



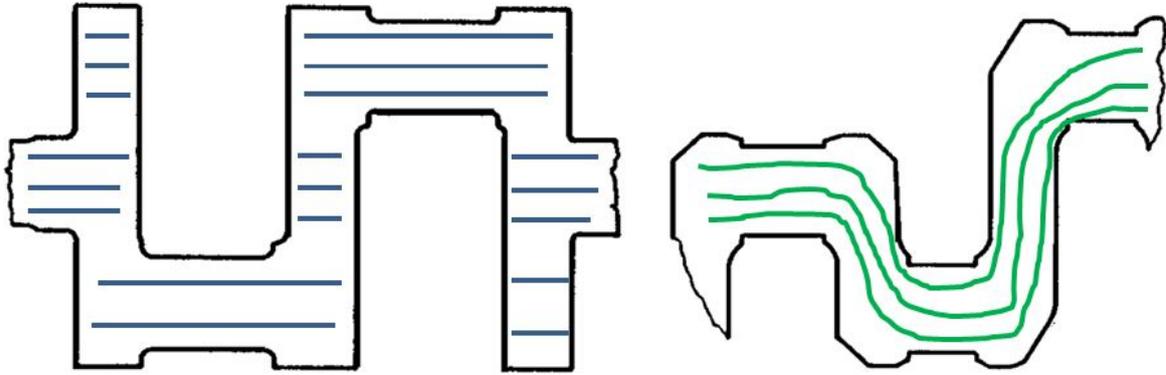
TU Clausthal



Lösungen zur Klausur
Maschinen- bzw. Konstruktionselemente
SS 13
Prof. Dr.-Ing. Lohrengel

Musterlösung Fragenteil SS 13

- 1) Die Fertigung der Kurbelwelle kann spanend (aus dem Vollen) oder geschmiedet erfolgen. Zeichnen Sie in die beiden Abbildungen den Faserverlauf ein. Welches Verfahren ist hinsichtlich Festigkeit zu bevorzugen? Worauf beruht diese Festigkeitssteigerung?



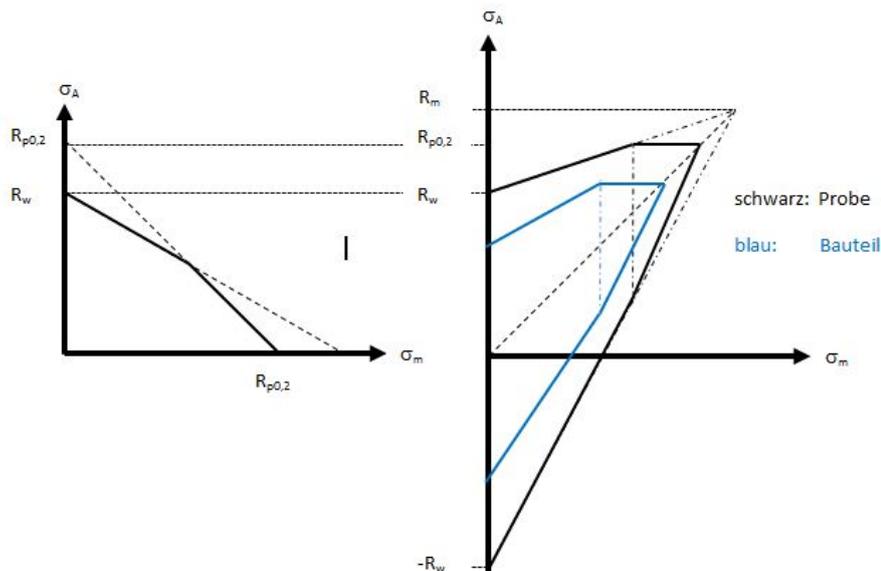
Spanende Bearbeitung

Geschmiedete Bearbeitung

Festigkeit ist bei geschmiedeten Bauteilen (bis zu 20%) höher.
Faserverlauf folgt der Gestalt. Faserverlauf entspricht Kraftfluss

Beide Verläufe
Festigkeitssteigerung bei geschmiedeten Bauteilen,
Faserverlauf folgt der Gestalt

- 2) In der folgenden Abbildung ist für die Probe eines Stahlwerkstoffes die Dauerfestigkeit nach Haigh gegeben. Übertragen Sie die Dauerfestigkeit in das Smith-Diagramm. Wie würde qualitativ (schematisch) der Verlauf für den Bauteil aus demselben Stahlwerkstoff aussehen? Nennen Sie hierzu drei Einflussgrößen?



- Einflüsse: - Größe
- Oberfläche
- Härtung
- Eigenspannungen

- 3) Ordnen Sie den unten angegebenen Passungswerten die jeweils richtige Anwendung zu und nennen Sie die entsprechende Passungsart (Spiel-, Übergang- oder Übermaßpassung).

Zum Auswählen: **H7/r6, D10/h9 und H7/j6**

	Passungsart	Passungswert
Zentrierung des Deckels mit Schiebesitz	Übergangspassung	H7/j6
Schiebemuffe auf Führungsachse	Spielpassung	D10/h9
Auf Welle gepresster Anschlagring	Übermaßpassung	H7/r6

- 4) Geben Sie die Gesamtfedersteifigkeit von der folgenden Abbildung an!
Die Federsteifigkeit der einzelnen Feder beträgt $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$.

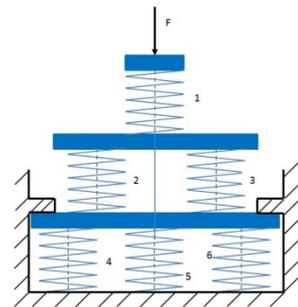
Parallelschaltung: $R_{P_{2-3}} = R_2 + R_3 = R + R = 2R$

