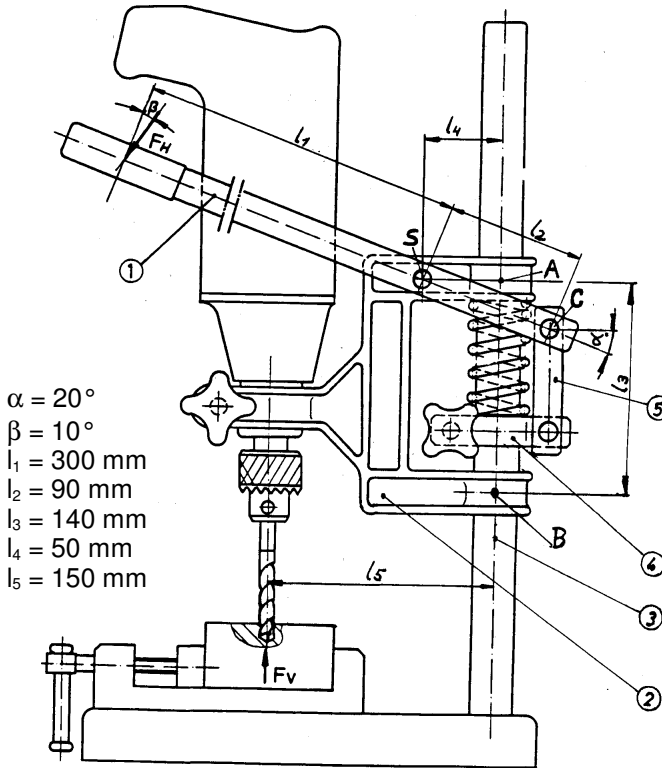




**1 HP 94/95-1 Bohrmaschinenständer<sup>1</sup>**

1.1 Geg:  $F_H = 100\text{N}$ ; Ges:  $F_S, F_C$

1.2 Geg:  $F_F = 80\text{N}$ ;  $F_S = 450\text{N}$  mit  $\gamma = 85^\circ$  zur Waagerechten nach links unten; Ges:  $F_A, F_B, F_V$

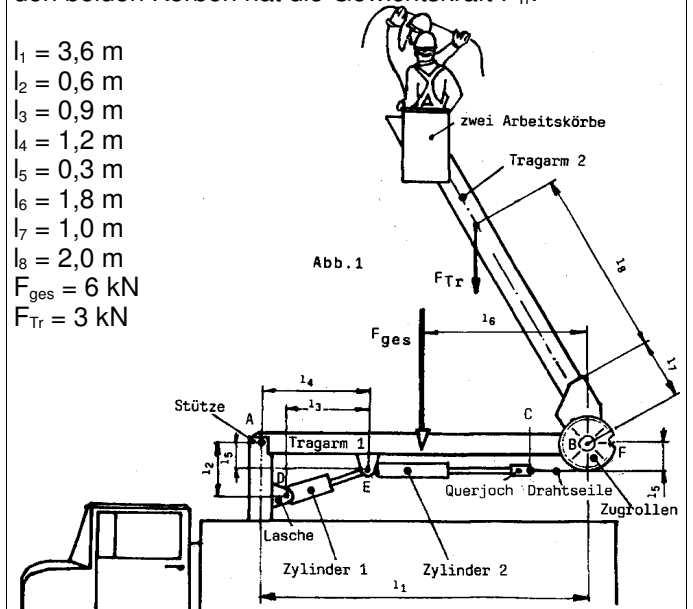


**2 HP 93/94-2 Zweigelenarm<sup>2</sup>**

2.1 Geg:  $F_{Ges}$ ; Ges:  $F_A, F_E$

Der Zweigelenarm (Tragarm 1, Tragarm 2, Arbeitskörbe) hat die Gesamtgewichtskraft  $F_{Ges}$ . Tragarm 2 mit den beiden Körben hat die Gewichtskraft  $F_{Tr}$ .

- $l_1 = 3,6\text{ m}$
- $l_2 = 0,6\text{ m}$
- $l_3 = 0,9\text{ m}$
- $l_4 = 1,2\text{ m}$
- $l_5 = 0,3\text{ m}$
- $l_6 = 1,8\text{ m}$
- $l_7 = 1,0\text{ m}$
- $l_8 = 2,0\text{ m}$
- $F_{Ges} = 6\text{ kN}$
- $F_{Tr} = 3\text{ kN}$



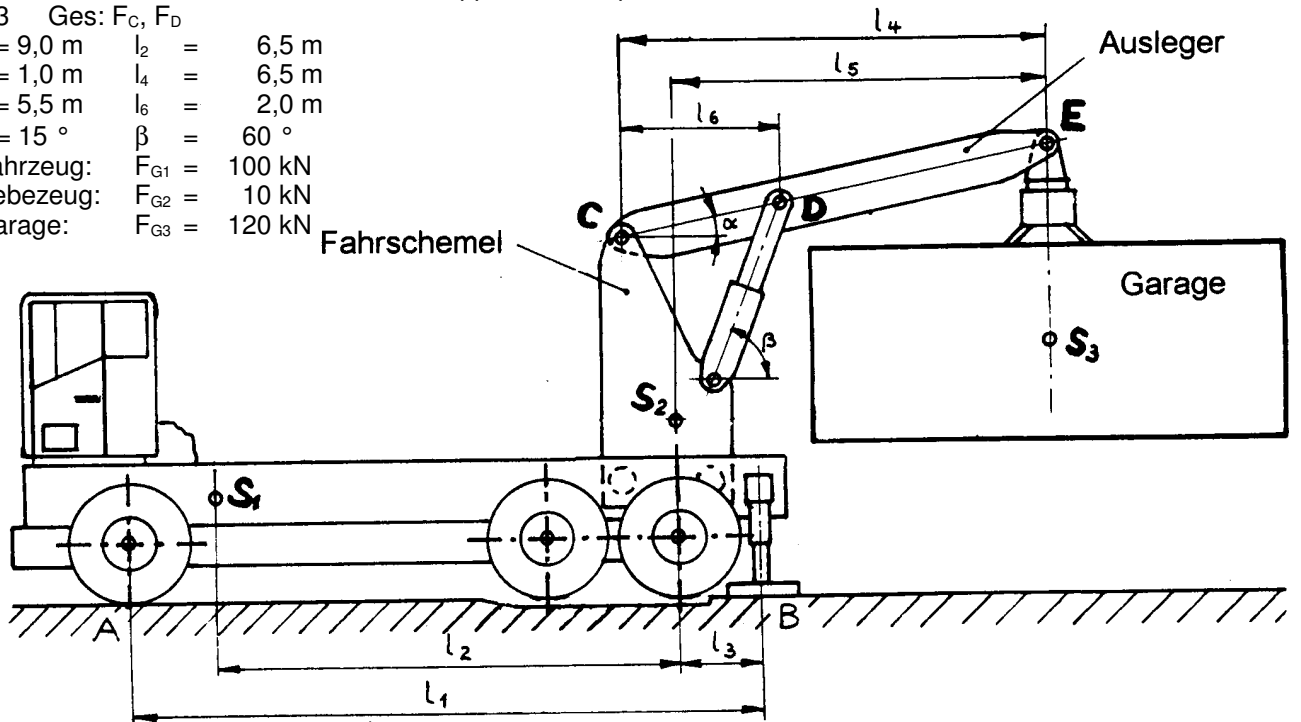
**3 HP 95/96-1 Garagentransporter<sup>3</sup>**

