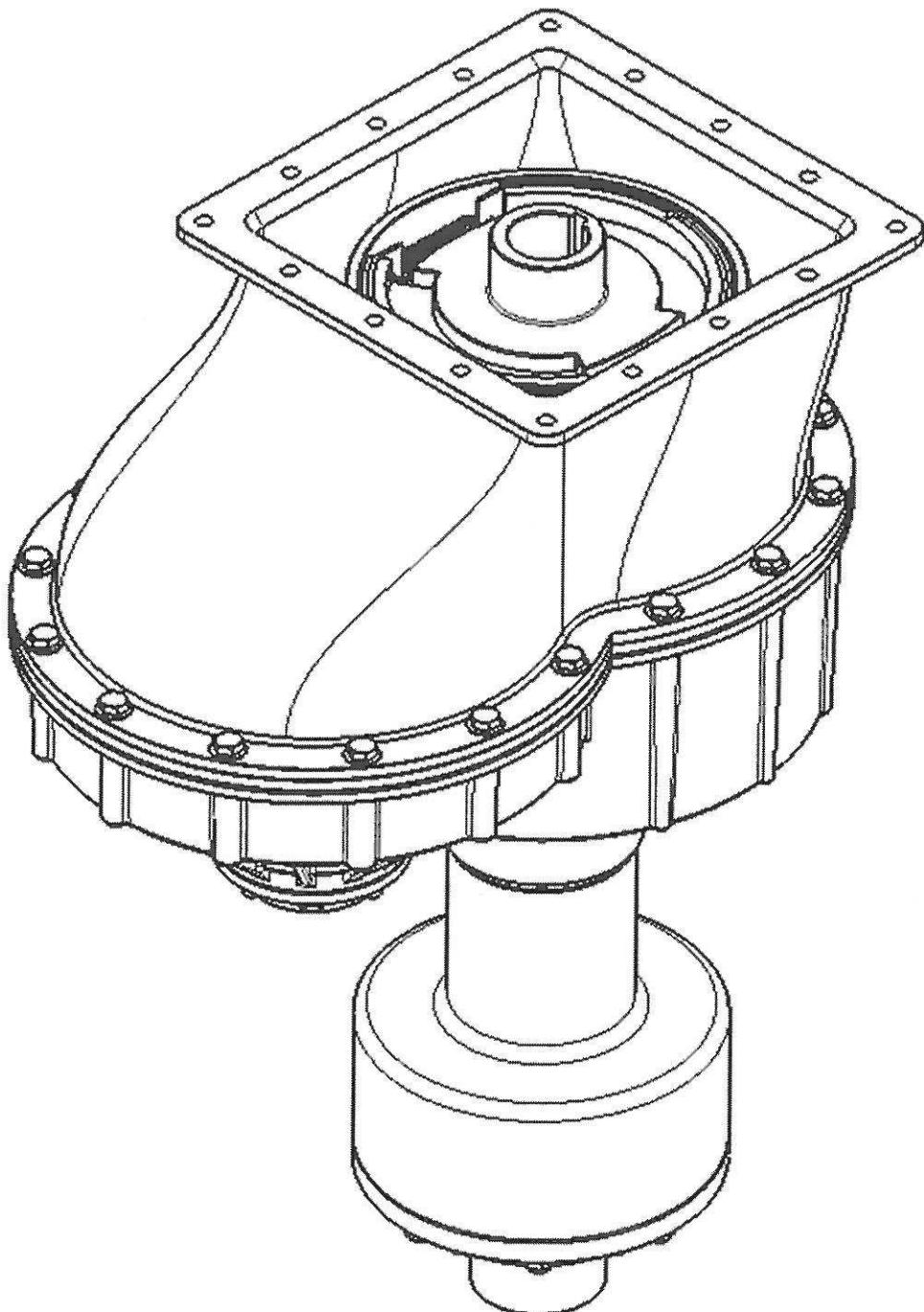


## Maschinenelemente 3 Entwurf

Entwurf eines 2-stufigen schrägverzahnten koaxialen Bohrgerät-Getriebes



Gruppe 15

Kappernagel, Karsten

Morasch, Dimitri

Winter, Viktor

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Tabellarische Übersicht der Getriebeberechnungen	1
2. Hauptberechnungen	2 - 6
a. Übersetzungen	
b. Wellendurchmesser	
c. Drehzahlen	
d. Zähnezahlen	
e. Moduln	
f. Achsabstände	
g. Teilkreisdurchmesser	
h. Zahnradbreiten	
i. Profilverschiebung	
j. Kopfkreisdurchmesser	
k. Fußkreisdurchmesser	
3. Berechnung des Kegelpressverbands der Abtriebswelle	7 - 9
4. Dynamische Festigkeitsnachweise (Sicherheit gegen Dauerbruch)	10 - 15
a. Antriebswelle	
b. Vorgelegewelle	
c. Abtriebswelle	
5. Statische Festigkeitsnachweise (Sicherheit gegen Fließen)	16 - 18
a. Antriebswelle	
b. Vorgelegewelle	
c. Abtriebswelle	
6. Passfederberechnungen (Festigkeitsnachweise)	19 - 24
7. Berechnung Abtriebswellendurchmesser	25
8. Lagerberechnungen (Lebensdauerberechnungen)	26 - 34
9. Berechnung der Kraftverhältnisse an den Schrägstirnrädern	35 - 37
10. Berechnung Fliehkraftkupplung	38
11. Berechnung Überlastrutschkupplung	39
12. Passungsberechnungen	40 - 45
13. Isometrische Darstellung	46
14. Übersichtszeichnung	47
15. Gesamtzeichnung im Schnitt	48
16. Visualisierung auf CD	

Tabellarische Übersicht der Getriebeberechnungen

	Antriebswelle	Vorgelegewelle	Abtriebswelle
Drehmoment in Nm	50	175	550
Drehzahl in min <sup>-1</sup>	2000	571,4	181,8
Wellendurchmesser in mm	28	42	50
Zahnradbreiten in mm	25	22	28
Teilkreisdurchmesser in mm	53,2	187,3	58,5
Kopfkreisdurchmesser in mm	54,9	188,9	63,5
Fußkreisdurchmesser in mm	47,8	181,8	52,3
Ritzel- bzw. Radzähnezahl	25	88	22
Moduln in mm	2		2,5
Achsabstand in mm		121,05	
Res. Biegemoment in Nm	12,5	26,18	36,72
Sicherheit geg. Dauerbruch >1,5	11,4	9	6,7
Sicherheit gegen Fließen >1,5	20,4	11,4	12,8
Lebensdauer der Festlager in h	31855	56938	96228
Lebensdauer der Loslager in h	27717095	10724	265061

Hauptberechnung  
2-stufiges schrägverzahntes koaxiales Getriebe

Gegebene Werte:

Drehmoment Antrieb  $T_{an} := 50 \text{ N}\cdot\text{m}$

Drehmoment Abtrieb  $T_{ab} := 550 \text{ N}\cdot\text{m}$

Schaltdrehzahl  $n_S := 1300 \frac{1}{\text{min}}$

Antriebsdrehzahl  $n_{an} := 2000 \frac{1}{\text{min}}$

axiale Abtriebskraft  $F_B := 1500 \text{ N}$

Anwendungsfaktor  $K_A := 2$

Schrägungswinkel  $\beta := 20 \text{ deg}$

max. Belastung  $B_{zul} := 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Normaleingriffswinkel  $\alpha_n := 20 \text{ deg}$

Gewählte Werte:

Übersetzung 1-2  $i_{12} := 3.5$  nach TB 21-11

Dauerfestigkeitsspannung 42CrMo4  $\tau_{tzul} := 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Ritzelzähnezahlen  $z_1 := 25$  nach TB 21-13a

$z_3 := 22$  nach TB 21-13a

Non-Commercial Use Only

### Übersetzungen

$$i_{ges} := \frac{T_{ab}}{T_{an}} = 11$$

$$i_{34} := \frac{i_{ges}}{i_{12}} = 3.143$$

### Drehmoment Vorgelegewelle

$$T_{vgw} := i_{12} \cdot T_{an} = 175 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$$

### Wellendurchmesser

$$d_{sh1} := \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{an} \cdot K_A}{\pi \cdot \tau_{tzul}}} = 21.677 \text{ mm}$$

$$d_{sh2} := \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{vgw} \cdot K_A}{\pi \cdot \tau_{tzul}}} = 32.91 \text{ mm}$$

$$d_{sh3i} := 42 \text{ mm}$$

$$d_{sh3a} := 56 \text{ mm}$$

gewählt: 28mm aufgrund Passfeder Form A mit t1 = 4mm aus TB12-2a und Nadellager NKI 28/20

gewählt: 42mm (aufgrund Passfeder Form A mit t1 = 5mm aus TB12-2a und Rillenkugellager DIN625-61808)

Innendurchmesser Hohlwelle aufgrund Nadellager NKI 28/20

### Außendurchmesser Hohlwelle

### Leistung

$$P := T_{an} \cdot 2 \pi \cdot n_{an} = 10471.98 \text{ W}$$

### Vorgelegewelledrehzahl

$$n_{vgw} := \frac{P}{2 \pi \cdot T_{vgw}} = 571.429 \frac{1}{min}$$

### Abtriebsdrehzahl

$$n_{ab} := \frac{P}{2 \pi \cdot T_{ab}} = 181.818 \frac{1}{min}$$

### Radzähnezahlen

$$z_2 := i_{12} \cdot z_1 = 87.5$$

$$z_2 := 88$$

$$z_4 := i_{34} \cdot z_3 = 69.143$$

$$z_4 := 69$$

Berechnung des Moduls 1-2

$$m'_{12} := \frac{1.1 \cdot d_{sh1} \cdot \cos(\beta)}{z_1 - 2.5} = 0.996 \text{ mm}$$

$$m'_{12} := 2 \text{ mm}$$

Teilkreisdurchmesser

$$d_1 := \frac{z_1 \cdot m'_{12}}{\cos(\beta)} = 53.209 \text{ mm}$$

$$d_2 := \frac{z_2 \cdot m'_{12}}{\cos(\beta)} = 187.295 \text{ mm}$$

Achsabstand 1-2

$$a_{12} := \frac{d_1 + d_2}{2} = 120.252 \text{ mm}$$

Berechnung des Moduls 3-4

$$m''_{34} := \frac{2 \cdot a_{12} \cdot \cos(\beta)}{(1 + i_{34}) \cdot z_3} = 2.48 \text{ mm}$$

$$m''_{34} := 2.5 \text{ mm}$$

Teilkreisdurchmesser

$$d_3 := \frac{z_3 \cdot m''_{34}}{\cos(\beta)} = 58.53 \text{ mm}$$

$$d_4 := \frac{z_4 \cdot m''_{34}}{\cos(\beta)} = 183.57 \text{ mm}$$

Achsabstand 3-4

$$a_{34} := \frac{d_3 + d_4}{2} = 121.05 \text{ mm}$$

Non-Commercial Use Only

Zahnradbreiten

$$b_1 := \frac{2 \cdot T_{an}}{d_1^2 \cdot B_{zul}} = 8.83 \text{ mm}$$

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

$$b_2 := \frac{2 \cdot T_{vgw}}{d_2^2 \cdot B_{zul}} = 2.494 \text{ mm}$$

$$b_2 := 22 \text{ mm}$$

$$b_3 := \frac{2 \cdot T_{vgw}}{d_3^2 \cdot B_{zul}} = 25.542 \text{ mm}$$

$$b_3 := 28 \text{ mm}$$

$$b_4 := \frac{2 \cdot T_{ab}}{d_4^2 \cdot B_{zul}} = 8.161 \text{ mm}$$

$$b_4 := 25 \text{ mm}$$

Berechnung der Profilverschiebung

$$\alpha_w := \arccos \left( \left( \frac{a_{12}}{a_{34}} \right) \cdot \cos(\alpha_n) \right) = 21.013359 \text{ deg}$$

