

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Wellen-Dimensionierung und Welle-Nabe-Verbindungen</b>	<b>2</b>
1.1	Aufgabe 1a . . . . .	2
1.1.1	Berechnung Wellen-Moment $M_W$ . . . . .	2
1.1.2	Überprüfung Mindestwellendurchmesser . . . . .	2
1.2	Aufgabe 1b - Passfederverbindung . . . . .	3
1.2.1	Ermitteln Passfedergeometrie . . . . .	3
1.2.2	Prüfen Mindestwellendurchmesser . . . . .	3
1.2.3	Zulässige Flächenpressung . . . . .	4
1.2.4	Minimale Traglänge . . . . .	4
1.2.5	Minimale Passfederlänge . . . . .	4
1.2.6	Bedingung Verdrillung . . . . .	4
1.3	Aufgabe 1c . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Schnittlasten, Spannungen und Festigkeitsnachweis</b>	<b>6</b>
2.1	Aufgabe 2a . . . . .	6
2.1.1	Errechnung der Umschließungswinkel $\beta_1$ und $\beta_2$ . . . . .	6
2.1.2	Berechnung der Achslast $F_W$ . . . . .	8
2.2	Aufgabe 2b . . . . .	8
2.2.1	Berechnung Schnittkräfte . . . . .	9

# 1 Wellen-Dimensionierung und Welle-Nabe-Verbindungen

Gegeben:

$$M_M = 12,5 \text{ Nm} \quad (1)$$

$$d_W = 20 \text{ mm} \quad (2)$$

$$L_W = 28 \text{ mm} \quad (3)$$

$$F_W = 255 \text{ N} \quad (4)$$

$$d_1 = 125 \text{ mm} \quad (5)$$

$$d_2 = 100 \text{ mm} \quad (6)$$

$$\tau_{t.zul} = 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (7)$$

$$\sigma_{b.zul} = 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (8)$$

## 1.1 Aufgabe 1a

### 1.1.1 Berechnung Wellen-Moment $M_W$

Das Übersetungs-Verhältnis der beiden Durchmesser der Riemenscheiben ist identisch mit dem Verhältnis der beiden Momente. Somit ergibt sich die Gleichung:

$$\begin{aligned} \frac{d_2}{d_1} &= \frac{M_W}{M_M} \\ \Leftrightarrow \frac{d_2}{d_1} \cdot M_M &= M_W \\ (1) \wedge (5) \wedge (6) &\Rightarrow M_W = \frac{100 \text{ mm}}{125 \text{ mm}} \cdot 12,5 \text{ Nm} \\ \Leftrightarrow M_W &= 10 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (9)$$

Es ergibt sich das Moment  $M_W$  mit 10 Nm.

### 1.1.2 Überprüfung Mindestwellendurchmesser

Wir berechnen den Mindestwellendurchmesser auf Basis reiner Torsionsbelastung.

$$\begin{aligned} d_{\min.t} &= \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \tau_{zul}}} \\ (9) \wedge (7) &\Rightarrow d_{\min.t} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 10 \text{ Nm}}{\pi \cdot 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \\ \Leftrightarrow d_{\min.t} &= \sqrt[3]{\frac{16000 \text{ Nmm}}{\pi \cdot 3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \\ \Rightarrow d_{\min.t} &\approx \sqrt[3]{768,05 \text{ mm}^3} \\ \Rightarrow d_{\min.t} &\approx 11,93 \text{ mm} \end{aligned} \quad (10)$$

Für den Fall reiner Biegebelastung benötigen wir ein Biegemoment. Dieses ergibt sich aus der mittig auf den Wellenabsatz wirkenden Spannkraft  $F_W$  mit dem Hebelarm  $\frac{L_W}{2}$ :

$$M_b = F_W \cdot \frac{L_W}{2} \stackrel{(3) \wedge (4)}{=} 3570 \text{ Nmm} = 3,57 \text{ Nm.} \quad (11)$$

