

Vorlesung Holzbau III



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

Gelenk- und Koppelträger

Verbindungen mit Ring- und Scheibendübeln

Verbindungen mit Scheibendübeln mit Zähnen

Mehrteilige gespreizte Druckstäbe

Inhaltsverzeichnis

Beispielverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
6 Berechnung und Ausbildung von Sparrenpfetten als Gelenkträger.....	5
6.1 Bestimmung der optimalen Position der Gelenke	5
7 Berechnung und Ausbildung von Sparrenpfetten als Koppelträger.....	11
7.1 Bestimmung der notwendigen Überkopplungslänge	11
8 Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart.....	19
8.1 Allgemeine Festlegungen.....	19
8.1.1 Mindestholzdicken	19
8.1.2 Mindestabstände	20
8.1.3 Tragfähigkeitsnachweis	21
8.1.4 Wirksame Anzahl von Verbindungseinheiten in Faserrichtung (n_{ef})	21
8.1.5 Bestimmung der Nettoquerschnittsfläche der Holzbauteile	22
8.2 Verbindungen mit Ringdübeln Typ A1 und Scheibendübeln Typ B1	22
8.2.1 Allgemeines zu Dübeln Typ A1 und B1	22
8.2.2 Tragfähigkeit von Verbindungen mit Typ A1 und Typ B1.....	23
8.2.3 Bemessungshilfe Tragfähigkeit von Dübeln Typ A1 und Typ B1	25
8.3 Verbindungen mit Scheibendübeln mit Zähnen oder Dornen Typ C	30
8.3.1 Allgemeines zu Dübeln Typ C.....	30
8.3.2 Tragfähigkeit von Verbindungen mit Dübeln Typ C	33
8.3.3 Bemessungshilfe Tragfähigkeit von Dübel Typ C.....	35
9 Mehrteilige gespreizte Druckstäbe	39
9.1 Knicknachweis für die starre Achse (um die z-Achse)	39
9.2 Knicknachweis für die nachgiebige Achse (um die y-Achse)	39
9.3 Schlankheitsgrad für die nachgiebige Achse von Rahmenstäben	40
9.4 Schlankheitsgrad für die nachgiebige Achse von Gitterstäben	41
9.5 Nachweis der Verbindungen von Rahmen- und Gitterstäben	42
Literaturverzeichnis	49
Stichwortverzeichnis.....	50

Beispielverzeichnis

Beispiel 6-1	Entwurf und Nachweis eines GL24h-Gelenkträgers über 11 Felder.....	9
Beispiel 7-1	Entwurf und Nachweis eines GL24h-Koppelträgers über 7 Felder.....	13
Beispiel 8-1	Einschnittige Holz-Holz-Verbindung GL28h mit Dübeln Typ A1 $\varnothing$ 65 mm.....	26
Beispiel 8-2	Zweischnittige Stahlblech-Holz-Verbindung mit Dübeln Typ B1 $\varnothing$ 160 mm	28
Beispiel 8-3	Zweischnittige Holz-Holz-Verbindung GL32h mit Dübeln Typ C1/Bolzen 4.8.....	36
Beispiel 9-1	Zweiteiliger Rahmenstab C30 mit Zwischenhölzern	44
Beispiel 9-2	Dreiteiliger Rahmenstab C30 mit Bindehölzern	46

Tabellenverzeichnis

Tab. 6-1	Gelenkanordnung zur Minimierung der Momente in den Innenfeldern	7
Tab. 6-2	Gelenkanordnung zur Beeinflussung der Durchbiegungen der Innenfelder	8
Tab. 7-1	Kopplungskräfte, Übergreifungslängen und Durchbiegung am Koppelträger.....	16
Tab. 7-2	Biegemomente am Koppelträger	17
Tab. 8-1	Zeichnerische Darstellung von Dübeln besonderer Bauart	19
Tab. 8-2	Mindestabstände in Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart.....	20
Tab. 8-3	Effektive Anzahl n_{ef} und Abminderungsfaktoren n_{ef}/n	21
Tab. 8-4	Anteil der Querschnittsschwächung durch Bolzen-/Nagel-/Schraubenlöcher	22
Tab. 8-5	Tragfähigkeit von Dübeln Typ A1/B1 bei $\alpha = 0^\circ$	25
Tab. 8-6	Tragfähigkeit von Dübeln Typ C	35
Tab. 9-1	Beiwerte η für Rahmenstäbe	41
Tab. 9-2	Beiwerte μ für Gitterstäbe	42

6 Berechnung und Ausbildung von Sparrenpfetten als Gelenkträger

Formel-Kapitel 6 Abschnitt 1 *Definition:* Sparrenpfetten haben gleichzeitig die Funktionen von Sparren und Pfetten. Sparrenpfetten sind parallel zur Traufe verlaufende Balken in der Dachebene von Hallen. Sie tragen unmittelbar die Dachhaut und werden in Dachverbänden zur Aufnahme von Wind- und Stabilisierungskräften herangezogen. Hieraus entsteht bei geeigneten Dächern meist eine kombinierte Beanspruchung aus Doppelbiegung und Zug- oder Druckkraft. Für Binderabstände bis 8 m werden folgende statische Systeme für Sparrenpfetten gewählt:

- *Einfeldpfetten*, also Einfeldbalken von Binder zu Binder
- *Gelenkpfetten*, also Gelenkträger mit Gelenken in den Feldern nahe der Auflager
- *Durchlauf-/Koppelpfetten*, also Durchlaufträger aus durchlaufenden oder über den Auflagern biegesteif gekoppelten Trägern.

6.1 Bestimmung der optimalen Position der Gelenke

Als Beispiel betrachten wir den einfachsten Fall, einen Träger über zwei gleich lange Felder mit der Länge l , belastet mit einer konstanten Streckenlast q . Hier wiederum wäre der einfachste zu berechnende Fall, dass das Gelenk genau über der Mittelstütze angeordnet wird, siehe Abb. 6-1.

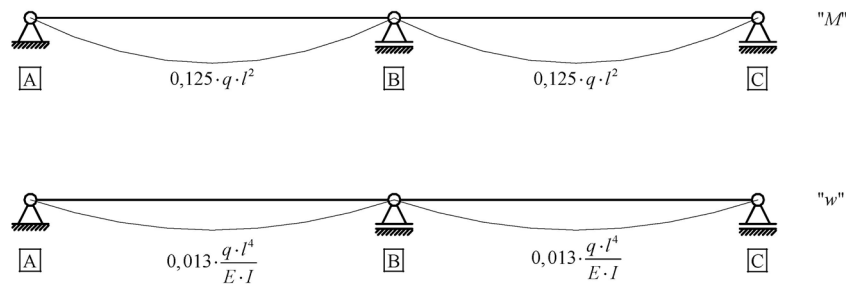


Abb. 6-1 Momente und Durchbiegung an Einfeldbalken

Im Vergleich hierzu ein Zweifeld-Durchlaufträger ohne Gelenk, siehe Abb. 6-2. Das maximale Moment ist in beiden Fällen $M = 0,125 \cdot q \cdot l^2$. Die maximale Durchbiegung ist aber im zweiten Fall wesentlich geringer.

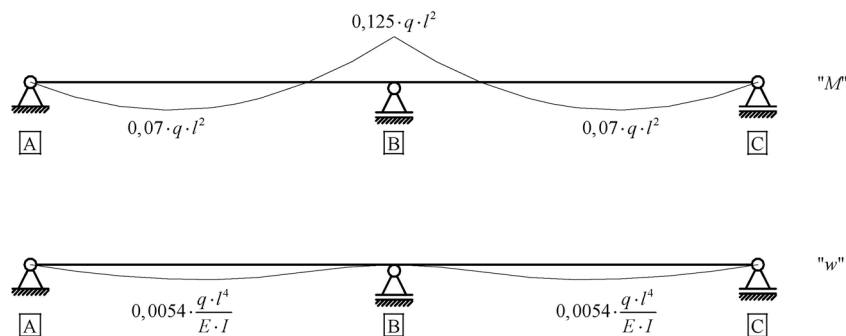


Abb. 6-2 Momente und Durchbiegung am Zweifeld-Durchlaufträger

Der Momentenverlauf in Abb. 6-2 zeigt, dass man das Gelenk z.B. an die Stelle legen könnte, an der die Momentenlinie in der Nähe des Mittelaufagers ihren Nulldurchgang hat, siehe Abb. 6-3. Momentenlinie und Biegelinie bleiben unverändert gegenüber dem Zweifeld-Durchlaufträger.

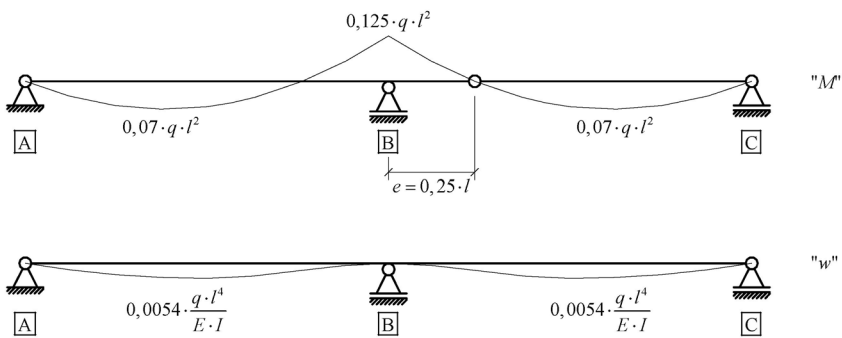


Abb. 6-3 Momente und Durchbiegung am Gelenkträger

Bei einer Anordnung des Gelenkes im Bereich zwischen der Position in Abb. 6-3 und dem Mittelauf-lager (wie in Abb. 6-1) entstehen Momenten- und Biegelinien, deren Verlauf zwischen denen von Abb. 6-1 und von Abb. 6-3 liegen. Die Variation der Gelenkposition in diesem Bereich kann also zur Optimierung von Momenten- und Biegelinie genutzt werden. Diese Überlegungen lassen sich für Trä-ger mit mehr als zwei Feldern analog anstellen.

Interessant ist die Gelenkposition e , bei der Feld- und Stützmoment gleich groß und damit minimal werden, siehe Abb. 6-4. Diese Form der Optimierung ist in Tab. 6-1 zugrunde gelegt worden.

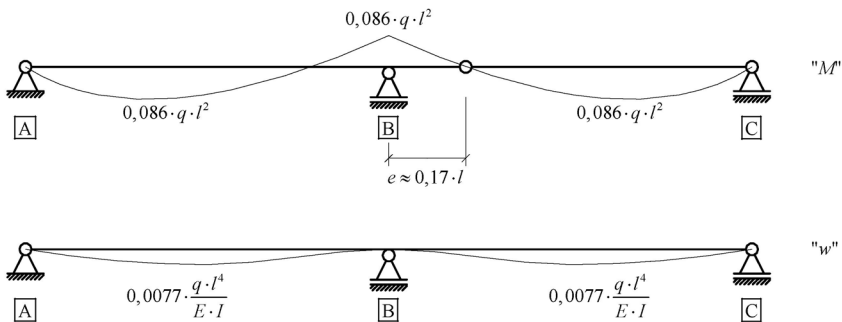
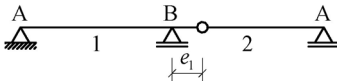
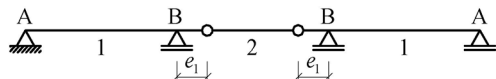
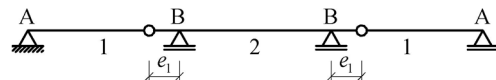
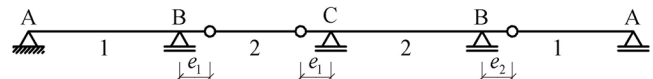
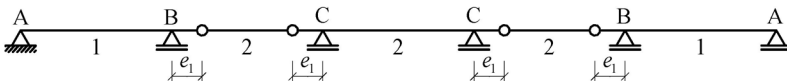
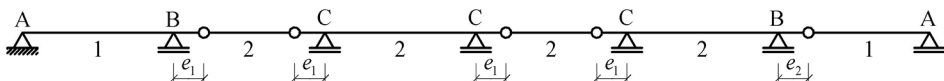
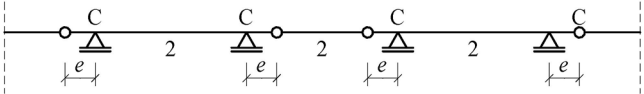


Abb. 6-4 Gelenkposition zur Optimierung des maximalen Momentes

In der Praxis werden für die beiden Endfelder größere Querschnitte gewählt als für die Innenfelder, die üblicherweise gleiche Querschnitte erhalten. Da bei Gelenkträgern mit einer großen Anzahl von Feldern auf die Innenfelder der größte Materialanteil entfällt, sind in Tab. 6-2 für eine Variation des Abstandes e die statischen Werte für Innenfelder zusammengestellt. Dies ermöglicht die Optimie-rung der Querschnitte nach maximalem Moment und maximaler Durchbiegung für die Innenfelder.

System	Felderzahl	e	Auflagerkräfte	Momente	max. Durchbiegung der Endfelder
	2	$e_1 = 0,1716$	$A = 0,414$ $B = 1,172$	$M_1 = 0,0858$ $M_2 = 0,0858$ $M_{St} = -0,0858$	$f_1 = 0,0077$
	3	$e_1 = 0,22$	$A = 0,414$ $B = 1,086$	$M_1 = 0,0858$ $M_2 = 0,0392$ $M_{St} = -0,0858$	$f_1 = 0,0077$
	3	$e_1 = 0,125$	$A = 0,438$ $B = 1,063$	$M_1 = 0,0957$ $M_2 = 0,0625$ $M_{St} = -0,0625$	$f_1 = 0,0077$
		$e_1 = 0,1716$	$A = 0,414$ $B = 1,086$	$M_1 = 0,0858$ $M_2 = 0,0392$ $M_{St} = -0,0858$	$f_1 = 0,0077$
	4	$e_1 = 0,1465$ $e_2 = 0,1250$	$A = 0,438$ $B = 1,063$ $C = 1,000$	$M_1 = 0,0957$ $M_2 = 0,0625$ $M_{St} = -0,0625$	$f_1 = 0,0091$
	≥ 5 ungerade Felderzahl	$e_1 = 0,1465$	$A = 0,438$ $B = 1,063$ $C = 1,000$	$M_1 = 0,0957$ $M_2 = 0,0625$ $M_{St} = -0,0625$	$f_1 = 0,0091$
	≥ 6 gerade Felderzahl	$e_1 = 0,1465$ $e_2 = 0,1250$	$A = 0,438$ $B = 1,063$ $C = 1,000$	$M_1 = 0,0957$ $M_2 = 0,0625$ $M_{St} = -0,0625$	$f_1 = 0,0091$
Faktor		$\cdot l$	$\cdot q \cdot l$	$\cdot q \cdot l^2$	$\cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$

Tab. 6-1 Gelenkanordnung zur Minimierung der Momente in den Innenfeldern

System	Felder- zahl	Gelenkanordnung	Feldmomente Innenfelder	Stützmomente Innenfelder	max. Durchbiegung der Innenfelder
Innenfelder 	≥ 6	$e = 0$	$M_2 = 0,1250$	$M_C = 0$	$f = 0,0130$
		$e = 0,1465$	$M_2 = 0,0625$	$M_C = -0,0625$	$f = 0,0052$
		$e = 0,150$	$M_2 = 0,0612$	$M_C = -0,0637$	$f = 0,0051$
		$e = 0,160$	$M_2 = 0,0578$	$M_C = -0,0672$	$f = 0,0046$
		$e = 0,170$	$M_2 = 0,0544$	$M_C = -0,0705$	$f = 0,0042$
		$e = 0,180$	$M_2 = 0,0512$	$M_C = -0,0738$	$f = 0,0038$
		$e = 0,190$	$M_2 = 0,0480$	$M_C = -0,0769$	$f = 0,0034$
		$e = 0,200$	$M_2 = 0,0450$	$M_C = -0,0800$	$f = 0,0030$
		$e = 0,210$	$M_2 = 0,0420$	$M_C = -0,0829$	$f = 0,0027$
		$e = 0,211$	$M_2 = 0,0417$	$M_C = -0,0833$	$f = 0,0026$
Faktor		$\cdot l$	$\cdot q \cdot l$	$\cdot q \cdot l^2$	$\cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$

Tab. 6-2 Gelenkanordnung zur Beeinflussung der Durchbiegungen der Innenfelder

Beispiel 6-1 Entwurf und Nachweis eines GL24h-Gelenkträgers über 11 Felder

Für einen Gelenkträger über 11 Felder soll nach Festlegung der Gelenkpositionen der Nachweis der Standsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit geführt werden. Außerdem sollen die Gelenkkräfte bestimmt werden.

