

Kalandergtriebe

Name: Stefan Schumann
Matrikeln.: 3210594
Email: Stefan.Schumann@mailbox.tu-dresden.de
Abgabetag: 31.01.2008

Belegvariante:

Kennzahl:	788
Abtriebsdrehzahl:	55 s ⁻¹
Antriebsleistung:	22 kW
Übersetzung	4,2
Achsabstand:	300mm

Da mein Achsabstand laut Aufgabenstellung über 300mm groß ist, reduziere ich ihn mit der Erlaubnis von Herrn Dr. Kupfer auf 300mm.

1,3 *km*

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung.....	1
Entwurfsrechnung.....	5
Entwurf 1. Stufe.....	5
Entwurf 2. Stufe.....	12
Eingabedaten.....	17
Auslastungsrechnung.....	18
1. Antriebswelle.....	18
1.1. Antriebsritzel S1.....	18
1.2. Passfeder am Antrieb.....	20
1.3 Wellenfestigkeit.....	21
1.4. Wälzlager A1.....	26
1.5. Wälzlager B1.....	27
2. Abtriebswelle 1.....	29
2.1. Stirnrad S2.....	29
2.2. Stirnrad S3.....	30
2.3. Presssitz Stirnrad S3.....	32
2.4. Stirnrad S2 (Passfeder).....	34
2.5 Wellenfestigkeit.....	35
2.6. Wälzlager A2.....	43
2.7. Wälzlager B2.....	44
3. Abtriebswelle 2.....	45
3.1. Stirnrad S4.....	45
3.2. Presssitz Stirnrad S4.....	45
3.3. Passfeder am Abtrieb.....	46
3.4. Wellenfestigkeit.....	47
3.5. Wälzlager A3.....	52
3.6. Wälzlager B3.....	53
Auslastungsübersicht 1.....	54
Kalandergetriebe 2007 – Eingabedaten.....	55
2007 – Auslastungsübersicht.....	57
Bemerkungen zur Belegbearbeitung.....	59
Kalandergetriebe – Hauptansicht.....	60
Kalandergetriebe – Draufsicht.....	61
Kalandergetriebe – Seitenansicht.....	62
Stückliste Blatt 1.....	63
Stückliste Blatt 2.....	64
Ritzelwelle.....	65

Konstruktionsbeleg „Kalandergetriebe“

Nach vorgegebenen Daten ist ein Stirnradgetriebe mit einer Ein- und zwei Ausgangswellen zu konstruieren. Die Drehrichtung der Abtriebswellen ist gegenläufig. Diese Getriebe werden in der Papier- und Kunststoffverarbeitung eingesetzt.

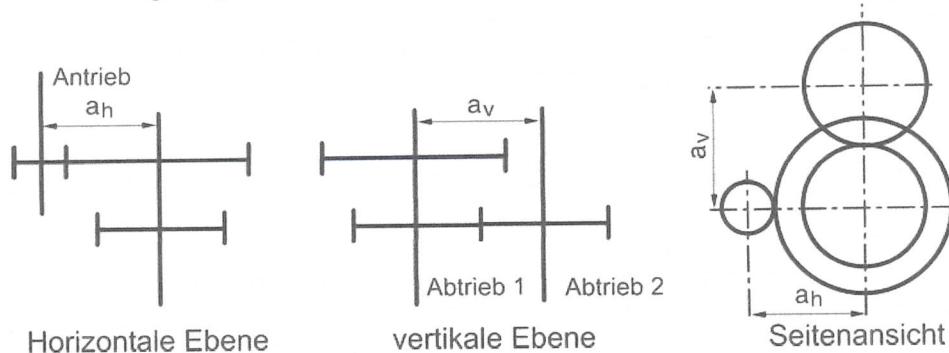


Abb. 1 Schema des Getriebes

I. Ausgangsdaten

1. Nenndaten

1. Antriebsleistung
2. Abtriebsdrehzahl
3. Übersetzung
4. Achsabstand der Kammwalzstufe
5. Geforderte Mindestlebensdauer der ME
6. Drehrichtung

P_{an} siehe Tabelle 1
 n_{ab} siehe Tabelle 1
 i siehe Tabelle 1
 a_v siehe Tabelle 1
 $L_h = 10000$ h
 rechts/links

2. Belastungskollektiv

Die angegebenen Belastungsstufen wiederholen sich periodisch nach der Zeit $T = t_1 + t_2 + t_3$ innerhalb der geforderten Lebensdauer der Elemente des Getriebes.

$$\text{Laststufe 1: } M_{t1} = 2,5 \cdot M_{tnenn} \quad t_1 = 0,01 \text{ s} \quad n_1 = 0,6 \cdot n_{an}$$

$$\text{Laststufe 2: } M_{t2} = 1,5 \cdot M_{tnenn} \quad t_2 = 50 \text{ s} \quad n_2 = 0,9 \cdot n_{an}$$

$$\text{Laststufe 3: } M_{t3} = 0,8 \cdot M_{tnenn} \quad t_3 = 945 \text{ s} \quad n_3 = 1,0 \cdot n_{an}$$

Das Torsionsmoment schwankt in jeder Laststufe um $\pm 20\%$, $K_{At} = 1,25$.

Wöhlerlinienkennwerte:

Der Knickpunkt der Wöhlerkurve wird für alle Wellen und Zahnräder mit der Lastwechselzahl $N = N_{Flim} = N_{Hlim} = 3 \cdot 10^6$ festgelegt. Aus Gründen der Vereinfachung bei der Berechnung wird ein einheitlicher Wöhlerlinienexponent $q = q_H = q_F = 6$ für die Wellen und Zahnräder (Fuß und Flanke) angenommen. Die Berechnung der Maschinenelemente erfolgt mit dem äquivalenten Moment, welches sich aus dem Belastungskollektiv für die treibenden Getriebestufen ergibt (K_{BI} und K_{BII}). Siehe Anleitung zum Konstruktionsbeleg.

1. Gehäuse: gegossen
2. Wellenlage: Antriebswelle und 1. Abtriebswelle horizontal
1. Abtriebswelle und 2. Abtriebswelle vertikal
3. Einbaulage: An- und 1. Abtriebswelle horizontal
4. Lagerung: Wälzlager
5. Schmierung: Tauchschmierung
6. Verzahnung: Schrägverzahnte Stirnräder aus 16 MnCr5, einsatzgehärtet, geschliffen

Allgemeingültige Werte der Verzahnung:

$$\sigma_{Hlim} = 1400 \text{ N/mm}^2; \sigma_{FE} = 700 \text{ N/mm}^2; \sigma_{0,2} = 590 \text{ N/mm}^2; S_{Hmin} = 1,1; S_{Fmin} = 1,3; S_{FSmin} = 1,5;$$

$$Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V = 1; \text{ Überlastungsfaktoren } K_{Ha} \cdot K_v \cdot K_{HB} = K_{Fa} \cdot K_v \cdot K_{FB} = 1,8$$

II. Belegumfang

1. Zusammenbauzeichnung

Sämtliche konstruktiven Einzelheiten müssen sichtbar sein. Danach richtet sich die Anzahl der **Ansichten** und **Schnitte**. Nur die **Hauptabmessungen** und die **Anschlussmaße angeben!**
Forderungen:

- 1.: Seitenansicht mit Schnitt in der horizontalen Ebene (Antriebswelle – 1. Abtriebswelle)
- 2.: Draufsicht mit Schnitt in der vertikalen Ebene der Antriebswellen

Stückliste

Eine ausführliche Stückliste für alle in der Konstruktion verwendeten Teile, mit Werkstoffangaben, bei Norm- und Kaufteilen die Angabe der entsprechenden Bezeichnung, Katalogbezeichnung u.s.w. und mit einer im Schriftfeld zuordenbaren Benennung zur Zusammenbauzeichnung, ist anzufertigen.

2. Werkstattzeichnung

Antriebswelle als Ritzelwelle mit Schriftkopf, Härtebild und erforderliche Fertigungsangaben.

3. Ausführung der Zeichnung

Die Zeichnungen sind grundsätzlich im Maßstab **1:1** anzufertigen. Zeichnungen in anderen Maßstäben werden **nicht** bewertet. Es sind alle zurzeit gültigen Zeichnungs- und Darstellungsnormen zu beachten! Alle Lager sind exakt in ihrer Bauart darzustellen.

Eine vereinfachte Darstellung ist nicht gestattet. Schrauben gleicher Abmessung sind jeweils nur einmal im Schnitt darzustellen (eventuell Ausbruchdarstellung).

Zugelassene Ausführungen sind:

1. mit einem CAD-System; Zeichnungen im Maßstab **1:1** geplottet
2. mit Hand in Tusche auf Transparent (M 1:1)

4. Form

Der Beleg ist mit einem Deckblatt (Benennung des Getriebes, Nummer der Variante, Namen, Matrikel-Nummer, eMail - Adresse und Abgabetaq) zu versehen, die Blätter sind numeriert mit Inhaltverzeichnis und ohne Folienhülle in gehefteter Form abzugeben.

Die Eingabedaten- und die Auslastungsübersicht ist als Anhang zur Berechnung abzugeben.

Die Zeichnungen sind normgerecht zu falten.

5. Berechnung

Die Berechnung ist für eine Drehrichtung durchzuführen. Blick auf die Antriebswelle: Drehrichtung im Uhrzeigersinn (rechts). Die Leistung am Abtrieb wird gleichmäßig auf beide Abtriebswellen aufgeteilt. Alle Berechnungsunterlagen sind Bestandteil des Beleges und sind zusammen mit einer Zusammenfassung abzugeben. Die Berechnungen sind übersichtlich und **nachvollziehbar** zu dokumentieren, kommerzielle Berechnungsprogramme sind nur für die persönliche Überprüfung gestattet.

Folgende Angaben sind aufzuführen: Daten laut Variante, Nenndrehmoment, Nenn-Zahnkräfte, Auflagerkräfte, grafische Darstellung der Wellenbelastung in der wirkenden Richtung (2- oder 3dimensional) im gewählten Maßstab an allen Wellen, Biege- und Torsionsmomentenverlauf.

Die Berechnung ist durch kleine Skizzen (Kerbstellen), die verwendeten (Haupt) Formeln und eine Ergebnisübersicht (Tabellenform) klar und nachvollziehbar zu dokumentieren.

6. Abgabe

ENTWURF

Bis zum **15. 12. 2007** ist eine Entwurfsskizze (Hand- bzw. CAD) auf A3/A4 beim Betreuer abzugeben. Der Entwurf geht mit **20 % Wertung** in die Belegnote ein.

BELEG

In der **letzten** Vorlesungswoche des Wintersemesters 2007/2008; verspätete Abgabe bis zum 31.03.08: **eine halbe Note Abzug;**
ab 01.04.05 neuer Beleg!

Wird der Beleg mit der Note 5 bewertet so kann zum nächstmöglichen Zeitpunkt (WS 08/09) ein neuer Beleg angefertigt werden.

III. Hinweise zur Bearbeitung

1. Verzahnung

- der Sicherheitsnachweis erfolgt für Dauerfestigkeit und bleibende Verformung
- gleiche Faktoren > 1 in den Zähnezahlen der gepaarten Räder sind zu vermeiden
- Aufteilung von $(x_1 + x_2)$ für $Y_{FS1} = Y_{FS2}$ ist anzustreben
- Der Schrägungswinkel und die Zahnbreite für beide Zahnradstufen ist selbständig zu wählen.
- zulässige Abweichung Übersetzung $\pm 2,5\%$

2. Wellen

- Festigkeitsnachweise (Dauerbruch, bleibende Verformung) für höchstbeanspruchte Querschnitte (mindestens 1 pro Welle erforderlich); Angabe über Querschnitte allgemein, an denen der Tragfähigkeitsnachweis erfolgen müßte (Skizze).

3. Lager

- Die erreichbare Lebensdauer in Stunden L_h (Ermüdung) und die Laufgüte f_s (Maximalbeanspruchung) ist für jedes Lager anzugeben.

4. Welle / Nabe - Verbindung

- Antriebswelle als Ritzelwelle
- Zwischenwelle/Zahnräder 1x formschlüssig 1x Schrumpfverbindung
- für den An- und die Abtriebe ist Passfeder- oder Keilwellenverbindung vorzusehen

5. Normen / Arbeitshefte

Bei der Belegbearbeitung sind insbesondere die im Arbeitsheft ME, sowie die im Anleitungsmaterial enthaltenen Berechnungsgrundlagen, Normen und Hinweise zu berücksichtigen.

6. Wellenenden

Es sind standardisierte Wellenenden zu verwenden.

Tabelle 1: Ausgangsdaten für Kalandergetriebe

Ziffer der Kennzahl	Hunderter	Zehner	Einer	
	n_{ab} [min $^{-1}$]	P_{an} [kW]	i [-]	a_v [mm]
1	25	8	2,8	250
2	30	10	3,0	275
3	35	12	3,2	300
4	40	14	3,4	325
5	45	16	3,6	350
6	50	18	3,8	375
7	55	20	4	400
8	60	22	4,2	375
9	65	24	4,4	350

Bestimmung der Kennzahl = Nummer der Variante

Zur Bestimmung der dreistelligen Kennzahl werden Buchstaben des Vor- und Zunamens des Bearbeiters herangezogen. Dabei bestimmt die dem **ersten** Buchstaben des Familiennamens zugeordnete Ziffer die Hunderterstelle, der **vierte** Buchstabe legt die Zehnerstelle und der **zweite** Buchstabe des Vornamens die Einerstelle fest.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
A Ä B	C D E	F G H	I J K	L M N	O Ö P	Q R S	T U Ü V	W X Y Z

Beispiel:

Für **VOGELPOHL GEORG** erhält man die Kennzahl 822 mit $n_{ab} = 25 \text{ min}^{-1}$, $P_{an} = 3,0 \text{ kW}$, $i_{ges} = 3,0$ und $a_v = 275 \text{ mm}$.

Kalandergetriebe

Entwurfsrechnung

Vorgabe aus der Aufgabenstellung

$$n_{ab} = 55 \cdot \text{min}^{-1} \quad P_{an} = 22 \text{kW} \quad i = 4.2 \quad a_v = 300 \text{mm}$$

Entwurf 1. Stufe

Übersetzung

$$i_{soll.I} = i \quad i_{soll.I} = 4.2$$

$$z_1 = 19 \quad z_2 = 79 \quad i_{ist.I} = \frac{z_2}{z_1} \quad i_{ist.I} = 4.16$$

$$\Delta i = \frac{i_{ist.I} - i_{soll.I}}{i_{soll.I}} \quad |\Delta i_{zul}| = 2.5\% \quad \Delta i = -1\%$$

$$u = \frac{z_2}{z_1} \quad u = 4.16$$

$$n_{an} = i \cdot n_{ab} \quad n_{an} = 231 \text{ min}^{-1}$$

$$\omega_{nennI} = 2 \cdot \pi \cdot n_{an} \quad \omega_{nennI} = 24.19 \text{ s}^{-1}$$

$$T_{nennI} = \frac{P_{an}}{\omega_{nennI}} \quad T_{nennI} = 909.46 \text{ Nm}$$

Belastungskollektiv I

laut Aufgabenstellung ergeben sich folgende Annahmen:

$$q = 6 \quad L_h = 10000 \cdot h \quad N_{lim} = 3 \cdot 10^6$$

$$T_1 = 2.5 \cdot T_{nennI} \quad t_1 = 0.01 \text{s} \quad n_1 = 0.6 \cdot n_{an}$$

$$T_2 = 1.5 \cdot T_{nennI} \quad t_2 = 50 \text{s} \quad n_2 = 0.9 \cdot n_{an}$$

$$T_3 = 0.8 \cdot T_{nennI} \quad t_3 = 945 \text{s} \quad n_3 = n_{an}$$

$$t_{per} = t_1 + t_2 + t_3$$

Nun werden die Belastungszyklen eingekürzt:

$$\Delta N_1 = n_1 \cdot \frac{t_1}{t_{\text{per}}} \cdot L_h \quad \Delta N_1 = 835.77 \quad \Delta N_{E_1} = \Delta N_1$$

$$\Delta N_2 = n_2 \cdot \frac{t_2}{t_{\text{per}}} \cdot L_h \quad \Delta N_2 = 6.27 \times 10^6 \quad \Delta N_{E_2} = N_{\text{lim}} - \Delta N_1$$

$$\Delta N_3 = n_3 \cdot \frac{t_3}{t_{\text{per}}} \cdot L_h \quad \Delta N_3 = 1.32 \times 10^8$$

,da $\Delta N_1 + \Delta N_2 > N_{\text{lim}}$ verbleiben bloß 2 relevante Belastungszyklen und

$$N_0 = N_{\text{lim}}$$

$$K_{\text{BI}} = \sqrt[2]{\sum_{j=1}^2 \left[\left(\frac{T_j}{T_{\text{nennI}}} \right)^q \frac{\Delta N_{E_j}}{N_0} \right]} \quad K_{\text{BI}} = 1.5$$

$$K_{\text{BSI}} = \frac{T_1}{T_{\text{nennI}}} \quad K_{\text{BSI}} = 2.5$$

Wälzlager Äquivalenzfaktor

$p = 3$, da Kugellager verwendet werden.

$$n_0 = 1 \text{ s}^{-1} \quad N_0 = n_0 \cdot L_h$$

$$K_{\text{BLI}} = \sqrt[p]{\sum_{j=1}^3 \left[\left(\frac{T_j}{T_{\text{nennI}}} \right)^p \frac{\Delta N_j}{N_0} \right]} \quad K_{\text{BLI}} = 1.35$$

Allgemeingültige Werte der Verzahnung

$$\sigma_{H\text{lim}} = 1400 \text{ MPa} \quad S_{H\text{min}} = 1.1$$

$$\sigma_{F\text{E}} = 700 \text{ MPa} \quad S_{F\text{min}} = 1.3$$

$$\sigma_{0.2} = 590 \text{ MPa} \quad S_{F\text{Stmin}} = 1.5$$

$$Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V = 1 \quad K_{H\alpha} \cdot K_V \cdot K_{H\beta} = 1.8 \quad K_{F\alpha} \cdot K_V \cdot K_{F\beta} = 1.8$$

Zahnradgeometrie

$$\alpha_n = 20^\circ \quad \beta_I = 6^\circ \quad \beta \text{ lege ich zunächst frei fest.}$$

$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_I)}\right) \quad \alpha_t = 20.1^\circ$$

$$\beta_b = \arcsin(\sin(\beta_I) \cdot \cos(\alpha_n)) \quad \beta_b = 5.64^\circ$$

$$\alpha_{wt} = \alpha_t \quad \text{, da die Summe der Profilverschiebung vorerst null ist}$$

$$\frac{b_w}{d_1} = 0.9 \quad \text{, da unsymmetrische Lagerung und Einsatzhärtung vorliegt.}$$

Entwurf nach Zahnflankenfestigkeit

$$Z_E = 190 \sqrt{\text{MPa}} \quad \text{für Stahl/Stahl}$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos(\alpha_t)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos(\beta_b)}{\tan(\alpha_{wt})}} \quad Z_H = 2.48$$

$$Z_\epsilon = 0.82 \quad \text{, da } \beta > 0^\circ$$

$$K_{ABH} = 1 \quad \text{, da Schwingungen im Lastkollektiv schon berücksichtigt wurden}$$

$$K_H = K_{ABH} \cdot K_v \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \quad K_H = 1.8$$

$$T_1 = T_{nennI} \cdot K_{BI} \quad T_1 = 1.37 \text{ kNm}$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{2Z_E^2 Z_H^2 Z_\epsilon^2 K_H T_1}{\left(\frac{\sigma_{Hlim}}{S_{Hmin}}\right)^2} \cdot \frac{u+1}{u}} \quad d_1 = 85.55 \text{ mm}$$

$$m_n = \frac{d_1}{z_1} \cos(\beta_I) \quad m_n = 4.48 \text{ mm}$$

$$b_w = 0.9 \cdot d_1 \quad b_w = 77 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{b_w \cdot \sin(\beta_I)}{m_n \cdot \pi} \quad \varepsilon_\beta = 0.57$$

somit ist ε_β in der Nähe von 0,5 und ε_γ kann nahe 2 werden.

