



UNIVERSITÄT STUTTGART

PROF. DR.-ING. HANSGEORG BINZ

	Name	Matr.-Nr.	Gruppe / Team
Übungsteilnehmer/in	Ch. Hoffmann	2167190	Waz 1664

Übungen zu Konstruktionslehre II, SS 2004

Aufgabe 5 (Hausarbeit): Schraubenberechnung

Arbeitsanweisung

Für den im Bild dargestellten Ausschnitt eines Rührkessels soll die Schraubenverbindung von Motoreinheit und Kessel mit den Angaben in Tabelle 1 nachgerechnet werden. Der Flansch der Motoreinheit aus dem Werkstoff E295 (St 50-2) wird mit vier Zylinderschrauben mit Innensechskant DIN EN ISO 4762 und vier Scheiben DIN EN ISO 7090 an dem Kessel aus Gusseisen GJL-260 Cr befestigt. Der Druck im Kessel schwankt zwischen 10 bar und 38 bar Überdruck, der Motor erzeugt in beide Richtungen ein Drehmoment von 300 Nm. Der Flansch hat den gleichen Elastizitätsmodul wie die Schrauben und die Scheiben.

Gehen Sie nach den im KL II-Skript gegebenen 14 Rechenschritten vor. Dabei gilt:

- Aufgrund der großflächigen Kraffteinleitung in den Flansch und der Dicke des Flansches ist von einer zentrischen Belastung der Schrauben und von einer zentrisch verspannten Schraubenverbindung auszugehen.
- Setzen Sie zunächst für die Vorauswahl Schrauben (schlussvergütet, elastisch angezogen) mit der Festigkeitsklasse 12.9 ein. Wählen Sie die kürzeste genommene Länge, bei der eine Einschraubtiefe von mindestens $1,8 \cdot d$ sichergestellt wird.
- Wählen Sie in R7 die Schraube aus, deren Festigkeit bei gleicher Geometrie am besten ausgenutzt wird. Setzen Sie anschließend $F_M = F_{Mzul}$
- Die gemittelte Rautiefe aller berührenden Teile beträgt $R_z 16$.
- Der Durchmesser der Durchgangsbohrungen in der Motoreinheit entspricht dem Durchmesser d_h nach DIN EN 20273 m.
- Die Außenkanten sind gratfrei im Bereich von 0,2 bis 0,5 ausgeführt.
- Zeichnen Sie das Verspannungsschaubild mit den wichtigsten Informationen (siehe Skript). Verwenden Sie folgende Maßstäbe: Abszisse 1000 : 1, Ordinate 15 mm : 10000 N.

Arbeitsschritte

1. Ermitteln Sie die Belastungen, die auf eine Schraube wirken.
2. Ermitteln Sie in R0 bis R7 die geeignete Schraube für die Verbindung.
3. Führen Sie die Rechenschritte R8 bis R13 durch.
4. Zeichnen Sie das Verspannungsschaubild für die berechnete Schraubenverbindung.
5. Fassen Sie Ihre wichtigsten Ergebnisse auf einem Übersichtsblatt zusammen und bewerten Sie diese. Nennen Sie ggf. erforderliche Verbesserungen. ✓

Lernziele

- Durchführung des Festigkeitsnachweises für Schraubenverbindungen
- Erstellung des Verspannungsschaubilds
- Darstellung von Berechnungsergebnissen
- Bewertung der Ergebnisse

