

Geg.: 1. Winkel in °

|           |    |    |     |      |     |
|-----------|----|----|-----|------|-----|
| $\alpha$  | 60 | 90 | 120 | 150  | 180 |
| $\beta$   | 70 | 90 | 110 | '''' |     |
| $\varphi$ | 75 | 90 | 105 |      |     |

Schwenkwinkel  $\delta = \pm 20^\circ$

2. Kraft  $F_A$  in kN

1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,4 2,8 3,2 3,6 4,0

3. Hebelarme in mm

|                          |     |     |     |     |     |    |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| $l_1 = \overline{A_0 A}$ | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 |    |
| $l_2 = \overline{A_0 B}$ | 105 | 115 | 125 | 135 | 145 |    |
| b                        | -50 | -25 | 0   | 25  | 50  | 75 |
| h                        | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 |    |

- Ges.: a) Kräfte in  $A_0$  und B  
 b) Dimensionierung der drei Lagerbuchsen aus G-CuSn12Pb  
 c) Ermittlung der Stegquerschnitte über die überwiegende Beanspruchung für einen geschweißten Hebel  
 d) Berechnung der gefährdeten Schweißnaht am Hebel  
 e) Entwurf der Baugruppe mit allen erforderlichen Ansichten und Schnitten im Maßstab 1:1 (Winkelhebel und Konsole als Schweißteil, Befestigung der Konsole mit Schrauben an einer der beiden Montageflächen). Die Umrisse angrenzender Teile (Hebel in A und B, Gestell) und die Grenzstellungen von Teilen sind in schmaler Strich-Zweipunkt-Linie anzudeuten. Alle tolerierten Maße sind einzutragen.  
 f) Nachrechnung des gefährdeten Querschnittes an der Konsole  
 g) Stückliste



a) Ermittlung der Kräfte in A<sub>0</sub> und B

(3-Kräfte-Verfahren)

1,2 kg

Lageplan: (M 1:5)

Kräfteplan:

(1mm  $\hat{=}$  25 N)

F<sub>A</sub>

F<sub>B</sub>

F<sub>A<sub>0</sub></sub>

F<sub>A</sub>

F<sub>A<sub>0</sub></sub>

F<sub>B</sub>

F<sub>A<sub>0</sub></sub> = 2675 N ; F<sub>B</sub> = 1075 N



b) Dimensionierung der Lagerbuchsen

Auslegung nach Flächenpressung

$$\rho = \frac{F}{A_{\text{proj.}}} \leq p_{\text{zul.}} \iff A_{\text{proj.}} \geq \frac{F}{p_{\text{zul.}}}$$

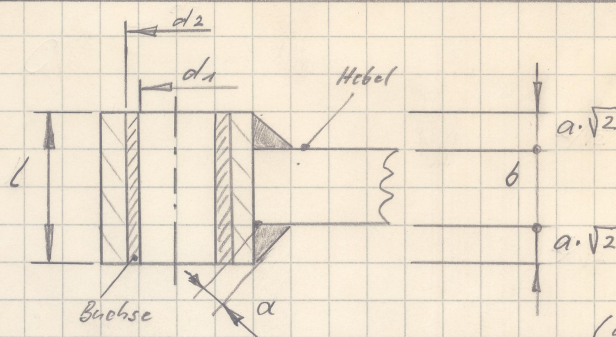
Werkstoffpaarung:

für Buchse: G-Cu Sn 12 Pb (vorgegeben)  
für Bolzen: St 50 (gewählt)

$$\text{hieraus: } p_{\text{zul.}} = 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

bei schwelender Belastung: Faktor 0,7

$$\Rightarrow p_{\text{zul.}} = 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 0,7 = 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \checkmark$$



Randbedingung aus c)

$$\text{Buchsenlänge } L \geq 2 \cdot a_{\text{min}} \cdot \sqrt{2} + b$$

 $\wedge$  Nähtdicke  $a_{\text{min}} = 3$ 
 $\wedge$  Hebelstärke gewählt:  $b = 8$   $\checkmark$ 

$$\Rightarrow L_{\text{min}} = 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} + 8 = 16,5 \text{ mm}$$

(genormte Buchsenlängen: 15; 20; 30)