Entwurf nach Zahndurchschlagfestigkeit

auch hier ist die Profilverschiebung zunächst null, somit ist

$$x = 0 \quad z_v = \frac{z_1}{\cos(\beta_I)^3} \quad z_v = 19.32$$

$$Y_{FS} = 3.467 + 13.17 \cdot \frac{1}{z_v} - 27.91 \cdot \frac{x}{z_v} + 0.0916 \cdot x^2 \quad Y_{FS} = 4.15$$

$$Y_\beta = 1 - \frac{\beta_I}{120^\circ} \quad Y_\beta = 0.95 \quad \text{für } \beta > 0$$

$$\text{Bei } \varepsilon_\alpha = 1.5 \quad \text{ist} \quad Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_\alpha} \quad Y_\varepsilon = 0.67$$

$K_A = 1$,da Schwingungen im Lastkollektiv schon berücksichtigt wurden

$$K_F = K_A \cdot K_v \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \quad K_F = 1.8$$

$$m_n = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_1 \cdot K_F \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_{FS} \cdot Y_\beta \cdot \cos(\beta_I)^2}{z_1^2 \cdot \frac{b_w}{d_1} \cdot \frac{\sigma_{FE}}{S_{Fmin}}}} \quad m_n = 4.18 \text{ mm}$$

Da die Mindestmodule jeweils größer als 4 mm sind wähle ich aus der Norm:

$$m_{nI} = 5 \text{ mm}$$

Achsabstand

$$a_{dI} = \frac{z_1 \cdot m_{nI}}{2 \cos(\beta_I)} \cdot \left(\frac{z_2}{z_1} + 1 \right) \quad a_{dI} = 246.35 \text{ mm}$$

$$a_h = 250 \text{ mm}$$

$$\frac{a_h - a_{dI}}{m_{nI}} = 0.73 \quad \text{somit ist} \quad -0.5 \leq \frac{a - a_d}{m_n} \leq 1.6$$

Profilverschiebung

$$\text{inv}(\alpha) = \tan(\alpha) - \alpha$$

$$\alpha_t = 20.1^\circ \quad \alpha_n = 20^\circ \quad \beta_b = 5.64^\circ \quad \beta_I = 6^\circ \quad \text{siehe oben}$$

$$\alpha_{wt} = \arccos\left(\cos(\alpha_t) \cdot \frac{a_{dl}}{a_h}\right) \quad \alpha_{wt} = 22.28^\circ$$

Die Summe der Profilverschiebung (PVS) ergibt sich mit

$$PVS = \frac{\text{inv}(\alpha_{wt}) - \text{inv}(\alpha_t)}{2 \tan(\alpha_n)} (z_1 + z_2) \quad \text{zu} \quad PVS = 0.7686$$

$$z_{nx1} = \frac{z_1}{\cos(\beta_b)^2 \cos(\beta_I)} \quad z_{nx1} = 19.29$$

$$z_{nx2} = \frac{z_2}{\cos(\beta_b)^2 \cos(\beta_I)} \quad z_{nx2} = 80.21$$

$$\frac{PVS}{2} = 0.38 \quad \frac{z_{nx1} + z_{nx2}}{2} = 49.75$$

$$\text{abgelesen:} \quad x_1 = 0.48 \quad x_2 = PVS - x_1 \quad x_2 = 0.2886$$

$$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos(\beta_I)^3} \quad z_{v1} = 19.32$$

$$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos(\beta_I)^3} \quad z_{v2} = 80.31$$

$$Y_{FS1} = 3.467 + 13.17 \cdot \frac{1}{z_{v1}} - 27.91 \cdot \frac{x_1}{z_{v1}} + 0.0916 \cdot x_1^2$$

$$Y_{FS2} = 3.467 + 13.17 \cdot \frac{1}{z_{v2}} - 27.91 \cdot \frac{x_2}{z_{v2}} + 0.0916 \cdot x_2^2$$

$$Y_{FS1} = 3.476 \quad Y_{FS2} = 3.538$$

Somit ist Y_{FS1} fast gleich Y_{FS2}

Festlegung der Zahnradgeometrie

$$z_1 = 19 \quad z_2 = 79 \quad m_{nI} = 5 \text{ mm} \quad \beta_I = 6^\circ$$

$$x_1 = 0.48 \quad x_2 = 0.29 \quad a_h = 250 \text{ mm} \quad b_{wl} = 80 \text{ mm}$$

$$K_{BI} = 1.5$$

Stirneingriffswinkel

$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_I)}\right) \quad \alpha_t = 20.1^\circ$$

Strangmodul

$$m_t = \frac{m_{nI}}{\cos(\beta_I)} \quad m_t = 5.03 \text{ mm}$$

Teilkreisdurchmesser

$$d_1 = \frac{z_1 \cdot m_{nI}}{\cos(\beta_I)} \quad d_1 = 95.523 \text{ mm}$$

$$d_2 = \frac{z_2 \cdot m_{nI}}{\cos(\beta_I)} \quad d_2 = 397.176 \text{ mm}$$

Grundkreisdurchmesser

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos(\alpha_t) \quad d_{b1} = 89.705 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos(\alpha_t) \quad d_{b2} = 372.98 \text{ mm}$$

Kopfhöhenänderungsfaktor

$$k = \frac{a_h - a_{dI}}{m_{nI}} - (x_1 + x_2) \quad k = -0.038$$

Kopfkreisdurchmesser

$$d_{a1} = d_1 + 2m_{nI}(1 + x_1 + k) \quad d_{a1} = 109.94 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m_{nI}(1 + x_2 + k) \quad d_{a2} = 409.68 \text{ mm}$$

bezogenes Kopfspiel

$$c = 0.25 \cdot m_{nI} \quad c = 1.25 \text{ mm}$$

Fußkreisdurchmesser

$$d_{f1} = d_1 - 2m_{nI}\left(1 + \frac{c}{m_{nI}} - x_1\right) \quad d_{f1} = 87.82 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2m_{nI}\left(1 + \frac{c}{m_{nI}} - x_2\right) \quad d_{f2} = 387.56 \text{ mm}$$

Teilkreisteilung

$$p_t = m_t \cdot \pi \quad p_t = 15.79 \text{ mm}$$

Stirneingriffsteilung

$$p_{et} = \frac{d_{b1} \cdot \pi}{z_1} \quad p_{et} = 14.83 \text{ mm}$$

Grundkreisteilung

$$p_{bt} = p_t \cdot \cos(\alpha_t) \quad p_{bt} = 14.83 \text{ mm}$$

Zahndicke im Stirnschnitt am Grundkreis

$$s_{bt1} = d_{b1} \cdot \left(\frac{\pi + 4 \cdot x_1 \cdot \tan(\alpha_n)}{2z_1} + \operatorname{inv}(\alpha_t) \right)$$

$$s_{bt1} = 10.42 \text{ mm}$$

Messzähnezahl

$$k_{M1} = \frac{z_1}{9 \cos(\beta_I)^3} + 0.5 \quad k_{M1} = 2.65$$

$$k_{M1} = 3$$

Zahnweite

$$W_{k1} = [(k_{M1} - 1) \cdot p_{bt} + s_{bt1}] \cos(\beta_b)$$

$$W_{k1} = 39.895 \text{ mm}$$

Bedingung 1

$$W_{k1} \cdot \sin(\beta_b) = 3.92 \text{ mm} \quad W_{k1} \cdot \sin(\beta_b) < b_1$$

Bedingung 2

$$d_{f1} + 2c = 90.32 \text{ mm} \quad <$$

$$\sqrt{\left(\frac{W_{k1}}{\cos(\beta_b)}\right)^2 + d_{b1}^2} = 98.25 \text{ mm} \quad <$$

$$d_{a1} = 109.94 \text{ mm}$$

Toleranzen nach DIN 3697 Tabelle 1 und 2

bc25

$$d_1 = 95.52 \text{ mm}$$

$$\Delta W_{k1} = \frac{-105 \mu\text{m}}{-145 \mu\text{m}}$$

Toleranzen für den Achsabstand nach DIN 3964 ISO Toleranzfeld 7

$$\Delta a = 23 \mu\text{m}$$

Profilüberdeckung

$$\varepsilon_{\alpha I} = \frac{1}{p_{et}} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{d_{a1}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{b1}}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{d_{a2}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{b2}}{2}\right)^2} - a_h \cdot \sin(\alpha_{wt}) \right]$$

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

Sprungüberdeckung

$$\varepsilon_{\beta I} = \frac{b_{wl} \cdot \sin(\beta_I)}{m_{nl} \cdot \pi} \quad \varepsilon_{\beta I} = 0.53$$

Gesamtüberdeckung

$$\varepsilon_{\gamma I} = \varepsilon_{\alpha I} + \varepsilon_{\beta I}$$

$$\varepsilon_{\gamma I} = 1.999$$

ist somit fast genau 2.

Eingriffsstrecke

$$g_{\alpha} = \varepsilon_{\alpha} \cdot p_{et}$$

$$g_{\alpha} = 22.249 \text{ mm}$$

Entwurf 2. Stufe

Nennmoment

Das Nennmoment ergibt sich aus der Abtriebsdrehzahl und der halben Leistung.

$$\omega_{\text{nennII}} = 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{ab}}$$

$$\omega_{\text{nennII}} = 5.76 \text{ s}^{-1}$$

$$T_{\text{nennII}} = \frac{P_{\text{an}}}{2\omega_{\text{nennII}}}$$

$$T_{\text{nennII}} = 1909.86 \text{ Nm}$$

Belastungskollektiv

laut Aufgabenstellung ergeben sich folgende Annahmen:

$$q = 6 \quad L_h = 10000 \text{ h} \quad N_{\text{lim}} = 3 \times 10^6$$

$$T_1 = 2.5 \cdot T_{\text{nennII}} \quad t_1 = 0.01 \text{ s} \quad n_1 = 0.6 \cdot n_{\text{ab}}$$

$$T_2 = 1.5 \cdot T_{\text{nennII}} \quad t_2 = 50 \text{ s} \quad n_2 = 0.9 \cdot n_{\text{ab}}$$

$$T_3 = 0.8 \cdot T_{\text{nennII}} \quad t_3 = 945 \text{ s} \quad n_3 = n_{\text{ab}}$$

$$t_{\text{per}} = t_1 + t_2 + t_3$$

Nun werden die Belastungszyklen eingekürzt:

$$\Delta N_1 = n_1 \cdot \frac{t_1}{t_{\text{per}}} \cdot L_h \quad \Delta N_1 = 198.99 \quad \Delta N_{E_1} = \Delta N_1$$

$$\Delta N_2 = n_2 \cdot \frac{t_2}{t_{\text{per}}} \cdot L_h \quad \Delta N_2 = 1.49 \times 10^6 \quad \Delta N_{E_2} = \Delta N_2$$

$$\Delta N_3 = n_3 \cdot \frac{t_3}{t_{\text{per}}} \cdot L_h \quad \Delta N_3 = 3.13 \times 10^7 \quad \Delta N_{E_3} = N_{\text{lim}} - \Delta N_2 - \Delta N_1$$

$$\text{da } \Delta N_1 + \Delta N_2 < N_{\text{lim}}$$

bleiben alle 3 Belastungszyklen und

$$N_0 = N_{\text{lim}} \quad \text{da.} \quad \sum_{j=1}^3 \Delta N_j = 3.28 \times 10^7 \quad \sum_{j=1}^3 \Delta N_{E_j} = 3 \times 10^6$$

$$K_{\text{BII}} = \sqrt[q]{\sum_{j=1}^3 \left[\left(\frac{T_j}{T_{\text{nennII}}} \right)^q \frac{\Delta N_{E_j}}{N_0} \right]}$$

$$K_{\text{BII}} = 1.34$$

$$K_{\text{BSII}} = \frac{T_1}{T_{\text{nennII}}} \quad K_{\text{BSII}} = 2.5$$

Wälzlagerring Äquivalenzfaktor

$p = 3$, da Kugellager

$$n_0 = 1 \text{ s}^{-1} \quad N_0 = n_0 \cdot L_h$$

$$K_{BLII} = \sqrt[p]{\sum_{j=1}^3 \left[\left(\frac{T_j}{T_{hennII}} \right)^p \frac{\Delta N_j}{N_0} \right]} \quad K_{BLII} = 0.84$$

Die allgemeingültige Werte der Verzahnung sind die gleichen wie oben.

Zähnezahl

zunächst nehme ich eine vorläufige Zähnezahl von

$$z_{3\text{vorl}} = 21 \quad z_{4\text{vorl}} = z_{3\text{vorl}} \text{ an.}$$

$$u = 1$$

Zahnradgeometrie

$$\alpha_n = 20^\circ \quad \beta_{II} = 16^\circ \quad \beta \text{ lege ich zunächst frei fest.}$$

$$\alpha_t = \arctan \left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_{II})} \right) \quad \alpha_t = 20.74^\circ$$

$$\beta_b = \arcsin(\sin(\beta_{II}) \cdot \cos(\alpha_n)) \quad \beta_b = 15.01^\circ$$

$$\alpha_{wt} = \alpha_t \quad \text{, da die Summe der Profilverschiebung vorerst null ist}$$

$$\frac{b_w}{d_3} = 0.9 \quad \text{, da unsymmetrische Lagerung und Einsatzhärtung vorliegt.}$$

Entwurf nach Zahnflankenfestigkeit

$$Z_E = 190 \sqrt{\text{MPa}} \quad \text{für Stahl/Stahl}$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos(\alpha_t)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos(\beta_b)}{\tan(\alpha_{wt})}} \quad Z_H = 2.42$$

$$Z_\varepsilon = 0.82 \quad \text{, da } \beta > 0^\circ$$

$$K_{ABH} = 1 \quad , \text{da Schwingungen im Lastkollektiv schon berücksichtigt wurden}$$

$$K_H = K_{ABH} \cdot K_v \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \quad K_H = 1.8$$

$$T_1 = T_{nennII} \cdot K_{BII} \quad T_1 = 2.56 \text{ kNm}$$

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{2Z_E^2 Z_H^2 Z_e^2 K_H T_1 \cdot u + 1}{\left(\frac{\sigma_{Hlim}}{S_{Hmin}}\right)^2 \cdot \frac{b_w}{d_3}}} \quad d_3 = 121.44 \text{ mm}$$

$$m_n = \frac{d_3}{z_{3vorl}} \cos(\beta_{II}) \quad m_n = 5.56 \text{ mm}$$

$$b_w = 0.9 \cdot d_3 \quad b_w = 109.3 \text{ mm}$$

Entwurf nach Zahndfußfestigkeit

auch hier ist die Profilverschiebung zunächst null, somit ist

$$x = 0 \quad z_v = \frac{z_{3vorl}}{\cos(\beta_{II})^3} \quad z_v = 23.64$$

$$Y_{FS} = 3.467 + 13.17 \cdot \frac{1}{z_v} - 27.91 \cdot \frac{x}{z_v} + 0.0916 \cdot x^2 \quad Y_{FS} = 4.02$$

$$Y_\beta = 1 - \frac{\beta_{II}}{120^\circ} \quad Y_\beta = 0.87 \quad \text{für} \quad \beta > 0$$

$$\text{Bei } \varepsilon_\alpha = 1.5 \quad \text{ist} \quad Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_\alpha} \quad Y_\varepsilon = 0.67$$

$$K_A = 1 \quad , \text{da Schwingungen im Lastkollektiv schon berücksichtigt wurden}$$

$$K_F = K_A \cdot K_v \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \quad K_F = 1.8$$

$$m_n = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_1 \cdot K_F \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_{FS} \cdot Y_\beta \cdot \cos(\beta_{II})^2}{z_3^2 \cdot \frac{b_w}{d_3} \cdot \frac{\sigma_{FE}}{S_{Fmin}}}} \quad m_n = 2.64 \text{ mm}$$