Angaben

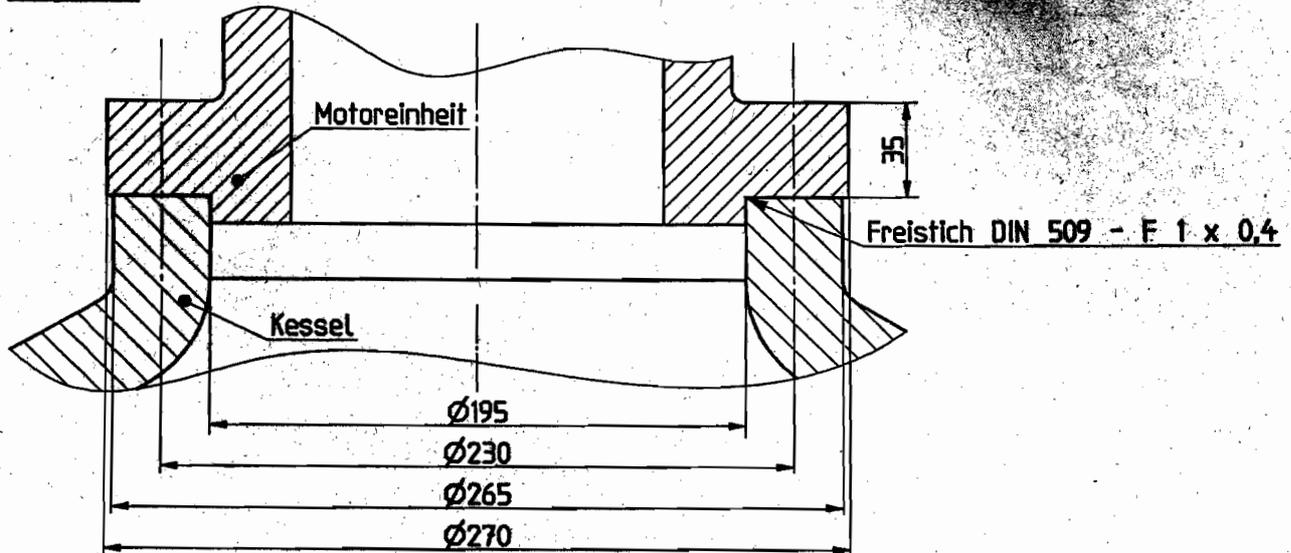


Bild: Verschraubung des Rührkessels und der Motoreinheit

Elastizitätsmodul Schrauben	$E_S = 205000$	N/mm ²	Sicherheitsfaktor gegen	
Anziehungsfaktor	$\alpha_a = 1,6$		- Fließen	$S_F = 1,0$
Reibungszahl			- Dauerbruch	$S_D = 1,2$
- Stahl / Gusseisen	$\mu_{St-G} = 0,18$	\times	- Gleiten	$S_G = 1,8$
- Stahl / Stahl	$\mu_{St-St} = 0,12$		- Abscheren	$S_A = 1,8$

Tabelle 1: Werte für die Schraubenverbindung

Abmessung	Steigung	Flanken- durchmesser	Spannungs- querschnitt	Kern- querschnitt	Kraft an der Mindest-Streckgrenze $F_{0,2min} = R_{p0,2min} \cdot A_s$		
					Festigkeitsklasse		
					8.8	10.9	12.9
P	d ₂	A _s	A _{cs}	N	N	N	
mm	mm	mm ²	mm ²	Metrisches Regelgewinde			
M 4	0,7	3,545	8,78	7,749	5600	8300	9700
M 5	0,8	4,480	14,2	12,69	9100	13300	15600
M 6	1	5,350	20,1	17,89	12900	18900	22100
M 7	1	6,350	28,9	26,18	18500	27000	32000
M 8	1,25	7,188	36,6	32,84	23400	34500	40500
M 10	1,5	9,026	58,0	52,30	37000	55000	64000
M 12	1,75	10,863	84,3	76,25	54000	79000	93000
M 14	2	12,701	115	104,7	74000	108000	127000
M 16	2	14,701 \times	157 \times	144,1	100000	148000	173000
M 18	2,5	16,376	193	175,1	127000	181000	212000
M 20	2,5	18,376	245	225,2	162000	230000	270000
M 22	2,5	20,376	303	281,5	200000	285000	335000
M 24	3	22,051	353	324,3	233000	330000	390000
M 27	3	25,051	459	427,1	305000	430000	500000
M 30	3,5	27,727	561	519,0	370000	530000	620000
M 33	3,5	30,727	694	647,2	460000	650000	760000
M 36	4	33,402	817	759,3	540000	770000	900000