Gelenk A<sub>0</sub>

$$A_{\text{proj.}} \geq \frac{2675 \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{14 \text{ N}} = 191 \text{ mm}^2$$

$$\text{bei } l = 20 \Rightarrow d_{\text{min}} = \frac{191 \text{ mm}^2}{20 \text{ mm}} = 9,6 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm}$$

gewählte Buche DIN 1850 - G  $20 \times 24 \times 20$ 

$$\text{Probe: } 20 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} = 400 \text{ mm}^2 > 191 \text{ mm}^2$$

Gelenk A

$$A_{\text{proj.}} \geq \frac{1600 \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{14 \text{ N}} = 114 \text{ mm}^2$$

$$\text{bei } l = 20 \Rightarrow d_{\text{min}} = \frac{114 \text{ mm}^2}{20 \text{ mm}} = 5,7 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$$

gewählte Buchse DIN 1850 - G  $12 \times 16 \times 20$ 

$$\text{Probe: } 12 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} = 240 \text{ mm}^2 > 114 \text{ mm}^2$$

Gelenk B

$$A_{\text{proj.}} \geq \frac{1075 \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{14 \text{ N}} = 77 \text{ mm}^2$$

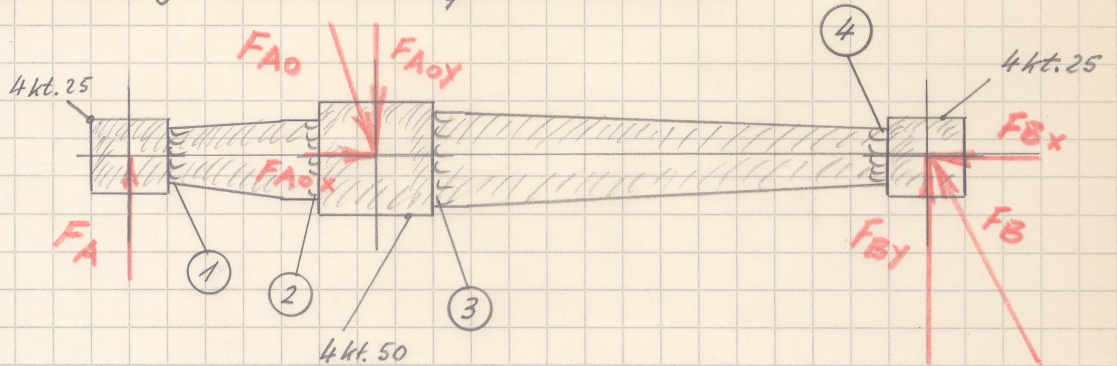
$$\text{bei } l = 20 \Rightarrow d_{\text{min}} = \frac{77 \text{ mm}^2}{20 \text{ mm}} = 3,85 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm} \quad \checkmark$$

gewählte Buchse DIN 1850 - G  $12 \times 16 \times 20$ 

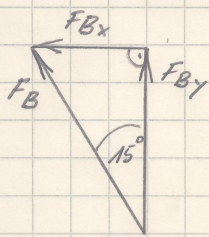
$$\text{Probe: } 12 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} = 240 \text{ mm}^2 > 77 \text{ mm}^2$$



c) Ermittlung des Hebelquerschnitts



Berechnung senkrechter Kraftkomponenten:



$$\sin 15^\circ = \frac{F_{Bx}}{F_B} \Leftrightarrow F_{Bx} = F_B \cdot \sin 15^\circ$$

$$F_{Bx} = 1075 \text{ N} \cdot \sin 15^\circ = \underline{\underline{278 \text{ N}}}$$

$$\cos 15^\circ = \frac{F_{By}}{F_B} \Leftrightarrow F_{By} = F_B \cdot \cos 15^\circ$$