Die Querschnitte aus GL24h:

Endfelder $b/h = 200 / 400 \text{ mm}$

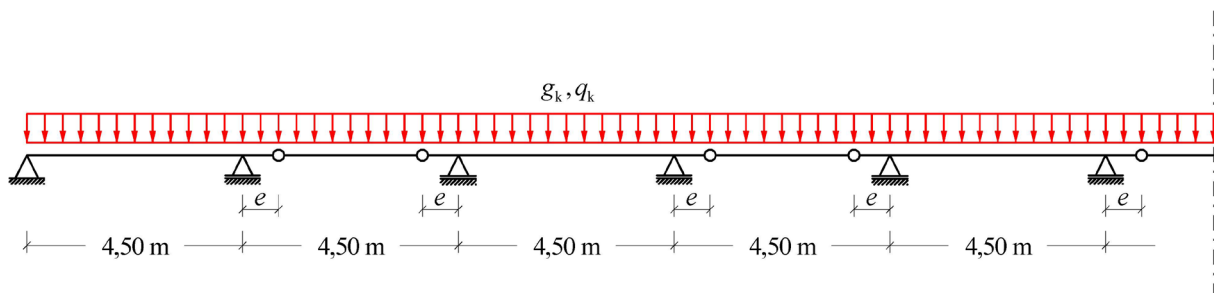
Innenfelder $b/h = 140 / 400 \text{ mm}$

Charakteristische Werte der Belastung:

$g_k = 6,6 \text{ kN/m}$ Eigengewicht

$q_k = 16,5 \text{ kN/m}$ veränderliche Last, KLED = lang, Kategorie "sonstige Einwirkungen"

Nutzungsklasse NKL 1



$$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} \cdot k_{h,y} \cdot \frac{f_{m,y,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot 1,041 \cdot \frac{24}{1,3} = 13,5 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswerte der Belastung

$$q_d = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k = 1,35 \cdot 6,6 + 1,5 \cdot 16,5 = 33,66 \text{ kN/m}$$

Endfelder Standsicherheit:

$$e_1 = 0,1465 \cdot l = 0,1465 \cdot 4.500 \approx 660 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{200 \cdot 400^3}{12} = 1,067 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; \quad W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{200 \cdot 400^2}{6} = 5,333 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$M_1 = 0,0957 \cdot q_d \cdot l^2 = 0,0957 \cdot 33,66 \cdot 4,50^2 = 65,23 \text{ kNm} = 65,23 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{65,23 \cdot 10^6}{5,333 \cdot 10^6} = 12,2 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{12,2}{13,5} = 0,90 \leq 1$$

Endfelder Gebrauchstauglichkeitsnachweis für nicht überhöhte Träger:

$$k_{\text{def}} = 0,6 \quad \psi_{2,1} = 0,5$$

$$w_{\text{inst,G}} = 0,0091 \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot I} = 0,0091 \cdot \frac{6,6 \cdot 4.500^4}{11.500 \cdot 1,067 \cdot 10^9} = 2,01 \approx 2,0 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst,Q,1}} = \frac{q_k}{g_k} \cdot w_{\text{inst,G}} = \frac{16,5}{6,6} \cdot 2,01 = 5,02 \approx 5,0 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst}} = w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q,1}} = 2,0 + 5,0 = 7,0 \text{ mm} < \frac{l}{300} = \frac{4.500}{300} = 15 \text{ mm}$$

$$w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}} + \left(w_{\text{inst,G}} + \sum_{i=1}^n \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot k_{\text{def}} = 7,0 + (2,0 + 0,5 \cdot 5,0) \cdot 0,6 = 9,7 \text{ mm} < \frac{l}{200} = 22,5 \text{ mm}$$

$$w_{\text{net,fin}} = \left(w_{\text{inst,G}} + \sum_{i=1}^n \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_{\text{c}} = (2,0 + 0,5 \cdot 5,0) \cdot (1 + 0,6) = 7 \text{ mm} < \frac{l}{300} = 15 \text{ mm}$$

Innenfelder Standsicherheit:

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{140 \cdot 400^3}{12} = 0,747 \cdot 10^9 \text{ mm}^3; \quad W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{140 \cdot 400^2}{6} = 3,733 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$M_1 = 0,0625 \cdot q_d \cdot l^2 = 0,0625 \cdot 33,66 \cdot 4,50^2 = 42,60 \text{ kNm} = 42,60 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{\text{m,y,d}} = \frac{M_{\text{y,d}}}{W_y} = \frac{42,60 \cdot 10^6}{3,733 \cdot 10^6} = 11,4 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \frac{\sigma_{\text{m,y,d}}}{f_{\text{m,y,d}}} = \frac{11,4}{13,5} = 0,84 \leq 1$$

Innenfelder Gebrauchstauglichkeitsnachweis für nicht überhöhte Träger:

$$k_{\text{def}} = 0,6 \quad \psi_{2,1} = 0,5$$

$$w_{\text{inst,G}} = 0,0052 \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot I} = 0,0052 \cdot \frac{6,6 \cdot 4.500^4}{11.600 \cdot 0,747 \cdot 10^9} = 1,6 \text{ mm} \quad \text{kleiner als } w_{\text{inst,G}} \text{ der Endfelder}$$

Bemessungswert der Gelenkkraft:

$$l_1 = 4.500 - 2 \cdot 660 = 3.180 \text{ mm} \quad \text{Gelenkabstand}$$

$$G_d = q_d \cdot \frac{l_1}{2} = 33,66 \cdot \frac{3.180}{2} = 53.519 \text{ N} = 53,5 \text{ kN}$$

Ende Beispiel 6-1

7 Berechnung und Ausbildung von Sparrenpfetten als Koppelträger

Formel-Kapitel (nächstes) Abschnitt 1 Betrachtet man einen Durchlaufträger mit gleichen Stützweiten unter Gleichlast wie in Abb. 7-1, dann kann man feststellen, dass mit Ausnahme der Endfelder und der ersten Innenstütze die Stützmomente etwa doppelt so groß wie die Feldmomente sind. Hieraus abgeleitet ist es sinnvoll die verwendeten Träger im Bereich der Innenstützen auf einer ausreichenden Strecke nebeneinander zu legen (zu überkoppeln) und in geeigneter Weise mit einander so zu verbinden, damit in diesen Bereichen zwei Querschnitte tragen.

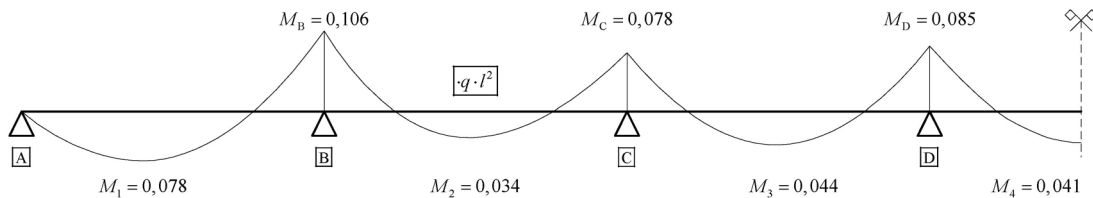


Abb. 7-1 Momentenlinie eines Durchlaufträgers mit 7 Feldern unter Gleichlast

7.1 Bestimmung der notwendigen Überkoppplungslänge

Die Ermittlung der Überkoppplungsbereiche erfolgt durch Betrachtung der Momentenlinie. Am ersten Innenaufleger wird die linke Überkoppplungslänge so gewählt, dass das Feldmoment M_1 nicht überschritten wird. Analog erfolgt die Wahl der rechten Überkoppplungslänge so, dass das größte Feldmoment der Innenfelder nicht überschritten wird.

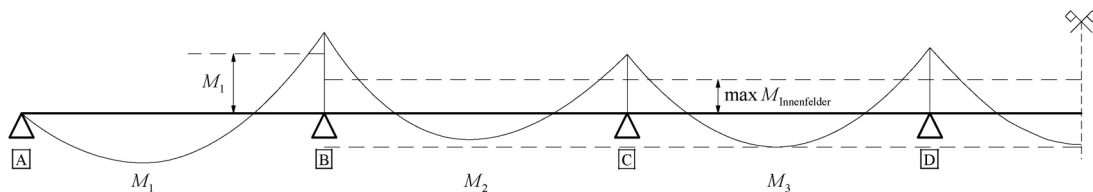


Abb. 7-2 Ermittlung der Überkoppplungsbereiche

Zur Vereinfachung wird das vorstehende Verfahren nicht individuell für alle verschiedenen Anzahlen von Feldern durchgeführt, sondern es werden die Maximalwerte für M_1 und M_3 an Durchlaufträgern mit Felderzahlen von 2 bis 8 ausgewertet und der Ermittlung der Überkoppplungslängen zugrunde gelegt. Hieraus ergibt sich dann eine überraschend einfache Systematik.

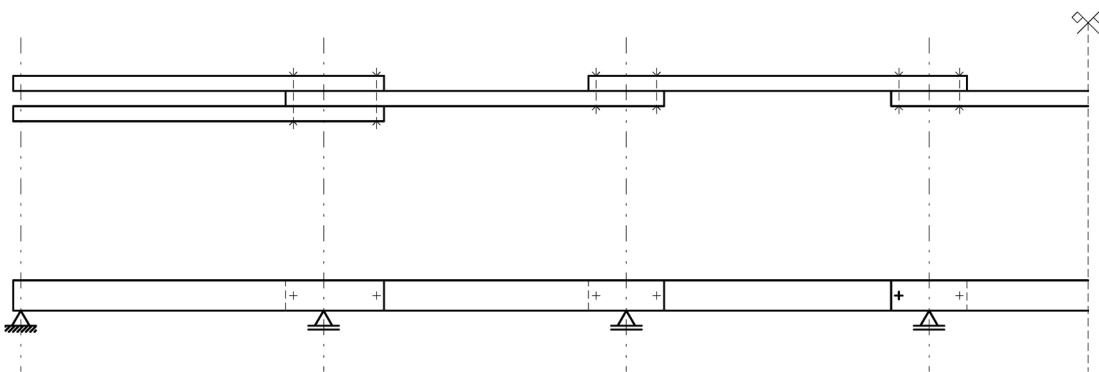


Abb. 7-3 Beispiel für die Ausführung eines Koppelträgers mit 7 Feldern

Man kommt zu folgender Methode einen solchen Durchlaufträger zu bemessen:

- Alle Innenfelder werden gleich bemessen für das max. Feldmoment der Innenfelder.
- Der Nachweis der Standsicherheit für die Stützmomente über den Innenstützen kann entfallen, da das größte Stützmoment bei Stützen zwischen den Innenfeldern nicht größer ist als das doppelte maximale Feldmoment der Innenfelder. Beispiel: beim Träger in Abb. 7-1 ist das Stützmoment $M_D < 2 \cdot M_3$.
- Endfelder werden abweichend bemessen für das Feldmoment des Endfeldes. Der Nachweis der Standsicherheit für das Stützmoment bei der ersten Innenstütze kann entfallen, da dort die Querschnitte des Endfeldes und der Querschnitt des Innenfeldes gemeinsam tragen. Die Summe der maximalen Momente der benachbarten Felder ist größer als das Moment bei der ersten Innenstütze. Beispiel: beim Träger in Abb. 7-1 ist das Stützmoment bei der ersten Innenstütze $M_B < M_1 + M_3$

Beispiel 7-1 Entwurf und Nachweis eines GL24h-Koppelträgers über 7 Felder

Ein Träger in einem Dach soll als Koppelträger über 7 Felder ausgeführt werden. Nach Festlegung der Überkopplungen werden Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen. Außerdem werden die Koppelkräfte bestimmt.

Die Querschnitte aus GL24h:

Endfelder $b/h = 2 \times 100 / 220 \text{ mm}$

Innenfelder $b/h = 100 / 220 \text{ mm}$

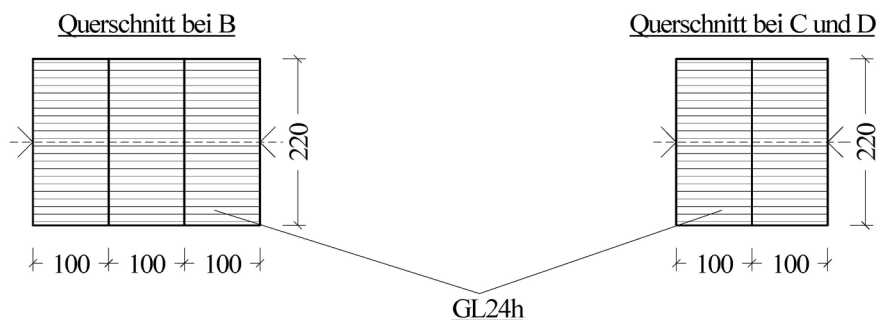
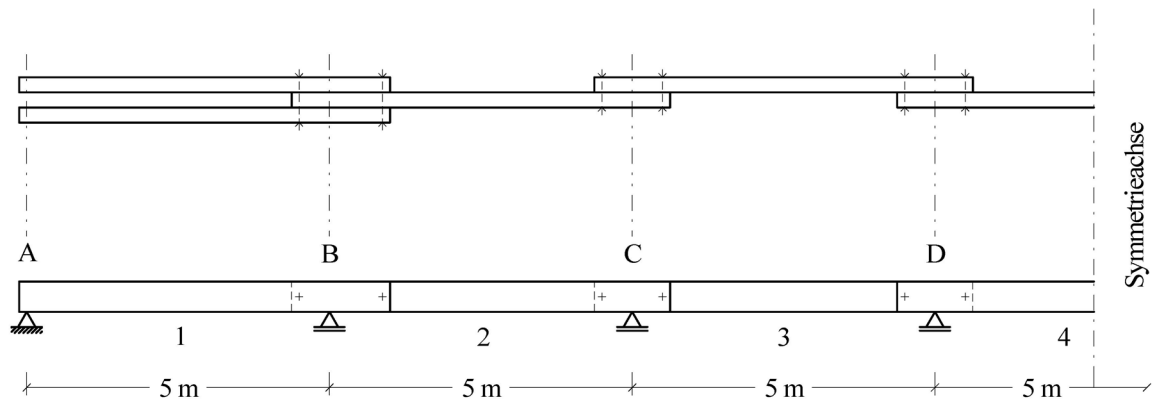
Charakteristische Werte der Belastung:

$G_k = 2,5 \text{ kN/m}$ Eigengewicht

$Q_k = 3,5 \text{ kN/m}$ Schneelast an einem Ort in einer Höhe über NN +1.000 m (KLED = mittel)

Dachneigung $\alpha = 15^\circ$

Nutzungsklasse NKL 2



$$\left. \begin{array}{ll} W_y = 0,8067 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 & I_y = 88,73 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\ W_z = 0,3667 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 & I_z = 18,33 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \end{array} \right\} \text{ für 1 Querschnitt}$$

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

Flachkant-Biegebeanspruchung und $h = 220 \text{ mm}$

$$k_{h,y} = 1,1 \rightarrow f_{m,y,d} = 1,1 \cdot 14,77 = 16,2 \text{ N/mm}^2$$

Hochkant-Biegebeanspruchung und > 4 Lamellen

$$k_l = 1,2 \rightarrow f_{m,z,d} = 1,2 \cdot 14,77 = 17,7 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristische Werte der Belastung,
siehe Abb. 7-4

$$G_{y,k} = 2,5 \cdot \sin 15^\circ = 0,647 \text{ kN/m}$$

$$G_{z,k} = 2,5 \cdot \cos 15^\circ = 2,415 \text{ kN/m}$$

$$Q_{y,k} = 3,5 \cdot \sin 15^\circ = 0,906 \text{ kN/m}$$

$$Q_{z,k} = 3,5 \cdot \cos 15^\circ = 3,381 \text{ kN/m}$$

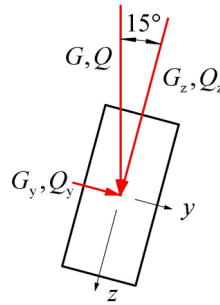


Abb. 7-4 Kraftkomponenten

Bemessungswerte der Belastung

$$q_d = 1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_k$$

$$q_{y,d} = 1,35 \cdot 0,647 + 1,5 \cdot 0,906 = 2,232 \text{ kN/m} \quad q_{z,d} = 1,35 \cdot 2,415 + 1,5 \cdot 3,381 = 8,331 \text{ kN/m}$$

Gewählte Anordnung der Kopplungspunkte

$$z_{Br} = 0,17 \cdot l = 0,85 \text{ m}; \quad \text{übrige:} \quad z = 0,1 \cdot l = 0,50 \text{ m}$$

Endfelder Standsicherheit:

Max. Biegemoment:

$$M_{1,y,d} = 0,0778 \cdot q_{z,d} \cdot l^2 = 0,0778 \cdot 8,331 \cdot 5^2 = 16,20 \text{ kNm}$$

$$M_{1,z,d} = 0,0778 \cdot q_{y,d} \cdot l^2 = 0,0778 \cdot 2,232 \cdot 5^2 = 4,34 \text{ kNm}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{und} \quad k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{mit} \quad k_m = 0,7 \text{ (Rechteckquerschnitt)}$$

$$\underbrace{\frac{16,20 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,8067 \cdot 10^6}}_{0,620} + 0,7 \cdot \underbrace{\frac{4,34 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,3667 \cdot 10^6}}_{0,334} = 0,620 + 0,7 \cdot 0,334 = 0,85 \leq 1$$

Innenfelder Standsicherheit:

Max. Biegemoment:

$$M_{3,y,d} = 0,0440 \cdot q_{z,d} \cdot l^2 = 0,0440 \cdot 8,331 \cdot 5^2 = 9,16 \text{ kNm}$$

$$M_{3,z,d} = 0,0440 \cdot q_{y,d} \cdot l^2 = 0,0440 \cdot 2,232 \cdot 5^2 = 2,46 \text{ kNm}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{und} \quad k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{mit} \quad k_m = 0,7 \text{ (Rechteckquerschnitt)}$$

$$\underbrace{\frac{9,16 \cdot 10^6}{0,8067 \cdot 10^6}}_{0,701} + 0,7 \cdot \underbrace{\frac{2,46 \cdot 10^6}{0,3667 \cdot 10^6}}_{0,378} = 0,701 + 0,7 \cdot 0,378 = 0,97 \leq 1$$

Gebrauchstauglichkeit, maßgeblich ist in diesem Beispiel der Nachweis für das Endfeld:

$$k_{\text{def}} = 0,6 \quad \psi_{2,1} = 0,2$$

$$w_{\text{inst,G,y}} = 0,00642 \cdot \frac{G_{y,k} \cdot l^4}{E \cdot I_z} = 0,00642 \cdot \frac{0,647 \cdot 5.000^4}{11.500 \cdot 2 \cdot 18,33 \cdot 10^6} = 6,2 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst,G,z}} = 0,00642 \cdot \frac{G_{z,k} \cdot l^4}{E \cdot I_y} = 0,00642 \cdot \frac{2,415 \cdot 5.000^4}{11.500 \cdot 2 \cdot 88,73 \cdot 10^6} = 4,7 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst,G}} = \sqrt{(6,2)^2 + (4,7)^2} = 7,8 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst,Q,1}} = \frac{Q_k}{G_k} \cdot w_{\text{inst,G}} = \frac{3,5}{2,5} \cdot 7,7 = 10,9 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst}} = w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q,1}} = 7,8 + 10,9 = 18,7 \text{ mm} > \frac{l}{300} = \frac{5.000}{300} = 16,7 \text{ mm} \quad 10\% \text{ Überschreitung}$$

$$w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}} + \left(w_{\text{inst,G}} + \sum_{i=1}^n \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot k_{\text{def}} = 18,7 + (7,8 + 0,2 \cdot 10,9) \cdot 0,6 = 24,7 \text{ mm} < \frac{l}{200} = 25 \text{ mm}$$

$$w_{\text{net,fin}} = \left(w_{\text{inst,G}} + \sum_{i=1}^n \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_c = (7,8 + 0,2 \cdot 10,9) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 16,0 < \frac{l}{300} = \frac{5.000}{300} = 16,7 \text{ mm}$$

Bemessungswert der Koppelkraft:

$$F_{y,d} = 0,430 \cdot q_{y,d} \cdot l = 0,430 \cdot 2,232 \cdot 5.000 = 4.799 \text{ N} = 5,0 \text{ kN}$$

$$F_{z,d} = 0,430 \cdot q_{z,d} \cdot l = 0,430 \cdot 8,331 \cdot 5.000 = 17.912 \text{ N} = 17,9 \text{ kN}$$

Kräfte F_y erzeugen Druck, der durch Kontakt abgetragen wird, bzw. Zug, der durch geeignete Verbindungsmittel aufgenommen werden muss. Kräfte F_z erzeugen eine Scherbelastung in den Verbindungsmitteln. Siehe Abb. 7-5.

