

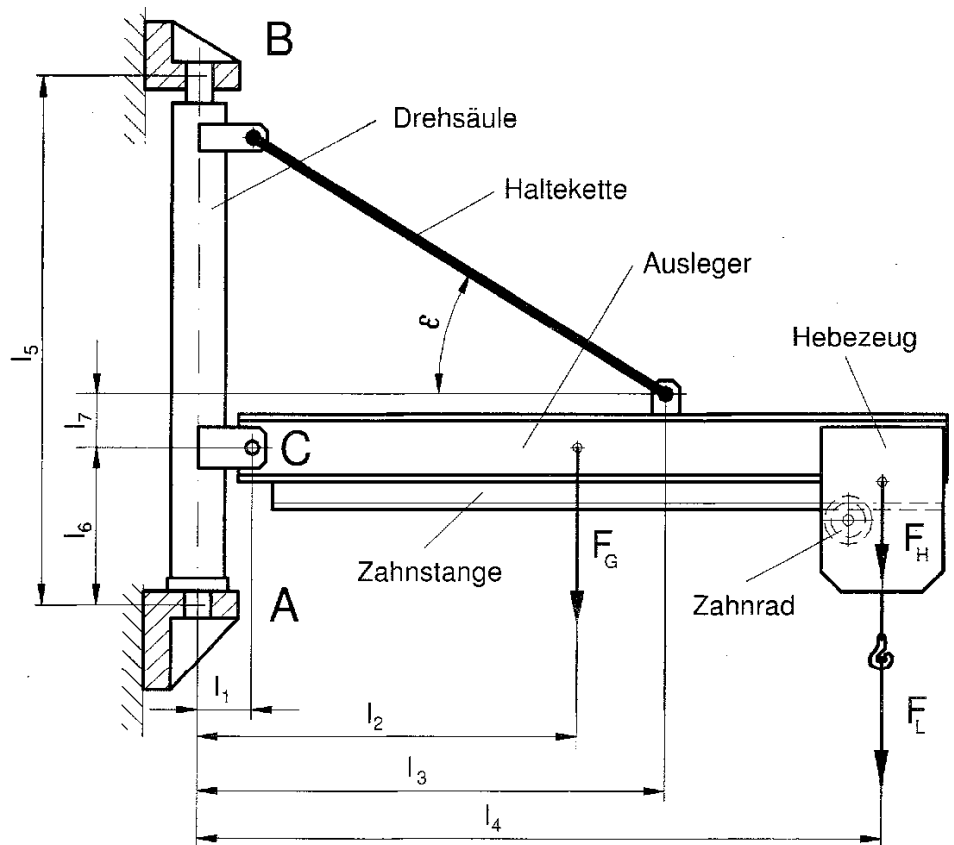


tgt HP 2009/10-1: Waddrehkran

Mit dem Kran können Lasten angehoben, horizontal verfahren und um die Drehachse A-B geschwenkt werden.

Daten:

Last	$F_L =$	5 kN
Hebezeug	$F_H =$	1 kN
Ausleger	$F_G =$	1,5 kN
	$l_1 =$	500 mm
	$l_2 =$	2500 mm
	$l_3 =$	3000 mm
	$l_4 =$	4500 mm
	$l_5 =$	2500 mm
	$l_6 =$	800 mm
	$l_7 =$	250 mm
	$\varepsilon =$	30 °



- 1 Das Lager A und die Haltekette sollen dimensioniert werden.
- 1.1 Bestimmen Sie zeichnerisch die Lagerkraft F_A .
- 1.2 Überprüfen Sie durch Rechnung, welche Beanspruchungsart für die Dimensionierung des Bolzens maßgebend ist.

