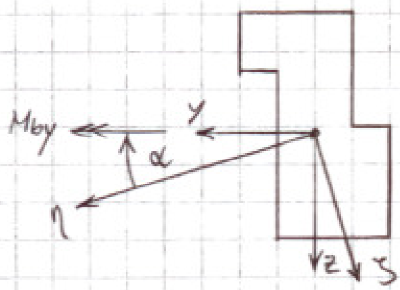
zu 1/ Nullinie



$M_{by} = M_{bmax} = \frac{13}{64} \cdot 3m \cdot F = 0{,}6094 m \cdot F$

$\alpha = -\varphi^* = -15{,}57°$

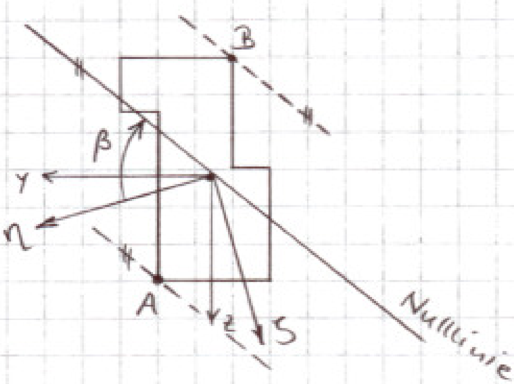
$M_{b\eta} = M_{by} \cdot \cos\alpha = 0{,}6094 m \cdot F \cdot \cos(-15{,}57°) = 0{,}5870 m \cdot F$

$M_{b\zeta} = M_{by} \cdot \sin\alpha = 0{,}6094 m \cdot F \cdot \sin(-15{,}57°) = -0{,}1636 m \cdot F$

<u>Nullinie</u>

$\tan\beta = \frac{897 cm^4}{175 cm^4} \cdot \tan(-15{,}57°) = -1{,}4282$

$\beta = -55{,}00°$



zu 2) zul F

<u>Punkt A</u>

$y_A = 2{,}27 cm \; ; \; z_A = 5{,}86 cm$

$\eta_A = 5{,}86 cm \cdot \sin(15{,}57°) + 2{,}27 cm \cdot \cos(15{,}57°) = 3{,}76 cm$

$\zeta_A = 5{,}86 cm \cdot \cos(15{,}57°) - 2{,}27 cm \cdot \sin(15{,}57°) = 5{,}04 cm$

<u>Punkt B</u>

$y_B = -1{,}73 cm \; ; \; z_B = -6{,}14 cm$

$$y_B = -6{,}14\,cm \cdot \sin(15{,}57°) - 1{,}73\,cm \cdot \cos(15{,}57°) = -3{,}31\,cm$$

$$\zeta_B = -6{,}14\,cm \cdot \cos(15{,}57°) + 1{,}73\,cm \cdot \sin(15{,}57°) = -5{,}45\,cm$$

$$\sigma_b^A = \frac{0{,}5870\,m \cdot F \cdot 100\,\frac{cm}{m}}{897\,cm^4} \cdot 5{,}04\,cm + \frac{0{,}1636\,m \cdot F \cdot 100\,\frac{cm}{m}}{175\,cm^4} \cdot 3{,}76\,cm$$

$$\sigma_b^A = 0{,}6813\,\frac{1}{cm^2} \cdot F_{zul} \leq 10\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$F_{zul} \leq \frac{10\,\frac{kN}{cm^2}}{0{,}6813\,\frac{1}{cm^2}} = 14{,}68\,kN$$

$$\sigma_b^B = \frac{0{,}5870\,m \cdot F \cdot 100\,\frac{cm}{m}}{897\,cm^4} \cdot (-5{,}45\,cm) + \frac{0{,}1636\,m \cdot F \cdot 100\,\frac{cm}{m}}{175\,cm^4} \cdot (-3{,}31\,cm)$$

$$\sigma_b^B = -0{,}6661\,\frac{1}{cm^2} \cdot F_{zul} \geq -10\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$0{,}6661\,\frac{1}{cm^2} \cdot F_{zul} \leq 10\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$F_{zul} \leq \frac{10\,\frac{kN}{cm^2}}{0{,}6661\,\frac{1}{cm^2}} = 15{,}01\,kN$$

Maßgebend: $F_{zul} = 14{,}68\,kN$

zu 3) M_{by} wird negativ, d.h. der Momentenvektor zeigt in negative y-Richtung, wurde also um 180° gedreht. Die Nulllinie bleibt unverändert, weil

$$\tan\beta = \frac{I_y}{I_\zeta} \cdot \tan\alpha = \frac{I_y}{I_\zeta} \cdot \tan(\alpha + 180°)$$

ist. Die Punkte A und B bleiben die Querschnittspunkte mit den größten Biegespannungen, allerdings wechseln die Biegespannungen das Vorzeichen. Die Zahlenwerte der Spannungen in den Punkten A und B erhält man aus den Werten unter Punkt 2, indem man diese mit dem Verhältnis der beiden Momente skaliert. Damit wird.

