

# Berechnung des Getriebes

## Berechnung Verzahnung

$$Nm := N \cdot m$$

$$M_{Ab} := 750 \text{ Nm} \quad \text{gefordertes Abtriebsmoment auf den Walzen}$$

$$n_{Ab} := 10 \text{ min}^{-1} \quad \text{gewünschte Drezahl der Walzen}$$

$$n_{An} := 380 \text{ min}^{-1} \quad \text{Antriebsdrezahl des Motors}$$

$$\eta := 0.9 \quad \text{Wirkungsgrad des Getriebes}$$

Verzahnungsqualität: 8

Zahnradwerkstoff: C45 (Zahnräder v. Norelem) 42CrMo4 (Ritzelwelle)

### Auswahl der Übersetzungen:

$$i_{ges} := \frac{n_{An}}{n_{Ab}} = 38 \quad \text{theoretische Gesamtübersetzung}$$

$$i_{12} := \sqrt[2]{i_{ges}} = 6.164 \quad \text{theoretische Übersetzung in der 1. Stufe}$$

$$i_{34} := \frac{i_{ges}}{i_{12}} = 6.164 \quad \text{theoretische Übersetzung in der 2. Stufe}$$

### Auswahl der Zähnezahlen:

$$z_1 := 19 \quad \text{Gewähltes Ritzel auf der Antriebswelle}$$

$$z_3 := 19 \quad \text{Gewähltes Ritzel auf Welle 2}$$

$$z_2 := z_1 \cdot i_{12} = 117.124$$

$$z_4 := z_3 \cdot i_{34} = 117.124 \quad \text{Mit der Übersetzung berechnete Zähnezahlen der Großräder}$$

$$z_2 := 110 \quad \text{Gewählte Zähnezahl der Großräder}$$

$$z_4 := 110$$

Tatsächliche Übersetzung:

$$i_{12} := \frac{z_2}{z_1} = 5.789 \quad i_{34} := \frac{z_4}{z_3} = 5.789$$

$$i := i_{12} \cdot i_{34} = 33.518$$

## Auswahl des Motors

Tatsächliche Momente auf den Wellen:

$$M_{T4} := M_{Ab} = 750 \text{ Nm} \quad \text{erforderliches Abtriebsmoment der Prägewalzen}$$

$$M_{T3} := M_{T4} = 750 \text{ Nm}$$

$$M_{T2} := \frac{M_{T3}}{i_{34} \cdot \eta} = 143.939 \text{ Nm}$$

$$M_{T1} := \frac{M_{T2}}{i_{12} \cdot \eta} = 27.625 \text{ Nm} \quad \text{erforderliches Antriebsmoment auf Welle 1}$$

## Technische Daten Akkuschauber

Bezeichnung:  
Bosch GSR 18V-28

Maximales Drehmoment:  
63 Nm

Maximale Drehzahl:  
1900 U/min

Akkuschauber wird von uns  
angesteuert auf:

$$M_{An} := 30 \text{ Nm}$$

$$n_{An} = 380 \text{ min}^{-1}$$





### Abtriebsmoment der Walzen mit gewählten Motor

$$M_{T1max} := M_{An} = 30 \text{ Nm}$$

$$M_{T2max} := M_{T1max} \cdot i_{12} \cdot \eta = 156.316 \text{ Nm}$$

$$M_{T3max} := M_{T2max} \cdot i_{34} \cdot \eta = 814.488 \text{ Nm}$$

$$M_{T4max} := M_{T3max} = 814.488 \text{ Nm}$$

Diese Momente treten auf der Welle nicht auf, da die Wellenbeanspruchung vom Lastmoment abhängt.

Tatsächliche Abtriebsdrehzahl:

$$n_{34} := \frac{n_{An}}{i} = 11.337 \text{ min}^{-1} \quad \text{Drehzahlen der Walzen}$$

Non-Commercial Use Only

## Grobabschätzung der erforderlichen Moduli

Elastizitätsfaktor

$$Z_E := 189.8 \cdot \sqrt{\frac{N}{\text{mm}^2}} \quad (\text{RM TB-21-21})$$

Eingriffswinkel der  
Evolventenverzahnung

$$\alpha := 20^\circ$$

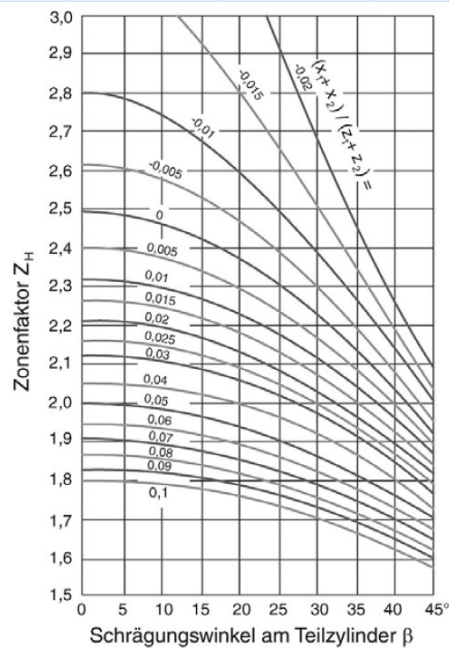


Diagramm 5.3: Zonenfaktor  $Z_H$  für  $\alpha = 20^\circ$

Zonenfaktor:  
entweder aus Diagramm auslesen oder mit  
folgender Formel berechnen

Diagramm siehe: PDF  
Berechnungsgrundlagen\_Stirnradverzahnung\_2010-10

$$Z_H := \sqrt{\frac{2}{\cos(\alpha)^2 \cdot \tan(\alpha)}} = 2.495$$

(Formel siehe RM S.825)

### Modul vom 1. Zahnradpaar:

Zahnradwerkstoff: C45

Zahnflankendauerfestigkeit:

$$\sigma_{H\_lim} := 500 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{RM-TB 20-1}$$

Modul-Breitenverhältniss (Tabelle):

$$\psi_{m1} := 25 \quad \text{RM-TB 21-14 b}$$

Non-Commercial Use Only

$$m_{12} := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot M_{T1}}{\psi_{m1} \cdot z_1^2 \cdot \sigma_{H\_lim}^2} \cdot \frac{i_{12} + 1}{i_{12}} \cdot Z_H^2 \cdot Z_E^2} = 1.86 \text{ mm}$$

$$m_{12} := \text{Ceil}(m_{12}, 0.5 \text{ mm}) = 2 \text{ mm}$$

kleinster berechneter Modul

$$m_{12} := 3 \text{ mm}$$

gewählter Modul

### Berechnung der Teilkreisdurchmesser 1 u. 2:

$$d_1 := m_{12} \cdot z_1 = 57 \text{ mm}$$

Zahnrad 1

$$d_2 := m_{12} \cdot z_2 = 330 \text{ mm}$$

Zahnrad 2

$$a_1 := \frac{d_1 + d_2}{2} = 193.5 \text{ mm}$$

Achsabstand zw. Welle 1 und 2

### Modul vom 2. Zahnradpaar

Zahnradwerkstoff: 42CrMo4 + QT (TB 20-1)&C45

Zahnflankendauerfestigkeit:  $\sigma_{H\_lim} = 500 \frac{N}{mm^2}$  RM-TB 20-1

Modul-Breitenverhältniss (Tabelle):  $\psi_{m2} := 25$  TB 21-14 b

$$m_{34} := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot M_{T3}}{\psi_{m2} \cdot z_4^2 \cdot \sigma_{H\_lim}^2} \cdot \frac{i_{34} + 1}{i_{34}} \cdot Z_H^2 \cdot Z_E^2} = 1.734 \text{ mm}$$

$$m_{34} := \text{Ceil}(m_{34}, 0.5 \text{ mm}) = 2 \text{ mm}$$

kleinster berechneter Modul

$$m_{34} := 3 \text{ mm}$$

gewählter Modul

**Berechnung der Teilkreisdurchmesser 3 u. 4:**

$$d_3 := m_{34} \cdot z_3 = 57 \text{ mm}$$

Zahnrad 3

$$d_4 := m_{34} \cdot z_4 = 330 \text{ mm}$$

Zahnrad 4

$$a_2 := \frac{d_3 + d_4}{2} = 193.5 \text{ mm}$$

Achsabstand zw. Welle 2 und 3

**Achsabstand zwischen den beiden Walzen**

$$a_3 := \frac{d_4 + d_4}{2} = 330 \text{ mm}$$

Non-Commercial Use Only

## Zahnradabmessungen

### Breiten der Zahnräder

Um Einbauungenauigkeiten auszugleichen sollte die Breite der Ritzel größer gewählt werden.