Punkte

6,0

5,0

Daten:

Bolzenwerkstoff E335

Sicherheit gegen Abscheren

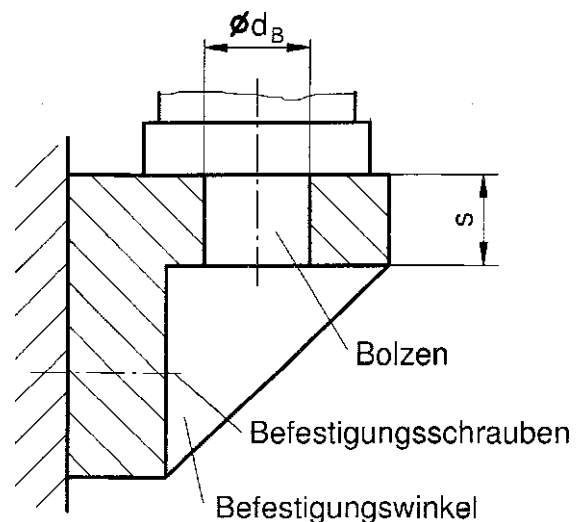
$$v = 4$$

zulässige Flächenpressung

$$p_{zul} = 20 \text{ N/mm}^2$$

Winkelabmessung

$$s = 25 \text{ mm}$$





- 1.3 Berechnen Sie die Kraft F_K in der Haltekette. 3,0
- 1.4 Ermitteln Sie den erforderlichen Durchmesser d_K eines Kettengliedes der Rundstahlkette. 3,0
- Kettenwerkstoff: S275; Sicherheit $v = 4$
- 2 Für den Ausleger wird ein mittelbreiter I-Träger gewählt. Für die Berechnung wird die Länge l_7 vernachlässigt und eine Kettenkraft $F_K = 19$ kN angenommen.
- 2.1 Bestimmen Sie für die gezeigte Position des Hebezeugs den Betrag und die Stelle des maximalen Biegemoments M_{bmax} . 3,5
- 2.2 Ermitteln Sie den erforderlichen Träger für eine zulässige Biegespannung von $\sigma_{bzul} = 55$ N/mm². 2,0
- 3 Eine Schraube des Befestigungswinkels wird mit einer Kraft $F_S = 10$ kN belastet. Bestimmen Sie das erforderliche metrische Gewinde bei einer Festigkeitsklasse 8.8 und einer Sicherheit $v = 3,5$. 3,0
- 4 Das horizontale Verfahren des Hebezeugs erfolgt mit einem Motor über ein Zahnrad und eine Zahnstange am Ausleger. 2,0
- Zahnrad: Zähnezahl $z = 15$
Modul $m = 1,5$ mm
- Bestimmen Sie die Drehzahl n des Antriebmotors bei einer Fahrgeschwindigkeit von $v = 3$ m/min.
- 5 Der Hubmotor hebt die Last F_L in $t = 4$ s um $h = 2,5$ m an. Hierbei entnimmt der Motor dem Stromnetz eine Leistung von 3,9 kW. Der mechanische Wirkungsgrad des Hebezeugs beträgt 89 %. 2,5
- Bestimmen Sie den Wirkungsgrad des Hubmotors.