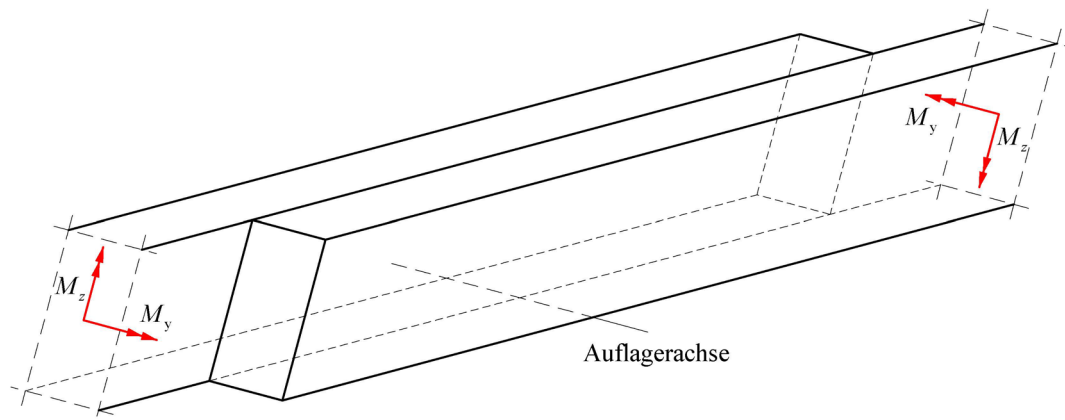
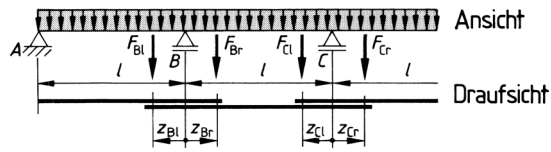
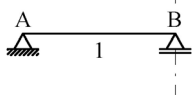
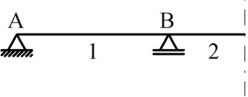
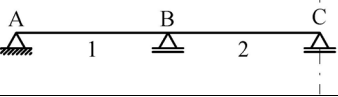
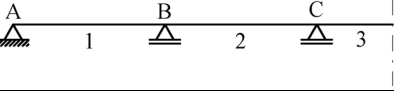
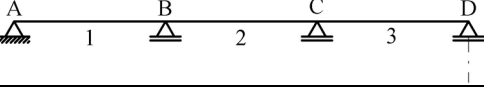
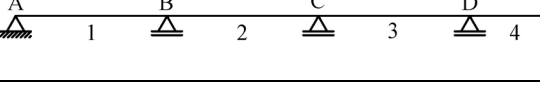
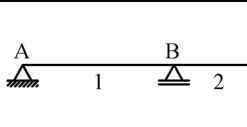
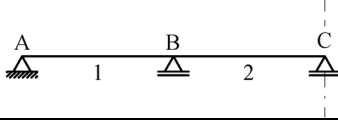
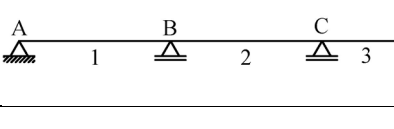
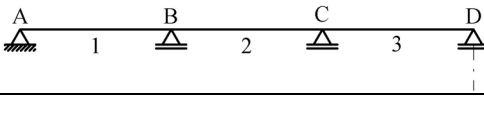
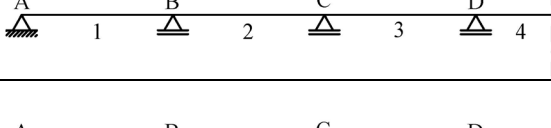
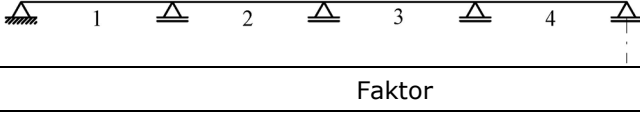


Abb. 7-5 Überkopplung

Ende Beispiel 7-1

	Felder	Kopplungskräfte und Übergreifungslängen					Durchbiegung Felder			
		F_{Bl} z_{Bl}	F_{Br} z_{Br}	F_{Cl} z_{Cl}	F_{Cr} z_{Cr}	$F_{Dl} = F_{Dr}$ $z_{Dl} = z_{Dr}$	f_1	f_2	f_3	f_4
	2	0,625 0,10	0,625 0,10				0,00521			
	3	0,250 0,10	0,420 0,18				0,00677	0,00052		
	4	0,360 0,10	0,442 0,16	0,354 0,10	0,354 0,10		0,00632	0,00186		
	5	0,330 0,10	0,425 0,17	0,460 0,10	0,330 0,10		0,00644	0,00151	0,00316	
	6	0,340 0,10	0,423 0,17	0,430 0,10	0,340 0,10	0,430 0,10	0,00641	0,00160	0,00281	
	>6	0,340 0,10	0,423 0,17	0,430 0,10	0,340 0,10	0,430 0,10	0,00642	0,00158	0,00290	0,00246
Faktor		Kopplungskräfte: $F = \text{Tafelwert} \cdot q \cdot l$ Übergreifungslängen: $z = \text{Tafelwert} \cdot l$					$f = \text{Tafelwert} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$			

Tab. 7-1 Kopplungskräfte, Übergreifungslängen und Durchbiegung am Koppelträger

	Felder	Feldmomente				Stützmomente				Auflagerkräfte	
		M_1	M_2	M_3	M_4	M_B	M_C	M_D	M_E		
	2	0,0703				-0,1250				A=0,375	B=1,250
	3	0,0800	0,0250			-0,1000				A=0,400	B=1,100
	4	0,0772	0,0364			-0,1071	-0,0714			A=0,393 C=0,929	B=1,143
	5	0,0779	0,0332	0,0461		-0,1053	-0,0789			A=0,395 C=0,974	B=1,132
	6	0,0777	0,0340	0,0433		-0,1058	-0,0769	-0,0865		A=0,394 C=0,962	B=1,135 D=1,019
	7	0,0778	0,0338	0,0440	0,0405	-0,1056	-0,0775	-0,0845		A=0,394 C=0,965	B=1,134 D=1,007
	8	0,0777	0,0339	0,0438	0,0412	-0,1057	-0,0773	-0,0850	-0,0825	A=0,394 C=0,964 E=0,995	B=1,134 D=1,010
Faktor		$M = \text{Tafelwert} \cdot q \cdot l^2$								$= \text{Tafelwert} \cdot q \cdot l$	

Tab. 7-2 Biegemomente am Koppelträger

8 Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart

8.1 Allgemeine Festlegungen

Formel-Kapitel (nächstes) Abschnitt 1 Dübelverbindungen mit Dübeln besonderer Bauart werden in der Regel mit Bolzen zusammengehalten, siehe Abb. 8-1. Unter dem Kopf und der Mutter der Bolzen mit dem Durchmesser d müssen Unterlegscheiben mit einer Seitenlänge oder einem Durchmesser von mindestens $3 \cdot d$ und einer Dicke von mindestens $0,3 \cdot d$ eingebaut werden. Die Unterlegscheiben müssen vollflächig anliegen. Bei Verbindungen mit beiden Dübeltypen dürfen anstelle von Bolzen profilierte Nägel oder Holzschrauben verwendet werden. Die Dübeldurchmesser sind hierbei jedoch begrenzt.

Die Gruppe, bestehend aus Dübel und Bolzen/Nagel/Holzschraube, wird als *Verbindungseinheit* (VE) bezeichnet. Die schematische zeichnerische Darstellung ist in der folgenden Tabelle gezeigt.

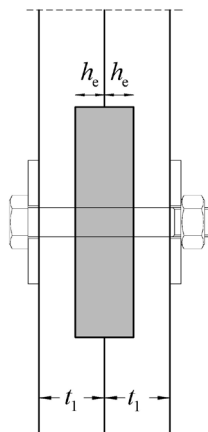
Symbol	Durchmesser	Beispieldarstellung
	40 bis 55 mm	
	56 bis 70 mm	
	71 bis 85 mm	
	86 bis 100 mm	
	über 100 mm	

Tab. 8-1 Zeichnerische Darstellung von Dübeln besonderer Bauart

8.1.1 Mindestholzdicken

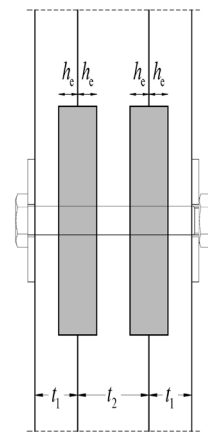
Die Mindestholzdicke der Verbindung muss wie folgt eingehalten werden:

einschnittige Verbindung



$$t_1 \geq 3 \cdot h_e \quad (2,25 \cdot h_e) \quad (8.1)$$

mehrschnittige Verbindung



$$t_1 \geq 3 \cdot h_e \quad (2,25 \cdot h_e) \text{ und } t_2 \geq 5 \cdot h_e \quad (3,75 \cdot h_e) \quad (8.2)$$

Abb. 8-1 Mindestholzdicken in Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart

- t_1 Dicke des Seitenholzes in ein- und zweischnittigen Verbindungen,
bei $2,25 \cdot h_e \leq t_1 < 3 \cdot h_e$ muss die Tragfähigkeit abgemindert werden
- t_2 Dicke des Mittelholzes in zweischnittigen Verbindungen,
bei $3,75 \cdot h_e \leq t_2 < 5 \cdot h_e$ muss die Tragfähigkeit abgemindert werden
- h_e Einbindetiefe des Dübels im Holz

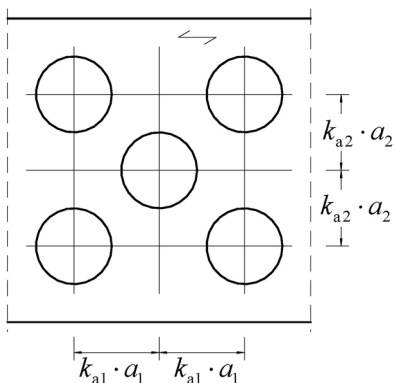
8.1.2 Mindestabstände

Für Dübel besonderer Bauart müssen die in der folgenden Tabelle festgelegten Mindestabstände eingehalten werden. Die Mindestabstände a_1 und a_2 untereinander können verringert werden, wenn eine versetzte Anordnung gewählt wird. Die Mindestabstände a_1 und $a_{3,t}$ dürfen reduziert werden, wenn mit einer verringerten Tragfähigkeit gerechnet wird.

		Typ A1/B1	Typ C1 bis C9 ²⁾	Typ C10 bis C11
a_1 ¹⁾	$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c$	$(1,2 + 0,3 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c$	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c$
a_2 ¹⁾	$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$1,2 \cdot d_c$	$1,2 \cdot d_c$	$1,2 \cdot d_c$
$a_{3,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2,0 \cdot d_c$	$1,5 \cdot d_c$	$1,5 \cdot d_c$ ³⁾
$a_{3,c}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$1,2 \cdot d_c$	$1,2 \cdot d_c$	$1,2 \cdot d_c$
	$30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(0,4 + 1,6 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$	$(0,9 + 0,6 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$	$(0,4 + 1,6 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$
$a_{4,c}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$0,6 \cdot d_c$	$0,6 \cdot d_c$ ²⁾	$0,6 \cdot d_c$
¹⁾ bei nicht versetzter Anordnung der Dübel ²⁾ bei Dübeln C3/C4 muss $d_c=130$ mm gesetzt werden, für Dübel C5 ist d_c =Kantenlänge (100 mm/130 mm) ³⁾ bei $1,5 \cdot d_c \leq a_{3,t} < 2,0 \cdot d_c$ muss die Tragfähigkeit abgemindert werden nach Gl. (8.22)				

Tab. 8-2 Mindestabstände in Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart

Dübel dürfen versetzt angeordnet und die Mindestabstände a_1 und a_2 untereinander verringert werden, wenn die Bedingung der Gl. (8.3) eingehalten wird:



$$k_{a1}^2 + k_{a2}^2 \geq 1 \quad \text{mit} \quad \begin{cases} 0 \leq k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases} \quad (8.3)$$

Abb. 8-2 versetzte Dübelanordnung

Nur für Dübel Typ A1 und B1 gilt: der Abstand $k_{a1} \cdot a_1$ darf nochmals um den Faktor $k_{s,red}$ mit $0,5 \leq k_{s,red} \leq 1,0$ verringert werden, wenn der Bemessungswert der Tragfähigkeit je Verbindungseinheit in Faserrichtung um den Faktor $k_{R,red}$ nach Gl. (8.4) abgemindert wird:

$$k_{R,red} = 0,2 + 0,8 \cdot k_{s,red} \quad (8.4)$$

8.1.3 Tragfähigkeitsnachweis

Der Tragfähigkeitsnachweis wird mit den beiden nachfolgenden Gleichungen geführt:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\alpha,Rd}} \leq 1 \quad \text{und} \quad (8.5)$$

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd}} \leq 1 \quad (8.6)$$

$F_{v,Ed}$ Bemessungswert Scherbeanspruchung je Verbindungseinheit und Scherfuge

$F_{v,\alpha,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit je Verbindungseinheit in Lastrichtung

$F_{v,0,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit je Verbindungseinheit in Faserrichtung

α Winkel zwischen Scherkraft und Faserrichtung, $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

n_{ef}/n Abminderungsfaktor der Tragfähigkeit wenn mehrere Verbindungseinheiten in Faserrichtung hintereinander liegen, siehe Tab. 8-3

Der Bemessungswert der Belastung je Verbindungseinheit und Scherfuge wird berechnet mit

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{Ed}}{n \cdot m \cdot p} \quad (8.7)$$

F_{Ed} Bemessungswert der Scherbeanspruchung der gesamten Dübelverbindung

n Anzahl von VE in einer Reihe in Faserrichtung hintereinander

m Anzahl der VE-Reihen senkrecht zur Faserrichtung

p Anzahl der Scherfugen je VE

$n \cdot m \cdot p$ Gesamtzahl der Scherfugen zur Übertragung von F_d

8.1.4 Wirksame Anzahl von Verbindungseinheiten in Faserrichtung (n_{ef})

Wegen der Spaltgefahr des Holzes ist für mehrere in Faserrichtung hintereinander angeordnete Verbindungseinheiten die wirksame Anzahl n_{ef} nach Gl. (8.8) zu bestimmen. Es ist nicht sinnvoll mehr als 10 Dübel in Faserrichtung hintereinander anzuordnen.

$$n_{ef} = 2 + \left(1 - \frac{n}{20}\right) \cdot (n - 2) \quad (8.8)$$

								n									
	2		3		4		5		6		7		8		9		10
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
2,00	1,000	2,85	0,950	3,60	0,900	4,25	0,850	4,80	0,800	5,25	0,750	5,60	0,700	5,85	0,650	6,00	0,600

Tab. 8-3 Effektive Anzahl n_{ef} und Abminderungsfaktoren n_{ef}/n

Unter welcher Bedingung sind Dübel als in Faserrichtung hintereinander angeordnet zu betrachten? Dübel müssen zur Berechnung von n_{ef} dann als auf einer Linie liegend angenommen werden, wenn für den Abstand senkrecht zur Faserrichtung folgende Bedingung erfüllt ist:

$$k_{a2} \cdot a_2 < 0,5 \cdot k_{a1} \cdot a_1 \quad (8.9)$$

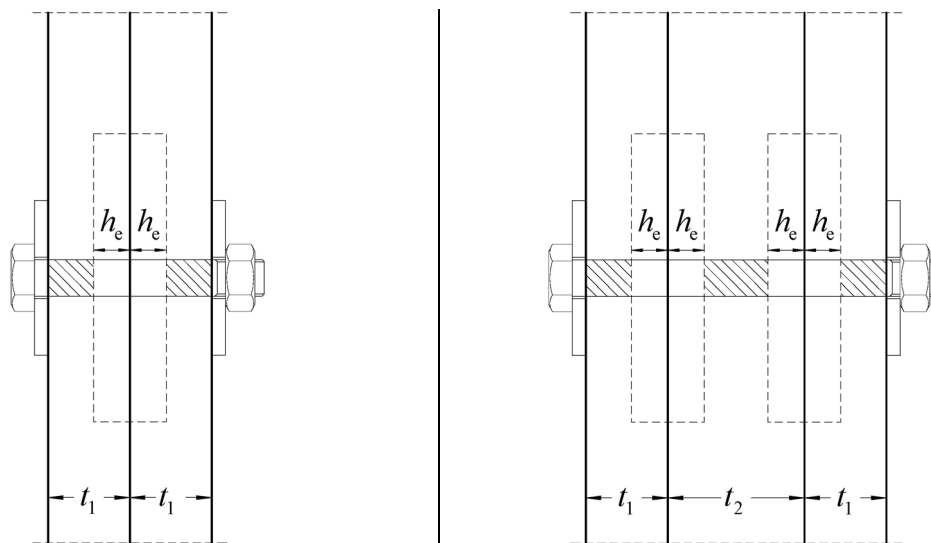
Hierbei sind für a_1 und a_2 die Mindestabstände einzusetzen.

8.1.5 Bestimmung der Nettoquerschnittsfläche der Holzbauteile

Querschnittsschwächungen durch Verbindungseinheiten (Dübel mit Bolzen/Nagel/Holzschraube) müssen nicht berücksichtigt werden, wenn sie in der Druckzone von Holzbauteilen liegen.

Querschnittsschwächungen in der Zugzone von Holzbauteilen infolge des Einlassens bzw. EinpresSENS von Dübeln werden als *Dübeldefehlflächen* ΔA bezeichnet. Rechenwerte für ΔA sind für jeden Dübeltyp und Dübeldurchmesser in [DIN 2] festgelegt.

Querschnittsschwächungen durch Bohrungen für die zugehörigen Bolzen/Nägels/Holzschrauben der Verbindungseinheiten müssen ebenfalls berücksichtigt werden, wenn sie in der Zugzone von Holzbauteilen liegen. Die rechnerische Länge der Löcher darf hierbei um die Einlass- bzw. Einpresstiefe h_e verringert werden. Der Anteil der Querschnittsschwächung durch Bohrungen ist in der nachfolgenden Abbildung schraffiert dargestellt.



Tab. 8-4 Anteil der Querschnittsschwächung durch Bolzen-/Nagel-/Schraubenlöcher

8.2 Verbindungen mit Ringdübeln Typ A1 und Scheibendübeln Typ B1

8.2.1 Allgemeines zu Dübeln Typ A1 und B1

Bei Dübelverbindungen mit Typ A1 und Typ B1 dürfen anstelle von Bolzen profilierte Nägel oder Holzschrauben verwendet werden, wenn der Dübeldurchmesser $d_c \leq 95$ mm beträgt.

Dübel der Typen A1 und B1 werden aus Aluminium-Gusslegierung hergestellt. Sie dürfen nur in den Nutzungsklassen 1 und 2 verwendet werden.

Dübel Typ A1 sind geschlossene Ringe bzw. Ringe mit einem Spalt an einer Stelle des Umfanges mit einer linsenförmigen Querschnittsfläche. Sie werden für Holz-Holz-Verbindungen verwendet.

Scheibendübel Typ B1 bestehen aus einer kreisrunden Scheibe mit umlaufendem Flansch und einer zylindrischen Nabe mit einem Bolzenloch in der Scheibenmitte. Sie werden für Stahlblech-Holz-Verbindungen mit außen liegenden Stahlblechen verwendet.

