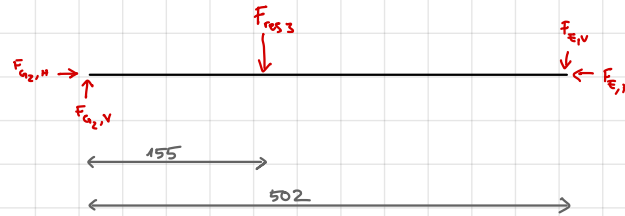


Teil 1: Nachrechnung der Lager

1) Lagerkräfte

- ebene Liegeposition:



aus MS02: $F_{res3} = 620 \text{ N}$

$$\sum M_{G2} = 0 = F_{res3} \cdot 155 \text{ mm} + F_{E,V} \cdot 502 \text{ mm} \rightarrow F_{E,V} \cdot 502 \text{ mm} = -F_{res3} \cdot 155 \text{ mm} \rightarrow F_{E,V} = -191,43 \text{ N}$$

$$\sum V = 0 = F_{G2,V} - F_{res3} - F_{E,V} \rightarrow F_{G2,V} = F_{res3} + F_{E,V} = 428,57 \text{ N} = F_{G2,V}$$

$$\sum H = 0 = F_{G2,H} + F_{E,H} \rightarrow F_{G2,H} = -F_{E,H} = 1085,65 \text{ N} = F_{G2,H}$$

$\rightarrow \alpha$ gegeben: 10° (MS03)

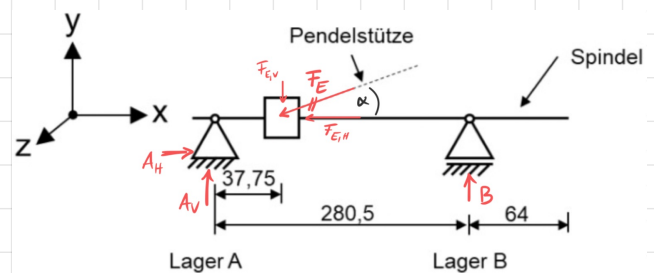
$$\frac{F_{E,V}}{\sin(\alpha)} = F_E = -1102,4 \text{ N}$$

$$F_{E,H} = \cos(\alpha) \cdot F_E = -1085,65 \text{ N} = F_{E,H}$$

$$\Rightarrow \sum H = 0 = A_H - F_{E,H} \rightarrow A_H = F_{E,H} = -1085,65 \text{ N} = A_H$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_{E,V} \cdot 37,75 \text{ mm} = B \cdot 280,5 \text{ mm} \rightarrow B = 25,76 \text{ N}$$

$$\sum V = 0 \rightarrow A_V = F_{E,V} - B = 165,67 \text{ N} = A_V$$



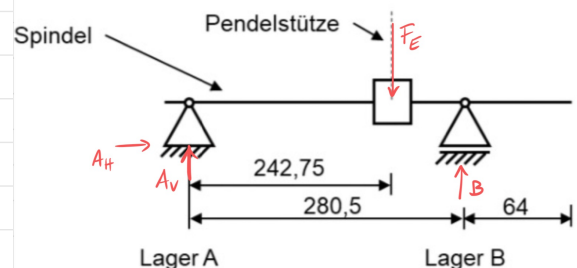
- angewinkelte Liegeposition:

$$F_E = 190,77 \text{ N}$$

$$\sum H = 0 \rightarrow A_H = 0 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_E \cdot 242,75 \text{ mm} = B \cdot 280,5 \text{ mm} \rightarrow B = 165,1 \text{ N}$$

$$\sum V = 0 \rightarrow A_V = F_E - B = 25,67 \text{ N} = A_V$$



2) Drehzahl

TR24x5, Drehzahl = $10 \frac{1}{s}$

$\rightarrow$ zurückgelegte Länge bei einer Umdrehung: 5 mm

$\rightarrow$ nötige Umdrehungen: $\frac{205 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} = 41$

$\rightarrow$ benötigte Zeit: $\frac{41}{10 \frac{1}{s}} = 4,1 \text{ s} < 5 \text{ s} \Rightarrow$ Die Rückenlehne kann in circa 4,1 s hochgefahren werden.

