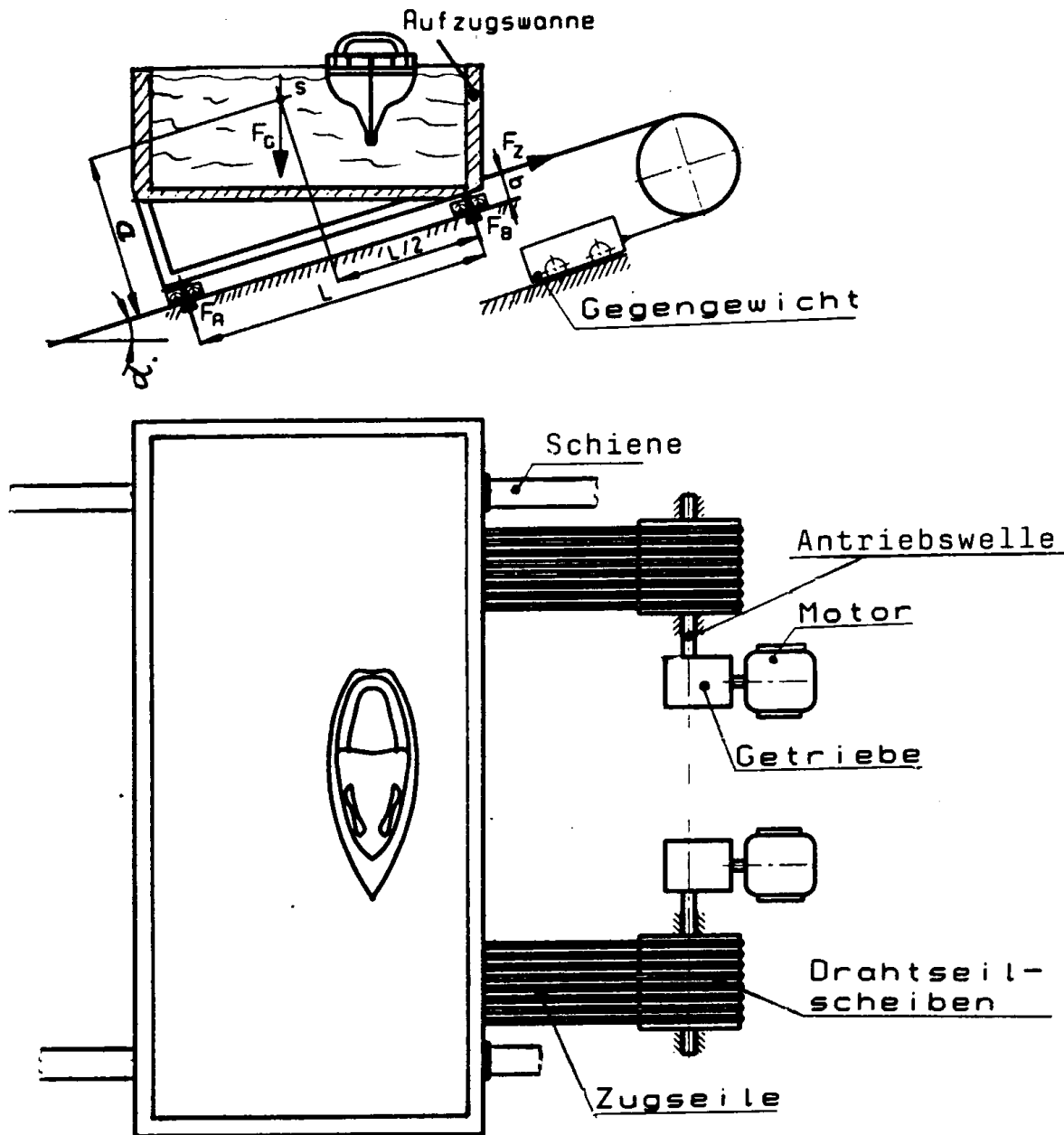




tgt HP 1996/97-1: Schiffsaufzug

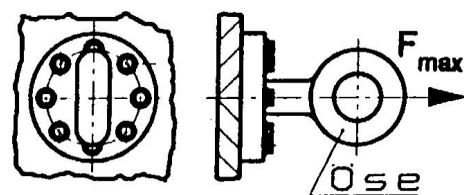
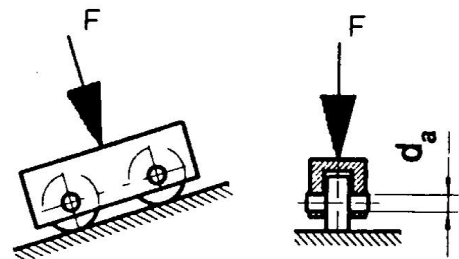
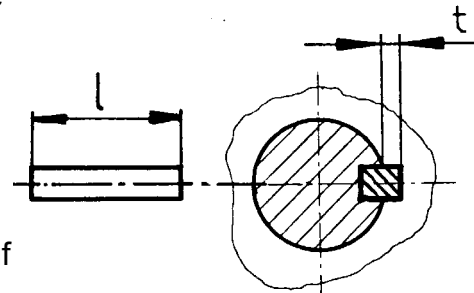
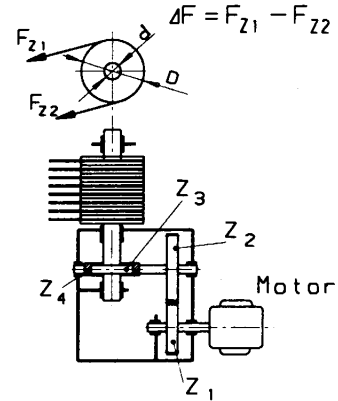
Der Schiffsaufzug von Arzviller (Elsass) befördert Schiffe. Bei der Bergfahrt wird so viel Wasser in die Wanne eingelassen, dass die Gesamtgewichtskraft $F_{GB} = 8800 \text{ kN}$ beträgt. Bei der Talfahrt beträgt die Gesamtgewichtskraft $F_{GT} = 9000 \text{ kN}$. Das Gegengewicht bilden zwei Laufwagen, die über je 8 Drahtseile mit der Schiffswanne verbunden sind und jeweils über eine Motor-Getriebeeinheit angetrieben werden.



Abmessungen:	$L = 5 \text{ m}$	$a = 2,5 \text{ m}$	$b = 1 \text{ m}$	$\alpha = 17^\circ$
Kräfte:	$F_{GB} = 8800 \text{ kN}$			
	$F_{GT} = 9000 \text{ kN}$			



Teilaufgaben		Punkte
1	Ermitteln Sie zeichnerisch die Kräfte F_A und F_B , sowie die Gesamtseilkraft F_{ZB} für <u>eine</u> Antriebswelle bei der Bergfahrt ohne Berücksichtigung der Reibung.	3,5
2	Berechnen Sie die Gesamtseilkraft F_{ZT} bei der Talfahrt für eine Antriebsseite, die dabei auftretende Reibzahl beträgt $\mu = 0,01$.	3,0
3	Bei der Bergfahrt muss von jeder Motor-Getriebeeinheit eine Kraftdifferenz von $\Delta F = 60 \text{ kN}$ aufgebracht werden. Der Durchmesser der Seilscheiben beträgt $D = 400 \text{ mm}$.	
3.1	Bestimmen Sie den notwendigen Durchmesser d der Antriebswelle bei $\tau_{zul} = 80 \text{ N/mm}^2$.	3,0
