

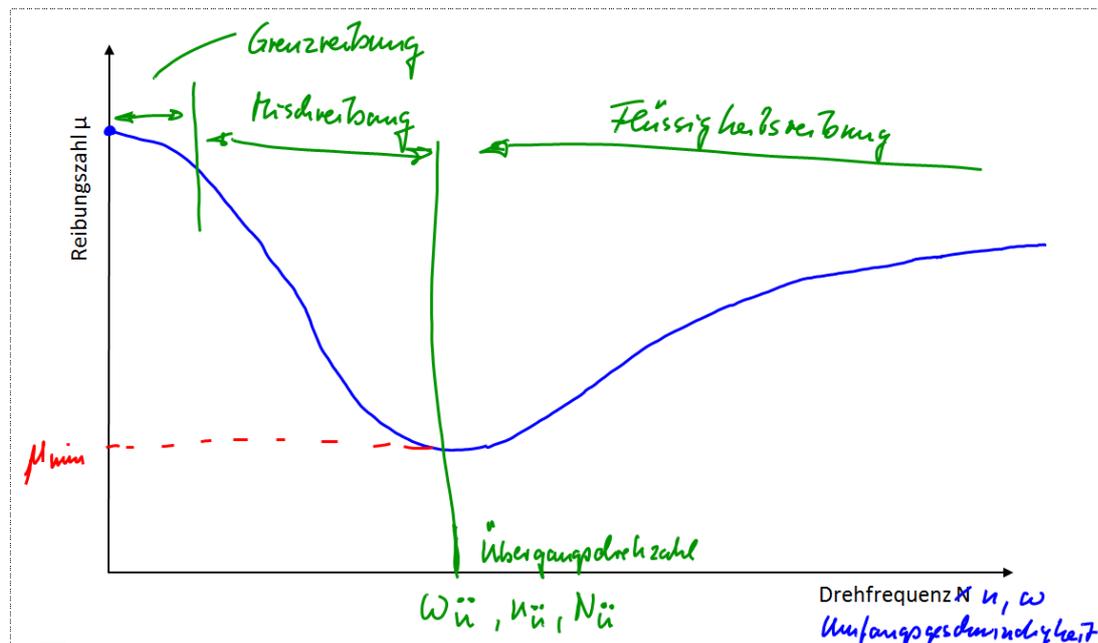
## Musterlösung Fragenteil SoSe 16

1) Nennen Sie jeweils 2 Beispiele für Form- und Stoffschlüssige Verbindungen

Formschluss: Bolzen und Stifte, Nietverbindungen, Passfeder,

Stoffschluss: Schweißverbindungen, Lötverbindungen

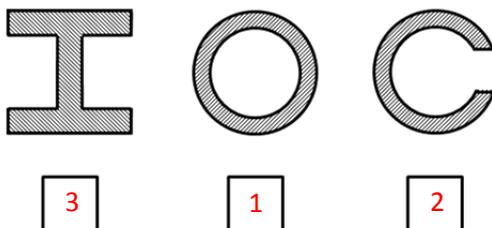
2) Skizzieren Sie die Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten  $\mu$  von der Umfangsgeschwindigkeit  $n$ , für einen hydrodynamischen Gleitkontakt. Kennzeichnen Sie die auftretenden Reibungszustände.



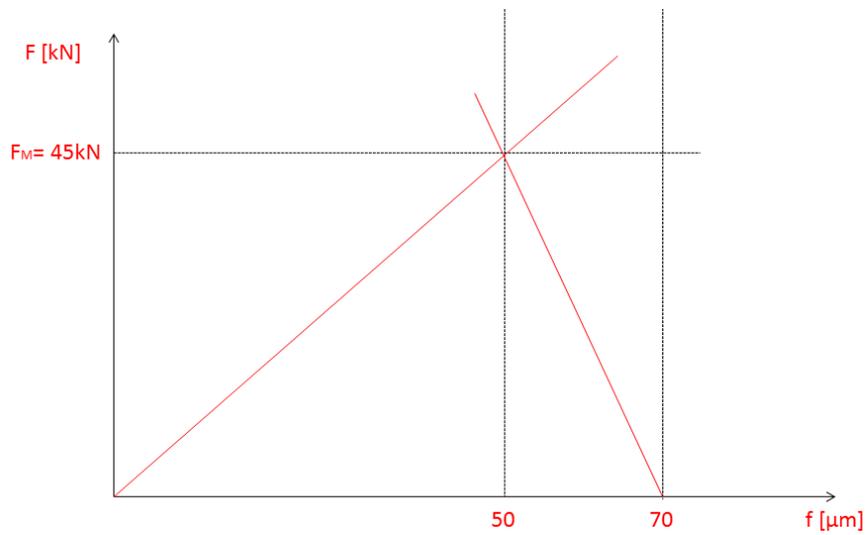
3) Welche Festigkeitsnachweise müssen bei der Auslegung von Verzahnungen erbracht werden?