$\Sigma = 30,0$



Lösungsvorschläge

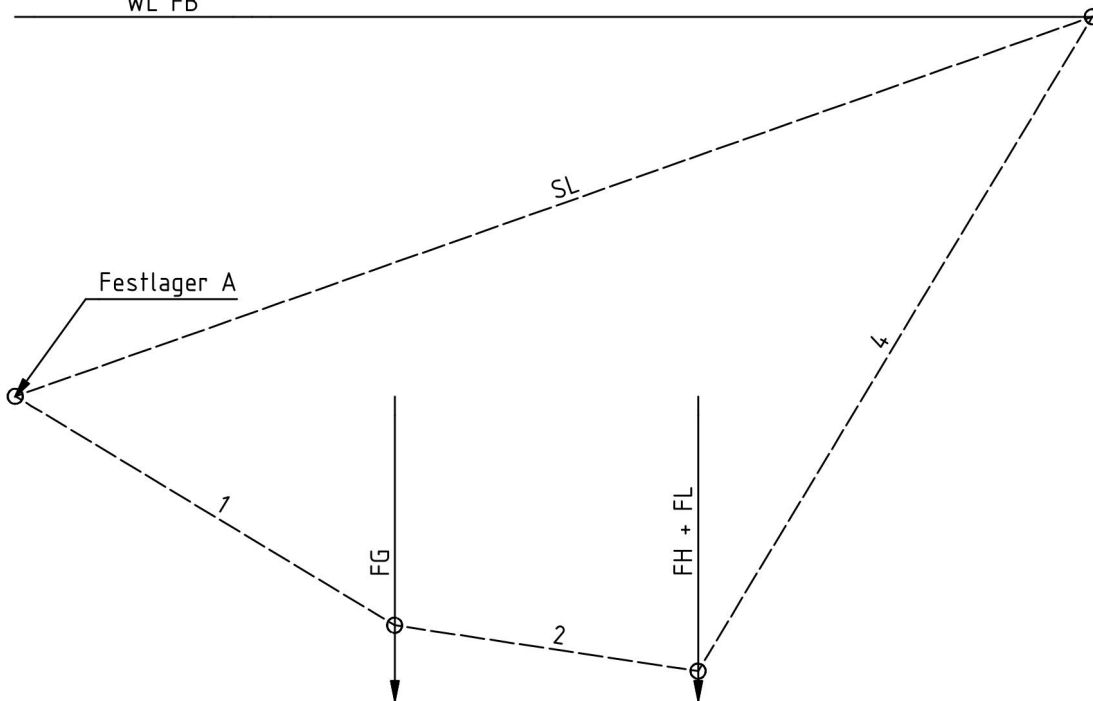
Teilaufgaben:

Punkte

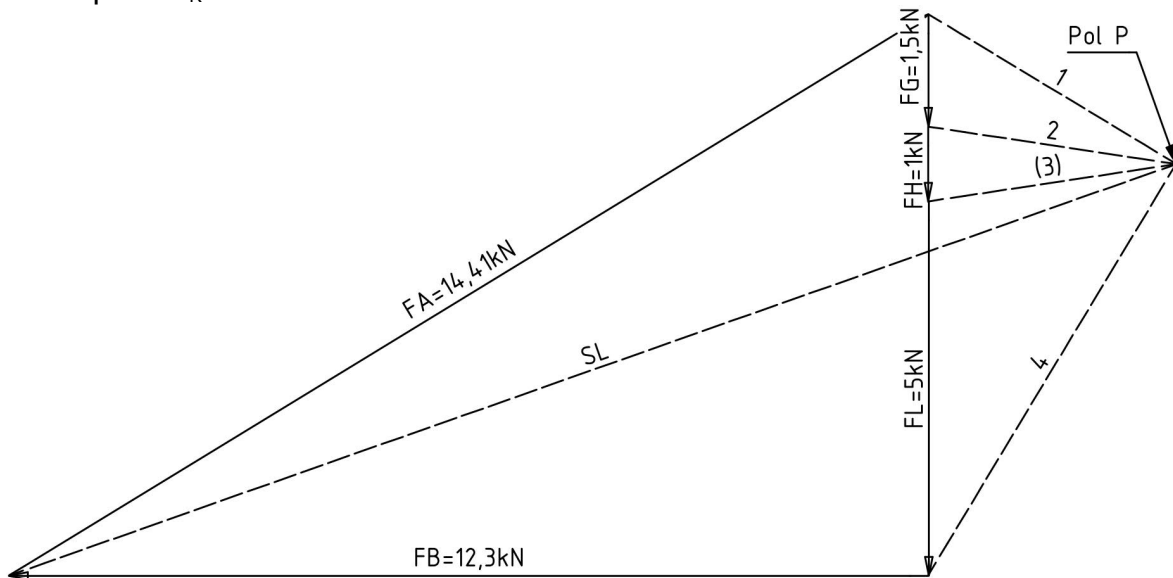
1

1.1 Lageplan Kran einschließlich Drehsäule, $M_L = 1000\text{mm} / 20\text{mm}$

6,0



Kräfteplan $M_k = 1\text{kN} / 10\text{mm}$



Seilstrahl 3 erscheint im Lageplan nicht, weil er zwischen F_H und F_L verläuft, die auf einer Wirklinie liegen. Deshalb ist Polstrahl 3 in Klammern geschrieben, man könnte auch ganz auf ihn verzichten und $F_H + F_L$ als eine Kraft betrachten.



Rechnerische Lösung (nicht gefordert)

$$\Sigma M_A = 0 = F_B \cdot l_5 - F_G \cdot l_2 - (F_H + F_L) \cdot l_4 \Rightarrow$$

$$F_B = \frac{F_G \cdot l_2 + (F_H + F_L) \cdot l_4}{l_5} = \frac{1,5 \text{ kN} \cdot 2500 \text{ mm} + (1 + 5) \text{ kN} \cdot 4500 \text{ mm}}{2500 \text{ mm}} = 12,3 \text{ kN}$$

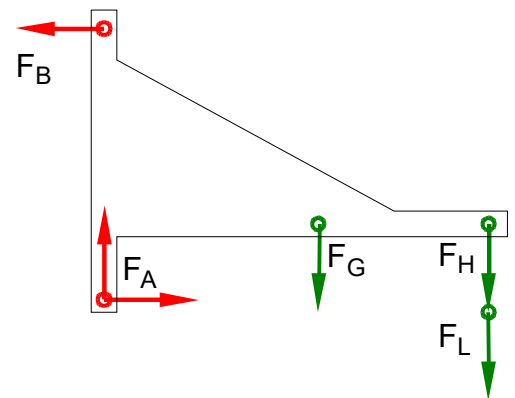
$$\Sigma F_x = 0 = F_{Ax} - F_B \Rightarrow F_{Ax} = F_B = 12,3 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_{Ay} - F_G - F_H - F_L \Rightarrow$$

$$F_{Ay} = + F_G + F_H + F_L = 1,5 \text{ kN} + 1 \text{ kN} + 5 \text{ kN} = 7,5 \text{ kN}$$

$$F_A = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2} = \sqrt{(12,3 \text{ kN})^2 + (7,5 \text{ kN})^2} = 14,4 \text{ kN}$$

$$\alpha_A = \arctan \frac{F_{Ay}}{F_{Ax}} = \arctan \frac{7,5 \text{ kN}}{12,3 \text{ kN}} = 31,4^\circ \text{ nach rechts oben gegen die positive x-Achse}$$



Lageskizze Wanddrehkran

1.2 $F_{Ax} = F_B$ übernimmt man aus der vorigen Aufgabe.

5,0

Gegen Flächenpressung

$$p_{zul} > p = \frac{F_{Ax}}{A} \Rightarrow A_{erf} = \frac{F_{Ax}}{p_{zul}} = \frac{12,3 \text{ kN}}{20 \text{ N/mm}^2} = 615 \text{ mm}^2$$

$$A = s \cdot d_B \Rightarrow d_{Berf} = \frac{A_{erf}}{s} = \frac{615 \text{ mm}^2}{25 \text{ mm}} = 24,6 \text{ mm}$$

Erforderlicher Durchmesser gegen Abscheren

$\tau_{aB} = 470 \text{ N/mm}^2$ (E335 → Tabellenbuch Metall, Europa Verlag, 44. Auflage, S.44)

$$\frac{\tau_{aB}}{\sqrt{v}} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F_{Ax}}{1 \cdot S} \Rightarrow$$

$$\tau_{azul} = \frac{\tau_{aB}}{\sqrt{v}} = \frac{470 \text{ N/mm}^2}{4} = 117,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F_{Ax}}{\tau_{azul}} = \frac{12,3 \text{ kN}}{117,5 \text{ N/mm}^2} = 104,7 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot d_B^2 \Rightarrow d_{Berf} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 104,7 \text{ mm}^2}{\pi}} = 11,6 \text{ mm}$$

Maßgeblich ist der größere der errechneten Durchmesser $d_B = 24,6 \text{ mm}$.

