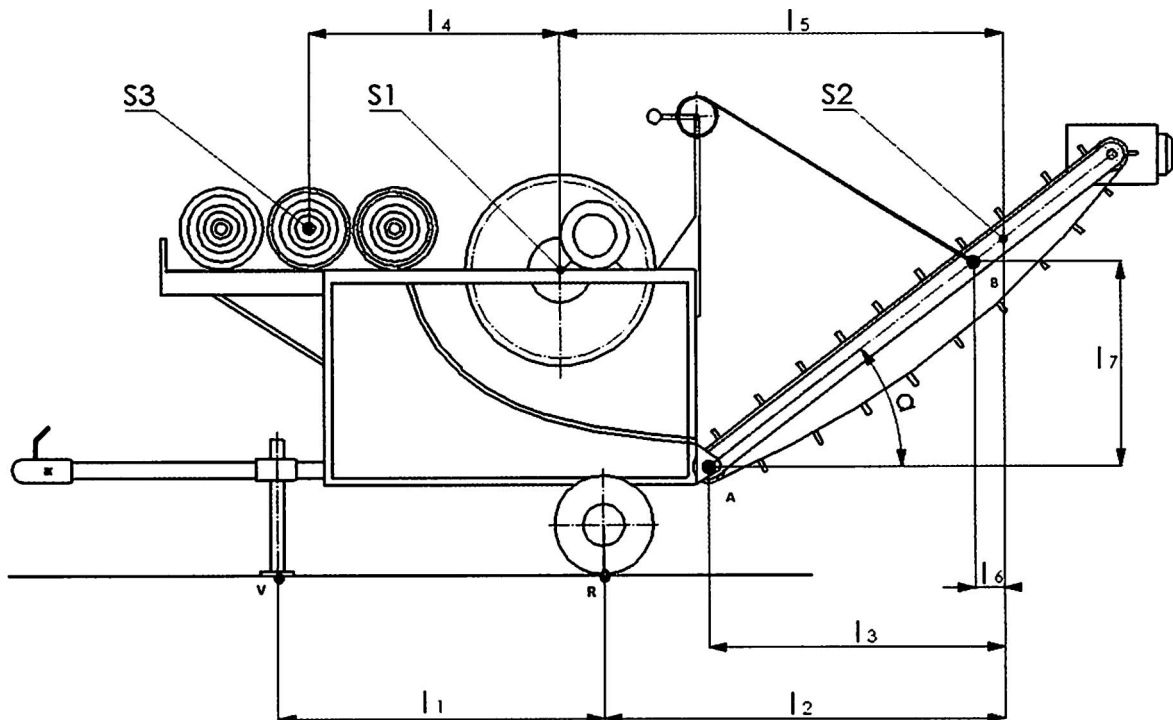




tgtm HP 2016/17-1: Sägeautomat

(Pflichtaufgabe)

In seiner Grundstellung steht der Sägeautomat auf zwei Rädern und einer Stütze in waagerechter Position.



Daten

Sägeautomat: $F_{G1} = 4500 \text{ N}$ in S1
 Förderband: $F_{G2} = 1150 \text{ N}$ in S2
 Baumstücke: $F_{G3} = 1800 \text{ N}$ in S3

Abmessungen: $l_1 = 1750 \text{ mm}$
 $l_2 = 1880 \text{ mm}$
 $l_3 = 1450 \text{ mm}$
 $l_4 = 1100 \text{ mm}$
 $l_5 = 2400 \text{ mm}$
 $l_6 = 200 \text{ mm}$
 $l_7 = 920 \text{ mm}$

