

► Dezember 2009

mikado *plus*

Themenmagazin für Zimmermeister

Normung

DIN 1052 neu – einfach rechnen

Praxisbeispiele

Nachweise

Rechenwege

Tabellen

Vorwort

Die Zeit ist längst reif für die neue DIN 1052

- Die Zeit des Jammerns ist vorbei. Zum einen hatten wir mehr als fünf Jahre Zeit, uns an die „neue“ Holzbaunorm zu gewöhnen, zum andern hilft es uns nicht weiter: Seit Ende Juni müssen wir nach neuer Norm rechnen.

Zu bedauern ist, dass in vielen Publikationen die neue DIN 1052 aufwändiger und komplizierter dargestellt wird, als sie tatsächlich ist.

Zwei Beispiele aus der alltäglichen Praxis sollen zeigen, dass die neue Bemessung gar nicht so anders geworden ist, und dass man mit gut aufbereiteten Bemessungshilfen/-tabellen die erforderlichen Nachweise schnell und einfach durchführen kann.

Die Grundlagen der neuen Bemessung sind im Anhang kurz zusammengefasst, wobei auch die für die Beispiele benötigten Bemessungstabellen angegeben sind. Sie sind nur auszugsweise angegeben. Die vollständigen Tabellen finden sich in folgenden Quellen:

- [1] Schneider-Bautabellen 2008 (18. Auflage),
Werner-Verlag
- [2a] Colling, F.: Holzbau Grundlagen, Bemessungshilfen.
2. Auflage, Vieweg-Verlag
- [2b] Colling, F.: Holzbau – Beispiele. 2. Auflage,
Vieweg-Verlag

Beispiel 1: Wohnhausgalerie

Material und Querschnitte:

Tragbalken $b/h = 8/18$ cm, C 24
 Unterzug, $b/h = 12/24$ cm, GL28h
 Zange, $b/h = 2 \times 8/16$ cm, C 24

Belastung: $g_k = 0,9$ kN/m² (Belag inkl. Eigengewicht der Tragbalken)
 $p_k = 2,0$ kN/m²

Nachfolgend werden alle erforderlichen Nachweise für die Tragbalken, den Unterzug, den Anschluss und die mittlere Zange geführt:

1. Nachweise für Tragbalken

Lasten für Nachweise der Tragfähigkeit:

$$g_k = g_k \text{ [kN/m}^2\text{]} \cdot a = 0,9 \cdot 0,8 = 0,72 \text{ kN/m}$$

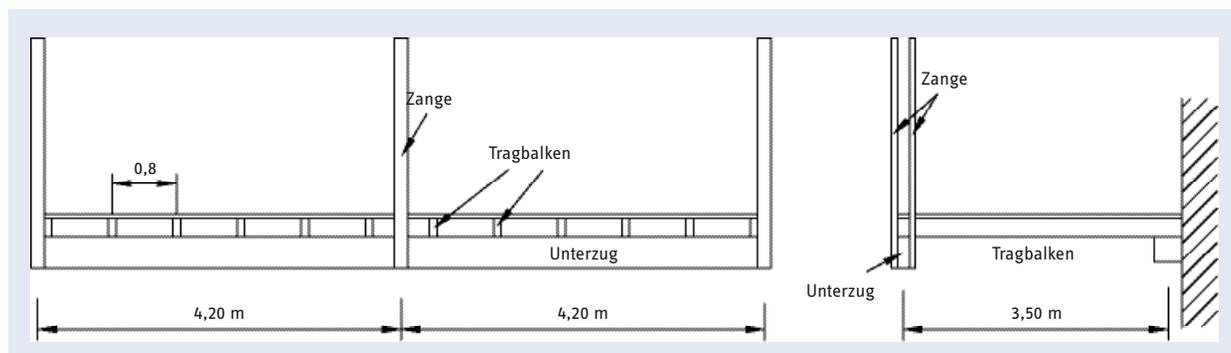
$$p_k = p_k \text{ [kN/m}^2\text{]} \cdot a = 2,0 \cdot 0,8 = 1,60 \text{ kN/m}$$

KLED = mittel aus Tabelle 1-2

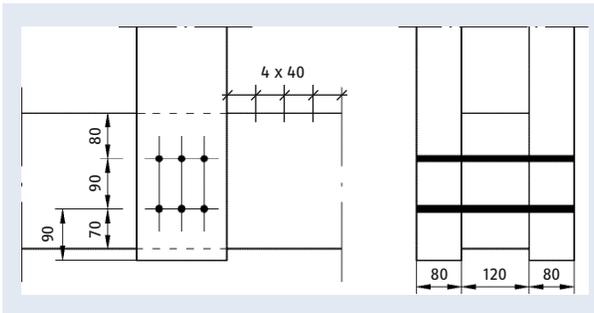
NKL = 1 aus Tabelle 2-1

Nur eine veränderliche Last → Gl. (1-1a)

$$q_d = 1,35 \cdot 0,72 + 1,5 \cdot 1,60 = 3,37 \text{ kN/m}$$



▲ System und Abmessungen einer Galerie eines Wohnhauses



▲ Anschluss Zange-Unterzug mittels Stabdübel Ø 12 mm (S235)

Nachweis der Schubspannung:

Nachweis Gl.(3-1): $\tau_d = 15 \cdot \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d}$

Querkraft $V_d = q_d \cdot \tau/2 = 3,37 \cdot 3,5/2 = 5,90$ kN

$A = 8 \cdot 18 = 144$ cm²

$f_{v,d} = 0,615 \cdot 2,0 = 1,23$ N/mm² (Tabelle 2-2)

→ $\tau_d = 15 \cdot \frac{5,90}{144} = 0,61$ N/mm² < 1,23 N/mm² ($\eta = 0,50 < 1$)

Nachweis der Biegespannung:

Nachweis Gl.(3-2): $\sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{M_d}{W_n} \leq f_{m,d}$

max $M_d = q_d \cdot \tau^2/8 = 3,37 \cdot 3,5^2/8 = 5,16$ kNm

$W_n = 8 \cdot 18^2/6 = 432$ cm³

$f_{m,d} = 0,615 \cdot 24,0 = 14,76$ N/mm² (Tabelle 2-2)

→ $\sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{5,16}{432} = 11,94$ N/mm² < 14,76 N/mm²

($\eta = 0,81 < 1$)

Kippen:

Wenn $\frac{\ell_{ef} \cdot h}{b^3} < 140$, dann ist kein Kippnachweis

erforderlich:

$\frac{3,50 \cdot 0,18}{0,08^3} < 140 = 98,44 < 140$ → kein Kippnachweis

erforderlich.

Alternativ nach [2]: $h/b = 18/8 = 2,25 < 3$
→ kein Kippnachweis erforderlich

Nachweise der Durchbiegungen:

Berechnung nach Tabelle 3-1, mit

$\tau = 3,50$ m = 3500 mm, $E_{0,mean} = 11000$ N/mm² nach Tabelle 2-2

→ $k_w = \frac{5}{384} \cdot \frac{\ell^4}{E_{0,mean} \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3500^4}{11000 \cdot 80 \cdot 180^3 / 12} = 4,569$

$g_d = g_k = 0,72$ kN/m, $p_d = p_k = 1,60$ kN/m

Bel.	k_w	q_d [kN/m]	$W_{inst} =$ $k_w \cdot q_d$ [mm]	$W_{qs} =$ $\Psi_2 \cdot W_{inst}$ [mm]	Ψ_2 Tabelle 1-3
g	4,569	0,72	3,3	3,3	1,0
p		1,60	7,3	2,2	0,3
			7,3	5,5	NKL = 1 (Tabelle 2-1) $k_{def} = 0,6$ (Tabelle 1-4)

Nachweis 1a: Elastische Durchbiegung

Gl.(3-3a): $w_{Q,inst} \leq \frac{\ell}{300} \rightarrow 7,3 \leq \frac{3500}{300} = 11,67$ mm ✓

Nachweis 1b: Enddurchbiegung:

Gl.(3-3b): → $w_{Q,inst} + k_{def} \cdot \sum w_{qi} \leq \frac{\ell}{200}$

$7,3 + 0,6 \cdot 5,5 = 10,6$ mm $\leq \frac{3500}{200} = 17,5$ mm ✓

Nachweis 2: Ontik:

Gl.(3-3c): $\sum w_{qi} \cdot (1 + k_{def}) \leq \frac{\ell}{200}$

→ $5,5 \cdot (1 + 0,6) = 8,8$ mm $\leq 17,5$ mm ✓

Nachweis 3: Schwingung:

Gl.(3-3d): $\sum w_{qi} \leq 6$ mm → $5,5 \leq 6$ mm ✓

Auflagerpressung:

Nachweis nur für Tragbalken C 24, da Unterzug aus BSH nicht maßgebend (höhere Festigkeit, höheres $k_{c,90}$ und beidseitiger Überstand)

Nachweis Gl.(3-6): $\sigma_{c,90,d} = 10 \cdot \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$

$F_{c,90,d} = V_d = 5,90$ kN

A_{ef} = wirksame Auflagerfläche

= $b \cdot (\lambda_a + 3$ cm) bei einseitigem Überstand

= $8 \cdot (12 + 3) = 120$ cm²

$k_{c,90} = 1,5$ für Auflagerdruck bei VH

$f_{c,90,d} = 0,615 \cdot 2,5 = 1,54$ N/mm² (Tabelle 2-2)

→ $\sigma_{c,90,d} = 10 \cdot \frac{5,90}{120} = 0,49$ N/mm² $\leq 1,50 \cdot 1,54$

= 2,31 N/mm² ($\eta = 0,21 < 1$) ✓

Bei einseitigem Überstand darf die Auflagerlänge λ_a in Faserrichtung des Holzes um 3 cm vergrößert werden.