- Zahnfußfestigkeit
- Zahnflankentragfähigkeit
- Fresstragfähigkeit/spezifisches Gleiten

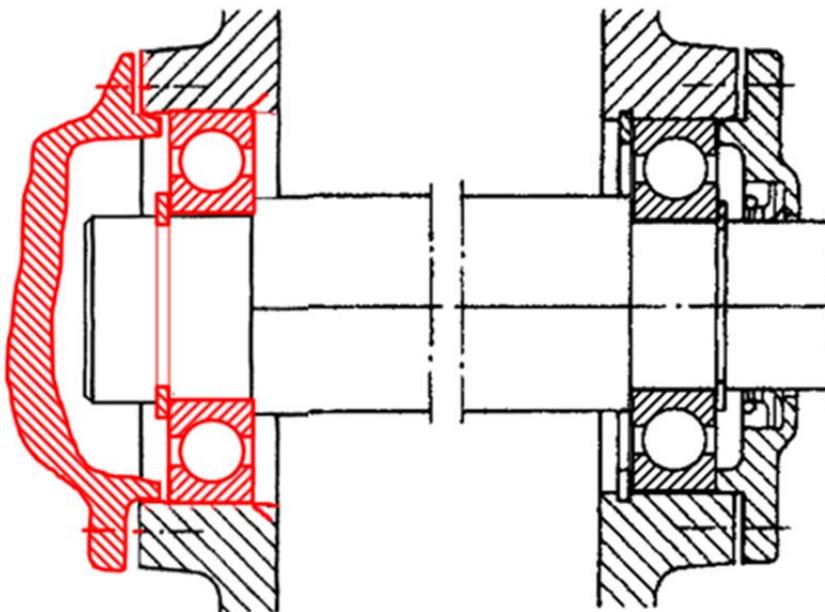
4) Ordnen Sie die dargestellten Querschnitte nach ihrer Eignung bei Torsionsbeanspruchung. Dabei steht 1 für die beste und 3 für die schlechteste Eignung



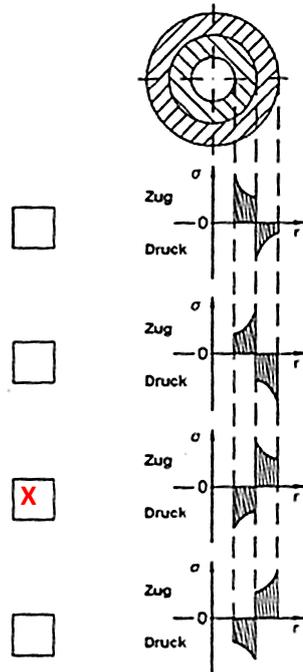
5) Zeichnen Sie in das nachfolgende Diagramm das Verspannungsschaubild einer Befestigungsschraube. Dafür sind die Montagevorspannkraft  $F_M = 45 \text{ kN}$ , die Schraubennachgiebigkeit  $f_s = 50 \mu\text{m}$  und die Flanschnachgiebigkeit  $f_p = 20 \mu\text{m}$  gegeben.



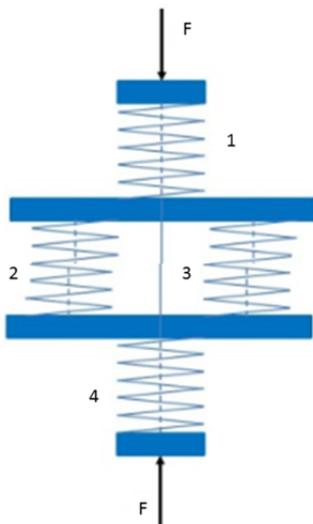
6) Ergänzen Sie die abgebildete Lagerung durch ein Rillenkugellager derart, dass eine Fest-Loslagerung daraus entsteht. Das Gehäuse muss nicht gedichtet werden.



7) Wie verlaufen qualitativ in der Nabe und in der Hohlwelle die Normalspannungen  $\sigma$  in Umfangsrichtung? Kreuzen Sie an!



