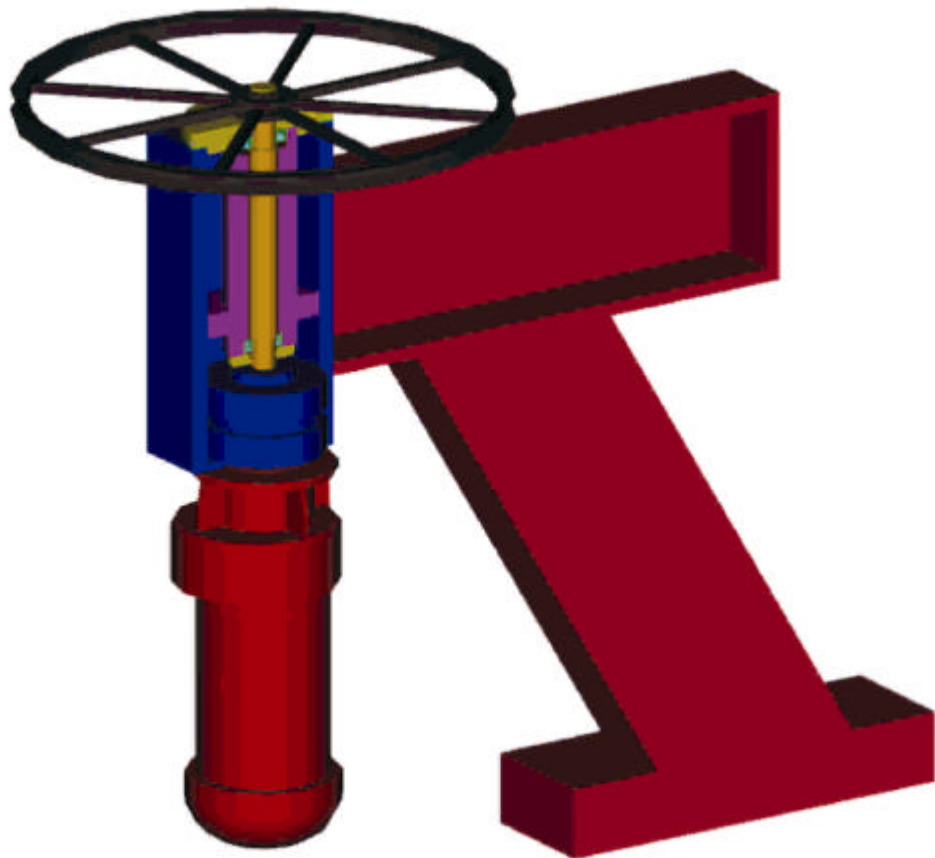


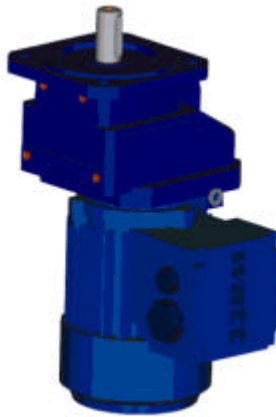
Berechnungen zu Beleg Sommersemester
„Seilbahnantrieb“

Angaben aus Aufgabenstellung:

Bauhöhe	[mm]	:	1800
Seilscheibendurchmesser	[mm]	:	1000
Nennleistung	[kW]	:	15
Fahrgeschwindigkeit	[m/s]	:	7
Lebensdauer L_{erf}	[h]	:	22000
Reibwert (i)		:	0,09
$\hat{\alpha} = \hat{\delta}$	[°]	:	180
Betriebsfaktor c_B		:	1,2
(Überlastung) c_S		:	3
Wellenwerkstoff		:	20MnCr5



Motorauswahl:



$$n_{ab} = \frac{v * 60s}{D * p * \min} = \frac{7m * 60s}{s * 1m * p * \min} = \frac{420}{p} = 133,69 \text{ min}^{-1} \approx 134 \text{ min}^{-1}$$

Auswahl des Motors mittels P und n_{ab} .

ABTRIEBS- LEISTUNG Output power Puissance de sortie	ABTRIEBSDREHZAHLEN / Output speed / Vitesse de sortie						$n_2 \text{ min}^{-1}$ $M_2 \text{ Nm}$ f_u	TYPE	Gewicht - ca. Weight approx. Poids est.	ca. Amp beim 380V A	Maßbild / Seite Currenty page Cote / page	Preis Nr Price/Prix No	
	Abtriebsdrehmomente / Output torques / Couple de sortie												
	Betriebsfaktoren / Service factors / Facteurs de service												
15 kW	21.5	24.1	27	30	33	36		HG 6RD 160L4	425	29.6	60	H1326	
	6676	5937	5316	4788	4332	3935							
	1.0	1.15	1.25	1.4	1.5	1.7							
	31	34	39	45	51	55		HG 5RD 160L4	315	29.6	59	H1327	
	4570	4165	3641	3199	2819	2595							
	0.93	1.0	1.15	1.3	1.5	1.6							
	48	54	59					HG 4RD 160L4	256	29.6	57	H1328	
	3018	2660	2448										
	0.87	1.0	1.05										
	56	62	68	74				HG 5RC 160L4	310	29.6	56	H1329	
	2566	2322	2114	1937									
	1.25	1.5	1.6	1.8									
	59	65	72	78	82	106		HG 4RC 160L4	251	29.6	56	H1330	
	2421	2190	1995	1827	1555	1343							
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.8							
	80	91	102	114	128	140		HG 3ZA 160L4	200	29.6	54	H1331	
1790	1574	1404	1257	1119	1023								
0.95	1.1	1.2	1.35	1.5	1.6								
128	140	154	177				HG 3NA 160L4	190	29.6	52	H1332		
1120	1020	930	809										
0.8	1.1	1.25	1.45										
157	180	204	230	257	285	315		HG 3NB 160L4	190	29.6	52	H1333	
910	795	700	620	560	505	455							
1.15	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8							
347	398	455	516				HG 3NB 160L4	190	29.6	52	H1334		
415	360	315	280										
1.8	2.0	2.1	2.3										
306	351	398	448	500	555	614	676		HG 3NE 160L4	170	29.5	64	H1335
467	408	360	320	287	258	233	212						
0.9	1.05	1.15	1.25	1.4	1.5	1.6	1.7						
776	886	1007					HG 3NE 160L4	170	29.6	64	H1336		
185	162	142											
1.8	2.2	2.3											

