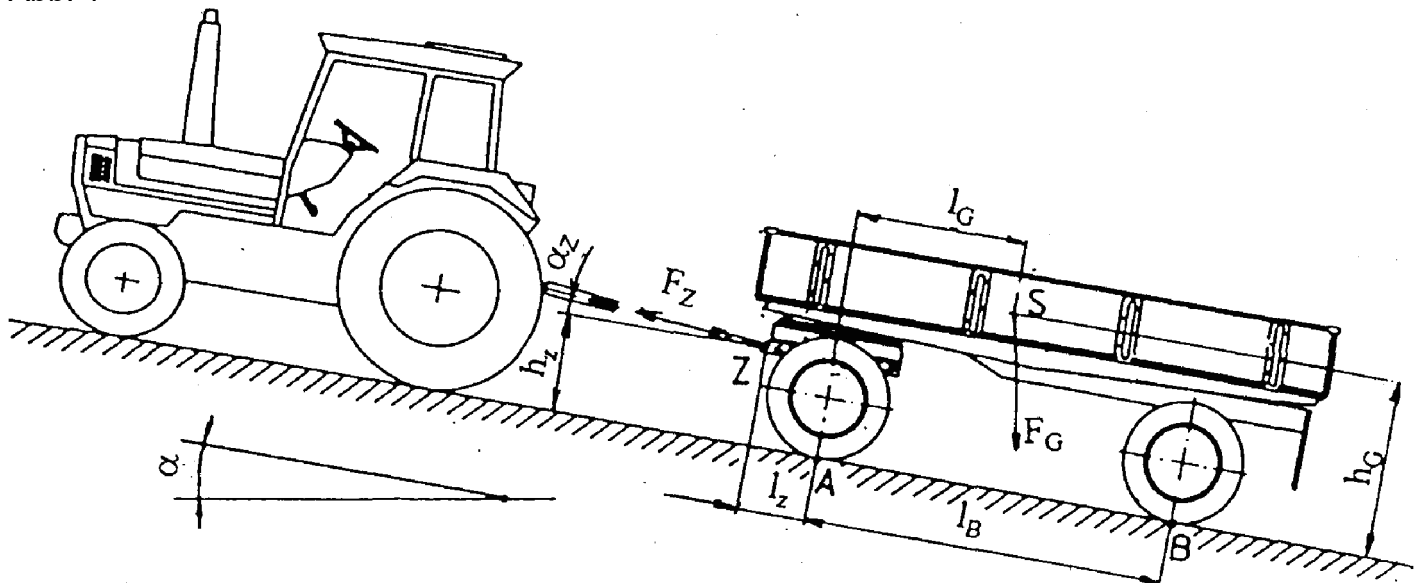




tgt HP 1998/99-2: Zugmaschine mit Anhänger

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 .