2. Nachweise für Unterzug

Hinweise: Das Eigengewicht des Unterzugs darf mit $g_{UZ,k}$ = 0,15 kN/m abgeschätzt werden.

Belastungen für den Unterzug:

Aus Auflagerkräften der Tragbalken:

$$A_{g,k} = 0,72 \text{ [kN/m}^2] \cdot 3,5/2 = 1,26 \text{ kN}$$

$$\rightarrow g_k = A_{g,k} / a + g_{UZ,k} = 1,26/0,8 + 0,15 = 1,725 \text{ kN/m}$$

$$A_{g,k} = 1,60 \text{ [kN/m}^2] \cdot 3,5/2 = 2,80 \text{ kN}$$

$$\rightarrow p_k = A_{g,k} / a = 2,80/0,8 = 3,50 \text{ kN/m}$$

Nachweis der Schubspannung:

$$\text{Nachweis Gl.(3-1): } \tau_d = 15 \cdot \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d}$$

Bei BSH keine Erhöhung der Schubfestigkeit, wenn Nachweisstelle > 1,50 vom Hirnholzende entfernt

$$\rightarrow \text{Nachweis für max } V_d = |V_{B,li}|$$

$$-0,625 = \text{Beiwert aus Tabelle 1-1}$$

Charakteristische Querkräfte:

$$V_{B,li,g,k} = -0,625 \cdot g_k \cdot \lambda = -0,625 \cdot 1,725 \cdot 4,20 = -4,53 \text{ kN}$$

$$V_{B,li,p,k} = -0,625 \cdot p_k \cdot \lambda = -0,625 \cdot 3,50 \cdot 4,20 = -9,19 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Querkraft: Nur eine veränderliche Last \rightarrow Gl.(1-1a)

$$V_d = |V_{B,li,d}| = 1,35 \cdot 4,53 + 1,5 \cdot 9,19 = 19,90 \text{ kN}$$

$$A = 12 \cdot 24 = 288 \text{ cm}^2$$

$$f_{v,d} = 2,5 \cdot 0,615 = 1,54 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabelle 2-2)}$$

$$\rightarrow \tau_d = 15 \cdot \frac{19,90}{288} = 1,04 \text{ N/mm}^2 < 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$(\eta = 0,68 < 1)$$

Nachweis der Biegespannung:

$$\text{Nachweis Gl.(3-2): } \sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{M_d}{W_n} \leq f_{m,d}$$

maßgebend wird das Stützmoment M_B

Charakteristische Stützmente:

$$0,125 = \text{Beiwert aus Tabelle 1-1}$$

$$M_{B,g,k} = -0,125 \cdot g_k \cdot \lambda^2 = -0,125 \cdot 1,725 \cdot 4,20^2 = -3,80 \text{ kNm}$$

$$M_{B,p,k} = -0,125 \cdot p_k \cdot \lambda^2 = -0,125 \cdot 3,50 \cdot 4,20^2 = -7,72 \text{ kNm}$$

Bemessungswert des Stützmomentes: Nur eine veränderliche Last \rightarrow Gl.(1-1a)

$$\rightarrow M_d = |M_{B,d}| = 1,35 \cdot 3,80 + 1,5 \cdot 7,72 = 16,71 \text{ kNm}$$

$$W = (12 \cdot 24^2) / 6 = 1152 \text{ cm}^3$$

$$f_{m,d} = 1,1 \cdot 0,615 \cdot 28,0 = 18,94 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabelle 2-2)}$$

$$\rightarrow \sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{16,71}{1152} = 14,50 \text{ N/mm}^2 < 18,94 \text{ N/mm}^2$$

$$(\eta = 0,77 < 1)$$

$$\text{Faktor 1,1 für BSH mit } H \leq 300 \text{ mm (s. Tabelle 2-2)}$$

Kippen:

Wenn $\frac{e_{ef} \cdot h}{b^3} < 140$, dann ist kein Kippnachweis

erforderlich:

$$\frac{4,20 \cdot 0,24}{0,12^3} < 140 = 70 < 140 \rightarrow \text{kein Kippnachweis}$$

erforderlich.

$$\text{Alternativ nach [2]: } h/b = 24/12 = 2 < 3 \rightarrow \text{kein Kippnachweis erforderlich.}$$

Nachweise der Durchbiegungen:

Berechnung nach Tabelle 3-2, mit

$\lambda = 4,20 \text{ m} = 4200 \text{ mm}$, $E_{0,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2$ nach Tabelle 2-2.

Bel.	ideeller Einfeldträger				Durchlaufträger			ψ_2 Tabelle 1-3
	k_w	q_d [kN/m]	$w_{inst} = k_w \cdot q_d$ [mm]	$w_{qs} = \psi_2 \cdot w_{inst}$ [mm]	k_{DLT}	$w_{inst}^* = k_{DLT} \cdot w_{inst}$ [mm]	$w_{qs}^* = k_{DLT} \cdot w_{qs}$ [mm]	
g	2,326	1,725	4,0	4,0	0,400	1,6	1,6	1,0
p		3,50	8,1	2,4	0,700	5,7	1,7	0,3
				6,4		7,3	3,3	NKL = 1 (Tabelle 2-1) $k_{def} = 0,6$ (Tabelle 1-4)

$$\rightarrow k_w = \frac{5}{384} \cdot \frac{\ell^4}{E_{0,mean} \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4200^4}{12600 \cdot 120 \cdot 240^3 / 12}$$

$$= 2,326$$

$$g_d = g_k = 1,725 \text{ kN/m}, p_d = p_k = 3,50 \text{ kN/m}$$

Nachweis 1a: Elastische Durchbiegungen:

$$\text{Gl.(3-5a): } w_{q,inst} \leq \frac{\ell}{300}$$

$$\rightarrow 7,3 \leq \frac{4200}{300} = 14 \text{ mm}$$

Nachweis 1b: Enddurchbiegung:

$$\text{Gl.(3-5b) } w_{q,inst} + k_{def} \cdot \sum w_{qs} \leq \frac{\ell}{200}$$

$$7,3 + 0,6 \cdot 3,3 = 9,3 \text{ mm} \leq \frac{4200}{200} = 21 \text{ mm}$$

Nachweis 2: Optik:

$$\text{Gl.(3-5c): } \sum w_{qs} \cdot (1 + k_{def}) \leq \frac{\ell}{200}$$

$$\rightarrow 3,3 \cdot (1 + 0,6) = 5,3 \text{ mm} \leq 21 \text{ mm}$$

Nachweis 3: Schwingung:

Für Unterzug kein Schwingungsnachweis erforderlich

3. Überprüfung des Anschlusses

Größte anzuschließende Kraft = B_d

Charakteristische Anschlusskräfte:

$$B_{g,k} = 1,25 \cdot g_k \cdot \ell = 1,25 \cdot 1,725 \cdot 4,20 = 9,06 \text{ kN}$$

$$B_{p,k} = 1,25 \cdot p_k \cdot \ell = 1,25 \cdot 3,50 \cdot 4,20 = 18,38 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Anschlusskraft nach Gl.(1-1a):

$$\rightarrow B_d = 1,35 \cdot 9,06 + 1,5 \cdot 18,38 = 39,80 \text{ kN}$$

1,25 = Beiwert aus Tabelle 1-1

Bemessung nach Tabelle 2-3 mit $\gamma = 90^\circ$ und anzuschließende Kraft in SH.

Bei einer Kombination von Hölzern höherer Festigkeitsklasse ist eine Abminderung der Holzdecken und eine Erhöhung der Tragfähigkeit möglich. Siehe hierzu [2].

Die nachfolgende Rechnung wird vereinfachend unter der Annahme geführt, dass alle Bauteile aus C 24 sind.

$$\text{SH: } t_{req} = 57 \text{ mm} < 80 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$\text{MH: } t_{req} = 67 \text{ mm} < 120 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$R_{d,1} = 0,727 \cdot 5,75 = 4,18 \text{ kN pro Scherfuge}$$

$$\rightarrow R_d = 2 \cdot 4,18 = 8,36 \text{ kN pro Stabdübel}$$

Wirksame Tragfähigkeit unter Berücksichtigung der Spaltgefahr:

$$\text{Nachweis Gl.(3-9): } N_d \leq k_{ef} \cdot n_{VM} \cdot R_d$$

$$N_d = B_d = 39,80 \text{ kN}$$

k_{ef} nach Tabelle 3-4: In Zange: $n_h = 2$ Stabdübel in Faserrichtung hintereinander

$$\left. \begin{array}{l} n_h = 2 \\ a_1 / d = 90 / 12 = 7,5 \end{array} \right\} \rightarrow k_{ef} = 0,868$$

$$n_{VM} = 2 \cdot 3 = 6$$

$$\checkmark \rightarrow 39,80 \leq 0,868 \cdot 6 \cdot 8,36 = 43,54 \text{ kN} \quad \checkmark (\eta = 0,91 < 1)$$

Überprüfung Anschlussbild:

$d = 12 \text{ mm}$

Abstände Gurt:

$$\min a_{1,t} = 5 \cdot d = 60 \text{ mm} < 90 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$\checkmark \min a_{2,t} = 3 \cdot d = 36 \text{ mm} < 80 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$\min a_{2,c} = 3 \cdot d = 36 \text{ mm} < 70 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Abstände Zange:

$$\min a_2 = 3 \cdot d = 36 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$\min a_{2,c} = 3 \cdot d = 36 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$\checkmark \min a_{1,t} = 7 \cdot d = 84 \text{ mm} < 70 + 20 = 90 \text{ mm} \quad \checkmark$$

4. Nachweis Zange

Zange = exzentrisch beanspruchter Zugstab

$$\text{Nachweis Gl.(3-8): } \sigma_{t,0,d} = 10 \cdot \frac{F_{t,0,d}}{A_n} \leq k_{t,e} \cdot f_{t,0,d}$$

