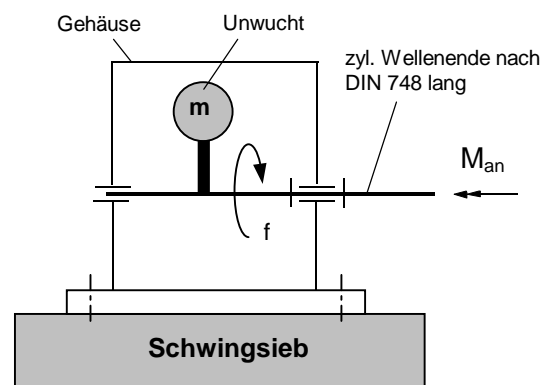


## Beleg stationärer Schwingungserreger

### Aufgabenstellung

Es ist eine Baugruppe zur Erregung eines Schwingensiebes zu entwerfen.

Angetrieben wird der Schwingungserreger über eine Kardanwelle durch einem Motor mit Bremse. Diese Teile sind nicht Bestandteil der Konstruktion, es müssen nur für weiterführende Arbeiten an der Gesamtanlage das Antriebsmoment und die Antriebsleistung bestimmt werden.



a) Prinzipskizze:

b) Vorgaben:

- Die Lebensdauer der Maschinenelemente soll 25000 Stunden nicht unterschreiten.
- Im Betrieb ist davon auszugehen, dass pro Minute zwei Anfahr- und Bremsvorgänge stattfinden wobei die Bremszeit näherungsweise dem Betrag der Anlaufzeit entspricht.
- Als statische Mindestsicherheit der Welle kann  $S_F = 1,3$  zugelassen werden.
- Die Dauerfestigkeit  $S_D$  darf nicht kleiner als 2 sein!
- Die Baugruppe ist mit dem Maschinengestell durch 4 Schrauben verbunden.
- Es ist ein geschlossenes Gehäuse vorzusehen, (geringe Stückzahlen sind zu erwarten)!
- Wälzlager sind als Fest-Loslagerung einzusetzen (siehe Schema)!

c) Belegumfang:

- Entwurfsrechnung
- Zusammenbauzeichnung mit Stückliste und Funktionsbeschreibung
- Einzelteilzeichnung der Welle
- Nachrechnung:
  - Wellensicherheit an zwei kritischen Stellen
  - Lagerneigung (zulässig bei Rillen-Kugellager: 10'; Zylinderrollenlager: 4')
  - Antriebsleistung aus dem Anfahrvorgang
  - Welle-Nabe-Verbindung der Schwungmasse
  - Lebensdauer der Lager in Stunden ( $a_{23} = 1$ )
  - Dauerfestigkeit der Schraubenverbindungen

d) Varianten:

Die Kennzahl zur Bestimmung des jeweiligen Tabellenwertes ergibt sich aus Buchstaben des Namens.

		1. Buchstabe des Nachnamens	2. Buchstabe des Vornamens	3. Buchstabe des Nachnamens
lfd. Nr.:	Buch- stabe	Fliehkraft $F_{\omega}$ [N]	Anlaufzeit $t_A$ [s]	Frequenz $f$ [Hz]
1	A	1000	1,2	6
2	B	1200	1,4	7
3	C	1400	1,6	8
4	D	1600	1,8	9
5	E	1800	2,0	10
6	F	2000	2,2	11
7	G	2200	2,4	12
8	H	2400	2,6	13
9	I	2600	2,8	14
10	J	2800	3,0	6
11	K	3000	3,2	7
12	L	3200	3,4	8
13	M	3400	3,6	9
14	N	3600	3,8	10
15	O	3800	4,0	11
16	P	4000	4,2	12
17	Q	4200	4,4	13
18	R	4400	4,6	14
19	S	4600	4,8	6
20	T	4800	5,0	7
21	U	5000	5,2	8
22	V	5200	5,4	9
23	W	5400	5,6	10
24	X	5600	5,8	11
25	Y	5800	6,0	12
26	Z	6000	6,2	13
27	Ä - Ü	6200	6,4	14

