



1) Nennen Sie bitte jeweils drei Vor- und Nachteile des Fertigungsverfahrens Gießen!

Vorteile: Freizügige Formgebung; preisgünstige Werkstoffe; Dämpfungseigenschaften GG; gute Zerspanbarkeit; gute Gleiteigenschaften

Nachteile: Modellherstellung; begrenzte Toleranzen; Festigkeitseigenschaften; Gestaltungsgrenzen

2) Definieren Sie die Formzahl  $K_t$  und die elastische Kerbwirkungszahl  $K_f$ !

Formzahl  $K_t = \frac{\sigma_{max}}{S}$ ;  $K_t = \frac{\tau_{max}}{T}$ . Beschreibt die Kerbwirkung abhängig von der Beanspruchungsart und der Geometrie (Kerbtiefe und -radius, weniger Kerbwinkel), aber unabhängig vom Werkstoff bei statischen Beanspruchungen.

Kerbwirkungszahl  $K_f: \frac{\text{Dauerfestigkeit der glatten Probe}}{\text{Dauerfestigkeit der gekerbten Probe}} = \frac{K_t}{K_{elast.}}$ . Kerbwirkung bei dynamischer Beanspruchung unter Berücksichtigung des Werkstoffes

3) Nennen Sie jeweils zwei Arten für eine formschlüssige und eine kraftschlüssige Verbindung!

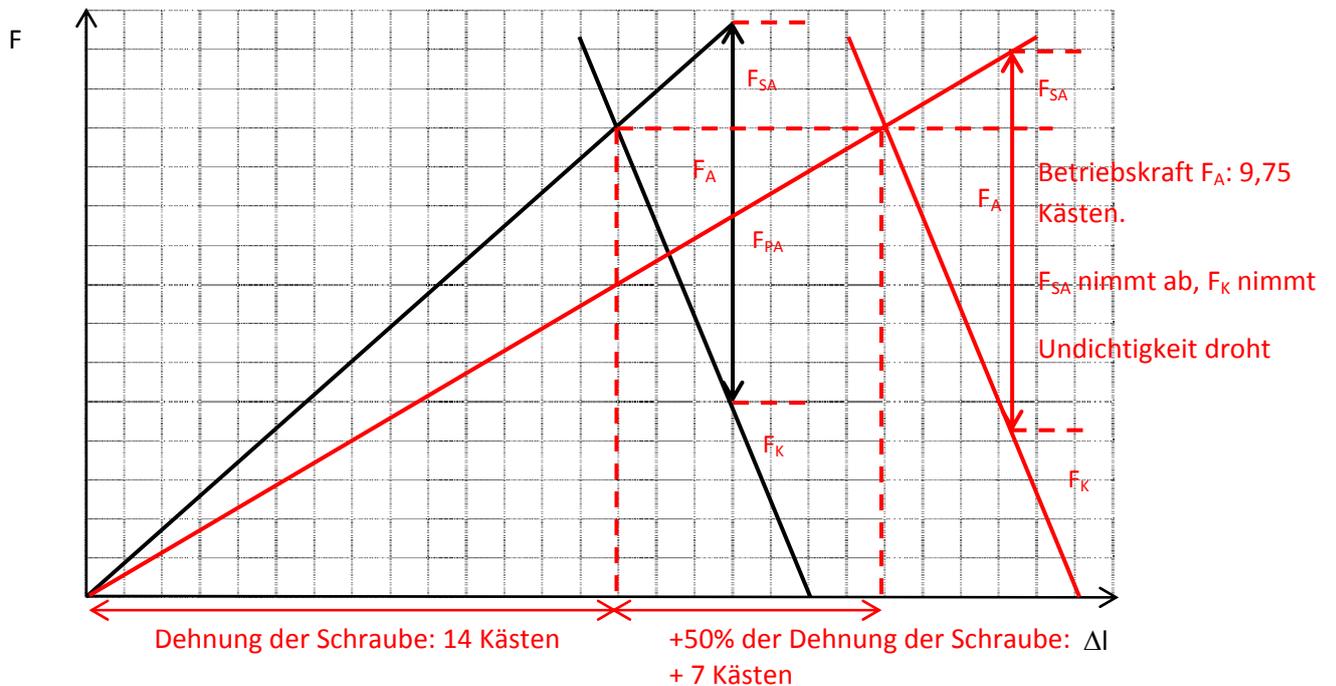
Formschluss: Passfeder, Bolzen, Sicherungsring, Nieten

Kraft- bzw. Reibschluss: Schrupfverband, Schraubenverband, Klemmverbindungen

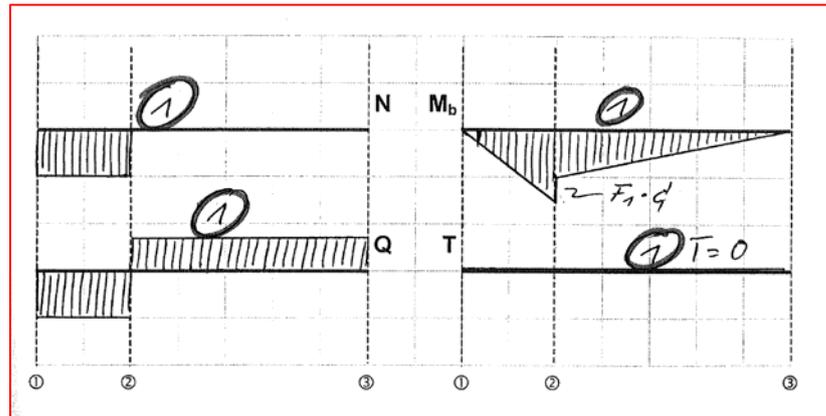
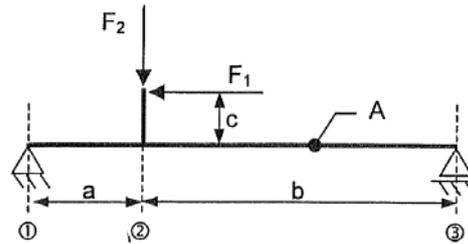
4) Zeichnen Sie in nachfolgendes Diagramm ein:

a) eine Schraubenverbindung, die bei gleicher Montagevorspannkraft eine 50 % höhere Dehnung aufweist! Die Nachgiebigkeit des Flansches ist unverändert.

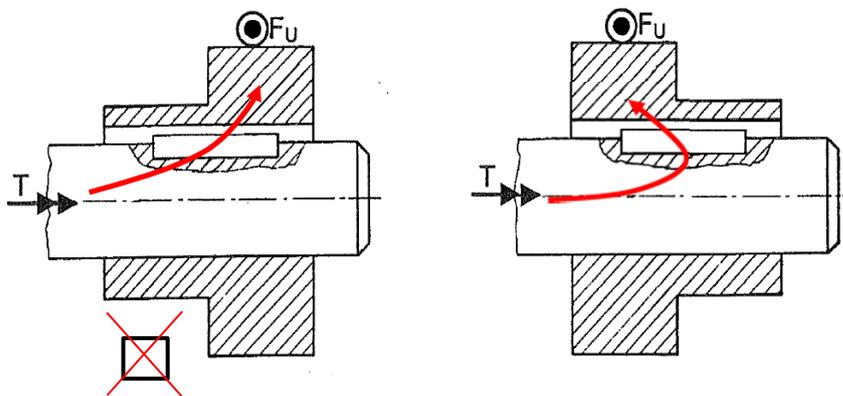
b) die Betriebskraft, die in der Größe unverändert ist!



- 5) Zeichnen Sie für den dargestellten Träger (nur waagerechter Teil A) die aus den Belastungen  $F_1$  und  $F_2$  resultierenden Beanspruchungsverläufe (qualitativ ohne zu rechnen)! Alle Kräfte greifen in einer Ebene an dem Träger an.



