



Programmausgabe

Position: SWA+_001_Handrechnung

Stahl-Winkelanschluss (x64) SWA+ 01/24 (FRILO R-2024-1/P01)

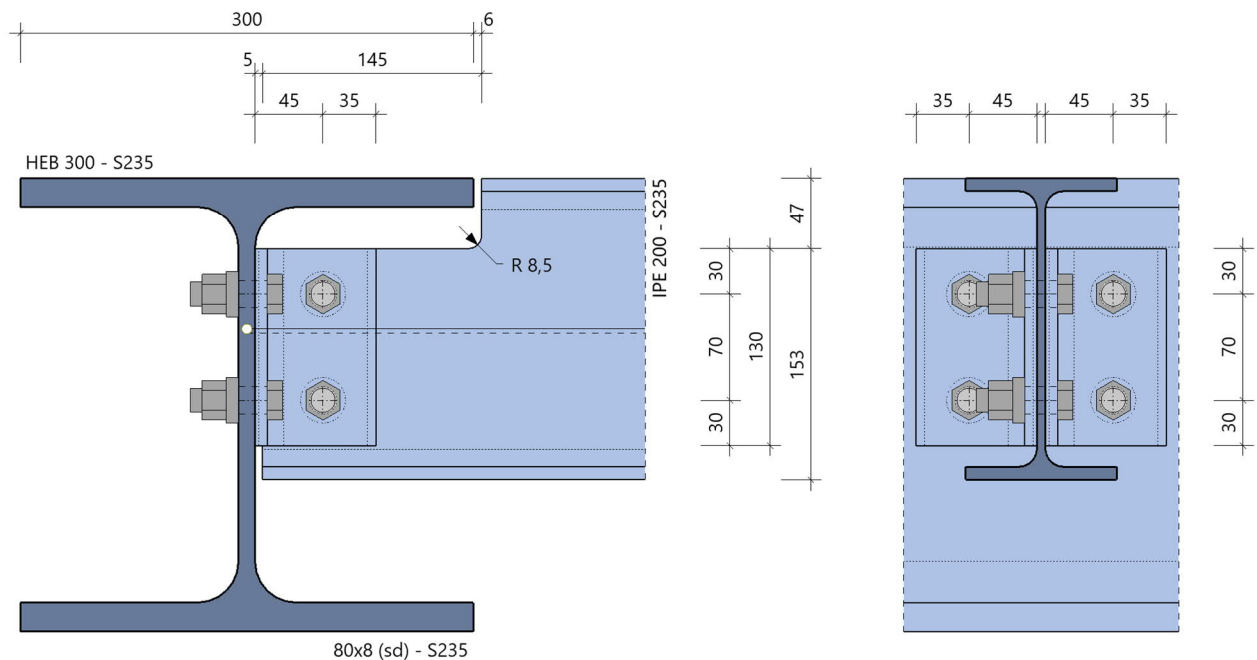
Grundparameter

Bemessungsnorm : DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08

System

Systemrafik 2D

Die zur Handrechnung zugehörige Stelle im Programmausdruck finden Sie über einen Klick auf die blauen Nummernfelder.



Modell Winkelanschluss Träger an Träger mit Ausklinkung

gelenkig StahlgüteS235 Schrauben in den Anschlüssen 2 x 2 x M16 + 2 x M16

Querschnitte

Bauteil	Name	h mm	b _o mm	h _{stea} mm	t _o mm	t _s mm	r mm	b _u mm	t _u mm
Hauptträger	HEB 300	300.00	300.00	208.00	19.00	11.00	27.00	300.00	19.00
Nebenträger	IPE 200	200.00	100.00	159.00	8.50	5.60	12.00	100.00	8.50
Nebenträger	Ausklinkung	153.00				5.60	12.00	100.00	8.50