3.2	Mit welcher Geschwindigkeit v in m/min bewegt sich die Aufzugswanne auf den Schienen? Welche Leistung muss <u>ein</u> Antriebsmotor aufnehmen?	4,0
	Folgende Wirkungsgrade sind zu berücksichtigen: Wirkungsgrad der Lagerungen der Wellen und der Drahtseilscheiben: $\eta_1 = 0,8$ Wirkungsgrad des Getriebes: $\eta_2 = 0,75$ Wirkungsgrad des Motors $\eta_3 = 0,95$ $\eta_{\text{Motor}} = 14001/\text{min}$; $z_1 = 18$; $z_2 = 56$; $z_3 = 2$ (Schnecke); $z_4 = 42$	
4	Das Drehmoment wird von der Antriebswelle auf die Seilscheibe durch eine Passfeder übertragen. Die zulässige Flächenpressung an der Seitenfläche der Nut beträgt $p_{zul} = 125 \text{ N/mm}^2$ und die Tiefe der Nabennut $t = 6,4 \text{ mm}$. Berechnen Sie die erforderliche Länge der Passfeder, wenn das Drehmoment von 1500 Nm auf dem Durchmesser $d = 100 \text{ mm}$ übertragen wird.	6,0
5	Die Lagerung der Schiffswanne erfolgt auf vier Laufwagen mit je zwei Rädern. Jeder Wagen wird mit $F = 2500 \text{ kN}$ belastet. Bestimmen Sie den notwendigen Achsdurchmesser d_a , wenn als Werkstoff S235 bei 4facher Sicherheit gegen Bruch verwendet wird.	3,0
6	Die einzelnen Drahtseile sind an Ösen befestigt. Jede Öse wird von 8 Sechskantschrauben M10 x 45 - 10.9 gehalten. Bestimmen Sie die vorhandene Sicherheit für eine Schraube ohne Berücksichtigung der Vorspannung bei einer Zugkraft an der Öse von $F_{\text{max}} = 180 \text{ kN}$.	3,0



Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar.

$\Sigma = 22,5$



Lösungsvorschläge

Teilaufgaben

1 Rechnerische Lösung (nicht gefordert)

Drehpunkt = Schnittpunkt F_Z / F_B

$$\Sigma M_{Z/B} = 0 = -2 \cdot F_A \cdot L + F_{GBx} \cdot (a-b) + F_{GBy} \cdot L/2 \Rightarrow$$

$$F_A = F_{GB} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot (a-b) + \cos \alpha \cdot L/2}{2 \cdot L}$$

$$= 8800 \text{ kN} \cdot \frac{\sin 17^\circ \cdot (2,5-1) \text{ m} + \cos 17^\circ \cdot 5 \text{ m} / 2}{2 \cdot 5 \text{ m}} = 2490 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = 2 \cdot F_A + 2 \cdot F_B - F_{GBy} \Rightarrow$$

$$F_B = \frac{F_{GB} \cdot \cos \alpha - 2 \cdot F_A}{2} = \frac{8800 \text{ kN} \cdot \cos 17^\circ - 2 \cdot 2490 \text{ kN}}{2} = 1718 \text{ kN}$$

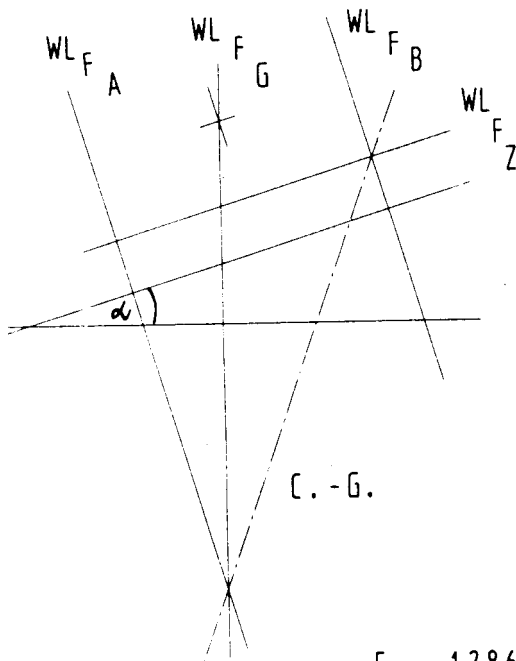
$$\Sigma F_x = 0 = -F_{GBx} + 2 \cdot F_{ZB} \Rightarrow$$

$$F_{ZB} = \frac{F_{GB} \cdot \sin \alpha}{2} = \frac{8800 \text{ kN} \cdot \sin 17^\circ}{2} = 1286 \text{ kN}$$