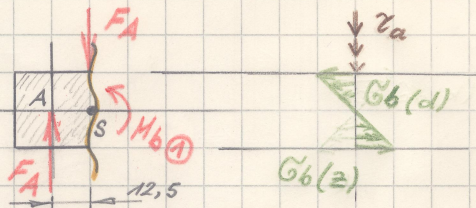
$$F_{By} = 1075 \text{ N} \cdot \cos 15^\circ = \underline{\underline{1038 \text{ N}}}$$

$$\sum F_y = 0: F_{A0y} = F_A + F_{By} = 1600 \text{ N} + 1038 \text{ N} = \underline{\underline{2638 \text{ N}}}$$

$$\sum F_x = 0: F_{A0x} = F_{Bx} = \underline{\underline{278 \text{ N}}}$$

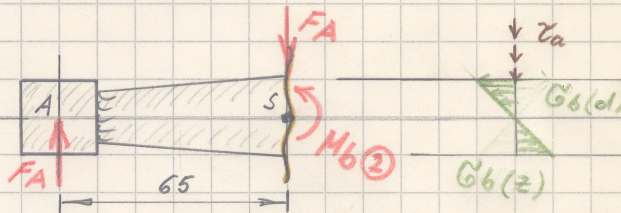
Berechnung der Biegemomente:

Stelle ①



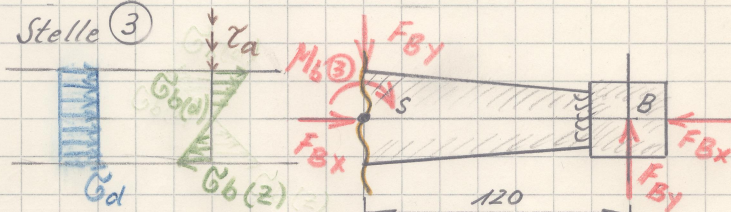
$$M_{b①} = 1600 \text{ N} \cdot 12,5 \text{ mm} = \underline{\underline{20000 \text{ Nmm}}}$$

Stelle ②



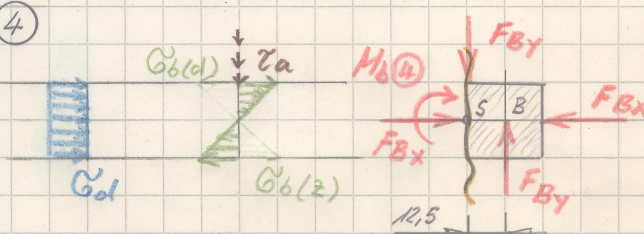
$$M_{b②} = 1600 \text{ N} \cdot 65 \text{ mm} = \underline{\underline{104000 \text{ Nmm}}}$$

Stelle ③



$$M_{b③} = 1038 \text{ N} \cdot 120 \text{ mm} = \underline{\underline{124560 \text{ Nmm}}}$$

Stelle ④



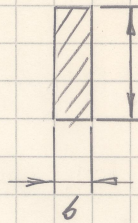
$$M_{b④} = 1038 \text{ N} \cdot 12,5 \text{ mm} = \underline{\underline{12975 \text{ Nmm}}}$$



c) Ermittlung des Hebelquerschnitts

Zulässige Spannung: Linie F  
schwellend  
St 37 }  $\sigma_{zul.} = 60 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \leq \sigma_{zul.} \Rightarrow W_b \geq \frac{M_b}{\sigma_{zul.}}$$



$$W_b = \frac{b \cdot h^2}{6} \Rightarrow h = \sqrt{\frac{6 W_b}{b}}$$

für b gewählt: 8 mm

Vordimensionierung:

$$W_{b(1)} \geq \frac{20000 \text{ Nm} \cdot \text{mm}^2}{60 \text{ N}} = 333 \text{ mm}^3$$

$$h_{(1)} \geq \sqrt{\frac{6 \cdot 333 \text{ mm}^3}{8 \text{ mm}}} = 16 \text{ mm}$$

gewählt: h = 16,5, weil zusätzl.  $\sigma_a$  vorhanden.

$$W_{b(2)} \geq \frac{104000 \text{ Nm} \cdot \text{mm}^2}{60 \text{ N}} = 1733 \text{ mm}^3$$

$$h_{(2)} \geq \sqrt{\frac{6 \cdot 1733 \text{ mm}^3}{8 \text{ mm}}} = 36 \text{ mm}$$

gewählt: h = 40, weil zusätzl.  $\sigma_a$  vorhanden. ✓

$$W_{b(3)} \geq \frac{124560 \text{ Nm} \cdot \text{mm}^2}{60 \text{ N}} = 2076 \text{ mm}^3$$

$$h_{(3)} \geq \sqrt{\frac{6 \cdot 2076 \text{ mm}^3}{8 \text{ mm}}} = 39,5 \text{ mm}$$

gewählt: h = 41,5, da zusätzlich  $\sigma_a$  und  $\sigma_d$  vorhanden.