Anlage zum Beleg

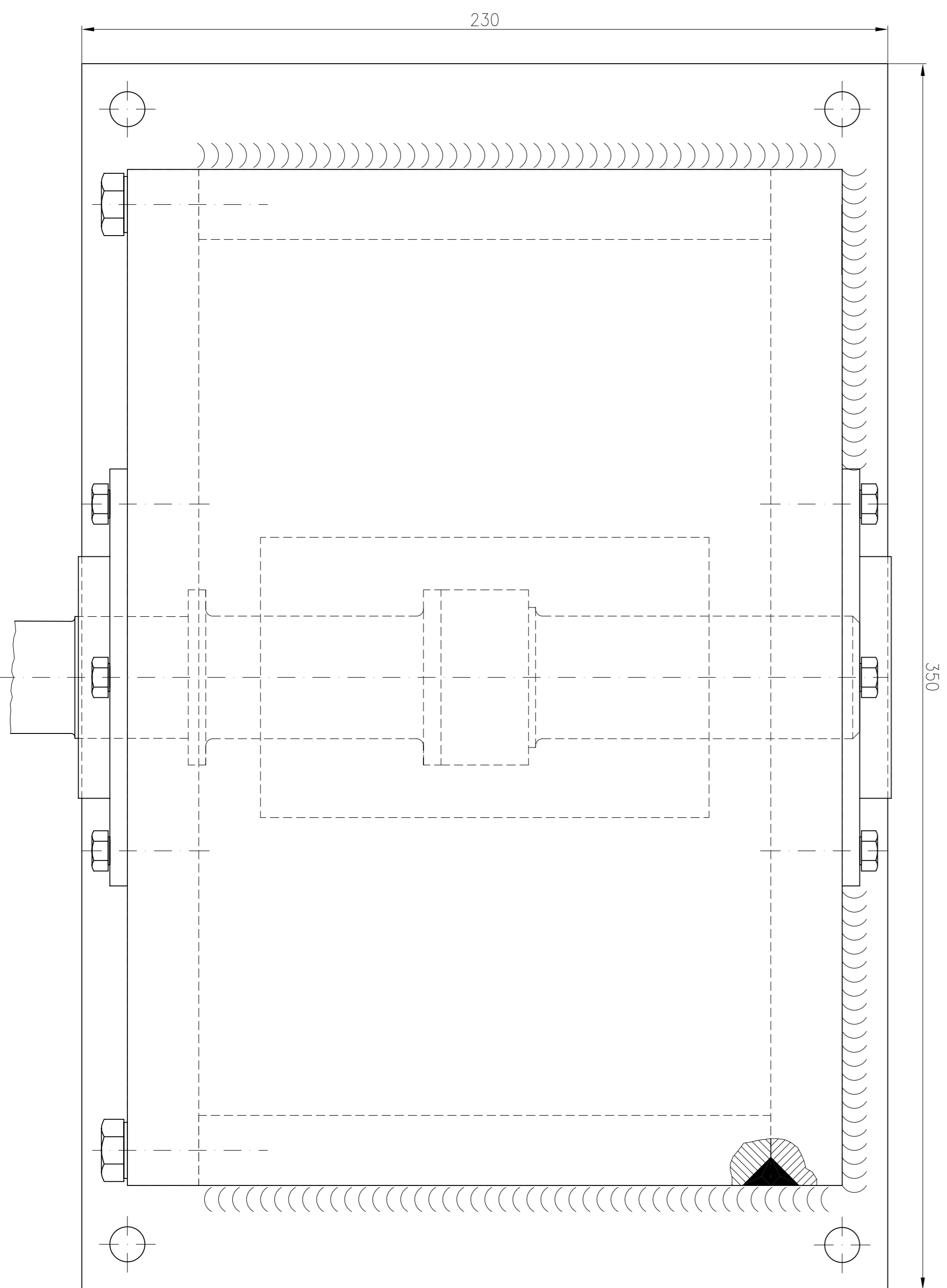
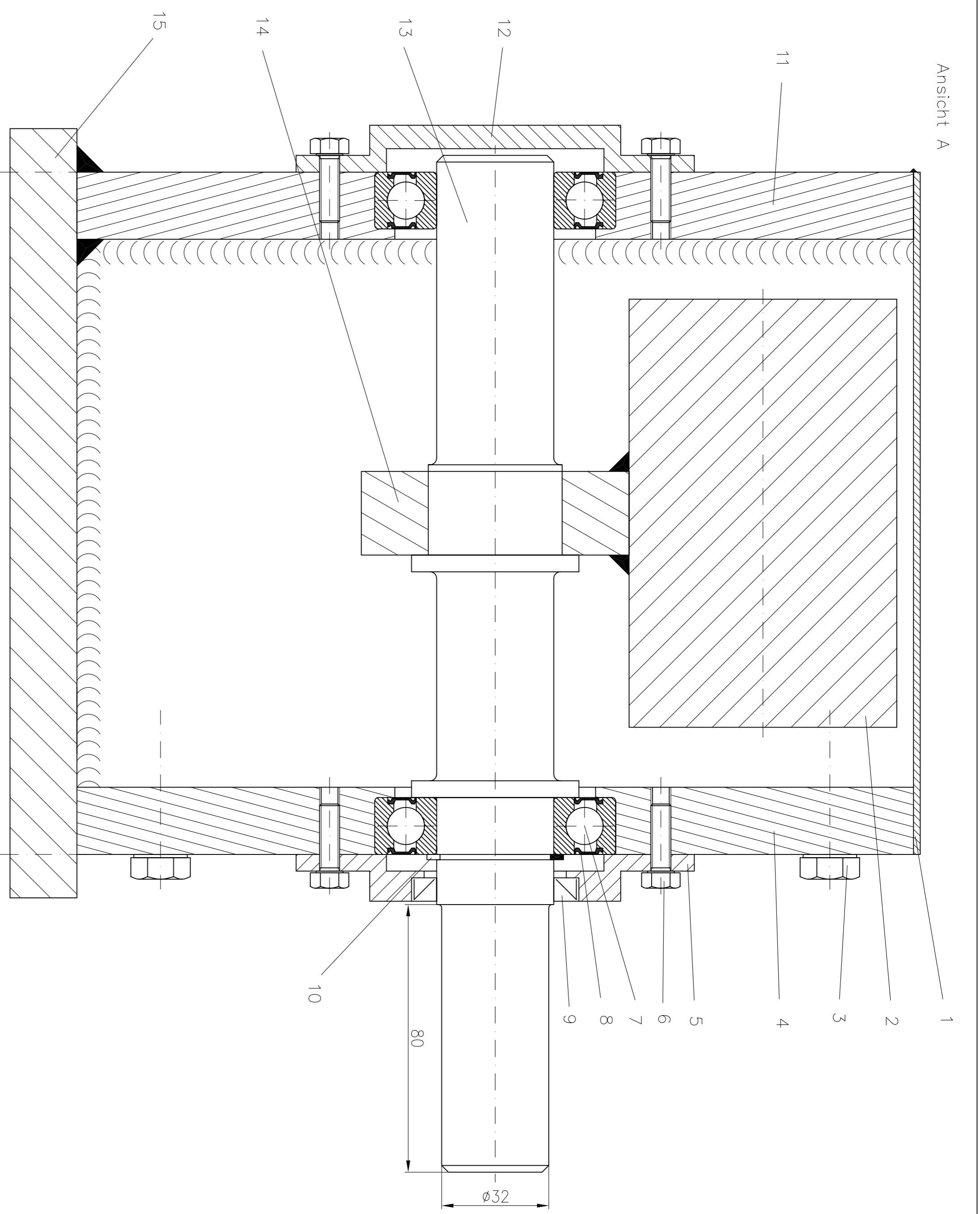
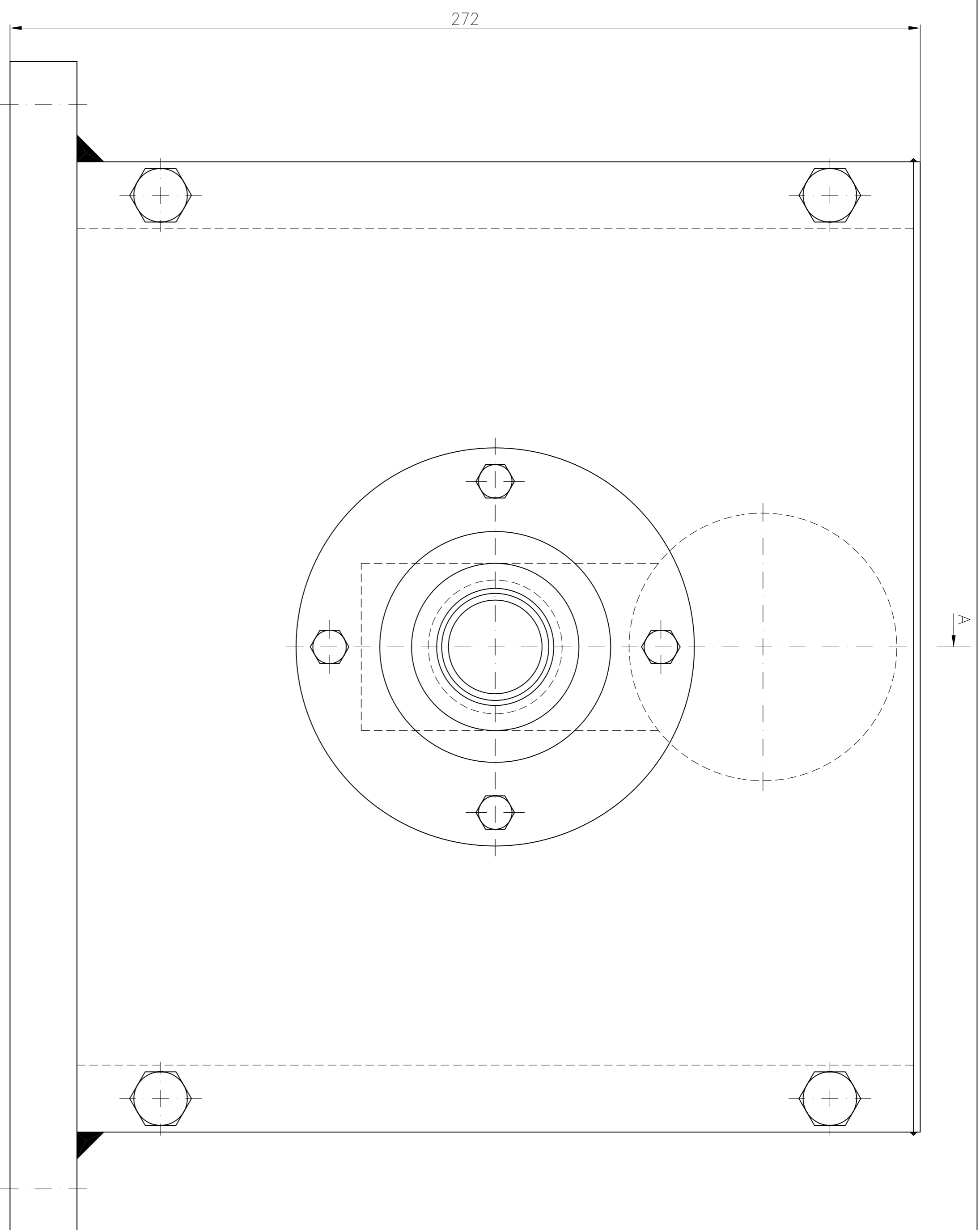
Name: .....