- 6) Kennzeichnen Sie durch ankreuzen die Nabenanordnung, die eine geringere Kerbwirkung verursacht. Begründen Sie kurz Ihre Entscheidung! Denken Sie dabei an den Verlauf des Kraftflusses innerhalb der Verbindung.



Kraftfluss wird bei der ersten Lösung weniger stark umgelenkt

- 7) In einem Getriebe (verlustfrei) mit einer Gesamtübersetzung von  $i = 8$  weist die Antriebswelle einen Durchmesser von 20 mm auf, welchen Durchmesser muss bei gleichem Werkstoffgrenzwert und Sicherheit die Abtriebswelle haben (Berücksichtigen Sie nur die Belastung auf Torsion)?

$$P_{an} = P_{ab}$$

$$T_{an} \cdot \omega_{an} = T_{ab} \cdot \omega_{ab} \text{ mit } T = \tau_T \cdot W_p$$

$$\tau_{T,an} \cdot W_{p,an} \cdot \omega_{an} = \tau_{T,ab} \cdot W_{p,ab} \cdot \omega_{ab}$$

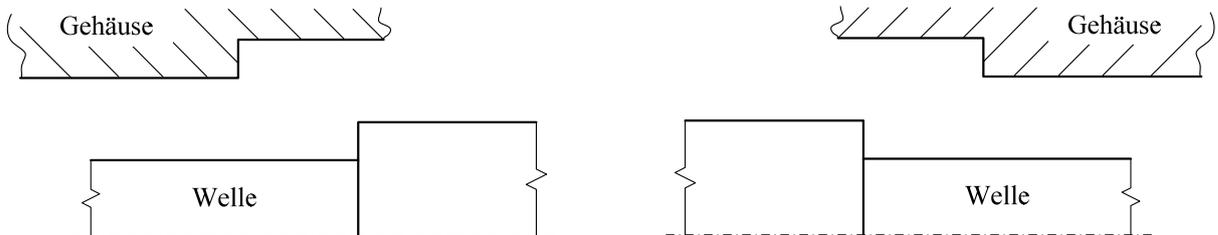
$$\frac{\omega_{an}}{\omega_{ab}} = \frac{W_{p,ab}}{W_{p,an}} = \frac{\frac{\pi}{16} \cdot d_{ab}^3}{\frac{\pi}{16} \cdot d_{an}^3} = i = 8$$

$$d_{ab}^3 = \sqrt[3]{8} \cdot d_{an} = 2 \cdot 20 = 40 \text{ mm} = d_{ab}$$

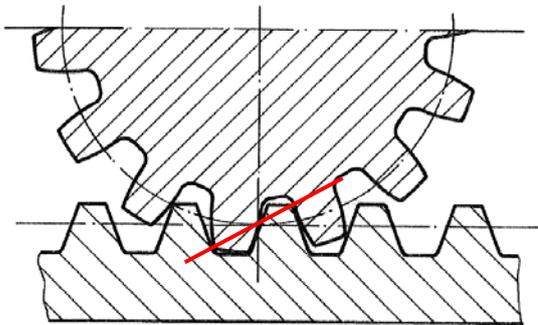
8) Lagerungen: Nennen Sie drei verschiedene Wälzlager, die sowohl hohe axiale, als auch hohe radiale Kräfte übertragen können! Skizzieren Sie eines dieser Lager in einer sinnvollen, möglichen Einbaustellung in die nebenstehende Zeichnung!

- Schrägkugellager
- Kegelrollenlager
- Pendelrollenlager

Zeichnung mit erkennbarer Fest-/Loslagerung bzw. angestellter Lagerung



9) Wie sieht qualitativ die Eingriffsstrecke der skizzierten Wälzkombination aus Zahnrad und Zahnstange aus?



Gemeinsame Normale der beiden Flanken in jedem Berührungspunkt durch den Wälzpunkt.

10) Nennen Sie drei Aufgaben für Getriebe!

- Drehzahl-, Drehmomentwandlung
- Leistungsverzweigung, -sammlung
- Änderung der Drehrichtung, Richtung

11) Kreuzen Sie an, welche Funktion(en) die genannten Kupplungen erfüllen!

	Axial- versatz	Winkel- versatz	Drehmoment schalten fremdbetätigt	Drehmoment schalten selbsttätig	Sicherheits- kupplung
Ratsche				X	X
Bogenzahn- kupplung	X	X			
Brechbolzen- kupplung					X
Lamellen- kupplung			X		X

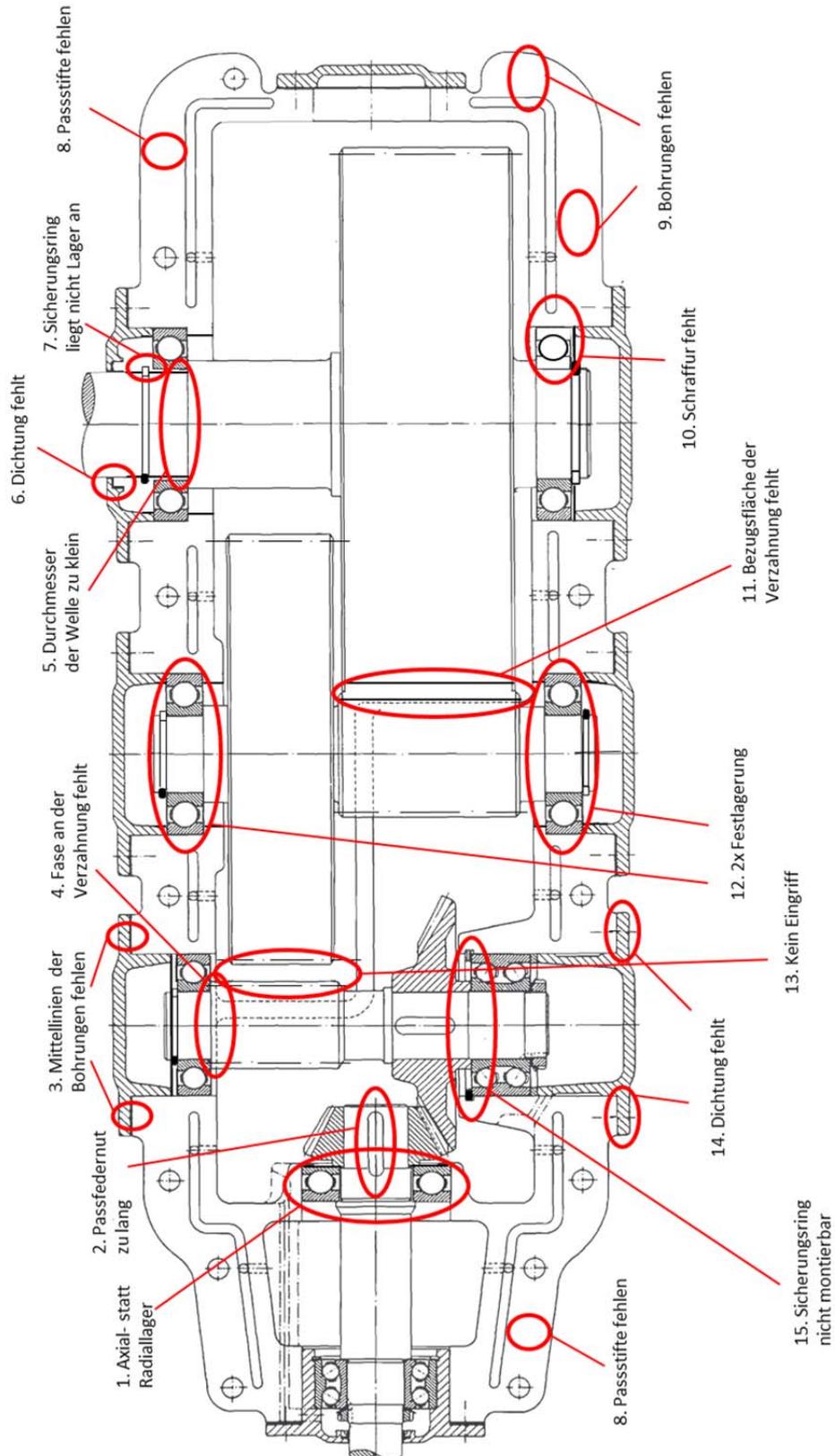
12) Nennen Sie die Ausfallursachen von Pressverbindungen.