3.1 Ges:  $F_A, F_B$

3.2 Ges: Ab welchem Gewicht  $F_{G3max}$  kippt der Transporter

3.3 Ges:  $F_C, F_D$

- $l_1 = 9,0\text{ m}$
- $l_2 = 6,5\text{ m}$
- $l_3 = 1,0\text{ m}$
- $l_4 = 6,5\text{ m}$
- $l_5 = 5,5\text{ m}$
- $l_6 = 2,0\text{ m}$
- $\alpha = 15^\circ$
- $\beta = 60^\circ$
- Fahrzeug:  $F_{G1} = 100\text{ kN}$
- Hebezeug:  $F_{G2} = 10\text{ kN}$
- Garage:  $F_{G3} = 120\text{ kN}$



1 a)  $F_C = 349,3\text{ N}$ ;  $F_S = 438,8\text{ N}$  /  $83,5^\circ$     b)  $F_A = 195,3\text{ N}$ ;  $F_B = 234,5\text{ N}$ ;  $F_V = 368,3\text{ N}$

2  $F_A = 15,5\text{ kN}$  /  $3,2^\circ$ ;  $F_E = 16,26\text{ kN}$

3 a)  $F_A = 24,4\text{ kN}$ ;  $F_B = 205,6\text{ kN}$

b)  $F_{G3max} = 168,9\text{ kN}$

c)  $F_C = 433,0\text{ kN}$  /  $232^\circ$ ;  $F_D = 532,7\text{ kN}$



**4 HP 90/91-1 Hebetisch\***

4.1 Ges:  $F_A, F_B$

4.2 Geg:  $F_A = F_B = 10 \text{ kN}$  je Seite; Ges:  $F_D, F_E$

$l = 5 \text{ m}$

$l_1 = 0,5 \text{ m}$

$l_2 = 2 \text{ m}$

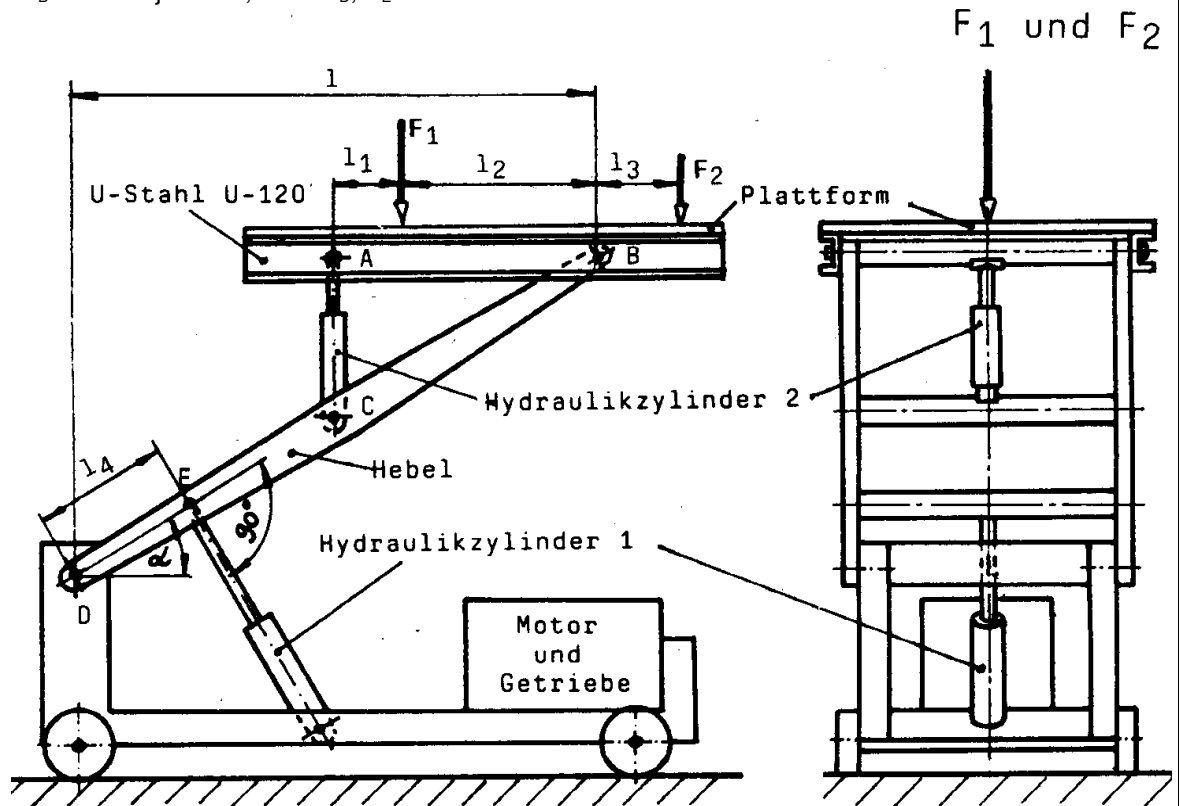
$l_3 = 1 \text{ m}$

$l_4 = 1,25 \text{ m}$

$F_1 = 30 \text{ kN}$

$F_2 = 10 \text{ kN}$

$\alpha = 30^\circ$



**5 HP 91/92-1 Parklift**

5.1 Ges:  $F_A, F_B$  (Hinterradbremse !)<sup>5</sup>

5.2 Ges:  $F_C, F_D$

$l_1 = 1600 \text{ mm}$

$l_2 = 850 \text{ mm}$

$l_3 = 400 \text{ mm}$

$l_4 = 1200 \text{ mm}$

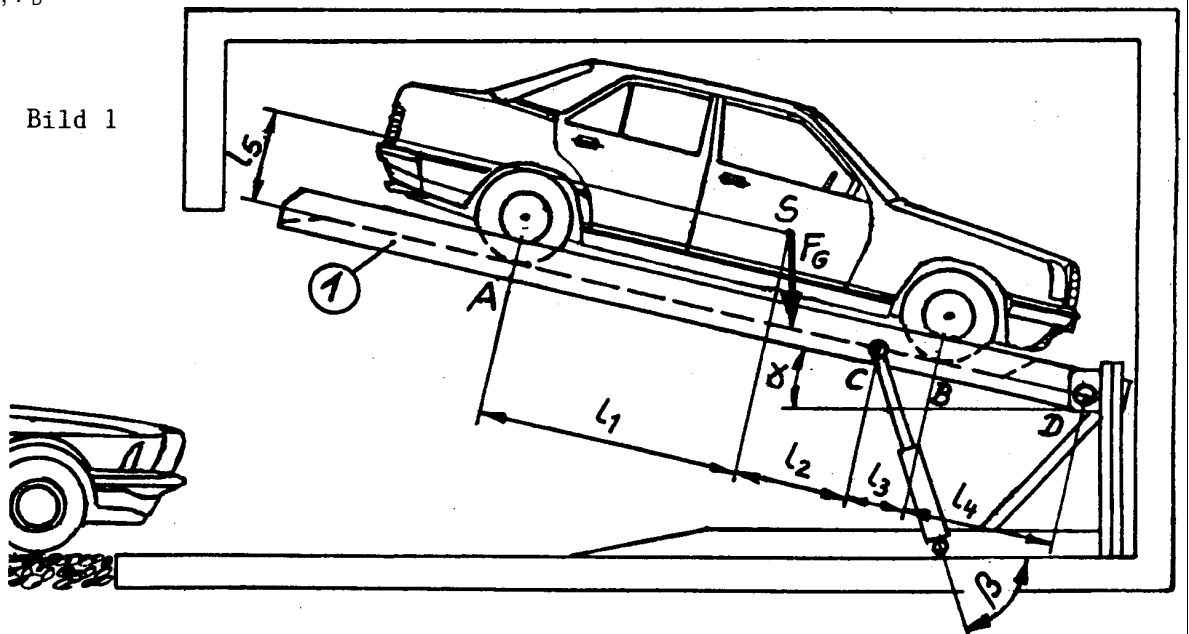
$l_5 = 600 \text{ mm}$

$\alpha = 17^\circ$

$\beta = 74^\circ$

$m_G = 1300 \text{ kg}$

Bild 1



4 4.1:  $F_A = F_B = 10 \text{ kN}$  je Seite (Auch die einzelnen Zylinder stützen sich beidseitig ab); 4.2:  $F_E = 60 \text{ kN}$ ;  $F_D = 43,8 \text{ kN}$ ;  $\alpha_D = -46,8^\circ$  nach rechts unten gegen die Waagerechte; je Seite  
5  $F_A = 3004 \text{ N}$ ;  $\alpha_A = 50,8^\circ$  zum Liftboden;  $F_B = 3890 \text{ N}$  (jeweils pro Rad)  $F_C = 10500 \text{ N}$ ;  $F_D = 4600 \text{ N}$  (jeweils pro Seite)