Vorname: .....

Bitte tragen Sie hier Ihre Belegvariante ein:

Fliehkraft $F_{\omega}$ :	Anlaufzeit $t_A$ :	Frequenz $f$ :
---------------------------	--------------------	----------------

<b>Gewählte Abmessungen und Ergebnisse:</b>			
Exzentrizität $e$ :	mm	Masse $m$ für Stahl:	kg
Körperform der Unwucht:			
Abmessungen in mm:			
Anzahl der Massen:		Volumen $V$ :	dm <sup>3</sup>
Massenträgheitsmoment $\Theta$ :	kgm <sup>2</sup>	Winkelbeschleunigung $\alpha$ :	s <sup>-2</sup>
Beschleunigungsmoment $M_B$ :	Nm	Antriebsleistung (Beschl.) $P_N$ :	kW
<b>Belastung der Welle:</b>			
Fliehkraft $F_{\omega}$ :	N	Massekraft $F_G$ :	N
Lagerkraft A Loslager:	N	Lagerkraft B Festlager:	N
max. Biegespannung: $\sigma_{bmax} =$	N/mm <sup>2</sup>	max. Torsionsspannung: $\tau_{tmax} =$	N/mm <sup>2</sup>
Mittelspannung Biegung: $\sigma_{bm} =$	N/mm <sup>2</sup>	Mittelspannung Torsion: $\tau_{tm} =$	N/mm <sup>2</sup>
Amplitude Biegespannung: $\sigma_{ba} =$	N/mm <sup>2</sup>	Amplitude Torsion: $\tau_{ta} =$	N/mm <sup>2</sup>
Wellen $\emptyset$ bei $M_{bmax}$ $d_{W1}$ :	mm	erf. Wellen $\emptyset$ (Torsion) $d_{W2}$ :	mm
Wellenwerkstoff:		Streckgrenze:	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{ADK}$ :	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{ADK}$ :	N/mm <sup>2</sup>
Vergleichsspannung Biegung:	N/mm <sup>2</sup>	Vergleichsspannung Torsion:	N/mm <sup>2</sup>
Kerbform I:		Kerbform II:	
Sicherheit Dauerbruch (Biegung)	$S_{Dlb} =$ $S_{DIIb} =$	Sicherheit Dauerbruch (Torsion)	$S_{DI\tau} =$ $S_{DII\tau} =$
Sicherheit gegen bleibende Verformung (Biegung)	$S_{Fib} =$ $S_{FIIb} =$	Sicherheit gegen bleibende Verformung (Torsion)	$S_{FI\tau} =$ $S_{FII\tau} =$
Loslager A:		Festlager B:	
Lebensdauer $L_{hA}$ in Stunden:		Lebensdauer $L_{hB}$ in Stunden:	
Lagerneigung $\beta_A$ in Winkelmin.:		Lagerneigung $\beta_B$ in Winkelmin.:	
Welle-Nabe-Verbindung:		übertragbares Drehmoment:	Nm
Gehäuseschrauben:		Sicherheit Dauerbruch:	
Gestellschrauben:		Sicherheit Dauerbruch:	