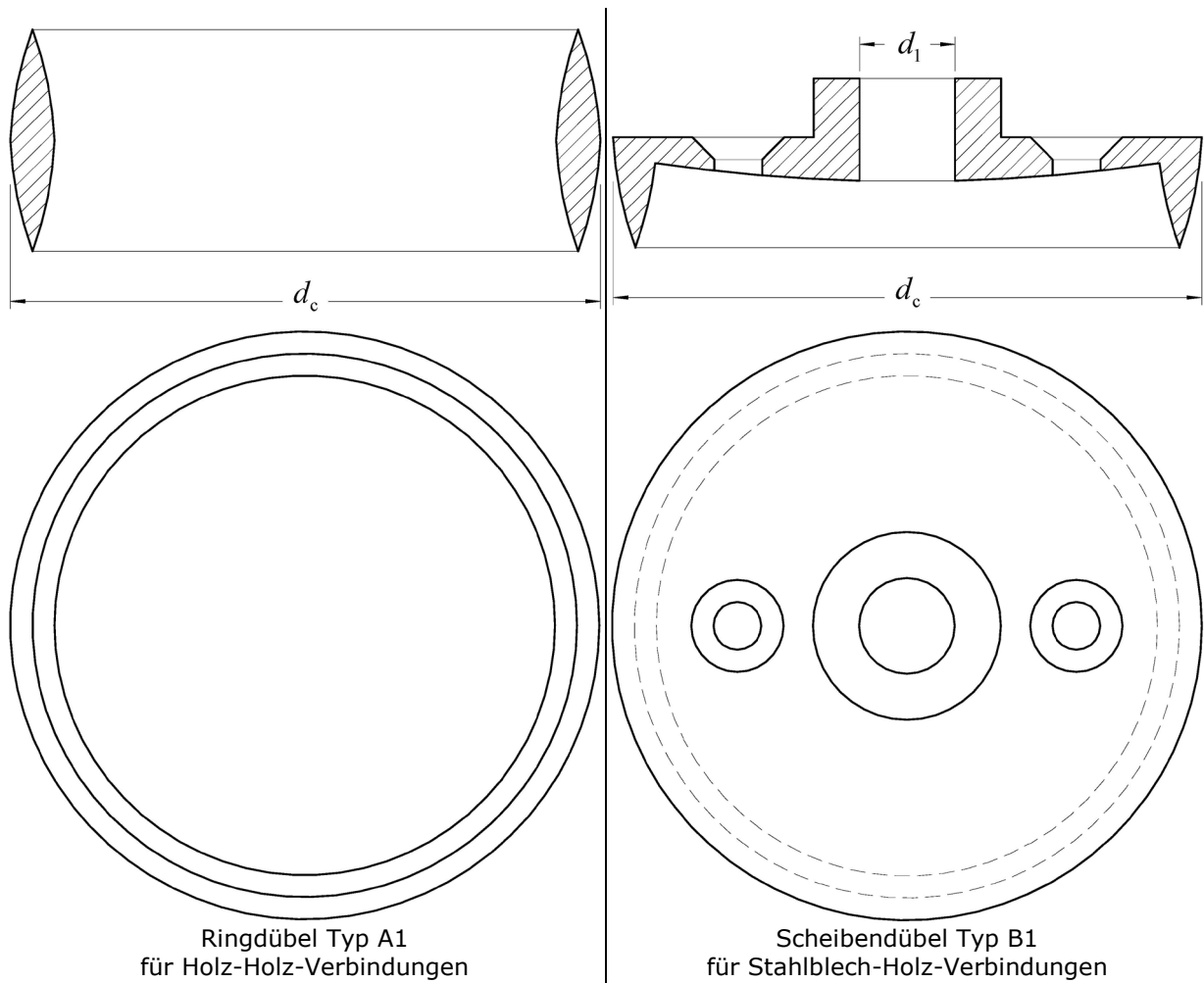


Abb. 8-3 Ringdübel Typ A1 und Scheibendübel Typ B1

8.2.2 Tragfähigkeit von Verbindungen mit Typ A1 und Typ B1

Bei Ringdübeln mit $d_c \leq 95 \text{ mm}$ dürfen für den Anschluss von Vollholz-, Brettschichtholz-, Balkenschichtholz- oder Furnierschichtholzquerschnitten an Brettschichtholz die Werte für die charakteristischen Tragfähigkeiten auch dann in Rechnung gestellt werden, wenn die Bolzen durch profilierte Nägel oder Holzschrauben ersetzt werden. Das gilt auch bei Scheibendübeln des Typs B1 entsprechender Dübeldurchmesser für den Anschluss von Stahlteilen an Brettschichtholz. Der charakteristische Wert des Auszieh Widerstandes $F_{ax,Rk}$ der profilierten Nägel oder Holzschrauben muss mindestens das 0,25-fache der charakteristischen Tragfähigkeit einer Verbindungseinheit, bestehend aus Dübel und Bolzen/Nägel/Holzschraube, betragen. Die Bolzen/Nägel/Holzschrauben leisten zur Tragfähigkeit der Verbindungseinheiten mit Ringdübeln und Scheibendübeln keinen nennenswerten Beitrag, da sie ihre Grenztragfähigkeit erst bei Verschiebungen von etwa 5 bis 10 mm erreichen, während Ring- und Scheibendübel bereits bei Verschiebungen von 1 bis 2 mm versagen.

Die Tragfähigkeit der Dübel Typ A1 und B1 hängt vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung ab.

$$F_{v,\alpha,Rd} = \frac{F_{v,0,Rd}}{(1,3 + 0,001 \cdot d_c) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.10)$$

$F_{v,\alpha,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit je Verbindungseinheit in Lastrichtung
$F_{v,0,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit je Verbindungseinheit in Faserrichtung
d_c	Dübeldurchmesser in mm
α	Winkel zwischen Scherkraft und Faserrichtung, $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

Die Tragfähigkeit in Faserrichtung wird für Verbindungseinheiten mit Dübeln des Durchmessers $d_c \leq 200 \text{ mm}$ nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$F_{v,0,Rd} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot \min \left\{ \frac{35 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot d_c^{1,5}}{31,5 \cdot k_1 \cdot k_3 \cdot h_e \cdot d_c} \right\}, \quad F_{v,0,Rd} [\text{N}] \quad \text{mit } h_e [\text{mm}] \quad \text{und } d_c [\text{mm}] \quad (8.11)$$

k_{mod} Modifikationsbeiwert

$\gamma_M = 1,3$ Teilsicherheitsbeiwert für Verbindungen,
für außergewöhnliche Bemessungssituationen ist $\gamma_M = 1,0$ anzunehmen

Beiwert k_1 :

$$k_1 = \min \left\{ 1; \frac{t_1}{3 \cdot h_e}^{1)}; \frac{t_2}{5 \cdot h_e}^{2)} \right\} \quad (8.12)$$

- 1) bei einschnittigen Holz-Holz-Dübelverbindungen ist bei unterschiedlich dicken Seitenhölzern für t_1 der kleinere Wert einzusetzen
- 2) bei einschnittigen Dübelverbindungen ist $\frac{t_2}{5 \cdot h_e} = 1$ einzusetzen

Beiwert k_2 :

$k_2 = 1,0$. Für den Fall, dass bei einem Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung von $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ in Faserrichtung gemessen ein beanspruchter Rand bei vorhanden ist, wird k_2 wie folgt berechnet:

$$k_2 = \begin{cases} 1,25 & \text{für Verbindungen mit 1 Dübel je Scherfuge} \\ 1,0 & \text{für Verbindungen mit } >1 \text{ Dübel je Scherfuge} \end{cases} \quad (8.13)$$

Beiwert k_3 :

$$k_3 = \min \left\{ 1,75; \frac{\rho_k}{350} \right\} \quad (8.14)$$

Beiwert k_4 :

$$k_4 = \begin{cases} 1,0 & \text{für Holz-Holz-Verbindungen} \\ 1,1 & \text{für Stahlblech-Holz-Verbindungen} \end{cases} \quad (8.15)$$

8.2.3 Bemessungshilfe Tragfähigkeit von Dübeln Typ A1 und Typ B1

In der folgenden Tabelle sind die Bemessungswerte $F_{v,0,Rd}$ für die Tragfähigkeit je Scherfuge und Dübel nach Gln. (8.11) bis (8.15) gegeben. Sie gelten für einen Winkel zwischen Kraft- und Faser-richtung $\alpha = 0^\circ$.

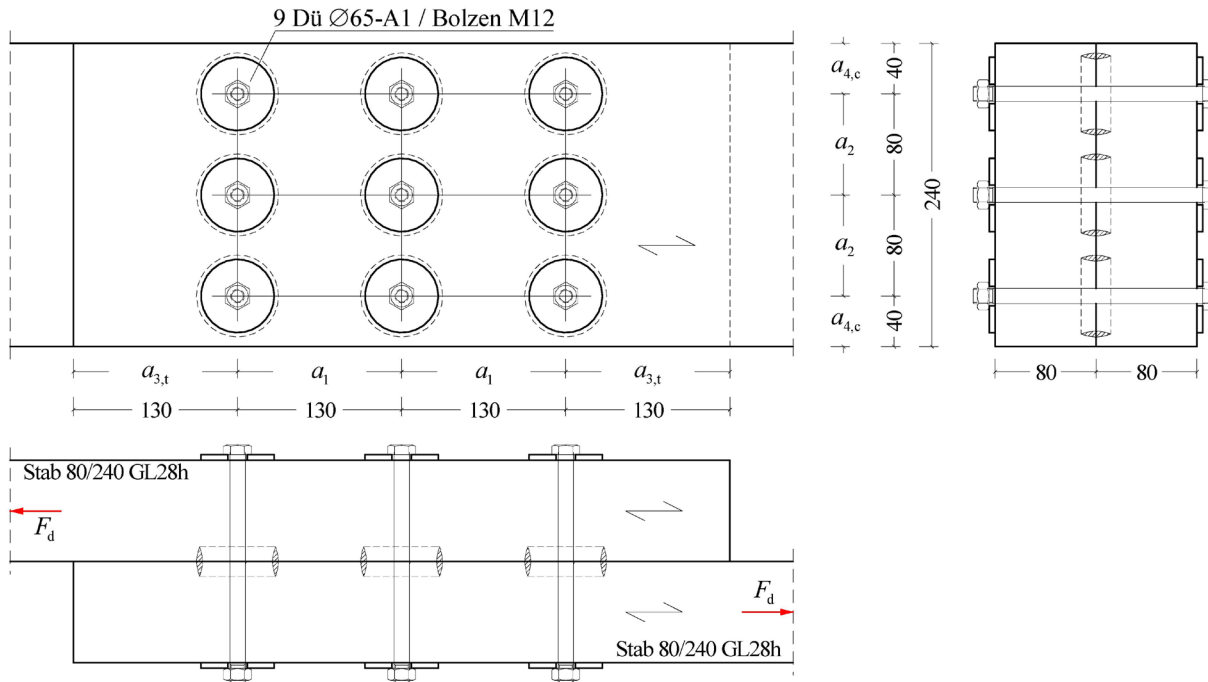
Bemessungswerte der Tragfähigkeit $F_{v,0,Rd}^{1)2)}$ von Dübeln Typ A1 und B1 bei KLED mittel in NKL 1 und 2															
Dübeldurchmesser d_c Einbindetiefe h_c für Holzdicken $t_1 \geq 3 \cdot h_c$ und $t_2 \geq 5 \cdot h_c$				Bolzendurchmesser d Dübelfehlfläche ΔA für Randabstand $\alpha \leq 30^\circ \rightarrow a_{3,t} \geq 2 \cdot d_c$ $\alpha > 30^\circ \rightarrow a_{3,t} \geq 1,5 \cdot d_c$											
d_c	d	h_c	ΔA	$t_1 \geq$	$t_2 \geq$	$a_{3,t} \geq$ $\alpha \leq 30^\circ \mid \alpha > 30^\circ$		$F_{v,0,Rd}$ [kN]							
[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]		C24	C30	GL24c	GL24h	GL28c	GL28h	GL32c	GL32h
Typ A1 (zweiseitig)															
65	12 ÷ 24	15,0	980	45	75	130	97,5	11,3	12,3	11,8	12,4	12,6	13,7	12,9	14,2
80	12 ÷ 24	15,0	1.200	45	75	160	120	15,4	16,7	16,1	17,0	17,2	18,7	17,6	19,4
95	12 ÷ 24	15,0	1.430	45	75	190	142,5	19,9	21,7	20,8	21,9	22,2	24,2	22,8	25,1
126	12 ÷ 24	15,0	1.890	45	75	252	189	30,5	33,1	31,8	33,5	33,9	37,0	34,8	38,3
128	12 ÷ 24	22,5	2.880	68	113	256	192	31,2	33,9	32,5	34,3	34,8	37,9	35,6	39,2
160	16 ÷ 24	22,5	3.600	68	113	320	240	43,6	47,3	45,5	47,9	48,6	52,9	49,8	54,8
190	19 ÷ 24	22,5	4.280	68	113	380	285	56,4	61,2	58,8	62,0	62,9	68,5	64,5	70,9
Typ B1 (einseitig)															
65	12	15,0	980	45	75	130	97,5	12,4	13,5	12,9	13,7	13,8	15,1	14,2	15,6
80	12	15,0	1.200	45	75	160	120	17,0	18,4	17,7	18,6	18,9	20,6	19,4	21,3
95	12	15,0	1.430	45	75	190	142,5	21,9	23,8	22,9	24,1	24,4	26,6	25,1	27,6
128	12	22,5	2.880	68	113	256	192	34,3	37,3	35,8	37,7	38,2	41,7	39,2	43,1
160	16	22,5	3.600	68	113	320	240	47,9	52,1	50,0	52,7	53,4	58,2	54,8	60,3
190	16	22,5	4.280	68	113	380	285	62,0	67,4	64,7	68,3	69,1	75,3	70,9	78,0
¹⁾ Werte $F_{v,0,Rd}$ gelten für Verbindungen mit 2 oder mehr Dübeln je Scherfuge. Falls nur ein Dübel je Scherfuge vorhanden ist, darf der Bemessungswert der Tragfähigkeit ggfs. um 25% erhöht werden.															
²⁾ Werte $F_{v,0,Rd}$ gelten nur, wenn die Mindestwerte für t_1 , t_2 und $a_{3,t}$ eingehalten werden. Falls diese Werte unterschritten sind, muss die Berechnung nach Gln. (8.11) bis (8.15) erfolgen.															
Für andere KLED sind die Werte $F_{v,0,Rd}$ zu multiplizieren mit: ständig: 0,750; lang: 0,875; kurz: 1,125															

Tab. 8-5 Tragfähigkeit von Dübeln Typ A1/B1 bei $\alpha = 0^\circ$

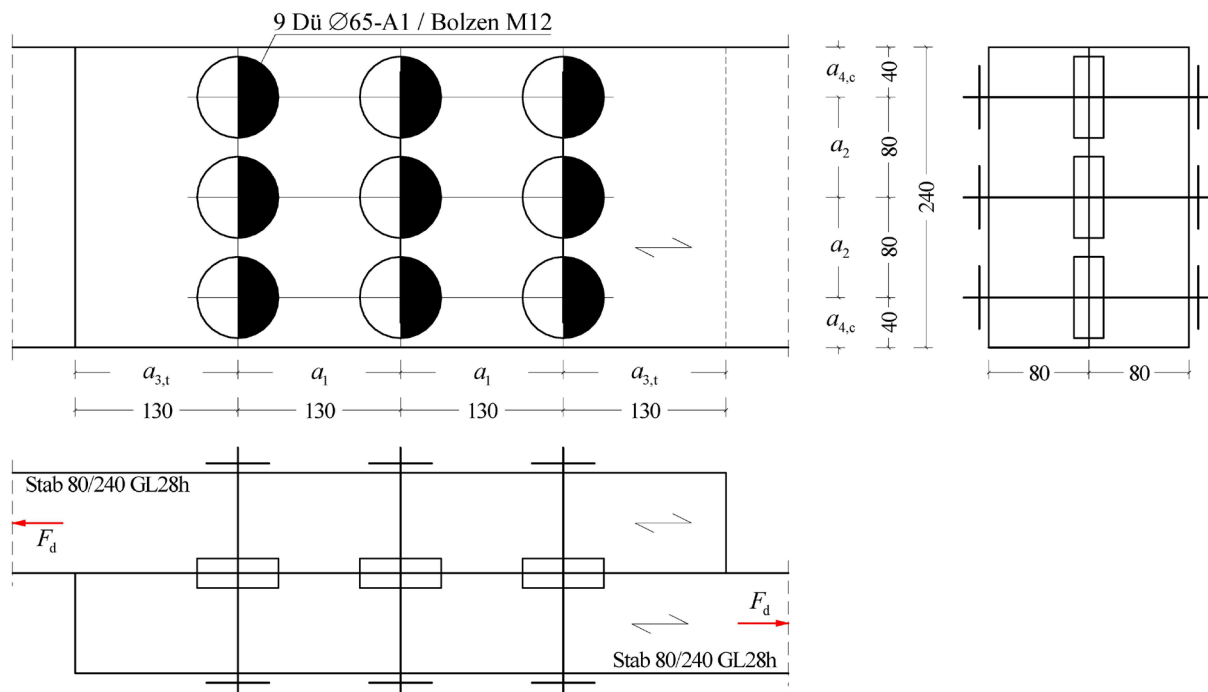
Beispiel 8-1 Einschnittige Holz-Holz-Verbindung GL28h mit Dübeln Typ A1 $\varnothing 65$ mm

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

Detaillierte Darstellung:



Schematische Darstellung:



	Vorschrift	Mindestabstand $\alpha = 0^\circ$, $d_c = 65$ mm	vorhandener Abstand
a_1	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c$	130 mm	130 mm
a_2	$1,2 \cdot d_c$	78 mm	80 mm
$a_{3,t}$	$2,0 \cdot d_c$	130 mm	130 mm
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$0,6 \cdot d_c$	39 mm	40 mm

Dübelanordnung

Mindestholzdicke in der einschnittigen Verbindung ($t_1 = 80$ mm) $\geq (2,25 \cdot h_e = 2,25 \cdot 15 = 34$ mm)

Tragfähigkeit je Dübel

$$k_1 = \min \left\{ 1 ; \frac{t_1}{3 \cdot h_e} ; \frac{t_2}{5 \cdot h_e} \right\} = \min \left\{ 1 ; \frac{80}{3 \cdot 15} ; \frac{80}{5 \cdot 15} \right\} = 1,0$$

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \text{ für Verbindungen mit 1 Dübel je Scherfuge} \\ 1,0 \text{ für Verbindungen mit } >1 \text{ Dübel je Scherfuge} \end{array} \right\} = 1,0$$

$$k_3 = \min \left\{ 1,75 ; \frac{\rho_k}{350} \right\} = \min \left\{ 1,75 ; \frac{410}{350} \right\} = 1,17$$

$$k_4 = \left[\begin{array}{l} 1,0 \text{ für Holz-Holz-Verbindungen} \\ 1,1 \text{ für Stahlblech-Holz-Verbindungen} \end{array} \right] = 1,0$$

$$F_{v,0,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 35 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot d_c^{1,5} \\ 31,5 \cdot k_1 \cdot k_3 \cdot h_e \cdot d_c \end{array} \right\} = \frac{0,8}{1,3} \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 35 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,17 \cdot 1,0 \cdot 65^{1,5} \\ 31,5 \cdot 1,0 \cdot 1,17 \cdot 15 \cdot 65 \end{array} \right\}$$

$$= \frac{0,8}{1,3} \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 21.486 \\ 35.406 \end{array} \right\} = 13.222 \text{ N} = 13,222 \text{ kN}$$

$$F_{v,\alpha,Rd} = F_{v,0,Rd}$$

Tragfähigkeitsnachweis für die Scherfläche einer einzelnen VE bei der vorhandenen Lastrichtung:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\alpha,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow F_{v,Ed} \leq F_{v,\alpha,Rd} \rightarrow \frac{F_d}{9} \leq F_{v,\alpha,Rd} \rightarrow F_d \leq 9 \cdot F_{v,\alpha,Rd} \rightarrow F_d \leq 9 \cdot 13,222 = 119,0 \text{ kN}$$

