



tgtm HP 2006/07-1: Lkw-Ladevorrichtung

Alle Aufgaben beziehen sich auf das nachfolgend skizzierte Unternehmen.

Peter Pfote e. K. Kranbau

Die Peter Pfote e. K. ist ein mittelständisches Metallbauunternehmen, das eine Sparte mit Kranbau (Konstruktion und Fertigung) besitzt. Da sich die Auftragslage in diesem Bereich in den letzten 10 Jahren immer weiter verbessert hat, konnte das Unternehmen immer mehr expandieren und beschäftigt inzwischen 75 Mitarbeiter im Kranbau.

Zur Herstellung der Kräne werden neben konventionellen Maschinen auch CNC- Werkzeugmaschinen eingesetzt.

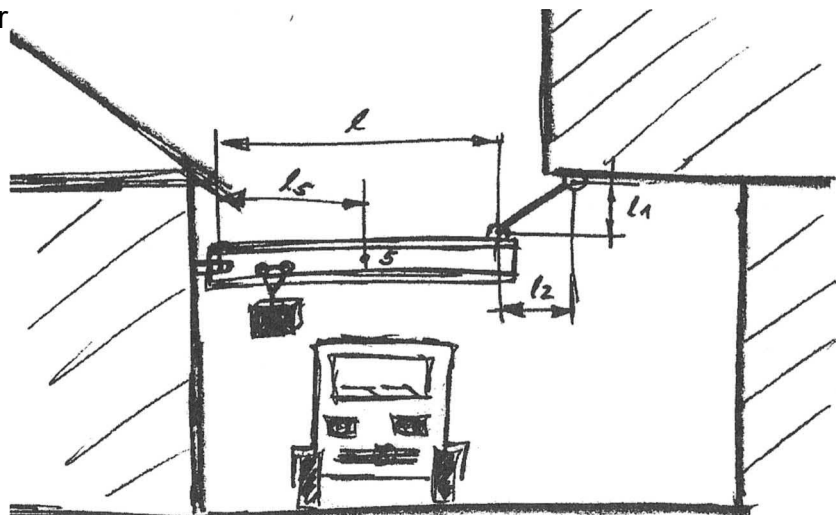
Die Peter Pfote e. K. produziert pro Periode (eine Periode = ein Jahr) 560 Kräne. Der Beschäftigungsgrad liegt hier bei 80%. Die Materialkosten pro Kran liegen bei 750 €; die Kreditzinsen pro Monat liegen bei 1400 €. Für den Betrieb fallen pro Mitarbeiter 40.000 € (Löhne inklusive Lohnnebenkosten) pro Periode an.

Ein Kran wird zum Preis von 8200 € verkauft.

Aufgabe 1 (Pflichtaufgabe)

Ein Außendienstmitarbeiter der Peter Pfote e. K. kehrt von einem Kundenbesuch zurück. Der Kunde wünscht eine Lkw-Ladevorrichtung. Der Außendienstmitarbeiter hat die Situation vor Ort skizziert. Die Krananlage ist zu projektieren.

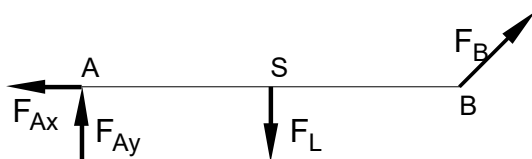
$$\begin{aligned}
 l &= 7,5\text{m} & l_s &= l/2 \\
 l_1 &= 1,3\text{ m} & l_2 &= 0,75\text{ m} \\
 F_L &= 75\text{ kN}
 \end{aligned}$$



- 1 Berechnen Sie die Lagerkräfte F_A und F_B für den Fall, dass sich die Laufkatze im Schwerpunkt S befindet.

Vernachlässigen Sie dabei die Gewichtskraft des Trägers.

