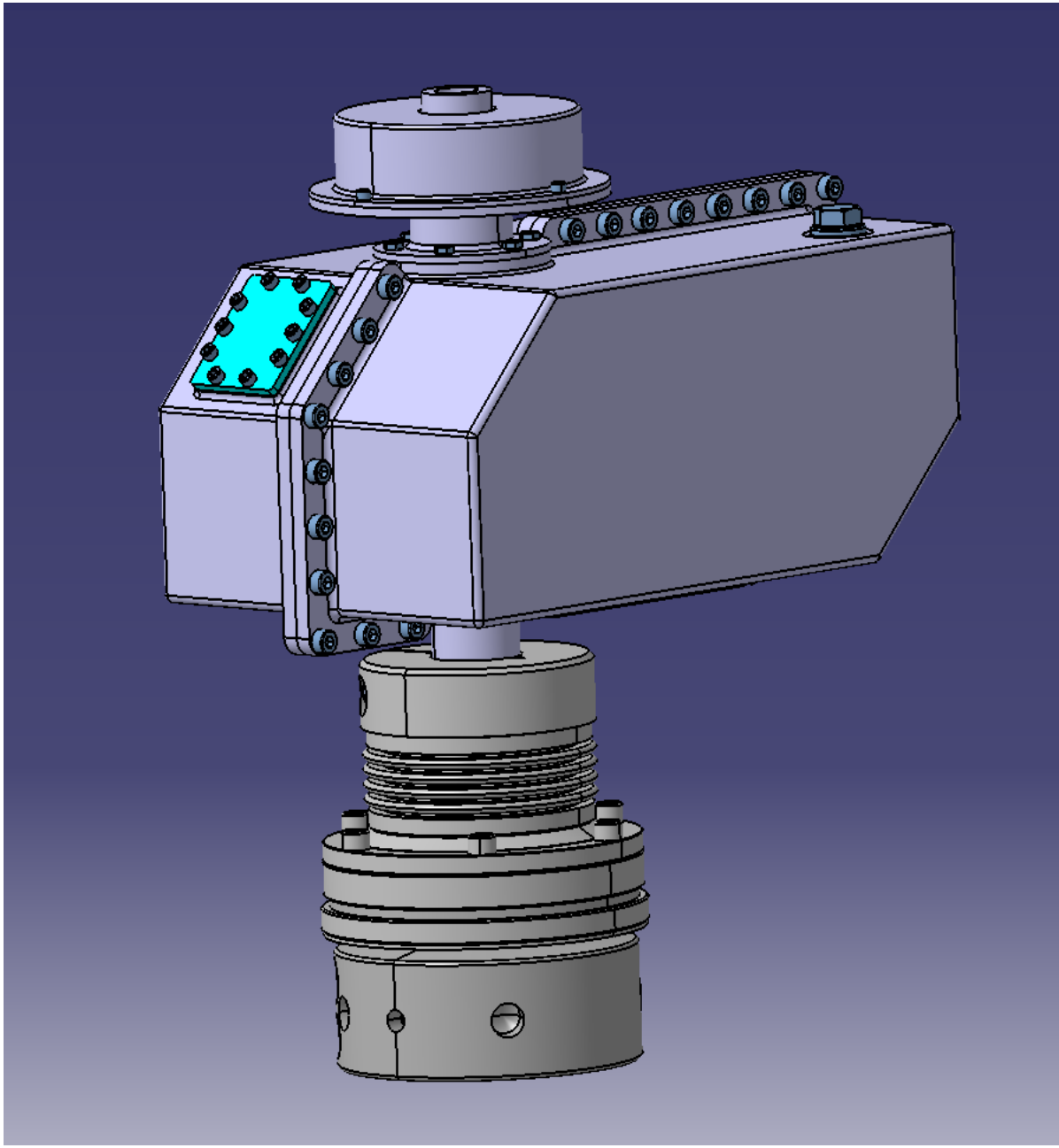


2-stufiges schrägverzahntes koaxiales Getriebe

Abgabe Testat 3 Gruppe 3 -11.08.2022

Prof. Dr. Lindner



Inhaltsverzeichnis

1. Anforderungsliste

2. Skizzen

- 2.1. Prinzip-Skizze
- 2.2. Entwurf-Skizze
- 2.3. Isometrische Ansichten mit Kräfteverlauf

3. Berechnungen

- 3.1. Verzahnung
 - 3.1.1. Übersetzungsverhältnis
 - 3.1.2. Zahnradraten
 - 3.1.3. Profilverschiebung
 - 3.1.4. Zusammenfassung der Parameter
- 3.2. Passfederberechnung
- 3.3. Lagerkräfte
- 3.4. Fliehkraftkupplung
- 3.5. Festigkeitsnachweis
- 3.6. Schmierstoffberechnung

4. Zeichnungen

- 4.1. Isometrie
- 4.2. Hauptansichten
- 4.3. Schnittansichten
- 4.4. Detailansicht Lagerung

Anforderungsliste des Bohrgerät-Getriebes

Vorgegebene Werte die einzuhalten sind:

Antrieb T_{an} [Nm] = 50

Abtrieb T_{ab} [Nm] = 500

Schaltdrehzahl n_s [min⁻¹] = 1400

Antriebsdrehzahl n_{an} [min⁻¹] = 2000

Abtrieb F_B [N] = 1500

Schrägverzahnungswinkel β [°] = 20

Es gibt nur zwei verschiedene Ausführungsvarianten, da die Wellen, Zahnräder und Kupplungen immer gleichbleiben müssen. Die Varianten ergeben sich bei der Konstruktion des Gehäuses. Die erste Variante ist eine Gusskonstruktion. Die zweite ist eine Schweißkonstruktion. Im Folgenden werden beide Varianten vorgestellt.

Variante 1: Gusskonstruktion (geteilt)

- Gehäuse bestehend aus zwei Teilen. Einem Trichter für die Fliehkraftkupplung inklusive einem genormten Motorflansch, welche je nach Motor variieren kann und einem Flanschdeckel zum Fixieren der Lagerungen.
- Durch geteiltes Gehäuse sind Dauergussformen möglich
- Gehäuse bestehend aus einer Alugusslegierung zur Gewichtsreduktion
- Wellen mit vormontierten Zahnrädern, Ritzeln und Lagern werden nur noch eingesetzt.
- Schwimmende Lagerung durch Rollenlager für Vorgelegewelle
- An- und Abtriebswelle:
 - Mit Nadellager ineinander gelagert (Loslager)
 - Festlager durch Kegelrollenlager in O-Anordnung in der Gehäusewand
- Zahnräder und Ritzel durch Passfederverbindungen mit Wellen verbunden

Variante 2: Schweißkonstruktion:

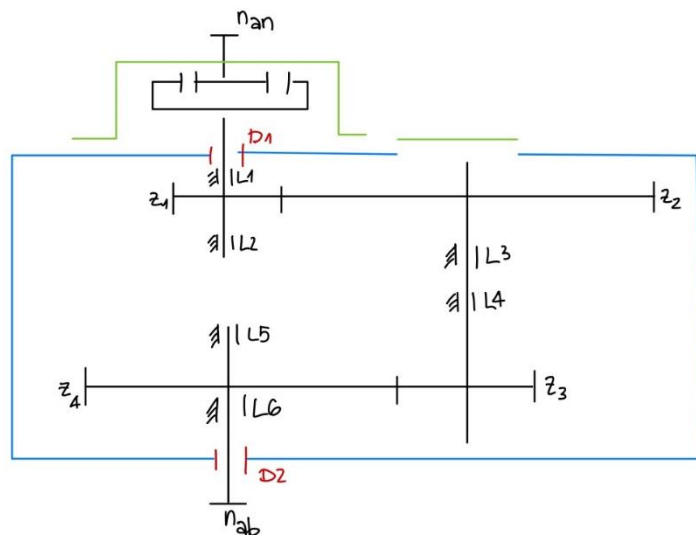
- Gehäuse bestehend aus einem geschweißten Kasten und einem geschraubten Deckel:
 - Motor wird durch Flansch am Kasten verschraubt
 - Wellen werden seitlich durch Löcher eingeschoben
 - Zahnräder, Ritzel und Lager werden im Inneren aufgeschoben
- An- und Abtriebswelle:
 - Loslager durch Rillenkugellager in Lagerblock in der Mitte des Kastens
 - Festlager durch Schrägkugellager in O-Anordnung in der Gehäusewand
- Zahnräder und Ritzel durch Passfederverbindungen mit Wellen verbunden

Es wird eine Gusskonstruktion aufgrund einfacherer Fertigung gewählt.

Allgemeine Anforderungen:

- Sicherheit gegen Dauerbruch $> 1,5$
- Wälzlagerlebensdauer > 10.000 h
- Koaxiale Ausrichtung der An- und Abtriebswelle
- klein- bis mittelgroße Serie (10.000 Stk.)
- bevorzugte Verwendung von Norm- und Kaufteilen
- fertigungs- und montagegerechte Konstruktion
- kostengünstige Fertigungs- und Betriebskosten
- anwendergerechte Konstruktion, welche Verletzungsgefahren minimiert
- geringe akustische Belastung
- Korrosionsschutz durch gewählte Materialien und Lackierungen
- Ölpeilung
- Öleinlass- und ablassschraube im Gehäuse
- Fliehkraftkupplung schaltet bei 1300 min^{-1} ($\mu_0 = 0,9$)
- Rutschkupplung schaltet bei $T > 50 \text{ Nm}$
- kompakte und gewichtssparenden Bauweise
- Reibbelege der Kupplung sind möglichst langlebig