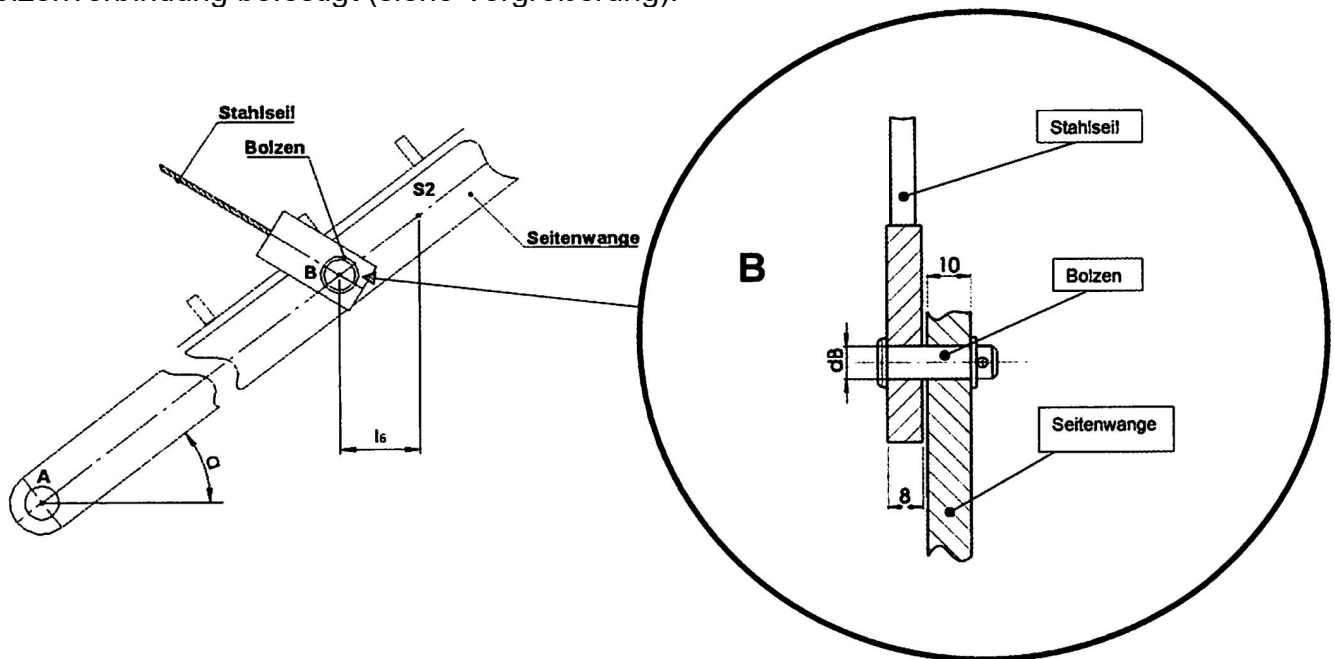
Sägeautomat

- 1 Machen Sie den Sägeautomat in seiner Grundstellung frei. 2,0
- 2 Berechnen Sie die Achskraft F_R , sowie die Stützkraft F_V . 3,0
- 3 Für Wartungsarbeiten wird das Förderband mit Hilfe der Hebevorrichtung abgesenkt. Währenddessen liegen keine Baumstücke auf dem Zuführtisch ($F_{G3} = 0$).
 - 3.1 Berechnen Sie, welche Länge $l_{3\text{neu}}$ zulässig ist, ohne dass der Anhänger kippt. 3,0
 - 3.2 Bestimmen Sie den Neigungswinkel α_{kippt} , wenn $l_{3\text{neu}} = 1600 \text{ mm}$ beträgt. Dokumentieren Sie den Lösungsweg. 3,0



Förderbandbefestigung

Das Förderband kann durch eine Hebevorrichtung in seiner Neigung α verstellt werden. Hierzu ist an den beiden Seitenwangen des Förderbandes im Punkt B je ein Stahlseil mit Hilfe einer Bolzenverbindung befestigt (siehe Vergrößerung).



