

## Lösung Schraubenaufgabe:

a) Erforderliche Klemmkraft  $F_{K\text{ ges}}$  je Schraube

$$F_{K\text{ ges}} = \frac{2M}{n \cdot \mu \cdot d_L}$$

$$F_{K\text{ ges}} = \frac{2 \cdot 2300 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{12 \cdot 0,1 \cdot 130 \text{ mm}} = 29487 \text{ N}$$

b) Erforderlicher Spannungsquerschnitt  $A_S$  und Schraubendurchmesser  $d$

$$A_S \geq \frac{\alpha_A \cdot F_{K\text{ ges}}}{\nu \cdot R_{eH}}$$

$$A_S \geq \frac{1,6 \cdot 29487 \text{ N}}{0,6 \cdot 1080 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 72,8 \text{ mm}^2$$

$$(d_{1,5} \geq \sqrt{((\alpha_A \cdot F_{K\text{ ges}}) / (\nu \cdot R_{eH}))}) = 9,628 \text{ mm}$$

$$\alpha_A = 1,6$$

$$R_{eH} = 12 \cdot 9 \cdot 10 = 1080 \text{ N/mm}^2 \text{ (Aus Festigkeitsklasse 12,9)}$$

$$\nu = 0,6$$

Nach Tabelle wird das Gewinde M12 gewählt mit

$$A_S = 84,3 \text{ mm}^2 \gg A_S = 72,8 \text{ mm}^2.$$

c) Nachgiebigkeit  $\delta$  s der Schraube

$$l_1 = 15 \text{ mm}$$

$$l_2 = 5 \text{ mm}$$

$$d_s = 9,853 \text{ mm}$$

$$A_N = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 113 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} = 76,2 \text{ mm}^2$$

$$\delta_1 = \frac{l_1}{E \cdot A_N} = \frac{15 \text{ mm} \cdot 4}{2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2} = 6,316 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$\delta_2 = \frac{l_2}{E \cdot A_s} = \frac{5 \text{ mm} \cdot 4}{2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \pi \cdot (9,853 \text{ mm})^2} = 3,123 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$\delta_G = \frac{0,5 \cdot d}{E \cdot A_s} = \frac{0,5 \cdot 12 \text{ mm} \cdot 4}{2,1 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \pi \cdot (9,853 \text{ mm})^2} = 3,747 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$\delta_M = \delta_{SK} = \frac{0,4 \cdot d}{E \cdot A_N} = \frac{0,4 \cdot 12 \text{ mm} \cdot 4}{2,1 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2} = 2,021 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$\delta_S = \delta_1 + \delta_2 + \delta_{SK} + \delta_{GM} \quad (\delta_{GM} = \delta_G + \delta_M)$$

Für Sechskantschraube:

$$\delta_{SK} = \frac{0,5 \cdot d}{E \cdot A_N} = 2,526 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$\delta_S = \delta_1 + \delta_2 + \delta_{SK} + \delta_{GM}$$

$$= (6,316 \cdot 10^{-7} + 3,123 \cdot 10^{-7} + 2,526 \cdot 10^{-7} + 3,747 \cdot 10^{-7} + 2,021 \cdot 10^{-7}) \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$= 1,7733 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

d) Nachgiebigkeit  $\delta_p$  der verspannten Teile

$$\delta_p = \frac{t_K}{A_{ers} E} = \frac{20 \text{ mm}}{259 \text{ mm}^2 \cdot 21 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$\delta_p = 0,368 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

e) Kraftverhältnis  $\Phi$

Für Sechskantschraube:

$$\Phi = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_S} = \frac{0,368 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}}{(0,368 + 1,7733) \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}} = 0,171$$

f) Setzkraft  $F_Z$

Für Sechskantschraube:

$$F_Z = f_Z \frac{\Phi}{\delta_p} = 0,004 \text{ mm} \cdot \frac{0,171}{0,368 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}} = 1858,696 \text{ N}$$

g) Montagevorspannkraft  $F_M$

Für Sechskantschraube:

$$F_M = \alpha_A [F_{Kges} + F_Z + (1 - n\Phi)F_A] \quad \text{Beachte: } F_A = 0!$$

$$F_M = 1,6 \cdot (29487N + 1858,696N) = 50153,114 N$$

$$F_S = F_M + n\Phi F_A \text{ mit } F_A = 0 \text{ wird daraus } F_S = F_M = 50153,114 N$$

## h) Erforderliches Anziehdrehmoment $T_{An}$

Für Sechskantschraube:

$$T_{An} = F_M \left[ \frac{d_2}{2} \tan(\alpha + \varphi') + \mu \cdot \frac{d_w}{2} \right]$$

$$T_{An} = 50153,114 N \left[ \frac{10,863mm}{2} \cdot \tan(2,94^\circ + 9^\circ) + 0,1 \cdot \frac{19 mm}{2} \right]$$

$$T_{An} = 105249,191 Nmm$$

## i) Spannungen

Für Sechskantschraube:

Montagevorspannung

$$\sigma_M = \frac{F_M}{A_S} = \frac{50153,114N}{84,3mm^2} = 594,936 \frac{N}{mm^2}$$