$$\text{inv} \alpha_w := \tan(\alpha_w) - \left( \alpha_w \cdot \frac{\pi}{180 \text{ deg}} \right) = 0.017379$$

$$\text{inv} \alpha := \tan(\alpha_n) - \left( \alpha_n \cdot \frac{\pi}{180 \text{ deg}} \right) = 0.014904$$

$$\Sigma x := \frac{(\text{inv} \alpha_w - \text{inv} \alpha) \cdot (z_1 + z_2)}{2 \cdot \tan(\alpha_n)} = 0.384$$

$$x_1 := 0.2$$

Prüfen Sa größer gleich 0,2\*m'12 nach TB21-12

$$x_2 := \Sigma x - x_1 = 0.184$$

$$V_1 := x_1 \cdot m'_{12} = 0.4 \text{ mm}$$

$$V_2 := x_2 \cdot m'_{12} = 0.368 \text{ mm}$$

Berechnung der Kopfkreisdurchmesser

$$k := a_{12} - a_{34} - m'_{12} \cdot \Sigma x = -1.566 \text{ mm}$$

$$d_{a1} := d_1 + 2 \cdot (m'_{12} + V_1 + k) = 54.88 \text{ mm}$$

$$d_{a2} := d_2 + 2 \cdot (m'_{12} + V_2 + k) = 188.9 \text{ mm}$$

$$d_{a3} := d_3 + 2 \cdot m''_{34} = 63.53 \text{ mm}$$

$$d_{a4} := d_4 + 2 \cdot m''_{34} = 188.57 \text{ mm}$$

Berechnung der Fußkreisdurchmesser

$$h_f := 1.25 \cdot m''_{34}$$

$$d_{f1} := d_1 - 2 \cdot h_f + 2 \cdot V_1 = 47.76 \text{ mm}$$

$$d_{f2} := d_2 - 2 \cdot h_f + 2 \cdot V_2 = 181.78 \text{ mm}$$

$$d_{f3} := d_3 - 2 \cdot h_f = 52.28 \text{ mm}$$

$$d_{f4} := d_4 - 2 \cdot h_f = 177.32 \text{ mm}$$

Non-Commercial Use Only

## Kegelpressverband Abtriebswelle

$$C := \frac{1}{10}$$

(Kegelverhältnis nach TB12-8)

$$D_1 := 58.4 \text{ mm}$$

(Größerer Keildurchmesser)

$$D_2 := 56 \text{ mm}$$

(Kleinerer Keildurchmesser)

$$l := 24 \text{ mm}$$

(tragende Keillänge)

$$\alpha := 2 \cdot \arctan \left( \frac{D_1 - D_2}{2 \cdot l} \right) = 5.725 \text{ deg}$$

(Kegel-Neigungswinkel)

$$\mu := 0.065$$

(Haftbeiwert für Rutschen nach TB12-6a)

$$T := 550 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(Abtriebsdrehmoment)

$$S_H := 1.35$$

(Sicherheitsfaktor)

$$D_{mF} := 57.2 \text{ mm}$$

(mittlerer Keildurchmesser)

$$p_{Fk} := \frac{2 \cdot S_H \cdot T \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{D_{mF}^2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot l} = 92.49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

(erforderliche kleinste Fugenpressung zum übertragen des Drehmoments)

$$E_A := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

(E-Modul Rad 2)

$$E_I := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

(E-Modul Abtriebswelle)

$$D_{Ii} := 42 \text{ mm}$$

(Durchmesser Hohlwelle)

$$Q_I := \frac{D_{Ii}}{D_2} = 0.75$$

(Durchmesserverhältnis Innen)

$$D_{Aa} := 183.6 \text{ mm}$$

(Teilkreisdurchmesser Rad 2)

$$Q_A := \frac{D_2}{D_{Aa}} = 0.305$$

(Durchmesserverhältnis Außen)

$$\nu_I := 0.3$$

$$\nu_A := 0.3$$

(Querdehnungszahlen)

## Kegelpressverband Abtriebswelle

$$K := \frac{E_A}{E_I} \cdot \left( \frac{1+Q_I^2}{1-Q_I^2} - \nu_I \right) + \frac{1+Q_A^2}{1-Q_A^2} + \nu_A = 4.777 \quad (\text{Hilfsgröße})$$

$$Z_K := \frac{p_{Fk} \cdot D_2}{E_A} \cdot K = 0.118 \text{ mm} \quad (\text{kleinstes erforderliches Haftmaß})$$

$$R_{zAi} := 0.01 \text{ mm} \quad (\text{gemittelte Rautiefe nach TB2-12})$$

$$R_{zIa} := 0.01 \text{ mm} \quad (\text{gemittelte Rautiefe nach TB2-12})$$

$$G := 0.8 \cdot (R_{zAi} + R_{zIa}) = 0.02 \text{ mm} \quad (\text{beim Fügen auftretende Glättung})$$

$$a_{min} := \frac{Z_K + G}{2 \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = 1.34 \text{ mm} \quad (\text{Mindestaufschubweg})$$

$$K_t := 0.87 \quad (\text{technologischer Größeneinflußfaktor nach TB3-11a})$$

$$R_{eN} := 900 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Streckgrenze Nabe nach TB1-1})$$

$$R_{eA} := K_t \cdot R_{eN} = 783 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Streckgrenze Nabe})$$

$$S_{FA} := 1.2 \quad (\text{Sicherheitsfaktor für duktile Werkstoffe})$$

$$p_{Fg} := \frac{R_{eA} \cdot (1 - Q_A^2)}{S_{FA} \cdot \sqrt{3}} = 341.67 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{gewählt: } p_{Fg} := 340 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{gröÙe zulässige Fugenpressung Nabe})$$

$$Z_g := \frac{p_{Fg} \cdot D_2}{E_A} \cdot K = 0.43 \text{ mm} \quad (\text{gröÙtes zulässiges Haftmaß})$$

$$a_{max} := \frac{Z_g + G}{2 \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = 4.491 \text{ mm} \quad (\text{Maximalaufschubweg})$$

### Kegelpressverband Abtriebswelle

$$\mu_e := 0.075$$

(Haftbeiwert nach TB12-6a)

$$\rho_e := \tan(\mu_e)$$

$$F_e := \frac{2 \cdot S_H \cdot T}{D_{mF} \cdot \mu} \cdot \frac{\sin\left(\rho_e + \frac{\alpha}{2}\right)}{\cos(\rho_e)} = 49.86 \text{ kN}$$

(erforderliche axiale Einpresskraft zur Übertragung des Drehmoments)

### Schraubenberechnung

$$n := 8$$

(Anzahl der Schrauben)

$$K_A := 1.6$$

(Anziehfaktor für messende Drehmomentschlüssel)

$$F_B := K_A \cdot \frac{F_e}{n} = 9.97 \text{ kN}$$

(Aufzubringende Kraft pro Schraube)

$$b := 8 \text{ mm}$$

(Mindesteinschraulänge nach TB8-15)

gewählt nach TB8-13:

Normbezeichnung der Schraube: ISO 4014 - M8 x 35 - 12.8

Non-Commercial Use Only

## Dynamischer Festigkeitsnachweis Antriebswelle

$$M_{res} := 12.5 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (\text{Resultierendes Biegemoment})$$

$$T_{nenn} := 50 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (\text{Torsionsmoment, schwellend})$$

$$K_A := 2.0 \quad (\text{Anwendungsfaktor})$$

$$d := 26.6 \text{ mm} \quad (\text{kleinster Wellendurchmesser})$$

$$W_b := \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 1847.76 \text{ mm}^3 \quad (\text{Biegewiderstandsmoment})$$

$$W_t := \frac{\pi \cdot d^3}{16} = 3695.51 \text{ mm}^3 \quad (\text{Torsionswiderstandsmoment})$$

$$\sigma_{ba} := \frac{K_A \cdot M_{res}}{W_b} = 13.53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{max. Biegespannung})$$

$$\tau_{ta} := \frac{K_A \cdot T_{nenn}}{2 \cdot W_t} = 13.53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{max. Torsionsspannung})$$

$$\beta_{K2.0} := 1.8 \quad (\text{Kerbwirkungszahl}) \quad c_b := 0.91 \quad (\text{Umrechnungsfaktor})$$

$$\beta_{Kb} := 1 + c_b \cdot (\beta_{K2.0} - 1) = 1.728 \quad (\text{Kerbwirkungszahl})$$

$$K_g := 0.92 \quad (\text{geometrischer Größeneinflussfaktor})$$

$$K_{0\sigma} := 0.83 \quad (\text{Einflussfaktor der Oberflächenrauhigkeit K0})$$

$$K_V := 1 \quad (\text{Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung})$$

$$K_{Db} := \left( \frac{\beta_{Kb}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} = 2.083 \quad (\text{Gesamteinflussfaktor Biegung})$$

$$\beta_{K1.4} := 1.3 \quad (\text{Kerbwirkungszahl}) \quad c_t := 1 \quad (\text{Umrechnungsfaktor})$$

$$\beta_{Kt} := 1 + c_t \cdot (\beta_{K1.4} - 1) = 1.3 \quad (\text{Kerbwirkungszahl})$$

$$K_{0\tau} := 0.9 \quad (\text{Einflussfaktor der Oberflächenrauhigkeit K0})$$

$$K_{Dt} := \left( \frac{\beta_{Kt}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} = 1.524 \quad (\text{Gesamteinflussfaktor Torsion})$$

$$K_t := 0.92 \quad (\text{Größeneinflussfaktor für Zugfestigkeit / Streckgrenze})$$

## Dynamischer Festigkeitsnachweis Antriebswelle

$$\sigma_{bWN} := 550 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Nennbiegwechselfestigkeit})$$

$$\sigma_{bW} := K_t \cdot \sigma_{bWN} = 506 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Biegwechselfestigkeit})$$

$$\tau_{tWN} := 330 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Nenntorsionswechselfestigkeit})$$

$$\tau_{tW} := K_t \cdot \tau_{tWN} = 303.6 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Torsionswechselfestigkeit})$$

$$\sigma_{bGW} := \frac{\sigma_{bW}}{K_{Db}} = 242.91 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Gestaltwechselfestigkeit})$$

