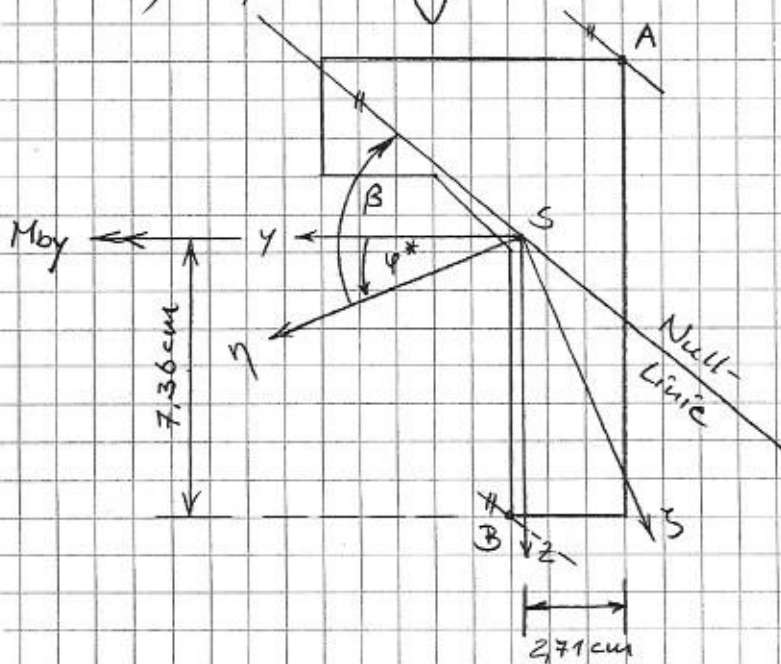


zu 1) Spannungsnulllinie



$$\varphi^* = 20,94^\circ$$

$$\alpha = -\varphi^*$$

$$\alpha = -20,94^\circ$$

$$\tan \beta = \frac{734 \text{ cm}^4}{156 \text{ cm}^4} \cdot \tan(-20,94^\circ)$$

$$\tan \beta = -1,8005$$

$$\beta = -60,95^\circ$$

zu 2) GröÖte Zug- und Druckspannung im Querschnitt

$$M_{by} = M_{by} \cdot \cos \alpha = 5 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \cos(-20,94^\circ) = 4,670 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{bz} = M_{by} \cdot \sin \alpha = 5 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \sin(-20,94^\circ) = -1,787 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Punkt A: $y_A = -2,71 \text{ cm}$; $z_A = -4,64 \text{ cm}$

Punkt B: $y_B = 0,29 \text{ cm}$; $z_B = 7,36 \text{ cm}$

$$\eta_A = -4,64 \text{ cm} \cdot \sin(20,94^\circ) - 2,71 \text{ cm} \cdot \cos(20,94^\circ) = -4,19 \text{ cm}$$

$$\xi_A = -4,64 \text{ cm} \cdot \cos(20,94^\circ) + 2,71 \text{ cm} \cdot \sin(20,94^\circ) = -3,37 \text{ cm}$$

$$\eta_B = 7,36 \text{ cm} \cdot \sin(20,94^\circ) + 0,29 \text{ cm} \cdot \cos(20,94^\circ) = 2,90 \text{ cm}$$

$$\xi_B = 7,36 \text{ cm} \cdot \cos(20,94^\circ) - 0,29 \text{ cm} \cdot \sin(20,94^\circ) = 6,77 \text{ cm}$$