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

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd}} = \frac{(F_d/9) \cdot \cos 0^\circ}{0,950 \cdot 13,222} \leq 1 \rightarrow F_d \leq 9 \cdot 0,950 \cdot 13,222 = 113,0 \text{ kN}$$

Maximale aufnehmbare Kraft der Hölzer im Anschlussbereich mit $f_{t,0,d} = 12,0$ N/mm²:

Zugstab einseitig beansprucht wie außen liegende Laschen, Schraubenbolzen:

$$A_n = 80 \cdot 240 - 3 \cdot \left(80 - \underbrace{15}_{h_e} \right) \cdot \underbrace{(12 + 1)}_{\substack{\text{Bolzen-}\varnothing \\ + 1 \text{ mm}}} - 3 \cdot \underbrace{980}_{\Delta A} = 13.725 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{F_d/A_n}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} \rightarrow F_d = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d} \cdot A_n = \frac{2}{3} \cdot 12 \cdot 13.725 = 109.800 \text{ N} \approx 109,8 \text{ kN}$$

Die maximale von der Verbindung aufnehmbare Kraft beträgt: $F_d = 109,8$ kN

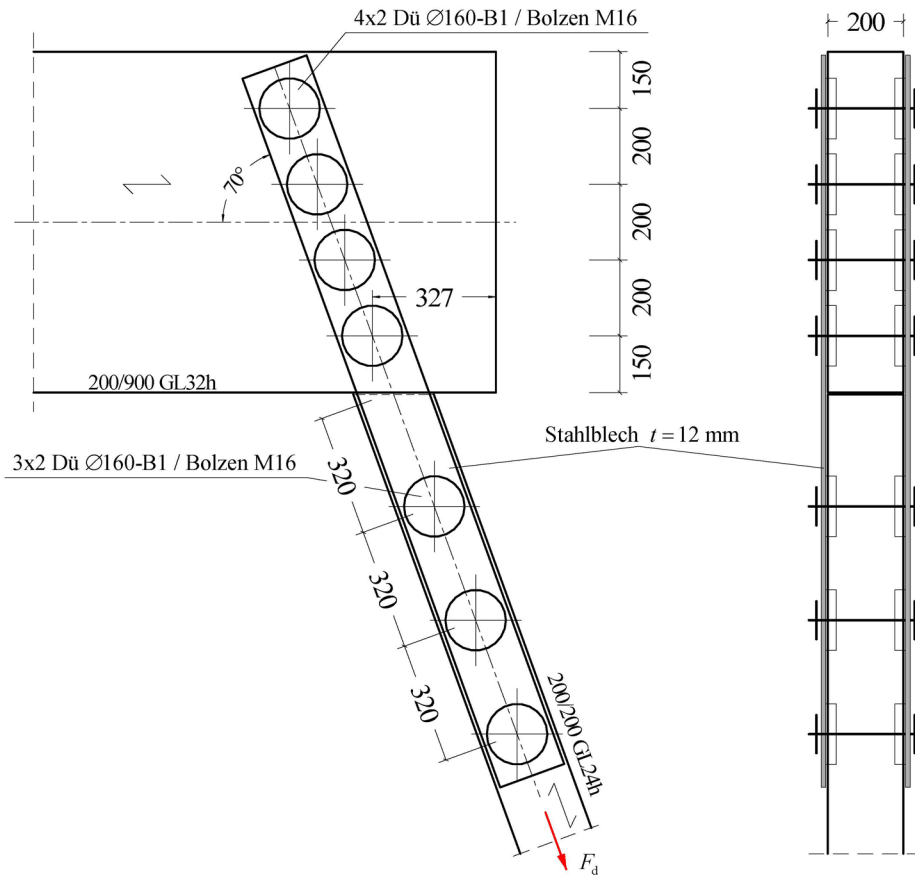
Ende Beispiel 8-1

Beispiel 8-2 Zweischnittige Stahlblech-Holz-Verbindung mit Dübeln Typ B1 $\varnothing 160$ mm

An das auskragende Ende eines horizontalen Balkens ist ein geneigter Zugstab mit Stahlflaschen und Dübeln B1 $\varnothing = 160$ mm angeschlossen.

Der Bemessungswert der Zugkraft beträgt $F_d = 330$ kN

Die Nutzungsklasse ist NKL 1 und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist KLED kurz.



Überprüfung der Dübelanordnung:

horizontaler Balken:

	Vorschrift	Mindestabstand bei $\alpha = 70^\circ$ und $d_c = 160$ [mm]	vorhandener Abstand [mm]
a_1	---	---	---
a_2	$1,2 \cdot d_c$	192	200
$a_{3,t}$	$2,0 \cdot d_c$	320	327
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$	126	150
$a_{4,c}$	$0,6 \cdot d_c$	96	150

geneigter Zugstab:

	Vorschrift	Mindestabstand bei $\alpha = 0^\circ$ und $d_c = 160$ [mm]	vorhandener Abstand [mm]
a_1	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c$	320	320
a_2	---	---	---
$a_{3,t}$	$2,0 \cdot d_c$	320	320
$a_{3,c}$	---	---	---
$a_{4,t}$	---	---	---
$a_{4,c}$	$0,6 \cdot d_c$	96	100

Mindestholzdicke in der zweischnittigen Verbindung:

$(t_2 = 200 \text{ mm}) \geq (3,75 \cdot h_c = 3,75 \cdot 22,5 = 84 \text{ mm}) \rightarrow \text{eingehalten}$

Tragfähigkeitsnachweis der Dübel (Tragfähigkeit der Bolzen darf nicht angesetzt werden)

horizontaler Balken $\alpha = 70^\circ$	geneigter Zugstab $\alpha = 0^\circ$
$k_1 = \min \left\{ 1 ; 1 ; \frac{200}{5 \cdot 22,5} \right\} = 1,0$	$k_1 = \min \left\{ 1 ; 1 ; \frac{200}{5 \cdot 22,5} \right\} = 1,0$
$k_2 = 1,0$	$k_2 = 1,0$
$k_3 = \min \left\{ 1,75 ; \frac{430}{350} \right\} = 1,229$	$k_3 = \min \left\{ 1,75 ; \frac{380}{350} \right\} = 1,086$
$k_4 = 1,1$	$k_4 = 1,1$
$F_{v,0,Rd} = \frac{0,9}{1,3} \cdot \min \left\{ 35 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,229 \cdot 1,1 \cdot 160^{1,5} \right\}$	$F_{v,0,Rd} = \frac{0,9}{1,3} \cdot \min \left\{ 35 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,086 \cdot 1,1 \cdot 160^{1,5} \right\}$
$F_{v,0,Rd} = \frac{0,9}{1,3} \cdot \min \left\{ 95.728 \right\} = 66.270 \text{ N}$	$F_{v,0,Rd} = \frac{0,9}{1,3} \cdot \min \left\{ 84.620 \right\} = 58.580 \text{ N}$
$F_{v,\alpha,Rd} = \frac{66.270}{(1,3 + 0,001 \cdot 160) \cdot \sin^2 70^\circ + \cos^2 70^\circ}$	
$F_{v,\alpha,Rd} = 47.130 \text{ N}$	$F_{v,\alpha,Rd} = F_{v,0,Rd} = 58.580 \text{ N}$
Tragfähigkeitsnachweis die Dübel	Tragfähigkeitsnachweis die Dübel
$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\alpha,Rd}} = \frac{330.000}{8 \cdot 47.130} = 0,88 < 1$	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,\alpha,Rd}} = \frac{330.000}{6 \cdot 58.580} = 0,94 < 1$
$\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd}} = \frac{330.000 \cdot \cos 70^\circ}{8 \cdot 1,0 \cdot 66.270} = 0,21 < 1$	$\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd}} = \frac{330.000 \cdot \cos 0^\circ}{6 \cdot 0,950 \cdot 58.580} = 0,99 < 1$

Tragfähigkeitsnachweis für den geschwächten Holzquerschnitt des geneigten Zugstabes

$$f_{t,0,d} = 1,125 \cdot 10,2 = 11,5 \text{ N/mm}^2$$

$$A_n = 200 \cdot 200 - \underbrace{2 \cdot \underbrace{3.600}_{\Delta A}}_{\text{Dübeln}} - 1 \cdot \underbrace{\left(200 - 2 \cdot \underbrace{22,5}_{h_c} \right) \cdot \underbrace{(16 + 1)}_{\text{Bolzen-}\varnothing + 1 \text{ mm}}}_{\text{zusätzliche Schwächung durch Bolzenloch}} = 30.165 \text{ mm}^2$$

Zugstab symmetrisch beansprucht

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{F_d/A_n}{f_{t,0,d}} = \frac{330.000/30.165}{11,5} = \frac{10,94}{11,5} = 0,95 < 1$$

Ende Beispiel 8-2

8.3 Verbindungen mit Scheibendübeln mit Zähnen oder Dornen Typ C

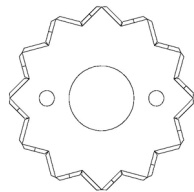
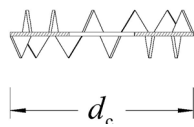
8.3.1 Allgemeines zu Dübeln Typ C

Dübelverbindungen mit Scheibendübeln mit Zähnen der Typen C1 bis C5 und Scheibendübeln mit Dornen der Typen C10 und C11 werden jeweils mit Bolzen zusammengehalten, siehe Abb. 8-1. Unter dem Kopf und der Mutter der Bolzen mit dem Durchmesser d müssen Unterlegscheiben mit einer Seitenlänge oder einem Durchmesser von mindestens $3 \cdot d$ und einer Dicke von mindestens $0,3 \cdot d$ eingebaut werden. Die Unterlegscheiben müssen vollflächig anliegen. Bei Verbindungen mit beiden Dübeltypen dürfen anstelle von Bolzen profilierte Nägel oder Holzschrauben verwendet werden, wenn der Dübeldurchmesser $d_c \leq 117$ mm beträgt.

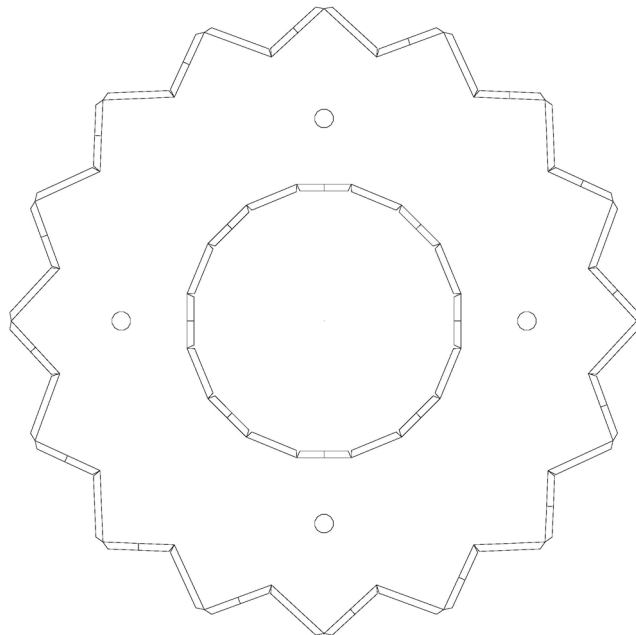
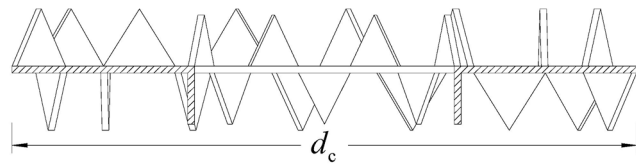
Die Gruppe, bestehend aus Dübel und Bolzen/Nagel/Holzschraube, wird als *Verbindungseinheit* bezeichnet.

Scheibendübel mit Zähnen der Typen C1 bis C5 (siehe Abb. 8-4 bis Abb. 8-7) sind ein- bzw. zweiseitige Dübel, die aus einer kreisförmigen, ovalen oder quadratischen Scheibe bestehen, deren Ränder derart eingeschnitten und aufgebogen sind, dass auf einer oder beiden Scheibenseiten dreieckige Zähne unter 90° zur Scheibenfläche hervorstehen. Sie werden aus weichem kaltgewalztem Bandstahl hergestellt.

Scheibendübel mit Dornen der Typen C11 und C10 (siehe Abb. 8-8) sind ein- bzw. zweiseitige Dübel, die aus einem Scheibenring mit Dornen auf einer oder beiden Seiten bestehen. Sie werden aus Temperguss hergestellt.



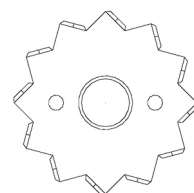
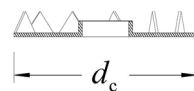
$\varnothing d_c < 95 \text{ mm}$



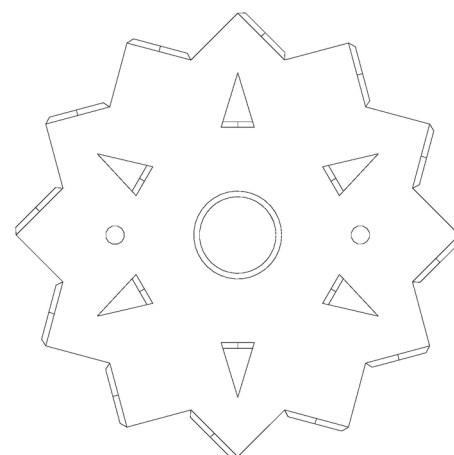
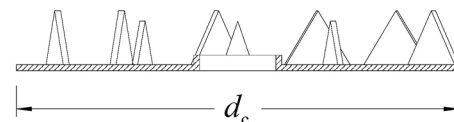
$\varnothing d_c \geq 95 \text{ mm}$

für Holz-Holz-Verbindungen

Abb. 8-4 zweiseitige Scheibendübel mit Zähnen Typ C1



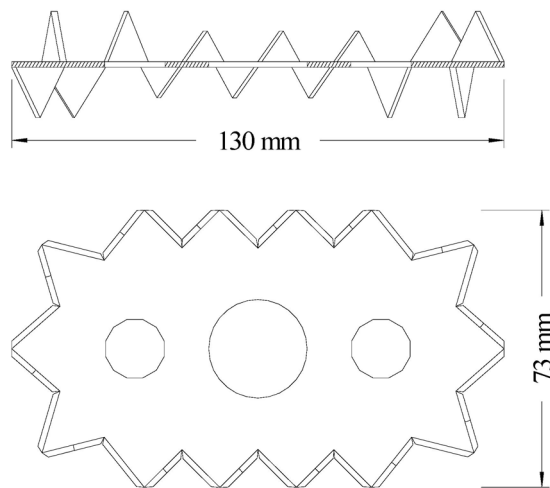
$\varnothing d_c < 95 \text{ mm}$



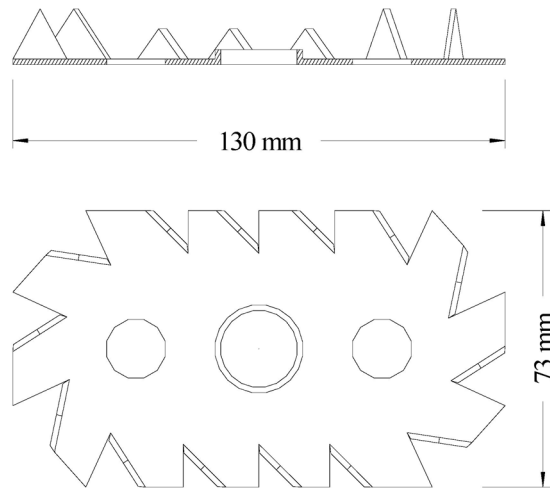
$\varnothing d_c \geq 95 \text{ mm}$

für Stahlblech-Holz-Verbindungen oder Rückseite an Rückseite in Holz-Holz-Verbindungen

Abb. 8-5 einseitige Scheibendübel mit Zähnen Typ C2

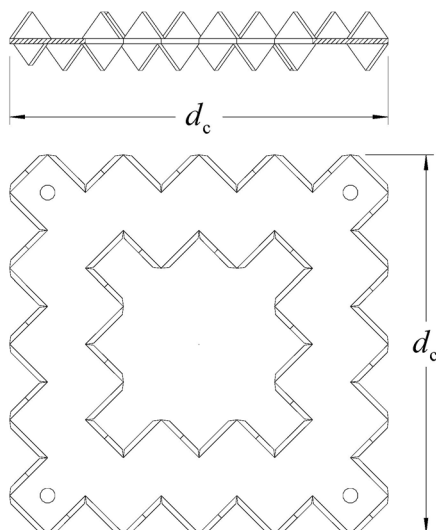


Typ C3: $d_c = \sqrt{73 \cdot 130} = 97 \text{ mm}$
für Holz-Holz-Verbindungen



Typ C4: $d_c = \sqrt{73 \cdot 130} = 97 \text{ mm}$
für Stahlblech-Holz-Verbindungen oder Rück-
seite an Rückseite in Holz-Holz-Verbindungen