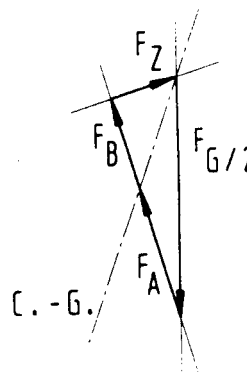
Zeichnerische Lösung

Lageplan Wanne

$$M_L : 1 \text{ cm} \hat{=} 2 \text{ m}$$



$$M_K : 1 \text{ cm} \hat{=} 1 \text{ kN}$$

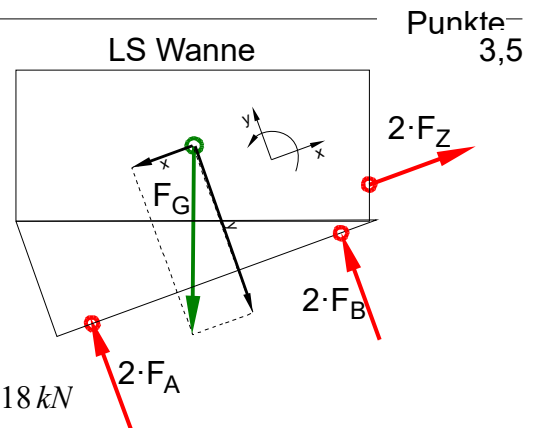


$$F_Z = 1286 \text{ kN}$$

$$F_A = 2490 \text{ kN}$$

$$F_B = 1718 \text{ kN}$$

4-Kräfte-Verfahren



Punkte-
3,5



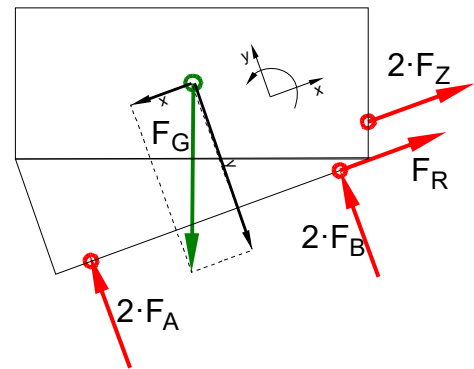
2 Rechnerische Lösung

$$\begin{aligned} \Sigma F_y = 0 &= -F_{Gy} + 2 \cdot F_A + 2 \cdot F_B \Rightarrow F_{Gy} = 2 \cdot (F_A + F_B) \\ F_R &= F_N \cdot \mu = 2 \cdot (F_A + F_B) \cdot \mu = F_{Gy} \cdot \mu \\ \Sigma F_x = 0 &= -F_{Gx} + 2 \cdot F_Z + F_R \Rightarrow \\ F_Z &= \frac{F_{Gx} - F_R}{2} = \frac{F_{Gx} - F_{Gy} \cdot \mu}{2} = \frac{F_G \cdot \sin \alpha - F_G \cdot \cos \alpha \cdot \mu}{2} \\ &= \frac{9000 \text{ kN} \cdot \sin 17^\circ - 9000 \text{ kN} \cdot \cos 17^\circ \cdot 0,01}{2} = 1273 \text{ kN} \end{aligned}$$

Statik mit Reibung

LS Wanne mit Reibung

3,0



3

$$3.1 \quad M_t = \Delta F \cdot \frac{D}{2} = \frac{60 \text{ kN} \cdot 400 \text{ mm}}{2} = 12000 \text{ Nm}$$

3,0

$$\frac{\tau_{tF}}{v} = \tau_{zul} > \tau_t = \frac{M_t}{W_p} \Rightarrow$$

$$W_{perf} = \frac{M_t}{\tau_{zul}} = \frac{12000 \text{ Nm}}{80 \text{ N/mm}^2} = 150 \text{ cm}^3$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \Rightarrow d_{erf} = \sqrt[3]{\frac{W_{perf} \cdot 16}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{150 \text{ cm}^3 \cdot 16}{\pi}} = 91,4 \text{ mm}$$

Durchmesser gegen Torsion

$$3.2 \quad i_{ges} = \frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_3} = \frac{56 \cdot 42}{18 \cdot 2} = 65,3$$