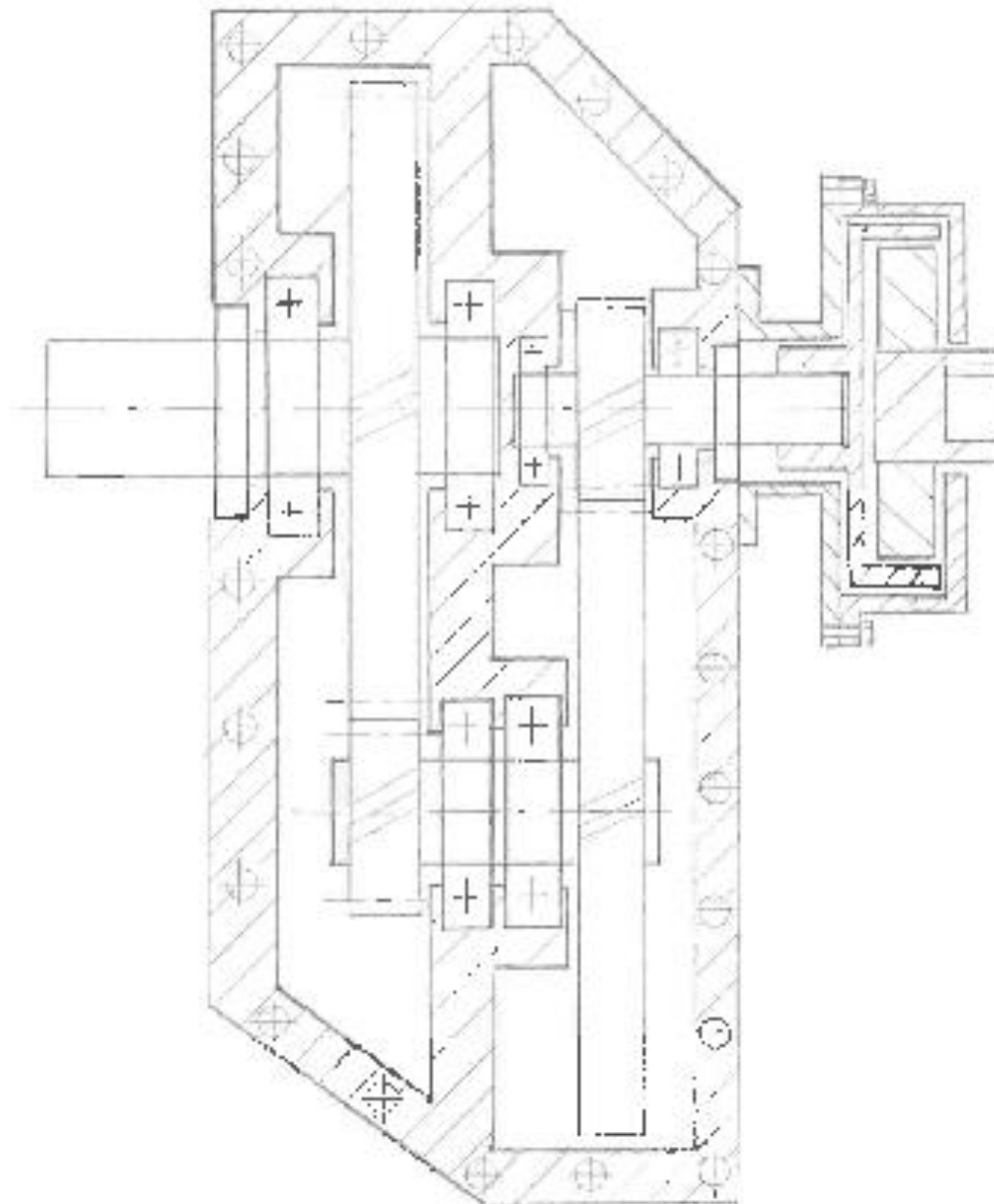
Prinzip-Skizze



Gehäuse
Deckel
Dichtung

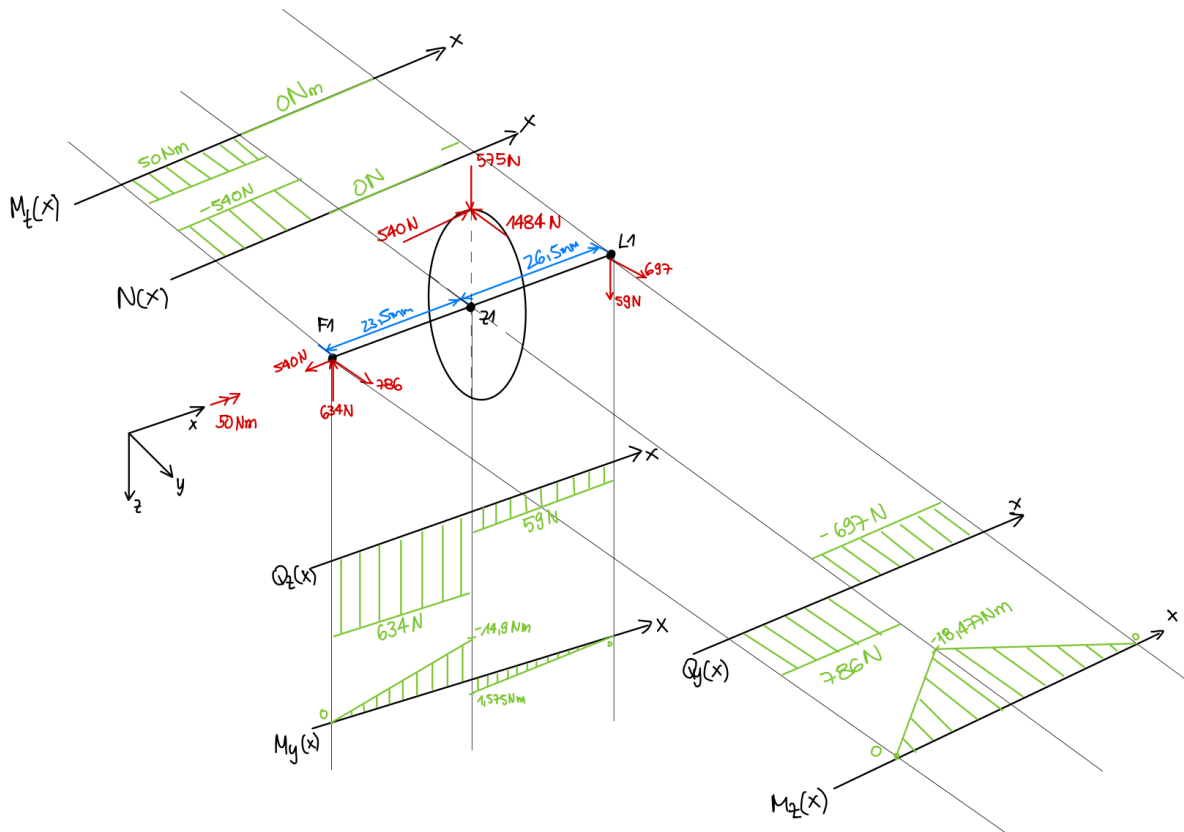
Bezeichnung	Bauteil
n_{an}	Antriebswelle
n_{ab}	Abtriebswelle
D1	Dichtelement 1
D2	Dichtelement 2
Z1	Zahnrad 1
Z2	Zahnrad 2
Z3	Zahnrad 3
Z4	Zahnrad 4
L1	Lager 1
L2	Lager 2
L3	Lager 3
L4	Lager 4
L5	Lager 5
L6	Lager 6

Entwurf-Skizze

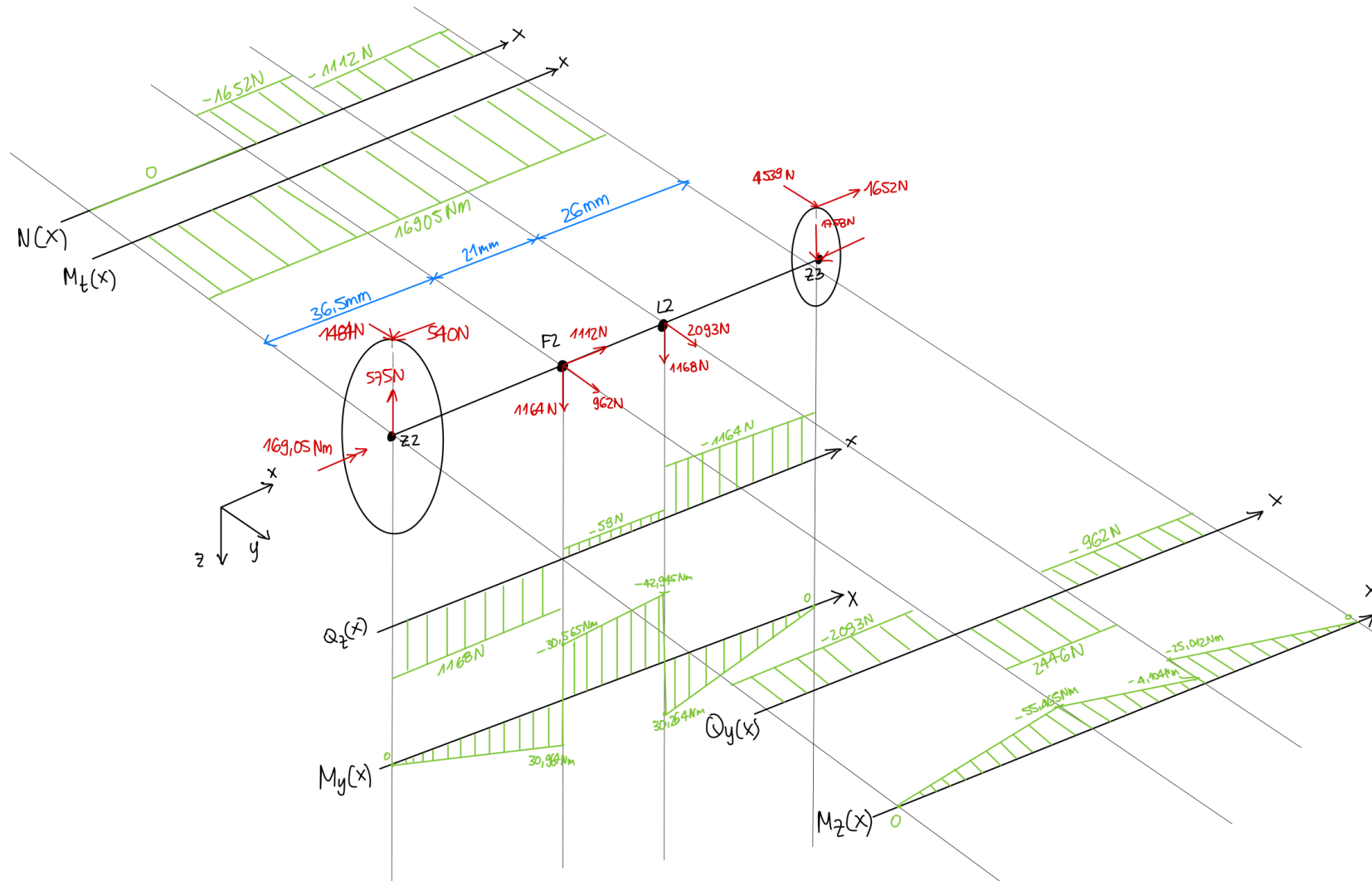


Isometrische Ansichten mit Kräfteverlauf

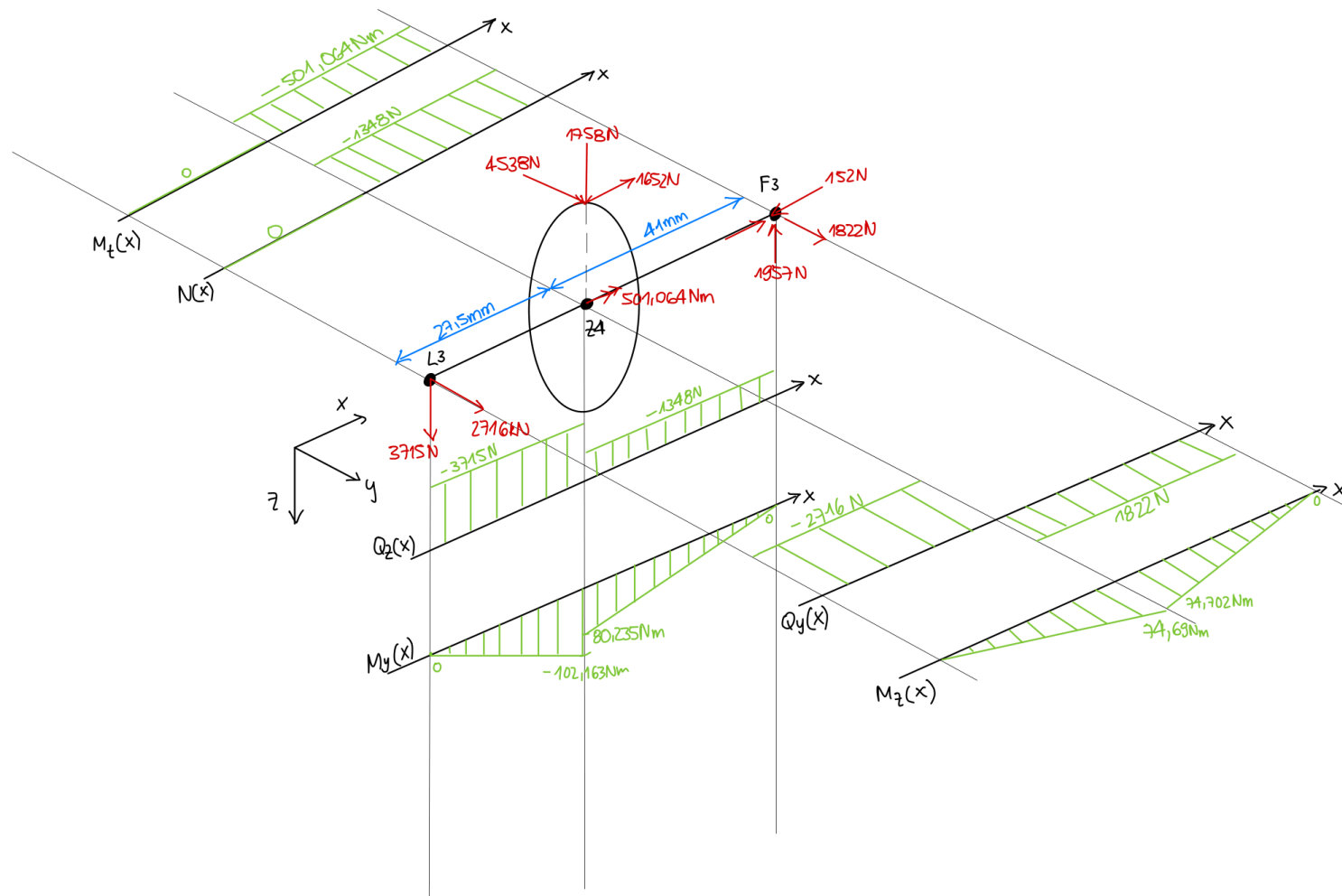
Momentenverlauf Antriebswelle



Momentenverlauf Vorgelegewelle



Momentenverlauf Abtriebswelle



Vereinbarte Konstanten:

Normaleingriffswinkelwinkel:	Schrägungswinkel:	Überschlägiger Belastungswert:	Anwendungsfaktor:
$\alpha_n := 20^\circ$	$\beta := 20^\circ$	$B_{zul} := 4 \frac{N}{mm^2}$	$K_A := 2.0$
Druckkraft vom Boden:	Schaltdrehzahl:	Dauerfestigkeitsschubspannung:	
$F_B := 1500 \text{ N}$	$n_s := 1400 \text{ rpm}$	$\tau_{Tzul} := 50 \frac{N}{mm^2} \quad (42CrMo4)$	
Antriebsdrehzahl:			
$n_{Antrieb} := 2000 \frac{1}{min}$			

Übersetzungsverhältnis:

Antriebsmoment:		
$T_{an} := 50 \text{ N} \cdot m$		
Theoretisch benötigte Übersetzungen:		orientiert an TB 21-11
$i_1 := 3.40$	$i_2 := 2.95$	
$i_{Gesamt} := i_1 \cdot i_2$	$i_{Gesamt} = 10.03$	
Errechnete Übersetzungen (siehe Zahnradaten):		
$i'_1 := 3.381$	$i'_2 := 2.964$	
$i'_{Gesamt} := i'_1 \cdot i'_2$	$i'_{Gesamt} = 10.021$	
Moment der Vorgelegewelle:		
$T_{Vorgelege} := T_{an} \cdot i'_1$	$T_{Vorgelege} = 169.05 \text{ N} \cdot m$	
Abtriebsmoment:		
$T_{ab} := T_{an} \cdot i'_{Gesamt}$	$T_{ab} = 501.064 \text{ N} \cdot m$	

Fliehkraftkupplung:

$$N_{FK} := 2 \quad F_F := 25 \text{ N} \quad n_s := 1400 \frac{1}{\text{min}} \quad \omega_s := 2 \pi \cdot n_s = 146.608 \frac{1}{\text{s}}$$

$$r_{FK} := 50 \text{ mm} \quad \mu_0 := 0.9$$

$$m_{FK} := 0.5 \text{ kg} \quad \Delta l := 2.5 \text{ mm}$$

$$d_R := 120 \text{ mm}$$

$$\text{Federsteifigkeit:} \quad C := \frac{F_F}{\Delta l} \quad C = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Bei Schaltdrehzahl:

$$\text{Fliehkraft:} \quad F_{Flieh} := m_{FK} \cdot r_{FK} \cdot \omega_s^2 \quad F_{Flieh} = 0.537 \text{ kN}$$

$$\text{Kontaktkraft:} \quad F_N := (F_{Flieh} - 2 \cdot F_F) \quad F_N = 0.487 \text{ kN}$$

$$\text{Reibkraft eines Fliehkörpers:} \quad F_R := \mu_0 \cdot F_N \quad F_R = 438.611 \text{ N}$$

$$\text{Reib-/Schaltmoment:} \quad T_R := N_{FK} \cdot F_R \cdot \frac{d_R}{2} \quad T_R = 52.633 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Entwurfsdurchmesser:

Antriebswelle:	Vorgelegewelle:	Abtriebswelle:
$d_{min1} := \sqrt[3]{\frac{(16 \cdot T_{an} \cdot K_A)}{\pi \cdot \tau_{Tzul}}}$	$d_{min2} := \sqrt[3]{\frac{(16 \cdot T_{Vorgelege} \cdot K_A)}{\pi \cdot \tau_{Tzul}}}$	$d_{min3} := \sqrt[3]{\frac{(16 \cdot T_{ab} \cdot K_A)}{\pi \cdot \tau_{Tzul}}}$
$d_{min1} = 21.677 \text{ mm}$	$d_{min2} = 32.535 \text{ mm}$	$d_{min3} = 46.735 \text{ mm}$
Gewählt: $d_{W1} := 25 \text{ mm}$	Gewählt: $d_{W2} := 35 \text{ mm}$	Gewählt: $d_{W3} := 50 \text{ mm}$

Zahnrad Daten:

Ritzelzähnezahlen:

$z_1 := 21$	$z_3 := 28$
$z_2 := 71$	$z_4 := 83$
$i'_1 := \frac{z_2}{z_1} = 3.381$	$i'_2 := \frac{z_4}{z_3} = 2.964$
Damit ist $i'_1 \sim i_1$ und $i'_2 \sim i_2$	$i'_{ges} := i'_1 \cdot i'_2 = 10.022$
orientiert an TB 21-12	

Modul 1,2:

$m_{n12} := \frac{(1.8 \cdot d_{W1} \cdot \cos(\beta))}{z_1 - 2.5}$	$m_{n12} = 2.286 \text{ mm}$	nach Gl. 21-63
Gerundet:	$m_{n12} := 3.0 \text{ mm}$	nach TB 21-1

Teilkreisdurchmesser 1,2:

$d_1 := \frac{(z_1 \cdot m_{n12})}{\cos(\beta)}$	$d_1 = 67.043 \text{ mm}$	nach Gl. 21-38
$d_2 := \frac{(z_2 \cdot m_{n12})}{\cos(\beta)}$	$d_2 = 226.67 \text{ mm}$	

Zahnradbreite 1,2:

$$\text{Zahnrad Z1: } b_1 := \frac{(2 \cdot T_{an})}{d_1^2 \cdot B_{zul}} \quad b_1 = 5.562 \text{ mm} \quad \text{nach Vereinbarung}$$

$$\text{Gewählt: } b_1 := 25 \text{ mm} \quad \text{gewählt nach TB-21-13 a/b.)}$$

$$b_2 := b_1$$

Null-Achsabstand 1,2:

$$a_{d1} := \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad a_{d1} = 146.857 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-8}$$

Modul 3,4:

$$m_{n34} := \frac{(2 \cdot a_{d1} \cdot \cos(\beta))}{(1 + i_2) \cdot z_3} \quad m_{n34} = 2.495 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-64}$$

$$\text{Gerundet: } m_{n34} := 2.5 \text{ mm} \quad \text{nach TB 21-1}$$

Teilkreisdurchmesser 3,4:

$$d_3 := \frac{(z_3 \cdot m_{n34})}{\cos(\beta)} \quad d_3 = 74.492 \text{ mm}$$

nach Gl. 21-38

$$d_4 := \frac{(z_4 \cdot m_{n34})}{\cos(\beta)} \quad d_4 = 220.817 \text{ mm}$$

Zahnradbreite 3,4:

$$\text{Zahnrad Z3: } b_3 := \frac{(2 \cdot T_{\text{Vorgelege}})}{d_3^2 B_{zul}} \quad b_3 = 15.232 \text{ mm} \quad \text{nach Vereinbarung}$$

$$\text{Gewählt: } b_3 := 40 \text{ mm} \quad \text{gewählt nach TB-21-13 a/b.)}$$

$$b_4 := b_3$$

Null-Achsabstand 3,4:

$$a_{d2} := \frac{(d_3 + d_4)}{2} \quad a_{d2} = 147.655 \text{ mm} \\ a_{d1} = 146.857 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-8}$$

$$a_{d1} - a_{d2} = -0.798 \text{ mm}$$

Die Nullachsabstände sind verschieden, a_{d1} wird angeglichen. D.h. eine negative Profilverschiebung wird an den Zahnradern z_1 und z_2 vorgenommen, damit keine Schwächung des Ritzels entsteht.

Profilverschiebung:

Stirneingriffswinkel:

$$\alpha_t := \arctan\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) \quad \alpha_t = 21.173^\circ \quad \text{nach Gl. 21-35}$$

Betriebseingriffswinkel:

$$\alpha_{wt} := \arccos\left(\cos(\alpha_t) \cdot \frac{a_{d1}}{a_{d2}}\right) \cdot \frac{360^\circ}{2 \cdot \pi} \quad \alpha_{wt} = 21.959^\circ \quad \text{nach Gl. 21-21}$$

Summe Profilverschiebungsfaktoren:

$$\text{inv}\alpha_{wt} := \tan(\alpha_{wt}) - \alpha_{wt} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360^\circ} \quad \text{inv}\alpha_t := \tan(\alpha_t) - \alpha_t \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360^\circ}$$

$$\text{inv}\alpha_{wt} = 0.02$$

$$\text{inv}\alpha_t = 0.018$$

$$\Sigma x := \frac{\text{inv}\alpha_{wt} - \text{inv}\alpha_t}{2 \cdot \tan(\alpha_n)} \cdot (z_1 + z_2) \quad \text{nach Gl. 21-56}$$

$$\Sigma x = 0.271$$

Ersatzzähnezahlen:

$$\beta_b := \arccos \left(\cos(\beta) \cdot \frac{\cos(\alpha_n)}{\cos(\alpha_t)} \right) \quad \beta_b = 18.747^\circ \quad \text{nach Gl. 21-36}$$

$$\cos^2(\beta_b) := \frac{1}{2} (1 + \cos(2 \cdot \beta_b)) \quad \cos^2(\beta_b) = 0.897 \quad \text{Additionstheorem}$$

$$z_{n1} := \frac{z_1}{\cos^2(\beta_b) \cdot \cos(\beta)} \quad z_{n2} := \frac{z_2}{\cos^2(\beta_b) \cdot \cos(\beta)} \quad \text{nach Gl. 21-47}$$

$$z_{n1} = 24.922 \quad z_{n2} = 84.26$$

Sinnvolle Wahl von x_1 nach Gl. 21.33 im Roloff/Matek

$$x_1 := \frac{\Sigma x}{2} + \left(0.5 - \frac{\Sigma x}{2} \right) \cdot \frac{\log\left(\frac{z_2}{z_1}\right)}{\log\left(\frac{z_{n1} \cdot z_{n2}}{100}\right)} \quad \text{nach Gl. 21-33}$$

$$x_1 = 0.281$$

$$x_2 := \Sigma x - x_1$$

$$x_2 = -0.01$$

Verschiebungen:

$$V_1 := x_1 \cdot m_{n12} \quad V_1 = 0.844 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-49}$$

$$V_2 := x_2 \cdot m_{n12} \quad V_2 = -0.031 \text{ mm}$$

$$V_3 := 0 \text{ mm}$$

$$V_4 := 0 \text{ mm}$$

Maße der Zahnräder nach Profilverschiebung:

Kopfhöhenänderung:

$$k := a_{d2} - a_{d1} - m_{n12} \cdot (x_1 + x_2) \quad k = -0.014 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-23}$$

Kopfspeil (Soll):

$$c_{12} := 0.25 \cdot m_{n12} \quad c_{12} = 0.75 \text{ mm} \quad \text{nach S.769}$$

$$c_{34} := 0.25 \cdot m_{n34} \quad c_{34} = 0.625 \text{ mm}$$

Kopfkreisdurchmesser nach Profilverschiebung:

$$d_{a1} := d_1 + 2 \cdot m_{n12} + 2 \cdot V_1 + 2 \cdot k \quad d_{a1} = 74.702 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-24}$$

$$d_{a2} := d_2 + 2 \cdot m_{n12} + 2 \cdot V_2 + 2 \cdot k \quad d_{a2} = 232.578 \text{ mm}$$

$$d_{a3} := d_3 + 2 \cdot m_{n34} \quad d_{a3} = 79.492 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-40}$$

$$d_{a4} := d_4 + 2 \cdot m_{n34} \quad d_{a4} = 225.817 \text{ mm}$$

Fußkreisdurchmesser nach Profilverschiebung:

$$d_{f1} := d_1 - 2 \cdot ((m_{n12} + c_{12}) - V_1) \quad d_{f1} = 61.231 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-25}$$

$$d_{f2} := d_2 - 2 \cdot ((m_{n12} + c_{12}) - V_2) \quad d_{f2} = 219.107 \text{ mm}$$

$$d_{f3} := d_3 - 2.5 \cdot m_{n34} \quad d_{f3} = 68.242 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-41}$$

$$d_{f4} := d_4 - 2.5 \cdot m_{n34} \quad d_{f4} = 214.567 \text{ mm}$$

Kopfspeil nach Profilverschiebung:

$$c := a_{d2} - 0.5 \cdot (d_{a1} + d_{f2}) \quad c = 0.75 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-22c}$$

Prüfen der Zahndicke am Kopfkreis:

tangentiales Modul: $m_{t12} := \frac{m_{n12}}{\cos(\beta)}$

min. Kopfdicke des Zahnes: $s_{a12min} := 0.2 \cdot m_{n12} \quad \text{nach S.791}$

$$s_{a12min} = 0.6 \text{ mm}$$

Stirnteilung: $p_{t12} := m_{t12} \cdot \pi \quad \text{nach Gl. 21-34}$

Stirnzahndicke: $s_{t1} := \frac{p_{t12}}{2} + 2 \cdot V_1 \cdot \tan(\alpha_t) \quad \text{nach Gl. 21-51}$

" s_{t1} " ist in Bezug auf den tangentialen Stirnschnitt (S-S) durch das Zahnrad.