Abb. 1

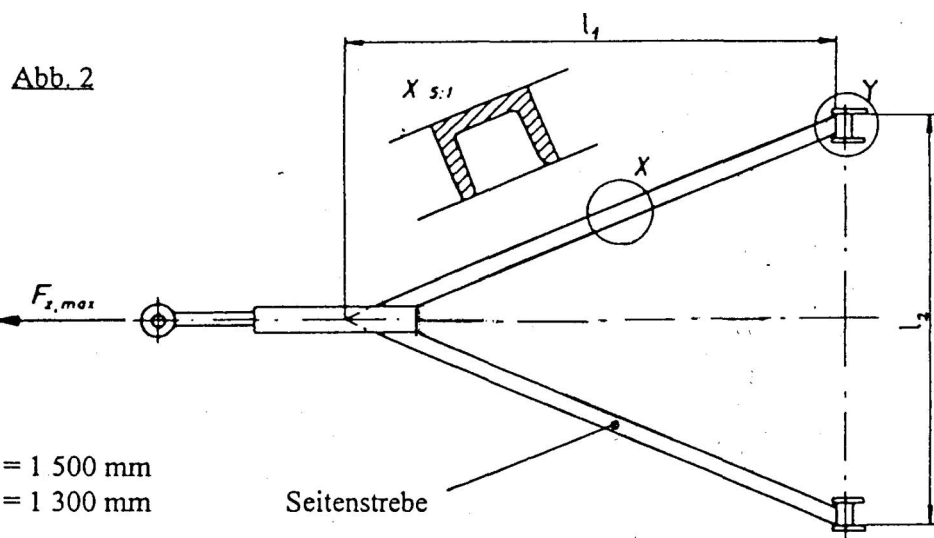


| | | |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| $F_G = 80 \text{ kN}$ | $l_G = 1300 \text{ mm}$ | $h_Z = 800 \text{ mm}$ |
| $\alpha = 12^\circ$ | $h_G = 1400 \text{ mm}$ | $l_B = 2800 \text{ mm}$ |
| $\alpha_Z = 6^\circ$ | $l_Z = 550 \text{ mm}$ | |

Teilaufgaben:

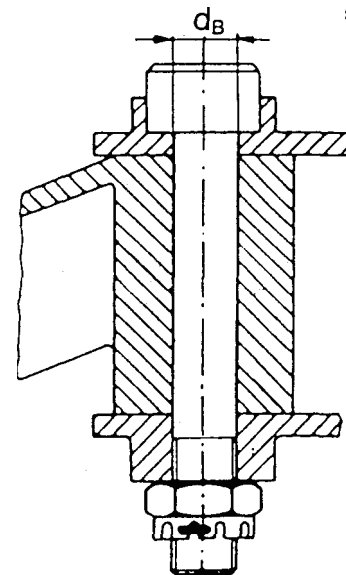
- | | | |
|---|--|--------|
| | | Punkte |
| 1 | Bestimmen Sie zeichnerisch die Achskräfte in A und B sowie die Zugkraft F_Z . (Der Anhänger ist ungebremst.) | 6,0 |
| 2 | Die Seitenstreben der Zuggabel sind aus U-Profil DIN 1026 - S235JR. Unter extremen Betriebsbedingungen kann eine maximale Zugkraft von $F_{Zmax} = 38 \text{ kN}$ auftreten. | 5,0 |

Bestimmen Sie den erforderlichen Profilquerschnitt für die Seitenstrebe bei 9-facher Sicherheit gegen plastische Verformung unter der Annahme, dass in den Seitenstreben ausschließlich Zugkräfte wirken.





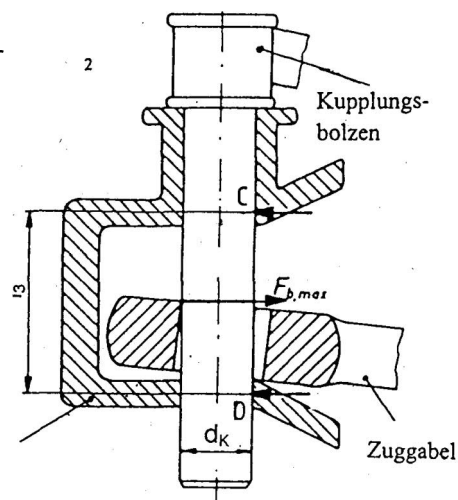
- 3 Der Befestigungsbolzen der Seitenstrebe in Abb. 3 (Einzelheit Y aus Abb. 2) ist aus C35 und hat einen Durchmesser von $d_B = 18$ mm. Wie groß ist die Sicherheit gegen Abscheren bei einer wirksamen Kraft von $F_W = 19$ kN?



3,5

- 4 Bestimmen Sie den Minstdurchmesser d_K des Kupplungsbolzens der Anhängerkupplung bei einer maximalen Kraft von $F_{b,max} = 40$ kN und einer zulässigen Biegespannung von $\sigma_{bzul} = 240$ N/mm².

