}$$

$$= \min \left\{ \left(80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \right) \cdot d_h^2 \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{55 \cdot 10^{-6} \cdot 385^2 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 40}{80 \cdot 10^{-6} \cdot 380^2 \cdot 10^2} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 1.304,4 \\ 1.155,2 \end{matrix} \right\} = 1.155,2 \text{ N}$$

$$k_{mod,1} = k_{mod,2} = 0,60$$

$$F_{ax,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,6 \cdot 1.155,2}{1,3} = 533 \text{ N}$$

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} = \frac{500}{533} = 0,94 < 1$$

Ende Beispiel 11-3

11.7 Tragfähigkeit kombiniert beanspruchter Nägel (Scher- und Zugbeanspruchung)

Folgende Bedingung muss erfüllt sein bei Verbindungen, die sowohl durch Zug mit $F_{ax,Ed}$ als auch durch Scherbeanspruchung mit $F_{v,Ed}$ belastet werden:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^m + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^m \leq 1 \quad (11.21)$$

$m = 1$ für glattschaftige Nägel und Klammern

$m = 1,5$ bei Koppelpfettenanschlüssen mit glattschaftigen Nägeln

$m = 2$ für profilierte Nägel und für Holzschrauben

12 Verbindungen mit Klammern

12.1 Grundregeln

Die nachfolgenden Regeln zur Berechnung gelten nur für folgende Verbindungen und Klammern:

- Holz-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen mit mindestens 2 Klammern
- Querschnittsfläche je Klammerschaft $1,7 \text{ mm}^2$ bis $3,5 \text{ mm}^2$
- Stahldraht mit einer Mindestzugfestigkeit $f_{u,k} = 800 \text{ N/mm}^2$
- für Gipswerkstoff-Holz-Verbindungen sind nur Klammern nach DIN 18182-2 zulässig.

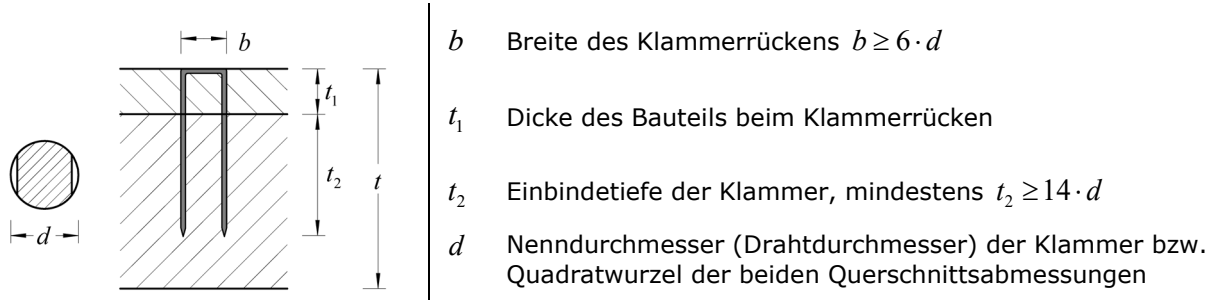


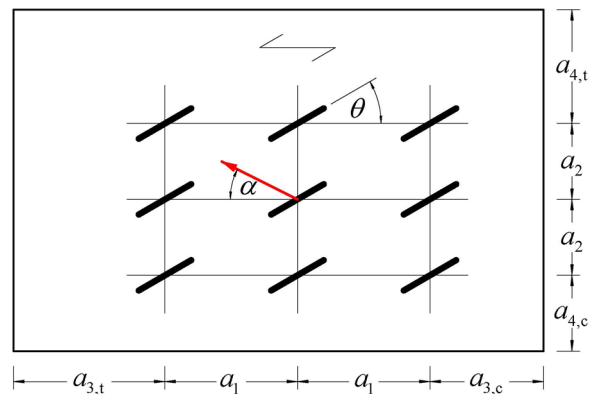
Abb. 12-1 Klammer für tragende Verbindung

12.2 Klammerverbindungen unter Scherbeanspruchung

12.2.1 Mindestabstände bei Klammerverbindungen

Die Mindestabstände untereinander im Holz und von den Holzrändern sind für Klammern in Tab. 12-1 angegeben. Sie beziehen sich auf die Mitte des Klammerrückens.

a_1	$\theta \geq 30^\circ: (10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $\theta < 30^\circ: (15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
a_2	$15 \cdot d$
$a_{3,t}$	$(15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
$a_{3,c}$	$15 \cdot d$
$a_{4,t}$	$(10 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
$a_{4,c}$	$10 \cdot d$



Tab. 12-1 Mindestabstände von Klammern im Holz

α Winkel zwischen Faserrichtung der von der Klammer ins Holz eingeleiteten Kraft, $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

θ Winkel zwischen Faserrichtung und Klammerrücken, $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

12.2.2 Tragfähigkeit von Klammerverbindungen unter Scherbeanspruchung

Wegen der Ähnlichkeit des Tragverhaltens von Klammern und Nägeln wird der Nachweis der Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zum Klammerschaft (Abscheren) analog zum Nachweis von nicht vorgebohrten Nagelverbindungen geführt. Es sind also, sofern im Folgenden nichts anderes festgelegt ist, die Regeln folgender Abschnitte hier anzuwenden:

- 11.3 Holz-Holz-Nagelverbindungen unter Scherbeanspruchung
- 11.4 Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen unter Scherbeanspruchung

Die charakteristischen Werte des *Fließmomentes* $M_{y,k}$ für Klammern dürfen angenommen werden wie für runde glattschaftige Nägel.

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \text{ in Nmm} \quad (\text{identisch mit Gl. (11.3)}) \quad (12.1)$$

d Schaftdurchmesser der Klammer in mm

$f_{u,k}$ charakteristische Zugfestigkeit des Stahls, mindestens 800 N/mm^2 , für diese Mindestzugfestigkeit gibt [DIN 3] das Fließmoment vereinfacht mit $M_{y,Rk} = 150 \cdot d^3$ an

Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit einer Klammer darf ebenso groß angenommen werden wie derjenige zweier Nägel des gleichen Durchmessers, wenn der Winkel zwischen dem Klammerrücken und der Faserrichtung des Holzes $\theta \geq 30^\circ$ beträgt. Beträgt der Winkel zwischen Holzfaserrichtung und Klammerrücken weniger als 30° , ist der charakteristische Wert der Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ mit 0,7 abzumindern.

Für Klammern darf in Bezug auf die Bestimmung der wirksamen Anzahl von Verbindungsmitteln n_{ef} eine versetzte Anordnung angenommen werden, d.h. $n_{ef} = n$.

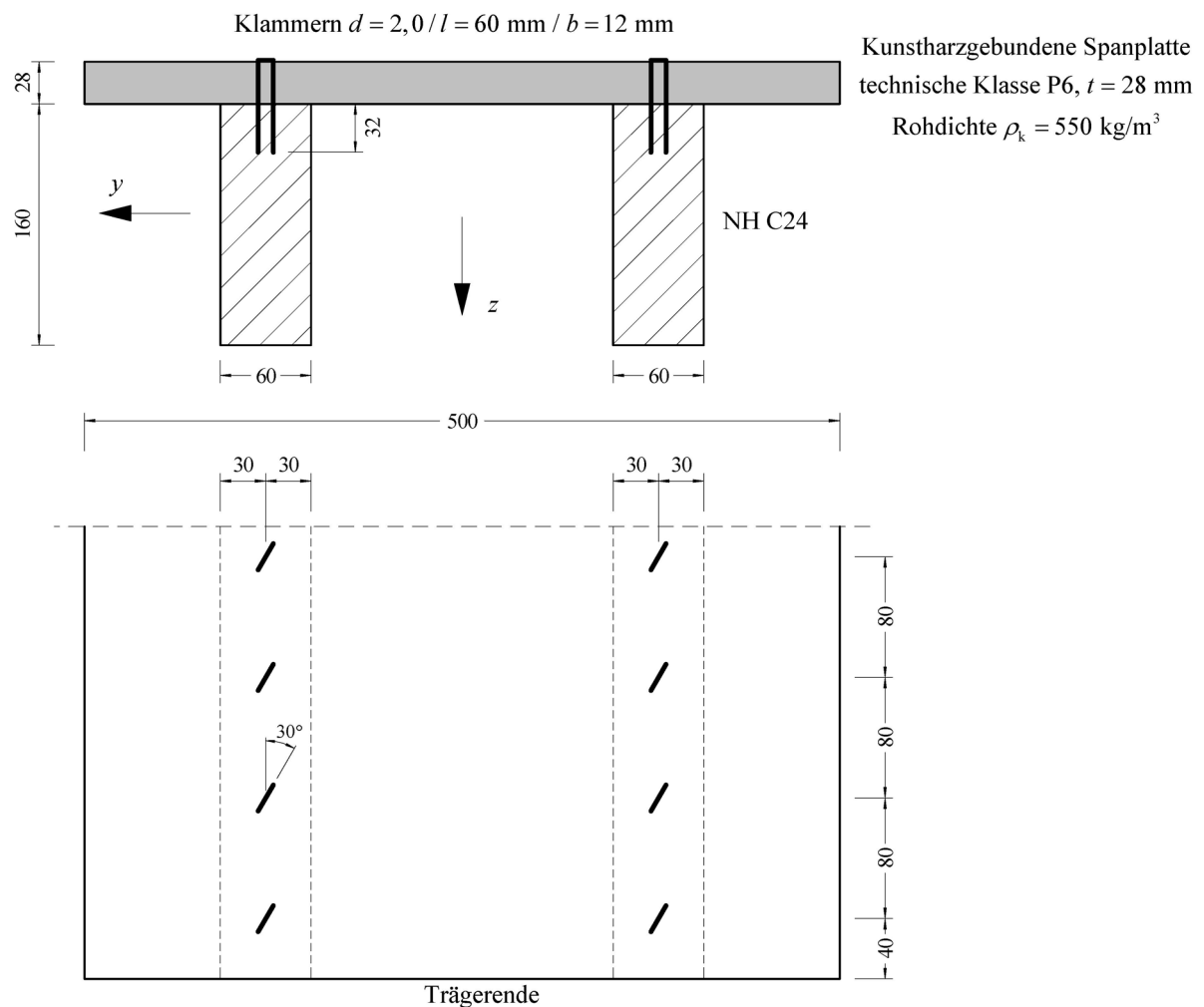
Beispiel 12-1 Verbundträger aus C24 und Spanplatte P6 mit Klammerverbindung

Ein Einfeldträger mit konstanter Streckenlast hat den in der nachfolgenden Zeichnung dargestellten Querschnitt. Der Träger ist gegen seitliches Ausweichen gesichert.

Als Verbindungsmittel werden Klammern aus verzinktem rundem Stahldraht mit einem Durchmesser von 2,0 mm verwendet. Nach der Zulassung für diesen Klammertyp beträgt die Mindestzugfestigkeit $f_{u,k} = 900 \text{ N/mm}^2$.

Der Bemessungswert der Scherbeanspruchung eines Klammerschaftes beträgt $F_{v,Ed} = 267 \text{ N}$.

Nutzungsbedingungen: KLED mittel und NKL 1.

**Überprüfung der Anordnung**

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$ und $\theta = 30^\circ$	mindestens [mm] für $d = 2,0 \text{ mm}$	vorhanden [mm]
a_1	$(10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 15 \cdot d$	30	80
a_2	---	---	---
$a_{3,t}$	$(15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 20 \cdot d$	40	40
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$10 \cdot d = 10 \cdot d$	20	30

Tragfähigkeitsnachweis (die Zugtragfähigkeit der Klammern wird nicht berücksichtigt):

Holz-Holzwerkstoff-Nagelverbindung:

$$f_{h,1,k} = 65 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{0,1} = 65 \cdot 2,0^{-0,7} \cdot 28^{0,1} = 55,8 \text{ N/mm}^2 \quad \text{für die Spanplatte nach Gl. (11.10) (S.19)}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 900 \cdot 2,0^{2,6} = 1.637 \text{ Nmm}$$

Tragfähigkeit je Scherfuge nach Gl. (11.12) und Tab. 11-6 (S.20)

$$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} = 1,15 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2 \cdot 1.637 \cdot 55,8 \cdot 2,0} = 556 \text{ N}$$

$$\left. \begin{aligned} t_{1,req} &= 7 \cdot d = 14 \text{ mm} < 28 \text{ mm} \\ t_{2,req} &= 14 \cdot d = 14 \cdot 2,0 = 28 \text{ mm} < 32 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \rightarrow \text{Einbindetiefe ist ausreichend}$$

Tragfähigkeit je Scherfuge

$$F_{v,Rd} = \frac{\sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{\sqrt{0,70 \cdot 0,80} \cdot 556}{1,3} = 321 \text{ N} \rightarrow \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{267}{321} = 0,83 < 1$$

Ende Beispiel 12-1

12.3 Tragfähigkeit von Klammernverbindungen bei Zugbeanspruchung

- Für Mindestabstände bei Beanspruchung auf Herausziehen sind die Werte der Tab. 12-1 gültig.

Der Tragwiderstand einer Klammern kann bei Zugbeanspruchung wie der von zwei glattschaftigen Nägeln angesetzt werden, jedoch nur dann, wenn die Klammer beharzt ist. bei Verbindungen von Bauteilen aus Vollholz mit einer Einbauholzfeuchte oberhalb der Fasersättigung und der Möglichkeit, im eingebauten Zustand auszutrocknen, darf die charakteristische Tragfähigkeit nur zu 2/3 in Rechnung gestellt werden.

Die Bemessungswerte des Auszieh Widerstandes eines Klammerschaftes sind aus den charakteristischen Werten nach Gl. (12.2) wie folgt zu berechnen:

$$F_{ax,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax,Rk}}{\gamma_M (=1,3)} \quad (12.2)$$

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}} \quad \text{bei } k_{mod,1} \neq k_{mod,2} \text{ der verbundenen Bauteile}$$

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{aligned} &20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{k,2}^2 \cdot d \cdot t_2 \\ &20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{k,1}^2 \cdot d \cdot t_1 + 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{k,1}^2 \cdot d \cdot b \end{aligned} \right\} \quad (12.3)$$

t_1, t_2, b siehe Abb. 12-1

$\rho_{k,1}; \rho_{k,2}$ zugehörige Rohdichten

12.4 Tragfähigkeit kombiniert beanspruchter Klammern (Scher- und Zugbeanspruchung)

Folgende Bedingung muss erfüllt sein bei Verbindungen, die sowohl durch Zug mit $F_{ax,Ed}$ als durch Scherbeanspruchung mit $F_{la,Ed}$ belastet werden:

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{la,Ed}}{F_{la,Rd}} \leq 1 \quad (12.4)$$

$F_{ax,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Klammerschaftes für Zugbeanspruchung

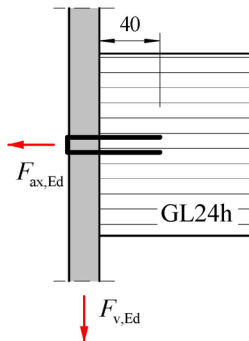
$F_{la,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Klammerschaftes für Scherbeanspruchung

Beispiel 12-2 Kombiniert beanspruchte Klammerverbindung Sperrholz mit GL24h

Eine Sperrholzplatte F20/10 E40/20 ist an einen Querschnitt aus Brettschichtholz GL24h mit Klammern befestigt. Die Mindestzugfestigkeit beträgt $f_{u,k} = 900 \text{ N/mm}^2$.