Gewicht [kg] : 190
 Stromstärke [A] : 29,6 bei 380 V
 Abtriebsdrehmoment [Nm] : 1020

Berechnung des Wellendurchmessers

benötigte Werte:

a	[mm]	:	80
S _F		:	1,5
S _D		:	3
ó _S	[N/mm ²]	:	730
ó _{bW}	[N/mm ²]	:	550

$$F_{Re\ s} = F_1 + F_2$$

$$M_t = F_N * \frac{D}{2}$$

$$F_N = \frac{2 * M_t}{D}$$

$$F_N = \frac{2 * 1020\ Nm}{1m}$$

$$F_N = 2040\ N$$

$$F_N = F_1 - F_2 = F_2 * (e^{mb} - 1)$$

$$F_2 = \frac{F_N}{(e^{mb} - 1)} = \frac{2040}{(e^{0,09 * p} - 1)} = \underline{6243,0265\ N \approx 6243\ N}$$

$$F_1 = F_2 + F_N$$

$$F_1 = 6243\ N + 2040\ N = \underline{8283,0265\ N \approx 8283\ N}$$

$$F_{Re\ s} = F_1 + F_2$$

$$F_{Re\ s} = 8283\ N + 6243\ N$$

$$F_{Re\ s} = \underline{14526,053\ N \approx 14526\ N}$$

$$F_{Re\ s\ im\ Betrieb} = F_{Re\ s} * c_B = 14526\ N * 1,2 = \underline{17431,2636\ N \approx 17431,3\ N}$$

unter 30% Vorspannung g F₁

$$F_2 = \underline{8115,9344\ N \approx 8116\ N}$$

$$F_1 = \underline{10155,9344\ N \approx 10156\ N}$$

$$F_{Re\ s} = \underline{18271,8688\ N \approx 18272\ N}$$

$$F_{Re\ s\ im\ Betrieb} = \underline{21923,24256\ N \approx 21923,2\ N}$$

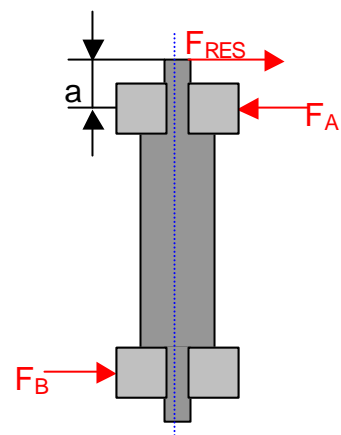
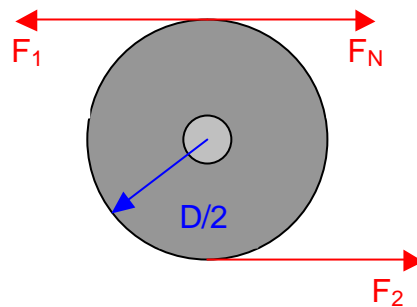
Berechnung des Wellendurchmessers

$$d_F = \sqrt[3]{\frac{F_{Re\ s} * a * c_s * s_F * 32}{p * s_s}} = \sqrt[3]{\frac{17431,3\ N * 80\ mm * 3 * 1,5 * 32 * mm^2}{p * 730\ N}}$$

$$\underline{\underline{d_F = 44,405\ mm}}$$

$$d_W = \sqrt[3]{\frac{F_{RES} * a * s_D * 32}{p * s_{bW}}} = \sqrt[3]{\frac{17431,3\ N * 80\ mm * 3 * 32 * mm^2}{p * 550\ N}}$$

$$\underline{\underline{d_W = 42,63\ mm}}$$



ausgewählter Wellendurchmesser: 45 mm

Berechnung des Wellendurchmesser mit 30% Vorspannung

$$d_F = \sqrt[3]{\frac{F_{Res} * a * c_s * s_F * 32}{p * s_s}} = \sqrt[3]{\frac{21923,2N * 80mm * 3 * 1,5 * 32 * mm^2}{p * 730N}}$$

$$d_F = 47,932mm$$

$$d_W = \sqrt[3]{\frac{F_{RES} * a * s_D * 32}{p * s_{bW}}} = \sqrt[3]{\frac{21923,2N * 80mm * 3 * 32 * mm^2}{p * 550N}}$$

$$d_W = 46,02mm$$

ausgewählter Wellendurchmesser: 50 mm

Aufgrund der höheren Sicherheit ist der Wellendurchmesser. 50mm

Auswahl des Wellenwerkstoffes

Einsatzstähle nach DIN EN 10084

17Cr3	1.7016	700	-	-	Höhere Beanspruchung, größere Teile: Prüfmittel, Nockenwellen, Zahnräder, Wellen, Kolbenbolzen, Kupplungsteile
20MoCr4	1.7321	800	-	-	
16MnCr5	1.7131	900	-	-	
20MnCr5	1.7147	1000	-	-	