8) Geben Sie die Gesamtfedersteifigkeit der folgenden Abbildung an. Die Federsteifigkeit der einzelnen Federn beträgt  $R_1=R_2=R_3=R$ ;  $R_4=2R$



Parallelschaltung:  $R_{P23} = R_2 + R_3 = R + R = 2R$

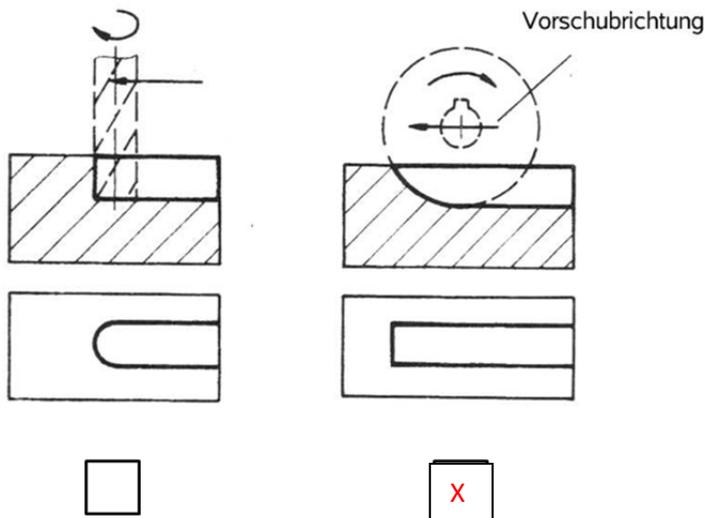
Reihenschaltung:  $\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{P23}} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} = \frac{2+1+1}{2R} = \frac{4}{2R} = \frac{2}{R}$

$$R_{ges} = \frac{1}{2} R$$

9) Nennen Sie mindestens 4 Regeln, die beachtet werden müssen, um eine gute Ausformbarkeit von Gussteilen zu gewährleisten.

- Teilung eben ausführen
- Kerne und mehrteilige Modelle sicher lagern
- Hinterschneidungen vermeiden
- Aushebeschrägen verwenden
- Übergänge gut runden (Ausradiusradius 25-35% der Wandstärke)
- Sandkanten vermeiden

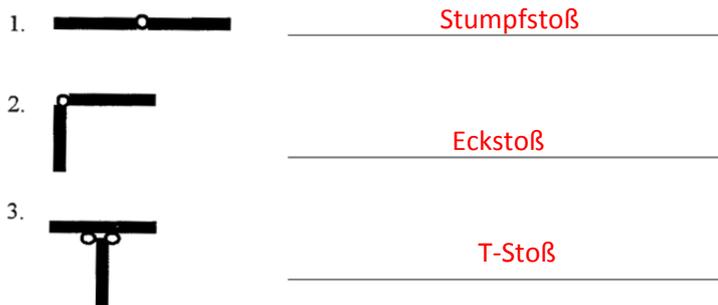
10) Nachfolgend sind zwei Spanverfahren zur Herstellung einer Passfedernut dargestellt. Kreuzen Sie an, welches das wirtschaftlichere ist und begründen Sie warum.



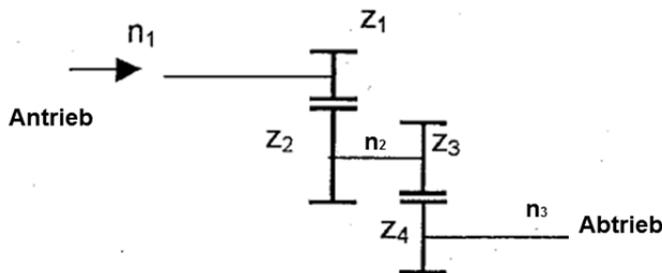
**Begründung:**

- geringerer Zeitaufwand bei der Fertigung
- weniger Kerbwirkung
- stabileres Werkzeug
- Werkzeugauslauf gewährleistet

11) Benennen Sie die folgenden Stoßarten bei Schweißverbindungen:



12) Gegeben ist das unten dargestellte Schema eines Getriebes mit den Zähnezahlen  $z_1=10$ ,  $z_2=30$ ,  $z_3=15$  und  $z_4=20$ . Berechnen Sie die Drehzahl  $n_3$  der Abtriebswelle, wenn die Drehzahl der Antriebswelle  $n_1=100$  U/min beträgt.