Stahlmaterialkennwerte : S235

	$E_k = 210000 \text{ N/mm}^2$	$G_k = 80769 \text{ N/mm}^2$
	$\gamma = 78.50 \text{ kN/m}^3$	$\mu = 0.30$
Streckgrenze	$t \leq 40.00 \text{ mm}$	$f_{yk} = 235.00 \text{ N/mm}^2$
	$t \leq 80.00 \text{ mm}$	$f_{yk} = 215.00 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$t \leq 40.00 \text{ mm}$	$f_{uk} = 360.00 \text{ N/mm}^2$
	$t \leq 80.00 \text{ mm}$	$f_{uk} = 360.00 \text{ N/mm}^2$

Lage Nebenträger

vertikaler Abstand OK zu OK Hauptträger		horizontaler Abstand Steg zu Steg Hauptträger	
Anordnung	u1 mm	Spaltmaß mm	
nach Vorgabe	0	5	

Nebenträgerausklinkung

Ausführung	Höhe oben eT1 mm	Länge a mm	Bauteilhöhe h _a mm	Radius Brennschnitt r mm
oben, mit Brennschnitt	47	145	153	8.5

Winkel

Name	Anordnung			Abmessungen				
	Lage	Abstand	langer Schenkel	Länge	Querschnitt			
		uw mm		l mm	h mm	b mm	ts mm	r mm
80x8 (sd)	nach Vorgabe	0	an Nebenträger	130	80	80	8	11

Schrauben

Bezeichnung	Festigkeit	Art	Scherfuge	d ₀ mm
M16	4.6	rohe Schraube	Schaft	18.0

Schraubenkennwerte : M16 - 4.6 (rohe Schraube)

Zugfestigkeit	$F_{ub} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	Streckgrenze	$F_{yb} = 24.00 \text{ N/mm}^2$
Gewindenenddurchmesser	$d = 16.0 \text{ mm}$	Schaftdurchmesser	$d_s = 16.0 \text{ mm}$
Spannungsquerschnitt	$A_{sp} = 1.57 \text{ cm}^2$	Schaftquerschnitt	$A = 2.01 \text{ cm}^2$
Scheibendurchmesser	$d_{sa} = 30.0 \text{ mm}$		

Schraubenanordnung Winkel an Hauptträger - 2 x 1 x 2 = 4 Schrauben M16 - 4.6

quer - Reihenabstand		längs - Schraubenabstände in der Reihe		
e2,1 mm	e2,2 mm	e1,1 mm	p1 mm	e1,2 mm
35	45	30	70	30

Schraubenanordnung Winkel an Nebenträger - 1 x 2 = 2 Schrauben M16 - 4.6

quer - Reihenabstand		längs - Schraubenabstände in der Reihe		
e2,1 mm	e2,2 mm	e1,1 mm	p1 mm	e1,2 mm
45	35	30	70	30

Belastung

Schnittgrößen (Bemessungswerte) aus Lfk Import ST9

Situation	V _{zd} kN
P/T	65.00



Bemessungssituationen

Situation	Beschreibung	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}
P/T	ständig/vorübergehend	1.00	1.10	1.25

Ergebnisse

Anschluss an Hauptträger: 1 - schnittige Verbindung 1 x 2 M16

$V_{z,d}$ kN	I_D cm ²	$M_{vv,d}$ kNm	$V_{a,d}$ kN	$V_{az,d}$ kN	$V_{ax,d}$ kN
32.50	24.50	1.463	26.47	16.25	20.89

Lochleibungstragfähigkeit

Richtung	V_a kN	Hauptträger													
		e_1 mm	p_1 mm	e_2 mm	p_2 mm	Mitte				Rand					
						α_b	k_1	$F_{b,Rd}$ kN	η	α_b	k_1	$F_{b,Rd}$ kN	η		
vert.(z)	16.25	147	70	54	-	1.00	2.50	126.72	0.13	1.00	2.50	126.72	0.13		
horz.(x)	20.89	54	-	147	70	-	-	-	-	1.00	2.50	126.72	0.16		

Richtung	V_a kN	Winkel													
		e_1 mm	p_1 mm	e_2 mm	p_2 mm	Mitte				Rand					
						α_b	k_1	$F_{b,Rd}$ kN	η	α_b	k_1	$F_{b,Rd}$ kN	η		
vert.(z)	16.25	30	70	35	-	1.00	2.50	92.16	0.18	0.56	2.50	51.20	0.32		
horz.(x)	20.89	35	-	30	70	-	-	-	-	0.65	2.50	59.73	0.35		