Daten des Bolzens ISO 2341 B

Zulässige Flächenpressung:	$p_{zul} = 60 \text{ N/mm}^2$
Scherfließgrenze:	$T_{aF} = 141 \text{ N/mm}^2$
Sicherheit gegen Abscheren:	$v = 3$

Daten der Stahlseilaufhängung

Maximale Haltekraft pro Seil:	$F_{s,max} = 1200 \text{ N}$
Durchmesser Einzeldraht:	$d = 0,5 \text{ mm}$
Streckgrenze des Stahlseils:	$R_e = 1100 \text{ N/mm}^2$
Sicherheit gegen plastische Verformung:	$v = 6$

Daten der Seitenwange in der momentanen Stellung

Gewichtskraft (beladen) je Wange in S2:	$F_{G2,max} = 1050 \text{ N}$
Winkel des Förderbands:	$\alpha = 36^\circ$
Werkstoff der Seitenwange:	S235JR
Sicherheit gegen Verbiegen:	$v = 5$
Längenmaß:	$l_6 = 200 \text{ mm}$

4 Stahlseil und dessen Befestigung

4.1 Dimensionieren Sie den erforderlichen genormten Bolzendurchmesser d_B bei einer maximal auftretenden Kraft pro Seil von $F_{s,max} = 1200 \text{ N}$. 4,0

4.2 Berechnen Sie die erforderliche Anzahl der Einzeldrähte eines Seils. 3,0

5 Seitenwange des Förderbands

5.1 Bestimmen Sie die Lage und berechnen Sie den Betrag des maximalen Biegemoments $M_{b,max}$ in einer Seitenwange. 4,0

5.2 Die Seitenwangen werden aus einem Rechteckprofil hergestellt. 3,0

Dimensionieren Sie für $M_{b,max} = 210 \text{ Nm}$ die Höhe des Profils einer Seitenwange und wählen Sie einen geeigneten warmgewalzten Flachstahl aus.



Lagerung der Sägeblattwelle

6 Die Sägeblattwelle verbindet Sägeblatt mit Elektromotor. Sie ist mittels Fest-Los-Lagerung gelagert.

Folgende Lager sind verbaut:

- Rillenkugellager DIN 625-6010
- Zylinderrollenlager DIN 5412-NU 1010

6.1 Erläutern Sie die grundsätzliche Notwendigkeit einer Fest-Los-Lagerung. 1,0

6.2 Begründen Sie, welches der beiden Lager zwingend die Aufgabe des Loslagers übernehmen muss. 2,0

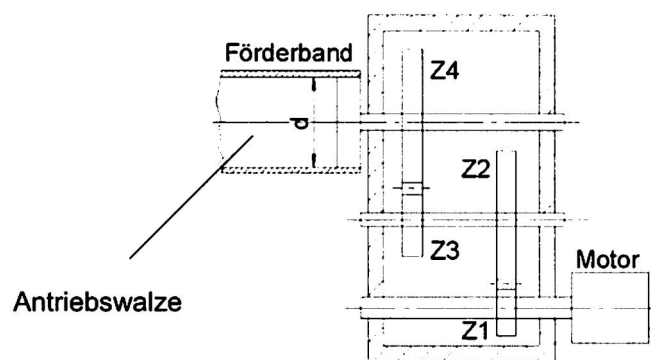
6.3 Für das eingebaute Zylinderrollenlager sind folgende Angaben zu berücksichtigen: 3,0

- Drehzahl der Welle: $n_w = 1450 \text{ min}^{-1}$
- Radiale Lagerbelastung: $F_R = 1925 \text{ N}$
- Nominelle Lebensdauer: $L_{10h} = 8000 \text{ h}$

Weisen Sie nach, dass das Zylinderrollenlager der Belastung standhält.