Ritzel:

Räder:

$$b_1 := 20 \cdot m_{12} + 5 \text{ mm} = 65 \text{ mm}$$

$$b_2 := 20 \cdot m_{12} = 60 \text{ mm}$$

$$b_3 := 20 \cdot m_{34} + 5 \text{ mm} = 65 \text{ mm}$$

$$b_4 := 20 \cdot m_{34} = 60 \text{ mm}$$

Hier wurde mit der Faustformel  $b=20 \times m$  gerechnet, was meistens zu einer Überdimensionierung führt. Angepasste Breiten siehe weiter unten.

### Zahnhöhen

Ritzel:

Räder:

$$h_{f1} := 1.166 \cdot m_{12} = 3.498 \text{ mm}$$

$$h_{f2} := 1.166 \cdot m_{12} = 3.498 \text{ mm}$$

$$h_{f3} := 1.166 \cdot m_{34} = 3.498 \text{ mm}$$

$$h_{f4} := 1.166 \cdot m_{34} = 3.498 \text{ mm}$$

$$h_1 := h_{f1} + m_{12} = 6.498 \text{ mm}$$

$$h_2 := h_{f2} + m_{12} = 6.498 \text{ mm}$$

$$h_3 := h_{f3} + m_{34} = 6.498 \text{ mm}$$

$$h_4 := h_{f4} + m_{34} = 6.498 \text{ mm}$$

Non-Commercial Use Only

## Diverse Durchmesser am Zahnrad

### Kopfkreisdurchmesser

$$d_{K1} := d_1 + 2 \cdot m_{12} = 63 \text{ mm}$$

$$d_{K2} := d_2 + 2 \cdot m_{12} = 336 \text{ mm}$$

$$d_{K3} := d_3 + 2 \cdot m_{34} = 63 \text{ mm}$$

$$d_{K4} := d_4 + 2 \cdot m_{34} = 336 \text{ mm}$$

### Fußkreisdurchmesser

$$d_{F1} := d_{K1} - 2 \cdot h_{f1} = 56.004 \text{ mm}$$

$$d_{F2} := d_{K2} - 2 \cdot h_{f2} = 329.004 \text{ mm}$$

$$d_{F3} := d_{K3} - 2 \cdot h_{f3} = 56.004 \text{ mm}$$

$$d_{F4} := d_{K4} - 2 \cdot h_{f4} = 329.004 \text{ mm}$$

### Grundkreisdurchmesser

$$d_{G1} := d_1 \cdot \cos(\alpha) = 53.562 \text{ mm}$$

$$d_{G2} := d_2 \cdot \cos(\alpha) = 310.099 \text{ mm}$$

$$d_{G3} := d_3 \cdot \cos(\alpha) = 53.562 \text{ mm}$$

$$d_{G4} := d_4 \cdot \cos(\alpha) = 310.099 \text{ mm}$$

Non-Commercial Use Only

## Berechnung der erforderlichen Wellendurchmesser

### Grundformeln:

$$\tau_{tzul.} = \frac{M_t}{W_{perf}} \quad \rightarrow \quad W_{perf} = \frac{M_t}{\tau_{tzul.}} \quad \rightarrow \quad d = \sqrt[3]{\frac{M_t \cdot 16}{\tau_{tzul.} \cdot \pi}}$$

Gewählter Werkstoff: 42CrMo4 (Werte siehe RM TB 1-1)

$$\sigma_{bWN} := 550 \text{ Nm} \quad \tau_{tSchN} := 565 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Sicherheit:  $\nu := 12$

Zulässige Torsionsspannung:  
(inkl. Sicherheit)

$$\tau_{tzul} := \frac{\tau_{tSchN}}{\nu} = 47.083 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Vordimensionierung auf Torsion:

Welle 1:  $d_{T1} := \text{Ceil} \left( \sqrt[3]{\frac{M_{T1} \cdot 16}{\tau_{tzul} \cdot \pi}}, 1 \text{ mm} \right) = 15 \text{ mm}$

Welle 2:  $d_{T2} := \text{Ceil} \left( \sqrt[3]{\frac{M_{T2} \cdot 16}{\tau_{tzul} \cdot \pi}}, 1 \text{ mm} \right) = 25 \text{ mm}$

Non-Commercial Use Only



## Berechnung der Kräfte am Zahnrad

Eingriffswinkel:  $\alpha := 20 \text{ deg}$

Zahnrad 1 und 2:

$$M_{T1} = F_{t12} \cdot \frac{d_1}{2}$$

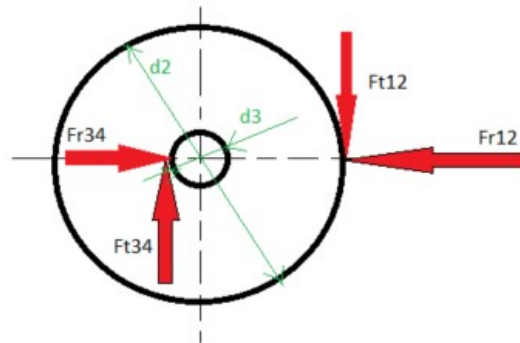
$$F_{t12} := \frac{M_{T1}}{\frac{d_1}{2}} = 0.969 \text{ kN}$$

$$F_{r12} := F_{t12} \cdot \tan(\alpha) = 0.353 \text{ kN}$$

Zahnrad 3 und 4:

$$F_{t34} := \frac{F_{t12} \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{d_3}{2}} = 5.612 \text{ kN}$$

$$F_{r34} := F_{t34} \cdot \tan(\alpha) = 2.042 \text{ kN}$$



Kontrolle über das Drehmoment der Zwischenwelle:

$$M_{tIIAN} := F_{t12} \cdot \frac{d_2}{2} = 159.933 \text{ Nm}$$

2x selber Wert -->  
Berechnung richtig

$$M_{tIIAB} := F_{t34} \cdot \frac{d_3}{2} = 159.933 \text{ Nm}$$

Kräfte auf den Zahnrädern - gesammelt

$$F_{r12} = 0.353 \text{ kN}$$

$$F_{r34} = 2.042 \text{ kN}$$

$$F_{t12} = 0.969 \text{ kN}$$

$$F_{t34} = 5.612 \text{ kN}$$

## Berechnung Zahnflankenfestigkeit

### Grundformeln zur Berechnung der Zahnflankenspannung:

Zahnflankenpressung  
(RM S.825 Glg 21.88)

$$\sigma_{H0} = Z_{\epsilon} \cdot Z_{\beta} \cdot Z_E \cdot Z_H \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b \cdot d} \cdot \frac{i+1}{i}}$$

Gesamtbelastungseinfluss  
(RM S.820 Glg 21.81)

$$K_{Hges} = \sqrt{K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}}$$

Flankenpressung am  
Wälzkreis  
(RM S.825 Glg 21.89)

$$\sigma_H = \sigma_{H0} \cdot K_{Hges}$$

Flanken-Grenzfestigkeit  
(RM S.826 Glg 21.90)

$$\sigma_{HG} = \sigma_{H_{lim}} \cdot Z_{NT} \cdot (Z_L \cdot Z_V \cdot Z_R) \cdot Z_W \cdot Z_X$$

ZV = Geschwindigkeitfaktor  
ZL = Schmierstofffaktor  
ZR = Rauigkeitsfaktor  
ZW = Werkstoffpaarungsfaktor  
ZX = Größenfaktor