Abschertragfähigkeit

V_a kN	α_v	$F_{v,Rd}$ kN	η
26.47	0.60	38.59	0.69

Anschluss an Nebenträger: 2 - schnittige Verbindung 1 x 2 M16

$V_{z,d}$ kN	I_D cm ²	$M_{vv,d}$ kNm	$V_{a,d}$ kN	$V_{az,d}$ kN	$V_{ax,d}$ kN
65.00	24.50	2.925	52.94	32.50	41.79

Lochleibungstragfähigkeit

Richtung	V_a kN	Nebenträger													
		e_1 mm	p_1 mm	e_2 mm	p_2 mm	Mitte				Rand					
						α_b	k_1	$F_{b,Rd}$ kN	η	α_b	k_1	$F_{b,Rd}$ kN	η		
vert.(z)	32.50	30	70	40	-	1.00	2.50	64.51	0.50	0.56	2.50	35.84	0.91		
horz.(x)	41.79	40	-	30	70	-	-	-	-	0.74	2.50	47.79	0.87		

Richtung	V_a kN	Winkel													
		e_1 mm	p_1 mm	e_2 mm	p_2 mm	Mitte				Rand					
						α_b	k_1	$F_{b,Rd}$ kN	η	α_b	k_1	$F_{b,Rd}$ kN	η		
vert.(z)	32.50	30	70	35	-	1.00	2.50	184.32	0.18	0.56	2.50	102.40	0.32		
horz.(x)	41.79	35	-	30	70	-	-	-	-	0.65	2.50	119.47	0.35		



Abschertragfähigkeit

V_a kN	α_v	$F_{v,Rd}$ kN	η
52.94	0.60	77.18	0.69

3

Blockversagen

Bauteil	A_{nv} cm ²	A_{nt} cm ²	$V_{eff.2,Rd}$ kN	η
Nebenträger	4.09	1.74	80.46	0.81
Winkel	5.84	2.08	109.19	0.30

11

10

Querschnittsnachweis im Ausklinkungsbereich vom Nebenträger nach Gl(6.1)

Querschnitt (T - unten)					Schnittgrößen			Tragfähigkeit					
h mm	t _s mm	A cm ²	S _v cm ³	I _v cm ⁴	V _z kN	e _{Mv} mm	M _v kNm	σ _{Rd} kN/cm ²	τ _{Rd} kN/cm ²	σ _d kN/cm ²	τ _d kN/cm ²	σ _{d,v} kN/cm ²	η
153.00	5.60	17.21	35.5	389.4	65.00	150.00	-9.750	23.50	13.57	28.19	10.17	28.19	1.20 !

8

Querschnittsnachweis im Anschnitt Winkel zum Anschluss an Nebenträger nach Gl(6.1)

Querschnitt					Schnittgrößen			Tragfähigkeit					
h mm	b mm	A cm ²	S _v cm ³	I _v cm ⁴	V _z kN	e _{Mv} mm	M _v kNm	σ _{Rd} kN/cm ²	τ _{Rd} kN/cm ²	σ _d kN/cm ²	τ _d kN/cm ²	σ _{d.v} kN/cm ²	η
130.00	8.00	10.40	16.9	146.5	32.50	45.00	-1.463	23.50	13.57	-6.49	4.69	8.12	0.35

9



Handrechnung

Die zur Handrechnung zugehörige Stelle im Programmausdruck finden Sie über einen Klick auf die blauen Nummernfelder.

$$V_{zd} = 65kN \cdot \frac{1}{2} = 32,5kN$$

$$I_p = \sum z_i^2 = 3,5^2 + 3,5^2 = 24,5 \text{ cm}^2$$

$$M_x = F_{Ed} \cdot e_T = 32,5 \cdot 4,5 = 146,25kN$$

$$T_y = \frac{M_x}{I_p} \cdot z = \frac{146,25}{24,5} \cdot 3,5 = 20,89kN$$

1

$$T_z = \frac{V_z}{A} = \frac{32,5kN}{2} = 16,25kN$$

$$T_d = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = \sqrt{20,89^2 + 16,25^2} = 26,5 \text{ kN}$$