4,0

$$i_{ges} = \frac{n_M}{n_S} \Rightarrow n_S = \frac{n_M}{i_{ges}} = \frac{1400 \text{ /min}}{65,3} = 21,4 \text{ min}^{-1}$$

$$v = n_S \cdot \pi \cdot D = 21,4 \text{ min}^{-1} \cdot \pi \cdot 400 \text{ mm} = 26,9 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$\eta_{ges} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,8 \cdot 0,75 \cdot 0,95 = 0,57$$

$$P_S = \Delta F \cdot v = 60 \text{ kN} \cdot 26,9 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 26,9 \text{ kW}$$

$$\eta_{ges} = \frac{P_S}{P_E} \Rightarrow P_E = \frac{P_S}{\eta_{ges}} = \frac{26,9 \text{ kW}}{0,57} = 47,2 \text{ kW je Antriebseinheit}$$

Aufnahmeleistung

4 Passfeder

6,0

Gegen Abscherung

$$M_t = F \cdot \frac{D}{2} \Rightarrow F = \frac{2 \cdot M}{D} = \frac{2 \cdot 1500 \text{ Nm}}{100 \text{ mm}} = 30 \text{ kN}$$

$$p_{zul} > p = \frac{F}{A} \Rightarrow A_{erf} = \frac{F}{p_{zul}} = \frac{30 \text{ kN}}{125 \text{ N/mm}^2} = 240 \text{ mm}^2$$

$$A = l \cdot t \Rightarrow l = \frac{A}{t} = \frac{240 \text{ mm}^2}{6,4 \text{ mm}} = 37,5 \text{ mm}$$

Gegen Scherung kann in dieser Aufgabe nicht gerechnet werden, weil die Dicke der Passfeder nicht angegeben ist. Von der Auslegung her ist das sinnvoll.¹ Für Schüler ist es ärgerlich, weil es auch Aufgaben gibt, die die Berechnung auf Scherung verlangen, und der Unterschied oft nicht klar formuliert ist.

Länge einer Passfeder

1 [Roloff/Matek 2011] S.378: „Die ebenfalls auftretende Scherspannung ist bei zum Wellendurchmesser gehörigen Passfederabmessungen unkritisch.“



- 5 Beachte: 2 Räder á 2 Scherflächen = 4 Scherflächen.

3,0

Erforderlicher Durchmesser gegen Abscheren:

$\tau_{aB} = 290 \text{ N/mm}^2$ (S235 → Tabellenbuch Metall, Europa Verlag, 44. Auflage, S.44)

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

$$\tau_{azul} = \frac{\tau_{aB}}{v} = \frac{290 \text{ N/mm}^2}{4} = 72,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F}{4 \cdot \tau_{azul}} = \frac{2500 \text{ kN}}{4 \cdot 72,5 \text{ N/mm}^2} = 8621 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \rightarrow d_{erf} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8621 \text{ mm}^2}{\pi}} = 104,8 \text{ mm}$$

Gewählt wird der nächstgrößere angebotene Bolzen $\varnothing 120 \text{ mm}$ (→ TabB „Bolzen“)

Scherfestigkeit (Achse)

- 6 Festigkeitsklasse 10.9 bedeutet (siehe auch [EuroTabM] „Festigkeitsklasse“):

3,0

$$R_m = 10 \cdot 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 10400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$R_e = 0,9 \cdot R_m = 0,9 \cdot 10400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 9360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannungsquerschnitt $S = 58 \text{ mm}^2$ (M10 → [EuroTabM] „Gewinde“)

$$\frac{\sigma_{zlim}}{v} = \sigma_{zzul} > \sigma_z = \frac{F}{n \cdot S} \Rightarrow$$

$$\sigma_z = \frac{F}{n \cdot S} = \frac{180 \text{ kN}}{8 \cdot 58 \text{ mm}^2} = 388 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$v = \frac{R_e}{\sigma_z} = \frac{9360 \text{ N/mm}^2}{388 \text{ N/mm}^2} = 2,3$$

Sicherheit bei Schraubenverbindungen

Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar.

$\Sigma = 22,5$