Zur Berechnung soll angenommen werden, dass die Kräfte vom Kupplungsmaul auf den Bolzen an den Stellen C und D übertragen werden. Die Kraft $F_{b,max}$ von der Zuggabel auf den Bolzen greift in der Mitte von $l_3 = 80$ mm an.



3,0

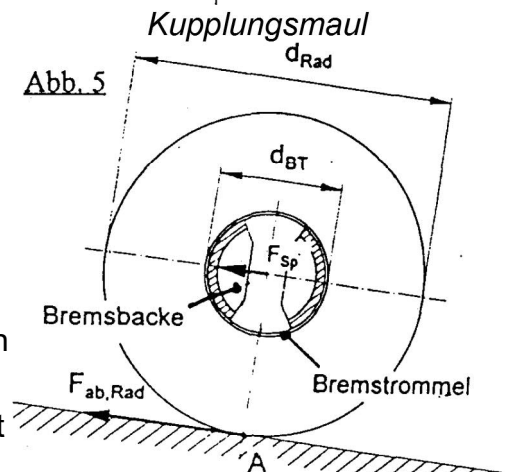
- 5 Der Anhänger wird auf der Gefällstrecke abgestellt und die auf die Räder der Vorderachse wirkende Feststellbremse angezogen. Es wirkt eine Hangabtriebskraft von $F_{ab} = 14$ kN auf beide Vorderräder. (Abb. 5)

$$d_{Rad} = 950 \text{ mm}$$

$$d_{BT} = 408 \text{ mm}$$

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

- 5.2 An einer Bremsbacke soll die Hälfte der Bremskraft $F_{BT} = 16,3$ kN wirken. Die Reibungszahl zwischen Bremsbelag und Bremstrommel beträgt $\mu = 0,4$. Wie groß ist die erforderliche radiale Spannkraft F_{SP} ?



2,5

2,5

Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar.

$\Sigma=30,0$



Lösungsvorschläge

Teilaufgaben:

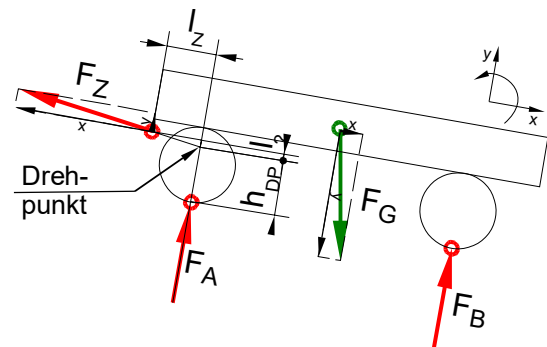
Punkte

1 LS Anhänger

6,0

Für diese Aufgabe war ursprünglich eine zeichnerische Lösung gefordert.

Um sie rechnerisch lösen zu können und mit der Summe der Drehmomente im Schnittpunkt zweier unbekannter Kräfte zu beginnen, wird zunächst der Schnittpunkt zwischen F_Z und F_A berechnet:



$$\frac{l_?}{l_Z} = \tan \alpha_Z \Rightarrow l_? = l_Z \cdot \tan \alpha_Z = 550 \text{ mm} \cdot \tan 6^\circ = 57,8 \text{ mm}$$

$$h_{DP} = h_Z - l_? = 800 \text{ mm} - 57,8 \text{ mm} = 742,2 \text{ mm}$$

$$F_{Gx} = F_G \cdot \sin \alpha = 80 \text{ kN} \cdot \sin 12^\circ = 16,6 \text{ N}$$

$$F_{Gy} = F_G \cdot \cos \alpha = 80 \text{ kN} \cdot \cos 12^\circ = 78,3 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0 = -F_{Gx} \cdot (h_G - h_{DP}) - F_{Gy} \cdot l_G + F_B \cdot l_B \Rightarrow$$