Tabelle 2: Nennwerte für Steigung, Flankendurchmesser, Spannungs- und Kernquerschnitt sowie Kraft $F_{0,2min}$ für Schaftschrauben mit metrischem Regelgewinde (Auszug aus VDI 2230)

Aufgabe V

Schraubenberechnung

1

→ Belastungen, die auf eine Schraube wirken:

Gegeben: Druck: 10-385a. ($\hat{=} 3,10 - 3,8 \frac{N}{mm^2}$)

Drehmoment: $\pm 300 \text{ Nm}$

Vom Druck angegriffene Fläche:

Freistich DIN 509 - F1 $\times 0,4 \Rightarrow f = 2,8 \text{ mm}$

$$\rightarrow A = \frac{(d + 2 \cdot 2,8 \text{ mm})^2 \cdot \pi}{4} \quad d = 195 \text{ mm}$$

$$= 31604,7 \text{ mm}^2$$

~~Fläche~~ $F_{Bmin} = A \cdot p_{min} = 7,9 \text{ kN} \Rightarrow 598,12 \text{ N je Schraube}$

$$\Rightarrow F_{Bmax} = \text{Betriebskraft} = A \cdot p_{max}$$

$$= 120097,878 \text{ N} \hat{=} \underline{\underline{120,1 \text{ kN}}}$$

(\Rightarrow 30,02 kN je Schraube)

Mittlere Reibdurchmesser: $d_{mr} = \frac{(265 \text{ mm} + 195 \text{ mm} + 5,6 \text{ mm})}{2} = \frac{d_1 + d_2 + d \cdot f}{2} =$

$$F_q = \frac{2M}{d_{mr}} = \frac{2 \cdot 300 \text{ Nm}}{0,2328 \text{ m}} = \underline{\underline{2575,23 \text{ N}}}$$

$$232,8 \text{ mm}$$

\Rightarrow ~~708,76 N~~ pro Schraube
650 N

$$\mu = \mu_{St-G} = 0,18$$

$$F_q = F_R = \mu \cdot F_M \Rightarrow F_M = \frac{F_q}{\mu} = \underline{\underline{15750,278 \text{ N}}}$$

(\Rightarrow 3,937 kN pro Schraube) $\hat{=} \text{Montagekraft}$

Berechnung

(2)

R0)

Bei einer Kraft von 30,02 kN laut Tabelle 11.2

→ M10 12.9

1 Schritt runter für dyn. u. zentr. oder stat. und exzentr. angreifende Betriebskraft ⇒ M12 12.9

1 Schritt runter für Anziehen mit Drehmomentschlüssel...

⇒ M16 12.9

~~M10~~
70 mm Länge

R1)

$$\underline{\alpha_a = 1,6}$$

R2)

$$F_{kQ} = \frac{F_Q}{q_F \cdot \mu_{Tmin}}$$

$$F_{kQ} = \frac{2835,05 \text{ N}}{1 \cdot 0,18} = \underline{15750,278 \text{ N}}$$

F_Q = Querkraft = 2835,05 N

q_F = Anzahl der inneren, kraftübertragende Trennflächen = 1

μ_{Tmin} = Reibwert zw. den Bauteilen nach Tab. 11.6 = 0,18

(⇒ 3,937 kN je Schraube)

