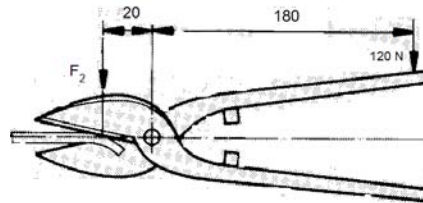


5.5 Einfache Maschinen

5.5.1 Hebel

Aufgaben mit Löser

- 1 Am 180 mm langen Hebelarm einer Blechschere greifen 120 N an.
 Welche Schneidkraft wird am 20 mm langen Schneidarm wirksam?



Lösungsvorschlag

$$\sum M_{\text{linksdrehend}} = \sum M_{\text{rechtsdrehend}}$$

$$F_2 \cdot l_2 = F_1 \cdot l_1$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2}$$

$$= \frac{120 \text{ N} \cdot 180 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}$$

$$= \underline{\underline{1080 \text{ N}}}$$

- 2 An einem 1,6 m langen zweiseitigem Hebel verhalten sich Gewichtskraft und Kraft wie 3 : 5.
 Berechnen Sie die Hebellängen in cm.

Lösungsvorschlag

$$M_{\text{linksdrehend}} = M_{\text{rechtsdrehend}}$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

$$\frac{F_g}{F_2} = \frac{3}{5} = \frac{l_2}{l_1}$$

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{3}{5}$$

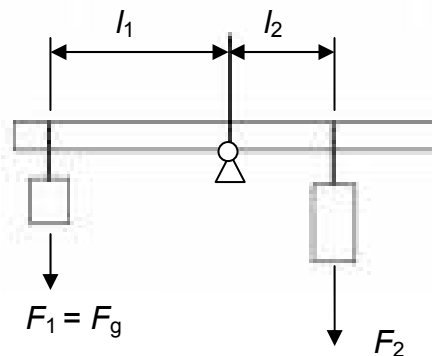
$$l_2 = \frac{3}{5} \cdot l_1$$

$$l - l_1 = \frac{3}{5} \cdot l_1$$

$$l = \frac{3}{5} \cdot l_1 + l_1 = \frac{8}{5} l_1$$

$$l_1 = \frac{5 \cdot l}{8} = \frac{5 \cdot 160 \text{ cm}}{8}$$

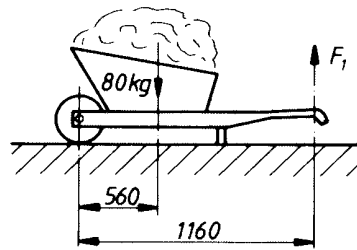
$$= \underline{\underline{100 \text{ cm}}}$$



$$l_2 = l - l_1 = 160 \text{ cm} - 100 \text{ cm}$$

$$= \underline{\underline{60 \text{ cm}}}$$

- 3 Welche Handkraft ist erforderlich, um eine 80 kg beladene Schubkarre fortzubewegen?



Lösungsvorschlag

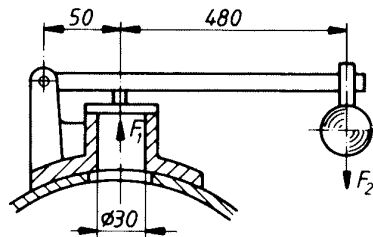
$$\begin{aligned} \sum M_{\text{linksdrehend}} &= \sum M_{\text{rechtsdrehend}} \\ F_1 \cdot l_1 &= F_g \cdot l_2 \\ F_1 &= \frac{F_g \cdot l_2}{l_1} = \frac{m \cdot g \cdot l_2}{l_1} \\ &= \frac{80 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 560 \text{ mm}}{1160 \text{ mm}} \\ &= 378,8689... \text{ N} \\ &\approx \underline{\underline{379 \text{ N}}} \end{aligned}$$

- 4 Ein Sicherheitsventil soll bei 8 bar Kesseldruck wirksam werden. Berechne die erforderliche Masse in kg.

Lösungshinweise:

$$1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

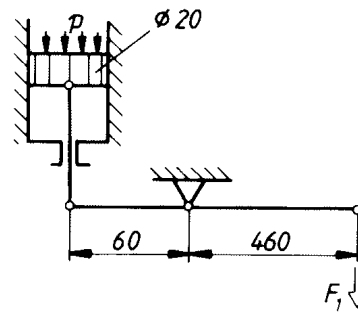
$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$



Lösungsvorschlag

$$\begin{aligned} \sum M_{\text{linksdrehend}} &= \sum M_{\text{rechtsdrehend}} \\ F_1 \cdot l_1 &= F_g \cdot l_2 \\ p \cdot A \cdot l_1 &= m \cdot g \cdot l_2 \\ m &= \frac{p \cdot A \cdot l_1}{g \cdot l_2} = \frac{p \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l_1}{g \cdot l_2} \\ &= \frac{p \cdot d^2 \cdot \pi \cdot l_1}{4 \cdot g \cdot l_2} \\ &= \frac{80 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot 9 \text{ cm}^2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ mm}}{4 \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 530 \text{ mm}} \\ &= 5,438... \text{ kg} \\ &\approx \underline{\underline{5,44 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

- 5 Welcher Öldruck in bar wird im Zylinder mit einem Durchmesser von 20 mm wirksam, wenn am 460 mm langen Handhebel 180 N Handkraft angreifen?