- Rutschen der Verbindung, weil durch die Vorspannung nicht genügend Passfugendruck aufgebracht wird.
- Überschreiten der Elastizitätsgrenze an der am höchsten belasteten Stelle des Pressverbandes.
- Passungsrost / Reibkorrosion / Mikroschlupf

## Fehlersuchaufgabe

Die Zeichnung zeigt einen Schnitt durch ein Getriebe. Die Darstellung enthält mindestens 10 Funktions- bzw. Konstruktionsfehler.

Kennzeichnen Sie diese Fehler mit Positionsnummern und erläutern Sie diese in Stichworten!





**Name:** \_\_\_\_\_ **Vorname:** \_\_\_\_\_

**Matrikelnummer:** \_\_\_\_\_

**Wichtige Hinweise, bitte vor der Bearbeitung dieses Klausurteils lesen!!**

- Zur Lösung dieses Aufgabenteils sind nachfolgende Hilfsmittel zugelassen:
  - nicht programmierbaren Taschenrechner (Tausch nicht zulässig)
  - Dubbel oder Hütte
  - Vorlesungsmitschrift
  - Ein Satz Übungsaufgaben WS bis SS
  - Projektordner ME Projekt
- Handys sowie alle Mobilgeräte sind auszuschalten und außer Reichweite zu verstauen!
- Bitte versehen Sie den Klausurteil mit Ihrem Namen und der Matrikelnummer!
- Ein Entfernen der Heftung ist nicht zulässig!
- Zur Bearbeitung der Aufgaben sind Füller oder Kugelschreiber erlaubt, Bleistift ist lediglich für Skizzen zulässig! Rotstifte sind nicht zulässig!
- Die Beantwortung der Aufgaben hat ausschließlich auf den ausgeteilten Klausurseiten zu erfolgen!
- Dieser Klausurteil ist auch abzugeben, wenn dieser nicht bearbeitet wurde!
- Dieser Klausurteil besteht aus Deckblatt sowie 12 weiteren Blättern.

**Maschinen- bzw. Konstruktionselemente Prüfung WS 15/16**

**für die Fachrichtung Maschinenbau**

**Aufgabenteil - Prof. Dr.-Ing. Lohrengel**

Aufgabe	1	2	3	Summe Aufgaben	Konstruktion	Summe Fragen	Gesamtsumme
Mögliche Punkte	15	16	19	50	25	25	100
Erreichte Punkte							

2.1 a)  $P_{ref} = \frac{FR}{\pi \cdot D_F \cdot L_F \cdot \mu_H} \sqrt{F_{ax}^2 + \left(\frac{2M_E}{D_F}\right)^2}$

$P_{ref} = \frac{2}{\pi \cdot 50 \text{ mm} \cdot (42-2) \text{ mm} \cdot 0,2} \sqrt{(4000 \text{ N})^2 + \left(\frac{2 \cdot 300 \cdot 10^3 \text{ Nm}}{50 \text{ mm}}\right)^2}$

$P_{ref} = 20,1 \text{ MPa}$  (1)

(1/2)

Σ 2.1 b)  $\Delta G = 0,8 \cdot (R_{2i,A} + R_{2i,I}) = 0,8 (3 \mu\text{m} + 3 \mu\text{m}) = \underline{4,8 \mu\text{m}}$

Σ 2.1 c)  $P_{zul} = \frac{\sigma_{zul} (1 - Q_A^2)}{2}$

$Q_A = \frac{r_{Ai}}{r_{Aa}} = \frac{50 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = \underline{0,5}$  (1/2)

$\sigma_{zul} = \frac{R_P}{\beta_F} = \frac{450 \text{ MPa}}{1,3} = \underline{346,2 \text{ MPa}}$

$P_{F_{zul}} = \frac{346,2 \text{ MPa} (1 - 0,5^2)}{2} = \underline{129,8 \text{ MPa}}$  (1/2)

Σ 2.2 d)  $P_{ref} = P_{F_{ref}} \cdot D_F \left[ \frac{1}{E} \left( \left( \frac{1+Q_A^2}{1-Q_A^2} \right) + \nu_A \right) + \frac{1}{E_I} \left( \left( \frac{1+\nu_I^2}{1-\nu_I} \right) - \nu_I \right) \right] + \Delta G$

$P_{ref} = P_{F_{ref}} \cdot D_F \left[ \frac{1}{E} \left( \frac{1+Q_A^2 + 1-Q_A^2}{1-Q_A^2} \right) \right] + \Delta G$  (1/2)

$P_{ref} = 20,1 \text{ MPa} \cdot 50 \text{ mm} \cdot \frac{1}{2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}} \left( \frac{2}{1-0,5^2} \right) + 4,8 \mu\text{m}$

$P_{ref} = 0,01276 \text{ mm} + 4,8 \mu\text{m} = \underline{17,56 \mu\text{m}}$  (1)

$P_{zul} = P_{F_{zul}} \cdot D_F \cdot \frac{2}{E \cdot (1-Q_A^2)} = 129,8 \text{ MPa} \cdot 50 \text{ mm} \cdot \frac{2}{2,1 \cdot 10^5 (1-0,5^2)}$

$P_{zul} = 0,0824 \text{ mm} = \underline{82,4 \mu\text{m}}$  (1)

2. d) H 6/56 (1/2) (1) (2)

$$S_{\text{orex}} = +59 \mu\text{m} - 0 \mu\text{m} = 59 \mu\text{m} < p_{\text{aul}}$$

$$S_{\text{oinn}} = +43 \mu\text{m} - 16 \mu\text{m} = 27 \mu\text{m} > p_{\text{ef}}$$

$$P_{W, \text{min}} = S_{\text{oinn}} - G = 27 \mu\text{m} - 4,8 \mu\text{m} = \underline{22,2 \mu\text{m}} \Rightarrow \text{OK}$$

$P_{W, \text{max}} = S_{\text{orex}}$  (1/2)

f)  $F^* = \mu_H \cdot P_{F, \text{min}} \cdot \pi \cdot D_F \cdot L_F$

mit  $P_{F, \text{min}} = \frac{P_{W, \text{min}} \cdot E (1 - Q_A^2)}{D_F \cdot 2}$

$$P_{F, \text{min}} = \frac{22,2 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa} (1 - 0,5^2)}{50 \text{ mm} \cdot 2}$$

$$P_{F, \text{min}} = \underline{34,97 \text{ MPa}} \quad (1/2)$$

$$F^* = 0,2 \cdot 34,97 \text{ MPa} \cdot \pi \cdot 50 \text{ mm} \cdot (42 - 2) \text{ mm} =$$

$$F^* = \underline{43.938,3 \text{ N}} \quad (1/2)$$

$$F = \sqrt{F_{\text{ox}}^2 + \left(\frac{2M_H}{D_F}\right)^2}$$

$$F = \sqrt{4 \text{ kN}^2 + \left(\frac{2 \cdot 300 \text{ N} \cdot \text{mm}}{50 \text{ mm}}\right)^2}$$

