2-stufiges schrägverzahntes koaxiales Getriebe

Alle im Folgenden auftretenden Angaben zu Seitenzahlen, Tabellen und Gleichungen beziehen sich auf "Roloff/Matek Maschinenelemente (24. Auflage)"

Konstanten per Vorgabe

Drehmoment Antrieb:	$T_{an} := 50\ N \cdot m$
Drehmoment Abtrieb:	$T_{ab} := 500\ N \cdot m$
Antriebsdrehzahl:	$n_{an} := 2000\ min^{-1}$
Druckkraft:	$F_B := 3\ kN$
Verzahnungsschrägungswinkel:	$\beta := 20\ °$
Normaleingriffswinkel:	$\alpha_n := 20\ °$
Dauerfestigkeitsschubspannung von 42CrMo4 (Wellenstahl):	$\tau_{tzul} := 50\ \frac{N}{mm^2}$
Überschlägiger Belastungswert:	$B_{zul} := 4\ \frac{N}{mm^2}$
Anwendungsfaktor:	$K_A := 2$

theoretisches Übersetzungsverhältnis

$i_{ges} := \frac{T_{ab}}{T_{an}} = 10$ $\quad i_{12} := 3.4$

$i_{23} := \frac{i_{ges}}{i_{12}} = 2.941$ $\quad i_{ges} := i_{12} \cdot i_{23} = 10$

gewählt nach TB21-11

Ritzelzähnezahlen

$z_1 := 21$ $\quad z_2 := z_1 \cdot i_{12} = 71.4$ $\quad z_2 := 71$ orientiert an TB21-12

$z_3 := 28$ $\quad z_4 := z_3 \cdot i_{23} = 82$ $\quad z_4 := 83$ Da ggT>1 wurde die Ritzelzähnezahl um +1 erhöht

wirkliches Übersetzungsverhältnis

$i_{12} := \frac{z_2}{z_1} = 3.381$ $\quad i_{23} := \frac{z_4}{z_3} = 2.964$ $\quad i_{ges} := i_{12} \cdot i_{23} = 10.022$

$T_{ab} := T_{an} \cdot i_{ges} = 501.105\ N \cdot m$

$\frac{500 \cdot N \cdot m}{T_{ab}} = 0.998$ Abweichung von 0,2% vom geforderten Abtriebsdrehmoment

Durchmesser Antriebswelle

$d_{min1} := \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{an} \cdot K_A}{\pi \cdot \tau_{tzul}}} = 21.677\ mm$ $d_{W1} := 30\ mm$

Formel nach Vereinbarung

Durchmesser Vorlegewelle

$d_{min2} := \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{an} \cdot i_{12} \cdot K_A}{\pi \cdot \tau_{tzul}}} = 32.535\ mm$ $d_{W2} := 40\ mm$

Formel nach Vereinbarung

Durchmesser Abtriebswelle

$d_{min3} := \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{an} \cdot i_{ges} \cdot K_A}{\pi \cdot \tau_{tzul}}} = 46.736\ mm$ $d_{W3} := 55\ mm$

Formel nach Vereinbarung

gewählt aufgrund von Passfededer-/ & Lagerabmaßen (TB12-2)

Modul 1;2

$m_{n12} := \frac{1.8 \cdot d_{W1} \cdot \cos(\beta)}{z_1 - 2.5} = 2.743\ mm$ $m_{n12} := 3\ mm$ Gl21.36
orientiert an TB21-1

Zahnradbreite

$b_1 := \frac{2 \cdot T_{an}}{{d_{W1}}^2 \cdot B_{zul}} = 27.778\ mm$ $b_1 := 30\ mm$ Formel nach Vereinbarung
orientiert an TB21-13b

$b_2 := b_1$

$b_3 := \frac{2 \cdot T_{an} \cdot i_{12}}{{d_{W2}}^2 \cdot B_{zul}} = 52.827\ mm$ $b_3 := 55\ mm$ Formel nach Vereinbarung
orientiert an TB21-13b

$b_4 := b_3$

Teilkreis 1 & 2

$d_{T1} := z_1 \cdot \frac{m_{n12}}{\cos(\beta)} = 67.043\ mm$ $d_{T2} := z_2 \cdot \frac{m_{n12}}{\cos(\beta)} = 226.67\ mm$

Gl21.38

Achsabstand 1;2

$a_{d12} := \frac{d_{T1} + d_{T2}}{2} = 146.857\ mm$

Gl21.42

Modul 3;4

$m_{n34} := \frac{2 \cdot a_{d12} \cdot \cos(\beta)}{(1 + i_{23}) \cdot z_3} = 2.486\ mm$ $m_{n34} := 2.5\ mm$ Gl21.64
orientiert an TB21-1

Teilkreis 3 & 4

$d_{T3} := z_3 \cdot \frac{m_{n34}}{\cos(\beta)} = 74.492\ mm$ $\quad$ $d_{T4} := z_4 \cdot \frac{m_{n34}}{\cos(\beta)} = 220.817\ mm$

Gl.21.38

Achsabstand 3;4

$a_{d34} := \frac{d_{T3} + d_{T4}}{2} = 147.655\ mm$ $\quad$ $a_{d12} \neq a_{ad34}$ $\quad$ $a_{d12} - a_{d34} = -0.798\ mm$

Gl.21.42

Fazit: Es ist eine Profilverschiebung notwendig, um die Differenz der Achsabstände auszugleichen! Es wird eine positive Profilverschiebung gewählt, um den Zahnfuß zu stärken und die Tragfähigkeit der Zähne zu erhöhen.

Stirneingreifswinkel

$\alpha_t := \operatorname{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) = 21.173\ °$ $\quad$ Gl. 21.35

Betriebseingriffswinkel

$\alpha_w := \operatorname{acos}\left(\cos(\alpha_t) \cdot \frac{a_{d12}}{a_{d34}}\right) = 21.959\ °$ $\quad$ Gl. 21.31

Summe Profilverschiebungsfaktoren

$inv\alpha_w := \tan(\alpha_w) - \alpha_w \cdot \frac{\pi}{180\ °} = 0.01994$

$inv\alpha_t := \tan(\alpha_t) - \alpha_t \cdot \frac{\pi}{180\ °} = 0.01779$

$\Sigma x := \frac{inv\alpha_w - inv\alpha_t}{2 \cdot \tan(\alpha_n)} \cdot (z_1 + z_2) = 0.271$

Gl. 21.56

Ersatzzähnezahlen

$\beta_b := \operatorname{acos}\left(\cos(\beta) \cdot \frac{\cos(\alpha_n)}{\cos(\alpha_t)}\right) = 18.747\ °$

Gl. 21.36

$\cos(\beta_b)^2 = 0.897$ $\quad$ vgl. mit Additionstheorem $\quad$ $xyz := \frac{1}{2}\,(1 + \cos(2 \cdot \beta_b)) = 0.897$

$z_{n1} := \frac{z_1}{\cos(\beta_b)^2 \cdot \cos(\beta)} = 24.922$

$z_{n2} := \frac{z_2}{\cos(\beta_b)^2 \cdot \cos(\beta)} = 84.26$

Gl. 21.47

sinnvolle Wahl von x

$$x_1 := \frac{\Sigma x}{2} + \left(\frac{1}{2} - \frac{\Sigma x}{2}\right) \cdot \frac{\log\left(\frac{z_2}{z_1}\right)}{\log\left(\frac{z_{n1} \cdot z_{n2}}{100}\right)} = 0.28128$$

Gl. 21.33

$$x_2 := \Sigma x - x_1 = -0.0105$$

Beide Räder nach TB 21-3 ausführbar! Gl. 21.56

Verschiebungen

$$V_1 := x_1 \cdot m_{n12} = 0.844\ mm$$

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

$$V_3 := 0\ mm$$

$$V_4 := 0\ mm$$

Gl. 21.49

Kontrolle Achsabstand

Betriebswälzkreisdurchmesser:

$$d_{w1} := d_{T1} \cdot \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_w)} = 67.408\ mm$$

$$d_{w2} := d_{T2} \cdot \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_w)} = 227.902\ mm$$

Gl. 21.22a

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

vgl.: $a_{d34} = 147.655\ mm$

Kopfspiel Soll

$$c_{12Soll} := 0.25 \cdot m_{n12} = 0.75\ mm$$

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

vgl. S. 794

Kopfhöhenänderung: $k := a - a_{d12} - m_{n12} \cdot (x_1 + x_2) = -0.014\ mm$

Gl.21-23

Zahnräder

Zahnrad Nr.1:

$d_{T1} = 67.043\ mm$

Betriebswälzkreisdurchmesser: $d_{w1} := \frac{2 \cdot z_1}{z_1 + z_2} \cdot a = 67.408\ mm$ Gl.21-22a

Grundkreisdurchmesser: $d_{b1} := z_1 \cdot \frac{m_{n12} \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\beta)} = 62.517\ mm$ Gl.21-39

Kopfkreisdurchmesser: $d_{a1} := d_{T1} + 2 \cdot (m_{n12} + V_1 + k) = 74.702\ mm$ Gl.21-24

Fußkreisdurchmesser: $d_{f1} := d_{T1} - 2 \cdot ((m_{n12} + c_{12Soll}) - V_1) = 61.231\ mm$ Gl.21-25

Zahnrad Nr.2:

$d_{T2} = 226.67\ mm$

$d_{w2} := \frac{2 \cdot z_2}{z_1 + z_2} \cdot a = 227.902\ mm$ Gl.21-22b

$d_{b2} := z_2 \cdot \frac{m_{n12} \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\beta)} = 211.369\ mm$ Gl.21-39

$d_{a2} := d_{T2} + 2 \cdot (m_{n12} + V_2 + k) = 232.578\ mm$ Gl.21-24

$d_{f2} := d_{T2} - 2 \cdot ((m_{n12} + c_{12Soll}) - V_2) = 219.107\ mm$ Gl.21-25

Zahnrad Nr.3:

$d_{T3} = 74.492\ mm$

$d_{w3} := \frac{2 \cdot z_3}{z_3 + z_4} \cdot a = 74.492\ mm$ Gl.21-22a

$d_{b3} := z_3 \cdot \frac{m_{n34} \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\beta)} = 69.464\ mm$ Gl.21-39

$d_{a3} := d_{T3} + 2 \cdot (m_{n34} + V_2 + k) = 79.401\ mm$ Gl.21-40

$d_{f3} := d_{T3} - 2.5 \cdot m_{n34} = 68.242\ mm$ Gl.21-41

Zahnrad Nr.4:

$d_{T4} = 220.817\ mm$

$d_{w3} := \frac{2 \cdot z_4}{z_3 + z_4} \cdot a = 220.817\ mm$ — Gl.21-22b

$d_{b4} := z_4 \cdot \frac{m_{n34} \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\beta)} = 205.911\ mm$ — Gl.21-39

$d_{a4} := d_{T4} + 2 \cdot (m_{n34} + V_2 + k) = 225.725\ mm$ — Gl.21-40

$d_{f4} := d_{T4} - 2.5 \cdot m_{n34} = 214.567\ mm$ — Gl.21-41

Kopfspiel nach Profilverschiebung

$c_{12Ist} := a - 0.5 \cdot (d_{a1} + d_{f2}) = 0.75\ mm$ $\qquad c_{12Soll} - c_{12Ist} = -6.505 \cdot 10^{-16}\ mm$

Keine relevante Abweichung! — vgl. S. 794

Stirnmodul

$m_{t12} := \frac{m_{n12}}{\cos(\beta)} = 3.193\ mm$ $\qquad m_{t34} := \frac{m_{n34}}{\cos(\beta)} = 2.66\ mm$ — Gl.21-23

Profilüberdeckung

$$\varepsilon_{\alpha 12} := \frac{0.5 \cdot \left(\sqrt{{d_{a1}}^2 - {d_{b1}}^2} + \frac{z_2}{|z_2|} \cdot \sqrt{{d_{a2}}^2 - {d_{b2}}^2}\right) - a \cdot \sin(\alpha_w)}{\pi \cdot m_{t12} \cdot \cos(\alpha_t)} = 1.47$$

Gl.21-57

Laut S.787 ist der Wert für ε_α gut.

$$\varepsilon_{\beta 12} := \frac{b_1 \cdot \sin(\beta)}{\pi \cdot m_{n12}} = 1.089$$

Gl.21-44

Gesamt: $\varepsilon_{\gamma 12} := \varepsilon_{\alpha 12} + \varepsilon_{\beta 12} = 2.559$

$$\varepsilon_{\alpha 34} := \frac{0.5 \cdot \left(\sqrt{{d_{a3}}^2 - {d_{b3}}^2} + \frac{z_4}{|z_4|} \cdot \sqrt{{d_{a4}}^2 - {d_{b4}}^2}\right) - a \cdot \sin(\alpha_w)}{\pi \cdot m_{t34} \cdot \cos(\alpha_t)} = 1.316$$

Gl.21-57

Laut S.787 ist der Wert für ε_α gut.

$$\varepsilon_{\beta 34} := \frac{b_3 \cdot \sin(\beta)}{\pi \cdot m_{n34}} = 2.395$$

Gl.21-44

Gesamt: $\varepsilon_{\gamma 34} := \varepsilon_{\alpha 34} + \varepsilon_{\beta 34} = 3.711$

Zusammenfassung

$Nr.$	d (mm)	d_b (mm)	d_a (mm)	d_f (mm)	d_w (mm)	b (mm)	m (mm)	V (mm)	z
$Zahnrad\_1$	67.04	62.52	74.78	61.196	67.41	30	3	0.844	21
$Zahnrad\_2$	226.67	211.37	232.61	219.032	227.66	30	3	−0.031	71
$Zahnrad\_3$	74.49	69.46	79.49	68.24	74.49	55	2.5	0	28
$Zahnrad\_4$	220.82	205.92	225.82	214.57	220.82	55	2.5	0	83

Passfederverbindungen TB 12-2

Material der Passfeder: E295

$R_e := 295 \cdot \frac{N}{mm^2}$ $\quad S_F := 1.1$ $\quad \eta_{zul} := \frac{R_e}{S_F} = 268.182 \frac{N}{mm^2}$ $\quad \varphi := 1$ $\quad n := 1$

$$l_{tr1} := \frac{2 \cdot T_{an}}{d_{W1} \cdot 3\ mm \cdot \eta_{zul} \cdot \varphi \cdot n} = 4.143\ mm \qquad b := 8\ mm \qquad l_{tr1} + b = 12.143\ mm$$

Antriebswelle: Passfeder DIN 6885 - A8x7x14

$$l_{tr2} := \frac{2 \cdot T_{an} \cdot i_{12}}{d_{W2} \cdot 3\ mm \cdot \eta_{zul} \cdot \varphi \cdot n} = 10.506\ mm \qquad b := 12\ mm \qquad l_{tr2} + b = 22.506\ mm$$

Vorlegewelle: Passfeder DIN 6885 - A12x8x25

$$l_{tr3} := \frac{2 \cdot T_{an} \cdot i_{12} \cdot i_{23}}{d_{W3} \cdot 4\ mm \cdot \eta_{zul} \cdot \varphi \cdot n} = 16.987\ mm \qquad b := 16\ mm \qquad l_{tr3} + b = 32.987\ mm$$

Abtriebswelle: Passfeder DIN 6885 - A16x10x36

Gl12.1

Kräfte an den Zahnrädern

Zahnrad 1:

Umfangskraft: $F_{t1} := 2 \cdot \frac{T_{an}}{d_{T1}} = 1.492\ kN$ Gl.21.70

Radialkraft: $F_{R1} := \frac{F_{t1} \cdot \tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)} = 0.578\ kN$ Gl.21.71

Axialkraft: $F_{a1} := F_{t1} \cdot \tan(\beta) = 0.543\ kN$ Gl.21.72

Zahnrad 2:

Umfangskraft: $F_{t2} := |F_{t1}| = 1.492\ kN$

Radialkraft: $F_{R2} := |F_{R1}| = 0.578\ kN$

Axialkraft: $F_{a2} := |F_{a1}| = 0.543\ kN$

Zahnrad 3:

Umfangskraft: $F_{t3} := 2 \cdot \frac{T_{an} \cdot i_{12}}{d_{T3}} = 4.539\ kN$

Radialkraft: $F_{R3} := \frac{F_{t3} \cdot \tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)} = 1.758\ kN$

Axialkraft: $F_{a3} := F_{t3} \cdot \tan(\beta) = 1.652\ kN$

Zahnrad 4:

Umfangskraft: $F_{t4} := |F_{t3}| = 4.539\ kN$

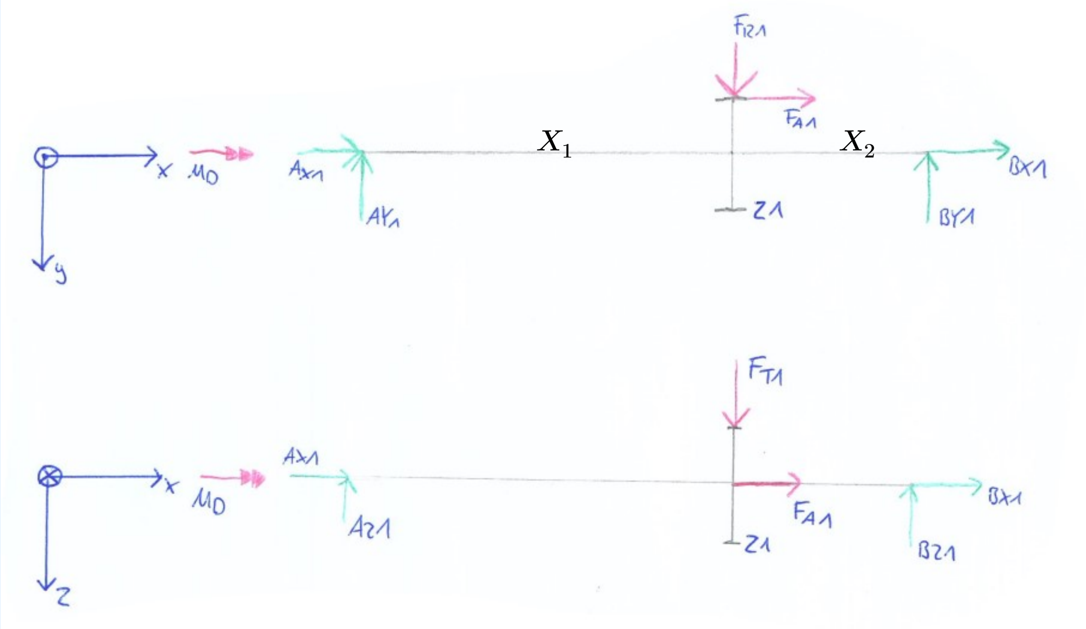
Radialkraft: $F_{R4} := |F_{R3}| = 1.758\ kN$

Axialkraft: $F_{a4} := |F_{a3}| = 1.652\ kN$

Es werden hier nur die Beträge der Kräfte aufgeführt, die Orientierungen der Kräfte werden in den Berechnungen der Lagerkräfte passend (d.h entgegengesetzt) angenommen (siehe Freischnitte & Schnittverläufe der drei Wellen).

Lagerkräfte Antriebswelle

Freischnitt der Antriebswelle:



Wirkabstände: $X_1 := 33\ mm$ $X_2 := 26.5\ mm$

$$B_{Y1} := \frac{F_{R1} \cdot X_1 + F_{a1} \cdot \frac{d_{T1}}{2}}{(X_1 + X_2)} = 0.626\ kN$$

$$B_{Z1} := \frac{F_{t1} \cdot X_1}{(X_1 + X_2)} = 0.827\ kN$$

$$A_{Y1} := F_{R1} - B_{Y1} = -0.049\ kN$$

$$A_{Z1} := F_{t1} - B_{Z1} = 0.664\ kN$$

$$A_{R1} := \sqrt[2]{{A_{Y1}}^2 + {A_{Z1}}^2} = 0.666\ kN$$

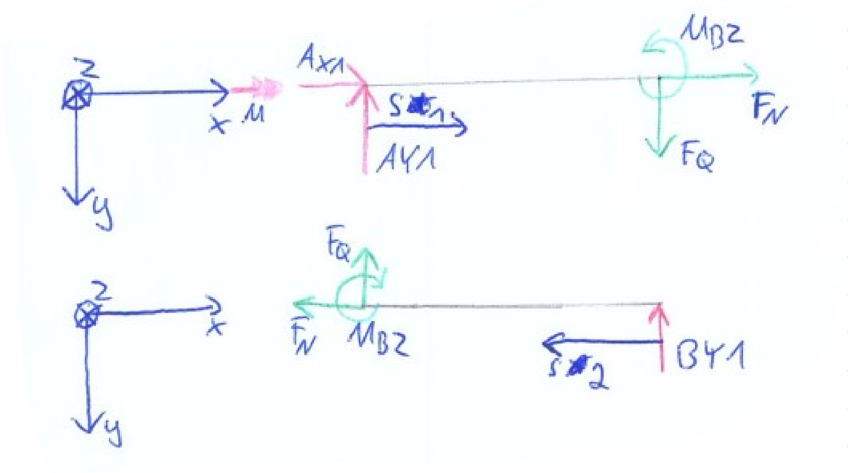
$$B_{R1} := \sqrt[2]{{B_{Y1}}^2 + {B_{Z1}}^2} = 1.038\ kN$$

$A_{R1} < B_{R1}$ A ist das Festlager aufgrund der kleineren radialen Belastung

$A_{X1} := -F_{a1} = -0.543\ kN$ $B_{X1} := 0\ kN$

Schnittgrößenverläufe Antriebswelle

Berechnung für XY-Ebene:



$s_{1max} := X_1 = 33\ mm$ $\quad s_{1min} := 0\ mm$ $\quad s_{2max} := X_2 = 26.5\ mm$ $\quad s_{2min} := 0\ mm$

positives Schnittufer:

$F_N := -A_{X1} = 0.543\ kN$

$F_{QY} := A_{Y1} = -0.049\ kN$

$M_{BZ}(x) := A_{Y1} \cdot s_1$ $\quad M_{BZmin}(x) := A_{Y1} \cdot s_{1min} = 0\ N \cdot m$

$M_{BZmax}(x) := A_{Y1} \cdot s_{1max} = -1.602\ N \cdot m$

negatives Schnittufer:

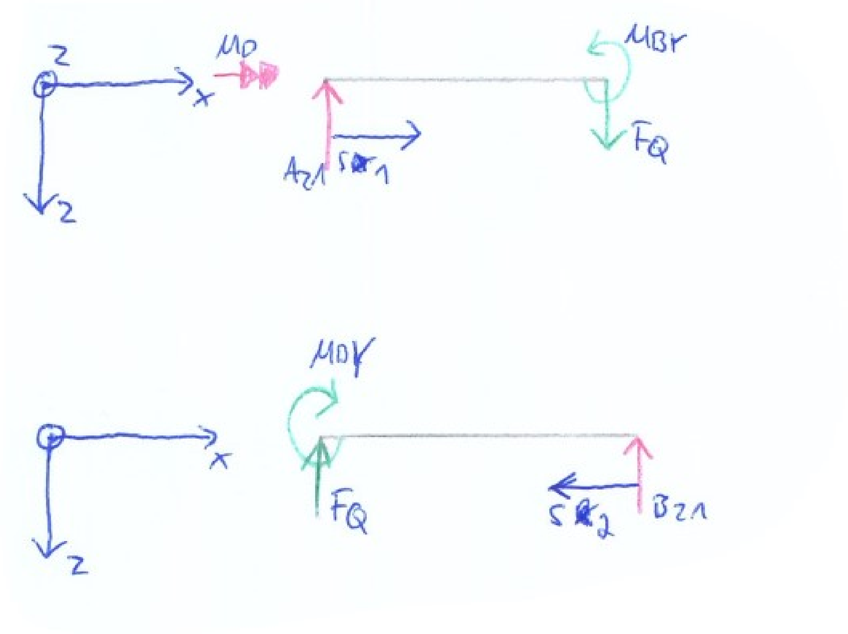
$F_N := 0$

$F_{QY} := -B_{Y1} = -0.626\ kN$

$M_{BZ}(x) := B_{Y1} \cdot s_2$ $\quad M_{BZmin}(x) := B_{Y1} \cdot s_{2min} = 0\ N \cdot m$

$M_{BZmax}(x) := B_{Y1} \cdot s_{2max} = 16.596\ N \cdot m$

Berechnung für XZ-Ebene:



positives Schnittufer:

$F_{QZ} := A_{Z1} = 0.664\ kN$

$M_{BY}(x) := A_{Z1} \cdot s_1$ $\quad$ $M_{BYmin}(x) := A_{Z1} \cdot s_{1min} = 0\ N \cdot m$
$M_{BYmax}(x) := A_{Z1} \cdot s_{1max} = 21.922\ N \cdot m$

negatives Schnittufer:

$F_{QZ} := -B_{Z1} = -0.827\ kN$

$M_{BY}(x) := B_{Z1} \cdot s_1$ $\quad$ $M_{BYmin}(x) := B_{Z1} \cdot s_{2min} = 0\ N \cdot m$
$M_{BYmax}(x) := B_{Z1} \cdot s_{2max} = 21.922\ N \cdot m$