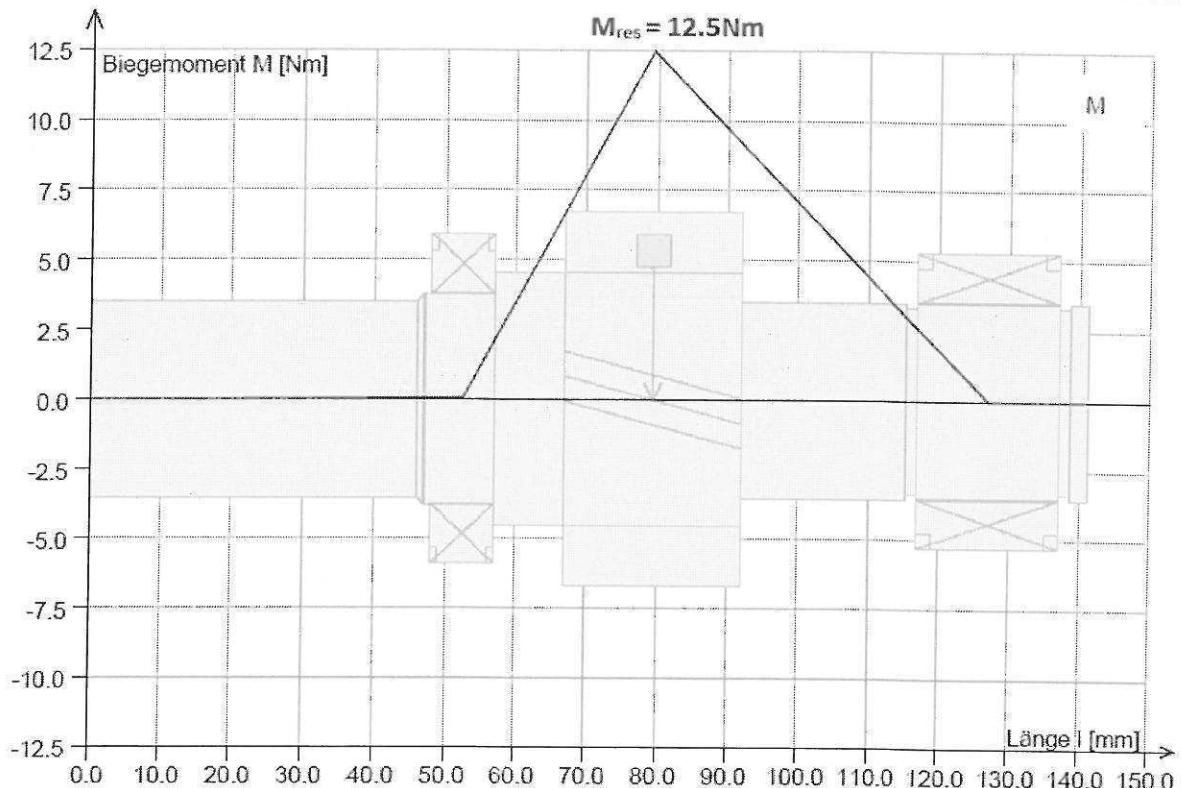
$$\tau_{tGW} := \frac{\tau_{tW}}{K_{Dt}} = 199.19 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Gestaltwechselfestigkeit})$$

## Sicherheit gegen Dauerbruch

$$S_D := \frac{1}{\sqrt{2} \left( \left( \frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bGW}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{ta}}{\tau_{tGW}} \right)^2 \right)} = 11.4 \quad (\text{Sicherheit gegen Dauerbruch})$$

$$S_{Derf.} := 1.5$$

$$S_{Derf.} \leq S_D = 1$$



Dynamischer Festigkeitsnachweis Vorgelegewelle

$$M_{res} := 26.18 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{Resultierendes Biegemoment})$$

$$T_{nenn} := 175 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{Torsionsmoment, schwellend})$$

$$K_A := 2.0 \quad (\text{Anwendungsfaktor})$$

$$d := 35 \text{ mm} \quad (\text{kleinster Wellendurchmesser})$$

$$W_b := \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 4209.24 \text{ mm}^3 \quad (\text{Biegewiderstandsmoment})$$

$$W_t := \frac{\pi \cdot d^3}{16} = 8418.49 \text{ mm}^3 \quad (\text{Torsionswiderstandsmoment})$$

$$\sigma_{ba} := \frac{K_A \cdot M_{res}}{W_b} = 12.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{max. Biegespannung})$$

$$\tau_{ta} := \frac{K_A \cdot T_{nenn}}{2 \cdot W_t} = 20.79 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{max. Torsionsspannung})$$

$$\beta_{K2.0} := 1.8 \quad (\text{Kerbwirkungszahl}) \quad c_b := 0.44 \quad (\text{Umrechnungsfaktor})$$

$$\beta_{Kb} := 1 + c_b \cdot (\beta_{K2.0} - 1) = 1.352 \quad (\text{Kerbwirkungszahl})$$

$$K_g := 0.89 \quad (\text{geometrischer Größeneinflussfaktor})$$

$$K_{0\sigma} := 0.83 \quad (\text{Einflussfaktor der Oberflächenrauhigkeit K0})$$

$$K_V := 1 \quad (\text{Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung})$$

$$K_{Db} := \left( \frac{\beta_{Kb}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} = 1.724 \quad (\text{Gesamteinflussfaktor Biegung})$$

$$\beta_{K1.4} := 1.3 \quad (\text{Kerbwirkungszahl}) \quad c_t := 0.79 \quad (\text{Umrechnungsfaktor})$$

$$\beta_{Kt} := 1 + c_t \cdot (\beta_{K1.4} - 1) = 1.237 \quad (\text{Kerbwirkungszahl})$$

$$K_{0\tau} := 0.9 \quad (\text{Einflussfaktor der Oberflächenrauhigkeit K0})$$

$$K_{Dt} := \left( \frac{\beta_{Kt}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} = 1.501 \quad (\text{Gesamteinflussfaktor Torsion})$$

$$K_t := 0.92 \quad (\text{Größeneinflussfaktor für Zugfestigkeit / Streckgrenze})$$

## Dynamischer Festigkeitsnachweis Vorgelegewelle

$$\sigma_{bWN} := 550 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Nennbiegwechselfestigkeit})$$

$$\sigma_{bW} := K_t \cdot \sigma_{bWN} = 506 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Biegewechselfestigkeit})$$

$$\tau_{tWN} := 330 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Nenntorsionswechselfestigkeit})$$

$$\tau_{tW} := K_t \cdot \tau_{tWN} = 303.6 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Torsionswechselfestigkeit})$$

$$\sigma_{bGW} := \frac{\sigma_{bW}}{K_{Db}} = 293.52 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Gestaltwechselfestigkeit})$$

$$\tau_{tGW} := \frac{\tau_{tW}}{K_{Dt}} = 202.27 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Gestaltwechselfestigkeit})$$

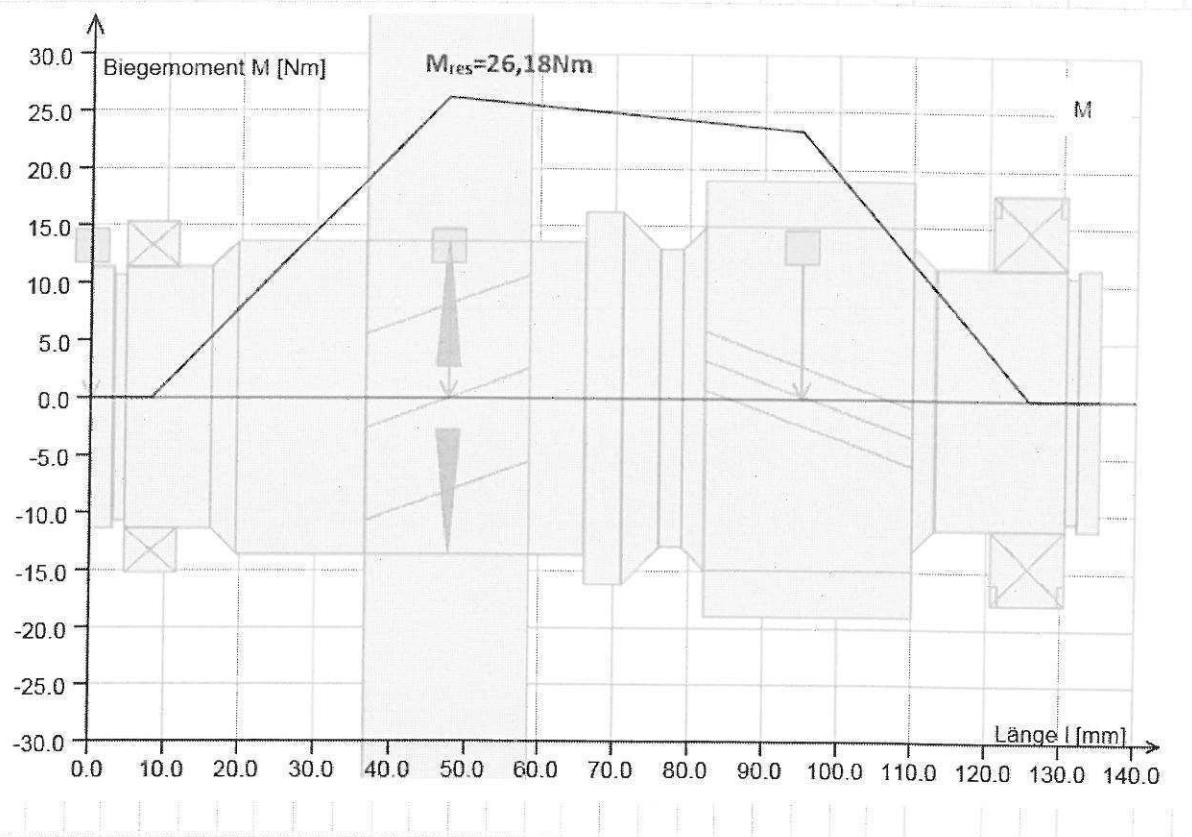
## Sicherheit gegen Dauerbruch

$$S_D := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bGW}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tGW}}\right)^2}} = 9 \quad (\text{Sicherheit gegen Dauerbruch})$$

$$S_{Derf.} := 1.5$$

$$S_{Derf.} \leq S_D = 1$$

## Biemomentenverlauf Vorgelegewelle



## Dynamischer Festigkeitsnachweis Abtriebswelle

$$M_{res} := 36.72 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (\text{Resultierendes Biegemoment})$$

$$T_{nenn} := 550 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (\text{Torsionsmoment, schwellend})$$

$$K_A := 2.0 \quad (\text{Anwendungsfaktor})$$

$$d := 50 \text{ mm} \quad (\text{kleinster Wellendurchmesser})$$

$$W_b := \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 12271.85 \text{ mm}^3 \quad (\text{Biegewiderstandsmoment})$$

$$W_t := \frac{\pi \cdot d^3}{16} = 24543.69 \text{ mm}^3 \quad (\text{Torsionswiderstandsmoment})$$

$$\sigma_{ba} := \frac{K_A \cdot M_{res}}{W_b} = 5.98 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{max. Biegespannung})$$

$$\tau_{ta} := \frac{K_A \cdot T_{nenn}}{2 \cdot W_t} = 22.41 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{max. Torsionsspannung})$$

$$\beta_{K2.0} := 3.5 \quad (\text{Kerbwirkungszahl}) \quad c_b := 0.28 \quad (\text{Umrechnungsfaktor})$$

$$\beta_{Kb} := 1 + c_b \cdot (\beta_{K2.0} - 1) = 1.7 \quad (\text{Kerbwirkungszahl})$$

$$K_g := 0.87 \quad (\text{geometrischer Größeneinflussfaktor})$$

$$K_{0\sigma} := 0.83 \quad (\text{Einflussfaktor der Oberflächenrauhigkeit K0})$$

$$K_V := 1 \quad (\text{Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung})$$

$$K_{Db} := \left( \frac{\beta_{Kb}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} = 2.159 \quad (\text{Gesamteinflussfaktor Biegung})$$

$$\beta_{K1.4} := 2.25 \quad (\text{Kerbwirkungszahl}) \quad c_t := 0.5 \quad (\text{Umrechnungsfaktor})$$

$$\beta_{Kt} := 1 + c_t \cdot (\beta_{K1.4} - 1) = 1.625 \quad (\text{Kerbwirkungszahl})$$

$$K_{0\tau} := 0.9 \quad (\text{Einflussfaktor der Oberflächenrauhigkeit K0})$$

$$K_{Dt} := \left( \frac{\beta_{Kt}}{K_g} + \frac{1}{K_{0\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} = 1.979 \quad (\text{Gesamteinflussfaktor Torsion})$$

$$K_t := 0.92 \quad (\text{Größeneinflussfaktor für Zugfestigkeit / Streckgrenze})$$