Da das größte Mindestmodul $m_n = 5.6 \text{ mm}$ ist wähle ich aus der Norm

$$m_{nII} = 6 \text{ mm}$$

Achsabstand

$$a_{dII} = \frac{z_3 \cdot m_{nII}}{2 \cos(\beta_{II})} \cdot \left(\frac{z_3}{z_4} + 1 \right) \quad a_{dII} = 131.08 \text{ mm}$$

$$a_v = 300 \text{ mm}$$

$$\frac{a_v - a_{dII}}{m_{nII}} = 28.15 \quad \text{da hier der Achsabstand festgelegt ist erhöhe ich die Zähnezahl auf}$$

$$z_3 = 47 \quad z_4 = 47$$

$$a_{dII} = \frac{z_3 \cdot m_{nII}}{2 \cos(\beta_{II})} \cdot \left(\frac{z_3}{z_4} + 1 \right) \quad a_{dII} = 293.36 \text{ mm}$$

$$\frac{a_v - a_{dII}}{m_{nII}} = 1.11 \quad \text{somit ist} \quad -0.5 \leq \frac{a - a_d}{m_n} \leq 1.6$$

Profilverschiebung

$$\alpha_t = 20.74^\circ$$

$$\alpha_{wt} = \arccos \left(\cos(\alpha_t) \cdot \frac{a_{dII}}{a_v} \right) \quad \alpha_{wt} = 23.86^\circ$$

Die Summe der Profilverschiebung (PVS) ergibt sich mit

$$PVS = \frac{\operatorname{inv}(\alpha_{wt}) - \operatorname{inv}(\alpha_t)}{2 \tan(\alpha_n)} (z_3 + z_4) \quad \text{zu} \quad PVS = 1.1873$$

$$x_3 = \frac{PVS}{2} \quad x_4 = x_3 \quad x_3 = 0.59$$

$$z_{v3} = \frac{z_3}{\cos(\beta_{II})^3} \quad z_{v4} = z_{v3} \quad z_{v3} = 52.91$$

$$Y_{FS3} = 3.467 + 13.17 \cdot \frac{1}{z_{v3}} - 27.91 \cdot \frac{x_3}{z_{v3}} + 0.0916 \cdot x_3^2$$

$$Y_{FS4} = Y_{FS3} \quad Y_{FS3} = 3.44$$

Festlegung der Zahnradgeometrie

$z_3 = 47$	$z_4 = 47$	$m_{nII} = 6 \text{ mm}$	$\beta_{II} = 16^\circ$
$x_3 = 0.59$	$x_4 = 0.59$	$a_v = 300 \text{ mm}$	$b_{wII} = 35 \text{ mm}$
$K_{BI} = 1.5$			
Strangmodul		$m_t = \frac{m_{nII}}{\cos(\beta_{II})}$	$m_t = 6.24 \text{ mm}$
Teilkreisdurchmesser		$d_3 = \frac{z_3 \cdot m_{nII}}{\cos(\beta_{II})}$	$d_3 = 293.36 \text{ mm}$
		$d_4 = d_3$	
Grundkreisdurchmesser		$d_{b3} = d_3 \cdot \cos(\alpha_t)$	$d_{b3} = 274.36 \text{ mm}$
		$d_{b4} = d_{b3}$	
Kopfhöhenänderungsfaktor		$k = \frac{a_v - a_{dII}}{m_{nII}} - (x_3 + x_4)$	$k = -0.081$
Kopfkreisdurchmesser		$d_{a3} = d_3 + 2m_{nII} \cdot (1 + x_3 + k)$	$d_{a3} = 311.51 \text{ mm}$
		$d_{a4} = d_{a3}$	
bezogenes Kopfspiel		$c = 0.25 \cdot m_{nII}$	$c = 1.5 \text{ mm}$
Fußkreisdurchmesser		$d_{f3} = d_3 - 2m_{nII} \left(1 + \frac{c}{m_{nII}} - x_3 \right)$	$d_{f3} = 285.49 \text{ mm}$
		$d_{f4} = d_{f3}$	
Teilkreisteilung		$p_t = m_t \pi$	$p_t = 19.61 \text{ mm}$
Stirneingriffsteilung		$p_{et} = \frac{d_{b3} \cdot \pi}{z_3}$	$p_{et} = 18.34 \text{ mm}$
Profilüberdeckung			
		$\varepsilon_{\alpha II} = \frac{1}{p_{et}} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{d_{a3}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_{b3}}{2} \right)^2} + \sqrt{\left(\frac{d_{a4}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_{b4}}{2} \right)^2} - a_v \cdot \sin(\alpha_{wt}) \right]$	
			$\varepsilon_{\alpha II} = 1.43$
Sprungüberdeckung		$\varepsilon_{\beta II} = \frac{b_{wII} \cdot \sin(\beta_{II})}{m_{nII} \cdot \pi}$	$\varepsilon_{\beta II} = 0.51$
Gesamtüberdeckung		$\varepsilon_{\gamma II} = \varepsilon_{\alpha II} + \varepsilon_{\beta II}$	$\varepsilon_{\gamma II} = 1.939$

ist somit fast genau 2.

Eingabedaten

Verzahnungskennwerte

Erste Stirnradstufe

$$\begin{array}{llll} z_1 = 19 & z_2 = 79 & m_{nI} = 5\text{mm} & \beta_I = 6\text{Grad} \\ x_1 = 0.48 & x_2 = 0.29 & a_h = 250\text{mm} & b_{wI} = 80\text{mm} \\ \end{array} \quad K_{BI} = 1.5$$

Zweite Stirnradstufe

$$\begin{array}{llll} z_3 = 47 & z_4 = z_3 & m_{nII} = 6\text{mm} & \beta_{II} = 16\text{Grad} \\ x_3 = 0.59 & x_4 = 0.59 & a_v = 300\text{mm} & b_{wII} = 35\text{mm} \\ \end{array} \quad K_{BII} = 1.34$$

Lagerkennwerte

$$n_0 = 1 \cdot s^{-1} \quad K_{BLI} = 1.35 \quad K_{BLII} = 0.84$$

Bezeichnung	C	C_0	X	Y
A1 6215 $B_{A1} = 25\text{mm}$	$C_{A1} = 65.5\text{kN}$	$C_{0.A1} = 49\text{kN}$	$X_{A1} = 1$	$Y_{A1} = 0$
B1 6015 $B_{B1} = 20\text{mm}$	$C_{B1} = 39\text{kN}$	$C_{0.B1} = 33.5\text{kN}$	$X_{B1} = 1$	$Y_{B1} = 0$
A2 6015 $B_{A2} = 20\text{mm}$	$C_{A2} = 39\text{kN}$	$C_{0.A2} = 33.5\text{kN}$	$X_{A2} = 1$	$Y_{A2} = 0$
B2 16019 $B_{B2} = 16\text{mm}$	$C_{B2} = 40\text{kN}$	$C_{0.B2} = 40.5\text{kN}$	$X_{B2} = 1$	$Y_{B2} = 0$
A3 6015 $B_{A3} = 20\text{mm}$	$C_{A3} = 39\text{kN}$	$C_{0.A3} = 33.5\text{kN}$	$X_{A3} = 1$	$Y_{A3} = 0$
B3 16019 $B_{B3} = 16\text{mm}$	$C_{B3} = 40\text{kN}$	$C_{0.B3} = 40.5\text{kN}$	$X_{B3} = 0.56$	$Y_{B3} = 1.52$

Abstände der Bauteile

$$\begin{array}{lll} A1_S1 = 82.5\text{mm} & B1_S1 = 135\text{mm} & \\ A2_S2 = 80\text{mm} & S2_S3 = 77.5\text{mm} & S3_B2 = 55.5\text{mm} \\ A3_S4 = 57.5\text{mm} & & S4_B3 = 55.5\text{mm} \end{array}$$

Werkstoffe

Antriebswelle :	16MnCr5	$d_{B.1} = 11\text{mm}$	$\sigma_{B.1} = 1000\text{MPa}$	$\sigma_{bW.1} = 500\text{MPa}$
			$\sigma_{S.1} = 695\text{MPa}$	$\tau_{tW.1} = 300\text{MPa}$
Abtriebswelle 1 :	E295	$d_{B.2} = 16\text{mm}$	$\sigma_{B.2} = 490\text{MPa}$	$\sigma_{bW.2} = 245\text{MPa}$
			$\sigma_{S.2} = 295\text{MPa}$	$\tau_{tW.2} = 145\text{MPa}$
Abtriebswelle 2 :	E295	$d_{B.3} = 16\text{mm}$	$\sigma_{B.3} = 490\text{MPa}$	$\sigma_{bW.3} = 245\text{MPa}$
			$\sigma_{S.3} = 295\text{MPa}$	$\tau_{tW.3} = 145\text{MPa}$

Auslastungsrechnung

1. Antriebswelle

1.1 Antriebsritzel S1

Sicherheit gegen Ermüdungsschäden

$$\sigma_{H\lim} = 1400 \text{ MPa}$$

$$Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V = 1 \quad K_H = 1.8 \quad \text{laut Aufgabenstellung}$$

$$Z_N = 1 \quad \text{da die Lastwechselzahl der geforderten Lebensdauer entspricht.}$$

$$Z_E = 190 \sqrt{\text{MPa}} \quad \text{für Stahl gegen Stahl}$$

$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_1)}\right) \quad \alpha_t = 20.1^\circ$$

$$\beta_b = \arcsin(\sin(\beta_I) \cdot \cos(\alpha_n)) \quad \beta_b = 5.64^\circ$$

$$\alpha_{wt} = \arccos\left(\cos(\alpha_t) \cdot \frac{a_{dl}}{a_h}\right) \quad \alpha_{wt} = 22.28^\circ$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos(\alpha_t)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos(\beta_b)}{\tan(\alpha_{wt})}} \quad Z_H = 2.35$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{(4 - \varepsilon_{al}) \cdot (1 - \varepsilon_{\beta I})}{3}} + \frac{\varepsilon_{\beta I}}{\varepsilon_{al}} \quad Z_\varepsilon = 0.87$$

$$Z_\beta = \sqrt{\cos(\beta_I)} \quad Z_\beta = 0.997$$

$$F_{tnennI} = 2 \cdot \frac{T_{nennI}}{d_1} \quad F_{tnennI} = 19.04 \text{ kN}$$

$$F_t = F_{tnennI} \cdot K_{BI} \quad F_t = 28.59 \text{ kN}$$

$$u = \frac{z_2}{z_1} \quad u = 4.16$$

$$\sigma_{H0} = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b_{wl} \cdot d_1} \cdot \frac{u+1}{u}} \quad \sigma_{H0} = 834.19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = \sqrt{K_H} \cdot \sigma_{H0} \quad \sigma_H = 1119.19 \text{ MPa}$$

$$S_{H1} = \frac{\sigma_{H\lim}}{\sigma_H} (Z_N \cdot Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V) \quad S_{H1} = 1.25$$

Sicherheit gegen Ermüdungsbruch

Zahnfußdauerfestigkeit $\sigma_{FE} = 700 \text{ MPa}$ $\sigma_{0.2} = 590 \text{ MPa}$

Der relative Krümmungsradius der Fußrundung ergibt sich nach ZG36 Bild 6 mit

$$x_1 = 0.48 \quad z_{v1} = 19.3 \quad \text{zu} \quad \frac{\rho_{Fn}}{m_n} = 0.42 \quad m_{nI} = 5 \text{ mm}$$

Somit ist $\rho_{Fn} = 2.10$

$$\text{bezogenes Anstrengungsverhältnis} \quad \kappa = \frac{2.3}{\rho_{Fn}} \quad \kappa = 1.1$$

$$Y_\epsilon = 0.2 + \frac{0.8}{\epsilon_{\alpha I}} \quad , \text{da} \quad \epsilon_{\beta I} < 1 \quad Y_\epsilon = 0.75$$

randschichtgehärteter Werkstoff:

$$Y_\delta = 1 + \kappa^{0.55} \cdot 10^{-0.72} \quad Y_\delta = 1.2$$

$$Y_\beta = 1 - \epsilon_{\beta I} \cdot \frac{\beta_I}{120^\circ} \quad Y_\beta = 0.97 \quad , \text{da} \quad Y_{\beta \min} = 1 - 0.25 \cdot \epsilon_{\beta I} \quad Y_{\beta \min} = 0.87$$

und $Y_\beta \geq Y_{\beta \min}$ sowie $Y_{\beta \min} > 0.75$ ist.

$$Y_{FS1} = 3.48 \quad \text{siehe oben}$$

mit $b_1 = b_{WI}$ $b_1 = 80 \text{ mm}$ und $F_t = F_{tnennI} \cdot K_{BI}$ $F_t = 28.59 \text{ kN}$

$$\sigma_{F0} = \frac{F_t}{b_1 \cdot m_{nI}} \cdot Y_{FS1} \cdot Y_\beta \cdot Y_\epsilon$$

$$\sigma_F = K_F \cdot \sigma_{F0} \quad \text{mit} \quad K_F = 1.8 \quad (\text{siehe oben}) \quad \sigma_F = 324.58 \text{ MPa}$$

$$Y_N = 1 \quad Y_X = 1 \quad Y_R = 1$$

$$S_{F1} = \frac{\sigma_{FE} \cdot Y_\delta}{\sigma_F} \cdot (Y_N \cdot Y_X \cdot Y_R) \quad S_{F1} = 2.59$$

Sicherheit gegen bleibende Verformung

$$\sigma_{0.2} = 590 \text{ MPa} \quad x_1 = 0.48 \quad z_{v1} = 19.32$$

$$\text{aus Bild 3 ZG34 lese ich} \quad Y_{Sa1} = 1.62 \quad \text{ab .} \quad Y_{\delta St} = Y_{Sa1}$$

$$F_t = F_{tnennl} \cdot K_{BSI}$$

$$F_t = 47.6 \text{ kN}$$

$$\sigma_{F0max} = \frac{F_t}{b_1 \cdot m_{nI}} \cdot Y_{FS1} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \quad \text{Faktoren wie oben.}$$

$$S_{FSt1} = \frac{\sigma_{0.2} \cdot Y_{\delta St}}{\sigma_{Fmax}}$$

$$\sigma_{Fmax} = 540.46 \text{ MPa}$$

$$S_{FSt1} = \frac{\sigma_{0.2} \cdot Y_{\delta St}}{\sigma_{Fmax}}$$

$$S_{FSt1} = 1.77$$

1.2 Passfeder am Antrieb

$$\text{Der Fügedurchmesser der Passfederverbindung beträgt} \quad d_F = 70 \text{ mm}$$

Daraus ergeben sich folgende Maße:

$$\text{Passfeder :} \quad h = 12 \text{ mm} \quad b = 20 \text{ mm} \quad L_1 = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Nut :} \quad t_1 = 7.5 \text{ mm}$$

$$L_N = L_1 - b \quad t_N = h - t_1 \quad t_N = 4.5 \text{ mm}$$

Vorhandene Pressungen:

$$T = T_{nennl} \cdot K_{BI}$$

$$T = 1.37 \text{ kNm}$$

$$p_{Welle} = \frac{2T}{d_F \cdot t_1 \cdot L_N}$$

$$p_{Welle} = 86.7 \text{ MPa}$$

$$p_{Nabe} = \frac{2T}{d_F \cdot t_N \cdot L_N}$$

$$p_{Nabe} = 144.49 \text{ MPa}$$

Zulässige Pressungen für E295 als Passfederwerkstoff

$$\sigma_S = 295 \text{ MPa}$$

$\varphi = 0.7$ für schwelende Belastung

$$p_{zul} = \sigma_S \cdot \varphi$$

$$p_{zul} = 206.5 \text{ MPa}$$

$$S_{F.P1} = \frac{p_{zul}}{p_{Nabe}}$$

$$S_{F.P1} = 1.43$$

1.3 Wellenfestigkeit

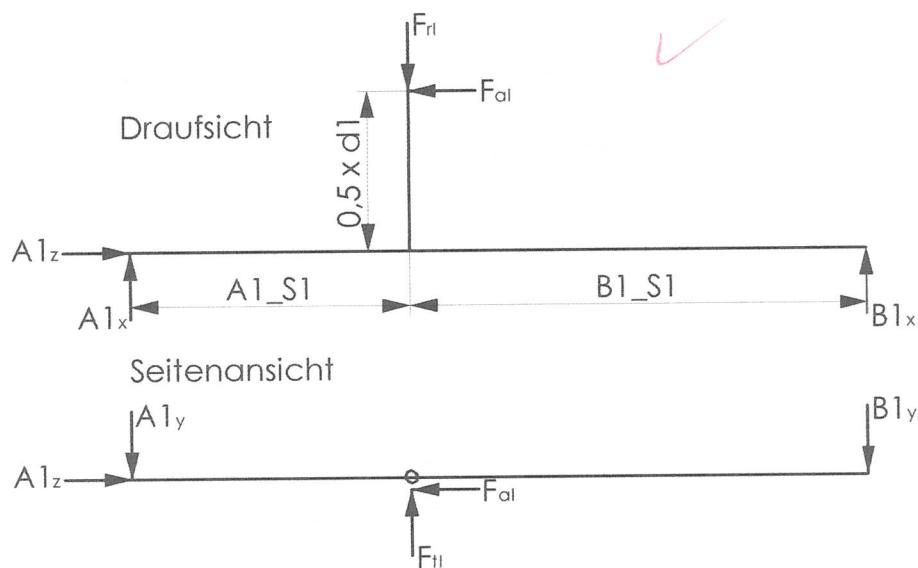
Kräfte am Zahneingriff

$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_I)}\right) \quad \alpha_t = 20.1^\circ$$

$$F_{tl} = \frac{2 \cdot T_{nennI}}{d_1} \quad F_{rl} = F_{tl} \cdot \tan(\alpha_t) \quad F_{al} = F_{tl} \cdot \tan(\beta_I)$$

$$F_{tl} = 19.04 \text{ kN} \quad F_{rl} = 6.97 \text{ kN} \quad F_{al} = 2 \text{ kN}$$