$R_{P_{4-5-6}} = R_4 + R_5 + R_6 = R + R + R = 3R$

Reihenschaltung:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{P_{2-3}}} + \frac{1}{R_{P_{4-5-6}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{3R} = \frac{6+3+2}{6R} = \frac{11}{6R}$$

$$R_{ges} = \frac{6}{11} R$$



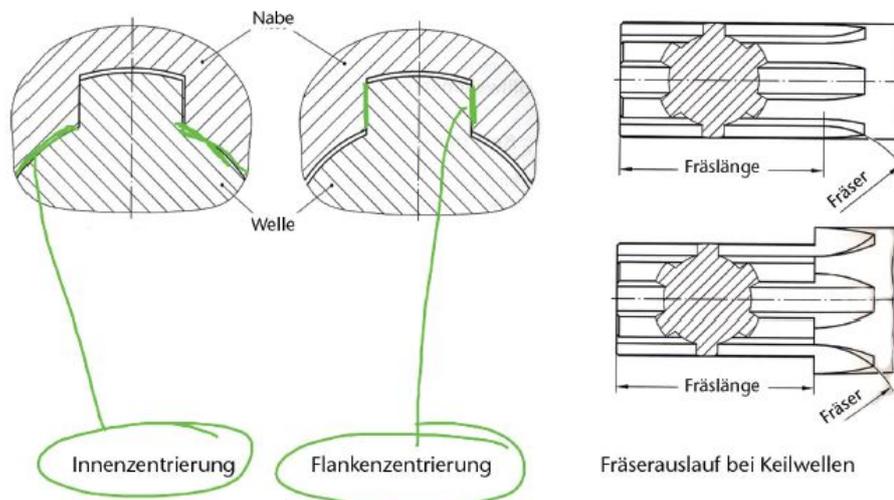
- 5) Welche Arten der Zentrierung bei einer Keilwellenverbindung kennen Sie? Erläutern Sie diese anhand einer Skizze.

Innen- und Flankenzenrtierung
Dazugehörige Skizze (siehe Quelle)

Keilwellenverbindungen

DIN 5461 bis 5464 für normalen Maschinenbau (6 bis 20 Keile)

DIN 5471 bis 5472 für Werkzeugmaschinen (4 und 6 Keile)

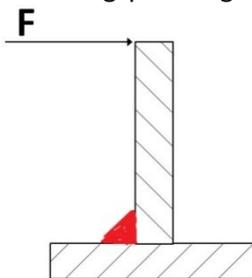


Fräserauslauf bei Keilwellen

- 6) Wählen Sie jeweils ein geeignetes Bauteil für die angeführten Werkstoffe
Zur Auswahl stehen: **Welle** , **O-Ring**, **Gehäuse**, **Wälzlager**

Werkstoff	Bauteil
GGG-40	Gehäuse
C45	Welle
100Cr6	Wälzlager
Nitrilkautschuk	O-Ring

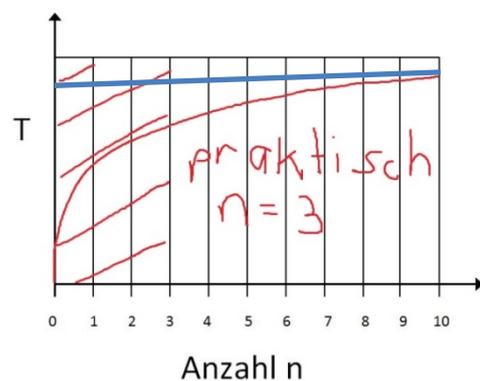
- 7) Nennen Sie zwei Regeln zur Gestaltung von Schweißkonstruktionen!
Die beiden Bleche in der Zeichnung sind durch eine einseitige Kehlnaht so zu verschweißen, dass keine Zugspannungen in der Schweißwurzel auftreten.



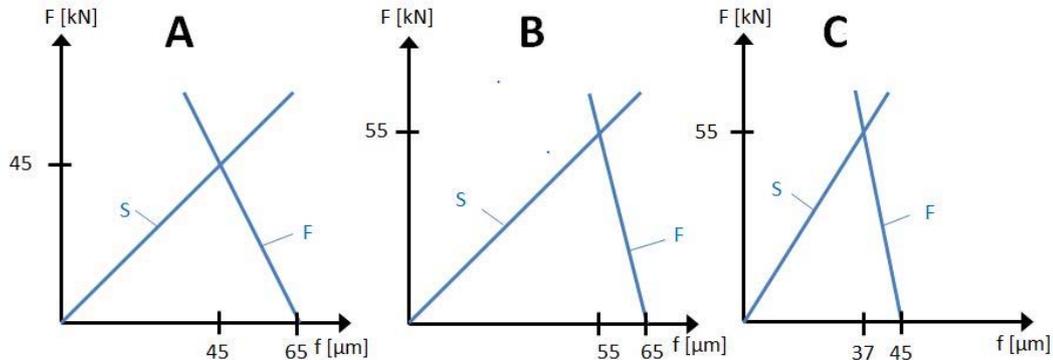
- keine Nachbildung einer Gusskonstruktion
- einfache Schnitte
- Material sparen
- schon bei der Konstruktion auf Schweißvorgang achten
- Nahtvorbereitung vermeiden □
- Schweißnähte durch Profilmaterial ersetzen
- Anpassung vermeiden
- konstruktive Kerben vermeiden
- keine langen Nähte
- Schweißnähte zugänglich anordnen
- möglichst gleiche Blechdicke
- Nahtbearbeitung vermeiden
- Nahtwurzel gut ausfüllen

- 8) Nennen Sie zwei Vorteile der Fettschmierung in Wälzlagern!
- Lebensdauerschmierung bzw. lange Schmierfristen möglich (Depotwirkung)
 - Fett bewirkt Abdichtung der Lagerstelle gegen Verunreinigungen / Feuchtigkeit (Dichtwirkung)
 - geringer Dichtungsaufwand
 - geringer Wartungsaufwand

- 9) Ein Drehmoment soll über Ringspannelemente übertragen werden. Tragen Sie im untenstehenden Diagramm das übertragbare Gesamtdrehmoment T über der Anzahl n der Ringspannelemente auf. Die Axialkraft auf das erste Ringspannelement soll unabhängig von n sein. Wieviele Ringspannelemente sind praktisch nutzbar?



10) Gegeben sind die in der Abbildung unten gezeigten Verspannungsdiagramme von Verbindungen zwischen Schraube (S) und Flansch (F) im Montagezustand nach dem Setzen. Vergleichen Sie diese und kreuzen Sie Zutreffendes an! Mehrfachnennungen sind möglich.



Schraubenverbindung

	A	B	C
Die größte Schraubensteifigkeit hat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Die größte Flanschnachgiebigkeit hat	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei gleicher Betriebskraft ist die zusätzliche Dehnung der Schraube am geringsten in	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Die größte Vorspannkraft liegt an in	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bei gleicher Betriebskraft ist die Schraubenzusatzkraft am geringsten in	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11) Passfederverbindungen werden zur Drehmomentenübertragung verwendet.