## Dynamischer Festigkeitsnachweis Abtriebswelle

$$\sigma_{bWN} := 550 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Nennbiegewechselfestigkeit})$$

$$\sigma_{bW} := K_t \cdot \sigma_{bWN} = 506 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Biegeweichselfestigkeit})$$

$$\tau_{tWN} := 330 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Nenntorsionswechselfestigkeit})$$

$$\tau_{tW} := K_t \cdot \tau_{tWN} = 303.6 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Torsionswechselfestigkeit})$$

$$\sigma_{bGW} := \frac{\sigma_{bW}}{K_{Db}} = 234.38 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Gestaltwechselfestigkeit})$$

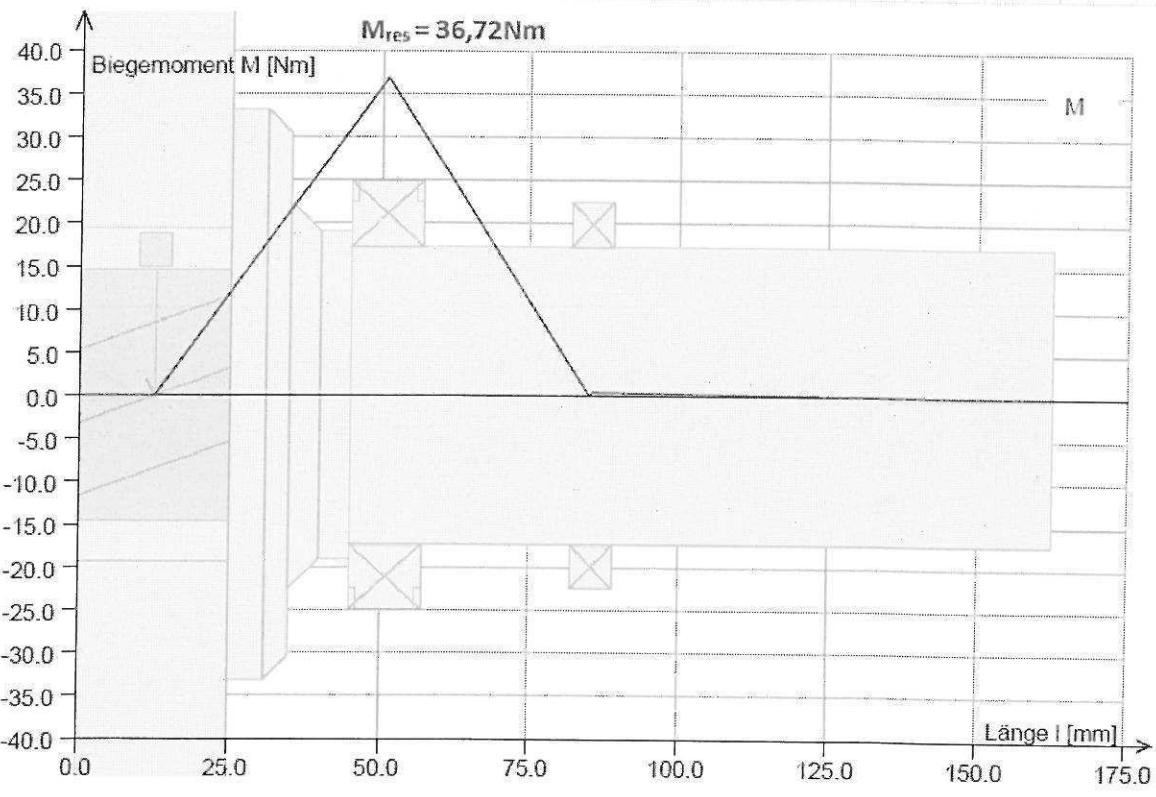
$$\tau_{tGW} := \frac{\tau_{tW}}{K_{Dt}} = 153.42 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Gestaltwechselfestigkeit})$$

## Sicherheit gegen Dauerbruch

$$S_D := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bGW}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tGW}}\right)^2}} = 6.7 \quad (\text{Sicherheit gegen Dauerbruch})$$

$$S_{Derf.} := 1.5$$

$$S_{Derf.} \leq S_D = 1$$



## Statischer Festigkeitsnachweis Antriebswelle

$$M_{res} := 12.5 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{Resultierendes Biegemoment, siehe Biegemomentenverlauf})$$

$$T_{nenn} := 50 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{Torsionsmoment, schwellend})$$

$$K_A := 2.0 \quad (\text{Anwendungsfaktor})$$

$$M_{max} := K_A \cdot M_{res} = 25 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{Maximales Biegemoment})$$

$$T_{max} := K_A \cdot T_{nenn} = 100 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{Maximales Torsionsmoment})$$

$$K_t := 0.92 \quad (\text{Größeneinflußfaktor für Zugfestigkeit / Streckgrenze})$$

$$R_{mN} := 1100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Zugfestigkeit})$$

$$R_{eN} := 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Streckgrenze})$$

$$(Zugfestigkeit) \quad (\text{Streckgrenze})$$

$$R_m := K_t \cdot R_{mN} = 1012 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad R_e := K_t \cdot R_{eN} = 828 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\underline{\text{Sicherheit gegen Fließen}} \quad d := 26.6 \text{ mm} \quad (\text{kleinster Wellendurchmesser})$$

$$W_b := \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 1847.76 \text{ mm}^3 \quad (\text{Biegewiderstandsmoment})$$

$$\sigma_{bmax} := \frac{M_{max}}{W_b} = 13.53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{max. Biegespannung})$$

$$\sigma_{bF} := 1.2 \cdot K_t \cdot R_{eN} = 993.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{zulässige Biegespannung})$$

$$W_t := \frac{\pi \cdot d^3}{16} = 3695.51 \text{ mm}^3 \quad (\text{Torsionswiderstandsmoment})$$

$$\tau_{tmax} := \frac{T_{max}}{W_t} = 27.06 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{max. Torsionsspannung})$$

$$\tau_{tf} := \frac{1.2}{\sqrt{3}} \cdot K_t \cdot R_{eN} = 573.66 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{zulässige Torsionsspannung})$$

$$S_F := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bF}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tf}}\right)^2}} = 20.4 \quad (\text{Sicherheit gegen Fließen})$$

$$S_{Ferf.} := 1.5$$

$$S_{Ferf.} \leq S_F = 1$$

## Statischer Festigkeitsnachweis Vorgelegewelle

$M_{res} := 26.18 \text{ N}\cdot\text{m}$	(Resultierendes Biegemoment)
$T_{nenn} := 175 \text{ N}\cdot\text{m}$	(Torsionsmoment, schwellend)
$K_A := 2.0$	(Anwendungsfaktor)
$M_{max} := K_A \cdot M_{res} = 52.36 \text{ N}\cdot\text{m}$	(Maximales Biegemoment)
$T_{max} := K_A \cdot T_{nenn} = 350 \text{ N}\cdot\text{m}$	(Maximales Torsionsmoment)
$K_t := 0.92$	(Größeneinflußfaktor für Zugfestigkeit / Streckgrenze)
$R_{mN} := 1100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	(Zugfestigkeit)
$R_{eN} := 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	(Streckgrenze)
(Zugfestigkeit)	(Streckgrenze)
$R_m := K_t \cdot R_{mN} = 1012 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$R_e := K_t \cdot R_{eN} = 828 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
<u>Sicherheit gegen Fließen</u>	$d := 33 \text{ mm}$ (kleinster Wellendurchmesser)
$W_b := \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 3528.11 \text{ mm}^3$	(Biegewiderstandsmoment)
$\sigma_{bmax} := \frac{M_{max}}{W_b} = 14.84 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	(max. Biegespannung)
$\sigma_{bF} := 1.2 \cdot K_t \cdot R_{eN} = 993.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	(zulässige Biegespannung)
$W_t := \frac{\pi \cdot d^3}{16} = 7056.21 \text{ mm}^3$	(Torsionswiderstandsmoment)
$\tau_{tmax} := \frac{T_{max}}{W_t} = 49.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	(max. Torsionsspannung)
$\tau_{tF} := \frac{1.2}{\sqrt{3}} \cdot K_t \cdot R_{eN} = 573.66 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	(zulässige Torsionsspannung)
$S_F := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bF}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tF}}\right)^2}} = 11.4$	(Sicherheit gegen Fließen)
$S_{Fperf.} := 1.5$	$S_{Fperf.} \leq S_F = 1$

## Statischer Festigkeitsnachweis Abtriebswelle

$$M_{res} := 36.72 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (\text{Resultierendes Biegemoment, siehe Biegemomentenverlauf})$$

$$T_{nenn} := 550 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (\text{Torsionsmoment, schwellend})$$

$$K_A := 2.0 \quad (\text{Anwendungsfaktor})$$

$$M_{max} := K_A \cdot M_{res} = 73.44 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (\text{Maximales Biegemoment})$$

$$T_{max} := K_A \cdot T_{nenn} = 1100 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (\text{Maximales Torsionsmoment})$$

$$K_t := 0.92 \quad (\text{Größeneinflußfaktor für Zugfestigkeit / Streckgrenze})$$

$$R_{mN} := 1100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Zugfestigkeit})$$

$$R_{eN} := 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Streckgrenze})$$

$$(Zugfestigkeit) \quad (\text{Streckgrenze})$$

$$R_m := K_t \cdot R_{mN} = 1012 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad R_e := K_t \cdot R_{eN} = 828 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\underline{\text{Sicherheit gegen Fließen}} \quad d := 50 \text{ mm} \quad (\text{kleinster Wellendurchmesser})$$

$$W_b := \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 12271.85 \text{ mm}^3 \quad (\text{Biegewiderstandsmoment})$$

$$\sigma_{bmax} := \frac{M_{max}}{W_b} = 5.98 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{max. Biegespannung})$$

$$\sigma_{bF} := 1.2 \cdot K_t \cdot R_{eN} = 993.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{zulässige Biegespannung})$$

$$W_t := \frac{\pi \cdot d^3}{16} = 24543.69 \text{ mm}^3 \quad (\text{Torsionswiderstandsmoment})$$

$$\tau_{tmax} := \frac{T_{max}}{W_t} = 44.82 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{max. Torsionsspannung})$$

$$\tau_{tF} := \frac{1.2}{\sqrt[2]{3}} \cdot K_t \cdot R_{eN} = 573.66 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{zulässige Torsionsspannung})$$

$$S_F := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bF}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tF}}\right)^2}} = 12.8 \quad (\text{Sicherheit gegen Fließen})$$

$$S_{Ferf.} := 1.5$$

$$S_{Ferf.} \leq S_F = 1$$

## Passfederberechnung Methode C

### Antriebswelle

Welle: 42CrMo4

Nabe: 20MnCr5

Passfeder: 34CrNiMo6

$d_{sh1} := 28 \text{ mm}$

(Entwurfswellendurchmesser)

$K_\lambda := 1$

(Lastverteilungsfaktor)

$K_A := 2$

(Anwendungsfaktor)

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

(Antriebsdrehmoment)

$T := K_A \cdot T_{an} = 100 \text{ N}\cdot\text{m}$

(Antriebsdrehmoment)

$h := 7 \text{ mm}$

(Passfederhöhe)

aus TB12-2a

$h' := 0.45 \cdot h = 3.15 \text{ mm}$

(tragende Passfederhöhe)