Bilanzen



$$0 = A1_x + B1_x - F_{rl} \quad 0 = B1_x \cdot (A1_S1 + B1_S1) + F_{al} \cdot \frac{d_1}{2} - F_{rl} \cdot A1_S1$$

$$0 = A1_y + B1_y - F_{tl} \quad 0 = B1_y \cdot (A1_S1 + B1_S1) - F_{tl} \cdot A1_S1$$

$$0 = A1_z + F_{al}$$

$$F_{L1} = \text{Verweis}(A1_x, A1_y, A1_z, B1_x, B1_y)$$

$$A1_x = F_{L1_1} \quad A1_x = 4.76 \text{ kN} \quad B1_x = F_{L1_4} \quad B1_x = 2.2 \text{ kN}$$

$$A1_y = F_{L1_2} \quad A1_y = 11.82 \text{ kN} \quad B1_y = F_{L1_5} \quad B1_y = 7.22 \text{ kN}$$

$$A1_z = F_{L1_3} \quad A1_z = -2 \text{ kN}$$

Momentenverläufe

1. Abschnitt: $0 \leq z < A1_S1$ $A1_S1 = 82.5 \text{ mm}$

$$M_{bx1}(z) = -A1_y \cdot z \quad M_{bx1}(A1_S1) = -975.06 \text{ Nm}$$

$$M_{by1}(z) = A1_x \cdot z \quad M_{by1}(A1_S1) = 393.11 \text{ Nm}$$

2. Abschnitt: $A1_S1 < z < (A1_S1 + B1_S1)$ $A1_S1 + B1_S1 = 217.5 \text{ mm}$

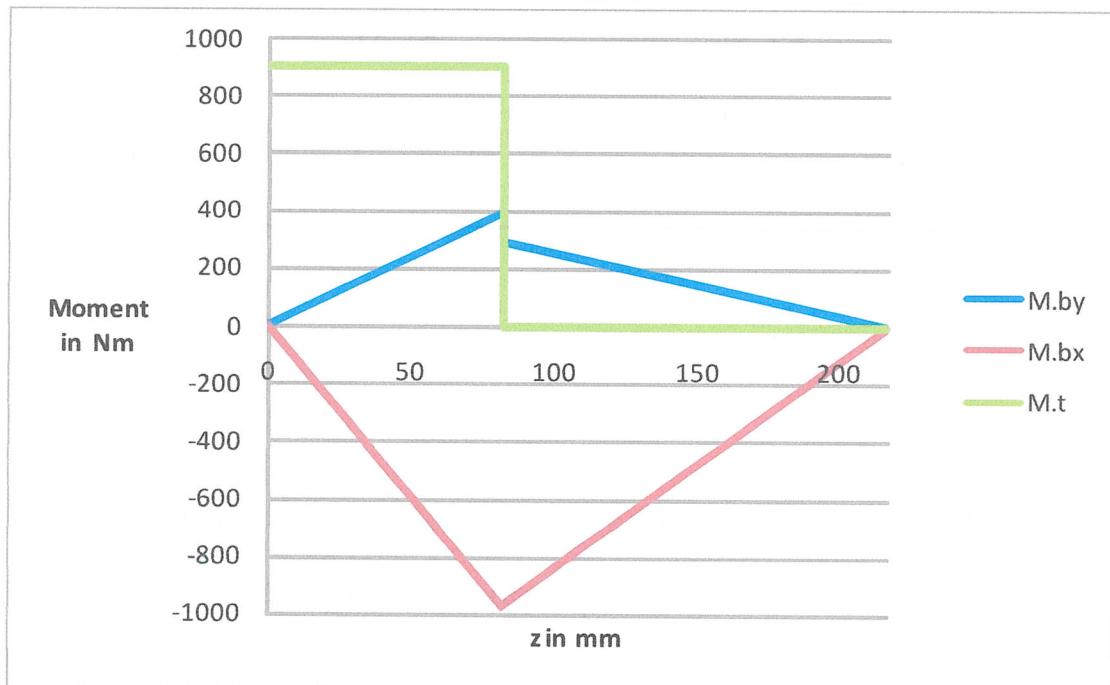
$$M_{bx2}(z) = -A1_y \cdot z + F_{tl} \cdot (z - A1_S1)$$

$$M_{by2}(z) = A1_x \cdot z - F_{rl} \cdot (z - A1_S1) - F_{al} \cdot \left(\frac{d_1}{2} \right)$$

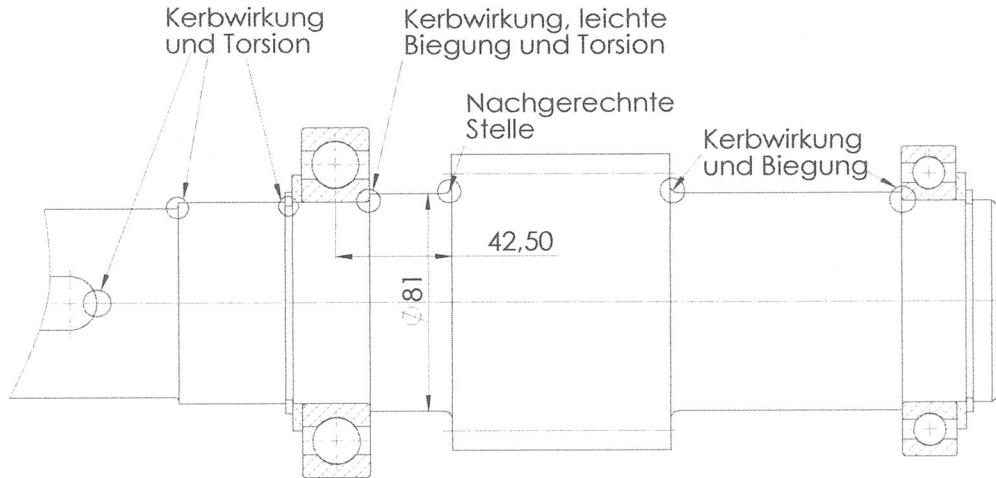
$$M_{bx2}(A1_S1) = -975.06 \text{ Nm} \quad M_{bx2}(A1_S1 + B1_S1) = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{by2}(A1_S1) = 297.52 \text{ Nm} \quad M_{by2}(A1_S1 + B1_S1) = 0 \text{ Nm}$$

$$T_{nennI} = 909.46 \text{ Nm}$$



Position und Durchmesser des höchstbeanspruchten Querschnittes



$$z = 42.5 \text{ mm} \quad d = 75 \text{ mm}$$

Spannungen im 1. Abschnitt

$$M_{b1}(z) = \sqrt{M_{by1}(z)^2 + M_{bx1}(z)^2}$$

Widerstandsmomente :

$$W_b(d) = \frac{\pi}{32} \cdot d^3$$

$$W_t(d) = 2 \cdot W_b(d)$$

Maximale Nennbiegespannung :

$$\sigma_{bNenn}(z, d) = \frac{M_{b1}(z)}{W_b(d)}$$

Nenntorsionsspannung :

$$\tau_{tNenn}(d) = \frac{T_{nennI}}{W_t(d)}$$

$$\sigma_{bNenn} = \sigma_{bNenn}(z, d)$$

$$\sigma_{bNenn} = 13.08 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tNenn} = \tau_{tNenn}(d)$$

$$\tau_{tNenn} = 10.98 \text{ MPa}$$

Die Torsionsspannungen schwanken um 25%, was durch den Faktor $K_{A\tau} = 1.25$ ausgedrückt wird.

$$K_B = K_{BI}$$

$$K_B = 1.5$$

$$K_{BS} = K_{BSI}$$

$$K_{BS} = 2.5$$

$$\sigma_{ba} = \sigma_{bNenn} \cdot K_B$$

$$\sigma_{ba} = 19.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bmax} = \sigma_{bNenn} \cdot K_{BS}$$

$$\sigma_{bmax} = 32.69 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ta} = \tau_{tNenn} \cdot K_B \cdot (K_{A\tau} - 1)$$

$$\tau_{ta} = 4.12 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tmax} = \tau_{tNenn} \cdot K_{BS}$$

$$\tau_{tmax} = 27.45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{mv} = \sqrt{\sigma_{bNenn}^2 + 3 \cdot \tau_{tNenn}^2}$$

$$\sigma_{mv} = 23.08 \text{ MPa}$$

$$\tau_{mv} = \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{mv} = 13.32 \text{ MPa}$$

Nachweis des Vermeidens von Dauerbrüchen

Kerbform : abgesetzter Rundstab bei Biegung

$$r = 3 \text{ mm} \quad d = 75 \text{ mm} \quad D = d_{f1} \quad t = \frac{D - d}{2} \quad R_z = 63 \mu\text{m}$$

Werkstoffdaten der Ritzelwelle siehe Eingabedaten:

$$d_{eff} = d_{a1} \quad d_{eff} = 109.94 \text{ mm} \quad \sigma_S = \sigma_{S,1} \quad \sigma_S = 695 \text{ MPa}$$

$$d_B = d_{B,1} \quad d_B = 11 \text{ mm} \quad \sigma_{bW} = \sigma_{bW,1} \quad \sigma_{bW} = 500 \text{ MPa}$$

$$\sigma_B = \sigma_{B,1} \quad \sigma_B = 1000 \text{ MPa} \quad \tau_{tW} = \tau_{tW,1} \quad \tau_{tW} = 300 \text{ MPa}$$

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{1}{\sqrt{0.62 \frac{r}{t} + 1.16 \frac{r}{d} \left(1 + 2 \frac{r}{d}\right)^2 + 0.2 \left(\frac{r}{t}\right)^3 \frac{d}{D}}} \quad \alpha_\sigma = 2.66$$

$$\phi = \frac{1}{4 \sqrt{\frac{t}{r} + 2}} \quad G' = \frac{2.3(1 + \phi)}{r} \quad n = 1 + \sqrt{G' \cdot \text{mm}} \cdot 10^{-0.7}$$

$$\beta_\sigma = \frac{\alpha_\sigma}{n}$$

$$\beta_\sigma = 2.25$$

$$\alpha_\tau = 1 + \frac{1}{\sqrt{3.4 \frac{r}{t} + 38 \frac{r}{d} \left(1 + 2 \frac{r}{d}\right)^2 + \left(\frac{r}{t}\right)^3 \frac{d}{D}}} \quad \alpha_\tau = 1.54$$

$$G' = \frac{1.15}{r} \quad n = 1 + \sqrt{G' \cdot mm} \cdot 10^{-0.7}$$

$$\beta_\tau = \frac{\alpha_\tau}{n} \quad \beta_\tau = 1.37$$

$$d_{eff} = 109.94 \text{ mm} \quad d_{eff} > 16 \text{ mm}$$

$$K_1(d_{eff}) = 1 - 0.26 \cdot \log\left(\frac{d_{eff}}{d_B}\right) \quad K_1(d_{eff}) = 0.74$$

$$K_2(d) = 1 - 0.2 \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7.5 \text{ mm}}\right)}{\log(20)} \quad K_2(d) = 0.85$$

$$K_{F\sigma} = 1 - 0.22 \cdot \log\left(\frac{R_z}{\mu m}\right) \cdot \left(\log\left(\frac{\sigma_B}{20 \text{ MPa}}\right) - 1 \right) \quad K_{F\sigma} = 0.72$$

$$K_{F\tau} = 0.575 \cdot K_{F\sigma} + 0.425 \quad K_{F\tau} = 0.84$$

$$K_V = 1$$

$$K_\sigma = \left(\frac{\beta_\sigma}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \quad K_\sigma = 3.04$$

$$K_\tau = \left(\frac{\beta_\tau}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \quad K_\tau = 1.81$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bW} \cdot \frac{K_1(d_{eff})}{K_\sigma} \quad \sigma_{bWK} = 121.86 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tWK} = \tau_{tW} \cdot \frac{K_1(d_{eff})}{K_\tau} \quad \tau_{tWK} = 122.86 \text{ MPa}$$

$$\psi_{\sigma bK} = \frac{\sigma_{bWK}}{2\sigma_B \cdot K_1(d_{eff}) - \sigma_{bWK}} \quad \psi_{\sigma bK} = 0.09$$

$$\psi_{\tau K} = \frac{\tau_{tWK}}{2\sigma_B \cdot K_1(d_{eff}) - \tau_{tWK}} \quad \psi_{\tau K} = 0.09$$

$$\sigma_{bADK} = \sigma_{bWK} - \psi_{\sigma bK} \cdot \sigma_{mv} \quad \sigma_{bADK} = 119.79 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tADK} = \tau_{tWK} - \psi_{\tau K} \cdot \tau_{mv} \quad \tau_{tADK} = 121.66 \text{ MPa}$$

$$S_{D,W1} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}} \quad S_{D,W1} = 5.98$$

Statische Festigkeit der Welle

$$K_{2F} = 1.2 \quad \text{Vollwelle und Torsion, Biegung bzw. Zug}$$

$$\gamma_{zbF} = 1.15 \quad \text{Biegung und } \alpha_{\sigma} = 2.66$$

$$\gamma_{tf} = 1 \quad \text{Torsion}$$

$$\sigma_{bFK} = K_1(d_{eff}) K_{2F} \cdot \gamma_{zbF} \cdot \sigma_S \quad \sigma_{bFK} = 709.79 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tFK} = K_1(d_{eff}) K_{2F} \cdot \gamma_{tf} \cdot \frac{\sigma_S}{\sqrt{3}} \quad \tau_{tFK} = 356.35 \text{ MPa}$$

$$S_{F,W1} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bFK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tFK}}\right)^2}} \quad S_{F,W1} = 11.14$$

1.4 Wälzlager A1

Dynamische Tragfähigkeit

$$a_1 = 1 \quad \text{Erlebenswahrscheinlichkeit 90\%}$$

$$a_{23} = 1 \quad \text{siehe Aufgabenstellung}$$

$$n_0 = 1 \text{ s}^{-1}$$

$$f_H = 1 \quad \text{keine Unterschreitung der Mindesthärte von 700 HV}$$

$$f_T = 1 \quad \text{Lagertemperatur unter 150°C}$$

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

$$F_r = \sqrt{A1_x^2 + A1_y^2} \quad F_r = 12.74 \text{ kN}$$

$$F_a = |A1_z| \quad F_a = 2 \text{ kN}$$

$$\frac{F_a}{C_{0,A1}} = 0.041 \quad e = \frac{0.26 - 0.22}{0.056 - 0.028} \cdot \left(\frac{F_a}{C_{0,A1}} - 0.056 \right) + 0.26$$

$$e = 0.238 \quad \frac{F_a}{F_r} = 0.16 \quad \frac{F_a}{F_r} < e \quad X_{A1} = 1 \quad Y_{A1} = 0$$

$$P_{nenn} = X_{A1} \cdot F_r + Y_{A1} \cdot F_a \quad P_{nenn} = 12.74 \text{ kN}$$

$$P = K_{BLI} \cdot P_{nenn} \quad P = 17.2 \text{ kN}$$

$$C_{A1} = 65.5 \text{ kN}$$

$$L_{hn.A1} = \frac{a_1 \cdot a_{23} \cdot 10^6}{60 \frac{\min}{h} \cdot n_0} \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot C_{A1}}{P} \right)^p \quad L_{hn.A1} = 15.33 \text{ Th}$$

Statische Tragfähigkeit

$$X_0 = 0.6 \quad Y_0 = 0.5 \quad X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 8.65 \text{ kN} \quad F_r = 12.74 \text{ kN}$$

$$\text{daraus folgt, dass } P_{0,nenn} = 12.74 \text{ kN}$$

$$P_0 = K_{BSII} \cdot P_{0,nenn} \quad P_0 = 31.86 \text{ kN}$$

$$f_{s,A1} = \frac{C_{0,A1}}{P_0} \quad C_{0,A1} = 49 \text{ kN}$$

$$f_{s,A1} = 1.54$$

1.5 Wälzlager B1

Dynamische Tragfähigkeit

$$F_r = \sqrt{B1_x^2 + B1_y^2} \quad F_a = 0 \quad F_r = 7.55 \text{ kN}$$

$$Y_{B1} = 0 \quad X_{B1} = 1$$

$$P_{nenn} = X_{B1} \cdot F_r + Y_{B1} \cdot F_a \quad P_{nenn} = 7.55 \text{ kN}$$

$$P = K_{BLI} \cdot P_{nenn} \quad P = 10.19 \text{ kN}$$

$$C_{B1} = 39 \text{ kN}$$

$$L_{hn.B1} = \frac{a_1 \cdot a_{23} \cdot 10^6}{60 \frac{\min}{h} \cdot n_0} \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot C_{B1}}{P} \right)^p \quad L_{hn.A1} = 15.3 \text{ Th}$$

Statische Tragfähigkeit

$$X_0 = 0.6 \quad Y_0 = 0.5 \quad X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 4.53 \text{ kN} \quad F_r = 7.55 \text{ kN}$$

daraus folgt das $P_{0,nenn} = 7.55 \text{ kN}$

$$P_0 = K_{BSI} \cdot P_{0,nenn}$$

$$P_0 = 18.88 \text{ kN}$$

$$C_{0,B1} = 33.5 \text{ kN}$$

$$f_{s,B1} = \frac{C_{0,B1}}{P_0}$$

$$f_{s,B1} = 1.77$$

2. Abtriebswelle 1

2.1 Stirnrad S2

Sicherheit gegen Ermüdungsschäden

$S_{H2} = S_{H1}$, da die Sicherheit gegen Ermüdungsschäden für beide Räder in einer Stufe gilt.