Abb. 8-6 zweiseitige und einseitige Scheibendübel mit Zähnen Typ C3 und C4



für Holz-Holz-Verbindungen

Abb. 8-7 zweiseitige quadratische Scheibendübel mit Zähnen Typ C5

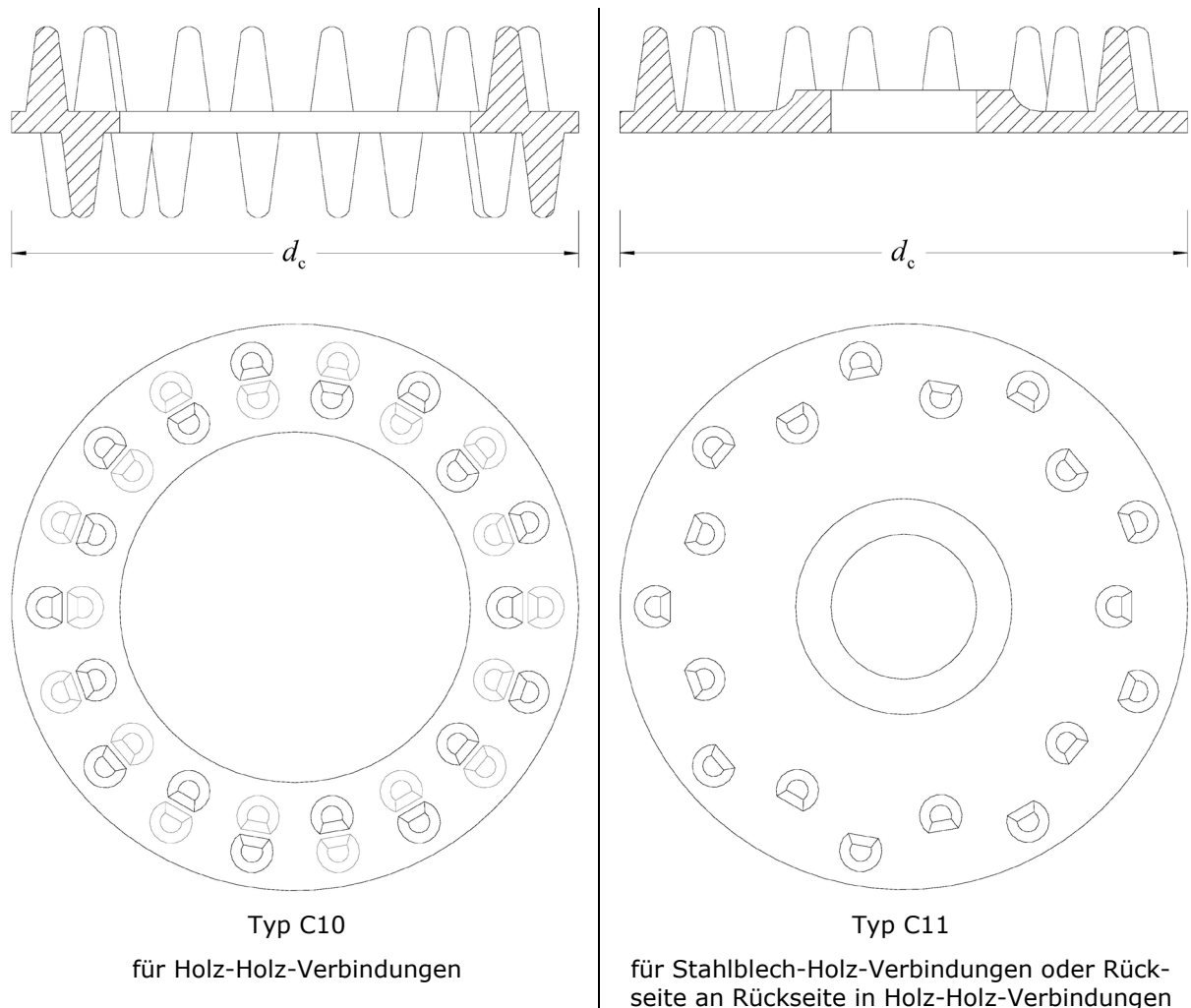


Abb. 8-8 zweiseitige und einseitige Scheibendübel mit Dornen Typ C10 und C11

8.3.2 Tragfähigkeit von Verbindungen mit Dübeln Typ C

Bei ein- und zweiseitigen Scheibendübeln mit Zähnen oder Dornen mit Dübeln durchmessern $d_c \leq 117 \text{ mm}$ dürfen für den Anschluss von Vollholz-, Brettschichtholz-, Balkenschichtholz- oder Furnierschichtholzquerschnitten an Brettschichtholz die Werte für die charakteristischen Tragfähigkeiten auch dann in Rechnung gestellt werden, wenn die Bolzen durch profilierte Nägel oder Holzschrauben ersetzt werden. Der charakteristische Wert des Auszieh Widerstandes $F_{ax,Rk}$ der profilierten Nägel oder Holzschrauben muss mindestens das 0,25-fache der charakteristischen Tragfähigkeit einer Verbindungseinheit betragen.

Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit von Verbindungen mit Scheibendübeln mit Zähnen sollte als die Summe der charakteristischen Tragfähigkeit der Scheibendübel mit Zähnen und der charakteristischen Tragfähigkeit der zugehörigen Bolzen angenommen werden. Bei Scheibendübeln mit Zähnen oder Dornen darf dabei die Tragfähigkeit des profilierten Nagels oder der Holzschraube nicht in Rechnung gestellt werden.

Die Tragfähigkeit wird für Verbindungseinheiten mit Dübeln des Durchmessers $d_c \leq 200$ mm nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$F_{v,0,Rd} = F_{v,Rd,D} + F_{v,0,Rd,B} \quad (8.16)$$

$$F_{v,\alpha,Rd} = F_{v,Rd,D} + F_{v,\alpha,Rd,B} \quad (8.17)$$

$$F_{v,Rd,D} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot 18 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1,5} \quad \text{für Typen C1 bis C9} \quad (8.18)$$

$$F_{v,Rd,D} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot 25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1,5} \quad \text{für Typen C10 und C11} \quad (8.19)$$

k_{mod} Modifikationsbeiwert

$\gamma_M = 1,3$ Teilsicherheitsbeiwert für Verbindungen,
für außergewöhnliche Bemessungssituationen ist $\gamma_M = 1,0$ anzunehmen

$F_{v,Rd,D}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit je Dübel Typ C unabhängig von der Lastrichtung

$F_{v,0,Rd,B}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfläche des Bolzens in Faserrichtung; wenn die Bolzen durch profilierte Nägel oder Holzschrauben ersetzt werden, ist $F_{v,0,Rd,B} = 0$

$F_{v,Rd,B}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfläche des Bolzens in Lastrichtung; wenn die Bolzen durch profilierte Nägel oder Holzschrauben ersetzt werden, ist $F_{v,Rd,B} = 0$

Beiwert k_1 :

$$k_1 = \min \left\{ 1 ; \frac{t_1}{3 \cdot h_e} ; \frac{t_2}{5 \cdot h_e} \right\} \quad (8.20)$$

Beiwert k_2 :

für Typ C1 bis C9

$$k_2 = 1$$

mit

$$a_{3,t} = \max \{ 1,5 \cdot d_c ; 7 \cdot d ; 80 \text{ mm} \}$$

(8.21)

für Typ C10 bis C11

$$k_2 = 1$$

mit

$$a_{3,t} = \max \{ 1,5 \cdot d_c ; 7 \cdot d ; 80 \text{ mm} \}$$

(8.22)

Beiwert k_3 :

$$k_3 = \min \left\{ 1,5 ; \frac{\rho_k}{350} \right\} \quad (8.23)$$

8.3.3 Bemessungshilfe Tragfähigkeit von Dübel Typ C

In sind die Bemessungswerte $F_{v,Rd,D}$ für die Tragfähigkeit je Scherfuge und Dübel nach Gln. (8.18) bis (8.23) gegeben. Sie gelten für alle Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung.

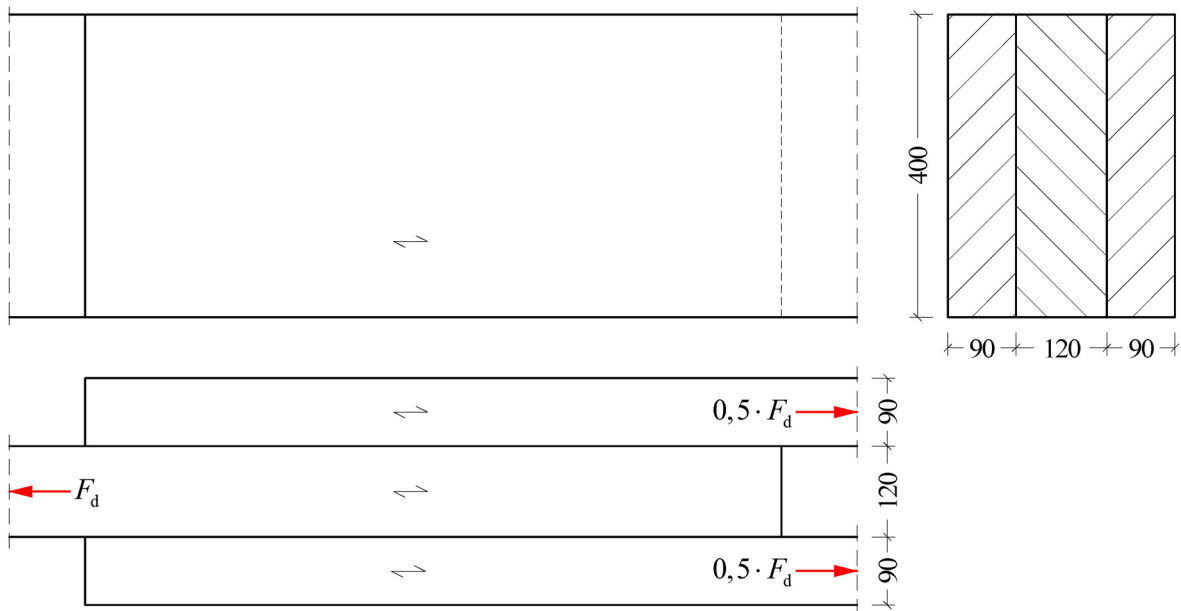
Bemessungswerte der Tragfähigkeit $F_{v,Rd,D}$ ¹⁾ von Dübeln Typ C bei KLED mittel in NKL 1 und 2														
Dübeldurchmesser d_c Einbindetiefe h_e für Holzdicken $t_1 \geq 3 \cdot h_e$ und $t_2 \geq 5 \cdot h_e$			Bolzendurchmesser d Dübelfehlfläche ΔA für Randabstände C1-C9: $a_{3,t} \geq 1,5 \cdot d_c$ C10-C11: $a_{3,t} \geq 2 \cdot d_c$				$F_{v,Rd,D}$ [kN]							
d_c [mm]	d [mm]	h_e [mm]	ΔA [mm ²]	$t_1 \geq$ [mm]	$t_2 \geq$ [mm]	$a_{3,t} \geq$ [mm]	C24	C30	GL24c	GL24h	GL28c	GL28h	GL32c	GL32h
Typ C1 (zweiseitig)														
50	10 ÷ 17	6,0	170	18	30	75	3,92	4,25	4,08	4,31	4,36	4,76	4,48	4,92
62	10 ÷ 21	7,4	300	22	37	93	5,41	5,87	5,64	5,95	6,03	6,57	6,18	6,80
75	10 ÷ 26	9,1	420	27	46	113	7,19	7,81	7,50	7,91	8,02	8,74	8,22	9,04
95	10 ÷ 30	11,3	670	34	57	143	10,3	11,1	10,7	11,3	11,4	12,5	11,7	12,9
117	10 ÷ 30	14,3	1.000	43	72	176	14,0	15,2	14,6	15,4	15,6	17,0	16,0	17,6
140	10 ÷ 30	14,7	1.240	44	74	210	18,3	19,9	19,1	20,2	20,4	22,3	21,0	23,1
165	10 ÷ 30	15,6	1.490	47	78	248	23,5	25,5	24,5	25,8	26,2	28,5	26,8	29,5
Typ C2 (einseitig)														
50	10/12/16/20	5,6	170	17	28	75	3,92	4,25	4,08	4,31	4,36	4,76	4,48	4,92
62	12/16/20	7,5	300	23	38	93	5,41	5,87	5,64	5,95	6,03	6,57	6,18	6,80
75	12/16/20/22/24	9,2	420	28	46	113	7,19	7,81	7,50	7,91	8,02	8,74	8,22	9,04
95	16/20/22/24	11,4	670	34	57	143	10,3	11,1	10,7	11,3	11,4	12,5	11,7	12,9
117	16/20/22/24	14,5	1.000	44	73	176	14,0	15,2	14,6	15,4	15,6	17,0	16,0	17,6
Typ C3 (zweiseitig)														
97	10 ÷ 26	13,3	1.110	40	66	146	10,6	11,5	11,0	11,6	11,8	12,8	12,1	13,3
Typ C4 (einseitig)														
97	16/20/22/24	13,3	1.110	40	66	146	10,6	11,5	11,0	11,6	11,8	12,8	12,1	13,3
Typ C5 (zweiseitig)														
100	10 ÷ 30	7,3	430	22	37	150	11,1	12,0	11,6	12,2	12,3	13,5	12,7	13,9
130	10 ÷ 30	9,3	690	28	46	195	16,4	17,8	17,1	18,1	18,3	19,9	18,8	20,6
Typ C10 (zweiseitig)														
50	10 ÷ 30	12,0	460	36	60	100	5,44	5,91	5,67	5,98	6,06	6,60	6,22	6,84
65	10 ÷ 30	12,0	590	36	60	130	8,06	8,75	8,41	8,87	9,0	9,8	9,2	10,1
80	10 ÷ 30	12,0	750	36	60	160	11,0	12,0	11,5	12,1	12,3	13,4	12,6	13,8
95	10 ÷ 30	12,0	900	36	60	190	14,2	15,5	14,9	15,7	15,9	17,3	16,3	17,9
115	10 ÷ 30	12,0	1.040	36	60	230	19,0	20,6	19,8	20,9	21,1	23,0	21,7	23,9
Typ C11 (einseitig)														
50	12	12,0	540	36	60	100	5,44	5,91	5,67	5,98	6,06	6,60	6,22	6,84
65	16	12,0	710	36	60	130	8,06	8,75	8,41	8,87	9,0	9,8	9,2	10,1
80	20	12,0	870	36	60	160	11,0	12,0	11,5	12,1	12,3	13,4	12,6	13,8
95	24	12,0	1.070	36	60	190	14,2	15,5	14,9	15,7	15,9	17,3	16,3	17,9
115	24	12,0	1.240	36	60	230	19,0	20,6	19,8	20,9	21,1	23,0	21,7	23,9
¹⁾ Werte $F_{v,Rd,D}$ gelten nur, wenn die Mindestwerte für t_1 , t_2 und $a_{3,t}$ eingehalten werden. Falls diese Werte unterschritten sind, muss die Berechnung nach Gln. (8.18) bis (8.23) erfolgen.														
Für andere KLED sind die Werte $F_{v,Rd,D}$ zu multiplizieren mit: ständig: 0,750; lang: 0,875; kurz: 1,125														

Tab. 8-6 Tragfähigkeit von Dübeln Typ C

Beispiel 8-3 Zweischnittige Holz-Holz-Verbindung GL32h mit Dübeln Typ C1/Bolzen 4.8

Der Stoß eines Stabes aus BSH GL32h soll für eine maximal aufnehmbare Zugkraft F_d entworfen werden. Hierbei wird untersucht, welcher Dübeldurchmesser am besten geeignet ist.

Die Nutzungsklasse ist NKL 1 und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist KLED kurz.



Welcher maximale Bolzendurchmesser ist zweckmäßig?

Zur Lösung der Aufgabe werden folgende Überlegungen angestellt:

- Welcher maximale Bolzendurchmesser ist bei den gegebenen Holzdicken sinnvoll?
- Wie groß ist der Nettoquerschnitt der Hölzer in Abhängigkeit vom Dübeldurchmesser und der daraus folgenden maximalen Anzahl der Reihen von Verbindungseinheiten?
- Wie groß ist die Tragfähigkeit im Nettoquerschnitt der Hölzer und wie viele Verbindungseinheiten werden benötigt um diese Tragfähigkeit herzustellen?

Maximaler sinnvoller Bolzendurchmesser

Für $d = 20 \text{ mm}$ beträgt die Mindestholzdicke der Seitenhölzer 89 mm und die Mindestholzdicke des Mittelholzes $t_{2,\text{req}} = 0,828 \cdot t_{1,\text{req}} = 73 \text{ mm}$. Bei der Wahl eines größeren Bolzens müsste eine Verringerung der Bolzentragfähigkeit in Kauf genommen werden.

Anzahl der Dübelreihen senkrecht zur Faser in Abhängigkeit vom Dübeldurchmesser

Aus den Mindestabständen a_2 und $a_{4,c}$ kann die maximale Anzahl von Dübelreihen senkrecht zur Faser berechnet werden. Die Anordnung wird so gewählt, dass „glatte Maße“ entstehen und dass die Randabstände der Bolzen ($a_{4,c} = 3 \cdot d$) eingehalten werden.

In der folgenden Tabelle sind Ergebnisse für die verschiedenen Dübel Typ C1 zusammengestellt.

Dübel-Parameter			Mindestabstände senkrecht Faser		gewählte Anordnung			Nettoquerschnitt und maximal mögliche Zuglast				
d_c	h_e	ΔA	a_2	$a_{4,c}$	n_{Reihen}	a_2	$a_{4,c}$	d	Seitenhölzer		Mittelholz	
[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]	$A_{n,1}$	$F_{d,1}$	$A_{n,2}$	$F_{d,2}$
									[mm ²]	[kN]	[mm ²]	[kN]
50	6,0	170	60,0	30,0	6	60	50	12	56.856	588	37.536	582
62	7,4	300	74,4	37,2	5	80	40	12	58.262	602	38.162	592
75	9,1	420	90,0	45,0	4	100	50	16	57.638	596	37.718	585
95	11,3	670	114,0	57,0	3	130	70	20	58.064	600	37.844	587
117	14,3	1.000	140,4	70,2	2	200	100	20	61.641	637	40.161	622
140	14,7	1.240	168,0	84,0	2	200	100	20	60.715	627	39.235	608
165	15,6	1.490	198,0	99,0	2	200	100	20	59.790	618	38.310	594

Tragfähigkeit im Nettoquerschnitt der Hölzer und Anzahl der Verbindungseinheiten

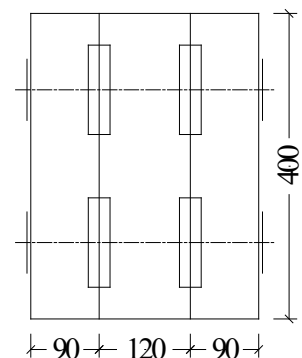
Nach der Berechnung der Nettoquerschnittsflächen von Seitenhölzern und Mittelholz können die Werte für die maximal aufnehmbare Zugkraft ermittelt werden. Hierzu ein Beispiel:

Dübel Typ C1, $d_c = 117$ mm mit Bolzen $d = 20$ mm in 2 Reihen senkrecht zur Faserrichtung

Summe der Nettoquerschnittsflächen der beiden Seitenhölzer

$$A_{n,1} = 2 \cdot \left\{ \underbrace{90 \cdot 400}_{36.000} - 2 \cdot \left[\underbrace{1.000}_{\Delta A} + \left(90 - \underbrace{14,3}_{h_e} \right) \cdot \underbrace{(20 + 1)}_{\text{Bolzen-}\varnothing + 1 \text{ mm}} \right] \right\} = 61.641 \text{ mm}^2$$

5.179,4



Nettoquerschnittsfläche des Mittelholzes

$$A_{n,2} = \underbrace{120 \cdot 400}_{48.000} - 2 \cdot \left[\underbrace{2 \cdot 1.000}_{\Delta A} + \left(120 - 2 \cdot \underbrace{14,3}_{h_e} \right) \cdot \underbrace{(20 + 1)}_{\text{Bolzen-}\varnothing + 1 \text{ mm}} \right] = 40.161 \text{ mm}^2$$

7838,8

Aufnehmbare Zugkraft der Seitenhölzer

$$f_{t,0,d} = 1,125 \cdot 13,8 = 15,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{F_d / A_{n,1}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} \rightarrow F_d = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d} \cdot A_{n,1} = \frac{2}{3} \cdot 15,5 \cdot 61.641 = 636.957 \text{ N} = 637 \text{ kN}$$

