

# Inhaltsverzeichnis

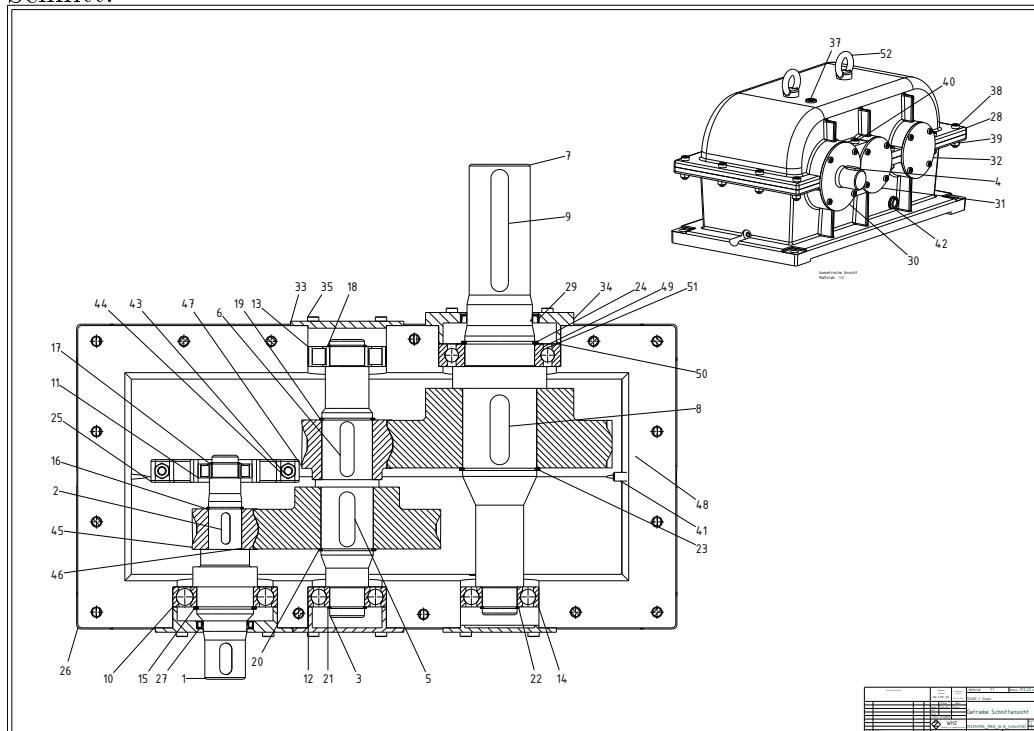
<b>1</b>	<b>Zeichnungsdokumentation</b>	<b>2</b>
1.1	Zusammenbauzeichnungen . . . . .	2
1.2	Fertigungszeichnung Zwischenwelle . . . . .	4
1.3	Stückliste . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Montageanleitung</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Berechnung</b>	<b>7</b>
3.1	Entwurfsrechnung per Hand . . . . .	7
3.1.1	Überschlägiger Wellendurchmesser . . . . .	7
3.1.2	Zahnräder . . . . .	8
3.1.3	Welle-Nabe-Verbindungen . . . . .	14
3.1.4	Lager . . . . .	20
3.2	Nachrechnung Antriebswelle per Hand . . . . .	21
3.2.1	Festigkeitsnachweiß an gefährdeten Stellen . . . . .	21
3.2.2	Verformungen . . . . .	42
3.2.3	Biegekritische Drehzahl . . . . .	42
3.2.4	Welle-Nabe-Verbindung . . . . .	42
3.2.5	Lager . . . . .	44
3.2.6	Zahnradstufe 1 . . . . .	46
3.3	Nachrechnung aller Wellen, Welle-Nabe-Verbindung, Zahnrad- stufen und Lager mittels KissSoft . . . . .	46
3.3.1	Wellen . . . . .	46
3.3.2	Welle-Nabe-Verbindung . . . . .	46
3.3.3	Zahnradstufen . . . . .	47
3.3.4	Lager . . . . .	47
3.4	Vergleich Handrechnung und KissSoft . . . . .	47
3.4.1	Handrechnung Zahnräder . . . . .	47
3.4.2	Vergleich . . . . .	47
3.5	Wirkungsgradabschätzung . . . . .	47

# 1 Zeichnungsdokumentation

Für genauere Ansicht der technischen Zeichnung bitte die einzelnen Zeichnungsdateien öffnen.

## 1.1 Zusammenbauzeichnungen

Schnitt:



[illegible]

Technical drawing of a three-chambered hydraulic cylinder in a side view. The drawing shows three circular chambers connected in a row. Dimensions are provided in millimeters (mm). Key dimensions include: total length 1200.0, total width 1200.0, and individual chamber diameters of 1200.0. The drawing is labeled 'Seite 1 von 1' and 'Seite 1 von 1'.



### 1.3 Stückliste

[illegible]





## 2 Montageanleitung

## 3 Berechnung

### 3.1 Entwurfsrechnung per Hand

Berechnung Antriebsmoment:

$$P = M \cdot \omega$$

$$P = M \cdot 2\pi \cdot n$$

$$M_t = \frac{P}{2\pi \cdot n}$$

$$M_t = \frac{40kW}{2\pi \cdot \frac{950 \text{ min}^{-1}}{60}}$$

$$M_t = \underline{402,07565Nm}$$

#### 3.1.1 Überschlägiger Wellendurchmesser

Stufe 1

Eingangswelle:

$$d_{üb} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot K_A \cdot M_{tA}}{\pi \cdot \tau_{t \text{ zul}}}}$$

$$d_{üb} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1,1 \cdot 402,07565Nm}{\pi \cdot 30MPa}}$$

$$d_{üb} = 42,188mm \rightarrow \text{gewählt } d_{Welle1} = \underline{43mm}$$

Stufe 2

Zwischenwelle:



Für Berechnung der Zähnzahlen der ersten Stufe siehe 3.1.5

$$M_{tA2} = i_1 \cdot M_{tA}$$

$$M_{tA2} = \frac{z_2}{z_1} \cdot M_{tA}$$

$$M_{tA2} = \frac{82}{27} \cdot 402,07565 Nm$$

$$M_{tA2} = \underline{1221,11864 Nm}$$

$$d_{üb} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot K_A \cdot M_{tA2}}{\pi \cdot \tau_{t \text{ zul}}}}$$

$$d_{üb} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1,1 \cdot 1221,11864 Nm}{\pi \cdot 30 MPa}}$$

$$d_{üb} = 61,094 mm \rightarrow \text{gewählt } d_{Welle2} = \underline{62 mm}$$

### 3.1.2 Zahnräder

#### 3.1.2.1 Modulabschätzung

##### Stufe 1

Annahmen für die Modulabschätzung:

- $\beta = 10^\circ$
- $z_1 = 27$
- $S_F = 1,5$
- $\sigma_{Flim} = 430 MPa$

$$m_n = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot K_A \cdot M_t \cdot \cos^2 \beta}{z_1^2 \cdot \frac{b}{d_1}} \cdot \frac{S_F}{\sigma_{Flim}}}$$

$$m_n = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 1,1 \cdot 402,07565 Nm \cdot \cos^2(10^\circ)}{27^2 \cdot 0,6} \cdot \frac{1,5}{430 MPa}}$$

$$m_n = 2,57655 mm \rightarrow \text{gewählt } m_n = \underline{2,5 mm}$$

##### Stufe 2

Annahmen für die Modulabschätzung:

- $\beta = 10^\circ$
- $z_3 = 31$
- $S_F = 1,5$
- $\sigma_{Flim} = 430 MPa$

$$m_n = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot K_A \cdot M_t \cdot \cos^2 \beta}{z_3^2 \cdot \frac{b}{d_1}} \cdot \frac{S_F}{\sigma_{Flim}}}$$

$$m_n = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 1,1 \cdot 1221,11864 Nm \cdot \cos^2(10^\circ)}{31^2 \cdot 0,6} \cdot \frac{1,5}{430 MPa}}$$

$$m_n = 3,40296 mm \rightarrow \text{gewählt } m_n = \underline{3 mm}$$

### 3.1.2.2 Mindestteilkreisdurchmesser

Stufe 1

$$t_2 = 3,3 mm \text{ aus II } 6/3$$

$$d_{1min} \geq d_{Welle1} + 2(t_2 + 2,5 \cdot m_n + 1,25 \cdot m_n)$$

$$d_{1min} \geq 43 mm + 2(3,3 mm + 2,5 \cdot 2,5 mm + 1,25 \cdot 2,5 mm)$$

$$d_{1min} = \underline{68,35 mm}$$

Stufe 2

$$t_2 = 4,6 mm \text{ aus II } 6/3$$

$$d_{2min} \geq d_{Welle2} + 2(t_2 + 2,5 \cdot m_n + 1,25 \cdot m_n)$$

$$d_{2min} \geq 62 mm + 2(4,6 mm + 2,5 \cdot 3 mm + 1,25 \cdot 3 mm)$$

$$d_{2min} = \underline{93,7 mm}$$

### 3.1.2.3 Mindestzähnezahlen

#### Stufe 1

$$\begin{aligned}m_{t1} &= \frac{m_n}{\cos\beta} \\m_{t1} &= \frac{2,5mm}{\cos 10^\circ} \\m_{t1} &= 2,53857mm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}z_{1min} &= \frac{d_{1min}}{m_t} \\z_{1min} &= \frac{68,35mm}{2,53857mm}\end{aligned}$$

$$z_{1min} = 26,9 \rightarrow \text{gewählt } z_1 = \underline{27}$$

#### Stufe 2

$$\begin{aligned}m_{t2} &= \frac{m_n}{\cos\beta} \\m_{t2} &= \frac{3mm}{\cos 10^\circ} \\m_{t2} &= 3,04628mm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}z_{3min} &= \frac{d_{2min}}{m_t} \\z_{3min} &= \frac{93,7mm}{3,04628mm}\end{aligned}$$

$$z_{3min} = 30,7 \rightarrow \text{gewählt } z_3 = \underline{31}$$

#### **3.1.2.4 Aufteilung Übersetzungsverhältnis und Auswahl Zähnezahlen**

Aus  $i_{ges;soll} = i_1 \cdot i_2$  und  $i_2 \approx 0,85 \cdot i_1$  folgt:

$$\begin{aligned}i_1 &\approx \frac{\sqrt{i_{ges}}}{0,85} = 3,328 \\&\rightarrow \text{gewählt } i_1 = 3\end{aligned}$$

$$i_2 = \frac{i_{ges}}{i_1}$$

$$i_2 = \frac{8}{3}$$

$$z_2 = i_1 \cdot z_1$$

$$z_2 = 3 \cdot 27$$

$$z_2 = 81 \rightarrow \text{gewählt } z_2 = \underline{82}$$

$$z_4 = i_2 \cdot z_3$$

$$z_4 = \frac{8}{3} \cdot 31$$

$$z_4 = 82, \bar{6} \rightarrow \text{gewählt } z_4 = \underline{83}$$

Es wurde  $z_2 = 82$  gewählt, da 27 und 82 zueinander teilerfremd sind. Analog wurde die Auswahl für  $z_4$  vorgenommen

	Stufe 1	Stufe 2
Ritzel	$z_1 = 27$	$z_3 = 31$
Rad	$z_2 = 82$	$z_4 = 83$

$$i_{ges;ist} = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3}$$

$$i_{ges;ist} = \frac{82}{27} \cdot \frac{83}{31}$$

$$i_{ges;ist} = 8,13142$$

$$\Delta i = \frac{i_{ges;ist} - i_{ges;soll}}{i_{ges;soll}}$$

$$\Delta i = 0,01643 = \underline{1,643\%}$$

$$-3\% < \Delta i < 3\% \rightarrow i.O.$$

### 3.1.2.5 Achsabstände

#### Stufe 1

$$\begin{aligned}a_{d1} &= m_{t1} \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} \\a_{d1} &= 2,53857mm \cdot \frac{27 + 82}{2} \\a_{d1} &= 138,35188mm \rightarrow \text{gewählt } a_1 = \underline{140mm}\end{aligned}$$

#### Stufe 2

$$\begin{aligned}a_{d2} &= m_{t2} \cdot \frac{z_3 + z_4}{2} \\a_{d2} &= 3,04628mm \cdot \frac{31 + 83}{2} \\a_{d2} &= 173,63795mm \rightarrow \text{gewählt } a_2 = \underline{175mm}\end{aligned}$$

### 3.1.2.6 Profilverschiebung der Zahnräder

$$\begin{aligned}\alpha_t &= \arctan\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) \\ \alpha_t &= \arctan\left(\frac{\tan(20^\circ)}{\cos(10^\circ)}\right) \\ \alpha_t &= \underline{20,28356^\circ}\end{aligned}$$

### Stufe 1

$$\begin{aligned}\alpha_{wt1} &= \arccos\left(\frac{a_{d1}}{a_1} \cdot \cos(\alpha_t)\right) \\ \alpha_{wt1} &= \arccos\left(\frac{138,35188mm}{140mm} \cdot \cos(20,28356^\circ)\right) \\ \alpha_{wt1} &= 22,03632^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(x_1 + x_2)_1 &= (z_1 + z_2) \cdot \frac{\text{inv}(\alpha_{wt1}) - \text{inv}(\alpha_t)}{2 \cdot \tan(\alpha_n)} \\ (x_1 + x_2)_1 &= (27 + 82) \cdot \frac{\text{inv}(22,03632^\circ) - \text{inv}(20,28356^\circ)}{2 \cdot \tan(20^\circ)} \\ (x_1 + x_2)_1 &= 0,6868893405\end{aligned}$$

$x_1$  wurde durch Berechnung mit KissSoft so gewählt, dass es zu einem optimalen spezifischem Gleiten kommt

$$(x_1)_1 = \underline{0,3842}$$

$$\begin{aligned}(x_2)_1 &= (x_1 + x_2)_1 - (x_1)_1 \\ (x_2)_1 &= \underline{0,3026893405}\end{aligned}$$

### Stufe 2

$$\begin{aligned}\alpha_{wt2} &= \arccos\left(\frac{a_{d2}}{a_2} \cdot \cos(\alpha_t)\right) \\ \alpha_{wt2} &= \arccos\left(\frac{173,63795mm}{175mm} \cdot \cos(20,28356^\circ)\right) \\ \alpha_{wt2} &= 21,45769^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(x_1 + x_2)_2 &= (z_3 + z_4) \cdot \frac{\text{inv}(\alpha_{wt2}) - \text{inv}(\alpha_t)}{2 \cdot \tan(\alpha_n)} \\ (x_1 + x_2)_2 &= (31 + 83) \cdot \frac{\text{inv}(21,45769^\circ) - \text{inv}(20,28356^\circ)}{2 \cdot \tan(20^\circ)} \\ (x_1 + x_2)_2 &= 0,4667160627\end{aligned}$$

$x_1$  wurde durch Berechnung mit KissSoft so gewählt, dass es zu einem optimalen spezifischem Gleiten kommt

$$(x_1)_2 = \underline{0,6026}$$

$$(x_2)_2 = (x_1 + x_2)_2 - (x_1)_2$$

$$(x_2)_2 = \underline{-0,1538839373}$$

### 3.1.3 Welle-Nabe-Verbindungen

#### 3.1.3.1 Passfeder Kupplung Eingangswelle

Daten an der Passfederstelle:

- $d = 46,5mm \rightarrow b = 14mm ; h = 9mm$
- $i = 1 \rightarrow \varphi = 1$
- $M_t = 402,07565Nm$
- $K_A = 1,1$
- $p_w = 0,9 \cdot R_e = 0,9 \cdot 580MPa = 522MPa$
- $t_1 = 5,5mm$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot M_t \cdot K_A}{d \cdot t_1 \cdot p_w \cdot (i \cdot \varphi)}$$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot 402,075,65Nmm \cdot 1,1}{46,5mm \cdot 5,5mm \cdot 522MPa \cdot (1 \cdot 1)}$$

$$erf. l_{tr} = 6,63mm \rightarrow gew\ddot{a}hlt l_{tr} = \underline{22mm}$$

Es wurde  $l_{tr} = 22mm$  gewählt, da mit dieser tragenden Länge die laut DIN 6885 erforderliche Mindestlänge einer Passfeder mit einem Rohrdurchmesser von  $46,5mm$  bei einer Breite von  $b = 14mm$  erreicht wird. Die Berechnung der erforderlichen tragenden Länge wurde für die Welle berechnet, da die Nabe einen höherwertigen Werkstoff besitzt.

(Welle : C60 ; Nabe : 16MnCr5)

$$erf. l = erf. l_{tr} + b$$

$$erf. l = 22mm + 14mm$$

$$erf. l = \underline{36mm} \rightarrow genormteLnge$$

Vorgabe:

$$l_{tr} < 1,3 \cdot d$$

$$22mm < 1,3 \cdot 46,5mm$$

$$22mm < 60,45mm \rightarrow i.O.$$

### 3.1.3.2 Passfeder Ritzel Stufe 1

Daten an der Passfederstelle:

- $d = 38mm \rightarrow b = 10mm ; h = 8mm$
- $i = 1 \rightarrow \varphi = 1$
- $M_t = 402,07565Nm$
- $K_A = 1,1$
- $p_w = 0,9 \cdot R_e = 0,9 \cdot 580MPa = 522MPa$
- $t_1 = 5mm$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot M_t \cdot K_A}{d \cdot t_1 \cdot p_w \cdot (i \cdot \varphi)}$$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot 402,075,65Nmm \cdot 1,1}{38mm \cdot 5mm \cdot 522MPa \cdot (1 \cdot 1)}$$

$$erf. l_{tr} = 8,92mm \rightarrow gew\u00e4hlt l_{tr} = \underline{26mm}$$



Es wurde  $l_{tr} = 26mm$  gewählt, da mit dieser tragenden Länge die genauen durch KissSoft berechneten Sicherheiten gut erfüllt werden. Die Berechnung der erforderlichen tragenden Länge wurde für die Welle berechnet, da die Nabe einen höherwertigen Werkstoff besitzt.

(Welle : C60 ; Nabe : 16MnCr5)

$$erf. l = erf. l_{tr} + b$$

$$erf. l = 26mm + 10mm$$

$$erf. l = \underline{36mm} \rightarrow genormteLnge$$

Vorgabe:

$$l_{tr} < 1,3 \cdot d$$

$$26mm < 1,3 \cdot 38mm$$

$$26mm < 49,4mm \rightarrow i.O.$$

### 3.1.3.3 Passfeder Rad Stufe 1

Daten an der Passfederstelle:

- $d = 60mm \rightarrow b = 18mm ; h = 11mm$
- $i = 1 \rightarrow \varphi = 1$
- $M_t = 1.221,11864Nm$
- $K_A = 1,1$
- $p_w = 0,9 \cdot R_e = 0,9 \cdot 360MPa = 324MPa$
- $t_1 = 7mm$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot M_t \cdot K_A}{d \cdot t_1 \cdot p_w \cdot (i \cdot \varphi)}$$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot 1.221,118,64Nmm \cdot 1,1}{46,5mm \cdot 7mm \cdot 324MPa \cdot (1 \cdot 1)}$$

$$erf. l_{tr} = 19,74mm \rightarrow gew\ddot{a}hlt l_{tr} = \underline{45mm}$$

Es wurde  $l_{tr} = 45mm$  gewählt, da mit dieser tragenden Länge die genauen durch KissSoft berechneten Sicherheiten gut erfüllt werden. Die Berechnung der erforderlichen tragenden Länge wurde für die Welle berechnet, da die Nabe einen höherwertigen Werkstoff besitzt.

(Welle : E360 ; Nabe : 16MnCr5)

$$erf. l = erf. l_{tr} + b$$

$$erf. l = 45mm + 18mm$$

$$erf. l = \underline{63mm} \rightarrow genormteLnge$$

Vorgabe:

$$l_{tr} < 1,3 \cdot d$$

$$45mm < 1,3 \cdot 60mm$$

$$45mm < 78mm \rightarrow i.O.$$

### 3.1.3.4 Passfeder Ritzel Stufe 2

Daten an der Passfederstelle:

- $d = 58mm \rightarrow b = 16mm ; h = 10mm$
- $i = 1 \rightarrow \varphi = 1$
- $M_t = 1.221,11864Nm$
- $K_A = 1,1$
- $p_w = 0,9 \cdot R_e = 0,9 \cdot 360MPa = 324MPa$
- $t_1 = 6mm$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot M_t \cdot K_A}{d \cdot t_1 \cdot p_w \cdot (i \cdot \varphi)}$$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot 1.221,118,64Nmm \cdot 1,1}{58mm \cdot 6mm \cdot 324MPa \cdot (1 \cdot 1)}$$

$$erf. l_{tr} = 28,5mm \rightarrow gew\ddot{a}hlt l_{tr} = \underline{47mm}$$

Es wurde  $l_{tr} = 47mm$  gewählt, da mit dieser tragenden Länge die genauen durch KissSoft berechneten Sicherheiten gut erfüllt werden. Die Berechnung der erforderlichen tragenden Länge wurde für die Welle berechnet, da die Nabe einen höherwertigen Werkstoff besitzt.

(Welle : E360 ; Nabe : 16MnCr5)

$$erf. l = erf. l_{tr} + b$$

$$erf. l = 47mm + 16mm$$

$$erf. l = \underline{63mm} \rightarrow genormteLnge$$

Vorgabe:

$$l_{tr} < 1,3 \cdot d$$

$$47mm < 1,3 \cdot 58mm$$

$$47mm < 75,4mm \rightarrow i.O.$$

### 3.1.3.5 Passfeder Rad Stufe 2

Daten an der Passfederstelle:

- $d = 85mm \rightarrow b = 22mm ; h = 14mm$
- $i = 1 \rightarrow \varphi = 1$
- $M_t = 3.269,44668Nm$
- $K_A = 1,1$
- $p_w = 0,9 \cdot R_e = 0,9 \cdot 235MPa = 211,5MPa$
- $t_1 = 9mm$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot M_t \cdot K_A}{d \cdot t_1 \cdot p_w \cdot (i \cdot \varphi)}$$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot 3.269,446,68Nmm \cdot 1,1}{85mm \cdot 9mm \cdot 211,5MPa \cdot (1 \cdot 1)}$$

$$erf. l_{tr} = 44,46mm \rightarrow gew\ddot{a}hlt l_{tr} = \underline{58mm}$$

Es wurde  $l_{tr} = 58mm$  gewählt, da mit dieser tragenden Länge die genauen durch KissSoft berechneten Sicherheiten gut erfüllt werden. Die Berechnung der erforderlichen tragenden Länge wurde für die Welle berechnet, da die Nabe einen höherwertigen Werkstoff besitzt.