3) statische Tragfähigkeit

$$P_0 = F_{0,r} + 2 \cdot Y_0 \cdot F_{0,a}, \quad Y_0 = 0,95$$

Lager A

$$F_{0,r} = 165,67 \text{ N}$$

$$F_{0,a} = 1085,65 \text{ N}$$

$$\rightarrow P_0 = 2228,41 \text{ N}$$

Lager B

$$F_{0,r} = 165,1 \text{ N}$$

$$F_{0,a} = 0 \text{ N}$$

$$\rightarrow P_0 = 165,1 \text{ N}$$

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

$$C_0 = 14100 \text{ N (aus dem Internet)}$$

Lager A

$$S_0 = 6,46 > 3 \Rightarrow \text{Ausreichend } \checkmark$$

Lager B

$$S_0 = 87,22 > 3 \Rightarrow \text{Ausreichend } \checkmark$$

4) nominelle Lebensdauer

Hauptabmessungen					Tragzahlen		Ermüdungs- grenz- belastung	Grenz- dreh- zahl	Bezugs- dreh- zahl	Masse	Kurzzeichen	Vergleichs- bezeich- nung nach ISO 10317 und ISO 355
d	D	B	C	T	dyn. C _r	stat. C _{0r}	C _{ur}	n _G	n _{Br}	m		
					N	N	N	min ⁻¹	min ⁻¹	≈ kg		
15	35	11	10	11,75	17 700	14 400	1 740	26 000	13 400	0,055	30202-XL	-
	42	13	11	14,25	27 500	20 800	2 800	21 700	12 000	0,095	30302-XL	T2FB015

Abmessungen					Anschlussmaße										Berechnungs- faktoren		
d	r ₁ , r ₂	r ₃ , r ₄	a	d ₁	d _a	d _b	D _a	D _b	C _a	C _b	r _a	r _b	e	Y	Y ₀		
	min.	min.	≈	≈	max.	min.	min.	max.	min.	min.	max.	max.					
15	0,6	0,6	9	25,8	20	19	29	29	32	2	1,5	0,6	0,6	0,35	1,73	0,95	
	1	1	10	28,7	22	21	36	36	38	2	3	1	1	0,29	2,11	1,16	

↻ Lagerpaare in O- oder X-Anordnung Für dynamisch beanspruchte Lagerpaare in O- oder X-Anordnung bestehend aus Einzellagern gilt ➤ 572 | f3 und ➤ 572 | f4.

f3
Dynamische äquivalente
Belastung

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \Rightarrow P = F_r + 1,12 \cdot Y \cdot F_a$$

f4
Dynamische äquivalente
Belastung

$$\frac{F_a}{F_r} > e \Rightarrow P = 0,67 \cdot F_r + 1,68 \cdot Y \cdot F_a$$

Legende

P	N	Dynamische äquivalente Lagerbelastung
F _r	N	Radiale Belastung
F _a	N	Resultierende Axialkraft ➤ 573 14. Zur Berechnung von F _a sind die Angaben im Abschnitt „Ermittlung der inneren resultierenden Axialkraft F _a für Einzellager“ zu berücksichtigen ➤ 572
e, Y	-	Faktoren ➤ 582 14.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n_{60}} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p, \quad P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$$C_r(\text{dynamisch}) = 17700 \quad (\text{Wälzlagerkatalog S. 582})$$

$$Y = 1,73 \quad e = 0,35$$

$$n = 10 \frac{1}{s} = 600 \frac{1}{\text{min}}$$

$$p = \frac{10}{3} = 3,3$$

Lager A: $\frac{F_a}{F_r} = 6,55 > e$

$$\rightarrow P = 0,67 \cdot F_r + 1,68 \cdot Y \cdot F_a$$

$$P = 3266,33 \text{ N}$$

$$\rightarrow L_{10h} = 7763,8 \text{ h} \hat{=} 323,5 \text{ Tage}$$

Lager B: $\frac{F_a}{F_r} = 0 < e$

$$\rightarrow P = F_r + 1,12 \cdot Y \cdot F_a$$

$$P = 165,1 \text{ N}$$

$$\rightarrow L_{10h} \approx 162599000 \text{ h} = 18500 \text{ Jahre}$$

Teil 2: Dimensionierung der Längsträger

Nehmen Sie für die Berechnung folgende Werte an:

- $F_N = 56,73 \text{ N}$
- $F_{Qy} = 603,22 \text{ N}$
- $F_{Qz} = 15,60 \text{ N}$
- $M_{By} = -8,58 \text{ Nm}$
- $M_{Bz} = 151,82 \text{ Nm}$
- $M_t = 58,22 \text{ Nm}$

1) Belastungsarten

- F_N bewirkt Zug/Druck
 - F_{Qy} / F_{Qz} bewirkt Schub
 - M_{By} / M_{Bz} bewirkt Biegung
 - M_t bewirkt Torsion
- } statisch

2) Wirkende Spannungen

$$A = 40 \cdot 60 - 37 \cdot 57 = 291 \text{ mm}^2$$

- Zug / Druck: $\sigma_z = \frac{F_N}{A} = \frac{56,73 \text{ N}}{291 \text{ mm}^2} = 0,195 \text{ MPa} = \sigma_z$

- Schub: $\tau_{ty} = \frac{F_{Qy}}{A} = \frac{603,22 \text{ N}}{291 \text{ mm}^2} = 2,07 \text{ MPa} = \tau_{ty}$

$\tau_{tz} = \frac{F_{Qz}}{A} = \frac{15,60 \text{ N}}{291 \text{ mm}^2} = 0,054 \text{ MPa} = \tau_{tz}$

- Biegung: $\sigma_{by} = \frac{M_{By}}{W_{by}}$ mit $W_{by} = \frac{60 \cdot 40^3 - 37^3 \cdot 57}{6 \cdot 40} \text{ mm}^3 = 3969,9 \text{ mm}^3$

$\sigma_{by} = \frac{8580 \text{ Nmm}}{3969,9 \text{ mm}^3} = 2,16 \text{ MPa} = \sigma_{by}$

$\sigma_{bz} = \frac{M_{Bz}}{W_{Bz}}$ mit $W_{Bz} = \frac{60^3 \cdot 40 - 57^3 \cdot 37}{6 \cdot 60} \text{ mm}^3 = 4966,275 \text{ mm}^3$

$\sigma_{bz} = \frac{151820 \text{ Nmm}}{4966,275 \text{ mm}^3} = 30,57 \text{ MPa} = \sigma_{bz}$

- Torsion: $\tau_t = \frac{M_t}{W_t}$ mit $W_t = 2 \cdot (n+a) \cdot (b+a) \cdot a = 67,56,75 \text{ mm}^3$

$\tau_t = \frac{58220 \text{ Nmm}}{6756,75 \text{ mm}^3} = 8,617 \text{ MPa} = \tau_t$

3) Vergleichspannungen

$\sigma = |\sigma_1| + |\sigma_2| + \dots + |\sigma_n| = |\sigma_z| + |\sigma_{by}| + |\sigma_{bz}| = 32,925 \text{ MPa}$

$\tau = |\tau_{ty}| + |\tau_{tz}| + |\tau_t| = 10,741 \text{ MPa}$

$\Rightarrow \sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = 37,82 \text{ MPa}$

4) Sicherheitsfaktor

Werkstoff S185: $R_e = 185 \text{ MPa}$

$\Rightarrow \sigma_v = \frac{R_e}{s_F} \Rightarrow s_F = \frac{185 \text{ MPa}}{37,82 \text{ MPa}} = 4,89 > 1,5 \quad \checkmark$

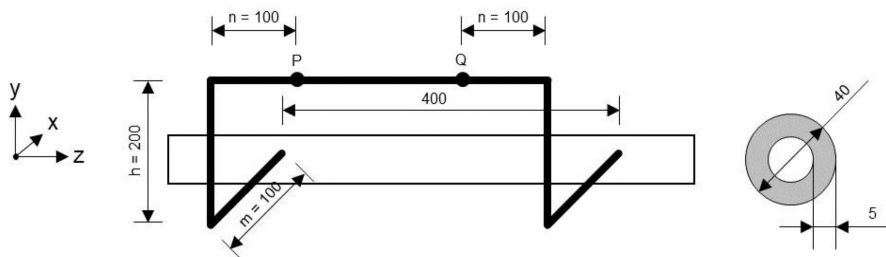
Teil 3: Berechnung Schweißnaht

- Punkt P & Q angegriffen mit gleichmäßiger Kraft $\Rightarrow$ reicht eine Schweißnaht zu berechnen (wegen Symmetrie)
- beide Griffseiten nicht verbunden (mittig geteilt) für Bestimmung
- zwei Belastungsfälle: Geradeaus schieben, Hochheben (mit zweiter Person am anderen Ende $\rightarrow$ beide gleich viel Last)