Zugkraft in einem Zangenteil:

$$F_{t,0,d} = B_d / 2 = 39,80 / 2 = 19,90 \text{ kN}$$

Nettoquerschnitt eines Zangenteiles:

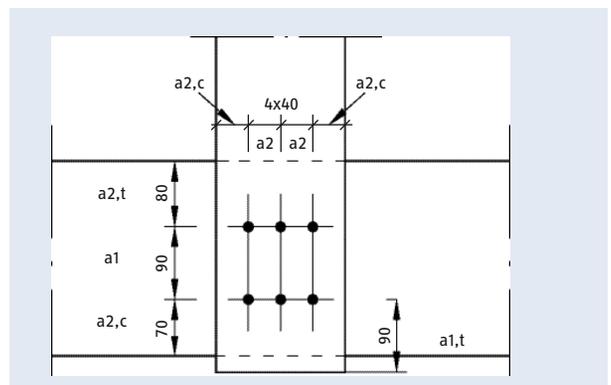
$$A_n = 8 \cdot 16 - 3 \cdot 1,2 \cdot 8 = 99,2 \text{ cm}^2$$

Anschluss mit Stabdübel \rightarrow keine Behinderung der Verwölbung $\rightarrow k_{t,e} = 0,4$

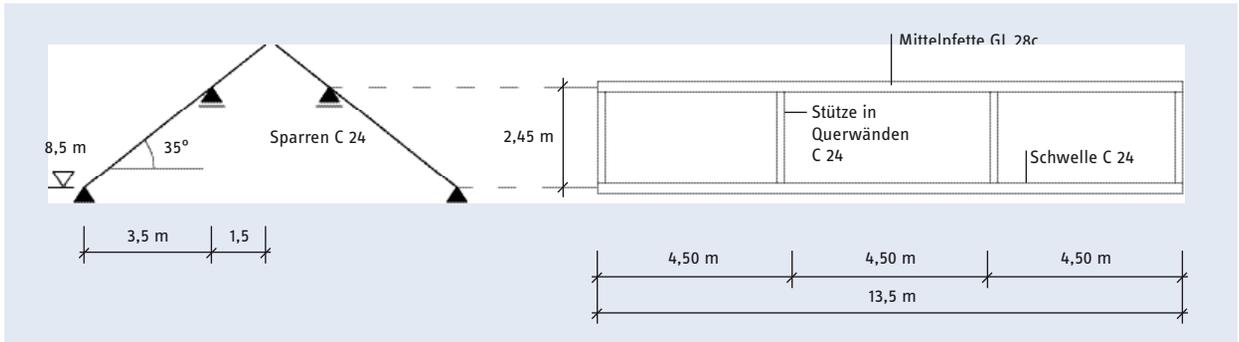
$$f_{t,0,d} = 0,615 \cdot 14,0 = 8,61 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabelle 2-2)}$$

$$\rightarrow \sigma_{t,0,d} = 10 \cdot \frac{19,90}{99,2} = 2,01 \leq 0,4 \cdot 8,61 = 3,44 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

$$(\eta = 0,58 < 1)$$



▲ Überprüfung Anschlussbild



▲ Das Beispieldach steht in Schneelastzone 3, Windlastzone 2 und in einer Höhe von 280 m ü.NN

Beispiel 2: Steildach

Nicht ausgebautes Dach, Dacheindeckung mit Betondachsteinen mit Lattung und Unterspannbahn (ohne Schalung).

Schneelastzone 3, Höhe 280 m ü. NN, Windlastzone 2.

Material und Querschnitte:

Sparren C 24, $b/h = 8/16$ cm, Sparrenabstand $a = 0,9$ m.

Mittelfette GI 28c, $b/h = 14/24$ cm

Stütze C 24, $b/h = 14/14$ cm

Nachfolgend werden die Einwirkungen (Lastannahmen, die Nachweise für den Sparren, die Mittelfette, die Stütze und die Auflagerpressungen geführt.

Hinweise:

- Die Auflagerung des Sparrens auf der Mittelfette erfolgt mittels Kerfe ($t = 3$ cm)
- Zur Lagesicherung wird die Stütze mit einem Zapfen $b/t = 3/6$ cm (über die ganze Querschnittshöhe verlaufend) ausgeführt.

Nicht ausgebautes Dachgeschoss → NKL = 2 (Tabelle 2-1)

a) Einwirkungen

Für die nachfolgend aufgezeigte Berechnung der Einwirkungen (Lastannahmen) siehe z. B. [1]

Eigenlast:

Betondachsteine inkl. Lattung

0,60 kN/m² Dfl.

u. Unterspannbahn

0,10 kN/m² Dfl.

Sparren

0,70 kN/m² Dfl.

Schneelast:

Schneelast auf dem Boden: Schneelastzone 3, $\alpha = 35^\circ$

$$s_k = 0,31 + 2,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right)^2 \geq 1,10 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,31 + 2,91 \cdot \left(\frac{280 + 140}{760} \right)^2 = 1,20 \text{ kN/m}^2 > 1,10 \text{ kN/m}^2$$

Schneelast auf dem Dach:

$$\mu_2 = 0,8 \cdot (60^\circ - \alpha) / 30^\circ = 0,8 \cdot (60^\circ - 35^\circ) / 30^\circ = 0,667$$

$$\Rightarrow s_k = \mu_1 \cdot s_k = 0,667 \cdot 1,20 = 0,80 \text{ kN/m}^2 \text{ Dfl.}$$

Windlast:

Windlastzone 2, Binnenland

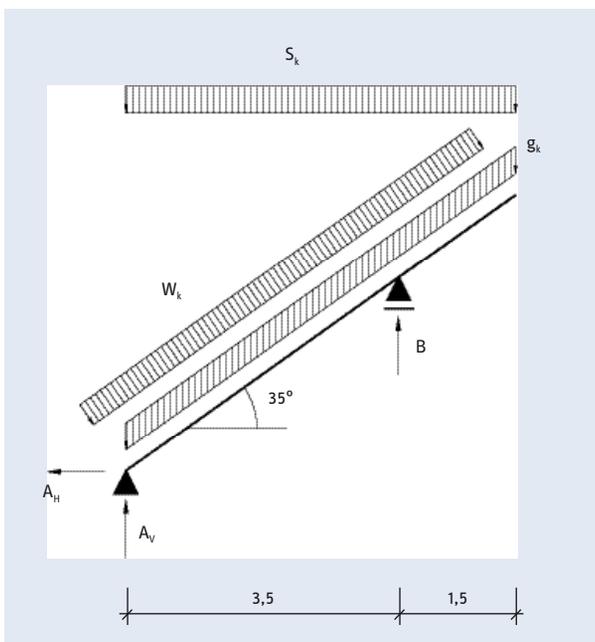
Gebäudehöhe ≤ 10 m

Geschwindigkeitsdruck $q = 0,65$ kN/m²

Außendruckbeiwert für Satteldach mit

$\alpha = 35^\circ$: $c_{pe} = 0,700$

$w_k = 0,700 \cdot 0,65 = 0,455$ kN/m² Dfl.



▲ Einwirkungen (Lastannahmen)

Mannlast:

Im Hinblick auf die Vereinfachung der Berechnung wird auf eine Berücksichtigung der Mannlast verzichtet.

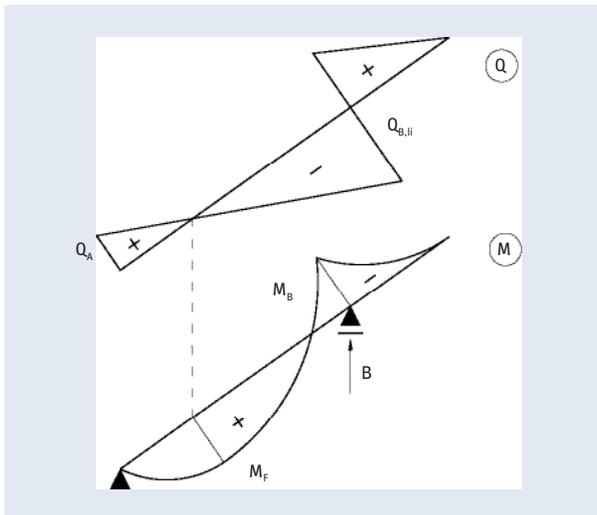
b) Nachweise für die Sparren

Schnittgrößen:

$g_k = 0,70 \cdot 0,9 = 0,630 \text{ kN/m Dfl pro Sparren}$
 $s_k = 0,80 \cdot 0,9 = 0,720 \text{ kN/m Dfl pro Sparren}$
 $w_k = 0,455 \cdot 0,9 = 0,410 \text{ kN/m Dfl pro Sparren}$

Belastungen rechtwinklig zum Sparren:

$g_{\perp,k} = g_k \cdot \cos \alpha = 0,630 \cdot \cos 35^\circ = 0,516 \text{ kN/m Dfl}$
 $s_{\perp,k} = s_k \cdot \cos^2 \alpha = 0,720 \cdot \cos^2 35^\circ = 0,483 \text{ kN/m Dfl}$
 $W_{\perp,k} = w_k = 0,410 \text{ kN/m Dfl}$



▲ Schnittgrößen für die Nachweise der Tragfähigkeit

Für die Nachweise der Tragfähigkeit wird mit folgender Bemessungslast gerechnet (nach Gl.(1-1)):

$q_{\perp,d} = \max \left\{ \begin{matrix} 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot s_k \\ 1,35 \cdot (g_k + s_k + w_k) \end{matrix} \right.$
 $= 1,35 \cdot 0,516 + 1,5 \cdot 0,483 = 1,421 \text{ kN/m}$
 $= 1,35 \cdot (0,516 + 0,483 + 0,410) = 1,90 \text{ kN/m}$