(Welle : S235JR ; Nabe : 16MnCr5)

$$erf. l = erf. l_{tr} + b$$

$$erf. l = 58mm + 20mm$$

$$erf. l = \underline{80mm} \rightarrow genormteLnge$$

Vorgabe:

$$l_{tr} < 1,3 \cdot d$$

$$58mm < 1,3 \cdot 85mm$$

$$58mm < 110,5mm \rightarrow i.O.$$

### 3.1.3.6 Passfeder Kupplung Ausgangswelle

Daten an der Passfederstelle:

- $d = 70mm \rightarrow b = 20mm ; h = 12mm$
- $i = 1 \rightarrow \varphi = 1$
- $M_t = 3.269,44668Nm$
- $K_A = 1,1$
- $p_w = 0,9 \cdot R_e = 0,9 \cdot 235MPa = 211,5MPa$
- $t_1 = 7,5mm$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot M_t \cdot K_A}{d \cdot t_1 \cdot p_w \cdot (i \cdot \varphi)}$$

$$erf. l_{tr} = \frac{2 \cdot 3.269,446,68Nmm \cdot 1,1}{70mm \cdot 7mm \cdot 211,5MPa \cdot (1 \cdot 1)}$$

$$erf. l_{tr} = 64,8mm \rightarrow gew\ddot{a}hlt l_{tr} = \underline{120mm}$$

Es wurde  $l_{tr} = 120mm$  gewählt, da mit dieser tragenden Länge die genauen durch KissSoft berechneten Sicherheiten gut erfüllt werden. Die Berechnung der erforderlichen tragenden Länge wurde für die Welle berechnet, da die Nabe einen höherwertigen Werkstoff besitzt.  
(Welle : S235JR ; Nabe : 16MnCr5)

$$erf. l = erf. l_{tr} + b$$

$$erf. l = 120mm + 20mm$$

$$erf. l = \underline{140mm} \rightarrow genormteLnge$$

Vorgabe:

$$l_{tr} < 1,3 \cdot d$$

$$58mm < 1,3 \cdot 85mm$$

$$58mm < 110,5mm \rightarrow i.O.$$

### **3.1.4 Lager**

#### **3.1.4.1 Loslager Eingangswelle**

#### **3.1.4.2 Festlager Eingangswelle**

#### **3.1.4.3 Loslager Zwischenwelle**

#### **3.1.4.4 Festlager Zwischenwelle**

#### **3.1.4.5 Loslager Ausgangswelle**

#### **3.1.4.6 Festlager Ausgangswelle**

## 3.2 Nachrechnung Antriebswelle per Hand

### 3.2.1 Festigkeitsnachweiß an gefährdeten Stellen

#### 3.2.1.1 Freistich am Zahnrad Richtung Festlager

Belastungen an dieser Stellen:

$$M_{bx} = 291.891,2875 Nmm \approx 291.891 Nmm$$

$$M_{by} = 146.657,865 Nmm \approx 146.658 Nmm$$

$$F_L = 2.044,38 N$$

$$M_t = 402.075,6457 Nmm \approx 402.076 Nmm$$

$$\begin{aligned} M_{bres} &= \sqrt{(M_{bx})^2 + (M_{by})^2} \\ &= \sqrt{(291.891 Nmm)^2 + (146.658 Nmm)^2} \\ &= 326.663,3203 Nmm \approx 326.663 Nmm \end{aligned}$$

Zulässige Maximalspannungen

$$R_e = 580 \frac{N}{mm^2}$$

$$R_m = 850 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{zdW} \approx 0,4 \cdot R_m = 340 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bW} \approx 0,5 \cdot R_m = 425 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tW} \approx 0,3 \cdot R_m = 255 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bF} \approx 1,1 \cdot R_e = 638 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tF} \approx \frac{1,1}{\sqrt{3}} \cdot R_e \approx 368 \frac{N}{mm^2}$$

Berechnung:

$$d = 37,4mm$$

$$A = \frac{\pi \cdot (37,4mm)^2}{4} = 1098,583535mm^2 \approx 1099mm^2$$

$$W_b = \frac{\pi \cdot (37,4mm)^3}{32} = 5135,878026mm^3 \approx 5136mm^3$$

$$W_t = \frac{\pi \cdot (37,4mm)^3}{16} = 10271,75605mm^3 \approx 10272mm^3$$

$$\begin{aligned} \alpha_{\sigma,zd} &= 1 + \frac{1}{\sqrt{0,62 \cdot \frac{0,8mm}{9,3mm} + 7 \cdot \frac{0,8mm}{37,4mm} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{0,8mm}{37,4mm}\right)^2}} \\ &= 3,150904031 \approx 3,151 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{\sigma,b} &= 1 + \frac{1}{\sqrt{0,62 \cdot \frac{0,8mm}{9,3mm} + 11,6 \cdot \frac{0,8mm}{37,4mm} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{0,8mm}{37,4mm}\right)^2 + 0,2 \cdot \left(\frac{0,8mm}{9,3mm}\right)^3 \cdot \frac{37,4mm}{56mm}}} \\ &= 2,758909365 \approx 2,759 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{\tau,t} &= 1 + \frac{1}{\sqrt{3,4 \cdot \frac{0,8mm}{9,3mm} + 38 \cdot \frac{0,8mm}{37,4mm} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{0,8mm}{37,4mm}\right)^2 + \left(\frac{0,8mm}{9,3mm}\right)^2 \cdot \frac{37,4mm}{56mm}}} \\ &= 1,920074077 \approx 1,92 \end{aligned}$$

$$\varphi = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{\frac{9,3mm}{0,8mm}} + 2} = 0,06394605328 \approx 0,064$$

$$K_{1D \text{ aus } Re} = 0,82$$

Zug/Druck und Biegung:

$$G' = \frac{2,3 \cdot (1 + 0,064)}{0,8mm} = 3,059 \frac{1}{mm}$$

$$n = 1 + \sqrt{3,059 \frac{1}{mm} \cdot 10^{-\left(0,33 + \frac{0,82 \cdot 580 \frac{N}{mm^2}}{712MPa}\right)}} = 1,175716365 \approx 1,176$$

$$\beta_{\sigma;zd} = \frac{3,151}{1,176} = 2,679421769 \approx 2,679$$

$$\beta_{\sigma;b} = \frac{2,759}{1,176} = 2,346088435 \approx 2,346$$

Torsion:

$$G' = \frac{1,15}{0,8mm} = 1,4375 \frac{1}{mm}$$

$$n = 1 + \sqrt{1,4375 \frac{1}{mm} \cdot 10^{-\left(0,33 + \frac{0,82 \cdot 580 \frac{N}{mm^2}}{712MPa}\right)}} = 1,120455435 \approx 1,12$$

$$\beta_{\tau} = \frac{1,92}{1,12} = 1,714285714 \approx 1,714$$



Berechnungswerte:

$$K_{1 \text{ aus } Rm} = 0,9 \text{ (II 1/18)}$$

$$K_{1 \text{ aus } Re} = 0,82 \text{ (II 1/18)}$$

$$K_{2;b,\tau} = 0,89 \text{ (II 1/18)}$$

$$K_{2;zd} = 1 \text{ (II 1/18)}$$

$$\begin{aligned} K_{F\sigma} &= 1 - 0,22 \cdot \lg \left( \frac{R_z}{\mu m} \right) \cdot \left( \lg \left( \frac{\sigma_B(d)}{20 \frac{N}{mm^2}} \right) - 1 \right) \\ &= 1 - 0,22 \cdot \lg \left( \frac{8\mu m}{\mu m} \right) \cdot \left( \lg \left( \frac{0,82 \cdot 850 \frac{N}{mm^2}}{20 \frac{N}{mm^2}} \right) - 1 \right) \\ &= 0,892275612 \approx 0,892 \end{aligned}$$