(S.802 - Bild 21-14)

" s_{a1} " ist auf den Kopfkreis bezogen

Profilwinkel am Kopfkreis: $\alpha_{at1} := \arccos\left(\frac{d_1 \cdot \cos(\alpha_t)}{d_{a1}}\right)$

nach S.806
" α_{at1} " entspricht
" α_{yt1} " aus Roloff Matek

$$\text{inv}\alpha_{at1} := \tan(\alpha_{at1}) - \alpha_{at1} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360^\circ}$$

aus Vorlesung

Kopfdicke des Zahnes an den gewählten Zahnrädern (nach Profilverschiebung):

$$s_{a1} := d_{a1} \cdot \left(\frac{s_{t1}}{d_1} + \text{inv}\alpha_t - \text{inv}\alpha_{at1} \right) \quad s_{a1} = 2.055 \text{ mm} \quad \text{nach Gl. 21-53}$$

Stirnzahndicke:

$$s_{t2} := \frac{p_{t12}}{2} + 2 \cdot V_2 \cdot \tan(\alpha_t)$$

Profilwinkel am Kopfkreis: $\alpha_{at2} := \arccos\left(\frac{d_2 \cdot \cos(\alpha_t)}{d_{a2}}\right)$

$$\text{inv}\alpha_{at2} := \tan(\alpha_{at2}) - \alpha_{at2} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360^\circ}$$

Kopfdicke des Zahnes an den gewählten Zahnrädern (nach Profilverschiebung):

$$s_{a2} := d_{a2} \cdot \left(\frac{s_{t2}}{d_2} + \text{inv}\alpha_t - \text{inv}\alpha_{at2} \right) \quad s_{a2} = 2.583 \text{ mm}$$

Sowohl s_{a1} als auch s_{a2} sind $> s_{a12min}$. Die Zahndicke am Kopfkreis ist damit ausreichend. Zusätzliche Prüfung über TB 21-8 R/M führt zum gleichen Ergebnis.

Grundkreisdurchmesser db:

(Der Durchmesser welcher von der Normalen N-N, die durch den Berührungspunkt der Zahnflanken geht, tangiert wird - Bild 21.3)

$$d_{b1} := d_1 \cdot \cos(\alpha_t) \quad d_{b1} = 62.517 \text{ mm}$$

$$d_{b2} := d_2 \cdot \cos(\alpha_t) \quad d_{b2} = 211.369 \text{ mm}$$

nach Gl. 21-2

$$d_{b3} := d_3 \cdot \cos(\alpha_t) \quad d_{b3} = 69.464 \text{ mm}$$

$$d_{b4} := d_4 \cdot \cos(\alpha_t) \quad d_{b4} = 205.911 \text{ mm}$$

Profilüberdeckung:

Profilüberdeckung des ersten Zahnradpaares:

$$\varepsilon_{\alpha 12} := \frac{\left(0.5 \cdot \left(\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \frac{z_2}{|z_2|} \cdot \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} \right) - a_{d2} \cdot \sin(\alpha_{wt}) \right)}{\pi \cdot m_{t12} \cdot \cos(\alpha_t)} \quad \text{nach Gl. 21-57}$$

$$\varepsilon_{\alpha 12} = 1.47$$

$$\varepsilon_{\beta 12} := \frac{b_1 \cdot \tan(\beta)}{p_{t12}}$$

$$\varepsilon_{\beta 12} = 0.907$$

nach Gl. 21-44

$$\varepsilon_{\gamma 12} := \varepsilon_{\alpha 12} + \varepsilon_{\beta 12}$$

$$\varepsilon_{\gamma 12} = 2.377$$

nach Gl. 21-46

-> Profilüberdeckung des ersten Zahnradpaares ist ausreichend (nach Erklärung S. 804)

Profilüberdeckung des zweiten Zahnradpaares:

$$\varepsilon_{\alpha 34} := \frac{\left(0.5 \cdot \left(\sqrt{d_{a3}^2 - d_{b3}^2} + \frac{z_2}{|z_2|} \cdot \sqrt{d_{a4}^2 - d_{b4}^2} \right) - a_{d2} \cdot \sin(\alpha_{wt}) \right)}{\pi \cdot m_{t12} \cdot \cos(\alpha_t)}$$

$$\varepsilon_{\alpha 34} = 1.119$$

$$\varepsilon_{\beta 34} := \frac{b_3 \cdot \tan(\beta)}{p_{t12}}$$

$$\varepsilon_{\beta 34} = 1.452$$

$$\varepsilon_{\gamma 34} := \varepsilon_{\alpha 34} + \varepsilon_{\beta 34}$$

$$\varepsilon_{\gamma 34} = 2.57$$

-> Profilüberdeckung des zweiten Zahnradpaares ist ausreichend (nach Erklärung S. 804)

Betriebswälzkreisdurchmesser:

$$d_{w1} := \frac{d_1 \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{wt})}$$

$$d_{w1} = 67.408 \text{ mm}$$

nach Gl. 21-22a

$$d_{w2} := \frac{d_2 \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{wt})}$$

$$d_{w2} = 227.902 \text{ mm}$$

nach Gl. 21-22b

$$d_{w3} := d_3$$

$$d_{w3} = 74.492 \text{ mm}$$

$$d_{w4} := d_4$$

$$d_{w4} = 220.817 \text{ mm}$$

Kontrolle Achsabstand:

$$a := \frac{d_{w1} + d_{w2}}{2} = 147.655 \text{ mm}$$

identisch mit:

$$a_{d2} = 147.655 \text{ mm}$$

$$a := \frac{d_{w3} + d_{w4}}{2} = 147.655 \text{ mm}$$

Zusammenfassung:

$$d_1 = 67.043 \text{ mm}$$

$$d_{b1} = 62.517 \text{ mm}$$

$$d_{a1} = 74.702 \text{ mm}$$

$$d_{f1} = 61.231 \text{ mm}$$

$$d_2 = 226.67 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = 211.369 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = 232.578 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = 219.107 \text{ mm}$$

$$d_3 = 74.492 \text{ mm}$$

$$d_{b3} = 69.464 \text{ mm}$$

$$d_{a3} = 79.492 \text{ mm}$$

$$d_{f3} = 68.242 \text{ mm}$$

$$d_4 = 220.817 \text{ mm}$$

$$d_{b4} = 205.911 \text{ mm}$$

$$d_{a4} = 225.817 \text{ mm}$$

$$d_{f4} = 214.567 \text{ mm}$$

$$b_1 = 25 \text{ mm}$$

$$d_{w1} = 67.408 \text{ mm}$$

$$z_1 = 21$$

$$m_{n12} = 3 \text{ mm}$$

$$b_2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = 227.902 \text{ mm}$$

$$z_2 = 71$$

$$b_3 = 40 \text{ mm}$$

$$d_{w3} = 74.492 \text{ mm}$$

$$z_3 = 28$$

$$m_{n34} = 2.5 \text{ mm}$$

$$b_4 = 40 \text{ mm}$$

$$d_{w4} = 220.817 \text{ mm}$$

$$z_4 = 83$$

$$V_1 = 0.844 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{\alpha 12} = 1.47$$

$$\varepsilon_{\alpha 34} = 1.119$$

$$x_1 = 0.281$$

$$V_2 = -0.031 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{\beta 12} = 0.907$$

$$\varepsilon_{\beta 34} = 1.452$$

$$x_2 = -0.01$$

$$V_3 = 0 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{\gamma 12} = 2.377$$

$$\varepsilon_{\gamma 34} = 2.57$$

$$V_4 = 0 \text{ mm}$$

Passfederberechnung:

Werkstoff Passfeder E295 GC

$$S_F := 1.1 \quad Re := 420 \frac{N}{mm^2} \quad p_{fzul} := \frac{Re}{S_F} \quad p_{fzul} = 381.818 \frac{N}{mm^2}$$

nach TB 12-1b

$$\varphi := 1 \quad \text{für } n=1 \quad n_{Pass} := 1 \quad K_\lambda := 1 \quad K_A = 2$$

Antriebswelle - Fliehkraftkupplung

für Wellendurchmesser 25mm:

-Passfeder DIN 6885 - A8x7x25

$$h_{Pass} := 7 \text{ mm} \quad l_{Pass} := 25 \text{ mm} \quad h := 3.0 \text{ mm}$$

$$b_{Pass} := 8 \text{ mm} \quad l'_{Pass} := l_{Pass} - b_{Pass} \quad d_{Kritisch1} := 25 \text{ mm}$$

$$p_m := \frac{2 \cdot K_A \cdot T_{an} \cdot K_\lambda}{d_{Kritisch1} \cdot h \cdot l'_{Pass} \cdot n_{Pass} \cdot \varphi} = 156.863 \frac{N}{mm^2} \quad p_m < p_{fzul} \quad \text{nach Gl. 12-1}$$

Werkstoff Passfeder E295 GC

$$S_F := 1.1 \quad Re := 420 \frac{N}{mm^2} \quad p_{fzul} := \frac{Re}{S_F} \quad p_{fzul} = 381.818 \frac{N}{mm^2}$$

nach TB 12-1b

$$\varphi := 1 \quad \text{für } n=1 \quad n_{Pass} := 1 \quad K_\lambda := 1 \quad K_A = 2$$

Abtriebswelle - Rutschkupplung

für Wellendurchmesser 50mm:

-Passfeder DIN 6885 - A14x9x36

$$h_{Pass} := 9 \text{ mm} \quad l_{Pass} := 36 \text{ mm} \quad h := 4 \text{ mm}$$

$$b_{Pass} := 14 \text{ mm} \quad l'_{Pass} := l_{Pass} - b_{Pass} \quad d_{Kritisch2} := 50 \text{ mm}$$

$$p_m := \frac{2 \cdot K_A \cdot T_{an} \cdot K_\lambda}{d_{Kritisch2} \cdot h \cdot l'_{Pass} \cdot n_{Pass} \cdot \varphi} = 45.455 \frac{N}{mm^2} \quad p_m < p_{fzul} \quad \text{nach Gl. 12-1}$$

Werkstoff Passfeder E295 GC

$$S_F := 1.1 \quad Re := 420 \frac{N}{mm^2} \quad p_{fzul} := \frac{Re}{S_F} \quad p_{fzul} = 381.818 \frac{N}{mm^2}$$

nach TB 12-1b

$$\varphi := 1 \quad \text{für } n=1 \quad n_{Pass} := 1 \quad K_\lambda := 1 \quad K_A = 2$$

Vorgelegewelle

für Wellendurchmesser 35mm: -Passfeder DIN 6885 - A10x8x25

$$h_{Pass} := 8 \text{ mm} \quad l_{Pass} := 25 \text{ mm} \quad h := 3 \text{ mm}$$

$$b_{Pass} := 10 \text{ mm} \quad l'_{Pass} := l_{Pass} - b_{Pass} \quad d_{Kritisch3} := 35 \text{ mm}$$

$$p_m := \frac{2 \cdot K_A \cdot T_{an} \cdot K_\lambda}{d_{Kritisch3} \cdot h \cdot l'_{Pass} \cdot n_{Pass} \cdot \varphi} = 126.984 \frac{N}{mm^2} \quad \text{nach Gl. 12-1}$$

$$p_m < p_{fzul}$$

Vorauswahl der Lagergrößen:

(Vorauswahl erfolgte durch Schätzung der wirklichen Lagerbelastungen, Anpassung der Lagerung erfolgte nach Ermittlung der Lagerkräfte)

Festlager Abtriebswelle:

$$P := 6 \text{ kN} \quad p := 3$$

$$C_{erf} := P \cdot \sqrt[p]{\frac{n \cdot L_{10h}}{10^6}}$$

$$n_{Antrieb} = (2 \cdot 10^3) \frac{1}{min}$$

$$n := \frac{n_{Antrieb}}{i'_{Gesamt}} \quad L_{10h} := 10000 \text{ hr}$$

$$\text{nach Gl. 14.1} \quad C_{erf} = 29.574 \text{ kN}$$

(Faktor 60
weggelassen
wegen den
Einheiten)