Lebensdauerfaktor  
(RM TB 21-22d)

$$Z_{NT} := 1.6$$

Werkstoffpaarungsfaktor  
(RM TB 221-22e)

$$Z_W := 1$$

Größenfaktor  
(RM TB 21-21)

$$Z_X := 0.95$$

Laut "PDF: Berechnungsgrundlagen\_Stirnradverzahnung" kann vereinfachend im Dauerfestigkeitsbereich folgende Definition gesetzt werden:

$$Z_V = Z_L = Z_R = 1$$

### Berechnung der zulässigen Flankenpressung am Wälzkreis

$$\sigma_{H\_lim} = 500 \frac{N}{mm^2}$$

Werkstoff C45

$$\sigma_{HG\_1} := \sigma_{H\_lim} \cdot Z_{NT} = 800 \frac{N}{mm^2}$$

Zulässige Spannung für  
Zahnrad 1, 2 und 4 sowie 5

$$\sigma_{H\_lim\_2} := 800 \frac{N}{mm^2}$$

Werkstoff 42CrMo4

$$\sigma_{HG\_2} := \sigma_{H\_lim\_2} \cdot Z_{NT} = 1280 \frac{N}{mm^2}$$

Zulässige Spannung für  
Ritzelwelle

### Benötigte gleichbleibende Faktoren:

Breitenlastverteilungsfaktor  
(RM TB 21-15)  
(PDF "Berechnungsgrundlagen\_Stirnradsverzahnung" TB 5.3)  $K_{H\beta} := 1.5$

Stirnfaktor  
(RM TB 21-18)  
(PDF "Berechnungsgrundlagen\_Stirnradsverzahnung" S.10)  $K_{H\alpha} := 1$

Dynamikfaktor  
(PDF "Berechnungsgrundlagen\_Stirnradsverzahnung" S.10)  $K_V := 1.2$

Anwendungsfaktor  
(PDF "Berechnungsgrundlagen\_Stirnradsverzahnung" TB 5.4)  $K_A := 1.5$

Gesamteinflussfaktor für Zahnflankentragfähigkeit

$$K_{Hges} := \sqrt{K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}} = 1.643$$

Schrägenwinkel	$\beta := 0 \text{ deg}$	(Geradverzahnung)
Schrägenfaktor	$Z_{\beta} := \cos(\beta) = 1$	
Elastizitätsfaktor	$Z_E = 189.8 \sqrt{\frac{N}{\text{mm}^2}}$	
Zonenfaktor	$Z_H = 2.495$	

### Breiten der Zahnräder

Zuvor überschlägigi berechnete Breiten:

$$b_1 = 65 \text{ mm} \quad b_2 = 60 \text{ mm} \quad b_3 = 65 \text{ mm} \quad b_4 = 60 \text{ mm}$$

Tatsächlich gewählte Breiten

$$b_1 := 30 \text{ mm} \quad b_2 := 30 \text{ mm} \quad b_3 := 30 \text{ mm} \quad b_4 := 30 \text{ mm}$$

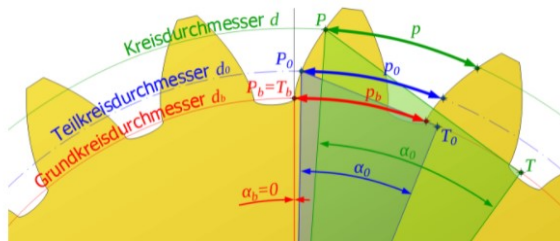
Hier wurden die genormten Zahnradbreiten aus dem Produktkatalog von der Firma Norelem eingesetzt.

Non-Commercial Use Only

## Zahnflankenspannung am 1. Zahnrad:

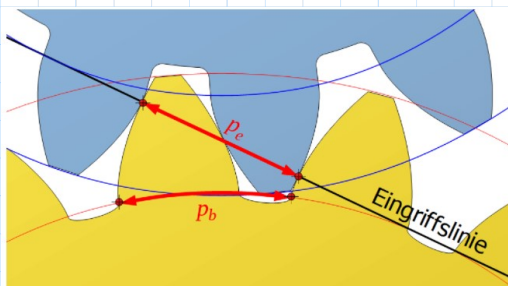
Teilung der Zähne:

$$p_{12} := m_{12} \cdot \pi = 9.425 \text{ mm}$$



Eingriffsteilung:

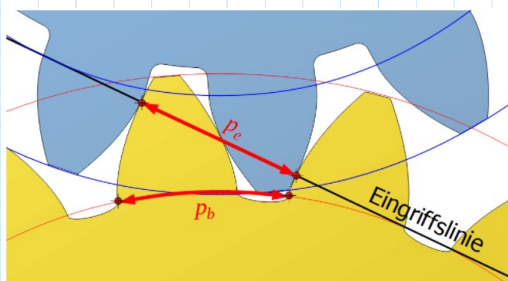
$$p_{e12} := p_{12} \cdot \cos(\alpha) = 8.856 \text{ mm}$$



Eingriffsstrecke:

$$l_{12} := \frac{1}{2} \left( \sqrt{d_{K1}^2 - d_{G1}^2} + \sqrt{d_{K2}^2 - d_{G2}^2} - \sqrt{4 a_1^2 - (d_{G1} + d_{G2})^2} \right)$$

$$l_{12} = 15.084 \text{ mm}$$



Non-Commercial Use Only

Profilüberdeckung/Überdeckungsgrad

$$\varepsilon_{\alpha 12} := \frac{l_{12}}{p_{e12}} = 1.703$$

Sprungüberdeckung

$$\varepsilon_{\beta 1} := \frac{b_1 \cdot \sin(\beta)}{m_{12} \cdot \pi} = 0$$

Überdeckungsfaktor

$$Z_{\varepsilon 12} := \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_{\alpha 12}}} = 0.766$$

$$\sigma_{H0-1} := Z_{\varepsilon 12} \cdot Z_{\beta} \cdot Z_E \cdot Z_H \cdot \sqrt{\frac{F_{t12}}{b_1 \cdot d_1} \cdot \frac{i_{12} + 1}{i_{12}}}$$

$$\sigma_{H0-1} = 295.791 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{H1} := \sigma_{H0-1} \cdot K_{Hges} = 486.034 \frac{N}{mm^2}$$

Zahnflankenspannung am  
1. Zahnrad

$$\sigma_{HG-1} = 800 \frac{N}{mm^2}$$

Zulässige Spannung C45



Non-Commercial Use Only

### Zahnflankenspannung am 2. Zahnrad:

$$p_{12} = 9.425 \text{ mm}$$

Teilung der Zähne

$$p_{e12} = 8.856 \text{ mm}$$

Eingriffsteilung

$$l_{12} = 15.084 \text{ mm}$$

Eingriffsstrecke

$$\varepsilon_{\alpha 12} = 1.703$$

Profilüberdeckung/Überdeckungsgrad

$$\varepsilon_{\beta 2} := \frac{b_2 \cdot \sin(\beta)}{m_{12} \cdot \pi} = 0$$

Sprungüberdeckung

$$Z_{\varepsilon 12} = 0.766$$

Überdeckungsfaktor

$$\sigma_{H0_2} := Z_{\varepsilon 12} \cdot Z_{\beta} \cdot Z_E \cdot Z_H \cdot \sqrt{\frac{F_{t12}}{b_2 \cdot d_2} \cdot \frac{i_{12} + 1}{i_{12}}}$$

$$\sigma_{H0_2} = 122.932 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{H2} := \sigma_{H0_2} \cdot K_{Hges} = 201.998 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Zahnflankenspannung am  
2. Zahnrad

$$\sigma_{HG_1} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Zulässige Spannung C45

Non-Commercial Use Only



### Zahnflankenspannung am 3. Zahnrad:

$$p_{34} := m_{34} \cdot \pi = 9.425 \text{ mm}$$

Teilung der Zähne

$$p_{e34} := p_{34} \cdot \cos(\alpha) = 8.856 \text{ mm}$$

Eingriffsteilung

$$l_{34} := \frac{1}{2} \left( \sqrt{d_{K3}^2 - d_{G3}^2} + \sqrt{d_{K4}^2 - d_{G4}^2} - \sqrt{4 a_2^2 - (d_{G3} + d_{G4})^2} \right)$$

$$l_{34} = 15.084 \text{ mm}$$

Eingriffsstrecke

$$\varepsilon_{\alpha 34} := \frac{l_{34}}{p_{e34}} = 1.703$$

Profilüberdeckung/Überdeckungsgrad

$$\varepsilon_{\beta 3} := \frac{b_3 \cdot \sin(\beta)}{m_{34} \cdot \pi} = 0$$

Sprungüberdeckung

$$Z_{\varepsilon 34} := \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_{\alpha 34}}} = 0.766$$