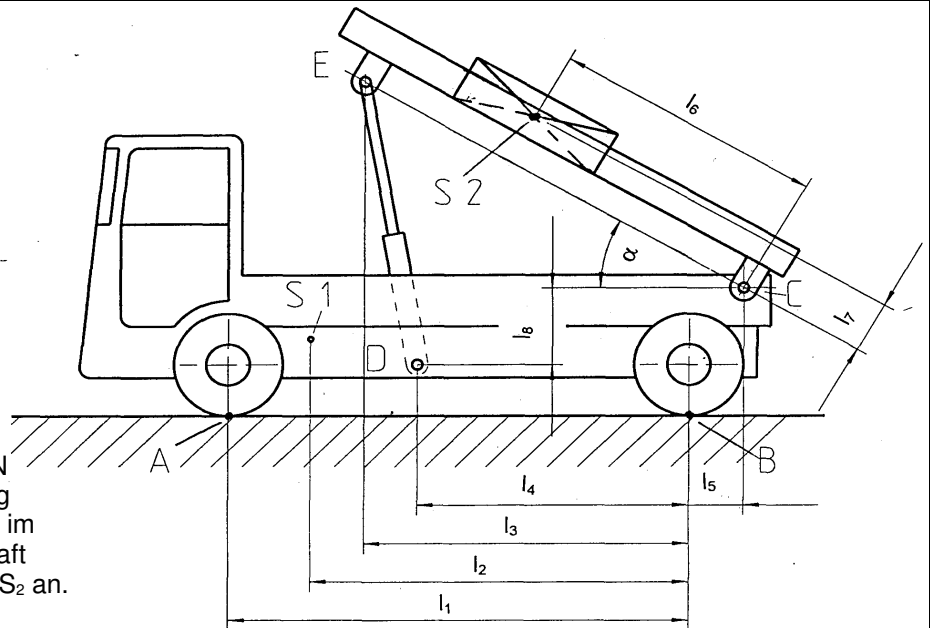
6 HP 98/99-1 Lastkraftwagen

Ein Hubzylinder mittig angeordnet;  
Lagerstellen C beidseitig.

Abmessungen:

- $l_1 = 8,5 \text{ m}$
- $l_2 = 7,0 \text{ m}$
- $l_3 = 6,0 \text{ m}$
- $l_4 = 5,0 \text{ m}$
- $l_5 = 1,0 \text{ m}$
- $l_6 = 5,0 \text{ m}$
- $l_7 = 1,0 \text{ m}$
- $l_8 = 1,5 \text{ m}$

Gewichtskraft des LKW:  $F_1 = 120 \text{ kN}$   
Masse des Stahlblocks:  $m = 7000 \text{ kg}$   
Die Gewichtskraft  $F_1$  des LKW greift im  
Schwerpunkt  $S_1$  und die Gewichtskraft  
des Stahlblocks  $F_2$  im Schwerpunkt  $S_2$  an.



- 6.1 Der Stahlblock soll durch Abrutschen abgeladen werden. Berechnen Sie den Kippwinkel  $\alpha$ , bei dem der Stahlblock gerade noch haften bleibt. Die Ladefläche besteht aus trockenen Holzdielen. ( $\mu_G = 0,4$ ,  $\mu_H = 0,6$ )
- 6.2 Bestimmen Sie zeichnerisch die Kolbenkraft  $F_K$  im Hubzylinder und die Lagerkräfte in C ( $\alpha = 30^\circ$ ).
- 6.3 Berechnen Sie die Achskräfte in A und B bei einem Kippwinkel von  $\alpha = 30^\circ$  auf der Ladefläche
- 6.4 Berechnen Sie den erforderlichen Kolbendurchmesser D bei einer wirksamen Kolbenkraft  $F_K = 70 \text{ kN}$ , einem Hydraulikdruck  $p_e = 100 \text{ bar}$  und einem Wirkungsgrad des Zylinders  $\eta = 0,9$ .<sup>6</sup>

7 HP 98/99-2 Zugmaschine mit Anhänger

Ein Landwirt transportiert in einem Anhänger Schotter zur Befestigung eines Hofweges. Die Zugmaschine mit Anhänger steht beim Abladen auf einer Gefällstrecke. Die Gewichtskraft  $F_G$  (Anhänger und Nutzlast) greift im Schwerpunkt S an, die Zugkraft  $F_Z$  im Punkt Z.<sup>7</sup>

- $F_G = 80 \text{ kN}$
- $l_G = 1300 \text{ mm}$
- $h_Z = 800 \text{ mm}$
- $\alpha = 12^\circ$
- $h_G = 1400 \text{ mm}$
- $l_B = 2800 \text{ mm}$
- $\alpha_Z = 6^\circ$
- $l_Z = 550 \text{ mm}$

- 7.1 Bestimmen Sie zeichnerisch die Achskräfte in A und B sowie die Zugkraft  $F_Z$ . (Der Anhänger ist ungebremst.)