Zur Vereinfachung ist folgende Skizze zu verwenden:



- 2 Biegebeanspruchung und Trägerwahl ohne Berücksichtigung des Eigengewichts
 - 2.1 Schneiden Sie den Träger frei und bestimmen Sie die Stelle und den Betrag des maximalen Biegemoments $M_{b,max}$. Eine vorhandene Zug- oder Druckkraft im Träger ist nicht zu berücksichtigen. 2,0
 - 2.2 Zur Auswahl des IPE-Trägers stehen 2 Stahlsorten zur Verfügung: S235JR und S275. Bestimmen Sie für beide Werkstoffe einen geeigneten Träger bei 2-facher Sicherheit. Berechnen Sie daraus die Kosten der beiden Träger bei einem Kilogrammpreis von 0,60 € und geben Sie die Normbezeichnung für den kostengünstigeren Träger an. 4,0



3 Dimensionierung der Zugstange und Bolzenverbindung

Für die Dimensionierung der Zugstange (Flachstahlprofil) muss zusätzlich die Gewichtskraft des Trägers F_G berücksichtigt werden. Nehmen Sie hierbei folgende Werte an:

Träger: $F_G = 4200 \text{ N}$

Laufkatze und Last: $F_L = 75 \text{ kN}$

3.1 Berechnen Sie die maximal mögliche Kraft $F_{B,max}$ in der Zugstange. 4,0

3.2 Dimensionieren Sie den Zugstangenquerschnitt (S235JR) für einen Bolzen aus C60E. 7,0

Zu berücksichtigen sind: zulässige Flächenpressung $p_{zul} = 150 \text{ N/mm}^2$;
Sicherheit $v = 2$ gegen Zugbeanspruchung, Sicherheit $v = 4$ gegen Abscherung.

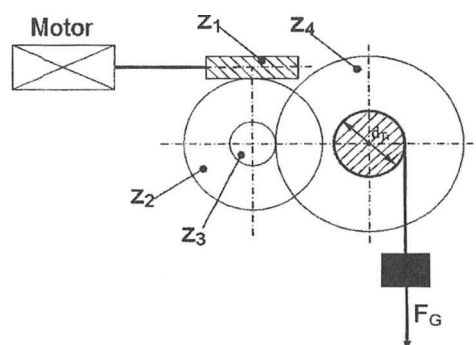
4 Welche Fehler wurden durch die vereinfachte Skizze aus Aufgabe 1 gemacht? (Tipp: Beachten Sie die Kraftwirkungslinie). Nehmen Sie zu den Folgen dieser Vereinfachung Stellung. 2,0

5 Antrieb der Seiltrommel

Die Laufkatze ist mit der skizzierten Antriebseinheit ausgestattet.

Bedingungen unter Volllast:

F_G	=	75 kN
v_{Hub}	=	0,1 m/s
n_{Mot}	=	1305 min^{-1}
d_{Tr}	=	200 mm
i_1	=	30
Z_3	=	16
n_{Tr}	=	0,9
n_{Getr}	=	0,85



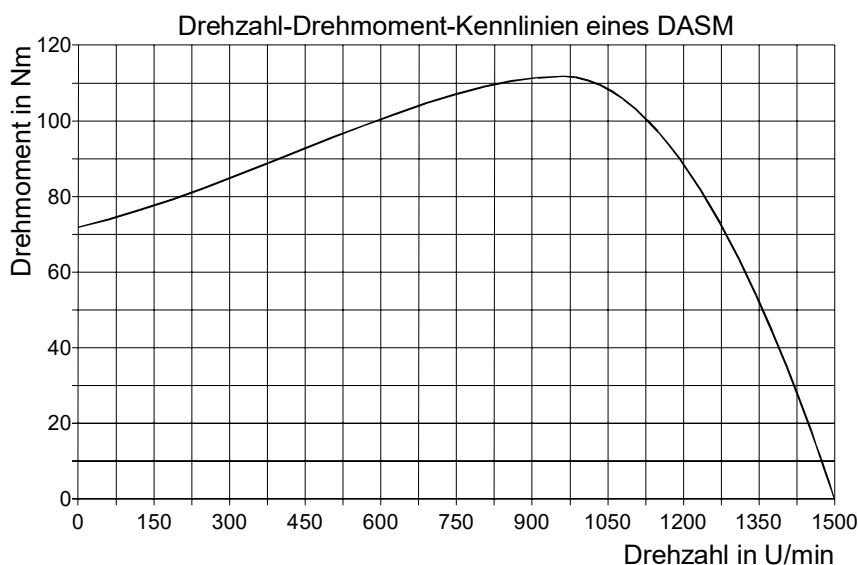
5.1 Berechnen Sie für den Betrieb unter Volllast die Drehzahl der Seiltrommel sowie die Höhe des Drehmoments an der Seiltrommel. 3,0

5.2 Ermitteln Sie die Gesamtübersetzung i_{ges} sowie die notwendige Zähnezahl Z_4 des Zahnrads. 5,0

5.3 Berechnen Sie die Leistung an der Motorwelle und die Hubleistung. 2,0

5.4 Am Seil wirkt eine Last mit der Kraft 30 kN. Ermitteln Sie mit Hilfe der unten abgebildeten Motorkennlinie des Drehstrom-Asynchron-Motors die Hubgeschwindigkeit der Last. 5,0