$$F_B = \frac{F_{Gx} \cdot (h_G - h_{DP}) + F_{Gy} \cdot l_G}{l_B} = \frac{16,6 \text{ kN} \cdot (1400 - 742,2) \text{ mm} + 78,3 \text{ kN} \cdot 1300 \text{ mm}}{2800 \text{ mm}} = 40,3 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_x = 0 = -F_{Zx} + F_{Gx} = -F_Z \cdot \cos \alpha_Z + F_{Gx} \Rightarrow F_Z = \frac{F_{Gx}}{\cos \alpha_Z} = \frac{16,6 \text{ kN}}{\cos 6^\circ} = 16,7 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_{Zy} + F_A - F_{Gy} + F_B = F_Z \cdot \sin \alpha_Z + F_A - F_{Gy} + F_B \Rightarrow$$

$$F_A = -F_Z \cdot \sin \alpha_Z + F_{Gy} - F_B = -16,7 \text{ kN} \cdot \sin 6^\circ + 78,3 \text{ kN} - 40,3 \text{ kN} = 36,3 \text{ kN}$$

Bei dieser Aufgabe gibt es auch die Möglichkeit, mit $\Sigma F_x = 0$ zu beginnen.

$$\Sigma F_x = 0 = -F_{Zx} + F_{Gx} \Rightarrow F_{Zx} = F_{Gx} = 16,6 \text{ kN} = F_Z \cdot \cos \alpha_Z \Rightarrow$$

$$F_Z = \frac{F_{Zx}}{\cos \alpha_Z} = \frac{16,6 \text{ kN}}{\cos 6^\circ} = 16,7 \text{ kN}$$

$$F_{Zy} = F_Z \cdot \sin \alpha_Z = 16,7 \text{ kN} \cdot \sin 6^\circ = 1,75 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_A = 0 = +F_{Zx} \cdot h_Z - F_{Zy} \cdot l_Z - F_{Gx} \cdot h_G - F_{Gy} \cdot l_G + F_B \cdot l_B \Rightarrow$$

$$F_B = \frac{-F_{Zx} \cdot h_Z + F_{Zy} \cdot l_Z + F_{Gx} \cdot h_G + F_{Gy} \cdot l_G}{l_B}$$

$$= \frac{-16,6 \text{ kN} \cdot 800 \text{ mm} + 1,75 \text{ kN} \cdot 550 \text{ mm} + 16,6 \text{ kN} \cdot 1400 \text{ mm} + 78,3 \text{ kN} \cdot 1300 \text{ mm}}{2800 \text{ mm}} = 40,3 \text{ kN}$$

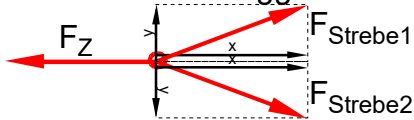
$$\Sigma F_y = 0 = F_{Zy} + F_A - F_{Gy} + F_B \Rightarrow$$

$$F_A = -F_{Zy} + F_{Gy} - F_B = -1,75 \text{ kN} + 78,3 \text{ kN} - 40,3 \text{ kN} = 36,3 \text{ kN}$$

Statik 4-Kräfteverfahren (ungewöhnliche rechnerische Lösung)



2 LS Knoten der Zuggabel



$R_e = 235 \text{ N/mm}^2$ (aus der Bezeichnung von S275)

Winkel α zwischen den Zugstreben:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{l_2}{2 \cdot l_1} \Rightarrow \frac{\alpha}{2} = \arctan \frac{l_2}{2 \cdot l_1} = \arctan \frac{1300 \text{ mm}}{2 \cdot 1500 \text{ mm}} = 23,4^\circ$$

$$\Sigma F_x = 0 = -F_Z + 2 \cdot F_{sx} = -F_Z + 2 \cdot F_s \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \Rightarrow F_s = \frac{F_{Zmax}}{2 \cdot \cos \alpha / 2} = \frac{38 \text{ kN}}{2 \cdot \cos 23,4^\circ} = 20,7 \text{ kN}$$