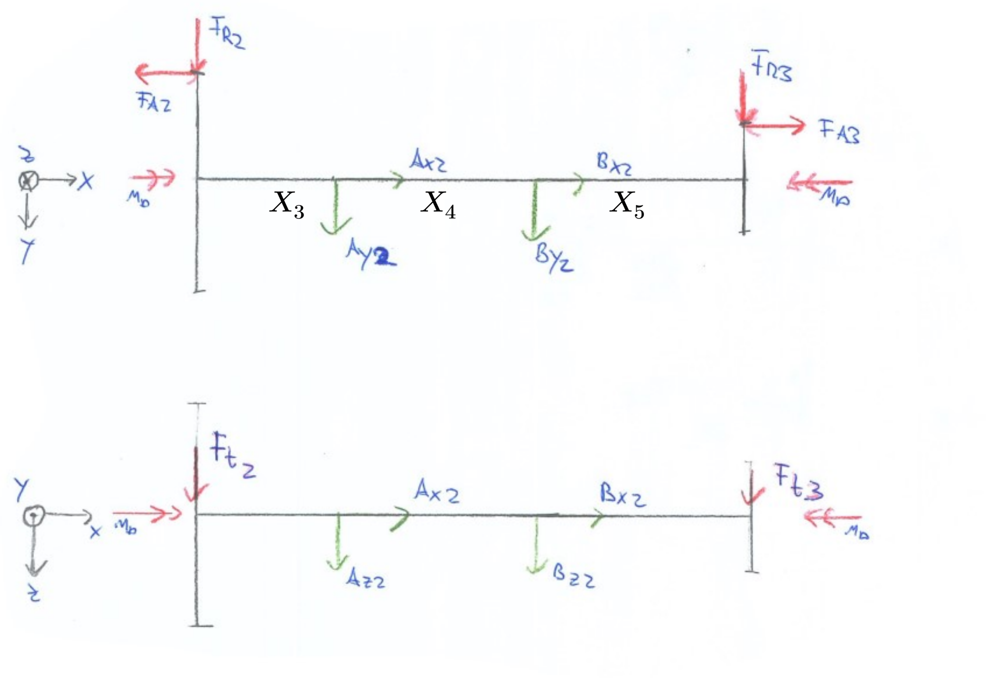
$$M_{Bmax1} := \sqrt[2]{\left(M_{BYmax}\right)^2 + \left(M_{BZmax}\right)^2} = 27.496\ N \cdot m$$

mit $M_{BYmax} = 21.922\ N \cdot m$ und $M_{BZmax} = 16.596\ N \cdot m$

Der Maximalwert wurde hier entsprechend der Schwachstelle der Welle (mit einem pinken "X" in der Isometrie-Ansicht markiert) für die folgende Festigkeitsberechnung ermittelt

Lagerkräfte Vorgelegewelle

Freischnitt Vorgelegewelle:



Wirkabstände: $X_3 := 36.5\ mm$ $X_4 := 33\ mm$ $X_5 := 49\ mm$

$$B_{Y2} := \frac{F_{R2} \cdot X_3 + F_{a2} \cdot \frac{d_{T2}}{2} - F_{R3} \cdot (X_4 + X_5) - F_{a3} \cdot \frac{d_{T3}}{2}}{X_4} = -3.729\ kN$$

$$A_{Y2} := -F_{R2} - B_{Y2} - F_{R3} = 1.394\ kN$$

$$B_{Z2} := \frac{F_{t2} \cdot X_3 - F_{t3} \cdot (X_4 + X_5)}{X_4} = -9.628\ kN$$

$$A_{Z2} := -F_{t2} - B_{Z2} - F_{t3} = 3.598\ kN$$

$$A_{R2} := \sqrt[2]{{A_{Y2}}^2 + {A_{Z2}}^2} = 3.858\ kN$$

$$B_{R2} := \sqrt[2]{{B_{Y2}}^2 + {B_{Z2}}^2} = 10.325\ kN$$

$A_{R2} < B_{R2}$ A ist das Festlager aufgrund der kleineren radialen Belastung

$A_{X2} := F_{a3} - F_{a2} = 1.109\ kN$ $B_{X2} := 0\ kN$

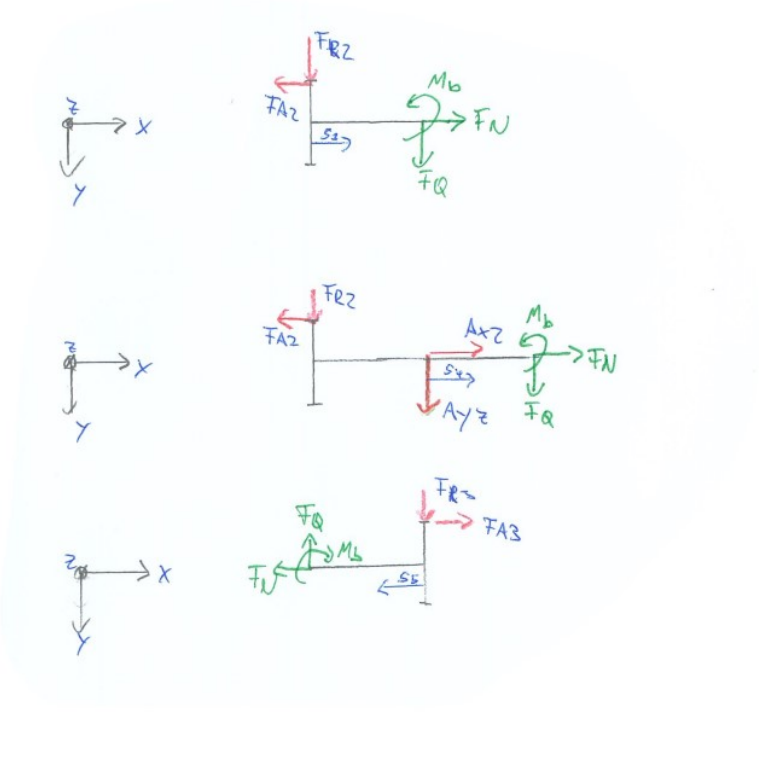
Schnittgrößenverläufe Vorgelegewelle

$s_{3max} := X_3 = 36.5\ mm$ $\quad s_{3min} := 0 \cdot mm$

$s_{4max} := X_4 = 33\ mm$ $\quad s_{4min} := 0\ mm$

$s_{5max} := X_5 = 49\ mm$ $\quad s_{5min} := 0\ mm$

Berechnung für XZ-Ebene:



1. positives Schnittufer:

$F_N := F_{a2} = 0.543\ kN$

$F_{QY} := -F_{R2} = -0.578\ kN$

$M_{BZ}(x) := -F_{R2} \cdot s_3 - F_{a2} \cdot \frac{d_{T2}}{2}$

$$M_{BZmin}(x) := -F_{R2} \cdot s_{3min} - F_{a2} \cdot \frac{d_{T2}}{2} = -61.528\ N \cdot m$$

$$M_{BZmax}(x) := -F_{R2} \cdot s_{3max} - F_{a2} \cdot \frac{d_{T2}}{2} = -82.615\ N \cdot m$$

2. positives Schnittufer:

$$F_N := F_{a2} - A_{X2} = -0.566 \ kN$$

$$F_{QY} := -F_{R2} - A_{Y2} = -1.971 \ kN$$

$$M_{BZ}(x) := F_{R2} \cdot (s_3 + s_4) - A_{Y2} \cdot s_3 - F_{a2} \cdot \frac{d_{T2}}{2}$$

$$M_{BZmin}(x) := F_{R2} \cdot (s_{3max} + s_{4min}) - A_{Y2} \cdot s_{3max} - F_{a2} \cdot \frac{d_{T2}}{2} = -91.306 \ N \cdot m$$

$$M_{BZmax}(x) := F_{R2} \cdot (s_{3max} + s_{4max}) - A_{Y2} \cdot s_{3max} - F_{a2} \cdot \frac{d_{T2}}{2} = -72.241 \ N \cdot m$$