→ maßgebend: $q_{\perp,k} = 1,902 \text{ kN/m}$

Schnittgrößen							
LK	$M_{F,d}$ [kNm]	$M_{B,d}$ [kNm]	$V_{A,d}$ [kN]	$V_{B,li,d}$ [kN]	B_d [kN]	KLED	k_{mod}
$q_{\perp,d}$	2,89	-3,19	3,32	-4,81	10,12	kurz	0,9

Für die Durchbiegungsnachweise der Mittelpfette (siehe Punkt c) werden die charakteristischen Auflagerkräfte B getrennt für die verschiedenen Lastanteile benötigt:

$B_{s,k} = \frac{B_d}{1,35} \cdot \frac{g_k}{g_k + s_k + w_k} = \frac{10,12}{1,35}$
 $\frac{0,516}{0,516 + 0,483 + 0,410} = 2,75 \text{ kN}$

→ analog: $B_{s,k} = 2,57 \text{ kN}$ $B_{w,k} = 2,18 \text{ kN}$

Nachweise der Schubspannung:

Nachweis Gl.(3-1): $\tau_d = 15 \cdot \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d}$

Auflager A:

$Q_{A,d} = V_{A,d} = 3,32 \text{ kN}$
 $A = 8 \cdot 16 = 128 \text{ cm}^2$
 $f_{v,d} = 0,692 \cdot 2,0 = 1,38 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabelle 2-2)}$

$\tau_d = 15 \cdot \frac{3,32}{128} = 0,39 \text{ N/mm}^2 < 1,38 \text{ N/mm}^2$

$(\eta = 0,28 < 1)$

Auflager B:

Querkraft $V_d = |V_{B,li,d}| = 4,81 \text{ kN}$

siehe Fußnote in Tabelle 2-2

Bei Auflager B: Querschnittsschwächung durch Kerve:

$h_{netto} = 16 - 3 = 13 \text{ cm} \rightarrow A_n = 8 \cdot 13 = 104 \text{ cm}^2$
 $f_{v,d}$: Nachweisstelle mehr als 1,50 m vom Hirnholz entfernt → + 30%

$f_{v,d} = 1,3 \cdot 0,692 \cdot 2,0 = 1,80 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabelle 2-2)}$

→ $\tau_d = 15 \cdot \frac{4,81}{104} = 0,69 \text{ N/mm}^2 < 1,80 \text{ N/mm}^2$

$(\eta = 0,38 < 1)$

Nachweise der Biegespannung:

Nachweis Gl.(3-2): $\sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{M_d}{W_n} \leq f_{m,d}$

Über der Stütze B:

$M_d = |M_{B,d}| = 3,19 \text{ kNm}$

Über der Mittelpfette (Auflager B): Querschnittsschwächung durch Kerve:

$Nettohöhe = 16 - 3 = 13 \text{ cm} \rightarrow W_{netto} = 8 \cdot 13^2 / 6$
 $= 225,3 \text{ cm}^3$

$f_{m,d} = 0,692 \cdot 24,0 = 16,61 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabelle 2-2)}$

→ $\sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{3,19}{225,3} = 14,16 \text{ N/mm}^2 < 16,61 \text{ N/mm}^2$

$(\eta = 0,85 < 1)$

Im Feld:

$$M_d = M_{F,d} = 2,89 \text{ kNm}$$

$$f_{m,d} = 0,692 \cdot 24,0 = 16,61 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabelle 2-2)}$$

$$\text{Keine Querschnittsschwächung: } W = 8 \cdot 16^2 / 6 = 341,3 \text{ cm}^3$$

$$\rightarrow \sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{2,89}{341,3} = 8,47 \text{ N/mm}^2 < 16,61 \text{ N/mm}^2$$

$$(\eta = 0,51 < 1)$$

Nachweise der Durchbiegung:

Sparren kann als Durchlaufträger betrachtet werden

→ Nachweise mit k_{DLT} -Werten (siehe Fußnote in Tabelle 1-1):

$$k_{DLT} = 1 + 0,6 \cdot \frac{M_{li,d} + M_{re,d}}{M_{0,d}}$$

$$M_{li,d} = M_{A,d} = 0$$

$$M_{re} = M_{B,d} = -3,18 \text{ kNm}$$

$$M_0 = q_L \cdot \ell^2 / 8 = 1,90 \cdot$$

$$4,273^2 / 8 = 4,336 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow k_{DLT} = 1 + 0,6 \cdot$$

$$\frac{0 - 3,18}{4,336} = 0,559$$

Hinweis: bei der nachfolgenden Berechnung dürften die Durchbiegungsanteile w_{inst}^* infolge Wind mit dem Beiwert ψ_0 abgemindert werden. Hierauf wird aus Gründen der Vereinfachung verzichtet. Die Nachweise liegen damit auf der sicheren Seite

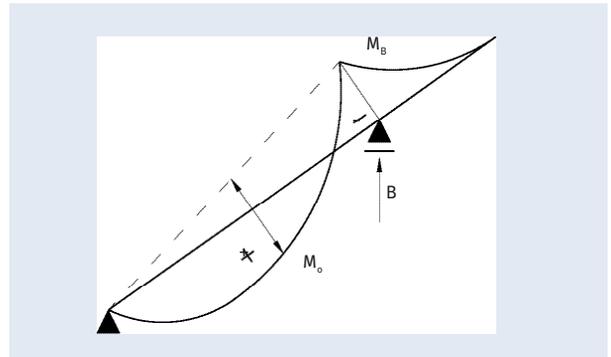
Berechnung nach Tabelle 3-2, mit

$\lambda = 4,273 \text{ m} = 4273 \text{ mm}$, $E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$ nach Tabelle 2-2

$$\rightarrow k_w = \frac{5}{384} \cdot \frac{\ell^4}{E_{0,mean} \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4273^4}{11000 \cdot 80 \cdot 160^3 / 12}$$

$$= 14,451$$

$$g_d = g_k = 0,516 \text{ kN/m}, s_d = s_k = 0,483 \text{ kN/m}, w_d = w_k = 0,410 \text{ kN/m}$$



▲ Schnittgrößen für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

Nachweis 1a: Elastische Durchbiegung

$$\text{Gl. (3-5a): } w_{Q,inst}^* \leq \frac{\ell}{300}$$

$$\rightarrow 7,2 \leq \frac{4273}{300} = 14,2 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Nachweis 1b: Enddurchbiegung:

$$\text{Gl. (3-5b): } w_{Q,inst}^* + k_{def} \cdot \sum w_{qs}^* \leq \frac{\ell}{200}$$

$$\rightarrow 7,2 + 0,8 \cdot 4,2 = 10,6 \text{ mm} \leq \frac{4273}{200} = 21,4 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Nachweis 2: Optik:

$$\text{Gl. (3-5c): } \sum w_{qs}^* \cdot (1 + k_{def}) \leq \frac{\ell}{200}$$

$$\rightarrow 4,2 \cdot (1 + 0,8) = 7,6 \text{ mm} \leq 21,4 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Bei beidseitigem Überstand darf die Auflagerlänge λ_{ef} in Faserrichtung des Holzes um jeweils 3 cm vergrößert werden

	ideeler Einfeldträger				Durchlaufträger			ψ_2 Tabelle 1-3
Bel.	k_w	q_d [kN/m]	$w_{inst} = k_w \cdot q_d$ [mm]	$w_{qs} = \psi_2 \cdot w_{inst}$ [mm]	k_{DLT}	$w_{inst}^* = k_{DLT} \cdot w_{inst}$ [mm]	$w_{qs}^* = k_{DLT} \cdot w_{qs}$ [mm]	
g_k	14,451	0,516	7,5	7,5	0,559	4,2	4,2	1,0
s_k		0,483	7,0	0		3,9	0	0
w_k		0,410	5,9	0		3,3	0	0
				7,5		7,2	4,2	NKL = 2 $k_{def} = 0,8$

Nachweis 3: Schwingung:
entfällt bei Sparren

Auflagerpressung Sparren – Mittelpfette (Stütze B):

Nachfolgend wird nur der Nachweis für die Mittelpfette geführt, da diese auf Querdruck beansprucht wird.

Nachweis Gl.(3-6): $\sigma_{c,90,d} = 10 \cdot \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$

$F_{c,90,d} = B_{d,Sparren} = 10,12 \text{ kN}$

$\rightarrow A_{ef} = 5,23 \cdot 14 = 73,2 \text{ cm}^2$

$k_{c,90} = 1,5$ (Annahme Schwellendruck, auf sicherer Seite)

$k_{c,90,d} = 0,692 \cdot 2,7 = 1,87 \text{ N/mm}^2$ (Tabelle 2-2 für GL 28c)

$\sigma_{c,90,d} = 10 \cdot \frac{10,12}{73,2} = 1,38 \leq 1,5 \cdot 1,87 = 2,81 \text{ N/mm}^2$

$(\eta = 0,49 < 1)$

c) Nachweise für Mittelpfette

Schnittgrößen

Belastungen der Pfette: $q_{ik} = \frac{B_{ik}}{0,9 \text{ m}}$

mit $B_{i,k}$ = charakteristische Auflagerkraft B des Sparrens (siehe Schnittgrößen Sparren).