$l := 28 \text{ mm}$

(Passfederlänge)

aus TB12-2a

$b := 8 \text{ mm}$

(Passfederbreite)

aus TB12-2a

$l' := l - b = 20 \text{ mm}$

(tragende Passfederlänge)

$n := 1$

(Anzahl Passfedern)

$\varphi := 1$

(Tragfaktor)

### Technische Anwendungsfaktoren

$K_{tWelle} := 0.94$

$K_{tNabe} := 0.84$

$K_{tPassf.} := 0.94$

aus TB3-11a

### Nennstreckgrenzen

$R_{eNWelle} := 900 \text{ MPa}$

$R_{eNNabe} := 850 \text{ MPa}$

$R_{eNPassf.} := 1000 \text{ MPa}$

aus TB3-1

### Streckgrenzen

$R_{eWelle} := K_{tWelle} \cdot R_{eNWelle} = 846 \text{ MPa}$

$R_{eNabe} := K_{tNabe} \cdot R_{eNNabe} = 714 \text{ MPa}$

$R_{ePassf.} := K_{tPassf.} \cdot R_{eNPassf.} = 940 \text{ MPa}$

$$S_F := 1.5$$

(Sicherheitsfaktor)

aus TB12-2b

$$p_m := \frac{2 \cdot T \cdot K_\lambda}{d_{sh1} \cdot h' \cdot l' \cdot n \cdot \varphi} = 113.379 \text{ MPa}$$

(mittlere Flächenpressung)

### Zulässige Flächenpressung

$$p_{zulWelle} := \frac{R_{eWelle}}{S_F} = 564 \text{ MPa}$$

$$p_{zulNabe} := \frac{R_{eNabe}}{S_F} = 476 \text{ MPa}$$

$$p_{zulPassf.} := \frac{R_{ePassf.}}{S_F} = 626.7 \text{ MPa}$$

$$p_m < p_{zulNabe} < p_{zulWelle} < p_{zulPassf.} = 1$$

1 = wahr

Non-Commercial Use Only

Passfederberechnung Methode C

Vorgelegewelle

Welle: 42CrMo4

Nabe: 20MnCr5

Passfeder: 34CrNiMo6

$$d_{sh2} := 42 \text{ mm}$$

(Entwurfswellendurchmesser)

$$K_\lambda := 1$$

(Lastverteilungsfaktor)

$$K_A := 2$$

(Anwendungsfaktor)

$$T_{vgw} := 175 \text{ N}\cdot\text{m}$$

(Nenndrehmoment)

$$T := K_A \cdot T_{vgw} = 350 \text{ N}\cdot\text{m}$$

(Drehmoment)

$$h := 8 \text{ mm}$$

(Passfederhöhe)

aus TB12-2a

$$h' := 0.45 \cdot h = 3.6 \text{ mm}$$

(tragende Passfederhöhe)

$$l := 28 \text{ mm}$$

(Passfederlänge)

aus TB12-2a

$$b := 12 \text{ mm}$$

(Passfederbreite)

aus TB12-2a

$$l' := l - b = 16 \text{ mm}$$

(tragende Passfederlänge)

$$n := 1$$

(Anzahl Passfedern)

$$\varphi := 1$$

(Tragfaktor)

Technische Anwendungsfaktoren

$$K_{tWelle} := 0.91$$

$$K_{tNabe} := 0.77$$

$$K_{tPassf.} := 0.9$$

aus TB3-11a

Nennstreckgrenzen

$$R_{eNWelle} := 900 \text{ MPa}$$

$$R_{eNNabe} := 850 \text{ MPa}$$

$$R_{eNPassf.} := 1000 \text{ MPa}$$

aus TB3-1

Streckgrenzen

$$R_{eWelle} := K_{tWelle} \cdot R_{eNWelle} = 819 \text{ MPa}$$

$$R_{eNabe} := K_{tNabe} \cdot R_{eNNabe} = 654.5 \text{ MPa}$$

$$R_{ePassf.} := K_{tPassf.} \cdot R_{eNPassf.} = 900 \text{ MPa}$$

$$S_F := 1.5$$

(Sicherheitsfaktor)

aus TB12-2b

$$p_m := \frac{2 \cdot T \cdot K_\lambda}{d_{sh2} \cdot h' \cdot l' \cdot n \cdot \varphi} = 289.352 \text{ MPa}$$

(mittlere Flächenpressung)

Zulässige Flächenpressung

$$p_{zulWelle} := \frac{R_{eWelle}}{S_F} = 546 \text{ MPa}$$

$$p_{zulNabe} := \frac{R_{eNabe}}{S_F} = 436.3 \text{ MPa}$$

$$p_{zulPassf.} := \frac{R_{ePassf.}}{S_F} = 600 \text{ MPa}$$

$$p_m < p_{zulNabe} < p_{zulWelle} < p_{zulPassf.} = 1 \quad 1 = \text{wahr}$$

Non-Commercial Use Only

Passfederberechnung Methode C

Abtriebswelle

Welle: 42CrMo4

Nabe: 20MnCr5

Passfeder: 34CrNiMo6

$$d_{sh3} := 50 \text{ mm}$$

(Entwurfswellendurchmesser)

$$K_\lambda := 1$$

(Lastverteilungsfaktor)

$$K_A := 2$$

(Anwendungsfaktor)

$$T_{ab} := 550 \text{ N}\cdot\text{m}$$

(Nenndrehmoment)

$$T := K_A \cdot T_{ab} = 1100 \text{ N}\cdot\text{m}$$

(Drehmoment)

$$h := 9 \text{ mm}$$

(Passfederhöhe)

aus TB12-2a

$$h' := 0.45 \cdot h = 4.05 \text{ mm}$$

(tragende Passfederhöhe)

$$l := 40 \text{ mm}$$

(Passfederlänge)

aus TB12-2a

$$b := 14 \text{ mm}$$

(Passfederbreite)

aus TB12-2a

$$l' := l - b = 26 \text{ mm}$$

(tragende Passfederlänge)

$$n := 1$$

(Anzahl Passfedern)

$$\varphi := 1$$

(Tragfaktor)

Technische Anwendungsfaktoren

$$K_{tWelle} := 0.91$$

$$K_{tNabe} := 0.77$$

$$K_{tPassf.} := 0.9$$

aus TB3-11a

Nennstreckengrenzen

$$R_{eNWelle} := 900 \text{ MPa}$$

$$R_{eNNabe} := 850 \text{ MPa}$$

$$R_{eNPassf.} := 1000 \text{ MPa}$$

aus TB3-1

Streckgrenzen

$$R_{eWelle} := K_{tWelle} \cdot R_{eNWelle} = 819 \text{ MPa}$$

$$R_{eNabe} := K_{tNabe} \cdot R_{eNNabe} = 654.5 \text{ MPa}$$

$$R_{ePassf.} := K_{tPassf.} \cdot R_{eNPassf.} = 900 \text{ MPa}$$

$$S_F := 1.5$$

(Sicherheitsfaktor)

aus TB12-2b

$$p_m := \frac{2 \cdot T \cdot K_\lambda}{d_{sh3} \cdot h' \cdot l' \cdot n \cdot \varphi} = 417.854 \text{ MPa}$$

(mittlere Flächenpressung)

Zulässige Flächenpressung

$$p_{zulWelle} := \frac{R_{eWelle}}{S_F} = 546 \text{ MPa}$$

$$p_{zulNabe} := \frac{R_{eNabe}}{S_F} = 436.3 \text{ MPa}$$

$$p_{zulPassf.} := \frac{R_{ePassf.}}{S_F} = 600 \text{ MPa}$$

$$p_m < p_{zulNabe} < p_{zulWelle} < p_{zulPassf.} = 1 \quad 1 = \text{wahr}$$

Non-Commercial Use Only

Abtriebswellenberechnung

$$D_i := 42 \text{ mm}$$

(Innendurchmesser Welle)

$$\tau_{tzul} := 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

(Torsionsspannung)

$$T_{ab} := 550000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(Abtriebsdrehmoment)

$$W_t := \frac{T_{ab}}{\tau_{tzul}} = 11000 \text{ mm}^3$$

$$W_t = \frac{\pi \cdot (D_a^4 - D_i^4)}{16 \cdot D_a} \xrightarrow{\text{solve}, D_a \dots}$$

$$D_a := 49.22 \text{ mm}$$

gewählt: 56mm (Außendurchmesser Welle)

$$K_A := 2$$

(Anwendungsfaktor)

$$d_{sh3} := \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{ab} \cdot K_A}{\pi \cdot \tau_{tzul}}} = 48.21 \text{ mm}$$

(Entwurfswellendurchmesser)

gewählt: 50 mm

Non-Commercial Use Only

### Lagerberechnung Antriebswelle Festlager

Gegebene Werte:

$$P := 0.4656 \text{ kN}$$

(äquivalente Lagerbelastung im Festlager)

$$n := 120000 \cdot \frac{1}{\text{hr}}$$

(Drehzahl Vorgelegewelle)

$$p := 3$$

(für Wälzkörperpunktkontakt)

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

(erforderliche Lebensdauer)

Vorauswahl der Lagergröße

$$C_{\text{erf.}} := P \cdot \sqrt{\frac{n \cdot L_{10h\text{gegeben}}}{10^6}} = 4947.74 \text{ N}$$

gewählt:

$$C := 7.28 \text{ kN}$$

(dynamische Tragzahl Rillenkugellager DIN625-61906)

Nominelle Lebensdauer

$$L_{10h} := \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{n} = 31854.73 \text{ hr}$$

$$L_{10h\text{gegeben}} \leq L_{10h} = 1$$

Non-Commercial Use Only

### Lagerberechnung Antriebswelle Loslager

Gegebene Werte:

$$P := 0.2575 \text{ kN} \quad (\text{äquivalente Lagerbelastung im Loslager})$$

$$n := 120000 \cdot \frac{1}{hr} \quad (\text{Drehzahl Vorgelegewelle})$$

$$p := \frac{3}{10} \quad (\text{für Wälzkörperlinienkontakt})$$

$$L_{10h\text{gegeben}} := 10000 \text{ hr} \quad (\text{erforderliche Lebensdauer})$$

Vorauswahl der Lagergröße

$$C_{\text{erf.}} := P \cdot \left( \frac{n \cdot L_{10h\text{gegeben}}}{10^6} \right)^{\frac{1}{p}} = 2160.39 \text{ N}$$

gewählt:

$$C := 23.3 \text{ kN} \quad (\text{dynamische Tragzahl Nadellager NKI 28/20})$$

Nominelle Lebensdauer

$$L_{10h} := \left( \frac{C}{P} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot \frac{10^6}{n} = 27717095.15 \text{ hr}$$

$$L_{10h\text{gegeben}} \leq L_{10h} = 1$$

Non-Commercial Use Only

### Lagerberechnung Abtriebswelle Festlager

Gegebene Werte:

$$P := 1.43656 \text{ kN} \quad (\text{äquivalente Lagerbelastung im Festlager})$$

$$n := 10909 \cdot \frac{1}{hr} \quad (\text{Drehzahl Vorgelegewelle})$$

$$p := 3 \quad (\text{für Wälzkörperpunktkontakt})$$

$$L_{10h\text{gegeben}} := 10000 \text{ hr} \quad (\text{erforderliche Lebensdauer})$$

Vorauswahl der Lagergröße

$$C_{\text{erf.}} := P \cdot \sqrt[p]{\frac{n \cdot L_{10h\text{gegeben}}}{10^6}} = 6864.13 \text{ N}$$

gewählt:

$$C := 14.6 \text{ kN} \quad (\text{dynamische Tragzahl Rillenkugellager DIN625-61910})$$