1. negatives Schnittufer:

$$F_N := F_{a3} = 1.652 \ kN$$

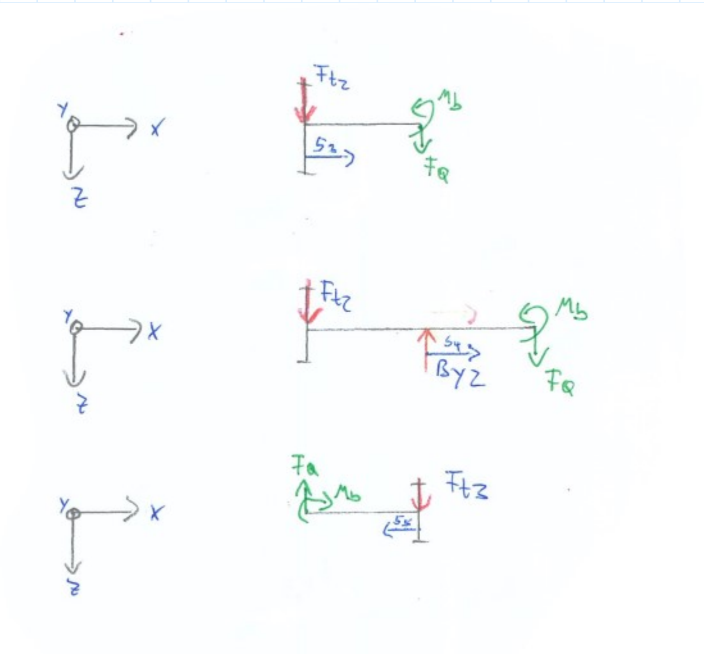
$$F_{QY} := F_{R3} = 1.758 \ kN$$

$$M_{BZ}(x) := -F_{R3} \cdot s_5 - F_{a3} \cdot \frac{d_{T3}}{2} = -61.528 \ N \cdot m$$

$$M_{BZmin}(x) := -F_{R3} \cdot s_{5min} - F_{a3} \cdot \frac{d_{T3}}{2} = -61.528 \ N \cdot m$$

$$M_{BZmax}(x) := -F_{R3} \cdot s_{5max} - F_{a3} \cdot \frac{d_{T3}}{2} = -147.668 \ N \cdot m$$

Berechnung der XZ-Ebene:



1. positives Schnittufer:

$F_{QZ} := -F_{t2} = -1.492\ kN$

$M_{BY}(x) := -F_{t2} \cdot s_3$

$M_{BYmin}(x) := -F_{t2} \cdot s_{3min} = 0\ N \cdot m$

$M_{BYmax}(x) := -F_{t2} \cdot s_{3max} = -54.443\ N \cdot m$

2. positives Schnittufer:

$F_{QZ} := A_{Z2} - F_{t2} = 2.106\ kN$

$M_{BY}(x) := -F_{t2} \cdot (s_3 + s_4) + A_{Z2} \cdot s_4$

$M_{BYmin}(x) := -F_{t2} \cdot (s_{3max} + s_{4min}) + A_{Z2} \cdot s_{4min} = -54.443\ N \cdot m$

$M_{BYmax}(x) := -F_{t2} \cdot (s_{3max} + s_{4max}) + A_{Z2} \cdot s_{4max} = 15.065\ N \cdot m$

1. negatives Schnittufer:

$F_{QZ} := -F_{t3} = -4.539\ kN$

$M_{BY}(x) := -F_{t3} \cdot s_5$

$M_{BYmin}(x) := -F_{t3} \cdot s_{5min} = 0\ N \cdot m$

$M_{BYmin}(x) := -F_{t3} \cdot s_{5max} = -222.394\ N \cdot m$

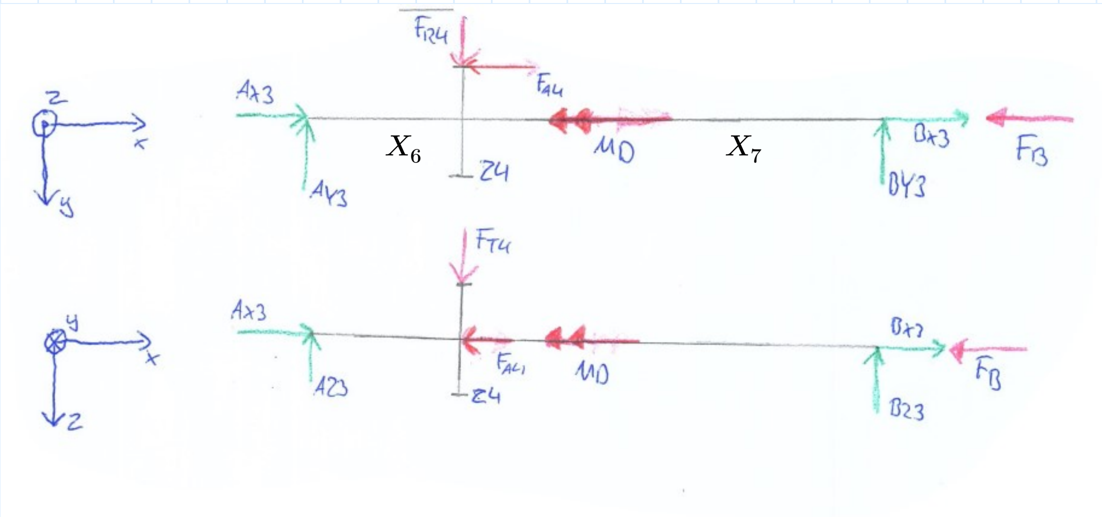
$M_{Bmax2} := \sqrt[2]{(M_{BYmax})^2 + (M_{BZmax})^2} = 266.955\ N \cdot m$

mit $M_{BYmax} = -222.394\ N \cdot m$und $M_{BZmax} = -147.668\ N \cdot m$

Der Maximalwert wurde hier entsprechend der Schwachstelle der Welle (mit einem pinken "X" in der Isometrie-Ansicht markiert) für die folgende Festigkeitsberechnung ermittelt

Lagerkräfte Abtriebswelle

Freischnitt Abtriebswelle:



Wirkabstände:

$X_6 := 41.5\ mm$ $\qquad$ $X_7 := 52\ mm$

$$B_{Y3} := \frac{F_{R4} \cdot X_6 - F_{a4} \cdot \frac{d_{T4}}{2}}{(X_6 + X_7)} = -1.17\ kN \qquad B_{Z3} := \frac{F_{t4} \cdot X_6}{(X_6 + X_7)} = 2.014\ kN$$

$$A_{Y3} := F_{R4} - B_{Y3} = 2.928\ kN \qquad A_{Z3} := F_{t4} - B_{Z3} = 2.524\ kN$$

$$A_{R3} := \sqrt[2]{A_{Y3}^{\ 2} + A_{Z3}^{\ 2}} = 3.866\ kN$$

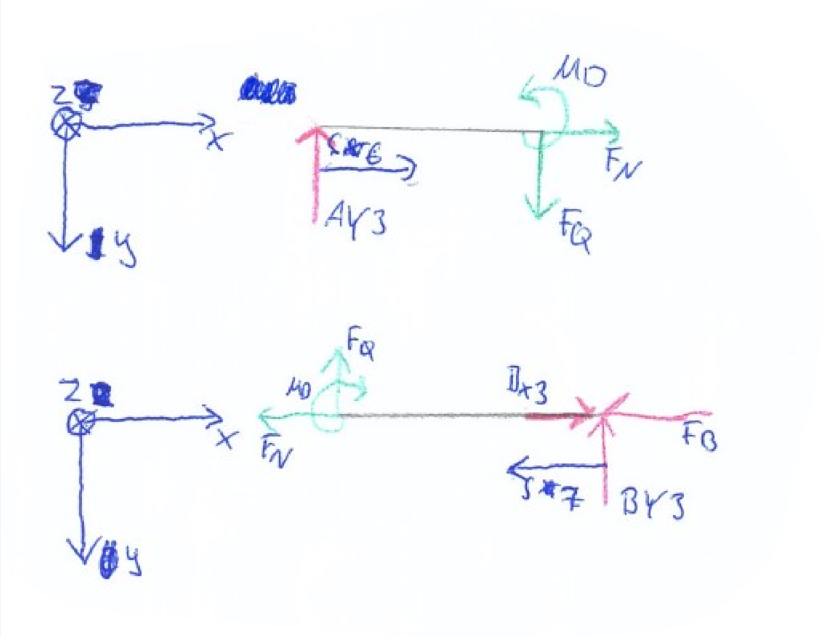
$$B_{R3} := \sqrt[2]{B_{Y3}^{\ 2} + B_{Z3}^{\ 2}} = 2.33\ kN$$

$A_{R3} > B_{R3}$ B ist das Festlager aufgrund der kleineren radialen Belastung

$B_{X3} := F_{a4} + F_B = 4.652\ kN$ $\qquad$ $A_{X3} := 0\ kN$

Schnittgrößenverläufe Abtriebswelle

Berechnung der XY-Ebene:



$s_{6max} := X_6 = 41.5\ mm$ $s_{6min} := 0\ mm$ $s_{7max} := X_7 = 52\ mm$ $s_{7min} := 0\ mm$

positives Schnittufer:

$F_N := 0$

$F_{QY} := A_{Y3} = 2.928\ kN$

$M_{BZ}(x) := A_{Y3} \cdot s_6$

$M_{BZmin}(x) := A_{Y3} \cdot s_{6min} = 0\ N \cdot m$
$M_{BZmax}(x) := A_{Y3} \cdot s_{6max} = 121.527\ N \cdot m$

negatives Schnittufer:

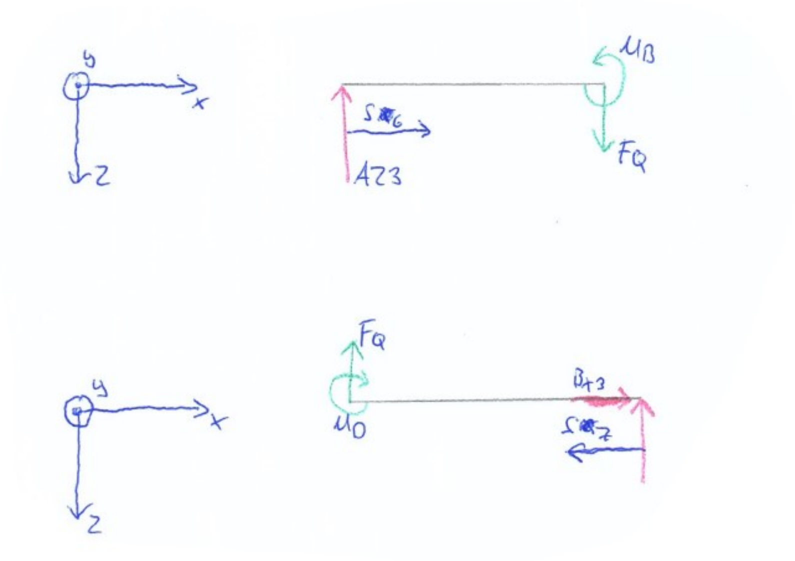
$F_N := B_{X3} - F_B = 1.652\ kN$

$F_{QY} := -B_{Y3} = 1.17\ kN$

$M_{BZ}(x) := B_{Y3} \cdot s_7$

$M_{BZmin}(x) := B_{Y3} \cdot s_{7min} = 0\ N \cdot m$
$M_{BZmax}(x) := B_{Y3} \cdot s_{7max} = -60.861\ N \cdot m$

Berechnung der XZ-Ebene:



positives Schnittufer:

$F_{QZ} := A_{Z3} = 2.524\ kN$

$M_{BY}(x) := A_{Z3} \cdot s_6$ $\qquad M_{BYmin}(x) := A_{Z3} \cdot s_{6min} = 0\ N \cdot m$

$M_{BYmax}(x) := A_{Z3} \cdot s_{6max} = 104.753\ N \cdot m$

negatives Schnittufer:

$F_{QZ} := -B_{Z3} = -2.014\ kN$

$M_{BY}(x) := B_{Z3} \cdot s_7$ $\qquad M_{BYmin}(x) := B_{Z3} \cdot s_{7min} = 0\ N \cdot m$

$M_{BYmax}(x) := B_{Z3} \cdot s_{7max} = 104.753\ N \cdot m$

$$M_{Bmax3} := \sqrt[2]{\left(M_{BYmax}\right)^2 + \left(M_{BZmax}\right)^2} = 121.15\ N \cdot m$$

mit $M_{BYmax} = 104.753\ N \cdot m$ und $M_{BZmax} = -60.861\ N \cdot m$

Der Maximalwert wurde hier entsprechend der Schwachstelle der Welle (mit einem pinken "X" in der Isometrie-Ansicht markiert) für die folgende Festigkeitsberechnung ermittelt

Vorauswahl Lagergrößen Antriebswelle

$\nu_1 := 3$ aufgrund von Rillenkugellager

$n_1 := 2000 \cdot \frac{1}{min}$ $\quad d_{W1} = 30\ mm$

Loslager

$P_{1L} := |B_{R1}| = 1.038\ kN$

$c_{erf} := P_{1L} \sqrt[\nu_1]{\frac{n_1 \cdot 10000 \cdot hr}{10^6}} = 11.026\ kN$

gewählt: 6006

Festlager

$P_{1F} := 1.5\ kN$

$c_{erf} := P_{1F} \sqrt[\nu_1]{\frac{n_1 \cdot 10000 \cdot hr}{10^6}} = 15.94\ kN$

gewählt: 6206

Berechnung Lagerlebensdauer Antriebswelle

$c_{6006} := 13.8\ kN$

$l_{10h;6006} := \frac{10^6}{n_1} \cdot \left(\frac{c_{6006}}{P_{1L}}\right)^{\nu_1} = 19606\ hr$

Gl. 14.5a

$c_{6206} := 20.3\ kN$ $\quad c_{0.6206} := 11.2\ kN$

$\frac{|A_{X1}|}{A_{R1}} = 0.815$ $\quad \frac{|A_{X1}|}{c_{0.6206}} = 0.048$

nach TB 14-3A

$0.794 > e$ d.h. $\quad X_{1F} := 0.56$

$Y_{1F} := 1.8$

$P_{6206} := X_{1F} \cdot A_{R1} + Y_{1F} \cdot |A_{X1}| = 1.35\ kN$

$l_{10h;6206} := \frac{10^6}{n_1} \cdot \left(\frac{c_{6206}}{P_{6206}}\right)^{\nu_1} = 28321\ hr$

Vorauswahl Lagergrößen Vorgelegewelle

$$n_2 := \frac{2000 \cdot \frac{1}{min}}{i_{12}} = 591.549 \ \frac{1}{min} \qquad d_{W2} = 40 \ mm$$

Loslager

$P_{2L} := 11.269 \ kN$

$$c_{erf} := P_{2L} \sqrt[\nu_1]{\frac{n_2 \cdot 10000 \cdot hr}{10^6}} = 79.787 \ kN$$

gewählt: NU 308

Festlager

$P_{2F} := 10 \ kN$

$$c_{erf} := P_{2F} \sqrt[\nu_1]{\frac{n_2 \cdot 10000 \cdot hr}{10^6}} = 70.802 \ kN$$

gewählt: NUP 308

Berechnung Lagerlebensdauer Vorgelegewelle

$\nu_2 := \frac{10}{3}$ aufgrund von Rollenlager

$c_{NU308} := 93 \ kN$

$$l_{10h;NU308} := \frac{10^6}{n_2} \cdot \left(\frac{c_{NU308}}{P_{2L}}\right)^{\nu_2} = 32002 \ hr$$

Gl. 14.5a

$c_{NUP308} := 93 \ kN$

$$\frac{A_{X2}}{A_{R2}} = 0.287$$

nach TB 14-3A

$0.079 < e$ d.h. $X_{NUP308} := 1$

$Y_{NUP308} := 0$

$$P_{NUP308} := X_{NUP308} \cdot A_{R2} + Y_{NUP308} \cdot A_{X2}$$

$P_{NUP308} = 3.858 \ kN$

$$l_{10h1F} := \frac{10^6}{n_1} \cdot \left(\frac{c_{6206}}{P_{6206}}\right)^{\nu_2} = 69899 \ hr$$

Vorauswahl Lagergrößen Abtriebswelle

$$n_3 := \frac{2000 \cdot \frac{1}{min}}{i_{ges}} = 199.559 \ \frac{1}{min} \qquad d_{W3} = 55 \ mm$$

Loslager

$$P_{3L} := A_{R3} = 3.866 \ kN$$

$$c_{erf} := P_{3L} \sqrt[\nu_1]{\frac{n_3 \cdot 10000 \cdot hr}{10^6}} = 19.055 \ kN$$

gewählt: 6011

Festlager

$$P_{3F} := 10 \ kN$$

$$c_{erf} := P_{3F} \sqrt[\nu_1]{\frac{n_3 \cdot 10000 \cdot hr}{10^6}} = 49.288 \ kN$$

gewählt: 6311

Berechnung Lagerlebensdauer Abtriebswelle

$$c_{6011} := 29.6 \ kN$$

$$l_{10h;6011} := \frac{10^6}{n_3} \cdot \left(\frac{c_{6011}}{P_{3L}}\right)^{\nu_1} = 37483 \ hr$$

Gl. 14.5a

$$c_{6311} := 74.1 \ kN \qquad c_{0;6311} := 45 \ kN$$

$$\frac{B_{X3}}{B_{R3}} = 1.997 \qquad \frac{B_{X3}}{c_{0;6311}} = 0.103$$

nach TB 14-3A

$1.879 > e$ d.h. $X_{6311} := 0.56$

$Y_{6311} := 1.4$

$$P_{6311} := X_{6311} \cdot B_{R3} + Y_{6311} \cdot B_{X3} = 7.817 \ kN$$

$$l_{10h1F} := \frac{10^6}{n_3} \cdot \left(\frac{c_{6311}}{P_{6311}}\right)^{\nu_1} = 71129 \ hr$$