$$K_{F\tau} = 0,575 \cdot 0,892275612 + 0,425 = 0,9380582752 \approx 0,938$$

$$K_V = 1$$

$$\begin{aligned} K_{\sigma;zd} &= \left( \frac{\beta_\sigma}{K_{2;zd}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \\ &= \left( \frac{2,679}{1} + \frac{1}{0,875} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1} \\ &= 2,800151424 \approx 2,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{\sigma;b} &= \left( \frac{\beta_\sigma}{K_{2;b}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \\ &= \left( \frac{2,346}{0,89} + \frac{1}{0,875} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1} \\ &= 2,756784369 \approx 2,757 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_\tau &= \left( \frac{\beta_\tau}{K_{2;t}} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \\ &= \left( \frac{1,714}{0,89} + \frac{1}{0,938} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1} \\ &= 1,992229669 \approx 1,992 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{zdFK} &= K_{1\ R_e} \cdot R_e \cdot \gamma_F \\
&= 0,82 \cdot 580 \frac{N}{mm^2} \cdot 1 \\
&= 475,6 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{bFK} &= K_{1\ R_e} \cdot \sigma_{bF} \cdot \gamma_F \\
&= 0,82 \cdot 638 \frac{N}{mm^2} \cdot 1 \\
&= 523,16 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{tFK} &= K_{1\ R_e} \cdot \tau_{tF} \cdot \gamma_F \\
&= 0,82 \cdot 368 \frac{N}{mm^2} \cdot 1 \\
&= 301,76 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{zdWK} &= \frac{\sigma_{zdW} \cdot K_{1;R_m}}{K_\sigma} \\
&= \frac{340 \frac{N}{mm^2} \cdot 0,9}{2,8} \\
&= 109,2857143 \frac{N}{mm^2} \approx 109,286 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{bWK} &= \frac{\sigma_{bW} \cdot K_{1;R_m}}{K_\sigma} \\
&= \frac{425 \frac{N}{mm^2} \cdot 0,9}{2,757} \\
&= 138,7486103 \frac{N}{mm^2} \approx 138,749 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{tWK} &= \frac{\tau_{tW} \cdot K_{1;R_m}}{K_\tau} \\
&= \frac{255 \frac{N}{mm^2} \cdot 0,9}{1,992} \\
&= 115,1975616 \frac{N}{mm^2} \approx 115,198 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{zdm} &= \frac{F_L}{A} \\
&= \frac{2044,38N}{1099mm^2} \\
&= 1,86021838 \frac{N}{mm^2} \approx 1,86 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{zda} &= \sigma_{zdm} \cdot K_A - \sigma_{zdm} \\
&= 0,186 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\sigma_{bm} = 0, \text{ da wechselnd}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{ba} &= \frac{M_{bres}}{W_b} \\
&= \frac{326663 \frac{N}{mm^2}}{5136mm^3} = 63,60260903 \frac{N}{mm^2} \approx 63,6 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{tm} &= \frac{M_{tres}}{W_t} \\
&= \frac{402076Nmm}{10272mm^3} = 39,14291277 \frac{N}{mm^2} \approx 39,14 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{ta} &= \tau_{tm} \cdot K_A - \tau_{tm} \\
&= 3,914 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\psi_{zd\sigma K} &= \frac{\sigma_{zdWK}}{2 \cdot K_1 \cdot R_m - \sigma_{zdWK}} \\
&= \frac{109,286 \frac{N}{mm^2}}{2 \cdot 0,9 \cdot 850 \frac{N}{mm^2} - 109,286 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,07724450519 \approx 0,077
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\psi_{b\sigma K} &= \frac{\sigma_{bWK}}{2 \cdot K_1 \cdot R_m - \sigma_{bWK}} \\
&= \frac{138,749 \frac{N}{mm^2}}{2 \cdot 0,9 \cdot 850 \frac{N}{mm^2} - 138,749 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,09972935969 \approx 0,1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\psi_{t\tau K} &= \frac{\tau_{tWK}}{2 \cdot K_1 \cdot R_m - \tau_{tWK}} \\
&= \frac{115,198 \frac{N}{mm^2}}{2 \cdot 0,9 \cdot 850 \frac{N}{mm^2} - 115,198 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,08142307255 \approx 0,081
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{mv} &= \sqrt{(\sigma_{zdm} + \sigma_{bm})^2 + 3 \cdot (\tau_{tm})^2} \\
&= \sqrt{\left(1,86 \frac{N}{mm^2} + 0 \frac{N}{mm^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(39,14 \frac{N}{mm^2}\right)^2} \\
&= 67,81797992 \frac{N}{mm^2} \approx 67,82 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{tmv} &= \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}} \\
&= \frac{67,82 \frac{N}{mm^2}}{\sqrt{3}} \\
&= 39,15472896 \frac{N}{mm^2} \approx 39,15 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{zd\sigma Kv} &= \frac{\sigma_{mv} - \sigma_{zda}}{\sigma_{mv} + \sigma_{zda}} \\
&= \frac{67,82 \frac{N}{mm^2} - 0,186 \frac{N}{mm^2}}{67,82 \frac{N}{mm^2} + 0,186 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,9945298944 \approx 0,995
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{zdG} &= \frac{1 + \psi_{zd\sigma K} - 2 \cdot \frac{\sigma_{zdWK}}{\sigma_{zdFK}}}{1 - \psi_{zd\sigma K}} \\
&= \frac{1 + 0,077 - 2 \cdot \frac{109,286 \frac{N}{mm^2}}{475,6 \frac{N}{mm^2}}}{1 - 0,077} \\
&= 0,6693806127 \approx 0,669
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{zd\sigma Kv} &> R_{zdG} : \\
\sigma_{zdADK} &= \frac{\sigma_{zdFK}}{1 + \sigma_{mv}/\sigma_{zda}} \\
&= \frac{475,6 \frac{N}{mm^2}}{1 + \frac{67,82 \frac{N}{mm^2}}{0,186 \frac{N}{mm^2}}} \\
&= 1,300829747 \frac{N}{mm^2} \approx 1,301 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{b\sigma Kv} &= \frac{\sigma_{mv} - \sigma_{ba}}{\sigma_{mv} + \sigma_{ba}} \\
&= \frac{67,82 \frac{N}{mm^2} - 63,6 \frac{N}{mm^2}}{67,82 \frac{N}{mm^2} + 63,6 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,03211078983 \approx 0,032
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{bG} &= \frac{1 + \psi_{b\sigma K} - 2 \cdot \frac{\sigma_{bWK}}{\sigma_{bFK}}}{1 - \psi_{b\sigma K}} \\
&= \frac{1 + 0,1 - 2 \cdot \frac{138,749 \frac{N}{mm^2}}{523,16 \frac{N}{mm^2}}}{1 - 0,1} \\
&= 0,6323700741 \approx 0,632
\end{aligned}$$

$$R_{b\sigma Kv} < R_{bG} :$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{bADK} &= \frac{\sigma_{bWK}}{1 + \psi_{b\sigma K} \cdot \sigma_{mv} / \sigma_{ba}} \\
&= \frac{138,749 \frac{N}{mm^2}}{1 + 0,1 \cdot \frac{67,82 \frac{N}{mm^2}}{63,6 \frac{N}{mm^2}}} \\
&= 125,4122302 \frac{N}{mm^2} \approx \underline{125,412} \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{t\tau Kv} &= \frac{\tau_{tmv} - \tau_{ta}}{\tau_{tmv} + \tau_{ta}} \\
&= \frac{39,15 \frac{N}{mm^2} - 3,914 \frac{N}{mm^2}}{39,15 \frac{N}{mm^2} + 3,914 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,8182240386 \approx 0,818
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{tG} &= \frac{1 + \psi_{t\tau K} - 2 \cdot \frac{\tau_{tWK}}{\tau_{tFK}}}{1 - \psi_{t\tau K}} \\
&= \frac{1 + 0,081 - 2 \cdot \frac{115,198 \frac{N}{mm^2}}{301,76 \frac{N}{mm^2}}}{1 - 0,081} \\
&= 0,346098999 \approx 0,346
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{t\tau Kv} &> R_{tG} \\
\tau_{tADK} &= \frac{\tau_{tFK}}{1 + \tau_{tmv}/\tau_{ta}} \\
&= \frac{301,76 \frac{N}{mm^2}}{1 + 39,15 \frac{N}{mm^2} / 3,914 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 27,42635705 \frac{N}{mm^2} \approx \underline{27,426} \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