Zusätzlich zur Belastung infolge Eigengewichtslasten des Daches ist das Eigengewicht der Pfette zu berücksichtigen:

$g_{k,PF} = 0,14 \cdot 0,24 \cdot 5,0 \text{ kN/m}^3 = 0,168 \text{ kN/m}$

$\rightarrow g_k = \frac{2,75}{0,9} + 0,168 = 3,22 \text{ kN/m}$

$s_k = \frac{2,57}{0,9} = 2,86 \text{ kN/m}$

$w_k = \frac{2,18}{0,9} = 2,42 \text{ kN/m}$

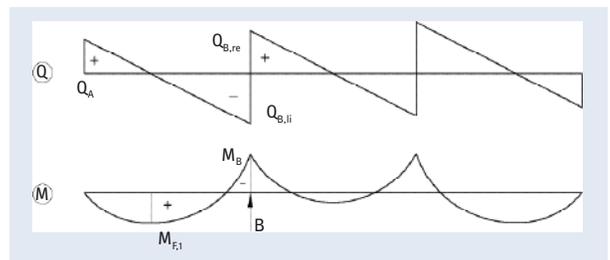
Für die Nachweise der Tragfähigkeit wird mit folgender Bemessungslast gerechnet (nach Gl.(1-1)):

$q_d = \max \left\{ \begin{aligned} &1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot s_k \\ &1,35 \cdot (g_k + s_k + w_k) \end{aligned} \right.$

$= 1,35 \cdot 3,22 + 1,5 \cdot 2,86 = 8,64 \text{ kN/m}$

$= 1,35 \cdot (3,22 + 2,86 + 2,42) = 11,48 \text{ kN/m}$

\rightarrow maßgebend: $q_d = 11,48 \text{ kN/m}$



Berechnung der Schnittgrößen z.B. nach Tabelle 1-1 für 3-Feldträger.

LK	$M_{F,d}$ [kNm]	$M_{B,d}$ [kNm]	$V_{A,d}$ [kN]	$V_{B,li,d}$ [kN]	B_d [kN]	KLED	k_{mod}
q_d	18,59	-23,24	20,66	-30,98	56,80	kurz	0,9

Schubspannungsnachweis:

Nachweis Gl.(3-1): $\tau_d = 15 \cdot \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d}$

$V_d = |V_{B,li,d}| = 30,98 \text{ kN}$

$A = 14 \cdot 24 = 336 \text{ cm}^2$

$f_{v,d} = 0,692 \cdot 2,5 = 1,73 \text{ N/mm}^2$ (Tabelle 2-2)

$\rightarrow \tau_d = 15 \cdot \frac{30,98}{336} = 1,38 < 1,73 \text{ N/mm}^2$ ($\eta = 0,80 < 1$)

$A_{ef} = b_A \cdot \lambda_{ef}$

$b_A = \frac{t_{Kerze}}{\sin 35} = \frac{3}{\sin 35} = 5,23 \text{ cm}$

$\lambda_{ef} = b_{Sparren} + 2 \cdot 3 = 8 + 2 \cdot 3 = 14 \text{ cm}$

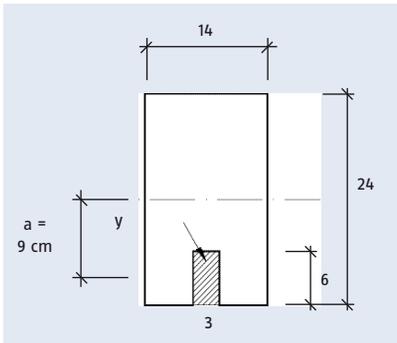
Biegespannungsnachweise:

Nachweis Gl.(3-2): $\sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{M_d}{W_n} \leq f_{m,d}$

Stütze:

$M_d = |M_{B,d}| = 23,24 \text{ kNm}$

Querschnittsschwächung durch Zapfen



Bei der Berechnung des Netto-Trägheitsmomentes dürfen Querschnittsschwächungen näherungsweise auf die Schwerachse des ungeschwächten Querschnittes bezogen werden, wenn $\Delta A \leq 0,1 \cdot A_{\text{brutto}}$ ist

$\Delta A_{Za} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ cm}^2 < 0,1 \cdot 14 \cdot 24 = 33,6 \text{ cm}^2$ ✓

$\rightarrow I_x = bh^3 / 12 - A_{Zapfen} \cdot a^2 = 14 \cdot 24^3 / 12 - 3 \cdot 6 \cdot 9^2$
 $= 14670 \text{ cm}^4$

$\rightarrow W_n \approx \frac{I_x}{h/2} \approx \frac{14670}{24/2} \approx 1222,5 \text{ cm}^3$

$f_{m,d} = 1,1 \cdot 0,692 \cdot 28 = 21,31 \text{ N/mm}^2$ (Tabelle 2-2)

(Faktor 1,1 für BSH-Träger mit $H \leq 300 \text{ mm}$)

$\rightarrow \sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{23,24}{1222,5} = 19,01 < 21,31 \text{ N/mm}^2$

$(\eta = 0,89 < 1)$

Feld:

$M_d = M_{F,d} = 18,59 \text{ kNm}$

Faktor 1,1 für BSH-Träger mit $H \leq 300 \text{ mm}$

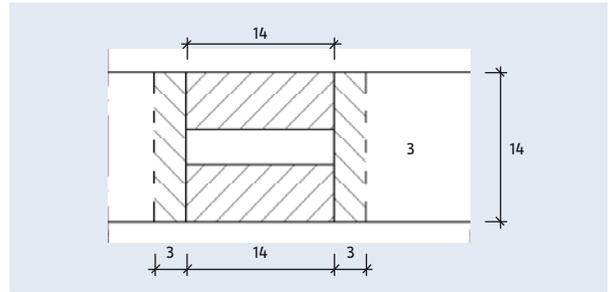
Brutto-Querschnitt: $W = 14 \cdot 24^2 / 6 = 1344 \text{ cm}^3$

$f_{m,d} = 1,1 \cdot 0,692 \cdot 28 = 21,31 \text{ N/mm}^2$ (Tabelle 2-2)

$\rightarrow \sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{18,59}{1344} = 13,83 < 21,31 \text{ N/mm}^2$

$(\eta = 0,65 < 1)$

Auflagerpressung Stütze B:



Nachweis (3-6): $\sigma_{c,90,d} = 10 \cdot \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$

$F_{c,90,d} = B_d = 56,80 \text{ kN}$

$A_{ef} = 14 \cdot (14 + 2 \cdot 3) - 14 \cdot 3 = 238 \text{ cm}^2$

$k_{c,90} = 1,75$ (Auflagerdruck BSH)

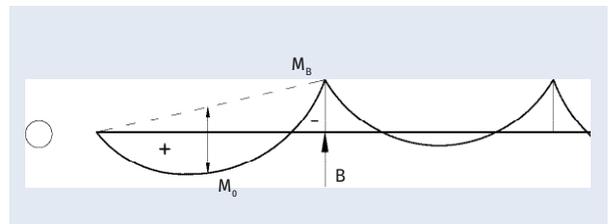
$f_{c,90,d} = 0,692 \cdot 2,7 = 1,87 \text{ N/mm}^2$ (Tabelle 2-2)

$\rightarrow \sigma_{c,90,d} = 10 \cdot \frac{56,80}{238} = 2,39 < 1,75 \cdot 1,87 = 3,27 \text{ N/mm}^2$

$(\eta = 0,73 < 1)$

Nachweise der Durchbiegungen:

Schnittgrößen für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit:



Berechnung nach Tabelle 3-2, mit

$\lambda = 4,5 \text{ m} = 4500 \text{ mm}$, $E_{0,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2$ nach Tabelle 2-2

$\rightarrow k_w = \frac{5}{384} \cdot \frac{\ell^4}{E_{0,mean} \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4500^4}{12600 \cdot 140 \cdot 240^3 / 12}$
 $= 2,627$

$g_d = g_k = 3,22 \text{ kN/m}$, $s_d = s_k = 2,86 \text{ kN/m}$, $w_d = w_k = 2,42 \text{ kN/m}$

Nachweis für das Endfeld der Pfette mit $k_{DLT} = 0,486$ (Tabelle 1-1)

Hinweis: bei der Berechnung dürften die Durchbiegungsanteile w_{inst}^* infolge Wind mit dem Beiwert ψ_0 abgemindert werden. Hierauf wird aus Gründen der Vereinfachung verzichtet. Die Nachweise liegen damit auf der sicheren Seite.

Nachweis 1a: Elastische Durchbiegung

Gl.(3-5a): $w_{Q,inst} \leq \frac{\ell}{300}$

→ $6,7 \leq \frac{4500}{300} = 15 \text{ mm}$

Nachweis 1b: Enddurchbiegung:

Gl.(3-5b): $w_{Q,inst} + k_{def} \cdot \sum w_{qs} \leq \frac{\ell}{200}$

→ $6,7 + 0,8 \cdot 4,1 = 10,0 \text{ mm} \leq \frac{4500}{200} = 22,5 \text{ mm}$

Nachweis 2: Optik:

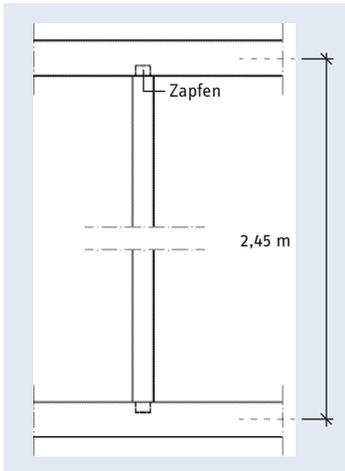
Gl.(3-5c): $\sum w_{qs} \cdot (1 + k_{def}) \leq \frac{\ell}{200}$

→ $4,1 \cdot (1 + 0,8) = 7,4 \text{ mm} \leq 22,5 \text{ mm}$

Nachweis 3: Schwingung:

entfällt bei Mittelpfette eines Daches

d) Knicknachweis für Stütze:



Nachweis Gl.(3-7): $\sigma_{c,0,d} = 10 \cdot \frac{F_{c,0,d}}{A} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$

$F_{c,0,d} = B_d = 56,80 \text{ kN}$

✓ $A = 14 \cdot 14 = 196 \text{ cm}^2$

$f_{c,0,d} = 0,692 \cdot 21,0 = 14,53 \text{ N/mm}^2$ (Tabelle 2-2 für C 24)

Ermittlung des Knickbeiwertes k_c nach Tabelle 3-3:

$\ell_{ef,y} = \ell_{ef,z} = 2,45 \text{ m}$

✓ $\lambda = \frac{\ell_{ef}}{i} = \frac{2,45}{0,289 \cdot 0,14} = 60,6 \Rightarrow k_c = 0,665$

(interpoliert)

$\sigma_{c,0,d} = 10 \cdot \frac{56,80}{196} = 2,90 \leq 0,665 \cdot 14,53 = 9,66 \text{ N/mm}^2$

✓ $(\eta = 0,30 < 1)$

e) Auflagerung Stütze – Schwelle (siehe auch Auflagerpressung Mittelpfette)

Nachweis Gl.(3-6): $\sigma_{c,90,d} = 10 \cdot \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$

$F_{c,0,d} = B_d = 56,80 \text{ kN}$

$A_{ef} = 238 \text{ cm}^2$ (siehe Auflagerpressung Mittelpfette)

$k_{c,90} = 1,25$ (Schwellendruck VH)

$f_{c,90,d} = 0,692 \cdot 2,5 = 1,73 \text{ N/mm}^2$ (Tabelle 2-2)

→ $\sigma_{c,0,d} = 10 \cdot \frac{56,80}{238} = 2,39 > 1,25 \cdot 1,73$

$= 2,16 \text{ N/mm}^2$ ($\eta = 1,11 > 1$)

→ Nachweis nicht eingehalten!