Angaben:

- Flächenlast 250 kg
- Eigengewicht Trage 75 kg
- Reibungskoeffizient $\mu_R = 0,05$ (vier Rollen)
- minimale Nahtdicke
- Werkstoff S185
- Schweißnaht Sicherheitsfaktor 4

Aufgabe: Berechnung ob Schweißnaht Voraussetzung erfüllt



1) Nahtverlauf & Nahtabmessungen

- Bestimmung des Berechnungsfalls: Kehlnaht am Kreisrohr (über Eck verschweißt)

- Bestimmung der Nahtlänge l & Nahtdicke a :

- Nahtdicke: $a_{\min} \geq (\sqrt{t_{\max}} - 0,5)$ | $t = \text{Blechdicke}$

$$a_{\min} \geq 3 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = \sqrt{5 \text{ mm}} - 0,5 \approx 1,74 \text{ mm} \stackrel{!}{\geq} 3 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$ da $1,74 \text{ mm} < 3 \text{ mm} \rightarrow a_{\min} = 3 \text{ mm} \rightarrow$ nur minimale Nahtdicke nötig

- Nahtlänge: $l = L - 2a$

$$l = 2\pi r - 2a$$

$$l = 2\pi \cdot 20 \text{ mm} - 2 \cdot 3 \text{ mm}$$

$$l \approx 119,66 \text{ mm}$$

$$l_{\min} \geq 6a \geq 30 \text{ mm}$$

$$l_{\min} \geq 6 \cdot 3 \text{ mm} = 18 \text{ mm} \stackrel{!}{\geq} 30 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow l_{\min} = 30 \text{ mm} \text{ da } 18 \text{ mm} < 30 \text{ mm}$$

- umlaufende Naht? $\Rightarrow$ Ja, da Griff einmal im Kreis geschweißt ist.
 $\hookrightarrow$ dadurch Endkraterabzug nicht zu bestimmen

- Nahtgüte und Bewertungsgruppe

$\hookrightarrow$ Nahtgüte ist nicht nachgewiesen

$\hookrightarrow$ dadurch ergibt sich Bewertungsgruppe D (mit Beiwert $v_2 = 0,5$)

2) Belastungsart und Belastungsfall

1. Gerade schieben: $\rightarrow$ Art: Zug, Druck, Biegung

$\rightarrow$ Fall: statisch

2. Hochheben: $\rightarrow$ Art: Biegung, Torsion, Schub

$\rightarrow$ Fall: statisch

3) Kenngrößen

- Berechnung Kenngrößen je nach Belastungsart:

1. Schieben

- Zug / Druck: $A_w = \pi \cdot a \cdot (d_a + a)$

$$A_w = \pi \cdot 3 \text{ mm} \cdot (40 \text{ mm} + 3 \text{ mm})$$

$$A_w \approx 405,27 \text{ mm}^2$$

- Biegung: $I_b = \frac{\pi}{64} \cdot ((d_a + 2a)^4 - d_a^4)$
 $I_b = \frac{\pi}{64} \cdot (40 \text{ mm} + 6 \text{ mm})^4 - (40 \text{ mm})^4$
 $I_b \approx 94\,122,9 \text{ mm}^4$

$$W_b = \frac{2 \cdot I_w}{d_a + 2a} = \frac{2 \cdot I_b}{d_a + 2a}$$

$$W_b = \frac{2 \cdot I_b}{40 \text{ mm} + 2 \cdot 3 \text{ mm}}$$

$$W_b \approx 4092,3 \text{ mm}^3$$

2. Hochheben

- Biegung: $I_b = \frac{\pi}{64} \cdot ((d_a + 2a)^4 - d_a^4)$
 $I_b = \frac{\pi}{64} \cdot (40 \text{ mm} + 6 \text{ mm})^4 - (40 \text{ mm})^4$
 $I_b \approx 94\,122,9 \text{ mm}^4$

