

Name: .....

Matrikel-Nr.: .....

Studiengang: .....

K1-Übungsgruppe: .....

## Klausur zur studienbegleitenden Prüfungsleistung

### Konstruktion 1

### Probeklausur

Datum:

Zeit: 2 Stunden

Raum:

---

Die Lösungen zu den Aufgaben sind auf den Aufgabenblättern (auch leere Rückseiten) anzugeben. Etwaige Sonderseiten sind eindeutig mit Namen und Matrikelnummer sowie der Aufgabennummer zu kennzeichnen.

Hilfsmittel: Nur Kleinrechner (ohne Programme), Zeichenschablonen, Lineale etc.

Aufgabe	Soll-Punkte	Ist-Punkte	Korrektur
1	10		
2	10		
3	20		
4	10		
	$\Sigma$ 50	$\Sigma$	

Prüfungsnote: .....



## 1 Passungen, Toleranzen und Bauteilverbindungen

Beachten Sie, dass Ihnen einige Angaben zu den Grundtoleranzen und zu Toleranzfeldlagen in einer Tabelle am Ende der Aufgabe gegeben sind.

- a) In einer Fertigungszeichnung ist der Durchmesser einer Welle mit  $\Phi 20 s6$  bemaßt. Welches exakte Abmaß darf die größte / kleinste Welle nach dieser Angabe haben?

Hinweis: Das Grundabmaß für die Toleranzfeldlage s ist  $+35 \mu\text{m}$ .

**(2 Punkte)**

Mindestmaß ist Nennmaß zuzüglich Grundabmaß:

$$d_{\min} = 20,035 \text{ mm}$$

Höchstmaß ist Nennmaß zuzüglich Grundabmaß zuzüglich Toleranzfeldgröße:

$$d_{\max} = 20,048 \text{ mm}$$

- b) Auf dem oben betrachteten Wellenabsatz soll eine Nabe montiert werden. Diese ist in Ihrer Fertigungszeichnung mit einem Durchmesser von  $\Phi 20 H7$  bemaßt. Welches exakte Abmaß darf die größte / kleinste Bohrung nach dieser Angabe haben?

Hinweis: Das Grundabmaß für die Toleranzfeldlage H ist  $0 \mu\text{m}$ .

**(2 Punkte)**

Mindestmaß ist Nennmaß zuzüglich Grundabmaß:

$$D_{\min} = 20,000 \text{ mm}$$

Höchstmaß ist Nennmaß zuzüglich Grundabmaß zuzüglich Toleranzfeldgröße:

$$D_{\max} = 20,021 \text{ mm}$$

- c) Die Welle aus Aufgabenteil a) und die Nabe aus Aufgabenteil b) sollen gefügt werden. Welches minimale und welches maximale Übermaß ergeben sich? Um was für eine Passungsart handelt es sich bei der verwendeten Passung  $\Phi 20 H7 s6$ ? Gehört diese Passung zum System Einheitswelle oder Einheitsbohrung?

**(3 Punkte)**

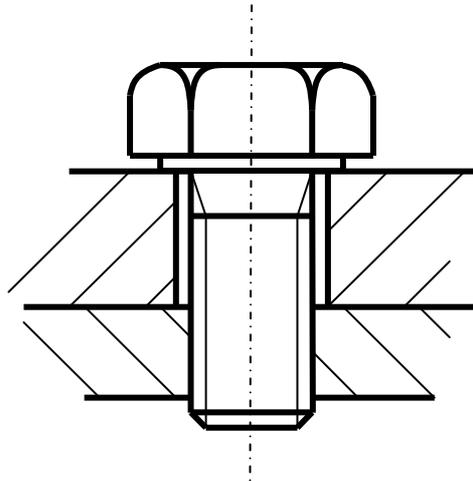
$$P_o = D_{\min} - d_{\max} = -48 \mu\text{m}$$

$$P_u = D_{\max} - d_{\min} = -14 \mu\text{m}$$

Da stets ein Übermaß vorhanden ist, handelt es sich um eine Presspassung. Da das Toleranzfeld der Nabe mit der Toleranzfeldlage H gekennzeichnet ist, gehört die Passung zum System Einheitsbohrung.