Sicherheiten Dauerfestigkeit:

$$\begin{aligned}
 S_{D;zd} &= \frac{\sigma_{zdADK}}{\sigma_{zda}} \\
 &= \frac{1,301 \frac{N}{mm^2}}{0,186 \frac{N}{mm^2}} \\
 &= \underline{\underline{6,993709317}} \approx 6,994
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{D;b} &= \frac{\sigma_{bADK}}{\sigma_{bda}} \\
 &= \frac{125,412 \frac{N}{mm^2}}{63,6 \frac{N}{mm^2}} \\
 &= \underline{\underline{1,971890412}} \approx 1,972
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{D;t} &= \frac{\tau_{tADK}}{\tau_{tda}} \\
 &= \frac{27,426 \frac{N}{mm^2}}{3,914 \frac{N}{mm^2}} \\
 &= \underline{\underline{7,007245031}} \approx 7,007
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_D &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{S_{D;zd}} + \frac{1}{S_{D;b}}\right)^2 + \left(\frac{1}{S_{D;t}}\right)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{6,994} + \frac{1}{1,972}\right)^2 + \left(\frac{1}{7,007}\right)^2}} \\
 &= 1,502421074 \approx \underline{\underline{1,502}}
 \end{aligned}$$



Sicherheiten Fließen:

$$\begin{aligned}
S_{F;zd} &= \frac{\sigma_{zdFK}}{\sigma_{zdmax}} = \frac{\sigma_{zdFK}}{\sigma_{zdm} \cdot K_A} \\
&= \frac{475,6 \frac{N}{mm^2}}{1,86 \frac{N}{mm^2} \cdot 1,1} \\
&= 232,4535679 \approx 232,454
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{F;b} &= \frac{\sigma_{bFK}}{\sigma_{bmax}} = \frac{\sigma_{bFK}}{\sigma_{ba}} \\
&= \frac{523,16 \frac{N}{mm^2}}{63,6 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 7,477987421 \approx 7,478
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{F;t} &= \frac{\tau_{tFK}}{\tau_{tmax}} = \frac{\tau_{tFK}}{\tau_{tm} \cdot K_A} \\
&= \frac{301,76 \frac{N}{mm^2}}{39,14 \frac{N}{mm^2} \cdot 1,1} \\
&= 7,008872579 \approx 7,009
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_F &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{S_{F;zd}} + \frac{1}{S_{F;b}}\right)^2 + \left(\frac{1}{S_{F;t}}\right)^2}} \\
&= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{232,454} + \frac{1}{7,478}\right)^2 + \left(\frac{1}{7,009}\right)^2}} \\
&= 5,037403861 \approx \underline{\underline{5,037}}
\end{aligned}$$

### 3.2.1.2 Passfeder

Belastungen an dieser Stellen:

$$M_{bx} = 324.026,1475 Nmm \approx 324.026 Nmm$$

$$M_{by} = 162.803,685 Nmm \approx 162.804 Nmm$$

$$F_L = 2.044,38 N$$

$$M_t = 402.075,6457 Nmm \approx 402.076 Nmm$$

$$\begin{aligned} M_{bres} &= \sqrt{(M_{bx})^2 + (M_{by})^2} \\ &= \sqrt{(324.026 Nmm)^2 + (162.804 Nmm)^2} \\ &= 362.626,517 Nmm \approx 362.627 Nmm \end{aligned}$$

Zulässige Maximalspannungen

$$R_e = 580 \frac{N}{mm^2}$$

$$R_m = 850 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{zdW} \approx 0,4 \cdot R_m = 340 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bW} \approx 0,5 \cdot R_m = 425 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tW} \approx 0,3 \cdot R_m = 255 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bF} \approx 1,1 \cdot R_e = 638 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tF} \approx \frac{1,1}{\sqrt{3}} \cdot R_e \approx 368 \frac{N}{mm^2}$$

Berechnung:

$$d = 38mm$$

$$A = \frac{\pi \cdot (38mm)^2}{4} = 1.134,114948mm^2 \approx 1.134mm^2$$

$$W_b = \frac{\pi \cdot (38mm)^3}{32} = 5.387,046003mm^3 \approx 5.387mm^3$$

$$W_t = \frac{\pi \cdot (38mm)^3}{16} = 10.774,09201mm^3 \approx 10.774mm^3$$

$$\beta_\sigma = 2,85 \text{ (II 1/17)}$$

$$\beta_\tau = 1,75 \text{ (II 1/17)}$$

$$K_{1 \text{ aus } Rm} = 0,9 \text{ (II 1/18)}$$

$$K_{1 \text{ aus } Re} = 0,87 \text{ (II 1/18)}$$

$$K_{2;b,\tau} = 0,89 \text{ (II 1/18)}$$

$$K_{2;zd} = 1 \text{ (II 1/18)}$$

$$\begin{aligned} K_{F\sigma} &= 1 - 0,22 \cdot \lg \left( \frac{R_z}{\mu m} \right) \cdot \left( \lg \left( \frac{\sigma_B(d)}{20 \frac{N}{mm^2}} \right) - 1 \right) \\ &= 1 - 0,22 \cdot \lg \left( \frac{8\mu m}{\mu m} \right) \cdot \left( \lg \left( \frac{0,9 \cdot 850 \frac{N}{mm^2}}{20 \frac{N}{mm^2}} \right) - 1 \right) \\ &= 0,884249038 \approx 0,884 \end{aligned}$$