$$J_{B,R} = \frac{F^*}{F} = \frac{43.938,3 \text{ N}}{12649,1 \text{ N}} = \underline{3,47}$$

$$F = \underline{12649,1 \text{ N}} \quad (1/2)$$

$$J_{B,R} > J_R \Rightarrow \text{OK} \quad (1/2)$$

(1/2) g)  $P_{F, \text{max}} = \frac{P_{W, \text{max}} \cdot E (1 - Q_A^2)}{D_F \cdot 2}$

$$P_{F, \text{max}} = \frac{59 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa} (1 - 0,5^2)}{50 \text{ mm} \cdot 2}$$

$$P_{F, \text{max}} = \underline{92,9 \text{ MPa}} \quad (1/2)$$

h) Innenrand Welle Britische Stelle (1/2)

$$S_{r, A} = -P_{F, \text{max}} = \underline{-92,9 \text{ MPa}} \quad (1/2)$$

$$S_{\sigma IA} = \frac{Q_A^2 + 1}{1 - Q_A^2} P_{Fom} = \frac{0,5^2 + 1}{1 - 0,5^2} \cdot 92,9 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$S_{\sigma IA} = \underline{154,8 \text{ MPa}} \quad (1/2)$$

$$S_{\sigma IA} = \sqrt{S_{\sigma IA}^2 + S_{\tau IA}^2 - S_{\sigma IA} \cdot S_{\tau IA} + 3\sigma_T^2}$$

$$S_{\sigma IA} = \sqrt{154,8^2 + 92,9^2 + 92,9 \cdot 154,8} \text{ MPa} = \underline{216,7 \text{ MPa}} \quad (1/2)$$

$$f_A = \left( \frac{S_{\sigma IA}}{R_{p, A}} \right)^{-1} = \left( \frac{216,7 \text{ MPa}}{450 \text{ MPa}} \right)^{-1} = \underline{2,08} \quad (1/2)$$

$$Q_A = \frac{S_{\sigma IA} \cdot f_A}{R_{p, A}} = \frac{216,7 \cdot 1,3 \text{ MPa}}{450 \text{ MPa}} = \underline{0,63} \quad (1/2)$$

21j)  $\Rightarrow$  ~~Stapelpress~~ ~~hypothese~~ ~~rookelle~~ (1)  
~~Ballast~~ ~~gestalt~~ ~~ände~~ ~~plene~~ ~~zu~~ ~~hypothese~~

$$j) \quad \Sigma 1 \frac{1}{2} \quad \vartheta_{\text{eff}} = \vartheta_R + \frac{P_{\text{üF}}}{\alpha_A \cdot DF}$$

$$P_{\text{üF}} = |P_{\text{wl}}| + 0,001 \cdot DF = 59 \cdot 10^3 \text{ mm} + 0,001 \cdot 50 \text{ mm}$$

$$\underline{P_{\text{üF}} = 0,109 \text{ mm}} \quad (1/2)$$

$$\vartheta_{\text{eff}} = 20 \text{ K} + \frac{0,109 \text{ mm}}{12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \cdot 50 \text{ mm}} =$$

$$\vartheta_{\text{eff}} = 201,67 \text{ K} \approx \underline{201,67 \text{ °C}} \quad (1/2)$$

2) a)  $A = \frac{\pi}{4} d^2$   $d = 150 \text{ mm}$  ⑦

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 150^2 \text{ mm}^2 = \underline{\underline{17671,5 \text{ mm}^2}} \quad \checkmark \frac{1}{2}$$

$$F_{ges} = p \cdot A = 2 \text{ MPa} \cdot 17671,5 \text{ mm}^2 = \underline{\underline{35343 \text{ N}}}$$

$$F_A = \frac{F_{ges}}{4} = \underline{\underline{8836 \text{ N}}} \quad \checkmark \frac{1}{2}$$

b)  $\sigma_{ges} = \sigma_{SK} + \sigma_{GM} + \sigma_{gew} + \sigma_S$

$$\sigma_{SK} = \frac{0,4 \cdot d \cdot 4}{E_S \cdot \pi d^2} = \frac{0,4 \cdot 4}{2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \pi \cdot 8^2 \text{ mm}^2} = \underline{\underline{3,03 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}}} \quad \checkmark \frac{1}{2}$$

$$\sigma_{GM} = \sigma_G + \sigma_M$$

$$\sigma_G = 0,5 \cdot \frac{d}{E_S \cdot A_3} = \frac{0,5 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 4}{2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \pi \cdot 6,47^2 \text{ mm}^2} = \underline{\underline{5,79 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}}} \quad \checkmark \frac{1}{2}$$

$$\sigma_M = \frac{0,4 \cdot d}{E_M \cdot A_N} = \frac{0,4 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 4}{110 \text{ GPa} \cdot \pi \cdot 8^2 \text{ mm}^2} = \underline{\underline{5,79 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}}} \quad \checkmark \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\sigma_{GM} = 1,158 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}}}$$

$$\sigma_{gew} = \frac{l_{gew} \cdot 4}{E_S \cdot \pi d_3^2} = \frac{10 \text{ mm} \cdot 4}{2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \pi \cdot 6,47^2 \text{ mm}^2} = \underline{\underline{1,448 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}}} \quad \checkmark \frac{1}{2}$$

$$\sigma_S = \frac{l_S \cdot 4}{E_S \cdot \pi d^2} = \frac{22 \text{ mm} \cdot 4}{2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \pi \cdot 8^2 \text{ mm}^2} = \underline{\underline{2,084 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}}} \quad \checkmark \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\sigma_S = 4,993 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}}} \quad \checkmark \frac{1}{2}$$

$$b) \sigma_p = \frac{l_k}{E_p \cdot A_{\text{ers}}} \quad l_k = 32 \text{ mm} \quad (2)$$

$$A_{\text{ers}} =$$

$$D_A = 2 \cdot 14 \text{ mm} = \underline{28 \text{ mm}} \quad \checkmark 1/2 \quad (D_A = 200 \text{ mm} - 172 \text{ mm})$$

$$d_w = 13 \text{ mm}$$

$$d_w + l_k = 45 \text{ mm}$$

$$13 \text{ mm} \leq 28 \leq 45 \text{ mm} \Rightarrow \text{Fall 2}$$

$$\Rightarrow A_{\text{ers}} = \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_a^2) + \frac{\pi}{8} \cdot d_w (D_A - d_w) \left[ \left( \sqrt[3]{\frac{l_k \cdot d_w}{D_A^2} + 1} \right)^2 - 1 \right]$$

$$A_{\text{ers}} = \frac{\pi}{4} (13^2 - 9^2) + \frac{\pi}{8} \cdot 13 (28 - 13) \cdot \left[ \left( \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 13}{28^2} + 1} \right)^2 - 1 \right] \text{ mm}^2$$

$$\underline{A_{\text{ers}} = 243,3 \text{ mm}^2} \quad \checkmark 1/2$$

$$\sigma_p = \frac{32 \text{ mm}}{1,1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 243,3 \text{ mm}^2} = \underline{1,196 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}} \quad \checkmark 1/2$$

$$\phi = \frac{\sigma_p}{\sigma_p + \sigma_s} = \frac{1,196 \cdot 10^{-6}}{1,196 \cdot 10^{-6} + 4,993 \cdot 10^{-6}} = \underline{0,193} \quad \checkmark 1/2$$

c) 3 Sets / Lager (Gewinde, Keppf, Trennring)

$$f_2 = 3 \times 4 \mu = \underline{12 \mu\text{m}} \quad \checkmark 1/2$$

$$F_2 = f_2 \cdot \frac{1}{\sigma_s + \sigma_p} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \text{ mm}}{(1,196 + 4,993) \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}} = \underline{1939 \text{ N}} \quad \checkmark$$