$$W_{b(4)} \geq \frac{12975 \text{ Nm} \cdot \text{mm}^2}{60 \text{ N}} = 217 \text{ mm}^3$$

$$h_{(4)} \geq \sqrt{\frac{6 \cdot 217 \text{ mm}^3}{8 \text{ mm}}} = 12,8 \text{ mm}$$

gewählt: h = 16,5, da zusätzlich  $\sigma_a$  und  $\sigma_d$  vorhanden.



c) Ermittlung des HebelquerschnittsNachrechnung des Bauteils:

Vergleichsspannung  $\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$

(bei mehreren Normalspannungen:  $\sigma = \sigma_b + \sigma_d$ )

$$\tau_a = \frac{F}{A}$$

Stelle ①:

$$W_{b①} = \frac{8 \cdot 16,5^2}{6} \text{ mm}^3 = 363 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{b①} = \frac{20000 \text{ Nm}}{363 \text{ mm}^3} = 55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{a①} = \frac{1600 \text{ N}}{8 \cdot 16,5 \text{ mm}^2} = 12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{v①} = \sqrt{55^2 + 3 \cdot 12^2} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 59 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{zul.} = 60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Stelle ②:

$$W_{b②} = \frac{8 \cdot 40^2}{6} \text{ mm}^3 = 2133 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{b②} = \frac{104000 \text{ Nm}}{2133 \text{ mm}^3} = 49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{a②} = \frac{1600 \text{ N}}{8 \cdot 40 \text{ mm}^2} = 5$$

$$\sigma_{v②} = \sqrt{49^2 + 3 \cdot 5^2} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{zul.} = 60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Stelle ③:

$$W_{b③} = \frac{8 \cdot 41,5^2}{6} \text{ mm}^3 = 2296 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{b③} = \frac{124560 \text{ Nm}}{2296 \text{ mm}^3} = 54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{d③} = \frac{F_{Bx}}{A} = \frac{278 \text{ N}}{8 \cdot 41,5 \text{ mm}^2} \approx 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{③} = 55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{a③} = \frac{1038 \text{ N}}{8 \cdot 41,5 \text{ mm}^2} = 3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{v③} = \sqrt{55^2 + 3 \cdot 3^2} = 56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{zul.} = 60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Stelle ④:

$$W_{b④} = \frac{8 \cdot 16,5^2}{6} \text{ mm}^3 = 363 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{b④} = \frac{12975 \text{ Nm}}{363 \text{ mm}^3} = 36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Rightarrow \sigma_{④} = 38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_d = \frac{F_{Bx}}{A} = \frac{278 \text{ N}}{8 \cdot 16,5 \text{ mm}^2} = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

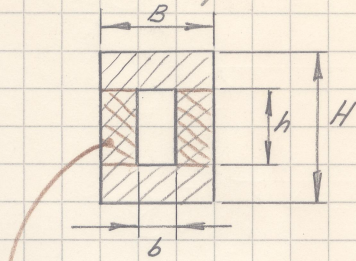
$$\tau_a = \frac{1038 \text{ N}}{8 \cdot 16,5 \text{ mm}^2} = 8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{v④} = \sqrt{38^2 + 3 \cdot 8^2} = 41 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{zul.} = 60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



c) Ermittlung des HebelquerschnittsNachrechnung der Schweißnaht:

Vergleichsspannung:  $G_{Wv} = 0,5 \left( G_W + \sqrt{G_W^2 + 4 \tau_w^2} \right)$



$$W_W = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6H}$$

$$\tau_a = \frac{F}{A}$$

(bei mehreren Normalspannungen:  $G_W = G_b + G_d$ )Fläche für  $\tau_a$ 

Nahtdicke 3 mm; Hebeldicke 8 mm

$$\text{Stelle ①: } W_{W①} = \frac{14 \cdot 22,5^3 - 8 \cdot 16,5^3}{6 \cdot 22,5} \text{ mm}^3 = 915 \text{ mm}^3$$