Durchgangsbohrung DIN EN 20273 m ⇒ $d_h = 17,5 \text{ mm}$

$$F_{kP} = A_D \cdot p_{max}$$

$$= \frac{86433,407 \text{ N}}{85833,52 \text{ N}}$$

$$A_D = \frac{((265 \text{ mm})^2 - (200,6 \text{ mm})^2) \cdot \pi}{4}$$

$$= \frac{4 \cdot \pi \cdot (17,5 \text{ mm})^2}{4}$$

$$= \frac{22745,63 \text{ mm}^2}{22587,77 \text{ mm}^2}$$

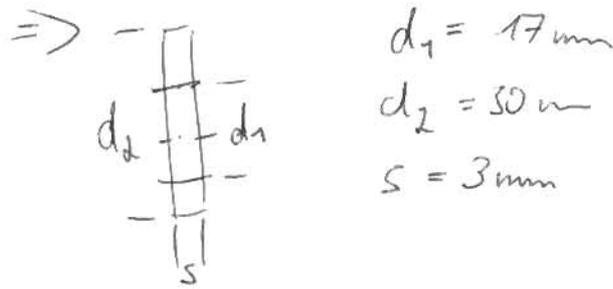
(⇒ 21,458 kN je Schraube)

⇒ $F_{kerf} \geq \max(F_{kQ}, F_{kP})$ erfüllt

$$F_{kerf} = F_{kP} + F_{kQ} = \underline{25,395 \text{ kN}}$$

R3) Schreibe: DIN EN ISO 7090 M16

(B)



$$\phi = \frac{F_{SA}}{F_A} \Rightarrow F_{SA} = F_A \cdot \phi$$

$$F_{PA} = (1 - \phi) \cdot F_A$$

$$\delta_s = \delta_{St} + \delta_1 + \delta_{Gew} + \delta_{GM}$$

$$\rightarrow \delta_{St} = \frac{l_{sc}}{E_s \cdot A_N} = \frac{0,4 \cdot d}{E_s \cdot A_N} = \frac{0,4 \cdot 16 \text{ mm}}{205000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (16 \text{ mm})^2}{4} \right)} = 1,553 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$\rightarrow \delta_1 = \frac{l_1}{E_s \cdot A_1} = \frac{26 \text{ mm}}{205000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (16 \text{ mm})^2}{4} \right)} = 6,308 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$\rightarrow \delta_{Gew} = \frac{l_{Gew}}{E_s \cdot A_{d3}} = \frac{12 \text{ mm}}{205000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 14,1 \text{ mm}^2} = 4,062 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$\rightarrow \delta_{GM} = \frac{l_G}{E_s \cdot A_{d3}} + \frac{l_M}{E_M \cdot A_N} = \frac{0,5 \cdot d}{E_s \cdot A_{d3}} + \frac{0,33 \cdot d}{E_M \cdot A_N}$$

$$= \frac{0,5 \cdot 16 \text{ mm}}{205000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 14,1 \text{ mm}^2} + \frac{0,33 \cdot 16 \text{ mm}}{110000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (16 \text{ mm})^2}{4} \right)}$$

$$= 5,096 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$\Rightarrow \delta_s = \sum \delta_i = \underline{\underline{17,018 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}}}$$

$$\sigma_p = 511-18 \quad (11.42)$$

(42)

2. Fall: $d_w \subset D_A \subset D_{A,G_r}$

$$D_{A,G_r} = d_w + w \cdot l_k \cdot \varphi_{\text{amf}_E}$$

$$D_A = 29,4 \text{ mm} \quad \times$$

$$w = 2 \quad (\text{da ESV S. 11-18})$$

$$D_{A'} = 40 \text{ mm} \quad (270 \text{ mm} - 230 \text{ mm}) \quad \times$$

$$d_w = 23,17 \text{ mm} \quad \times$$

$$l_k = 38 \text{ mm} \stackrel{!}{=} h \quad \times$$

(Skript S. 11-18) (11.44)

$$\text{ESV: } \varphi_{\text{amf}_E} = 0,348 + 0,013 \cdot \ln(\rho_c) + 0,135 \cdot \ln(\gamma)$$

$$\rho_c = \frac{l_k}{d_w} = 1,64$$

$$\gamma = \frac{D_{A'}}{d_w} = 1,726$$

$$\Rightarrow \varphi_{\text{amf}_E} = 0,4598 \quad \Rightarrow D_{A,G_r} = 58,11 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \sigma_p = \underline{\underline{4,6304 \cdot 10^{-7} \text{ m/N}}}$$