1) Nachweis auf Abscheren

Hauptträger

Schraube M16 4.6R (Schaft in der Scherfuge):

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot 40kN/cm^2 \cdot \frac{2,01cm^2}{1,25} = 38,6kN$$

Einschnittige Verbindung: $F_{v,Rd} = 38,6kN$

2

$$\text{Nachweis: } \eta = \frac{F_v}{F_{v,Rd}} = \frac{26,5kN}{38,6kN} = 0,69$$

Nebenträger

Schraube M16 4.6R (Schaft in der Scherfuge):

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot 40kN/cm^2 \cdot \frac{2,01cm^2}{1,25} = 38,6kN$$

Zweischchnittige Verbindung: $\sum F_{v,Rd} = 2 \cdot 38,6kN = 77,2kN$

$$\text{Nachweis: } \eta = \frac{F_v}{\sum F_{v,Rd}} = \frac{52,9kN}{77,2kN} = 0,69$$

3



2) Nachweis auf Lochleibung

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot \frac{t}{\gamma_{M2}}$$

Hauptträger

Winkel:

4

Außenliegende Schrauben (z-Richtung)

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 \cdot 18}; \frac{400}{360}; 1,0 \right\} = \min \{0,56; 1,11; 1,0\} = \mathbf{0,56}$$

$$k_1 = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 0,56 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 0,8cm \cdot \frac{1}{1,25} = 51,6kN$$

$$\eta = \frac{16,2}{51,2} = 0,32$$

Außenliegende Schrauben (x-Richtung)

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{35}{3 \cdot 18}; \frac{400}{360}; 1,0 \right\} = \min \{0,65; 1,11; 1,0\} = \mathbf{0,65}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,96 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{0}{18} - 1,7 = - \\ \quad \quad \quad 2,5 \quad \quad \quad 2,5 \end{array} \right\} = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 0,65 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 0,8cm \cdot \frac{1}{1,25} = 59,9kN$$

$$\eta = \frac{20,9}{59,9} = 0,35$$

Innenliegende Schrauben (z-Richtung):

$$\alpha_b = 1,0$$

$$k_1 = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 0,8cm \cdot \frac{1}{1,25} = 92,2kN$$

$$\eta = \frac{16,2}{92,2} = 0,18$$



Hauptträger:

5

Außenliegende Schrauben (z-Richtung)

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{77}{3 \cdot 18}; \frac{400}{360}; 1,0 \right\} = \min \{1,42; 1,11; 1,0\} = \mathbf{1,0}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = - \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{0}{18} - 1,7 = - \end{array} \right\}_{2,5} = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 1,1cm \cdot \frac{1}{1,25} = 126,7kN$$

$$\eta = \frac{16,2}{126,7} = 0,13$$

Außenliegende Schrauben (x-Richtung)

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{77}{3 \cdot 18}; \frac{400}{360}; 1,0 \right\} = \min \{1,42; 1,11; 1,0\} = \mathbf{1,0}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = - \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{0}{18} - 1,7 = - \end{array} \right\}_{2,5} = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 1,1cm \cdot \frac{1}{1,25} = 126,7kN$$

$$\eta = \frac{20,9}{126,7} = 0,16$$

Innenliegende Schrauben (z-Richtung):

$$\alpha_b = 1,0$$

$$k_1 = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 1,1cm \cdot \frac{1}{1,25} = 126,7kN$$

$$\eta = \frac{16,2}{126,7} = 0,13$$

Maßgebende Ausnutzung: $\eta = \mathbf{0,35}$



Nebenträger

Nebenträger:

6

Außenliegende Schrauben (z-Richtung)

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 \cdot 18}; \frac{400}{360}; 1,0 \right\} = \min\{0,56; 1,11; 1,0\} = \mathbf{0,56}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{18} - 1,7 = 4,52 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{0}{18} - 1,7 = - \end{array} \right\} = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 0,56 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 0,56cm \cdot \frac{1}{1,25} = 36kN$$

$$\eta = \frac{32,5}{36} = 0,91$$

Außenliegende Schrauben (x-Richtung)