$$d) F_{\text{Mmin}} = F_{\text{Keppf}} + (1 - \phi) F_A + F_2$$

$$F_{\text{Mmin}} = 1000 \text{ N} + (1 - 0,193) \cdot 8836 \text{ N} + 1939 \text{ N} = \underline{10070 \text{ N}} \quad \checkmark$$

$$F_{\text{Mmax}} = F_{\text{Mmin}} \cdot \alpha_A = 10070 \text{ N} \cdot 1,6 = \underline{16112 \text{ N}} \quad \checkmark 1/2$$

$$f) M_{\text{ges}} = F_{\text{min}} \left[ \underbrace{\tan(\rho + \rho')}_{M_{\text{ges}}} \cdot \frac{d_2}{2} + \underbrace{M_K \cdot r_{\text{ma}}}_{M_K} \right] \quad (3)$$

$$\rho' = \arctan\left(\frac{\mu_a}{\cos \frac{\beta}{2}}\right) = \arctan\left(\frac{0,16}{\cos 30^\circ}\right) = 10,47^\circ \checkmark \checkmark$$

$$\tan \rho = \frac{P}{\pi d_2} = \frac{1,25 \text{ mm}}{\pi \cdot 7,19 \text{ mm}} \Rightarrow \rho = 3,17^\circ \checkmark \checkmark$$

$$r_{\text{ma}} = \frac{d_w + d_a}{4} = \frac{13 \text{ mm} + 9 \text{ mm}}{4} = 5,5 \text{ mm} \checkmark$$

$$M_{\text{ges}} = F_{\text{min}} \left[ \tan(3,17^\circ + 10,47^\circ) \cdot \frac{7,19 \text{ mm}}{2} \right]$$

$$M_{\text{ges}} = 8784 \text{ Nmm} \checkmark \checkmark$$

$$M_K = F_{\text{min}} \cdot 5,5 \text{ mm} = 8862 \text{ Nmm} \checkmark$$

$$\Sigma M_{\text{ges}} = 17647 \text{ Nmm} \checkmark \checkmark$$

$$g) S_2 = \frac{F_S}{A_S} = \frac{17817 \text{ N}}{36,6 \text{ mm}^2} = 487 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

⇒ kein Ausgip

$$F_{S_{\text{max}}} = F_{M_{\text{max}}} + \phi \cdot F_A = 16112 \text{ N} + 0,193 \cdot 8836 \text{ N}$$

$$F_{S_{\text{max}}} = 17817,3 \text{ N}$$

$$\sigma_{\text{zul}} = \frac{R_{eH}}{\gamma} = \frac{640 \text{ N/mm}^2}{1,4} = 458 \text{ N/mm}^2 \checkmark \checkmark$$

$$R_{eH} = 8 \cdot 8 \cdot 10 \text{ N/mm}^2 = 640 \text{ N/mm}^2$$

$$W_t = \frac{\pi}{16} d_s^3$$

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{4 A_S^2}{\pi}} = 6,8 \text{ mm}$$

$$W_t = 62,46 \text{ mm}^3 \checkmark$$

oder mit

$$F_{S_{\text{min}}} = F_{M_{\text{min}}} + \phi \cdot F_A = 10070 \text{ N} + 0,193 \cdot 8836 \text{ N}$$

$$F_{S_{\text{min}}} = 11775 \text{ N} \Rightarrow S_2 = \frac{F_S}{A_S} = 321,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_c = \frac{M_{\text{ges}}}{W_t} = \frac{8785 \text{ Nmm}}{62,46 \text{ mm}^3} = 140,7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \sigma_v = 403,6 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

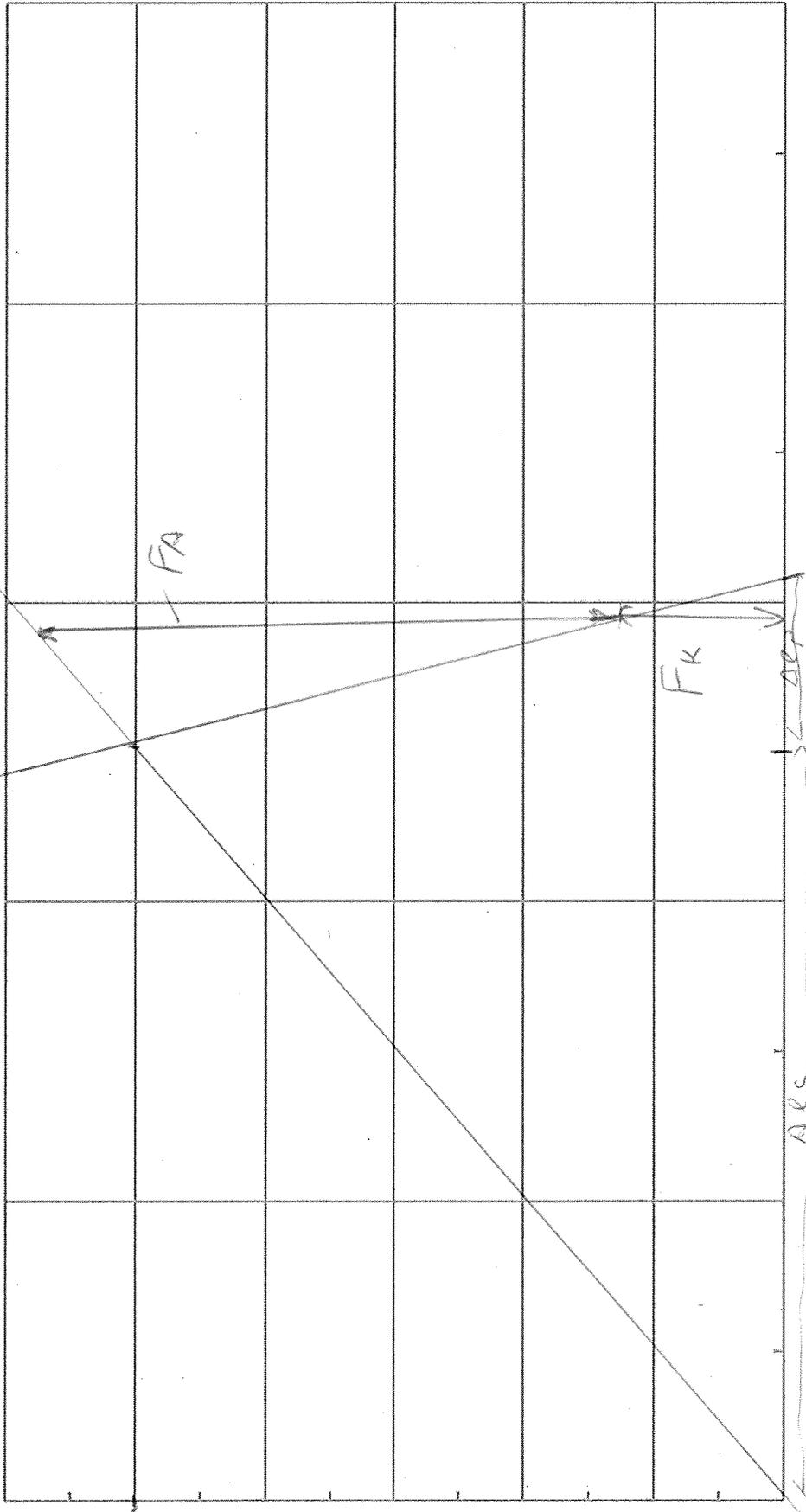
$$F_{S \max} = 17817,3 \text{ N} \Rightarrow S_{Z \max} = 487 \text{ N/m}^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{x \max} = \frac{M_{b \text{ gew max}}}{W_t} = \frac{14054,4 \text{ Nm}}{62,46 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{225 \text{ MPa}}}$$

$$M_{b \text{ gew max}} = 14054,4 \text{ Nm}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{v \max} = 623,7 \text{ MPa}}} > \sigma_{\text{zul}} \quad \text{Löst nicht}$$