Aufnehmbare Zugkraft des Mittelholzes

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{F_d / A_{n,2}}{f_{t,0,d}} \rightarrow F_d = f_{t,0,d} \cdot A_{n,2} = 15,5 \cdot 37.536 = 622.499 \text{ N} = 622 \text{ kN} \text{ maßgeblich}$$

Die höchste aufnehmbare Zugkraft aus dem Tragfähigkeitsnachweise der Hölzer beträgt 622 kN mit einem Dübel Typ C1 mit $d_c = 117$ mm und einem Bolzen 4.8, $d = 20$ mm. Hierfür wird die Tragfähigkeit einer Verbindungseinheit je Scherfläche berechnet:

$$F_{v,Rd,D} = 1,125 \cdot 17,6 = 19,8 \text{ kN} \text{ Tragfähigkeit je Dübel Scherbeanspruchung}$$

$$F_{v,0,Rd,B} = 1,25 \cdot F_{v,Rd,Joh} = 1,25 \cdot 1,125 \cdot 1,121 \cdot 1,054 \cdot 10,95 = 18,2 \text{ kN je Bolzen mit Unterlegscheiben}$$

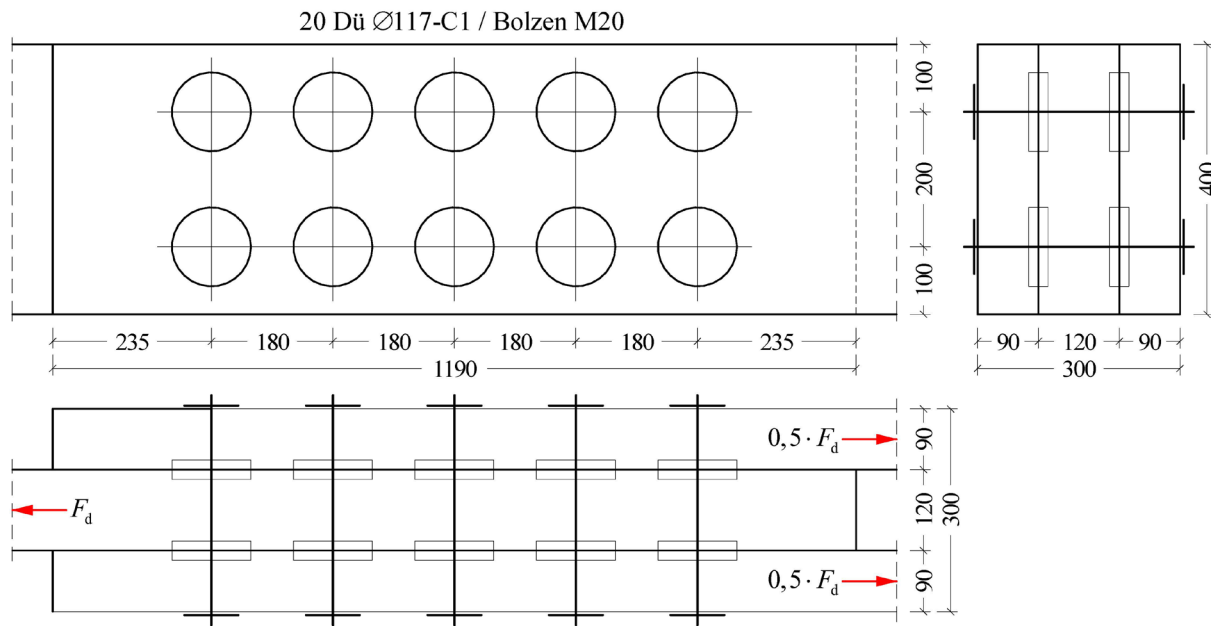
$$F_{v,\alpha,Rd} = F_{v,0,Rd} = 19,8 + 18,2 = 38,0 \text{ kN Tragfähigkeit je Verbindungseinheit}$$

Anzahl der erforderlichen Verbindungseinheiten je Reihe, 2 Reihen, jeweils 2 Scherflächen:

$$n_{ef} \geq \frac{622}{2 \cdot 2 \cdot 38,0} = 4,09 \rightarrow \text{gewählt: 5 Verbindungseinheiten je Reihe, } n_{ef} = 4,25$$

Die aufnehmbare Zugkraft durch Dübel und Bolzen beträgt:

$$F_{Rd} = 4,25 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 38,0 \text{ kN} = 646 \text{ kN} > 622 \text{ kN}$$



Ende Beispiel 8-3

9 Mehrteilige gespreizte Druckstäbe

Formel-Kapitel (nächstes) Abschnitt 1 Zur Erhöhung des Trägheitsmomentes können Druckstäbe aus mehreren Querschnitten mit Hilfe von mechanischen Verbindungsmitteln zu Rahmen- oder Gitterstäben zusammengesetzt werden. Da Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln und Zwischen- bzw. Bindehölzern oder Gitterstäben eine erhebliche Nachgiebigkeit aufweisen, muss dies beim Nachweis der Knickstabilität berücksichtigt werden. Die nachfolgende Berechnungsmethode kann nur auf Druckstäbe mit doppelsymmetrischem Querschnitt angewendet werden, die beidseitig gelenkig gelagert und planmäßig mittig belastet sind.

Gespreizte Druckstäbe werden nach zwei Typen unterschieden, Rahmenstäbe siehe Abb. 9-1 und Gitterstäbe siehe Abb. 9-2.

9.1 Knicknachweis für die starre Achse (um die z-Achse)

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (9.1)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{\sum A_i} \quad (9.2)$$

$\sigma_{c,0,d}$	Bemessungswert der Druckspannung in den Stabquerschnitten
$k_{c,z}$	Knickbeiwert abhängig von Holz-/Holzwerkstoffart und Schlankheitsgrad λ_z
$f_{c,0,d}$	Bemessungswert der Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung
$F_{c,d}$	Bemessungswert der Druckkraft
$\sum A_i$	Summe der Querschnittsflächen der Teilquerschnitte

Bestimmung des Schlankheitsgrades für die starre Achse

$$\lambda_z = \frac{l}{i_z} \quad (9.3)$$

l	Länge des Druckstabes
i_z	Trägheitsradius um z-Achse $i_z = b/\sqrt{12}$, siehe Abb. 9-1(S.40) bzw. Abb. 9-2(S.41)

9.2 Knicknachweis für die nachgiebige Achse (um die y-Achse)

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (9.4)$$

$k_{c,y}$	Knickbeiwert abhängig von Holz-/Holzwerkstoffart und vom Schlankheitsgrad λ_{ef} für die nachgiebige Achse
-----------	--

9.3 Schlankheitsgrad für die nachgiebige Achse von Rahmenstäben

Die Verbindungen können entweder geklebt, genagelt oder mit Dübeln besonderer Bauart (mit Bolzensicherung) ausgeführt sein.

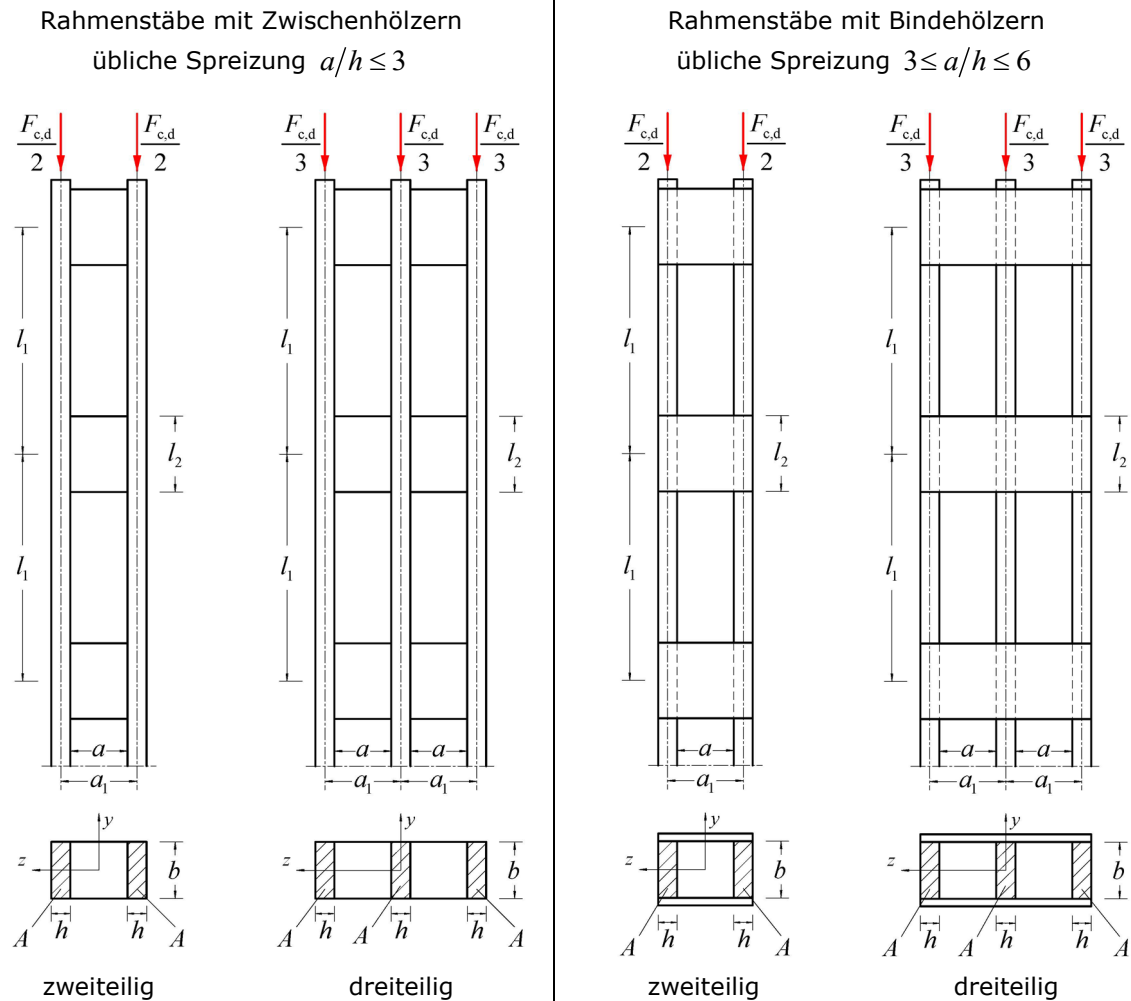


Abb. 9-1 Rahmenstäbe

Die nachfolgende Berechnung der Schlankheit gilt nur unter folgenden Voraussetzungen:

- die Anzahl der Felder ist ungerade und ≥ 3
- für Rahmenstäbe mit Zwischenhölzern müssen $a/h \leq 3$ und $l_2/a \geq 1,5$ sein
- für Rahmenstäbe mit Bindehölzern müssen $a/h \leq 6$ und $l_2/a \geq 2$ sein
- in jeder Fuge Querverbindung/Stab müssen mindestens zwei Dübel besonderer Bauart oder mindestens vier Nägel wirksam sein
- bei genagelten Rahmenstäben enthalten die Querverbindungen in Richtung des Druckstabes an den Stabenden mindestens vier Nägel in einer Reihe hintereinander

Für gespreizte Rahmenstäbe darf der wirksame Schlankheitsgrad ermittelt werden zu

$$\lambda_{\text{ef}} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \cdot \frac{n}{2} \cdot \lambda_1^2} \quad \text{mit} \quad (9.5)$$

$$\lambda = l_y \cdot \sqrt{\frac{12}{h^2 + 3 \cdot a_1^2}} \quad \text{für zweiteilige Rahmenstäbe} \quad (9.6)$$

$$\lambda = l_y \cdot \sqrt{\frac{12}{h^2 + 8 \cdot a_1^2}} \quad \text{für dreiteilige Rahmenstäbe} \quad (9.7)$$

$$\lambda_1 = \max \left\{ 30 ; \frac{l_1 \cdot \sqrt{12}}{h} \right\} \quad (9.8)$$

n Anzahl der Einzelstäbe

l_y Knicklänge für Knicken um die y-Achse

η Beiwert für Rahmenstäbe nach Tab. 9-1

$a_1 = a + h$ Achsabstand der Einzelstäbe

KLED	Zwischenhölzer			Bindehölzer	
	Kleber	Nägel	Dübel besonderer Bauart	Kleber	Nägel
ständig/lang	1	4	3,5	3	6
mittel/kurz	1	3	2,5	2	4,5

Tab. 9-1 Beiwerte η für Rahmenstäbe

9.4 Schlankheitsgrad für die nachgiebige Achse von Gitterstäben

Die Verbindungen können entweder geklebt oder genagelt ausgeführt sein.

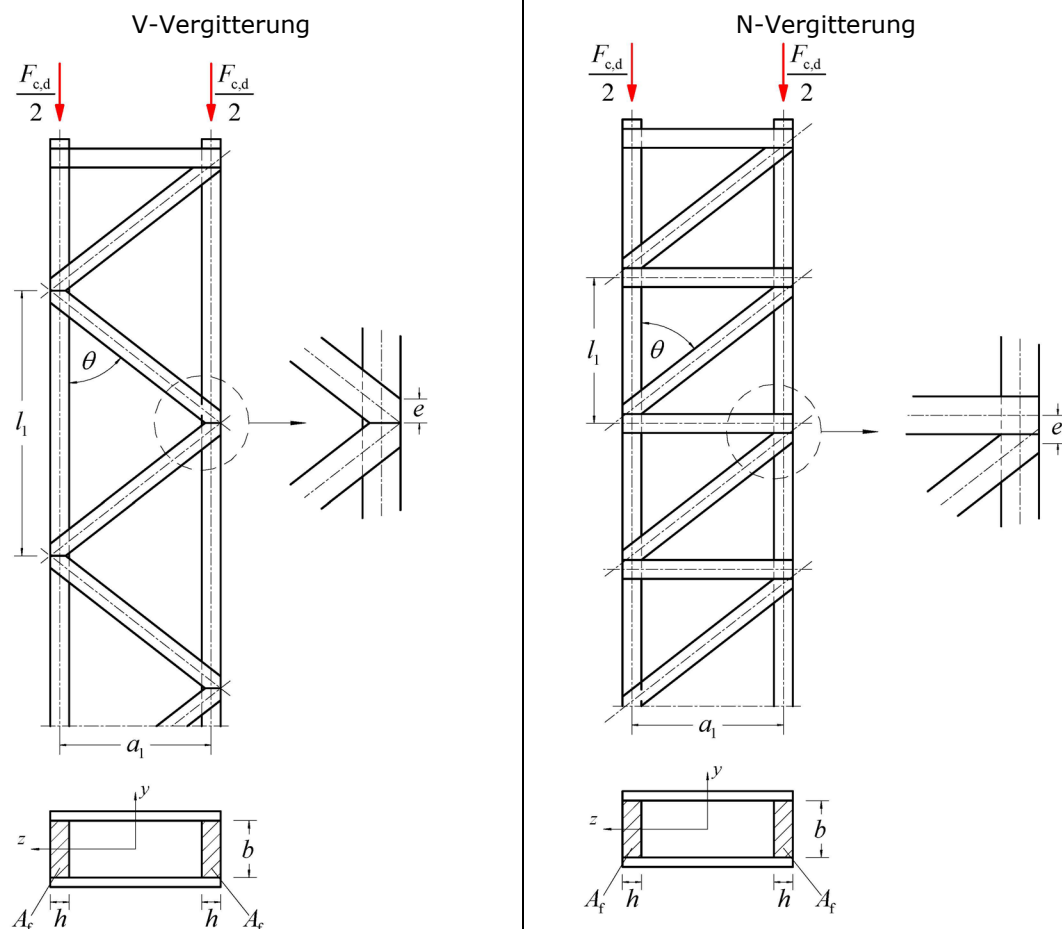


Abb. 9-2 Gitterstäbe

Die nachfolgende Berechnung der Schlankheit gilt nur unter folgenden Voraussetzungen:

- die Anzahl der Felder ist ungerade und ≥ 3
- im Anschluss der Gitterdiagonalen an den Stab müssen mindestens vier Nägel wirksam sein
- für N-Vergitterung müssen im Anschluss der Pfosten an die Stäbe mindestens $n \cdot \sin \theta$ Nägel wirksam sein, wobei n die Anzahl der Nägel im Anschluss der Gitterdiagonalen an den Stab ist
- die Schlankheit der Gitterstreben muss die Bedingung $(\lambda_1 = l_1 / i_{\min}) \leq 60$

Für Gitterstäbe darf der wirksame Schlankheitsgrad ermittelt werden mit

$$\lambda_{\text{ef}} = \max \left\{ \frac{2 \cdot l_y}{a_1} \cdot \sqrt{1 + \mu}, \frac{2,1 \cdot l_y}{a_1} \right\} \quad (9.9)$$

	V-Vergitterung	N-Vergitterung
Geklebt	$4 \cdot \frac{e^2 \cdot A_f}{I_f} \cdot \left(\frac{a_1}{l_y} \right)^2$	$\frac{e^2 \cdot A_f}{I_f} \cdot \left(\frac{a_1}{l_y} \right)^2$
Genagelt	$25 \cdot \frac{a_1 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot A_f}{l_y^2 \cdot n \cdot K_{u,\text{mean}} \cdot \sin(2 \cdot \theta)}$	$50 \cdot \frac{a_1 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot A_f}{l_y^2 \cdot n \cdot K_{u,\text{mean}} \cdot \sin(2 \cdot \theta)}$

Tab. 9-2 Beiwerte μ für Gitterstäbe

- e Ausmittigkeit des Anschlusses von geklebten Gitterstäben, siehe Abb. 9-2(S.41)
- A_f Querschnittsfläche eines Einzelstabes
- I_f Trägheitsmoment I_y eines Einzelstabes
- $K_{u,\text{mean}} = 2/3 \cdot K_{\text{ser}}$ abgeminderter Verschiebungsmodul einer Nagelscherfläche
- θ Anschlusswinkel der Gitterstäbe (Diagonalen)

9.5 Nachweis der Verbindungen von Rahmen- und Gitterstäben

Bei ideal geraden Druckstäben ist der Schubfluss, den die Verbindungen zu übertragen haben, gleich Null. Da Druckstäbe innerhalb von Maßtoleranzen gekrümmt sind und die Baustoffeigenschaften der inhomogenen Baustoffe bezüglich der Trägheitsachsen nicht symmetrisch sind, müssen Verbindungsmittel für eine über die Stablänge konstant *angenommene Querkraft* nach Gl. (9.10) bis (9.12) bemessen werden.

$$V_d = F_{c,d} / (120 \cdot k_{c,y}) \quad \text{für} \quad \lambda_{\text{ef}} < 30 \quad (9.10)$$

$$V_d = F_{c,d} \cdot \lambda_{\text{ef}} / (3.600 \cdot k_{c,y}) \quad \text{für} \quad 30 \leq \lambda_{\text{ef}} < 60 \quad (9.11)$$

$$V_d = F_{c,d} / (60 \cdot k_{c,y}) \quad \text{für} \quad \lambda_{\text{ef}} \geq 60 \quad (9.12)$$