Nominelle Lebensdauer

$$L_{10h} := \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{n} = 96228.19 \text{ hr}$$

$$L_{10h\text{gegeben}} \leq L_{10h} = 1$$

Non-Commercial Use Only

### Lagerberechnung Abtriebswelle Loslager

Gegebene Werte:

$$P := 0.4745 \text{ kN}$$

(äquivalente Lagerbelastung im Loslager)

$$n := 10909 \cdot \frac{1}{\text{hr}}$$

(Drehzahl Abtriebswelle)

$$p := 3$$

(für Wälzkörperpunktkontakt)

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

(erforderliche Lebensdauer)

Vorauswahl der Lagergröße

$$C_{\text{erf.}} := P \cdot \sqrt[p]{\frac{n \cdot L_{10h\text{gegeben}}}{10^6}} = 2267.24 \text{ N}$$

gewählt:

$$C := 6.76 \text{ kN}$$

(dynamische Tragzahl Rillenkugellager DIN625-61810)

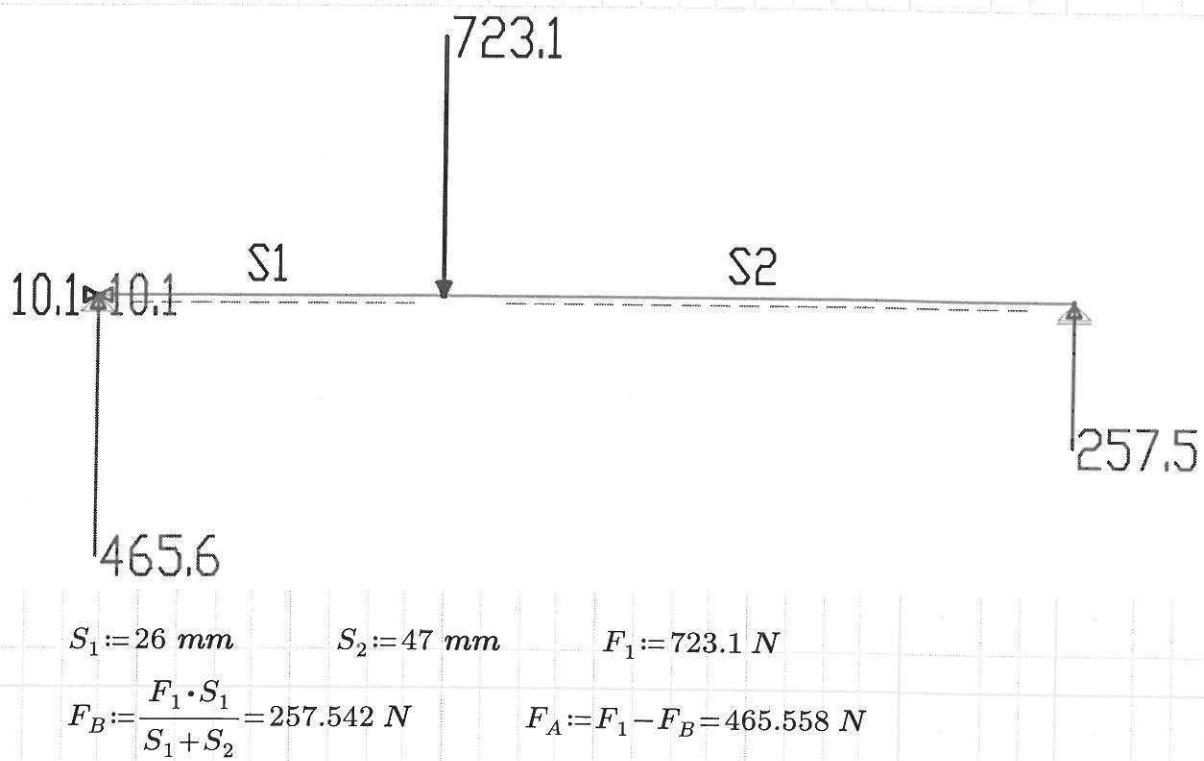
Nominelle Lebensdauer

$$L_{10h} := \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{n} = 265061.41 \text{ hr}$$

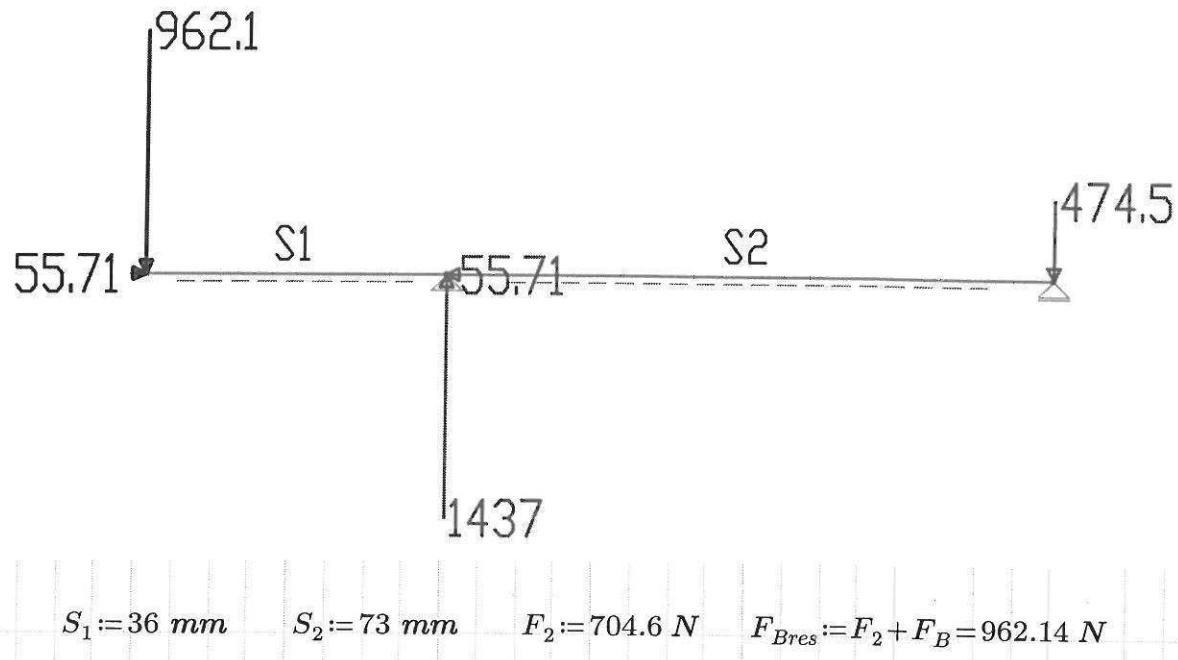
$$L_{10h\text{gegeben}} \leq L_{10h} = 1$$

Non-Commercial Use Only

Lagerberechnung Antriebswelle



Lagerberechnung Abtriebswelle



$$F_C := \frac{F_{Bres} \cdot (S_1 + S_2)}{S_2} = 1436.62 \text{ N}$$
$$F_D := F_{Bres} - F_C = -474.48 \text{ N}$$

### Lagerberechnung Vorgelegewelle Festlager

Gegebene Werte:

$$P := 0.76479 \text{ kN} \quad (\text{äquivalente Lagerbelastung im Festlager})$$

$$n := 34303.8 \cdot \frac{1}{\text{hr}} \quad (\text{Drehzahl Vorgelegewelle})$$

$$p := 3 \quad (\text{für Wälzkörperpunktkontakt})$$

$$L_{10h\text{gegeben}} := 10000 \text{ hr} \quad (\text{erforderliche Lebensdauer})$$

Vorauswahl der Lagergröße

$$C_{\text{erf.}} := P \cdot \sqrt[p]{\frac{n \cdot L_{10h\text{gegeben}}}{10^6}} = 5353.73 \text{ N}$$

gewählt:

$$C := 9.56 \text{ kN} \quad (\text{dynamische Tragzahl Rillenkugellager DIN625-61907})$$

Nominelle Lebensdauer

$$L_{10h} := \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{n} = 56938.35 \text{ hr}$$

$$L_{10h\text{gegeben}} \leq L_{10h} = 1$$

Non-Commercial Use Only

### Lagerberechnung Vorgelegewelle Loslager

Gegebene Werte:

$$P := 0.66291 \text{ kN} \quad (\text{äquivalente Lagerbelastung im Festlager})$$

$$n := 34303.8 \cdot \frac{1}{\text{hr}} \quad (\text{Drehzahl Vorgelegewelle})$$

$$p := 3 \quad (\text{für Wälzkörperpunktkontakt})$$

$$L_{10h\text{gegeben}} := 10000 \text{ hr} \quad (\text{erforderliche Lebensdauer})$$

Vorauswahl der Lagergröße

$$C_{\text{erf.}} := P \cdot \sqrt[p]{\frac{n \cdot L_{10h\text{gegeben}}}{10^6}} = 4640.54 \text{ N}$$

gewählt:

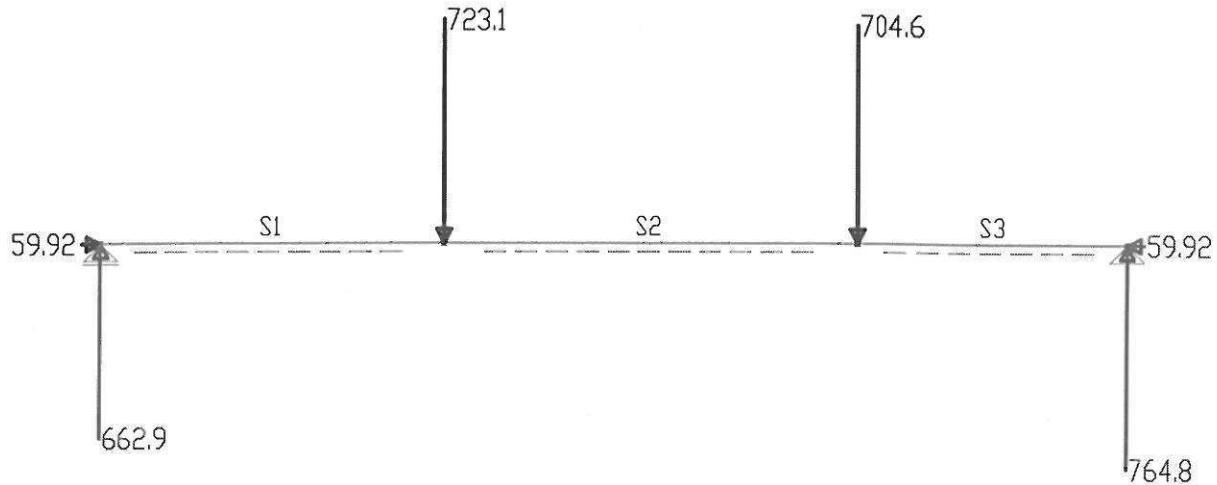
$$C := 4.75 \text{ kN} \quad (\text{dynamische Tragzahl Rillenkugellager DIN625-61807})$$