# Verspannungsschaubild



$F_{M \min} \approx 10 \text{ kN}$

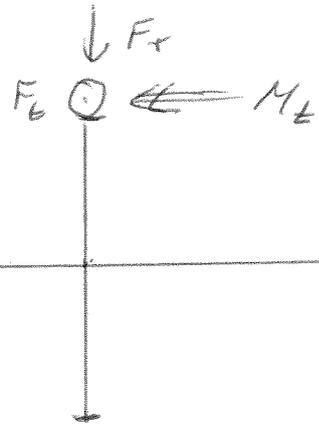
$F_A = 8836 \text{ N}$   
 $\approx 8,8 \text{ kN}$

$10 \text{ kN} \approx 10 \text{ cm}$   
 $p$

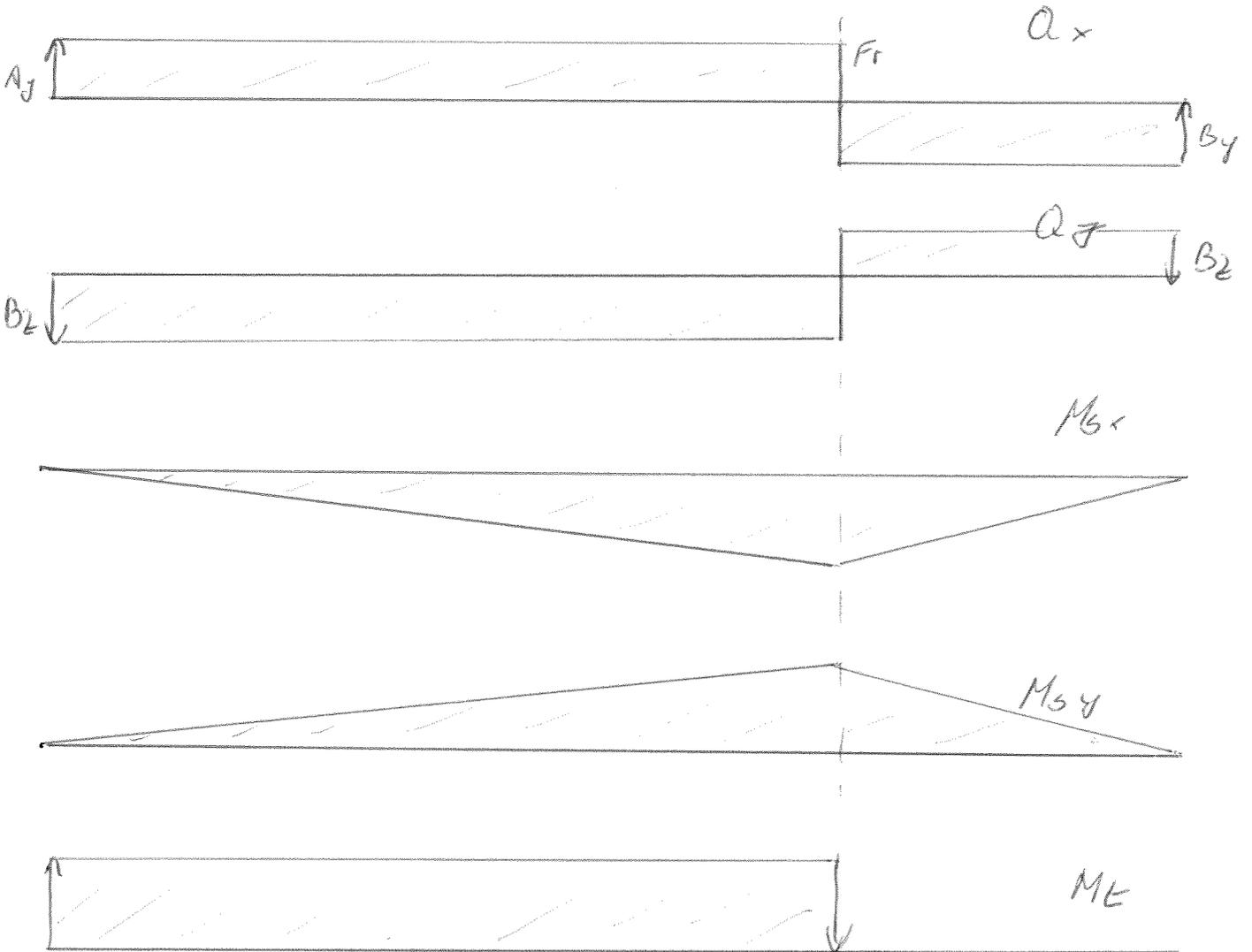
$A_{KS} = \sigma_s \cdot F_{K \min} = 4,993 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}} \cdot 10070 \text{ N} = 0,05 \text{ mm}$   
 $A_{RP} = \sigma_p \cdot F_{K \min} = 1,196 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}} \cdot 10070 \text{ N} = 0,012 \text{ mm}$

e)

Aufgabe 



$N=0$



# Lösung

(Nummerierung entspricht Skript)

## Nennspannungen

Für die Minimal und Maximalspannungen ergibt sich:

$$S_{min.bx} = \frac{32M_{bx.min}}{\pi \cdot d^3} = \frac{-32 \cdot 1241000 N \cdot mm}{\pi \cdot (60mm)^3} = -58.52 \cdot MPa$$

$$S_{max.bx} = \frac{32M_{bx.max}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 1241000 N \cdot mm}{\pi \cdot (60mm)^3} = 58.52 \cdot MPa$$

$$S_{min.by} = \frac{32M_{by.min}}{\pi \cdot d^3} = \frac{-32 \cdot 450000 N \cdot mm}{\pi \cdot (60mm)^3} = -21.22 \cdot MPa$$

$$S_{max.by} = \frac{32M_{by.max}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 450000 N \cdot mm}{\pi \cdot (60mm)^3} = 21.22 \cdot MPa$$

Gesamtbiegespannung

$$S_{max.b} = \sqrt{(S_{max.bx})^2 + (S_{max.by})^2} = \sqrt{(58.5)^2 + (21.2)^2} = 62.22$$

$$S_{min.b} = \sqrt{(S_{min.bx})^2 + (S_{min.by})^2} = -\sqrt{(58.5)^2 + (21.2)^2} = -62.22$$

$$T_{min.t} = \frac{16 \cdot M_{t.min}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 5000000 N \cdot mm}{\pi \cdot (60mm)^3} = 117.89 \cdot MPa$$

$$T_{max.t} = \frac{16 \cdot M_{t.max}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 5000000 N \cdot mm}{\pi \cdot (60mm)^3} = 117.89 \cdot MPa$$

## Statische Festigkeitswerte und Festigkeitsnachweis

Werkstoff-Normwerte (Folie 13 und Anhang)

Laut Tabelle ergeben sich für den Werkstoff 42CrMo4 die Norm-Zugfestigkeit und -Streckgrenze.

