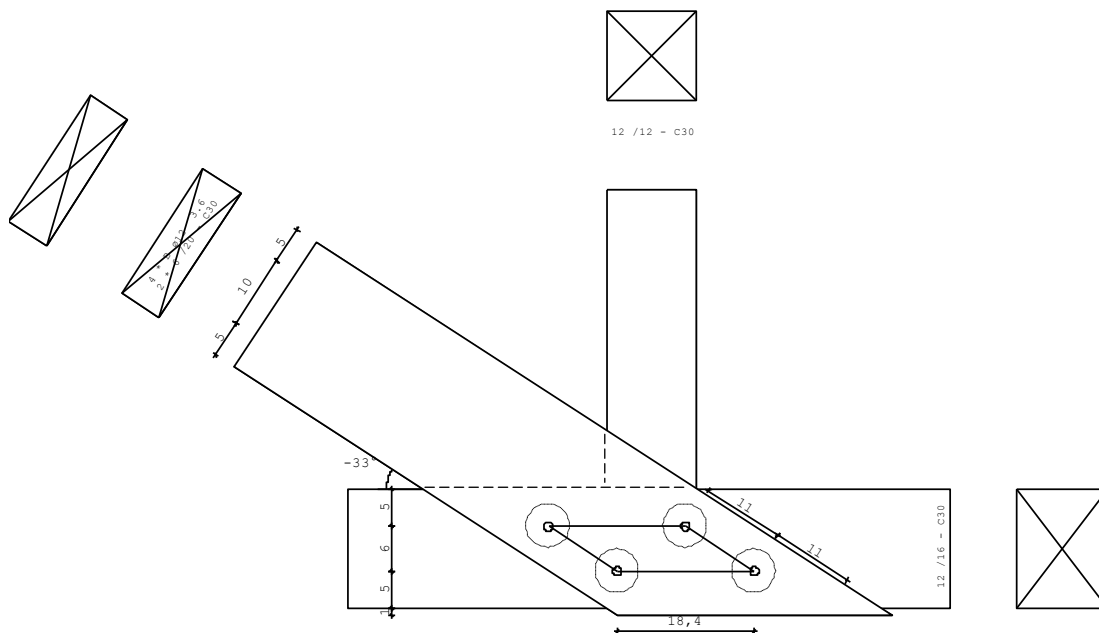


HO13 – Beispiel 1: Fachwerkknoten mit Bolzen nach NTC 2008 + UNI EN 1995-1-1

System



Schnittlasten: Bemessungswerte
aus einer Lastkombination mit kurzer Lasteinwirkungsdauer

Untergurt, linkes Schnittufer $N_d = 124,9 \text{ kN}$

Untergurt, rechtes Schnittufer $N_d = 154,7 \text{ kN}$

Pfosten $N_d = -19,3 \text{ kN}$

Diagonale $N_d = 35,5 \text{ kN}$

Geometrie: Untergurt $b/h = 12/16$, horizontal
Pfosten $b/h = 12/12$, senkrecht zum Untergurt
Diagonale $b/h = 2 \times 6/20$, Neigungswinkel bzgl. Untergurt: 33°

Material: Nadelholz C30
Bolzen M12 (3.6), $d = 12 \text{ mm}$ mit Unterlegscheiben 44/13,5 (EN ISO 7094)

Nutzungsklasse 1

Bolzenkennwerte

Lochleibungsfestigkeit parallel zur Faser

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380 = 27,42 \text{ N/mm}^2$$

Lochleibungsfestigkeit unter einem Winkel $\alpha = 33^\circ$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{27,42 \text{ N/mm}^2}{1,53 \cdot \sin^2 33^\circ + \cos^2 33^\circ} = \frac{27,42 \text{ N/mm}^2}{1,157} = 23,70 \text{ N/mm}^2$$

Zuordnung der Lochleibungsfestigkeiten

Seitenholz (Holz 1): Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung $\alpha_1 = 0^\circ$, somit

$$f_{h,1,k} = f_{h,0,k} = 27,42 \text{ N/mm}^2.$$

Mittelholz (Holz 2): Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung $\alpha_2 = 33^\circ$, somit

$$f_{h,2,k} = f_{h,\alpha,k} = 23,70 \text{ N/mm}^2.$$

Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{23,70 \text{ N/mm}^2}{27,42 \text{ N/mm}^2} = 0,864$$

Fließmoment

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 300 \cdot 12^{2,6} = 57559 \text{ Nmm}$$