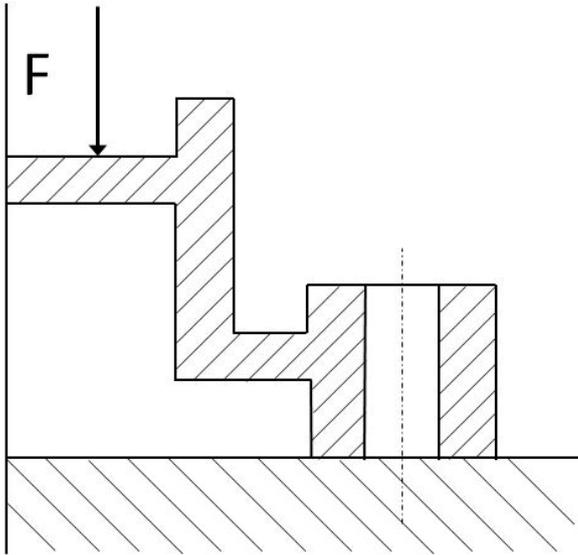
Wie verhält sich das übertragende Drehmoment wenn statt einer Passfeder zwei Passfedern eingesetzt werden? Kreuzen Sie an!

- geringer
- größer, aber kleiner als doppelt so groß
- doppelt so groß
- mehr als doppelt so groß

Eine Passfeder nach DIN 6885 soll ausgelegt werden (Welle und Nabe aus Stahl). Kreuzen Sie an, welches Kriterium dafür herangezogen wird!

- Zulässige Flächenpressung zwischen Welle und Passfeder
- Zulässige Flächenpressung zwischen Nabe und Passfeder
- Scherbeanspruchung der Passfeder
- Zulässige plastische Verformung der Passfeder

12) Führen Sie folgende Detaillösung gussgerecht unter Einhaltung der Hauptgeometrie durch!



Kriterien:

Aushebeschräge

Gussradien

Keine Hinterschnidungen

Keine schroffen Wandstärkenveränderungen

Keine Materialanhäufungen

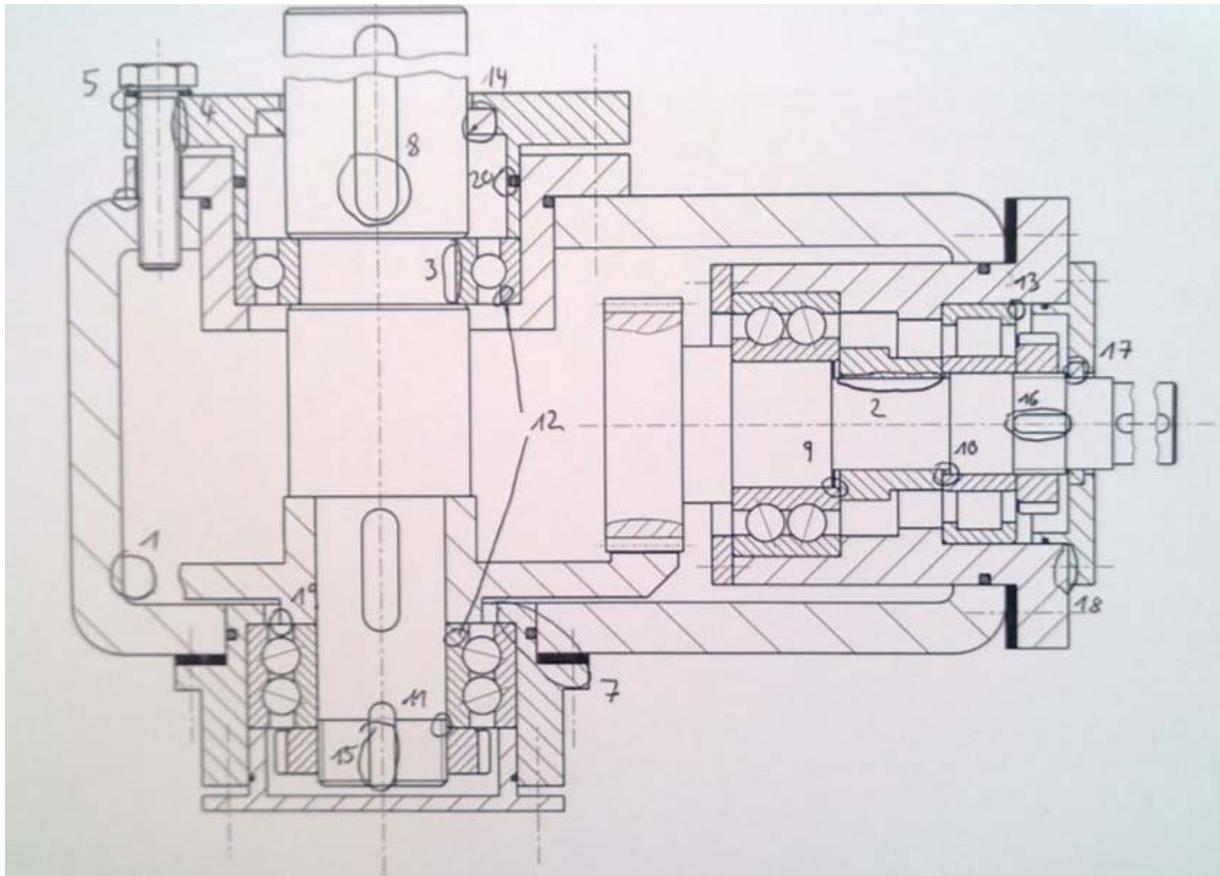
Waagerechte Oberflächen meiden

Funktionsfläche Geometrie erhalten

Funktionsfläche Lasten erhalten

Fehlersuchaufgabe:

Die Zeichnung zeigt einen Schnitt durch ein Getriebe. Die Darstellung enthält 10 Funktions- und Konstruktionsfehler. Kennzeichnen und erläutern Sie die Fehler in Stichworten!



Fehler:

- 1) Bauraum zu klein
- 2) nicht montierbar
- 3) nicht montierbar
- 4) keine Durchgangsbohrung
- 5) Dichtung unnötig
- 6) Dichtung fehlt
- 7) nicht montierbar
- 8) Passfeder unnötig lang
- 9) Lager liegt nicht ganz auf
- 10) Lager liegt nicht ganz auf
- 11) Lager auf Gewinde
- 12) Zweimal Festlager
- 13) nicht fixiert
- 14) falsch gezeichnet
- 15) geschraubt, Passfeder unnötig
- 16) geschraubt, Passfeder unnötig
- 17) falsch gezeichnet
- 18) Dichtung fehlt
- 19) zu breit für Lager
- 20) Wandstärke zu schwach

Musterlösung Aufgabe 1:

- a) Berechnen Sie die zur sicheren Übertragung des Torsionsmoments M_t erforderliche Mindestklemmkraft $F_{K,erf}$ pro Schraube!

$$S_\mu \cdot M_t = F_U \cdot \frac{d_L}{2}$$

$$F_U = \mu \cdot F_{N,ges}$$

$$F_{N,ges} = z \cdot F_{K,erf}$$

$$\rightarrow F_{K,erf} = \frac{M_t \cdot S_\mu \cdot 2}{d_L \cdot \mu \cdot z} = \frac{1100 \text{ Nm} \cdot 1,2 \cdot 2}{100 \text{ mm} \cdot 0,12 \cdot 8} = 27,5 \text{ kN}$$

- b) Berechnen Sie die Nachgiebigkeit der Schraube!