Übersicht der gewählten Lager

Welle	*Loslager*	*Lebensdauer* (hr)	*Festlager*	*Lebensdauer* (hr)
Antriebswelle	6006	19606	6206	28321
Vorgelegewelle	*NU*308	32002	*NUP*308	69899
Abtriebswelle	6011	37483	6311	71129

Festigkeitsnachweise

Material der Wellen: 42CrMo4

$R_m := 1100\ \dfrac{N}{mm^2}$ $\quad R_{p0.2} := 900\ \dfrac{N}{mm^2}$ $\quad R_z := 6\ \mu m$

$\sigma_{bWN} := 550\ \dfrac{N}{mm^2}$ $\quad \tau_{tWN} := 330\ \dfrac{N}{mm^2}$

Einflussfaktoren (gelten für alle drei Wellen gleich):

Oberflächenverfestigung: $K_V := 1.2$

TB 3-12

Oberflächenrauheit: $K_{O\sigma} := 1 - 0.22\ \log\left(\dfrac{R_z}{1\ \mu m}\right) \cdot \left(\log\left(\dfrac{R_m}{20\ \dfrac{N}{mm^2}}\right) - 1\right) = 0.873$

$K_{O\tau} := 0.575 \cdot K_{O\sigma} + 0.425 = 0.927$

TB 3-10

Antriebswelle

$d_{W1} = 30\ mm$

$t_{1;W1} := 4\ mm$

Aufgrund der Passfederverbindung wird der Querschnitt der Antriebswelle aufgrund der Kerbwirkung geschwächt

$d_1 := d_{W1} - t_{1;W1} = 26\ mm$

Schwachstelle der Antriebswelle befindet sich beim Zahnrad_1 (mit "Pinker"-Farbe in der Isometrie-Darstellung markiert)

<u>Statischer Festigkeitsnachweis</u> nach Bild 3.30

vorhandene Spannungen:

$W_{B1} := 0.012 \cdot (d_{W1} + d_1)^3 = (2.107 \cdot 10^3)\ mm^3$ $W_{T1} := 0.2 \cdot d_1^{\ 3} = (3.515 \cdot 10^3)\ mm^3$

$M_{Bmax1} = 27.496\ N \cdot m$ $M_{tmax1} := 50\ N \cdot m$

$\sigma_{bmax1} := \dfrac{M_{Bmax1}}{W_{B1}} = 13.047\ \dfrac{N}{mm^2}$ $\tau_{tmax1} := \dfrac{M_{tmax1}}{W_{T1}} = 14.224\ \dfrac{N}{mm^2}$

Technologischer Größeneinflussfaktor: $K_{t1} := 1 - 0.26\ \log\left(\dfrac{d_1}{16\ mm}\right) = 0.945$

TB 3-11a

Bauteilfestigkeit:

$\sigma_{bF1} := 1.2 \cdot R_{p0.2} \cdot K_{t1} = 1020.792\ \dfrac{N}{mm^2}$

$\tau_{TF1} := 1.2 \cdot R_{p0.2} \cdot \dfrac{K_{t1}}{\sqrt[2]{3}} = 589.355\ \dfrac{N}{mm^2}$

Gesamtsicherheit: $S_{F1} := \dfrac{1}{\sqrt[2]{\left(\dfrac{\sigma_{bmax1}}{\sigma_{bF1}}\right)^2 + \left(\dfrac{\tau_{tmax1}}{\tau_{TF1}}\right)^2}} = 36.616$

$S_{F1} > S_{Fmin}$ Die Antriebswelle ist statisch fest

mit $S_{Fmin} := 2$ nach TB3-14b

Dynamischer Festigkeitsnachweis

vorhandene Spannungen:

$\sigma_{ba1} := \dfrac{K_A \cdot M_{Bmax1}}{W_{B1}} = 26.095 \ \dfrac{N}{mm^2}$

$\tau_{ta1} := \dfrac{K_A \cdot M_{tmax1}}{W_{T1}} = 28.448 \ \dfrac{N}{mm^2}$

$\sigma_{bm1} := 0 \ \dfrac{N}{mm^2}$

$\tau_{tm1} := 0 \ \dfrac{N}{mm^2}$

vereinfachte Berechnung siehe S.73

Einflussfaktoren:

Technologischer Größeneinflussfaktor: $K_{T1} := 1 - 0.26 \ \log\left(\dfrac{d_1}{16 \ mm}\right) = 0.945$

Kerbwirkungszahl: $\beta_{KB1} := 2.5$ TB 3-09b

$\beta_{KT1} := 2.3$

Geometrische Größeneinflussfaktor:

$$K_{G1} := 1 - 0.2 \ \frac{\log\left(\dfrac{d_1}{7.5 \ mm}\right)}{\log(20)} = 0.917$$

TB 3-11c

Gesamteinflussfaktor/
Konstruktionsfaktor:

$K_{DT1} := \left(\dfrac{\beta_{KT1}}{K_{G1}} + \dfrac{1}{K_{O\tau}} - 1\right) \cdot \dfrac{1}{K_V} = 2.156$

$K_{DB1} := \left(\dfrac{\beta_{KB1}}{K_{G1}} + \dfrac{1}{K_{O\sigma}} - 1\right) \cdot \dfrac{1}{K_V} = 2.393$

Gl. 3.16

Gestaltwechselfestigkeit:

$\sigma_{bGW1} := K_{T1} \cdot \dfrac{\sigma_{bWN}}{K_{DB1}} = 217.251 \ \dfrac{N}{mm^2}$

$\tau_{tGW1} := K_{T1} \cdot \dfrac{\tau_{tWN}}{K_{DT1}} = 144.694 \ \dfrac{N}{mm^2}$

Gesamtsicherheit:

$$S_{D1} := \frac{1}{\sqrt[2]{\left(\dfrac{\sigma_{ba1}}{\sigma_{bGW1}}\right)^2 + \left(\dfrac{\tau_{ta1}}{\tau_{tGW1}}\right)^2}} = 4.34$$

$S_{D\_erf} := 1.5$

$S_{D1} > S_{D\_erf}$ Die Antriebswelle ist dauerfest

Vorgelegewelle

$d_{W2} := 40\ mm$

$t_{1;W2} := 2.5\ mm$

$d_2 := d_{W2} - t_{1;W2} = 37.5\ mm$

Schwachstelle der Vorgelegewelle befindet sich beim Loslager (mit "Pinker"-Farbe in der Isometrie-Darstellung markiert)

<u>Statischer Festigkeitsnachweis</u> nach Bild 3.30

vorhandene Spannungen:

$W_{B2} := \frac{\pi}{32} \cdot d_{W2}^{3} = \left(6.283 \cdot 10^{3}\right)\ mm^{3}$

$W_{T2} := \frac{\pi}{16} \cdot d_{W2}^{3} = \left(1.257 \cdot 10^{4}\right)\ mm^{3}$

$M_{Bmax2} = 266.955\ N \cdot m$

$M_{tmax2} := 50\ N \cdot m \cdot i_{12} = 169.048\ N \cdot m$

$\sigma_{bmax2} := \frac{M_{Bmax2}}{W_{B2}} = 42.487\ \frac{N}{mm^{2}}$

$\tau_{tmax2} := \frac{M_{tmax2}}{W_{T2}} = 13.452\ \frac{N}{mm^{2}}$

Technologischer Größeneinflussfaktor: $K_{t2} := 1 - 0.26\ \log\left(\frac{d_2}{16\ mm}\right) = 0.904$

TB 3-11a

Bauteilfestigkeit:

$\sigma_{bF2} := 1.2 \cdot R_{p0.2} \cdot K_{t2} = 976.129\ \frac{N}{mm^{2}}$

$\tau_{TF2} := 1.2 \cdot R_{p0.2} \cdot \frac{K_{t2}}{\sqrt[2]{3}} = 563.568\ \frac{N}{mm^{2}}$

Gesamtsicherheit: $S_{F2} := \frac{1}{\sqrt[2]{\left(\frac{\sigma_{bmax2}}{\sigma_{bF2}}\right)^{2} + \left(\frac{\tau_{tmax2}}{\tau_{TF2}}\right)^{2}}} = 20.144$

