

Produktentwicklung und Maschinenelemente

# Prüfung

## Maschinenelemente und Mechatronik

### Kurzfragen

Bearbeitungszeit: 20 Minuten

Bitte Klausur sofort auf Vollständigkeit prüfen!

***Diese Unterlage besteht einschließlich Deckblatt aus 7 Blättern.***

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\Sigma$
mögl. Punkte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
erreichte Punkte											

**Hinweise:**

- Die Frage ist nur dann richtig beantwortet, wenn **alle** richtigen und keine falschen Antworten angekreuzt sind.
- Die angegebene Punktzahl gibt es für **komplett richtig** beantwortete Fragen. Es werden keine Teilpunkte vergeben.
- Bei den **Aufgaben 1, 4, 6, 8** und **10** können **null** bis **vier** Antworten richtig sein.
- Bei **Aufgabe 3** und **5** muss richtig eingezeichnet werden.

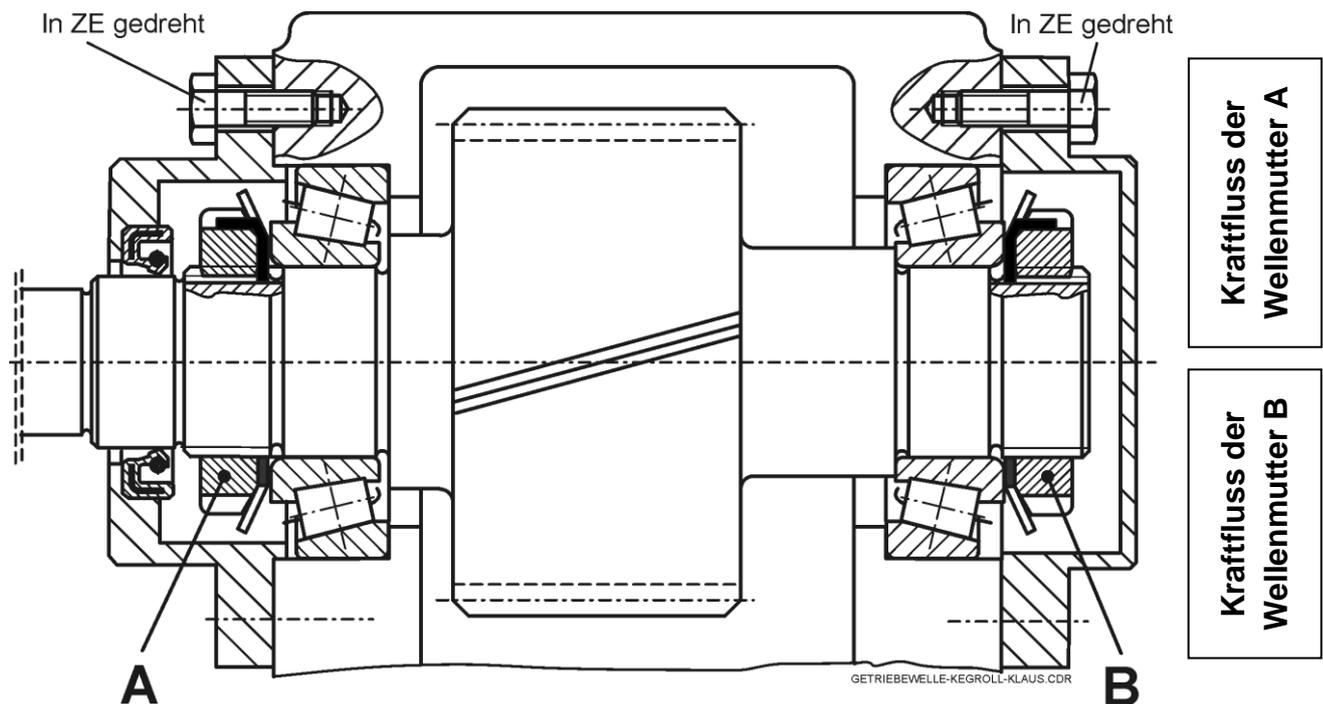


### Aufgabe 3 Bauteilkopplung, Kraftfluss

1 Punkt

Eine Getriebewelle ist wie unten dargestellt in einem Gehäuse gelagert. Die Lager sind mithilfe von zwei Wellenmuttern (A, B) axial festgelegt bzw. vorgespannt. Die Wellenmutter B wurde vor der Wellenmutter A angezogen.

Zeichnen Sie die **beiden** Kraftflüsse ein, die durch Anziehen der Wellenmutter entstehen. (A: oberhalb der Mittellinie; B: unterhalb der Mittellinie)



### Aufgabe 4 Welle-Nabe-Verbindung

1 Punkt

Kreuzen Sie an, welche Aussagen zur axialen Festlegung von Passfeder-Welle-Nabe-Verbindungen zutreffen.

- Um die Nabe axial festzulegen, wird für jeden Richtungssinn ein Sicherungselement benötigt.
- Klemmringe eignen sich für hohe Axialkräfte.
- Eine axiale Fixierung der Nabe mit einer Wellenmutter ist ausschließlich in Kombination mit einem Wellenbund sinnvoll.
- Bei einer axialen Fixierung der Nabe mit Splinten/Stiften wird eine gute Plananlage erreicht.

## Aufgabe 5 Schraubverbindungen

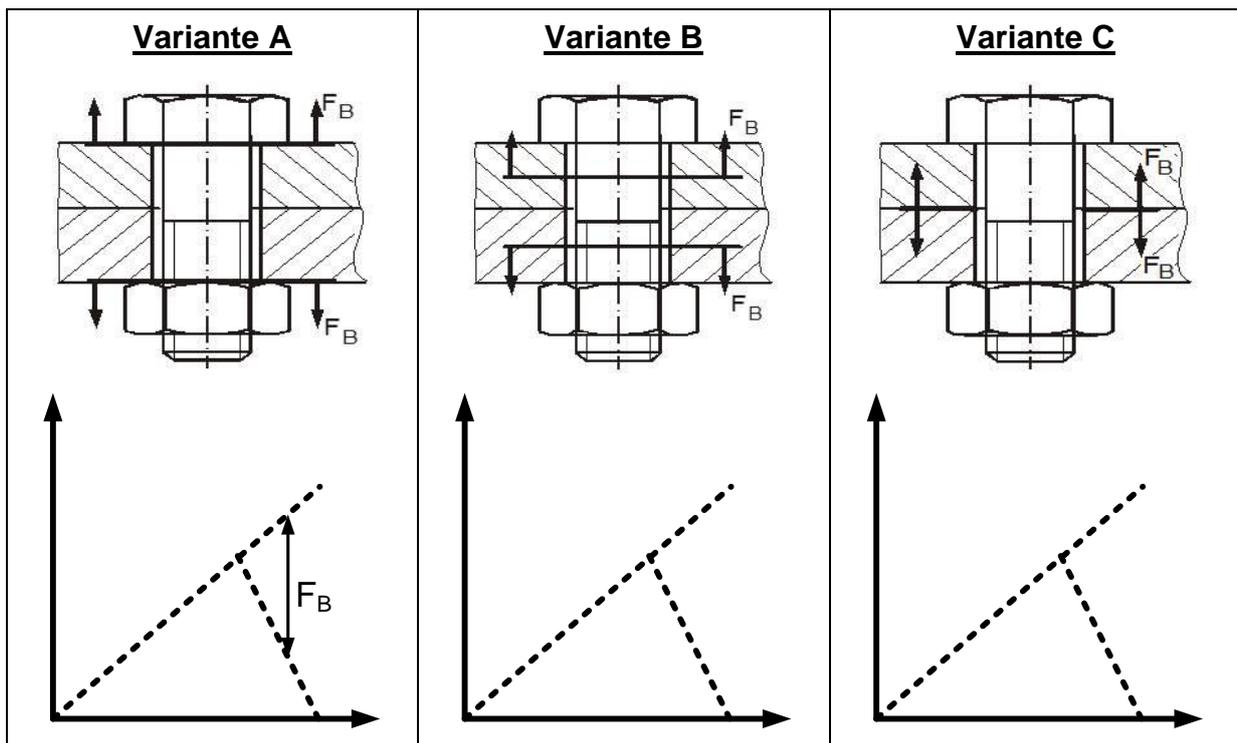
1 Punkt

Untenstehende Abbildung zeigt drei Varianten einer Schraubverbindung. Die Varianten unterscheiden sich ausschließlich dadurch voneinander, dass die Betriebskraft  $F_B$  in unterschiedlichen Ebenen bezüglich der Schraubenkopfauflage angreift.

In den darunter abgebildeten Röscherdiagrammen gilt die gestrichelte Linie jeweils für die Variante A.

Zeichnen Sie in die jeweiligen Diagramme unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Kräfteinleitungsebenen ein:

- die Schrauben- und Plattenkennlinien der Varianten B und C
- die Vorspannkraft  $F_V$
- die Betriebskraft  $F_B$ .