→ gewählt: Schwelle aus BSH GL 28h:

$k_{c,90} = 1,5$ (Schwellendruck BSH)

$f_{c,90,d} = 0,692 \cdot 3,0 = 2,08 \text{ N/mm}^2$ (Tabelle 2-2)

→ $\sigma_{c,0,d} = 10 \cdot \frac{56,80}{238} = 2,39 < 1,5 \cdot 2,08$

$= 3,12 \text{ N/mm}^2$ ($\eta = 0,77 < 1$)

	ideeller Einfeldträger				Durchlaufträger			ψ_2 Tabelle 1-3
Bel.	k_w	q_d [kN/m]	$w_{inst} = k_w \cdot q_d$ [mm]	$w_{qs} = \psi_2 \cdot w_{inst}$ [mm]	k_{DLT}	$w_{inst}^* = k_{DLT} \cdot w_{inst}$ [mm]	$w_{qs}^* = k_{DLT} \cdot w_{qs}$ [mm]	
g_k	2,627	3,22	8,8	8,5	0,486	4,1	4,1	1,0
s_k		2,86	7,5	0		3,6	0	0
w_k		2,42	6,4	0		3,1	0	0
				8,5		6,7	4,1	NKL = 2 $k_{def} = 0,8$

Anhang

Die wichtigsten Grundlagen der Bemessung kurz zusammengestellt.

1 Lastseite

Die Lasten (neue Bezeichnung: Einwirkungen) werden nach wie vor der Normenreihe DIN 1055 entnommen.

**1.1 Spannungsnachweise
(Nachweise der Tragfähigkeit)**

$$g_d = 1,35 \cdot g_k$$

$$p_d = 1,5 \cdot p_k$$

$$s_d = 1,5 \cdot s_k$$

$$w_k = 1,5 \cdot w_k$$

Um sich gegen Ausreißer abzusichern, müssen bei Spannungsnachweisen (= Nachweise der Tragfähigkeit) die charakteristischen Lasten nach DIN 1055 erhöht werden. DIN 1052 lässt folgende vereinfachte Berechnung zu:

$$E_d = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k,1} \\ 1,35 \cdot (G_k + \sum Q_{k,i}) \end{array} \right. \quad (1-1a)$$

$$(1-1b)$$

- E_d = Bemessungswert der Last (Einwirkung) (Index d)
- G_k = charakteristische Eigengewichtslast (Index k)
- $Q_{k,1}$ = größte veränderliche Last
- $Q_{k,i}$ = i-te veränderliche Last

1.1.1 Schnittgrößen und Auflagerkräfte

Die Bestimmung von Auflagerkräften und Schnittgrößen (Querkräfte, Biegemomente) erfolgt wie bisher auf der Grundlage der elementaren Baustatik.

In Tabelle 1-1 sind die Schnittgrößen und Auflagerkräfte für 2- und 3-Feldträger zusammen gestellt.

Tabelle 1-1 Schnittgrößen, Auflagerkräfte und Beiwerte k_{DLT} (siehe Abschn. 3) für Durchlaufträger

Kräfte:	$\cdot q \lambda$	Laststellung	Kräfte:	$\cdot q \lambda$	Laststellung
Momente:	$\cdot q \lambda^2$	g, s, w	Momente:	$\cdot q \lambda^2$	p
A/V_A	0,375		max A/V_A	0,438	
B	1,250		max B	1,250	
$V_{B,li}$	-0,625		min $V_{B,li}$	-0,625	
MB	-0,125		min M_B	-0,125	
M_1	0,070		max M_1	0,096	
k_{DLT}	0,400		k_{DLT}	0,700	
A/V_A	0,400		max A/V_A	0,450	
B	1,100		max B	1,200	
$V_{B,li}$	-0,600		min $V_{B,li}$	-0,617	
M_B	-0,100		min M_B	-0,117	
M_1	0,080		max M_1	0,101	
k_{DLT}	0,520		k_{DLT}	0,760	
M_2	0,025		max M_2	0,075	
k_{DLT}	0,040		k_{DLT}	0,520	

Erläuterung zu k_{DLT} : $w^* = w_{DLT} = k_{DLT} \cdot w_{EFT}$

$$k_{DLT} = 1 + 0,6 \cdot \frac{M_{li} + M_{re}}{M_0} \quad (\text{Momente vorzeichengerecht einsetzen!})$$

1.1.2 Klassen der Lasteinwirkungsdauer

Die Dauer einer Einwirkung hat Einfluss auf die Tragfähigkeit von Holz, Holzwerkstoffen und Verbindungen. Daher werden die verschiedenen Lasten in Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED) eingeteilt. In Tabelle 1-2 ist die Klasseneinteilung für einige Lasten angegeben.

Bei Bemessungssituationen (Lastkombinationen), bei denen mehrere Lasten auftreten (Normalfall), darf die jeweils kürzeste KLED angesetzt werden.

Beispiel: Gebäude H > 1000 m ü. NN		
Einwirkung		KLED
Eigengewicht	g_d	ständig
Eigengewicht + Schnee	$g_d + s_d$	mittel
Eigengewicht + Wind	$g_d + w_d$	kurz
Eigengewicht + Schnee + Wind	$g_d + s_d + w_d$	kurz

1.2 Durchbiegungsnachweise (Nachweise der Gebrauchstauglichkeit)

$$g_d = 1,0 \cdot g_k$$

$$p_d = 1,0 \cdot p_k$$

$$s_d = 1,0 \cdot s_k$$

$$w_k = 1,0 \cdot w_k$$

1.2.1 Grundlagen

Bei Durchbiegungs- und Schwingungsnachweisen (= Nachweise der Gebrauchstauglichkeit) darf mit den charakteristischen Lasten nach DIN 1052 gerechnet werden, d.h. die Lasten müssen – im Gegensatz zu den Spannungsnachweisen – nicht erhöht werden: Kriechverformungen werden nur durch die „quasi-ständigen“ Anteile einer Last verursacht. Diese werden über die Beiwerte ψ_2 nach Tabelle 1-3 berücksichtigt:

$$q_{qs} = \psi_2 \cdot q_d \quad (1-2)$$

q_{qs} = quasi-ständiger Lastanteil

Tabelle 1-2 Klassen der Lasteinwirkungsdauer (Auszug)		
Einwirkung		KLED
Eigenlasten nach DIN 1055-1		ständig
Kategorie	Lotrechte Nutzlasten für Decken, Treppen und Balkone nach DIN 1055-3	
A	Wohn- und Aufenthaltsräume, Spitzböden	
B	Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	
Windlasten nach DIN 1055-4		kurz
Schnee- und Eislasten nach DIN 1055-4		
► Standort Höhe ≤ 1000 m ü. NN		kurz
► Standort Höhe > 1000 m ü. NN		mittel

Tabelle 1-3: Beiwerte ψ_2 zur Berechnung von Kriechverformungen (Auszug)		
Einwirkung		ψ_2
Kategorie	Nutzlasten für Hochbauten	
A	Wohn- und Aufenthaltsräume, Spitzböden	
B	Büroflächen, Arbeitsräume, Flure	
Schnee- und Eislasten für Hochbauten ²⁾		
► Orte	Höhe ≤ 1000 m über NN	0
► Orte	Höhe > 1000 m über NN	0,2
Windlasten für Hochbauten ¹⁾		0

¹⁾ Abänderungen für unterschiedliche geographische Gegenden können erforderlich sein.

ψ_2 = quasi-ständiger Beiwert nach Tabelle 1-3
 q_d = Bemessungswert der Last

Die quasi-ständige Durchbiegung w_{qs} berechnet sich analog zu:

$w_{qs} = \psi_2 \cdot w_{inst}$ (1-2)
 w_{qs} = quasi-ständige Durchbiegung
 ψ_2 = quasi-ständiger Beiwert nach Tabelle 1-3
 w_{inst} = elastische Durchbiegung

Eine Kriechverformung w_{kriech} wird mit Hilfe der Verformungsbeiwerte k_{def} nach Tabelle 1-4 berechnet:

$w_{kriech} = k_{def} \cdot w_{qs}$ (1-4)
 w_{kriech} = Kriechverformung
 k_{def} = Verformungsbeiwert nach Tabelle 1-4
 w_{qs} = quasi-ständige Verformung

Tabelle 1-4: Kriechbeiwerte k_{def} (Auszug)			
NKL	1	2	3
Vollholz u. Brettschichtholz	0,6	0,8	2,0

2 Materialeite

2.1 Nutzungsklassen

Das Umgebungsklima hat Einfluss auf die Tragfähigkeit von Holz, Holzwerkstoffen und Verbindungen. In Tabelle 2-1 sind die in DIN 052 definierten Klassen zusammengestellt.