$$W_b = \frac{2 \cdot I_w}{d_a + 2a} = \frac{2 \cdot I_b}{d_a + 2a}$$

$$W_b = \frac{2 \cdot I_b}{40 \text{ mm} + 2 \cdot 3 \text{ mm}}$$

$$W_b \approx 4092,3 \text{ mm}^3$$

- Torsion: $\rightarrow d_i \leq 10 \cdot a = 10 \cdot 30 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$
 $I_t = \frac{\pi}{32} \cdot ((d_a + 2a)^4 - d_a^4)$
 $I_t = \frac{\pi}{32} \cdot (40 \text{ mm} + 6 \text{ mm})^4 - (40 \text{ mm})^4$
 $I_t \approx 188\,245,8 \text{ mm}^4$

$$W_t = \frac{2 \cdot I_w}{d_a + 2a} = \frac{2 \cdot I_t}{d_a + 2a}$$

$$W_t = \frac{2 \cdot I_t}{40 \text{ mm} + 2 \cdot 3 \text{ mm}}$$

$$W_t \approx 8184,6 \text{ mm}^3$$

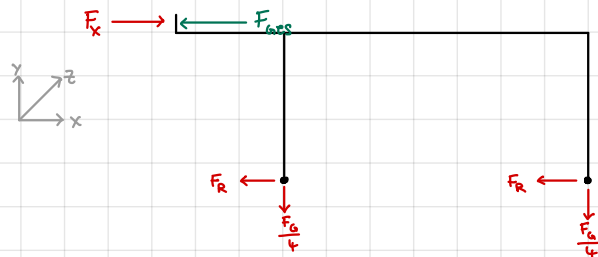
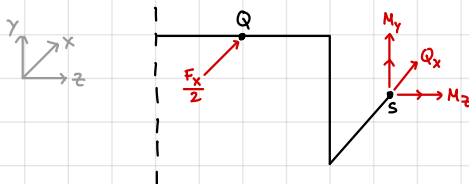
- Schub: $A_{ws} = \frac{\pi}{2} \cdot a \cdot (d_a + a)$
 $A_{ws} = \frac{\pi}{2} \cdot 3 \text{ mm} \cdot (40 \text{ mm} + 3 \text{ mm})$
 $A_{ws} \approx 202,63 \text{ mm}^2$

- Vollprofil sowie Zusammengesetztes Profil müssen nicht berechnet werden.

4) Kräfte & Momente

- Wirkende Kräfte und Momente berechnen

1. Schieben



$$F_{ges} = 4 \cdot F_R = 4 \cdot m_r \cdot \frac{F_0}{4} = m_r \cdot F_0 = m_r \cdot g \cdot m$$

$$F_{ges} = 0,05 \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot (250 \text{ kg} + 75 \text{ kg})$$

$$F_{ges} \approx 159,41 \text{ N} = F_x$$

$$\frac{F_x}{2} = 79,71 \text{ N}$$

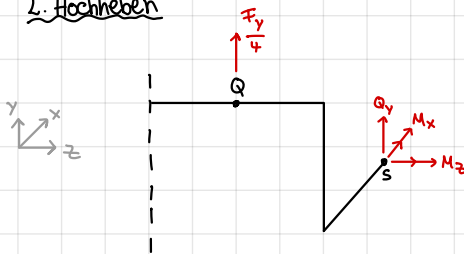
$\Rightarrow$ Um die Trage zu schieben müsste also $F_x > F_{ges}$ sein.

$$\uparrow \sum x = 0 = \frac{F_x}{2} + Q_x \rightarrow -79,71 \text{ N} = Q_x$$

$$\rightarrow \sum M_{s_z} = 0 = M_z - 200 \frac{F_x}{2} \rightarrow M_z = 200 \text{ mm} \cdot 79,71 \text{ N} = 15942 \text{ Nmm} = M_z$$

$$\uparrow \sum M_{s_y} = 0 = M_y - 100 \frac{F_x}{2} \rightarrow M_y = 100 \text{ mm} \cdot 79,71 \text{ N} = 7970,5 \text{ Nmm} = M_y$$

2. Hochheben



$$F_{\text{ges}} = F_G = g \cdot m$$

$$F_{\text{ges}} = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot (250 \text{ kg} + 75 \text{ kg})$$

$$F_{\text{ges}} = 3188,25 \text{ N}$$

⇒ Um die Trage zu tragen muss $F_y > F_{\text{ges}}$ sein.