$$G_{Wb①} = \frac{M_{b①}}{W_{W①}} = \frac{20000 \text{ Nm}}{915 \text{ mm}^3} = 22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}; \quad \tau_{a①} = \frac{1600 \text{ N}}{2 \cdot 3 \cdot 16,5 \text{ mm}^2} = 16,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{Wv①} = 0,5 \cdot \left( 22 + \sqrt{22^2 + 4 \cdot 16,2^2} \right) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < G_{zul.} = 60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Stelle ②: } W_{W②} = \frac{14 \cdot 46^3 - 8 \cdot 40^3}{6 \cdot 46} \text{ mm}^3 = 3082 \text{ mm}^3$$

$$G_{Wb②} = \frac{104000 \text{ Nm}}{3082 \text{ mm}^3} = 34 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}; \quad \tau_{a②} = \frac{1600 \text{ N}}{2 \cdot 3 \cdot 40 \text{ mm}^2} = 7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{Wv②} = 0,5 \cdot \left( 34 + \sqrt{34^2 + 4 \cdot 7^2} \right) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < G_{zul.} = 60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Stelle ③: } W_{W③} = \frac{14 \cdot 47,5^3 - 8 \cdot 41,5^3}{6 \cdot 47,5} \text{ mm}^3 = 3258 \text{ mm}^3$$

$$G_{Wb③} = \frac{124560 \text{ Nm}}{3258 \text{ mm}^3} = 38,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}; \quad \tau_{a③} = \frac{1038 \text{ N}}{2 \cdot 3 \cdot 41,5 \text{ mm}^2} = 4,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{d③} = \frac{278 \text{ N}}{(14 \cdot 47,5 - 8 \cdot 41,5) \text{ mm}^2} \approx 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}; \quad G_{W③} = 38,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 39,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{Wv③} = 0,5 \cdot \left( 39,3 + \sqrt{39,3^2 + 4 \cdot 4,2^2} \right) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 40 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < G_{zul.} = 60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Stelle ④: } W_{W④} = \frac{14 \cdot 22,5^3 - 8 \cdot 16,5^3}{6 \cdot 22,5} \text{ mm}^3 = 915 \text{ mm}^3$$