5.5 Nennen Sie die Vorteile einer modernen Ansteuerungselektronik mit Pulsweitenmodulation und H-Bücke. 3,0





Lösungsvorschläge

1 Lagerkräfte, Lageskizze siehe Aufgabe

Annahme 1: A und B sind die Befestigungspunkt im Träger

$$\tan \alpha_B = \frac{l_1}{l_2} \Rightarrow \alpha_B = \arctan L - \frac{1}{l_2} = \arctan \frac{1,3 \text{ m}}{0,75} = 60^\circ$$

$$\Sigma M_A = 0 = -F_L \cdot l_S + F_{By} \cdot l \Rightarrow$$

$$F_{By} = F_L \cdot \frac{l_S}{l} = 75 \text{ kN} \cdot \frac{1/2}{1} = 37,5 \text{ kN}$$

$$F_B = \frac{F_{By}}{\sin \alpha_B} = \frac{37,5 \text{ kN}}{\sin 60^\circ} = 43,3 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_x = 0 = -F_{Ax} + F_{Bx} \Rightarrow F_{Ax} = F_{Bx} = F_B \cdot \cos \alpha_B = 43,3 \text{ kN} \cdot \cos 60^\circ = 21,65 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_{Ay} - F_G + F_{By} \Rightarrow F_{Ay} = F_{G2} - F_{By} = 75 \text{ kN} - 37,5 \text{ kN} = 37,5 \text{ kN}$$

$$F_A = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2} = \sqrt{(21,65 \text{ kN})^2 + (37,5 \text{ kN})^2} = 43,3 \text{ kN}$$

$$\alpha_A = \arctan \frac{F_{Ay}}{F_{Ax}} = \arctan \frac{37,5 \text{ kN}}{21,65 \text{ kN}} = 60,0^\circ$$

$\alpha_A = 60,0^\circ$ nach links oben gegen die negative x-Achse bzw.

$\alpha_A = 120,0^\circ$ gegen die positive x-Achse

2 Trägersauswahl

2.1 Hinweis 2: Mangels vertikaler Maße kann man das Biegemoment nicht genau ermitteln, die Vereinfachungen nach Aufg. 4 bleiben also bestehen.

Das maximale Biegemoment kann nur an einem inneren Kräfteinleitungspunkt liegen, also beim Angriffspunkt von F_L .

$$M_{bmax} = M_{bL \text{ von rechts}} = |F_{By} \cdot (l - l_S)| = 37,5 \text{ kN} \cdot \left(7,5 \text{ m} - \frac{7,5}{2} \text{ m}\right) = 140,6 \text{ kNm}$$

oder

$$M_{bmax} = M_{bL \text{ von links}} = |F_{Ay} \cdot l_S| = 37,5 \text{ kN} \cdot \frac{7,5 \text{ m}}{2} = 140,6 \text{ kNm}$$

2.2 IPE – Träger (→ [EuroTabM] „DIN 1025“ oder „IPE-Träger“)

R_e aus der Bezeichnung oder (→ [EuroTabM] „Baustähle, unlegierte“)

$\sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_e$ (→ [EuroTabM] „Biegebeanspruchung“)

S235JR: $R_e = 235 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_e = 1,2 \cdot 235 \text{ N/mm}^2 = 282 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{bF}}{\sqrt{}} = \sigma_{bzul} > \sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W} \Rightarrow$$

$$\sigma_{bzul} = \frac{\sigma_{bF}}{\sqrt{}} = \frac{282 \text{ N/mm}^2}{2} = 141 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{140,6 \text{ kNm}}{141 \text{ N/mm}^2} = 997 \text{ cm}^3$$

Gewählt: IPE 400

mit $W_x = 1160 \text{ cm}^3$ und $m' = 66,03 \text{ kg/m}$

$$\text{Kosten } K = 66,03 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 7,5 \text{ m} \cdot 0,60 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 297,14 \text{ €}$$

S275: $R_e = 275 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_e = 1,2 \cdot 275 \text{ N/mm}^2 = 330 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{bF}}{\sqrt{}} = \sigma_{bzul} > \sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W} \Rightarrow$$

$$\sigma_{bzul} = \frac{\sigma_{bF}}{\sqrt{}} = \frac{330 \text{ N/mm}^2}{2} = 165 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{140,6 \text{ kNm}}{165 \text{ N/mm}^2} = 852 \text{ cm}^3$$

Gewählt: IPE 360

mit $W_x = 904 \text{ cm}^3$ und $m' = 57,1 \text{ kg/m}$

$$\text{Kosten } K = 57,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 7,5 \text{ m} \cdot 0,60 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 256,95 \text{ €}$$

Kostengünstigster ist I-Profil DIN 1025 – S275JR – IPE 360



3 Zugstange und Bolzenverbindung

Hinweis 3: Gemeint ist die Verbindung zum Punkt B (Hinweis darauf folgt später).