## Aufgabe 6 Stoffschlüssige Verbindungen

1 Punkt

Kreuzen Sie an, welche Aussagen für stoffschlüssige Verbindungen zutreffen.

- Die rechnerische Schweißnahtlänge  $l$  hängt immer auch von der rechnerischen Nahtdicke  $a$  ab.
  - Für Lötverbindungen sind feingeschliffene Oberflächen wegen des geringeren Lötspalts vorteilhaft.
  - Um eine gleichmäßigere und langsamere Aushärtung von Kaltklebern zu erreichen, können sie auf über  $100^{\circ}\text{C}$  erwärmt werden.
  - Stoffschlüssige Verbindungen sind für instationäre Belastungen ungeeignet.
- 

## Aufgabe 7 Beanspruchung von Federn

1 Punkt

Wie werden die Wirkelemente untenstehender Federn maßgebend beansprucht?

Kreuzen Sie jeweils die entsprechende Beanspruchungsart in der Tabelle an.

	<b>Biege- beanspruchung</b>	<b>Torsions- beanspruchung</b>	<b>Zug/Druck- Beanspruchung</b>
Spiralfeder			
Schraubenfeder			
Tellerfeder			
Schenkelfeder			
Ringfeder			

## Aufgabe 8 Reibkraftschlüssige Verbindungen

1 Punkt

Bei einer Welle-Nabe-Verbindung sollen **hohe, wechselnde Drehmomente** übertragen werden. Kreuzen Sie an, welche Aussagen zutreffen.

- Klemmverbindungen mit einfach geschlitzter Nabe sind geeignet, da durch Anziehen der Schrauben sehr hohe Klemmkräfte und gleichmäßige Flächenpressungen erzielt werden können.
  - Pressverbände sind geeignet, da durch die Verformung der Welle und der Nabe sehr hohe Flächenpressungen erzielt werden können.
  - Spannverbindungen sind geeignet, da mit Hilfe der entsprechenden Spannelemente hohe Flächenpressungen erzielt werden können.
  - Verbindungen mit Ringfeder-Spannelementen sind deswegen geeignet, weil alle Spannelemente jeweils das gleiche Drehmoment übertragen.
- 

## Aufgabe 9 Funktionen von Wellenkupplungen

1 Punkt

Kreuzen Sie an, für welche Funktion(en) die einzelnen nichtschaltbaren Kupplungen geeignet sind.

	<b>Drehmoment leiten</b>	<b>Axialen Wellenversatz ausgleichen</b>	<b>Drehmoment- Stöße ausgleichen</b>
Schraubenfederkupplung			
Elastische Bolzenkupplung			
Klauenkupplung			

## Aufgabe 10 Lageranordnungen

1 Punkt

Kreuzen Sie an, welche Aussagen zutreffen.

- Bei Lagerungen mit zwei Schrägkugellagern in O-Anordnung führt eine größere Wärmedehnung der Welle gegenüber dem Gehäuse zu erheblichen Zusatzbelastungen der Lager.
- Bei Lagerungen mit zwei Kegelrollenlagern in O-Anordnung führt eine größere Wärmedehnung der Welle gegenüber dem Gehäuse zur Entlastung der Lager.
- Bei sehr dichter Anordnung zweier Schrägkugellager in O-Anordnung (Außenringe berühren sich) erhöht sich das Kippspiel und es kommt zu einer entsprechenden Winkelbeweglichkeit.
- Bei schwimmenden Lageranordnungen können Schrägkugellager eingesetzt werden, bei denen gewöhnlich der Außenring verschiebbar zu passen ist.

# Prüfung

## Maschinenelemente und Mechatronik

### Konstruktion

Bearbeitungszeit: 60 Minuten

Bitte Klausur auf Vollständigkeit prüfen!

***Diese Unterlage besteht einschließlich Deckblatt aus fünf (5) Blättern.***

Aufgabe	maximale Punkte	erreichte Punkte
1	30,0	
Summe	30,0	

## Aufgabe: Konstruktion eines Rührwerkgetriebes

30 Punkte

Ähnlich wie bei Küchenmaschinen werden beim Mischen von Gemengen die Rührwerkzeuge oft in Form einer Doppelrotation bewegt (**Abbildung 1**). Dabei rotiert der Rührer um seine eigene, schräg gestellte Achse, die gleichzeitig eine Taumelbewegung um die Symmetrieachse des Mischbehälters ausführt.

Im Rahmen der vorliegenden Aufgabe soll ein **Doppelrotationsgetriebe** entworfen und als Handskizze dargestellt werden. Das Getriebe ist als kombiniertes Kegel-Stirnradgetriebe ausgeführt. Beide Rotationsbewegungen werden von einer gemeinsamen Antriebswelle realisiert.

Der prinzipielle Aufbau ist in einer Strichskizze (**Abbildung 2**, nächste Seite) dargestellt. Der darzustellende Bereich ist in Abbildung 2 durch eine gestrichelte Linie abgegrenzt.



Abbildung 1: Küchenmaschine mit Doppelrotation (ausgeschwenkt)

### Technische Beschreibung

Das Drehmoment  $T_{an}$  des **Rührwerkgetriebes** wird über das **Stirnritzel (1)** und das **Kegelritzel (2)** der **Antriebswelle (I)** auf die nicht darzustellende Zwischenwelle und das **Kegelrad (3)** der schräggestellten **Rührer(abtriebs)welle (II)** übertragen. Über eine weitere Stirnradstufe wird das Drehmoment vom Stirnritzel der Zwischenwelle auf das **Stirnrad (4)** der rotierenden **Taumelbuchse (III)** übertragen.

Die Rührerwelle (II) ist in einem Lagertopf gelagert, der mit der Taumelbuchse (III) verschraubt ist. Die Rotationen der Taumelbuchse (III) und der Rührerwelle (II) werden überlagert, so dass der Rührer eine taumelnde Doppelrotationsbewegung ausführt.

Die Stirnradstufe (1, Zwischenwelle) hat eine Übersetzung von  $i_1=2,5$ , die Stirnradstufe (4, Zwischenwelle)  $i=2$  und die Kegelradstufe (2,3) hat eine Übersetzung von  $i_2=0,5$ .

- Das Stirnritzel der **Antriebswelle (I)** ist auf die Welle aufgefäest. Die Antriebswelle ist beanspruchungsgerecht zu lagern. Entscheiden Sie, ob das Kegelrad aufgeschnitten werden soll oder ob es sinnvoll mit einer Welle-Nabe-Verbindungen befestigt werden kann.
- Die **Rührerwelle (II)** ist durch eine Fest-Los-Lagerung (C, D) in einem Lagertopf gelagert, der in einer Bohrung in der Taumelbuchse (III) montiert ist. Die Lagerung ist so auszuführen, dass nur ein geringer radialer Bauraum nötig ist, aber gleichzeitig hohe radiale Lasten aufgenommen werden können.
- Die **Taumelbuchse (III)** ist mittels einer angestellten Lagerung (E, F) im Gehäuse gelagert. Die Lagerung ist so auszuführen, dass trotz des geringen Lagerabstands eine hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit sichergestellt wird. Das Stirnrad (4) ist mit einer lösbaren Welle-Nabe-Verbindung auf der Taumelbuchse befestigt.
- Das **Gehäuse** ist als Gusskonstruktion ohne Teilung vorzusehen. Die Montage der Komponenten erfolgt über am Gehäuse angebrachte Deckel.