Nachgiebigkeit der Schraube:

$$\delta_S = \delta_{SK} + \delta_1 + \delta_G + \delta_{Gm}$$

Nachgiebigkeit des Schraubenkopfs:

$$\delta_{SK} = \frac{0,5 \cdot d}{E_S \cdot A_N} = \frac{0,5 \cdot 12 \text{ mm}}{210 \text{ GPa} \cdot 113,1 \text{ mm}^2} \approx 0,253 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$$

mit

$$E_S = 210 \text{ GPa}$$

(E-Modul der Stahlschraube)

$$A_N = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (12 \text{ mm})^2 \approx 113,1 \text{ mm}^2$$

(Nennquerschnitt der Schraube)

Nachgiebigkeit des Schafts:

$$\delta_1 = \frac{l_1}{E_S \cdot A_N} = \frac{70 \text{ mm}}{210 \text{ GPa} \cdot 113,1 \text{ mm}^2} \approx 2,947 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$$

mit

$$l_1 = l - l_G = 100 \text{ mm} - 30 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$$

(Schaftlänge)

Nachgiebigkeit des freien Gewindes:

$$\delta_G = \frac{l_k - l_1}{E_S \cdot A_{d3}} = \frac{80 \text{ mm} - 70 \text{ mm}}{210 \text{ GPa} \cdot 76,2 \text{ mm}^2} \approx 0,625 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$$

mit

$$l_k = l_{F1} + l_{F2} = 40 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

(Klemmlänge)

$$A_{d3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (9,853 \text{ mm})^2 \approx 76,2 \text{ mm}^2$$

(Kernquerschnitt des Gewindes)

Nachgiebigkeit des eingeschraubten Gewindes:

$$\delta_{Gm} = \frac{0,5 \cdot d}{E_S \cdot A_{d3}} + \frac{0,4 \cdot d}{E_S \cdot A_N} = \frac{0,5 \cdot 12 \text{ mm}}{210 \text{ GPa} \cdot 76,2 \text{ mm}^2} + \frac{0,4 \cdot 12 \text{ mm}}{210 \text{ GPa} \cdot 113,1 \text{ mm}^2} \approx 0,577 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$$

Nachgiebigkeit der Schraube:

$\rightarrow \delta_S \approx (0,253 + 2,947 + 0,625 + 0,577) \cdot 10^{-6} \text{ mm/N} \approx 4,4 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$
--

c) Berechnen Sie die Nachgiebigkeit des Flansches!

Ersatzaußendurchmesser in der Trennfuge:

$$D_A = \min(d_A - d_L; d_L - d_I) = 20 \text{ mm}$$

Fallunterscheidung:

$$d_w < D_A < d_w + l_k \rightarrow 16,63 \text{ mm} < 20 \text{ mm} < 96,63 \text{ mm}$$

→ JA!

Ersatzquerschnitt des Verspannkörpers:

$$\begin{aligned} A_{ers} &= \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8} \cdot d_w \cdot (D_A - d_w) \cdot \left[\left(\sqrt[3]{\frac{l_k \cdot d_w}{D_A^2} + 1} \right)^2 - 1 \right] = \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot \{(16,63 \text{ mm})^2 - (13,5 \text{ mm})^2\} + \frac{\pi}{8} \cdot 16,63 \text{ mm} \cdot (20 \text{ mm} - 16,63 \text{ mm}) \cdot \\ &\quad \cdot \left[\left(\sqrt[3]{\frac{80 \text{ mm} \cdot 16,63 \text{ mm}}{(20 \text{ mm})^2} + 1} \right)^2 - 1 \right] \approx 188,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nachgiebigkeit des Flansches:

$\delta_P = \frac{l_k}{E_P \cdot A_{ers}} = \frac{80 \text{ mm}}{210 \text{ GPa} \cdot 188,8 \text{ mm}^2} \approx 2,018 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$
--

d) Berechnen Sie das erforderliche Anzugsdrehmoment $M_{t,M,max}$!

Krafteinleitungsfaktor für Kraftangriff unter Schrauben- bzw. Mutterkopf:

$$n = 1$$

Kraftverhältnis:

$$\phi = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_s} = \frac{2,018 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}}{2,018 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N} + 4,4 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}} \approx 0,314$$

axiale Zusatzbelastung pro Schraube:

$$F_A = \frac{F_{ax}}{z} = \frac{10 \text{ kN}}{8} = 1250 \text{ N}$$

Setzbetrag:

$$f_Z = 2 \cdot 3 \mu\text{m} + 3 \mu\text{m} + 2 \mu\text{m} = 11 \mu\text{m}$$

Vorspannkraftverlust durch Setzen:

$$F_Z = f_Z \cdot \frac{\phi}{\delta_p} = 11 \mu\text{m} \cdot \frac{0,314}{2,018 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}} \approx 1713,7 \text{ N}$$

Steigungswinkel des Gewindes:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right) = \arctan\left(\frac{1,75 \text{ mm}}{\pi \cdot 10,863 \text{ mm}}\right) \approx 2,94^\circ$$

Reibwinkel im Gewinde:

$$\rho' = \arctan\left(\frac{\mu}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}\right) = \arctan\left(\frac{0,12}{\cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right)}\right) \approx 7,89^\circ$$

Reibradius unter dem Kopf:

$$r_{mK} = \frac{d_w + d_h}{4} = \frac{16,63 \text{ mm} + 13,5 \text{ mm}}{4} \approx 7,53 \text{ mm}$$

Hauptdimensionierungsformel für Schraubverbindungen (max. Vorspannkraft):

$$F_{M,max} = \alpha_A \cdot [F_{K,erf} + (1 - n \cdot \phi) \cdot F_A + F_Z] = \\ = 1,6 \cdot [27,5 \text{ kN} + (1 - 1 \cdot 0,314) \cdot 1250 \text{ N} + 1713,7 \text{ N}] \approx 48,1 \text{ kN}$$

erforderliches Anzugsdrehmoment (Montage):

$$M_{t,M,max} = F_{M,max} \cdot \left[\tan(\varphi + \rho') \cdot \frac{d_2}{2} + \mu \cdot r_{mK} \right] = \\ = 48,1 \text{ kN} \cdot \left[\tan(2,94^\circ + 7,89^\circ) \cdot \frac{10,863 \text{ mm}}{2} + 0,12 \cdot 7,53 \text{ mm} \right] \approx 93,5 \text{ Nm}$$

e) Berechnen Sie die maximale Schraubenkraft $F_{S,max}$.

$$F_{S,max} = F_{M,max} + n \cdot \phi \cdot F_A = 48,1 \text{ kN} + 1 \cdot 0,314 \cdot 1250 \text{ N} \approx 48,5 \text{ kN}$$

f) Überprüfen Sie die Flächenpressung unter dem Schraubenkopf für eine Sicherheit von $j = 1,2$!