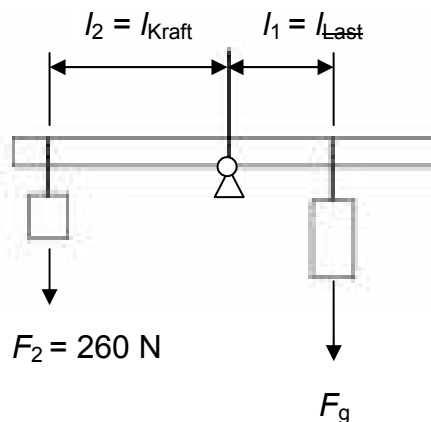
Lösungsvorschlag

$$\begin{aligned} \sum M_{\text{linksdrehend}} &= \sum M_{\text{rechtsdrehend}} \\ F_2 \cdot l_2 &= F_1 \cdot l_1 \\ p \cdot A \cdot l_2 &= F_1 \cdot l_1 \\ p &= \frac{F_1 \cdot l_1}{A \cdot l_2} = \frac{F_1 \cdot l_1}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l_2} \\ &= \frac{4 \cdot F_1 \cdot l_1}{d^2 \cdot \pi \cdot l_2} \\ &= \frac{4 \cdot 180 \text{ N} \cdot 460 \text{ mm}}{4 \text{ cm}^2 \cdot \pi \cdot 60 \text{ mm}} \\ &= 439,2676... \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \\ &\approx \underline{\underline{43,9 \text{ bar}}} \end{aligned}$$

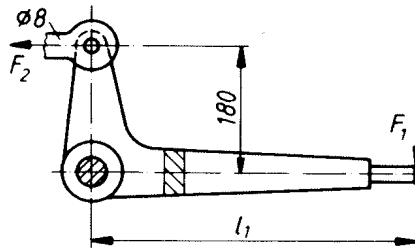
- 6 Ein zweiseitiger Hebel von 480 mm Gesamtlänge wird mit 260 N Handkraft belastet. Welche Masse kann gehoben werden, wenn sich Kraft- und Lastarm wie 5 : 3 verhalten?

Lösungsvorschlag

$$\begin{aligned} M_{\text{rechtsdrehend}} &= M_{\text{linksdrehend}} \\ F_g \cdot l_{\text{Last}} &= F_2 \cdot l_{\text{Kraft}} \\ \frac{F_g}{F_2} &= \frac{l_{\text{Kraft}}}{l_{\text{Last}}} = \frac{5}{3} \\ F_g &= m \cdot g = \frac{5}{3} \cdot F_2 \\ m &= \frac{5 \cdot F_2}{3 \cdot g} \\ &= \frac{5 \cdot 260 \text{ N}}{3 \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} \\ &\approx \underline{\underline{44,2 \text{ kg}}} \end{aligned}$$



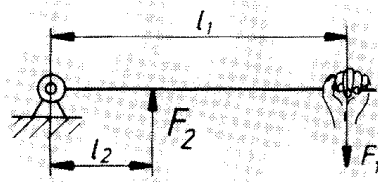
- 7 Welche Spannung (N/mm^2) tritt in der Zugstange auf, wenn am $l_1 = 630 \text{ mm}$ langen Winkelhebel die Kraft $F_1 = 360 \text{ N}$ angreifen?



Lösungsvorschlag

$$\begin{aligned}
 M_{\text{linksdrehend}} &= M_{\text{rechtsdrehend}} \\
 F_2 \cdot l_2 &= F_1 \cdot l_1 \\
 F_2 &= \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} \\
 F_2 &= \sigma_z \cdot A \\
 \sigma_z \cdot A &= \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} \\
 \sigma_z &= \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2 \cdot A} = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2 \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4}} \\
 &= \frac{4 \cdot F_1 \cdot l_1}{l_2 \cdot d^2 \cdot \pi} \\
 &= \frac{4 \cdot 360 \text{ N} \cdot 630 \text{ mm}}{180 \text{ mm} \cdot 64 \text{ mm}^2 \cdot \pi} \\
 &= 25,0669 \dots \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\
 &\approx \underline{\underline{25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}
 \end{aligned}$$

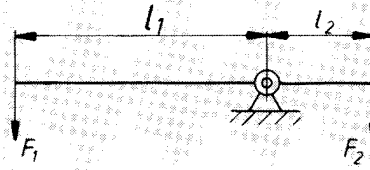
- B1 Bestimmen Sie die hervorgehobene Größe F_2 .