(Verwendungsbereich)		(Zul. Abw.)	(Oberfl.)	Maßstab: 1:1	(Gewicht) 60Kg
Schwingungserreger		Reihen-Nr	Modell- oder Gesein-Nr	E295	
Zust.		Änderung	Datum	Handl.	Ursprung
Ersatz für:		Ersatz durch:		Blatt	
SE - 00				Blätter	
Bearb. 02.08.03		Datum		Name	
Norm		Norm		Name	



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff/Bemerkung
1	2	3	4	5	6
1	1	Stck.	Deckplatte	SE - 01	E295
2	1	Stck.	Unwucht	SE - 02	E295
3	4	Stck.	6-Kantschraube	DIN 24014-M10 x 45	8.8
4	1	Stck.	rechter Träger	SE - 03	E295
5	1	Stck.	rechter Deckel	SE - 05	E295
6	8	Stck.	6-Kantschraube	DIN 24014-M6 x 20	8.8
7	2	Stck.	Rillen-Kugellager	FAG 6207.2RSR7	
8	1	Stck.	Paßscheibe	DIN 988x65x72xh	
9	1	Stck.	Wellendichtring	DIN 3760-A35x50x7	
10	1	Stck.	Sicherungsring	DIN 471-35x1.6	
11	1	Stck.	linker Träger	SE - 04	E295
12	1	Stck.	linker Deckel	SE - 06	E295
13	1	Stck.	Welle	SE - 07	E295
14	1	Stck.	Unwuchtmitnehm	SE - 08	E295
15	1	Stck.	Grundplatte	SE - 09	E295
16		Stck.			
17		Stck.			
18		Stck.			
19		Stck.			
20		Stck.			
21		Stck.			
22		Stck.			
23		Stck.			
24		Stck.			
25		Stck.			

				<i>Masstab</i>					
						Schwingungserreger			
				<i>Datum</i>				<i>Name</i>	
				Bearb. 02.06.03				G. Dietrich	
				<i>Gepr.</i>					
				<i>Norm</i>					
						SE - 00			
						www.zeyz.de			
						<i>Blatt</i>			
						<i>Bl.</i>			
<i>Zust.</i>	<i>Aenderung</i>	<i>Datum</i>	<i>Name</i>						

## Beleg Stationärer Schwingungserreger

gegeben:

$$F_{\omega} := 4400\text{N}$$

$$t_A := 5.2\text{s}$$

$$f := 8\text{Hz} \quad n := f \cdot \frac{60\text{s}}{\text{min}} \quad n = 480 \text{min}^{-1}$$

Bestimmung der Masse aufgrund der Fliehkraft  
Abstand von der Welle r

$$r := 100\text{mm}$$

$$m_u := \frac{F_{\omega}}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot r}$$

$$m_u = 17.415 \text{kg}$$

Abmaße der Unwucht

$$\rho_{\text{Stahl}} := 7.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$B_u := 100\text{mm}$$

$$L_u := 200\text{mm}$$

$$H_u := \frac{m_u}{B_u \cdot L_u \cdot \rho_{\text{Stahl}}}$$

$$H_u = 110.921 \text{mm}$$

## Massen und Trägheiten der Elemente Welle:

geg.:  $d_w := 40\text{mm}$  Lagerbreite  $B_1 := 18\text{mm}$  Lager 6208

DIN Wellenende  $l_{\text{DIN}} := 58\text{mm}$  Durchmesser 38mm

Länge Welle  $l_w := 210\text{mm}$

Länge Unwuchtmitnehmer  $L_{\text{um}} := 50\text{mm}$

$$l_{\text{wges}} := l_{\text{DIN}} + l_w + 2 \cdot B_1 - L_{\text{um}}$$

$$l_{\text{wges}} = 254 \text{ mm}$$

$$A_w := \frac{\pi \cdot d_w^2}{4}$$

$$A_w = 1.257 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$V_w := l_{\text{wges}} \cdot A_w$$

$$V_w = 3.192 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$m_w := \rho_{\text{Stahl}} \cdot V_w$$

$$m_w = 2.506 \text{ kg}$$

$$J_w := \frac{m_w \cdot d_w^2}{8}$$

$$J_w = 5.011 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

**Unwuchtmitnehmer:**

$$H_{\text{um}} := 90\text{mm} \quad B_{\text{um}} := 100\text{mm}$$

$$V_{\text{um}} := H_{\text{um}} \cdot B_{\text{um}} \cdot L_{\text{um}}$$

$$V_{\text{um}} = 4.5 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$m_{\text{um}} := \rho_{\text{Stahl}} \cdot V_{\text{um}}$$

$$m_{\text{um}} = 3.532 \times 10^3 \text{ g}$$

$$J_{\text{um}} := m_{\text{um}} \cdot \frac{H_{\text{um}}^2 + B_{\text{um}}^2}{12}$$

$$J_{\text{um}} = 5.328 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$$

**Unwucht:**

$$H_{\text{u}} := 111\text{mm} \quad \text{andere Abma\ss e siehe Oben}$$

$$V_{\text{u}} := H_{\text{u}} \cdot B_{\text{u}} \cdot L_{\text{u}} \quad V_{\text{u}} = 2.22 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$J_{\text{us}} := m_{\text{u}} \cdot \frac{H_{\text{u}}^2 + B_{\text{u}}^2}{12}$$

$$J_{\text{us}} = 0.032 \text{ kg m}^2$$

$$J_{\text{u}} := J_{\text{us}} + m_{\text{u}} \cdot r^2$$

$$J_{\text{u}} = 0.207 \text{ kg m}^2$$

Resultierendes Trägheitsmoment

$$J_{\text{res}} := J_{\text{u}} + J_{\text{um}} + J_{\text{w}}$$

$$J_{\text{res}} = 0.212 \text{ kg m}^2$$

## Resultierende Maße

$$m_{\text{res}} := m_{\text{u}} + m_{\text{um}} + m_{\text{w}}$$

$$m_{\text{res}} = 23.453 \text{ kg}$$

$$F_{\text{g}} := m_{\text{res}} \cdot g$$

$$F_{\text{g}} = 230.071 \text{ N}$$

## Resultierendes Volumen

$$V_{\text{res}} := V_{\text{u}} + V_{\text{um}} + V_{\text{w}}$$

$$V_{\text{res}} = 2.989 \text{ dm}^3$$

## benötigte Antriebsleistung

$$E_{\omega} := J_{\text{res}} \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot f^2$$