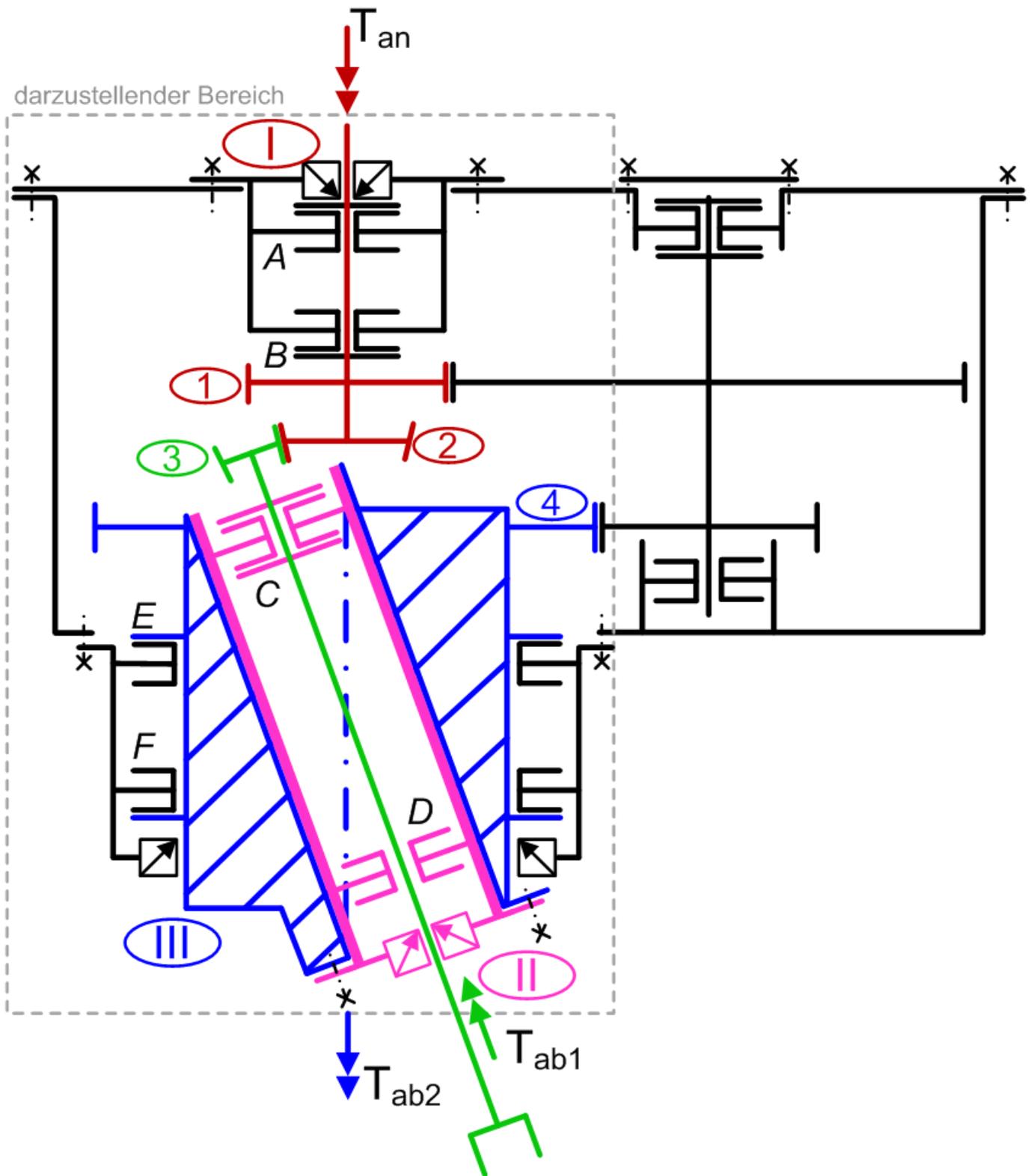
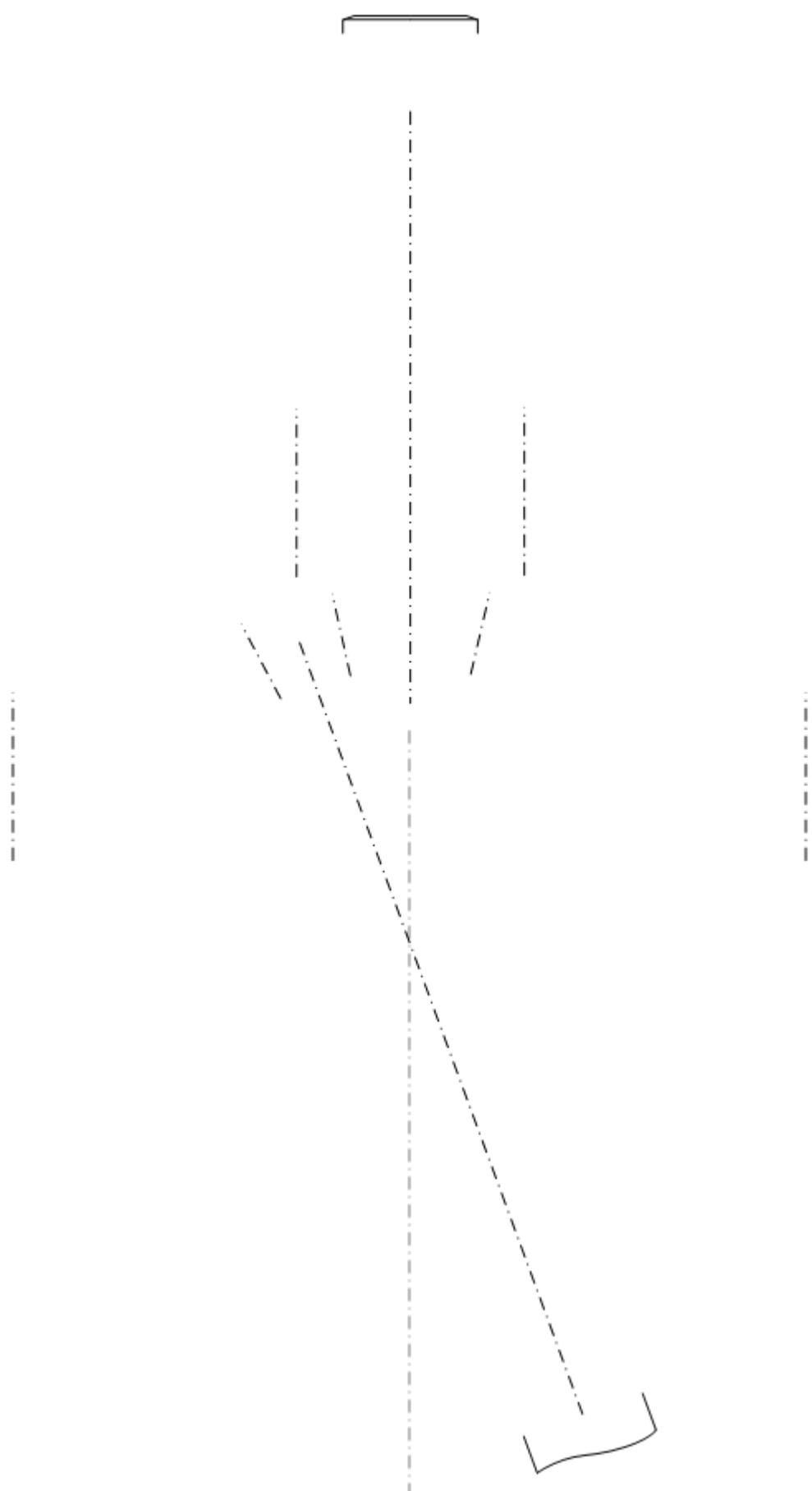


Abbildung 2: Strichskizze des Getriebes

Fertigen Sie eine Handskizze des in der Strichskizze (vgl. Abbildung 2) dargestellten Getriebes im Maßstab 1:1 an. Verwenden Sie dazu das ausgegebene DIN A4-Blatt. Zeichnen Sie hierbei **nur** die Inhalte innerhalb des in der Strichskizze dargestellten **gestrichelten Rahmens** (darzustellender Bereich).

Für die Anfertigung der Skizze gelten ergänzend nachfolgende Anforderungen und Hinweise:

- Die Mittellinien der Antriebswelle (I) bzw. der Rührerwelle (II) und der Taumelbuchse (III), der Wellenansatz der Antriebswelle (I), die Wirklinien der Stirnrad- und Kegelradstufen sowie Hilfsdurchmesser für die Antriebs- und Rührerwelle sind auf dem Zeichenblatt vorgegeben.
- Realisieren Sie bei der Konstruktion der Getriebeeinheit eine fertigungsgerechte Gestaltung der Bauteile.
- Stellen Sie die Montierbarkeit der einzelnen Bauteile sowie der Gesamtkonstruktion sicher.
- Symmetrien können nur bei der Darstellung von Lagern und Radialwellendichtringen und nur bezogen auf die Wellenmittellinie mit Hilfe der Ersatzsymbole zur Vereinfachung genutzt werden.
- Mindestens eine Schraube muss vollständig gezeichnet werden, die Übrigen können durch Ersatzsymbole dargestellt werden.



# Klausur

## Maschinenelemente und Mechatronik

### Berechnung

Bearbeitungszeit: 80 Minuten

*Diese Unterlage besteht einschließlich Deckblatt aus 28 Seiten / 14 Blätter.*

- Bitte Klausur sofort auf **Vollständigkeit** prüfen!  
**Jedes Blatt auf** Vorderseite mit **Namen** versehen!
- **Nur** von der Aufsicht ausgegebene **Zusatzblätter** verwenden!
- **Alle Blätter** am Ende der Klausur abgeben!

#### Allgemeine Hinweise zur Bearbeitung:

- Für jeden Rechenschritt sind die benutzten Formeln, die Formeln mit den eingesetzten Zahlenwerten und das mit diesen erhaltene Endergebnis anzugeben!
- Die Berechnungen sind mit **zwei Dezimalstellen hinter dem Komma** durchzuführen!
- Vereinfachungen sind zu begründen!