Lösungsvorschlag

$$\begin{aligned}
 \sum M_{\text{linksdrehend}} &= \sum M_{\text{rechtsdrehend}} \\
 F_2 \cdot l_2 &= F_1 \cdot l_1 \\
 F_2 &= \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2}
 \end{aligned}$$

B2 Bestimmen Sie die hervorgehobene Größe l_1 .



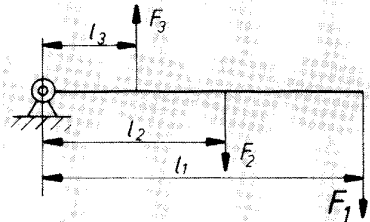
Lösungsvorschlag

$$\sum M_{\text{linksdrehend}} = \sum M_{\text{rechtsdrehend}}$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$$l_1 = \frac{F_2 \cdot l_2}{F_1}$$

B3 Bestimmen Sie die hervorgehobene Größe F_1 .



Lösungsvorschlag

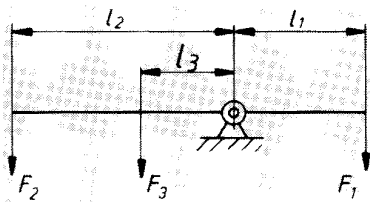
$$\sum M_{\text{linksdrehend}} = \sum M_{\text{rechtsdrehend}}$$

$$F_3 \cdot l_3 = F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_3 \cdot l_3 - F_2 \cdot l_2$$

$$F_1 = \frac{F_3 \cdot l_3 - F_2 \cdot l_2}{l_1}$$

B4 Bestimmen Sie die hervorgehobene Größe l_3 .



Lösungsvorschlag

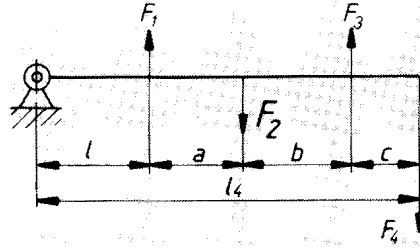
$$\sum M_{\text{linksdrehend}} = \sum M_{\text{rechtsdrehend}}$$

$$F_2 \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3 = F_1 \cdot l_1$$

$$F_3 \cdot l_3 = F_1 \cdot l_1 - F_2 \cdot l_2$$

$$l_3 = \frac{F_1 \cdot l_1 - F_2 \cdot l_2}{F_3}$$

B5 Bestimmen Sie die hervorgehobene Größe F_2 .



Lösungsvorschlag

$$\sum M_{\text{linksdrehend}} = \sum M_{\text{rechtsdrehend}}$$

$$F_1 \cdot l + F_3 \cdot (l + a + b) = F_2 \cdot (l + a) + F_4 \cdot l_4$$

$$F_2 \cdot (l + a) + F_4 \cdot l_4 = F_1 \cdot l + F_3 \cdot (l + a + b)$$

$$F_2 \cdot (l + a) = F_1 \cdot l + F_3 \cdot (l + a + b) - F_4 \cdot l_4$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l + F_3 \cdot (l + a + b) - F_4 \cdot l_4}{(l + a)}$$

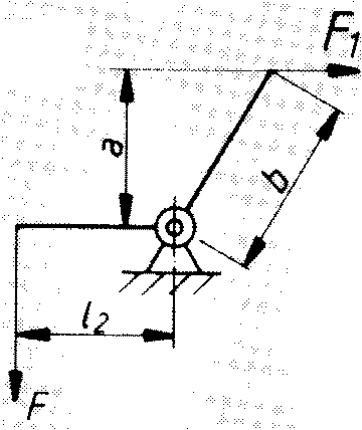
B6

Bestimmen Sie die

B6.1 hervorgehobene Größe F_1

B6.2 hervorgehobene Größe l_1

Lösungsvorschlag

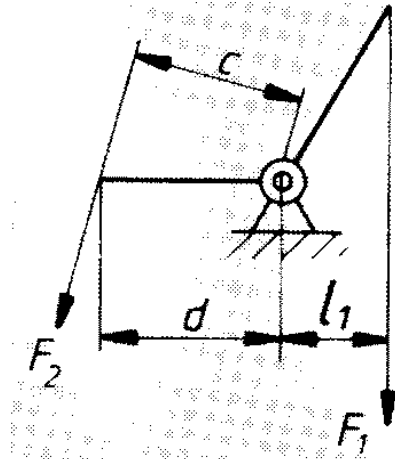


$$\sum M_{\text{linksdrehend}} = \sum M_{\text{rechtsdrehend}}$$

$$F \cdot l_2 = F_1 \cdot a$$

$$F_1 \cdot a = F \cdot l_2$$

$$F_1 = \frac{F \cdot l_2}{a}$$



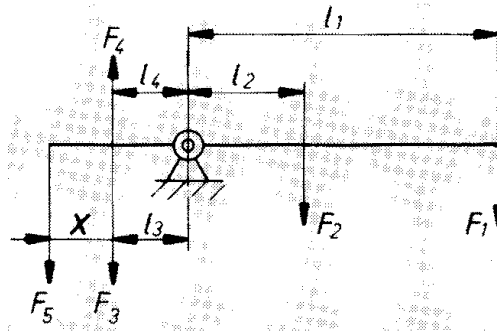
$$\sum M_{\text{linksdrehend}} = \sum M_{\text{rechtsdrehend}}$$