$$S_{H2} = 1.25$$

Sicherheit gegen Ermüdungsbruch

Die Berechnung erfolgt analog der vom Antriebsritzel

$$\begin{aligned} x_2 &= 0.29 & z_{v2} &= 80.31 & \frac{\rho_{Fn}}{m_{nI}} &= 0.42 & m_{nI} &= 5 \text{ mm} & \rho_{Fn} &= 2.1 \\ \kappa &= \frac{2.3}{\rho_{Fn}} & \kappa &= 1.1 \end{aligned}$$

$$Y_\epsilon = 0.2 + \frac{0.8}{\epsilon_{\alpha I}}, \text{ da } \epsilon_{\beta I} < 1 \quad Y_\epsilon = 0.75$$

randschichtgehärteter Werkstoff

$$Y_\delta = 1 + \kappa^{0.55} \cdot 10^{-0.72} \quad Y_\delta = 1.2$$

$$Y_\beta = 1 - \epsilon_{\beta I} \cdot \frac{\beta_I}{120^\circ} \quad Y_\beta = 0.97 \quad , \text{da} \quad Y_{\beta \min} = 1 - 0.25 \cdot \epsilon_{\beta I} \quad Y_{\beta \min} = 0.87$$

und $Y_\beta \geq Y_{\beta \min}$ sowie $Y_{\beta \min} > 0.75$ ist.

$$b_2 = b_{wI} \quad b_2 = 80 \text{ mm} \quad \text{und} \quad F_t = F_{t \text{ trennI}} \cdot K_{BI} \quad F_t = 28.59 \text{ kN}$$

$$\sigma_{F0} = \frac{F_t}{b_2 \cdot m_{nI}} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\epsilon \quad Y_{FS2} \quad \text{siehe oben}$$

$$\sigma_F = K_F \cdot \sigma_{F0}$$

$$S_{F2} = \frac{\sigma_{FE} \cdot Y_\delta}{\sigma_F} \cdot (Y_N \cdot Y_X \cdot Y_R) \quad S_{F2} = 2.54$$

Sicherheit gegen bleibende Verformung

$$x_2 = 0.29 \quad z_{v2} = 80.31 \quad Y_{Sa2} = 1.7 \quad Y_{\delta St} = Y_{Sa2}$$

$$F_t = F_{tnennI} \cdot K_{BSI}$$

$$F_t = 47.6 \text{ kN}$$

$$\sigma_{F0max} = \frac{F_t}{b_2 \cdot m_{nI}} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\epsilon$$

$$\sigma_{Fmax} = K_F \cdot \sigma_{F0max}$$

$$S_{FSI2} = \frac{\sigma_{0.2} \cdot Y_{\delta St}}{\sigma_{Fmax}}$$

$$S_{FSI2} = 1.82$$

2.2 Stirnrad S3

Sicherheit gegen Ermüdungsschäden

$$\sigma_{Hlim} = 1400 \text{ MPa}$$

$$Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V = 1 \quad K_H = 1.8 \quad \text{laut Aufgabenstellung}$$

$$Z_N = 1 \quad \text{,da die Lastwechselzahl der geforderten Lebensdauer entspricht.}$$

$$Z_E = 190 \sqrt{\text{MPa}} \quad \text{,für Stahl gegen Stahl}$$

$$\alpha_t = \text{atan} \left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_{II})} \right)$$

$$\alpha_t = 20.74^\circ$$

$$\beta_b = \text{asin} \left(\sin(\beta_{II}) \cdot \cos(\alpha_n) \right)$$

$$\beta_b = 15.01^\circ$$

$$\alpha_{wt} = \text{acos} \left(\cos(\alpha_t) \cdot \frac{a_{dII}}{a_v} \right)$$

$$\alpha_{wt} = 23.86^\circ$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos(\alpha_t)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos(\beta_b)}{\tan(\alpha_{wt})}}$$

$$Z_H = 2.23$$

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{(4 - \epsilon_{\alpha II}) \cdot (1 - \epsilon_{\beta II})}{3} + \frac{\epsilon_{\beta II}}{\epsilon_{\alpha II}}}$$

$$Z_\epsilon = 0.88$$

$$Z_\beta = \sqrt{\cos(\beta_{II})}$$

$$Z_\beta = 0.98$$

$$F_{tnennII} = 2 \frac{T_{nennII}}{d_3}$$

$$F_{tnennI} = 19.04 \text{ kN}$$

$$F_t = F_{tnennII} \cdot K_{BII}$$

$$F_t = 17.46 \text{ kN}$$

$$u = 1$$

$$\sigma_{H0} = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b_{WII} \cdot d_3} \cdot \frac{u+1}{u}} \quad \sigma_{H0} = 676.72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = \sqrt{K_H} \cdot \sigma_{H0} \quad \sigma_H = 907.92 \text{ MPa}$$

$$S_{H3} = \frac{\sigma_{Hlim}}{\sigma_H} (Z_N \cdot Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V) \quad S_{H3} = 1.54$$

Sicherheit gegen Ermüdungsbruch

$$\text{Zahnfußdauerfestigkeit} \quad \sigma_{FE} = 700 \text{ MPa}$$

Der relative Krümmungsradius der Fußrundung ergibt sich nach ZG36 Bild 6 mit

$$x_3 = 0.59 \quad z_{v3} = 52.91 \quad \text{zu} \quad \frac{\rho_{Fn}}{m_n} = 0.48 \quad m_{nII} = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Somit ist} \quad \rho_{Fn} = 2.4$$

$$\text{bezogenes Anstrenungsverhältnis} \quad \kappa = \frac{2.3}{\rho_{Fn}} \quad \kappa = 0.958$$

$$\text{Steckgrenze von 16MnCr5} \quad \sigma_{0.2} = 590 \text{ MPa}$$

$$Y_\varepsilon = 0.2 + \frac{0.8}{\varepsilon_{\alpha II}}, \text{ da } \varepsilon_{\beta II} < 1 \quad Y_\varepsilon = 0.76$$

randschichtgehärteter Werkstoff

$$Y_\delta = 1 + \kappa^{0.55} \cdot 10^{-0.72} \quad Y_\delta = 1.19$$

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_{\beta II} \cdot \frac{\beta_{II}}{120^\circ} \quad Y_\beta = 0.93, \text{ da } Y_{\beta min} = 1 - 0.25 \cdot \varepsilon_{\beta II} \quad Y_{\beta min} = 0.87$$

$$\text{und} \quad Y_\beta \geq Y_{\beta min} \quad \text{sowie} \quad Y_{\beta min} > 0.75 \quad \text{ist.}$$

$$Y_{FS3} = 3.44 \quad \text{siehe oben} \quad K_F = 1.8$$

$$\text{mit} \quad b_3 = b_{WII} \quad b_3 = 35 \text{ mm} \quad \text{und} \quad F_t = F_{tnennII} \cdot K_{BII} \quad F_t = 17.46 \text{ kN}$$

$$\sigma_{F0} = \frac{F_t}{b_3 \cdot m_{nII}} \cdot Y_{FS3} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \quad \sigma_{F0} = 202.35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_F = K_F \cdot \sigma_{F0} \quad \sigma_F = 364.24 \text{ MPa}$$

$$Y_N = 1 \quad Y_x = 1 \quad Y_R = 1$$

$$S_{F3} = \frac{\sigma_{FE} \cdot Y_\delta}{\sigma_F} (Y_N \cdot Y_x \cdot Y_R) \quad S_{F3} = 2.28$$

Sicherheit gegen bleibende Verformung

$$\sigma_{0.2} = 590 \text{ MPa} \quad x_3 = 0.59 \quad z_{v3} = 52.91$$

$$\text{aus Bild 3 ZG34 lese ich } Y_{Sa} = 1.75 \quad \text{ab. } Y_{\delta St} = Y_{Sa}$$

$$F_t = F_{tnennII} \cdot K_{BSII}$$

$$F_t = 32.55 \text{ kN}$$

$$\sigma_{F0max} = \frac{F_t}{b_3 \cdot m_{nII}} \cdot Y_{FS3} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \quad \sigma_{F0max} = 377.25 \text{ MPa}$$

$$K_F = 1.8$$

$$\sigma_{Fmax} = K_F \cdot \sigma_{F0max} \quad \sigma_{Fmax} = 679.05 \text{ MPa}$$

$$S_{FSt3} = \frac{\sigma_{0.2} \cdot Y_{\delta St}}{\sigma_{Fmax}} \quad S_{FSt3} = 1.52$$

2.3 Pressitz Stirnrad S3

Durchmesserverhältnisse :

$$D_F = 105 \text{ mm} \quad D_{Aa} = d_{f3} \quad D_{Aa} = 285.49 \text{ mm}$$

$$Q_I = 0 \quad Q_A = \frac{D_F}{D_{Aa}} \quad l_F = b_{wII} \quad l_F = 35 \text{ mm}$$

$$\mu = 0.14 \quad \text{Schrumpfverband}$$

Ertragbare Spannungen

Werkstoffkennwerte der 1. und 2. Abtriebswelle siehe Eingabedaten

$$\sigma_{SI} = \sigma_{S.2} \quad \sigma_{SI} = 295 \text{ MPa} \quad d_{eff.I} = 115 \text{ mm}$$

$$d_{B.I} = d_{B.2} \quad d_{B.I} = 16 \text{ mm}$$

Die Außenteile sind die Stirnräder aus 16 MnCr5

$$\sigma_{SA} = 695 \text{ MPa} \quad d_{B.A} = 11 \text{ mm}$$

$$K_1(D_F) = 1 - 0.26 \log \left(\frac{d_{\text{eff.I}}}{2d_{\text{B.I}}} \right)$$

$$p_{GI} = \sigma_{SI} \cdot K_1(D_F)$$

$$K_1(D_F) = 0.86$$

$$p_{GI} = 252.39 \text{ MPa}$$

$$K_1(D_{Aa}) = 1 - 0.26 \log \left(\frac{D_{Aa}}{d_{\text{B.A}}} \right)$$

$$p_{GA} = \frac{1 - Q_A^2}{\sqrt{3 + Q_A^4}} \cdot \sigma_{SA} K_1(D_{Aa})$$

$$K_1(D_{Aa}) = 0.63$$

$$p_{GA} = 218.73 \text{ MPa}$$

Passung

$$D_F = 105 \text{ mm}$$

$$105 \text{ H8 / u8}$$

$$IT8(D_F) = 54 \mu\text{m}$$

$$u(D_F) = 144 \mu\text{m}$$

Übermaßverlust

$$R_{zI} = 6.3 \mu\text{m}$$

$$R_{zA} = 6.3 \mu\text{m}$$

$$\Delta U = 0.8(R_{zI} + R_{zA})$$

$$\Delta U = 10.08 \mu\text{m}$$

$$U_k = u(D_F) - IT8(D_F)$$

$$U_k = 90 \mu\text{m}$$

$$U_g = u(D_F) + IT8(D_F)$$

$$U_g = 198 \mu\text{m}$$

Sicherheiten

$$p_K = (U_g - \Delta U) \cdot \frac{E}{D_F} \cdot \frac{1 - Q_A^2}{2}$$

$$p_K = 69.11 \text{ MPa}$$

$$S_{R.Q2} = \frac{p_K \cdot \pi \cdot D_F^2 \cdot I_F \cdot \mu}{2 \cdot T_{\text{nennII}} \cdot K_{\text{BSII}}}$$

$$S_{R.Q2} = 1.23$$

$$p_g = (U_g - \Delta U) \cdot \frac{E}{D_F} \cdot \frac{1 - Q_A^2}{2}$$

$$p_g = 162.5 \text{ MPa}$$

$$p_{GI} = 252.39 \text{ MPa}$$

$$p_{GA} = 218.73 \text{ MPa}$$

$$S_{F.Q2} = \frac{p_{GA}}{p_g}$$

$$S_{F.Q2} = 1.35$$

Fügetemperatur

Bei einer Raumtemperatur von $t_R = 20^\circ\text{C}$

einem Fügespiel von $\Delta_F = \frac{D_F}{1000}$

und einem Längenausdehnungskoeffizienten von

$$\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \quad \text{ergibt sich die Fügetemperatur mit}$$

$$\delta_{Q2} = t_R + \frac{U_k + \Delta_F}{\alpha \cdot D_F} \quad \text{zu} \quad \delta_{Q2} = 188,83^\circ\text{C}$$

Diese Temperatur ist mit einem Ölbad ohne Schädigung der Unwuchtscheibe zu realisieren.

2.4 Stirnrad S2 (Passfeder)

Der Fügedurchmesser der Passfederverbindung beträgt $d_F = 75\text{mm}$

Daraus ergeben sich folgende Maße:

$$\text{Passfeder : } h = 12\text{mm} \quad b = 20\text{mm} \quad L_1 = 72\text{mm}$$

$$\text{Nut : } t_1 = 7.5\text{mm}$$

$$L_N = L_1 - b \quad t_N = h - t_1 \quad t_N = 4.5 \text{ mm}$$

Vorhandene Pressungen:

$$T = T_{\text{nenn}} \cdot K_{BI} \quad T = 1.37 \text{ kNm}$$

$$p_{\text{Welle}} = \frac{2T}{d_F \cdot t_1 \cdot L_1} \quad p_{\text{Welle}} = 93.4 \text{ MPa}$$

$$p_{\text{Nabe}} = \frac{2T}{d_F \cdot t_N \cdot L_N} \quad p_{\text{Nabe}} = 155.61 \text{ MPa}$$

Zulässige Pressungen für E295 als Passfederwerkstoff

$$\sigma_S = 295 \text{ MPa}$$

$\varphi = 0.7$ für schwellende Belastung

$$p_{\text{zul}} = \sigma_S \cdot \varphi$$

$$p_{\text{zul}} = 206.5 \text{ MPa}$$

$$S_{F,P2} = \frac{p_{\text{zul}}}{p_{\text{Nabe}}} \quad S_{F,P2} = 1.33$$

2.5 Wellenfestigkeit

Kräfte am 2. Zahneingriff

$$\alpha_t = \text{atan} \left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_{II})} \right) \quad \alpha_t = 20.74^\circ$$

$$F_{tII} = \frac{2 \cdot T_{nennII}}{d_3}$$

$$F_{tII} = 13.02 \text{ kN}$$

$$F_{tl} = 19.04 \text{ kN}$$

$$F_{rII} = F_{tII} \cdot \tan(\alpha_t)$$

$$F_{rl} = 4.93 \text{ kN}$$

$$F_{rl} = 6.97 \text{ kN}$$

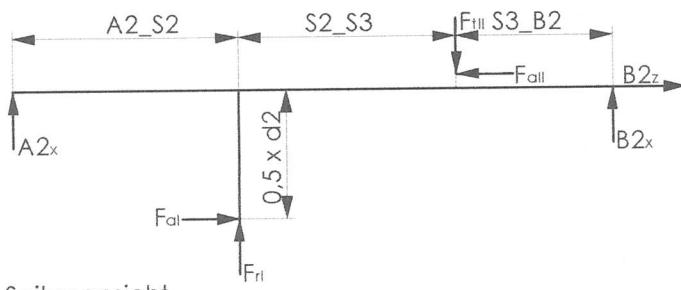
$$F_{aII} = F_{tII} \cdot \tan(\beta_{II})$$

$$F_{al} = 3.73 \text{ kN}$$

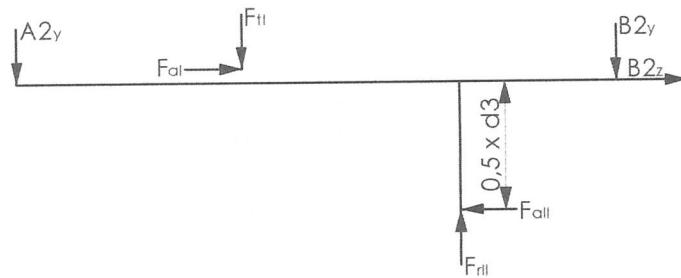
$$F_{al} = 2 \text{ kN}$$

Bilanzen

Draufsicht



Seitenansicht



$$0 = A2_x + B2_x + F_{rl} - F_{tII} \quad 0 = A2_y + B2_y + F_{tl} - F_{rII} \quad 0 = B2_z + F_{al} - F_{aII}$$

$$0 = B2_x \cdot (A2_S2 + S2_S3 + S3_B2) - F_{tII} \cdot (A2_S2 + S2_S3) + F_{al} \cdot \frac{d_2}{2} + F_{rl} \cdot A2_S2$$

$$0 = B2_y \cdot (A2_S2 + S2_S3 + S3_B2) + F_{tl} \cdot A2_S2 - F_{rII} \cdot (A2_S2 + S2_S3) + F_{aII} \cdot \frac{d_3}{2}$$