Daraus ergibt sich für unseren Mindestdurchmesser bei reiner Biegebelastung:

$$\begin{aligned} d_{\min.b} &= \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_b}{\pi \cdot \sigma_{zul}}} \\ (11) \wedge (8) \Rightarrow d_{\min.b} &= \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3,57 \text{ Nm}}{\pi \cdot 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \\ \Rightarrow d_{\min.b} &= \sqrt[3]{\frac{2720}{\pi} \text{ mm}^3} \\ \Rightarrow d_{\min.b} &\approx 9,53 \text{ mm.} \end{aligned} \quad (12)$$

Wir betrachten den größeren der beiden Mindestwellendurchmesser  $d_{\min.t}$  und vergleichen ihn mit dem gegebenen Wellendurchmesser  $d_W$  und stellen fest:

$$(2) \wedge (10) \Rightarrow d_W = 20\text{mm} > 11,54\text{mm} = d_{\min.b}$$

Der errechnete Mindestwellendurchmesser bei gegebenem Spannungszustand wird nicht unterschritten.

## 1.2 Aufgabe 1b - Passfederverbindung

Festlegung einer sinnvollen Passfederverbindung nach DIN-6885-1 mit Passfederform A.

**Gegeben:**

$$M_W = 10\text{Nm} \quad (13)$$

$$d_{\min} = 11,93\text{mm} \quad (14)$$

$$S = 1,5 \quad (15)$$

$$p_0 = 90 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (16)$$

### 1.2.1 Ermitteln Passfedergeometrie

Für einen Wellendurchmesser von  $d_W = 20\text{mm}$  ergibt sich laut Tabellenbuch eine Passfeder mit folgender Geometrie:

$$b = 6 \quad (17)$$

$$h = 6 \quad (18)$$

$$t_1 = 3,5 \quad (19)$$

### 1.2.2 Prüfen Mindestwellendurchmesser

$$\begin{aligned} d_W - t_1 &\geq d_{\min} \\ (2) \wedge (14) \wedge (19) \Rightarrow 20\text{mm} - 3,5\text{mm} &\geq 11,54\text{mm} \\ \Leftrightarrow 16,5\text{mm} &\geq 11,54\text{mm} \quad \text{w.A.} \end{aligned}$$

Der Mindestwellendurchmesser wird eingehalten.

### 1.2.3 Zulässige Flächenpressung

Laut Aufgabenstellung ist mit leichten einseitigen Stößen zu rechnen, es ergibt sich ein Betriebsfaktor von  $c_K = 0,7$ . Mit der mit der gegebenen Flächenpressung  $p_0$  ergibt sich  $p_{zul}$ :

$$\begin{aligned} p_{zul} &= c_K \cdot p_0 \\ p_{zul} &= 0,7 \cdot 90 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ p_{zul} &= 63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{aligned} \quad (20)$$

Anmerkung: Es muss nur die Flächenpressung der Nabe aus GG-20 berücksichtigt werden, da diese das schwächste Glied in der Welle-Nabe Verbindung ist. Hält dieses der Belastung stand, tun dies die anderen Bestandteile garantiert auch.

### 1.2.4 Minimale Traglänge

$$\begin{aligned} l_{tr.min} &= \frac{2 \cdot M_W \cdot S}{d_W \cdot (h - t_1) \cdot p_{zul} \cdot k \cdot i} \\ (2) \wedge (9) \wedge (15) \wedge (18) \wedge (19) \wedge (20) \Rightarrow l_{tr.min} &= \frac{2 \cdot 10 \text{Nm} \cdot 1,5}{20 \text{mm} \cdot (6 \text{mm} - 3,5 \text{mm}) \cdot 63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot k \cdot i} \\ \Leftrightarrow l_{tr.min} &= \frac{30 \text{m}}{3150 \cdot k \cdot i} \end{aligned}$$

Wir rechnen erstmalig mit nur einer Passfeder weiter, es ergeben sich  $k = i = 1$

$$\Rightarrow l_{tr.min} = \frac{30 \text{m}}{3150 \cdot 1 \cdot 1} = \frac{30000}{3150} \text{mm} \approx 9,53 \text{mm} \quad (21)$$

### 1.2.5 Minimale Passfederlänge

$$\begin{aligned} l_{min} &= l_{tr.min} + b \\ (17) \wedge (21) \Rightarrow l_{min} &= 9,53 \text{mm} + 6 \text{mm} = 15,53 \text{mm} \end{aligned} \quad (22)$$

Die nächste genormte Passfeder hat eine Länge von 16 mm. Unserer nutzbarer Wellabsatz hat eine Länge von  $L_W = 28 \text{ mm}$ . Es entstehen also keine Konflikte beim Anbringen der Passfeder.