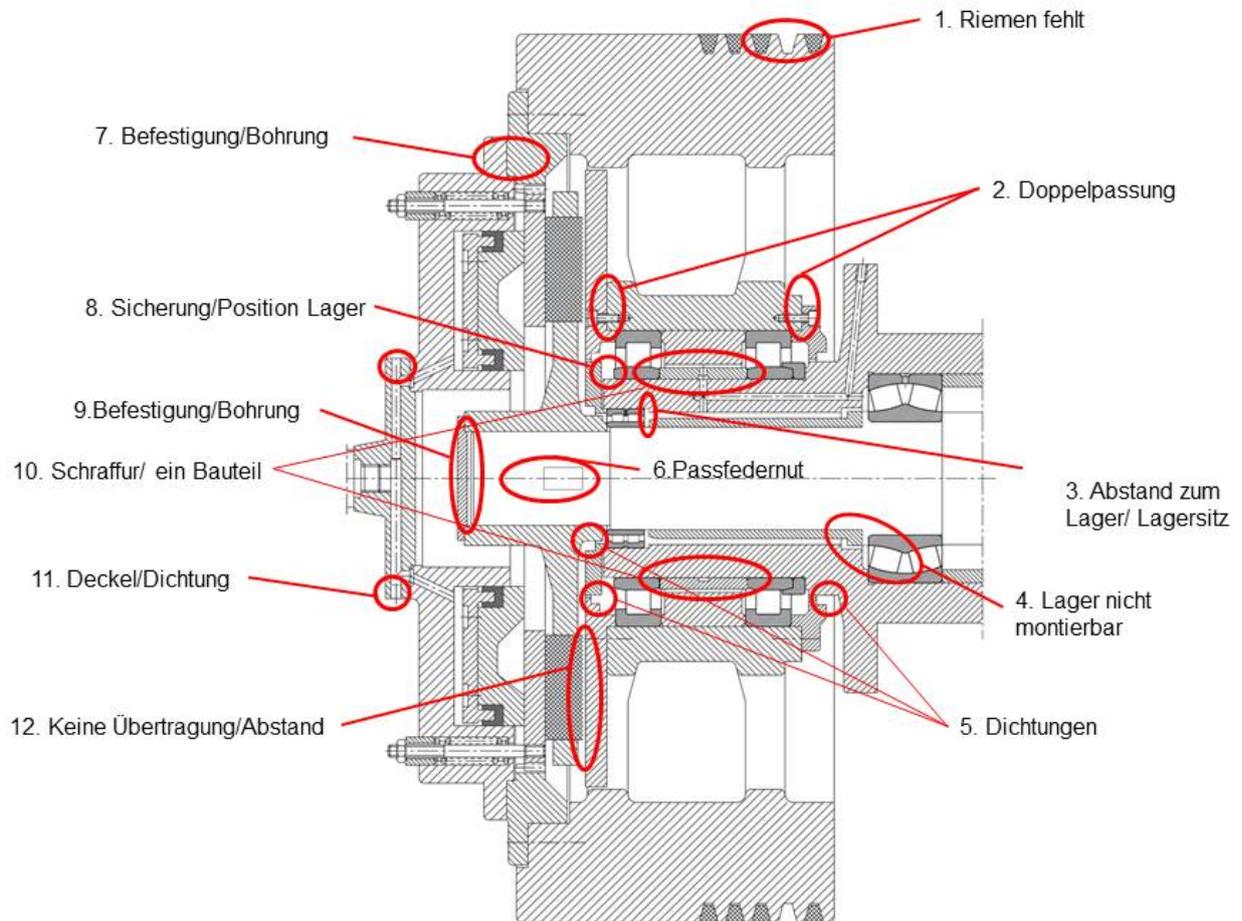
$$i = \frac{z_{\text{getrieben}}}{z_{\text{treibend}}} = \frac{n_{\text{treibend}}}{n_{\text{getrieben}}}$$

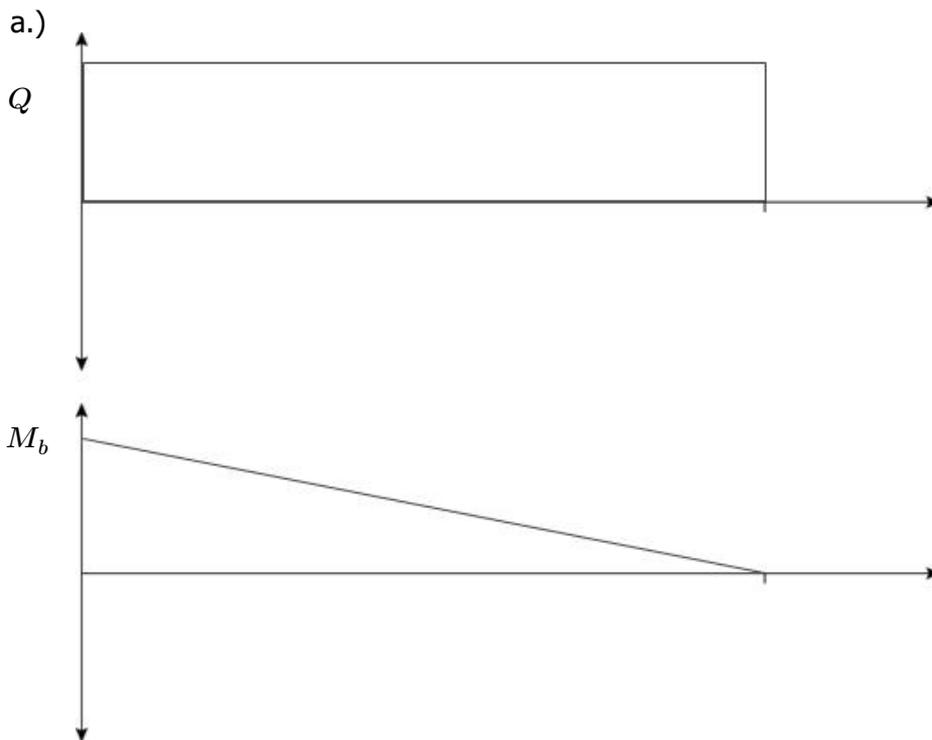
$$n_2 = \frac{n_1 \cdot z_1}{z_2} = \frac{100 \text{ U/min} \cdot 10}{30} = \frac{100 \text{ U/min}}{3}$$

