



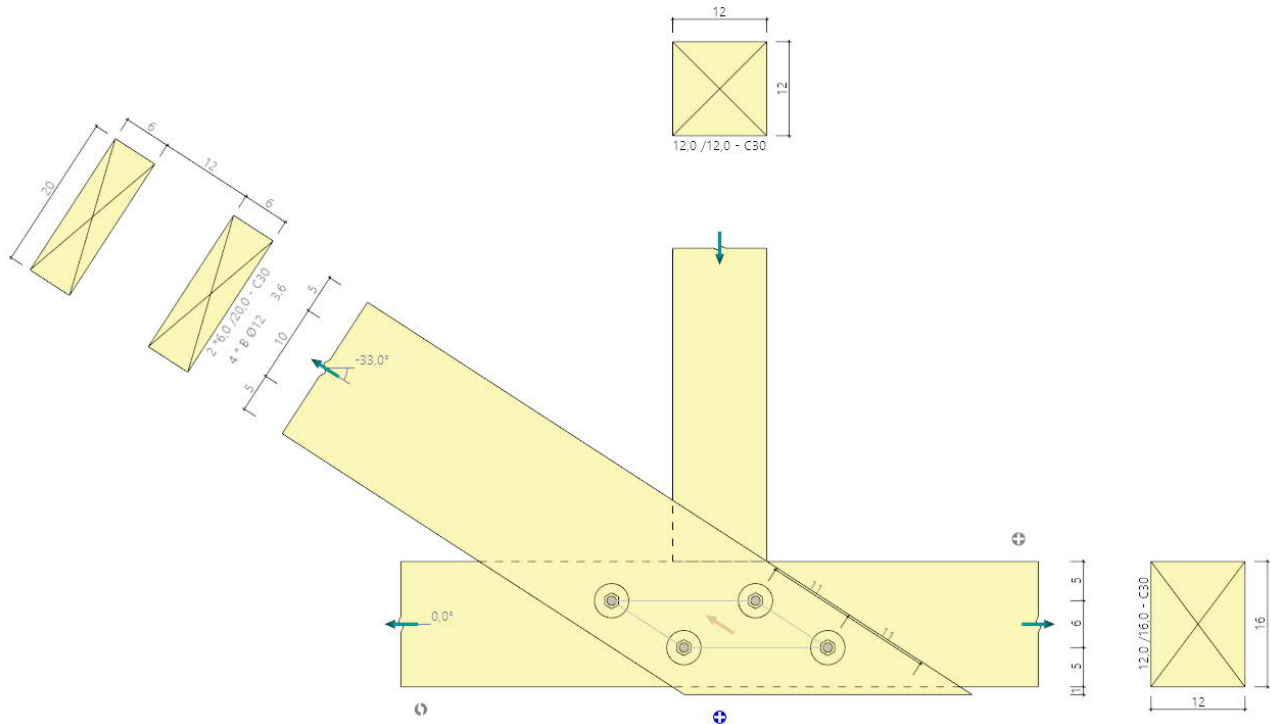
HO13 – Beispiel 1: Fachwerkknoten mit Bolzen nach DIN EN 1995:2013

Inhaltsverzeichnis

Systembeschreibung	2
Programmausgabe	3
Handrechnung	7
Bolzenkennwerte	7
Tragfähigkeiten	8
Genaueres Verfahren nach Johansen (EN 1995-1-1, 8.2)	8
Erhöhung der Tragfähigkeit durch den Seileffekt	9
Gesamttragfähigkeit	9
Nachweise	10
Nachweis der Bolzenabstände	10
Nachweis der Diagonalen (Verbindungsmittel)	10
Nachweis der Diagonalen (Seitenholz)	11
Nachweis des Untergurtes (Mittelholz)	11
Nachweis der Vertikalen	11
Nachweis des Anschlusses der Vertikalen an den Untergurt	12
Anmerkung zum vereinfachten Verfahren nach NCI NA.8.2.4 / NA.8.2.5	12