$$R_{m.N} = 700MPa$$

$$R_{p.N} = 490MPa$$

Festigkeitskennwerte für den Werkstoff im Bauteil

**Technologischer Größenfaktor (Folie 20 ff) (Klausur gegeben)**

Kurz gesagt nimmt die Festigkeit eines Bauteils mit der Größe ab, sodass die Bauteilgröße zunächst über den effektiven Durchmesser bestimmt werden muss. Für einen Kreisquerschnitt gilt:

$$d_{eff} = D = 70 \cdot mm$$

Die Durchmesser der Proben, an denen die Festigkeitswerte ermittelt wurden sind für vergüteten Vergütungsstahl:

$$d_{eff.N.m} = 16mm$$

$$d_{eff.N.p} = 16mm$$

Außerdem werden zur Berechnung folgende Faktoren benötigt:

$$a_{d,m} = 0.3$$

$$a_{d,p} = 0.4$$

Sowohl  $d_{eff.N,m}$ ,  $d_{eff.N,p}$  als auch  $a_{d,m}$  und  $a_{d,p}$  werden zusammen mit den Normwerten der Zugfestigkeit und Streckgrenze angegeben.

da  $d_{eff.N} < d_{eff} < 250mm$  ergeben sich die technologischen Größenfaktoren zu:

$$K_{d,m} = \frac{1 - 0.7686 \cdot a_{d,m} \cdot \log\left(\frac{d_{eff}}{7.5mm}\right)}{1 - 0.7686 \cdot a_{d,m} \cdot \log\left(\frac{d_{eff.N,m}}{7.5mm}\right)} = \frac{1 - 0.7686 \cdot 0.3 \cdot \log\left(\frac{70mm}{7.5mm}\right)}{1 - 0.7686 \cdot 0.3 \cdot \log\left(\frac{16mm}{7.5mm}\right)} = 0.84$$

$$K_{d,p} = \frac{1 - 0.7686 \cdot a_{d,p} \cdot \log\left(\frac{d_{eff}}{7.5mm}\right)}{1 - 0.7686 \cdot a_{d,p} \cdot \log\left(\frac{d_{eff.N,p}}{7.5mm}\right)} = \frac{1 - 0.7686 \cdot 0.4 \cdot \log\left(\frac{70mm}{7.5mm}\right)}{1 - 0.7686 \cdot 0.4 \cdot \log\left(\frac{16mm}{7.5mm}\right)} = 0.78$$

Anisotropiefaktor (Folie 25 ff)

Da Schubspannungen und Kerbe vorliegen:  $K_A = 1$

Zugfestigkeit und Fließgrenze des Werkstoffs im Bauteil (Folie 30)

$$R_m = K_{d,m} \cdot K_A \cdot R_{m,N} = 0.84 \cdot 1 \cdot 700MPa = 588 \cdot MPa$$

$$R_p = K_{d,p} \cdot K_A \cdot R_{p,N} = 0.78 \cdot 1 \cdot 490MPa = 382.2 \cdot MPa$$

## Bauteilfestigkeit

**Plastische Stützzahlen (Folie 39 ff) (Klausur gegeben)**

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

Die plastische Formzahl für einen Kreisquerschnitt sind:

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

$$K_{p,t} = 1.33$$

Damit kann die Stützzahl ermittelt werden:

$$n_{pl,b} = \min\left(\sqrt{\frac{1050MPa}{R_p}}, K_{p,b}\right) = \min\left(\sqrt{\frac{1050MPa}{382MPa}}, 1.7\right) = \min(1.66, 1.7) = 1.66$$

$$n_{pl,t} = \min\left(\sqrt{\frac{1050MPa}{R_p}}, K_{p,t}\right) = \min\left(\sqrt{\frac{1050MPa}{382MPa}}, 1.33\right) = \min(1.66, 1.33) = 1.33$$

**Konstruktionsfaktoren (Folie 42) (Klausur gegeben)**

$$K_{SK,b} = \frac{1}{n_{pl,b}} = \frac{1}{1.66} = 0.6$$

$$K_{SK,t} = \frac{1}{n_{pl,t}} = \frac{1}{1.33} = 0.75$$

Bauteilfestigkeit (Folie 43)

$$S_{SK,b} = \frac{R_m}{K_{SK,b}} = \frac{588MPa}{0.6} = 980 \cdot MPa$$

$$T_{SK,t} = 0.577 \cdot \frac{R_m}{K_{SK,t}} = 0.577 \cdot \frac{588MPa}{0.75} = 452.37 \cdot MPa$$

## Sicherheitsfaktoren (Folie 44)

Die Auswirkungen beim Versagen sind gering. Da über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Spannungskombinationen keine Aussagen gemacht werden, wird konservativ gerechnet:

$$j_m = 1.75$$

$$j_p = 1.3$$

$$j_{ges} = \max\left(j_m \cdot j_p \cdot \frac{R_m}{R_p}\right) = \max\left(1.75, 1.3 \cdot \frac{588 \text{ MPa}}{382 \text{ MPa}}\right) = \max(1.75, 1.3 \cdot 1.53) = 2.0$$

## Nachweis der statischen Festigkeit

Auslastungen für die einzelnen Spannungsarten (Folie 45)

$$a_{SK.b} = \frac{\max(|S_{max.b}|, |S_{min.b}|) \cdot j_{ges}}{S_{SK.b}} = \frac{\max(62.2 \text{ MPa}, 62.2 \text{ MPa}) \cdot 2.0}{(980 \text{ MPa})} = 0.13$$

$$a_{SK.t} = \frac{\max(|T_{max.t}|, |T_{min.t}|) \cdot j_{ges}}{T_{SK.t}} = \frac{\max(117.89 \text{ MPa}, 0.0 \text{ MPa}) \cdot 2.0}{452.37 \text{ MPa}} = 0.52$$

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

Auslastung für zusammengesetzte Spannungsarten (Folie 46)

$$a_{SK.sv} = \sqrt{(a_{SK.b})^2 + (a_{SK.t})^2} = \sqrt{(0.13)^2 + (0.52)^2} = 0.54$$

Damit ist der statische Festigkeitsnachweis erbracht. Das Bauteil wird von den angegebenen Belastungen zu 54% ausgelastet.

## Spannungen für den Dauerfestigkeitsnachweis

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

$$S_{a.b} = \frac{32M_{b.a}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 1320000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot (60 \text{ mm})^3} = 62.25 \cdot \text{MPa}$$

$$T_{m.t} = \frac{16M_{t.m}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 5000000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot (60 \text{ mm})^3} = 117.89 \cdot \text{MPa}$$

$$T_{a.t} = \frac{16M_{t.a}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 0 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot (60 \text{ mm})^3} = 0 \cdot \text{MPa}$$

## Dynamische Festigkeitswerte und Festigkeitsnachweis Werkstoff-Normwerte (Anhang)

$$\sigma_{W.zd.N} = 315 \text{ MPa}$$

$$\tau_{W.s.N} = 180 \text{ MPa}$$

Festigkeitskennwerte des Werkstoffs im Bauteil (Folie 49)

$$\sigma_{W.zd} = K_{d.m} \cdot K_A \cdot \sigma_{W.zd.N} = 0.84 \cdot 1 \cdot 315 \text{ MPa} = 264.6 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{W.s} = K_{d.m} \cdot K_A \cdot \tau_{W.s.N} = 0.84 \cdot 1 \cdot 180 \text{ MPa} = 151.2 \cdot \text{MPa}$$

## Bauteilfestigkeit (Folie 50 ff und Anhang)

Kerbwirkungs- bzw. Formzahlen Wellenabsatz (Klausur gegeben)

$$K_{t,b} = 2.2 \quad K_{t,t} = 1.6$$

Stützzahlen (Folie 55)

$$\text{da } \frac{t}{d} < 0.25 : \quad \phi = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{\frac{t}{r} + 2}} = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{\frac{5\text{mm}}{2\text{mm}} + 2}} = 0.12$$

Damit sind die bezogenen Spannungsgefälle für die Kerbe (Klausur gegeben)

$$G_{\sigma}(r) = \frac{2.3}{r} \cdot (1 + \phi) = \frac{2.3}{2\text{mm}} \cdot (1 + 0.12) = 1.29 \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

$$G_{\tau}(r) = \frac{1.15}{r} = \frac{1.15}{2\text{mm}} = 0.58 \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