$$E_{\omega} = 268.286 \text{ J}$$

$$P_{\text{mech}} := \frac{E_{\omega}}{t_{\text{A}}}$$

$$P_{\text{mech}} = 0.052 \text{ kW}$$

## entstehendes Drehmoment

$$\alpha_{\text{a}} := \frac{2\pi \cdot f}{t_{\text{A}}} \quad \alpha_{\text{a}} = 9.666 \frac{1}{\text{s}^2}$$

$$M := J_{\text{res}} \cdot \alpha_{\text{a}}$$

$$M = 2.053 \text{ Nm}$$

## Wellenberechnung

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

Flächenträgheitsmoment

$$I_{xxwelle} := \frac{\pi \cdot d_w^4}{64}$$

$$I_{xxwelle} = 1.257 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

## Durchbiegung der Welle an der Unwucht

$$v_F := \frac{(F_\omega + F_g) \cdot \frac{l_w^4}{16}}{3E \cdot I_{xxwelle} \cdot l_w}$$

$$v_F = 0.034 \text{ mm}$$

$$\alpha := \text{atan}\left(\frac{2 \cdot v_F}{l_w}\right) \quad \alpha = 0.018 \text{ Grad}$$

$$\alpha = 1.108'$$

$$\alpha_{zul} := 10'$$

## Lebensdauer der Kugellager

Kennwerte der Rillenkugellager von FAG 6208

$$C := 29 \text{ KN}$$

$$P := \frac{F_\omega + F_g}{2}$$

$$P = 2.315 \times 10^3 \text{ N}$$

$$L_{hn} := \frac{10^6}{60 \cdot \frac{\text{min}}{h} \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

$$L_{hn} = 6.825 \times 10^4 \text{ h}$$

# Wellensicherheit an der Uwucht

## Sicherheit gegen bleibende Verformung

Material Kennwerte E295

$$\sigma_B := 490\text{MPa} \quad \sigma_{bw} := 245\text{MPa} \quad \tau_{tw} := 145\text{MPa} \quad \sigma_s := 295\text{MPa}$$

$d_u := 45\text{mm}$  Durchmesser an der Schrumpfstelle

$$M_U := (F_\omega + F_g) \cdot \left( \frac{B_1}{2} + \frac{l_w}{2} - \frac{L_{um}}{2} + 1\text{mm} \right)$$

$$M_U = 416.706 \text{ Nm}$$

$$\sigma_U := \frac{M_U \cdot d_w}{2 \cdot I_{xxwelle}}$$

$$\sigma_U = 66.321 \text{ MPa}$$

$$\beta_{\sigma BK} := 2.7 \cdot \left( \frac{\sigma_B}{1000\text{MPa}} \right)^{0.43}$$

$$K_{3BK} := 1 - 0.2 \cdot \log(\beta_{\sigma BK}) \cdot \frac{\log\left(\frac{40\text{mm}}{7.5\text{mm}}\right)}{\log(20)}$$

$$K_3 := 1 - 0.2 \cdot \log(\beta_{\sigma BK}) \cdot \frac{\log\left(\frac{d_u}{7.5\text{mm}}\right)}{\log(20)}$$

$$\beta_\sigma := \beta_{\sigma BK} \cdot \frac{K_{3BK}}{K_3}$$

$$\beta_\sigma = 1.992 \quad \text{daraus folgt} \quad \gamma_F := 1.05$$

Durchmesser des Wellen Halbzeugs  $d_H := 50\text{mm}$

$$K_{1\sigma s} := 1 - 0.26 \cdot \log\left(\frac{d_H}{32\text{mm}}\right) \quad K_{1\sigma s} = 0.95$$

$$K_2 := 1 - 0.2 \cdot \frac{\log\left(\frac{d_u}{7.5\text{mm}}\right)}{\log(20)} \quad K_2 = 0.88$$

$$\sigma_{\text{bFK}} := K_{1\sigma_s} \cdot K_2 \cdot \gamma_F \cdot \sigma_B \quad \sigma_{\text{bFK}} = 430.129 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{tFK}} := K_{1\sigma_s} \cdot K_2 \cdot \gamma_F \cdot \frac{\sigma_B}{\sqrt{3}} \quad \tau_{\text{tFK}} = 248.335 \text{ MPa}$$

$$\tau := \frac{16M}{\pi \cdot d_w^3} \quad \tau = 0.163 \text{ MPa}$$

Sicherheit gegen bleibende Verformung

$$S_F := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_U}{\sigma_{\text{bFK}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{tFK}}}\right)^2}} \quad S_F = 6.486$$

Sicherheit gegen Dauerbruch

$$R_z := 10 \mu\text{m} \quad K_v := 1$$

$$K_{F\sigma} := 1 - 0.22 \cdot \log\left(\frac{R_z}{\mu\text{m}}\right) \cdot \left(\log\left(\frac{\sigma_U \cdot \text{mm}^2}{20\text{N}}\right) - 1\right) \quad K_{F\sigma} = 1.105$$

$$K_\sigma := \left(\frac{\beta_\sigma}{K_2} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_v} \quad K_\sigma = 2.167$$

$$\sigma_{\text{bWK}} := \frac{\sigma_{\text{bw}} \cdot K_{1\sigma_s}}{K_\sigma} \quad \sigma_{\text{bWK}} = 107.372 \text{ MPa}$$

$$\psi_\sigma := \frac{\sigma_{\text{bWK}}}{2 \cdot \sigma_B \cdot K_{1\sigma_s} - \sigma_{\text{bWK}}} \quad \psi_\sigma = 0.13$$

$$\sigma_{\text{mv}} := \frac{\sigma_U}{2} \quad \sigma_{\text{mv}} = 33.16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{bADK}} := \sigma_{\text{bWK}} - \psi_\sigma \cdot \sigma_{\text{mv}} \quad \sigma_{\text{bADK}} = 103.047 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ba}} := \frac{\sigma_U}{2} \quad \sigma_{\text{ba}} = 33.16 \text{ MPa}$$

$$\tau_{mv} := \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}} \quad \beta_{\tau} := \beta_{\sigma} \quad \tau_{mv} = 19.145 \text{ MPa}$$

$$K_{Ft} := 0.575 K_{F\sigma} + 0.425 \quad K_{Ft} = 1.061$$

$$K_t := \frac{\beta_{\tau}}{K_2} + \frac{1}{K_{Ft}} - 1 \quad K_t = 2.205$$

$$\tau_{tWK} := \frac{\tau_{tw} \cdot K_{1\sigma s}}{K_t} \quad \tau_{tWK} = 62.445 \text{ MPa}$$