⇒ Die Trage wird von 4 Personen getragen. Somit: $\frac{F_y}{4} = 797,06 \text{ N}$

$$\uparrow \Sigma Y = 0 = \frac{F_y}{4} + Q_y \rightarrow Q_y = -797,06 \text{ N}$$

$$\rightarrow \Sigma M_{S_x} = 0 = M_x + 100 \frac{F_y}{4} \rightarrow M_x = -100 \text{ mm} \cdot 797,06 \text{ N} = -79706,25 \text{ Nmm} = M_x$$

$$\rightarrow \Sigma M_{S_z} = 0 = M_z - 100 \frac{F_y}{4} \rightarrow M_z = 100 \text{ mm} \cdot 797,06 \text{ N} = 79706,25 \text{ Nmm} = M_z$$

5) Prüfen der Belastungsfälle - statisch

5.1.) Spannungen:

- Berechnung der Einzelspannungskomponenten

1. Schieben

$$\text{- Zug/Druck: } \sigma_w = \frac{F}{A_w} = \frac{Q_x}{A_w} = \frac{-79,71 \text{ N}}{405,27 \text{ mm}^2} = -0,197 \text{ MPa} = \sigma_w$$

$$\text{- Biegung: } \sigma_{B_z} = \frac{M_{B_z}}{W_b} = \frac{15942 \text{ Nmm}}{4082,3 \text{ mm}^3} = 3,896 \text{ MPa} = \sigma_{B_z}$$

$$\sigma_{B_y} = \frac{M_{B_y}}{W_b} = \frac{7970,5 \text{ Nmm}}{4082,3 \text{ mm}^3} = 1,948 \text{ MPa} = \sigma_{B_y}$$

2. Hochheben

$$\text{- Biegung: } \sigma_{B_z} = \frac{M_{B_z}}{W_b} = \frac{79706,25 \text{ Nmm}}{4082,3 \text{ mm}^3} = 19,477 \text{ MPa} = \sigma_{B_z}$$

$$\text{- Torsion: } \tau_t = \frac{M_t}{W_t} = \frac{-79706,25 \text{ Nmm}}{8184,6 \text{ mm}^3} = -9,739 \text{ MPa} = \tau_t$$

$$\text{- Schub: } \tau_w = \frac{F}{A_{w_s}} = \frac{Q_y}{A_{w_s}} = \frac{-797,06 \text{ Nmm}}{202,63 \text{ mm}^2} = -3,93 \text{ MPa} = \tau_w$$

- Vorherrschenden Spannungszustand bestimmen

↳ Biegung, da in beiden Belastungen vorhanden und jeweils am stärksten.

- Berechnung Vergleichsspannung

$$\sigma_{vw} = \sqrt{\left(\sigma_{B_z} \cdot \frac{V_{x1}}{V_{x1}} + \sigma_{B_y} \cdot \frac{V_{y1}}{V_{y1}}\right)^2 + 1,8 \left(\tau_{tw} \cdot \frac{V_{x1}}{V_{x1}} + \tau_{tw} \cdot \frac{V_{y1}}{V_{y1}}\right)^2} \quad | \quad V_{b1} = V_{x1} = V_{y1} = V_{s1} = 0,8$$

$$\text{1. Schieben: } \sigma_{vw} = \sqrt{(\sigma_{B_z} + \sigma_{B_y})^2} = \sigma_{B_z} + \sigma_{B_y} + \sigma_z = 3,896 + 1,948 - 0,197 = 5,647 \text{ MPa}$$

$$\text{2. Hochheben: } \sigma_{vw} = \sqrt{\sigma_{B_z}^2 + 1,8(\tau_w + \tau_t)^2} = \sqrt{19,477^2 + 1,8(-3,93 - 9,739)^2} = 26,752 \text{ MPa}$$

5.2.) Werkstoff:

- Werkstoff wählen $\rightarrow$ S185
- Werkstoffkenngröße bestimmen $\rightarrow R_e = 185 \text{ MPa}$

5.3.) Sicherheitsbeiwert

- Sicherheitsbeiwert bestimmen $\rightarrow \min. S=4$

5.4.) Festigkeitsnachweise

- Festigkeitsbedingungen für die Vergleichsspannung

1. Schieben: $\sigma_w \leq \sigma_{wzul} = v_{x1} \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$
 $\sigma_{wzul} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot \frac{185 \text{ MPa}}{4}$
 $\sigma_w \leq 18,5 \text{ MPa}$
 $5,647 \text{ MPa} \leq 18,5 \text{ MPa} \checkmark$