- d) Ergänzen Sie die folgende Abbildung derart, dass zwei mit einer Einschraubverbindung (M6) verbundene Bleche normgerecht dargestellt sind:

(2 Punkte)



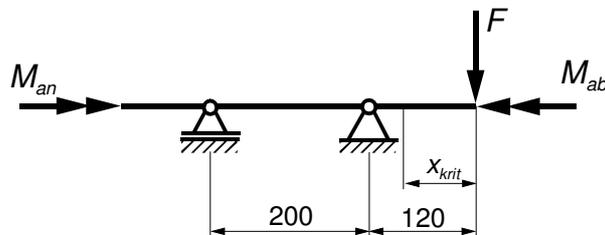
Grundtoleranzen (Auswahl) (Zahlenwerte in $\mu\text{m}$ )											
Grundtoleranzgrade	Anzahl von i <sup>2)</sup>	Nennmaßbereich in mm <sup>1)</sup>									
		bis 3	> 3 bis 6	> 6 bis 10	> 10 bis 18	> 18 bis 30	> 30 bis 50	> 50 bis 80	> 80 bis 120	> 120 bis 180	> 180 bis 250
IT 01	–	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1,2	2
IT 0	–	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3
IT 1	–	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5
IT 2	–	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7
IT 3	–	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10
IT 4	–	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14
IT 5	7	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20
IT 6	10	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29
IT 7	16	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46
IT 8	25	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72
IT 9	40	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115
IT 10	64	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185
IT 11	100	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290
IT 12	160	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460
IT 13	250	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720
IT 14	400	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150
IT 15	640	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850
IT 16	1000	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900
IT 17	1600	–	–	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600
IT 18	2500	–	–	–	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200

<sup>1)</sup> Nennmaßbereich 1...500 mm; <sup>2)</sup> Anzahl der Grundtoleranzfaktoren i.

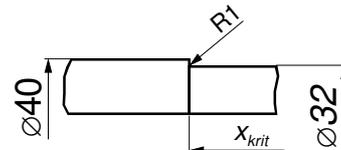
## 2 Achsen, Wellen und Welle-Nabe-Verbindungen

- a) Berechnen Sie für den unten dargestellten Lastfall die Torsions- und Biege-nennspannungen am kritischen Querschnitt.

(5 Punkte)



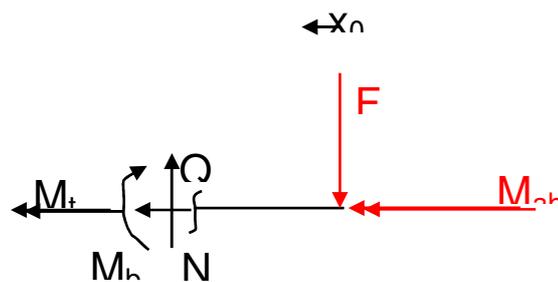
Absatzgeometrie an der kritischen Stelle:



Technische Daten:

Antriebsleistung:	P	=	12 kW
Drehzahl:	n	=	980 1/min
Radialkraft:	F	=	500 N
kritische Stelle:	$x_{krit}$	=	110 mm

$$0 \leq x_0 \leq 120 \text{ mm}$$



$$N = 0$$

$$Q = F$$

$$M_b = -F x$$

$$M_t = -M_{ab}$$

$$\sigma_{b,n} = \frac{|M_b(x_0 = x_{krit})|}{W_b} = \frac{32 \cdot 500 \text{ N} \cdot 110 \text{ mm}}{\pi \cdot 32^3 \text{ mm}^3} = 17,1 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$\tau_{t,n} = \frac{|M_t(x_0 = x_{krit})|}{W_b} = \frac{16 \cdot P}{\omega \cdot \pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 12000 \text{ W} \cdot 60 \text{ s}}{2\pi^2 \cdot 980 \cdot 32^3 \text{ mm}^3} = 18,2 \text{ Nmm}^{-2}$$

Die Biege-nennspannung beträgt  $17,1 \text{ Nmm}^{-2}$  und die Torsions-nennspannung beträgt  $18,2 \text{ Nmm}^{-2}$ .