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

$$\sigma_{zzul} = \frac{R_e}{v} = \frac{235 \text{ N/mm}^2}{9} = 26,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F}{\sigma_{zzul}} = \frac{20,7 \text{ kN}}{26,1 \text{ N/mm}^2} = 793 \text{ mm}^2$$

Gewählt wird ein U-Profil DIN 1026 – S235JO – U65 mit einem Querschnitt $S = 903 \text{ mm}^2$ (nicht Teil dieser Aufgabe).



- 3 Sicherheit gegen Abscheren: 3,5
 Wenn im TabB kein Wert für τ_{aB} gegeben ist, wird er aus R_m abgeschätzt.
 $R_m = 520 \text{ N/mm}^2$ (C35 → Tabellenbuch Metall, Europa Verlag, 44. Auflage, S.133)
- $$S = \frac{\pi \cdot d_B^2}{4} = \frac{\pi \cdot 18^2 \text{ mm}^2}{4} = 254,5 \text{ mm}^2$$
- $$\tau_{aB} = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 416 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$
- $$\frac{\tau_{aB}}{v} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{2 \cdot S} \rightarrow$$
- $$\tau_a = \frac{F_K}{2 \cdot S} = \frac{19 \text{ kN}}{2 \cdot 254,5} = 37,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$
- $$v = \frac{\tau_{aB}}{\tau_a} = \frac{416 \text{ N/mm}^2}{37,3 \text{ N/mm}^2} = 11,1$$
- 4 $\sigma_{bF} = 380 \text{ N/mm}^2$ (S275 → Tabellenbuch Metall, Europa, 44. Auflage, S.44) 3,0
- $$M_b = \frac{F_{bmax} \cdot l_3}{4} = \frac{40 \text{ kN} \cdot 80 \text{ mm}}{4} = 800 \text{ Nm}$$
- $$\frac{\sigma_{bF}}{v} = \sigma_{bzul} > \sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W} \Rightarrow$$
- $$W_{erf} = \frac{M_b}{\sigma_{bzul}} = \frac{800 \text{ Nm}}{240 \text{ N/mm}^2} = 3,33 \text{ cm}^3$$
- $$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \Rightarrow d_K = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot W_{erf}}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 11,68 \text{ cm}^3}{\pi}} = 49,2 \text{ mm}$$
- 5
- 5.1 LS Rad mit Bremsstrommel: Die Normal- (F_{Sp}) und Reibkräfte ($F_{BT}/2$) werden von den beiden Bremsbacken auf die Bremsstrommel übertragen. F_{Sp} heben sich auf und spielen keine Rolle. Die Reibkräfte $F_{BT}/2$ heben sich kräftemäßig ebenfalls auf, addieren sich aber beim Drehmoment. 2,5
-
- $$\Sigma M_{Achse} = 0 = -F_{abRad} \cdot \frac{d_{rad}}{2} + 2 \cdot \frac{F_{BT}}{2} \cdot \frac{d_{BT}}{2} \Rightarrow$$
- $$F_{BT} = F_{abRad} \cdot \frac{d_{Rad}}{d_{BT}} = \frac{F_{ab}}{2} \cdot \frac{d_{Rad}}{d_{BT}} = \frac{14 \text{ kN}}{2} \cdot \frac{950 \text{ mm}}{408 \text{ mm}} = 16,3 \text{ kN}$$
- 5.2 $F_R = F_N \cdot \mu \Rightarrow \frac{F_{BT}}{2} = F_{Sp} \cdot \mu \Rightarrow F_{Sp} = \frac{F_{BT}}{2 \cdot \mu} = \frac{16,3 \text{ kN}}{2 \cdot 0,4} = 20,4 \text{ kN}$ 2,5

Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar.

$\Sigma = 30,0$