$$K_{F\tau} = 0,575 \cdot 0,884249038 + 0,425 = 0,9334396697 \approx 0,933$$

$$K_V = 1$$

$$\begin{aligned}
K_{\sigma;zd} &= \left( \frac{\beta_{\sigma}}{K_{2;zd}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \\
&= \left( \frac{2,85}{1} + \frac{1}{0,884} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1} \\
&= 2,980850253 \approx 2,981
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{\sigma;b} &= \left( \frac{\beta_{\sigma}}{K_{2;b}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \\
&= \left( \frac{2,85}{0,89} + \frac{1}{0,884} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1} \\
&= 3,333097444 \approx 3,333
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{\tau} &= \left( \frac{\beta_{\tau}}{K_{2;t}} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \\
&= \left( \frac{1,75}{0,89} + \frac{1}{0,933} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1} \\
&= 2,03759865 \approx 2,038
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{zdFK} &= K_1 \cdot R_e \cdot R_e \cdot \gamma_F \\
&= 0,87 \cdot 580 \frac{N}{mm^2} \cdot 1 \\
&= 504,6 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{bFK} &= K_1 \cdot R_e \cdot \sigma_{bF} \cdot \gamma_F \\
&= 0,87 \cdot 638 \frac{N}{mm^2} \cdot 1 \\
&= 555,6 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{tFK} &= K_1 \cdot R_e \cdot \tau_{tF} \cdot \gamma_F \\
&= 0,87 \cdot 368 \frac{N}{mm^2} \cdot 1 \\
&= 320,16 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{zdWK} &= \frac{\sigma_{zdW} \cdot K_{1;R_m}}{K_\sigma} \\
&= \frac{340 \frac{N}{mm^2} \cdot 0,9}{2,981} \\
&= 102,6552742 \frac{N}{mm^2} \approx 102,655 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{bWK} &= \frac{\sigma_{bW} \cdot K_{1;R_m}}{K_\sigma} \\
&= \frac{425 \frac{N}{mm^2} \cdot 0,9}{3,333} \\
&= 114,7581211 \frac{N}{mm^2} \approx 114,758 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{tWK} &= \frac{\tau_{tW} \cdot K_{1;R_m}}{K_\tau} \\
&= \frac{255 \frac{N}{mm^2} \cdot 0,9}{2,038} \\
&= 112,6325835 \frac{N}{mm^2} \approx 112,633 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{zdm} &= \frac{F_L}{A} \\
&= \frac{2044,38N}{1134mm^2} \\
&= 1,802804233 \frac{N}{mm^2} \approx 1,8 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{zda} &= \sigma_{zdm} \cdot K_A - \sigma_{zdm} \\
&= 0,18 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\sigma_{bm} = 0, \text{ da wechselnd}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{ba} &= \frac{M_{bres}}{W_b} \\
&= \frac{362.627 \frac{N}{mm^2}}{5387mm^3} = 67,31520327 \frac{N}{mm^2} \approx 67,3 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{tm} &= \frac{M_{tres}}{W_t} \\
&= \frac{402076 N mm}{10774 mm^3} = 37,31910154 \frac{N}{mm^2} \approx 37,3 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{ta} &= \tau_{tm} \cdot K_A - \tau_{tm} \\
&= 3,73 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\psi_{zd\sigma K} &= \frac{\sigma_{zdWK}}{2 \cdot K_1 \cdot R_m - \sigma_{zdWK}} \\
&= \frac{102,655 \frac{N}{mm^2}}{2 \cdot 0,9 \cdot 850 \frac{N}{mm^2} - 102,655 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,07192044945 \approx 0,072
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\psi_{b\sigma K} &= \frac{\sigma_{bWK}}{2 \cdot K_1 \cdot R_m - \sigma_{bWK}} \\
&= \frac{114,758 \frac{N}{mm^2}}{2 \cdot 0,9 \cdot 850 \frac{N}{mm^2} - 114,758 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,08108728464 \approx 0,081
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\psi_{t\tau K} &= \frac{\tau_{tWK}}{2 \cdot K_1 \cdot R_m - \tau_{tWK}} \\
&= \frac{112,633 \frac{N}{mm^2}}{2 \cdot 0,9 \cdot 850 \frac{N}{mm^2} - 112,633 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,07936604539 \approx 0,079
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{mv} &= \sqrt{(\sigma_{zdm} + \sigma_{bm})^2 + 3 \cdot (\tau_{tm})^2} \\
&= \sqrt{\left(1,8 \frac{N}{mm^2} + 0 \frac{N}{mm^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(37,3 \frac{N}{mm^2}\right)^2} \\
&= 64,63056552 \frac{N}{mm^2} \approx 64,631 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{tmv} &= \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}} \\
&= \frac{64,631 \frac{N}{mm^2}}{\sqrt{3}} \\
&= 37,3144744 \frac{N}{mm^2} \approx 37,314 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{zd\sigma Kv} &= \frac{\sigma_{mv} - \sigma_{zda}}{\sigma_{mv} + \sigma_{zda}} \\
&= \frac{64,631 \frac{N}{mm^2} - 0,18 \frac{N}{mm^2}}{64,621 \frac{N}{mm^2} + 0,18 \frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,9944453017 \approx 0,994
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{zdG} &= \frac{1 + \psi_{zd\sigma K} - 2 \cdot \frac{\sigma_{zdWK}}{\sigma_{zdFK}}}{1 - \psi_{zd\sigma K}} \\
&= \frac{1 + 0,072 - 2 \cdot \frac{102,655 \frac{N}{mm^2}}{555,6 \frac{N}{mm^2}}}{1 - 0,072} \\
&= 0,7146777975 \approx 0,715
\end{aligned}$$

$$R_{zd\sigma Kv} > R_{zdG} :$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{zdADK} &= \frac{\sigma_{zdFK}}{1 + \sigma_{mv}/\sigma_{zda}} \\
&= \frac{504,6 \frac{N}{mm^2}}{1 + \frac{64,631 \frac{N}{mm^2}}{0,18 \frac{N}{mm^2}}} \\
&= 1,401450393 \frac{N}{mm^2} \approx 1,401 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{b\sigma Kv} &= \frac{\sigma_{mv} - \sigma_{ba}}{\sigma_{mv} + \sigma_{ba}} \\
&= \frac{64,631 \frac{N}{mm^2} - 67,3 \frac{N}{mm^2}}{64,631 \frac{N}{mm^2} + 67,3 \frac{N}{mm^2}} \\
&= -0,020238005 \approx -0,020
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{bG} &= \frac{1 + \psi_{b\sigma K} - 2 \cdot \frac{\sigma_{bWK}}{\sigma_{bFK}}}{1 - \psi_{b\sigma K}} \\
&= \frac{1 + 0,1 - 2 \cdot \frac{138,749 \frac{N}{mm^2}}{523,16 \frac{N}{mm^2}}}{1 - 0,1} \\
&= 0,6323700741 \approx 0,632
\end{aligned}$$

$$R_{b\sigma Kv} < R_{bG} :$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{bADK} &= \frac{\sigma_{bWK}}{1 + \psi_{b\sigma K} \cdot \sigma_{mv} / \sigma_{ba}} \\
&= \frac{114,758 \frac{N}{mm^2}}{1 + 0,082 \cdot \frac{64,631 \frac{N}{mm^2}}{67,3 \frac{N}{mm^2}}} \\
&= 106,4691374 \frac{N}{mm^2} \approx 106,469 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
R_{t\tau Kv} &= \frac{\tau_{tmv} - \tau_{ta}}{\tau_{tmv} + \tau_{ta}} \\
&= \frac{37,31\frac{N}{mm^2} - 3,73\frac{N}{mm^2}}{37,31\frac{N}{mm^2} + 3,73\frac{N}{mm^2}} \\
&= 0,8182261209 \approx 0,818
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{tG} &= \frac{1 + \psi_{t\tau K} - 2 \cdot \frac{\tau_{tWK}}{\tau_{tFK}}}{1 - \psi_{t\tau K}} \\
&= \frac{1 + 0,079 - 2 \cdot \frac{112,636\frac{N}{mm^2}}{320,16\frac{N}{mm^2}}}{1 - 0,079} \\
&= 0,4082889999 \approx 0,408
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{t\tau Kv} &> R_{tG} \\
\tau_{tADK} &= \frac{\tau_{tFK}}{1 + \tau_{tmv}/\tau_{ta}} \\
&= \frac{320,16\frac{N}{mm^2}}{1 + 37,31\frac{N}{mm^2}/3,73\frac{N}{mm^2}} \\
&= 20,09836257\frac{N}{mm^2} \approx \underline{\underline{29,098\frac{N}{mm^2}}}
\end{aligned}$$