Förderbandantrieb

7 Das Förderband wird durch einen Elektromotor über ein zweistufiges Getriebe angetrieben.



Daten des Förderantriebs

Motordrehzahl:	$n_M = 900 \text{ min}^{-1}$
Maximal zulässige Bandgeschwindigkeit:	$V_{B,max} = 0,4 \text{ m/S}$
Gesamtübersetzung:	$i_{ges} = 15$
Zähnezahlen:	$z_1 = 14, z_2 = 56$
Umfangskraft am Band:	$F_B = 850 \text{ N}$
Wirkungsgrade:	
Band	$\eta_B = 0,7$
Getriebe	$\eta_G = 0,92$
Motor	$\eta_M = 0,9$

7.1 Für die zweite Getriebestufe stehen vier unterschiedliche Zahnräder zu Verfügung. 3,0
Mögliche Zähnezahlen: $z = 24$; $z = 20$; $z = 75$; $z = 90$.

Bestimmen Sie die geeigneten Zähnezahlen z_3 und z_4 unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten und begründen Sie Ihre Wahl.

7.2 Dimensionieren Sie den Durchmesser d der Antriebswalze am Förderband, wenn vom Zulieferer zwei Walzenvarianten von 120 mm und 130 mm Durchmesser lieferbar sind. 3,0

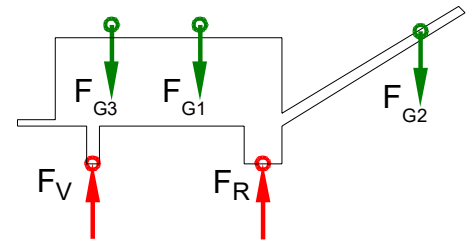
7.3 Ermitteln Sie die vom Motor aufzunehmende elektrische Leistung P_{el} . 3,0

40,0



Lösungen

Statik (11 P): Benannte BG freimachen; Auflagerkräfte, Kippen (eigenwillige Bemaßung, korrekturunfreundlich); Dreieck berechnen (umständlich)
 Festigkeit (14 P): BolzenØ; Drahtseil, Mbmax (einfach); Profil gegen Biegen
 ME (6 P): Fest-/Loslager begründen; Wälzlager überprüfen
 Getriebe (9 P): Diverse; Zahnradpaarungen auswählen



- 1 Lageskizze Sägeautomat mit Baumstücken
 Hinweis 1: In der Aufgabe sind die Baumstücke (F_{G3}) nicht ausdrücklich gefordert, man könnte sie also weglassen.

$$\begin{aligned} 2 \quad \Sigma M_V = 0 &= -F_{G3} \cdot (l_1 + l_2 - l_4 - l_5) - F_{G1} \cdot (l_1 + l_2 - l_5) - F_{G2} \cdot (l_1 + l_2) + F_R \cdot l_1 \Rightarrow \\ F_R &= \frac{F_{G3} \cdot (l_1 + l_2 - l_4 - l_5) + F_{G1} \cdot (l_1 + l_2 - l_5) + F_{G2} \cdot (l_1 + l_2)}{l_1} \\ &= \frac{1800 \text{ N} \cdot (1,75 + 1,88 - 1,1 - 2,4) + 4500 \text{ N} \cdot (1,75 + 1,88 - 2,4) + 1150 \text{ N} \cdot (1,75 + 1,88)}{1,75} \\ &= \frac{1800 \text{ N} \cdot 130 \text{ mm} + 4500 \text{ N} \cdot 1230 \text{ mm} + 1150 \text{ N} \cdot 3630 \text{ mm}}{1750 \text{ mm}} = 5682 \text{ N} \end{aligned}$$

oder

$$\begin{aligned} \Sigma M_R = 0 &= -F_V \cdot l_1 + F_{G3} \cdot (l_4 + l_5 - l_2) + F_{G1} \cdot (l_5 - l_2) - F_{G2} \cdot l_2 \Rightarrow \\ F_V &= \frac{+F_{G3} \cdot (l_4 + l_5 - l_2) + F_{G1} \cdot (l_5 - l_2) - F_{G2} \cdot l_2}{l_1} \\ &= \frac{+1800 \text{ N} \cdot (1100 + 2400 - 1880) \text{ mm} + 4500 \text{ N} \cdot (2400 - 1880) \text{ mm} - 1150 \text{ N} \cdot 1880 \text{ mm}}{1750 \text{ mm}} \\ &= \frac{+1800 \text{ N} \cdot 1620 \text{ mm} + 4500 \text{ N} \cdot 520 \text{ mm} - 1150 \text{ N} \cdot 1880 \text{ mm}}{1750 \text{ mm}} = 1768 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_V + F_R - F_{G1} - F_{G2} - F_G \Rightarrow$$