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{400}{360}; 1,0 \right\} = \min\{0,74; 1,11; 1,0\} = \mathbf{0,74}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{0}{18} - 1,7 = - \end{array} \right\} = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 0,74 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 0,56cm \cdot \frac{1}{1,25} = 47,7kN$$

$$\eta = \frac{41,8}{47,7} = 0,87$$

Innenliegende Schrauben (z-Richtung):

$$\alpha_b = 1,0$$

$$k_1 = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 0,56cm \cdot \frac{1}{1,25} = 64,5kN$$



$$\eta = \frac{32,5}{64,5} = 0,50$$

Winkel:

7

Außenliegende Schrauben (z-Richtung)

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 \cdot 18}; \frac{400}{360}; 1,0 \right\} = \min \{0,56; 1,11; 1,0\} = \mathbf{0,56}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{18} - 1,7 = 3,74 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{0}{18} - 1,7 = - \\ \quad \quad \quad 2,5 \quad \quad \quad 2,5 \end{array} \right\} = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 0,56 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 0,8cm \cdot \frac{1}{1,25} = 51,6kN$$

Zweischnittige Verdingung: $F_{b,Rd} = 2 \cdot 51,6kN = 103kN$

$$\eta = \frac{32,5}{103} = 0,32$$

Außenliegende Schrauben (x-Richtung)

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{35}{3 \cdot 18}; \frac{400}{360}; 1,0 \right\} = \min \{0,65; 1,11; 1,0\} = \mathbf{0,65}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{0}{18} - 1,7 = - \\ \quad \quad \quad 2,5 \quad \quad \quad 2,5 \end{array} \right\} = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 0,65 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 0,8cm \cdot \frac{1}{1,25} = 59,9kN$$

Zweischnittige Verdingung: $F_{b,Rd} = 2 \cdot 59,9kN = 119,8kN$

$$\eta = \frac{41,8}{119,8} = 0,35$$



Innenliegende Schrauben:

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{70}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4}; \frac{400}{360}; 1,0 \right\} = \min \{1,05; 1,11; 1,0\} = \mathbf{0,735}$$

$$k_1 = \mathbf{2,5}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1,6cm \cdot 0,8cm \cdot \frac{1}{1,25} = 92,16kN$$

$$\text{Zweischnittige Verdingung: } F_{b,Rd} = 2 \cdot 92,16kN = 184,3kN$$

$$\eta = \frac{32,5}{184,3} = 0,18$$

Maßgebende Ausnutzung: $\eta = \mathbf{0,91}$

3) Nachweis Ausklinkung Nebenträger

$$M = V_{z,Ed} \cdot e_1 = 65kN \cdot 0,15m = 9,75kNm$$

$$h_{eff} = 200mm - 47mm = 153mm$$

$$h_w = h_{eff} - t_f = 153mm - 8,5mm = 144,5mm$$

$$A_w = h_w \cdot t_w = 144,5mm \cdot 5,6mm = 809,2mm^2$$

$$A_f = b \cdot t_f = 100mm \cdot 8,5mm = 850mm^2$$

Die Fläche der Stegausrundungen wird in der Handrechnung vernachlässigt, daher gibt es minimale Abweichungen in den Ergebnissen der Handrechnung im Vergleich zum Programm.:

$$A_{eff} = A_w + A_f + 61,8mm^2 = 809,2mm^2 + 850mm^2 + 61,8mm^2 = 1659,2mm^2$$

$$e_{s,o} = \frac{A_w \cdot h_w + A_f \cdot (2 \cdot h_w + t_f)}{2 \cdot A_{eff}} = \frac{809,2 \cdot 144,5 + 850 \cdot (2 \cdot 144,5 + 8,5)}{2 \cdot 1659,2} = 111,4 \text{ mm}$$

$$S_{y,o} = t_w \cdot \frac{e_{s,o}^2}{2} = 5,6 \cdot \frac{111,4^2}{2} = 34747mm^3 \triangleq 34,8cm^3$$

$$\bar{z}_s = -A_w \cdot \frac{h_w + t_f}{2A} = -809,2 \cdot \frac{144,5 + 8,5}{2 \cdot 1659,2} = -37,31mm$$