Überdeckungsfaktor

$$\sigma_{H0\_3} := Z_{\varepsilon 34} \cdot Z_{\beta} \cdot Z_E \cdot Z_H \cdot \sqrt{\frac{F_{t34}}{b_3 \cdot d_3} \cdot \frac{i_{34} + 1}{i_{34}}}$$

$$\sigma_{H0\_3} = 711.712 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{H\_lim\_zul\_Z3} := 1600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{H3} := \sigma_{H0\_3} \cdot K_{Hges} = 1169.461 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Zahnflankenspannung am  
3. Zahnrad

$$\sigma_{HG\_2} = 1280 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Zulässige Spannung 42CrMo4

Non-Commercial Use Only

### Zahnflankenspannung am 4. Zahnrad:

$$p_{34} = 9.425 \text{ mm}$$

Teilung der Zähne

$$p_{e34} = 8.856 \text{ mm}$$

Eingriffsteilung

$$l_{34} = 15.084 \text{ mm}$$

Eingriffsstrecke

$$\varepsilon_{\alpha 34} = 1.703$$

Profilüberdeckung/Überdeckungsgrad

$$\varepsilon_{\beta 4} := \frac{b_4 \cdot \sin(\beta)}{m_{34} \cdot \pi} = 0$$

Sprungüberdeckung

$$Z_{\varepsilon 34} = 0.766$$

Überdeckungsfaktor

$$\sigma_{H0\_4} := Z_{\varepsilon 34} \cdot Z_{\beta} \cdot Z_E \cdot Z_H \cdot \sqrt{\frac{F_{t34}}{b_4 \cdot d_4} \cdot \frac{i_{34} + 1}{i_{34}}}$$

$$\sigma_{H0\_4} = 295.791 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{H4} := \sigma_{H0\_4} \cdot K_{Hges} = 486.034 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Zahnflankenspannung am  
4. Zahnrad

$$\sigma_{HG\_1} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Zulässige Spannung C45

Non-Commercial Use Only

## Auftretende Zahnfußspannungen

### Grundformel zur Berechnung der auftretenden Zahnfußspannungen:

Örtliche Zahnfußspannung  
(RM S.821 Glg. 21.82)

$$\sigma_{F0} = \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{FA} \cdot Y_{SA} \cdot Y_{\epsilon} \cdot Y_{\beta}$$

Gesamtbelastungseinfluss  
(RM S.820 Glg. 21.81)

$$K_{Fges} = K_A \cdot K_V \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta}$$

Zahnfußspannung  
(RM S.822 Glg. 21.83)

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F0} \cdot K_{Fges}$$

Zahnfußgrenzestigkeit  
(RM S.822 Glg. 21.84b)

$$\sigma_{FG} = 2 \cdot \sigma_{F_{lim}} \cdot Y_{NT} \cdot Y_X$$

Lebensdauerkoeffizient  
(TB 21-20a )

$$Y_{NT} := 1.75$$

Größenfaktor  
(TB 21-20d)

$$Y_X := 1$$

### Berechnung der Zahnfußgrenzfestigkeit

$$\sigma_{F_{lim}} := 200 \frac{N}{mm^2}$$

Werkstoff C45

$$\sigma_{FG} := 2 \cdot \sigma_{F_{lim}} \cdot Y_{NT} \cdot Y_X = 700 \frac{N}{mm^2}$$

Zulässige Spannung für  
Zahnrad 1, 2 und. 4 sowie 5

$$\sigma_{F_{lim\_2}} := 350 \frac{N}{mm^2}$$

Werkstoff 42CrMo4

$$\sigma_{HG\_2} := \sigma_{H_{lim\_2}} \cdot Z_{NT} = 1280 \frac{N}{mm^2}$$

Zulässige Spannung für  
Ritzelwelle

### Benötigte gleichbleibende Faktoren:

Anwendungsfaktor:  $K_A = 1.5$

Dynamikfaktor:  $K_V = 1.2$

Stirnfaktor:  
(RM TB 21-18)  $K_{F\alpha} := 1$

Breitenverteilungsfaktor:  
(RM TB 21-15)  $K_{F\beta} := 1.25$

Gesamteinflussfaktor für Zahnfußtragfähigkeit:

$$K_{Fges} := K_A \cdot K_V \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} = 2.25$$

### Formfaktor

RM TB 21-19a

Zähnezahl	Profilverschiebung		
$z_1 = 19$	$x = 0$	-->	$Y_{FA1} := 2.95$
$z_2 = 110$	$x = 0$	-->	$Y_{FA2} := 2.2$
$z_3 = 19$	$x = 0$	-->	$Y_{FA3} := 2.95$
$z_4 = 110$	$x = 0$	-->	$Y_{FA4} := 2.2$

### Spannungskorrekturfaktor

RM TB 21-19b

$z_1 = 19$	$x = 0$	-->	$Y_{SA1} := 1.57$
$z_2 = 110$	$x = 0$	-->	$Y_{SA2} := 1.92$
$z_3 = 19$	$x = 0$	-->	$Y_{SA3} := 1.57$
$z_4 = 110$	$x = 0$	-->	$Y_{SA4} := 1.92$

## Überdeckungsfaktor

siehe PDF "Berechnungsmodell\_Stirnradverzahnung" S.11

$$Y_{\varepsilon} = 0.2 + \frac{0.8}{\varepsilon_{\alpha}} \quad \varepsilon_{\alpha} = \frac{l}{p}$$

$$\varepsilon_{\alpha 12} = 1.703 \quad \varepsilon_{\alpha 34} = 1.703$$

$$Y_{\varepsilon 12} := 0.2 + \frac{0.8}{\varepsilon_{\alpha 12}} = 0.67$$

$$Y_{\varepsilon 34} := 0.2 + \frac{0.8}{\varepsilon_{\alpha 34}} = 0.67$$

## Schrägenfaktor

RM TB 21-19c

Geradverzahnung --> Schrägungswinkel  $\beta := 0$

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{b \cdot \sin(\beta)}{m \cdot \pi} \quad \sin(0) = 0 \quad --> \quad \varepsilon_{\beta} = 0$$

$$Y_{\beta} := 1$$

## Berechnung der örtliche Zahnfußspannungen

Fußspannung Zahnrad 1:  $\sigma_{F0_1} := \frac{F_{t12}}{b_1 \cdot m_{12}} \cdot Y_{FA1} \cdot Y_{SA1} \cdot Y_{\varepsilon 12} \cdot Y_{\beta} = 33.405 \frac{N}{mm^2}$

Fußspannung Zahnrad 2:  $\sigma_{F0_2} := \frac{F_{t12}}{b_2 \cdot m_{12}} \cdot Y_{FA2} \cdot Y_{SA2} \cdot Y_{\varepsilon 12} \cdot Y_{\beta} = 30.466 \frac{N}{mm^2}$

Fußspannung Zahnrad 3:  $\sigma_{F0_3} := \frac{F_{t34}}{b_3 \cdot m_{34}} \cdot Y_{FA3} \cdot Y_{SA3} \cdot Y_{\varepsilon 34} \cdot Y_{\beta} = 193.398 \frac{N}{mm^2}$

Fußspannung Zahnrad 4:  $\sigma_{F0_4} := \frac{F_{t34}}{b_4 \cdot m_{34}} \cdot Y_{FA4} \cdot Y_{SA4} \cdot Y_{\varepsilon 34} \cdot Y_{\beta} = 176.382 \frac{N}{mm^2}$

## Berechnung der Zahnradspannung

$$\sigma_{F1\_1} := \sigma_{F0\_1} \cdot K_{Fges} = 75.161 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{F1\_2} := \sigma_{F0\_2} \cdot K_{Fges} = 68.548 \frac{N}{mm^2}$$

Zahnfußspannungen am  
Zahnrad 1,2,4

$$\sigma_{F1\_4} := \sigma_{F0\_4} \cdot K_{Fges} = 396.859 \frac{N}{mm^2}$$



$$\sigma_{FG} := 2 \cdot \sigma_{F\_lim} \cdot Y_{NT} \cdot Y_X = 700 \frac{N}{mm^2}$$