Hinweis 4: Die Laufkatze kann nicht weiter als zum Punkt B fahren.

Hinweis 5: Die vertikalen Abstände werden vernachlässigt. (→ Aufg. 4)

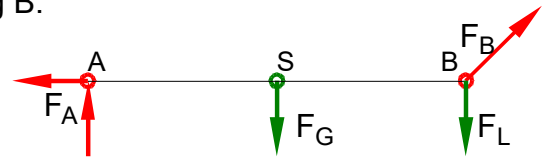
3.1 LS Traverse bei maximaler Belastung der Aufhängung B.

$$\tan \alpha_B = \frac{l_1}{l_2} \Rightarrow \alpha_B = \arctan L - \frac{1}{l_2} = \arctan \frac{1,3 \text{ m}}{0,75 \text{ m}} = 60^\circ$$

$$\Sigma M_A = 0 = -F_G \cdot l_S + F_{By} \cdot l - F_L \cdot l \Rightarrow$$

$$F_{By} = \frac{F_G \cdot l_S + F_L \cdot l}{l} = \frac{4,2 \text{ kN} \cdot \frac{7,5 \text{ m}}{2} + 75 \text{ kN} \cdot 7,5 \text{ m}}{7,5 \text{ m}} = 77,1 \text{ kN}$$

$$F_B = \frac{F_{By}}{\sin \alpha_B} = \frac{77,1 \text{ kN}}{\sin 60^\circ} = 89,0 \text{ kN}$$



3.2 Zugstangenquerschnitt

Annahme 6: Der Bolzen ist zweiseitig belastet (siehe rechts).

Hinweis 7: Der schwelenden Anteil von F_B wird vernachlässigt (→ Aufg. 2.2)

Schritt 1: Erforderlicher Bolzendurchmesser d gegen Abscherung

$R_e = 520 \text{ N/mm}^2$ (C60 → [EuroTabM] „Vergütungsstähle“)

$\tau_{aF} = 0,6 \cdot R_e$ (→ [EuroTabM] „Abscherung, Beanspruchung“)

Erforderlicher Durchmesser gegen Abscheren:

$$\tau_{aF} = 0,6 \cdot R_e = 0,6 \cdot 520 \text{ N/mm}^2 = 312 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{aF}}{V} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{2 \cdot S} \Rightarrow \tau_{azul} = \frac{\tau_{aF}}{V} = \frac{312 \text{ N/mm}^2}{4} = 78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F_B}{2 \cdot \tau_{azul}} = \frac{89,0 \text{ kN}}{2 \cdot 78 \text{ N/mm}^2} = 570,5 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d_{erf} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{erf}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 570,5 \text{ mm}^2}{\pi}} = 27 \text{ mm}$$

gewählt: $d_B = 30 \text{ mm}$ (nicht mehr aufgeführt in → [EuroTabM] „Bolzen“)

Schritt 2: Erforderliche Dicke s des Flachstahles gegen Flächenpressung

$$p_{zul} > p = \frac{F}{A} \Rightarrow A_{erf} = \frac{F_B}{p_{zul}} = \frac{89,0 \text{ kN}}{150 \text{ N/mm}^2} = 593,3 \text{ mm}^2$$

$$A = d \cdot s \Rightarrow s_{erf} = \frac{A}{d_B} = \frac{593,3 \text{ mm}^2}{20 \text{ mm}} = 29,7 \text{ mm}$$

gewählt: $s = 30 \text{ mm}$ (→ [EuroTabM] "Flachstahl")

Schritt 3: Erforderliche Breite b des Flachstahles gegen Zugspannung

$R_e = 235 \text{ N/mm}^2$ (aus der Bezeichnung oder → [EuroTabM] „Baustähle, unleg.“)