Sicherheiten Dauerfestigkeit:

$$\begin{aligned}
 S_{D;zd} &= \frac{\sigma_{zdADK}}{\sigma_{zda}} \\
 &= \frac{1,401 \frac{N}{mm^2}}{0,18 \frac{N}{mm^2}} \\
 &= \underline{7,785835517} \approx 7,786
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{D;b} &= \frac{\sigma_{bADK}}{\sigma_{bda}} \\
 &= \frac{106,469 \frac{N}{mm^2}}{67,315 \frac{N}{mm^2}} \\
 &= \underline{1,581650686} \approx 1,582
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{D;t} &= \frac{\tau_{tADK}}{\tau_{tda}} \\
 &= \frac{29,098 \frac{N}{mm^2}}{3,73 \frac{N}{mm^2}} \\
 &= \underline{7,80116959} \approx 7,801
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_D &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{S_{D;zd}} + \frac{1}{S_{D;b}}\right)^2 + \left(\frac{1}{S_{D;t}}\right)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{7,786} + \frac{1}{1,582}\right)^2 + \left(\frac{1}{7,801}\right)^2}} \\
 &= 1,296320606 \approx \underline{\underline{1,296}}
 \end{aligned}$$

Sicherheiten Fließen:

$$\begin{aligned}
 S_{F;zd} &= \frac{\sigma_{zdFK}}{\sigma_{zdmax}} = \frac{\sigma_{zdFK}}{\sigma_{zdm} \cdot K_A} \\
 &= \frac{504,6 \frac{N}{mm^2}}{1,8 \frac{N}{mm^2} \cdot 1,1} \\
 &= 254,4520721 \approx \underline{\underline{254,452}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{F;b} &= \frac{\sigma_{bFK}}{\sigma_{bmax}} = \frac{\sigma_{bFK}}{\sigma_{ba}} \\
 &= \frac{555,6 \frac{N}{mm^2}}{67,3 \frac{N}{mm^2}} \\
 &= 8,253707528 \approx \underline{\underline{8,254}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{F;t} &= \frac{\tau_{tFK}}{\tau_{tmax}} = \frac{\tau_{tFK}}{\tau_{tm} \cdot K_A} \\
 &= \frac{320,16 \frac{N}{mm^2}}{37,319 \frac{N}{mm^2} \cdot 1,1} \\
 &= 7,799076972 \approx \underline{\underline{7,799}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_F &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{S_{F;zd}} + \frac{1}{S_{F;b}}\right)^2 + \left(\frac{1}{S_{F;t}}\right)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{254,452} + \frac{1}{8,254}\right)^2 + \left(\frac{1}{7,799}\right)^2}} \\
 &= 5,582553646 \approx \underline{\underline{5,583}}
 \end{aligned}$$

### 3.2.2 Verformungen

### 3.2.3 Biegekritische Drehzahl

### 3.2.4 Welle-Nabe-Verbindung

#### 3.2.4.1 Passfeder Kupplung

- $d = 45mm$
- $b = 14mm$

- $h = 9mm$
- $l_{tr} = 22mm$
- $i = 1 \rightarrow \varphi = 1$
- $M_t = 402,07565Nm$
- $K_A = 1,1$
- $t_1 = 5,5mm$

$$\begin{aligned}
 p_{zul} &= 0,9 \cdot R_m \\
 &= 0,9 \cdot 580 \frac{N}{mm^2} \\
 &= \underline{522 \frac{N}{mm^2}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_W &= \frac{2 \cdot M_t \cdot K_A}{d \cdot t_1 \cdot l_{tr} \cdot (i \cdot \varphi)} \\
 p_W &= \frac{2 \cdot 402,075,65Nm \cdot 1,1}{45mm \cdot 5,5mm \cdot 22mm \cdot (1 \cdot 1)} \\
 &= 162,453596 \frac{N}{mm^2} \approx \underline{\underline{162,5 \frac{N}{mm^2}}}
 \end{aligned}$$

$$p_W < p_{zul} \rightarrow \underline{\underline{i.O.}}$$

### 3.2.4.2 Passfeder Zahnrad

- $d = 45mm$
- $b = 14mm$
- $h = 9mm$
- $l_{tr} = 22mm$
- $i = 1 \rightarrow \varphi = 1$
- $M_t = 402,07565Nm$
- $K_A = 1,1$

- $t_1 = 5,5mm$

$$\begin{aligned}
 p_{zul} &= 0,9 \cdot R_m \\
 &= 0,9 \cdot 580 \frac{N}{mm^2} \\
 &= \underline{522} \frac{N}{mm^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_W &= \frac{2 \cdot M_t \cdot K_A}{d \cdot t_1 \cdot l_{tr} \cdot (i \cdot \varphi)} \\
 p_W &= \frac{2 \cdot 402.075,65 Nmm \cdot 1,1}{45mm \cdot 5,5mm \cdot 22mm \cdot (1 \cdot 1)} \\
 &= 162,453596 \frac{N}{mm^2} \approx \underline{\underline{162,5 \frac{N}{mm^2}}}
 \end{aligned}$$

$$p_W < p_{zul} \rightarrow \underline{\underline{i.O.}}$$

### 3.2.5 Lager

#### 3.2.5.1 Festlager

Lager SKF 6213 Aus SKF Katalog folgt:

- $C = 58,5kN$
- $C_0 = 40,5kN$

$$d_{FL} = 65mm$$

$$F_a = 2044,38N$$

$$F_{Fx} = 2690,97N$$

$$F_{Fy} = 5355,81N$$

$$F_r = \sqrt{(2690,97N)^2 + (5355,81N)^2} \approx 5993,83N$$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{2044,38N}{40500N} = 0,0504781852 \approx 0,050$$

Lineare Regression für  $e$  und  $Y$  zwischen benachbarten Werten:

$$\rightarrow e = 0,252$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{2044,38N}{5993,83N} \approx 0,341$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e$$

$$X = 0,56$$

$$\rightarrow Y = 1,765$$

$$P = 0,56 \cdot 5993,83N + 1,765 \cdot 2044,38N \approx 6.965N$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 950 \frac{1}{min}} \cdot \left( \frac{58,5kN}{6,965kN} \right)^3 \approx \underline{10395h}$$

### 3.2.5.2 Loslager

Lager SKF N206 ECM Aus SKF Katalog folgt:

- $C = 44kN$
- $C_0 = 36,5kN$

$$F_{Ly} = 6238,41N$$

$$F_{Lx} = 2001,96N$$

$$F_r = \sqrt{(6238,41N)^2 + (2001,96N)^2} \approx 6551,76N$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 * 950 \frac{1}{min}} * \left( \frac{44kN}{6,555176kN} \right)^{\frac{10}{3}} \approx \underline{10025h}$$

### 3.2.6 Zahnradstufe 1

## 3.3 Nachrechnung aller Wellen, Welle-Nabe-Verbindung, Zahnradstufen und Lager mittels KissSoft

### 3.3.1 Wellen

#### 3.3.1.1 Eingangswelle

#### 3.3.1.2 Zwischenwelle

#### 3.3.1.3 Ausgangswelle

### 3.3.2 Welle-Nabe-Verbindung

#### 3.3.2.1 Passfeder Eingangswelle Kupplung

#### 3.3.2.2 Passfeder Ritzel Stufe 1

#### 3.3.2.3 Passfeder Rad Stufe 1

#### 3.3.2.4 Passfeder Ritzel Stufe 2

#### 3.3.2.5 Passfeder Rad Stufe 2

#### 3.3.2.6 Passfeder Kupplung Ausgangswelle

### **3.3.3 Zahnradstufen**

#### **3.3.3.1 Stufe 1**

#### **3.3.3.2 Stufe 2**

### **3.3.4 Lager**

#### **3.3.4.1 Loslager Eingangswelle**

#### **3.3.4.2 Festlager Eingangswelle**

#### **3.3.4.3 Loslager Zwischenwelle**

#### **3.3.4.4 Festlager Zwischenwelle**

#### **3.3.4.5 Loslager Ausgangswelle**

#### **3.3.4.6 Festlager Ausgangswelle**

### **3.4 Vergleich Handrechnung und KissSoft**

#### **3.4.1 Handrechnung Zahnräder**

#### **3.4.2 Vergleich**

### **3.5 Wirkungsgradabschätzung**