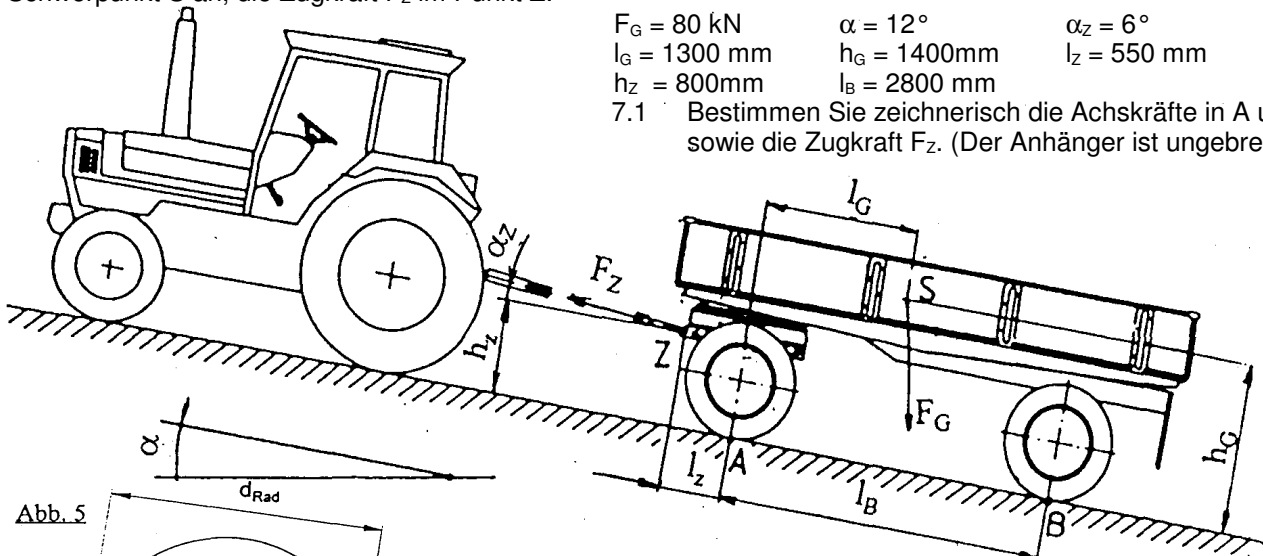
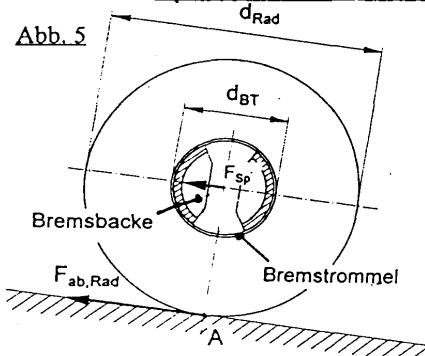


Abb. 5



Der Anhänger wird auf der Gefällstrecke abgestellt und die auf die Räder der Vorderachse wirkende Feststellbremse angezogen. Es wirkt eine Hangabtriebskraft von  $F_{ab} = 14 \text{ kN}$  auf beide Vorderräder. (Abb. 5)

- $d_{\text{Rad}} = 950 \text{ mm}$
- $d_{\text{BT}} = 408 \text{ mm}$

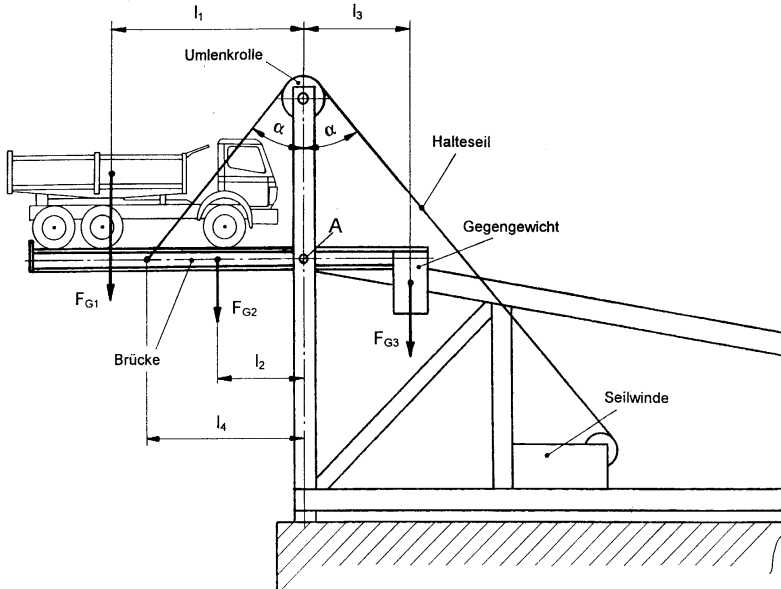
- 7.2 Berechnen Sie die notwendige Umfangskraft  $F_{BT}$  an der Bremstrommel eines Vorderrades.

6 1)  $\alpha = 30,96^\circ$  2)  $F_K = 43 \text{ kN}$ ;  $F_C = 28 \text{ kN}$ ;  $\alpha_C = 74^\circ$  3)  $F_A = 122,1 \text{ kN}$ ;  $F_B = 67,9 \text{ kN}$  4)  $d = 99,5 \text{ mm}$   
7 1)  $F_A = 36 \text{ kN}$ ;  $F_B = 40 \text{ kN}$ ;  $F_Z = 17 \text{ kN}$  2)  $F_{BT} = 16,3 \text{ kN}$



### 8 HP 97/98-1 Verladeanlage

Mit Hilfe der skizzierten Verladeanlage wird Schüttgut vom Lkw auf Schiffe verladen. Beim An- und Ablegen der Schiffe muss wegen der Aufbauten und Masten die Brücke der Verladeanlage durch eine Seilwinde aus der Waagrechten um den Punkt A geschwenkt werden. Die Brücke besteht aus zwei Trägern.<sup>8</sup>



Alle Kräfte sind auf eine Seite bezogen.

Gewichtskraft des Lkw:  $F_{G1} = 75 \text{ kN}$   
Gewichtskraft der Brücke:  $F_{G2} = 20 \text{ kN}$

Gegengewichtskraft:  $F_{G3} = 40 \text{ kN}$   
 $l_1 = 5,5 \text{ m}$   
 $l_2 = 2,5 \text{ m}$   
 $l_3 = 3,0 \text{ m}$   
 $l_4 = 4,5 \text{ m}$   
 $\alpha = 40^\circ$

8.1 Ermitteln Sie zeichnerisch die Kraft  $F_S$  im Halteseil und die Lagerkraft  $F_A$  im Punkt A.

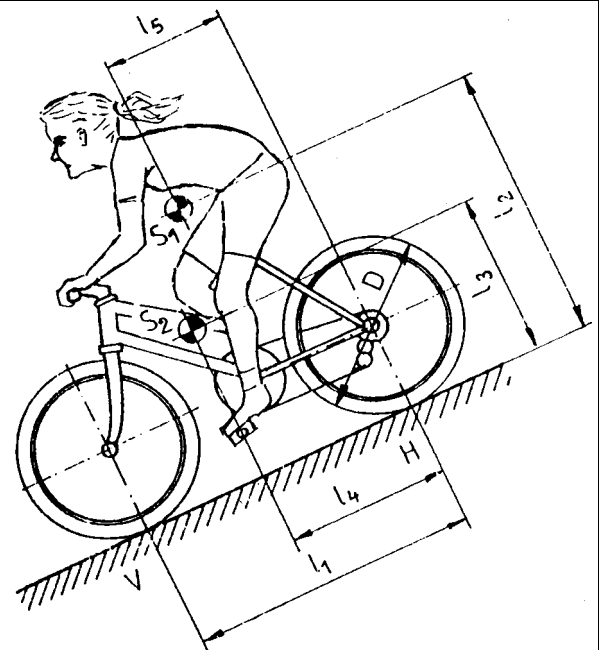
### 9 HP92/93-1 Mountainbike

Eine Radfahrerin fährt mit angezogener Vorderradbremse eine Gefällstrecke hinunter. Ihre Gewichtskraft  $F_{G1}$  greift im Schwerpunkt  $S_1$ , die Gewichtskraft des Fahrrades  $F_{G2}$  im Schwerpunkt  $S_2$  an.<sup>9</sup>