Systembeschreibung



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



Programmausgabe

HO13+-Referenz

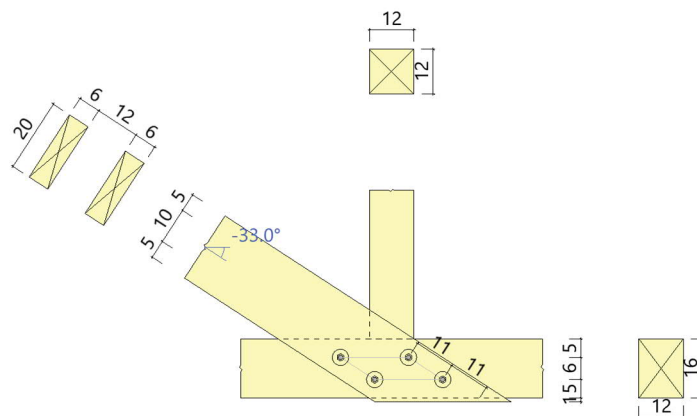
Fachwerkknoten Holz (x64) HO13+ 01/22 (FRILO alpha64, 26.09.2022)

Grundparameter

Bemessungsnorm : DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08
 Basis : EN 1995-1-1/A2:2014
 Auszugfeste Verbindungsmittel : Nachweis Johansen mit Seilwirkung

Holz-Knotenverbindung - durchgehender Gurt

Systemgrafik 2D
 Maßstab 1 : 20



System mit 3 Stäben

Stab	Material	NKL	Querschnitt			Lage	
			n	Breite cm	Höhe cm	Bezug	Neigung °
Gurt durchgehend	C30	1	1 x	12.0 /	16.0	global	0.0
Pfosten	C30	1	1 x	12.0 /	12.0	bzgl. Gurt	90.0
Diagonale links	C30	1	2 x	6.0 /	20.0	bzgl. Gurt	-33.0
Überstand Diagonale links 1.0 cm							

Verbindungsmittel

Stab	Verbindungsmittel	Sorte	f_{uk} N/mm ²	$M_{y,Rk}$ Nmm	Durchmesser			Überstand (uv) mm
					d_{sa}	d_{si}	d	
Diagonale links	Bolzen	3.6	300.00	57559	44.0	13.5	12.0	0.0
Unterlegscheibe: d_{sa} - Aussendurchmesser d_{si} - Innendurchmesser								



Belastung

Schnittgrößen (Bemessungswerte)

Situation	Schnittufer	N _d kN	V _{zd} kN	M _{yd} kNm	KLED	k _{mod}
P/T	Gurt Ufer links	124.9	0.0		mittel	0.80
	Gurt Ufer rechts	154.7	0.0		mittel	0.80
	Pfosten	-19.3	0.0		mittel	0.80
	Diagonale links	35.5	0.0		mittel	0.80

Bemessungssituationen

Situation	Beschreibung	Y _M
P/T	ständig/vorübergehend	1.30

Ergebnisse

Hinweis : Der Spannungsnachweis wird nur im Anschlussbereich geführt!

Knotengleichgewicht : $\Sigma H = 0.03 \text{ kN}$ $\Sigma V = -0.03 \text{ kN}$

Nachweise Gurt durchgehend $b/h = 12.0 / 16.0$ - (Nadelholz C30 EN 338:2016)

Verbindungsmittel-Abstände

VM längs		VM quer		Rand längs		Rand längs		Rand quer		Rand quer	
a ₁ vorh mm	a ₁ min mm	a ₂ vorh mm	a ₂ min mm	a _{3,t} vorh mm	a _{3,t} min mm	a _{3,c} vorh mm	a _{3,c} min mm	a _{4,t} vorh mm	a _{4,t} min mm	a _{4,c} vorh mm	a _{4,c} min mm
184	88	60	48	-	84	-	51	50	37	50	36

Tragfähigkeit der Verbindung für Komponente in Faserrichtung

VM	Anzahl Fugen	α ₁ °	α ₂ °	M _{yk} Nmm	t _r mm	k _{ser} kN/m	F _{v,Rd} kN
B (0°)	2	33.00	0.00	57559.1	0	10294.85	10.5