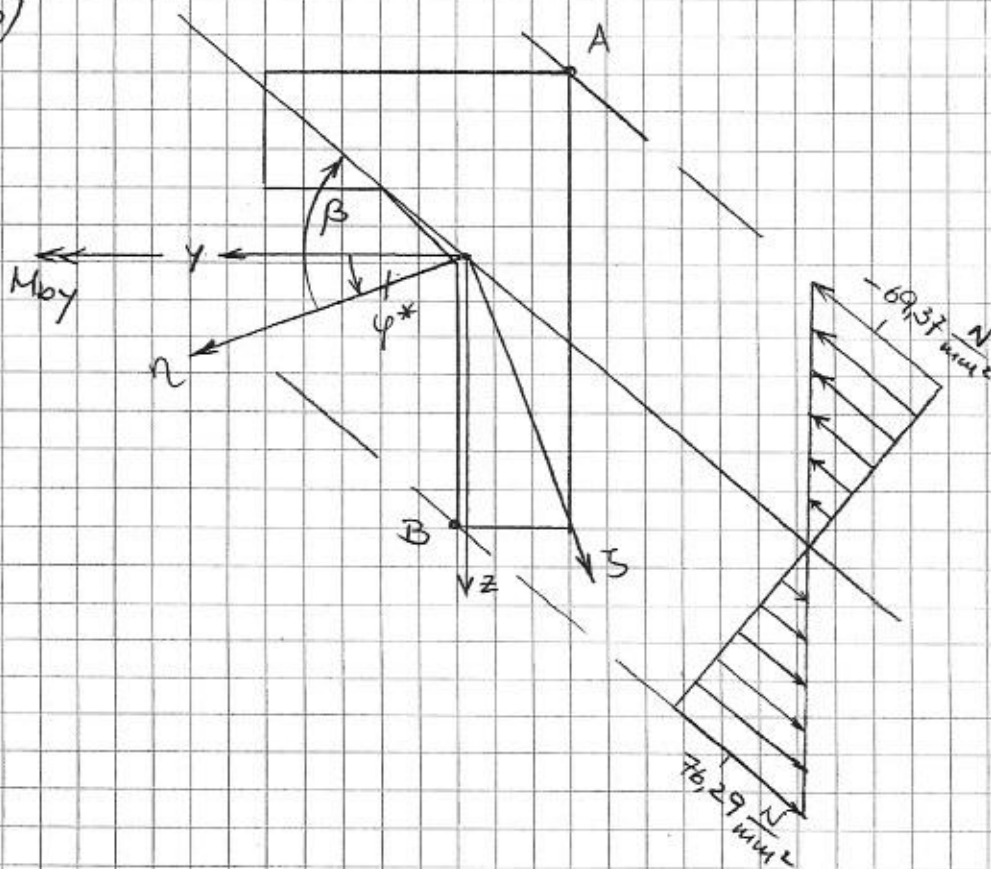
$$\sigma_b^A = \frac{467 \text{ kN} \cdot \text{cm}}{734 \text{ cm}^4} \cdot (-3,36 \text{ cm}) + \frac{178,7 \text{ kN} \cdot \text{cm}}{156 \text{ cm}^4} \cdot (-4,19 \text{ cm})$$

$$\sigma_b^A = -6,937 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = -69,37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_b^B = \frac{467 \text{ kN} \cdot \text{cm}}{734 \text{ cm}^4} \cdot 6,77 \text{ cm} + \frac{178,7 \text{ kN} \cdot \text{cm}}{156 \text{ cm}^4} \cdot 2,90 \text{ cm}$$

$$\sigma_b^B = 7,629 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 76,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

zu 3)



zu 4) Die maximalen Biegespannungen treten in den gleichen Querschnittspunkten A und B auf wie unter 3.

Da hier $M_{by} = -5 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ist, wechseln die Vorzeichen der Biegespannungen

$$\sigma_b^A = 69,37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} ; \sigma_b^B = -76,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

zu 1/

2/1

• Bereich I

$$A_{\text{II}} = 35 \text{ mm} \cdot 75 \text{ mm} + 40 \text{ mm} \cdot 35 \text{ mm} = 4025 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{M_T}{2 \cdot A_{\text{II}} \cdot t_{\text{min}}} = \frac{60000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2 \cdot 4025 \text{ mm}^2 \cdot 5 \text{ mm}} = 1,49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

• Bereich II

$$I_T = \frac{1}{3} \cdot \sum t_i^3 \cdot l_i = \frac{1}{3} \cdot \left[(5 \text{ mm})^3 \cdot (60 \text{ mm} + 40 \text{ mm}) + (4 \text{ mm})^3 \cdot 70 \text{ mm} \right]$$

$$I_T = 5660 \text{ mm}^4$$

$$\tau = \frac{M_T}{I_T} \cdot t_{\text{max}} = \frac{60000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{5660 \text{ mm}^4} \cdot 5 \text{ mm} = 53,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

zu 2) $T = \tau \cdot t$

$$T = 1,49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 5 \text{ mm} = 7,45 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

zu 3) $\varphi = \frac{M_T}{G} \cdot \left(\frac{l_1}{I_{T1}} + \frac{l_2}{I_{T2}} \right)$

$$I_{T1} = \frac{4 \cdot A_{\text{II}}^2}{\oint \frac{ds}{t}}$$

$$\oint \frac{ds}{t} = \frac{1}{5 \text{ mm}} \cdot (2 \cdot 35 \text{ mm} + 2 \cdot 20 \text{ mm} + 2 \cdot 40 \text{ mm} + 75 \text{ mm} + 35 \text{ mm})$$