Bei einer absoluten Länge von 16 mm ergibt sich eine tragende Länge von

$$l_{tr} = 10 \text{mm} \quad (23)$$

### 1.2.6 Bedingung Verdrillung

$$\begin{aligned} \frac{l_{tr}}{d_W} &\leq 1,3 \\ (2) \wedge (23) \Rightarrow \frac{10 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} &= 0,5 \leq 1,3 \quad \text{w.A.} \end{aligned}$$

Die Verdrillungsbedingung ist erfüllt. Wir können somit rückwirkend feststellen, dass wir tatsächlich nur eine Passfeder mit gegebenen Geometrien benötigen.

Es ergibt sich die Passfeder für die gegebenen Anforderungen mit der Normbezeichnung

1 x DIN 6885-A 6x6x16

### 1.3 Aufgabe1c



**Gegeben:**

$$F_1 = 240 \text{ N} \quad (1)$$

$$F_2 = 30 \text{ N} \quad (2)$$

$$d_1 = 125 \text{ mm} \quad (3)$$

$$d_2 = 100 \text{ mm} \quad (4)$$

$$a = 138 \text{ mm} \quad (5)$$

In Abbildung 2 (Abbildung nicht maßstabsgetreu) wurde die zu  $r_2$  kollinear liegende Strecke  $f$  sowie die zu  $b$  parallele Strecke  $e$  so hinzugefügt, dass  $r_1$ ,  $b$ ,  $r_2 + f$  und  $e$  ein Rechteck bilden. Die Strecke  $f$  ergibt sich aus  $r_1 = f + r_2$  zu

$$\begin{aligned} f &= r_1 - r_2 = \frac{d_1}{2} - \frac{d_2}{2} \\ (3) \wedge (4) \Rightarrow f &= 12,5 \text{ mm}, \end{aligned} \quad (6)$$

da die Strecke  $r_1$  und die zusammengesetzte Strecke  $f + r_2$  gegenüberliegende Seiten des Rechtecks sind und somit gleich sind. Von dem entstandenen rechtwinkligen Dreieck  $\triangle aef$  wissen wir nun also die Längen der Strecken  $a = 138 \text{ mm}$  und  $f = 12,5 \text{ mm}$ . Ebenso wissen wir, dass der Winkel  $\angle(e, f) = 90^\circ$  beträgt. Mit diesen Informationen lässt sich  $\alpha$  berechnen

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{f}{a} \\ \Leftrightarrow \alpha &= \arcsin \frac{f}{a} \\ &= \arcsin \frac{12,5}{138} \\ &= 5,196...^\circ \\ \Rightarrow \alpha &\approx 5,2^\circ \end{aligned} \quad (7)$$

Der Winkel  $\alpha$  lässt sich auch bei  $\angle(c, r_1) = \alpha_1$  wiederfinden. Die Strecken  $r_1$  und  $e$  sind sowie die Strecken  $a$  und  $c$  zueinander senkrecht (vgl. Abbildung 2). Somit gilt  $\alpha = \alpha_1$ . Ebenso lässt sich der Winkel  $\alpha_2$  als symmetrisch zu  $\alpha_1$  entlang der Strecke  $a$  finden. Somit gilt  $\alpha_2 = \alpha_1$ .