$$\sigma_b^A = -0{,}6813 \cdot \frac{1}{cm^2} \cdot 14{,}68\,kN \cdot \frac{\frac{6}{64}}{\frac{13}{64}} = -4{,}616\,\frac{kN}{cm^2} = -46{,}16\,\frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_b^B = 0{,}6661\,\frac{1}{cm^2} \cdot 14{,}68\,kN \cdot \frac{\frac{6}{64}}{\frac{13}{64}} = 4{,}513\,\frac{kN}{cm^2} = 45{,}13\,\frac{N}{mm^2}$$

zu 1)

$S_{y1} = 0$

$S_{y2} = 14\,cm^2 \cdot 6{,}81\,cm = 95{,}34\,cm^3$

$S_{y3} = 95{,}34\,cm^3 + 6\,cm^2 \cdot 4{,}81\,cm + 4\,cm^2 \cdot 5{,}14\,cm = 144{,}76\,cm^3$

$S_{y4} = 144{,}76\,cm^3 + 21\,cm^2 \cdot 0{,}31\,cm = 151{,}27\,cm^3$

$S_{y5} = 151{,}27\,cm^3 + 6\,cm^2 \cdot (-4{,}19\,cm) + 3\,cm^2 \cdot (-4{,}52\,cm)$

$S_{y5} = 112{,}57\,cm^3$

$S_{y6} = 112{,}57\,cm^3 + 12\,cm^2 \cdot (-6{,}19\,cm) = 38{,}29\,cm^3$

$S_{y7} = 38{,}29\,cm^3 + 4\,cm^2 \cdot (-7{,}69\,cm) + 1\,cm^2 \cdot (-7{,}52\,cm) = 0{,}01\,cm^3$
~ 0

$$\tau = \frac{F_{qz} \cdot S_y(z)}{I_y \cdot b(z)} = \frac{150\,kN}{1916\,cm^4} \cdot \frac{S_y(z)}{b(z)} = 0{,}07829\,\frac{kN}{cm^4} \cdot \frac{S_y(z)}{b(z)}$$

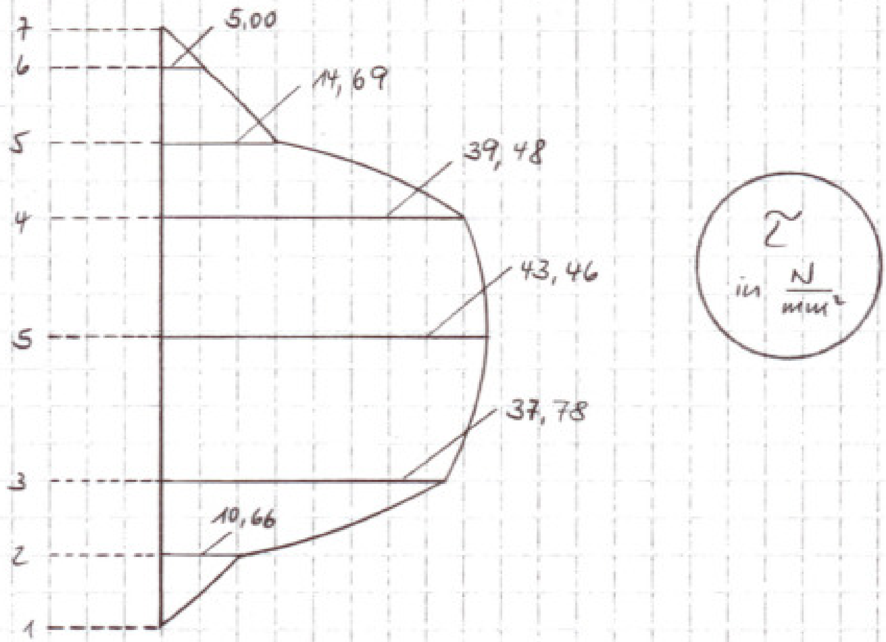
Schnitt	S_y cm^3	b cm	τ kN/cm^2	τ N/mm^2
1	0	7	0	0
2	95,34	7	1,066	10,66
3	144,76	3	3,778	37,78
4	151,27	3	3,948	39,48
5	112,57	6	1,469	14,69
6	38,29	6	0,500	5,00
7	0	4	0	0

Die größte Schubspannung tritt in der Schwerachse auf.