$$\oint \frac{ds}{t} = 60$$

$$I_{T1} = \frac{4 \cdot (4025 \text{ mm}^2)^2}{60} = 1080042 \text{ mm}^4$$

$$\varphi = \frac{60000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{8,1 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{1080042 \text{ mm}^4} + \frac{500 \text{ mm}}{5660 \text{ mm}^4} \right)$$

$$\varphi = 0,0668 \hat{=} 3,83^\circ$$

$$\text{zu 4)} \quad \varphi_{\text{zul}} = \frac{M_T}{G} \cdot \left(\frac{l_1}{I_{T1}} + \frac{l_2}{I_{T2}} \right)$$

$$\frac{l_2}{I_{T2}} = \frac{\varphi_{\text{zul}} \cdot G}{M_T} - \frac{l_1}{I_{T1}}$$

$$I_{T2} = \frac{l_2}{\frac{\varphi_{\text{zul}} \cdot G}{M_T} - \frac{l_1}{I_{T1}}}$$

$$I_{T2} = \frac{500 \text{ mm}}{\frac{3 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 8,1 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{60000 \text{ N} \cdot \text{mm}} - \frac{2000 \text{ mm}}{1080042 \text{ mm}^4}}$$

$$I_{T2} = 7264 \text{ mm}^4$$

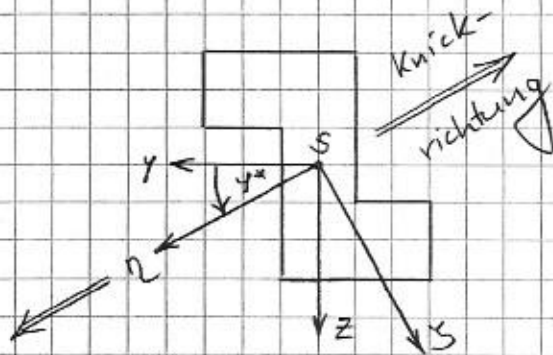
$$I_{T2} = \frac{1}{3} \cdot \left[(5 \text{ mm})^3 \cdot (60 \text{ mm} + 40 \text{ mm}) + t_{\text{steg}}^3 \cdot 70 \text{ mm} \right]$$

$$\frac{3 \cdot 7264 \text{ mm}^4 - 12500 \text{ mm}^4}{70 \text{ mm}} = t_{\text{steg}}^3$$

$$t_{\text{steg}} = \sqrt[3]{132,743 \text{ mm}^3}$$

$$t_{\text{steg}} = 5,10 \text{ mm}$$

zu 1)



$$\text{zu 2)} \quad F_K = 6 \cdot F = \frac{E \cdot I_y \cdot \pi^2}{S_K^2}$$

$$6 \cdot 300\,000 \text{ N} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1,181 \cdot a^4 \cdot \pi^2}{(0,7 \cdot 3000 \text{ mm})^2}$$

$$a = \sqrt[4]{\frac{(2100 \text{ mm})^2 \cdot 1,8 \cdot 10^6 \text{ N}}{2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \pi^2 \cdot 1,181}} = 42,44 \text{ mm}$$

Überprüfung der Schlauheit

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{1,181 \cdot a^4}{5 \cdot a^2}} = \sqrt{\frac{1,181 \cdot (42,44 \text{ mm})^2}{5}}$$

$$i_{\min} = 20,63 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{S_K}{i_{\min}} = \frac{0,7 \cdot 3000 \text{ mm}}{20,63 \text{ mm}} = 101,8 < 105 = \lambda_{\text{grenz}}$$

Inelastische Knickung nach Tetmajer

$$\sigma_K = 310 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - 1,14 \cdot \lambda$$

$$\frac{6 \cdot 300\,000 \text{ N}}{5 \cdot a^2} = 310 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - 1,14 \cdot \frac{2100 \text{ mm}}{\sqrt{\frac{1,181}{5}} a} \quad | \cdot a^2$$

3/2

$$360\,000\text{ N} = 310 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot a^2 - 4925,88 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot a$$

$$310 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot a^2 - 4925,88 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot a - 360\,000\text{ N} = 0$$

$$a^2 - 15,89\text{ mm} \cdot a - 1161,29\text{ mm}^2 = 0$$

$$a_1 = 7,95\text{ mm} + \sqrt{(7,95\text{ mm})^2 + 1161,29\text{ mm}^2}$$

$$a_1 = 42,94\text{ mm}$$

$$a_2 < 0 \text{ (uninteressant)}$$