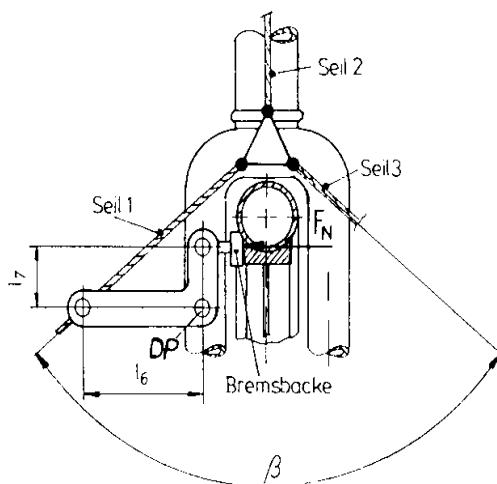
$l_1 = 1044 \text{ mm}$        $l_2 = 1000 \text{ mm}$   
 $l_3 = 640 \text{ mm}$        $l_4 = 575 \text{ mm}$   
 $l_5 = 426 \text{ mm}$        $D = 680 \text{ mm}$   
 $F_{G1} = 560 \text{ N}$        $F_{G2} = 140 \text{ N}$   
Gefälle = 28 %

Kettenblätter (vorne) mit 48 / 38 / 28 Zähnen  
Ritzel (hinten) mit 15 / 18 / 21 / 24 / 28 / 32 Zähnen

9.1 Berechnen Sie die Bremskraft  $F_{Br}$  zwischen Vorderreifen und Straße und die Aufstandskräfte  $F_V$  und  $F_H$ .



Die Zeichnung (links) zeigt einen Schnitt durch die Vorderradgabel. Zur Vereinfachung ist nur die linke Bremsbacke gezeichnet.



$\beta = 100^\circ$   
 $l_6 = 100$   
 $l_7 = 40 \text{ mm}$

9.2 Bestimmen Sie zeichnerisch die Kräfte in den Seilen 1 und 2, wenn auf einen Bremsbacken eine Normalkraft  $F_N = 300 \text{ N}$  wirkt.

<sup>8</sup>  $F_S = 100 \text{ kN}$ ,  $F_A = 87 \text{ kN}$  mit  $\alpha = 137^\circ$  zur x-Achse

<sup>9</sup> 1)  $F_{Br} = 189 \text{ N}$ ;  $F_V = 462 \text{ N}$ ;  $F_H = 212 \text{ N}$     2)  $F_{S1} = 195 \text{ N}$ ;  $F_{S2} = 250 \text{ N}$

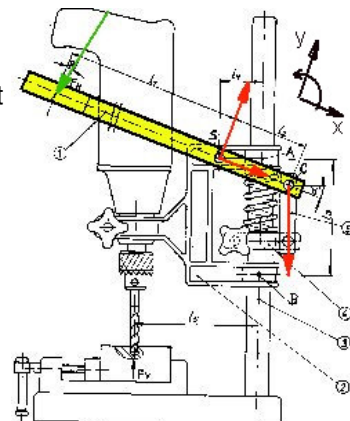


### Lösungsvorschläge

#### 1 HP 1994/95-1 Bohrmaschinenständer

##### 1.1 Freigemachte Baugruppe: Handhebel

- $F_H$ : ist gegeben
- $F_C$ : Die Wirklinie ist durch das angrenzende Bauteil gegeben. Bei der Lasche handelt es sich um einen Zweigelenkarm, der an 2 Punkten drehbar gelagert ist und sich in Krafrichtung ausrichtet.
- $F_S$ : Die Wirklinie ist nicht bekannt.
- Die Richtungen der unbekanntten Kräfte sind nur für die rechnerische Lösung frei gewählt.
- a Zeichnerische Lösung nach dem 3-Kräfteverfahren
- b Rechnerische Lösung (nicht gefordert):  
Koordinatensystem: x-Achse parallel zum Handhebel



$$\sum M_S = 0 = F_H \cdot \cos \beta \cdot l_1 - F_C \cdot l_2 \cdot \cos \alpha \Rightarrow F_C = F_H \cdot \frac{l_1 \cdot \cos \beta}{l_2 \cdot \cos \alpha} = 100 \text{ N} \cdot \frac{300 \text{ mm} \cdot \cos 10^\circ}{90 \text{ mm} \cdot \cos 20^\circ} = 349,3 \text{ N} = F_C$$

$$\sum F_y = 0 = -F_{Hy} + F_{Sy} - F_{Cy} \Rightarrow F_{Sy} = +F_H \cdot \cos \beta + F_C \cdot \cos \alpha = 100 \text{ N} \cdot \cos 10^\circ + 349,3 \text{ N} \cdot \cos 20^\circ = 426,7 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0 = -F_{Hx} + F_{Sx} + F_{Cx} \Rightarrow F_{Sx} = F_H \cdot \sin \beta - F_C \cdot \sin \alpha = 100 \text{ N} \cdot \sin 10^\circ - 349,3 \text{ N} \cdot \sin 20^\circ = -102,1 \text{ N}$$

$$F_S = \sqrt{F_{Sx}^2 + F_{Sy}^2} = \sqrt{(-102,1 \text{ N})^2 + (426,7 \text{ N})^2} = 438,7 \text{ N} = F_S$$

$$\gamma_S = \arctan \frac{F_{Sy}}{F_{Sx}} = \arctan \frac{426,7 \text{ N}}{-102,1 \text{ N}} = -76,5^\circ = \gamma_S \text{ nach links oben gegen die } -x\text{-Achse (Handhebel)}$$

Dies entspricht  $\gamma_S = 83,5^\circ = 180^\circ - 76,5^\circ - 20^\circ$  nach rechts oben gegen die Waagerechte

Berechnung im „normalen“ Koordinatensystem:

$$\sum M_S = 0 = F_H \cdot \cos \beta \cdot l_1 - F_C \cdot l_2 \cdot \cos \alpha \Rightarrow F_C = F_H \cdot \frac{l_1 \cdot \cos \beta}{l_2 \cdot \cos \alpha} = 100 \text{ N} \cdot \frac{300 \text{ mm} \cdot \cos 10^\circ}{90 \text{ mm} \cdot \cos 20^\circ} = 349,3 \text{ N} = F_C$$

$$\sum F_y = 0 = -F_{Hy} + F_{Sy} - F_C \Rightarrow F_{Sy} = F_C + F_H \cdot \cos(\alpha + \beta) = 349,3 \text{ N} + 100 \text{ N} \cdot \cos(10^\circ + 20^\circ) = 435,9 \text{ N}$$