Berechnung von n mit Hilfe von Interpolation

(5)

$$l_A = 0 \quad (\text{da zentraler Kraftangriff})$$

$$h = 38 \text{ mm}$$

$$a_k = \left(\frac{D_A - d_w}{2} \right) = 3,415 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow a_k/h = 0,082 \hat{=} x$$

~~5.8~~

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 0 \\ x_2 = 0,1 \\ y_1 = 0,42 \\ y_2 = 0,34 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{aus} \\ \text{Tabelle} \\ 11.8 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow y &= \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \cdot (x - x_1) + y_1 \\ &= \frac{0,42 - 0,34}{0 - 0,1} \cdot (0,082 - 0) + 0,42 \\ &= \underline{\underline{0,354}} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \phi_n = n \cdot \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_s}$$

$$= 0,354 \cdot \frac{4,6304 \text{ mm/N}}{(4,6304 + 17,078) \text{ mm/N}}$$

$$= \underline{\underline{0,0757}}$$



6

$$\begin{aligned} F_{SA} &= F_{\text{Bmax}} \cdot \phi_n \\ &= 120,1 \text{ kN} \cdot 0,0757 \\ &= ~~8,49~~ \underline{9,092 \text{ kN}} \end{aligned}$$

(\Rightarrow 2,273 kN je Schraube)

$$\begin{aligned} F_{PA} &= (1 - \phi_n) \cdot F_{\text{Bmax}} \\ &= (1 - 0,0757) \cdot 120,1 \text{ kN} \\ &= \underline{111,008 \text{ kN}} \end{aligned}$$

(\Rightarrow 27,752 kN je Schraube)

R4)

Vorspannkraftänderung F_z infolge Setze

(5)

$$\Rightarrow F_z = \frac{f_z}{\delta_s + \delta_p}$$

$$f_z = (3 + 4,5 + 1,5) \mu\text{m} \quad (\text{aus Tabelle 11.9})$$

$$= 9 \mu\text{m}$$

$R_z 16 \Rightarrow$

Rauhiefe $R_{ambis} < 40 \mu\text{m}$

da konservativ \Rightarrow größte Werte

\Rightarrow Schub



$$\Rightarrow F_z = \frac{9 \mu\text{m}}{17,078 \cdot 10^{-7} \text{ m/N} + 4,6304 \cdot 10^{-7} \text{ m/N}}$$

$$= \frac{6,698 \text{ kN}}{\text{je Schraube}}$$

$$= 6,698 \text{ kN}$$

R5)

Mindestvorspannkraft F_{Min}

$$F_{Min} = F_{ted} + F_{PA} + F_z \quad 6,698 \text{ kN}$$

$$= 25,375 \text{ kN} + 27,752 \text{ kN} + 6,698 \text{ kN}$$

$$= 59,825 \text{ kN} \quad (\text{je Schraube})$$

$$59,825 \text{ kN} = 59,825 \text{ kN}$$

R6)

Maximalmontagevorspannkraft F_{Max}

$$F_{Max} = F_{Min} \cdot \lambda_A \quad \lambda = 1,6$$

$$= 59,825 \text{ kN} \cdot 1,6 = 95,72 \text{ kN}$$

$$= 95,72 \text{ kN}$$

R7) Montage beanspruchung & $G_{red, M}$ (8)