Verbindungsmittel : B - Bolzen

VM	Fuge	t _o cm	t _u cm	f _{h,k,o} N/mm ²	f _{h,k,u} N/mm ²	Gleichung	F _{v,Rd} kN
B (0°)	1	6.0	12.0	23.70	27.42	8.7k	5.2
	2	12.0	6.0	27.42	23.70	8.7k	5.2

VM	Fuge	Gleichung	Δ _{Fv,Rk} kN	F _{v,Rk} kN	k _{mod}	Y _M	F _{v,Rd} kN
B (0°)	1	8.7g		17.1	0.80	1.30	10.5
		8.7h		19.7	0.80	1.30	12.1
		8.7j	1.8	7.1	0.80	1.30	5.5
		8.7k	1.7	6.8	0.80	1.30	5.2
	2	8.7g		17.1	0.80	1.30	10.5
		8.7h		19.7	0.80	1.30	12.1
		8.7j	1.8	7.1	0.80	1.30	5.5
		8.7k	1.7	6.8	0.80	1.30	5.2



Ausziehfestigkeit eines VM

Bemessungsmaßgebende(r) Ausziehparameter				$f_{c,90,k}$ N/mm ²	A_{eff} mm ²	A_{sp} mm ²	$F_{t,Rd}$ kN	$F_{ax,Rd}$ kN
Bolzen				2.70	1377	84.3	18.2	6.9
Schicht				$f_{c,90,k}$ N/mm ²		$F_{ax,k}$ kN		
1	rand			2.70		11.2		
2	mitte			2.70		0.0		
3	rand			2.70		11.2		

Erforderliche Anzahl Verbindungsmittel - Nachweis für Komponente in Faserrichtung

VM	gewählt		$n_{eff,1}$	$n_{eff,2}$	n_{eff}	$F_{v,Ed}$		$F_{v,Rd}$	η
quer	längs		ges.	ges.	erf.	kN		kN	
2	x	2	3.63	3.89	2.84	29.8	<	38.1	0.78

Spannungsnachweis im Holz am Anschluss L -linkes R -rechtes Ufer

Ufer	A_{netto} cm ²	k_{te}	f_{nd} N/mm ²	N_d kN	σ_{nd} N/mm ²	Gleichung	η
L	160.8	1.00	11.69	124.9	7.77	6.1	0.66
R	160.8	1.00	11.69	154.7	9.62	6.1	0.82

Querdruck - Kontaktanschluss Pfosten - Neigung = 90.0°

l_{eff} cm	A_{eff} cm ²	$k_{c,90}$	$f_{c,ad}$ N/mm ²	F_d kN	σ_{cd} N/mm ²	Gleichung	η
18.0	216.0	1.50	2.49	-19.3	-0.89	6.16	0.36

Querdruck: $k_{c,90}$ indirekte Verbindung ! Voraussetzung für $k_{c,90}$: keine weitere Last in der Nähe !
Der Vertikalstab ist konstruktiv zu sichern !

Ausnutzung Gurt durchgehend

Spannung	
0.82 < 1.0	

Nachweise Pfosten b/h = 12.0 / 12.0 - (Nadelholz C30 EN 338:2016)

Spannungsnachweis im Holz am Anschluss

A_{netto} cm ²	k_{te}	f_{nd} N/mm ²	N_d kN	σ_{nd} N/mm ²	Gleichung	η
144.0	1.00	14.77	-19.3	-1.34	6.2	0.09

Ausnutzung Pfosten

Spannung	
0.09 < 1.0	

Nachweise Diagonale links 2* b/h = 6.0 / 20.0 - (Nadelholz C30 EN 338:2016)