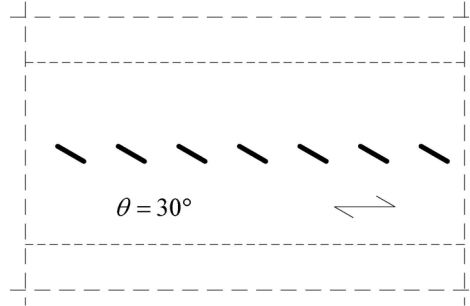
Sperrholzplatte F20/10 E40/20

$$t = 20 \text{ mm}, \rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$



beharzte Klammern

$$d = 1,53 / l = 60 \text{ mm} / b = 12 \text{ mm}$$



Beanspruchung einer Klammer:

$$F_{ax,Ed} = 100 \text{ N}$$

$$F_{v,Ed} = 270 \text{ N}$$

Nutzungsbedingungen: KLED kurz
NKL 1

$$\left. \begin{aligned} t_{1,req} &= 7 \cdot d = 7 \cdot 1,53 = 10,7 \text{ mm} < 20 \text{ mm} \\ t_{2,req} &= 14 \cdot d = 14 \cdot 1,53 = 21,4 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \rightarrow \text{Einbindetiefe ist ausreichend}$$

Tragfähigkeit für Zugbeanspruchung

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{aligned} &20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{k,2}^2 \cdot d \cdot t_2 \\ &20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{k,1}^2 \cdot d \cdot t_1 + 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{k,1}^2 \cdot d \cdot b \end{aligned} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{aligned} &20 \cdot 10^{-6} \cdot 380^2 \cdot 1,53 \cdot 40 \\ &20 \cdot 10^{-6} \cdot 350^2 \cdot 1,53 \cdot 20 + 70 \cdot 10^{-6} \cdot 350^2 \cdot 1,53 \cdot 12 \end{aligned} \right\} = \min \left\{ \begin{aligned} &176,7 \\ &75,0 + 157,4 \end{aligned} \right\} = 177 \text{ N}$$

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}} = \sqrt{0,90 \cdot 0,90} = 0,90$$

$$F_{ax,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot R_{ax,k}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 176,7}{1,3} = 122 \text{ N}$$

Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Abscheren

$$f_{h,1,k} = 0,11 \cdot \rho_{1,k} \cdot d^{-0,3} = 0,11 \cdot 350 \cdot 1,53^{-0,3} = 33,9 \text{ N/mm}^2 \text{ Sperrholzplatte}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 900 \cdot 1,53^{2,6} = 815,8 \text{ Nmm}$$

Tragfähigkeit für Scherbeanspruchung eines Klammerschaftes, Gl. (11.12) und Tab. 11-6 (S. 20)

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = 1,15 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{2 \cdot 815,8 \cdot 33,9 \cdot 1,53} = 301,1 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,Joh} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk,Joh}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 301,1}{1,3} = 208 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk} = F_{v,Rk,Joh} + \min \left\{ \begin{aligned} &0,25 \cdot F_{ax,Rk} \\ &k_{Joh} \cdot F_{v,Rk,Joh} \end{aligned} \right\} = 301 + \min \left\{ \begin{aligned} &0,25 \cdot 177 \\ &0,15 \cdot 301 \end{aligned} \right\} = 301 + 44 = 345 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 345}{1,3} = 234 \text{ N}$$

Tragfähigkeitsnachweis der kombiniert beanspruchten Klammer je Scherfuge

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{(100/2)}{122} + \frac{(270/2)}{234} = 0,41 + 0,58 = 0,99 \leq 1$$

Ende Beispiel 12-2

13 Verbindungen mit Stabdübeln (SDü) und Passbolzen (PB)

Sofern nachfolgend keine abweichende Regelung aufgeführt ist, gelten die in diesem Kapitel gezeigten Bestimmungen für Stabdübel auch für Passbolzen.

13.1 Grundregeln

Die Löcher für Stabdübel sind im Holz mit dem Nenndurchmesser des Stabdübels zu bohren. Bei Stahlblech - Holz - Verbindungen dürfen die Löcher im Stahlteil bis zu 1 mm größer sein als der Nenndurchmesser des Stabdübels. Bei außen liegenden Stahlblechen sind anstelle der Stabdübel Passbolzen zu verwenden. Dabei muss zur Aufnahme von Lochleibungskräften der volle Schaftquerschnitt des Passbolzens auf der erforderlichen Länge vorhanden sein.

Der Durchmesser der Stabdübel ist wie folgt begrenzt: $6 \text{ mm} \leq d \leq 30 \text{ mm}$.

Tragende Verbindungen mit Stabdübeln sollten mindestens vier Scherflächen besitzen. Dabei sollten mindestens zwei Stabdübel vorhanden sein. Verbindungen mit nur einem Stabdübel sind zulässig, falls der charakteristische Wert der Tragfähigkeit nur zur Hälfte in Rechnung gestellt wird.

13.2 Allgemeines zu SDü-Verbindungen unter Scherbelastung

13.2.1 Fließmoment des Stabdübels

Der charakteristische Wert des *Fließmomentes* eines SDü aus Stahl mit kreisförmigem Querschnitt darf wie folgt angenommen werden:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad \text{in Nmm} \quad (13.1)$$

$f_{u,k}$ Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Stahls in N/mm^2

d Stabdübeldurchmesser in mm

Stabdübel sollen aus Stahl S 235, S 275 oder S 355 nach DIN EN 10025:1994-03 bestehen. Charakteristische Festigkeitskennwerte für Stabdübel enthält Tab. 13-1.

Stahlsorte nach DIN EN 10025:1994-03	Charakteristische Festigkeit $f_{u,k}$ [N/mm^2]
S 235	360
S 275	430
S 355	510

Tab. 13-1 Festigkeitswerte $f_{u,k}$ für Stabdübel

13.2.2 Wirksame Stabdübelanzahl in Faserrichtung (n_{ef})

Wegen der Spaltgefahr des Holzes ist für mehrere in Faserrichtung hintereinander angeordnete Stabdübel die wirksame Anzahl n_{ef} nach Gl. (13.2) bzw. Tab. 13-2 zu bestimmen.

$$n_{ef} = \begin{cases} \min \left\{ n ; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right\} & \text{für } \alpha = 0^\circ \\ n & \text{für } \alpha = 90^\circ \end{cases} \quad \text{für } 0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \text{ wird } n_{ef} \text{ linear interpoliert} \quad (13.2)$$

Die vorstehende Gleichung gilt auch für

- Bolzen und Gewindestangen
- Holzschrauben mit teilweise glattem Schaft und $d > 6 \text{ mm}$.

- n Anzahl der in Faserrichtung hintereinander angeordneten Stabdübel $2 \leq n \leq 20$,
 α Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung
 a_1 vorhandener Abstand der VM untereinander in Faserrichtung
 a_1 darf für die Berechnung von n_{ef} mit mindestens $a_1 = 5 \cdot d$ eingesetzt werden.
Bei $\alpha = 0^\circ$ ist $(n_{ef}/n) = 1$ für $a_1 \geq 13 \cdot d \cdot n^{0,4}$

Wird das Spalten des Holzes durch eine Verstärkung rechtwinklig zur Faserrichtung verhindert, darf $n_{ef} = n$ gesetzt werden. Als Querkzug-Verstärkung können z.B. Vollgewindeschrauben verwendet werden. Bei Rahmenecken mit mehreren Stabdübelkreisen ohne Verstärkung rechtwinklig zur Faserrichtung ist $n_{ef} = 0,85 \cdot n$ zu setzen.

α	n																			
	n_{ef}	n_{ef}/n	n_{ef}	n_{ef}/n	n_{ef}	n_{ef}/n	n_{ef}	n_{ef}/n	n_{ef}	n_{ef}/n	n_{ef}	n_{ef}/n	n_{ef}	n_{ef}/n	n_{ef}	n_{ef}/n	n_{ef}	n_{ef}/n	n_{ef}	n_{ef}/n
0°	1,47	0,735	2,12	0,706	2,74	0,686	3,35	0,670	3,95	0,658	4,54	0,648	5,12	0,640	5,69	0,632	6,26	0,626		
10°	1,53	0,764	2,21	0,738	2,88	0,721	3,54	0,707	4,18	0,696	4,81	0,687	5,44	0,680	6,06	0,673	6,67	0,667		
20°	1,59	0,794	2,31	0,771	3,02	0,755	3,72	0,744	4,41	0,734	5,08	0,726	5,76	0,720	6,43	0,714	7,09	0,709		
30°	1,65	0,823	2,41	0,804	3,16	0,790	3,90	0,780	4,63	0,772	5,36	0,766	6,08	0,760	6,79	0,755	7,50	0,750		
40°	1,71	0,853	2,51	0,836	3,30	0,825	4,08	0,817	4,86	0,810	5,63	0,805	6,40	0,800	7,16	0,796	7,92	0,792		
50°	1,76	0,882	2,61	0,869	3,44	0,860	4,27	0,854	5,09	0,848	5,91	0,844	6,72	0,840	7,53	0,837	8,34	0,834		
60°	1,82	0,912	2,71	0,902	3,58	0,895	4,45	0,890	5,32	0,886	6,18	0,883	7,04	0,880	7,90	0,877	8,75	0,875		
70°	1,88	0,941	2,80	0,935	3,72	0,930	4,63	0,927	5,54	0,924	6,45	0,922	7,36	0,920	8,26	0,918	9,17	0,917		
80°	1,94	0,971	2,90	0,967	3,86	0,965	4,82	0,963	5,77	0,962	6,73	0,961	7,68	0,960	8,63	0,959	9,58	0,958		
90°	2,00	1,000	3,00	1,000	4,00	1,000	5,00	1,000	6,00	1,000	7,00	1,000	8,00	1,000	9,00	1,000	10,0	1,000		

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden

Tab. 13-2 Effektive VM-Anzahl n_{ef} bei $a_1 = 5 \cdot d$ für SDü, PB, Bolzen, Gewindestangen und Holzschrauben mit $d > 6$ mm und teilweise glattem Schaft

13.2.3 Mindestabstände von SDü-Verbindungen in Holz und Holzwerkstoffen

Die Mindestabstände untereinander und von den Rändern sind in Tab. 13-3 gegeben. Die Definition der Abstände ist in Tab. 10-1 (S.5) zu finden.

a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	
a_2	$3 \cdot d$	
$a_{3,t}$	$\max \{ 7 \cdot d ; 80 \text{ mm} \}$	
$a_{3,c}$	$\alpha \leq 30^\circ : \max (3,5 \cdot d ; 40 \text{ mm})$	$\alpha > 30^\circ : \max \{ 7 \cdot d ; 80 \text{ mm} \} \cdot \sin \alpha$
$a_{4,t}$	$\max \{ (2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 3 \cdot d \}$	
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	
$0^\circ \leq \alpha \leq +90^\circ$ ist der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung des Holzes bzw. Kraft- und Faserrichtung der Deckfurniere/Decklagen des Holzwerkstoffs		

Tab. 13-3 Mindestabstände von Stabdübeln und Passbolzen in Holz, Sperrholz, kunstharzgebundenen Spanplatten und OSB-Platten

13.3 Holz-Holz-SDÜ-Verbindungen unter Scherbeanspruchung

13.3.1 Tragfähigkeit von Holz-Holz-SDÜ-Verbindungen für Scherbeanspruchung

Die Berechnung der Tragfähigkeit erfolgt für Holz-Holz-SDÜ-Verbindungen nach den Gleichungen in Kap. 10.4.

Es dürfen folgende charakteristische Werte der Lochleibungsfestigkeit von Vollholz und Brett-schichtholz für eine Beanspruchung unter einem Winkel α zur Faserrichtung des Holzes angenom-men werden:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \left(f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}} \right) \quad (13.3)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad \text{in N/mm}^2 \quad (13.4)$$

Werte für $k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha$ für Nadelholz können der Tab. 13-4 (S.35) entnommen werden.

$f_{h,\alpha,k}$ charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit unter Winkel $\alpha \neq 0^\circ$

$f_{h,0,k}$ charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit unter Winkel $\alpha = 0^\circ$

α Winkel zwischen Krafrichtung des SDÜ und Faserrichtung

$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d$ für Nadelhölzer
 $= 0,90 + 0,015 \cdot d$ für Laubhölzer

ρ_k charakteristische Rohdichte in kg/m³

d Stabdübeldurchmesser in mm

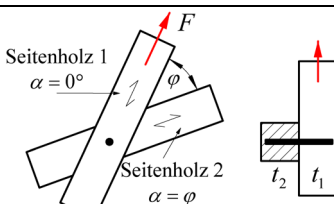
	Stabdübeldurchmesser d							
α	6	8	10	12	16	20	24	30
0°	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5°	1,003	1,004	1,004	1,004	1,004	1,005	1,005	1,006
10°	1,013	1,014	1,015	1,016	1,018	1,020	1,021	1,024
15°	1,029	1,031	1,033	1,036	1,040	1,044	1,048	1,054
20°	1,051	1,055	1,058	1,062	1,069	1,076	1,083	1,094
25°	1,079	1,084	1,089	1,095	1,105	1,116	1,127	1,143
30°	1,110	1,118	1,125	1,133	1,148	1,163	1,178	1,200
35°	1,145	1,155	1,164	1,174	1,194	1,214	1,234	1,263
40°	1,182	1,194	1,207	1,219	1,244	1,269	1,293	1,331
45°	1,220	1,235	1,250	1,265	1,295	1,325	1,355	1,400
50°	1,258	1,276	1,293	1,311	1,346	1,381	1,417	1,469
55°	1,295	1,315	1,336	1,356	1,396	1,436	1,476	1,537
60°	1,330	1,353	1,375	1,398	1,443	1,488	1,533	1,600
65°	1,361	1,386	1,411	1,435	1,485	1,534	1,583	1,657
70°	1,389	1,415	1,442	1,468	1,521	1,574	1,627	1,706
75°	1,411	1,439	1,467	1,494	1,550	1,606	1,662	1,746
80°	1,427	1,456	1,485	1,514	1,572	1,630	1,689	1,776
85°	1,437	1,466	1,496	1,526	1,586	1,645	1,705	1,794
90°	1,440	1,470	1,500	1,530	1,590	1,650	1,710	1,800
Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden								

Tab. 13-4 Werte $k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha$ für Nadelholz

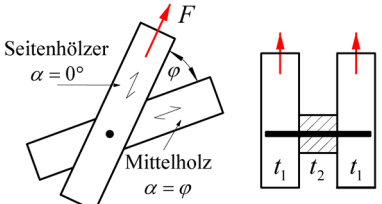
13.3.2 Bemessungshilfe für Holz-Holz-Verbindungen mit SDÜ, Passbolzen und Bolzen unter Scherbelastung

In Tab. 13-5 und Tab. 13-6 sind für ein- und zweischnittige Holz-Holz-Verbindungen von gleichen Hölzern mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen die Bemessungswerte $F_{v,Rd,Joh}$ für die Tragfähigkeit je Scherfuge für eine Rohdichte von $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ und eine Zugfestigkeit von $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$ nach Gln. (10.4) und (10.13) gegeben.

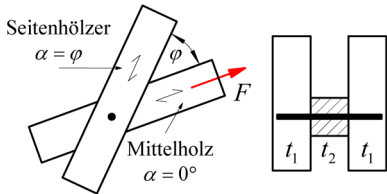
Die Mindesteinbindetiefen $t_{1,req}$ und $t_{2,req}$ sind nach Gln. (10.15) bis (10.18) ermittelt.