Aufgabe	Teilaufgaben					max. Punkte	erreichte Punkte
1						14	
2						10	
3						8	
4						8	
Summe						40	

### Aufgabe 1: Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen (14 Punkte)

Im Rahmen eines Entwicklungsprojektes sollen Sie die optimale Auslegung für die kritische Stelle an einer Welle finden. Es existieren bereits zwei Varianten für die Ausgestaltung, welche Sie in Abbildung 1-1 und Abbildung 1-2 sehen (Variante A und Variante B). Die zugehörigen Bemaßungen für die Wellenkonzepte finden Sie in Tabelle 1-1

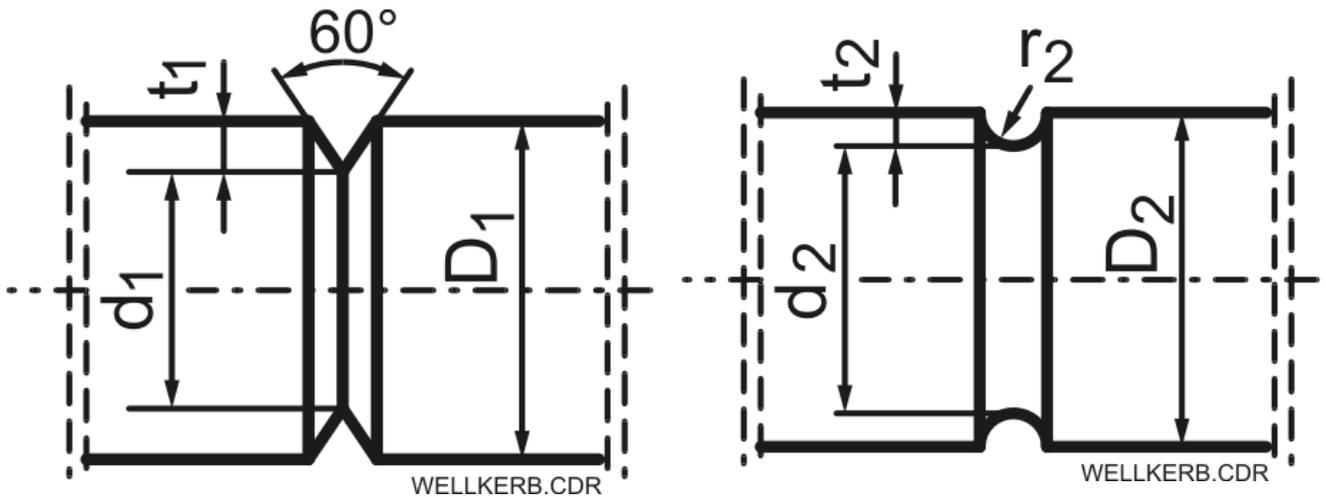


Abbildung 1-1: Variante A

Abbildung 1-2: Variante B

Tabelle 1-1: Abmaße

Abmaß	Wert in mm
$D_1$	80
$D_2$	80
$d_1$	70
$d_2$	77
$t_1$	5
$t_2$	1,5
$r_2$	0,75
Werkstoff 1 und 2	31CrMoV9 mit harter Randschicht
$K_3(d_{BK})/K_3(d)$	2,5

### Aufgabe 1.1: Kerbwirkungszahlen

5,5 Punkte

Berechnen Sie im Folgenden die Kerbwirkungszahl jeweils für Variante A und Variante B.

- I. Für eine reine Zug-Druck-Belastung:  $\beta_{\sigma,A}$  und  $\beta_{\sigma,B}$
- II. Für eine reine Torsionsbelastung:  $\beta_{\tau,A}$  und  $\beta_{\tau,B}$

### Aufgabe 1.2: Beeinflussung

1,5 Punkte

Auf Grundlage Ihrer Berechnungen aus Aufgabe 1.1: Würden Sie für eine rein auf Zug-Druck belastete Welle die Kerbform Variante A oder Variante B wählen? Würden Sie für eine rein auf Torsion belastete Welle die Kerbform der Variante A oder Variante B wählen? Begründen Sie Ihre Antwort kurz und tragen Sie ihre Entscheidung in Tabelle 1-2 ein.

Tabelle 1-2: Variantenwahl

	Variante A	Variante B
Rein Zug-Druck belastete Welle		
Rein Torsion belastete Welle		

Begründung:

Im Folgenden soll die Auswirkung der Kerbwirkungszahl im Rahmen der Berechnung untersucht werden. Markieren Sie in der Tabelle 1-3 jeweils, ob ein **großer Wert für  $\beta_{\sigma,\tau}$**  zu einem großen oder kleinen Wert der Größe in der jeweiligen Zeile führt.

Tabelle 1-3: Einfluss von  $\beta_{\sigma,\tau}$

	Ein großes $\beta_{\sigma,\tau}$ führt zu	
	großem	kleinem
$K_{\sigma,\tau}$		
$\sigma_{zdWK},$ $\tau_{tWK}$		
$\sigma_{zdADK},$ $\tau_{tADK}$		
S		

### Aufgabe 1.3: Mittelvergleichsspannung

2,5 Punkte

Für Variante B soll im Folgenden eine detailliertere Betrachtung angestellt werden. Verwenden Sie zur Berechnung **keine Ergebnisse** aus den vorherigen Aufgabenteilen, sondern nur Abbildung 1-2 und die Werte der Tabelle 1-4. Berechnen Sie die Mittelvergleichsspannung  $\sigma_{mv}$ . Gehen Sie davon aus, dass die Gestaltfestigkeit nach Fall 2 berechnet wird.

Hinweis: Berechnen Sie im ersten Schritt  $\sigma_{bADK}$  und im zweiten Schritt durch geschicktes Umformen einer Gleichung  $\sigma_{mv}$ , da Ihnen die restlichen Spannungen für das klassische Vorgehen bei der Berechnung von  $\sigma_{mv}$  fehlen.

**Tabelle 1-4: Variablen und Werte**

Variable	Wert
S	3
$M_{ba}$	350 Nm
$K_1(d_{eff})$	0,79
$K_\sigma$	1,3
$t_1$	1
$D_2$	78 mm
$d_2$	75 mm
$t_2$	1,5 mm
$r_2$	0,75 mm
Werkstoff	31CrMoV9 mit harter Randschicht
$\sigma_{zda}$	0
$\tau_{ta}$	0

### Aufgabe 1.4: Einflussfaktor der Oberflächenrauheit

3 Punkte

Im Folgenden soll der Einflussfaktor der Oberflächenrauheit unter Berücksichtigung verschiedener Werkstoffe, gemittelter Rautiefen, und verschiedener technologischer Größeneinflussfaktoren ermittelt werden. Bestimmen Sie die fehlenden Werte für jeden Fall pro Zeile in Tabelle 1-5. Verwenden Sie zur Bestimmung von  $K_{F\sigma}$  das Diagramm aus Abbildung 1-3 und berechnen Sie den Faktor nicht.

Tabelle 1-5: Wertetabelle

Werkstoff	Mittlere Rauheit in $\mu\text{m}$	$K_1(d_{\text{eff}})$	Zugfestigkeit $\sigma_B(d)$ in $\text{N}/\text{mm}^2$	Einflussfaktor der Oberflächenrauheit $K_{F\sigma}$
S335JO	3,2	0,8		
S420N	25	0,6		
20MnCr5	6,3	0,51		
1C25	200	0,77		
15CrMoV59	1,6	1		
30CrNiMo8	12,5	1,2		

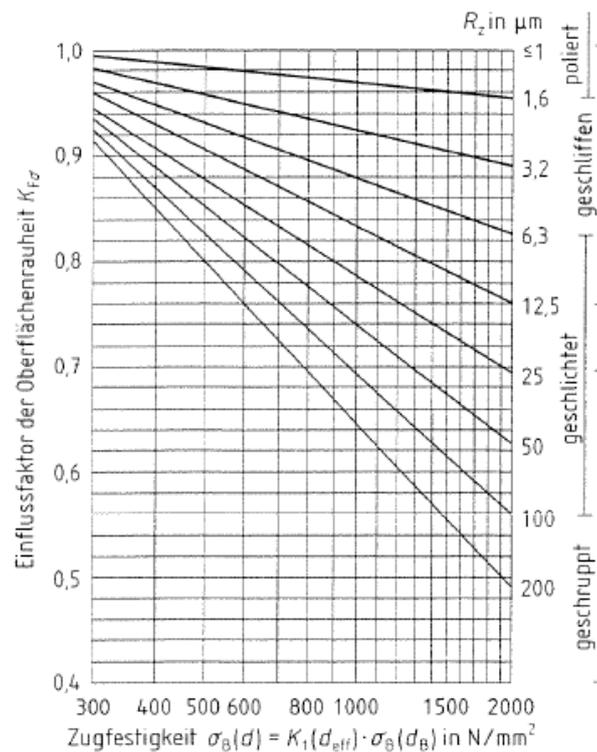


Abbildung 1-3: Einflussfaktor der Oberflächenrauheit

### Aufgabe 1.5: Berechnung $\sigma_{bADK}$ – Fallunterscheidung

1,5 Punkte

In Abbildung 1-4 bis 1-7 sind Spannungsverläufe über der Zeit dargestellt. Beginnend im Ursprung sehen Sie jeweils den Ausgangszustand (Fall 1) dargestellt, der in allen vier Fällen gleich ist. Der jeweils zweite Spannungsverlauf (Fall 2) ist der Spannungsverlauf nach der Änderung der Betriebslast. Da bei jedem Spannungsverlauf eine Änderung der Betriebslast eintritt, müssen Sie entscheiden, ob er Faktor  $\sigma_{bADK}$  jeweils nach Fall 1 oder Fall 2 berechnet werden muss. Tragen Sie Ihr Ergebnis in Tabelle 1-7 ein.