$S_{yS} = 144{,}76\,cm^3 + 3\,cm \cdot 3{,}81\,cm \cdot \frac{3{,}81\,cm}{2} = 166{,}53\,cm^3$

$\tau_{max} = 0{,}07829\,\frac{kN}{cm^4} \cdot \frac{166{,}53\,cm^3}{3\,cm} = 4{,}346\,\frac{kN}{cm^2}$

$\tau_{max} = 43{,}46\,\frac{N}{mm^2}$


7
6
5
4
5
3
2
1
5,00
14,69
39,48
43,46
37,78
10,66
τ
in $\frac{N}{mm^2}$

zu 1)

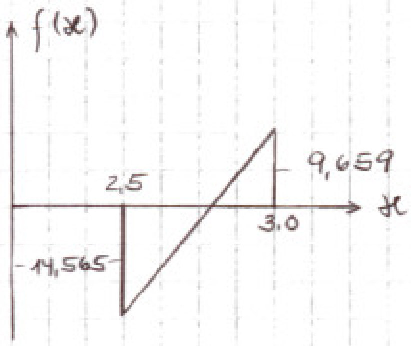
$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{6\,cm \cdot (3\,cm)^3}{12} = 13{,}5\,cm^4 = 13{,}5 \cdot 10^4\,mm^4$$

$$\delta = \frac{400\,\frac{N}{mm} \cdot (1000\,mm)^3}{2{,}1 \cdot 10^5\,\frac{N}{mm^2} \cdot 13{,}5 \cdot 10^4\,mm^4} = 14{,}11$$

$$f(\varkappa) = 14{,}11 \cdot \tan\varkappa - 14{,}11 \cdot \varkappa + 2 \cdot \varkappa^3$$

$$f(2{,}5) = 14{,}11 \cdot \tan 2{,}5 - 14{,}11 \cdot 2{,}5 + 2 \cdot (2{,}5)^3 = -14{,}565$$

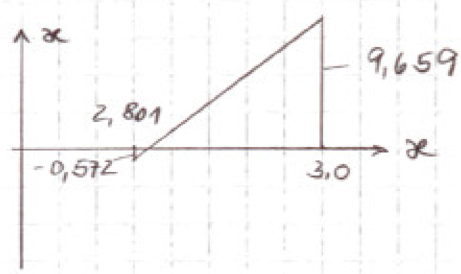
$$f(3{,}0) = 14{,}11 \cdot \tan 3{,}0 - 14{,}11 \cdot 3{,}0 + 2 \cdot (3{,}0)^3 = 9{,}659$$



$$\frac{0{,}5}{14{,}565 + 9{,}659} = \frac{\Delta\varkappa}{14{,}565}$$

$$\Delta\varkappa = 0{,}301$$

$$\varkappa_{Neu} = 2{,}801 \; ; \; f(\varkappa_{Neu}) = -0{,}572$$



$$\frac{0{,}199}{0{,}572 + 9{,}659} = \frac{\Delta\varkappa}{0{,}572}$$

$$\Delta\varkappa = 0{,}011$$

$$\varkappa_{Neu} = 2{,}801 + 0{,}011 = 2{,}812 \; ; \; f(\varkappa_{Neu}) = -0{,}033 \sim 0$$

$$\sqrt{\frac{F_K}{E \cdot I}} \cdot l = 2{,}812$$

$$F_K = \frac{2{,}812^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = \frac{2{,}812^2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5\,\frac{N}{mm^2} \cdot 13{,}5 \cdot 10^4\,mm^4}{(1000\,mm)^2}$$

$$F_K = 224173\,N$$

$$zul\,F = \frac{224173\,N}{4} = 56043\,N$$

zu 2) $A = 60\,mm \cdot 30\,mm = 1800\,mm^2$

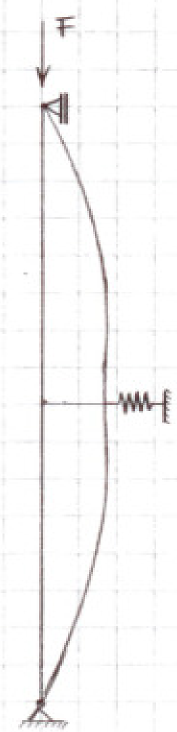
$$\sigma_K = \frac{224173\,N}{1800\,mm^2} = 124{,}54\,\frac{N}{mm^2} < 188\,\frac{N}{mm^2}$$

zu 3) $F_K = \frac{E \cdot I \cdot \pi^2}{s_K^2}$

$$s_K = \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot \pi^2}{F_K}}$$

$$s_K = \sqrt{\frac{2{,}1 \cdot 10^5\,\frac{N}{mm^2} \cdot 13{,}5 \cdot 10^4\,mm^4 \cdot \pi^2}{224173\,N}}$$

$s_K = 1117\,mm = 1{,}117\,m$



Knickfigur