2. Hochheben: $\sigma_w \leq \sigma_{wzul} = v_{x1} \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$
 $\sigma_{wzul} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot \frac{185 \text{ MPa}}{4}$
 $\sigma_w \leq 18,5 \text{ MPa}$
 $26,752 \text{ MPa} \leq 18,5 \text{ MPa} \checkmark$

- Festigkeitsbedingung der Einzelspannungskomponenten

1. Schieben:

- Zug/Druck: $|\sigma_z| \leq |\sigma_{z,zul}| = v_{x1} \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$
 $|\sigma_{z,zul}| = 0,8 \cdot 0,5 \cdot \frac{185 \text{ MPa}}{4}$
 $|\sigma_{z,zul}| = 18,5 \text{ MPa} \geq |-0,197| \text{ MPa}$
 $18,5 \text{ MPa} \geq 0,197 \text{ MPa}$
 $\sigma_{z,zul} \geq \sigma_z \checkmark$

- Biegung: $|\sigma_z| \leq |\sigma_{bz,zul}| = v_{x1} \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$
 $= 0,8 \cdot 0,5 \cdot \frac{185 \text{ MPa}}{4}$
 $= 18,5 \text{ MPa} \geq 3,896 \text{ MPa}$
 $\sigma_{bz,zul} \geq \sigma_{bz} \checkmark$

$|\sigma_{by}| \leq |\sigma_{by,zul}| = v_{x1} \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$
 $= 18,5 \text{ MPa} \geq 1,948$
 $\sigma_{by,zul} \geq \sigma_{by} \checkmark$

2. Hochheben:

- Biegung: $|\sigma_{bz}| \leq |\sigma_{bz,zul}| = v_{x1} \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$
 $= 18,5 \text{ MPa} \geq 19,477 \text{ MPa} \checkmark$

- Torsion: $|\tau_t| \leq |\tau_{t,zul}| = v_{x1} \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$
 $= 18,5 \text{ MPa} \geq |-9,739| \text{ MPa}$
 $\tau_{t,zul} \geq \tau_t \checkmark$

- Schub: $|\tau_w| \leq |\tau_{w,zul}| = v_{x1} \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$
 $= 18,5 \text{ MPa} \geq |-3,93| \text{ MPa}$
 $\tau_{w,zul} \geq \tau_w \checkmark$

6) Prüfen der Belastungsfälle - dynamisch

- nicht nötig, da keine dynamischen Belastungsfälle vorhanden

7) Korrektur

- Im Fall der Biegung beim Hochheben der Trage wird die Festigkeitsbedingung nicht erfüllt.
 $\rightarrow$ Somit Änderung der Nahtdicke / -länge oder den Werkstoff ändern.

$$|\sigma_{Bz}| \leq |\sigma_{Bz,zul}| = v_1 \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$$

$$\sigma_{Bz} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot \frac{185 \text{ MPa}}{4}$$

$$\sigma_{Bz} = 18,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Bz} = \frac{M_{Bz}}{W_b} \rightarrow W_b = \frac{M_{Bz}}{\sigma_{Bz}} = \frac{79706,25 \text{ Nmm}}{18,5 \text{ MPa}} = 4308,4459 \text{ mm}^3$$

$$W_b = \frac{2 \cdot I_w}{d_a + 2a} = \frac{2 \cdot \left(\frac{\pi}{64} \cdot ((d_a + 2a)^4 - d_a^4) \right)}{d_a + 2a} = \frac{2\pi}{64} \cdot \left(\frac{(40 + 2a)^4 - 40^4}{40 + 2a} \right) = 4308,4459$$

$$\Rightarrow a = 3,14503 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$ die Naht muss mindestens 3,14503 mm dick sein, damit $\sigma_{Bz} \leq \sigma_{Bz,zul} = 18,5 \text{ MPa}$ gilt.