Auswahl Seil

$$F_{min} = c_s * S * F_1$$

$$F_{min} = 3 * 5 * 10156N$$

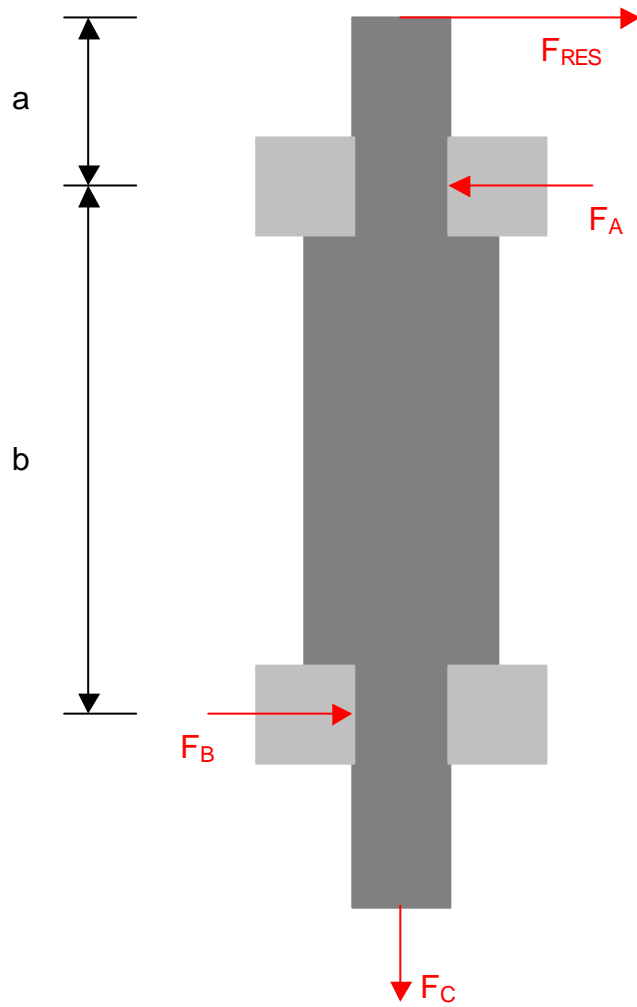
$$F_{min} = 152339,0174N \approx 152,34kN$$

Seilauswahl aus Tabelle

Seilnenn-durchmesser		Längengewicht ca.		Rechnerische Bruchkraft bei einer Nennfestigkeit der Drähte von				Mindestbruchkraft bei einer Nennfestigkeit der Drähte von			
		Faser-Einlage FE	Stahl-** Einlage SE	1770 N/mm ²		1960 N/mm ²		1770 N/mm ²		1960 N/mm ²	
mm	Zoll	kg/m	kg/m	FE kN	SE kN	FE kN	SE kN	FE kN	SE kN	FE kN	SE kN
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8		0,222	0,267	36,7	51,1	42,8	56,5	32,5	38,3	35,9	42,5
9		0,281	0,338	46,9	64,6	54,2	71,6	41,2	48,5	45,5	53,7
10*		0,347	0,417	60,4	79,8	66,9	88,4	50,8	59,9	56,2	66,3
11*	7/16	0,422	0,505	73,1	96,5	81,0	107	61,4	72,5	68,0	80,3
12*		0,502	0,601	87,0	115	96,4	127	73,1	86,3	80,9	95,5
13*	1/2	0,589	0,705	102	135	113	149	85,9	101	95,0	112
14*		0,683	0,817	119	156	131	173	99,6	117	110	130
14,5	9/16	0,733	0,877	127	168	141	186	107	126	118	139
15*		0,784	0,938	136	180	151	199	114	135	127	149
16*	5/8	0,892	1,07	155	204	171	226	130	153	144	170

Drachtseil mit Fasereinlage Ø = 16mm

Berechnung der Lagerkräfte



a	[mm]	:	80
b	[mm]	:	300

$$\rightarrow: F_B + F_{RES} - F_A = 0$$

$$\hat{A}: F_{RES} * a - F_B * b = 0$$

$$\hat{B}: F_{RES} * (a + b) - F_A * b = 0$$

$$F_B = \frac{F_{RES} * a}{b} = \frac{14526N * 0,08m}{0,3m} = \underline{\underline{3873,614133N \approx 3874N}}$$

$$F_A = \frac{F_{RES} * (a + b)}{b} = \frac{14526N * (0,08m + 0,3m)}{0,3m} = \underline{\underline{18399,66713N \approx 18400N}}$$

mit 30% Vorspannung

$$F_B = \frac{F_{RES} * a}{b} = \frac{21923,2N * 0,08m}{0,3m} = \underline{\underline{5846,198017N \approx 5846,2N}}$$

$$F_A = \frac{F_{RES} * (a + b)}{b} = \frac{21923,2N * (0,08m + 0,3m)}{0,3m} = \underline{\underline{27769,44058N \approx 27769,4N}}$$

$$F_C = (m_w + m_s) * g$$

$$m = \rho * V$$

$$V = \frac{\rho}{4} d^2 * l$$

$$V_w = \frac{\rho}{4} [(0,05m)^2 * 0,08m] + [(0,06m)^2 * 0,3m] + [(0,05m)^2 * 0,08m] = \underline{\underline{0,00116238m^3 \approx 0,00116m^3}}$$

$$V_s = \frac{\rho}{4} * 1m * 0,03m = \underline{\underline{0,0235619m^3 \approx 0,0236m^3}}$$

$$\rho \quad \quad \quad [kg/m^3] \quad \quad \quad : \quad \quad 7800$$

$$m_w = 7800 \frac{kg}{m^3} * 0,00116m^3 = \underline{\underline{9,0666364kg \approx 9,07kg}}$$

$$m_s = 7800 \frac{kg}{m^3} * 0,0236m^3 = \underline{\underline{183,78282m^3 \approx 183,8kg}}$$

$$m = m_w + m_s = \underline{\underline{192,8494564kg \approx 192,8kg}}$$

$$F_C = 193,5kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = \underline{\underline{1891,853167N \approx 1891,9N}}$$