Bemessungswerte der Tragfähigkeit $F_{v,Rd,Joh}^{1)}$ [kN] je Scherfuge und Mindestholzdicken $t_{1,req}^{2)}$ und $t_{2,req}^{2)}$ [mm] in Verbindungen gleicher Hölzer mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen für KLED mittel / NKL 1+2 / $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ / $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$																
Einschnittig Seitenholz 1 $\alpha = 0^\circ$ Seitenholz 2 $\alpha = \varphi$ Lastrichtung parallel zu Seitenholz 1									Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden							
	$d = 10 \text{ mm}$			$d = 12 \text{ mm}$			$d = 16 \text{ mm}$			$d = 20 \text{ mm}$			$d = 24 \text{ mm}$			
φ	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	
0°	3,34	51	51	4,58	59	59	7,51	76	76	10,95	94	94	14,82	111	111	
5°	3,33	51	51	4,57	59	59	7,50	76	77	10,94	94	94	14,80	111	111	
10°	3,32	51	51	4,56	59	60	7,48	76	77	10,90	93	95	14,74	111	112	
15°	3,31	50	52	4,54	59	61	7,44	76	78	10,83	93	96	14,65	111	114	
20°	3,29	50	52	4,51	59	61	7,38	76	80	10,75	93	98	14,52	110	117	
25°	3,26	50	53	4,47	59	63	7,32	76	81	10,65	92	100	14,37	110	119	
30°	3,24	50	54	4,43	58	64	7,25	75	83	10,53	92	102	14,20	109	122	
35°	3,21	50	56	4,39	58	65	7,17	75	85	10,41	92	105	14,02	109	126	
40°	3,18	50	57	4,35	58	67	7,09	75	87	10,28	91	108	13,84	108	130	
45°	3,14	49	58	4,30	58	68	7,01	74	89	10,16	91	111	13,66	107	133	
50°	3,11	49	59	4,26	58	70	6,93	74	91	10,03	90	113	13,48	107	137	
55°	3,09	49	60	4,22	57	71	6,86	74	93	9,92	90	116	13,32	106	140	
60°	3,06	49	61	4,18	57	72	6,79	73	95	9,82	90	119	13,17	106	143	
65°	3,04	49	62	4,15	57	74	6,74	73	97	9,73	89	121	13,04	106	146	
70°	3,02	49	63	4,12	57	75	6,69	73	98	9,65	89	123	12,93	105	148	
75°	3,00	49	64	4,10	57	75	6,65	73	99	9,59	89	124	12,84	105	150	
80°	2,99	48	64	4,08	57	76	6,62	73	100	9,55	89	125	12,78	105	152	
85°	2,99	48	64	4,07	57	76	6,60	73	100	9,52	88	126	12,74	105	152	
90°	2,98	48	64	4,07	57	76	6,60	73	101	9,51	88	126	12,73	105	153	
1) Werte $F_{v,Rd,Joh}$ müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit k_1 und k_2 multipliziert werden																
2) Werte $t_{(1/2),req}$ müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit $(1/k_1)$ und k_2 multipliziert werden																
	C24	C30	GL24h	GL24c	GL28h	GL28c	GL32h	GL32c		S235	S275	S355	3.6	4.6/4.8	5.6/5.8	8.8
k_1	1,0	1,042	1,049	1,021	1,102	1,056	1,121	1,069		k_2	1,0	1,093	1,190	0,913	1,054	1,179
Für andere KLED sind die Werte $F_{v,Rd,Joh}$ zu multiplizieren mit: ständig: 0,750; lang: 0,875; kurz: 1,125																
Beispiel: KLED=ständig, Hölzer GL32h, Stabdübel S275, $d = 20 \text{ mm}$, $\varphi = 35^\circ \rightarrow$ $F_{v,Rd,Joh} = 0,75 \cdot 1,121 \cdot 1,093 \cdot 10,41 = 12,76 \text{ kN}$, $t_{1,req} = (1/1,121) \cdot 1,093 \cdot 92 = 89,7 \text{ mm}$, $t_{2,req} = (1/1,121) \cdot 1,093 \cdot 105 = 102,4 \text{ mm}$																

Tab. 13-5 $F_{v,Rd,Joh}$ SDÜ/Bolzen, Holz-Holz einschnittig

Bemessungswerte der Tragfähigkeit $F_{v,Rd,Joh}^{1)}$ [kN] je Scherfuge und Mindestholzdicken $t_{1,req}^{2)}$ und $t_{2,req}^{2)}$ [mm] in Verbindungen gleicher Hölzer mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen für KLED mittel / NKL 1+2 / $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ / $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$																
Zweischnittig Seitenhölzer $\alpha = 0^\circ$ Mittelholz $\alpha = \varphi$ Lastrichtung parallel zu den Seitenhölzern											Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden					
	$d = 10 \text{ mm}$			$d = 12 \text{ mm}$			$d = 16 \text{ mm}$			$d = 20 \text{ mm}$			$d = 24 \text{ mm}$			
φ	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	
0°	3,34	51	42	4,58	59	49	7,51	76	63	10,95	94	77	14,82	111	92	
5°	3,33	51	42	4,57	59	49	7,50	76	63	10,94	94	78	14,80	111	92	
10°	3,32	51	42	4,56	59	50	7,48	76	64	10,90	93	79	14,74	111	93	
15°	3,31	50	43	4,54	59	50	7,44	76	65	10,83	93	80	14,65	111	95	
20°	3,29	50	44	4,51	59	51	7,38	76	66	10,75	93	82	14,52	110	98	
25°	3,26	50	45	4,47	59	53	7,32	76	68	10,65	92	84	14,37	110	101	
30°	3,24	50	46	4,43	58	54	7,25	75	70	10,53	92	87	14,20	109	104	
35°	3,21	50	47	4,39	58	55	7,17	75	72	10,41	92	89	14,02	109	107	
40°	3,18	50	48	4,35	58	57	7,09	75	74	10,28	91	92	13,84	108	111	
45°	3,14	49	49	4,30	58	58	7,01	74	76	10,16	91	95	13,66	107	115	
50°	3,11	49	51	4,26	58	60	6,93	74	79	10,03	90	98	13,48	107	119	
55°	3,09	49	52	4,22	57	61	6,86	74	81	9,92	90	101	13,32	106	122	
60°	3,06	49	53	4,18	57	63	6,79	73	83	9,82	90	103	13,17	106	125	
65°	3,04	49	54	4,15	57	64	6,74	73	84	9,73	89	106	13,04	106	128	
70°	3,02	49	55	4,12	57	65	6,69	73	86	9,65	89	108	12,93	105	131	
75°	3,00	49	55	4,10	57	66	6,65	73	87	9,59	89	109	12,84	105	133	
80°	2,99	48	56	4,08	57	66	6,62	73	88	9,55	89	110	12,78	105	134	
85°	2,99	48	56	4,07	57	67	6,60	73	88	9,52	88	111	12,74	105	135	
90°	2,98	48	56	4,07	57	67	6,60	73	88	9,51	88	111	12,73	105	135	
¹⁾ Werte $F_{v,Rd,Joh}$ müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit k_1 und k_2 multipliziert werden ²⁾ Werte $t_{(1/2),req}$ müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit $(1/k_1)$ und k_2 multipliziert werden																
	C24	C30	GL24h	GL24c	GL28h	GL28c	GL32h	GL32c		S235	S275	S355	3.6	4.6/4.8	5.6/5.8	8.8
k_1	1,0	1,042	1,049	1,021	1,102	1,056	1,121	1,069	k_2	1,0	1,093	1,190	0,913	1,054	1,179	1,491
Für andere KLED sind die Werte $F_{v,Rd,Joh}$ zu multiplizieren mit: ständig: 0,750; lang: 0,875; kurz: 1,125																
Beispiel: KLED=kurz, Hölzer C30, Bolzen 4.8, $d = 16 \text{ mm}$, $\varphi = 40^\circ \rightarrow$ $F_{v,Rd,Joh} = 1,125 \cdot 1,042 \cdot 1,054 \cdot 7,09 = 8,76 \text{ kN}$, $t_{1,req} = (1/1,042) \cdot 1,054 \cdot 75 = 75,9 \text{ mm}$, $t_{2,req} = (1/1,042) \cdot 1,054 \cdot 74 = 74,9 \text{ mm}$																

Tab. 13-6 $F_{v,Rd,Joh}$ SDü/Bolzen, Holz-Holz zweischnittig, SH $\alpha = 0^\circ$

Bemessungswerte der Tragfähigkeit $F_{v,Rd,Joh}^{1)}$ [kN] je Scherfuge und Mindestholzdicken $t_{1,req}^{2)}$ und $t_{2,req}^{2)}$ [mm] in Verbindungen gleicher Hölzer mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen für KLED mittel / NKL 1+2 / $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ / $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$																
Zweischnittig																
Seitenhölzer		$\alpha = \varphi$														
Mittelholz		$\alpha = 0^\circ$														
Lastrichtung parallel zum Mittelholz		Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden														
	$d = 10 \text{ mm}$			$d = 12 \text{ mm}$			$d = 16 \text{ mm}$			$d = 20 \text{ mm}$			$d = 24 \text{ mm}$			
φ	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{v,Rd,Joh}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	
0°	3,34	51	42	4,58	59	49	7,51	76	63	10,95	94	77	14,82	111	92	
5°	3,33	51	42	4,57	59	49	7,50	77	63	10,94	94	77	14,80	111	92	
10°	3,32	51	42	4,56	60	49	7,48	77	63	10,90	95	77	14,74	112	92	
15°	3,31	52	42	4,54	61	49	7,44	78	63	10,83	96	77	14,65	114	91	
20°	3,29	52	41	4,51	61	48	7,38	80	62	10,75	98	76	14,52	117	90	
25°	3,26	53	41	4,47	63	48	7,32	81	62	10,65	100	75	14,37	119	89	
30°	3,24	54	41	4,43	64	48	7,25	83	61	10,53	102	75	14,20	122	88	
35°	3,21	56	40	4,39	65	47	7,17	85	60	10,41	105	74	14,02	126	87	
40°	3,18	57	40	4,35	67	47	7,09	87	60	10,28	108	73	13,84	130	86	
45°	3,14	58	40	4,30	68	46	7,01	89	59	10,16	111	72	13,66	133	85	
50°	3,11	59	39	4,26	70	46	6,93	91	58	10,03	113	71	13,48	137	84	
55°	3,09	60	39	4,22	71	45	6,86	93	58	9,92	116	70	13,32	140	83	
60°	3,06	61	39	4,18	72	45	6,79	95	57	9,82	119	69	13,17	143	82	
65°	3,04	62	38	4,15	74	44	6,74	97	57	9,73	121	69	13,04	146	81	
70°	3,02	63	38	4,12	75	44	6,69	98	56	9,65	123	68	12,93	148	80	
75°	3,00	64	38	4,10	75	44	6,65	99	56	9,59	124	68	12,84	150	80	
80°	2,99	64	38	4,08	76	44	6,62	100	56	9,55	125	68	12,78	152	79	
85°	2,99	64	38	4,07	76	44	6,60	100	56	9,52	126	67	12,74	152	79	
90°	2,98	64	38	4,07	76	44	6,60	101	56	9,51	126	67	12,73	153	79	
¹⁾ Werte $F_{v,Rd,Joh}$ müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit k_1 und k_2 multipliziert werden																
²⁾ Werte $t_{(1/2),req}$ müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit $(1/k_1)$ und k_2 multipliziert werden																
	C24	C30	GL24h	GL24c	GL28h	GL28c	GL32h	GL32c		S235	S275	S355	3.6	4.6/4.8	5.6/5.8	8.8
k_1	1,0	1,042	1,049	1,021	1,102	1,056	1,121	1,069	k_2	1,0	1,093	1,190	0,913	1,054	1,179	1,491
Für andere KLED sind die Werte $F_{v,Rd,Joh}$ zu multiplizieren mit: ständig: 0,750; lang: 0,875; kurz: 1,125																
Beispiel: KLED=mittel, Hölzer C24, Bolzen 8.8, $d = 12 \text{ mm}$, $\varphi = 55^\circ \rightarrow$ $F_{v,Rd,Joh} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,491 \cdot 4,22 = 6,29 \text{ kN}$, $t_{1,req} = (1/1,0) \cdot 1,491 \cdot 71 = 105,9 \text{ mm}$, $t_{2,req} = (1/1,0) \cdot 1,491 \cdot 45 = 67,1 \text{ mm}$																

Tab. 13-7 $F_{v,Rd,Joh}$ SDü/Bolzen, Holz-Holz zweischnittig, MH $\alpha = 0^\circ$

13.4 Holzwerkstoff-Holz-SDü-Verbindungen unter Scherbeanspruchung

Die Berechnung der Tragfähigkeit erfolgt für Holzwerkstoff-Holz-SDü-Verbindungen nach den Gleichungen in Kap. 10.4. Für Sperrholz darf der charakteristische Wert der Lochleibungsfestigkeit unabhängig von der Krafrichtung wie folgt angenommen werden:

$$f_{h,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad \text{in N/mm}^2 \quad (13.5)$$

Für kunstharzgebundene Spanplatten und OSB-Platten dürfen unabhängig von der Krafrichtung folgende charakteristischen Werte der Lochleibungsfestigkeit angenommen werden:

$$f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (13.6)$$

ρ_k charakteristische Rohdichte in kg/m³

d Stabdübeldurchmesser in mm

t Plattendicke

13.5 Stahlblech-Holz-SDü-Verbindungen unter Scherbelastung

Die Berechnung der Tragfähigkeit erfolgt für Stahlblech-Holz-SDü-Verbindungen nach den Gleichungen in Kapitel 10.5.

13.5.1 Bemessungshilfe für Stahlblech -Holz-Verbindungen mit SDü, Passbolzen und Bolzen unter Scherbelastung

In Tab. 13-8 und Tab. 13-9 sind die Bemessungswerte $F_{v,Rd,Joh}$ für die Tragfähigkeit je Scherfuge für eine Rohdichte von $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ und eine Zugfestigkeit von $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$ nach Gln. (10.4), (10.19) und (10.21) gegeben.

Die Mindesteinbindetiefen t_{req} sind nach Gln. (10.20), (10.22) und (10.23) ermittelt.