Festlager Antriebswelle:

$$P := 2.5 \text{ kN}$$

$$p := 3$$

$$n := n_{Antrieb}$$

$$L_{10h} := 10000 \text{ hr}$$

$$C_{erf} := P \cdot \sqrt[p]{\frac{n \cdot L_{10h}}{10^6}}$$

$$C_{erf} = 26.566 \text{ kN}$$

Festlager Vorgelegewelle:

$$P := 4 \text{ kN}$$

$$p := 3$$

$$n := \frac{n_{Antrieb}}{i'_1}$$

$$L_{10h} := 10000 \text{ hr}$$

$$C_{erf} := P \cdot \sqrt[p]{\frac{n \cdot L_{10h}}{10^6}}$$

$$\text{nach Gl. 14.1} \quad C_{erf} = 28.321 \text{ kN}$$

Loslager An-/Abtriebswelle:

$$P := 6 \text{ kN}$$

$$p := 3$$

$$\text{eig.: } 3,3333$$

$$n := n_{\text{Antrieb}} - \frac{n_{\text{Antrieb}}}{i'_{\text{Gesamt}}}$$

$$L_{10h} := 10000 \text{ hr}$$

$$C_{\text{erf}} := P \cdot \sqrt[p]{\frac{n \cdot L_{10h}}{10^6}}$$

$$C_{\text{erf}} = 61.564 \text{ kN}$$

Loslager Vorgelegewelle:

$$P := 6.5 \text{ kN}$$

$$p := 3$$

$$\text{eig.: } 3,3333$$

$$n := \frac{n_{\text{Antrieb}}}{i'_1}$$

$$L_{10h} := 10000 \text{ hr}$$

$$C_{\text{erf}} := P \cdot \sqrt[p]{\frac{n \cdot L_{10h}}{10^6}}$$

$$C_{\text{erf}} = 46.021 \text{ kN}$$

Ermittlung der Lagerkräfte aus Freischnitt:

Lagerkräfte an der Antriebswelle:

$$\text{Antriebsmoment } T_{\text{an}} = 50 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{Wälzkreisdurchmesser } d_{w1} = 67.408 \text{ mm}$$

$$\text{Wirkabstände } X_1 = 26.5 \text{ mm}$$

$$X_2 = 23.5 \text{ mm}$$

$$\text{Zahnrad Z1 } F_{tZ1} := \frac{2 \cdot T_{\text{an}}}{d_{w1}}$$

Umfangskraft nach Gl. 21.70

$$F_{tZ1} = 1.484 \text{ kN}$$

$$F_{aZ1} := F_{tZ1} \cdot \tan(\beta)$$

Axialkraft nach Gl. 21.72

$$F_{aZ1} = 0.54 \text{ kN}$$

$$F_{rZ1} := \frac{(F_{tZ1} \cdot \tan(\alpha_n))}{\cos(\beta)}$$

Radialkraft nach Gl. 21.71

$$F_{rZ1} = 0.575 \text{ kN}$$

$$\text{Loslager } F_{L1y} := \frac{F_{tZ1} \cdot X_2}{X_1 + X_2}$$

$$F_{L1y} = 0.697 \text{ kN}$$

$$F_{L1z} := \frac{-F_{aZ1} \cdot \frac{d_{w1}}{2} + F_{rZ1} \cdot X_1}{X_1 + X_2}$$

$$F_{L1z} = -0.059 \text{ kN}$$

Festlager	$F_{F1x} := F_{aZ1}$	$F_{F1x} = 0.54 \text{ kN}$
	$F_{F1y} := F_{tZ1} - F_{L1y}$	$F_{F1y} = 0.786 \text{ kN}$
	$F_{F1z} := F_{rZ1} - F_{L1z}$	$F_{F1z} = 0.634 \text{ kN}$

Lagerkräfte an der Vorgelegewelle:

Moment an der Vorgelegewelle:	$T_{Vorgelege} = 169.05 \text{ N} \cdot \text{m}$		
Wälzkreisdurchmesser	$d_{w2} = 227.902 \text{ mm}$	$d_{w3} = 74.492 \text{ mm}$	
Wirkabstände	$X_3 := 26 \text{ mm}$	$X_4 := 21 \text{ mm}$	$X_5 := 36.5 \text{ mm}$
Zahnrad Z2	$F_{aZ2} := -F_{aZ1}$	$F_{tZ2} := -F_{tZ1}$	$F_{rZ2} := -F_{rZ1}$
Zahnrad Z3	$F_{tZ3} := \frac{2 \cdot T_{Vorgelege}}{d_{w3}}$	$F_{tZ3} = 4.539 \text{ kN}$	
	$F_{aZ3} := F_{tZ3} \cdot \tan(\beta)$	$F_{aZ3} = 1.652 \text{ kN}$	
	$F_{rZ3} := \frac{F_{tZ3} \cdot \tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}$	$F_{rZ3} = 1.758 \text{ kN}$	
Loslager	$F_{L2y} := -\frac{F_{tZ2} \cdot X_3 + F_{tZ3} \cdot (X_3 + X_4)}{X_3 + X_4 + X_5}$	$F_{L2y} = -2.093 \text{ kN}$	
	$F_{L2z} := -\frac{-F_{rZ2} \cdot X_3 + F_{aZ2} \cdot \frac{d_{w2}}{2} + F_{rZ3} \cdot (X_3 + X_4) + F_{aZ3} \cdot \frac{d_{w3}}{2}}{X_3 + X_4 + X_5}$	$F_{L2z} = 1.168 \text{ kN}$	
Festlager	$F_{F2x} := F_{aZ3} + F_{aZ2}$	$F_{F2x} = 1.112 \text{ kN}$	
	$F_{F2y} := -F_{tZ2} - F_{tZ3} - F_{L2y}$	$F_{F2y} = -0.962 \text{ kN}$	
	$F_{F2z} := F_{rZ2} - F_{rZ3} + F_{L2z}$	$F_{F2z} = -1.164 \text{ kN}$	

Die Lagerkräfte F_{L2y} , F_{F2y} und F_{F2z} wurden im Freischnitt falsch herum orientiert angenommen, daraus resultiert ihr negativer Wert. Für die weitere Berechnung wird die Orientierung der Kraftvektoren positiv angenommen daher folgt:

$$F_{L2y} := 2.093 \text{ kN}$$

$$F_{F2y} := 0.962 \text{ kN}$$

$$F_{F2z} := 1.164 \text{ kN}$$

Lagerkräfte an der Abtriebswelle:

Bodenkraft $F_B := 1.5 \text{ kN}$

Abtriebsmoment $T_{ab} = 501.064 \text{ N} \cdot \text{m}$

Wälzkreisdurchmesser $d_{w4} = 220.817 \text{ mm}$

Wirkabstände $X_6 := 27.5 \text{ mm}$

$X_7 := 41 \text{ mm}$

Zahnrad Z4

$$F_{aZ4} := -F_{aZ3}$$

$$F_{tZ4} := -F_{tZ3}$$

$$F_{rZ4} := -F_{rZ3}$$

$$F_{tZ4} := \frac{2 \cdot T_{ab}}{d_{w4}}$$

$$F_{tZ4} = 4.538 \text{ kN}$$

$$F_{aZ4} := F_{tZ3} \cdot \tan(\beta)$$

$$F_{aZ4} = 1.652 \text{ kN}$$

$$F_{rZ4} := \frac{F_{tZ4} \cdot \tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}$$

$$F_{rZ4} = 1.758 \text{ kN}$$

Loslager

$$F_{L3y} := \frac{-F_{tZ4} \cdot X_7}{X_6 + X_7}$$

$$F_{L3y} = -2.716 \text{ kN}$$

$$F_{L3z} := \frac{-F_{rZ4} \cdot X_7 - F_{aZ4} \cdot \frac{d_{w4}}{2}}{X_6 + X_7}$$

$$F_{L3z} = -3.715 \text{ kN}$$

Festlager

$$F_{F3x} := -F_{aZ4} + F_B$$

$$F_{F3x} = -0.152 \text{ kN}$$

$$F_{F3y} := -F_{tZ4} - F_{L3y}$$

$$F_{F3y} = -1.822 \text{ kN}$$

$$F_{F3z} := -F_{rZ4} - F_{L3z}$$

$$F_{F3z} = 1.957 \text{ kN}$$

Die Lagerkräfte F_{L3y} , F_{L3z} und F_{F3y} wurden im Freischnitt falsch herum orientiert angenommen, daraus resultiert ihr negativer Wert. Für die weitere Berechnung wird die Orientierung der Kraftvektoren positiv angenommen daher folgt:

$$F_{L3y} := 2.716 \text{ kN}$$

$$F_{L3z} := 3.715 \text{ kN}$$

$$F_{F3y} := 1.822 \text{ kN}$$

Wälzlagerberechnung:

Festlager Antriebswelle: (62205)

$$C_0 := 7.8 \text{ kN}$$

aus WLK

$$F_a := |F_{F1x}| = 0.54 \text{ kN}$$

aus Freischnitt

$$F_r := \sqrt{F_{F1y}^2 + F_{F1z}^2} = 1.01 \text{ kN}$$

$$\frac{F_a}{C_0} = 0.069 \quad \frac{F_a}{F_r} = 0.535 \quad \text{nach Seite 538}$$

daraus ergibt sich nach TB
14-3a X und Y zu:

$$X := 1 \\ Y := 0.55$$

$$e := 1.14$$

aus TB14-3a

$$P := X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1.307 \text{ kN} \quad \text{nach Gl. 14.6}$$

$$p := 3 \text{ für Kugellager} \quad \text{nach Seite 565}$$

$$C := 19.3 \text{ kN} \quad \text{nach WLK}$$

$$L_{10h} := \frac{10^6}{n_{\text{Antrieb}}} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p = 26831 \text{ hr} \quad \text{nach Gl. 14.5a (Faktor 60 weggelassen wegen den Einheiten)}$$

Loslager Antriebswelle: (6004)

$$F_a := 0 \text{ kN} \text{ aus Freischnitt}$$

$$F_r := \sqrt{(F_{L1y} + F_{L1z})^2} = 0.638 \text{ kN}$$

$$P := F_r = 0.638 \text{ kN} \quad \text{Seite 538}$$

$$p := \frac{10}{3} \quad \text{für Rollenlager}$$

$$C := 9.3 \text{ kN} \quad \text{aus WLK}$$

$$L_{10h} := \frac{10^6}{n_{\text{Antrieb}} - \frac{n_{\text{Antrieb}}}{i'_{\text{Gesamt}}}} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p = 70105 \text{ hr}$$

$$\text{mit } i'_{\text{Gesamt}} = 10.021$$

Die Drehzahl am Loslager ergibt sich durch die gleiche Drehrichtung der Wellen

$$\text{zu: } n_{\text{Antrieb}} - \frac{n_{\text{Antrieb}}}{i'_{\text{Gesamt}}} = (1.8 \cdot 10^3) \frac{1}{\text{min}}$$

Festlager Vorgelegewelle: (NUP204)

$$C_0 := 24.7 \text{ kN} \quad \text{aus WLK}$$

$$F_a := |F_{F2x}| = 1.112 \text{ kN} \quad \text{aus Freischnitt}$$

$$F_r := \sqrt{F_{F2y}^2 + F_{F2z}^2} = 1.51 \text{ kN}$$

$$\frac{F_a}{C_0} = 0.045 \quad \frac{F_a}{F_r} = 0.736$$

$$\text{weil } 0.02 < \frac{F_a}{C_0} < 0.5 \text{ ergibt sich } e \text{ zu:}$$

$$e := 0.51 \cdot \left(\frac{F_a}{C_0}\right)^{0.233} = 0.248 \quad \text{aus TB14-3a Fußnote}$$

daraus ergibt sich nach TB 14-3a X und Y zu:
(weil $F_a/F_r > e$ ist, siehe Fußnote)

$$X := 0.56$$

$$Y := 0.866 \left(\frac{F_a}{C_0}\right)^{-0.229} = 1.762$$

$$P := X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 2.804 \text{ kN}$$

$$p := 3 \quad \text{für Kugellager}$$

$$C := 32.5 \text{ kN} \quad \text{aus WLK}$$

$$L_{10h} := \frac{10^6}{\frac{n_{\text{Antrieb}}}{i'_1}} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p = 43849 \text{ hr}$$

$$\text{mit } i'_1 = 3.381$$

$$n_{\text{Antrieb}} = (2 \cdot 10^3) \frac{1}{\text{min}}$$

Loslager Vorgelegewelle: (NUP203)

$$F_a := 0 \text{ kN}$$

aus Freischnitt

$$F_r := \sqrt{F_{L2y}^2 + F_{L2z}^2} = 2.397 \text{ kN}$$

$$P := F_r = 2.397 \text{ kN}$$

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

für Zylinderrollenlager

$$C := 20.8 \text{ kN}$$

aus WLK

$$L_{10h} := \frac{10^6}{\frac{n_{\text{Antrieb}}}{i'_1}} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p = 37827 \text{ hr}$$