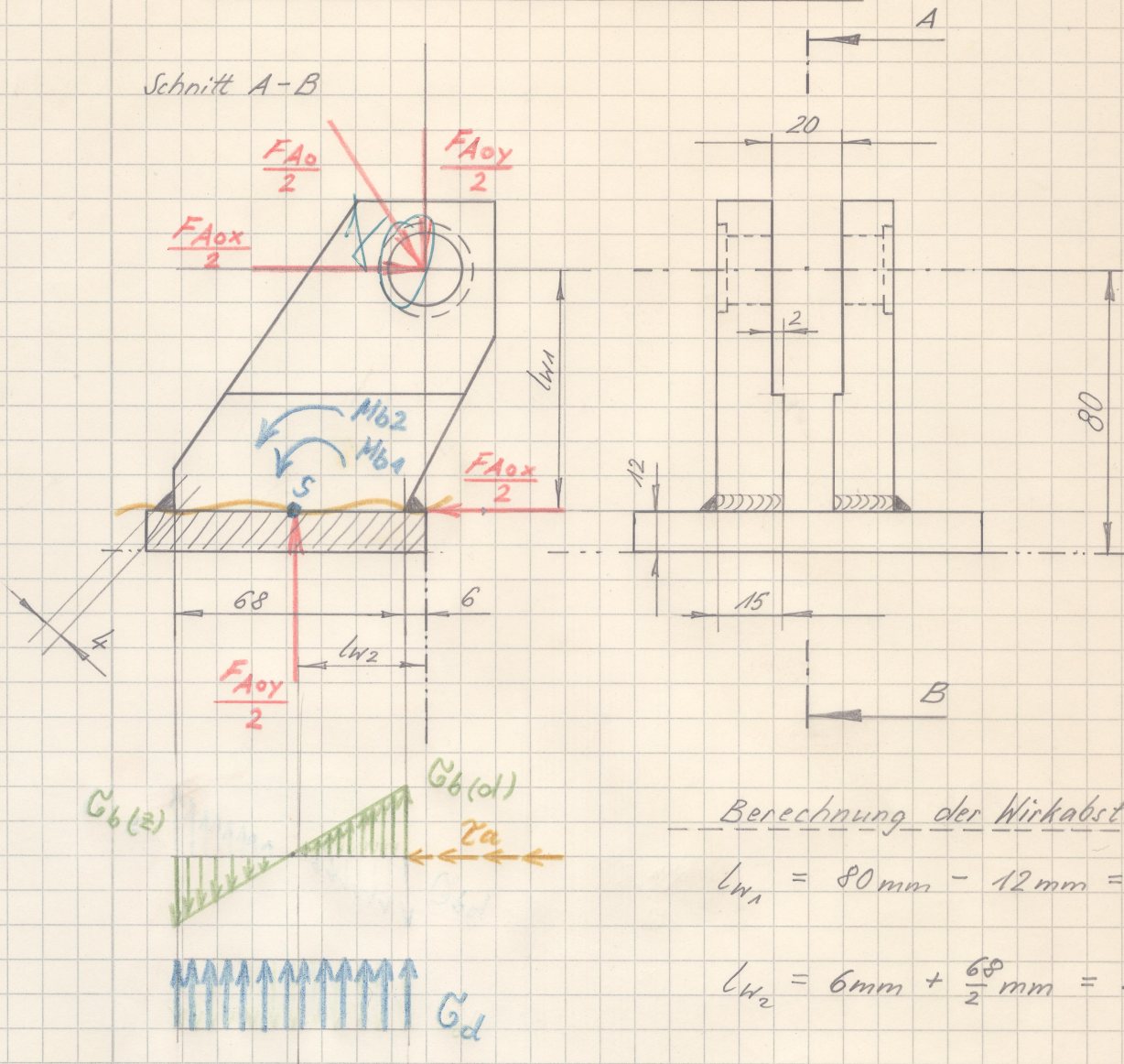
$$G_{Wb④} = \frac{12975 \text{ Nm}}{915 \text{ mm}^3} = 14,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}; \quad \tau_{a④} = \frac{1038 \text{ N}}{2 \cdot 3 \cdot 16,5 \text{ mm}^2} = 10,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{d④} = \frac{278 \text{ N}}{(14 \cdot 22,5 - 8 \cdot 16,5) \text{ mm}^2} = 1,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}; \quad G_{W④} = 14,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 1,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 15,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{Wv④} = 0,5 \cdot \left( 15,8 + \sqrt{15,8^2 + 4 \cdot 10,5^2} \right) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < G_{zul.} = 60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



f) Nachrechnung des gefährdeten Querschnitts an der Konsole



Berechnung der Wirkabstände

$$l_{w1} = 80 \text{ mm} - 12 \text{ mm} = 68 \text{ mm}$$

$$l_{w2} = 6 \text{ mm} + \frac{68}{2} \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

Berechnung der Biegemomente

$$M_{b1} = l_{w1} \cdot \frac{F_{A0x}}{2} = 68 \text{ mm} \cdot \frac{278 \text{ N}}{2} = 9452 \text{ Nmm} \quad \checkmark$$

$$M_{b2} = l_{w2} \cdot \frac{F_{A0y}}{2} = 40 \text{ mm} \cdot \frac{2638 \text{ N}}{2} = 52760 \text{ Nmm}$$

Zusammenfassung der Biegemomente

$$M_{\text{gesamt}} = M_{b1} + M_{b2} = 62212 \text{ Nmm}$$



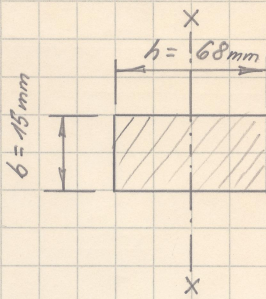
f) Nachrechnung des gefährdeten Querschnitts an der Konsole

Bestimmung der zulässigen Spannung

- vorwiegend Biegebeanspruchung } Linie F
- Kehlnähte (unbearbeitet) }
- Werkstoff: St 37
- Belastungsfall: schwellend

$$\sigma_{zul.} = \underline{\underline{60 \frac{N}{mm^2}}}$$

Berechnung der Spannungen im Bauteil



$$W_b = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{15 \text{ mm} \cdot 68^2 \text{ mm}^2}{6} = 11560 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{62212 \text{ Nm}}{11560 \text{ mm}^3} = 6 \frac{N}{mm^2}$$