Bemessungswerte der Tragfähigkeit $F_{v,Rd,Joh}^{1)}$ [kN] je Scherfuge und Mindestholzdicken $t_{req}^{2)}$ [mm] in Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen für KLED mittel / NKL 1+2 / $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ / $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$										
außenliegende dicke ³⁾ Bleche und innenliegende Bleche beliebiger Dicke Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden										
	$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 16 \text{ mm}$		$d = 20 \text{ mm}$		$d = 24 \text{ mm}$	
φ	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}
0°	4,72	59,3	6,48	69,4	10,62	89,5	15,49	109,6	20,96	130,1
5°	4,71	59,5	6,46	69,6	10,60	89,7	15,45	109,9	20,90	130,5
10°	4,68	59,8	6,42	70,0	10,53	90,3	15,34	110,7	20,74	131,5
15°	4,64	60,3	6,36	70,7	10,42	91,2	15,16	112,0	20,48	133,2
20°	4,58	61,1	6,28	71,6	10,27	92,5	14,93	113,7	20,14	135,4
25°	4,52	61,9	6,19	72,7	10,10	94,1	14,66	115,8	19,74	138,1
30°	4,45	62,9	6,09	73,9	9,91	95,8	14,36	118,2	19,31	141,2
35°	4,37	64,0	5,98	75,3	9,72	97,8	14,06	120,8	18,87	144,5
40°	4,29	65,2	5,87	76,7	9,52	99,8	13,75	123,4	18,43	148,0
45°	4,22	66,4	5,76	78,1	9,33	101,8	13,45	126,2	18,00	151,4
50°	4,15	67,5	5,66	79,5	9,15	103,8	13,18	128,8	17,61	154,9
55°	4,08	68,6	5,56	80,9	8,99	105,7	12,92	131,3	17,25	158,1
60°	4,02	69,6	5,48	82,1	8,84	107,5	12,70	133,7	16,93	161,1
65°	3,97	70,5	5,41	83,2	8,72	109,0	12,50	135,7	16,66	163,7
70°	3,93	71,3	5,34	84,1	8,61	110,3	12,34	137,5	16,43	166,0
75°	3,89	71,9	5,30	84,9	8,53	111,4	12,22	138,9	16,25	167,8
80°	3,87	72,3	5,26	85,4	8,47	112,2	12,13	139,9	16,13	169,1
85°	3,86	72,6	5,24	85,8	8,43	112,7	12,07	140,6	16,05	169,9
90°	3,85	72,7	5,24	85,9	8,42	112,8	12,06	140,8	16,03	170,1

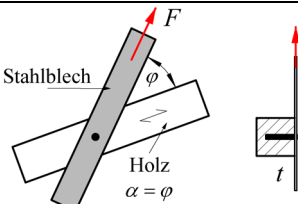
¹⁾ Werte $F_{v,Rd,Joh}$ müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit k_1 und k_2 multipliziert werden
²⁾ Werte t_{req} müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit $(1/k_1)$ und k_2 multipliziert werden
³⁾ Definition: Blechdicke $\geq d$, Ausnahme für Sondernägel Tragfähigkeitsklasse 3: $d \geq 0,5 \cdot d$ und $d \geq 2 \text{ mm}$

	C24	C30	GL24h	GL24c	GL28h	GL28c	GL32h	GL32c		S235	S275	S355	3.6	4.6/4.8	5.6/5.8	8.8
k_1	1,0	1,042	1,049	1,021	1,102	1,056	1,121	1,069	k_2	1,0	1,093	1,190	0,913	1,054	1,179	1,491

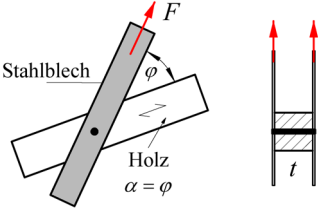
Für andere **KLED** sind die Werte $F_{v,Rd,Joh}$ zu multiplizieren mit: **ständig: 0,750; lang: 0,875; kurz: 1,125**

Beispiel: KLED=lang, Hölzer GL28h, Stabdübel S355, $d = 24 \text{ mm}$, $\varphi = 90^\circ \rightarrow$
 $F_{v,Rd,Joh} = 0,875 \cdot 1,102 \cdot 1,190 \cdot 16,03 = 18,39 \text{ kN}$, $t_{req} = (1/1,102) \cdot 1,190 \cdot 170,1 = 183,7 \text{ mm}$

 Tab. 13-8 $F_{v,Rd,Joh}$ SDü/Bolzen, Stahl-Holz, dicke Bleche außen und beliebige Bleche innen

Bemessungswerte der Tragfähigkeit $F_{v,Rd,Joh}^{1)}$ [kN] je Scherfuge und Mindestholzdicken $t_{req}^{2)}$ [mm] in Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen für KLED mittel / NKL 1+2 / $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ / $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$																
außenliegende dünne ³⁾ Bleche einschnittig				Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden												
	$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 16 \text{ mm}$		$d = 20 \text{ mm}$		$d = 24 \text{ mm}$							
φ	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}						
0°	3,34	50,7	4,58	59,3	7,51	76,4	10,95	93,5	14,82	111,1						
5°	3,33	50,8	4,57	59,4	7,49	76,5	10,92	93,8	14,78	111,3						
10°	3,31	51,0	4,54	59,7	7,44	77,0	10,84	94,5	14,66	112,2						
15°	3,28	51,5	4,50	60,3	7,36	77,9	10,72	95,6	14,48	113,7						
20°	3,24	52,1	4,44	61,1	7,26	79,0	10,56	97,0	14,24	115,6						
25°	3,20	52,9	4,38	62,0	7,14	80,3	10,36	98,8	13,96	117,9						
30°	3,14	53,7	4,30	63,1	7,01	81,8	10,16	100,9	13,66	120,5						
35°	3,09	54,7	4,23	64,2	6,87	83,5	9,94	103,1	13,34	123,3						
40°	3,04	55,6	4,15	65,4	6,73	85,2	9,72	105,4	13,03	126,3						
45°	2,98	56,6	4,07	66,7	6,60	86,9	9,51	107,7	12,73	129,3						
50°	2,93	57,6	4,00	67,9	6,47	88,6	9,32	110,0	12,45	132,2						
55°	2,89	58,5	3,93	69,0	6,36	90,2	9,14	112,1	12,20	134,9						
60°	2,84	59,4	3,87	70,1	6,25	91,7	8,98	114,1	11,97	137,5						
65°	2,81	60,2	3,82	71,0	6,16	93,1	8,84	115,9	11,78	139,7						
70°	2,78	60,8	3,78	71,8	6,09	94,2	8,73	117,4	11,62	141,6						
75°	2,75	61,3	3,75	72,5	6,03	95,1	8,64	118,6	11,49	143,2						
80°	2,74	61,7	3,72	72,9	5,99	95,8	8,58	119,4	11,40	144,3						
85°	2,73	62,0	3,71	73,2	5,96	96,2	8,54	120,0	11,35	145,0						
90°	2,72	62,0	3,70	73,3	5,95	96,3	8,52	120,2	11,33	145,2						
¹⁾ Werte $F_{v,Rd,Joh}$ müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit k_1 und k_2 multipliziert werden																
²⁾ Werte t_{req} müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit $(1/k_1)$ und k_2 multipliziert werden																
³⁾ Definition dünnes Blech: Dicke $\leq 0,5 \cdot d$																
	C24	C30	GL24h	GL24c	GL28h	GL28c	GL32h	GL32c	S235	S275	S355	3.6	4.6/4.8	5.6/5.8	8.8	
k_1	1,0	1,042	1,049	1,021	1,102	1,056	1,121	1,069	k_2	1,0	1,093	1,190	0,913	1,054	1,179	1,491
Für andere KLED sind die Werte $F_{v,Rd,Joh}$ zu multiplizieren mit: ständig: 0,750; lang: 0,875; kurz: 1,125																
Beispiel: KLED=mittel, Hölzer C30, Bolzen 5.8, $d = 16 \text{ mm}$, $\varphi = 45^\circ \rightarrow$ $F_{v,Rd,Joh} = 1,0 \cdot 1,042 \cdot 1,179 \cdot 6,60 = 8,11 \text{ kN}$, $t_{req} = (1/1,042) \cdot 1,179 \cdot 86,9 = 98,3 \text{ mm}$																

Tab. 13-9 $F_{v,Rd,Joh}$ SDÜ/Bolzen, Stahl-Holz einschnittig, dünne Bleche außen

Bemessungswerte der Tragfähigkeit $F_{v,Rd,Joh}^{1)}$ [kN] je Scherfuge und Mindestholzdicken $t_{req}^{2)}$ [mm] in Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen für KLED mittel / NKL 1+2 / $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ / $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$										
außenliegende dünne ³⁾ Bleche zweischnittig					Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden					
	$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 16 \text{ mm}$		$d = 20 \text{ mm}$		$d = 24 \text{ mm}$	
φ	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}	$F_{v,Rd,Joh}$	t_{req}
0°	3,34	42,0	4,58	49,1	7,51	63,3	10,95	77,5	14,82	92,0
5°	3,33	42,0	4,57	49,2	7,49	63,4	10,92	77,7	14,78	92,2
10°	3,31	42,3	4,54	49,5	7,44	63,8	10,84	78,3	14,66	93,0
15°	3,28	42,7	4,50	50,0	7,36	64,5	10,72	79,2	14,48	94,2
20°	3,24	43,2	4,44	50,6	7,26	65,4	10,56	80,4	14,24	95,7
25°	3,20	43,8	4,38	51,4	7,14	66,5	10,36	81,9	13,96	97,7
30°	3,14	44,5	4,30	52,3	7,01	67,8	10,16	83,6	13,66	99,8
35°	3,09	45,3	4,23	53,2	6,87	69,1	9,94	85,4	13,34	102,2
40°	3,04	46,1	4,15	54,2	6,73	70,6	9,72	87,3	13,03	104,6
45°	2,98	46,9	4,07	55,2	6,60	72,0	9,51	89,2	12,73	107,1
50°	2,93	47,7	4,00	56,2	6,47	73,4	9,32	91,1	12,45	109,5
55°	2,89	48,5	3,93	57,2	6,36	74,7	9,14	92,9	12,20	111,8
60°	2,84	49,2	3,87	58,0	6,25	76,0	8,98	94,5	11,97	113,9
65°	2,81	49,8	3,82	58,8	6,16	77,1	8,84	96,0	11,78	115,8
70°	2,78	50,4	3,78	59,5	6,09	78,0	8,73	97,2	11,62	117,3
75°	2,75	50,8	3,75	60,0	6,03	78,8	8,64	98,2	11,49	118,6
80°	2,74	51,1	3,72	60,4	5,99	79,3	8,58	99,0	11,40	119,5
85°	2,73	51,3	3,71	60,7	5,96	79,7	8,54	99,4	11,35	120,1
90°	2,72	51,4	3,70	60,7	5,95	79,8	8,52	99,5	11,33	120,3
¹⁾ Werte $F_{v,Rd,Joh}$ müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit k_1 und k_2 multipliziert werden ²⁾ Werte t_{req} müssen abhängig von Holzart u. Festigkeitsklasse des VM mit $(1/k_1)$ und k_2 multipliziert werden ³⁾ Definition dünnes Blech: Dicke $\leq 0,5 \cdot d$										
	C24	C30	GL24h	GL24c	GL28h	GL28c	GL32h	GL32c		
k_1	1,0	1,042	1,049	1,021	1,102	1,056	1,121	1,069		
	S235	S275	S355	3.6	4.6/4.8	5.6/5.8	8.8			
k_2	1,0	1,093	1,190	0,913	1,054	1,179	1,491			
Für andere KLED sind die Werte $F_{v,Rd,Joh}$ zu multiplizieren mit: ständig: 0,750; lang: 0,875; kurz: 1,125 Beispiel: KLED=kurz, Hölzer GL24h, Bolzen 8.8, $d = 20 \text{ mm}$, $\varphi = 60^\circ \rightarrow$ $F_{v,Rd,Joh} = 1,125 \cdot 1,042 \cdot 1,491 \cdot 8,98 = 15,70 \text{ kN}$, $t_{req} = (1/1,042) \cdot 1,491 \cdot 94,5 = 135,2 \text{ mm}$										

 Tab. 13-10 $F_{v,Rd,Joh}$ SDü/Bolzen, Stahl-Holz zweischnittig, dünne Bleche außen

13.6 Passbolzen und Bolzen-Verbindungen unter Zugbeanspruchung

Die Tragfähigkeit dieser Verbindung für Zugbeanspruchung ist begrenzt durch

- die Zugtragfähigkeit des Bolzen(-stahls)
- die Querdruckfestigkeit des Holzes in der Kontaktfläche zur Unterlegscheibe, wobei die Querdruckfestigkeit mit $3,0 \cdot f_{c,90,d}$ angenommen werden darf

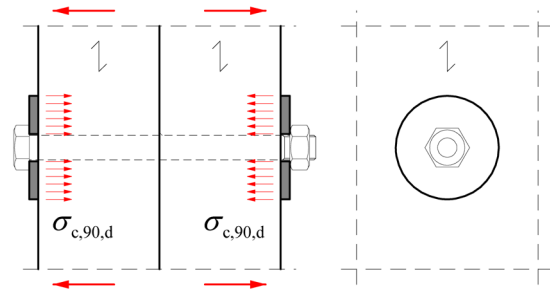


Abb. 13-1 Passbolzen-Verbindungen unter Zugbeanspruchung

Tab. 13-11 enthält für Bolzen von 12 bis 24 mm Durchmesser bevorzugte Kombinationen mit Unterlegscheiben. Für diese Kombinationen ist die Zugtragfähigkeit des Bolzenstahls nicht maßgeblich, da sie wesentlich höher liegt, als die Tragfähigkeit von Nadelvollholz und Brettschichtholz aus Nadelholz in der Kontaktfläche zur Unterlegscheibe. Für diese Kombinationen kann der Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Zugbeanspruchung berechnet werden mit:

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_M} \quad \text{mit} \quad F_{ax,Rk} = 3,0 \cdot f_{c,90,k} \cdot A_{Scheibe} \quad (13.7)$$

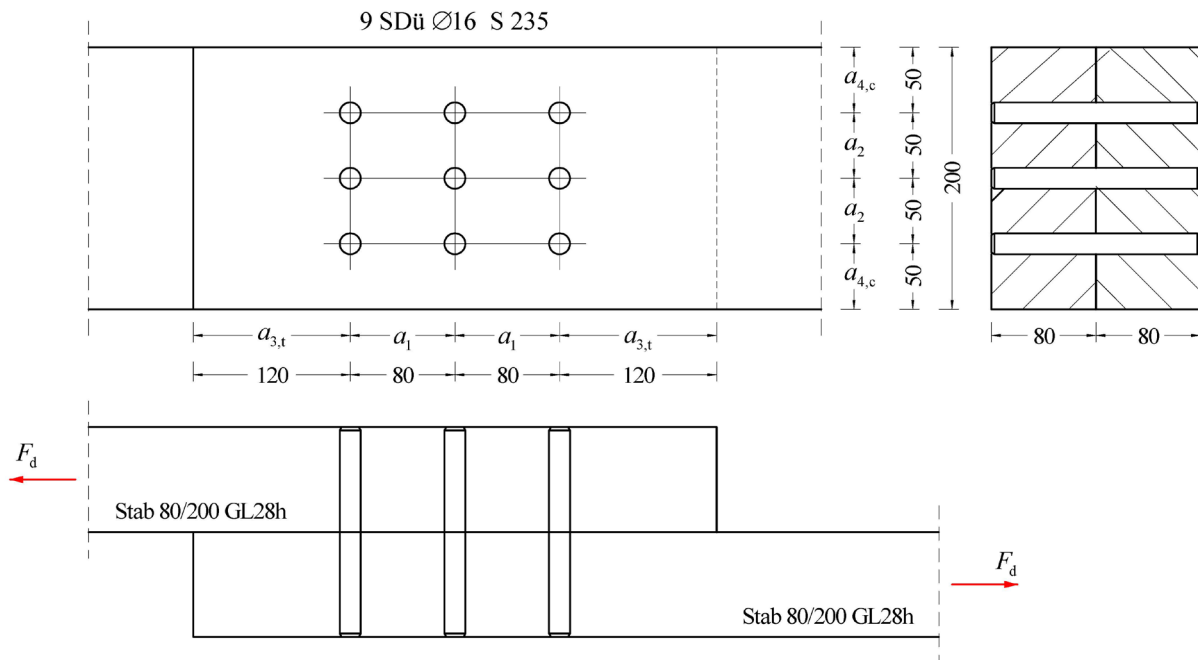
$A_{Scheibe}$ Fläche der Unterlegscheibe

Bemessungswerte der aufnehmbaren Bolzenzugkraft $F_{ax,Rd}$ [kN] durch Querdruck an der Unterlegscheibe bei KLED mittel in NKL 1+2					
Bolzen	$d_i / d_a / s$	$A_{Scheibe}$	C24	C30	GL24h/c GL28h/c GL32h/c
M12	14/58/6	2.488	11,5	12,4	11,5
M16	18/68/6	3.377	15,6	16,8	15,6
M20	22/80/8	4.646	21,4	23,2	21,4
M22	25/92/8	6.157	28,4	30,7	28,4
M24	27/105/8	8.086	37,3	40,3	37,3
$d_i / d_a / s$ Vorzugsmaße Außen-/Innendurchmesser/Dicke der kreisringförmigen Unterlegscheibe in mm $A_{Scheibe}$ Fläche der Unterlegscheibe in mm ² Für andere KLED sind die Werte $F_{ax,Rd}$ zu multiplizieren mit: ständig: 0,750; lang: 0,875; kurz: 1,125					

Tab. 13-11 Bolzenzugkraft $F_{ax,Rd}$ für Unterlegscheiben von Bolzen und Passbolzen

Beispiel 13-1 Einschnittige Stabdübelverbindung in GL28h

Der Stoß eines Stabes aus GL28h ist durch eine Zugkraft $F_d = 50 \text{ kN}$ belastet. Die Nutzungsklasse ist NKL 1 und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist KLED mittel.