Flächenpressung und Scherfestigkeit (BolzenØ)

1.3 Lageskizze Ausleger

3,0

$$F_{Kx} = F_K \cdot \cos \epsilon$$

$$F_{Ky} = F_K \cdot \sin \epsilon$$

$$\Sigma M_C = 0 = -F_G \cdot (l_2 - l_1) - (F_H + F_L) \cdot (l_4 - l_1) + F_K \cdot \cos \epsilon \cdot l_7 + F_K \cdot \sin \epsilon \cdot (l_3 - l_1) \Rightarrow$$

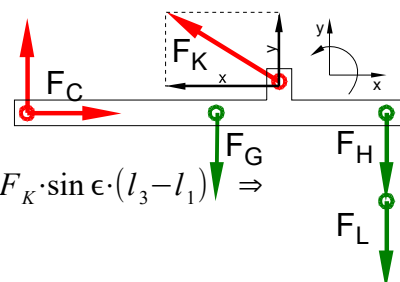
$$F_K = \frac{F_G \cdot (l_2 - l_1) + (F_H + F_L) \cdot (l_4 - l_1)}{\cos \epsilon \cdot l_7 + \sin \epsilon \cdot (l_3 - l_1)}$$

$$= \frac{1,5 \text{ kN} \cdot (2500 - 500) \text{ mm} + (1 + 5) \text{ kN} \cdot (4500 - 500) \text{ mm}}{\cos 30^\circ \cdot 250 \text{ mm} + \sin 30^\circ \cdot (3000 - 500) \text{ mm}} = 18,41 \text{ kN}$$

Zur Lösung nicht erforderlich

$$\Sigma F_y = 0 = + F_{Cy} + F_{Ky} - F_G - (F_H + F_L) \Rightarrow$$

$$F_{Cy} = -F_K \cdot \sin \epsilon + F_G + F_H + F_L = -18,41 \text{ kN} \cdot \sin 30^\circ + (1 + 1,5 + 5) \text{ kN} = -1,706 \text{ N}$$





- 1.4 Bei Rundstahlgliederketten verteilt sich die Zuglast gleichmäßig auf die beiden Querschnitte S eines Kettengliedes. Erfahrungsgemäß genügt diese Auslegung auch für die Kraftübertragung auf die nächsten Kettenglieder

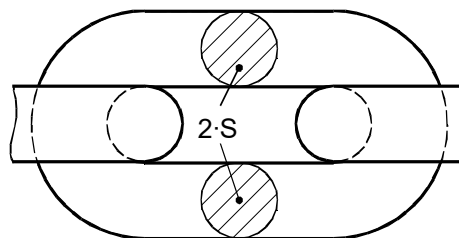
3,0

$$\frac{R_e}{\sqrt{v}} = \sigma_{zzul} > \sigma_z = \frac{F_K}{2 \cdot S} \Rightarrow$$

$$\sigma_{zzul} = \frac{R_e}{\sqrt{v}} = \frac{275 \text{ N/mm}^2}{4} = 68,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S = \frac{F_K}{2 \cdot \sigma_{zzul}} = \frac{18,4 \text{ kN}}{2 \cdot 68,75 \text{ N/mm}^2} = 133,9 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot d_K^2 \Rightarrow d_K = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 133,9 \text{ mm}^2}{\pi}} = 13,1 \text{ mm}$$