$$F_{L2} = \text{Verweis}(A2_x, A2_y, B2_z, B2_x, B2_y)$$

$$A2_x = F_{L2_1}$$

$$A2_x = 0.91 \text{ kN}$$

$$B2_x = F_{L2_4}$$

$$B2_x = 5.14 \text{ kN}$$

$$A2_y = F_{L2_2}$$

$$A2_y = -8.03 \text{ kN}$$

$$B2_y = F_{L2_5}$$

$$B2_y = -6.08 \text{ kN}$$

$$B2_z = F_{L2_3}$$

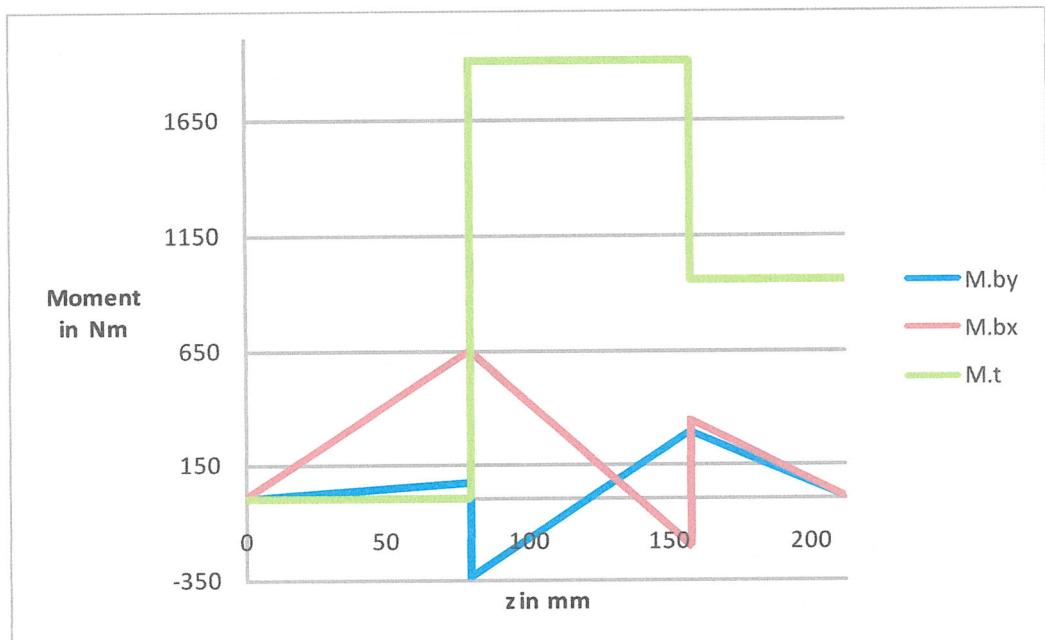
$$B2_z = 1.73 \text{ kN}$$

Momentenverläufe

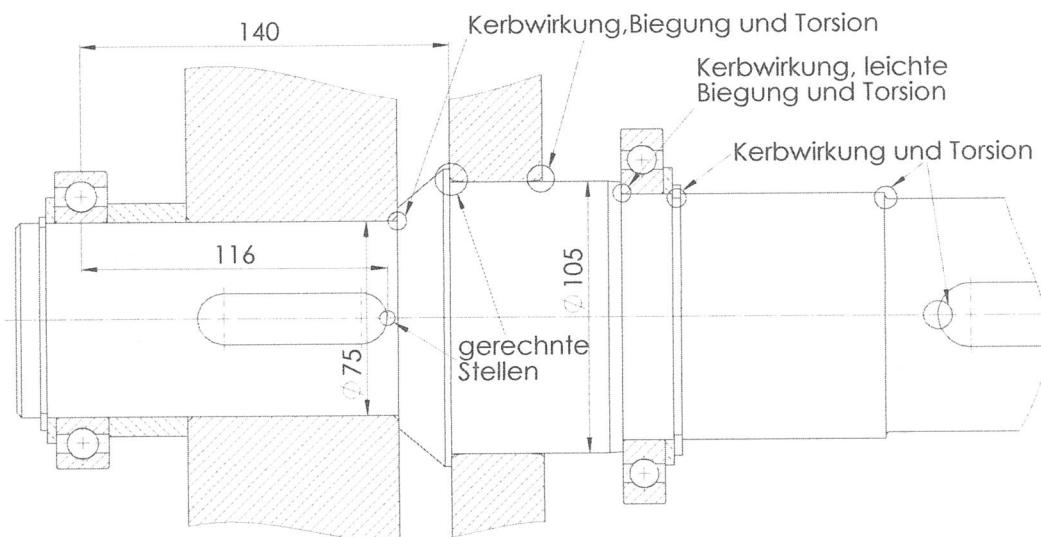
1. Abschnitt: $0 \leq z < A2_S2$ $A2_S2 = 80 \text{ mm}$
- $$M_{bx1}(z) = -A2_y \cdot z \quad M_{bx1}(A2_S2) = 642.73 \text{ Nm}$$
- $$M_{by1}(z) = A2_x \cdot z \quad M_{by1}(A2_S2) = 72.58 \text{ Nm}$$
2. Abschnitt: $A2_S2 < z < (A2_S2 + S2_S3)$ $A2_S2 + S2_S3 = 157.5 \text{ mm}$
- $$M_{bx2}(z) = -A2_y \cdot z - F_{tl} \cdot (z - A2_S2)$$
- $$M_{by2}(z) = A2_x \cdot z + F_{rl} \cdot (z - A2_S2) - F_{al} \cdot \frac{d_2}{2}$$
- $$M_{bx2}(A2_S2) = 642.73 \text{ Nm} \quad M_{bx2}(A2_S2 + S2_S3) = -210.35 \text{ Nm}$$
- $$M_{by2}(A2_S2) = -324.87 \text{ Nm} \quad M_{by2}(A2_S2 + S2_S3) = 285.52 \text{ Nm}$$
3. Abschnitt: $(A2_S2 + S2_S3) < z < (A2_S2 + S2_S3 + S3_B2)$
 $A2_S2 + S2_S3 + S3_B2 = 213 \text{ mm}$
- $$M_{bx3}(z) = -A2_y \cdot z - F_{tl} \cdot (z - A2_S2) + F_{rl} \cdot (z - A2_S2 - S2_S3) + F_{al} \cdot \frac{d_3}{2}$$
- $$M_{by3}(z) = A2_x \cdot z + F_{rl} \cdot (z - A2_S2) - F_{al} \cdot \frac{d_2}{2} - F_{tl} \cdot (z - A2_S2 - S2_S3)$$
- $$M_{bx3}(A2_S2 + S2_S3) = 337.3 \text{ Nm}$$
- $$M_{by3}(A2_S2 + S2_S3) = 285.52 \text{ Nm}$$
- $$M_{bx3}(A2_S2 + S2_S3 + S3_B2) = -0 \text{ Nm}$$
- $$M_{by3}(A2_S2 + S2_S3 + S3_B2) = 0 \text{ Nm}$$

$$T_{nennII} = 1909.86 \text{ Nm}$$

$$\frac{T_{nennII}}{2} = 954.93 \text{ Nm}$$



Position und Durchmesser der höchstbeanspruchten Querschnitte



Spannungen im 2. Abschnitt

Nennbiegemoment :

$$A2_S2 \leq z < (A2_S2 + S2_S3)$$

$$M_{b2}(z) = \sqrt{M_{by2}(z)^2 + M_{bx2}(z)^2}$$

Widerstandsmomente :

$$W_b(d) = \frac{\pi}{32} \cdot d^3$$

$$W_t(d) = 2 \cdot W_b(d)$$

Maximale Nennbiegespannung :

$$\sigma_b(z, d) = \frac{M_{b2}(z)}{W_b(d)}$$

Nenntorsionsspannung :

$$\tau_t(d) = \frac{2T_{nennII}}{W_t(d)}$$

Werkstoffdaten der 1. Abtriebswelle siehe Eingabedaten:

$$d_{eff} = 115\text{mm}$$

$$\sigma_S = \sigma_{S.2}$$

$$\sigma_S = 295 \text{ MPa}$$

$$d_B = d_{B.2} \quad d_B = 16 \text{ mm}$$

$$\sigma_{bW} = \sigma_{bW.2}$$

$$\sigma_{bW} = 245 \text{ MPa}$$

$$\sigma_B = \sigma_{B.2} \quad \sigma_B = 490 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tW} = \tau_{tW.2}$$

$$\tau_{tW} = 145 \text{ MPa}$$

Kerfom 1 : Passfeder

$$z = 116\text{mm}$$

$$d = 75\text{mm}$$

$$\sigma_{bNenn} = \sigma_b(z, d)$$

$$\sigma_{bNenn} = 6.03 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tNenn} = \tau_t(d)$$

$$\tau_{tNenn} = 46.11 \text{ MPa}$$

Die Spannungen schwanken um 25%, was durch den Faktor ausgedrückt wird.

$$K_{A\tau} = 1.25$$

$$K_B = K_{BII}$$

$$K_B = 1.34$$

$$K_{BS} = K_{BSII}$$

$$K_{BS} = 2.5$$

$$\sigma_{ba} = \sigma_{bNenn} \cdot K_B$$

$$\sigma_{ba} = 8.09 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bmax} = \sigma_{bNenn} \cdot K_{BS}$$

$$\sigma_{bmax} = 15.08 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ta} = \tau_{tNenn} \cdot K_B \cdot (K_{A\tau} - 1)$$

$$\tau_{ta} = 15.46 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tmax} = \tau_{tNenn} \cdot K_{BS}$$

$$\tau_{tmax} = 115.28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{mv} = \sqrt{\sigma_{bNenn}^2 + 3 \cdot \tau_{tNenn}^2}$$

$$\sigma_{mv} = 80.1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{mv} = \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{mv} = 46.24 \text{ MPa}$$

Nachweis des Vermeidens von Dauerbrüchen

$$K_1(d_{eff}) = 1 - 0.26 \cdot \log\left(\frac{d_{eff}}{2d_B}\right) \quad K_1(d_{eff}) = 0.86$$

$d_{BK} = 40\text{mm}$

$$\beta_\sigma(d_{BK}) = 3 \cdot \left(\frac{\sigma_B \cdot K_1(d_{eff})}{1000\text{MPa}} \right)^{0.38} \quad \beta_\sigma(d_{BK}) = 2.16$$

$$\beta_\tau(d_{BK}) = 0.56 \cdot \beta_\sigma(d_{BK}) + 0.1 \quad \beta_\tau(d_{BK}) = 1.31$$

$$K_3(d) = 1 - 0.2 \cdot \log(\beta_\sigma(d_{BK})) \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7.5\text{mm}}\right)}{\log(20)} \quad K_3(d) = 0.95$$

$$\beta_\sigma = \beta_\sigma(d_{BK}) \cdot \frac{K_3(d_{BK})}{K_3(d)} \quad \beta_\sigma = 2.19$$

$$K_3(d) = 1 - 0.2 \cdot \log(\beta_\tau(d_{BK})) \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7.5\text{mm}}\right)}{\log(20)} \quad K_3(d) = 0.9821$$

$$\beta_\tau = \beta_\tau(d_{BK}) \cdot \frac{K_3(d_{BK})}{K_3(d)} \quad \beta_\tau = 1.31$$

$$K_2(d) = 1 - 0.2 \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7.5\text{mm}}\right)}{\log(20)} \quad K_2(d) = 0.85$$

$$K_{F\sigma} = 1 - 0.22 \cdot \log\left(\frac{R_z}{\mu\text{m}}\right) \cdot \left(\log\left(\frac{\sigma_B}{20\text{MPa}}\right) - 1 \right) \quad K_{F\sigma} = 0.85$$

$$K_{F\tau} = 0.575 \cdot K_{F\sigma} + 0.425 \quad K_{F\tau} = 0.91$$

$$K_\sigma = \left(\frac{\beta_\sigma}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \quad K_\sigma = 2.77$$

$$K_\tau = \left(\frac{\beta_\tau}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \quad K_\tau = 1.65$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bW} \cdot \frac{K_1(d_{eff})}{K_\sigma} \quad \sigma_{bWK} = 75.74 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tWK} = \tau_{tW} \cdot \frac{K_1(d_{eff})}{K_\tau} \quad \tau_{tWK} = 75.2 \text{ MPa}$$

$$\psi_{\sigma K} = \frac{\sigma_{bWK}}{2\sigma_B \cdot K_1(d_{eff}) - \sigma_{bWK}}$$

$$\psi_{\sigma bK} = 0.09$$

$$\psi_{\tau K} = \frac{\tau_{tWK}}{2\sigma_B \cdot K_1(d_{eff}) - \tau_{tWK}}$$

$$\psi_{\tau K} = 0.1$$

$$\sigma_{bADK} = \sigma_{bWK} - \psi_{\sigma K} \cdot \sigma_{mv}$$

$$\sigma_{bADK} = 67.79 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tADK} = \tau_{tWK} - \psi_{\tau K} \cdot \tau_{mv}$$

$$\tau_{tADK} = 70.64 \text{ MPa}$$

$$S_{D,W2.1} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}}$$

$$S_{D,W2.1} = 4.01$$

Statische Festigkeit der Welle

$$K_{2F} = 1.2$$

Vollwelle und Torsion, Biegung bzw. Zug

$$\gamma_{F\sigma} = 1.1$$

Biegung und $\beta_\sigma = 2.19$

$$\gamma_{F\tau} = 1$$

Torsion

$$\sigma_{bFK} = K_1(d_{eff}) K_{2F} \cdot \gamma_{F\sigma} \cdot \sigma_S$$

$$\sigma_{bFK} = 333.15 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tFK} = K_1(d_{eff}) K_{2F} \cdot \gamma_{F\tau} \cdot \frac{\sigma_S}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{tFK} = 174.86 \text{ MPa}$$

$$S_{F,W2.1} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bFK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tFK}}\right)^2}}$$

$$S_{F,W2.1} = 1.51$$

Kerbform 2 :Querpresssitz

$$z = A2_S2 + S2_S3 - \frac{b_3}{2} \quad z = 140 \text{ mm} \quad d = 105 \text{ mm}$$

$$\sigma_{bNenn} = \sigma_b(z, d) \quad \sigma_{bNenn} = 1.31 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tNenn} = \tau_t(d) \quad \tau_{tNenn} = 16.8 \text{ MPa}$$

Die Spannungen schwanken um 25%, was durch den Faktor $K_{A\tau} = 1.25$ ausgedrückt wird.

$$K_B = K_{BII} \quad K_B = 1.34$$

$$K_{BS} = K_{BSII} \quad K_{BS} = 2.5$$

$$\sigma_{ba} = \sigma_{bNenn} \cdot K_B \quad \sigma_{ba} = 1.76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bmax} = \sigma_{bNenn} \cdot K_{BS} \quad \sigma_{bmax} = 3.27 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ta} = \tau_{tNenn} \cdot K_B \cdot (K_{A\tau} - 1) \quad \tau_{ta} = 5.63 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tmax} = \tau_{tNenn} \cdot K_{BS} \quad \tau_{tmax} = 42.01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{mv} = \sqrt{\sigma_{bNenn}^2 + 3 \cdot \tau_{tNenn}^2} \quad \sigma_{mv} = 29.14 \text{ MPa}$$

$$\tau_{mv} = \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}} \quad \tau_{mv} = 16.82 \text{ MPa}$$

Nachweis des Vermeidens von Dauerbrüchen

$$d_{eff} = 115 \text{ mm} \quad d_{eff} > 32 \text{ mm} \quad d_{BK} = 40 \text{ mm}$$

$$K_1(d_{eff}) = 1 - 0.26 \cdot \log\left(\frac{d_{eff}}{2d_B}\right) \quad K_1(d_{eff}) = 0.86$$

$$\beta_\sigma(d_{BK}) = 2.7 \cdot \left(\frac{\sigma_B \cdot K_1(d_{eff})}{1000 \text{ MPa}}\right)^{0.43} \quad \beta_\sigma(d_{BK}) = 1.86$$

$$\beta_\tau(d_{BK}) = 0.65 \cdot \beta_\sigma(d_{BK}) \quad \beta_\tau(d_{BK}) = 1.21$$

$$K_3(d) = 1 - 0.2 \cdot \log(\beta_\sigma(d_{BK})) \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7.5 \cdot \text{mm}}\right)}{\log(20)} \quad K_3(d) = 0.95$$

$$K_3(d_{BK}) = 0.97$$

$$\beta_\sigma = \beta_\sigma(d_{BK}) \cdot \frac{K_3(d_{BK})}{K_3(d)} \quad \beta_\sigma = 1.89$$

$$K_3(d) = 1 - 0.2 \cdot \log(\beta_\tau(d_{BK})) \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7.5 \cdot \text{mm}}\right)}{\log(20)}$$

$$\beta_\tau = \beta_\tau(d_{BK}) \cdot \frac{K_3(d_{BK})}{K_3(d)}$$

$$K_2(d) = 1 - 0.2 \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7.5 \text{mm}}\right)}{\log(20)}$$

$$K_{F\sigma} = 1 - 0.22 \cdot \log\left(\frac{R_z}{\mu\text{m}}\right) \cdot \left(\log\left(\frac{\sigma_B}{20 \text{MPa}}\right) - 1 \right)$$

$$K_{F\tau} = 0.575 \cdot K_{F\sigma} + 0.425$$

$$K_V = 1$$

$$K_\sigma = \left(\frac{\beta_\sigma}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V}$$

$$K_\tau = \left(\frac{\beta_\tau}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V}$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bW} \cdot \frac{K_1(d_{eff})}{K_\sigma}$$

$$\tau_{tWK} = \tau_{tW} \cdot \frac{K_1(d_{eff})}{K_\tau}$$

$$\psi_{\sigma bK} = \frac{\sigma_{bWK}}{2\sigma_B \cdot K_1(d_{eff}) - \sigma_{bWK}}$$

$$\psi_{\tau tK} = \frac{\tau_{tWK}}{2\sigma_B \cdot K_1(d_{eff}) - \tau_{tWK}}$$

$$\sigma_{bADK} = \sigma_{bWK} - \psi_{\sigma bK} \cdot \sigma_{mv}$$

$$\tau_{tADK} = \tau_{tWK} - \psi_{\tau tK} \cdot \tau_{mv}$$

$$S_{D,W2.2} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}}$$

$$K_3(d) = 0.99$$

$$K_3(d_{BK}) = 0.99$$

$$\beta_\tau = 1.21$$

$$K_2(d) = 0.82$$

$$K_{F\sigma} = 0.85$$

$$K_{F\tau} = 0.91$$

$$K_\sigma = 2.48$$

$$K_\tau = 1.57$$

$$\sigma_{bWK} = 84.58 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tWK} = 78.97 \text{ MPa}$$