F_C wird kleiner da es mit der Masse einer Vollscheibe berechnet ist

Berechnung der Lager

getroffene Vorauswahl für Lager A Loslager: einreihiges Zylinderrollenlager
für Lager B Festlager: zweireihiges Schrägkugellager

$$P = X * F_R + Y * F_a$$

$$\text{Lager A} \Rightarrow \frac{F_a}{F_R} = \frac{1891,9N}{18400N} = 0,1 \leq e = 0,17$$

$$\text{Lager B} \Rightarrow \frac{F_a}{F_R} = \frac{1891,9N}{3874N} = 0,488 \leq e = 0,68$$

mit 30% Vorspannung

$$\text{Lager A} \Rightarrow \frac{F_a}{F_R} = 0,068$$

$$\text{Lager B} \Rightarrow \frac{F_a}{F_R} = 0,323$$

Berechnung von P für Lager A:

$$c_{erf} = P * \sqrt[3]{\frac{10 L_{erf} * n * 60}{10^6}}$$

$$P(LA) = F_R = 18400N$$

$$P(LB) = F_R + 0,92 * F_a = 3874N + 0,92 * 1891,9N = \underline{\underline{5613,42N \approx 5613,4N}}$$

$$c_{erf}(LA) = 18400N * \sqrt[3]{\frac{22000h * 134 * 60}{10^6 \text{ min}}}$$

$$c_{erf}(LA) = \underline{\underline{86585,39951N \approx 86kN}}$$

$$c_{erf}(LB) = 5613,4N * \sqrt[3]{\frac{22000h * 134 * 60}{10^6 \text{ min}}}$$

$$c_{erf}(LB) = \underline{\underline{31486,07235N \approx 31,5kN}}$$

Auswahl der Lager mittels c_{erf} aus FAG Katalog:

Lager A N310E.TVP2 mit Wellen $\varnothing d_1 = 50 \text{ mm}$ $c = 110 \text{ kN}$

Lager B 3210B.2RSR.TVH mit Wellen $\varnothing d_2 = 50 \text{ mm}$ $c = 51 \text{ kN}$

Berechnung c_{erf} mit 30% Vorspannung

$$c_{erf}(LA) = \underline{\underline{131089,8263N \approx 131,1kN}}$$

$$c_{erf}(LB) = \underline{\underline{42554,59845N \approx 42,6kN}}$$

Auswahl der Lager mittels c_{erf} aus FAG Katalog:

Lager A N2310E.TVP2 mit Wellen $\varnothing d_1 = 50 \text{ mm}$ $c = 163 \text{ kN}$

Lager B 3210B.2RSR.TVH mit Wellen $\varnothing d_2 = 50 \text{ mm}$ $c = 51 \text{ kN}$

Berechnung Lebensdauer

$$L_h = \frac{16666}{n} * \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$$L_h(LA) = \frac{16666}{134 \text{ min}} * \left(\frac{110 \text{ kN}}{18,4 \text{ N}} \right)^{\frac{10}{3}} = \underline{\underline{48340,97h}}$$

$$L_h(LB) = \frac{16666}{134 \text{ min}} * \left(\frac{51 \text{ kN}}{5,613 \text{ kN}} \right)^3 = \underline{\underline{93293,63h}}$$

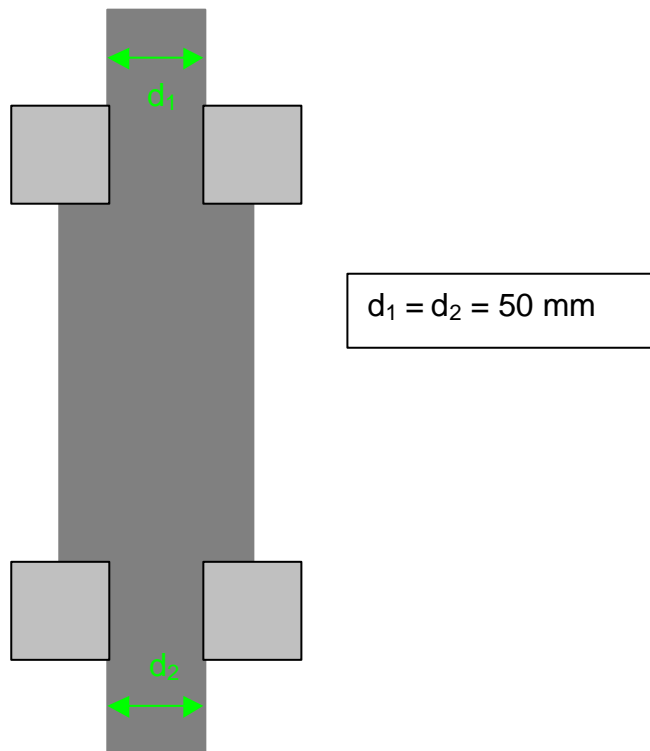
Lebensdauer mit 30% Vorspannung

$$L_h(LA) = \underline{\underline{24593,54h}}$$

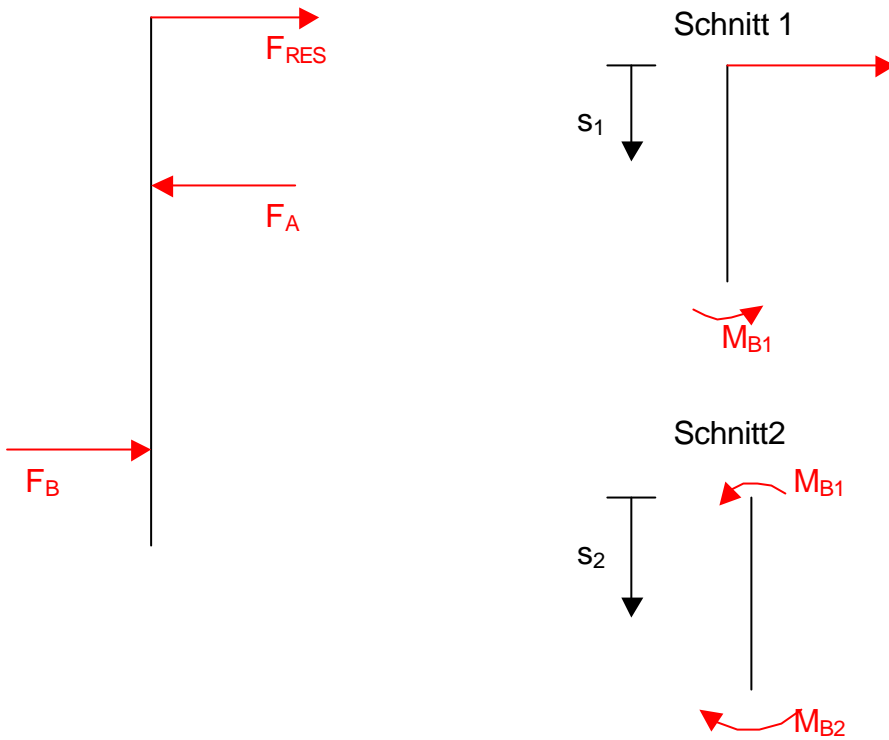
$$L_h(LB) = \underline{\underline{66867,57h}}$$

