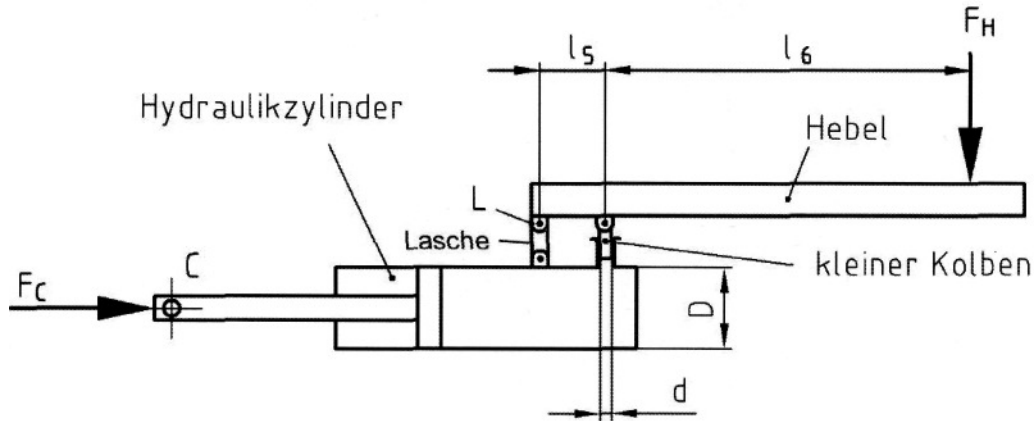


HP 2008/09-5: Wagenheber

4 Die Wirkungsweise des Wagenhebers ist durch ein vereinfachtes Hydrauliksystem und einen einseitigen Hebel dargestellt.



Daten:

$$F_C = 63 \text{ kN} \quad F_H = 175 \text{ N} \quad l_5 = 40 \text{ mm} \quad l_6 = 600 \text{ mm} \quad D = 60 \text{ mm} \quad d = 10 \text{ mm}$$

- 4.1 Berechnen Sie den Druck p_z im Hydraulikzylinder. 2,5
- 4.2 Wie groß ist die Kraft F_K am kleinen Kolben? 2,5
- 5 Der Wagenheber wird mit der Handkraft F_H betätigt.
- 5.1 Welche Kraft F_L tritt dabei im Lager L auf? 2,0
- 5.2 Berechnen Sie das maximale Biegemoment im Hebel. 2,0
- 5.3 Als Hebel wird ein Rohr aus E360 mit Außendurchmesser 20 mm verwendet. Bestimmen Sie den erforderlichen Innendurchmesser des Rohrs bei 2,5-facher Sicherheit. 3,0
- 6 Beim Lager L wird eine Lasche verwendet, die den Zylinder mit dem Hebel verbindet. 3,0
- Berechnen Sie die Blechstärke s der Lasche.

Daten:

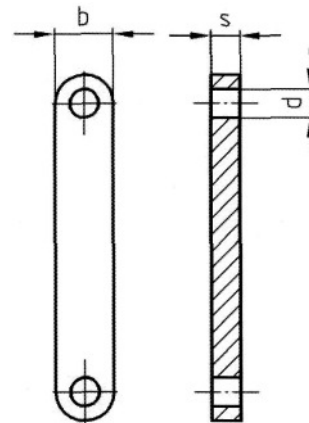
$$\text{Lagerkraft } F_L = 3 \text{ kN}$$

$$b = 10 \text{ mm}$$

$$d = 5 \text{ mm}$$

Laschenwerkstoff: E360

Sicherheit gegen Verformung: $v = 2,5$



$\Sigma = 30,0$

HP 2008/09-5: Wagenheber

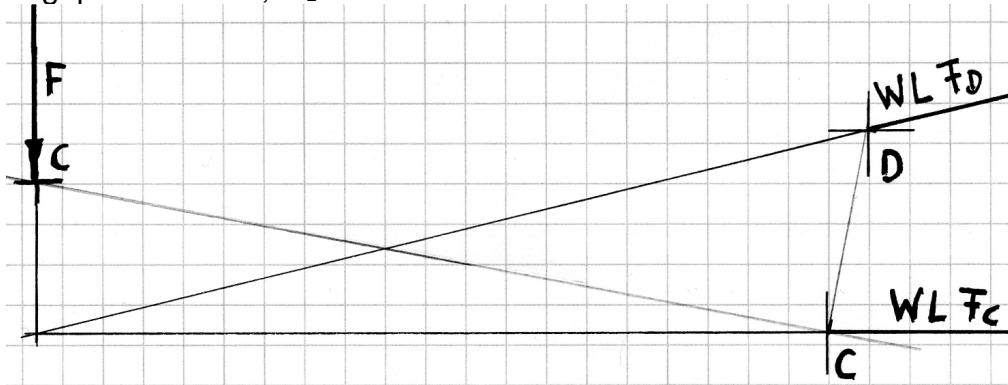
Lösungsvorschläge

Teilaufgaben:

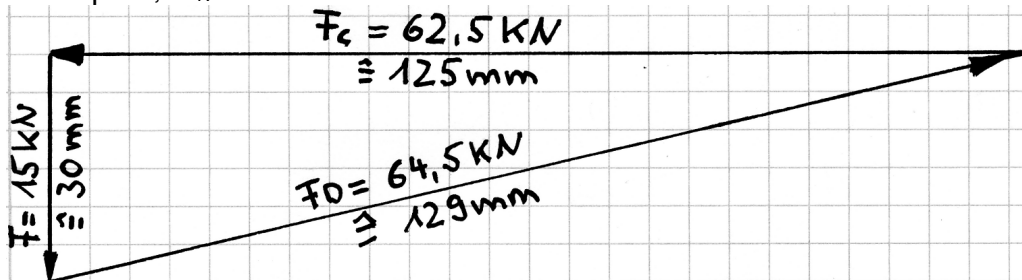
Punkte

1 Lageplan Hubarm, $M_L = 200\text{mm}/100\text{mm}$

4,0



Kräfteplan, $M_K = 15\text{kN} / 30\text{mm}$



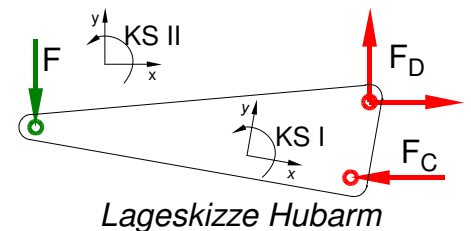
Rechnerische Lösung (nicht gefordert)

Koordinatensystem I: x-Achse parallel zu l_3

$$\Sigma M_D = 0 = F_y \cdot l_3 + F_x \cdot l_4 - F_{Cx} \cdot l_4 \Rightarrow$$

$$F_C = \frac{F \cdot \cos \alpha_1 \cdot l_3 + F \cdot \sin \alpha_1}{l_4 \cdot \cos \alpha_1}$$

$$= \frac{15\text{ kN} \cdot \cos 10^\circ \cdot 200\text{ mm} + 15\text{ kN} \cdot \sin 10^\circ \cdot 50\text{ mm}}{50\text{ mm} \cdot \cos 10^\circ} = 62,6\text{ kN}$$



Lageskizze Hubarm

Wechsel zu Koordinatensystem II: x-Achse waagrecht

$$\Sigma F_x = 0 = -F_C + F_{Dx} \Rightarrow F_{Dx} = -F_C = -62,6\text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = -F + F_{Dy} \Rightarrow F_{Dy} = -F = -15\text{ kN}$$

$$F = \sqrt{F_{Dx}^2 + F_{Dy}^2} = \sqrt{(-62,6\text{ kN})^2 + (-15\text{ kN})^2} = 64,4\text{ kN}$$

$$\alpha_F = \arctan \frac{F_{Dy}}{F_{Dx}} = \arctan \frac{-15\text{ kN}}{-62,6\text{ kN}} = 13,5^\circ$$

$\alpha_A = 13,5^\circ$ nach links unten gegen die negative x-Achse bzw.

$\alpha_A = 193,5^\circ$ gegen die positive x-Achse

Statik (Dreikräfteverfahren)

HP 2008/09-5: Wagenheber

2 Lageskizze Wagenheber: 6,0

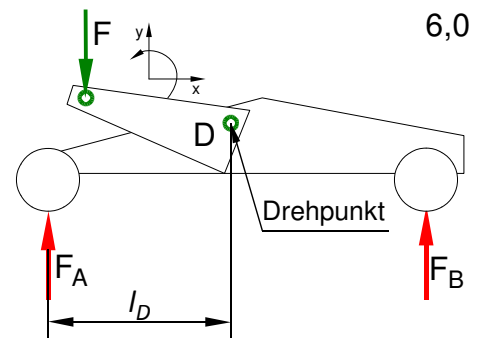
$$l_D = l_2 + l_4 \cdot \sin \alpha_1 = 220 \text{ mm} + 50 \text{ mm} \cdot 10^\circ = 228,58 \text{ mm}$$