$F_{M, zul}$

$$G_{red, Mzul} = v \cdot R_{p0,2min}$$

$$v \text{ (empfohlen)} = 0,9$$

$$\Rightarrow G_{red, Mzul} = 0,9 \cdot 1101,91 \text{ N/mm}^2$$

$$= \underline{\underline{991,72 \text{ N/mm}^2}}$$

$$R_{p0,2min} = \frac{F_{0,2in}}{A_S}$$

$$F_{0,2in} = 173000 \text{ N (Abgeles)} \\ A_S = 157 \text{ mm}^2 (\text{ " })$$

$$= \frac{173000 \text{ N}}{157 \text{ mm}^2}$$

$$= \underline{\underline{1101,91 \text{ N/mm}^2}}$$

$$p = 2 \text{ mm}$$

$$\mu_{Gmin} = 0,18 \stackrel{1}{=} \mu_{St-G}$$

$$A_0 = 157 \text{ mm}^2 \stackrel{2}{=} A_S$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{A_0 \cdot 4}{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{157 \cdot 4}{\pi}}$$

$$= 14,138 \text{ mm}$$

$$d_2 = 14,701 \text{ mm}$$

$$F_{M, zul} = A_0 \cdot$$

$$G_{red, Mzul}$$

$$\cdot \sqrt{1 + 3 \cdot \left(\frac{3 \cdot d_2}{2 \cdot d_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} + 1,155 \cdot \mu_{Gmin} \right)^2}$$

$$= 157 \text{ mm}^2 \cdot 991,72 \text{ N/mm}^2$$

$$\cdot \sqrt{1 + 3 \cdot \left(\frac{3 \cdot 14,701 \text{ mm}}{2 \cdot 14,138 \text{ mm}} \right)^2 \cdot \left(\frac{2 \text{ mm}}{\pi \cdot 14,701 \text{ mm}} + 1,155 \cdot 0,18 \right)^2}$$

$$= \underline{\underline{6292,925}}$$

$$128834,02 \text{ N}$$

$$\stackrel{1}{=} \underline{\underline{128,83 \text{ kN}}}$$

$$\underline{\underline{128,83 \text{ kN}}}$$

$$92,45 \text{ kN} \leq F_M \leq 128,83 \text{ kN}$$

9

\Rightarrow Festigkeit kann auf 10.9 gesenkt werden \checkmark

\Rightarrow R7 nochmal

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{red, zul}} &= \nu \cdot R_{p0,2 \text{ min}} & \nu &= 0,9 \\ &= \underline{\underline{848,41 \text{ N/mm}^2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{p0,2 \text{ min}} &= \frac{F_{0,2 \text{ min}}}{A_S} \\ &= \frac{148000 \text{ N}}{157 \text{ mm}^2} \\ &= \underline{\underline{942,68 \text{ N/mm}^2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{0,2 \text{ min}} &= 148000 \text{ N} \\ A_S &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow F_{M, \text{ zul}} &= 157 \text{ mm}^2 \cdot \overbrace{848,41 \text{ N/mm}^2} \\ &= 130216,665 \text{ kN} \rightarrow \\ &= \underline{\underline{110,22 \text{ kN}}} \\ \text{für alle weitere Schritte} &\Rightarrow F_M = F_{M, \text{ zul}} = \underline{\underline{110,22 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

$$F_{Mmax} \leq F_M \leq F_{Mzul} \quad \checkmark$$

10

$$91,45 \text{ kN} \leq 10,02 \text{ kN} \leq 10,02 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Prüfung für Schraube der Festigkeitsklasse 8.8 (11)

⇒ R7)

$$F_{0, \text{min}} = 100000 \text{ N}$$

$$\Rightarrow R_{p0, \text{min}} = \frac{100000 \text{ N}}{157 \text{ mm}^2} \\ = \underline{636,94 \text{ N/mm}^2}$$

$$\Rightarrow \sigma_{\text{red, zul}} = \nu \cdot R_{p0, \text{min}} \\ = \underline{573,246 \text{ N/mm}^2}$$

$$\Rightarrow F_{M, \text{zul}} = 157 \text{ mm}^2 \cdot \frac{573,246 \text{ N/mm}^2}{\gamma} \\ = 74970,2 \text{ N} \hat{=} \underline{74,47 \text{ kN}}$$

da $92,45 \text{ kN} \leq 74,47 \text{ kN}$ nicht erfüllt ⇒
Festigkeitsklasse 8.8 zu wenig