bei 30% Vorspannung muß ein anderes Lager mit größerem c_{eff} gewählt werden

Skizze der „neuen“ Welle



Berechnung Biegung



Schnitt1

$$M_{B1} = F_{res} * s$$

$$s = 0 \Rightarrow M_{B1} = 0$$

$$s = 80\text{mm} \Rightarrow M_{B1} = \underline{\underline{1394,504\text{Nm} \approx 1395\text{Nm}}}$$

mit 30% Vorspannung

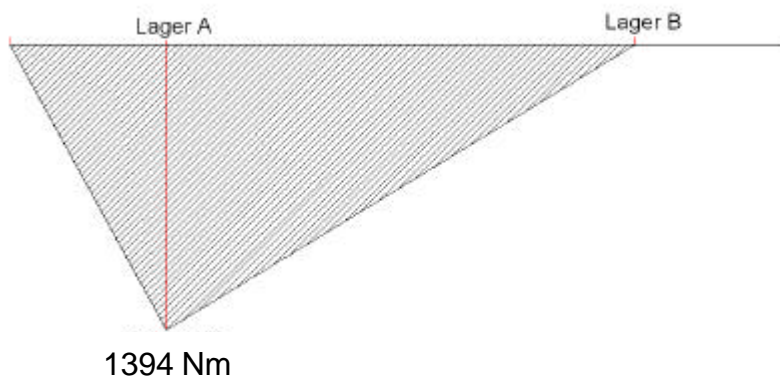
$$M_{B1} = \underline{\underline{1753,856\text{Nm} \approx 1754\text{Nm}}}$$

Schnitt2

$$M_{B2} = M_{B1} - F_B * s$$

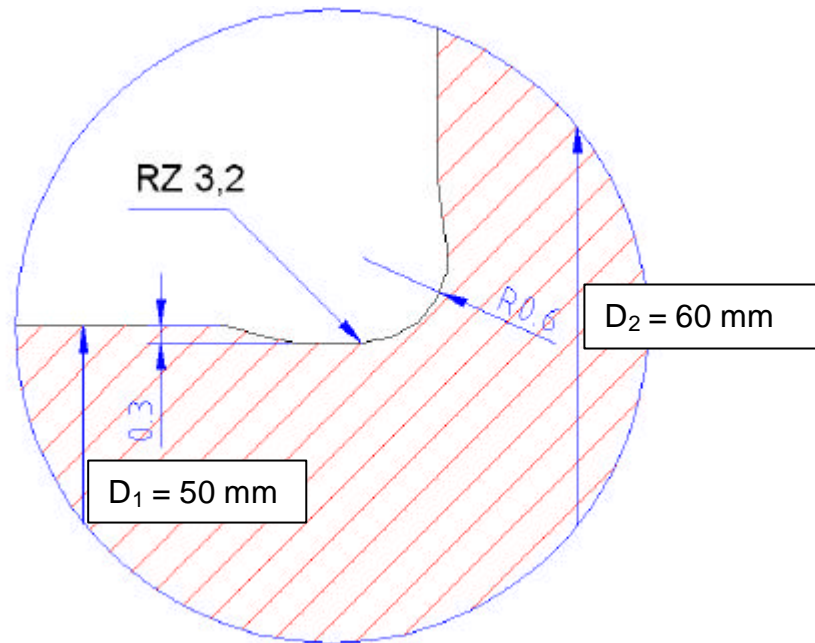
$$s = 0 \Rightarrow M_{B2} = M_{B1}$$

$$s = 300\text{mm} \Rightarrow M_{B2} = \underline{\underline{0\text{Nm}}}$$



Berechnung der Dauerfestigkeit

Welle mit Freistich



Wellenwerkstoff : 20MnCr5

σ_B	[N/mm ²]	:	1100
σ_S	[N/mm ²]	:	730
$\sigma_{z,dW}$	[N/mm ²]	:	440
σ_{bW}	[N/mm ²]	:	550
τ_{tW}	[N/mm ²]	:	330

Bestimmung des Größeneinflussfaktors $K_1(d)$ für $D_2 = 60\text{mm}$

Streckgrenze

$$K_1 = 1 - 0,41 * \lg\left(\frac{d_{eff}}{d_b}\right) \quad d_b = 11\text{mm}$$

$$K_1 = 1 - 0,41 * \lg\left(\frac{60\text{mm}}{11\text{mm}}\right)$$

$$K_1 = 0,698$$

Zugfestigkeit

$$\underline{K_{1sb} = K_{1ss} = 0,698}$$

Bestimmung des geometrischen Größeneinflusses $K_2(d)$ für $d = 49,4\text{ mm}$

$$K_2(d) = 1 - 0,2 * \frac{\lg(d / 7,5\text{mm})}{\lg 20\text{mm}}$$

$$K_2(d) = 1 - 0,2 * \frac{\lg(49,4\text{mm} / 7,5\text{mm})}{\lg 20\text{mm}}$$

$$K_2(d) = 0,874$$

Bestimmung der bezogenen Spannungsfälle G' mit φ

$$j = \frac{1}{4 * \sqrt{\frac{t}{r} + 2}}$$

$$j = \frac{1}{4 * \sqrt{\frac{0,3mm}{0,6mm} + 2}}$$

$$j = 0,207106$$

Biegung

$$G' = 2,3 * \frac{(1+j)}{r} = 2,3 * \frac{(1+0,207106)}{0,6mm} = 4,6272 \approx 4,63$$