$$F_2 \cdot c = F_1 \cdot l_1$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot c$$

$$l_1 = \frac{F_2 \cdot c}{F_1}$$

B7 Bestimmen Sie die hervorgehobene Größe x .



Lösungsvorschlag

$$\sum M_{\text{linksdrehend}} = \sum M_{\text{rechtsdrehend}}$$

$$F_3 \cdot l_3 + F_5 \cdot (l_3 + x) = F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_4 \cdot l_4$$

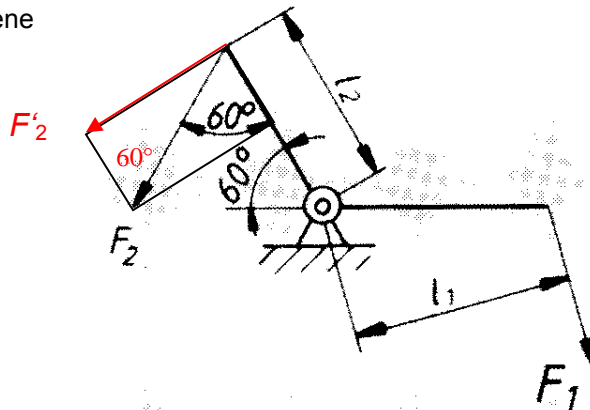
$$F_5 \cdot (l_3 + x) = F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_4 \cdot l_4 - F_3 \cdot l_3$$

$$l_3 + x = \frac{F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_4 \cdot l_4 - F_3 \cdot l_3}{F_5}$$

$$x = \frac{F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_4 \cdot l_4 - F_3 \cdot l_3}{F_5} - l_3$$

$$= \frac{F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + (F_4 - F_3 - F_5) \cdot l_3}{F_5}$$

B8 Bestimmen Sie die hervorgehobene Größe F_1 .



Lösungsvorschlag

Hinweis:

Für das linksdrehende Moment wirkt nur die Kraftkomponente F'_2 am Hebelarm l_2 .

$$\sum M_{\text{linksdrehend}} = \sum M_{\text{rechtsdrehend}}$$

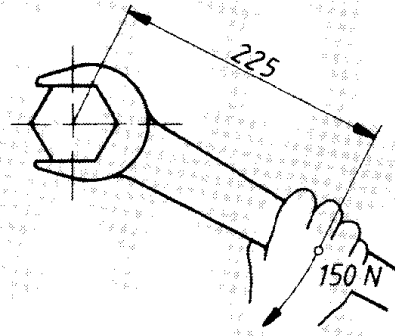
$$F'_2 \cdot l_2 = F_1 \cdot l_1 \quad \text{mit} \quad \sin 60^\circ = \frac{F'_2}{F_2} \Rightarrow F'_2 = F_2 \cdot \sin 60^\circ$$

$$F_2 \cdot l_2 \cdot \sin 60^\circ = F_1 \cdot l_1$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 \cdot \sin 60^\circ$$

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot l_2 \cdot \sin 60^\circ}{l_1}$$

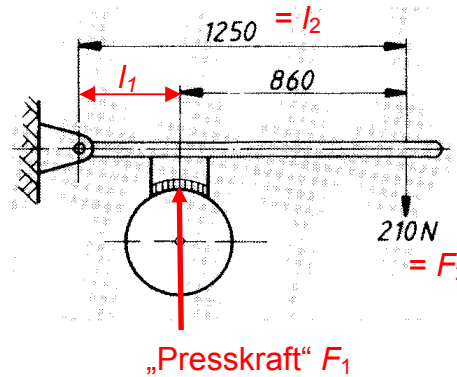
B9 Berechnen Sie das Kraftmoment in Nm.



Lösungsvorschlag

$$\begin{aligned} M &= F \cdot l \\ &= 150 \text{ N} \cdot 0,225 \text{ m} \\ &= \underline{\underline{33,825 \text{ Nm}}} \end{aligned}$$

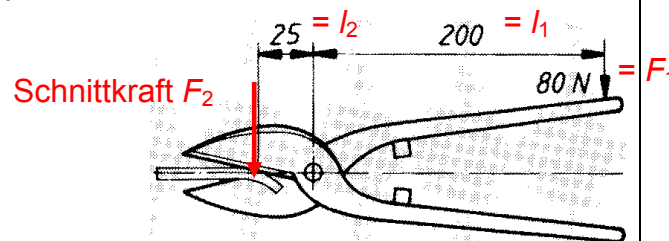
B10 Berechnen Sie die „Presskraft“?