**Berechnung der Tragfähigkeit einer SDü-Scherfläche**

Charakteristische Werte für Lochleibungsfestigkeiten und Fließmoment

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 425 = 29,27 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = 1$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16^{2,6} = 145.930 \text{ Nmm}$$

Mindesteinbindetiefen des Verbindungsmittels:

$$t_{1,req} = t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1}{1+1}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{145.930}{29,27 \cdot 16}} = 69,3 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

oder nach Tab. 13-5: $t_{1,req} = (1/k_1) \cdot k_2 \cdot 76 = (1/1,102) \cdot 1,0 \cdot 76 = 69 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$

Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit je Scherfuge

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t/t_{req}}{1} \right\} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 145.930 \cdot 29,27 \cdot 16} \cdot 1 = 13.445 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk} = F_{v,Rk,Joh} + \min \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot F_{ax,Rk} \\ k_{Joh} \cdot F_{v,Rk,Joh} \\ \underset{=0}{=} \end{array} \right\} = 13.445 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 13.445}{1,3} = 8.274 \text{ N}$$

oder nach Tab. 13-5: $F_{v,Rd} = k_1 \cdot k_2 \cdot 7.510 = 1,102 \cdot 1,0 \cdot 7.510 = 8.276 \text{ N}$

Bemessungswert der Belastung je Scherfläche eines SDü

$$F_{v,Ed} = \frac{50.000}{9 \cdot 1} = 5.556 \text{ N (9 SDü, je 1 Scherfläche)}$$

Tragfähigkeitsnachweise nach Gln.(10.2) und (10.3)

$$(n_{ef}/n) = 0,706 \quad (\text{siehe Tab. 13-2 (S.34)})$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{5.556}{8.276} = 0,67 < 1 \quad \text{und} \quad \frac{F_{v,Ed}}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{5.556}{0,706 \cdot 8.127} = 0,97 < 1$$

Dübelanordnung:

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	min destens [mm] bei $d = 16 \text{ mm}$	vorhanden [mm]
a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 5 \cdot d$	80 mm	80 mm
a_2	$3 \cdot d$	48 mm	50 mm
$a_{3,t}$	$\max \{7 \cdot d ; 80 \text{ mm}\}$	112 mm	120 mm
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	48 mm	50 mm

Tragfähigkeitsnachweis der Hölzer im Anschlussbereich:

Hölzer zur Montage von SDÜ vorgebohrt, Querschnittsschwächung muss berücksichtigt werden.

$$f_{t,0,d} = 13,7 \text{ N/mm}^2$$

Zugstab einseitig beansprucht wie außen liegende Laschen, keine Maßnahmen zur Verhinderung der Krümmung:

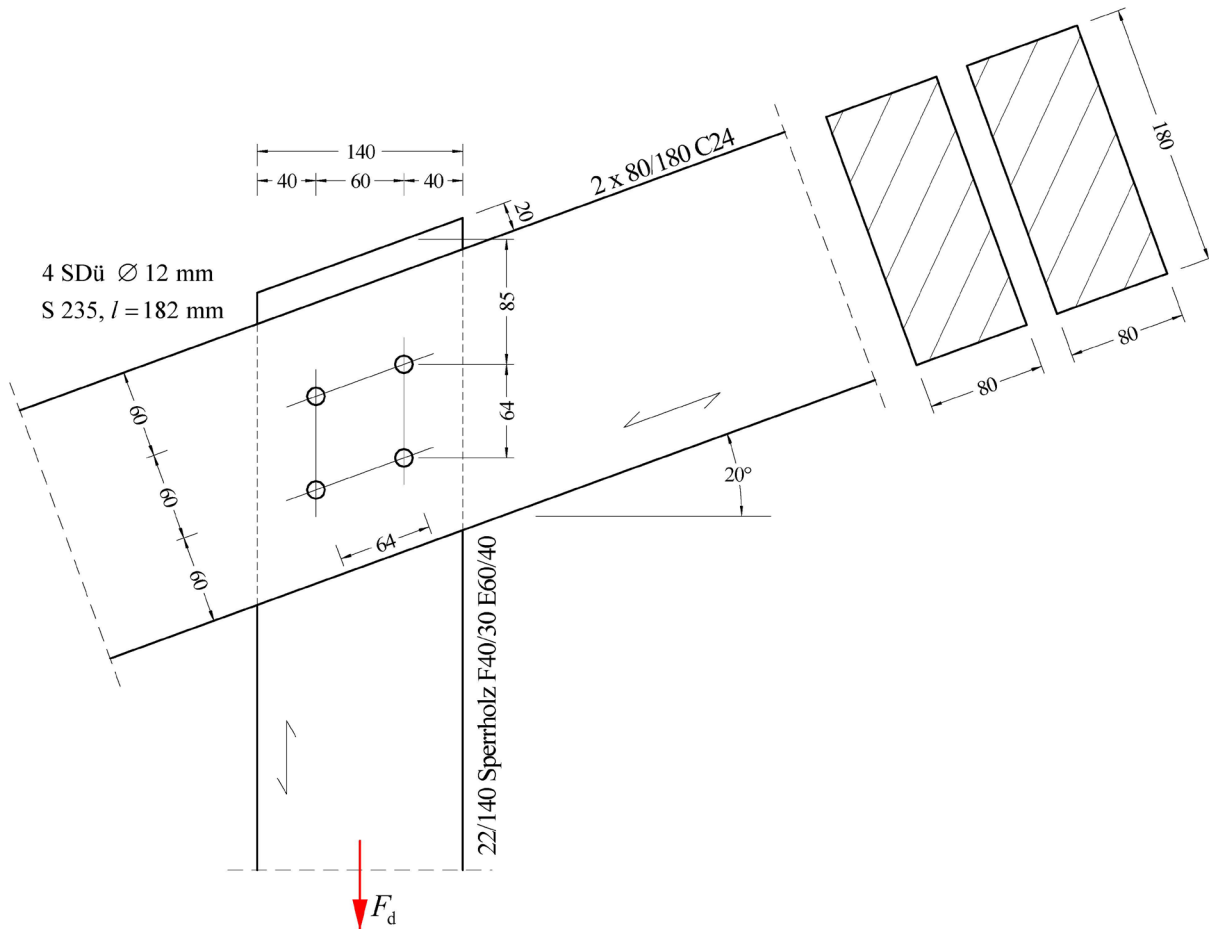
$$A_n = 80 \cdot (200 - 3 \cdot 16) = 80 \cdot 152 = 12.160 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{0,4 \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{0,4 \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{50.000}{12.160}}{0,4 \cdot 13,7} = \frac{4,11}{5,48} = 0,75 \leq 1$$

Ende Beispiel 13-1

Beispiel 13-2 Zweischnittige Stabdübelverbindung C24 mit Sperrholz

Zwischen einen Doppelsparren aus Nadelholz C24 mit einer Neigung von 20° ist eine senkrechte Abhängung aus Sperrholz eingebaut, die durch eine Zugkraft $F_d = 37 \text{ kN}$ belastet wird. Die Nutzungsklasse ist NKL 1 und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist KLED kurz.



Überprüfung der Dübelanordnung:

	Sparren Vorschrift bei $\alpha = 70^\circ$	Mindest- abstand bei $d = 12$ [mm]	vorh. Abstand [mm]	Sperrholz Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	Mindest- abstand bei $d = 12$ [mm]	vorh. Abstand [mm]
a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 3,68 \cdot d$	44,2	64	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 5 \cdot d$	60	64
a_2	$3 \cdot d$	36	60	$3 \cdot d$	36	60
$a_{3,t}$	---	---	---	$\max \{7 \cdot d ; 80 \text{ mm}\}$	84	85
$a_{3,c}$	---	---	---	---	---	---
$a_{4,t}$	$3 \cdot d$	36	60	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	36	60	$3 \cdot d$	36	40

charakteristisches Fließmoment: $M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 12^{2,6} = 69.070 \text{ Nmm}$

Tragfähigkeit einer Dübelscherfläche bei der gegebenen Lastrichtung

Lochleibungsfestigkeit Seitenhölzer (Sparren aus Nadelholz):

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 350 = 25,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 70^\circ \rightarrow f_{h,1,k} = f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,26}{1,468} = 17,21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{siehe Tab. 13-4 (S.35)}$$

Lochleibungsfestigkeit Mittelholz (Abhängung aus Sperrholz):

$$f_{h,2,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 600 = 58,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{58,08}{17,21} = 3,38$$

Mindesteinbindetiefe in den Seitenhölzern:

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{3,38}{1+3,38}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{69.070}{17,21 \cdot 12}} = 79,0 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

Mindesteinbindetiefe im Mittelholz:

$$t_{2,req} = 1,15 \cdot \frac{4}{\sqrt{1+\beta}} \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \frac{4}{\sqrt{1+3,38}} \cdot \sqrt{\frac{69.070}{58,08 \cdot 12}} = 21,9 \text{ mm} < 22 \text{ mm}$$

Tragfähigkeit je Scherfuge

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t/t_{req}}{1} \right\}$$

$$= 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3,38}{1+3,38}} \cdot \sqrt{2 \cdot 69.070 \cdot 17,21 \cdot 12} \cdot 1 = 7.631 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk} = F_{v,Rk,Joh} + \min \left\{ \begin{matrix} 0,25 \cdot F_{ax,Rk} \\ \underbrace{k_{Joh}}_{=0} \cdot F_{v,Rk,Joh} \end{matrix} \right\} = 7.631 \text{ N}$$

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}} = \sqrt{0,90 \cdot 0,90} = 0,90 \rightarrow F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 7.631}{1,3} = 5.283 \text{ N}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{37.000}{4 \cdot 2} = 4.625 \text{ N} \quad \text{Scherbeanspruchung je Scherfläche (4 SDü, je 2 Scherflächen)}$$

Tragfähigkeitsnachweise nach Gln.(10.2) und (10.3)

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{4.625}{5.283} = 0,88 < 1 \quad \text{und} \quad \frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{4.625 \cdot \cos 70^\circ}{0,941 \cdot 5.283} = 0,32 < 1$$

Tragfähigkeitsnachweis der Sperrholz-Abhängung im Anschlussbereich

Da Hölzer zur Montage von SDü vorgebohrt werden, ist die entsprechende Querschnittsschwächung zu berücksichtigen.

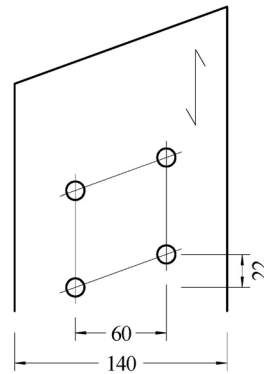
$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 29}{1,3} = 20,1 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittsschwächung aus zwei SDü ist zu berücksichtigen, wenn der Abstand in Faserrichtung kleiner ist als der halbe Mindestabstand

$$22 \text{ mm} < \frac{a_1}{2} = \frac{(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d}{2} = 2,5 \cdot 12 = 30 \text{ mm}$$

$$A_n = 22 \cdot (140 - 2 \cdot 12) = 2.552 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{N_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{37.000}{2.552}}{20,1} = \frac{14,5}{20,1} = 0,72 < 1$$



Ende Beispiel 13-2

14 Verbindungen mit Bolzen und Gewindestangen

14.1 Grundregeln

Bolzen sind alle Schraubenbolzen und Bolzen ähnlicher Bauart. Sie sind mit Kopf und Mutter versehen und werden nach Vorbohren der Bolzenlöcher mit geringem Spiel eingebaut und anschließend fest angezogen. *Gewindestangen* sind Gewindebolzen M 6 bis M 30 nach DIN 976-1.

Sofern im Folgenden nichts anderes festgelegt ist, gelten die Bestimmungen für Verbindungen mit Stabdübeln und Passbolzen nach Kap. 13 sinngemäß. Die Mindestabstände weichen jedoch ab, siehe Tab. 14-2. Die charakteristischen Werte der Festigkeit von Bolzen und Gewindestangen sind in Tab. 14-1 gegeben.

Unter dem Kopf und der Mutter der Bolzen müssen Unterlegscheiben mit einer Seitenlänge oder einem Durchmesser von mindestens $3 \cdot d$ und einer Dicke von mindestens $0,3 \cdot d$ angeordnet werden. Dabei ist d der Bolzendurchmesser. Die Unterlegscheiben müssen vollflächig anliegen.

Die Löcher für Bolzen dürfen bis zu 1 mm größer sein als der Nenndurchmesser des Bolzens und Bohrungen für Gewindestangen dürfen zur Vereinfachung der Montage bis zu 1 mm größer sein als der Gewindeaußendurchmesser der Gewindestange. Bolzen sollten derart angezogen werden, dass die Holzteile eng aneinander liegen. Falls zur Sicherstellung der Tragfähigkeit und der Steifigkeit der Konstruktion erforderlich, sollten sie nachgezogen werden, wenn das Holz seine Ausgleichsfeuchte erreicht hat.

Bolzenverbindungen sind nicht in Dauerbauten zu verwenden, bei denen es auf Steifigkeit und Formbeständigkeit der Konstruktion ankommt.

14.2 Bolzenverbindungen unter Scherbeanspruchung

Für die Berechnung des charakteristischen Wertes des Fließmomentes $M_{y,k}$ ist bei Gewindestangen für d der Mittelwert aus Kerndurchmesser und Gewindeaußendurchmesser einzusetzen.

Charakteristische Festigkeitskennwerte für Bolzen und Gewindestangen enthält Tab. 14-1.