- b) Berechnen Sie überschlägig den Mindestwellendurchmesser für eine hauptsächlich auf Torsion beanspruchte Welle, die einem Torsionsmoment von 120 Nm ausgesetzt ist und aus einem Vergütungsstahl 34 CrMo 4 gefertigt werden soll (zulässige Schubspannung 44 N/mm<sup>2</sup>)

**(1 Punkt)**

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \tau_{zul}}} = 24,0 \text{ mm}$$

Der Mindestwellendurchmesser beträgt 24 mm.

- c) Welche Länge muss eine Passfeder haben, die auf einem Wellenabsatz von 25 mm Durchmesser verwendet werden soll, um auf eine Nabe ein Torsionsmoment von 100 Nm zu übertragen? Der Einfachheit halber seien Welle, Nabe und Passfeder aus dem gleichen Stahl mit einer zulässigen Flächenpressung von 165 N/mm<sup>2</sup>. Die Höhe der Passfeder sei nach DIN 6885 fünf Millimeter und die Nuttiefe sei ebenfalls nach DIN 6885 mit 3,1 mm bekannt.

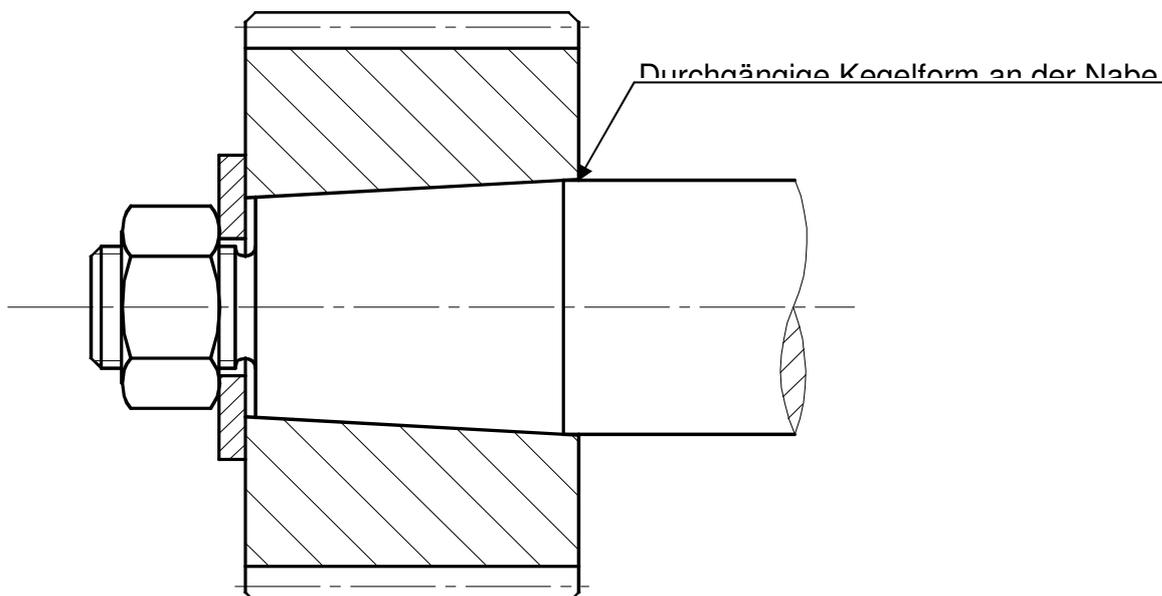
**(1 Punkt)**

$$l_{tr} = \frac{2 \cdot M_t}{p_{zul} \cdot (h - t_1) \cdot d} = 25,5 \text{ mm}$$

Die tragende Länge muss mindestens 25,5 mm betragen.