$$\psi_{\sigma bK} = 0.11$$

$$\psi_{\tau tK} = 0.1$$

$$\sigma_{bADK} = 81.31 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tADK} = 77.22 \text{ MPa}$$

$$S_{D,W2.2} = 13.14$$

Statische Festigkeit der Welle

$$K_{2F} = 1.2$$

Vollwelle und Torsion, Biegung bzw. Zug

$$\gamma_{F\sigma} = 1.05$$

Biegung und $\beta_\sigma = 1.89$

$$\gamma_{Fr} = 1$$

Torsion

$$\sigma_{bFK} = K_1(d_{eff}) K_{2F} \cdot \gamma_{F\sigma} \cdot \sigma_S$$

$$\sigma_{bFK} = 318.01 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tFK} = K_1(d_{eff}) K_{2F} \cdot \gamma_{Fr} \cdot \frac{\sigma_S}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{tFK} = 174.86 \text{ MPa}$$

$$S_{F,W2.2} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bFK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tFK}}\right)^2}}$$

$$S_{F,W2.2} = 4.16$$

2.6 Wälzlager A2

Dynamische Tragfähigkeit

$$a_1 = 1$$

Erlebenswahrscheinlichkeit 90%

$$a_{23} = 1$$

siehe Aufgabenstellung

$$n_0 = 1 \text{ s}^{-1}$$

$$f_H = 1$$

keine Unterschreitung der Mindesthärte von 700 HV

$$f_T = 1$$

Lagertemperatur unter 150°C

$$p = 3$$

Kugellager

$$F_r = \sqrt{A2_x^2 + A2_y^2} \quad F_a = 0 \quad F_r = 8.09 \text{ kN} \quad Y_{A2} = 0 \quad X_{A2} = 1$$

$$P_{nenn} = X_{A2} \cdot F_r + Y_{A2} \cdot F_a$$

$$P_{nenn} = 8.09 \text{ kN}$$

$$P = K_{BLII} \cdot P_{nenn}$$

$$P = 6.76 \text{ kN}$$

$$C_{A2} = 39 \text{ kN}$$

$$L_{hn,A2} = \frac{a_1 \cdot a_{23} \cdot 10^6}{60 \cdot \min \cdot h} \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot C_{A2}}{P} \right)^p$$

$$L_{hn,A2} = 53.2 \text{ Th}$$

Statische Tragfähigkeit

$$X_0 = 0.6 \quad Y_0 = 0.5 \quad X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 4.85 \text{ kN} \quad F_r = 8.09 \text{ kN}$$

daraus folgt das $P_{0,nenn} = 8.09 \text{ kN}$

$$P_0 = K_{BSII} \cdot P_{0,nenn}$$

$$P_0 = 20.21 \text{ kN}$$

$$C_{0,A2} = 33.5 \text{ kN}$$

$$f_{s,A2} = \frac{C_{0,A2}}{P_0}$$

$$f_{s,A2} = 1.66$$

2.7 Wälzlager B2

Dynamische Tragfähigkeit

$$F_r = \sqrt{B2_x^2 + B2_y^2} \quad F_a = |B2_z|$$

$$\frac{F_a}{C_{0,B2}} = 0.043 \quad e = \frac{0.26 - 0.22}{0.056 - 0.028} \left(\frac{F_a}{C_{0,B2}} - 0.056 \right) + 0.26$$

$$e = 0.241 \quad \frac{F_a}{F_r} = 0.22 \quad \frac{F_a}{F_r} < e \quad X_{B2} = 1 \quad Y_{B2} = 0$$

$$P_{nenn} = X_{B2} \cdot F_r + Y_{B2} \cdot F_a \quad P_{nenn} = 7.96 \text{ kN}$$

$$P = K_{BLII} \cdot P_{nenn} \quad C_{B2} = 40 \text{ kN} \quad P = 6.66 \text{ kN}$$

$$C_{B2} = 40 \text{ kN}$$

$$L_{hn.B2} = \frac{a_1 \cdot a_{23} \cdot 10^6}{60 \frac{\min}{h} \cdot n_0} \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot C_{B2}}{P} \right)^p \quad L_{hn.B2} = 60.1 \text{ Th}$$

Statische Tragfähigkeit

$$X_0 = 0.6 \quad Y_0 = 0.5 \quad X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 5.64 \text{ kN} \quad F_r = 7.96 \text{ kN}$$

daraus folgt das $P_{0,nenn} = 7.96 \text{ kN}$

$$P_0 = K_{BSII} \cdot P_{0,nenn}$$

$$P_0 = 19.91 \text{ kN}$$

$$C_{0,B2} = 40.5 \text{ kN}$$

$$f_{s,B2} = \frac{C_{0,B2}}{P_0}$$

$$f_{s,B2} = 2.03$$

3. Abtriebswelle 2

3.1 Stirnrad S4

Da die Stirnräder S3 und S4 baugleich sind, ergeben sich für beide die selben Verzahnungssicherheiten, sowie Presssitzkennwerte.

Sicherheit gegen Ermüdungsschäden

$$S_{H4} = S_{H3} \quad S_{H4} = 1.54$$

Sicherheit gegen Ermüdungsbruch

$$S_{F4} = S_{F3} \quad S_{F4} = 2.28$$

Sicherheit gegen bleibende Verformung

$$S_{FSt4} = S_{FSt3} \quad S_{FSt4} = 1.52$$

3.2 Pressitz Stirnrad S3

$$S_{R.Q3} = S_{R.Q2} \quad S_{R.Q3} = 1.23$$

$$S_{F.Q3} = S_{F.Q2} \quad S_{F.Q3} = 1.35$$

$$\delta_{Q3} = \delta_{Q2} \quad \delta_{Q3} = 188.83^\circ\text{C}$$

3.3 Passfeder am Abtrieb

Der Fügedurchmesser der Passfederverbindung beträgt $d_F = 90\text{mm}$

Daraus ergeben sich folgende Maße:

Passfeder : $h = 14\text{mm}$ $b = 25\text{mm}$ $L_1 = 100\text{mm}$

Nut : $t_1 = 9\text{mm}$

$$L_N = L_1 - b \quad t_N = h - t_1 \quad t_N = 5\text{ mm}$$

Vorhandene Pressungen:

$$T = T_{\text{nennII}} \cdot K_{\text{BII}} \quad T = 2.56\text{ kNm}$$

$$p_{\text{Welle}} = \frac{2T}{d_F \cdot t_1 \cdot L_N} \quad p_{\text{Welle}} = 84.3\text{ MPa}$$

$$p_{\text{Nabe}} = \frac{2T}{d_F \cdot t_N \cdot L_N} \quad p_{\text{Nabe}} = 151.77\text{ MPa}$$

Zulässige Pressungen für E295 als Passfederwerkstoff

$$\sigma_S = 295\text{MPa}$$

$\varphi = 0.7$ für schwellende Belastung

$$p_{\text{zul}} = \sigma_S \cdot \varphi \quad p_{\text{zul}} = 206.5\text{ MPa}$$

$$S_{F,P3} = \frac{p_{\text{zul}}}{p_{\text{Nabe}}} \quad S_{F,P3} = 1.36$$

3.4 Wellenfestigkeit

Kräfte am Zahneingriff

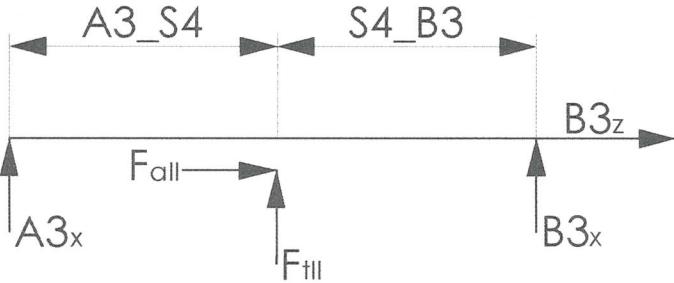
$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_{II})}\right) \quad \alpha_t = 20.74^\circ$$

$$F_{tII} = \frac{2 \cdot T_{nennII}}{d_4} \quad F_{rII} = F_{tII} \cdot \tan(\alpha_t) \quad F_{aII} = F_{tII} \cdot \tan(\beta_{II})$$

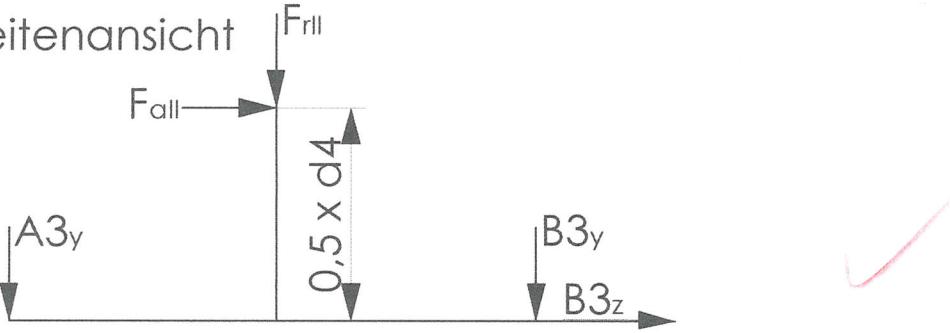
$$F_{tII} = 13.02 \text{ kN} \quad F_{rII} = 4.93 \text{ kN} \quad F_{aII} = 3.73 \text{ kN}$$

Bilanzen

Draufsicht



Seitenansicht



$$0 = A3_x + B3_x + F_{tII} \quad 0 = B3_x \cdot (A3_S4 + S4_B3) + F_{tII} \cdot A3_S4$$

$$0 = A3_y + B3_y + F_{rII} \quad 0 = B3_y \cdot (A3_S4 + S4_B3) + F_{aII} \cdot \frac{d_4}{2} + F_{rII} \cdot A3_S4$$

$$0 = B3_z + F_{aII}$$

$$F_{L1} = \text{Verweis}(A3_x, A3_y, B3_x, B3_y, B3_z)$$

$$A3_x = F_{L1_1}$$

$$A3_x = -6.39 \text{ kN} \quad B3_x = F_{L1_3}$$

$$B3_x = -6.63 \text{ kN}$$

$$A3_y = F_{L1_2}$$

$$A3_y = 2.43 \text{ kN} \quad B3_y = F_{L1_4}$$

$$B3_y = -7.36 \text{ kN}$$

$$B3_z = F_{L1_5}$$

$$B3_z = -3.73 \text{ kN}$$

Momentenverläufe

1. Abschnitt: $0 \leq z < A3_S4$

$$A3_S4 = 57.5 \text{ mm}$$

$$M_{bx1}(z) = -A3_y \cdot z$$

$$M_{bx1}(A3_S4) = -139.44 \text{ Nm}$$

$$M_{by1}(z) = A3_x \cdot z$$

$$M_{by1}(A3_S4) = -367.71 \text{ Nm}$$

2. Abschnitt: $A3_S4 < z < (A3_S4 + B3_S4)$

$$A3_S4 + S4_B3 = 113 \text{ mm}$$

$$M_{bx2}(z) = -A3_y \cdot z - F_{rII} \cdot (z - A3_S4) + F_{aII} \cdot \left(\frac{d_4}{2} \right)$$

$$M_{by2}(z) = A3_x \cdot z + F_{tII} \cdot (z - A3_S4)$$

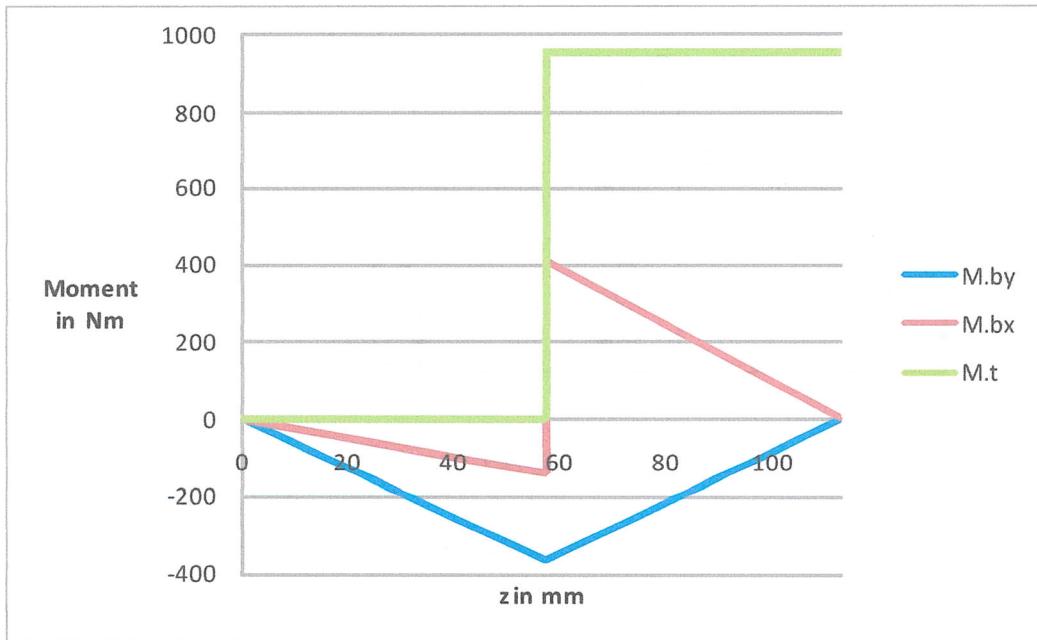
$$M_{bx2}(A3_S4) = 408.2 \text{ Nm}$$

$$M_{bx2}(A3_S4 + S4_B3) = 0 \text{ Nm}$$

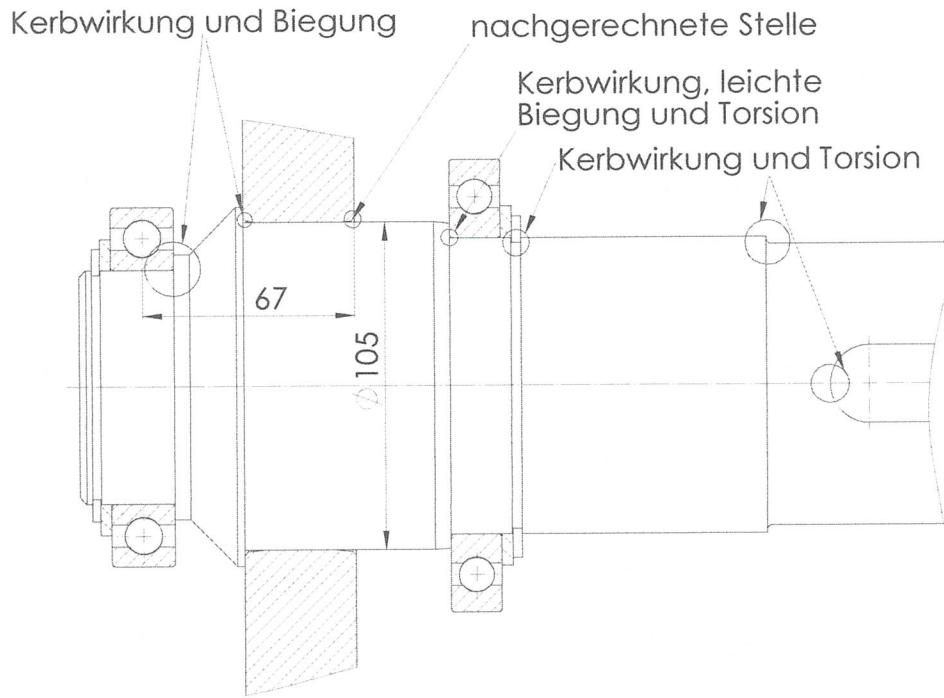
$$M_{by2}(A3_S4) = -367.71 \text{ Nm}$$

$$M_{by2}(A3_S4 + S4_B3) = -0 \text{ Nm}$$

$$\frac{T_{nennII}}{2} = 954.93 \text{ Nm}$$



Position und Durchmesser des höchstbeanspruchten Querschnittes



$z = 67\text{mm}$

$d = 105\text{mm}$

Spannungen im 2. Abschnitt

$$\text{Nennbiegemoment : } M_{b2}(z) = \sqrt{M_{by2}(z)^2 + M_{bx2}(z)^2}$$

$$\text{Widerstandsmomente : } W_b(d) = \frac{\pi}{32} \cdot d^3$$

$$W_t(d) = 2 \cdot W_b(d)$$

$$\text{Maximale Nennbiegespannung : } \sigma_{bNenn}(z, d) = \frac{M_{b2}(z)}{W_b(d)}$$

$$\text{Nenntorsionsspannung : } \tau_{tNenn}(d) = \frac{T_{nennII}}{W_t(d)}$$

$$\sigma_{bNenn} = \sigma_{bNenn}(z, d)$$

$$\sigma_{bNenn} = 4.01 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tNenn} = \tau_{tNenn}(d)$$

$$\tau_{tNenn} = 8.4 \text{ MPa}$$

Die Spannungen schwanken um 25%, was durch den Faktor $K_{A\tau} = 1.25$ ausgedrückt wird.

$$\sigma_{ba} = \sigma_{bNenn} \cdot K_{BII}$$

$$\sigma_{bmax} = \sigma_{bNenn} \cdot K_{BSII}$$

$$\tau_{ta} = \tau_{tNenn} \cdot K_{BII} \cdot (K_{A\tau} - 1)$$

$$\tau_{tmax} = \tau_{tNenn} \cdot K_{BSII}$$

$$\sigma_{ba} = 5.37 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bmax} = 10.02 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ta} = 2.82 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tmax} = 21.01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{mv} = \sqrt{\sigma_{bNenn}^2 + 3 \cdot \tau_{tNenn}^2}$$

$$\sigma_{mv} = 15.09 \text{ MPa}$$

$$\tau_{mv} = \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{mv} = 8.72 \text{ MPa}$$