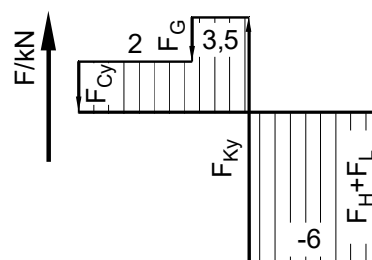
Gewählt: $d = 14 \text{ mm}$ (der nächstgrößere Durchmesser für Rundstahl laut TabB)
Zugfestigkeit (Rundstahlkette)

2

- 2.1 Im Querkraftverlauf ist der einzige Nulldurchgang bei Angriffspunkt von F_K , also liegt dort M_{bmax} . ($F_{Cy} = 2 \text{ kN}$ ergibt sich aus den Vorgaben)

Biegemoment an der Stelle von F_K :

$$M_K(\text{rechts}) = |-(F_H + F_L) \cdot (l_4 - l_3)| \\ = (1 + 5) \text{ kN} \cdot (4500 - 3000) \text{ mm} = 9 \text{ kNm}$$



Querkraftverlauf am Ausleger

3,5

Ohne Querkraftverlauf muss man M_{bmax} an allen inneren Kräfteinleitungspunkt suchen, also dort, wo F_G oder F_K angreifen.

Berechnung unter den Annahmen der Aufgabe ($F_K = 19 \text{ kN}$, l_7 vernachlässigen)

$$F_{Ky} = F_K \cdot \sin \epsilon = 19 \text{ kN} \cdot \sin 30^\circ = 9,50 \text{ kN}$$

Biegemoment an der Stelle F_G :

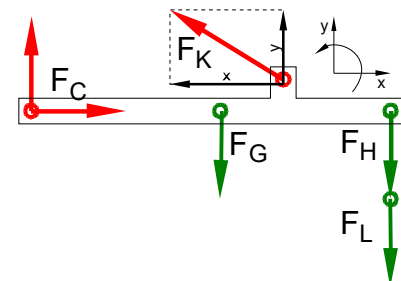
$$M_G(\text{rechts}) = |-(F_H + F_L) \cdot (l_4 - l_2) + F_{Ky} \cdot (l_3 - l_2)| \\ = (1 + 5) \text{ kN} \cdot (4500 - 2500) \text{ mm} - 19 \text{ kN} \cdot \sin 30^\circ \cdot (3000 - 2500) \text{ mm} = 7,25 \text{ kNm}$$

Mit F_{Cy} kann man das Biegemoment auch von links berechnen:

$$\sum F_y = 0 = F_{Cy} - F_G + F_{Ky} - F_H - F_L \Rightarrow$$

$$F_{Cy} = F_G - F_K \cdot \sin \epsilon + F_H + F_L = 1,5 \text{ kN} - 19 \text{ kN} \cdot \sin 30^\circ + 1 \text{ kN} + 5 \text{ kN} = -2 \text{ kN}$$

$$M_G(\text{links}) = |-F_{Cy} \cdot (l_3 - l_1)| = |(-2 \text{ kN}) \cdot (3000 - 500) \text{ mm}| = 5 \text{ kNm}$$



Lageskizze Ausleger

Für die Auslegung des Trägers wird das Biegemoment mit dem größten Betrag zugrunde gelegt: $M_{bmax} = 9 \text{ kNm}$ bei F_K .

Die errechneten Biegemomente M_G von rechts und links müssten sich aufheben ($\sum M = 0$), tun es aber nicht, weil das System mit den beiden Vorgaben der Aufgabe nicht im Gleichgewicht ist. Berechnet man die Biegemomente mit den korrekten Werten ($F_K = 18,41 \text{ kN}$, $F_{Cy} = -1,706 \text{ kN}$) und berücksichtigt l_7 , gilt $\sum M = 0$ auch hier:

$$M_G(\text{links}) = -F_{Cy} \cdot (l_3 - l_1) = -(-1,706 \text{ kN}) \cdot (2500 - 500) \text{ mm} = +3,41 \text{ kNm}$$

$$M_G(\text{rechts}) = -(F_H + F_L) \cdot (l_4 - l_2) + F_{Ky} \cdot (l_3 - l_2) + F_{Kx} \cdot l_7 \\ = -(1 + 5) \text{ kN} \cdot (4500 - 2500) \text{ mm} + 18,41 \text{ kN} \cdot \sin 30^\circ \cdot (3000 - 2500) \text{ mm} + 18,41 \text{ kN} \cdot \cos 30^\circ \cdot 250 \text{ mm} \\ = -3,41 \text{ kNm}$$

bzw.