Torsion

$$G' = \frac{1,15}{r} = \frac{1,15}{0,6mm} = 1,9166 \approx 1,92$$

Bestimmung der Stützzahl n mit

$$s_s(d) = K_1(d) * s_s(d_b)$$

$$t_{tF}(d) = s_s(d) * K_{2F} / \sqrt{3}$$

$$s_s(d) = 0,698 * 730 \text{ N/mm}^2$$

$$s_s(d) = 509,54 \text{ N/mm}^2 \gg 510 \text{ MPa}$$

$$t_{tF}(d) = 510 \text{ MPa} * 1,2 / \sqrt{3}$$

$$t_{tF}(d) = 353,0197 \text{ N/mm}^2 \gg 353 \text{ MPa}$$

Biegung

$$n = 1 + \sqrt{G' * mm} * 10^{-\left(0,33 + \frac{s_s(d)}{712 \text{ N/mm}^2}\right)}$$

$$n = 1 + \sqrt{4,63 * mm} * 10^{-\left(0,33 + \frac{510 \text{ MPa}}{712 \text{ MPa}}\right)}$$

$$n = 1,194 \approx 1,2$$

Torsion

$$n = 1 + \sqrt{G' * mm} * 10^{-\left(0,33 + \frac{t_{tF}}{712 \text{ N/mm}^2}\right)}$$

$$n = 1 + \sqrt{1,92 * mm} * 10^{-\left(0,33 + \frac{353 \text{ MPa}}{712 \text{ MPa}}\right)}$$

$$n = 1,207 \approx 1,2$$

Bestimmung der Formzahl $\alpha_{\sigma, \tau}$

Biegung

Rundnut : $d = 49,4\text{mm}; t = 0,3\text{mm}; r = 0,6\text{mm}$

$$\mathbf{a}_{sR} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,2 * \frac{r}{t} + 5,5 * \frac{r}{d} * \left(1 + 2 * \frac{r}{d}\right)^2}}$$

$$\mathbf{a}_{sR} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,2 * \frac{0,6\text{mm}}{0,3\text{mm}} + 5,5 * \frac{0,6\text{mm}}{49,4\text{mm}} * \left(1 + 2 * \frac{0,6\text{mm}}{49,4\text{mm}}\right)^2}}$$

$$\underline{\mathbf{a}_{sR} = 2,4585 \approx 2,5}$$

Absatz : $D = 60\text{mm}; d = 49,4\text{mm}; t = 5,3\text{mm}$

$$\mathbf{a}_{sA} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,62 * \frac{r}{t} + 11,6 * \frac{r}{d} * \left(1 + 2 * \frac{r}{d}\right)^2 + 0,2 * \frac{d}{D} * \left(\frac{r}{t}\right)^3}}$$

$$\mathbf{a}_{sA} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,62 * \frac{0,6\text{mm}}{5,3\text{mm}} + 11,6 * \frac{0,6\text{mm}}{49,4\text{mm}} * \left(1 + 2 * \frac{0,6\text{mm}}{49,4\text{mm}}\right)^2 + 0,2 * \frac{49,4\text{mm}}{60\text{mm}} * \left(\frac{0,6\text{mm}}{5,3\text{mm}}\right)^3}}$$

$$\underline{\mathbf{a}_{sA} = 3,1406 \approx 3,14}$$

Absatz mit Freistich

$$\mathbf{a}_{sF} = (\mathbf{a}_{sR} - \mathbf{a}_{sA}) * \sqrt{\frac{D_1 - d}{D - d}} + \mathbf{a}_{sA}$$

$$\mathbf{a}_{sF} = (2,5 - 3,14) * \sqrt{\frac{50\text{mm} - 49,4\text{mm}}{60\text{mm} - 49,4\text{mm}}} + 3,14$$

$$\underline{\underline{\mathbf{a}_{sF} = 2,9783 \approx 3}}$$

Torsion

Rundnut : $d = 49,4\text{mm}; t = 0,3\text{mm}; r = 0,6\text{mm}$

$$\mathbf{a}_{tR} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,7 * \frac{r}{t} + 20,6 * \frac{r}{d} * \left(1 + 2 * \frac{r}{d}\right)^2}}$$

$$\mathbf{a}_{tR} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,7 * \frac{0,6\text{mm}}{0,3\text{mm}} + 20,6 * \frac{0,6\text{mm}}{49,4\text{mm}} * \left(1 + 2 * \frac{0,6\text{mm}}{49,4\text{mm}}\right)^2}}$$

$$\underline{\mathbf{a}_{tR} = 1,7756 \approx 1,8}$$

Absatz: $D = 60\text{mm}$; $d = 49,4\text{mm}$; $t = 5,3$

$$a_{tA} = 1 + \frac{1}{\sqrt{3,4 * \frac{r}{t} + 38 * \frac{r}{d} * \left(1 + 2 * \frac{r}{d}\right)^2 + \frac{d}{D} * \left(\frac{r}{t}\right)^2}}$$

$$a_{tA} = 1 + \frac{1}{\sqrt{3,4 * \frac{0,6\text{mm}}{5,3\text{mm}} + 38 * \frac{0,6\text{mm}}{49,4\text{mm}} * \left(1 + 2 * \frac{0,6\text{mm}}{49,4\text{mm}}\right)^2 + \frac{49,4\text{mm}}{60\text{mm}} * \left(\frac{0,6\text{mm}}{5,3\text{mm}}\right)^2}}$$