- d) Vervollständigen Sie die folgende Skizze einer Zahnradnabe um einen mechanisch verspannten kegeligen Pressverband. Achten Sie dabei auf die Aspekte Montage, Fertigung und Kraftleitung.

**3 Punkte)**



### 3 Lagerungen, Dichtungen und Zahnradgetriebe

- a) Ein geradverzahntes Stirnrad mit Modul 1,5 und 32 Zähnen soll mit einem Zahnrad mit 16 Zähnen gepaart werden. Welchen Modul hat das zweite Zahnrad, welche Teilkreisdurchmesser haben die beiden Zahnräder und welche Übersetzung besitzt die Zahnradpaarung? Warum sind die Zähnezahlen generell ungünstig gewählt?

(2,5 Punkte)

$$\begin{aligned}m_{11} &= m_2 = m \\d_1 &= z_1 \cdot m = 48 \text{ mm} \\d_2 &= z_2 \cdot m = 24 \text{ mm} \\i &= \frac{z_2}{z_1} = \frac{1}{2}\end{aligned}$$

Die Durchmesser sind 48 mm bzw. 24 mm. Der Modul muss für beide Zahnräder gleich sein und das Übersetzungsverhältnis ist 0,5. Die Zähnezahlen sind nicht teilerfremd, sodass immer die gleichen Zähne aufeinander treffen. Dies bewirkt einen erhöhten Verschleiß.

- b) Der Achsabstand einer Zahnradpaarung soll korrigiert werden. Dafür wird das Ritzelrad mit einem Verschiebungsfaktor  $x = +0,5$  versehen. Das große Rad wird nicht verschoben. Geben Sie mit Begründung an, um welche Radpaarung es sich handelt (Null-Radpaar,  $V_{\text{Null}}$ -Radpaar,  $V_{\text{Plus}}$ -Radpaar oder  $V_{\text{Minus}}$ -Radpaar)! Wie verändert sich der Achsabstand der Paarung?

(1 Punkt)

Der Achsabstand vergrößert sich um  $x$  mal den Modul der Zahnräder. Es handelt sich folglich um ein  $V_{\text{Plus}}$ -Radpaar.

- c) Bei Verzahnungen treten in der Regel Schäden im Betrieb auf. Nennen Sie drei auftretende Flankenschäden und die notwendigen Maßnahmen diesen Schäden entgegen zu wirken!

(1,5 Punkte)

Grübchenbildung: Breitere Zähne senken die Flankenpressung

Dauerbruch: Eine Randschichthärtung erhöht die Dauerhaltbarkeit

Fressen: Schrägverzahnung mindert die örtliche Belastung durch größere Überdeckung

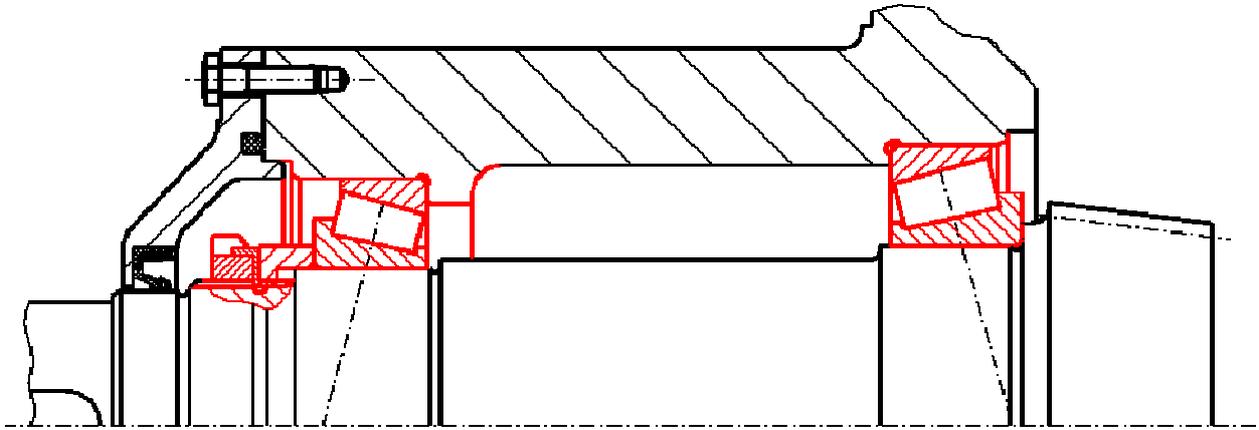
Es sind weitere Antworten und Maßnahmen möglich...