Festlager Abtriebswelle: (6012)

$$C_0 := 23.2 \text{ kN}$$

aus WLK

$$F_a := |F_{F3x}| = 0.152 \text{ kN}$$

aus Freischnitt

$$F_r := \sqrt{(F_{L1y} + F_{L3y})^2 + (F_{L1z} + F_{L3z})^2} = 5.001 \text{ kN}$$

$$\frac{F_a}{C_0} = 0.007 \quad \frac{F_a}{F_r} = 0.03 \quad \text{Seite 538}$$

daraus ergibt sich nach TB 14-3a X und Y zu:

$$X := 1$$

$$Y := 0.55$$

$$e := 1.14$$

aus TB14-3a

$$P := X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 5.085 \text{ kN} \quad \text{nach Gl. 14.6}$$

$$p := 3 \quad \text{für Kugellager} \quad \text{nach Seite 565}$$

$$C := 29 \text{ kN} \quad \text{nach WLK}$$

$$L_{10h} := \frac{10^6}{n_{Abtrieb}} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p = 15491 \text{ hr}$$

mit $n_{Abtrieb} := \frac{n_{Antrieb}}{i'_{Gesamt}}$
nach Gl. 14.5a

Loslager Abtriebswelle: (NU208)

$F_a := 0 \text{ kN}$ aus Freischnitt

$$F_r := \sqrt{F_{L3y}^2 + F_{L3z}^2} = 4.602 \text{ kN}$$

$P := F_r = 4.602 \text{ kN}$ Seite 538

$p := 3$ für Kugellager

$C := 63 \text{ kN}$ aus WLK

$$L_{10h} := \frac{10^6}{n_{Antrieb} - \frac{n_{Antrieb}}{i'_{Gesamt}}} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p = 23750 \text{ hr}$$

Die Drehzahl am Loslager ergibt sich durch die gleiche Drehrichtung der Wellen

$$\text{zu: } n_{Antrieb} - \frac{n_{Antrieb}}{i'_{Gesamt}} = (1.8 \cdot 10^3) \frac{1}{\text{min}}$$

mit $i'_{Gesamt} = 10.021$

Zusammenfassung Lebensdauern:

Antriebswelle - Loslager $L_{10h} := 70105 \text{ hr}$

Antriebswelle - Festlager $L_{10h} := 26831 \text{ hr}$

Vorgelegewelle - Loslager $L_{10h} := 37827 \text{ hr}$

Vorgelegewelle - Festlager $L_{10h} := 43849 \text{ hr}$

Abtriebswelle - Loslager $L_{10h} := 23750 \text{ hr}$

Abtriebswelle - Festlager $L_{10h} := 15491 \text{ hr}$

Festigkeitsnachweis der Wellen:

Antriebswelle:

Kraft- und Momentenverläufe (siehe auch Isometrie der Antriebswelle):

Y-Z-Ebene:

X-Y-Ebene:

X-Z-Ebene:

Schnitt entlang s_1 (positives Schnittufer)

$s_{1max} := 26.5 \cdot \text{mm} \quad s_{1min} := 0 \cdot \text{mm}$

$Mt(s_1) := 0$

$N_x := 0$

$N_x := 0$

$Q_y(s_1) := -F_{L1y} = -0.697 \text{ kN}$

$Q_z(s_1) := -F_{L1z} = 0.059 \text{ kN}$

$Mb_z(s_1) := -F_{L1y} \cdot s_1$

$Mb_y(s_1) := -F_{L1z} \cdot s_1$

$Mb_z(s_{1max}) = -18.477 \text{ N} \cdot \text{m}$

$Mb_y(s_{1max}) = 1.575 \text{ N} \cdot \text{m}$

$Mb_z(s_{1min}) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$

$Mb_y(s_{1min}) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$

Schnitt entlang s_2 (negatives Schnittufer)

$s_{2max} := 23.5 \cdot \text{mm} \quad s_{2min} := 0 \cdot \text{mm}$

$Mt(s_2) := 50 \text{ N} \cdot \text{m}$

$N_x := -F_{F1x} = -0.54 \text{ kN}$

$N_x := -F_{F1x} = -0.54 \text{ kN}$

$Q_y(s_2) := F_{F1y} = 0.786 \text{ kN}$

$Q_z(s_2) := F_{F1z} = 0.634 \text{ kN}$

$Mb_z(s_2) := -F_{F1y} \cdot s_2$

$Mb_y(s_2) := -F_{F1z} \cdot s_2$

$Mb_z(s_{2max}) = -18.477 \text{ N} \cdot \text{m}$

$Mb_y(s_{2max}) = -14.9 \text{ N} \cdot \text{m}$

$Mb_z(s_{2min}) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$

$Mb_y(s_{2min}) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$

Statischer & dynamischer Festigkeitsnachweis Antriebswelle:

$R_z := 6.3 \text{ } \mu\text{m}$

$d_{Kritisch1} := 25 \text{ mm}$

$R_m := 1100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$W_{b1} := \frac{\pi}{32} \cdot (d_{Kritisch1})^3 = 1533.98 \text{ mm}^3$

$W_{t1} := \frac{\pi}{16} \cdot (d_{Kritisch1})^3 = 3067.96 \text{ mm}^3$

Flächenträgheitsmoment aus TB11-3

$$Mb_{res1} := \sqrt{Mb_z(s_{2max})^2 + Mb_y(s_{2max})^2}$$

$$T_{max} := T_{an} \quad \text{da das Anfahren mit Anlaufkupplung erfolgt}$$

$$R_{p0.2N} := 900 \frac{N}{mm^2}$$

nach TB 1-1

$$K_t := 1 - 0.34 \cdot \log\left(\frac{d_{Kritisch1}}{16 \text{ mm}}\right) = 0.934$$

nach TB 3-11

Biegung:

$$\sigma_{bmax} := \frac{Mb_{res1}}{Wb_1} = 15.474 \frac{N}{mm^2}$$

nach Bild 3-2

$$\sigma_{ba} := \frac{K_A \cdot Mb_{res1}}{Wb_1} = 30.947 \frac{N}{mm^2}$$

Torsion:

$$\tau_{tmax} := \frac{T_{an}}{W_{t1}} = 16.297 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{ta} := \frac{K_A \cdot T_{an}}{W_{t1}} = 32.595 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bF} := 1.2 \cdot R_{p0.2N} \cdot K_t = 1008.829 \frac{N}{mm^2}$$

nach Flowchart Bild 3-31

$$\tau_{tF} := \frac{1.2 \cdot R_{p0.2N} \cdot K_t}{\sqrt{3}} = 582.448 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bWN} := 550 \frac{N}{mm^2}$$

aus TB 1-1

$$\tau_{tWN} := 330 \frac{N}{mm^2}$$

$$\beta_{kb} := 2.5$$

$$\beta_{kt} := 2.2$$

aus TB 3-8 mit $R_m = 1100 N/mm^2$, wegen Passfeder

$$K_g := 1 - 0.2 \cdot \frac{\log\left(\frac{d_{Kritisch1}}{7.5 \text{ mm}}\right)}{\log(20)} = 0.92$$

aus TB 3-11c

$$K_{0\sigma} := 1 - 0.22 \log\left(\frac{R_z}{\mu m}\right) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20 \frac{N}{mm^2}}\right) - 1\right) = 0.87$$

aus TB 3-10

aus TB 3-10

$$K_{0\tau} := 0.575 \cdot K_{0\sigma} + 0.425 = 0.925$$

$$K_V := 1$$

aus TB 3-12

$$K_{Db} := \left(\frac{\beta_{kb}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} = 2.868$$

aus Bild 3-27

$$K_{Dt} := \left(\frac{\beta_{kt}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} = 2.473$$

nach Gl. 3-16

$$\sigma_{bGW} := K_t \cdot \frac{\sigma_{bWN}}{K_{Db}} = 179.121 \frac{N}{mm^2}$$

nach Gl. 3-17

$$\tau_{tGW} := K_t \cdot \frac{\tau_{tWN}}{K_{Dt}} = 124.637 \frac{N}{mm^2}$$

nach Gl. 3-17

$$S_F := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bF}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tF}} \right)^2}} = 31.3$$

nach Bild 3-30

$$S_D := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bGW}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tGW}} \right)^2}} = 3.2$$

nach Bild 3-31

Ergebnis: Die Antriebswelle ist dauerfest.

Vorgelegewelle:

Kraft- und Momentenverläufe (siehe auch Isometrie der Vorgelegewelle):

Y-Z-Ebene:

X-Y-Ebene:

X-Z-Ebene:

Schnitt entlang s_3 (positives Schnittufer)

$$s_{3max} := 26.5 \cdot mm$$

$$s_{3min} := 0 \cdot mm$$

$$M_t(s_3) := 0$$

$$N_x := 0$$

$$N_x := 0$$

$$Q_y(s_3) := -F_{L2y} = -2.093 \text{ kN}$$

$$Q_z(s_3) := F_{L2z} = 1.168 \text{ kN}$$

$$M_b(s_3) := -F_{L2y} \cdot s_3$$

$$M_b(s_3) := F_{L2z} \cdot s_3$$

$$M_b(s_{3max}) = -55.465 \text{ N} \cdot m$$

$$M_b(s_{3max}) = 30.964 \text{ N} \cdot m$$

$$M_b(s_{3min}) = 0 \text{ N} \cdot m$$

$$M_b(s_{3min}) = 0 \text{ N} \cdot m$$

Schnitt entlang s_4 (positives Schnittufer)

$$s_{4max} := 21 \cdot mm$$

$$s_{4min} := 0 \cdot mm$$

$$N_x := -F_{aZ3} = -1.652 \text{ kN}$$

$$N_x := -F_{aZ3} = -1.652 \text{ kN}$$

$$Q_y(s_4) := -F_{L2y} + F_{tZ3} = 2.446 \text{ kN}$$

$$Q_z(s_4) := F_{L2z} - F_{rZ3} = -0.59 \text{ kN}$$

$$Mb_z(s_4) := -F_{L2y} \cdot (s_{3max} + s_4) + F_{tZ3} \cdot s_4 \quad Mb_y(s_4) := F_{L2z} \cdot (s_{3max} + s_4) - F_{rZ3} \cdot s_4 - F_{aZ3} \cdot \frac{d_{w3}}{2}$$

$$Mb_z(s_{4max}) = -4.104 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_y(s_{4max}) = -42.945 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_z(s_{4min}) = -55.465 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_y(s_{4min}) = -30.565 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Y-Z-Ebene:

$$Mt(s_4) := T_{Vorgelege} = 169.05 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Schnitt entlang s_5 (negatives Schnittufer)

$$s_{5max} := 26 \cdot \text{mm}$$

$$s_{5min} := 0 \cdot \text{mm}$$

$$Mt(s_5) := 0$$

$$N_x := -F_{F2x} = -1.112 \text{ kN}$$

$$N_x := -F_{F2x} = -1.112 \text{ kN}$$

$$Q_y(s_5) := -F_{F2y} = -0.962 \text{ kN}$$

$$Q_z(s_5) := -F_{F2z} = -1.164 \text{ kN}$$

$$Mb_z(s_5) := -F_{F2y} \cdot s_5$$

$$Mb_y(s_5) := F_{F2z} \cdot s_5$$

$$Mb_z(s_{5max}) = -25.012 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_y(s_{5max}) = 30.264 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_z(s_{5min}) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_y(s_{5min}) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Statischer & dynamischer Festigkeitsnachweis Vorgelegewelle:

$$R_z := 6.3 \text{ } \mu\text{m}$$

$$d_{Kritisch2} := 35 \text{ mm}$$

$$R_m := 1100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Wb_2 := \frac{\pi}{32} \cdot (d_{Kritisch2})^3 = 4209.24 \text{ mm}^3$$

$$W_{t2} := \frac{\pi}{16} \cdot (d_{Kritisch2})^3 = 8418.49 \text{ mm}^3$$

$$Mb_{res2} := \sqrt{Mb_z(s_{3max})^2 + Mb_y(s_{3max})^2}$$

$$R_{p0.2N} := 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{nach TB 1-1}$$

$$K_t := 1 - 0.34 \cdot \log\left(\frac{d_{Kritisch2}}{16 \text{ mm}}\right) = 0.884$$