$$F_R = F_{G1} + F_{G2} + F_G - F_V = 4500 \text{ N} + 1150 \text{ N} + 1800 \text{ N} - 1768 \text{ N} = 5682 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = 0 = F_{Vx}$$

- 3 Im Moment des Kippens ist $F_V = 0$

$$\begin{aligned} 3.1 \quad \Sigma M_R = 0 &= +F_{G1} \cdot (l_5 - l_2) - F_{G2} \cdot l_{2\text{neu}} \Rightarrow \\ l_{2\text{neu}} &= (l_5 - l_2) \cdot \frac{F_{G1}}{F_{G2}} = (2400 - 1880) \text{ mm} \cdot \frac{4500 \text{ N}}{1150 \text{ N}} = 2034,8 \text{ mm} \\ \Delta l_{\text{neu}} &= l_{2\text{neu}} - l_2 = 2034,8 \text{ mm} - 1880 \text{ mm} = 154,8 \text{ mm} \\ l_{3\text{neu}} &= l_3 + \Delta l_{\text{neu}} = 1450 \text{ mm} + 154,8 \text{ mm} = 1605 \text{ mm} \end{aligned}$$

- 3.2 Länge l von A bis S_2 :

$$\alpha = \arctan \frac{l_7}{l_3 - l_6} = \arctan \frac{920 \text{ mm}}{1450 \text{ mm} - 200 \text{ mm}} = 36,35^\circ$$

$$l_{A-S_2} = \frac{l_3}{\cos \alpha} = \frac{1450 \text{ mm}}{\cos 36,35^\circ} = 1800,4 \text{ mm}$$

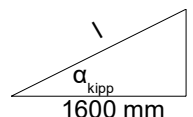
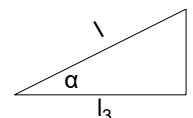
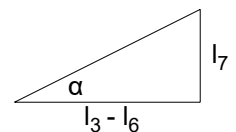
oder

$$l_{A-B} = \sqrt{(l_3 - l_6)^2 + l_7^2} = \sqrt{(1450 - 200)^2 + 920^2} \text{ mm} = 1552,1 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{A-S_2}}{l_{A-B}} = \frac{l_3}{l_3 - l_6} \Rightarrow l_{A-S_2} = \frac{l_3}{l_3 - l_6} \cdot l_{A-B} = \frac{1450 \text{ mm}}{1450 \text{ mm} - 200 \text{ mm}} \cdot 1552,1 \text{ mm} = 1800,4 \text{ mm}$$

Kippwinkel α_{Kipp}

$$\alpha_{\text{Kipp}} = \arccos \frac{1600 \text{ mm}}{1800,4 \text{ mm}} = 27,3^\circ$$





4 Stahlseil

4.1 Bolzendurchmesser

gegen Flächenpressung :

$$p_{zul} > p = \frac{F}{A} \Rightarrow A_{erf} = \frac{F}{p_{zul}} = \frac{1200 \text{ N}}{60 \text{ N/mm}^2} = 20 \text{ mm}^2$$

$$A = d \cdot s \Rightarrow d_{erf} = \frac{A}{b} = \frac{20 \text{ mm}^2}{8 \text{ mm}} = 2,5 \text{ mm}$$

gegen Scherung

$$\frac{\tau_{aF}}{V} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{2 \cdot S} \Rightarrow$$

$$\tau_{azul} = \frac{\tau_{aF}}{V} = \frac{141 \text{ N/mm}^2}{3} = 47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F_{Smax}}{\tau_{azul}} = \frac{1200 \text{ N}}{47 \text{ N/mm}^2} = 25,5 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d_{erf} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 25,5 \text{ mm}^2}{\pi}} = 5,7 \text{ mm}$$

Maßgeblich ist der größere Durchmesser 5,7 mm

Gewählt: Bolzen ISO 2341 – B – 6x22 mit $d_B = 6 \text{ mm}$

Hinweis 2: Es ist nur der genormte Durchmesser gefordert, nicht die genormte Angabe des ganzen Bolzens.