Festigkeitsklasse nach DIN EN ISO 898-1:1999-11	Charakteristische Festigkeit $f_{u,k}$ $\left[\text{N/mm}^2 \right]$
3.6 ¹⁾	300
4.6 ¹⁾ bzw. 4.8	400
5.6 ¹⁾ bzw. 5.8	500
8.8 ¹⁾	800
¹⁾ nicht für Gewindestangen	

Tab. 14-1 Festigkeitswerte $f_{u,k}$ für Bolzen, Passbolzen und Gewindestangen

14.3 Mindestabstände

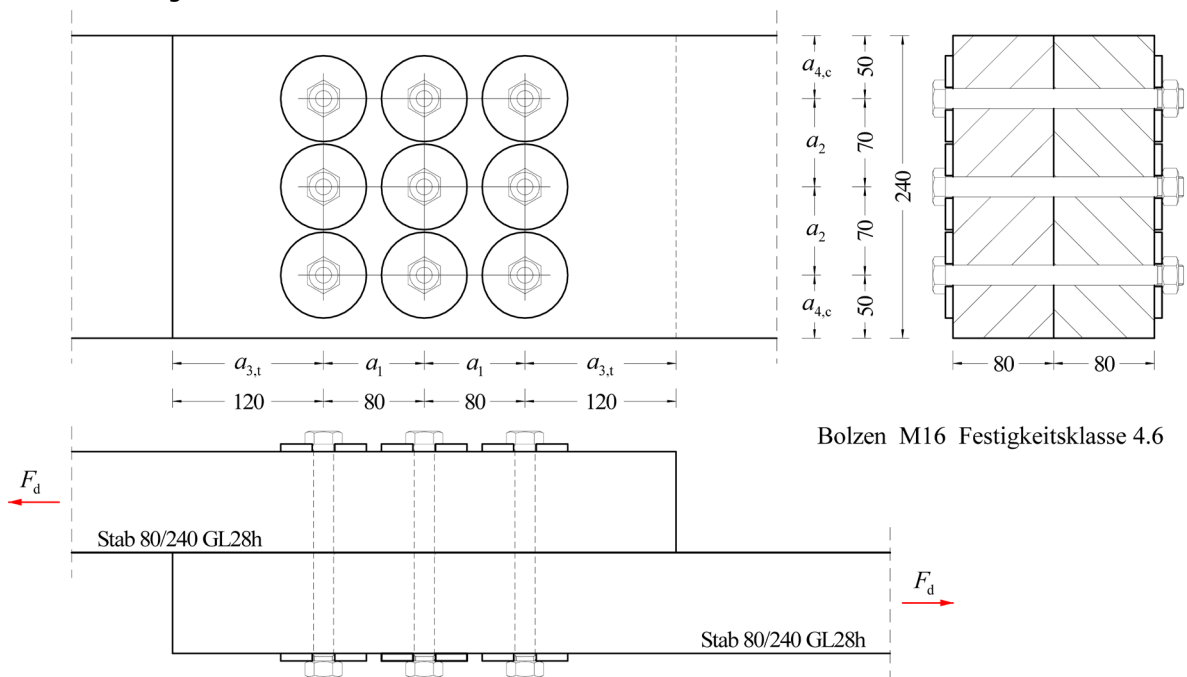
Die Definition der Abstände ist in Tab. 10-1 auf Seite 5 zu finden.

a_1	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	
a_2	$4 \cdot d$	
$a_{3,t}$	$\max \{7 \cdot d ; 80 \text{ mm}\}$	
$a_{3,c}$	$\alpha \leq 30^\circ : 4 \cdot d$	$\alpha > 30^\circ : (1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
$a_{4,t}$	$\max \{(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d ; 3 \cdot d\}$	
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	
$0^\circ \leq \alpha \leq +90^\circ$ ist der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung des Holzes bzw. Kraft- und Faserrichtung der Deckfurniere/Decklagen des Holzwerkstoffs		

Tab. 14-2 Mindestabstände von Bolzen und Gewindestangen in Holz, Sperrholz, kunstharzgebundenen Spanplatten und OSB-Platten

Beispiel 14-1 Einschnittige Bolzenverbindung in GL28h

Der Stoß eines Stabes aus BSH GL28h mit 9 Schraubenbolzen ist durch eine Zugkraft belastet, deren Maximalwert bestimmt werden soll. Die Nutzungsklasse ist NKL 1 und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist KLED mittel.



Überprüfung der Bolzenanordnung:

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	Mindest- abstand bei $d = 16$	vorhandener Abstand
a_1	$(4 + \cos \alpha) \cdot d = 5 \cdot d$	80 mm	80 mm
a_2	$4 \cdot d$	64 mm	70 mm
$a_{3,t}$	$\max \{7 \cdot d ; 80 \text{ mm}\}$	112 mm	120 mm
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	48 mm	50 mm

Tragfähigkeit eines Bolzens für Zugbeanspruchung, Querdruck Unterlegscheibe, Tab. 13-11 (S.43)

$$F_{ax,Rd} = 18,7 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit einer Bolzenscherfläche für Scherbeanspruchung

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 425 = 29,27 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 16^{2,6} = 162.140 \text{ Nmm}$$

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

Mindesteinbindetiefe:

$$t_{1,req} = t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1}{1+1}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{162.140}{29,27 \cdot 16}} = 73,1 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

oder nach Tab. 13-5: $t_{1,req} = (1/k_1) \cdot k_2 \cdot 76 = (1/1,102) \cdot 1,054 \cdot 76 = 72,7 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$

Tragfähigkeit je Scherfuge

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t}{t_{req}} \right\} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 162.140 \cdot 29,27 \cdot 16} \cdot 1 = 14.173 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,Joh} = 0,8 \cdot \frac{14.173}{1,3} = 8.722 \text{ N}$$

oder nach Tab. 13-5: $F_{v,Rd,Joh} = k_1 \cdot k_2 \cdot 7.510 = 1,102 \cdot 1,054 \cdot 7.510 = 8.723 \text{ N}$

$$F_{v,Rd} = 1,25 \cdot F_{v,Rd,Joh} = 1,25 \cdot 8.723 = 10.902 \text{ N} = 10,9 \text{ kN}$$

Tragfähigkeitsnachweis für die Scherfläche eines einzelnen VM bei der vorhandenen Lastrichtung:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} \rightarrow \frac{F_d}{9} \leq F_{v,Rd} \rightarrow F_d \leq 9 \cdot F_{v,Rd} \rightarrow F_d \leq 9 \cdot 10,9 = 98,1 \text{ kN}$$

Tragfähigkeitsnachweis für eine Bolzen-Reihe für den Anteil der Last in Faserrichtung:

wirksame Anzahl SDü in Faserrichtung $n_{ef} = 2,12$ (siehe Tab. 13-2 (S. 34))

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{\frac{F_d}{9} \cdot \cos 0^\circ}{0,706 \cdot 10,9} \leq 1 \rightarrow F_d \leq 9 \cdot 0,706 \cdot 10,9 = 69,3 \text{ kN} \quad \text{maßgeblich für Verbindungsmittel}$$

Maximale aufnehmbare Kraft der Hölzer im Anschlussbereich:

$$f_{t,0,d} = 13,7 \text{ N/mm}^2$$

Zugstab einseitig beansprucht wie, Schraubenbolzen verhindern die Krümmung:

$$A_n = 80 \cdot \left[240 - 3 \cdot \underbrace{(16 + 1)}_{\substack{\text{Bolzen-}\varnothing \\ + 1 \text{ mm}}} \right] = 80 \cdot 189 = 15.120 \text{ mm}^2$$

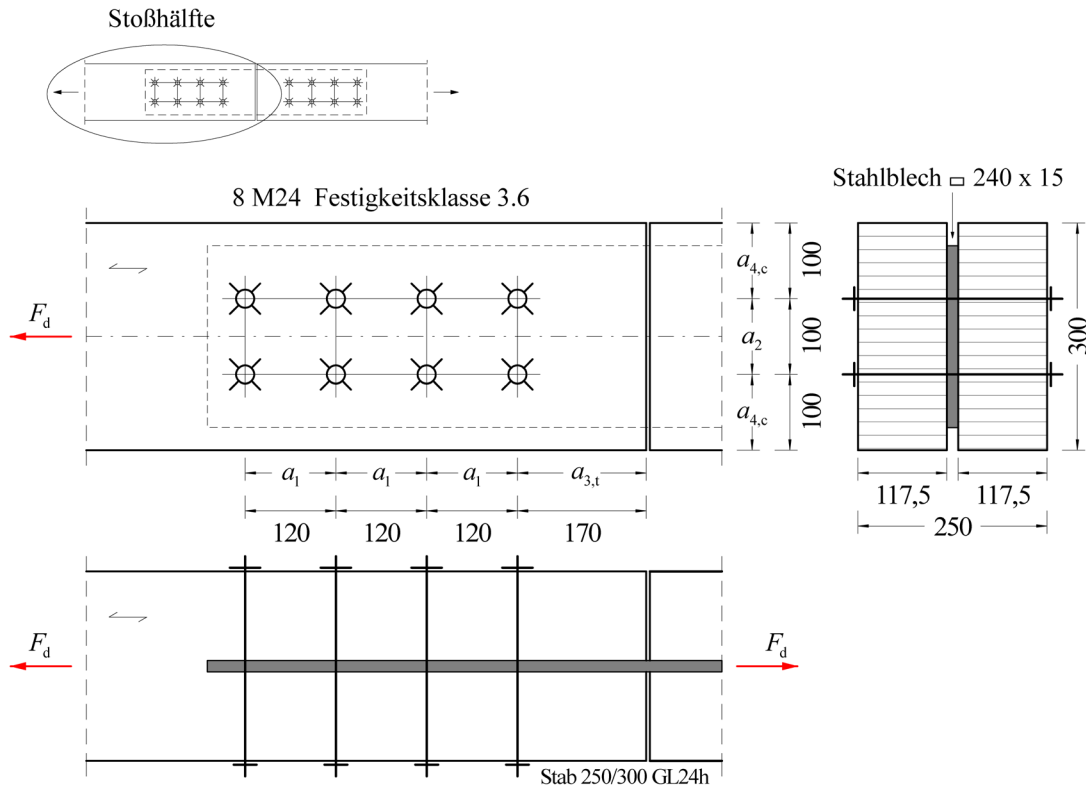
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{F_d/A_n}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} \rightarrow F_d = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d} \cdot A_n = \frac{2}{3} \cdot 13,7 \cdot 15.120 = 138.918 \text{ N} \approx 138,9 \text{ kN}$$

Die maximale von der Verbindung aufnehmbare Kraft beträgt: $F_d = 69,3 \text{ kN}$

Ende Beispiel 14-1

Beispiel 14-2 Zugstoß mit Bolzen und innen liegendem Stahlblech in GL24h

Der Stoß eines Stabes aus BSH GL24h mit 8 Schraubenbolzen je Stoßhälfte ist durch eine Zugkraft $F_d = 300 \text{ kN}$ belastet. Die Nutzungsklasse ist NKL 1 und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist KLED kurz.



Überprüfung der Bolzenanordnung:

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	Mindest- abstand bei $d = 24$ [mm]	vorhandener Abstand [mm]
a_1	$(4 + \cos \alpha) \cdot d = 5 \cdot d$	120 mm	120 mm
a_2	$4 \cdot d$	96 mm	100 mm
$a_{3,t}$	$\max \{7 \cdot d ; 80 \text{ mm}\}$	168 mm	170 mm
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	72 mm	100 mm

Tragfähigkeit einer Bolzenscherfläche für Scherbeanspruchung

$$f_{h,1,k} = f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 385 = 23,99 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 300 \cdot 24^{2,6} = 348.970 \text{ Nmm}$$

Mindesteinbindetiefe des Verbindungsmittels:

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{348.970}{23,99 \cdot 24}} = 113,4 \text{ mm} < 117,5 \text{ mm}$$

oder mit Tab. 13-8: $t_{l,\text{req}} = (1/k_1) \cdot k_2 \cdot 130 = (1/1,049) \cdot 0,913 \cdot 130,1 = 113,2 \text{ mm} < 117,5 \text{ mm}$

Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit je Scherfuge

$$F_{v,Rk,\text{Joh}} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{348.970 \cdot 23,68 \cdot 24} = 32.391 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,\text{Joh}} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 32.391}{1,3} = 22.425 \text{ N} = 22,4 \text{ kN}$$

oder mit Tab. 13-8:

$$F_{v,Rd,\text{Joh}} = k_1 \cdot k_2 \cdot 1,125 \cdot 20.960 = 1,049 \cdot 0,913 \cdot 1,125 \cdot 20.960 = 22.583 \text{ N} = 22,6 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 1,25 \cdot F_{v,Rd,\text{Joh}} = 1,25 \cdot 22,6 = 28,25 \text{ kN}$$

Belastung je Scherfläche

$$F_{v,Ed} = \frac{300}{8 \cdot 2} = 18,75 \text{ kN}$$

Tragfähigkeitsnachweis für die Scherfläche eines einzelnen VM:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{18,75}{28,25} = 0,66 < 1$$

Tragfähigkeitsnachweis für eine Scherfläche für die Kraftkomponente in Faserrichtung:

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{\text{ef}}/n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{18,75 \cdot \cos 0^\circ}{0,686 \cdot 28,25} = 0,97 < 1 \quad (n_{\text{ef}}/n) \text{ siehe Tab. 13-2 (S. 34)}$$

Tragfähigkeitsnachweis der Hölzer im Anschlussbereich:

$$f_{t,0,d} = 1,125 \cdot 11,8 = 13,3 \text{ N/mm}^2$$

Zugstab einseitig beansprucht wie außen liegende Laschen, Schraubenbolzen verhindern die Krümmung:

$$A_n = 2 \cdot 117,5 \cdot \left[300 - 2 \cdot \underbrace{(24 + 1)}_{\substack{\text{Bolzen-}\varnothing \\ + 1 \text{ mm}}} \right] = 235 \cdot 250 = 58.750 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{300.000}{58.750}}{\frac{2}{3} \cdot 13,3} = \frac{5,11}{8,87} = 0,58 < 1$$

Die Tragfähigkeit der Stahllasche muss nach DIN 18800 nachgewiesen werden.

Ende Beispiel 14-2

15 Verbindungen mit Holzschrauben

15.1 Grundregeln

15.1.1 Allgemeine Festlegungen für Schraubenverbindungen

Der Nenndurchmesser (Gewinde-Außendurchmesser) muss nach [DIN 6] innerhalb dieser Grenzen liegen: $2,4 \text{ mm} \leq d \leq 24 \text{ mm}$. Für den Gewinde-Innendurchmesser muss $0,6 \cdot d \leq d_1 \leq 0,9 \cdot d$ eingehalten werden.

Eine tragende Verbindung muss mindestens zwei Holzschrauben enthalten. Dies gilt nicht für die Befestigung von Schalungen, Latten (Trag- und Konterlatten) und Windrispen, auch nicht für die Befestigung von Sparren, Pfetten und dergleichen auf Bindern und Rähmen sowie von Querriegeln an Rahmenhölzern, wenn das Bauteil mit mindestens zwei Holzschrauben angeschlossen ist.

Bei selbstbohrenden Schrauben in Nadelholz mit einem Durchmesser des glatten Schaftteils von $d \leq 6 \text{ mm}$ ist ein Vorbohren nicht erforderlich. Bei sämtlichen Schrauben in Laubholz und bei Schrauben in Nadelholz mit einem Durchmesser von $d > 6 \text{ mm}$ ist das Vorbohren wie folgt erforderlich:

- auf Länge des Schaftes mit dem Schaftdurchmesser
- auf Länge des Gewindes mit etwa 70 % des Schaftdurchmessers.

Bei Holz mit Rohdichte $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$ sollte der erforderliche Durchmesser für das Vorbohren durch Prüfungen ermittelt werden.

Beim Vorbohren für selbstbohrende Schrauben darf der Durchmesser nicht größer als der Innendurchmesser des Gewindes d_1 sein.

d Außendurchmesser des Schraubengewindes = Nenndurchmesser in [mm]

d_1 Innendurchmesser des Schraubengewindes in [mm]

15.2 Schraubenverbindung unter Scherbeanspruchung

Für Schrauben mit teilweise glattem Schaft und einem Durchmesser $d \leq 6 \text{ mm}$ unter Scherbeanspruchung gelten die gleichen Regeln, wie für Nägel unter Scherbeanspruchung, siehe Kap. 11 – "Verbindungen mit Nägeln".

Für Schrauben mit teilweise glattem Schaft und einem Durchmesser $d > 6 \text{ mm}$ unter Scherbeanspruchung gelten die gleichen Regeln, wie für Stabdübel unter Scherbeanspruchung, siehe Kap. 13 – "Verbindungen mit Stabdübeln (SDü) und Passbolzen (PB)".