Tabelle 1-7: Ergebnistabelle

	Fall 1	Fall 2
Spannungsverlauf A		
Spannungsverlauf B		
Spannungsverlauf C		
Spannungsverlauf D		

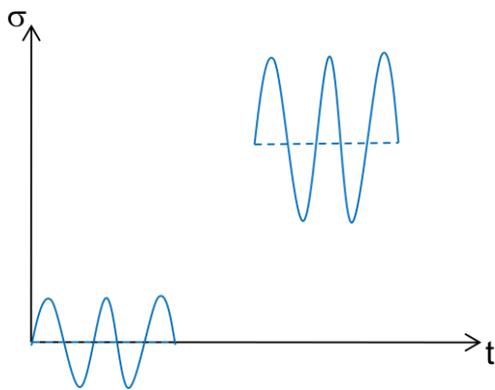


Abbildung 1-4: Spannungsverlauf A

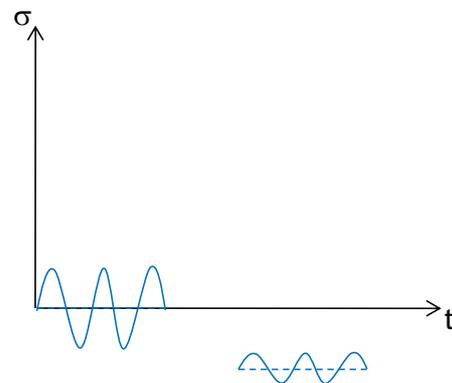


Abbildung 1-5: Spannungsverlauf B

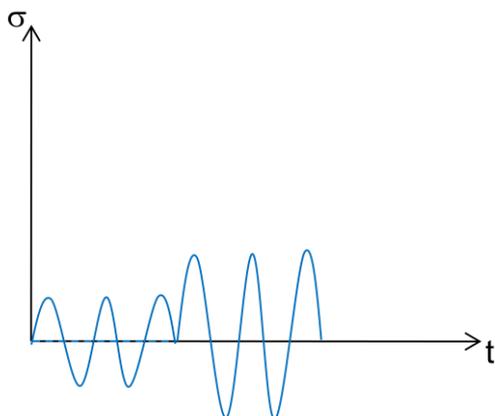


Abbildung 1-6: Spannungsverlauf C

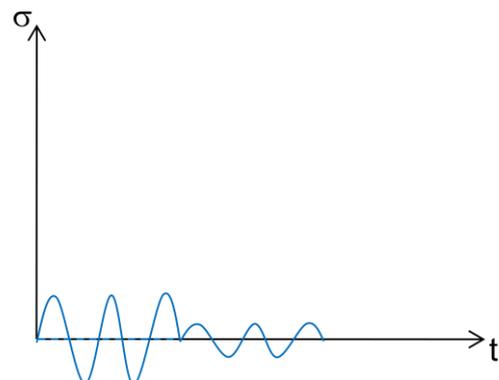


Abbildung 1-7: Spannungsverlauf D

## Aufgabe 2: Lagerberechnung

(10 Punkte)

Mit der in Abbildung 2-1 dargestellten Lageranordnung soll in Langzeitversuchen die Eignung eines Schmiermittels zur Verbesserung der Lebensdauer von Kegelrollenlagern unter Laborbedingungen untersucht werden. Die Festseite A (1) besteht aus zwei identischen in X-Anordnung einreihig zusammengepassten Kegelrollenlagern mit dem Druckwinkel  $\alpha=30^\circ$ . Als Loslager B (2) ist ein Zylinderrollenlager montiert.

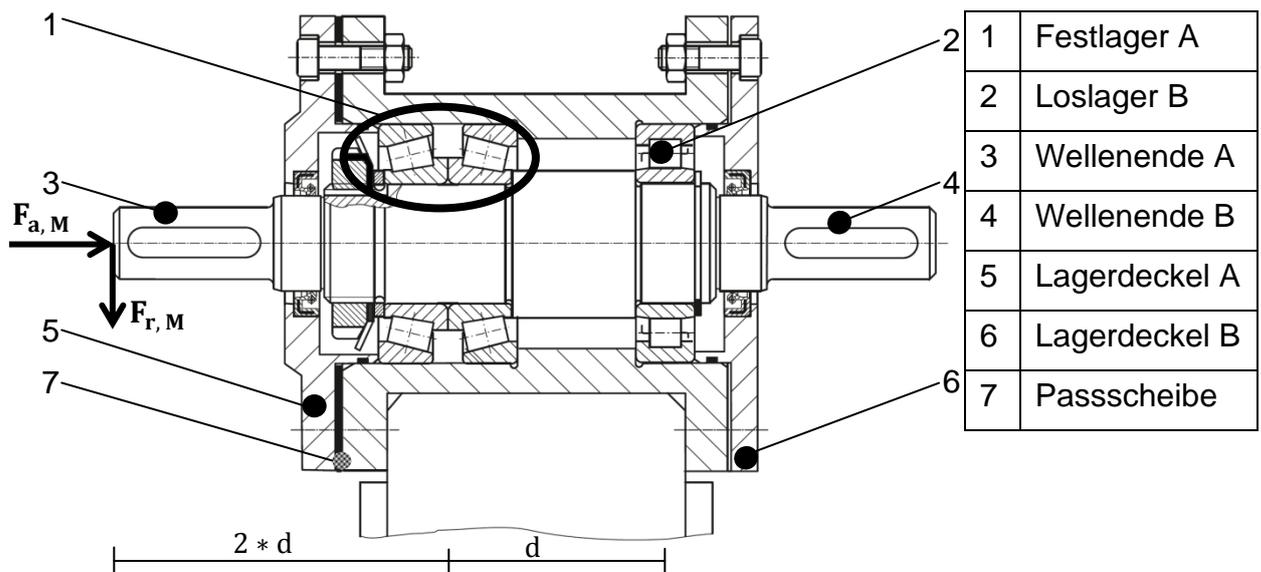


Abbildung 2-1: Lagerkonfiguration für die Langzeituntersuchung

Mithilfe eines am Normwellenende (3) befestigten Motors wird die Welle angetrieben. Über das Wellenende B (5) erfolgt die Messung von Drehzahlen und herrschenden Reibmomenten, die als Indikatoren für die Materialermüdung dienen. Über den Lagerdeckel A (5) und die Passscheibe (7) wird eine Vorspannung der Kegelrollenlager mit der Kraft  $F_V$  realisiert. Während der Untersuchung wird die Welle durch eine konstante Motordrehzahl angetrieben. Durch den Motor wird die Welle mit den Kräften  $F_{a,M}$  und  $F_{r,M}$  belastet. Tabelle 2-1 fasst die Kräfte für die Langzeitversuche mit dem Schmiermittel zusammen.

Tabelle 2-1: Versuchsgrößen für das neue Schmiermittel

$F_{a,M}$	7 kN
$F_{r,M}$	33,33 kN

### Aufgabe 2.1: Kraftfluss

1,5 Punkte

Zeichnen Sie folgende Kraftflüsse ein:

- a) In Abbildung 2-2 den Kraftfluss der Vorspannkraft  $F_V$  des Lagerdeckels A (5) auf das Festlager (1).