Lösungsvorschlag

$$\begin{aligned} \sum M_{\text{linksdrehend}} &= \sum M_{\text{rechtsdrehend}} \\ F_1 \cdot l_1 &= F_2 \cdot l_2 \\ F_1 &= \frac{F_2 \cdot l_2}{l_1} \\ &= \frac{210 \text{ N} \cdot 1,25 \text{ m}}{(1,250 - 0,86) \text{ m}} = 722,0547... \text{ N} \\ &\approx \underline{\underline{722 \text{ N}}} \end{aligned}$$

B11 Berechnen Sie die Schnittkraft.

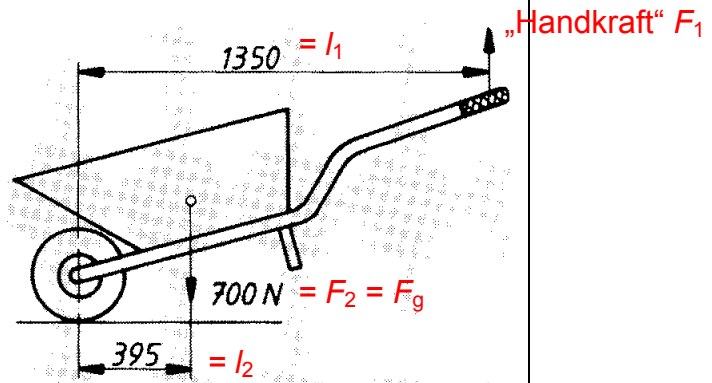


Lösungsvorschlag

Vgl. Aufgabe 1

$$\begin{aligned} \sum M_{\text{linksdrehend}} &= \sum M_{\text{rechtsdrehend}} \\ F_2 \cdot l_2 &= F_1 \cdot l_1 \\ F_2 &= \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} \\ &= \frac{80 \text{ N} \cdot 200 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} \\ &= \underline{\underline{640 \text{ N}}} \end{aligned}$$

B12 Berechnen Sie die „Handkraft“.



Lösungsvorschlag

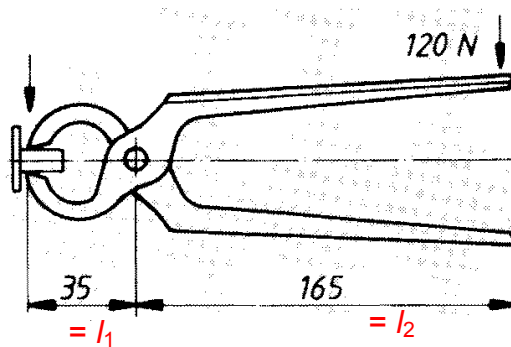
Vgl. Aufgabe 3

$$\begin{aligned} \sum M_{\text{linksdrehend}} &= \sum M_{\text{rechtsdrehend}} \\ F_1 \cdot l_1 &= F_2 \cdot l_2 \\ F_1 &= \frac{F_g \cdot l_2}{l_1} \\ &= \frac{700 \text{ N} \cdot 395 \text{ mm}}{1350 \text{ mm}} = 204,8148... \text{ N} \\ &= \underline{\underline{\approx 205 \text{ N}}} \end{aligned}$$

B13 Berechnen Sie die Schneidkraft.

Schneidkraft F_1

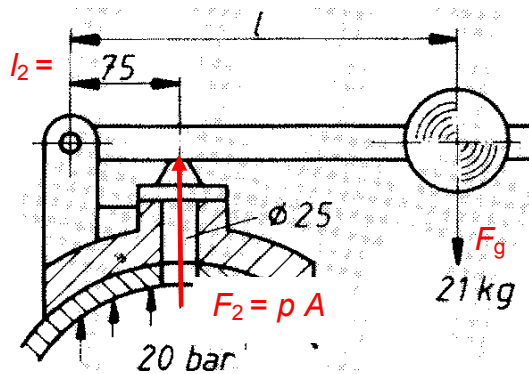
Handkraft F_2



Lösungsvorschlag

$$\begin{aligned} \sum M_{\text{linksdrehend}} &= \sum M_{\text{rechtsdrehend}} \\ F_1 \cdot l_1 &= F_2 \cdot l_2 \\ F_1 &= \frac{F_2 \cdot l_2}{l_1} \\ &= \frac{120 \text{ N} \cdot 165 \text{ mm}}{35 \text{ mm}} = 565,7142... \text{ N} \\ &\approx \underline{\underline{566 \text{ N}}} \end{aligned}$$

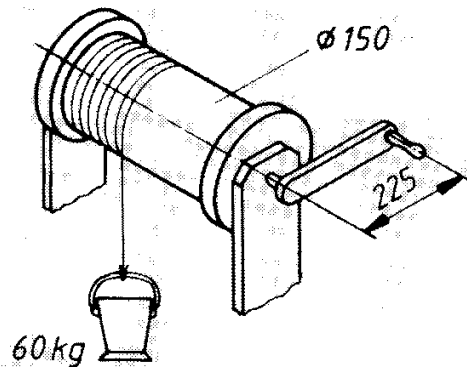
B14 Berechnen Sie die Hebellänge l .