$$n_3 = \frac{n_2 \cdot z_3}{z_4} = \frac{\frac{100 \text{ U/min}}{3} \cdot 15}{20} = \frac{500 \text{ U/min}}{20} = 25 \text{ U/min}$$

## Fehlersuchaufgabe

Die Zeichnung zeigt die Schwungradlagerung einer Presse. Die Darstellung enthält 10 Funktions- bzw. Konstruktionsfehler. Kennzeichnen und erläutern Sie diese Fehler in Stichpunkten.





b.) **Ablesen von notwendigen Werten:**

$a := 15 \text{ mm}$  (Nahtdicke->Technische Zeichnung)

$R_{P\_N} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  (Streckgrenze Normprobe S355 Feinkornbaustahl)

$v_2 := 0.9$  (Nahtgütebeiwert ->Normalgüte S.480)

**Berechnung statische Beanspruchung**

$$I_{yy} := 2 \cdot \frac{a^3 \cdot (B - 2e)}{12} + 2 \cdot \frac{a \cdot (H - 2 \cdot T - 2e)^3}{12} + 2 \cdot a \cdot (B - 2e) \cdot \left(\frac{H+a}{2}\right)^2$$

$$I_{yy} := \left( 2 \cdot \frac{15^3 \cdot (300 - 2 \cdot 5)}{12} + 2 \cdot \frac{15 \cdot (350 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 5)^3}{12} + 2 \cdot 15 \cdot (300 - 2 \cdot 5) \cdot \left(\frac{350 + 15}{2}\right)^2 \right) \cdot \text{mm}^4$$

Flächenträgheitsmoment = Eigenanteil + Steineranteil

$$I_{yy} = (3.339 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$z_{max} := \frac{H}{2} + a \quad z_{max} := \frac{350 \cdot \text{mm}}{2} + 15 \text{ mm} = 190 \text{ mm} \quad \text{Maxmialer Abstand von Rand- zur Neutralfaser}$$

$$W_{bw} := \frac{I_{yy}}{z_{max}} \quad \text{Widerstandsmoment}$$

$$W_{bw} := \frac{(3.339 \cdot 10^8) \text{ mm}^4}{190 \text{ mm}} = (1.757 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$





## c.) Berechnung dynamische Beanspruchung

$$M_{b\_dyn} := F_{dyn} \cdot L \quad \text{dynamisches Biegemoment}$$

$$M_{b\_dyn} := 5 \text{ kN} \cdot 6 \text{ m} = (3 \cdot 10^7) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{w\_a\_b} := \frac{M_{b\_dyn}}{W_{bw}} \quad \text{dynamische Biegespannung}$$

$$\sigma_{w\_a\_b} := \frac{(3 \cdot 10^7) \text{ N} \cdot \text{mm}}{(1.757 \cdot 10^6) \text{ mm}^3} = 17.075 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{w\_a\_s} := \frac{F_{dyn}}{2 \cdot a \cdot (H - 2 \cdot T - 2 \cdot e)} \quad \text{dynamische Schubspannung (nur längsbelastete Nähte)}$$

$$\tau_{w\_a\_s} := \frac{5 \text{ kN}}{2 \cdot 15 \text{ mm} (350 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 2 \cdot 5 \text{ mm})} = 0.641 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## Festigkeits-Einzelnachweis für dynamische Beanspruchung

$$\sigma_{A\_zd\_N} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - 170.746 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 184.254 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

(Wechselfestigkeit->Smith Diagramm bei Mittelspannung = 170,746 MPa)

$$\sigma_{w\_A\_b} := v_1 \cdot v_2 \cdot K_{d\_m} \cdot \sigma_{A\_zd\_N} \quad j_{w\_D\_b} := \frac{\sigma_{w\_A\_b}}{\sigma_{w\_a\_b}} \quad \text{Sicherheit Biegung}$$

$$\sigma_{w\_A\_b} := 0.54 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 184.254 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 80.593 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad j_{w\_D\_b} := \frac{80.593}{17.075} = 4.72$$

$$\tau_{w\_A\_s} := v_1 \cdot v_2 \cdot K_{d\_m} \cdot \sigma_{A\_zd\_N} \quad j_{w\_D\_s} := \frac{\tau_{w\_A\_s}}{\tau_{w\_a\_s}} \quad \text{Sicherheit Schub}$$

$$\tau_{w\_A\_s} := 0.54 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 184.254 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 80.593 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad j_{w\_D\_s} := \frac{80.593}{0.641} = 125.73$$