Biegung

Torsion

$$\sigma_{bmax} := \frac{Mb_{res2}}{Wb_2} = 9.507 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{tmax} := \frac{T_{Vorgelege}}{W_{t2}} = 20.081 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{ba} := \frac{K_A \cdot Mb_{res2}}{Wb_2} = 19.014 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{ta} := \frac{K_A \cdot T_{Vorgelege}}{W_{t2}} = 40.162 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{bF} := 1.2 \cdot R_{p0.2N} \cdot K_t = 955.171 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{tF} := \frac{1.2 \cdot R_{p0.2N} \cdot K_t}{\sqrt{3}} = 551.468 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{bWN} := 550 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tWN} := 330 \frac{N}{mm^2}$$

$$\beta_{kb} := 2.8$$

$$\beta_{kt} := 2.6$$

aus TB 3-8 mit
Rm = 1100 N/mm², wegen
Sicherungsring

$$K_g := 1 - 0.2 \cdot \frac{\log\left(\frac{d_{Kritisch2}}{7.5 \text{ mm}}\right)}{\log(20)} = 0.897$$

aus TB 3-11c

$$K_{0\sigma} := 1 - 0.22 \log\left(\frac{Rz}{\mu m}\right) \cdot \left(\log\left(\frac{Rm}{20 \frac{N}{mm^2}}\right) - 1\right) = 0.87$$

aus TB 3-10

$$K_V := 1$$

aus TB 3-12

$$K_{0\tau} := 0.575 \cdot K_{0\sigma} + 0.425 = 0.925$$

$$K_{Db} := \left(\frac{\beta_{kb}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V} = 3.271$$

$$K_{Dt} := \left(\frac{\beta_{kt}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\tau}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V} = 2.979$$

$$\sigma_{bGW} := K_t \cdot \frac{\sigma_{bWN}}{K_{Db}} = 148.726 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tGW} := K_t \cdot \frac{\tau_{tWN}}{K_{Dt}} = 97.973 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_F := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bF}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tF}}\right)^2}} = 26.491$$

$$S_D := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bGW}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tGW}}\right)^2}} = 2.329$$

Ergebnis: Die Vorgelegewelle ist dauerhaft.

Abtriebswelle:

Kraft- und Momentenverläufe (siehe auch Isometrie der Abtriebswelle):

Y-Z-Ebene:

X-Y-Ebene:

X-Z-Ebene:

Schnitt entlang s_6 (positives Schnittufer)

$$Mt(s_6) := -T_{ab}$$

$$N_x := -F_B = -1.5 \text{ kN}$$

$$N_x := -F_B = -1.5 \text{ kN}$$

$$Q_y(s_6) := 0$$

$$Q_z(s_6) := 0$$

$$Mb_z(s_6) := 0$$

$$Mb_y(s_6) := 0$$

Schnitt entlang s_7 (positives Schnittufer)

$$Mt(s_7) := -T_{ab}$$

$$N_x := -F_B - F_{F3x} = -1.348 \text{ kN}$$

$$N_x := -F_B - F_{F3x} = -1.348 \text{ kN}$$

$$Q_y(s_7) := F_{F3y} = 1.822 \text{ kN}$$

$$Q_z(s_7) := -F_{F3z} = -1.957 \text{ kN}$$

$$Mb_z(s_7) := F_{F3y} \cdot s_7$$

$$Mb_y(s_7) := F_{F3z} \cdot s_7$$

$$Mb_z(s_{7max}) = 74.702 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_y(s_{7max}) = 80.235 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_z(s_{7min}) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_y(s_{7min}) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Schnitt entlang s_8 (negatives Schnittufer)

$$Mt(s_8) := 0$$

$$N_x := 0$$

$$s_{8max} := 27.5 \text{ mm} \quad s_{8min} := 0 \text{ mm}$$

$$N_x := 0$$

$$Q_y(s_8) := -F_{L3y} = -2.716 \text{ kN}$$

$$Q_z(s_8) := -F_{L3z} = -3.715 \text{ kN}$$

$$Mb_z(s_8) := F_{L3y} \cdot s_8$$

$$Mb_y(s_8) := -F_{L3z} \cdot s_8$$

$$Mb_z(s_{8max}) = 74.69 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_y(s_{8max}) = -102.163 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_z(s_{8min}) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Mb_y(s_{8min}) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Statischer & dynamischer Festigkeitsnachweis Abtriebswelle:

$$Rz := 6.3 \text{ } \mu\text{m}$$

$$d_{Kritisch3} := 55 \text{ mm}$$

$$Rm := 1100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Wb_3 := \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{d_{Kritisch3}^4 - (42 \text{ mm})^4}{d_{Kritisch3}} \right) = 10779.46 \text{ mm}^3$$

$$W_{\omega} := \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{d_{Kritisch3}^4 - (42 \text{ mm})^4}{d_{Kritisch3}} \right) = 21558.93 \text{ mm}^3$$

$$Mb_{res3} := \sqrt{Mb_z(s_{8max})^2 + Mb_y(s_{8max})^2}$$

$$R_{p0.2N} := 900 \frac{N}{mm^2} \quad \text{nach TB 1-1}$$

$$K_t := 1 - 0.34 \cdot \log\left(\frac{d_{Kritisch3}}{16 \text{ mm}}\right) = 0.818$$

Biegung

$$\sigma_{bmax} := \frac{Mb_{res3}}{Wb_3} = 11.74 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{ba} := \frac{K_A \cdot Mb_{res3}}{Wb_3} = 23.48 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bF} := 1.2 \cdot R_{p0.2N} \cdot K_t = 883.092 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bWN} := 440 \frac{N}{mm^2}$$

aus TB 3-9b mit
Rm = 1100N/mm²

Torsion

$$\tau_{tmax} := \frac{T_{ab}}{W_{t3}} = 23.242 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{ta} := \frac{K_A \cdot T_{ab}}{W_{t3}} = 46.483 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tF} := \frac{1.2 \cdot R_{p0.2N} \cdot K_t}{\sqrt{3}} = 509.853 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tWN} := 330 \frac{N}{mm^2}$$

$$\beta_{kb} := 2.3$$

$$K_g := 1 - 0.2 \cdot \frac{\log\left(\frac{d_{Kritisch3}}{7.5 \text{ mm}}\right)}{\log(20)} = 0.867$$

$$\beta_{kt} := 1.55 \quad \text{wegen Pressverband}$$

aus TB 3-11c

$$K_{0\sigma} := 1 - 0.22 \log\left(\frac{Rz}{\mu m}\right) \cdot \left(\log\left(\frac{Rm}{20 \frac{N}{mm^2}}\right) - 1\right) = 0.87$$

aus TB 3-10

$$K_V := 1 \quad \text{aus TB 3-12}$$

$$K_{0\tau} := 0.575 \cdot K_{0\sigma} + 0.425 = 0.925$$

$$K_{Db} := \left(\frac{\beta_{kb}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V} = 2.803$$

$$K_{Dt} := \left(\frac{\beta_{kt}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\tau}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V} = 1.869$$

$$\sigma_{bGW} := K_t \cdot \frac{\sigma_{bWN}}{K_{Db}} = 128.375 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tGW} := K_t \cdot \frac{\tau_{tWN}}{K_{Dt}} = 144.394 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_F := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bF}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tF}}\right)^2}} = 21.06$$

$$S_D := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bGW}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tGW}}\right)^2}} = 2.701$$

Ergebnis: Die Abtriebswelle ist dauerhaft.

Schmierstoffberechnung

Für Auslegung eines Schmierstoffes für das Getriebe muss zuerst die benötigte kinematische Nennviskosität des Schmieröles bestimmt werden. Diese erhalten wir über TB 20-7 a) mit Hilfe des Kraft-Geschwindigkeits-Faktors $\frac{k_s}{v}$. Es wird die Umfangsgeschwindigkeit und Durchmesser von Zahnrad 4 gewählt.

$$u := \frac{z_4}{z_3} \quad n_{Abtrieb} := \frac{n_{Antrieb}}{i'_{Gesamt}}$$

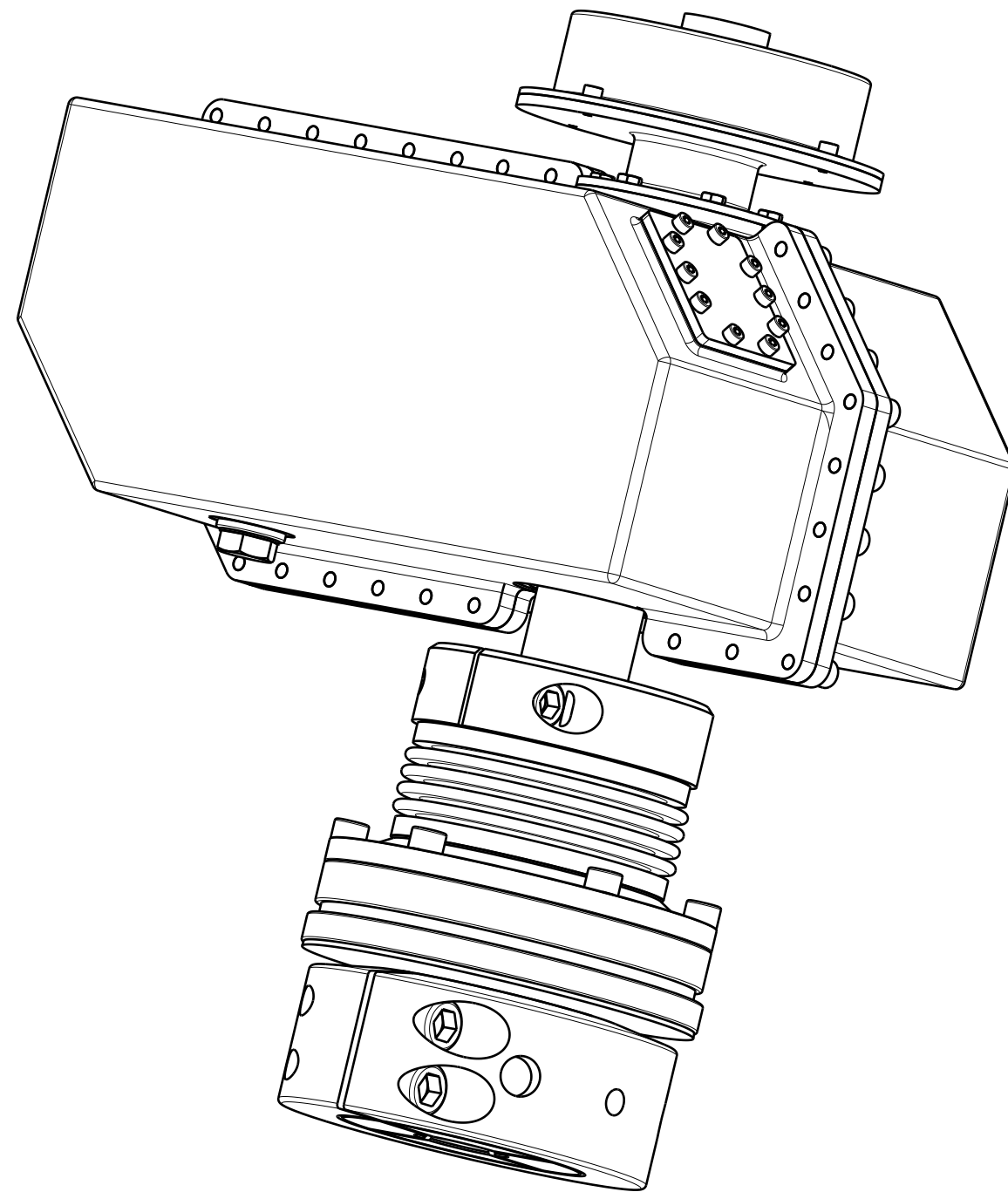
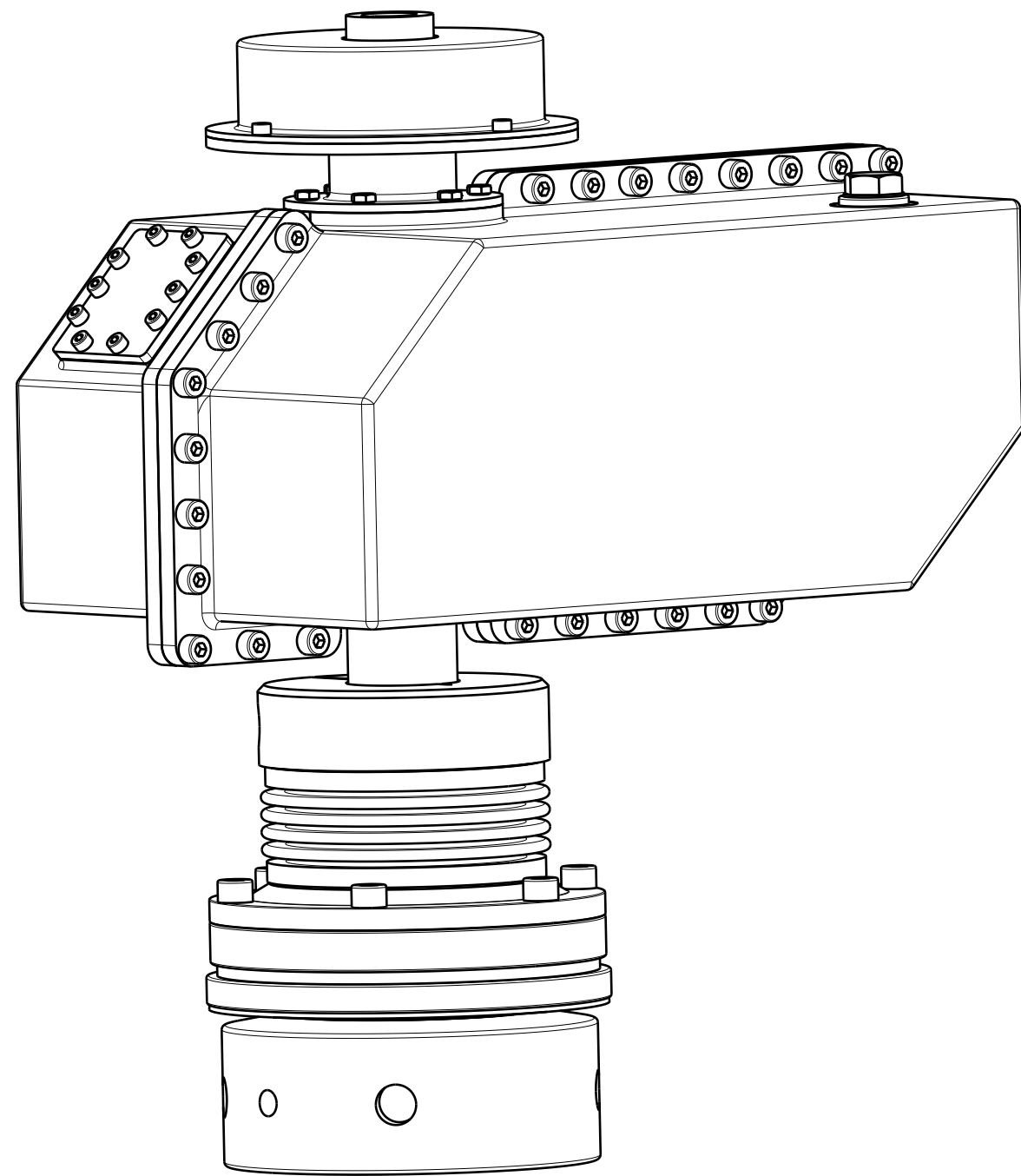
$$\frac{k_s}{v} := \left(3 \cdot \frac{F_{tZ4}}{b_4 \cdot d_4} \cdot \frac{u+1}{u} \right) \cdot \frac{1}{\pi \cdot d_4 \cdot n_{Abtrieb}} = 0.893 \frac{s}{m} \cdot MPa$$