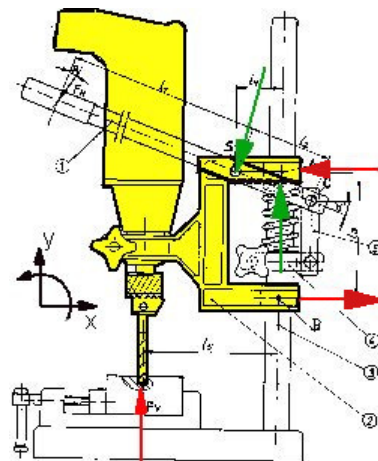
$$\sum F_x = 0 = -F_{Hx} + F_{Sx} \Rightarrow F_{Sx} = F_H \cdot \sin(\alpha + \beta) = 100 \text{ N} \cdot \sin(10^\circ + 20^\circ) = 50 \text{ N}$$

$$F_S = \sqrt{F_{Sx}^2 + F_{Sy}^2} = \sqrt{50^2 + 435,9^2} \text{ N} = 438,8 \text{ N} = F_S$$

$$\gamma_S = \arctan \frac{F_{Sy}}{F_{Sx}} = \arctan \frac{435,9 \text{ N}}{50 \text{ N}} = 83,5^\circ = \gamma_S \text{ nach rechts oben gegen die } x\text{-Achse (Waagerechte)}$$

##### 1.2 Freigemachte Baugruppe: Bohrmaschine mit Führung und Bohrer

- $F_S$  und Federkraft  $F_F$ : sind gegeben.
- $F_V$ : Die Wirklinie ist gegeben.
- $F_A$ : und  $F_B$ : Die Wirklinien sind durch die Führung gegeben. Die Führungsflächen stehen senkrecht, d.h. sie können Kräfte nur in waagerechter Richtung übertragen. In senkrechter Richtung werden keine Kräfte übertragen, sonst könnte sich die Bohrmaschine nicht bewegen.
- Die Richtungen der unbekanntten Kräfte sind frei gewählt, dies ist nur für die rechnerische Lösung notwendig.
- a Rechnerische Lösung:  
Koordinatensystem normal



##### b Zeichnerische Lösung (nicht gefordert)

$$\sum M_{AV} = 0 = -F_{Sy} \cdot (l_5 - l_4) + F_F \cdot l_5 + F_B \cdot l_3 \Rightarrow$$

$$F_B = \frac{F_S \cdot \sin \gamma_S \cdot (l_5 - l_4) - F_F \cdot l_5}{l_3} = \frac{450 \text{ N} \cdot \sin 85^\circ \cdot (150 - 50) \text{ mm} - 80 \text{ N} \cdot 150 \text{ mm}}{140 \text{ mm}} = 234,5 \text{ N} = F_B$$

$$\sum F_y = 0 = F_V - F_{Sy} + F_F \Rightarrow F_V = F_S \cdot \sin \gamma_S - F_F = 450 \text{ N} \cdot \sin 85^\circ - 80 \text{ N} = 368,3 \text{ N} = F_V$$

$$\sum F_x = 0 = -F_{Sx} - F_A + F_B \Rightarrow F_A = F_B - F_S \cdot \cos \gamma_S = 234,5 \text{ N} - 450 \text{ N} \cdot \cos 85^\circ = 195,3 \text{ N} = F_A$$



## 2 HP 93/94-2 Zweigelenkarm

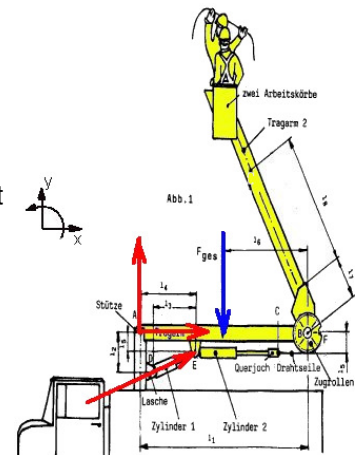
2.1 Freigemachte Baugruppe: beide Tragarme 1 und 2 mit Korb und Arbeitern.  
Wenn man nur den Tragarm 1 freimacht, handelt man sich unbekannte Kräfte und Momente im Gelenk zwischen Tragarm 1 und 2 ein, außerdem ist für Tragarm 1 keine Gewichtskraft gegeben.

- $F_{ges}$ : ist gegeben
- $F_E$ : Die Wirklinie ist durch das angrenzende Bauteil gegeben. Bei dem Kolben handelt es sich um einen Zweigelenkarm, der an 2 Punkten drehbar gelagert ist und sich in Krafrichtung ausrichtet.
- $F_A$ : Die Wirklinie ist nicht bekannt.
- Die Richtungen der unbekannt Kräfte sind frei gewählt, dies ist nur für die rechnerische Lösung notwendig.

a Zeichnerische Lösung nach dem 3-Kräfteverfahren

b Rechnerische Lösung (nicht gefordert):

Koordinatensystem: x-Achse parallel zum Tragarm 1.



$$\alpha_E = \arctan \frac{l_2 - l_5}{l_3} = \arctan \frac{0,6\text{ m} - 0,3\text{ m}}{0,9\text{ m}} = 18,4^\circ$$

$$\sum M_A = 0 = F_{Ex} \cdot l_2 + F_{Ey} \cdot (l_4 - l_3) - F_{ges} \cdot (l_1 - l_6)$$

$$\sum M_A = 0 = F_E \cdot \cos \alpha_E \cdot l_2 + F_E \cdot \sin \alpha_E \cdot (l_4 - l_3) - F_{ges} \cdot (l_1 - l_6) \Rightarrow$$

$$F_E = F_{ges} \cdot \frac{l_1 - l_6}{\cos \alpha_E \cdot l_2 + \sin \alpha_E \cdot (l_4 - l_3)} = 6\text{ kN} \cdot \frac{3,6\text{ m} - 1,8\text{ m}}{\cos 18,4^\circ \cdot 0,6\text{ m} + \sin 18,4^\circ \cdot (1,2\text{ m} - 0,9\text{ m})}$$

$$F_E = 16,26\text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0 = F_{Ay} + F_{Ey} - F_{ges} \Rightarrow F_{Ay} = F_{ges} - F_E \cdot \sin \alpha_E = 6\text{ kN} - 16,26\text{ kN} \cdot \sin 18,4^\circ = 0,8675\text{ kN} = F_{Ay}$$

$$\sum F_x = 0 = F_{Ax} + F_{Ex} \Rightarrow F_{Ax} = -F_E \cdot \cos \alpha_E = -16,26\text{ kN} \cdot \cos 18,4^\circ = -15,4\text{ kN} = F_{Ax}$$

( $F_{Ax}$  wirkt entgegen der angenommenen Richtung, d.h. nach links)

$$F_A = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2} = \sqrt{15,43^2 + 0,868^2}\text{ kN} = 15,5\text{ kN} = F_A$$

$$\alpha_S = \arctan \frac{F_{Ay}}{F_{Ax}} = \arctan \frac{0,8675\text{ kN}}{-15,43\text{ kN}} = -3,2^\circ = \alpha_E \text{ nach links oben gegen die negative } x\text{-Achse}$$