Jetzt lässt sich der Winkel  $\beta_1$  berechnen. Anhand der Abbildung 2 ergibt sich dieser als

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 180^\circ + 2 \cdot \alpha \\ (7) \Rightarrow \beta_1 &= 180^\circ + 2 \cdot 5,2^\circ \\ \Leftrightarrow \beta_1 &= 190,4^\circ \end{aligned} \quad (8)$$

Das gesamte System (abgesehen von dem roten Dreieck (vgl. Abb. 2)) ist symmetrisch entlang der horizontalen x-Achse durch die Punkte  $A$  und  $B$ .  $r_1$  und  $r_2$  sind zueinander parallel, genauso wie deren Spiegelbilder entlang der x-Achse. Somit ergibt sich für  $\beta_1$  und  $\beta_2$

$$\begin{aligned} \beta_1 + \beta_2 &= 360^\circ \\ \Leftrightarrow \beta_2 &= 360^\circ - \beta_1 \\ (8) \Rightarrow \beta_2 &= 360^\circ - 190,4^\circ \\ \Leftrightarrow \beta_2 &= 169,6^\circ \end{aligned} \quad (9)$$

### 2.1.2 Berechnung der Achslast $F_w$

Die Achslasten ergeben sich als vektorielle Addition der beiden Trumkräfte. Wir spalten die beiden Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  in ihre y- und z-Komponenten auf.

$$\vec{F}_1 = F_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \vec{e}_y + F_1 \cdot \sin(\alpha) \cdot \vec{e}_z \quad (10)$$

$$\vec{F}_2 = F_2 \cdot \cos(\alpha) \cdot \vec{e}_y - F_2 \cdot \sin(\alpha) \cdot \vec{e}_z \quad (11)$$

$$\vec{F}_w = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$(8) \wedge (9) \Rightarrow \vec{F}_w = F_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \vec{e}_y + F_1 \cdot \sin(\alpha) \cdot \vec{e}_z + F_2 \cdot \cos(\alpha) \cdot \vec{e}_y - F_2 \cdot \sin(\alpha) \cdot \vec{e}_z \\ = \vec{e}_y \cdot \cos(\alpha) \cdot (F_1 + F_2) + \vec{e}_z \cdot \sin(\alpha) \cdot (F_1 - F_2)$$

$$(1) \wedge (2) \wedge (7) \Rightarrow \vec{F}_w = \vec{e}_y \cdot 268,89 \text{ N} + \vec{e}_z \cdot 19,03 \text{ N} \\ = \begin{pmatrix} 0 \\ 268,89 \text{ N} \\ 19,03 \text{ N} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Die Länge des Vektors  $\vec{F}_w$  entspricht dem Betrag.

$$F_w = |\vec{F}_w| \\ (10) \Rightarrow F_w = \sqrt{(268,89 \text{ N})^2 + (19,03 \text{ N})^2} \\ = 269,56 \text{ N} \quad (13)$$

## 2.2 Aufgabe 2b

In Abbildung 6 (Abbildung nicht maßstabsgetreu) sehen wir den Freischnitt des in der Aufgabenstellung gegebenen mechanischen Ersatzmodells der angetriebenen Welle.