Zusammengesetzte Sicherheit für dynamische Beanspruchung (S.484)

$$j_{w\_D} := \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{j_{w\_D\_b}}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{j_{w\_D\_s}}}\right)^2}$$

$$j_{w\_D} := \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{4.72}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{125.73}}\right)^2} = 4.549$$

Sicherheit > 1, Schweißnaht hält

d.) **Zusammengesetzte Auslastungen**

$$\text{statische\_Auslastung} := \frac{1}{j_{w\_F}}$$

$$\text{dynamische\_Auslastung} := \frac{1}{j_{w\_D}}$$

$$\text{statische\_Auslastung} := \frac{1}{1.298} = 0.77$$

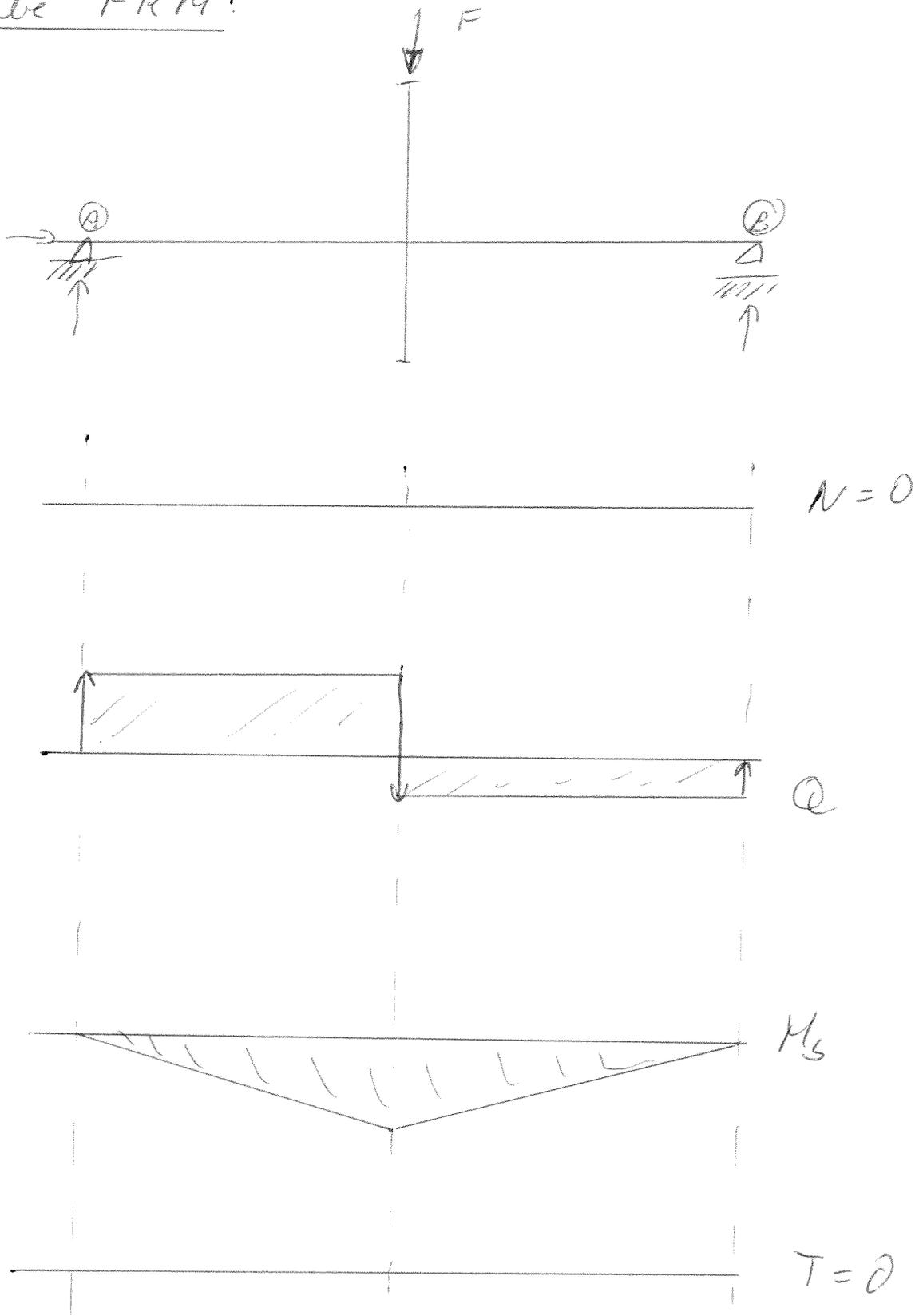
$$\text{dynamische\_Auslastung} := \frac{1}{4.549} = 0.22$$