4.2 Drahtseil

$$S_{Draht} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,5 \text{ mm})^2}{4} = 0,196 \text{ mm}^2$$

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

$$\sigma_{zzul} = \frac{R_m}{V} = \frac{1100 \text{ N/mm}^2}{6} = 183,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F}{\sigma_{zzul}} = \frac{1200 \text{ N}}{183,3 \text{ N/mm}^2} = 6,55 \text{ mm}^2$$

$$n_{erf} = \frac{S_{erf}}{S_{Draht}} = \frac{6,55 \text{ mm}^2}{0,196 \text{ mm}^2} = 33,3 \approx 34$$

Erforderlich sind mindestens 34 Einzeldrähte.



5 Biegemoment

- 5.1 Das maximale Biegemoment kann nur an einem inneren Kräfteinleitungspunkt liegen, also nur an der Stelle B.

$$M_{bB} = F_{G2max} \cdot l_6 = 1050 \text{ N} \cdot 200 \text{ mm} = 210 \text{ Nm}$$

5.2 Rechteckprofil wählen

$R_e = 235 \text{ N/mm}^2$ (aus der Bezeichnung von S235)

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

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

$$\sigma_{bzul} = \frac{\sigma_{bF}}{\nu} = \frac{282 \text{ N/mm}^2}{5} = 56,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{210 \text{ Nm}}{56,4 \text{ N/mm}^2} = 3,72 \text{ cm}^3$$

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} \Rightarrow$$

$$h_{erf} = \sqrt{\frac{6 \cdot W_{erf}}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 3,72 \text{ cm}^3}{10 \text{ mm}}} = 47,3 \text{ mm}$$

Gewählt: Flachstahl EN 10058 – 50 x 10 – S235JR

Hinweis 3: In der Formel für das Widerstandsmoment und in der Bezeichnung von Flachstähen werden die Abkürzungen b und h unterschiedlich verwendet.

6 Sägeblattwelle

- 6.1 Bauteile wie Wellen und Brücken müssen an einem Ort fixiert sein, aber auch Längenänderungen in sich oder z.B. durch Temperaturschwankungen ermöglichen. Festlager sind axial unbeweglich (übertragen Axialkräfte) und fixieren die Teile in axialer Richtung.

Loslager sind axial beweglich (= nehmen keine Axialkräfte auf) und notwendig, damit sich Wellen (Brücken..) unter Wärmeeinfluss o.ä. axial ausdehnen können.

- 6.2 Zylinderrollenlager DIN 5412 (Form N ohne Bord) können in sich keine Axialkräfte übertragen und sind deshalb ausschließlich für Loslager geeignet.

Hinweis 4 (nicht gefragt): Rillenkugellager sind diesbezüglich flexibler, da sie axiale Kräfte übertragen können, aber bei geeigneter Einbaupassung nicht müssen.