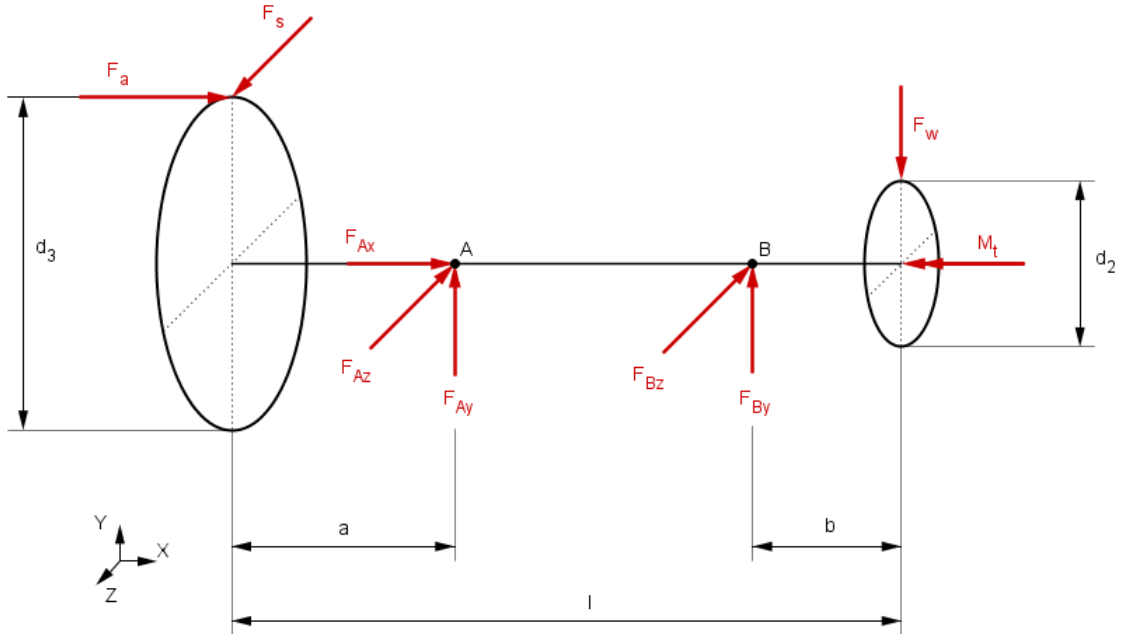


Abbildung 3: Freischnitt des Ersatzmodells angetriebenen Welle



Gegeben:

$$a = 45 \text{ mm} \quad (14)$$

$$b = 38 \text{ mm} \quad (15)$$

$$l = 322 \text{ mm} \quad (16)$$

$$d_2 = 100 \text{ mm} \quad (17)$$

$$d_3 = 315 \text{ mm} \quad (18)$$

$$M_t = 12 \text{ Nm} \quad (19)$$

$$F_w = 300 \text{ N} \quad (20)$$

$$F_a = 50 \text{ N} \quad (21)$$

$$(14) \wedge (15) \wedge (16) \Rightarrow l - a - b = 239 \text{ mm} \quad (22)$$

Wir stellen die Gleichgewichtsbedingungen der Kräfte und Momente auf.

$$\sum F_x : F_a + F_{Ax} = 0 \Rightarrow F_{Ax} = -F_a \stackrel{(21)}{=} -50 \text{ N} \quad (23)$$

$$\sum M_x^{(A)} : F_s \cdot \frac{d_3}{2} - M_t = 0 \Rightarrow F_s = M_t \cdot \frac{2}{d_3}$$

$$(18) \wedge (19) \Rightarrow F_s = \frac{8}{105} \text{ Nm} \approx 76,2 \text{ Nmm} \quad (24)$$

$$\sum M_y^{(A)} : F_{Bz} \cdot (l - a - b) + F_s \cdot a = 0 \Rightarrow F_{Bz} = \frac{F_s \cdot a}{l - a - b}$$

$$(22) \wedge (24) \Rightarrow F_{Bz} = \frac{24000 \text{ Nmm}}{1673 \text{ mm}} \approx 14,35 \text{ N} \quad (25)$$

$$\sum F_z : F_s - F_{Az} - F_{Bz} = 0 \Leftrightarrow F_{Az} = F_s - F_{Bz}$$

$$(24) \wedge (25) \Rightarrow F_{Az} = 61,85 \text{ N} \quad (26)$$

$$\sum M_z^{(B)} : -F_{Ay} \cdot (l - a - b) - F_w \cdot b = 0 \Leftrightarrow F_{Ay} = -\frac{F_w \cdot b}{l - a - b}$$

$$(15) \wedge (22) \wedge (26) \Rightarrow F_{Ay} = -\frac{11400}{239} \text{ N} \approx -47,7 \text{ N} \quad (27)$$

$$\sum F_y : F_{Ay} + F_{By} - F_w = 0 \Leftrightarrow F_{By} = F_w - F_{Ay}$$

$$(20) \wedge (27) \Rightarrow F_{By} = 347,7 \text{ N} \quad (28)$$

Wir fassen zusammen:

$$\begin{aligned} F_{Ax} &= -50 \text{ N} \\ F_{Ay} &= -47,7 \text{ N} \\ F_{Az} &= 61,85 \text{ N} \\ F_{By} &= 347,7 \text{ N} \\ F_{Bz} &= 14,35 \text{ N} \\ F_S &= 76,2 \text{ N} \end{aligned}$$

### 2.2.1 Berechnung Schnittkräfte

Wir unterteilen unsere Achse in drei Bereiche. Es sind genau drei Bereiche nötig, da an den beiden Schnittstellen jeweils die Lagerkräfte angreifen und eine Belastungsveränderung erzeugen. Wir definieren für die drei Bereiche jeweils ein neues Koordinatensystem, siehe Abbildung ???. Unsere variable Koordinate ist die x-Achse. Die x-Koordinaten laufen in den einzelnen Bereichen wie folgt:

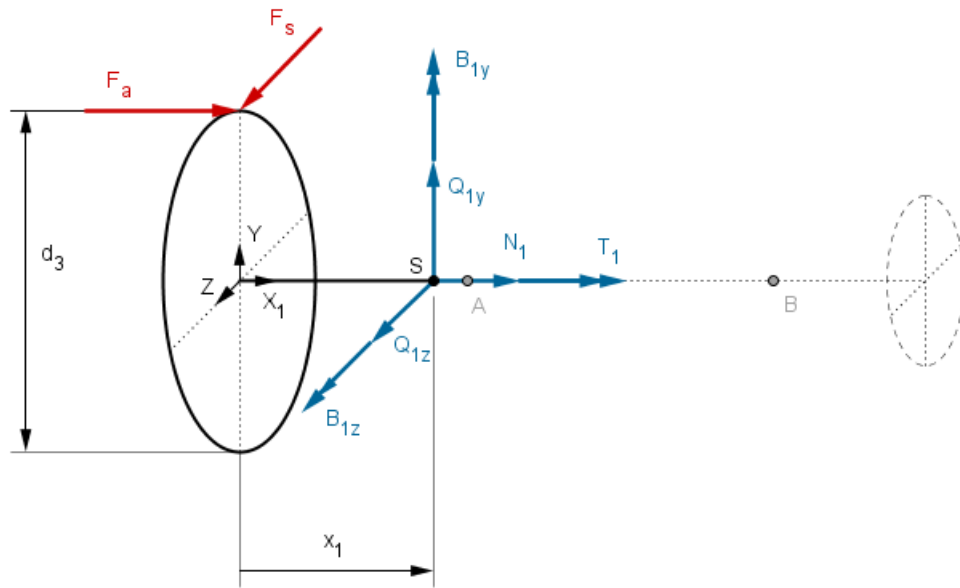


Abbildung 4: Bereich 1:  $x_1 \in [0, a] = [0, 45 \text{ mm}]$

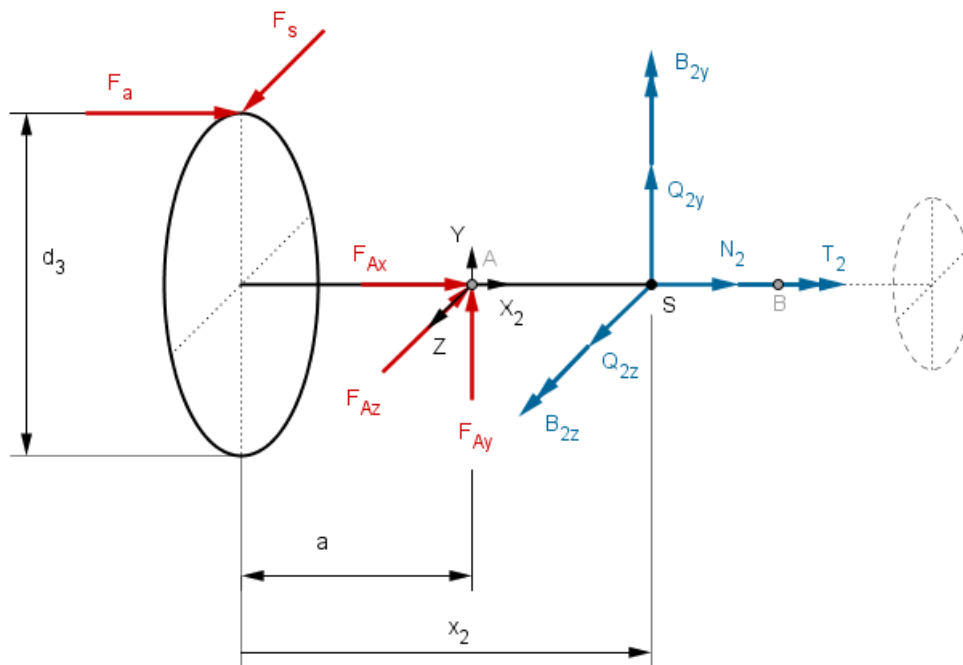


Abbildung 5: Bereich 2:  $x_2 \in [0, l - a - b] = [0, 239 \text{ mm}]$

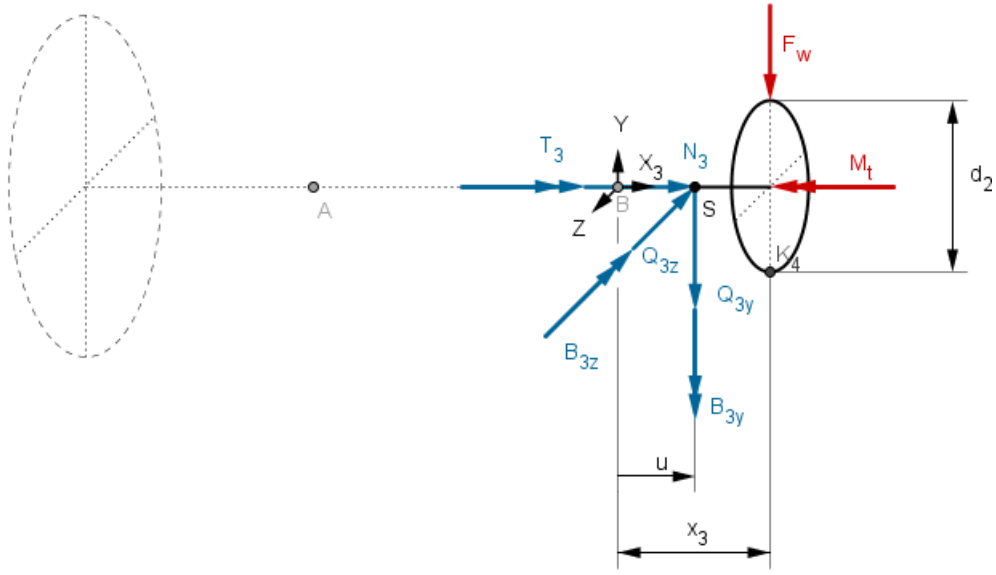


Abbildung 6: Bereich 3:  $x_3 \in [0, b] = [0, 38 \text{ mm}]$

## Bereich 1

Aufstellen der GGW, positives Schnittufer

$$\sum F_x : N_1(x_1) + F_a = 0 \Leftrightarrow N_1(x_1) = -F_a$$

$$(21) \Rightarrow N_1(x_1) = -50 \text{ N} \quad (29)$$

$$\sum F_y : Q_{1y}(x_1) = 0 \quad (30)$$

$$\sum F_z : Q_{1z}(x_1) + F_s = 0 \Leftrightarrow Q_{1z} = -F_s$$

$$(24) \Rightarrow Q_{1z}(x_1) = -76,2 \text{ N} \quad (31)$$

$$\sum M_x^{(S)} : T_1(x_1) + F_s \cdot \frac{d_3}{2} \Leftrightarrow T_1(x_1) = -F_s \cdot \frac{d_3}{2}$$

$$(24) \Rightarrow T_1(x_1) = -M_t \cdot \frac{2}{d_3} \cdot \frac{d_3}{2} = -M_t \stackrel{(19)}{=} -12 \text{ Nm} \quad (32)$$

$$\sum M_y^{(S)} : M_{1y}(x_1) + F_s \cdot x_1 = 0 \Leftrightarrow M_{1y}(x_1) = -F_s \cdot x_1$$

$$(24) \Rightarrow M_{1y}(x_1) = -76,2 \cdot x_1 \text{ Nmm} \quad (33)$$

$$\sum M_z^{(S)} : M_{1z}(x_1) - F_a \cdot \frac{d_3}{2} = 0 \Leftrightarrow M_{1z}(x_1) = F_a \cdot \frac{d_3}{2}$$

$$(18) \wedge (21) \Rightarrow M_{1z}(x_1) = 7875 \text{ Nmm} = 7,875 \text{ Nm} \quad (34)$$