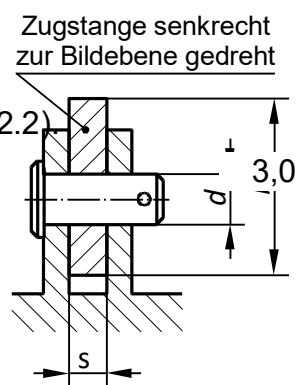
$$\frac{\sigma_{zul}}{V} = \sigma_{zzul} > \sigma_z = \frac{F}{S} \Rightarrow \sigma_{zzul} = \frac{R_e}{V} = \frac{235 \text{ N/mm}^2}{2} = 117,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F}{\sigma_{zzul}} = \frac{89,0 \text{ kN}}{117,5 \text{ N/mm}^2} = 757,4 \text{ mm}^2$$

$$S = s \cdot (b - d) \Rightarrow b = \frac{S}{s} + d = \frac{757,4 \text{ mm}^2}{30 \text{ mm}} + 20 \text{ mm} = 45,2 \text{ mm}$$

gewählt: $b = 50 \text{ mm}$ (→ [EuroTabM] "Flachstahl")

→ Flachstab EN 10058 – 50x30 – S235JR





4 Die vertikalen Abstände der Punkte A, S und B sind vernachlässigt → das verändert die Kräfte.

Das Eigengewicht des Trägers ist vernachlässigt → wirkliche Kräfte sind größer.

5 Antrieb der Seiltrommel

$$5.1 \quad M_{Tr} = F_G \cdot \frac{d_{Tr}}{2} = 75 \text{ kN} \cdot \frac{200 \text{ mm}}{2} = 7,5 \text{ kNm}$$

$$v = \pi \cdot n \cdot d \Rightarrow n_{Tr} = \frac{v_{Hub}}{\pi \cdot d_{Tr}} = \frac{0,1 \text{ m/s}}{\pi \cdot 200 \text{ mm}} = 0,159 \text{ s}^{-1} = 9,55 \text{ min}^{-1}$$

$$5.2 \quad i_{ges} = \frac{n_{zu}}{n_{ab}} = \frac{n_{Mot}}{n_{Tr}} = \frac{1305 \text{ min}^{-1}}{9,55 \text{ min}^{-1}} = 136,7$$

$$i_{ges} = i_1 \cdot i_2 = i_1 \cdot \frac{z_4}{z_3} \Rightarrow z_4 = z_3 \cdot \frac{i_{ges}}{i_1} = 16 \cdot \frac{136,7}{30} = 72,9$$

Gewählt: $z_4 = 73$

$$5.3 \quad P_{Hub} = F_G \cdot v_{Hub} = 75 \text{ kN} \cdot 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,5 \text{ kW}$$

$$\eta_{ges} = \eta_{Tr} \cdot \eta_{Getr} = 0,9 \cdot 0,85 = 0,765$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \Rightarrow P_{Mot} = \frac{P_{Hub}}{\eta_{ges}} = \frac{7,5 \text{ kW}}{0,765} = 9,8 \text{ kW}$$

$$5.4 \quad M_{Tr} = F \cdot \frac{d_{Tr}}{2} = 30 \text{ kN} \cdot \frac{200 \text{ mm}}{2} = 3 \text{ kNm}$$

$$i \cdot \eta = \frac{M_{ab}}{M_{zu}} \Rightarrow M_{Mot} = \frac{M_{Tr}}{i_{ges} \cdot \eta_{ges}} = \frac{3 \text{ kNm}}{136,7 \cdot 0,765} = 28,7 \text{ Nm}$$

Aus dem Diagramm: Drehmoment $M_{Mot} = 28,7 \text{ Nm}$ → Drehzahl $n_{Mot} = 1425 \text{ min}^{-1}$.

$$i_{ges} = i_1 \cdot \frac{z_4}{z_3} = 30 \cdot \frac{73}{16} = 136,9$$

$$i = \frac{n_{zu}}{n_{ab}} \Rightarrow n_{Tr} = \frac{n_{Mot}}{i_{ges}} = \frac{1425 \text{ min}^{-1}}{136,9} = 10,4 \text{ min}^{-1} = 0,176 \text{ s}^{-1}$$

$$v_{Hub} = \pi \cdot n_{Tr} \cdot d_{Tr} = \pi \cdot 0,176 \text{ s}^{-1} \cdot 200 \text{ mm} = 6,54 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,109 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

5.5 Dieses Thema ist mit dem Lehrplan von 2010 (Wirksamkeit zum Abi 2013) entfallen.