R8) Ermittlung der Betriebsbeanspruchung $\sigma_{\text{red, B}}$

$$F_{\text{SB}} = F_M + F_{\text{SA}} \\ = 110,22 \text{ kN} + 2,273 \text{ kN} \\ = \underline{112,493 \text{ kN}}$$

$$\sigma_{\text{zmax}} = \frac{F_{\text{SB}}}{A_0} \quad A_0 = 157 \text{ mm}^2 \\ = \frac{112,493 \text{ kN}}{157 \text{ mm}^2} = \underline{716,52 \text{ N/mm}^2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{M_G}{W_p}$$

12

$$\rightarrow M_G = \frac{F_{91} \cdot d_2}{2} \cdot \left(\frac{P}{\pi \cdot d_2} + 1,155 \cdot \mu_{G \min} \right)$$

$$\mu_{G \min} = 0,18$$

$$d_2 = 14,701 \text{ mm}$$

$$P = 2$$

$$\Rightarrow M_G = \frac{170,22 \text{ kN} \cdot 14,701 \text{ mm}}{2} \cdot \left(\frac{2}{\pi \cdot 14,701 \text{ mm}} + 1,155 \cdot 0,18 \right)$$

$$= 203,52 \text{ kNm}$$

$$= \underline{\underline{203,52 \text{ Nm}}}$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d_o^3}{16}$$

$$= \frac{\pi \cdot (14,138 \text{ mm})^3}{16}$$

$$= \underline{\underline{554,87 \text{ mm}^3}}$$

$$\rightarrow d_s = \dots$$

$$d_o = 14,138 \text{ mm}$$

$$\tau_{\max} = \frac{203,52 \text{ Nm}}{554,87 \text{ mm}^3}$$

$$= \underline{\underline{366,789 \text{ N/mm}^2}}$$

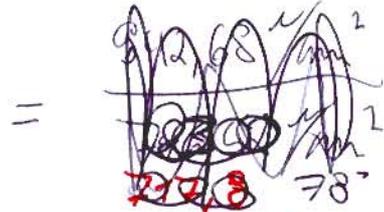
$$G_{red, B} = \sqrt{G_{z \max}^2 + 3 \cdot (k_{\tau} \cdot \tau_{\max})^2}$$

$$= \sqrt{(716,52 \text{ N/mm}^2)^2 + 3 \cdot (0,5 \cdot 366,789 \text{ N/mm}^2)^2}$$

$$= \underline{\underline{783,77 \text{ N/mm}^2}}$$

$k_{\tau} = 0,5$
empfohlen

$$S_F = \frac{R_{p0,2 \text{ min}}}{G_{red, B}} \geq 1,0$$



$$\frac{942,68 \text{ N/mm}^2}{783,77 \text{ N/mm}^2}$$

$$R_{p0,2 \text{ min}} = 942,68 \text{ N/mm}^2$$

$$= 1,203 \geq 1,0$$

✓ erfüllt

Fließgrenze: bei 10,9
=> x y

Zugfestigkeit: 1000 N/mm²

Streckgrenze: 1000 N/mm² · 0,9 = 900 N/mm²

29) Ermittlung der Schwingbeanspruchung G_a

$$G_a = \frac{F_{SA0} - F_{SAcc}}{2 \cdot A_s}$$

$$S_D = \frac{G_{AS}}{G_a} \geq 1,0$$

$S_D = 1,2$
(Dauerbruch)

$$G_{ASV} = 0,85 \cdot \left(\frac{150}{d} + 45 \right) \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

(schlüssvergrößerte Schrauben, elastisch angezogen!)