## Bereich 2

Aufstellen der GGW, positives Schnittufer:

$$\begin{aligned} \sum F_x : \quad N_2(x_2) + F_a + F_{Ax} = 0 &\Leftrightarrow N_2(x_2) = -F_a - F_{Ax} \\ (23) &\Rightarrow N_2(x_2) = -F_a + F_a = 0 \text{ N} \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \sum F_y : \quad Q_{2y}(x_2) + F_{Ay} = 0 &\Leftrightarrow Q_{2y} = -F_{Ay} \\ (27) &\Rightarrow Q_{2y} = 47,7 \text{ N} \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \sum F_z : \quad Q_{2z}(x_2) + F_s - F_{Az} = 0 &\Leftrightarrow Q_{2z} = F_{Az} - F_s \\ (24) \wedge (26) &\Rightarrow Q_{1z}(x_2) = -14,35 \text{ N} \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \sum M_x^{(S)} : \quad T_2(x_2) + F_s \cdot \frac{d_3}{2} &\Leftrightarrow T_2(x_2) = -F_s \cdot \frac{d_3}{2} \\ (24) &\Rightarrow T_2(x_2) = -M_t \cdot \frac{2}{d_3} \cdot \frac{d_3}{2} = -M_t \stackrel{(19)}{=} -12 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} \sum M_y^{(S)} : \quad M_{1y}(x_2) + F_s \cdot (x_2 + a) - F_{Az} \cdot x_2 = 0 &\Leftrightarrow M_{1y}(x_2) = F_{Az} \cdot x_2 - F_s \cdot (x_2 + a) \\ &\Leftrightarrow M_{1y}(x_2) = F_{Az} \cdot x_2 - F_s \cdot x_2 - F_s \cdot a = (F_{Az} - F_s) \cdot x_2 - F_s \cdot a \\ (14) \wedge (24) \wedge (26) &\Rightarrow M_{2y}(x_2) = -14,35 \cdot x_2 \text{ Nmm} + 3429 \text{ Nmm} \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} \sum M_z^{(S)} : \quad M_{2z}(x_2) - F_a \cdot \frac{d_3}{2} - F_{Ay} \cdot x_2 = 0 &\Leftrightarrow M_{2z}(x_2) = F_a \cdot \frac{d_3}{2} + F_{Ay} \cdot x_2 \\ (18) \wedge (21) \wedge (27) &\Rightarrow M_{1z}(x_2) = 7875 \text{ Nmm} - 47,7 \cdot x_2 \text{ Nmm} = 7875 \text{ Nmm} \end{aligned} \quad (40)$$

## Bereich 3

Aufstellen der GGW, negatives Schnittufer:

$$\sum F_x : \quad N_3(x_3) = 0 \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \sum F_y : \quad Q_{3y} + F_w = 0 &\Leftrightarrow Q_{3y} = -F_w \\ (20) &\Rightarrow Q_{3y} = -300 \text{ N} \end{aligned} \quad (42)$$

$$\sum F_z : \quad Q_{3z} = 0 \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \sum M_x : \quad T_3(x_3) + M_t = 0 &\Leftrightarrow T_3(x_3) = -M_t \\ (19) &\Rightarrow M_3(x_3) = -12 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (44)$$

$$\sum M_y : \quad Q_{3y} = 0 \quad (45)$$

$$\begin{aligned} \sum M_z : \quad Q_{3z} + F_w \cdot (b - x_3) &\Leftrightarrow Q_{3z} = F_w \cdot (x_3 - b) \\ (15) \wedge (20) &\Rightarrow Q_{3z} = 300 \text{ N} \cdot (x_3 - 38 \text{ mm}) \end{aligned} \quad (46)$$

## Zusammenfassug Schnittkräfte

i	1	2	3
$N_i(x_i)$	-50 N	0	0
$Q_{iy}(x_i)$	0	47,7 N	-300 N
$Q_{iz}(x_i)$	-76,2 N	-14,35 N	0
$T_i(x_i)$	-12 Nm	-12 Nm	-12 Nm
$B_{iy}(x_i)$	$-76,2 \cdot x_1$ Nmm	$-14,35 \cdot x_2 + 3429$ Nmm	0
$B_{iz}(x_i)$	7875 Nmm	7875 Nmm	$300 \cdot (x_3 - 38)$ Nmm