Flächenpressung unter dem Schraubenkopf:

$$p = \frac{F_{S,max}}{\frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - d_h^2)} = \frac{48,5 \text{ kN}}{\frac{\pi}{4} \cdot ((16,63 \text{ mm})^2 - (13,5 \text{ mm})^2)} \approx 654,88 \text{ MPa}$$

$$p_{zul} = \frac{p_G}{j} = \frac{420 \text{ MPa}}{1,2} = 350 \text{ MPa}$$

$$p > p_{zul}$$

→ nicht i.O.!

Musterlösung Aufgabe 2

<u>Gegeben:</u>	<u>Windstärke:</u>	Drehzahlen n:	Häufigkeit q:	Axialschub F_a :
	schwach	$n_{\text{schwach}} := 8 \cdot \frac{1}{\text{min}}$	$q_{\text{schwach}} := 20\%$	$F_{a_{\text{schwach}}} := 70 \cdot \text{kN}$
	mittel	$n_{\text{mittel}} := 23 \cdot \frac{1}{\text{min}}$	$q_{\text{mittel}} := 50\%$	$F_{a_{\text{mittel}}} := 200 \cdot \text{kN}$
	stark	$n_{\text{stark}} := 40 \cdot \frac{1}{\text{min}}$	$q_{\text{stark}} := 30\%$	$F_{a_{\text{stark}}} := 450 \cdot \text{kN}$

Lagerdaten Loslager A (FAG 241/710-B-MB):

$$C_A := 15600 \cdot \text{kN}$$

$$C_{0A} := 35500 \cdot \text{kN}$$

$$e_A := 0.38$$

$$Y_{1A} := 1.79$$

$$Y_{2A} := 2.67$$

$$Y_{0A} := 1.75$$

Sonstige Kräfte:

$$F_R := 2500 \cdot \text{kN}$$

$$G_r := 300 \cdot \text{kN}$$

Lagerdaten Festlager B (FAG 231/600-K-MB):

$$C_B := 9000 \cdot \text{kN}$$

$$C_{0B} := 19300 \cdot \text{kN}$$

$$e_B := 0.31$$

$$Y_{1B} := 2.2$$

$$Y_{2B} := 3.27$$

$$Y_{0B} := 2.15$$

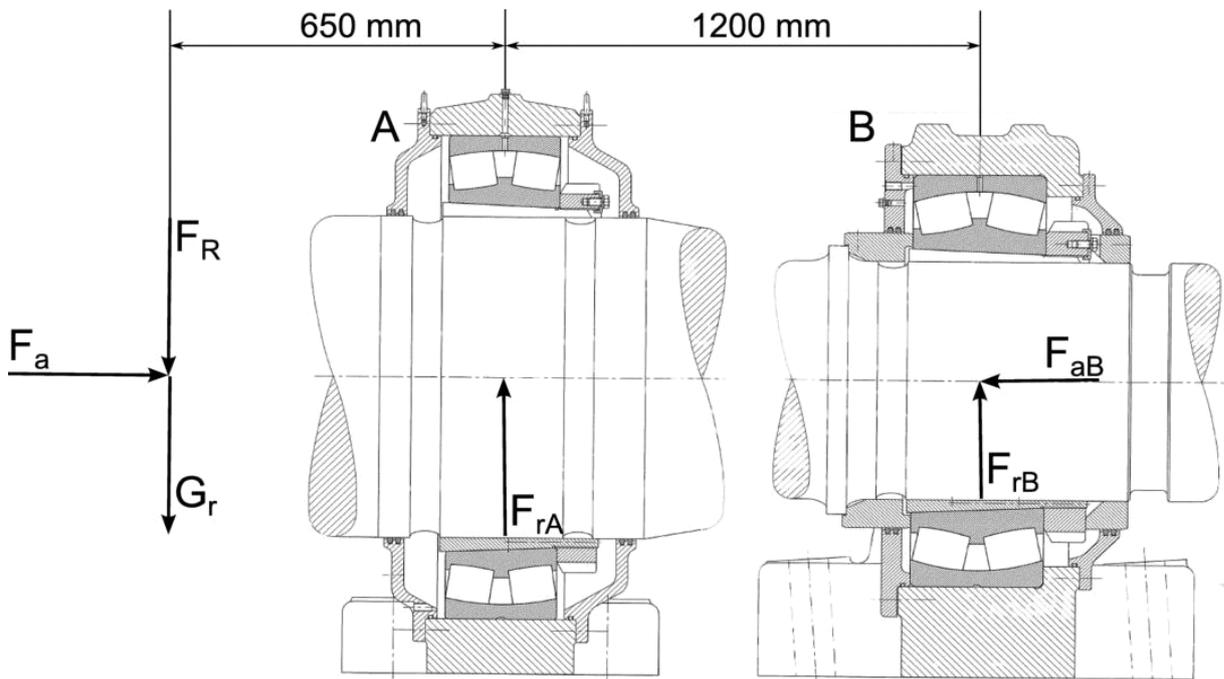
a) Berechnung mittlere Drehzahl n_m :

$$n_m := \frac{q_{\text{schwach}}}{100\%} \cdot n_{\text{schwach}} + \frac{q_{\text{mittel}}}{100\%} \cdot n_{\text{mittel}} + \frac{q_{\text{stark}}}{100\%} \cdot n_{\text{stark}}$$

$$n_m := \frac{20\%}{100\%} \cdot 8 \cdot \frac{1}{\text{min}} + \frac{50\%}{100\%} \cdot 23 \cdot \frac{1}{\text{min}} + \frac{30\%}{100\%} \cdot 40 \cdot \frac{1}{\text{min}} \blacksquare$$

$$n_m = 25.1 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

b) Berechnung der Lagerreaktionskräfte:



$$\Sigma F_x := 0 \quad \Sigma F_x := F_a - F_{aB}$$

$$F_{aB_schwach} := 70 \cdot 10^3 \quad \text{N}$$

$$F_{aB_mittel} := 200 \cdot 10^3 \quad \text{N}$$

$$F_{aB_stark} := 450 \cdot 10^3 \quad \text{N}$$

$$p := \frac{10}{3}$$

$$\Sigma F_y := 0 \quad \Sigma F_y := F_{rA} + F_{rB} - F_R - G_r$$

$$F_{rA} + F_{rB} := F_R + G_r$$

$$\Sigma M_B := 0 \quad \Sigma M_B := F_{rA} \cdot 1200 \cdot \text{mm} - (F_R + G_r) \cdot 1850 \cdot \text{mm}$$

$$F_{rA} := (2500 + 300) \cdot \text{kN} \cdot \frac{1850 \cdot \text{mm}}{1200 \cdot \text{mm}}$$

$$F_{rA} := (F_R + G_r) \cdot \frac{1850 \text{mm}}{1200 \text{mm}}$$

$$F_{rA} = 4.317 \times 10^6 \text{ N} = 4317 \text{ kN}$$

$$F_{rB} := F_R + G_r - F_{rA}$$

$$F_{rB} = -1.517 \times 10^6 \text{ N} = -1517 \text{ kN}$$

c) nominelle Lebensdauer (selbst berechnet):

Loslager A:

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e, \text{ da } F_a = 0 \text{ N}$$

$$P_A := F_{rA}$$

$$P_A = 4.317 \times 10^6 \text{ N} = 4317 \text{ kN}$$

$$L_A := \frac{16666}{25.1} \cdot \left(\frac{C_A}{P_A} \right)^{\frac{10}{3}} = \frac{16666}{25.1} \cdot \left(\frac{15600 \text{ kN}}{4317 \text{ kN}} \right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_A = 4.809 \times 10^4 \text{ h} = 48092 \text{ h}$$

L_A nicht ausreichend, da $< 60.000 \text{ h}$.

Festlager B:

$$\frac{F_a}{F_r} := \frac{450 \text{ kN}}{1517 \text{ kN}} = 0.297 < e$$

$$P_{B1} := |F_{rB}| + Y_{1B} \cdot F_{aB_schwach} \cdot 1 \text{ N}$$

$$P_{B1} = 1.671 \times 10^6 \text{ N} = 1671 \text{ kN}$$

$$P_{B2} := |F_{rB}| + Y_{1B} \cdot F_{aB_mittel} \cdot 1 \text{ N}$$

$$P_{B2} = 1.957 \times 10^6 \text{ N} = 1957 \text{ kN}$$

$$P_{B3} := |F_{rB}| + Y_{1B} \cdot F_{aB_stark} \cdot 1 \text{ N}$$

$$P_{B3} = 2.507 \times 10^6 \text{ N} = 2507 \text{ kN}$$

$$P_{aB_gesamt} := \sqrt[3]{\frac{20\%}{100\%} \cdot \frac{8 \cdot \frac{1}{\text{min}}}{25.1 \cdot \frac{1}{\text{min}}} \cdot (1671 \cdot \text{kN})^{\frac{10}{3}} + \frac{50\%}{100\%} \cdot \frac{23 \cdot \frac{1}{\text{min}}}{25.1 \cdot \frac{1}{\text{min}}} \cdot (1957 \cdot \text{kN})^{\frac{10}{3}} + \frac{30\%}{100\%} \cdot \frac{40 \cdot \frac{1}{\text{min}}}{25.1 \cdot \frac{1}{\text{min}}} \cdot (2507 \cdot \text{kN})^{\frac{10}{3}}}$$

$$P_{aB_gesamt} = 2248 \text{ kN}$$

$$L_B := \frac{16666}{25.1} \cdot \left(\frac{C_B}{P_{aB_gesamt}} \right)^{\frac{10}{3}} = \frac{16666}{25.1} \cdot \left(\frac{9000 \text{ kN}}{2248 \text{ kN}} \right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_B = 67657 \text{ h}$$

L_B ausreichend, da $> 60.000 \text{ h}$.

c) nominelle Lebensdauer (alternativ mit gegebenen Werten):

$$F_{rA_altern} := 3700 \cdot \text{kN}$$

$$F_{rB_altern} := 1400 \cdot \text{kN}$$

Loslager A:

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e, \text{ da } F_a = 0 \text{ N}$$

$$P_{A_altern} := F_{rA_altern}$$

$$P_{A_altern} = 3700 \text{ kN}$$

$$L_{A_altern} := \frac{16666}{25.1} \cdot \left(\frac{C_A}{P_{A_altern}} \right)^{\frac{10}{3}} = \frac{16666}{25.1} \cdot \left(\frac{15600 \text{ kN}}{3700 \text{ kN}} \right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_{A_altern} = 80396 \text{ h}$$

L_A ausreichend, da $> 60.000 \text{ h}$.

Festlager B:

$$\frac{F_a}{F_r} := \frac{450 \text{ kN}}{1400 \text{ kN}} = 0.32 < e$$

$$P_{B1} := |F_{rB}| + Y_{1B} \cdot F_{aB_schwach} \cdot 1 \text{ N}$$

$$P_{B1} = 1704 \text{ kN}$$

$$P_{B2} := |F_{rB}| + Y_{1B} \cdot F_{aB_mittel} \cdot 1 \text{ N}$$

$$P_{B2} = 1990 \text{ kN}$$

$$P_{B3} := |F_{rB}| + Y_{1B} \cdot F_{aB_stark} \cdot 1 \text{ N}$$

$$P_{B3} = 2540 \text{ kN}$$

$$P_{aB_gesamt_v} := \sqrt[3]{\frac{20\% \cdot \frac{8 \cdot \frac{1}{\text{min}}}{100\% \cdot \frac{1}{25.1 \cdot \frac{1}{\text{min}}}} \cdot (1704 \cdot \text{kN})^{\frac{10}{3}} + 50\% \cdot \frac{23 \cdot \frac{1}{\text{min}}}{100\% \cdot \frac{1}{25.1 \cdot \frac{1}{\text{min}}}} \cdot (1990 \cdot \text{kN})^{\frac{10}{3}} + 30\% \cdot \frac{40 \cdot \frac{1}{\text{min}}}{100\% \cdot \frac{1}{25.1 \cdot \frac{1}{\text{min}}}} \cdot (2540 \cdot \text{kN})^{\frac{10}{3}}}$$

$$P_{aB_gesamt_v} = 2280 \text{ kN}$$

$$L_{B_v} := \frac{16666}{25.1} \cdot \left(\frac{C_B}{P_{aB_gesamt_v}} \right)^{\frac{10}{3}} = \frac{16666}{25.1} \cdot \left(\frac{9000 \text{ kN}}{2280 \text{ kN}} \right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_{B_v} = 64543 \text{ h}$$