Tragfähigkeiten

Genaueres Verfahren nach Johansen (EN 1995-1-1, 8.2)

$$F_{v,Rk1} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 27,42 \text{ N/mm}^2 \cdot 60 \text{ mm} \cdot 12 \text{ mm} = 19743 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd1} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk1} = \frac{0,9}{1,5} \cdot 19743 \text{ N} = 11846 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk2} = 0,5 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta = 0,5 \cdot 27,42 \text{ N/mm}^2 \cdot 120 \text{ mm} \cdot 12 \text{ mm} \cdot 0,864 = 17057 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd2} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk2} = \frac{0,9}{1,5} \cdot 17057 \text{ N} = 10234 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk3} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$$

$$= 1,05 \cdot \frac{27,42 \text{ N/mm}^2 \cdot 60 \text{ mm} \cdot 12 \text{ mm}}{2,864} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 0,864 \cdot 1,864 + \frac{4 \cdot 0,864 \cdot (2,864) \cdot 57559 \text{ Nmm}}{27,42 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \text{ mm} \cdot (60 \text{ mm})^2}} - 0,864 \right]$$

$$= 7673 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd3} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk3} = \frac{0,9}{1,5} \cdot 7673 \text{ N} = 4604 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk4} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$$

$$= 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,864}{1,864}} \cdot \sqrt{2 \cdot 57559 \text{ Nmm} \cdot 27,42 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \text{ mm}} = 6815 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd4} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk4} = \frac{0,9}{1,5} \cdot 6815 \text{ N} = 4089 \text{ N}$$

$$\min F_{v,Rd} = F_{v,Rd4} = \underline{\underline{4089 \text{ N}}}$$

Erhöhung der Tragfähigkeit durch den Seileffekt

$$\Delta F_{Rk} = \min \begin{cases} 0,25 \cdot F_{v,Rk} \\ 0,25 \cdot F_{ax,Rk} \end{cases}$$

Die Tragfähigkeit des Bolzens in Richtung der Stiftachse wird hier begrenzt durch den Querdruck unter der Unterlegscheibe, der nach EN 1995-1-1, 8.5.2 (2) vereinfachend mit dem 3-fachen Festigkeitswert des Holzes berechnet wird:

$$F_{ax,Rk} = 3,0 \cdot f_{c,90,k} \cdot A_{Scheibe} = 3,0 \cdot 2,7 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{\pi \cdot [(44 \text{ mm})^2 - (13,5 \text{ mm})^2]}{4} = 11157 \text{ N}$$

$$\Delta F_{Rk} = \min \begin{cases} 0,25 \cdot 6815 \text{ N} \\ 0,25 \cdot 11157 \text{ N} \end{cases} = \underline{\underline{1704 \text{ N}}}$$

Gesamtragfähigkeit

$$F_{Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot (F_{v,Rk} + \Delta F_{Rk}) = \frac{0,9}{1,5} \cdot (6815 \text{ N} + 1704 \text{ N}) = 5111 \text{ N} = \underline{\underline{5,11 \text{ kN}}}$$

Nachweise

Nachweis der Bolzenabstände

In der Diagonalen ($\alpha = 0^\circ$)

$\min a_1 = 5 \cdot d = 5 \cdot 12 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$	$< 110 \text{ mm} = \text{vorh } a_1$
$\min a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 12 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$	$< 100 \text{ mm} = \text{vorh } a_2$
$\min a_{3,t} = 7 \cdot d = 7 \cdot 12 \text{ mm} = 84 \text{ mm} > 80 \text{ mm}$	$< 110 \text{ mm} = \text{vorh } a_{3,t}$
$\min a_{4,t} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 \text{ mm} = 36 \text{ mm}$	$< 50 \text{ mm} = \text{vorh } a_{4,t}$
$\min a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 \text{ mm} = 36 \text{ mm}$	$< 50 \text{ mm} = \text{vorh } a_{4,c}$

Im Untergurt ($\alpha = 33^\circ$)

$a_1 = (4 + \cos 33^\circ) \cdot 12 = 58,1 \text{ mm}$	$< 184 \text{ mm} = \text{vorh } a_1$
$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 12 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$	$< 60 \text{ mm} = \text{vorh } a_2$
$a_{3,t} = 7 \cdot d = 7 \cdot 12 \text{ mm} = 84 \text{ mm} > 80 \text{ mm}$	$\ll \text{vorh } a_{3,t}$
$a_{4,t} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 \text{ mm} = 36 \text{ mm}$	$< 50 \text{ mm} = \text{vorh } a_{4,t}$
$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 \text{ mm} = 36 \text{ mm}$	$< 50 \text{ mm} = \text{vorh } a_{4,c}$

Diagonalen und Untergurt

$$\min a_1 = \frac{4 \cdot d}{\sin 33^\circ} = \frac{4 \cdot 12 \text{ mm}}{0,545} = 88 \text{ mm} \quad < 110 \text{ mm} = \text{vorh } a_1$$

Nachweis der Diagonalen (Verbindungsmittel)