- d) Wieviele Zähne muss ein evolventenverzahntes Zahnrad theoretisch mindestens haben und ab welcher praktischen Grenzzähnezahl muss mit Klemmen gerechnet werden?

Theoretisch sind 17 Zähne erforderlich aber im praktischen Betrieb tritt eine nennenswerte Beeinträchtigung der Verzahnungskinetik erst bei 14 oder weniger Zähnen ein.

(1 Punkt)

- e) Vervollständigen Sie bitte die Zeichnung unter Verwendung geeigneter Wälzlager so, dass die Welle nach dem Prinzip der angestellten Lagerung in O-Anordnung gelagert ist!  
(2,5 Punkte)



- f) Warum werden X- und O-Anordnung auch als vorgespannte Lagerungen bezeichnet?  
(0,5 Punkte)

Weil eine Einstellmöglichkeit verwendet wird um die Lagerungen in axialer Richtung vorzuspanssen (z.B. Nutmutter oder Deckelverschraubung).

- g) Nennen Sie einen wesentlichen Vorteil der X-Anordnung und einen wesentlichen Nachteil der X-Anordnung  
(1 Punkt)

Die X-Anordnung kann hohe Lasten zwischen den Lagerstellen aufnehmen, neigt aber bei großer Erwärmung zum Klemmen, weil sowohl axiales als auch radiales Spiel durch Wärmedehnung der Welle abnehmen.

- h) Mit welchem formelmäßigen Zusammenhang lässt sich die nominelle Lebensdauer  $L_{10}$  eines Wälzlagers grundsätzlich berechnen? Und was gibt  $L_{10}$  an?

(2 Punkte)

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$L_{10}$  ist die Lastspielzahl (in  $10^6$ ), die 90% der jeweiligen Lager bei einer äquivalenten Lagerlast von  $P$  erreichen.

- i) Ein Rillenkugellager, das als Loslager verbaut ist, sei ausschließlich mit einer radialen Lagerlast von 600 N statisch belastet. Welche Tragzahl muss dieses Lager aufweisen, um mindestens  $2,5 \cdot 10^6$  Lastwechsel mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% zu ertragen?

(2 Punkte)

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$$\ln(L_{10})^{\frac{1}{p}} = \ln \frac{C}{P}$$

$$C = P \cdot L_{10}^{\frac{1}{p}} = 814,3 \text{ N}$$

Die dynamische Tragzahl muss mindestens 814,3 N betragen.

- j) Wie ändert sich die Lebensdauererwartung eines Rillenkugellagers, wenn man es durch ein anderes Rillenkugellager mit halber Tragzahl ersetzt? Würde die Lebensdauererwartung steigen, wenn man statt eines Rillenkugellagers ein Rollenlager verwendet? Warum?