L_B ausreichend, da $> 60.000 \text{ h}$.

d) erweiterte Lebensdauerberechnung:

$$a_1 := 0.62$$

$$a_2 := 1.0$$

$$a_3 := 0.8$$

$$L_{nB} := L_B \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 = 33558 \text{ h} < 60000 \text{ h} \quad \text{nicht ausreichend}$$

$$L_{nB_v} = 32013 \text{ h}$$

e) stat. Tragsicherheit:

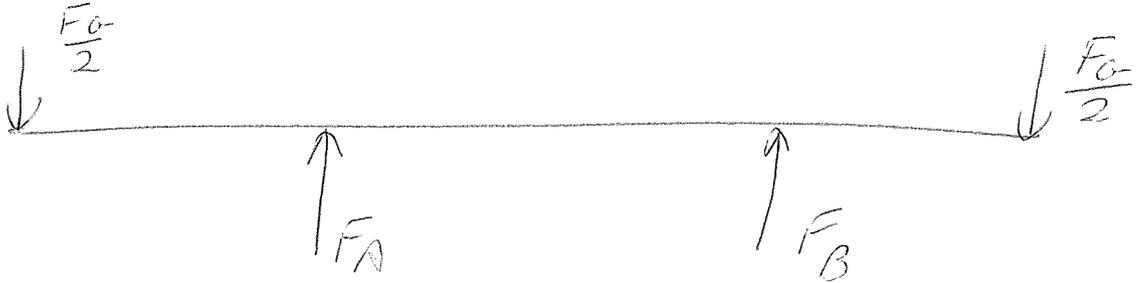
$$\text{Loslager A: } P_0 := F_r = 4317 \text{ kN}$$

$$S_0 := \frac{C_0}{P_0} = \frac{35500 \text{ kN}}{4317 \text{ kN}} = 8.22 \quad \text{ist Ok}$$

$$S_{0_v} = 9.59$$

Musterlösung A 3:

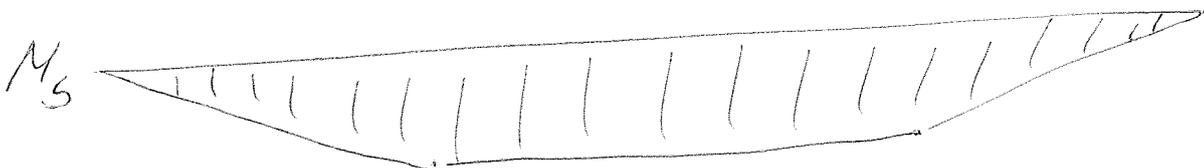
a) Ersatzbild



b) Belastungsverläufe

$$M_L = 0$$

$$N = 0$$



(Nummerierung entspricht Skript)

c) **äußere Lasten bei x= 20 mm:**

$$F = 0N \quad \pm 0 N$$

$$Q = 0N \quad +39240 N$$

$$M_b = 0N \cdot m \quad +784.8Nm$$

$$M_t = 0N \cdot m \quad \pm 0Nm$$

d) **Statischer Festigkeitsnachweis**

Nennspannungen (Folie 18)

Für die Minimal- und Maximalspannungen ergibt sich:

$$T_{min.s} = \frac{Q_{min} \cdot 4}{\pi \cdot d^2} = \blacksquare \frac{0N \cdot 4}{\pi \cdot (60mm)^2} = 0 \cdot MPa$$

$$T_{max.s} = \frac{Q_{max} \cdot 4}{\pi \cdot d^2} = \blacksquare \frac{39240N \cdot 4}{\pi \cdot (60mm)^2} = 13.88 \cdot MPa$$

$$S_{min.b} = \frac{32M_{b.min}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 0N \cdot m}{\pi \cdot (60mm)^3} = 0 \cdot MPa$$

$$S_{max.b} = \frac{32M_{b.max}}{\pi \cdot d^3} = \blacksquare \frac{32 \cdot 784.8N \cdot m}{\pi \cdot (60mm)^3} = 37.01 \cdot MPa$$

Anisotropiefaktor (Folie 25 ff)

Nur Biegespannung: $K_A = 1.0$

Zugfestigkeit und Fließgrenze des Werkstoffs im Bauteil (Folie 30)

$$R_m = K_{d.m} \cdot K_A \cdot R_{m.N} = 1.098 \cdot 1.0 \cdot 490MPa = 480.2 \cdot MPa$$

$$R_p = K_{d.p} \cdot K_A \cdot R_{p.N} = 1.095 \cdot 1.0 \cdot 295MPa = 280.25 \cdot MPa$$

Bauteilfestigkeit

Plastische Stützzahlen (Folie 39 ff)

Plastische Stützwirkungen werden nur bei den Belastungsarten mit Spannungsgefälle berücksichtigt, Biegung und Torsion also.

Die plastische Formzahl für einen Kreisquerschnitt sind:

$$K_{p.b} = 1.7$$

Damit kann die Stützzahl ermittelt werden:

$$n_{pl.b} = \min\left(\sqrt{\frac{1050MPa}{R_p}}, K_{p.b}\right) = \blacksquare \min\left(\sqrt{\frac{1050MPa}{280.25}}, 1.7\right) = \min(1.92, 1.7) = \blacksquare 1.7$$

Konstruktionsfaktoren (Folie 42)

$$K_{SK.zd} = 1$$

$$K_{SK.s} = 1$$

$$K_{SK.b} = \frac{1}{n_{pl.b}} = \blacksquare \frac{1}{1.7} = 0.59$$

Bauteilfestigkeit (Folie 43)

$$T_{SK.s} = 0.577 \cdot \frac{R_m}{K_{SK.s}} = 0.577 \cdot \frac{480.2 \text{ MPa}}{1} = 277.08 \cdot \text{MPa}$$

$$S_{SK.b} = \frac{R_m}{K_{SK.b}} = \frac{480.2 \text{ MPa}}{0.59} = 813.9 \cdot \text{MPa}$$

Sicherheitsfaktoren (Folie 44)