Zulässige Spannung für  
Zahnrad 1, 2 und 4 sowie 5

$$\sigma_{F1\_3} := \sigma_{F0\_3} \cdot K_{Fges} = 435.145 \frac{N}{mm^2}$$

Zahnfußspannungen auf der  
Ritzelwelle

$$\sigma_{HG\_2} := \sigma_{H\_lim\_2} \cdot Z_{NT} = 1280 \frac{N}{mm^2}$$

Zulässige Spannung für  
Ritzelwelle

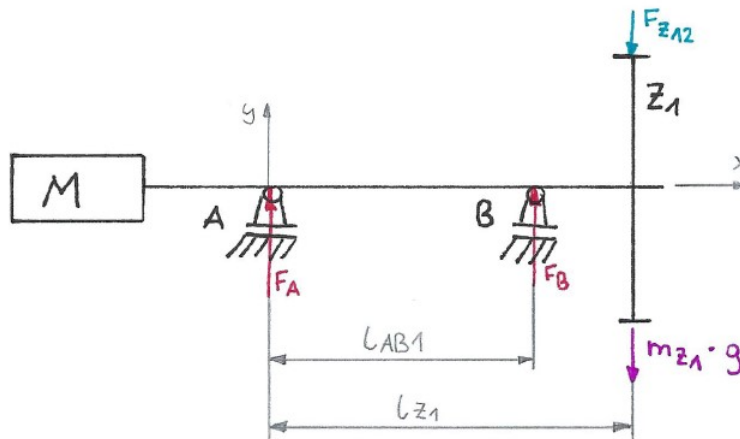


Non-Commercial Use Only

## Berechnung der Auflagerreaktionen

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

Welle 1:



$$F_{t12} = 969.289 \text{ N}$$

$$F_{r12} = 352.792 \text{ N}$$

$$\alpha_z = 20 \text{ deg}$$

$$l_{AB1} := 40 \text{ mm}$$

$$l_{z1} := 85.5 \text{ mm}$$

$$m_{z1} := 0.5 \text{ kg}$$

$$F_{z12} := \frac{F_{t12}}{\cos(\alpha_z)} = 1.031 \text{ kN}$$

Da auf dieser Welle nur ein Zahnrad sitzt kann man einfach mit der Zahnkraft rechnen und sich das 3 dimensionale Kräftesystem ersparen.

$$\Sigma M_{iA} = 0$$

$$\Sigma F_{iy} = 0$$

$$F_{B1} \cdot l_{AB1} - (F_{z12} + m_{z1} \cdot g) \cdot l_{z1} = 0$$

$$F_{A1} + F_{B1} - F_{z12} - m_{z1} \cdot g = 0$$

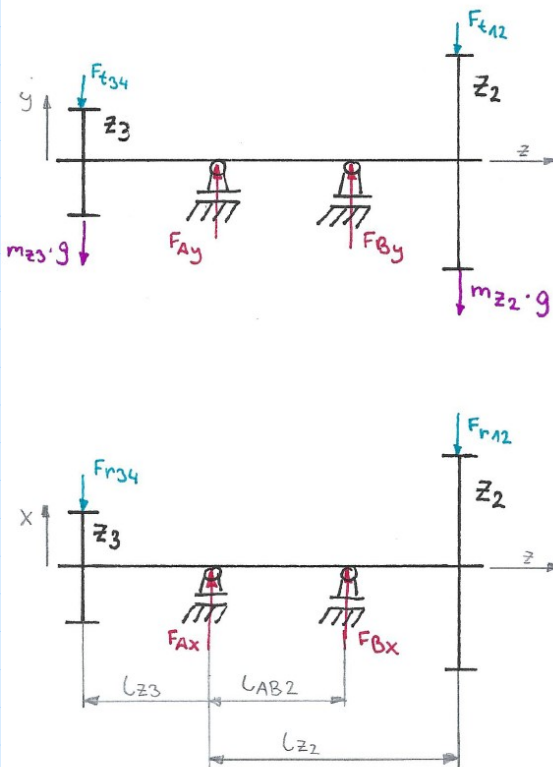
$$F_{B1} := \frac{(F_{z12} + m_{z1} \cdot g) \cdot l_{z1}}{l_{AB1}} = 2.215 \text{ kN}$$

$$F_{A1} := -F_{B1} + F_{z12} + m_{z1} \cdot g = -1.179 \text{ kN}$$

Non-Commercial Use Only



## Welle 2:



$$F_{t12} = 969.289 \text{ N}$$

$$F_{t34} = 5611.672 \text{ N}$$

$$F_{r12} = 352.792 \text{ N}$$

$$F_{r34} = 2042.482 \text{ N}$$

$$l_{AB2} := 26.5 \text{ mm}$$

$$l_{z2} := 59.5 \text{ mm}$$

$$l_{z3} := 42.5 \text{ mm}$$

$$m_{z2} := 19.8 \text{ kg}$$

$$m_{z3} := 0 \text{ kg}$$

(Z3 = Ritzelwelle)

$$\Sigma M_{iA} = 0 \quad \text{y-z Ebene}$$

$$(F_{t34} + m_{z3} \cdot g) \cdot l_{z3} + F_{B2y} \cdot l_{AB2} - (F_{t12} + m_{z2} \cdot g) \cdot (l_{AB2} + l_{z2}) = 0$$

$$F_{B2y} := \frac{-(F_{t34} + m_{z3} \cdot g) \cdot l_{z3} + (F_{t12} + m_{z2} \cdot g) \cdot (l_{AB2} + l_{z2})}{l_{AB2}} = -5.224 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_{iA} = 0 \quad \text{x-y Ebene}$$

$$F_{r34} \cdot l_{z3} + F_{B2x} \cdot l_{AB2} - F_{r12} \cdot (l_{AB2} + l_{z2}) = 0$$

$$F_{B2x} := \frac{-F_{r34} \cdot l_{z3} + F_{r12} \cdot (l_{AB2} + l_{z2})}{l_{AB2}} = -2.131 \text{ kN}$$

$$F_{B2} := \sqrt{F_{B2x}^2 + F_{B2y}^2} = 5.642 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{iy} = 0$$

$$F_{A2y} - F_{t34} - m_{z3} \cdot g + F_{B2y} - F_{t12} - m_{z2} \cdot g = 0$$

$$F_{A2y} := F_{t34} + m_{z3} \cdot g - F_{B2y} + F_{t12} + m_{z2} \cdot g = 11.999 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{ix} = 0$$

$$F_{A2x} - F_{r34} + F_{B2x} - F_{r12} = 0$$

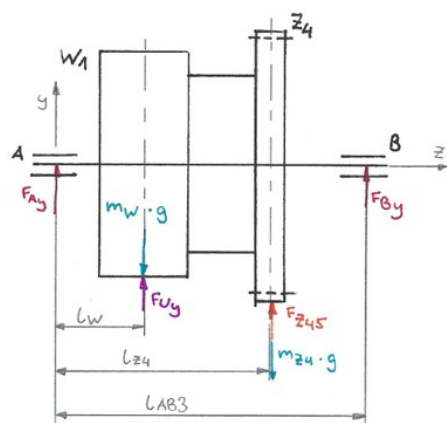
$$F_{A2x} := F_{r34} - F_{B2x} + F_{r12} = 4.526 \text{ kN}$$

$$F_{A2} := \sqrt{F_{A2x}^2 + F_{A2y}^2} = 12.824 \text{ kN}$$

$$F_{A2} = 12.824 \text{ kN}$$

$$F_{B2} = 5.642 \text{ kN}$$

### Welle 3:



$$l_W := 52 \text{ mm} \quad m_W := 13 \text{ kg}$$

$$l_{z4} := 107.5 \text{ mm} \quad m_{z4} := 7 \text{ kg}$$

$$l_{AB3} := 157 \text{ mm}$$

$$F_{t34} = (5.612 \cdot 10^3) \text{ N}$$

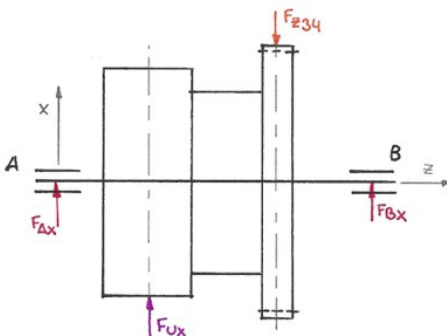
$$F_{r34} = (2.042 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$F_{z34} := \frac{F_{t34}}{\cos(\alpha_z)} = (5.972 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$F_{t45} := F_{t34} = (5.612 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$F_{r45} := F_{r34} = (2.042 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$F_{z45} := \frac{F_{t45}}{\cos(\alpha_z)} = (5.972 \cdot 10^3) \text{ N}$$