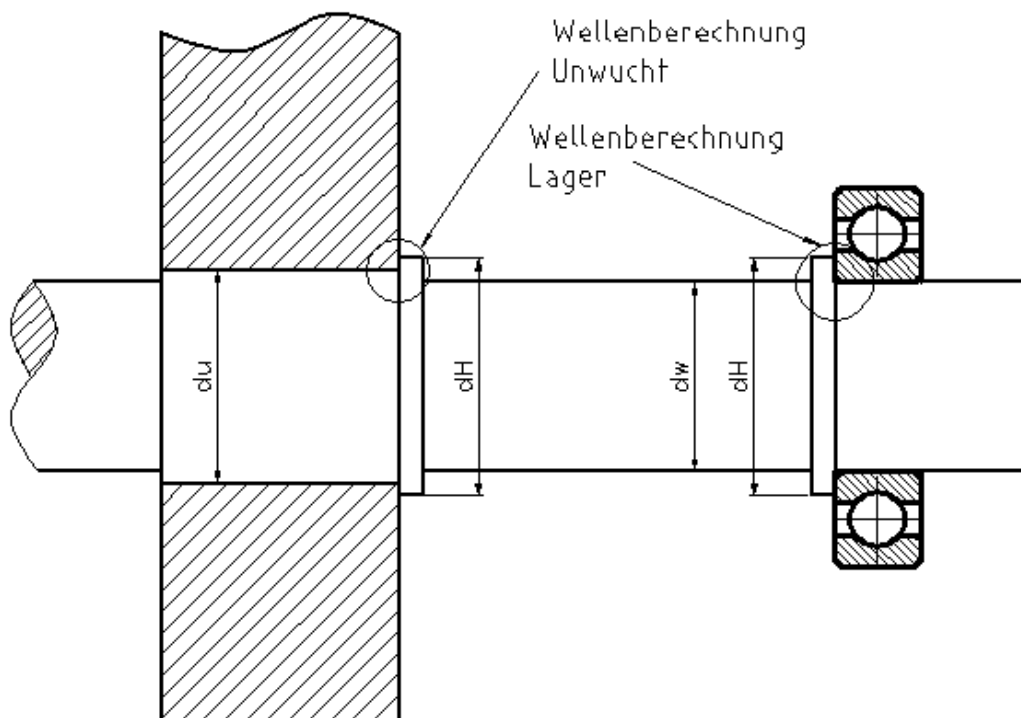
$$\psi_{tK} := \frac{\tau_{tWK}}{2 \cdot \sigma_B \cdot K_{1\sigma s} - \tau_{tWK}} \quad \psi_{tK} = 0.072$$

$$\tau_{tADK} := \tau_{tWK} - \psi_{tK} \cdot \tau_{mv} \quad \tau_{tADK} = 61.068 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ta} := \tau \quad \tau_{ta} = 0.163 \text{ MPa}$$

Sicherheit gegen Dauerbruch

$$S_{Dvorh} := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}} \quad S_{Dvorh} = 3.107$$



# Wellensicherheit am Lager

Sicherheit gegen bleibende Verformung

$$M_L := (F_\omega + F_g) \cdot \left( \frac{B_1}{2} \right)$$

$$M_L = 41.671 \text{ Nm}$$

$$\sigma_L := \frac{M_L \cdot d_w}{2 \cdot I_{xx\text{welle}}}$$

$$\sigma_L = 6.632 \text{ MPa}$$

Berechnung von  $\beta_\sigma$

$$r := 0.8 \text{ mm} \quad t := \frac{d_H - d_w}{2} \quad t = 5 \text{ mm}$$

$$\alpha_\sigma := 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{0.62r}{t} + \frac{11.6r}{d_w} \cdot \left(1 + \frac{2r}{d_w}\right)^2 + 0.2 \left(\frac{r}{t}\right)^3 \cdot \frac{d_w}{d_H}}} \quad \alpha_\sigma = 2.688$$

$$\phi := \frac{1}{4 \sqrt{\frac{t}{r} + 2}} \quad \phi = 0.083$$

$$G' := \frac{2.3 \cdot (1 + \phi)}{r} \quad G' = 3.115 \times 10^3 \frac{1}{\text{m}}$$

$$n := 1 + \sqrt{G' \cdot \text{mm} \cdot 10^{-\left(0.33 + \frac{\sigma_s \cdot K_{1\sigma s}}{712 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}\right)}} \quad n = 1.33362097$$

$$\beta_\sigma := \frac{\alpha_\sigma}{n} \quad \beta_\sigma = 2.016 \quad \text{daraus folgt} \quad \gamma_F := 1.1$$

Durchmesser des Wellen Halbzeugs  $d_H := 50 \text{ mm}$

$$K_{1\sigma s} := 1 - 0.26 \cdot \log\left(\frac{d_H}{32 \text{ mm}}\right) \quad K_{1\sigma s} = 0.95$$

$$K_2 := 1 - 0.2 \cdot \frac{\log\left(\frac{d_w}{7.5 \text{ mm}}\right)}{\log(20)} \quad K_2 = 0.888$$

$$\sigma_{bFK} := K_{1\sigma s} \cdot K_2 \cdot \gamma_F \cdot \sigma_B \quad \sigma_{bFK} = 454.636 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tFK} := K_{1\sigma s} \cdot K_2 \cdot \gamma_F \cdot \frac{\sigma_B}{\sqrt{3}} \quad \tau_{tFK} = 262.484 \text{ MPa}$$

$$\tau := \frac{16M}{\pi \cdot d_w^3} \quad \tau = 0.163 \text{ MPa}$$

Sicherheit gegen bleibende Verformung

$$S_F := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_L}{\sigma_{bFK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{tFK}}\right)^2}} \quad S_F = 68.489$$