- Änderung der Dicke von $a = 3 \text{ mm}$ auf $a = 3,5 \text{ mm}$

$$I_b = \frac{\pi}{64} \cdot ((d_a + 2a)^4 - d_a^4)$$

$$I_b = \frac{\pi}{64} \cdot ((40 \text{ mm} + 7 \text{ mm})^4 - (40 \text{ mm})^4)$$

$$I_b \approx 113867,075 \text{ mm}^4$$

$$W_b = \frac{2 \cdot I_w}{d_a + 2a} = \frac{2 \cdot I_b}{d_a + 2a}$$

$$W_b = \frac{2 \cdot I_b}{40 \text{ mm} + 2 \cdot 3,5 \text{ mm}}$$

$$W_b \approx 4845,407 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{Bz} = \frac{M_{Bz}}{W_b} = \frac{79706,25 \text{ Nmm}}{4845,407 \text{ mm}^3} = 16,44986 \text{ MPa} = \sigma_{Bz}$$

$$|\sigma_{Bz}| \leq |\sigma_{Bz,zul}| = v_1 \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$$

$$= 18,5 \text{ MPa} \stackrel{!}{\geq} 16,44986 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Bz,zul} \geq \sigma_{Bz} \quad \checkmark$$

Teil 4: Berechnung einer Schraubenverbindung

1) Spannkraft F_{sp} der Schraube

- Gewinde: M8
- Festigkeitsklasse: 8,8
- Reibungszahl: $\mu = 0,12$ (Schraube ist leicht geölt)

$$\rightarrow \text{Vorspannkraft } F_{sp} = 18,6 \text{ kN}$$

2) Kraft F_H pro Handgriff & Klemmkraft F_{kl} pro Schraube

$$F_H = \frac{1}{4} (250 \text{ kg} + 75 \text{ kg}) \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 797,06 \text{ N}$$

$$F_{kl} = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_H}{n_r}$$

$$F_{kl} = \frac{1}{2} \cdot \frac{797,06 \text{ N}}{0,25}$$

$$F_{kl} = 1594,12 \text{ N}$$

3) Vorspannverlust F_z durch Setzen

$$F_z = \frac{f_z}{\delta_T + \delta_S}$$

f_z : Rautiefe der Oberfläche $f_z = 6,3 \mu\text{m} < 10 \mu\text{m}$
 $\rightarrow$ nur Querkräfte

Rautiefe der Oberfläche R_z in μm		Längskraft			Querkraft		
		<10	10 ... <40	40 ... <160	<10	10 ... <40	40 ... <160
f_z in μm	Im Gewinde	3	3	3	3	3	3
	Je Kopf- oder Mutterauflage	2,5	3	4	3	4,5	6,5
	Je innere Trennfuge	1,5	2	3	2	2,5	3,5
	Summe ¹⁾	9,5	11	14	11	14,5	19,5

$$\Rightarrow f_z = 11 \mu\text{m}$$

$$\delta_T = \frac{f_T}{F_v} = \frac{l_k}{A_{ers} \cdot E_T} = \frac{40 \text{ mm}}{252,29 \text{ mm}^2 \cdot 110.000 \text{ MPa}}$$

$$\delta_T = 1,44 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$A_{ers} = \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_n^2) + \frac{\pi}{8} (D_A - d_w) \cdot [(x+1)^2 - 1] = 252,29 \text{ mm}^2$$

$$\delta_S = \delta_{s_k} + \delta_{s_M} + \delta_{s_{gew}} + \delta_{s_{schaft}}$$

$$\Leftrightarrow \delta_S = \frac{0,5d}{E_s \cdot A_N} + \frac{0,5d}{E_s \cdot A_3} + \frac{0,4d}{E_M \cdot A_N} + \frac{l_{gew}}{E_s \cdot A_3} + \frac{l_{schaft}}{E_s \cdot A_N}$$

$$\delta_S = 5,65 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$A_N = \frac{\pi d^2}{4} = 167 \text{ mm}^2, \quad A_3 = \frac{\pi d_3^2}{4} = 32,88 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow F_z = \frac{f_z}{\delta_T + \delta_S} = 1551,48 \text{ N}$$

4) Montagevorspannkraft F_{vm}

$$F_{vm} = K_A \cdot F_{vmin} = K_A [F_{kl} + F_0(1 - \phi) + F_z] \quad | \text{keine Betriebskraft}$$

$$F_{vm} = K_A [F_{kl} + F_z] = 1,6 \cdot [1594,12 \text{ N} + 1551,48 \text{ N}]$$

$$F_{vm} = 5032,96 \text{ N}$$

5) Dimensionierung

$$\rightarrow \text{Es gilt: } F_{vm} \stackrel{!}{\leq} F_v$$

$$5032,96 \text{ N} \leq 18600 \text{ N} \quad \checkmark$$