Tabelle: 2-1 Nutzungsklassen (NKL)		
NKL	Ausgleichsfeuchte ω_{gl} [%]	Einsatzbereich (Beispiele)
1	10 ± 5	Beheizte Innenräume
2	15 ± 5	Überdachte, offene Tragwerke
3	18 ± 6	Frei der Witterung ausgesetzte Bauteile

2.2 Materialeigenschaften

2.2.1 Bemessungstabellen

In Tabelle 2-2 sind die für die Beispiele benötigten Materialeigenschaften für Vollholz der Festigkeitsklasse C 24 (früher S 10) und für Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL 28h (homogenes BSH) zusammengestellt.

In Tabelle 2-3 sind die geforderten Mindestholzdicken t_{req} und die charakteristischen Tragfähigkeiten R_k pro Scherfuge für Stabdübelverbindungen Ø 12 mm zusammengestellt.

2.2.2. Modifizierung der Festigkeiten und Tragfähigkeiten

Zur Sicherstellung des geforderten Sicherheitsniveaus müssen die charakteristischen Festigkeitswerte f_k und Tragfähigkeiten R_k wie folgt modifiziert werden:

$$f_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_k$$

bzw. (2.2)

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

f_d bzw. R_d = Bemessungswert der Festigkeit bzw. Tragfähigkeit
 k_{mod} = Modifikationsbeiwert in Abhängigkeit von der NKL und der KLED
 γ_M = Material-Teilsicherheitsbeiwert
 f_k bzw. R_k = charakteristischer Wert der Festigkeit bzw. Tragfähigkeit

Die Werte für k_{mod}/γ_M sind in den Bemessungstabellen (Tabelle 2-2 und Tabelle 2-3) jeweils im Fußnotenbereich angegeben.

Beispiele:

- Bemessungswert der Biegefestigkeit $f_{m,d}$ für C 24 in der NKL 1 und für eine KLED = mittel:
 Tabelle 2-2: $f_{m,d} = 0,615 \cdot 24 = 14,76 \text{ N/mm}^2$
- Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d eines Stabdübel Ø 12 mm (S 235) in einem Zugstoß in VH C 24, NKL 2 und für KLED = kurz:
 Tabelle 2-3: Beanspruchungswinkel $\gamma = 0^\circ$:
 $R_d = 0,818 \cdot 6,47 = 5,29 \text{ kN}$ pro Scherfuge

3. Nachweise

Schubspannung:

$$\tau_d = 15 \cdot \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d} \quad (3-1)$$

V_d = Bemessungswert der Querkraft in [kN]
 A = Querschnittsfläche in [cm²]
 $f_{v,d}$ = Bemessungswert der Schubfestigkeit nach Tabelle 2-2

Biegespannung:

$$\sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{M_d}{W_n} \leq f_{m,d} \quad (3-2)$$

M_d = Bemessungswert des Biegemomentes in [kNm]
 W_n = Netto-Widerstandsmoment in [cm³]
 $f_{m,d}$ = Bemessungswert der Biegefestigkeit nach Tabelle 2-2

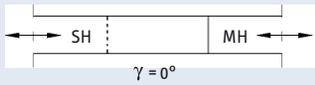
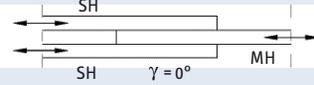
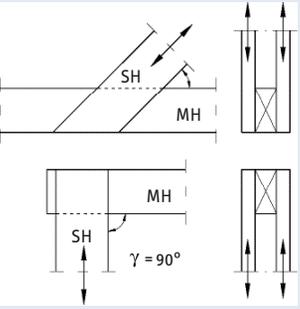
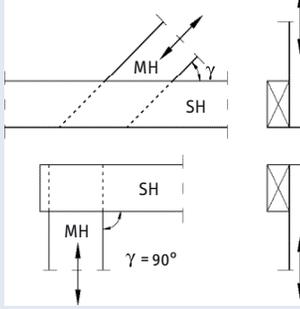
Tabelle 2-2: Bemessungstabelle für C 24, GL 28c (komb. BSH) und GI 28h (homog. BSH) (Auszug)

Festigkeitsklasse		C 24	GL 28c	GL 28h		
Festigkeitskennwerte in N/mm²						
Biegung	$f_{m,k}$	24	28 ²⁾	28 ²⁾		
Zug	Faser $f_{t,0,k}$	14	16,5	19,5		
Druck	Faser $f_{c,0,k}$	21	24	26,5		
	⊥ Faser $f_{c,90,k}$	2,5	2,7	3,0		
Schub und Torsion $f_{v,k}$		2,0 ¹⁾	2,5	2,5		
Steifigkeitskennwerte in N/mm²						
E-Modul Faser	$E_{0,mean}$	11 000	12 600	12 600		
Zur Bestimmung von $f_{i,d}$ sind die Werte für $f_{i,k}$ in Abhängigkeit von der KLED und der NKL wie folgt zu modifizieren ($\times k_{mod} / \gamma_M$):		KLED				
		$\frac{k_{mod}}{\gamma_M}$	ständig	lang	mittel	kurz
		NKL 1 u. 2	0,462	0,538	0,615	0,692
		NKL 3	0,385	0,423	0,500	0,538

1) Beim Nachweis von Querschnitten, die mindestens 1,50 m vom Hirnholz entfernt liegen, darf $f_{v,k}$ um 30 % erhöht werden.

2) Bei Brettschichtholz mit liegenden Lamellen und einer Querschnittshöhe $h \leq 300$ mm darf $f_{m,k}$ um 10 % erhöht werden.

Tabelle 2-3 Bemessungstabelle für Stabdübel (C 24 und Stabdübel S 235) (Auszug); t_{req} [mm], R_k [kN]

		 $\gamma = 0^\circ$							 $\gamma = 0^\circ$						
		 $\gamma = 90^\circ$							 $\gamma = 90^\circ$						
		Diagonale/Vertikalstab: außen							Diagonale/Vertikalstab: innen						
d [mm]		$\gamma =$							$\gamma =$						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
12	$t_{SH,req}$	60	60	59	58	58	57	57	60	61	64	69	73	76	77
	$t_{MH,req}$	50	51	54	59	63	66	67	50	49	48	47	45	44	44
	Rk	6,47	6,41	6,27	6,08	5,91	5,79	5,75	6,47	6,41	6,27	6,08	5,91	5,79	5,75
Zur Bestimmung von R_d sind die Werte für R_k in Abhängigkeit von der KLED und der NKL wie folgt zu modifizieren ($\times k_{mod} / \gamma_M$):		$\frac{k_{mod}}{\gamma_M}$		KLED											
				ständig	lang	mittel	kurz	ständig	lang	mittel	kurz				
				NKL 1 u. 2	0,545	0,636	0,727	0,818	NKL 1 u. 2	0,545	0,636	0,727	0,818		
				NKL 3	0,455	0,500	0,591	0,636	NKL 3	0,455	0,500	0,591	0,636		

Für die Nachweisführung wird eine Berechnung auf der Grundlage der folgenden tabellarischen Zusammenstellung empfohlen.

Durchbiegungsnachweise bei Durchlaufträgern:

Die Durchbiegungsnachweise bei Durchlaufträgern erfolgen analog zu den Einfeldträgern.

Die Durchbiegung eines Durchlaufträgers mit gleichen Stützweiten kann auf der Grundlage der Durchbiegung eines ideellen Einfeldträgers wie folgt berechnet werden:

$$w^* = k_{DLT} \cdot w_{EFFR} \quad (3-4)$$

w^* = Durchbiegung eines Durchlaufträgers

k_{DLT} = Beiwert nach Tabelle 1-1

w_{EFFR} = Durchbiegung des zugehörigen ideellen Einfeldträgers

Folgende Nachweise sind zu führen:

Für die Durchbiegungsnachweise wird erneut eine tabellarische Zusammenstellung empfohlen.

Querdruck (Auflagerpressung):

$$\sigma_{c,90,d} = 10 \cdot \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (3-6)$$

$F_{c,90,d}$ = Bemessungswert der Querdruckkraft in [kN]

A_{ef} = wirksame Auflagerfläche in [cm²]

$$= b_A \cdot (\lambda_A + \ddot{u}_{ll} + \ddot{u}_{re})$$

$\ddot{u}_{ll}, \ddot{u}_{re}$ = Überstand von 3 cm in Faserrichtung des Holzes

$k_{c,90}$ = Beiwert zur Erhöhung der Querdruckfestigkeit (siehe nachfolgende Tabelle)

$f_{c,90,d}$ = Bemessungswert der Querdruckfestigkeit nach Tabelle 2-2

$k_{c,90}$	Schwellendruck	Auflagerdruck
Vollholz	1,25	1,5
Brettschichtholz	1,5	1,75

Tabelle 3-1: Tabelle zur Berechnung der Durchbiegungsanteile bei Einfeldträgern

Belastung	k_w $= \frac{5}{384} \frac{q_d \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I}$	q_d [kN/m]	$w_{inst} = k_w \cdot q_d$ [mm]	$w_{qs} = \psi_2 \cdot w_{inst}$ [mm]	ψ_2 Tabelle 1-3
G					1,0
Q					...
			$W_{Q,inst}$	$\sum w_{qs}$	NKL = ... (Tabelle 2-1) $k_{def} = \dots$ (Tabelle 1-4)