$$F_U := 170 \text{ kN} \quad (\text{Zum Prägen erforderliche Umformkraft})$$

$$F_{Ux} := F_U \cdot \cos(\alpha_z) = 159.748 \text{ kN}$$

$$F_{Uy} := F_U \cdot \sin(\alpha_z) = 58.143 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_{ix} = 0$$

$$(F_{Uy} - m_W \cdot g) \cdot l_W + (F_{z45} - m_{z4} \cdot g) \cdot l_{z4} + F_{B3y} \cdot l_{AB3} = 0$$

$$F_{B3y} := \frac{-(F_{Uy} - m_W \cdot g) \cdot l_W - (F_{z45} - m_{z4} \cdot g) \cdot l_{z4}}{l_{AB3}} = -2.326 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$\Sigma M_{iy} = 0$$

$$F_{Ux} \cdot l_W - F_{z34} \cdot z_4 + F_{B3x} \cdot l_{AB3} = 0$$

$$F_{B3x} := \frac{-F_{Ux} \cdot l_W + F_{z34} \cdot l_{z4}}{l_{AB3}} = -4.882 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$F_{B3} := \sqrt{F_{B3x}^2 + F_{B3y}^2} = 54.078 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{ix} = 0$$

$$F_{A3x} + F_{Ux} - F_{z34} + F_{B3x} = 0$$

$$F_{A3x} := -F_{Ux} + F_{z34} - F_{B3x} = -1.05 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$\Sigma F_{iy} = 0$$

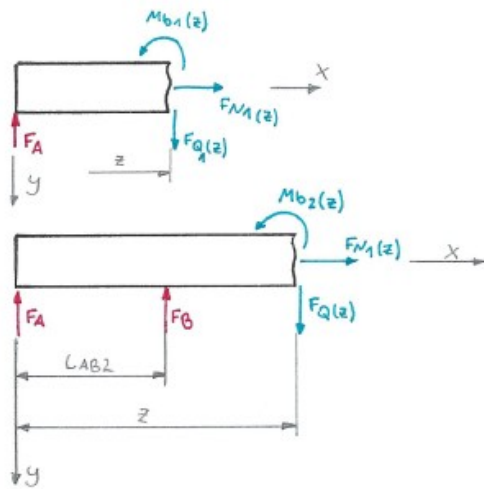
$$F_{A3y} + F_{Uy} - m_W \cdot g + F_{z45} - m_{z4} \cdot g + F_{B3y} = 0$$

$$F_{A3y} := -F_{Uy} + m_W \cdot g - F_{z45} + m_{z4} \cdot g - F_{B3y} = -4.066 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$F_{A3} := \sqrt{F_{A3x}^2 + F_{A3y}^2} = 112.556 \text{ kN}$$

$$F_{B3} = 54.078 \text{ kN}$$

## Welle 4



$$F_U = 170 \text{ kN}$$

$$F_{t45} = (5.612 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$F_{r45} = (2.042 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$F_{z34} = (5.972 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$m_W = 13 \text{ kg} \quad m_{z5} := m_{z4} = 7 \text{ kg}$$

$$l_W = 52 \text{ mm} \quad l_{z5} := l_{z4} = 107.5 \text{ mm}$$

$$\Sigma M_{iA} = 0$$

$$-(F_U + m_W \cdot g) \cdot l_W - (F_{z34} + m_{z4} \cdot g) \cdot l_{z4} + F_{B4} \cdot l_{AB3} = 0$$

$$F_{B4} := \frac{(F_U + m_W \cdot g) \cdot l_W + (F_{z34} + m_{z4} \cdot g) \cdot l_{z4}}{l_{AB3}} = 60.484 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{iy} = 0$$

$$F_{A4} - F_U - m_W \cdot g - F_{z34} - m_{z4} \cdot g + F_{B4} = 0$$

$$F_{A4} := F_U + m_W \cdot g + F_{z34} + m_{z4} \cdot g - F_{B4} = 115.684 \text{ kN}$$

$$F_{A4} = (1.157 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$F_{B4} = (6.048 \cdot 10^4) \text{ N}$$

## Gesammlte Auflagerreaktionen

$$F_{A1} = -1.179 \text{ kN} \quad F_{A2} = 12.824 \text{ kN} \quad F_{A3} = 112.556 \text{ kN} \quad F_{A4} = 115.684 \text{ kN}$$

$$F_{B1} = 2.215 \text{ kN} \quad F_{B2} = 5.642 \text{ kN} \quad F_{B3} = 54.078 \text{ kN} \quad F_{B4} = 60.484 \text{ kN}$$

## Kontrolle der Wellen auf Biegung

### Welle 1:

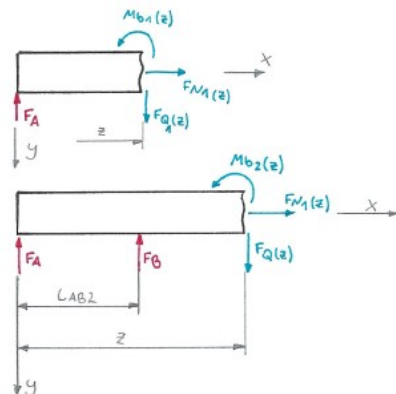
$$d_{T1} = 15 \text{ mm} \quad (\text{auf Torsion dimensioniert})$$

$$d_{W1} := 15.5 \text{ mm} \quad (\text{gewählter Wellendurchmesser})$$

$$\sigma_{bWN} := 550 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Werkstoff 42CrMo4 RM TB 1-1})$$

$$\nu := 1.25 \quad (\text{Sicherheit für Biegung})$$

### Bestimmung des maximalen Biegemoments:



$$1) \quad z_1 := l_{AB1} = 40 \text{ mm}$$

$$M_{b1} := |-F_{A1} \cdot z_1| = 47.156 \text{ Nm}$$

$$2) \quad z_2 := l_{z1} = 85.5 \text{ mm}$$

$$M_{b2} := |-F_{A1} \cdot (z_2 - l_{AB1}) - F_{B1} \cdot z_2|$$

$$M_{b2} = 135.768 \text{ Nm}$$

$$M_{b1\_max} := \begin{cases} M_{b1} & \text{if } M_{b1} > M_{b2} \\ M_{b2} & \text{else} \end{cases}$$

$$M_{b1\_max} = 135.768 \text{ Nm}$$

Maximales Biegemoment  
Welle 1

### Spannungswerte

$$W_{x1} := \frac{d_{W1}^3 \cdot \pi}{32} \quad \sigma_{b1max} := \frac{M_{b1\_max}}{W_{x1}} = 371.367 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{zul} := \frac{\sigma_{bWN}}{\nu} = 440 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$Spannung1 := \text{if } \sigma_{b1max} < \sigma_{zul}$   
 $\quad \parallel \text{ "Zulässig"}$   
 $\text{else}$   
 $\quad \parallel \text{ "Nicht Zulässig"}$

$Spannung1 = \text{"Zulässig"}$

## Welle 2:

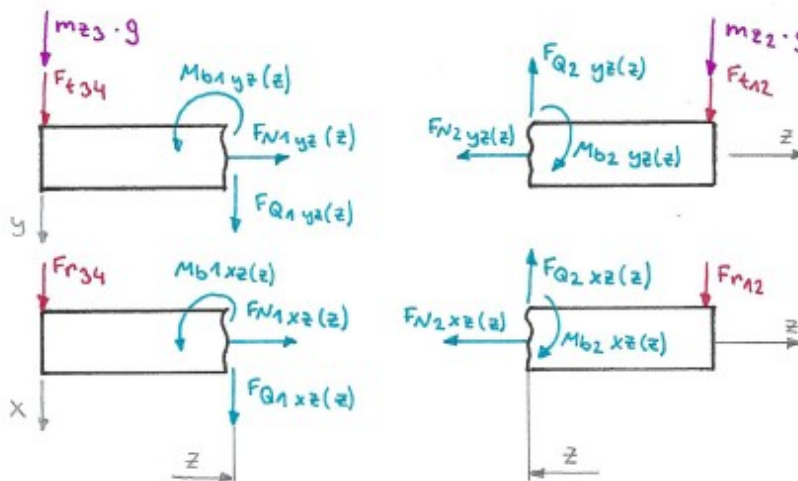
$d_{T2} = 25 \text{ mm}$  (auf Torison dimensioniert)