$$a_{tA} = 2,0662 \approx 2,1$$

Absatz mit Freistich

$$a_{tF} = 1,04 * a_{tA}$$

$$a_{tF} = 1,04 * 2,1$$

$$a_{tF} = 2,1488 \approx 2,15$$

Bestimmung der Kerbwirkungszahl

$$b_s = \frac{a_s}{n} = \frac{3}{1,2} = 2,494 \approx 2,5$$

$$b_t = \frac{a_t}{n} = \frac{2,18}{1,18} = 1,78 \approx 1,8$$

Bestimmung des Einflusses der Oberflächenrauheit $\sigma_B(d) = \sigma_B(d_B) = 900 \text{ N/mm}^2$

Biegung

$$K_{Fs} = 1 - 0,22 * \lg\left(\frac{R_z}{\text{mm}}\right) * \left(\lg \frac{\sigma_B(d)}{20\text{MPa}} - 1\right)$$

$$K_{Fs} = 1 - 0,22 * \lg\left(\frac{3,2}{\text{mm}}\right) * \left(\lg \frac{1100\text{MPa}}{20\text{MPa}} - 1\right)$$

$$K_{Fs} = 0,917721 \approx 0,918$$

Torsion

$$K_{Ft} = 0,575 * K_{Fs} + 0,425$$

$$K_{Ft} = 0,575 * 0,918 + 0,425$$

$$K_{Ft} = 0,95268 \approx 0,95$$

Bestimmung des Gesamteinflussfaktors ($K_V=1$)

$$K_s = \left(\frac{b_s}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{Fs}} - 1\right) * \frac{1}{K_V}$$

$$K_s = \left(\frac{2,5}{0,847} + \frac{1}{0,918} - 1\right) * \frac{1}{1}$$

$$K_s = 3,034 \approx 3$$

$$K_t = \left(\frac{b_t}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{Ft}} - 1 \right) * \frac{1}{K_v}$$

$$K_t = \left(\frac{1,8}{0,95} + \frac{1}{0,95} - 1 \right) * \frac{1}{1}$$

$$\underline{K_t = 1,918 \approx 1,9}$$

Bestimmung der Wechselfestigkeit des gekerbten Bauteils $K_1(d) = 0,8417$

Biegung

$$s_{wK} = \frac{s_{bw} * K_1(d)}{K_s}$$

$$s_{wK} = \frac{550N/mm^2 * 0,698}{3}$$

$$\underline{s_{wK} = 126,5326N/mm^2 \approx 126MPa}$$

Torsion

$$t_{wK} = \frac{t_{TW} * K_1(d)}{K_t}$$

$$t_{wK} = \frac{330N/mm^2 * 0,698}{1,9}$$

$$\underline{t_{wK} = 120,0938N/mm^2 \approx 120,1MPa}$$

Bestimmung der Mittelspannungsempfindlichkeit

Biegung

$$y_{sK} = \frac{s_{wK}(d)}{2 * s_B(d) * K_1(d_{eff}) - s_{wK}(d)}$$

$$y_{sK} = \frac{126N/mm^2}{2 * 1100N/mm^2 * 0,698 - 126N/mm^2}$$

$$\underline{y_{sK} = 0,08979 \approx 0,09}$$

Torsion

$$y_{tK} = \frac{t_{wK}(d)}{2 * s_B(d) * K_1(d_{eff}) - t_{wK}(d)}$$

$$y_{sK} = \frac{120,1N/mm^2}{2 * 1100N/mm^2 * 0,698 - 120,1N/mm^2}$$

$$\underline{y_{sK} = 0,08484 \approx 0,085}$$

Bestimmung der Wellenbeanspruchung $d = 54,4$

Biegung

$$s = \frac{M_b}{W_b}$$

$$W_b = \frac{p * d^3}{32} = \frac{p * (65\text{mm})^3}{32} = 26961,24633\text{mm}^3 \approx 26961,25\text{mm}^3$$

$$\sigma_a = \frac{M_{ba}}{W_b} \quad \sigma_{\max} = \frac{M_{b \max}}{W_b}$$

$$M_{ba} = M_b = 1394501,088\text{Nmm} \approx 1394501\text{Nmm}$$

$$M_{b \max} = M_b * c_s = 2193000\text{Nmm} * 3 = 4183503,264\text{Nmm} \approx 4183503,3\text{Nmm}$$

$$\sigma_a = 51,7224 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx 52\text{MPa}$$

$$\sigma_{\max} = 155,1672 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx 155,2\text{Mpa}$$

$$s_m = 0$$

bei 30% Vorspannung

$$\sigma_a = 65,0511 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx 65\text{MPa} \quad \sigma_{\max} = 195,1533 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx 195,2\text{Mpa}$$

Torsion

$$t_t = \frac{M_t}{W_t} \quad W_t = 2 * W_b$$

$$M_{tn} = \frac{P}{v}$$

$$v = 2 * p * n = 2 * p * 134 \text{ min}^{-1} = 839,999 \text{ min}^{-1} \approx 13,9999 \text{ s}^{-1}$$

$$M_{tn} = \frac{15000\text{W}}{13,999\text{s}^{-1}} = 1071,4285\text{Nm} * 1000 = 1071428,584\text{Nmm} \approx 1071429\text{Nmm}$$

$$M_{tm} = M_{tn}$$

$$M_{ta} = M_{tn} * (c_{B-1})$$

$$M_{ta} = 1071429\text{Nmm} * 0,2$$

$$M_{ta} = 214285,7168\text{Nmm}$$

$$M_{t \max} = M_{tn} * c_s$$

$$M_{t \max} = 1071429\text{Nmm} * 3$$

$$M_{t \max} = 3214285,752\text{Nmm}$$

$$t_{tm} = 33,89507 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx 34\text{MPa}$$

$$t_{ta} = 6,77901 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx 6,8\text{MPa}$$

$$t_{t \max} = 101,68523 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx 101,7\text{MPa}$$