Torsionsspannung

$$T_{Gew} = F_S \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\alpha + \varphi') = 50153,114N \cdot \frac{10,863mm}{2} \cdot \tan(2,94^\circ + 9^\circ)$$

$$T_{Gew} = 57603,733Nmm$$

$$W_{ts} = \frac{\pi}{16} \cdot \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \right)^3 = \frac{\pi}{16} \cdot \left( \frac{10,863mm + 9,853mm}{2} \right)^3 = 218,2mm^3$$

$$\tau_t = \frac{T_{Gew}}{W_{ts}} = 263,995 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Vergleichsspannung } \sigma_V = \sqrt{\sigma_M^2 + 3\tau_t^2} = 750,353 \frac{N}{mm^2} < \frac{R_{eH}}{1,1} = 982 \frac{N}{mm^2}$$

Die Rechnung zeigt, dass unter den gegebenen Bedingungen die gewählte Schraube M12 beibehalten werden kann.

# Musterlösung Flechtlager

$$a) \quad \bar{p} = \frac{F}{b \cdot D} \quad \psi = \frac{R - r}{R} = 0,005$$
$$\Rightarrow R = \frac{r \xrightarrow{\frac{d}{2}}}{1 - \psi} = \frac{20 \text{ mm}}{1 - 0,005}$$

$$R = 20,1 \text{ mm} \Rightarrow D = 40,2 \text{ mm}$$

$$\bar{p} = \frac{20 \cdot 10^3 \text{ N}}{50 \text{ mm} \cdot 40,2 \text{ mm}} = \underline{\underline{9,95 \text{ MPa}}} < p_{\text{zul}}$$

$\Rightarrow OK$

$$b) \quad \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \frac{2\pi \cdot 2400 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \underline{\underline{251,3 \frac{1}{\text{s}}}}$$

$$u = \omega \cdot \frac{d}{2} = 251,3 \frac{1}{\text{s}} \cdot \frac{40 \text{ mm}}{2} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{mm}}$$

$$\underline{\underline{u = 5,026 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

$$S_0 = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{9,95 \text{ MPa} \cdot 0,005^2}{0,665 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \cdot 251,3 \frac{1}{\text{s}}}$$

$$\underline{\underline{S_0 = 1,49}} \quad (\text{Beachte } 1 \text{ m}^2 = 10^6 \text{ mm}^2)$$

$$E = \frac{e}{R - r} \quad \text{bzw. Diagramm}$$

mit  $\frac{b}{d} = \frac{50 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 1,25$

$$\underline{\underline{E = 0,6}}$$

$$\mu = \psi \sqrt{\frac{3}{S_0}} \quad \text{für } S_0 \geq 1 \quad (2)$$

$$\mu = 0,005 \cdot \sqrt{\frac{3}{1,49}} = \underline{\underline{0,012}}$$

$$P_V = \mu \cdot F \cdot U = 0,012 \cdot 20 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 5,026 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_V = 1206 \text{ N} \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{1206 \text{ W}}}$$

$$h_0 = r \cdot \psi (1 - \varepsilon) = 20 \text{ mm} \cdot 0,005 \cdot (1 - 0,6)$$

$$\underline{\underline{h_0 = 0,04 \text{ mm}}}$$

$$c) \quad S_{0w\ddot{u}} = 10 \quad w\ddot{u} = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot S_{0w\ddot{u}}}$$

$$w\ddot{u} = \frac{9,95 \text{ MPa} \cdot 0,005^2}{0,665 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \cdot 10} = \underline{\underline{37,4 \frac{1}{\text{s}}}}$$

$$\frac{\omega}{w\ddot{u}} = \frac{251,3 \frac{1}{\text{s}}}{37,4 \frac{1}{\text{s}}} = \underline{\underline{6,7 > 3 \quad \text{OK}}}$$

$$d) \quad \dot{Q}_K = \frac{P_V}{C_{0e} \cdot S_{0e} (\vartheta_2 - \vartheta_1)} = \frac{1206 \text{ N} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1650 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 20 \text{ K}}$$

$$\dot{Q}_K = 3,846 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{mit } [W] = \left[ \frac{\text{J}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{Q}_{\text{spalt}} = \varphi \cdot h_0 \cdot h \cdot \frac{u}{2} = 1,5 \cdot 0,04 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm} \cdot \frac{1}{2} \cdot 5,026 \quad (3)$$

$$\varphi = 1,5$$

$$\dot{Q}_{\text{spalt}} = 7,539 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$


---

Ölbildung reicht nicht aus!

$$\alpha \cdot A \cdot \Delta T_{\text{Luft}} = P_V - \dot{Q}_{\text{spalt}} \cdot c_{\text{öl}} \cdot \rho_{\text{öl}} \cdot A \cdot T_{\text{öl}}$$

$$A = \frac{1}{\alpha \cdot \Delta T_{\text{Luft}}} (P_V - \dot{Q}_{\text{spalt}} \cdot c_{\text{öl}} \cdot \rho_{\text{öl}} \cdot A \cdot T_{\text{öl}})$$

$$A = \frac{1}{30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot (90\text{K} - 20\text{K})} \left( 1206\text{W} - 7,539 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1650 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 20\text{K} \right)$$

$$\underline{\underline{A = 0,46 \text{ m}^2}}$$