$d_{W2} := 25 \text{ mm}$  (gewählter Wellendurchmesser)

$\sigma_{bWN} = 550 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1$  (Werkstoff 42CrMo4 RM TB 1-1)

$\nu = 1.25$  (Sicherheit für Biegung)

## Bestimmung des maximalen Biegemoments:



$z_1 := l_{z3} = 42.5 \text{ mm}$    
 $z_2 := l_{AB2} = 26.5 \text{ mm}$    
 $z_3 := l_{z2} = 59.5 \text{ mm}$

y-z Ebene

$$M_{b1yz} := |-(m_{z3} \cdot g + F_{t34})| \cdot z_1 = 238.496 \text{ Nm}$$

$$M_{b2yz} := |-(m_{z2} \cdot g + F_{t12})| \cdot z_3 = 69.226 \text{ Nm}$$

$$M_{byz\_max} := \begin{cases} M_{b1yz} & \text{if } M_{b1yz} > M_{b2yz} \\ M_{b2yz} & \text{else} \end{cases}$$

$$M_{byz\_max} = 238.496 \text{ Nm}$$

x-z Ebene

$$M_{b1xz} := |-F_{r34} \cdot z_1| = 86.805 \text{ Nm}$$

$$M_{b2xz} := |-F_{r12} \cdot z_3| = 20.991 \text{ Nm}$$

$$M_{bxz\_max} := \begin{cases} M_{b1xz} & \text{if } M_{b1xz} > M_{b2xz} \\ M_{b2xz} & \text{else} \end{cases}$$

$$M_{bxz\_max} = 86.805 \text{ Nm}$$

Resultierendes Biegemoment der 2.Welle

$$M_{b2\_max} := \sqrt{|M_{byz\_max}|^2 + |M_{bxz\_max}|^2} = 253.802 \text{ Nm}$$

Spannungs-Werte

$$W_{x2} := \frac{d_{W2}^3 \cdot \pi}{32} \quad \sigma_{b2max} := \frac{M_{b2\_max}}{W_{x2}} = 165.453 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{zul} := \frac{\sigma_{bWN}}{\nu} = 440 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



$$\text{Spannung2} := \text{if } \sigma_{b2max} < \sigma_{zul} \left| \begin{array}{l} \text{“Zulässig”} \\ \text{“Nicht zulässig”} \end{array} \right|$$

$\text{Spannung2} = \text{“Nicht zulässig”}$

### Drehzahlen der einzelnen Wellen:

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_{An} = 380 \text{ min}^{-1}$$

Antriebsmoment vom Akkuschauber

$$n_2 := \frac{n_{An}}{i_{12}} = 65.636 \text{ min}^{-1}$$

$$n_3 := \frac{n_2}{i_{34}} = 11.337 \text{ min}^{-1}$$

Tatsächliche Drehzahl auf den Prägewalzen

Non-Commercial Use Only

## Auswahl der passenden Lager

### Welle 1:

$$F_{A1} = -1.179 \cdot 10^3 \text{ N} \quad n_{An} = 380 \text{ min}^{-1}$$

$$F_{B1} = (2.215 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Geforderte Lebensdauer:  $L_{10h} := 500 \text{ hr}$

### Lager A:

$$p := 3$$

Kugellagerexponent

$$P := |F_{A1}| = 1.179 \text{ kN}$$

Dynamisch äquivalente Belastung

$$C := \sqrt[p]{\frac{L_{10h} \cdot n_{An}}{10^6}} \cdot P = 2.653 \text{ kN}$$

Dynamische Tragzahl

Lager: 61804-2RS1 (SKF)

### Lager B:

$$p = 3 \quad (\text{Kugellagerexponent})$$

$$P := |F_{B1}| = 2.215 \text{ kN}$$

$$C := \sqrt[p]{\frac{L_{10h} \cdot n_{An}}{10^6}} \cdot P = 4.986 \text{ kN}$$

### Welle 2:

$$F_{A2} = (1.282 \cdot 10^4) \text{ N} \quad n_2 = 65.636 \text{ min}^{-1}$$

$$F_{B2} = (5.642 \cdot 10^3) \text{ N} \quad L_{10h} = 500 \text{ hr}$$

### Lager A:

$$p = 3 \quad (\text{Kugellagerexponent})$$

$$P := |F_{A2}| = 12.824 \text{ kN}$$

$$C_A := \sqrt[p]{\frac{L_{10h} \cdot n_2}{10^6}} \cdot P = 16.074 \text{ kN}$$

Lager B:

$$p = 3 \quad (\text{Kugellagerexponent})$$

$$P := |F_{B2}| = 5.642 \text{ kN}$$

$$C_B := \sqrt[p]{\frac{L_{10h} \cdot n_2}{10^6}} \cdot P = 7.072 \text{ kN}$$

Zweireihiges Rillkugellager:

$$C_{\text{zweireihig}} := C_A + C_B = 23.146 \text{ kN}$$

Lager: 4206 ATN9(SKF)

Für PPM4EU Project mit 2 einreihigen Lagern ausgeführt:

Lager: 2x 6206 2RS1(SKF)

$$C_{6206} := 20.3 \text{ kN}$$

W2LagerA := if  $C_A < C_{6206}$   
 || "Zulässig"  
 else  
 || "Nicht zulässig"

W2LagerB := if  $C_B < C_{6206}$   
 || "Zulässig"  
 else  
 || "Nicht zulässig"

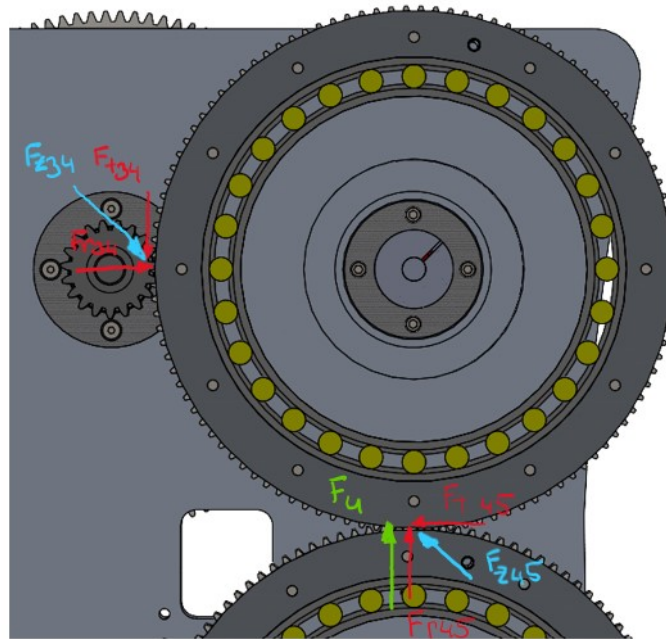
W2LagerA = "Zulässig"

W2LagerB = "Zulässig"

Non-Commercial Use Only

### Achse 3 und 4

Auf das Lager wirkende Kräfte:



$$F_U = 170 \text{ kN}$$

$$F_{\text{radial}} := F_U + F_{z34} + F_{z45} = 181.944 \text{ kN}$$

$$F_{z34} = 5.972 \text{ kN}$$

$$F_{\text{axial}} := 0 \text{ kN}$$

$$F_{z45} = 5.972 \text{ kN}$$

$$e := \frac{F_{\text{axial}}}{F_{\text{radial}}} = 0$$

Wenn der Wert  $e < 0,8$  ist, dann  $P_0$  = Radialbelastung

$$P_0 := F_{\text{radial}} = 181.944 \text{ kN}$$

Statisch äquivalente Belastung des Lagers

$$f_s := 1.2$$

Statische Kennzahl

$$C_0 := P_0 \cdot f_s = 218.332 \text{ kN}$$

Statische Tragfähigkeit

$$n_{\text{Lager}} := 2$$

Anzahl der verwendeten Lager

$$C_{0\_proLager} := \frac{C_0}{n_{\text{Lager}}} = 109.166 \text{ kN}$$

Gewählte Lager: 2x 61844

## Berechnung der Passfedern

### Passfeder Rad 1:

Werkstoff: E295

$$L := 16 \text{ mm}$$

$$b := 6 \text{ mm} \quad \text{=(Breite)}$$

$$\varphi := 1 \quad n := 1$$

$$h := 6 \text{ mm} \quad \text{=(Höhe)}$$

$$M_{T1max} = 30 \text{ Nm}$$

$$h' := 0.4 \cdot h = 2.4 \text{ mm}$$

$$d_{W1} = 15.5 \text{ mm}$$

$$L' := L - b$$

$$Re := 295 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$S_f := 1.3$$

$$p_{zul} := \frac{Re}{S_f} = 226.923 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$p := \frac{2 \cdot M_{T1max}}{d_{W1} \cdot L' \cdot h' \cdot n \cdot \varphi} = 161.29 \frac{N}{\text{mm}^2}$$