(2 Punkte)

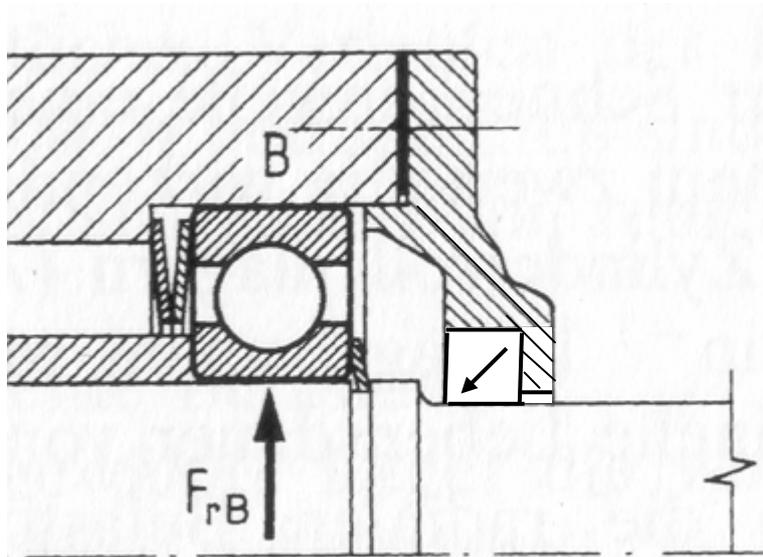
$$\frac{L_{10,alt}}{L_{10,neu}} = \frac{\left( \frac{C_{alt}}{P} \right)^p}{\left( \frac{C_{neu}}{P} \right)^p} = \frac{C_{alt}^p}{(0,5 C_{alt})^p} = 8$$

Die Lebensdauer sinkt auf ein Achtel.

Die Lebensdauer würde sich erhöhen, da ein Rollenlager einen linienförmigen Kontakt an den Wälzkörpern hat (anstatt eines punktförmigen bei einem Kugellager). In der Lebensdauerberechnung macht sich dies durch einen größeren Exponenten  $p$  bemerkbar ( $10/3$  anstatt 3).

- k) Ergänzen Sie die folgende Darstellung einer Lagerung mit der Skizze einer Dichtung, die für den gegebenen Anwendungsfall geeignet erscheint (Ölschmierung, Umfangsgeschwindigkeit der Welle  $> 10$  m/s).

**(4 Punkte)**



#### 4 Kupplungen, Bremsen, Federn

- a) Welche Beanspruchungsart herrscht in einer Schraubendruckfeder vor? Wie wird die Federsteifigkeit in Abhängigkeit des Draht- und des Wicklungsdurchmessers berechnet?

(2 Punkte)

Das Material einer Schraubenfeder wird unter Last hauptsächlich tordiert.

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot i_f}$$

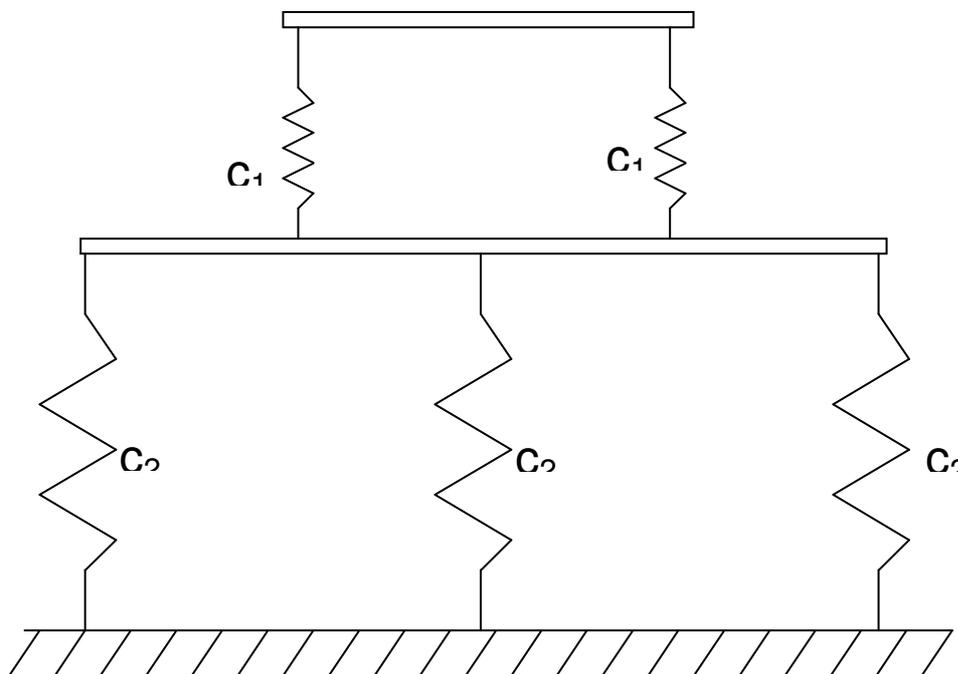
- b) Was versteht man unter einer progressiven Federkennlinie?