- 6.3 Tragzahl C = 29 kN (aus Wälzlagertabelle, Lagerart Reihe NU10, Kennziffer 10)
 Äquivalente Belastung P = 1 · 1925 N + 0 = 1950 N (reine Radiallast)

Hinweis 5: Die nominelle Lebensdauer L_{10h} kann man mit einer ingenieurstypischen Zahlenwertgleichung berechnen: Darin setzt man Werte in vorgegebenen Einheiten ein und rechnet danach mit den Zahlen ohne die Einheiten zu beachten. Die Einheiten, die nicht umgerechnet werden dürfen (!), sind hier mit [eckigen Klammern] gekennzeichnet.

$$L_{10h} = \left(\frac{16666}{n} \right) \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p = \left(\frac{16666}{1450 [\text{min}^{-1}]} \right) \cdot \left(\frac{29 \text{ kN}}{1,925 \text{ kN}} \right)^{\frac{10}{3}} = 97056 [h] > 8000 h \Rightarrow \text{reicht aus!}$$

oder

$$n_{zul} = \left(\frac{16666}{L_{10h}} \right) \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p = \left(\frac{16666}{8000 [h]} \right) \cdot \left(\frac{29 \text{ kN}}{1,925 \text{ kN}} \right)^{\frac{10}{3}} = 17600 [\text{min}^{-1}] > 1450 \text{ min}^{-1} \Rightarrow \text{reicht aus!}$$

oder

$$C_{erf} = P \cdot \sqrt[p]{\frac{L_{10h} \cdot n}{16666}} = 1,925 \text{ kN} \cdot \sqrt[p]{\frac{8000 [h] \cdot 1450 [\text{min}^{-1}]}{16666}} = 13,7 \text{ kN} < 29 \text{ kN} \Rightarrow \text{reicht aus!}$$

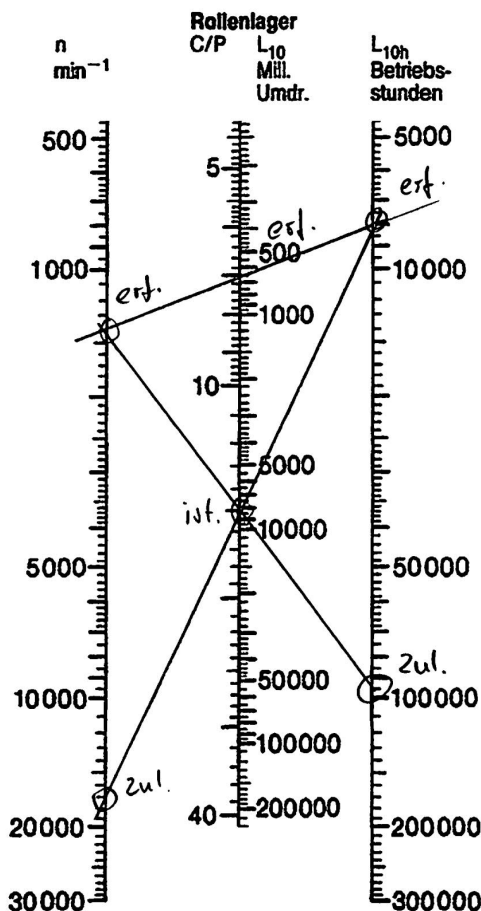
oder

$$\left(\frac{C}{P} \right)_{erf} = \sqrt[p]{\frac{L_{10h} \cdot n}{16666}} = \sqrt[p]{\frac{8000 [h] \cdot 1450 [\text{min}^{-1}]}{16666}} = 7,125 < 15 = \left(\frac{C}{P} \right) = \left(\frac{29 \text{ kN}}{1,925 \text{ kN}} \right) \Rightarrow \text{reicht aus!}$$

oder

$$P = C \cdot \sqrt[p]{\frac{16666}{n \cdot L_{10h}}} = 29 \text{ kN} \cdot \sqrt[p]{\frac{16666}{1450 [\text{min}^{-1}] \cdot 8000 [h]}} = 4,07 \text{ kN} > 1925 \text{ N} = F_R = P_{erf} \Rightarrow \text{reicht aus!}$$

oder eine der Linien in der Leitertafel: Immer liegt der vorhandene oder zulässige Wert über dem erforderlichen.