$F_{B\max}$ tritt in Position (2) auf:

$$\Sigma M_A = 0 = -F_B \cdot l_1 + F \cdot (l_D - l_4 \cdot \sin \alpha_2 - l_3 \cdot \cos \alpha_2) \Rightarrow$$

$$F_B = F \cdot \frac{l_D - l_4 \cdot \sin \alpha_2 - l_3 \cdot \cos \alpha_2}{l_1}$$

$$F_B = 15 \text{ kN} \cdot \frac{228,68 \text{ mm} - 50 \text{ mm} \cdot \sin 55^\circ - 200 \text{ mm} \cdot \cos 55^\circ}{500 \text{ mm}} = 2,19 \text{ kN}$$



$F_{A\max}$ tritt in Position (1) auf:

$$\Sigma M_B = 0 = -F_A \cdot l_1 + F \cdot (l_1 - l_D + l_4 \cdot \sin \alpha_1 + l_3 \cdot \cos \alpha_1) \Rightarrow$$

$$F_A = F \cdot \frac{l_1 - l_D + l_4 \cdot \sin \alpha_1 + l_3 \cdot \cos \alpha_1}{l_1}$$

$$= 15 \text{ kN} \cdot \frac{500 \text{ mm} - 228,68 \text{ mm} + 50 \text{ mm} \cdot \sin 10^\circ + 200 \text{ mm} \cdot \cos 10^\circ}{500 \text{ mm}} = 14,31 \text{ kN}$$

Auflagerkräfte

3 Erforderlicher Durchmesser gegen Flächenpressung: 5,0

$$W_p = 6434 \text{ mm}^3 \quad p_{zul} = \frac{F}{A} \Rightarrow A_{erf} = \frac{F_D}{2 \cdot p_{zul}} = \frac{65 \text{ kN}}{2 \cdot 60 \text{ N/mm}^2} = 541,7 \text{ mm}^2$$

$$A = d \cdot s \Rightarrow d_{erf} = \frac{A}{s} = \frac{541,7 \text{ mm}^2}{20 \text{ mm}} = 27,1 \text{ mm}$$

Erforderlicher Durchmesser gegen Abscheren

$\tau_{aB} = 340 \text{ N/mm}^2$ (S275 → Tabellenbuch Metall, Europa Verlag, 44. Auflage, S.44)

$$\frac{\tau_{aB}}{v} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{2 \cdot S} \Rightarrow$$

$$\tau_{azul} = \frac{\tau_{aB}}{v} = \frac{340 \text{ N/mm}^2}{3} = 113,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F_D}{2 \cdot \tau_{azul}} = \frac{65 \text{ kN}}{2 \cdot 113,3 \text{ N/mm}^2} = 286,8 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d_{erf} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 286,8 \text{ mm}^2}{\pi}} = 19,1 \text{ mm}$$

Maßgeblich ist der größere Durchmesser 27,1 mm, gewählt wird der nächstgrößere angebotene Bolzen $\varnothing 28 \text{ mm}$ (→ TabB „Bolzen“)

Flächenpressung und Scherfestigkeit (Bolzen \varnothing)

HP 2008/09-5: Wagenheber

- 4 In der Aufgabe kann der Druck im Hydraulikzylinder von F_H (Fall I durch Pumpen) oder F_C (Fall II durch Halten) erzeugt werden, und beide Fälle ergeben unterschiedliche Drücke. Im Folgenden werden beide Möglichkeiten vorgerechnet, unter Prüfungsbedingungen genügt eine der Lösungen.