(1 Punkt)

Die Steifigkeit der Feder nimmt mit zunehmender Auslenkung zu.

- c) Man berechne die lineare Ersatzsteifigkeit für folgendes Federsystem:

(1,5 Punkte)



$$c_{ges} = \left( \frac{1}{2C_1} + \frac{1}{3C_2} \right)^{-1}$$

Ggf. Zwischenschritte aufschreiben in denen zunächst die Parallelschaltungen aufgelöst werden!

- d) Eine Kupplung soll bei einer Drehzahl von 1500 Umdrehungen pro Minute eine Leistung von 10 kW übertragen. Ferner soll in diesem Zustand noch eine Beschleunigung der hinter der Kupplung hängenden Drehträgheit  $J=10 \text{ kgm}^2$  auf 3000 Umdrehungen pro Minute innerhalb von 2 Sekunden möglich sein, ohne dass ein Leistungseinbruch erfolgt. Welches Kupplungsmoment ist erforderlich?

(2 Punkte)

$$M_K = M_A + J \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$M_K = \frac{P}{\omega} + J \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

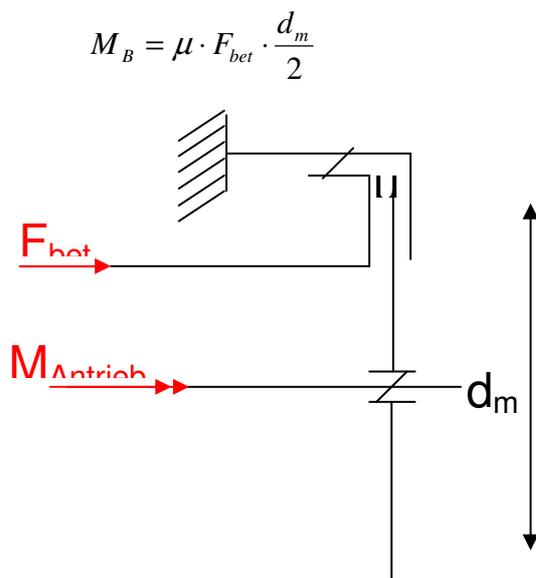
$$M_K = \frac{10000 \cdot 60 \text{Ws}}{2\pi \cdot 1500} + 10 \frac{2\pi \cdot 1500 \text{kgm}^2}{60 \cdot 2 \text{s}^2}$$

$$M_K = 785,4 \text{ Nm}$$

Das Kupplungsmoment beträgt 817,2 Nm.

- e) Skizzieren Sie das mechanische Ersatzmodell für eine fremdbetätigte Einscheiben-Bremse. Geben Sie die Auslegungsgleichung für das übertragbare Bremsmoment an und tragen Sie die benötigten Größen in Ihre Skizze ein!

(2 Punkte)



- f) Nennen sie mindestens drei Bauformen von im Maschinenbau üblicher Weise verwendeten Federn!

(1,5 Punkte)

Schraubenfedern

Tellerfedern

Blattfedern

Diverse weitere Antworten möglich