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{A_w \cdot h_w^2}{12} + \frac{A_w \cdot (h_w + t_f)^2}{4} - \bar{z}_s^2 \cdot A \\ &= \frac{809,2 \cdot 144,5^2}{12} + \frac{809,2 \cdot (144,5 + 8,5)^2}{4} - 37,31^2 \cdot 1659,2 = 3833999mm^4 \triangleq 383,39cm^4 \end{aligned}$$

$$\max \sigma_{Ed} = \frac{M}{I_y} \cdot e_{s,o} = \frac{9,8 \cdot 100}{383,4} \cdot 11,14 = 28,47 \frac{kN}{cm^2} \triangleq 284,7 \frac{N}{mm^2}$$



$$\tau = \frac{V_y \cdot S_y}{I_y \cdot t} = \frac{65 \cdot 34,8}{383,9 \cdot 0,56} = 10,52 \frac{kN}{cm^2} \triangleq 105,2 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{vgl} = \sqrt{284,7^2 + 3 \cdot 0} = 284,7 \frac{N}{mm^2}$$

$$\eta = \frac{284,7}{235} = 1,2$$

8

4) Nachweis des Winkels

$$h = 130mm$$

$$e = 45mm$$

$$V_{z,Ed} = \frac{65kN}{2} = 32,5kN$$

$$M_{Ed} = 32,5kN \cdot 0,045m = 1,5kNm$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,8 \cdot 13^3}{12} = 146,5cm^4$$

$$S_y = \frac{b \cdot h^2}{8} = \frac{0,8 \cdot 13^2}{8} = 16cm^3$$

$$W_Y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 22,5cm^3$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{32,5 \cdot \frac{45}{10}}{22,5} = 6,5 \frac{kN}{cm^2} \triangleq 65 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau = \frac{V \cdot S_y}{I \cdot t} = \frac{32,5 \cdot 16,9}{146,5 \cdot 0,8} = 4,69 \frac{kN}{cm^2} \triangleq 46,9 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{vgl} = \sqrt{0 + 3 \cdot 46,9^2} = 81,2 \frac{N}{mm^2}$$

$$\eta = \frac{81,2}{235} = 0,35$$

9



5) Blockversagen

Winkel:

$$A_{nt} = [a_2 - (n_h - 0,5) \cdot d_0] \cdot t = [3,5\text{cm} - (1 - 0,5) \cdot 1,8\text{cm}] \cdot 0,8\text{cm} = 2,08\text{cm}^2$$

$$A_{nv} = [a_1 + L_v - (n_v - 0,5) \cdot d_0] \cdot t = [3\text{cm} + 7\text{cm} - (2 - 0,5) \cdot 1,8\text{cm}] \cdot 0,8\text{cm} = 5,84\text{cm}^2$$

$$V_{eff,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 36 \cdot 2,08}{1,25} + \frac{23,5 \cdot 5,84}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 109,2\text{kN}$$

$$\text{Nachweis: } \eta = \frac{\frac{65\text{kN}}{2}}{109,2\text{kN}} = \mathbf{0,30}$$

10

Nebenträger:

$$A_{nt} = [a_2 - (n_h - 0,5) \cdot d_0] \cdot t = [4\text{cm} - (1 - 0,5) \cdot 1,8\text{cm}] \cdot 0,56\text{cm} = 1,7\text{cm}^2$$

$$A_{nv} = [a_1 + L_v - (n_v - 0,5) \cdot d_0] \cdot t = [3\text{cm} + 7\text{cm} - (2 - 0,5) \cdot 1,8\text{cm}] \cdot 0,56\text{cm} = 4,1\text{cm}^2$$

$$V_{eff,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 36 \cdot 1,7}{1,25} + \frac{23,5 \cdot 4,1}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 80,1\text{kN}$$

$$\text{Nachweis: } \eta = \frac{65\text{kN}}{80,1\text{kN}} = \mathbf{0,81}$$

11