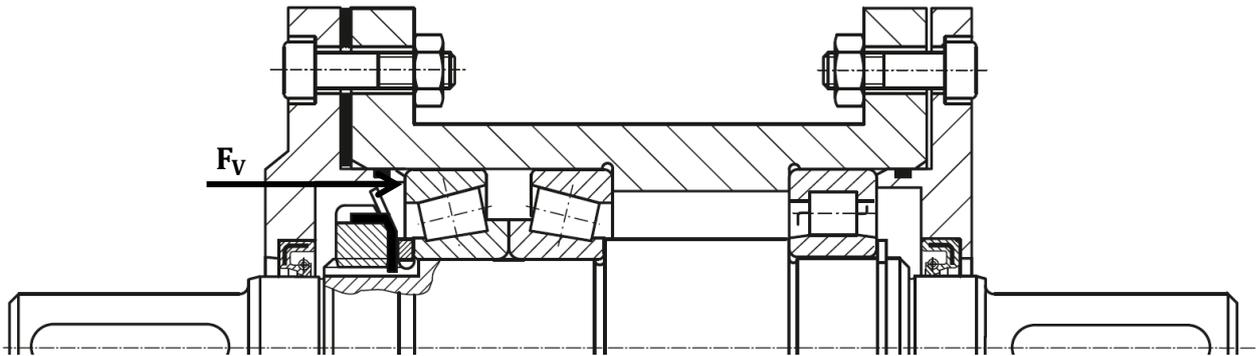


Abbildung 2-2: Kraftfluss der Vorspannkraft  $F_V$

- b) In Abbildung 2-3 den Kraftfluss der auf das Festlager (1) tatsächlich wirkenden Radialkraft  $F_{r,A}$ .

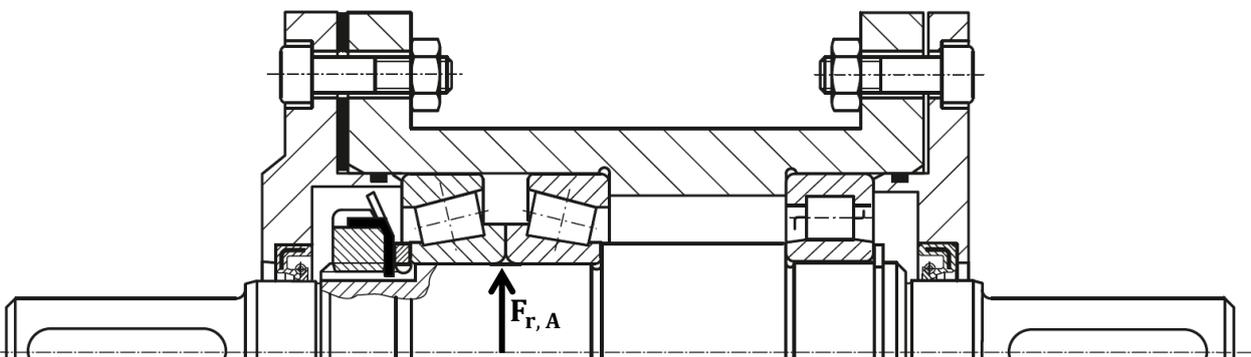
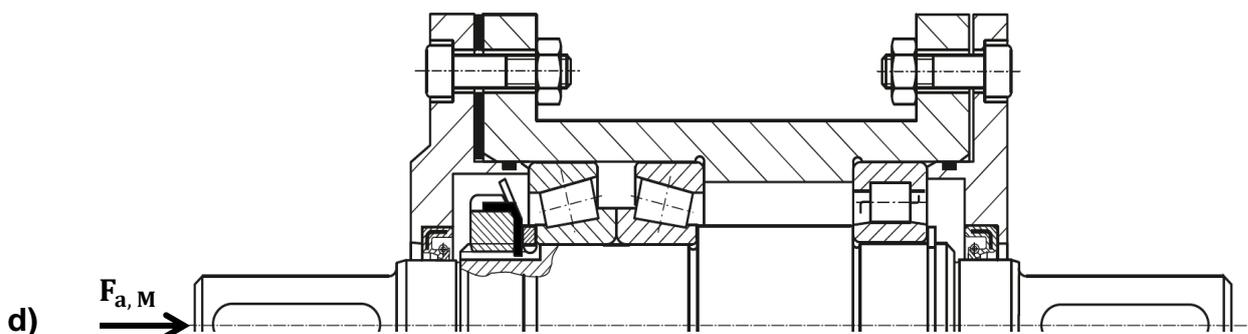


Abbildung 2-3: Kraftfluss der Radialkraft  $F_{r,A}$

- c) In Abbildung 2-4 den Kraftfluss der Axialkraft des Motors  $F_{a,M}$  auf das Festlager (1).



d)

Abbildung 2-4: Kraftfluss der Axialkraft  $F_{a,A}$

### Aufgabe 2.2: Berechnung der Vorspannkraft $F_V$

3 Punkte

Durch die radiale Belastung schräg zum Druckwinkel  $\alpha$  der Kegelrollenlager (1) entsteht eine in axialer Richtung wirkende innere Kraft, die durch die äußere Vorspannkraft  $F_V$  des Lagerdeckels A (5) ausgeglichen werden muss (vgl. Abbildung 2-5). Die Radialkraft  $F_{r,A}$  verteilt sich gleichmäßig auf die Kegelrollenlager. Welchen Betrag hat die Vorspannkraft mindestens, damit die einreihig zusammengepassten Kegelrollenlager fixiert werden?

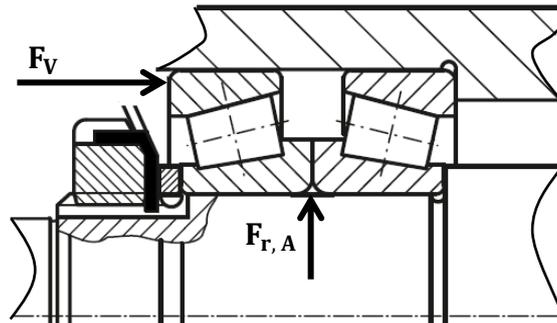


Abbildung 2-5: Benötigte Vorspannkraft  $F_V$  durch die Radialkraft  $F_{r,A}$

- a) Erstellen Sie ein Freikörperbild der Lageranordnung und berechnen Sie die Lagerkraft  $F_{r,A}$  aus den in Abbildung 2-1 und Tabelle 2-1 gegebenen Daten.

- b) Erstellen Sie ein Freikörperbild des linken Kegelrollenlagers und berechnen Sie die Vorspannkraft  $F_V$ . Gehen Sie dabei von reibungsfreien Bauteilpaarungen aus.

**Aufgabe 2.3: Lebensdauerberechnung der Kegelrollenlager ohne Verwendung des neuen Schmiermittels**

**4 Punkte**

Um eine Aussage über die Qualität des Schmiermittels treffen zu können, berechnen Sie zunächst die *nominelle Lebensdauer ohne Schmiermittel*  $L_{10_x}$  der einreihig zusammengepassten Kegelrollenlager (1). Die zur Berechnung nötigen Werte sind in Tabelle 2-2 aufgeführt.

**Hinweis:** Verwenden Sie zum Rechnen den in Tabelle 2-2 gegebenen Wert für  $F_{r,A}$  und vernachlässigen Sie die Vorspannkraft  $F_V$ .

**Tabelle 2-2: Werte für die Lebensdauerberechnung der einreihig zusammengepassten Kegelrollenlager (1) ohne Schmiermittel**

$F_{r,A}$	100 kN		
$C_x$	105 kN		
$e_x$	0.83		
$p$	$10/3$		
$X_x$	1.00,	für $F_{a,A}/F_{r,A} \leq e_x$	(I)
	0.81,	für $F_{a,A}/F_{r,A} > e_x$	(II)
$Y_x$	0.67,	für $F_{a,A}/F_{r,A} \leq e_x$	(III)
	1.20,	für $F_{a,A}/F_{r,A} > e_x$	(IV)

a) Berechnen Sie für das Festlager (1) die *äquivalente dynamische Lagerbelastung ohne Schmiermittel*  $P_x$ .

b) Berechnen Sie für das Festlager (1) die *nominelle Lebensdauer des Festlagers ohne Schmiermittel*  $L_{10_x}$ .

### Aufgabe 2.4: Beurteilung der Qualität des neuen Schmiermittels

1,5 Punkte

Es wurde eine größere Menge gleicher einreihig zusammengepasster Kegelrollenlager (1) mit dem Schmiermittel bis zum ersten Anzeichen von Werkstoffermüdung über längere Zeit getestet. Das Ergebnis für verschiedene Beanspruchungen zeigt Abbildung 2-6 mit der 10 %-Wöhlerlinie (10 % der Lager weisen Materialermüdung auf).