$$\Rightarrow G_{ASV} = 0,85 \cdot \left(\frac{150}{16} + 45 \right) = 46,22 \text{ N/mm}^2$$

Maximale Betriebskraft

$$F_{A0} = 50,02 \text{ kN}$$

$$F_{SA0} = 2,275 \text{ kN}$$

Minimale Betriebskraft

$$F_{Au} = 7,9 \text{ kN}$$

$$F_{SAu} = 598,12 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow G_a &= \frac{F_{SA0} - F_{SAu}}{\alpha \cdot A_s} \\ &= \frac{2275 \text{ N} - 598,12 \text{ N}}{\alpha \cdot 157 \text{ mm}^2} \\ &= 5,33 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow s_D = \frac{G_{ASV}}{G_a} \geq 1 \Rightarrow \sigma_{AS} = 6,35 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = 6,7 \geq 1$$

\Rightarrow Bed. erfüllt!

R 10) Ermittlung der Flächenpressung p_{\max} (15)

$$p_{M\max} = \frac{F_M}{A_{pmi}} \leq p_G$$

$$p_{B\max} = \frac{F_M + F_{SA}}{A_{pmi}} = \frac{F_{SB}}{A_{pmi}} \leq p_G$$

$$A_{pmi} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{ap\max}^2 - d_{ap\min}^2)$$
$$= \underline{438,06 \text{ mm}^2}$$

$$d_{ap\max} = 30 \text{ mm}$$

$$d_{ap\min} = 18,5 \text{ mm}$$

$$p_G \text{ für St 50-2} \Rightarrow 710 \text{ N/mm}^2$$
$$\text{für GJL-260G} \Rightarrow 600 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{M\max} = 251,61 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{B\max} = 256,8 \text{ N/mm}^2$$

R 11) Ermittlung der Mindesteinschraubtiefe $m_{\text{eff min}}$

$$\text{ESV} \Rightarrow \sigma_{B\min} = 290 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow 10 \cdot 9 \cdot \frac{m_{\text{eff min}}}{d} \approx 1,6$$

$$\Rightarrow m_{\text{eff min}} = 25,6 \text{ mm}$$



zu Kontrolle:

$$m_{\text{vorkeff}} = L - l_k - h_3 - H_1 - 0,8 \cdot p$$

$$p = \text{Stagging}$$

$$h_3 = 1,227$$

$$H_1 = 1,083$$

$$L = 70 \text{ mm}$$

$$l_k = 38 \text{ mm}$$

$$p = 2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow m_{\text{vorkeff}} = \underline{\underline{28,09 \text{ mm}}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\text{erfüllt}}}$$

B12) Ermittlung der Sicherheit gegen Gleiten S_G

$$\begin{aligned} F_{kZ \text{ min}} &= \frac{F_M}{\alpha_A} - (1 - \phi_n) \cdot F_{N \text{ max}} - F_Z - F_{kp} \\ &= \frac{110,22 \text{ kN}}{1,6} - (1 - 0,0757) \cdot 30,2 \text{ kN} - 6,698 \text{ kN} - \\ & \qquad \qquad \qquad 27,458 \text{ kN} \\ &= \underline{\underline{12,983 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

~~12,983~~

$$S_G = \frac{F_{kZ \text{ min}}}{F_{kZ \text{ erf}}} = \frac{12,983 \text{ kN}}{3,937 \text{ kN}} = \underline{\underline{3,298}} \geq 1 \quad \checkmark$$

R 13) Ermittlung des Anrichdrehmomentes

M_A

$$d_{KM} = \frac{d_w + d_{s_{\max}}}{2} =$$
$$\frac{23,77 \text{ m} + \overset{16,5}{\cancel{17}}}{2} = \underline{\underline{20,085}}$$

$$\Rightarrow M_A = \underline{\underline{337,1 \text{ Nm}}}$$

by Christoph
u. Benjamin

2004