Bestimmung der Vergleichsspannung

Biegung

$$\begin{aligned} \mathbf{s}_{mv} &= \sqrt{\mathbf{s}_{mb} + 3 * \mathbf{t}_{tm}^2} \\ \mathbf{s}_{mv} &= \sqrt{0 + 3 * 34 \text{MPa}^2} \\ \mathbf{s}_{mv} &= 58,707 \text{MPa} \approx 58,7 \text{MPa} \end{aligned}$$

Torsion

$$\mathbf{t}_{mv} = \frac{\mathbf{s}_{mv}}{\sqrt{3}} = \frac{58,7 \text{MPa}}{\sqrt{3}} = 33,89507 \text{MPa}$$

Bestimmung der Ausschlagdauerfestigkeit des gekerbten Bauteils

Biegung

$$\begin{aligned} \mathbf{s}_{ADK} &= \mathbf{o}_{WK} - \mathbf{y}_{oK} * \mathbf{o}_{mV} \\ \mathbf{s}_{ADK} &= 126,5 \text{MPa} - 0,09 * 58,7 \text{MPa} \\ \mathbf{s}_{ADK} &= 121,26 \text{MPa} \approx 121,3 \text{MPa} \end{aligned}$$

Torsion

$$\begin{aligned} \mathbf{t}_{ADK} &= \mathbf{t}_{WK} - \mathbf{y}_{tK} * \mathbf{t}_{mV} \\ \mathbf{t}_{ADK} &= 120,1 \text{MPa} - 0,085 * 34 \text{MPa} \\ \mathbf{t}_{ADK} &= 117,21 \text{MPa} \approx 117,2 \text{MPa} \end{aligned}$$

Bestimmung der Resultierenden Sicherheit gegen Dauerbruch

$$\begin{aligned} s_D &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\mathbf{s}_a}{\mathbf{s}_{ADK}}\right)^2 + \left(\frac{\mathbf{t}_a}{\mathbf{t}_{ADK}}\right)^2}} \\ s_D &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{52 \text{MPa}}{121,3 \text{MPa}}\right)^2 + \left(\frac{6,8 \text{MPa}}{117,2 \text{MPa}}\right)^2}} \\ \underline{\underline{s_D = 2,31}} \end{aligned}$$

bei 30% Vorspannung

$$\begin{aligned} s_D &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\mathbf{s}_a}{\mathbf{s}_{ADK}}\right)^2 + \left(\frac{\mathbf{t}_a}{\mathbf{t}_{ADK}}\right)^2}} = s_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{65 \text{MPa}}{121,3 \text{MPa}}\right)^2 + \left(\frac{6,8 \text{MPa}}{117,2 \text{MPa}}\right)^2}} \\ \underline{\underline{s_D = 1,85}} \end{aligned}$$

Bestimmung des Statischen Festigkeitswertes

Biegung

$$\sigma_{BFK} = K_1(d) * K_{2F} * g_F * s_s(d)$$

$$K_{2F} = 1,2$$

$$g_F = 1,1$$

$$s_{BFK} = 0,698 * 1,2 * 1,1 * 730 N / mm^2$$

$$s_{BFK} = 672,5928 \frac{N}{mm^2} \approx 672,6 MPa$$

Torsion

$$t_{iFK} = K_1(d) * K_{2F} * \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}}$$

$$t_{iFK} = 0,698 * 1,2 * \frac{730 N / mm^2}{\sqrt{3}}$$

$$t_{iFK} = 353,0196 N / mm^2 \approx 353 MPa$$

Bestimmung der Sicherheit gegen plastische Verformung

$$s_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{s_{\max}}{s_{FK}}\right)^2 + \left(\frac{t_{\max}}{t_{FK}}\right)^2}}$$

$$s_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{155,2 MPa}{672,6 MPa}\right)^2 + \left(\frac{101,7 MPa}{353 MPa}\right)^2}}$$

$$s_F = 2,72$$

bei 30% Vorspannung

$$s_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{195,2 MPa}{672,6 MPa}\right)^2 + \left(\frac{101,7 MPa}{353 MPa}\right)^2}}$$

$$s_F = 2,464$$

Die Sicherheitsberechnung ist ohne den Anteil des Drucks gerechnet, da dieser sich in nernachlässigbaren Maßen bemerkbar macht.

Auch bei 30% Vorspannung des Seils, ist die Sicherheit gegen Dauerbruch und plastische Verformung hoch genug, so daß die Wellendurchmesser $d_1 = 50 \text{ mm}$ und $d_2 = 60 \text{ mm}$ lauten.

Skizze der endgültigen Welle:



Berechnung der Paßfederverbindung Kupplung

$$p_{VOR} = \frac{F}{A} \leq p_{ZUL}$$

$$p_{ZUL} = \frac{s_s}{s_F} * j$$

$$A = \frac{F * s_F}{s_s * j} \quad s_F \text{ zwischen } 1,3 \text{ und } 2$$

$$A = \frac{2 * M_t * s_F}{d * s_s * j} = \frac{2 * 1071428,5 \text{ Nmm} * 2 \text{ mm}^2}{55 \text{ mm} * 730 \text{ N} * 0,75}$$

$$A = 142,3234 \text{ mm}^2$$

$$A = t_1 * L_n$$

$$L_n = \frac{A}{t_1} = \frac{142,3234 \text{ mm}^2}{6 \text{ mm}} = 23,7205 \text{ mm}$$

Wellendurchmesser $d = 50 \text{ mm}$

Paßfeder DIN 6885 – A16 x 10 x 50

FEM Variante Zylinderrollenlager / zweireihigem Schrägkugellager