Verbindungsmittel-Abstände

VM längs		VM quer		Rand längs		Rand längs		Rand quer		Rand quer	
a_1 vorh mm	a_1 min mm	a_2 vorh mm	a_2 min mm	$a_{3,t}$ vorh mm	$a_{3,t}$ min mm	$a_{3,c}$ vorh mm	$a_{3,c}$ min mm	$a_{4,t}$ vorh mm	$a_{4,t}$ min mm	$a_{4,c}$ vorh mm	$a_{4,c}$ min mm
110	88	100	48	110	84	-	48	50	36	50	36



Tragfähigkeit der Verbindung

VM	Anzahl Fugen	α_1 °	α_2 °	M_{yk} Nmm	t_r mm	k_{ser} kN/m	$F_{v,Rd}$ kN
B	2	0.00	33.00	57559.1	0	10294.85	10.5
Verbindungsmittel : B - Bolzen							
VM	Fuge	t_o cm	t_u cm	$f_{h,k,o}$ N/mm ²	$f_{h,k,u}$ N/mm ²	Gleichung	$F_{v,Rd}$ kN
B	1	6.0	12.0	27.42	23.70	8.7k	5.2
	2	12.0	6.0	23.70	27.42	8.7k	5.2
VM	Fuge	Gleichung	$\Delta F_{v,Rk}$ kN	$F_{v,Rk}$ kN	k_{mod}	γ_M	$F_{v,Rd}$ kN
B	1	8.7g		19.7	0.80	1.30	12.1
		8.7h		17.1	0.80	1.30	10.5
		8.7j	1.9	7.7	0.80	1.30	5.9
		8.7k	1.7	6.8	0.80	1.30	5.2
	2	8.7g		19.7	0.80	1.30	12.1
		8.7h		17.1	0.80	1.30	10.5
		8.7j	1.9	7.7	0.80	1.30	5.9
		8.7k	1.7	6.8	0.80	1.30	5.2

Ausziehfestigkeit eines VM

Bemessungsmaßgebende(r) Ausziehparameter				$f_{c,90,k}$ N/mm ²	A_{eff} mm ²	A_{sp} mm ²	$F_{t,Rd}$ kN	$F_{ax,Rd}$ kN
Bolzen				2.70	1377	84.3	18.2	6.9
Schicht				$f_{c,90,k}$ N/mm ²	$F_{ax,k}$ kN			
	1	rand		2.70				11.2
	2	mitte		2.70				0.0
	3	rand		2.70				11.2

Erforderliche Anzahl Verbindungsmittel - Nachweis

VM	gewählt	$n_{eff,1}$	$n_{eff,2}$	n_{eff}	$F_{v,Ed}$		$F_{v,Rd}$	η
quer	längs	ges.	ges.	erf.	kN		kN	
2	x	2	3.42	3.93	35.5	=	35.9	0.99
gewählt:		4 Bolzen	d = 12.0 mm		$l_{klemm} = 240.0$ mm			

Spannungsnachweis im Holz am Anschluss

Schicht	A_{netto} cm ²	k_{te}	f_{nd} N/mm ²	N_d kN	σ_{nd} N/mm ²	Gleichung	η
1	rand	104.4	0.67	7.79	17.8	6.1	0.22
2	rand	104.4	0.67	7.79	17.8	6.1	0.22

Alle Verbindungsmittel sind ausziehfest: Nachweis der Ausziehkraft kann entfallen.

Ausnutzung Diagonale links

Spannung	Verbindung
0.22 < 1.0	0.99 = 1.0

Maximale Ausnutzung aus allen Nachweisen

Spannung $\eta = 0.82$ Gurt durchgehend

Verbindung $\eta = 0.99$ Diagonale links



Handrechnung

Bolzenkennwerte

Lochleibungsfestigkeit parallel zur Faser

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

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

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

1

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)

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

$$F_{v,Rd1} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk1} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 19743 \text{ N} = 13668 \text{ N}$$

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

$$F_{v,Rd2} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk2} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 17057 \text{ N} = 11809 \text{ N}$$

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

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

$$= 7673 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd3} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk3} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 7673 \text{ N} = 5312 \text{ N}$$

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

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

$$F_{v,Rd4} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk4} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 6815 \text{ N} = 4718 \text{ N}$$

$$\min F_{v,Rd} = F_{v,Rd4} = \underline{\underline{4718 \text{ N}}}$$



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:

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

5

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

Gesamttragfähigkeit

$$F_{Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot (F_{v,Rk} + \Delta F_{Rk}) = \frac{0,9}{1,3} \cdot (6815 \text{ N} + 1704 \text{ N}) = 5898 \text{ N} = \underline{\underline{5,90 \text{ kN}}}$$

4



Nachweise

Nachweis der Bolzenabstände

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

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

3

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

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

Diagonalen und Untergurt

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

Nachweis der Diagonalen (Verbindungsmittel)

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

$$n_{\text{ef}} = \left(\min \left\{ \begin{array}{l} n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \\ n \end{array} \right\} \cdot \text{Anzahl nebeneinander} \right) \quad n_{\text{ef},1} = \left(\min \left\{ \begin{array}{l} 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{110 \text{ mm}}{13 \cdot 12 \text{ mm}}} \\ 2 \end{array} \right\} \cdot 2 \right)$$

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

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

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

$$\frac{F_{\text{Sd}}}{2 \cdot n_{\text{ef}} \cdot F_{\text{Rd}}} = \frac{35,5 \text{ kN}}{2 \cdot 3,42 \cdot 5,90 \text{ kN}} = \frac{35,5 \text{ kN}}{40,36 \text{ kN}} = 0,88 < 1$$



Nachweis der Diagonalen (Seitenholz)

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

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

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

$$f_{t,0,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{t,0,k} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 18 \text{ N/mm}^2 = 8,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{1,70 \text{ N/mm}^2}{8,31 \text{ N/mm}^2} = 0,20 < 1$$

6

Nachweis des Untergurtes (Mittelholz)

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

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

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

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{t,0,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 18 \text{ N/mm}^2 = 12,46 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{9,62 \text{ N/mm}^2}{12,46 \text{ N/mm}^2} = 0,77 < 1$$

Nachweis der Vertikalen

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

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

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

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{c,0,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 23 \text{ N/mm}^2 = 15,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{1,34 \text{ N/mm}^2}{15,92 \text{ N/mm}^2} = 0,08 < 1$$



Nachweis des Anschlusses der Vertikalen an den Untergurt

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

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

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

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c,90,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 2,7 \text{ N/mm}^2 = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,50$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{0,89 \text{ N/mm}^2}{1,5 \cdot 1,87 \text{ N/mm}^2} = 0,32 < 1$$

Anmerkung zum vereinfachten Verfahren nach NCI NA.8.2.4 / NA.8.2.5

$$\begin{aligned} F_{Rk} &= \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 0,864}{1,864}} \cdot \sqrt{2 \cdot 57559 \text{ Nmm} \cdot 27,42 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \text{ mm}} = 5926 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{1,req} &= 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1 + \beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} \\ &= 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{0,864}{1,864}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{57559 \text{ Nmm}}{27,42 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \text{ mm}}} \\ &= 1,15 \cdot 3,36 \cdot 13,23 = \underline{\underline{51,1 \text{ mm} < 60 \text{ mm}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{2,req} &= 1,15 \cdot \left(\frac{4}{\sqrt{1 + \beta}} \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}} \\ &= 1,15 \cdot \left(\frac{4}{\sqrt{1,864}} \right) \cdot \sqrt{\frac{57559 \text{ Nmm}}{23,70 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \text{ mm}}} \\ &= 1,15 \cdot 2,93 \cdot 14,23 = \underline{\underline{47,9 \text{ mm} < 120 \text{ mm}}} \end{aligned}$$

$$F_{Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot R_{k4} = \frac{0,9}{1,1} \cdot 5926 \text{ N} = 4849 \text{ N} = 4,85 \text{ kN}$$

Bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens sollte die Mindestholzdicke stets eingehalten werden, um die Tragfähigkeit des Verbindungsmittels voll ausnutzen zu können.

Eine Besonderheit ist, dass nach Formel NA.113 hier mit $\gamma_M = 1,1$ gerechnet wird.