Die Auswirkungen beim Versagen sind hoch, Auftreten hoch:

$$j_m = 2.0$$

$$j_p = 1.5$$

$$j_{ges} = \max\left(j_m \cdot j_p \cdot \frac{R_m}{R_p}\right) = \max\left(2.0, 1.5 \cdot \frac{480.2 \text{ MPa}}{280.25 \text{ MPa}}\right) = \max(2.0, 1.5 \cdot 1.7) = 2.57$$

Nachweis der statischen Festigkeit

Auslastungen für die einzelnen Spannungsarten (Folie 45)

$$a_{SK.s} = \frac{\max(|T_{max.s}|, |T_{min.s}|) \cdot j_{ges}}{T_{SK.s}} = \frac{\max(13.88 \text{ MPa}, 0 \text{ MPa}) \cdot 2.57}{277.08 \text{ MPa}} = 0.13$$

$$a_{SK.b} = \frac{\max(|S_{max.b}|, |S_{min.b}|) \cdot j_{ges}}{S_{SK.b}} = \frac{\max(37.01 \text{ MPa}, 0 \text{ MPa}) \cdot 2.57}{813.9 \text{ MPa}} = 0.12$$

Da alle Einzelauslastungen kleiner 1 sind, sind die Einzelnachweise erbracht.

Auslastung für zusammengesetzte Spannungsarten ist in diesem Fall gleich der Einzelauslastung gegen Biegung (Folie 46)

$$a_{SK.sv} = \sqrt{(a_{SK.zd} + a_{SK.b})^2 + (a_{SK.s} + a_{SK.t})^2} = \sqrt{(0 + 0.13)^2 + (0.12 + 0)^2} = 0.18$$

Damit ist der statische Festigkeitsnachweis erbracht. Das Bauteil wird von den angegebenen Belastungen zu 18 % ausgelastet.

e) Dynamischer Festigkeitsnachweis

Spannungen für den Dauerfestigkeitsnachweis

$$T_{m.s} = 4 \cdot \frac{Q_m}{\pi \cdot d^2} = 4 \cdot \frac{0 \text{ N}}{\pi \cdot (50 \text{ mm})^2} = 0 \cdot \text{MPa}$$

$$T_{a.s} = 4 \cdot \frac{Q_a}{\pi \cdot d^2} = 4 \cdot \frac{39240 \text{ N}}{\pi \cdot (60 \text{ mm})^2} = 13.88 \cdot \text{MPa}$$

$$S_{m.b} = \frac{32 M_{b.\pi}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 0 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot (50 \text{ mm})^3} = 0 \cdot \text{MPa}$$

$$S_{a.b} = \frac{32M_{b.a}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 784800 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot (60 \text{ mm})^3} = 37.01 \cdot \text{MPa}$$

Dynamische Festigkeitswerte und Festigkeitsnachweis Werkstoff-Normwerte

$$\sigma_{W.zd.N} = 220 \text{ MPa}$$

$$\tau_{W.s.N} = 125 \text{ MPa}$$

Festigkeitskennwerte des Werkstoffs im Bauteil (Folie 49)

$$\sigma_{W.zd} = K_{d.m} \cdot K_A \cdot \sigma_{W.zd.N} = 1.098 \cdot 1.0 \cdot 220 \text{ MPa} = 241.6 \cdot \text{MPa}$$

$$K_{d.m} \cdot K_A$$

$$\tau_{W.s} = K_{d.m} \cdot K_A \cdot \tau_{W.s.N} = 1.098 \cdot 1.0 \cdot 125 \text{ MPa} = 137.25 \cdot \text{MPa}$$

Randschichtfaktor (Folie 62)

Der Randschichtfaktor

$K_V = 1$ da keine harte Randschicht vorliegt.

Konstruktionsfaktoren (Folie 64)

$$K_{WK.s} = \left(K_{f.s} + \frac{1}{K_{R.\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} = \left(2.02 + \frac{1}{0.95} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1} = 2.07$$

$$K_{WK.b} = \left(K_{f.b} + \frac{1}{K_{R.\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} = \left(1.77 + \frac{1}{0.92} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1} = 1.86$$

Bauteil-Wechselfestigkeit (Folie 65)

$$T_{WK.s} = \frac{\tau_{W.s}}{K_{WK.s}} = \frac{122.5 \text{ MPa}}{2.07} = 59.18 \cdot \text{MPa}$$

$$S_{WK.b} = \frac{\sigma_{W.zd}}{K_{WK.b}} = \frac{241.6 \text{ MPa}}{1.86} = 129.89 \cdot \text{MPa}$$

Vergleichsspannungen (Folie 67 ff)

$$S_{m.v} = \sqrt{(S_{m.zd} + S_{m.b})^2 + 3(T_{m.s} + T_{m.t})^2}$$

$$= \sqrt{(0 \text{ MPa} + 0 \text{ MPa})^2 + 3(0 \text{ MPa} + 0 \text{ MPa})^2} = 0 \cdot \text{MPa}$$

$$T_{m.v} = 0.577 \cdot S_{m.v} = 0.577 \cdot 0 \text{ MPa} = 0 \cdot \text{MPa}$$

Bauteil-Ausschlagfestigkeit

$$T_{AK.s} = 59 \text{ MPa}$$

$$S_{AK.b} = 116 \text{ MPa}$$

Sicherheitsfaktoren (Folie 71)

Da die Schadensfolge bei Versagen gering, keine regelmäßige Inspektion:

$$j_D = 1.35$$

Nachweis der Dauerfestigkeit (Folie 72)

Auslastungen für einzelne Spannungsarten

$$a_{AK.s} = \frac{T_{a.s} \cdot j_D}{\min(T_{AK.s}, 0.75 \cdot 0.577 \cdot R_p)} = \frac{13.88 \text{ MPa} \cdot 1.35}{\min(59 \text{ MPa}, 0.75 \cdot 0.577 \cdot 280.25 \text{ MPa})} = 0.32$$

$$a_{AK.b} = \frac{S_{a.b} \cdot j_D}{\min(S_{AK.b}, 0.75 \cdot R_p)} = \frac{37.01 \text{ MPa} \cdot 1.35}{\min(116 \text{ MPa}, 0.75 \cdot 1.7 \cdot 280.25 \text{ MPa})} = 0.43$$

Auslastungen für zusammengesetzte Spannungsarten (Folie 72)

$$a_{AK.Sv} = \sqrt{(a_{AK.zd} + a_{AK.b})^2 + (a_{AK.s} + a_{AK.t})^2} = \sqrt{(0.0 + 0.43)^2 + (0.32 + 0.0)^2} = 0.54$$

Die Einzelauslastungen sowie die Gesamtauslastung sind kleiner 1, damit ist die Dauerfestigkeit gegeben.