...und für die Spannungsart (Klausur gegeben)

$$G_{\sigma}(d) = \frac{2}{d} = \frac{2}{60\text{mm}} = 0.03 \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

$$G_{\tau}(d) = \frac{2}{d} = \frac{2}{60\text{mm}} = 0.03 \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

Für die Werkstoff ergeben sich die Konstanten

$$a_g = 0.5$$

$$b_g = 2700$$

Die Stützzahlen für die Kerbe: (Klausur gegeben)

$$\text{da } 1 \cdot \frac{1}{\text{mm}} < G_{\sigma}(r) < 100 \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

$$n_{\sigma}(r) = 1 + \sqrt[4]{G_{\sigma}(r) \cdot \text{mm} \cdot 10} \cdot \left( a_g + \frac{R_m}{b_g \text{ MPa}} \right) = 1 + \sqrt[4]{1.29 \cdot 10} \cdot \left( 0.5 + \frac{588}{2700} \right) = 1.2$$

$$\text{da } 0.1 \cdot \frac{1}{\text{mm}} < G_{\tau}(r) < 1 \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

$$n_{\tau}(r) = 1 + \sqrt[4]{G_{\tau}(r) \cdot \text{mm} \cdot 10} \cdot \left( a_g + \frac{0.577 R_m}{b_g \text{ MPa}} \right) = 1 + \sqrt[4]{0.58 \cdot 10} \cdot \left( 0.5 + \frac{0.577 \cdot 588}{2700} \right) = 1.18$$

Die Stützzahlen für die Spannungsart: (Klausur gegeben)

$$\text{da } G_{\sigma}(d) < 0.1 \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

$$n_{\sigma}(d) = 1 + G_{\sigma}(d) \cdot \text{mm} \cdot 10 \cdot \left( a_g + \frac{R_m}{b_g \text{ MPa}} \right) = 1 + 0.03 \cdot 10 \cdot \left( 0.5 + \frac{588}{2700} \right) = 1.02$$

da  $G_{\tau}(d) < 0.1 \cdot \frac{1}{mm}$

$$n_{\tau}(d) = 1 + G_{\tau}(d) \cdot mm \cdot 10^{-0.5 \cdot \left( a_g - 0.5 + \frac{0.577 R_m}{b_g \cdot MPa} \right)}$$

$$= 1 + 0.03 \cdot 10^{-0.5 \cdot \left( 0.5 - 0.5 + \frac{0.577 \cdot 588}{2700} \right)} = 1.02$$

**Kerbwirkungszahlen (Folie 57) (Klausur gegeben)**

$$K_{f.b1} = \max\left(\frac{K_{t.b}}{n_{\sigma}(r) \cdot n_{\sigma}(d)}, \frac{1}{n_{\sigma}(d)}\right) = \max\left(\frac{2.2}{1.2 \cdot 1.02}, \frac{1}{1.02}\right) = 1.8 \quad K_{f.b2} = 1.95$$

$$K_{f.t1} = \max\left(\frac{K_{t.t}}{n_{\tau}(r) \cdot n_{\tau}(d)}, \frac{1}{n_{\tau}(d)}\right) = \max\left(\frac{1.6}{1.18 \cdot 1.02}, \frac{1}{1.02}\right) = 1.33 \quad K_{f.t2} = 1.55$$

**Rauheitsfaktor (Folie 59 ff) (Klausur gegeben)**

Rauheit des Bauteils  $R_z = 30 \mu m$

$$K_{R.\sigma} = 1 - 0.22 \cdot \log\left(\frac{R_z}{\mu m}\right) \cdot \log\left(\frac{2 \cdot R_m}{400 MPa}\right) = 1 - 0.22 \cdot \log(30) \cdot \log\left(\frac{2 \cdot 588}{400}\right) = 0.85$$

$$K_{R.\tau} = 1 - 0.577 \cdot 0.22 \cdot \log\left(\frac{R_z}{\mu m}\right) \cdot \log\left(\frac{2 \cdot R_m}{400 MPa}\right)$$

$$= 1 - 0.577 \cdot 0.22 \cdot \log(30) \cdot \log\left(\frac{2 \cdot 588}{400}\right) = 0.91$$

Randschichtfaktor (Folie 62)

Der Randschichtfaktor

$K_V = 1$  da keine harte Randschicht vorliegt.

$$K_{f.b} = (K_{f.b1} - 1) + [(K_{f.b2} - 1) + 1] \quad K_{f.b} = 2.75$$

$$K_{f.t} = (K_{f.t1} - 1) + [(K_{f.t2} - 1) + 1] \quad K_{f.t} = 1.88$$

Konstruktionsfaktoren (Folie 64)

$$K_{WK.b} = \left(K_{f.b} + \frac{1}{K_{R.\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V} = \left(2.75 + \frac{1}{0.85} - 1\right) \cdot \frac{1}{1} = 2.93$$

$$K_{WK.t} = \left(K_{f.t} + \frac{1}{K_{R.\tau}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V} = \left(1.88 + \frac{1}{0.91} - 1\right) \cdot \frac{1}{1} = 1.98$$

Bauteil-Wechselfestigkeit (Folie 65)

$$S_{WK.b} = \frac{\sigma_{W.zd}}{K_{WK.b}} = \frac{264.6 MPa}{2.93} = 90.31 \cdot MPa$$

$$T_{WK.t} = \frac{\tau_{W.s}}{K_{WK.t}} = \frac{151.2 MPa}{1.98} = 76.36 \cdot MPa$$

Mittelspannungsfaktor

Mittelspannungsempfindlichkeit (Folie 66)

$$M_{\sigma} = 0.00035 \cdot \frac{R_m}{MPa} - 0.1 = 0.00035 \cdot \frac{588 MPa}{MPa} - 0.1 = 0.1058$$

$$M_{\tau} = 0.577 \cdot M_{\sigma} = 0.577 \cdot 0.1058 = 0.061$$

Vergleichsspannungen (Folie 67 ff)

$$S_{m.v} = \sqrt{(S_{m.b})^2 + 3(T_{m.t})^2} \\ = \sqrt{(0 MPa)^2 + 3(117.9 MPa)^2} = 204.21 \cdot MPa$$

$$T_{m.v} = 0.577 \cdot S_{m.v} = 0.577 \cdot 204.21 MPa = 117.83 \cdot MPa$$

Bauteil-Ausschlagfestigkeit

$$S_{AK.b} = 75 MPa$$

$$T_{AK.t} = 0.1 MPa$$

Sicherheitsfaktoren (Folie 71)

$$j_D = 1.2$$

Nachweis der Dauerfestigkeit (Folie 72)

Auslastungen für einzelne Spannungsarten

$$a_{AK.b} = \frac{S_{a.b} \cdot j_D}{\min(S_{AK.b}, 0.75 \cdot R_p)} = \frac{62.25 MPa \cdot 1.2}{\min(75 MPa, 0.75 \cdot 382 MPa)} = 1$$

$$a_{AK.t} = \frac{T_{a.t} \cdot j_D}{\min(T_{AK.t}, 0.75 \cdot 0.577 \cdot R_p)} = \frac{0 MPa \cdot 1.2}{\min(0.1 MPa, 0.75 \cdot 0.577 \cdot 382 MPa)} = 0$$

Auslastungen für zusammengesetzte Spannungsarten (Folie 72)

$$a_{AK.sv} = \sqrt{(a_{AK.b})^2 + (a_{AK.t})^2} = \sqrt{(1)^2 + (0)^2} = 1$$

Die Einzelauslastungen sind kleiner 1, die Gesamtauslastung ist 1. so dass die Dauerfestigkeit gegeben ist.