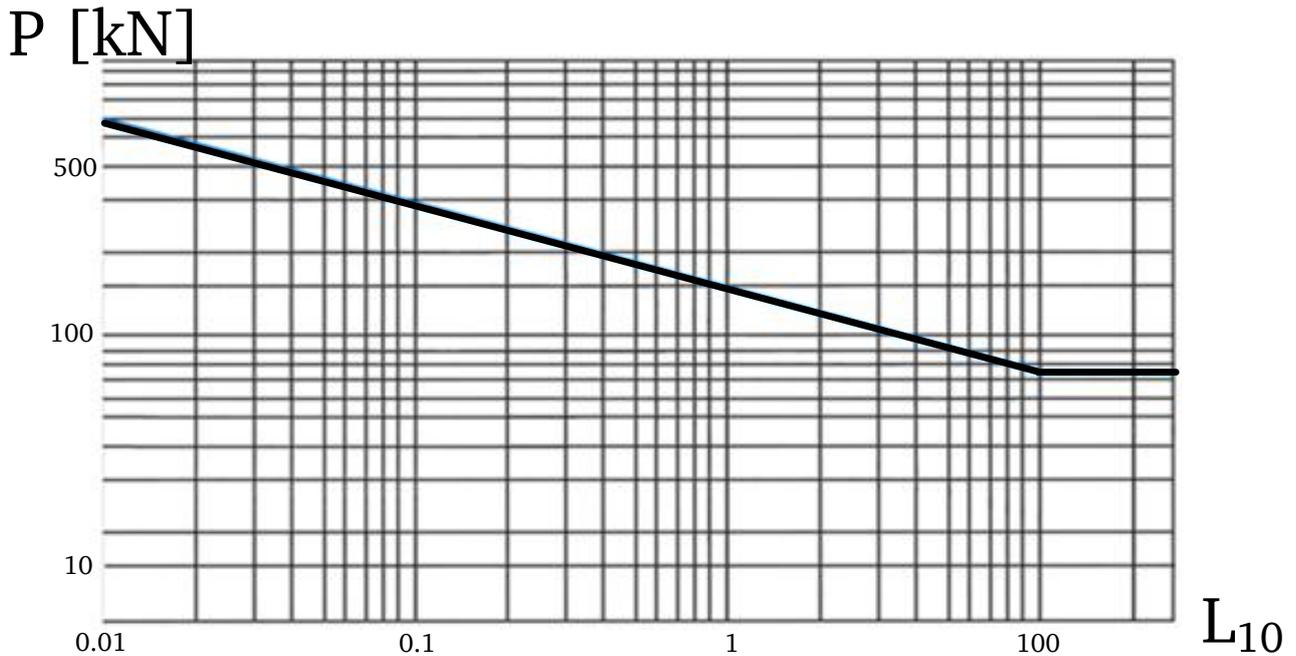


Abbildung 2-6: 10 %-Wöhlerlinie des geschmierten Festlagers (1)

- Tragen Sie Ihr Ergebnis aus Aufgabe 2.3 in das Diagramm (Abbildung 2-6) ein, indem Sie den Wert mit einem X kennzeichnen.
- Wie groß ist der Wert bei gleichen Bedingungen für das geschmierte Festlager? Markieren Sie diesen im Diagramm (Abbildung 2-6) mit einem O.
- Steigert das Schmiermittel die zu erwartende Lebensdauer der einreihig zusammengepassten Kegelrollenlager (1) im Vergleich zum ungeschmierten Zustand? Begründen Sie Ihre Aussage.

### Aufgabe 3: Schraubenverbindung

(8 Punkte)

Abbildung 3-1 zeigt einen Ausschnitt aus einer Lagerdeckel-Verschraubung. Die gezeigte Schraube **M8 x 60** wird durch die Betriebskraft  $F_B$  axial belastet.

Das Verspannungsdiagramm nach Rötischer in Abbildung 3-2 zeigt die Verspannungsverhältnisse in der Schraubenverbindung im Betriebszustand.

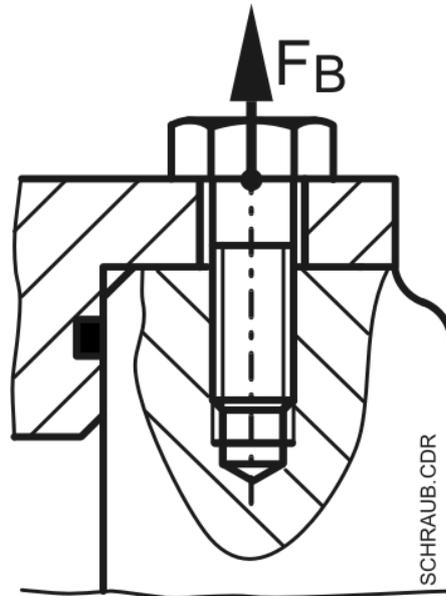


Abbildung 3-1: Schraubenverbindung

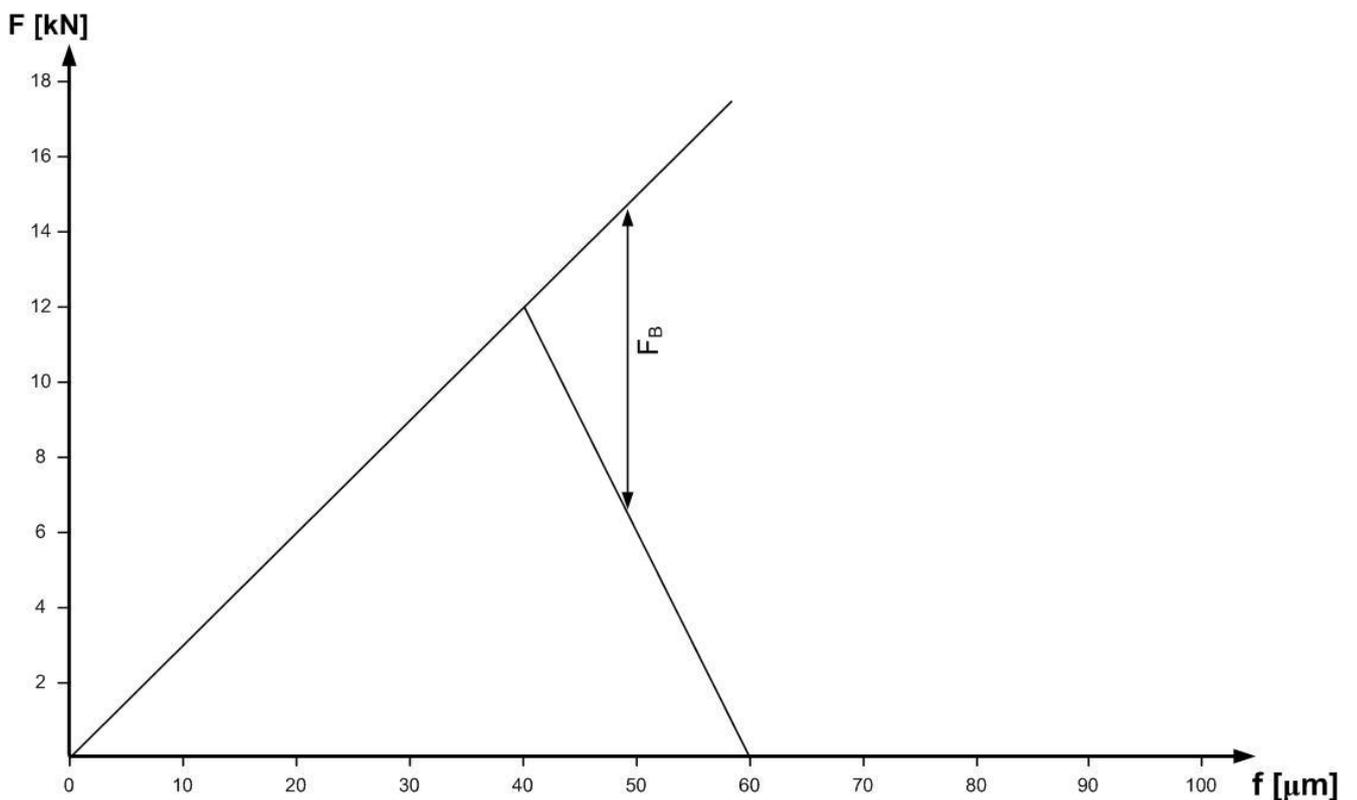


Abbildung 3-2: Verspannungsdiagramm der Schraubenverbindung nach Rötischer

**Aufgabe 3.1: Bestimmung wichtiger Werte****3,5 Punkte****3.1.1 Ablesen wichtiger Werte**

Lesen Sie aus dem Röscher-Diagramm in Abbildung 3-2 folgende Werte ab und vervollständigen Sie die Tabelle 3-1.

**Tabelle 3-1**

<b>Größe</b>	<b>Wert</b>	<b>Einheit</b>
Vorspannkraft $F_v$		
Längung der Schraube $f_s$		
Längung der Platte $f_p$		

**3.1.2 Berechnen wichtiger Werte**

Berechnen Sie mit Hilfe der oben abgelesenen Werte und der Betriebskraft  $F_B = 8 \text{ kN}$  (Krafteinleitungsfaktor  $n = 1$ ) die in Tabelle 3-2 angegebenen Größen. Vervollständigen Sie die Tabelle mit den berechneten Werten und der jeweiligen Einheit und geben Sie den Rechenweg an.