Lösungsvorschlag

$$\begin{aligned} \sum M_{\text{linksdrehend}} &= \sum M_{\text{rechtsdrehend}} \\ F_2 \cdot l_2 &= F_g \cdot l \\ F_g \cdot l &= F_2 \cdot l_2 \\ l &= \frac{F_2 \cdot l_2}{F_g} = \frac{p \cdot A \cdot l_2}{m \cdot g} = \frac{p \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l_2}{m \cdot g} = \frac{p \cdot d^2 \cdot \pi \cdot l_2}{4 \cdot m \cdot g} \\ &= \frac{200 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot 6,25 \text{ cm}^2 \cdot \pi \cdot 75 \text{ mm}}{4 \cdot 21 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 357,4150... \text{ mm} \\ &\approx \underline{\underline{375,4 \text{ mm}}} \end{aligned}$$

B15 Berechnen Sie die Kurbelkraft.



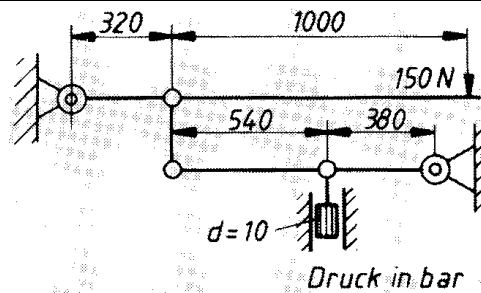
Lösungsvorschlag

Hinweis:

Die Wirkungslinie der am Griff der Kurbel angreifenden Kraft verläuft rechtwinklig zum Kurbelarm.

$$\begin{aligned}
 \sum M_{\text{linksdrehend}} &= \sum M_{\text{rechtsdrehend}} \\
 F_g \cdot r_{\text{Welle}} &= F_{\text{Kurbel}} \cdot R_{\text{Kurbel}} \\
 F_{\text{Kurbel}} \cdot R_{\text{Kurbel}} &= F_g \cdot r_{\text{Welle}} \\
 F_{\text{Kurbel}} &= \frac{F_g \cdot r_{\text{Welle}}}{R_{\text{Kurbel}}} \\
 &= \frac{m \cdot g \cdot r_{\text{Welle}}}{R_{\text{Kurbel}}} \\
 &= \frac{60 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 75 \text{ mm}}{225 \text{ mm}} \\
 &\approx \underline{\underline{196,2 \text{ N}}}
 \end{aligned}$$

B16 Berechnen Sie den Druck in bar.



Lösungsvorschlag

Lösungsansatz:

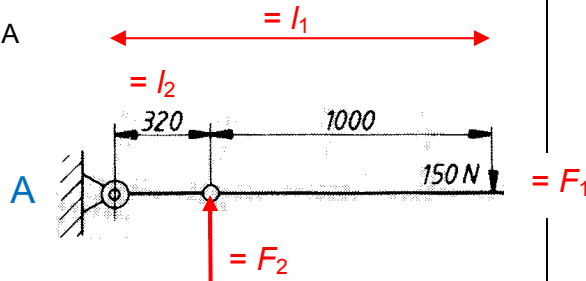
Das Hebelsystem wird in zwei Hebel (Hebel 1 mit dem Drehpunkt A und Hebel 2 mit dem Drehpunkt B) zerlegt.

Für den Hebel 1 mit dem Drehpunkt A gilt:

$$M_{\text{links}} = M_{\text{rechts}}$$

$$F_2 \cdot l_2 = F_1 \cdot l_1$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2}$$



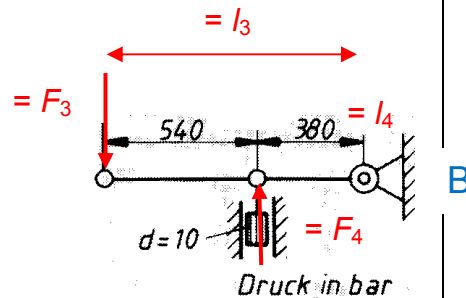
Für den Hebel 2 mit dem Drehpunkt B gilt:

$$M_{\text{links}} = M_{\text{rechts}}$$

$$F_3 \cdot l_3 = F_4 \cdot l_4$$

$$F_4 = \frac{F_3 \cdot l_3}{l_4}$$

$$p \cdot A = \frac{F_3 \cdot l_3}{l_4}$$



$$p = \frac{F_3 \cdot l_3}{A \cdot l_4} = \frac{F_3 \cdot l_3}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l_4} = \frac{4 \cdot F_3 \cdot l_3}{d^2 \cdot \pi \cdot l_4}$$