$S_{F2} > S_{Fmin}$ Die Antriebswelle ist statisch fest

mit $S_{Fmin} := 2$ nach TB3-14b

Dynamischer Festigkeitsnachweis

vorhandene Spannungen:

$$\sigma_{ba2} := \frac{K_A \cdot M_{Bmax2}}{W_{B2}} = 84.974 \ \frac{N}{mm^2} \qquad \tau_{ta2} := \frac{K_A \cdot M_{tmax2}}{W_{T2}} = 26.905 \ \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bm2} := 0 \ \frac{N}{mm^2} \qquad \tau_{tm2} := 0 \ \frac{N}{mm^2}$$

vereinfachte Berechnung siehe S.73

Einflussfaktoren:

Technologischer Größeneinflussfaktor: $K_{T2} := 1 - 0.26 \ \log\left(\frac{d_2}{16 \ mm}\right) = 0.904$

Kerbwirkungszahl: $\beta_{KB2} := 2.9$

$\beta_{KT2} := 1.9$

TB 3-09b

Geometrische Größeneinflussfaktor:

$$K_{G2} := 1 - 0.2 \ \frac{\log\left(\frac{d_2}{7.5 \ mm}\right)}{\log(20)} = 0.893$$

Gesamteinflussfaktor/
Konstruktionsfaktor:

TB 3-11c

$$K_{DT2} := \left(\frac{\beta_{KT2}}{K_{G2}} + \frac{1}{K_{O\tau}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V} = 1.839 \qquad K_{DB2} := \left(\frac{\beta_{KB2}}{K_{G2}} + \frac{1}{K_{O\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V} = 2.829$$

Gl. 3.16

Gestaltwechselfestigkeit:

$$\sigma_{bGW2} := K_{T2} \cdot \frac{\sigma_{bWN}}{K_{DB2}} = 175.745 \ \frac{N}{mm^2} \qquad \tau_{tGW2} := K_{T2} \cdot \frac{\tau_{tWN}}{K_{DT2}} = 162.147 \ \frac{N}{mm^2}$$

Gesamtsicherheit:

$$S_{D2} := \frac{1}{\sqrt[2]{\left(\frac{\sigma_{ba2}}{\sigma_{bGW2}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta2}}{\tau_{tGW2}}\right)^2}} = 1.956$$

$S_{D\_erf} := 1.5$

$S_{D2} > S_{D\_erf}$ Die Vorgelegewelle ist dauerfest

Abtriebswelle

$d_{W3} = 55\ mm$

$t_{1;W3} := 6\ mm$

Aufgrund der Passfederverbindung wird der Querschnitt der Antriebswelle aufgrund der Kerbwirkung geschwächt

$d_3 := d_{W3} - t_{1;W3} = 49\ mm$

Schwachstelle der Abtriebswelle befindet sich beim Zahnrad_4 (mit "Pinker"-Farbe in der Isometrie-Darstellung markiert)

<u>Statischer Festigkeitsnachweis</u> nach Bild 3.30

vorhandene Spannungen:

$W_{B3} := 0.012 \cdot (d_{W3} + d_3)^3 = (1.35 \cdot 10^4)\ mm^3$

$W_{T3} := 0.2 \cdot d_3^{\ 3} = (2.353 \cdot 10^4)\ mm^3$

$M_{Bmax3} = 121.15\ N \cdot m$

$M_{tmax3} := 50\ N \cdot m \cdot i_{ges} = 501.105\ N \cdot m$

$$\sigma_{bmax3} := \frac{M_{Bmax3}}{W_{B3}} = 8.975\ \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tmax3} := \frac{M_{tmax3}}{W_{T3}} = 21.297\ \frac{N}{mm^2}$$

Technologischer Größeneinflussfaktor: $K_{t3} := 1 - 0.26 \log\left(\frac{d_3}{16\ mm}\right) = 0.874$

TB 3-11a

Bauteilfestigkeit:

$$\sigma_{bF3} := 1.2 \cdot R_{p0.2} \cdot K_{t3} = 943.51\ \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{TF3} := 1.2 \cdot R_{p0.2} \cdot \frac{K_{t3}}{\sqrt[2]{3}} = 544.736\ \frac{N}{mm^2}$$

Gesamtsicherheit:

$$S_{F3} := \frac{1}{\sqrt[2]{\left(\frac{\sigma_{bmax3}}{\sigma_{bF3}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax3}}{\tau_{TF3}}\right)^2}} = 24.853$$

$S_{F3} > S_{Fmin}$ Die Antriebswelle ist statisch fest

mit $S_{Fmin} := 2$ nach TB3-14b

Dynamischer Festigkeitsnachweis

vorhandene Spannungen:

$$\sigma_{ba3} := \frac{K_A \cdot M_{Bmax3}}{W_{B3}} = 17.95 \ \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{ta3} := \frac{K_A \cdot M_{tmax3}}{W_{T3}} = 42.593 \ \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bm3} := 0 \ \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tm3} := 0 \ \frac{N}{mm^2}$$

vereinfachte Berechnung siehe S.73

Einflussfaktoren:

Technologischer Größeneinflussfaktor: $K_{T3} := 1 - 0.26 \ \log\left(\frac{d_3}{16 \ mm}\right) = 0.874$

Kerbwirkungszahl: $\beta_{KB3} := 2.5$ TB 3-09b

$\beta_{KT3} := 2.3$

Geometrische Größeneinflussfaktor:

$$K_{G3} := 1 - 0.2 \ \frac{\log\left(\frac{d_3}{7.5 \ mm}\right)}{\log(20)} = 0.875$$

TB 3-11c

Gesamteinflussfaktor/
Konstruktionsfaktor:

$$K_{DT3} := \left(\frac{\beta_{KT3}}{K_{G3}} + \frac{1}{K_{O\tau}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V} = 2.257$$

$$K_{DB3} := \left(\frac{\beta_{KB3}}{K_{G3}} + \frac{1}{K_{O\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V} = 2.503$$

Gl. 3.16

Gestaltwechselfestigkeit:

$$\sigma_{bGW3} := K_{T3} \cdot \frac{\sigma_{bWN}}{K_{DB3}} = 191.986 \ \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tGW3} := K_{T3} \cdot \frac{\tau_{tWN}}{K_{DT3}} = 127.748 \ \frac{N}{mm^2}$$

Gesamtsicherheit:

$$S_{D3} := \frac{1}{\sqrt[2]{\left(\frac{\sigma_{ba3}}{\sigma_{bGW3}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta3}}{\tau_{tGW3}}\right)^2}} = 2.888$$

$S_{D\_erf} := 1.5$

$S_{D3} > S_{D\_erf}$ Die Abtriebswelle ist dauerfest

Fliehkraftkupplung

Anzahl der Fliehkörper: $N_{FK} := 2$

Schaltdrehzahl: $n_S := 1400 \cdot \frac{1}{min}$

Fliehkörpermasse: $m_{FK} := 0.5\ kg$

Reibdurchmesser: $D_R := 140\ mm$

Haftreibwert: $\mu_{0;FK} := 0.9$

Fliehkörperschwerpunktradius: $r_{FK} := 50\ mm$

Gesamtfederkraft: $F_F := 25\ N$

Winkelgeschwindigkeit:
$\omega_{FK} := 2\ \pi \cdot n_S = 146.608\ \frac{1}{s}$

Fliehkraft:
$F_{Flieh} := m_{FK} \cdot r_{FK} \cdot \omega_{FK}^2 = 537.345\ N$

Kontaktkraft:
$F_{N;FK} := F_{Flieh} - F_F = 512.345\ N$

Reibkraft an einem Fliehkörper:
$F_{R;FK} := \mu_{0;FK} \cdot F_{N;FK} = 461.111\ N$

Reibmoment:
$M_{R;FK} := N_{FK} \cdot F_{R;FK} \cdot \frac{D_R}{2} = 64.555\ N \cdot m$

Schmierstoffberechnung

Ölstand soll bis zur unteren Zahnradstufe (Zahnräder 3 & 4) reichen

Kraft-Geschwindigkeits-Faktor (für Stirnradgetriebe):

$$k\_v := \left(3 \cdot \frac{F_{t3}}{b_3 \cdot d_{T3}} \cdot \frac{i_{23}+1}{i_{23}}\right) \cdot \frac{1}{\pi \cdot d_{T3} \cdot \frac{n_{an}}{i_{ges}}} = 5.71\ \frac{kg}{mm^2 \cdot s} \qquad k\_v = 5.71\ \frac{MPa \cdot s}{m}$$

Gl.20-2

CLP 150 wird als Schmieröl verwendet

TB 20-7a

CLP 150 nach DIN 51517; Viskositätsklasse 150, d.h. bei 40°C hat das Öl eine kinematische Viskosität im Bereich von 135 bis 165 mm^2/s