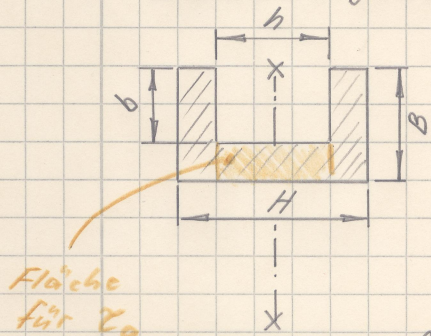
$$\sigma_d = \frac{0,5 \cdot F_{Aoy}}{15 \text{ mm} \cdot 68 \text{ mm}} = \frac{0,5 \cdot 2638 \text{ N}}{15 \cdot 68 \text{ mm}^2} = 2 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma = 8 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_a = \frac{0,5 \cdot F_{Aox}}{A} = \frac{0,5 \cdot 278 \text{ N}}{15 \text{ mm} \cdot 68 \text{ mm}} = 0,2 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{8^2 + 3 \cdot 0,2^2} \frac{N}{mm^2} \approx 8 \frac{N}{mm^2} < 60 \frac{N}{mm^2} = \sigma_{zul.}$$

Berechnung der Spannungen in der Schweißnaht



(Schwarz-Mayer-Stanger S. 26)

$$W_b = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6 \cdot H}$$

$$W_w = \frac{19 \cdot 76^3 - 15 \cdot 68^3}{6 \cdot 76} \text{ mm}^3 = 7947 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{bw} = \frac{M_{bw}}{W_w} = \frac{62212 \text{ Nm}}{7947 \text{ mm}^3} = 8 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{dw} = \frac{0,5 \cdot F_{Aoy}}{A} = \frac{0,5 \cdot 2638 \text{ N}}{(2 \cdot 15 \cdot 4 + 76 \cdot 4) \text{ mm}^2} = 3,2 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_a = \frac{0,5 \cdot F_{Aox}}{A} = \frac{0,5 \cdot 278 \text{ N}}{68 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}} = 0,5 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{wv} = 0,5 \cdot (\sigma_w + \sqrt{\sigma_w^2 + 4 \cdot \tau_a^2}) = 0,5 \cdot (8 + \sqrt{8^2 + 4 \cdot 0,5^2}) \frac{N}{mm^2} = 8 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{wv} < \sigma_{zul.} = 60 \frac{N}{mm^2}$$



|   |  |           |          |   |                                 |
|---|--|-----------|----------|---|---------------------------------|
| 1 | Hebel                                  |           |          | 1 | <del>Lfd. Nr. 1.1 ... 1.6</del> |
| 1 | Konsole                                |           |          | 2 | <del>Lfd. Nr. 2.1 ... 2.3</del> |
| 1 | <del>Hebelachse</del> Bolzen           |           | St 50-2K | 3 | DIN 668<br>Rd 22 x 51           |
| 2 | Stehbolzen                             |           | St 50-2K | 4 | DIN 668<br>Rd 20 x 50           |
| 3 | Kegelschmiernippel AM6- <del>5.8</del> | DIN 71412 | 5.8      | 5 |                                 |
| 2 | Sicherungsring 12 x 1                  | DIN 471   |          | 6 |                                 |
| 2 | Sicherungsring 20 x 1,2                | DIN 471   |          | 7 |                                 |
| 4 | Zyl.-Schraube M8 x 25- <del>8.8</del>  | DIN 912   | 8.8      | 8 |                                 |
| 2 | Zyl.-Stift 6m6 x 20                    | DIN 6325  |          | 9 |                                 |

| Stck. | Benennung         | Normbl. | Werkst. | Lfd. Nr. | Halbzeug   Bemerkung |         |                 |
|-------|-------------------|---------|---------|----------|----------------------|---------|-----------------|
|       | Hebel und Konsole |         |         |          | 89                   | Tag     | Name            |
|       |                   |         |         |          | Gez.                 | 14.7.89 | Schiefers<br>A6 |
|       |                   |         |         |          | Gepr.                | 29.9.   | Kj              |