Mit $F_3 = -F_2$ folgt:

$$p = \frac{4 \cdot F_3 \cdot l_3}{d^2 \cdot \pi \cdot l_4} = \frac{4 \cdot (-F_2) \cdot l_3}{d^2 \cdot \pi \cdot l_4} \left(\frac{4 \cdot \left(-\frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} \right) \cdot l_3}{d^2 \cdot \pi \cdot l_4} \right) = -\frac{4 \cdot F_1 \cdot l_1 \cdot l_3}{d^2 \cdot \pi \cdot l_4 \cdot l_2}$$

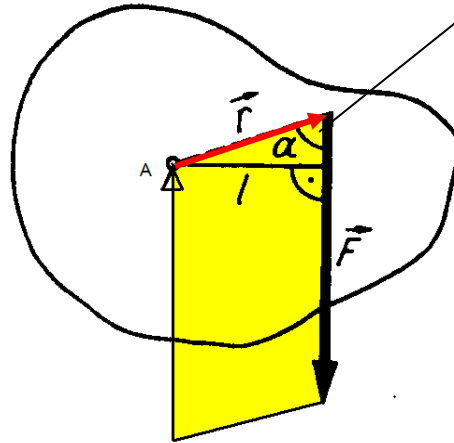
$$= -\frac{4 \cdot 150 \text{ N} \cdot 1320 \text{ mm} \cdot 920 \text{ mm}}{1 \text{ cm}^2 \cdot \pi \cdot 380 \text{ mm} \cdot 320 \text{ mm}}$$

$$= -1907,3463... \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \approx \underline{\underline{-190,7 \text{ bar}}}$$

► Wissen – Erkennen – Werten
a) Erläutern Sie den Begriff Kraftmoment (Drehmoment):

Wirkt eine Kraft auf einen drehbaren starren Körper, so erzeugt sie ein **Kraftmoment**, wenn die Wirkungslinie der Kraft nicht durch den Drehpunkt verläuft.

Grafisch stellt das Kraftmoment die Fläche des Parallelogramms dar, das mit der Kraft \vec{F} und dem Hebelarm \vec{r} gebildet wird.



$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{GK}{HY} \\ &= \frac{l}{r} \\ l &= r \cdot \sin \alpha \end{aligned}$$

Wenn

\vec{M} Kraftmoment,

\vec{F} wirkende Kraft,

\vec{r} Abstand Drehpunkt A - Angriffspunkt der Kraft \vec{F} ,

l Senkrechter Abstand Drehpunkt A – Wirkungslinie der Kraft \vec{F} ,

α Winkel zwischen den Wirkungslinien \vec{F} (Richtungspfeil) und \vec{r} (Richtungspfeil),

dann gilt

$$M = F \cdot l = F \cdot r \cdot \sin \alpha$$

oder in vektorieller Schreibweise

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Drehmoment: Bewirkt die Veränderung der Drehzahl eines drehbaren Körpers, wenn: $M = J \cdot \alpha$
(J : Massenträgheitsmoment; α : Winkelbeschleunigung)

b) Welchen Einfluss haben Kraft und Hebelarm auf das Drehmoment?

Aus der Formel $M = F \cdot l = F \cdot r \cdot \sin \alpha$ (vgl. Frage a) folgt:

- das Drehmoment ist bei gleichem Hebelarm \vec{r} und gleichem Winkel α zwischen den Wirkungslinien \vec{F} und \vec{r} proportional zur wirkenden Kraft \vec{F} ;
- das Drehmoment ist bei gleicher Kraft \vec{F} und gleichem Winkel α zwischen den Wirkungslinien \vec{F} und \vec{r} proportional zum Hebelarm \vec{r} ;
- bei gleichem Hebelarm \vec{r} und gleicher Kraft \vec{F} nimmt das Drehmoment mit steigendem Winkel α zwischen den Wirkungslinien \vec{F} und \vec{r} zu. Das größte Drehmoment ergibt sich für $\alpha = 90^\circ$ ($-1 \leq \sin \alpha \leq 1$).

c) Erläutern Sie die Bezeichnung „wirksame Hebellänge“?