## 3 HP 95/96-1 Garagentransporter

3.1 Freigemachte Baugruppe: ganzes Fahrzeug mit Garage.

- $F_{g1}$ ,  $F_{g2}$  und  $F_{g3}$  sind gegeben
- $F_A$ : Die Wirklinie verläuft senkrecht zur Berührfläche, d.h. durch den Mittelpunkt des Rades.
- $F_B$ : Die Wirklinie ist aus der Konstruktion nicht abzulesen, sie ist zur Lösung auch nicht nötig. Da aber keine der anderen Kräfte waagerechte Komponenten hat, kann auch  $F_B$  keine waagerechte Komponente haben (weil keine andere Karft dagegen wirkt). Außerdem wäre ein Kranführer schlecht beraten, würde er die Stütze quer zu ihrer Längsachse belasten.
- Die Richtungen der unbekannt Kräfte sind frei gewählt, dies ist nur für die rechnerische Lösung notwendig.

a Zeichnerische Lösung nach dem Schlusslinienverfahren

b Rechnerische Lösung (nicht gefordert):

Koordinatensystem: x-Achse parallel zum Tragarm 1.

$$\sum M_B = 0 = -F_A \cdot l_1 + F_{G1} \cdot (l_2 + l_3) + F_{G2} \cdot l_3 - F_{G3} \cdot (l_5 - l_3)$$

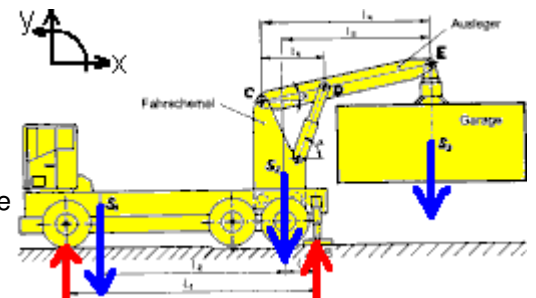
$$F_A = \frac{F_{G1} \cdot (l_2 + l_3) + F_{G2} \cdot l_3 - F_{G3} \cdot (l_5 - l_3)}{l_1}$$

$$F_A = \frac{100\text{ kN} \cdot (6,5\text{ m} + 1\text{ m}) + 10\text{ kN} \cdot 1\text{ m} - 120\text{ kN} \cdot (5,5\text{ m} - 1\text{ m})}{9\text{ m}} = 24,4\text{ kN} = F_A \text{ (Achse)}$$

$$\sum F_y = 0 = F_A - F_{G1} - F_{G2} + F_B - F_{G3}$$

$$F_B = +F_{G1} + F_{G2} + F_{G3} - F_A = 100\text{ kN} + 10\text{ kN} + 120\text{ kN} - 24,4\text{ kN} = 205,6\text{ kN} = F_B \text{ (Achse)}$$

3.2 Zur Berechnung können die Freimachsskizze aus der obigen Aufgabe verwendet werden. Die Kippbedingung kann man aus dem Verhalten des kippenden Transporters erschließen. Er dreht sich um die Stütze B und die





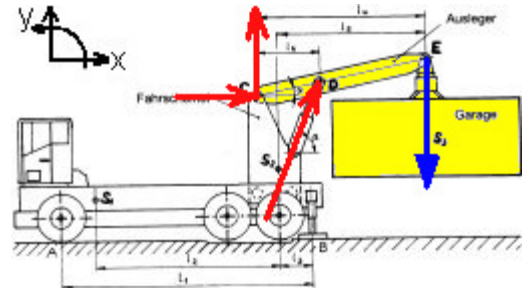
Vorderachse hebt ab, d.h.  $F_A$  wird 0.

$$\sum M_B = 0 = F_{G1} \cdot (l_2 + l_3) + F_{G2} \cdot l_3 - F_{G3max} \cdot (l_5 - l_3)$$

$$F_{G3max} = \frac{F_{G1} \cdot (l_2 + l_3) + F_{G2} \cdot l_3}{l_5 - l_3} = \frac{100 \text{ kN} \cdot (6,5 \text{ m} + 1 \text{ m}) + 10 \text{ kN} \cdot 1 \text{ m}}{5,5 \text{ m} - 1 \text{ m}} = 168,9 \text{ kN} = F_{G3max}$$

3.3 Freigemachte Baugruppe: Ausleger mit Garage.

- $F_{G3}$  ist gegeben
- $F_C$ : Die Wirklinie ist aus der Konstruktion nicht abzulesen.
- $F_D$ : Die Wirklinie ist durch das angrenzende Bauteil gegeben. Bei dem Kolben handelt es sich um einen Zweigelenkarm, der an 2 Punkten drehbar gelagert ist und sich in Krafrichtung ausrichtet.
- Die Richtungen der unbekanntnen Kräfte sind frei gewählt, dies ist nur für die rechnerische Lösung notwendig.



a Rechnerische Lösung:

$$\sum M_C = 0 = F_{Dy} \cdot l_6 - F_{Dx} \cdot l_6 \cdot \tan \alpha - F_{G3} \cdot l_4 = F_D \cdot \sin \beta \cdot l_6 - F_D \cdot \cos \beta \cdot l_6 \cdot \tan \alpha - F_{G3} \cdot l_4$$

$$F_D = \frac{F_{G3} \cdot l_4}{\sin \beta \cdot 2 \text{ m} - \cos \beta \cdot l_6 \cdot \tan \alpha} = \frac{120 \text{ kN} \cdot 6,5 \text{ m}}{\sin 60^\circ \cdot 2,0 \text{ m} - \cos 60^\circ \cdot 2 \text{ m} \cdot \tan 15^\circ} = 532,7 \text{ kN}$$

$$\sum F_x = 0 = F_{Cx} + F_{Dx} \rightarrow F_{Cx} = -F_{Dx} = -F_D \cdot \cos \beta = -532,7 \text{ kN} \cdot \cos 60^\circ = -266,4 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0 = F_{Cy} + F_{Dy} - F_{G3}$$

$$F_{Cy} = F_{G3} - F_{Dy} = F_{G3} - F_D \cdot \sin \beta = 120 \text{ kN} - 532,7 \text{ kN} \cdot \sin 60^\circ = -341,4 \text{ kN}$$

$$F_C = \sqrt{F_{Cx}^2 + F_{Cy}^2} = \sqrt{(266,4 \text{ kN})^2 + (341,4 \text{ kN})^2} = 433,0 \text{ kN}$$

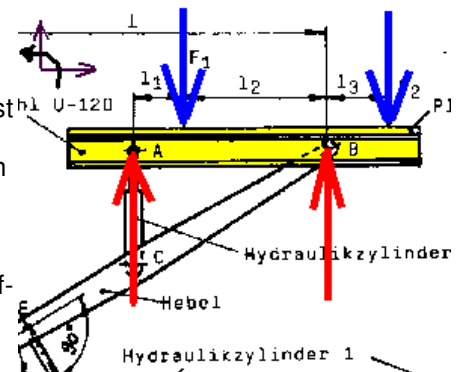
$$\alpha_C = \arctan\left(\frac{F_{Cy}}{F_{Cx}}\right) = \arctan\left(-341,4 \frac{\text{kN}}{-266,4 \text{ kN}}\right) = 52,0^\circ \quad (232^\circ \text{ zur positiven } x\text{-Achse})$$

b Zeichnerische Lösung nach dem 3-Kräfteverfahren (nicht gefordert)