$$M_K(\text{rechts}) = -(F_H + F_L) \cdot (l_4 - l_3) = -(1 + 5) \text{ kN} \cdot (4500 - 3000) \text{ mm} = -9,0 \text{ kNm}$$

$$M_K(\text{links}) = -F_{Cy} \cdot (l_3 - l_1) + F_G \cdot (l_3 - l_2) + F_{Kx} \cdot l_7$$

$$= -(-1,706 \text{ kN}) \cdot (3000 - 500) \text{ mm} + 1,5 \text{ kN} \cdot (3000 - 2500) \text{ mm} + 18,41 \text{ kN} \cdot \cos 30^\circ \cdot 250 \text{ mm} = 9,0 \text{ kNm}$$

Biegemoment ermitteln (statisch nicht im Gleichgewicht)



2.2 Gewählt: IPE 200 mit $W_x = 194 \text{ cm}^3$

$$\frac{\sigma_{bF}}{V} = \sigma_{bzul} > \sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W} \Rightarrow W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{9 \text{ kNm}}{55 \text{ N/mm}^2} = 163,6 \text{ cm}^3$$

2,0

3 Mit F_S ist eine Zugkraft in der Schraube gemeint. Die Festigkeitsklasse 8.8 gibt die Kennwerte des Schraubenwerkstoffes an, siehe Tabellenbuch oder:

3,0

$$R_m = 8 \cdot 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$R_e = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kriterium für die Auswahl des Gewindes ist sein Spannungsquerschnitt S:

$$\frac{R_e}{V} = \sigma_{zzul} > \sigma_z = \frac{F_S}{S} \Rightarrow$$

$$\sigma_{bzul} = \frac{R_e}{V} = \frac{640 \text{ N/mm}^2}{3,5} = 182,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F_S}{\sigma_{bzul}} = \frac{10 \text{ kN}}{182,8 \text{ N/mm}^2} = 54,7 \text{ mm}^2$$

Gewählt: Gewinde M10 mit $S = 58 \text{ mm}^2$

4 Der Modul m eines Zahnrades ist sein Zahnabstand bezogen auf den Teilkreisdurchmesser d_{Tr} . Daraus erhält man den Teilkreisumfang U_{Tr} , der für die Fahrgeschwindigkeit maßgeblich ist:

2,0

$$m = \frac{d_{Tr}}{z} \Rightarrow d_{Tr} = z \cdot m = 15 \cdot 1,5 \text{ mm} = 22,5 \text{ mm}$$

$$U = \pi \cdot d_{Tr} = \pi \cdot 22,5 \text{ mm} = 70,7 \text{ mm}$$

$$v = \frac{s}{t} = U \cdot n \Rightarrow n_M = \frac{v}{U_{Tr}} = \frac{3 \text{ m/min}}{70,7 \text{ mm}} = 42,4 \text{ min}^{-1} = 0,71 \text{ s}^{-1}$$

Zahnradmodul (Teilkreisumfang)

$$5 \quad P_{ab} = \frac{F_L \cdot h}{t} = \frac{5 \text{ kN} \cdot 2,5 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 3,125 \text{ kW}$$

2,5

$$\eta_{ges} = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{3,125 \text{ kW}}{3,9 \text{ kW}} = 0,801$$

$$\eta_{ges} = \eta_M \cdot 89\% \Rightarrow \eta_M = \frac{\eta_G}{0,89} = \frac{0,801}{0,89} = 0,90$$

30,0