### Passfeder Rad 2:

Werkstoff: E295

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

$$b := 6 \text{ mm} \quad \text{=(Breite)}$$

$$\varphi := 1$$

$$h := 6 \text{ mm} \quad \text{=(Höhe)}$$

$$M_{T2max} = 156.316 \text{ Nm}$$

$$h' := 0.4 \cdot h = 2.4 \text{ mm}$$

$$d_{Stelle\_Z2} := 28 \text{ mm}$$

$$L' := L - b$$

$$Re := 295 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$S_f := 1.3$$

Non-Commercial Use Only

$$p_{zul} := \frac{Re}{S_f} = 226.923 \frac{N}{mm^2}$$

$$p := \frac{2 \cdot M_{T2max}}{d_{Stelle\_Z2} \cdot L' \cdot h' \cdot n \cdot \varphi} = 211.466 \frac{N}{mm^2}$$



### Passfeder Ritzel 3:

Werkstoff: E295

$L := 25 \text{ mm}$

$b := 8 \text{ mm}$  =(Breite)

$\varphi := 1$

$h := 7 \text{ mm}$  =(Höhe)

$M_{T2max} = 156.316 \text{ Nm}$

$h' := 0.4 \cdot h = 2.8 \text{ mm}$

$d_{W2} = 25 \text{ mm}$

$L' := L - b$

$Re := 295 \frac{N}{mm^2} \quad S_f := 1.3$

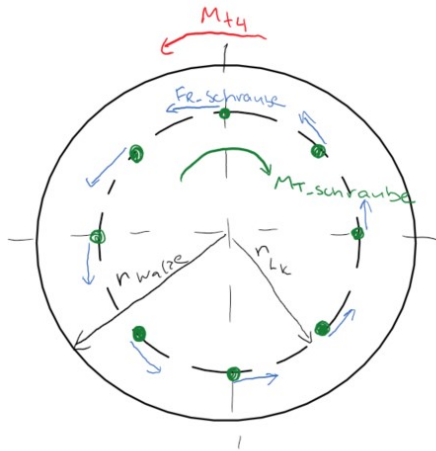
$$p_{zul} := \frac{Re}{S_f} = 226.923 \frac{N}{mm^2}$$

Das erforderliche Drehmoment könnte mit einer einzelnen Passfeder nicht übertragen werden. Dieser Fakt spricht ebenfalls für die Fertigung als Ritzelwelle.

$$p := \frac{2 \cdot M_{T2max}}{d_{W2} \cdot L' \cdot h' \cdot n \cdot \varphi} = 262.716 \frac{N}{mm^2}$$

Non-Commercial Use Only

## Berechnung Verschraubung Walze - Zahnkranz



$$r_{Walze} := 164.6 \text{ mm}$$

$$M_{T4max} = 814.488 \text{ Nm}$$

$$M_{T\_Walze} := \text{Ceil}(M_{T4max}, 10 \text{ Nm}) = 820 \text{ Nm}$$

$$d_{LK} := 287 \text{ mm}$$

$$M_{T\_Walze} \cdot r_{Walze} = M_{T\_Schrauben} \cdot \frac{d_{LK}}{2}$$

$$M_{T\_Schrauben} := \frac{M_{T\_Walze} \cdot r_{Walze}}{\frac{d_{LK}}{2}} = 940.571 \text{ Nm}$$

Erforderlichen Vorspannung der Schrauben:  
(TBM S.320)

$$F_{V\_erf} = \frac{\varphi \cdot F_{R\_Schraube}}{\mu}$$

$N := 8$  Anzahl der Schrauben

$\mu := 0.12$  Reibkoeffizient

$\varphi := 2$  Sicherheit gegen Rutschen

$$F_{R\_Schraube} := \frac{M_{T\_Schrauben}}{N \cdot \frac{d_{LK}}{2}} = 819.313 \text{ N}$$

Reibkraft pro Schraube

$$F_{V\_erf} := \frac{\varphi \cdot F_{R\_Schraube}}{\mu} = 13.655 \text{ kN}$$

Erfordderliche Vorspannkraft

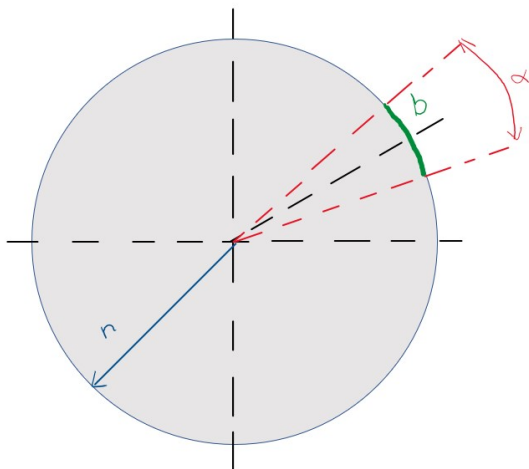
$$M_A := 32 \text{ Nm}$$

Anzugsmoment (TBM S.232)

Aus TB "Erfahrungswerte Vorspannkraft" (TM S.230) --> gewählt M8

Non-Commercial Use Only

## Zeitmanagement



$$n_{Motive} := 6$$

gewünschte Anzahl an Motiven

$$r_{Walze} = 164.6 \text{ mm}$$

Walzenradius

$$l_{Münze} := 35.5 \text{ mm}$$

gestreckte Länge der geprägten Münze

$$b = \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{180}$$

Formel Kreissegment

$$b := l_{Münze} = 35.5 \text{ mm}$$

=> Pi gekürzt mit 180°

$$\alpha := \frac{b}{r_{Walze}} = 12.357 \text{ deg}$$

Winkel siehe Skizze

$$n_{34} = 11.337 \text{ min}^{-1}$$

tatsächliche Abtriebsdrehzahl

$$U := 11.337$$

Umdrehungen (U/min) einheitenlos für Brechnung

$$\alpha_U := 360 \text{ deg}$$

Winkel von einer Umdrehung

Non-Commercial Use Only



$$t_{U1} := \frac{1 \text{ min}}{U} = 5.292 \text{ s}$$

Zeit für eine Umdrehung

$$t_{Prägung} := \frac{t_{U1}}{\alpha_U} \cdot \alpha = 0.182 \text{ s}$$

Dauer der Prägung

$$t_{Pos} := t_{U1} - t_{Prägung} = 5.111 \text{ s}$$

max. Zeit für den Positioniervorgang

$$t_{ges} := t_{Prägung} + t_{Pos} = 5.292 \text{ s}$$

max. Zeit für einen gesamten  
Prägevorgang mit Positionierung

### Gesammelte Zeiten:

Zeit Prägevorgang:

$$t_{Prägung} = 0.182 \text{ s}$$

Zeit Positionierung:

$$t_{Pos} = 5.111 \text{ s}$$

Gesamte Zeit:

$$t_{ges} = 5.292 \text{ s}$$

Diese angegebenen Zeiten entsprechen nicht der Realität da die Antriebsdrehzahl von 380 U/min. nur geschätzt wurde. Die tatsächliche Antriebsdrehzahl muss unter Belastung gemessen und die Werte danach korrigiert werden.

Non-Commercial Use Only

## Quellen

### Vollständiger Quellenverweis zu in der Berechnung verwendeten Kürzel

RM TB	Roloff/Matek Maschinenelemente (Tabellenbuch) 23. Auflage
RM S.XXX	Roloff/Matek Maschinenelemente (Normung/Berechnung/ Gestaltung) 23. Auflage
TBM S.XX	Tabellenbuch Metall 48. Auflage (Stand 2019)

### Quellen zur Berechnung diverse Spannungen der Evolventenverzahnung

PDF "Berechnungsgrundlagen Stirnradverzahnungen"

von: Prof. Dr. -Ing H. Gruss (Hochschule Anhalt)  
Stand: 10/2010

Non-Commercial Use Only