4 HP 90/91-1 Hebetisch

4.1 Freigemachte Baugruppe: Plattform.

- $F_1$  und  $F_2$  sind gegeben
- $F_A$ : Die Wirklinie ist durch den angrenzenden Zylinder gegeben. Der Zylinder ist ein Zweigelenkarm, weil er an 2 Punkten drehbar gelagert ist und sich in Krafrichtung ausrichtet, in diesem Fall senkrecht.
- $F_B$ : Die Wirklinie ist aus der Konstruktion nicht abzulesen, sie würde sich aber auch bei der Lösung ergeben. Da keine der anderen Kräfte waagerechte Komponenten hat, kann auch  $F_B$  keine waagerechte Komponente haben (weil keine andere Kraft dagegen wirkt).
- Für die rechnerische Lösung sind die Richtungen der unbekanntnen Kräfte frei gewählt, für die zeichnerische Lösung ist keine Richtung nötig.



a Zeichnerische Lösung nach dem Schlusslinienverfahren. Das 4-Kräfte-Verfahren ist nicht geeignet, da 3 oder mehr Kräfte zueinander parallel sind.

b Rechnerische Lösung:

Koordinatensystem: x-Achse parallel zur Plattform.

$$\sum M_B = 0 = -F_A \cdot (l_1 + l_2) + F_1 \cdot l_2 - F_2 \cdot l_3$$

$$F_{Ages} = \frac{F_1 \cdot l_2 - F_2 \cdot l_3}{l_1 + l_2} = \frac{30 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} - 10 \text{ kN} \cdot 1 \text{ m}}{0,5 \text{ m} + 2 \text{ m}} = 20 \text{ kN} = F_{Ages} \rightarrow F_A = 10 \text{ kN (je U-Stahl)}$$

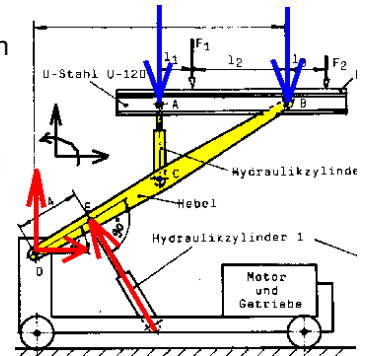
$$\sum F_x = 0 = F_A - F_1 + F_B - F_2$$

$$F_{Bges} = -F_A + F_1 + F_2 = -20 \text{ kN} + 30 \text{ kN} + 10 \text{ kN} = 20 \text{ kN} = F_{Bges} \rightarrow F_B = 10 \text{ kN (je U-Stahl)}$$



4.2 Freigemachte Baugruppe: Hebel.

- $F_A$  und  $F_B$  sind gegeben, wie Wirklinie von  $F_B$  muss aus dem oben geschilderten geschlossen werden.
  - $F_D$ : Die Wirklinie ist aus der Konstruktion nicht abzulesen, der Hebel ist kein Zweigelenkarm, sondern hat sogar 4 Gelenke bzw. Kraftangriffspunkte.
  - $F_A$ : Die Wirklinie ist durch den angrenzenden Zylinder gegeben. Der Zylinder ist ein Zweigelenkarm, weil er an 2 Punkten drehbar gelagert ist und sich in Krafrichtung ausrichtet, in diesem Fall senkrecht zum Hebel.
  - Für die rechnerische Lösung sind die Richtungen der unbekanntten Kräfte frei gewählt, für die zeichnerische Lösung ist keine Richtung nötig.
- a Zeichnerische Lösung nach dem Schlusslinienverfahren. Das 4-Kräfte-Verfahren ist nicht geeignet, da nicht alle Wirklinien bekannt sind.
- b Rechnerische Lösung:



Koordinatensystem: x-Achse parallel zur Plattform.

Berechnungen bezogen auf eine Seite:

$$\sum M_D = 0 = F_E \cdot l_4 - F_A \cdot (l - l_2 - l_1) - F_B \cdot l$$

$$F_E = \frac{F_A \cdot (l - l_2 - l_1) + F_B \cdot l}{l_4} = \frac{10 \text{ kN} \cdot (5 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0,5 \text{ m}) + 10 \text{ kN} \cdot 5 \text{ m}}{1,25 \text{ m}} = 60 \text{ kN} = F_E$$

$$\sum F_x = 0 = F_{Dx} - F_{Ex}$$

$$F_{Dx} = F_{Ex} = F_E \cdot \sin \alpha = 60 \text{ kN} \cdot \sin 30^\circ = 30 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0 = F_{Dy} + F_{Ey} - F_A - F_B$$

$$F_{Dy} = -F_E \cdot \cos \alpha + F_A + F_B = -60 \text{ kN} \cdot \cos 30^\circ + 10 \text{ kN} + 10 \text{ kN} = -32,0 \text{ kN}$$

$$F_D = \sqrt{F_{Dx}^2 + F_{Dy}^2} = \sqrt{(30 \text{ kN})^2 + (-32 \text{ kN})^2} = 43,8 \text{ kN} = F_D$$

$$\alpha_D = \arctan \frac{F_{Dy}}{F_{Dx}} = \arctan \frac{-32,0 \text{ kN}}{30,0 \text{ kN}} = -46,8^\circ = \alpha_D \quad (\text{nach rechts unten gegen die } x\text{-Achse})$$

5 HP 91/92-1 Parklift

6 HP 98/99-1 Lastkraftwagen

7 HP 98/99-2 Zugmaschine mit Anhänger

8 HP 97/98-1 Verladeanlage

9 HP 92/93-1 Mountainbike

9.1  $F_{G1x} = F_{G1} \cdot \sin \alpha = 560 \text{ N} \cdot \sin 15,6^\circ = 151,0 \text{ N}$  Lageskizze Rad+Fahrerin

$$F_{G1y} = F_{G1} \cdot \cos \alpha = 560 \text{ N} \cdot \cos 15,6^\circ = 539,3 \text{ N}$$

$$F_{G2x} = F_{G2} \cdot \sin \alpha = 140 \text{ N} \cdot \sin 15,6^\circ = 37,7 \text{ N}$$

$$F_{G2y} = F_{G2} \cdot \cos \alpha = 140 \text{ N} \cdot \cos 15,6^\circ = 134,8 \text{ N}$$

$$\text{mit } \alpha = \arctan 28\% = 15,6^\circ$$

$$\sum M_H = 0$$

$$= +F_0 \cdot 0 - F_V \cdot l_1 + F_H \cdot 0 + F_{G1x} \cdot l_2 + F_{G1y} \cdot l_5 + F_{G2x} \cdot l_3 + F_{G2y} \cdot l_4 \rightarrow$$

$$F_V = \frac{F_{G1x} \cdot l_2 + F_{G1y} \cdot l_5 + F_{G2x} \cdot l_3 + F_{G2y} \cdot l_4}{l_1}$$

$$F_V = \frac{+151,0 \cdot 1000 + 539,3 \cdot 426 + 37,7 \cdot 640 + 134,8 \cdot 575}{1044} \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{mm}}$$

$$F_V = 462 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0 = +F_{Br} - F_{G1x} - F_{G2x} \rightarrow$$

$$F_{Br} = F_{G1x} + F_{G2x} = 151,0 \text{ N} + 37,7 \text{ N} = 189 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 = F_V - F_{G1y} - F_{G2y} + F_H \rightarrow$$

$$F_H = -F_V + F_{G1y} + F_{G2y} = -462,0 \text{ N} + 539,3 \text{ N} + 134,8 \text{ N} = 212 \text{ N}$$