$$\text{statische\_Auslastung} := 77\%$$

$$\text{dynamische\_Auslastung} := 22\%$$

Aufgabe FKM:

a)



$$b) \quad M_{S \max} = F_A \cdot \frac{l}{2}$$

$$\sum F = 0 : F_A + F_B - F = 0$$

$$\sum M_{[CB]} = 0 : F_A \cdot l - F \cdot \frac{l}{2} = 0 \Rightarrow F_A = \frac{F}{2} = \underline{\underline{5 \text{ kN}}}$$

$$M_{S \max} = F_A \cdot \frac{l}{2} = 5 \text{ kN} \cdot \frac{390 \text{ mm}}{2} = \underline{\underline{975000 \text{ Nmm}}}$$

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{r \cdot d^2}{3} = \frac{\pi \cdot 50^3 \text{ mm}^3}{32} - \frac{5 \cdot 50^2 \text{ mm}^3}{3} \quad (2)$$

$$W_0 = 8105,2 \text{ mm}^3$$

$$S_{\sigma, \max} = \frac{M_{b, \max}}{W_0} = \frac{975000 \text{ Nm}}{8105,2 \text{ mm}^3} = \underline{\underline{120,3 \text{ MPa}}}$$

$$S_{\sigma, \min} = -S_{\sigma, \max} = \underline{\underline{-120,3 \text{ MPa}}}$$

$$R_m = K_{d,m} \cdot K_A \cdot R_{m,N} = 0,99 \cdot 1 \cdot 490 \text{ MPa} = \underline{\underline{485 \text{ MPa}}}$$

$$R_p = K_{d,p} \cdot K_A \cdot R_{p,N} = 0,97 \cdot 1 \cdot 295 \text{ MPa} = \underline{\underline{286 \text{ MPa}}}$$

$$K_{p,v} = 1,7$$

$$n_{p,v} = \min \left( \sqrt{\frac{1050 \text{ MPa}}{286 \text{ MPa}}}; 1,7 \right) = \underline{\underline{1,7}}$$

$$K_{SK,v} = \frac{1}{n_{p,v}} = \frac{1}{1,7} = \underline{\underline{0,588}}$$

$$S_{SK,v} = \frac{R_m}{K_{SK,v}} = \frac{485 \text{ MPa}}{0,588} = \underline{\underline{825 \text{ MPa}}}$$

$$f_{SK} = \max \left( f_m; f_p \frac{R_m}{R_p} \right) = \max \left( 1,75; 1,3 \cdot \frac{485 \text{ MPa}}{286 \text{ MPa}} \right)$$

$$\underline{\underline{f_{SK} = 2,2}}$$

$$a_{SK,v} = \frac{\max(|S_{\max,v}|; |S_{\min,v}|) \cdot f_{SK}}{S_{SK,v}}$$

$$a_{SK,v} = \frac{\max(|120,3 \text{ MPa}|; |-120,3 \text{ MPa}|) \cdot 2,2}{825 \text{ MPa}} = \underline{\underline{0,32}}$$

$$a_{SK,v} = a_{SK,v} = \underline{\underline{0,32}}$$

⇒ erfüllt

(3)

$$c). \quad \sigma_{W,z,d} = K_{d,m} \cdot K_A \cdot \sigma_{W,z,d,N} = 0,99 \cdot 1 \cdot 220 \text{ MPa} \\ = \underline{\underline{218 \text{ MPa}}}$$

$$\bar{\sigma}_{W,s} = K_{d,m} \cdot K_A \cdot \bar{\sigma}_{W,s,N} = 0,99 \cdot 1 \cdot 125 \text{ MPa} = \underline{\underline{124 \text{ MPa}}}$$

$$K_{f,u} = 1,54 \cdot 0,0004 \cdot \frac{R_m}{\text{MPa}} = 1,54 + 0,0004 \cdot \frac{485 \text{ MPa}}{\text{MPa}}$$

$$\underline{\underline{K_{f,u} = 1,734}}$$

$$\text{Dontrolle: } \frac{2r}{d} = \frac{10 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 0,2 \Rightarrow \underline{\underline{OK}}$$

$$K_{R5} = \frac{K_{R5}(6,3)}{K_{R5}(10)} = \frac{0,93}{0,92} = \underline{\underline{1,01}}$$

$$K_{W,K,u} = \left( K_{f,u} + \frac{1}{K_{R5}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V}$$

$$K_{W,K,u} = \left( 1,73 + \frac{1}{1,01} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1} = \underline{\underline{1,72}}$$