Werkstoffkennwerte der 2. Abtriebswelle siehe Eingabedaten

$$d_{eff} = 115 \text{ mm}$$

$$\sigma_S = \sigma_{S.3} \quad \sigma_S = 295 \text{ MPa}$$

$$d_B = d_{B.3} \quad d_B = 16 \text{ mm}$$

$$\sigma_{bW} = \sigma_{bW.3} \quad \sigma_{bW} = 245 \text{ MPa}$$

$$\sigma_B = \sigma_{B.3} \quad \sigma_B = 490 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tW} = \tau_{tW.3} \quad \tau_{tW} = 145 \text{ MPa}$$

Kerbform: Querpresssitz

Nachweis des Vermeidens von Dauerbrüchen

$$d_{BK} = 40 \text{ mm} \quad d = 105 \text{ mm}$$

$$K_1(d_{eff}) = 1 - 0.26 \cdot \log\left(\frac{d_{eff}}{2d_B}\right) \quad K_1(d_{eff}) = 0.86$$

$$\beta_\sigma(d_{BK}) = 2.7 \cdot \left(\frac{\sigma_B \cdot K_1(d_{eff})}{1000 \text{ MPa}}\right)^{0.43} \quad \beta_\sigma(d_{BK}) = 1.86$$

$$\beta_\tau(d_{BK}) = 0.65 \cdot \beta_\sigma(d_{BK}) \quad \beta_\tau(d_{BK}) = 1.21$$

$$K_3(d) = 1 - 0.2 \cdot \log(\beta_\sigma(d_{BK})) \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7.5 \cdot \text{mm}}\right)}{\log(20)}$$

$$\beta_\sigma = \beta_\sigma(d_{BK}) \cdot \frac{K_3(d_{BK})}{K_3(d)} \quad \beta_\sigma = 1.89$$

$$K_3(d) = 1 - 0.2 \cdot \log(\beta_\tau(d_{BK})) \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7.5 \text{ mm}}\right)}{\log(20)}$$

$$\beta_\tau = \beta_\tau(d_{BK}) \cdot \frac{K_3(d_{BK})}{K_3(d)}$$

$$K_2(d) = 1 - 0.2 \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7.5 \text{ mm}}\right)}{\log(20)}$$

$$K_{F\sigma} = 1 - 0.22 \cdot \log\left(\frac{R_z}{\mu\text{m}}\right) \cdot \left(\log\left(\frac{\sigma_B}{20 \text{ MPa}}\right) - 1 \right)$$

$$K_{F\tau} = 0.575 \cdot K_{F\sigma} + 0.425$$

$$K_\sigma = \left(\frac{\beta_\sigma}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V}$$

$$K_\tau = \left(\frac{\beta_\tau}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V}$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bW} \cdot \frac{K_1(d_{eff})}{K_\sigma}$$

$$\tau_{tWK} = \tau_{tW} \cdot \frac{K_1(d_{eff})}{K_\tau}$$

$$\psi_{\sigma bK} = \frac{\sigma_{bWK}}{2\sigma_B \cdot K_1(d_{eff}) - \sigma_{bWK}}$$

$$\psi_{\tau K} = \frac{\tau_{tWK}}{2\sigma_B \cdot K_1(d_{eff}) - \tau_{tWK}}$$

$$\sigma_{bADK} = \sigma_{bWK} - \psi_{\sigma bK} \cdot \sigma_{mv}$$

$$\tau_{tADK} = \tau_{tWK} - \psi_{\tau K} \cdot \tau_{mv}$$

$$S_{D,W3} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}}$$

Statische Festigkeit der Welle

$$K_{2F} = 1.2$$

Vollwelle und Torsion,Biegung bzw.Zug

$$\gamma_{F\sigma} = 1.05$$

Biegung und $\beta_\sigma = 1.89$

$$\gamma_{F\tau} = 1$$

Torsion

$$\sigma_{bFK} = K_1(d_{eff}) K_{2F} \cdot \gamma_{F\sigma} \cdot \sigma_S$$

$$\sigma_{bFK} = 318.01 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tFK} = K_1(d_{eff}) K_{2F} \cdot \gamma_{F\tau} \cdot \frac{\sigma_S}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{tFK} = 174.86 \text{ MPa}$$

$$S_{F,W3} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bFK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tFK}}\right)^2}}$$

$$S_{F,W3} = 8.05$$

3.5 Wälzlager A3

Dynamische Tragfähigkeit

$$a_1 = 1$$

Erlebenswahrscheinlichkeit 90%

$$a_{23} = 1$$

siehe Aufgabenstellung

$$n_0 = 1 \text{ s}^{-1}$$

$$f_H = 1$$

keine Unterschreitung der Mindesthärte von 700 HV

$$f_T = 1$$

Lagertemperatur unter 150°C

$$p = 3$$

Kugellager

$$F_r = \sqrt{A_{3x}^2 + A_{3y}^2}$$

$$F_a = 0$$

$$F_r = 6.84 \text{ kN}$$

$$Y_{A3} = 0 \quad X_{A3} = 1$$

$$P_{nenn} = X_{A3} \cdot F_r + Y_{A3} \cdot F_a$$

$$P_{nenn} = 6.84 \text{ kN}$$

$$P = K_{BLII} \cdot P_{nenn}$$

$$P = 5.72 \text{ kN}$$

$$L_{hn,A3} = \frac{a_1 \cdot a_{23} \cdot 10^6}{60 \cdot \min \frac{h}{n_0}} \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot C_{A3}}{P} \right)^p$$

$$C_{A3} = 39 \text{ kN}$$

$$L_{hn,A3} = 87.9 \text{ Th}$$

Statische Tragfähigkeit

$$X_0 = 0.6 \quad Y_0 = 0.5 \quad X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 4.1 \text{ kN} \quad F_r = 6.84 \text{ kN}$$

daraus folgt das $P_{0,nenn} = 6.84 \text{ kN}$

$$P_0 = K_{BSII} \cdot P_{0,nenn} \quad P_0 = 17.1 \text{ kN}$$

$$f_{s,A3} = \frac{C_{0,A3}}{P_0} \quad C_{0,A3} = 33.5 \text{ kN}$$

$$f_{s,A3} = 1.96$$

3.6 Wälzlager B3

Dynamische Tragfähigkeit

$$F_r = \sqrt{B3_x^2 + B3_y^2} \quad F_a = |B3_z|$$

$$\frac{F_a}{C_{0,B3}} = 0.092 \quad e = \frac{0.30 - 0.28}{0.110 - 0.084} \left(\frac{F_a}{C_{0,B3}} - 0.110 \right) + 0.30$$

$$e = 0.286 \quad \frac{F_a}{F_r} = 0.38 \quad \frac{F_a}{F_r} > e = 1$$

$$X_{B3} = 0.56 \quad Y_{B3} = \frac{1.45 - 1.55}{0.3 - 0.28} \cdot (e - 0.28) + 1.55 \quad Y_{B3} = 1.52$$

$$P_{nenn} = X_{B3} \cdot F_r + Y_{B3} \cdot F_a \quad P_{nenn} = 11.22 \text{ kN}$$

$$P = K_{BLII} \cdot P_{nenn} \quad P = 9.39 \text{ kN}$$

$$L_{hn,B3} = \frac{a_1 \cdot a_{23} \cdot 10^6}{60 \cdot \min_h \cdot n_0} \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot C_{B3}}{P} \right)^p \quad C_{B3} = 40 \text{ kN}$$

$$L_{hn,B3} = 21.5 \text{ Th}$$

Statische Tragfähigkeit

$$X_0 = 0.6 \quad Y_0 = 0.5 \quad X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 7.81 \text{ kN} \quad F_r = 9.9 \text{ kN}$$

daraus folgt das $P_{0,nenn} = 9.9 \text{ kN}$

$$P_0 = K_{BSII} \cdot P_{0,nenn} \quad P_0 = 24.75 \text{ kN}$$

$$f_{s,B3} = \frac{C_{0,B3}}{P_0} \quad C_{0,B3} = 40.5 \text{ kN}$$

$$f_{s,B3} = 1.64$$

Auslastungsübersicht

Nr.	Baugruppe/ Bauteil	zulässige (minimale) Grenzwerte	Erzielte Sicherheitskriterien	
1. Antriebswelle:				
		$S_{H\min} = 1.1$	$S_{H1} = 1.25$	
1.1	Antriebsritzel S1	$S_{F\min} = 1.3$	$S_{F1} = 2.59$	
		$S_{FSt\min} = 1.5$	$S_{FSt1} = 1.77$	
1.2	Passfeder/Keilwelle	$S_F = 1.3$	$S_{F,P1} = 1.43$	
1.3	Wellenfestigkeit	$S_D = 1.5$	$S_{D,W1} = 5.98$	$S_{F,W1} = 11.14$
1.4	Wälzlager A1	$L_h = 10 \text{ Th}$	$f_s = 1.5$	$L_{hn,A1} = 15.33 \text{ Th}$
1.5	Wälzlager B1	$L_h = 10 \text{ Th}$	$f_s = 1.5$	$L_{hn,B1} = 15.55 \text{ Th}$
2. Abtriebswelle 1:				
		$S_{H\min} = 1.1$	$S_{H2} = 1.25$	
2.1	Stirnrad S2	$S_{F\min} = 1.3$	$S_{F2} = 2.54$	
		$S_{FSt\min} = 1.5$	$S_{FSt2} = 1.82$	
		$S_{H\min} = 1.1$	$S_{H3} = 1.54$	
2.2	Stirnrad S3	$S_{F\min} = 1.3$	$S_{F3} = 2.28$	
		$S_{FSt\min} = 1.5$	$S_{FSt3} = 1.52$	
2.3	Querpresssitz Stirnrad S3	$S_R = 1.1$	$S_F = 1.3$	$S_{R,Q2} = 1.23$
		$\delta_{zul} = 200^\circ\text{C}$		$S_{F,Q2} = 1.35$
				$\delta_{Q2} = 188.83^\circ\text{C}$
2.4	Stirnrad S2 (Passfeder)	$S_F = 1.3$		$S_{F,P2} = 1.33$
2.5	Wellenfestigkeit	$S_D = 1.5$	$S_F = 1.5$	$S_{D,W2,1} = 4.01$
				$S_{D,W2,2} = 13.14$
				$S_{F,W2,2} = 4.16$
2.6	Wälzlager A2	$L_h = 10 \text{ Th}$	$f_s = 1.5$	$L_{hn,A2} = 53.22 \text{ Th}$
2.7	Wälzlager B2	$L_h = 10 \text{ Th}$	$f_s = 1.5$	$L_{hn,B2} = 60.12 \text{ Th}$
3. Abtriebswelle 2:				
		$S_{H\min} = 1.1$	$S_{H4} = 1.54$	
3.1	Stirnrad S4	$S_{F\min} = 1.3$	$S_{F4} = 2.28$	
		$S_{FSt\min} = 1.5$	$S_{FSt4} = 1.52$	
3.2	Presssitz Stirnrad S4	$S_R = 1.1$	$S_F = 1.3$	$S_{R,Q3} = 1.23$
		$\delta_{zul} = 200^\circ\text{C}$		$S_{F,Q3} = 1.35$
				$\delta_{Q3} = 188.83^\circ\text{C}$
3.3	Passfeder	$S_F = 1.3..2$		$S_{F,P3} = 1.36$
3.4	Wellenfestigkeit	$S_D = 1.5$	$S_F = 1.5$	$S_{D,W3} = 13.48$
3.5	Wälzlager A2	$L_h = 10 \text{ Th}$	$f_s = 1.5$	$L_{hn,A3} = 87.93 \text{ Th}$
3.6	Wälzlager B2	$L_h = 10 \text{ Th}$	$f_s = 1.5$	$L_{hn,B3} = 21.5 \text{ Th}$
				$f_{s,B3} = 1.64$

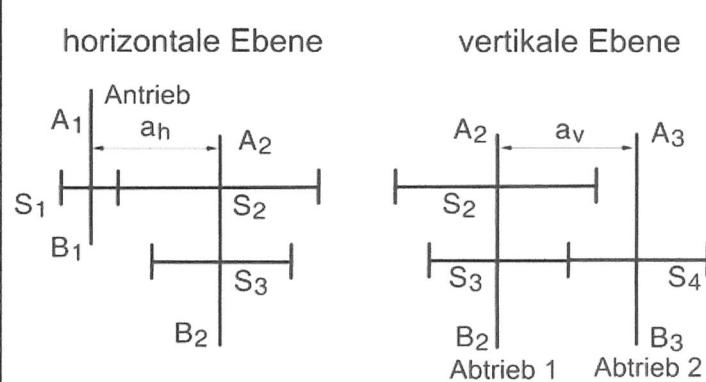
Kalandergetriebe 2007 – Eingabedaten

Name: Schumann Vorname: Stefan

Matrikel-Nr.: 3210594 e-Mail: Stefan.Schumann@mailbox.tu-dresden.de

Belegabgabe am: 31.01.2008 Unterschrift: 

P [kW]	n_{ab} [min $^{-1}$]	Drehrichtung Antrieb	Anordnung der Zahnräder: Skizze:
22	55	rechts	
Schrägungsrichtung der Zahnräder: R = rechtssteigend, L = linkssteigend			
Stirnrad			
S ₁ S ₂ S ₃ S ₄			
Abstände der Bauteile [mm] (Mitte-Mitte):			
A1-S ₁ 82,5 B1-S ₁ 135			
A2-S ₂ 80 S ₂ -S ₃ 77,5 S ₃ -B ₂ 55,5			
A3-S ₄ 57,5 S ₄ -B ₃ 55,5			
Axialkraftaufnahme durch Lager ⇒ (ankreuzen)			
A1 X B ₁			
A2 B ₂ X			
A3 B ₃ X			



Lagerkennwerte:

	Bezeichnung	K _{BL}	n ₀	C [kN]	C ₀ [kN]	X	Y
A1	6215	1,35	1 · 5 ⁻¹	65,5	49	1	0
B1	6015	1,35	—	39	33,5	1	0
A2	6015	0,84	—	39	33,5	1	0
B2	16019	0,84	—	40	40,5	1	0
A3	6015	0,84	—	39	33,5	1	0
B3	16019	0,84	—	40	40,5	0,56	1,52

Verzahnungskennwerte der ersten Stirnradstufe:

z ₁	z ₂	m _n	β	x ₁	x ₂	a	b _w	K _{BI}
19	73	5mm	6°	0,48	0,23	250mm	80mm	1,5

Verzahnungskennwerte der zweiten Stirnradstufe:

z ₃	z ₄	m _n	β	x ₃	x ₄	a	b _w	K _{BII}
47	47	6mm	16°	0,59	0,53	300mm	35mm	1,39

Werkstoff:	Antriebswelle	Abtriebswelle 1	Abtriebswelle 2
	16 MnCr5	E235	E235

nicht lösbar

Dichtes!

2007 - Auslastungsübersicht

Nr.	Baugruppe/ Bauteil	zulässige (minimale) Grenzwerte	Erzielte Sicherheitskriterien
1. Antriebswelle:			
1.1	Antriebsritzel S ₁	S _{Hmin} = 1,1 S _{Fmin} = 1,3 S _{FStmin} = 1,5	S _H = 1,25 S _F = 2,59 S _{FSt} = 1,77
1.2	Passfeder /Keilwelle	S _F = 1,3	S _F = 1,43
1.3	Wellenfestigkeit:	S _D = 1,5	S _D = 5,98 S _F = 11,14
1.4	Wälzlager A1	L _h = 10000 h	L _h = 15330 h f _s = 1,54
1.5	Wälzlager B1	L _h = 10000 h	L _h = 15550 h f _s = 1,77
2. Abtriebswelle 1:			
2.1	Stirnrad S ₂	S _{Hmin} = 1,1 S _{Fmin} = 1,3 S _{FStmin} = 1,5	S _H = 1,25 S _F = 2,54 S _{FSt} = 1,82
2.2	Stirnrad S ₃	S _{Hmin} = 1,1 S _{Fmin} = 1,3 S _{FStmin} = 1,5	S _H = 1,54 S _F = 2,28 S _{FSt} = 1,52
2.3	Presssitz Stirnrad S _{.....}	S _R = 1,1 δ _{zul} = 200 °C	S _R = 1,23 S _F = 1,35 δ = 188,8 °C
2.4	Stirnrad S _{.....} (Passfeder)	S _F = 1,3	S _F = 1,33
2.5	Wellenfestigkeit:	S _D = 1,5	S _D = 4,01 S _F = 1,51 S _D = 13,14 S _F = 4,16
2.6	Wälzlager A2	L _h = 10000 h	L _h = 53220 h f _s = 1,66
2.7	Wälzlager B2	L _h = 10000 h	L _h = 60120 h f _s = 2,03
3. Abtriebswelle 2:			
3.1	Stirnrad S ₄	S _{Hmin} = 1,1 S _{Fmin} = 1,3 S _{FStmin} = 1,5	S _H = 1,54 S _F = 2,28 S _{FSt} = 1,52
3.2	Presssitz Stirnrad S ₄	S _R = 1,1 δ _{zul} = 200 °C	S _R = 1,23 S _F = 1,35 δ = 188,8 °C
3.3	Passfeder	S _F = 1,3 ...2	S _F = 1,36
3.4	Wellenfestigkeit:	S _D = 1,5	S _D = 13,48 S _F = 8,05 S _D = nicht erforderlich S _F =
3.5	Wälzlager A3	L _h = 10000 h	L _h = 87930 h f _s = 1,96
3.6	Wälzlager B3	L _h = 10000 h	L _h = 21500 h f _s = 1,64