Nominelle Lebensdauer

$$L_{10h} := \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{n} = 10724.45 \text{ hr}$$

$$L_{10h\text{gegeben}} \leq L_{10h} = 1$$

Lagerberechnung Vorgelegewelle



$$S_1 := 39.5 \text{ mm}$$

$$F_1 := 723.1 \text{ N}$$

$$S_2 := 47.5 \text{ mm}$$

$$F_2 := 704.6 \text{ N}$$

$$S_3 := 30.5 \text{ mm}$$

$$F_3 := 59.92 \text{ N}$$

$$1) \quad F_{By} := \frac{F_1 \cdot S_1 + F_2 \cdot (S_1 + S_2)}{S_1 + S_2 + S_3} = 764.789 \text{ N}$$

$$2) \quad F_A := F_1 + F_2 - F_{By} = 662.911 \text{ N}$$

$$3) \quad F_{Bx} := 59.92 \text{ N}$$

Non-Commercial Use Only

### Lagerberechnung Überlastrutschkupplung

Gegebene Werte:

$$Y := 2 \quad (\text{dynamisch äquivalenter Axialfaktor})$$

$$P := Y \cdot 1.5 \text{ kN} = 3 \text{ kN} \quad (\text{äquivalente Lagerbelastung})$$

$$n := 10909.08 \cdot \frac{1}{hr} \quad (\text{Abtriebsdrehzahl})$$

$$p := 3 \quad (\text{für Wälzkörperpunktkontakt})$$

$$L_{10h\text{gegeben}} := 10000 \text{ hr} \quad (\text{erforderliche Lebensdauer})$$

Vorauswahl der Lagergröße

$$C_{erf.} := P \cdot \left( \frac{n \cdot L_{10h\text{gegeben}}}{10^6} \right)^{\frac{1}{p}} = 14334.55 \text{ N}$$

gewählt:

$$C := 14.6 \text{ kN} \quad (\text{dynamische Tragzahl Rillenkugellager DIN625-61910})$$

Nominelle Lebensdauer

$$L_{10h} := \left( \frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{10^6}{n} = 10565.9 \text{ hr} \quad L_{10h\text{gegeben}} \leq L_{10h} = 1$$

Non-Commercial Use Only

Kraftverhältnisse am Schrägstirnrad

$$F_B := 1500 \text{ N}$$

$$d_1 := 53.209 \text{ mm}$$

$$T_{12} := 50 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\beta_W := 20 \text{ deg}$$

$$d_2 := 187.295 \text{ mm}$$

$$T_{vgw} := 175 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\alpha_W := 21.013359 \text{ deg}$$

$$d_3 := 58.53 \text{ mm}$$

$$\alpha_n := 20 \text{ deg}$$

$$d_4 := 183.571 \text{ mm}$$

Betriebswälzkreisdurchmesser

$$d_{w1} := \frac{d_1 \cdot \cos(\alpha_n)}{\cos(\alpha_W)} = 53.6 \text{ mm}$$

$$d_{w2} := \frac{d_2 \cdot \cos(\alpha_n)}{\cos(\alpha_W)} = 188.5 \text{ mm}$$

$$d_{w3} := \frac{d_3 \cdot \cos(\alpha_n)}{\cos(\alpha_W)} = 58.9 \text{ mm}$$

$$d_{w4} := \frac{d_4 \cdot \cos(\alpha_n)}{\cos(\alpha_W)} = 184.8 \text{ mm}$$

Nenn-Umfangskraft im Stirnschnitt

$$F_{t12} := \frac{2 \cdot T_{12}}{d_{w1}} = 1867 \text{ N}$$

$$F_{t34} := \frac{2 \cdot T_{vgw}}{d_{w3}} = 5940.4 \text{ N}$$

$$F_{r12} := \frac{F_{t12} \cdot \tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_W)} = 723.1 \text{ N}$$

$$F_{r34} := \frac{F_{t34} \cdot \tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_W)} = 2300.9 \text{ N}$$

$$F_{a12} := F_{t12} \cdot \tan(\beta_W) = 679.5 \text{ N}$$

$$F_{a34} := F_{t34} \cdot \tan(\beta_W) = 2162.1 \text{ N}$$

Non-Commercial Use Only

Kraftverhältnisse am Schrägstirnrad

Resultierende Kräfte

$$F_{tB} := \frac{F_B}{\tan(\beta_W)} = 4121.22 \text{ N}$$

$$F_{rB} := \frac{F_{tB} \cdot \tan(\alpha_n)}{\cos(\beta_W)} = 1596.3 \text{ N}$$

$$F_{rRes} := F_{r34} - F_{rB} = 704.627 \text{ N}$$

$$F_{tRes} := F_{t34} - F_{tB} = 1819.2 \text{ N}$$

$$F_{a34} := F_{a34} - F_B = 662.1 \text{ N}$$

wird fast kompensiert mit  $F_{a12}$

$$F_a := F_{a12} - F_{a34} = 17.4 \text{ N}$$

zusätzlich wirkende Gewichtskräfte

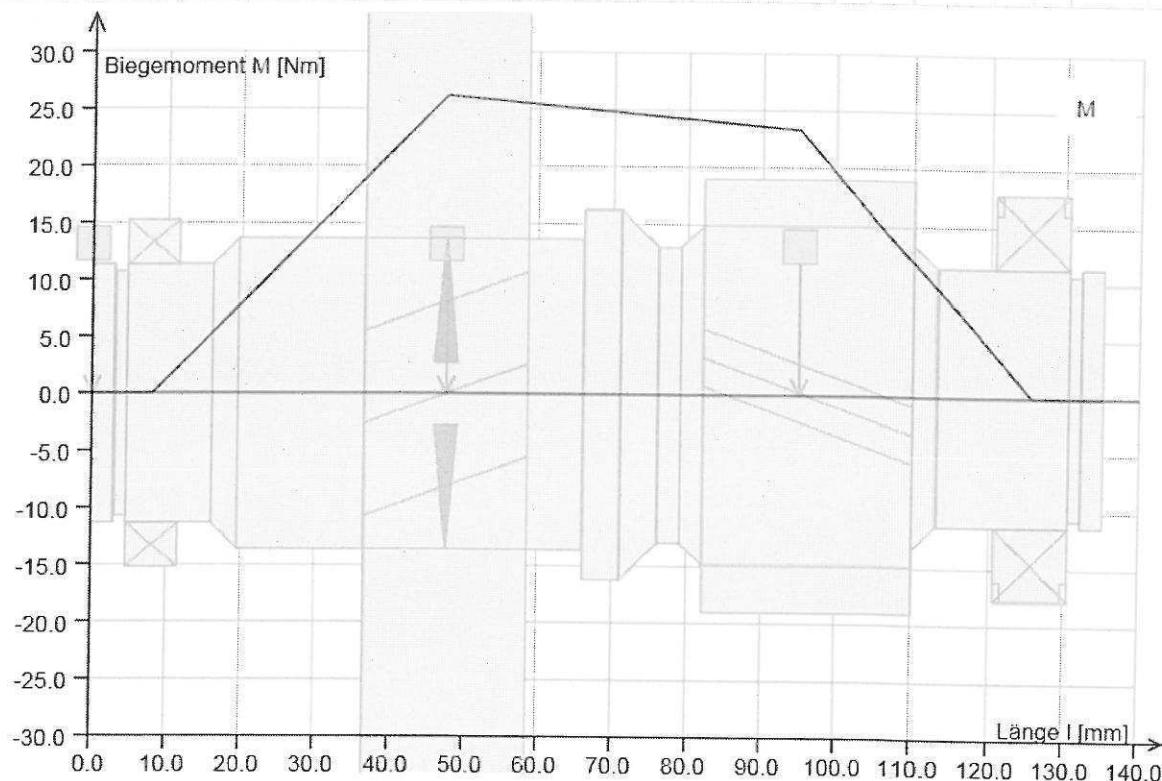
$$F_{aGK} := 42.52 \text{ N}$$

$$F_a := F_a + F_{aGK} = 59.92 \text{ N}$$

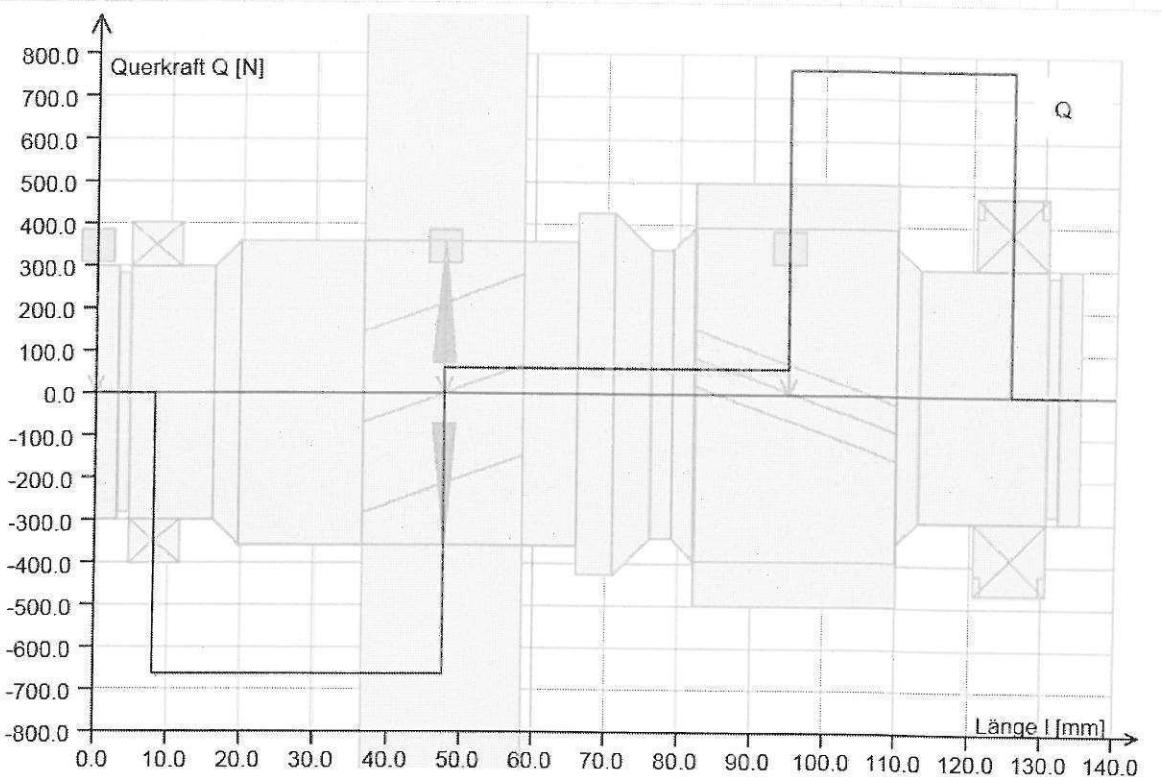
Non-Commercial Use Only

Biegemomentenverlauf Vorgelegewelle

$$M_{bres} := 23.18 \text{ N}\cdot\text{m}$$



Querkraftverlauf Vorgelegewelle



## Berechnung Fliehkraftkupplung

$$n_S := 1300 \cdot \frac{1}{min}$$

(Schaltdrehzahl)

$$n_{an} := 2000 \cdot \frac{1}{min}$$

(Antriebsdrehzahl)

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot n_S = 136.136 \frac{1}{s}$$

(Winkelgeschwindigkeit bei Schaltdrehzahl)

$$F_F := 100 N$$

(Federkraft)

$$\mu_0 := 0.9$$

(Haftreibwert)

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

(Radius Fliehkörperschwerpunkt)

$$T_S := 50 N \cdot m$$

(Schaltdrehmoment)

$$D_R := 140 mm$$

(Reibdurchmesser)

$$N_{FK} := 2$$

(Anzahl der Fliehkörper)

$$F_R := \frac{T_S \cdot 2}{N_{FK} \cdot D_R} = 357.14 N$$

(Reibkraft)

$$F_N := \frac{F_R}{\mu_0} = 396.825 N$$

(Normalkraft)

$$F_{Flieh} := F_N + F_F = 496.825 N$$

(Fliehkraft)

$$m_{FK} := \frac{F_{Flieh}}{r_{FK} \cdot \omega^2 \cdot 2} = 0.268 kg$$

(Masse je Fliehkörper)