$$s_{W,K,u} = \frac{\sigma_{W,z,d}}{K_{W,K,u}} = \frac{218 \text{ MPa}}{1,72} = \underline{\underline{126,7 \text{ MPa}}}$$

$$s_{W,K,u} \stackrel{!}{=} s_{A,K,u} \quad 0,0$$

$$f_D = 1,2$$

$$a_{A,K,u} = \frac{s_{A,u} \cdot f_D}{\min(s_{A,K,u}; 0,75 R_p \cdot K_{f,u})}$$

$$a_{A,K,u} = \frac{120,3 \text{ MPa} \cdot 1,2}{\min(126,7 \text{ MPa}; 0,75 \cdot 286 \text{ MPa} \cdot 1,7)} = \underline{\underline{1,14 > 1}}$$

$$a_{A,K,su} = a_{A,K,u} = \underline{\underline{1,14 > 1}} \quad \text{nicht OK}$$

### A3: Schaltkupplungen

jw, 19.07.2016

#### Lamellenkupplung (Musterlösung)

a) In welcher Höhe muss die Federkraft bemessen sein, wenn ein Schaltvorgang nicht länger als 2 Sekunden dauern soll? Berechnen Sie den für die Federkraft erforderlichen Federweg! (Anm.: Verwenden Sie zur Berechnung des wirksamen Radius  $R_m$  die Näherungsgleichung!)

$$T_K = T_B + T_L$$

Berechnung von  $T_B$

$$T_B = \frac{I_L * \omega_1}{t_{sl}} = \frac{40 \text{ kgm}^2 * 2 * \pi * 240 * \cancel{\text{min}}}{2 * \text{s} * \cancel{\text{min}} * 60 \text{ s}} = 502,7 \text{ Nm}$$

$$T_K = (502,7 + 400) \text{ Nm} = 902,7 \text{ Nm}$$

Berechnung der erforderlichen Federkraft

Mit

$$T_K = \mu_G * F_{N,ges} * i * R_m$$

Und

$$R_m = \frac{R_i + r_a}{2} = \frac{(100 + 150)}{2} \text{ mm} = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$$

Folgt:

$$F_{N,ges} = \frac{T_K}{\mu_G * i * R_m} = \frac{902,7 \text{ Nm}}{0,1 * 8 * 0,125 \text{ m}} = 9.027 \text{ N}$$

Berechnung des erforderlichen Federwegs

$$F_{Nf} = \frac{F_{N,ges}}{z_f} = \frac{9.027 \text{ N}}{6} = 1.504,5 \text{ N}$$

$$x_{erf} = \frac{F_{Nf}}{R} = \frac{1.504,5 \text{ N} * \text{mm}}{160 \text{ N}} = 9,4 \text{ mm}$$

b) Ab welchem Lastdrehmoment würde die Kupplung bei Nenndrehzahl durchrutschen?

$$T_{K,grenz} = \mu_H * F_{N,ges} * i * R_m = 0,2 * 9.027 \text{ N} * 8 * 0,125 \text{ m} = 1.805,4 \text{ Nm}$$

c) Berechnen Sie die Verlustarbeit!

$$W_V = I_L * \frac{\omega_1^2}{2} * \frac{T_K}{T_K - T_L} = 40 \text{ kg} * \text{m}^2 * \frac{(2 * \pi * 4)^2}{2 * \text{s}^2} * \frac{902,7 \text{ Nm}}{(902,7 - 400) \text{ Nm}} = 22.685,3 \text{ Nm}$$

d) Wie groß ist die Temperaturerhöhung bei Einzelschaltung?

$$\dot{W}_V = \frac{W_V}{t_s} \leq m * c * \frac{(\vartheta_{zul} - \vartheta_0)}{t_s}$$
$$W_V \leq m * c * (\vartheta_{zul} - \vartheta_0)$$
$$\Delta\vartheta \geq \frac{22.685,3 \text{ Nm} * \text{kg} * \text{K}}{5 \text{ kg} * 467 \text{ J}} = 9,7 \text{ K oder } ^\circ\text{C}$$

e) Wie hoch ist das kleinstmöglich zulässige Zeitintervall zwischen zwei Schaltvorgängen bei häufigem Schalten?

$$\dot{W}_V = \frac{W_V}{t_s} = \alpha * A_K * (\vartheta_{zul} - \vartheta_0)$$

Daraus folgt:

$$t_s = \frac{W_V}{\alpha * A_K * (\vartheta_{zul} - \vartheta_0)} = \frac{22.685,3 \text{ Nm} * \text{m}^2 * \text{K}}{27 \text{ W} * 0,15 \text{ m}^2 * (150 - 20) \text{ K}} = 43,1 \text{ s}$$

Antwort: Es müssen mindestens 43,1 Sekunden verstreichen, ehe ein neuer Schaltvorgang durchgeführt wird.