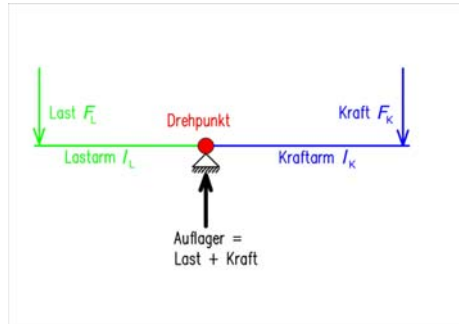
Die „wirksame Hebellänge“ ist der senkrechte Abstand der Wirkungslinie der Kraft vom Drehpunkt (vgl. Frage a).

d) Begründen Sie, wann sich ein Hebel im Gleichgewicht befindet.

Wirkt eine Kraft auf einen drehbaren starren Körper, so erzeugt sie ein Drehmoment, wenn die Wirkungslinie der Kraft nicht durch den Drehpunkt verläuft.

Je nach Richtung der Kraft mit dem zugehörigen Hebelarm wirkt diese Kraft auf den Hebelarm rechts- oder linksdrehend (im Uhrzeiger- oder entgegen dem Uhrzeigersinn).

Ein Hebel ist dann im Gleichgewicht, wenn die Summen der links- und rechtsdrehenden Kraftmomente gleich groß sind.



$$\sum M_{\text{linksdrehend}} = \sum M_{\text{rechtsdrehend}}$$

$$\sum M = 0$$

e) Nennen Sie Anwendungsbeispiele für ein- und zweiseitige Hebel.

Einseitiger Hebel

Zweiseitiger Hebel

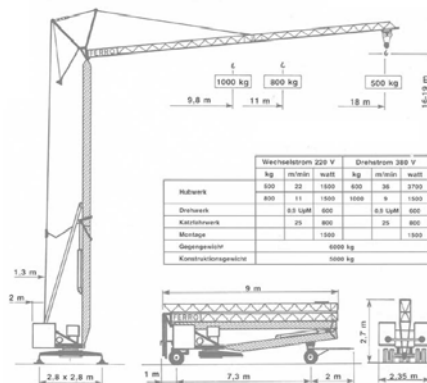
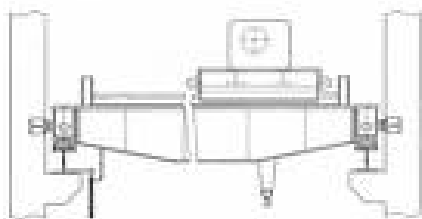
Tafelschere

Handblechscherer (vgl. Aufg. 1)



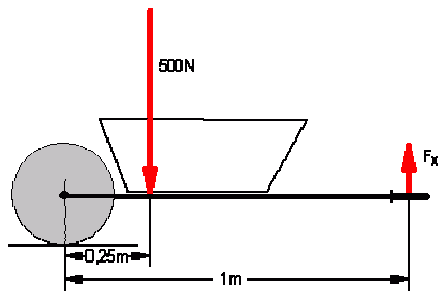
Berechnung Auflagerkräfte für einen Brückenkran

Baukran

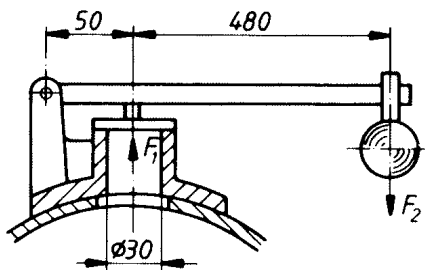


Einseitiger Hebel

Schubkarre (vgl. Aufg. 3)



Sicherheitsventil (vgl. Aufg. 4)



Der menschliche Arm als Hebel

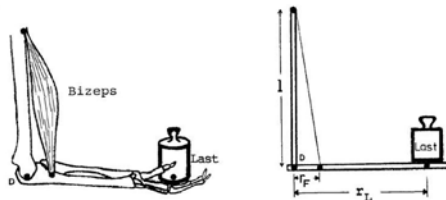
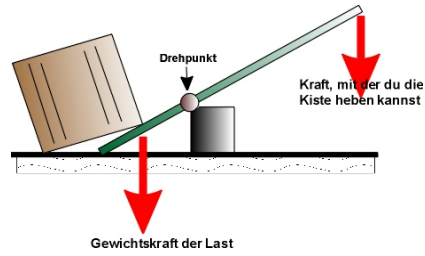


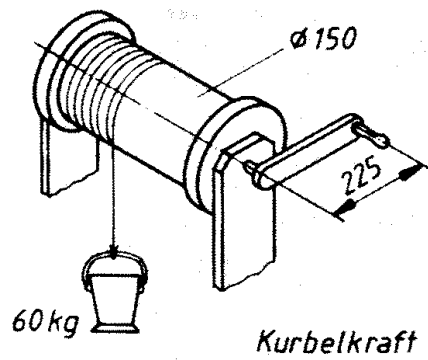
Abb.4a,b: Der menschliche Arm als Hebel

Zweiseitiger Hebel

Brechstange



Kurbelkraft (vgl. Aufg. B15)



Pumpenschwengel