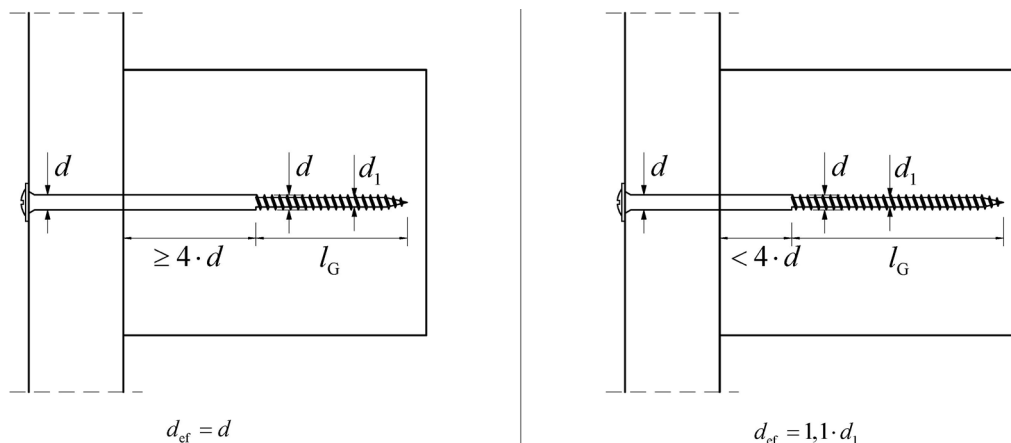


Abb. 15-1 Wirksamer Durchmesser von Holzschrauben

Da der Innendurchmesser im Bereich des Gewindes geringer ist, wird der Durchmesser in der Tragfähigkeitsberechnung nach folgender Regel angesetzt:

- ragt der glatte Schaft $\geq 4 \cdot d$ in das Bauteil mit der Schraubenspitze, dann wird als wirksamer Durchmesser d_{ef} der Außendurchmesser d angesetzt, siehe Abb. 15-1 links
- ragt der glatte Schaft $< 4 \cdot d$ in das Bauteil mit der Schraubenspitze, dann wird als wirksamer Durchmesser $d_{\text{ef}} = 1,1 \cdot d_1$ angesetzt, siehe Abb. 15-1 rechts.

15.3 Schraubenverbindungen unter Zugbeanspruchung

15.3.1 Allgemeine Festlegungen für Schraubenverbindungen bei Zugbeanspruchung

Die Mindestholzdicke für zugbeanspruchte Schraubenverbindungen beträgt $t \geq 12 \cdot d$. Die Mindesteinbindetiefe des Gewindes auf der Seite der Schraubenspitze ist $l_{\text{ef}} \geq 6 \cdot d$.

15.3.2 Mindestabstände in Schraubenverbindungen bei Zugbeanspruchung

Die Mindestabstände untereinander sowie von Hirnholzenden und Rändern von zugbeanspruchten Schrauben sind in der folgenden Tabelle gezeigt, siehe auch Abb. 15-2.

Schraubenabstand untereinander		Randabstand vom Schwerpunkt des Gewindes im Bauteil	
in einer parallel zur Faserrichtung und Schraubenachse liegenden Ebene	rechtwinklig zu einer parallel zur Faserrichtung und Schraubenachse liegenden Ebene	zum Hirnholzende	zum Holzrand
a_1	a_2	$a_{1,\text{CG}}$	$a_{2,\text{CG}}$
$7 \cdot d$	$5 \cdot d$	$10 \cdot d$	$4 \cdot d$

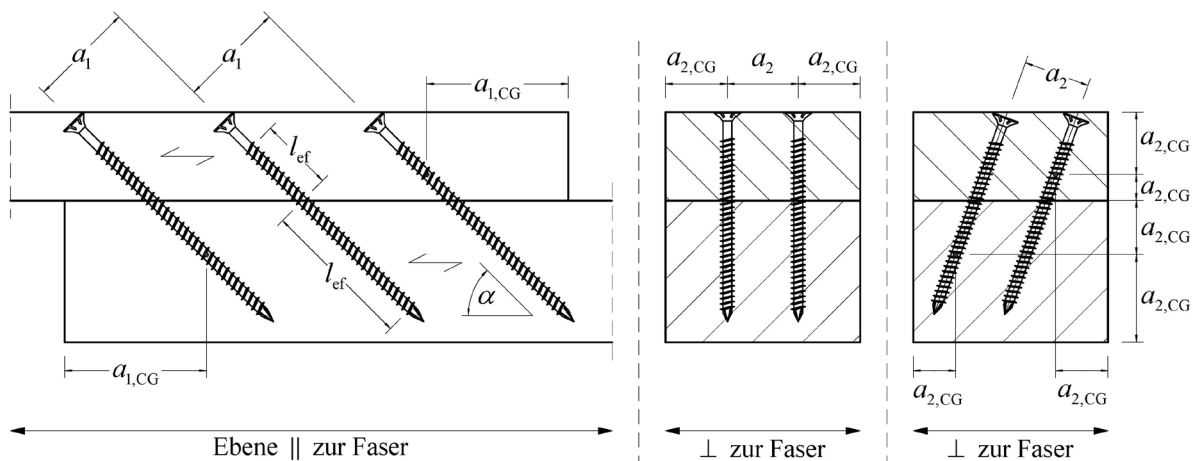


Abb. 15-2 Mindestabstände in Schraubenverbindungen unter Zugbeanspruchung

15.3.3 Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen bei Zugbeanspruchung

Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{F_{\text{ax,Ed}}}{F_{\text{ax,Rd}}} \leq 1 \quad (15.1)$$

$F_{\text{ax,Ed}}$ Bemessungswert der Zugkraft einer Schraube

$F_{\text{ax,Rd}}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Schraube für Zugbeanspruchung

Der Tragfähigkeitsnachweis muss für folgende Versagensarten geführt werden:

- Herausziehen des Gewindes aus Holz/Holzwerkstoff, wobei das spröde Bruchverhalten zu berücksichtigen ist
- Durchziehen des Schraubenkopfes durch Holz/Holzwerkstoff
- Zugversagen der Schraube bzw. Abreißen des Schraubenkopfes durch Überschreitung der Festigkeit des Schraubenstahls
- das Scherversagen des Holzes entlang des Umfanges einer Gruppe von Schrauben, die in Verbindung mit Stahlblechen verwendet wurde (Blockscherversagen, wird in dieser Lehrveranstaltung nicht behandelt).

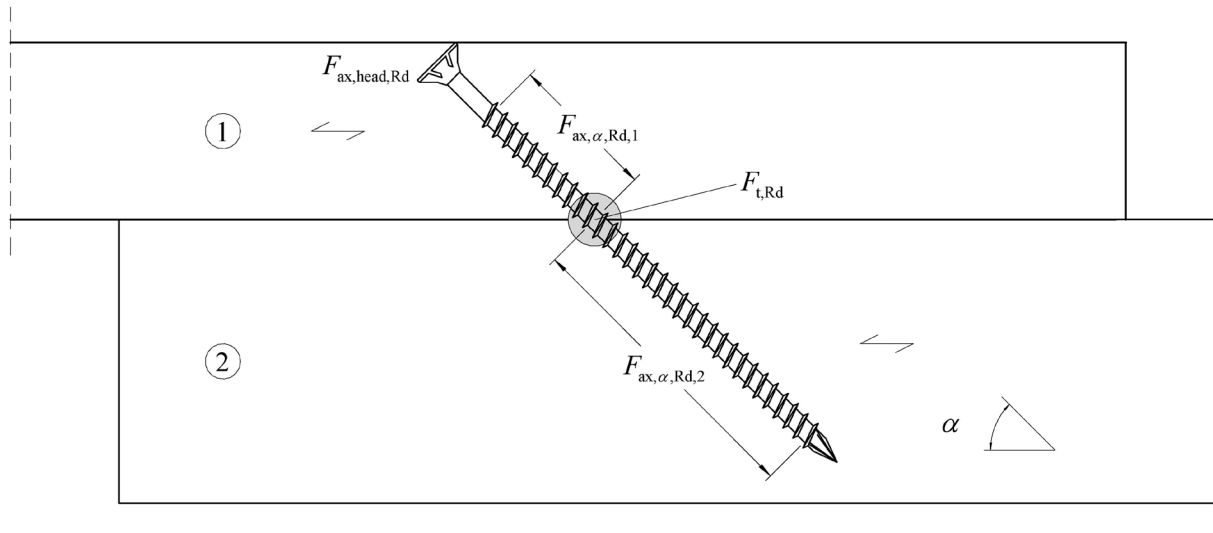


Abb. 15-3 Anteile der Zugtragfähigkeit einer Schraubenverbindung

Für jedes Bauteil einer Schraubenverbindung muss die Zugtragfähigkeit bestimmt werden. In Abb. 15-3 ist eine Verbindung von zwei Holzbauteilen gezeigt. Die Zugtragfähigkeit der Schraube im Bauteil 1 ist das Maximum aus dem Auszieh Widerstand $F_{ax,\alpha,Rd,1}$ des zugehörigen Gewindeteils aus dem Holz und dem Durchzieh Widerstand $F_{ax,head,Rd}$ des Schraubenkopfes. Die Zugtragfähigkeit der Schraube im Bauteil 2 ist gleich dem Auszieh Widerstand $F_{ax,\alpha,Rd,2}$ des zugehörigen Gewindeteils aus dem Holz. Die Zugtragfähigkeit des Schraubenstahls ist $F_{t,Rd}$. Der Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindung in Abb. 15-3 ist also

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \max \left\{ \begin{matrix} F_{ax,\alpha,Rd,1} \\ F_{ax,head,Rd} \end{matrix} \right\}; F_{ax,\alpha,Rd,2}; F_{t,Rd} \right\} \quad (15.2)$$

Für Verbindungen mit mehr als zwei Holzbauteilen bzw. für Stahl-Holz-Schraubenverbindungen muss eine analoge Betrachtung angestellt werden. Die Parameter der vorstehenden Gleichungen werden nach Kap. 15.3.3 bis 15.3.5 berechnet.

15.3.4 Auszieh Widerstand des Gewindes aus dem Holz

$$F_{ax,\alpha,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{\gamma_M (1,3)} \quad (15.3)$$

Für Verbindungen mit Schrauben nach [DIN 6] und den Durchmessern in folgenden Grenzen

$$6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm} \quad \text{und} \quad 0,6 \leq (d_1/d) \leq 0,75 \quad (15.4)$$

darf der charakteristische Auszieh Widerstand des Gewindes aus dem Holz berechnet werden mit:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad \text{mit} \quad n_{ef} = n^{0,9} \quad \text{und} \quad (15.5)$$

$$f_{ax,k} = \frac{0,52}{\sqrt{d}} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} \quad \text{und} \quad (15.6)$$

$$k_d = \min \left\{ \begin{array}{c} 0,125 \cdot d \\ 1 \end{array} \right\} \quad (15.7)$$

$F_{ax,\alpha,Rk}$ charakteristischer Wert und Bemessungswert des Auszieh Widerstands einer zugbeanspruchten Schraube unter einem Winkel α zur Faserrichtung in [N]
 $F_{ax,\alpha,Rd}$

α Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung, $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

$n_{ef} = n^{0,9}$ wirksame Anzahl von Schrauben, wobei n die Anzahl der Schrauben in der Schraubengruppe ist, die die Zugbeanspruchung aufnimmt.

$f_{ax,k}$ berechnete Ausziehfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung, in [N/mm²]

l_{ef} Einbindetiefe des Gewindes in [mm]

k_d dimensionsloser Faktor, d in [mm]

Für Verbindungen mit Schrauben nach [DIN 6], deren Durchmesser die Bedingungen nach Gl. (15.4) nicht erfüllen, wird der Auszieh Widerstand des Gewindes aus dem Holz berechnet mit:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad \text{mit} \quad n_{ef} = n^{0,9} \quad (15.8)$$

$f_{ax,k}$ nach [DIN 6] bestimmter charakteristische Ausziehparameter [N/mm²] rechtwinklig zur Faserrichtung für die zugehörige Rohdichte ρ_a

ρ_a zugehörige Rohdichte in [kg/m³]

15.3.5 Durchzieh Widerstand der Schraubenköpfe durch das Holz

Für Verbindungen mit Schrauben nach [DIN 6] wird der Durchzieh Widerstand der Schraubenköpfe durch das Holz wie folgt berechnet:

$$F_{ax,head,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,head,Rk}}{\gamma_M (=1,3)} \quad (15.9)$$

$$F_{ax,head,Rk} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad \text{mit} \quad n_{ef} = n^{0,9} \quad (15.10)$$

$F_{ax,head,Rk}$ charakteristischer und Bemessungswert Wert des Durchzieh Widerstands des Schraubenkopfs unter einem Winkel α zur Faserrichtung in [N] für $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$
 $F_{ax,head,Rd}$

$f_{head,k}$ nach [DIN 6] bestimmter charakteristische Durchziehparameter [N/mm²] für die zugehörige Rohdichte ρ_a

d_h Durchmesser des Schraubenkopfes in [mm]

ρ_a zugehörige Rohdichte in [kg/m³]

15.3.6 Widerstand gegen Abreißen der Schraubenköpfe und Zugversagen des Schraubenschaftes

Für Verbindungen mit Schrauben nach [DIN 6] wird die Zugtragfähigkeit gegen Abreißen der Schraubenköpfe und das Zugversagen des Schraubenschaftes wie folgt berechnet:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_M (=1,3)} \quad (15.11)$$

$$F_{t,Rk} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot f_{tens,k} \quad \text{mit} \quad n_{ef} = n^{0,9} \quad (15.12)$$

$F_{t,Rk}$ charakteristischer und Bemessungswert Wert der Zugtragfähigkeit einer Schraube gegen Abreißen des Schraubenkopfs und das Zugversagen des Schraubenschaftes in [N]

$f_{tens,k}$ nach [DIN 6] bestimmte charakteristische Zugtragfähigkeit [N] einer einzelnen Schraube für die zugehörige Rohdichte ρ_a

15.4 Tragfähigkeit kombiniert beanspruchter Schrauben (Scher- und Zugbeanspruchung)

Bei Schraubenverbindungen die gleichzeitig durch Scher- und Zugkräfte beansprucht sind, muss folgende Bedingung eingehalten werden:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (15.13)$$

Beispiel 15-1 Zuganschluss mit Holzschrauben Stahl an C24

Eine zugbelastete Lattung soll mit Hilfe eines U-förmigen Stahlblechs an einen größeren Holzquerschnitt angeschlossen werden. Der Bemessungswert der maximalen Tragfähigkeit der Holzschraubenverbindung und der Lattung sollen ermittelt werden für KLED=kurz und NKL 1.