Maximale Normalkraft in der Diagonalen an dieser Stelle: $N_d = 35,5 \text{ kN}$

$$n_{\text{ef}} = \left(\min \left\{ \begin{array}{l} n^{0,9} \cdot \sqrt[0,4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \\ n \end{array} \right\} \right) \cdot \text{Anzahl nebeneinander}$$

$$n_{\text{ef},1} = \left(\min \left\{ \begin{array}{l} 2^{0,9} \cdot \sqrt[0,4]{\frac{110 \text{ mm}}{13 \cdot 12 \text{ mm}}} \\ 2 \end{array} \right\} \right) \cdot 2$$

$$= 1,71 \cdot 2 = 3,42$$

$$n_{\text{ef},2} = \left(\min \left\{ \begin{array}{l} 2^{0,9} \cdot \sqrt[0,4]{\frac{184 \text{ mm}}{13 \cdot 12 \text{ mm}}} \\ 2 \end{array} \right\} \right) \cdot 2$$

$$= 1,945 \cdot 2 = 3,89$$

$$\frac{F_{\text{Sd}}}{2 \cdot n_{\text{ef}} \cdot F_{\text{Rd}}} = \frac{35,5 \text{ kN}}{2 \cdot 3,42 \cdot 5,11 \text{ kN}} = \frac{35,5 \text{ kN}}{34,95 \text{ kN}} = 1,02 > 1 \quad !!!$$

Die Auslastung vom Anschluss der Diagonalen ist geringfügig überschritten. Aus diesem Grund wird der innere Abstand a_1 von 110 mm auf 120 mm erhöht, was die Spaltgefahr verringert:

$$n_{\text{ef},1} = \left(\min \left\{ \begin{array}{l} 2^{0,9} \cdot \sqrt[0,4]{\frac{120 \text{ mm}}{13 \cdot 12 \text{ mm}}} \\ 2 \end{array} \right\} \right) \cdot 2$$

$$= 1,75 \cdot 2 = 3,50$$

$$\frac{F_{\text{Sd}}}{2 \cdot n_{\text{ef}} \cdot F_{\text{Rd}}} = \frac{35,5 \text{ kN}}{2 \cdot 3,50 \cdot 5,11 \text{ kN}} = \frac{35,5 \text{ kN}}{35,77 \text{ kN}} = 0,99 < 1$$

Nachweis der Diagonalen (Seitenholz)

Maximale Normalkraft in der Diagonalen an dieser Stelle: $N_d = 35,5 \text{ kN}$

$$A_N = 60 \text{ mm} \cdot (200 \text{ mm} - 2 \cdot 13 \text{ mm}) = 10440 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_N} = \frac{0,5 \cdot 35500 \text{ N}}{10440 \text{ mm}^2} = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{t,0,k} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,9}{1,5} \cdot 18 \text{ N/mm}^2 = 7,20 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{1,70 \text{ N/mm}^2}{7,20 \text{ N/mm}^2} = 0,24 < 1$$

Nachweis des Untergurtes (Mittelholz)

Maximale Normalkraft im Untergurt an dieser Anschlussstelle: $N_d = 154,7 \text{ kN}$

$$A_N = 120 \text{ mm} \cdot (160 \text{ mm} - 2 \cdot 13 \text{ mm}) = 16080 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_N} = \frac{154700 \text{ N}}{16080 \text{ mm}^2} = 9,62 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{t,0,k} = \frac{0,9}{1,5} \cdot 18 \text{ N/mm}^2 = 10,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{9,62 \text{ N/mm}^2}{10,80 \text{ N/mm}^2} = 0,89 < 1$$

Nachweis der Vertikalen

Maximale Normalkraft in der Vertikalen an dieser Anschlussstelle: $N_d = -19,3 \text{ kN}$

$$A = 120 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{19300 \text{ N}}{14400 \text{ mm}^2} = 1,34 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{c,0,k} = \frac{0,9}{1,5} \cdot 23 \text{ N/mm}^2 = 13,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{1,34 \text{ N/mm}^2}{13,80 \text{ N/mm}^2} = 0,10 < 1$$

Nachweis des Anschlusses der Vertikalen an den Untergurt

Maximale Normalkraft in der Vertikalen an dieser Anschlussstelle: $N_d = -19,3 \text{ kN}$

$$A_{\text{ef}} = 120 \text{ mm} \cdot (120 \text{ mm} + 2 \cdot 30 \text{ mm}) = 21600 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{A_{\text{ef}}} = \frac{19300 \text{ N}}{21600 \text{ mm}^2} = 0,89 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{c,90,k} = \frac{0,9}{1,5} \cdot 2,7 \text{ N/mm}^2 = 1,62 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,5$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{0,89 \text{ N/mm}^2}{1,5 \cdot 1,62 \text{ N/mm}^2} = 0,37 < 1$$