4.1 Variante I: von F_H ausgehend

2,5

$$\Sigma M_L = 0 = F_K \cdot l_5 - F_H \cdot (l_5 + l_6) \Rightarrow$$

$$F_K = F_H \cdot \frac{l_5 + l_6}{l_5} = 175 \text{ N} \cdot \frac{40 \text{ mm} + 600 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 2800 \text{ N}$$

$$A_K = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2}{4} = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$p_{(I)} = \frac{F_K}{A_K} = \frac{2800 \text{ N}}{78,5 \text{ mm}^2} = 35,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 35,7 \text{ MPa} = 357 \text{ bar}$$

Variante II: von F_C ausgehend

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (60 \text{ mm})^2}{4} = 2827 \text{ mm}^2$$

$$p_{(II)} = \frac{F_C}{A} = \frac{63 \text{ kN}}{2827 \text{ mm}^2} = 22,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 22,3 \text{ MPa} = 223 \text{ bar}$$

4.2 Variante I: von F_H ausgehend
siehe 4.1 (I): $F_K = 2800 \text{ N}$

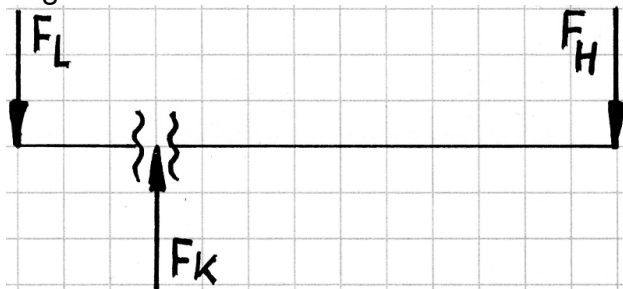
2,5

Variante II: von F_C ausgehend

$$p_{(II)} = \frac{F_{K(II)}}{A_K} \Rightarrow F_{K(II)} = p_{(II)} \cdot A_K = 22,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 78,5 \text{ mm}^2 = 1750 \text{ N}$$

HP 2008/09-5: Wagenheber

5 Lageskizze Hebel



5.1 $\Sigma M_K = 0 = F_L \cdot l_5 - F_H \cdot l_6 \Rightarrow$ 2,0

$$F_L = F_H \cdot \frac{l_6}{l_5} = 175 \text{ N} \cdot \frac{600 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 2625 \text{ N}$$

5.2 Das maximale Biegemoment liegt am einzigen inneren Kräfteinleitungspunkt bei F_K 2,0

$$M_{bK(\text{rechts})} = F_H \cdot l_6 = 175 \text{ N} \cdot 600 \text{ mm} = 105 \text{ Nm} = M_{b\text{max}}$$

$$M_{bK(\text{links})} = F_L \cdot l_5 = 2625 \text{ N} \cdot 40 \text{ mm} = 105 \text{ Nm}$$

Unter Prüfungsbedingungen genügt eine der beiden Rechnungen.

Biegemoment ermitteln

5.3 $\frac{\sigma_{bF}}{v} = \sigma_{bzul} > \sigma_b = \frac{M_{b\text{max}}}{W} \Rightarrow W_{\text{erf}} = \frac{M_{b\text{max}} \cdot v}{\sigma_{bF}} = \frac{105 \text{ Nm} \cdot 2,5}{510 \text{ N/mm}^2} = 0,515 \text{ cm}^3 = 515 \text{ mm}^3$ 3,0

$$W = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D} \Rightarrow d_{\text{erf}} = \sqrt[4]{D^4 - \frac{32 \cdot D \cdot W}{\pi}} = \sqrt[4]{(20 \text{ mm})^4 - \frac{32 \cdot 20 \text{ mm} \cdot 515 \text{ mm}^3}{\pi}} = 15,3 \text{ mm}$$

6 Berechnung gegen Flächenpressung: 3,0

$$p_{\text{zul}} = \frac{F_L}{A} \Rightarrow A = \frac{F_L}{p_{\text{zul}}} = \frac{3 \text{ kN}}{30 \text{ N/mm}^2} = 100 \text{ mm}^2$$

$$A = d \cdot s \Rightarrow s = \frac{A}{d} = \frac{100 \text{ mm}^2}{5 \text{ mm}} = 20 \text{ mm}$$

Berechnung gegen Zugbelastung:

$$\frac{R_e}{v} = \sigma_{\text{zul}} > \sigma_z = \frac{F_L}{S} \Rightarrow S_{\text{erf}} = \frac{F_L \cdot v}{R_e} = \frac{3 \text{ kN} \cdot 3}{365 \text{ N/mm}^2} = 20,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{erf}} = (b - d) \cdot s \Rightarrow s = \frac{S_{\text{erf}}}{b - d} = \frac{20,5 \text{ mm}^2}{10 \text{ mm} - 5 \text{ mm}} = 4,1 \text{ mm}$$

Bestimmung der Laschendicke:

$s = 20 \text{ mm}$ (der größere der beiden Werte)

$\Sigma = 30,0$