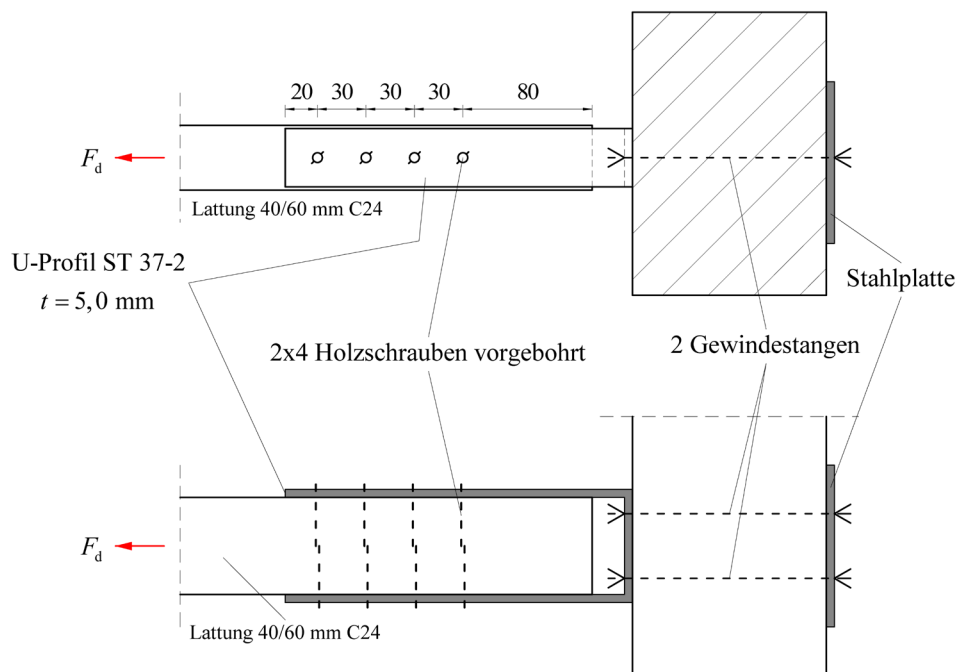
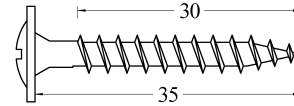
Die verwendeten Holzschrauben haben folgende Parameter:

$$d = 5,0 \text{ mm} / d_1 = 3,1 \text{ mm},$$

der charakteristische Ausziehparameter rechtwinklig zur Faser-
richtung für C24 ist $f_{ax,k} = 10 \text{ N/mm}^2$,

der charakteristische Wert für Zugversagen des Schraubenschaftes ist $f_{tens,k} = 7.000 \text{ N}$

der charakteristische Wert der Zugfestigkeit des Schraubenstahls ist $f_{u,k} = 800 \text{ N/mm}^2$



Überprüfung der Schraubenanordnung, $d \leq 8 \text{ mm} \rightarrow$ Anordnung wie Nägel, siehe Tab. 11-3 (S.14):

	Vorschrift bei $\alpha = 0^\circ$	Mindestabstand für $d = 5 \text{ mm}$ [mm]	vorhanden [mm]
a_1	$(4 + \cos \alpha) \cdot d = 5 \cdot d$	25	30
a_2	---	---	---
$a_{3,t}$	$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 12 \cdot d$	60	80
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$3 \cdot d$	15	20

Tragfähigkeit bei Zugbeanspruchung

Ausziehwiderstand des Gewindes aus dem Holz:

$6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$ ist nicht erfüllt

$$n_{ef} = n^{0,9} = 4^{0,9} = 3,48$$

$$F_{ax,\alpha,Rk,2} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} = \frac{3,48}{4} \cdot \frac{10,0 \cdot 5,0 \cdot 30,0}{1,2 \cdot \cos^2 90^\circ + \sin^2 90^\circ} \cdot 1 = 1.306 \text{ N}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd,2} = 0,9 \cdot \frac{1.306}{1,3} = 904 \text{ N}$$

Widerstand gegen Abreißen der Schraubenköpfe und Zugversagen des Schraubenschaftes:

$$F_{t,Rk} = (n_{ef}/n) \cdot f_{tens,k} = (3,48/4) \cdot 7.000 = 6.094 \text{ N} \rightarrow F_{t,Rd} = \frac{6.094}{1,3} = 4.688 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \max \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,\alpha,Rd,1} \\ F_{ax,head,Rd} \end{array} \right\}; F_{ax,\alpha,Rd,2}; F_{t,Rd} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 904 \\ 4.688 \end{array} \right\} = 904 \text{ N}$$

nicht relevant, Stahlblech

Die Berechnung der Tragfähigkeit der Holzschrauben rechtwinklig zur Schraubenachse erfolgt nach Kapitel 10.5 (S.8).

$$d_{ef} = 1,1 \cdot d_1 = 1,1 \cdot 3,1 = 3,4 \text{ mm}$$

Ist die Dicke der außenliegenden Bleche als dick oder dünn einzuordnen? Siehe Kapitel 10.5 (S.8).

$$t (= 5 \text{ mm}) \geq d (= 3,4 \text{ mm}) \rightarrow \text{dickes Blech.}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 3,4^{2,6} = 5.782 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 3,4) \cdot 350 = 27,72 \text{ N/mm}^2$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{5.782}{27,72 \cdot 3,4}} = 36,0 \text{ mm} \rightarrow \text{Abminderung erforderlich}$$

$$\text{oder nach Tab. 11-4 (S.16): } t_{req} = 27 \cdot \sqrt{800/600} \cdot 1,172 = 36,5 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk,Joh} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t/t_{req}}{1} \right\} = 2,3 \cdot \sqrt{5.782 \cdot 27,72 \cdot 3,4} \cdot \min \left\{ \frac{30/36}{1} \right\} = 1.415 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,Joh} = 0,9 \cdot \frac{1.415}{1,3} = 980 \text{ N}$$

$$\text{oder nach Tab. 11-4 (S.16): } F_{v,Rd,Joh} = 1,125 \cdot 640 \cdot \sqrt{800/600} \cdot \sqrt{2} \cdot \min \left\{ \frac{30/36}{1} \right\} = 980 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,Joh} + \min \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot F_{ax,Rd} \\ k_{Joh} \cdot F_{v,Rd,Joh} \end{array} \right\} = 980 + \min \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot 904 \\ 1,0 \cdot 980 \end{array} \right\} = 1.206 \text{ N}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd}} \rightarrow F_{v,Ed} \leq (n_{ef}/n) \cdot F_{v,Rd} = (4^{0,9}/4) \cdot 1.206 = 1.050 \text{ N} \rightarrow F_d \leq 8 \cdot 1.050 = 8.400 \text{ N} = 8,4 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit des geschwächten Holzquerschnitts

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \rightarrow F_d \leq A_n \cdot f_{t,0,d} = 60 \cdot (40 - 6) \cdot 1,125 \cdot 8,62 = 19.783 \text{ N} \approx 19,8 \text{ kN} \quad (\text{nicht maßgeblich})$$

Ende Beispiel 15-1

Beispiel 15-2 Befestigung von Faserzement-Wellplatten auf C24 durch Holzschrauben

Faserzement-Wellplatten sind auf den Sparrenpfetten eines unter $12,5^\circ$ geneigten Daches durch Holzschrauben mit Gewinde nach [DIN 6] befestigt.

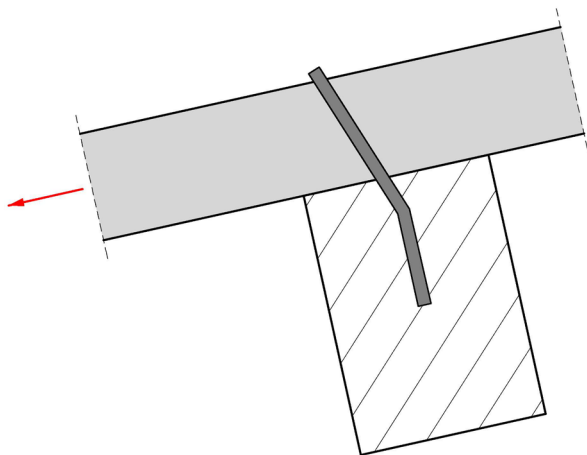
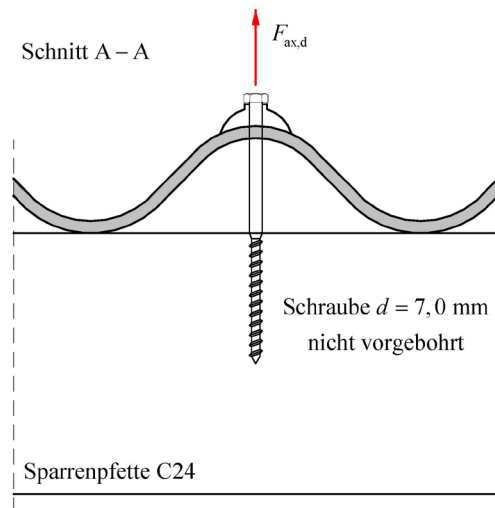
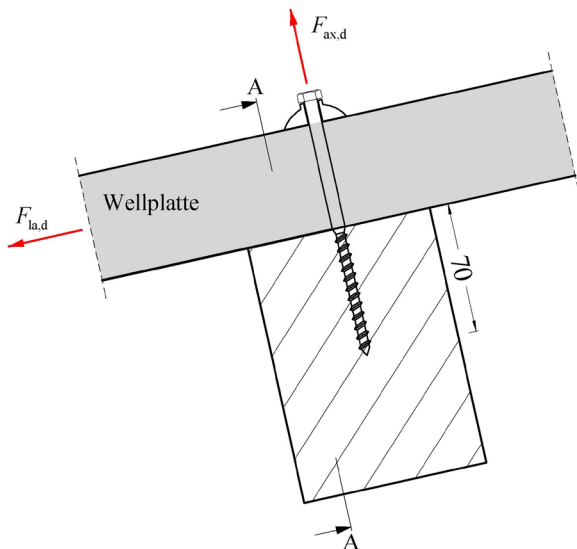
Für die Lastkombination Eigengewicht und Windsog wurden folgende Bemessungswerte der Schraubenbeanspruchung berechnet: $F_{ax,Ed} = 1,36 \text{ kN} / F_{v,Ed} = 0,063 \text{ kN}$ NKL ist 2, KLED=kurz.

Die verwendeten Holzschrauben haben folgende Parameter: $d = 7,0 \text{ mm} / d_1 = 4,5 \text{ mm}$,

char. Zugtragfähigkeit des Schraubenschafts $f_{tens,k} = 13.500 \text{ N}$,

char. Zugfestigkeit des Schraubenstahls $f_{u,k} = 700 \text{ N/mm}^2$,

Bemessungswert Durchzieh Widerstand Schraubenkopf $F_{ax,head,Rd} = 1.595 \text{ N}$.



Das Tragverhalten dieser Verbindung rechtwinklig zur Schraubenachse ist analog einer einschnittigen Stahlblech-Holz-Verbindung mit dünnem Stahlblech gemäß Kapitel 10.5 (S.8) nachweisbar.

Tragfähigkeit bei Zugbeanspruchung

Auszieh Widerstand des Gewindes aus dem Holz:

$6 \text{ mm} \leq (d = 7 \text{ mm}) \leq 12 \text{ mm}$ ist erfüllt und $0,6 \leq (d_1/d = 4,5/7 = 0,64) \leq 0,75$ ist ebenfalls erfüllt.

$$\frac{n_{ef}}{n} = 1 / k_d = \min \left\{ \frac{0,125 \cdot 7,0}{1} \right\} = 0,875 / f_{ax,k} = \frac{0,52}{\sqrt{d}} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = \frac{0,52}{\sqrt{7,0}} \cdot 70^{-0,1} \cdot 350^{0,8} = 13,9 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = 1 \cdot \frac{13,9 \cdot 7,0 \cdot 70 \cdot 0,875}{1,2 \cdot \cos^2 90^\circ + \sin^2 90^\circ} = 5.976 \text{ N}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = 0,9 \cdot \frac{5.976}{1,3} = 4.137 \text{ N}$$

Widerstand gegen Abreißen der Schraubenköpfe und Zugversagen des Schraubenschaftes:

$$F_{t,Rk} = (n_{ef}/n) \cdot f_{tens,k} = 13.500 \text{ N} \rightarrow F_{t,Rd} = \frac{13.500}{1,3} = 10.385$$

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,head,Rd} \\ F_{ax,\alpha,Rd,2} \\ F_{t,Rd} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.595 \\ 4.137 \\ 10.385 \end{array} \right\} = 1.595 \text{ N}$$

Tragfähigkeit der Holzschrauben für Scherbeanspruchung

erfolgt nach Kapitel 10.5 (S.8).

$$d_{ef} = 1,1 \cdot d_1 = 1,1 \cdot 4,5 = 5,0 \text{ mm}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 700 \cdot 5,0^{2,6} = 13.790 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 5,0^{-0,3} = 17,71 \text{ N/mm}^2$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{13.790}{17,71 \cdot 5}} = 49,0 \text{ mm} < 70 \text{ mm}$$

oder nach Tab. 11-4 (S.16): $t_{req} = 45 \cdot \sqrt{700/600} = 48,6 \text{ mm}$

$$F_{v,Rk,Joh} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \cdot \min \left\{ \frac{t}{t_{req}} \right\} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 13.790 \cdot 17,71 \cdot 5} \cdot 1 = 1.797 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,Joh} = 0,9 \cdot \frac{1.797}{1,3} = 1.244 \text{ N}$$

oder nach Tab. 11-4 (S.16): $F_{v,Rd,Joh} = 1,125 \cdot 1.024 \cdot \sqrt{700/600} = 1.244 \text{ N}$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,Joh} + \min \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot F_{ax,Rd} \\ k_{Joh} \cdot F_{v,Rd,Joh} \end{array} \right\} = 1.244 + \min \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot 1.595 \\ 1,0 \cdot 1.244 \end{array} \right\} = 1.643 \text{ N}$$

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{1.360}{1.595} \right)^2 + \left(\frac{63}{1.643} \right)^2 = 0,727 + 0,004 = 0,73 < 1$$

Ende Beispiel 15-2

Literaturverzeichnis

Zitierte Normen

- [DIN 1] DIN EN 1995-1-1:2010-12
Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008
- [DIN 2] DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08 Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter
Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [DIN 3] DIN EN 1995-1-1/A2:2014-07
Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004/A2:2014
- [DIN 4] DIN EN 338:2016-07 Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen
- [DIN 5] DIN EN 14080:2013-09 Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen
- [DIN 6] DIN EN 14592:2008 Holzbauwerke - Stiftförmige Verbindungsmittel – Anforderungen

Weiterführende Literatur

- [1] Blaß, Hans J.; Ehlbeck, Jürgen; Kreuzinger, Heinrich; Steck, Günter: *Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08. Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken*. Bruderverlag Albert Bruder GmbH & Co. KG, Karlsruhe 2005
- [2] Blaß, Hans J.; Görlacher, Rainer; Steck, Günter (Hrsg) :STEP 1 – Holzbauwerke nach Eurocode 5 – Bemessung und Baustoffe. Fachverlag Holz, Düsseldorf 1995
- [3] Blaß, Hans J.; Görlacher, Rainer; Steck, Günter (Hrsg) :STEP 2 – Holzbauwerke nach Eurocode 5 – Bauteile Konstruktionen Details. Fachverlag Holz, Düsseldorf 1995
- [4] Blaß, Hans J.; Görlacher, Rainer; Steck, Günter (Hrsg) :STEP 3 – Holzbauwerke nach Eurocode 5 – Grundlagen Entwicklungen Ergänzungen. Fachverlag Holz, Düsseldorf 1995

Stichwortverzeichnis

Bolzen	49	Zugbeanspruchung	23
Bolzen, Passbolzen und Gewindestangen		nef	
Festigkeitswerte	49	effektiv wirksame Anzahl VM	6, 34
Gewindestangen	49	Stabdübel	
Holzschrauben	55	Bemessungshilfe Holz-Holz	36
Beanspruchung Herausziehen	56	Festigkeitswerte	33
Grundregeln	55	Fließmoment	33
Klammern	27	Lochleibungsfestigkeit Holz	33
kombinierte Beanspruchung	30	Mindestabstände	34
Mindestabstände	27	Stabdübelanzahl	
Tragfähigkeit	30	wirksame in Faserrichtung	33
Lochleibungsfestigkeit von Holzwerkstoffen	19	Stahlblech-Holz-Verbindungen	8
Nägeln		dickes Stahlblech	8
Fließmoment	13, 28	dünnes Stahlblech	9
kombinierte Beanspruchung	26	Stiftförmige Verbindungsmittel	5
Mindestabstände	13	Übergreifende Nägel	12
vorgebohrte Löcher	11	Verbindungen	
Zugtragfähigkeit	23	Stahlblech-Holz	8
Nagelverbindungen	11	Verbindungsmittel	
Bemessungshilfe Holz-Holz	15	Anordnung	5
Lochleibungsfestigkeit	14	effektiv wirksame Anzahl nef	6, 34
Mindestholzdicke ohne Vorbohren	11	stiftförmige	5
Mindestnagelabstände	13		