Durch das Ablesen von TB 20-7 a) ergibt sich ca. ein Wert von: $\nu_{40} := 2.3 \cdot 10^2 \cdot \frac{mm^2}{s}$

Gewähltes Schmieröl:

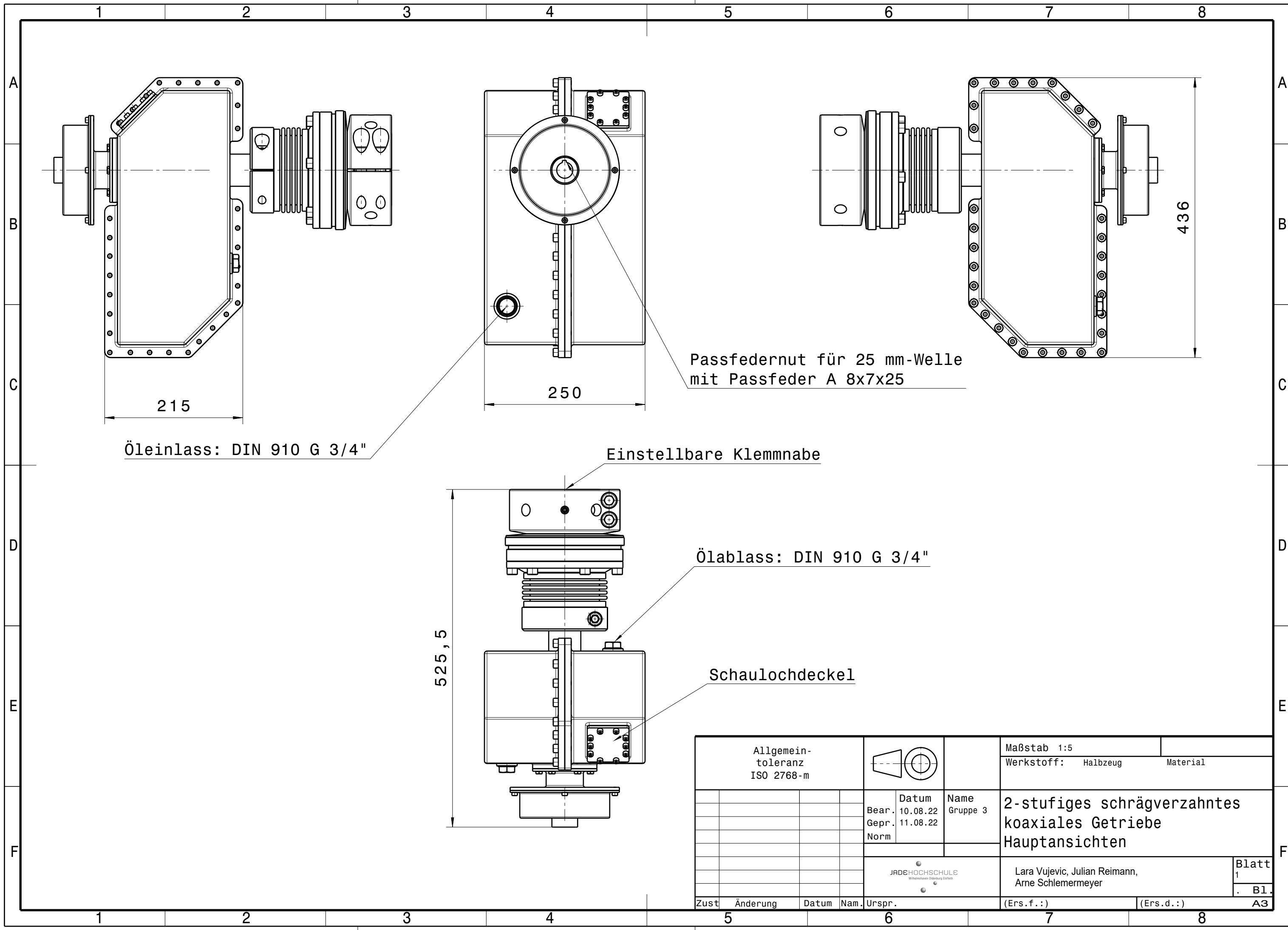
DIN 51517 - CLP 220: Umlaufschmieröl auf Basis eines Mineralöls (C) mit Zusatzstoffen für erhöhten Korrosionsschutz, Alterungsbeständigkeit (L), sowie Herabsetzung der Reibung und des Verschleißes (P).

Geeignet für kinematische Viskositäten von $\nu_{40} := 198 \dots 242 \frac{mm^2}{s}$ - ISO VG 220 (220).



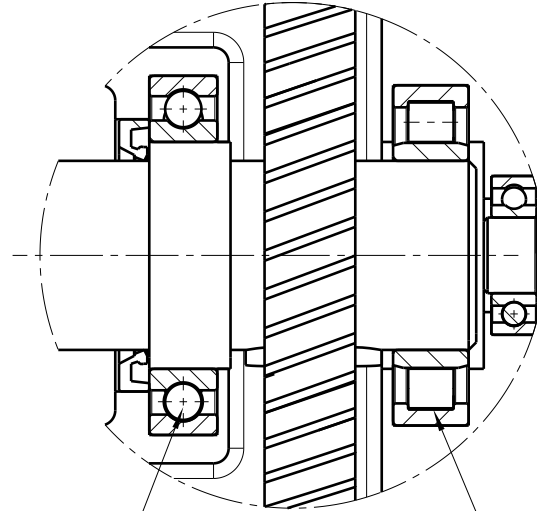
Allgemein- toleranz ISO 2768-m						Maßstab 1:2				
						Werkstoff: Halbzeug		Material		
				Bear.	Datum 10.08.22	Name Gruppe 3	2-stufiges schrägverzahntes koaxiales Getriebe Isometrische Ansichten			
				Norm						
							Lara Vujevic, Julian Reimann, Arne Schlemmermeyer		Blatt 0.1	
									. Bl.	
Zust	Änderung	Datum	Nam.	Urspr.	(Ers.f.:)		(Ers.d.:)		A3	

Blatt
0.1
B1.
A3



Allgemein- toleranz ISO 2768-m						Maßstab 1:5	
						Werkstoff: Halbzeug	Material
				Bear.	Datum	Name	2-stufiges schrägverzahntes koaxiales Getriebe Hauptansichten
				Gepr.	10.08.22	Gruppe 3	
				Norm	11.08.22		
							Lara Vujevic, Julian Reimann, Arne Schlemmermeyer
Zust	Änderung	Datum	Nam.	Urspr.	(Ers.f.:)		(Ers.d.:)

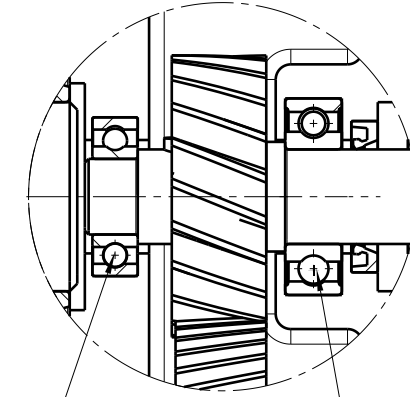
Detail C
Maßstab: 1:2



DIN 625 - 6012

DIN 5412 - NU 208

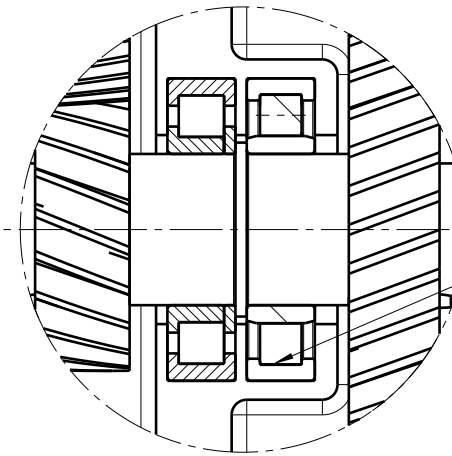
Detail A
Maßstab: 1:2



DIN 625 - 6004

DIN 625 - 6205

Detail B
Maßstab: 1:2



2x DIN 5412 - NU 208

Allgemein- toleranz ISO 2768-m						Maßstab 1:5		
						Werkstoff: Halbzeug		Material
				Bear.	Datum	Name	2-stufiges schrägverzahntes koaxiales Getriebe Detailansichten Lagerung	
				Gepr.	10.08.22	Gruppe 3		
				Norm	11.08.22			
							Lara Vujevic, Julian Reimann, Arne Schlemmermeyer	
Zust	Änderung	Datum	Nam.	Urspr.	(Ers.f.:)		(Ers.d.:)	Blatt 3 . B1. A3