Bei Rahmenstäben müssen die Querverbindungen für eine Schubkraft nach Gl. (9.13) in Verbindung mit der Verteilung und der Lage nach Abb. 9-3 bemessen werden:

$$T_d = \frac{V_d \cdot l_1}{a_1} \quad (9.13)$$

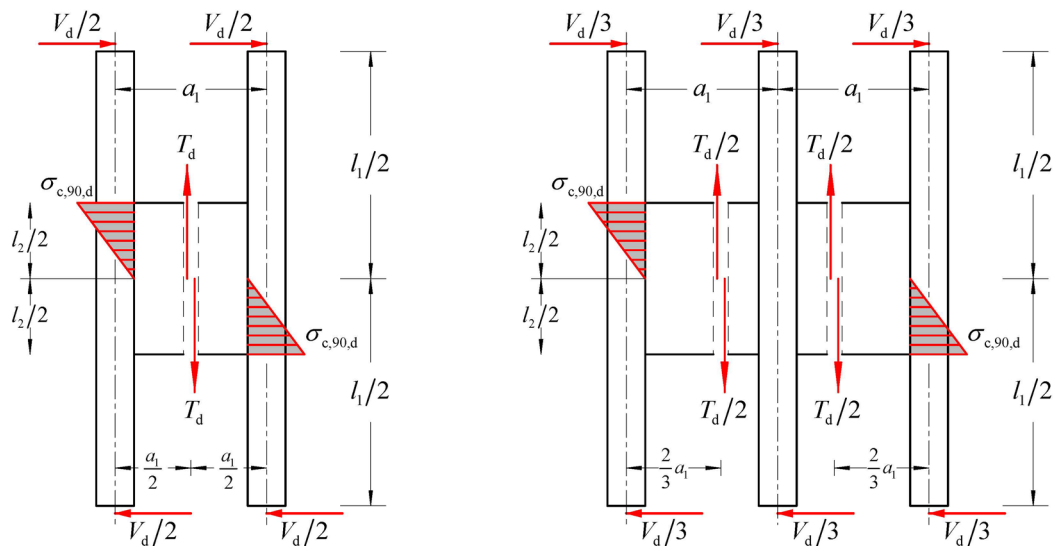


Abb. 9-3 Querkraft und Belastung bei Verbindungen von Rahmenstäben

Aus den in Abb. 9-3 gezeigten Anteilen der Schubkraft T_d nach Gl. (9.13) und dem betreffenden Hebelarm der Länge $a_1/2$ bzw. $2 \cdot a_1/3$ entsteht ein Moment, das von Bindehölzern oder Zwischenhölzern aufgenommen wird. Für den Nachweis kann wie folgt verfahren werden:

- bei Bindehölzern muss nachgewiesen werden, dass die Verbindungsmittel das Moment aufnehmen können,
- bei Zwischenhölzern mit einer Spreizung $a/h \leq 2$ ist kein Nachweis erforderlich,
- bei Zwischenhölzern mit einer Spreizung $a/h > 2$ wird die Querkraftspannung $\sigma_{c,90,d}$ berechnet und nachgewiesen und es muss beachtet werden, dass eine äquivalente Zugkraft in den Bolzen $F_{ax,d} = \sigma_{c,90,d} \cdot b \cdot (l_2/4)$ entsteht.

Für Gitterstäbe müssen die Verbindungen für folgende Stabkräfte bemessen werden:

- Streben und deren Anschlüsse für eine Stabkraft S_d nach Gl. (9.14)

$$S_d = \frac{V_d}{\sin \theta} \quad (9.14)$$

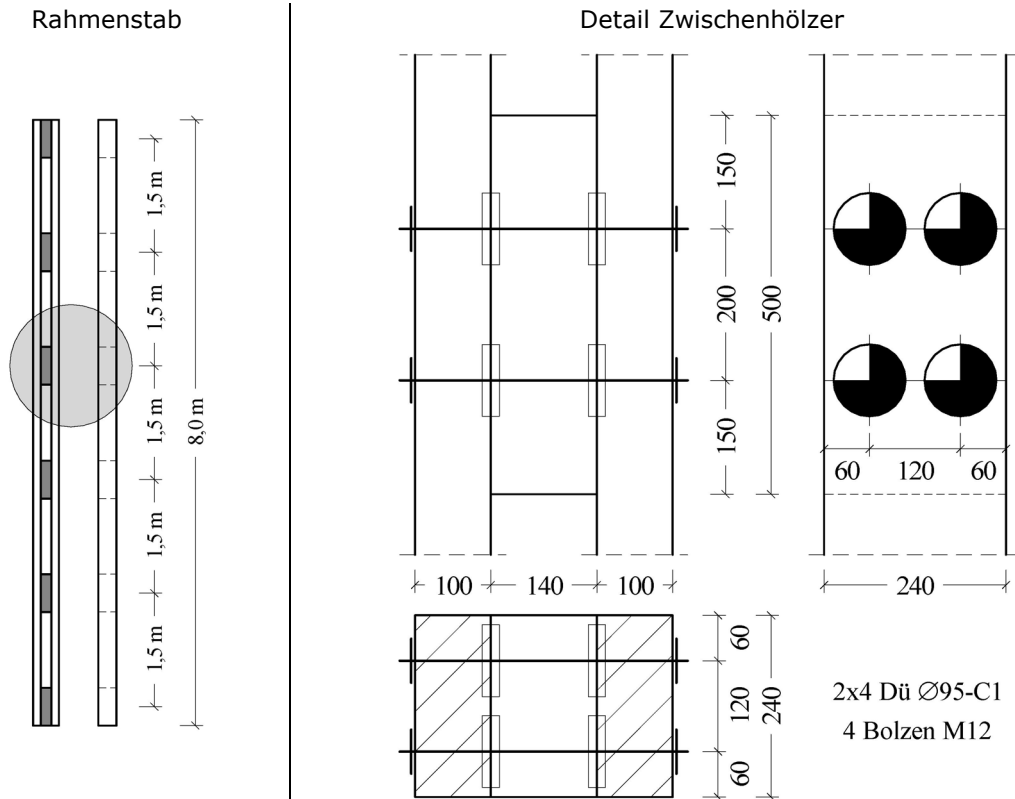
- Pfosten (bei N-Vergitterung) und deren Anschlüsse für eine Stabkraft $S_d = V_d$ nach Gln. (9.10) bis (9.12)

Beispiel 9-1 Zweiteiliger Rahmenstab C30 mit Zwischenhölzern

Ein zweiteiliger Rahmenstab wird aus Hölzern C30 hergestellt. Die Verbindungseinheiten für die Zwischenhölzer bestehen aus Dübeln Typ C1 mit Bolzen M12 der Festigkeitsklasse 4.8.

Der Bemessungswert der Druckbelastung beträgt

$$F_d = 175 \text{ kN} \quad \text{KLED=kurz, NKL 1}$$



Lösung

Knickbeiwert für die starre Achse (Knicken um die z-Achse)

$$\lambda_z = \frac{8.000}{240/\sqrt{12}} = 115,5 \rightarrow k_{c,y} = 0,231$$

Knickbeiwert für die nachgiebige Achse (Knicken um die y-Achse)

$$\lambda_1 = \max \left\{ 30 ; \frac{l_1 \cdot \sqrt{12}}{h} \right\} = \max \left\{ 30 ; \frac{1.500 \cdot \sqrt{12}}{100} \right\} = 51,96 \approx 52,0$$

$$\lambda = l_y \cdot \sqrt{\frac{12}{h^2 + 3 \cdot a_1^2}} = 8.000 \cdot \sqrt{\frac{12}{100^2 + 3 \cdot (140 + 100)^2}} = 64,8$$

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \cdot \frac{n}{2} \cdot \lambda_1^2} = \sqrt{64,8^2 + 2,5 \cdot \frac{2}{2} \cdot 52,0^2} = 104,7 \rightarrow k_{c,y} = 0,278 \text{ nicht maßgeblich}$$

Knicknachweis für die maßgebliche Achse (z-Achse)

$$f_{c,0,d} = 1,125 \cdot 14,8 = 16,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{F_{c,d} / \sum A_i}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{175.000 / (2 \cdot 100 \cdot 240)}{0,231 \cdot 16,7} = 0,95 \leq 1$$

Nachweis der Verbindung für die angenommene Querkraft

$$\lambda_{ef} \geq 60 \rightarrow V_d = F_{c,d} / (60 \cdot k_{c,y}) = 175.000 / (60 \cdot 0,278) = 10.492 \text{ N}$$

$$T_d = \frac{V_d \cdot l_1}{a_1} = \frac{10.492 \cdot 1.500}{240} = 65.575 \text{ N} = 65,6 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Bolzen je Scherfläche

$$F_{v,Rd,Joh} = 1,125 \cdot 1,042 \cdot 1,054 \cdot 4.580 = 5.658 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,B} = 1,25 \cdot F_{v,Rd,Joh} = 1,25 \cdot 5.658 \text{ N} = 7,07 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Dübel Typ C1 je Scherfläche

$$F_{v,Rd,D} = 1,125 \cdot 10,3 = 11,59 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit je Verbindungseinheit Dübel/Bolzen

$$F_{v,\alpha,D} = 11,59 + 7,07 = 18,66 \text{ kN}$$

Tragfähigkeitsnachweis der Verbindung

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot \cos \alpha}{(n_{ef}/n) \cdot F_{v,0,Rd}} = \frac{(65,6/4) \cdot \cos 0^\circ}{1,0 \cdot 18,66} = 0,88 \leq 1$$

Für das Moment aus der Schubkraft der Zwischenhölzer mit einer Spreizung

$$(a/h) = (140/100) = 1,4 < 2 \text{ ist kein Nachweis erforderlich.}$$

Schubspannungsnachweis an den Zwischenhölzern

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{65.575}{240 \cdot 500} = 0,82 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v,d}} = \frac{0,82}{1,125 \cdot 1,23} = 0,59 < 1$$

Ende Beispiel 9-1

Beispiel 9-2 Dreiteiliger Rahmenstab C30 mit Bindehölzern

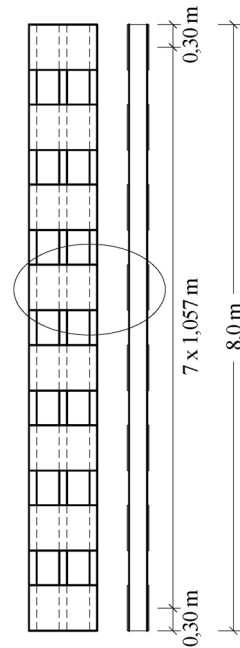
Ein zweiteiliger Rahmenstab wird aus Hölzern C30 mit Bindehölzern aus Sperrholz F40/30 E60/40, Dicke 24 mm, hergestellt. Die Knicklänge für die starre Achse beträgt 4,0 m und für die nachgiebige Achse 8,0 m.

Der Bemessungswert der Druckbelastung beträgt

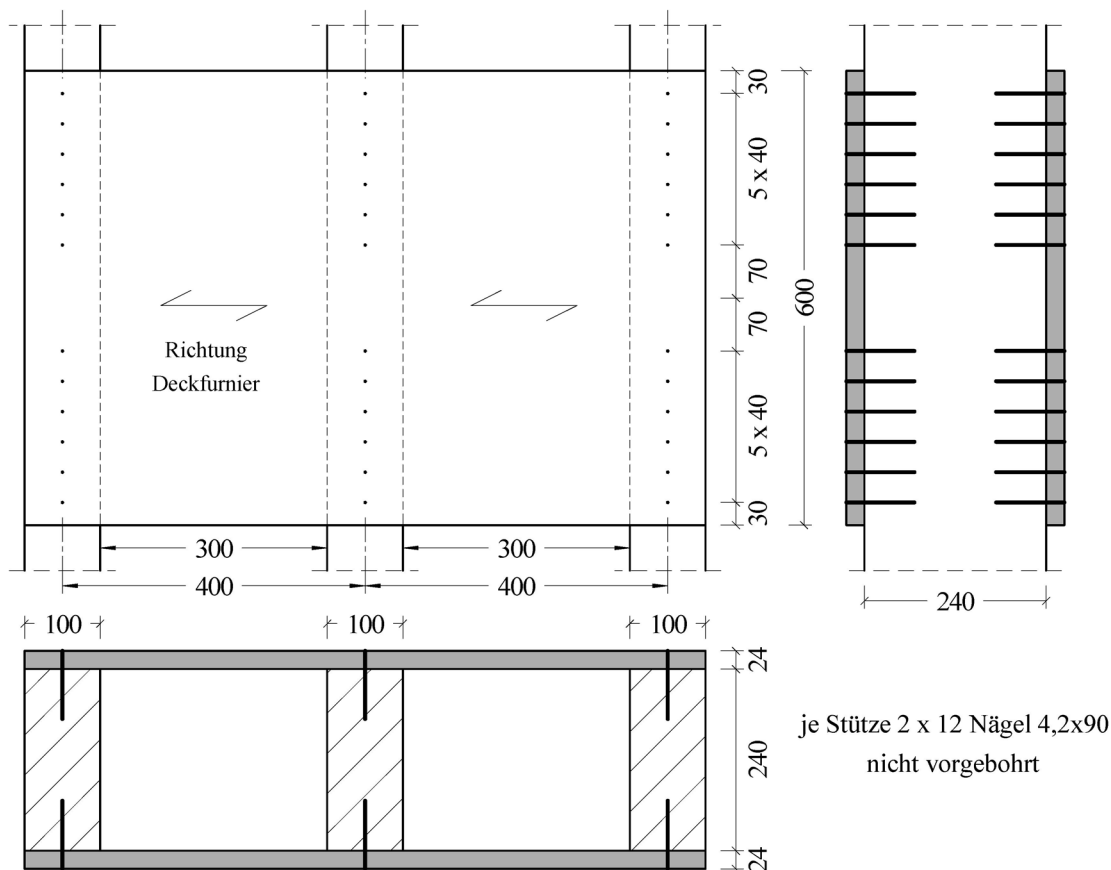
$$F_d = 340 \text{ kN} \quad \text{KLED=kurz, NKL 1}$$

Die Tragfähigkeit einer Nagelscherfuge beträgt

$$F_{v,Rd} = 1,05 \text{ kN}$$



Detail Bindehölzer



Lösung

Knickbeiwert für die starre Achse (Knicken um die z-Achse)

$$\lambda_z = \frac{4.000}{240/\sqrt{12}} = 57,7 \rightarrow k_{c,y} = 0,700$$

Knickbeiwert für die nachgiebige Achse (Knicken um die y-Achse)

$$\lambda_1 = \max \left\{ 30 ; \frac{l_1 \cdot \sqrt{12}}{h} \right\} = \max \left\{ 30 ; \frac{1.057 \cdot \sqrt{12}}{100} \right\} = 36,6$$

$$\lambda = l_y \cdot \sqrt{\frac{12}{h^2 + 8 \cdot a_1^2}} = 8.000 \cdot \sqrt{\frac{12}{100^2 + 8 \cdot (300 + 100)^2}} = 24,4$$

$$\lambda_{\text{ef}} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \cdot \frac{n}{2} \cdot \lambda_1^2} = \sqrt{24,4^2 + 4,5 \cdot \frac{3}{2} \cdot 36,6^2} = 98,2 \rightarrow k_{c,y} = 0,312 \text{ maßgeblich}$$

Knicknachweis für die maßgebliche Achse (y-Achse)

$$f_{c,0,d} = 1,125 \cdot 14,2 = 16,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{F_{c,d} / \sum A_i}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{340.000 / (3 \cdot 100 \cdot 240)}{0,312 \cdot 16,0} = 0,95 \leq 1$$

Nachweis der Verbindung für die angenommene Querkraft

$$\lambda_{\text{ef}} \geq 60 \rightarrow V_d = F_{c,d} / (60 \cdot k_{c,y}) = 340.000 / (60 \cdot 0,312) = 18.160 \text{ N}$$

$$T_d = \frac{V_d \cdot l_1}{a_1} = \frac{18.160 \cdot 1.057}{400} = 47.990 \text{ N} = 48,0 \text{ kN}$$

Belastung der Nägel je Scherfläche durch Querkraft und Moment im Bindeholz, siehe Abb. 9-3

$$F_V = \frac{0,5 \cdot T_d}{2 \cdot 12} = \frac{24.000}{2 \cdot 12} = 1.000 \text{ kN}$$

$$M_d = 0,5 \cdot T_d \cdot \frac{2}{3} \cdot a_1 = 24.000 \cdot \frac{2}{3} \cdot 400 = 6,40 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{M,y} = \frac{M_d \cdot x_j}{\sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{j=1}^n y_j^2} \approx \frac{6,40 \cdot 10^6}{2 \cdot 2 \cdot (70^2 + 110^2 + 150^2 + 190^2 + 230^2 + 270^2)} = 8,0 \text{ N}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(F_{M,x} + F_N)^2 + (F_{M,y} + F_V)^2} = 1.000 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{1.000}{1.050} = 0,95 < 1$$

Schubspannungsnachweis an den Bindehölzern

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{48.000/2}{2 \cdot 24 \cdot 600} = 1,25 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,25}{1,125 \cdot 5,85} = 0,19 < 1$$

Biegespannungsnachweis an den Bindehölzern

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{6,40 \cdot 10^6}{2 \cdot 24 \cdot 600^2 / 6} = \frac{6,40 \cdot 10^6}{2,88 \cdot 10^6} = 2,22 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{2,22}{1,125 \cdot 17,8} = 0,11 < 1$$

Ende Beispiel 9-2

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
- [DIN 7] DIN EN 912:2011-09 Holzverbindungsmittel – Spezifikationen für Dübel besonderer Bauart für Holz

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
- [5] Blass, H.J. et al. (Hrsg) :Timber Engineering STEP 1 – Basis of design, material properties, structural components and joints. Centrum Hout, Almere 1995
- [6] Blass H.J. et al. (Hrsg) :Timber Engineering STEP 2 – Design - Details and structural systems. Centrum Hout, Almere 1995

Stichwortverzeichnis

Dachverbände	5	Definition	5
Dübelverbindungen		Übergreifungslängen	16
allgemeine Festlegungen	19	Koppelträger	11
Bemessungshilfe	25, 35	Biegemomente	17
Dübelhelfflächen	22, 25, 35	Durchbiegung	16
effektive Anzahl n_{ef}	21	Kopplungskräfte, Übergreifungslängen ...	16
Einbindetiefen	25, 35	Rahmenstäbe	39
Mindestholzdicken	25, 35	Schlankheitsgrad	40
Verbindungseinheit	19	Sparrenpfetten	5
Gelenkpfetten		Definition	5
Definition	5	Stabdübel	
Gelenkanordnung	7, 8	Bemessungshilfe Holz-Holz	35
gespreizte Druckstäbe	39	Überkopplungslänge	11
Knicknachweis nachgiebige Achse	39	Verbindungseinheit	
Knicknachweis starre Achse	39	Definition	30
Gitterstäbe	39	Zusammengesetzte Druckstäbe	
Schlankheitsgrad	41	angenommene Querkraft	42
Koppelpfetten	11	Standicherheit VM	42