

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Zeichnungsdokumentation | 2 |
| 1.1 | Zusammenbauzeichnungen | 2 |
| 1.2 | Fertigungszeichnung Zwischenwelle | 2 |
| 1.3 | Stückliste | 2 |
| 2 | Montageanleitung | 2 |
| 3 | Berechnung | 2 |
| 3.1 | Entwurfsrechnung per Hand | 2 |
| 3.1.1 | Überschlägiger Wellendurchmesser | 2 |
| 3.1.2 | Modulabschätzung | 3 |
| 3.1.3 | Mindestteilkreisdurchmesser | 4 |
| 3.1.4 | Mindestzähnezahlen | 5 |
| 3.1.5 | Aufteilung Übersetzungsverhältnis und Auswahl Zäh- nezahlen | 5 |
| 3.1.6 | Achsabstände | 7 |
| 3.2 | Profilverschiebung | 7 |
| 3.3 | Nachrechnung Antriebswelle per Hand | 9 |
| 3.4 | Nachrechnung aller Wellen, Welle-Nabe-Verbindung, Zahnrad- stufen und Lager mittels KissSoft | 9 |
| 3.5 | Vergleich Handrechnung und KissSoft | 9 |
| 3.6 | Wirkungsgradabschätzung | 9 |

1 Zeichnungsdokumentation

1.1 Zusammenbauzeichnungen

1.2 Fertigungszeichnung Zwischenwelle

1.3 Stückliste

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 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:

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

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

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

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

3.1.3 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

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

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

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

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

3.1.4 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

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

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

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

3.1.5 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 | $z_2 = 82$ | $z_4 = 83$ |

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

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

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

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

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

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

3.1.6 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

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

3.1.7 Profilverschiebung

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

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

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

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

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

3.2 Nachrechnung Antriebswelle per Hand

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

3.4 Vergleich Handrechnung und KissSoft

3.5 Wirkungsgradabschätzung