Reibmoment bei 2000 min^-1

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot n_{an} = 209.44 \frac{1}{s}$$

(Winkelgeschwindigkeit bei Antriebsdrehzahl)

$$F_{Flieh} := m_{FK} \cdot r_{FK} \cdot \omega^2 = 587.959 N$$

(Fliehkraft)

$$F_N := F_{Flieh} - F_F = 487.959 N$$

(Normalkraft)

$$F_R := \mu_0 \cdot F_N = 439.163 N$$

(Reibkraft)

$$T_R := N_{FK} \cdot F_R \cdot \frac{D_R}{2} = 61.483 N \cdot m$$

(Reibdrehmoment)

Berechnung Überlastrutschkupplung

$$T_S := 600 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(Schaltdrehmoment)

$$\mu_0 := 0.9$$

(Haftreibwert)

$$D_{Rm} := 100 \text{ mm}$$

(mittlerer Reibdurchmesser)

$$N_{RK} := 1$$

(Anzahl der Reibkörper)

$$F_B := 1500 \text{ N}$$

(Axialkraft)

$$F_{Rerf} := \frac{T_S \cdot 2}{N_{RK} \cdot D_{Rm}} = 12000 \text{ N}$$

(erforderliche Reibkraft)

$$F_{Nerf} := \frac{F_{Rerf}}{\mu_0} = 13333.3 \text{ N}$$

(erforderliche Normalkraft durch Axialkraft)

$$\alpha := \arctan \left( \frac{F_B}{F_{Nerf}} \right) = 6.459 \text{ deg}$$

(Steigungswinkel der Reibfläche)

$$\alpha := 6.5 \text{ deg}$$

(gewählter Winkel)

$$F_N := \frac{F_B}{\sin(\alpha)} = 13250.507 \text{ N}$$

(tatsächliche Normalkraft durch Axialkraft)

$$T_S := F_N \cdot \mu_0 \cdot \frac{D_{Rm}}{2} = 596.273 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(tatsächliches Schaltdrehmoment)

## Maschinenelemente 3

### Passungsberechnung Festlager Antriebswelle

#### Einheitsbohrung H7:

Nennmaß (N):	30,000 mm
oberes Abmaß (ES):	0,021 mm
Toleranzklasse 7 (IT):	0,021 mm
unteres Abmaß (EI):	0,000 mm

#### Welle j6:

Nennmaß (N):	30,000 mm
oberes Abmaß (es):	0,009 mm
Toleranzklasse 6 (IT):	0,013 mm
unteres Abmaß (ei):	-0,004 mm

#### Übergangspassung:

##### Höchstspiel ( $P_{SH}$ ):

$$P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} = 30,021 \text{ mm} - 29,996 \text{ mm} = \mathbf{0,025 \text{ mm}}$$

Höchstmaß Bohrung:  $G_{oB} = N + ES = 30,000 \text{ mm} + 0,021 \text{ mm} = 30,021 \text{ mm}$   
Mindestmaß Welle:  $G_{uW} = N + ei = 30,000 \text{ mm} - 0,004 = 29,996 \text{ mm}$

##### Höchstübermaß ( $P_{ÜH}$ ):

$$P_{ÜH} = G_{uB} - G_{oW} = 30,000 \text{ mm} - 30,009 \text{ mm} = \mathbf{-0,009 \text{ mm}}$$

Mindestmaß Bohrung:  $G_{uB} = N + EI = 30,000 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 30,000 \text{ mm}$   
Höchstmaß Welle:  $G_{oW} = N + es = 30,000 \text{ mm} + 0,009 \text{ mm} = 30,009 \text{ mm}$

## Maschinenelemente 3

### Passungsberechnung Loslager Antriebswelle

#### Einheitsbohrung H7:

Nennmaß (N):	28,000 mm
oberes Abmaß (ES):	0,021 mm
Toleranzklasse 7 (IT):	0,021 mm
unteres Abmaß (EI):	0,000 mm

#### Welle n6:

Nennmaß (N):	28,000 mm
oberes Abmaß (es):	0,028 mm
Toleranzklasse 6 (IT):	0,013 mm
unteres Abmaß (ei):	0,015 mm

#### Übergangspassung:

##### Höchstspiel ( $P_{SH}$ ):

$$P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} = 28,021 \text{ mm} - 28,015 \text{ mm} = \mathbf{0,006 \text{ mm}}$$

Höchstmaß Bohrung:  $G_{oB} = N + ES = 28,000 \text{ mm} + 0,021 \text{ mm} = 28,021 \text{ mm}$   
Mindestmaß Welle:  $G_{uW} = N + ei = 28,000 \text{ mm} + 0,015 \text{ mm} = 28,015 \text{ mm}$

##### Höchstübermaß ( $P_{ÜH}$ ):

$$P_{ÜH} = G_{uB} - G_{oW} = 28,000 \text{ mm} - 28,028 \text{ mm} = \mathbf{-0,028 \text{ mm}}$$

Mindestmaß Bohrung:  $G_{uB} = N + EI = 28,000 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 28,000 \text{ mm}$   
Höchstmaß Welle:  $G_{oW} = N + es = 28,000 \text{ mm} + 0,028 \text{ mm} = 28,028 \text{ mm}$

## Maschinenelemente 3

### Passungsberechnung Festlager Vorgelegewelle

#### Einheitsbohrung H7:

Nennmaß (N):	35,000 mm
oberes Abmaß (ES):	0,025 mm
Toleranzklasse 7 (IT):	0,025 mm
unteres Abmaß (EI):	0,000 mm

#### Welle j6:

Nennmaß (N):	35,000 mm
oberes Abmaß (es):	0,011 mm
Toleranzklasse 6 (IT):	0,016 mm
unteres Abmaß (ei):	-0,005 mm

#### Übergangspassung:

##### Höchstspiel ( $P_{SH}$ ):

$$P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} = 35,025 \text{ mm} - 34,995 \text{ mm} = \mathbf{0,03 \text{ mm}}$$

Höchstmaß Bohrung:  $G_{oB} = N + ES = 35,000 \text{ mm} + 0,025 \text{ mm} = 35,025 \text{ mm}$   
Mindestmaß Welle:  $G_{uW} = N + ei = 35,000 \text{ mm} - 0,005 \text{ mm} = 34,995 \text{ mm}$

##### Höchstübermaß ( $P_{ÜH}$ ):

$$P_{ÜH} = G_{uB} - G_{oW} = 35,000 \text{ mm} - 35,011 \text{ mm} = \mathbf{-0,011 \text{ mm}}$$

Mindestmaß Bohrung:  $G_{uB} = N + EI = 35,000 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 35,000 \text{ mm}$   
Höchstmaß Welle:  $G_{oW} = N + es = 35,000 \text{ mm} + 0,011 \text{ mm} = 35,011 \text{ mm}$

## Maschinenelemente 3

### Passungsberechnung Loslager Vorgelegewelle

#### Einheitsbohrung H7:

Nennmaß (N):	35,000 mm
oberes Abmaß (ES):	0,025 mm
Toleranzklasse 7 (IT):	0,025 mm
unteres Abmaß (EI):	0,000 mm

#### Welle j6:

Nennmaß (N):	35,000 mm
oberes Abmaß (es):	0,011 mm
Toleranzklasse 6 (IT):	0,016 mm
unteres Abmaß (ei):	-0,005 mm

#### Übergangspassung:

##### Höchstspiel ( $P_{SH}$ ):

$$P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} = 35,025 \text{ mm} - 34,995 \text{ mm} = \mathbf{0,03 \text{ mm}}$$

Höchstmaß Bohrung:  $G_{oB} = N + ES = 35,000 \text{ mm} + 0,025 \text{ mm} = 35,025 \text{ mm}$   
Mindestmaß Welle:  $G_{uW} = N + ei = 35,000 \text{ mm} - 0,005 \text{ mm} = 34,995 \text{ mm}$

##### Höchstübermaß ( $P_{ÜH}$ ):

$$P_{ÜH} = G_{uB} - G_{oW} = 35,000 \text{ mm} - 35,011 \text{ mm} = \mathbf{-0,011 \text{ mm}}$$

Mindestmaß Bohrung:  $G_{uB} = N + EI = 35,000 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 35,000 \text{ mm}$   
Höchstmaß Welle:  $G_{oW} = N + es = 35,000 \text{ mm} + 0,011 \text{ mm} = 35,011 \text{ mm}$

## Maschinenelemente 3

### Passungsberechnung Festlager Abtriebswelle

#### Einheitsbohrung H7:

Nennmaß (N):	50,000 mm
oberes Abmaß (ES):	0,025 mm
Toleranzklasse 7 (IT):	0,025 mm
unteres Abmaß (EI):	0,000 mm

#### Welle n6:

Nennmaß (N):	50,000 mm
oberes Abmaß (es):	0,033 mm
Toleranzklasse 6 (IT):	0,016 mm
unteres Abmaß (ei):	0,017 mm

#### Übergangspassung:

##### Höchstspiel ( $P_{SH}$ ):

$$P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} = 50,025 \text{ mm} - 50,017 \text{ mm} = \mathbf{0,008 \text{ mm}}$$

Höchstmaß Bohrung:  $G_{oB} = N + ES = 50,000 \text{ mm} + 0,025 \text{ mm} = 50,025 \text{ mm}$   
Mindestmaß Welle:  $G_{uW} = N + ei = 50,000 \text{ mm} + 0,017 \text{ mm} = 50,017 \text{ mm}$

##### Höchstübermaß ( $P_{ÜH}$ ):

$$P_{ÜH} = G_{uB} - G_{oW} = 50,000 \text{ mm} - 50,033 \text{ mm} = \mathbf{-0,033 \text{ mm}}$$

Mindestmaß Bohrung:  $G_{uB} = N + EI = 50,000 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 50,000 \text{ mm}$   
Höchstmaß Welle:  $G_{oW} = N + es = 50,000 \text{ mm} + 0,033 \text{ mm} = 50,033 \text{ mm}$

## Maschinenelemente 3

### Passungsberechnung Loslager Abtriebswelle

#### Einheitsbohrung H7:

Nennmaß (N):	50,000 mm
oberes Abmaß (ES):	0,025 mm
Toleranzklasse 7 (IT):	0,025 mm
unteres Abmaß (EI):	0,000 mm

#### Welle n6:

Nennmaß (N):	50,000 mm
oberes Abmaß (es):	0,033 mm
Toleranzklasse 6 (IT):	0,016 mm
unteres Abmaß (ei):	0,017 mm

#### Übergangspassung:

##### Höchstspiel ( $P_{SH}$ ):

$$P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} = 50,025 \text{ mm} - 50,017 \text{ mm} = \mathbf{0,008 \text{ mm}}$$

Höchstmaß Bohrung:  $G_{oB} = N + ES = 50,000 \text{ mm} + 0,025 \text{ mm} = 50,025 \text{ mm}$   
Mindestmaß Welle:  $G_{uW} = N + ei = 50,000 \text{ mm} + 0,017 \text{ mm} = 50,017 \text{ mm}$

##### Höchstübermaß ( $P_{ÜH}$ ):

$$P_{ÜH} = G_{uB} - G_{oW} = 50,000 \text{ mm} - 50,033 \text{ mm} = \mathbf{-0,033 \text{ mm}}$$

Mindestmaß Bohrung:  $G_{uB} = N + EI = 50,000 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 50,000 \text{ mm}$   
Höchstmaß Welle:  $G_{oW} = N + es = 50,000 \text{ mm} + 0,033 \text{ mm} = 50,033 \text{ mm}$