Sicherheit gegen Dauerbruch

$$R_z := 10 \mu\text{m} \quad K_v := 1$$

$$K_{F\sigma} := 1 - 0.22 \cdot \log\left(\frac{R_z}{\mu\text{m}}\right) \cdot \left(\log\left(\frac{\sigma_L \cdot \text{mm}^2}{20\text{N}}\right) - 1\right) \quad K_{F\sigma} = 1.325$$

$$K_\sigma := \left(\frac{\beta_\sigma}{K_2} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_v} \quad K_\sigma = 2.024$$

$$\sigma_{bWK} := \frac{\sigma_{bw} \cdot K_{1\sigma s}}{K_\sigma} \quad \sigma_{bWK} = 114.95 \text{ MPa}$$

$$\psi_\sigma := \frac{\sigma_{bWK}}{2 \cdot \sigma_B \cdot K_{1\sigma s} - \sigma_{bWK}} \quad \psi_\sigma = 0.141$$

$$\sigma_{mv} := \frac{\sigma_L}{2} \quad \sigma_{mv} = 3.316 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bADK} := \sigma_{bWK} - \psi_\sigma \cdot \sigma_{mv} \quad \sigma_{bADK} = 114.482 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ba} := \frac{\sigma_L}{2} \quad \sigma_{ba} = 3.316 \text{ MPa}$$

Berechnung von  $\beta_\tau$ 

$$\alpha_\tau := 1 + \frac{1}{\sqrt{3.4 \cdot \frac{r}{t} + 38 \cdot \frac{r}{d_w} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r}{d_w}\right)^2 + \left(\frac{r}{t}\right)^2 \cdot \frac{d_w}{d_H}}} \quad \alpha_\tau = 1.849$$

$$n := 1 + \sqrt{\frac{1.15}{r} \cdot \text{mm} \cdot 10^{-0.33 + \frac{\sigma_s \cdot K_{1\sigma s}}{712 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}} \quad n = 1.227$$

$$\beta_\tau := \frac{\alpha_\tau}{n} \quad \beta_\tau = 1.508$$

$$\tau_{mv} := \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}} \quad \tau_{mv} = 1.915 \text{ MPa}$$

$$K_{Ft} := 0.575 K_{F\sigma} + 0.425 \quad K_{Ft} = 1.187$$

$$K_t := \frac{\beta_\tau}{K_2} + \frac{1}{K_{Ft}} - 1 \quad K_t = 1.54$$

$$\tau_{tWK} := \frac{\tau_{tw} \cdot K_{1\sigma s}}{K_t} \quad \tau_{tWK} = 89.434 \text{ MPa}$$

$$\psi_{tK} := \frac{\tau_{tWK}}{2 \cdot \sigma_B \cdot K_{1\sigma s} - \tau_{tWK}} \quad \psi_{tK} = 0.106$$

$$\tau_{tADK} := \tau_{tWK} - \psi_{tK} \cdot \tau_{mv} \quad \tau_{tADK} = 89.23 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ta} := \tau \quad \tau_{ta} = 0.163 \text{ MPa}$$

Sicherheit gegen Dauerbruch

$$S_{Dvorh} := \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}} \quad S_{Dvorh} = 34.455$$

## Welle Nabe Verbindung

$$\text{Übermaß} \quad \mu := 0.1 \quad R_{zI} := 10\mu\text{m} \quad R_{zA} := 10\mu\text{m}$$

$$M_A := M + m_u \cdot g \cdot r \quad M_A = 2.19 \text{ Nm}$$

$$p_{\min} := \frac{2.6 \cdot M_A}{\pi \cdot d_u^2 \cdot L_{\text{um}} \cdot \mu} \quad p_{\min} = 0.179 \text{ MPa}$$

$$Q_A := \frac{d_u}{B_{\text{um}}} \quad Q_A = 0.45$$

$$Z_{\min} := \frac{p_{\min} \cdot d_u^2}{E \cdot (1 - Q_A^2)} \quad Z_{\min} = 0.096 \mu\text{m}$$

$$\Delta U := 0.8(R_{zI} + R_{zA}) \quad \Delta U = 16 \mu\text{m}$$

$$U_{\min} := Z_{\min} + \Delta U \quad U_{\min} = 16.096 \mu\text{m}$$

### Maximale Pressung

$$\text{Werkstoff} \quad \text{Welle E295} \quad \sigma_{SI} := 295 \text{ MPa}$$

$$\text{Unwuchtmitnehmer E295} \quad \sigma_{SA} := 295 \text{ MPa}$$

$$p_{I\max} := \frac{\sigma_{SI}}{1.3} \quad p_{I\max} = 226.923 \text{ MPa}$$

$$p_{A\max} := \frac{1 - Q_A^2}{\sqrt{3 + Q_A^4}} \cdot \frac{\sigma_{SA}}{1.3} \quad p_{A\max} = 103.777 \text{ MPa}$$

$$Z_{\max} := \frac{p_{A\max} \cdot d_u^2}{E \cdot (1 - Q_A^2)} \quad Z_{\max} = 55.769 \mu\text{m}$$

$$U_{\max} := Z_{\max} + \Delta U \quad U_{\max} = 71.769 \mu\text{m}$$

### Passungswahl

$$\text{Welle 45h7} \quad A_{\text{ob}} := 0\mu\text{m} \quad A_{\text{ub}} := -25\mu\text{m}$$

$$\text{Bohrung} \quad B_{\text{ob}} := A_{\text{ub}} + U_{\max} \quad B_{\text{ob}} = 46.769 \mu\text{m}$$

$$B_{\text{ub}} := A_{\text{ob}} + U_{\min} \quad B_{\text{ub}} = 16.096 \mu\text{m}$$