Tabelle 3-2 Tabelle zur Berechnung der Durchbiegungsanteile bei Durchlaufträgern

Bel.	ideeller Einfeldträger				Durchlaufträger			ψ_2 Tabelle 1-3
	k_w $= \frac{5}{384} \frac{q_d \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I}$	q_d [kN/m]	$w_{inst} = k_w \cdot q_d$ [mm]	$w_{qs} = \psi_2 \cdot w_{inst}$ [mm]	k_{DLT}	$w_{inst}^* = k_{DLT} \cdot w_{inst}$ [mm]	$w_{qs}^* = k_{DLT} \cdot w_{qs}$ [mm]	
G								
Q								
				$\sum w_{qs}$		$W_{Q,inst}^*$	$\sum w_{qs}^*$	NKL = ... $k_{def} = \dots$

Knicken:

$$\sigma_{c,d} = 10 \cdot \frac{F_{c,0,d}}{A} \leq k_c \cdot f_{c,0,d} \quad (3-7)$$

- $F_{c,0,d}$ = Bemessungswert der Druckkraft in [kN]
- A = Querschnittsfläche in [cm²]
- k_c = Knickbeiwert (siehe nachfolgende Tabelle)
- $f_{c,0,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit nach Tabelle 2-2

Zugspannung bei einseitig beanspruchten Stäben:

$$\sigma_{t,0,d} = 10 \cdot \frac{F_{t,0,d}}{A_n} \leq k_{t,e} \cdot f_{t,0,d} \quad (3-8)$$

- $F_{t,0,d}$ = Bemessungswert der Zugkraft in [kN]
- A_n = Netto-Querschnittsfläche in [cm²]
- $k_{t,e}$ = Beiwert zur Berücksichtigung der exzentrischen Zugbeanspruchung
= 0,4 wenn Aufwölben der Stäbe nicht behindert wird
- $f_{t,0,d}$ = Bemessungswert der Zugfestigkeit nach Tabelle 2-2

Stabdübelanschluss:

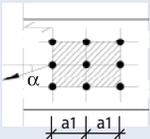
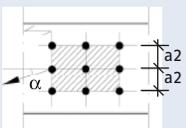
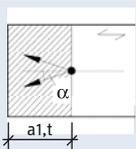
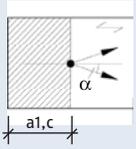
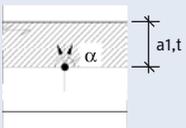
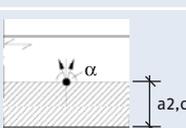
- $N_d \leq k_{ef} \cdot n_{VM} \cdot R_d \quad (3-9)$
- N_d = Bemessungswert der anzuschließenden Kraft in [kN]
- k_{ef} = Beiwert zur Berücksichtigung der Spaltgefahr bei in Faserrichtung hintereinander liegenden Stabdübeln (siehe nachfolgende Tabelle)
- n_{VM} = Anzahl der Verbindungsmittel
- R_d = Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Stabdübeln nach Tabelle 2-3

Tabelle 3-3 Knickbeiwerte k_c für Vollholz C 24	
λ	C 24
15	1,0
20	0,991
25	0,970
30	0,947
35	0,919
40	0,885
45	0,884
50	0,794
55	0,736
60	0,673
65	0,610
70	0,550
75	0,495
80	0,446
85	0,403
90	0,365
95	0,332
100	0,303

Tabelle 3-4 Beiwerte k_{ef} bei $n_n = 2$ in Faserrichtung hintereinander liegenden Stabdübeln											
n_n	a_i/d	Stabdübel									
		_0	_1	_2	_3	_4	_5	_6	_7	_8	_9
2	3,_	0,691	0,696	0,702	0,707	0,712	0,718	0,723	0,728	0,733	0,737
	4,_	0,742	0,747	0,751	0,756	0,760	0,764	0,768	0,773	0,777	0,781
	5,_	0,785	0,788	0,792	0,796	0,800	0,804	0,807	0,811	0,814	0,818
	6,_	0,821	0,825	0,828	0,831	0,835	0,838	0,841	0,844	0,847	0,850
	7,_	0,853	0,856	0,859	0,862	0,865	0,868	0,871	0,874	0,877	0,880
	8,_	0,882	0,885	0,888	0,891	0,893	0,896	0,899	0,901	0,904	0,960

Beispiel: $a_i/d = 7,5 \rightarrow k_{ef} = 0,868$

Tabelle 3-5 Mindestabstände bei Stabdübelverbindungen

	Abstand	Stabdübel
	in Faserrichtung untereinander	$\min a_1 = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
	rechtwinklig zur Faserrichtung untereinander	$\min a_2 = 3 \cdot d$
	in Faserrichtung zum beanspruchten Rand	$\min a_{1,t} = 7 \cdot d$ (mind. 80 mm)
	in Faserrichtung zum unbeanspruchten Rand	$\min a_{1,c} = 7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ (mind. $3 \cdot d$)
	rechtwinklig zur Faserrichtung zum beanspruchten Rand	$\min a_{2,t} = 3 \cdot d$
	rechtwinklig zur Faserrichtung zum unbeanspruchten Rand	$\min a_{2,c} = 3 \cdot d$

Impressum

Verlag:
WEKA MEDIA GmbH & Co. KG
Römerstraße 4 | 86438 Kissing
Telefon +49 82 33.23-0
www.weka.de | www.mikado-online.de

Diese Anschrift gilt auch für folgende Personen und Gesellschaften, sofern nicht anders lautend:

Herausgeber:
WEKA MEDIA GmbH & Co. KG

Geschäftsführer:
Stephan Behrens, Mirko Meurer, Heinz Weinheimer

Chefredakteur:
Dipl.-Betriebsw. (FH) Christoph M. Dauner (cm)
(verantwortl.)
Christoph.Dauner@weka.de

Redaktion dieser Ausgabe:
Dipl.-Ing. (FH) Claudia Vielweib (cv)

Aboverwaltung:
Fon +49 82 33.23 40 40
service.handwerk@weka.de

Produktion:
Helmut Göhl (verantwortl.) | Silke Scherzer

Popp Media Service
Herrenbachstraße 17 | 86161 Augsburg
Manfred Popp | Andreas Kollmann

Lithografie:
high end dtp-service
Herrenbachstraße 19 | 86161 Augsburg

Druck:
Firmengruppe APPL | sellier druck GmbH
Angerstraße 54 | 85354 Freising

WEKA ist bemüht, ihre Produkte jeweils nach neuesten Erkenntnissen zu erstellen. Die inhaltliche Richtigkeit und Fehlerfreiheit wird ausdrücklich nicht zugesichert. Bei Nichtlieferung durch höhere Gewalt, Streik oder Aussperung besteht kein Anspruch auf Ersatz. Zum Abdruck angenommene Beiträge und Abbildungen gehen im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen in das Veröffentlichungs- und Verbreitungsrecht des Verlags über. Für unaufgefordert eingesandte Beiträge übernehmen Verlag und Redaktion keine Gewähr. Namentlich ausgewiesene Beiträge liegen in der Verantwortlichkeit des Autors. Die Quartalschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jeglicher Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit ausdrücklicher schriftlicher Genehmigung des Verlags und mit Quellenangabe gestattet. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung des Verlags strafbar.

Durchbiegungsnachweise bei Einfeldträgern		
Nachweis		Einfeldträger
Elastische Durchbiegung	NW 1a	$w_{Q,inst} \leq \frac{\ell}{300}$
Enddurchbiegung	NW 1b	$w_{Q,inst} + k_{def} \cdot \sum w_{qs} \leq \frac{\ell}{200}$
Optische Beeinträchtigung	NW 2	$\sum w_{qs} \cdot (1 + k_{def}) \leq \frac{\ell}{200}$
Schwingung	NW 3	$0,7 \cdot \sum w_{qs} \leq 6 \text{ mm}$

$w_{Q,inst}$ = elast. Durchbiegung inf. veränderlicher Last
 $\sum w_{qs}$ = Summe aller quasi-ständigen Durchbiegung
 k_{def} = Kriechbeiwert nach Tabelle 1-4
 l = Stützweite

Folgende Nachweise sind zu führen		
Nachweis		Durchlaufträger ¹⁾
Elastische Durchbiegung	NW 1a	$w_{Q,inst} \leq \frac{\ell}{300}$
Enddurchbiegung	NW 1b	$w_{Q,inst} + k_{def} \cdot \sum w_{qs} \leq \frac{\ell}{200}$
Optische Beeinträchtigung	NW 2	$\sum w_{qs} \cdot (1 + k_{def}) \leq \frac{\ell}{200}$
Schwingung	NW 3	$0,7 \cdot \sum w_{qs} \leq 6 \text{ mm}$

$w_{Q,inst}$ = elast. Durchbiegung inf. veränderlicher Last
 $\sum w_{qs}$ = Summe aller quasi-ständigen Durchbiegung
 k_{def} = Kriechbeiwert nach Tabelle 1-4
 l = Stützweite

¹⁾ $w_{G,inst}^* = k_{DIT,G} \cdot w_{G,inst}$ und $w_{Q,inst}^* = k_{DIT,Q} \cdot w_{Q,inst}$

► Der Autor

Francois Colling ist Professor für Holzbau und Baustatik an der Hochschule Augsburg. Colling hat mehrere Fachbücher veröffentlicht und wirkte bei einer Bemessungssoftware zum Eurocode 5 mit. Als öffentlich bestellter und vereidigter (ö.b.u.v.) Sachverständiger für Holzbau betreibt er ein Beratungsbüro. Darüber hinaus ist er Leiter der bauaufsichtlich anerkannten Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ_Stelle) für Holzbau. Colling sitzt Mitglied im Ausschuss für die Erarbeitung der DIN 1052 und im nationalen Expertenkreis zum Eurocode 5.





mikadoplus ist das vierteljährliche
Themenmagazin exklusiv für ***mikado***-Abonnenten.

Sie erreichen den Abo-Service unter

Telefon +49 82 33.23 40 40

Fax +49 82 33.23 72 30

E-Mail service.bau@weka.de