**Hinweis: Die genauen Geometriedaten der Schraube sind hierfür nicht erforderlich.**

**Tabelle 3-2**

<b>Größe</b>	<b>Wert</b>	<b>Einheit</b>
Nachgiebigkeit der Schraube $\delta_s$		
Nachgiebigkeit der Platte $\delta_p$		
Schraubenzusatzkraft $F_{SA}$		
Plattenzusatzkraft $F_{PA}$		
Restklemmkraft $F_{KR}$		

### Aufgabe 3.2: Einfluss der Änderung des Schraubenmaterials

2,5 Punkte

Um eine korrosionsbeständige Verbindung zu gewährleisten, soll die verwendete Schraube ( $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$ ) durch eine Aluminiumschraube ( $E = 70.000 \text{ N/mm}^2$ ) mit identischer Geometrie ersetzt werden.

#### 3.2.1 Änderungen der zuvor bestimmten Werte

Geben Sie in Tabelle 3-3 an, wie sich die zuvor bestimmten Werte durch die Umgestaltung des Schraubenmaterials verändern. Es genügen rein qualitative Aussagen, z.B. „steigt“, „bleibt gleich“, „wird kleiner“. Die Schraube wird weiterhin mit der im Röscher-Diagramm angegebenen Vorspannkraft  $F_V$  angezogen und durch die Betriebskraft  $F_B$  belastet.

Tabelle 3-3

Wert	Veränderung
Vorspannkraft $F_V$	„bleibt gleich“
Nachgiebigkeit der Schraube $\delta_S$	
Nachgiebigkeit der Platte $\delta_P$	
Längung der Schraube $f_S$	
Längung der Platte $f_P$	
Betriebskraft $F_B$	„bleibt gleich“
Schraubenzusatzkraft $F_{SA}$	
Plattenzusatzkraft $F_{PA}$	
Restklemmkraft $F_{KR}$	

#### 3.2.2 Änderung des Verspannungsdiagramms nach Röscher

Zeichnen Sie die durch die Änderung des Schraubenmaterials eintretende Veränderung des Verspannungsdiagramms nach Röscher qualitativ in Abbildung 3-3 ein.

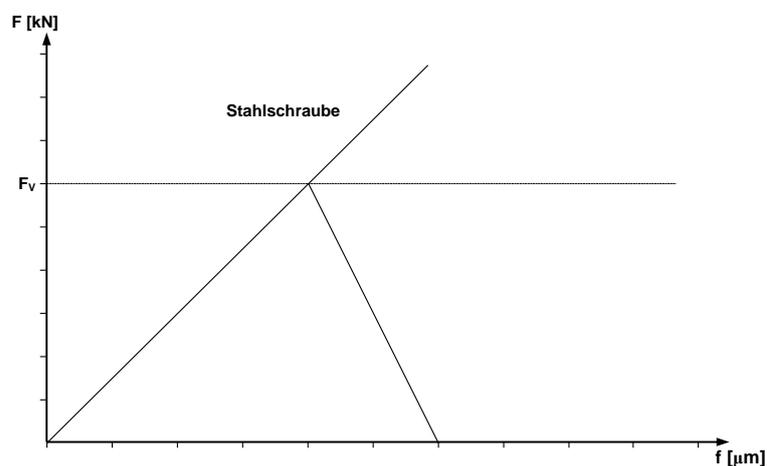


Abbildung 3-3: Veränderung des Verspannungsdiagramms nach Röscher

**Aufgabe 3.3: Berechnung der Restklemmkraft  $F_{KR}$**

**2 Punkte**

Um die Funktionserfüllung (Abdichtung des Deckels) zu gewährleisten, ist eine Restklemmkraft  $F_{KRef} = 4 \text{ kN}$  erforderlich.

Berechnen Sie für die Aluminiumschraubenverbindung die verbleibende Restklemmkraft  $F_{KR}$  und bestimmen Sie den Sicherheitswert.

## Aufgabe 4: Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindung (Querpressverband)

(8 Punkte)

Die abgebildete Welle-Nabe-Verbindung ist als zylindrischer Querpressverband ausgeführt. Die Kräfte und Momente werden reibschlüssig zwischen dem geradzahnten Zahnrad und der Vollwelle übertragen.

Das Zahnrad wurde bisher aus Gusseisen (GJS-700) hergestellt und mit der Passung H8/u11 auf der Welle fixiert. Zur Reduzierung der Massenträgheit des Zahnrades soll es nun aus einer hochfesten Aluminiumlegierung (AlZnMgCu 0,5) hergestellt werden.

Die Welle soll ein maximales Antriebsmoment  $T$  auf das Zahnrad übertragen, welches um  $\pm 5\%$  schwanken kann:  $T = 1400 \text{ Nm}$

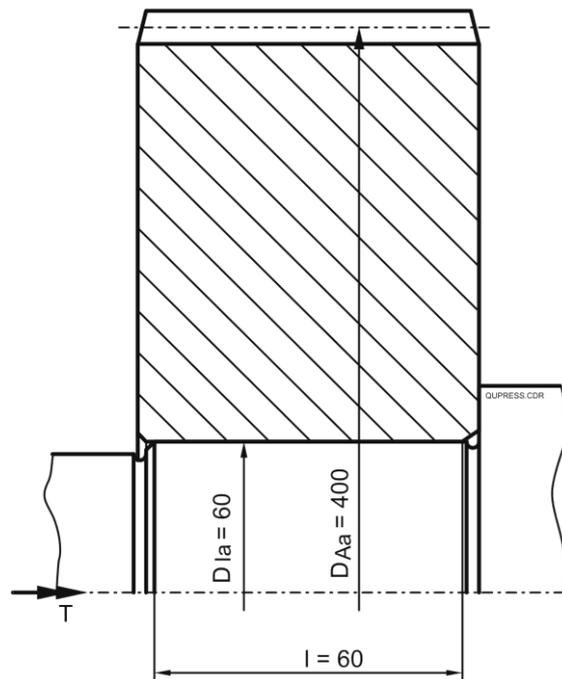


Tabelle 4-1: Daten zu Geometrie und Werkstoff

	Welle – E 295	Nabe – AlZnMgCu 0,5
Durchmesser	$D_{Ia} \cong D_F = 60 \text{ mm}$	$D_{Aa} = 400 \text{ mm}$
E-Modul	$E_W = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$	$E_N = 0,7 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$
Streckgrenze bzw. Zugfestigkeit	$R_{eW} = 295 \text{ N/mm}^2$	$R_{mN} = 490 \text{ N/mm}^2$
Querkontraktionszahl	$\nu_W = 0,3$	$\nu_N = 0,34$
Rauheit (gemittelte Rauhtiefe)	$R_{zW} = 3 \mu\text{m}$	$R_{zN} = 4 \mu\text{m}$

Überdeckende Länge des Querpressverbandes:

$$l = 60 \text{ mm}$$

**Aufgabe 4.1:****2 Punkte**

Berechnen Sie den erforderlichen Passfugendruck  $p_{erf}$ , um das Zahnrad sicher auf der Welle zu fixieren.

**Gegeben:**  $\mu_0 = 0,15$  ;  $S_R = 1,6$

**Aufgabe 4.2:****2 Punkte**

Der Innendurchmesser der Nabe ist die am höchsten beanspruchte Stelle. Berechnen Sie aus der Beziehung  $\sigma_v \leq \sigma_{zul}$  die größte noch zulässige Flächenpressung  $p_{zul}$  für den neuen Aluminiumwerkstoff, wenn keine weiteren Beanspruchungen vorliegen.

**Gegeben:**  $S_B = 2$

**Aufgabe 4.3:****2 Punkte**Berechnen Sie das erforderliche Übermaß  $U_{min}$ .**Hinweise:**

- Das Zahnrad kann idealisiert als zylindrischer Körper mit den Abmaßen  $D_{Ai} = D_F, D_{Aa}$  und  $l$  betrachtet werden
- Verwenden Sie zur Berechnung des erforderlichen Haftmaßes  $Z_{min}$  die Formel:

$$Z_{min} = p_{erf} \cdot D_F \cdot \frac{K}{E_N} \quad \text{mit} \quad K = \frac{E_N}{E_W} \left( \frac{1+Q_W^2}{1-Q_W^2} - \nu_W \right) + \frac{1+Q_N^2}{1-Q_N^2} + \nu_N$$

**Aufgabe 4.4:****1 Punkt**Berechnen Sie das zulässige Übermaß  $U_{max}$ **Hinweise:**

- Das Zahnrad kann idealisiert als zylindrischer Körper betrachtet werden!
- Orientieren Sie sich an der gleichen Formel, wie in Aufgabenteil 4.3:

$$Z_{min} = p_{erf} \cdot D_F \cdot \frac{K}{E_N} \quad \text{mit} \quad K = \frac{E_N}{E_W} \left( \frac{1+Q_W^2}{1-Q_W^2} - \nu_W \right) + \frac{1+Q_N^2}{1-Q_N^2} + \nu_N$$