7 Getriebe

$$7.1 \quad i_1 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{56}{14} = 4$$

$$i_{ges} = i_1 \cdot i_2 \Rightarrow i_2 = \frac{i_{ges}}{i_1} = \frac{15}{4} = 3,75$$

$$i_2 = \frac{z_4}{z_3} \Rightarrow z_4 = 3,75 \cdot z_3$$

Gewählt:

Das kleinere Paar $z_3 = 20$ und $z_4 = 75$: weniger Kosten, Platzbedarf, Gewicht ...
oder

Das größere Paar $z_3 = 24$ und $z_4 = 90$, weil es langsamer verschleißt und geringere Wartungskosten verursacht.

Hinweis 6: Bei solchen Aufgaben kommt es weniger auf die konkrete Entscheidung als mehr auf die passende Begründung an.

$$7.2 \quad i_1 = \frac{n_{zu}}{n_{ab}} \Rightarrow n_B = \frac{n_M}{i_{ges}} = \frac{900 \text{ min}^{-1}}{15} = 60 \text{ min}^{-1} = 1 \text{ s}^{-1}$$

$$v = \pi \cdot n \cdot d \Rightarrow d_{max} = \frac{v_{max}}{\pi \cdot n_B} = \frac{0,4 \text{ m/s}}{\pi \cdot 60 \text{ min}^{-1}} = \frac{0,4 \text{ m/s}}{\pi \cdot 1 \text{ s}^{-1}} = 127 \text{ mm}$$

Gewählt: $d = 120 \text{ mm}$ (mit $d = 130 \text{ mm}$ wird die zulässige Bandgeschwindigkeit überschritten)

$$7.3 \quad \eta_{ges} = \eta_B \cdot \eta_G \cdot \eta_M = 0,7 \cdot 0,92 \cdot 0,9 = 0,5796$$

$$v_B = \pi \cdot n_B \cdot d_{gewählt} = \pi \cdot \frac{1}{s} \cdot 120 \text{ mm} = 377 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$P_B = F_B \cdot v_B = 850 \text{ N} \cdot 0,377 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 320,4 \text{ W}$$

$$\eta_{ges} = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \Rightarrow P_{el} = \frac{P_B}{\eta_{ges}} = \frac{320,4 \text{ W}}{0,5796} = 552,9 \text{ W}$$

oder

$$M_B = \frac{F_B \cdot d}{2} = \frac{850 \text{ N} \cdot 0,120 \text{ m}}{2} = 51 \text{ Nm}$$

$$P_B = 2 \cdot \pi \cdot M_B \cdot n_B = 2 \cdot \pi \cdot 51 \text{ Nm} \cdot 60 \text{ min}^{-1} = 320,4 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \Rightarrow P_{el} = \frac{P_B}{\eta_{ges}} = \frac{320,4 \text{ W}}{0,5796} = 552,9 \text{ W}$$

oder

$$M_B = \frac{F_B \cdot d}{2} = \frac{850 \text{ N} \cdot 0,120 \text{ m}}{2} = 51 \text{ Nm}$$

$$i \cdot \eta = \frac{M_{ab}}{M_{zu}} \Rightarrow M_M = \frac{M_B}{i_{ges} \cdot \eta_B \cdot \eta_G} = \frac{51 \text{ Nm}}{15 \cdot 0,7 \cdot 0,92} = \frac{51 \text{ Nm}}{15 \cdot 0,644} = 5,28 \text{ Nm}$$

$$P_M = 2 \cdot \pi \cdot M_M \cdot n_M = 2 \cdot \pi \cdot 5,28 \text{ Nm} \cdot 900 \text{ min}^{-1} = 497,6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \Rightarrow P_{el} = \frac{P_M}{\eta_M} = \frac{497,6 \text{ W}}{0,9} = 552,9 \text{ W}$$

Hinweis 7: Den Umweg über Motormoment und Motorleistung könnte man sich sparen. Es gibt zwar kein „elektrisches Moment“, aber Mathematik ist manchmal nicht pingelig und liefert trotzdem die richtigen Ergebnisse.