$$\text{Bohrung 45F6} \quad B_{\text{ob}} := 41\mu\text{m}$$

$$B_{\text{ub}} := 25\mu\text{m}$$

## Resultierende Spannung

$$U_{\max} := B_{\text{ob}} - A_{\text{ub}}$$

$$U_{\max} = 66 \mu\text{m}$$

$$U_{\min} := B_{\text{ub}} - A_{\text{ob}}$$

$$U_{\min} = 25 \mu\text{m}$$

$$Z_{\max} := U_{\max} - \Delta U$$

$$Z_{\max} = 50 \mu\text{m}$$

$$Z_{\min} := U_{\min} - \Delta U$$

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

$$P_{\max} := \frac{Z_{\max} \cdot E \cdot (1 - Q_A^2)}{2d_u}$$

$$P_{\max} = 93.042 \text{ MPa}$$

$$P_{\min} := \frac{Z_{\min} \cdot E \cdot (1 - Q_A^2)}{2d_u}$$

$$P_{\min} = 16.747 \text{ MPa}$$

## Übertragbare Momente

$$M_{\min} := P_{\min} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot d_u^2 \cdot L_{\text{um}} \cdot \mu$$

$$M_{\min} = 266.357 \text{ Nm}$$

$$M_{\max} := P_{\max} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot d_u^2 \cdot L_{\text{um}} \cdot \mu$$

$$M_{\max} = 1.48 \times 10^3 \text{ Nm}$$

$$t_R := 293.15 \text{ K} \quad \Delta_F := \frac{d_u}{1000}$$

$$\text{Wärmeausdehnungskoeffizient } \alpha := 11 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{K}}$$

$$t := t_R + \frac{U_{\max} + \Delta_F}{\alpha \cdot d_u}$$

$$t = 517.392 \text{ K}$$

$$t_C := t - 273.15 \text{ K}$$

$$t_C = 244.242 \text{ }^\circ\text{C}$$

## Sicherheit

## Welle

$$S_F := \frac{\sigma_{\text{SI}}}{P_{\max}}$$

$$S_F = 3.171$$

## Unwuchtmitnehmer

$$S_F := \frac{1 - Q_A^2}{\sqrt{3 + Q_A^4}} \cdot \frac{\sigma_{\text{SA}}}{P_{\max}}$$

$$S_F = 1.45$$

# Schraubenverbindung

## Gestellschrauben

4 Schrauben M10 10.9

$$\begin{aligned} A_s &:= 58 \text{ mm}^2 & d_s &:= 10 \text{ mm} & l_s &:= 20 \text{ mm} \\ d_w &:= 15.63 \text{ mm} & d_h &:= 10 \text{ mm} & D_A &:= 30 \text{ mm} \\ P &:= 1.5 \text{ mm} & \mu_G &:= 0.1 & d_2 &:= 9.026 \text{ mm} \\ d_3 &:= 8.16 \text{ mm} & \sigma_{0.2} &:= 900 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Masse Gehäuse  $m_g := 75 \text{ kg}$

## Nachgiebigkeit der Schrauben

Schraubenkopf

$$l_{ko} := 0.4 \cdot d_s$$

$$l_{ko} = 4 \text{ mm}$$

$$A_N := \frac{\pi \cdot d_s^2}{4}$$

$$A_N = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$\delta_K := \frac{l_{ko}}{E \cdot A_N}$$

$$\delta_K = 2.425 \times 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

Zylindrisches Einzelement

$$\delta_{zyl} := \frac{l_s}{E \cdot A_N}$$

$$\delta_{zyl} = 1.213 \times 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

Eingeschraubter Gewindeteil

$$l_G := 0.5 \cdot d_s$$

$$l_G = 5 \text{ mm}$$

$$\delta_G := \frac{l_G}{E \cdot A_s}$$

$$\delta_G = 4.105 \times 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

Schraubennachgiebigkeit

$$\delta_S := \delta_K + \delta_{zyl} + \delta_G$$

$$\delta_S = 1.866 \times 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

## Nachgiebigkeit der Platte

Fall 2 für A Ersatz

$$A_{\text{ers}} := \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8} \cdot d_w \cdot (D_A - d_w) \cdot \left[ \left( \sqrt[3]{\frac{l_s \cdot d_w}{D_A^2} + 1} \right)^2 - 1 \right] \quad A_{\text{ers}} = 280.912 \text{ mm}^2$$

$$\delta_P := \frac{l_s}{E \cdot A_{\text{ers}}}$$

$$\delta_P = 3.39 \times 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

$$\Phi_K := \frac{\delta_P}{\delta_S + \delta_P} \quad \Phi_K = 0.154$$

### Schraubenkraft

$$F_g := \frac{(m_g + m_{res}) \cdot g \cdot 0.1}{4}$$

Vorspannkraft Schraube 10.9

$$\sigma_M := 500 \text{ MPa}$$

$$F_A := F_g + F_\omega \quad F_A = 4.424 \text{ KN}$$

$$F_M := \sigma_M \cdot A_s \quad F_M = 29 \text{ KN}$$

### Dynamische Sicherheit (Ermüdungsbruch)

$$\sigma_a := \frac{\Phi_K \cdot F_A}{2 \cdot A_s} \quad \sigma_a = 5.865 \text{ MPa}$$

$$S := \frac{\sigma_{bADK}}{\sigma_a} \quad S = 19.52 \quad \sigma_{bADK} = 114.482 \text{ MPa}$$

### Statische Sicherheit

$$F_{SA} := \Phi_K \cdot F_A \quad F_{SA} = 0.68 \text{ KN}$$

$$\sigma_s := \frac{F_{SA} + F_M}{A_s} \quad \sigma_s = 511.73 \text{ MPa}$$

$$W_p := \frac{\pi \cdot d_3^3}{16}$$

$$M_G := F_M \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \left( \frac{P}{\pi \cdot d_2} + 1.155 \cdot \mu_G \right) \quad M_G = 22.04 \text{ Nm}$$

$$\tau := \frac{M_G}{W_p} \quad \tau = 206.587 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v := \sqrt{\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \sigma_v = 624.421 \text{ MPa}$$

$$S := \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_v} \quad S = 1.441$$

## Erforderliches Anzugsmoment

$\alpha_A := 1.6$  für Drehmomentenschlüssel

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

$$F_{PA} = 3.744 \text{ KN}$$

$$F_{KR} := F_M - F_{PA}$$

$$F_{KR} = 25.256 \text{ KN}$$

$$\Delta f_z := 3.29 \cdot \left( \frac{l_s}{d_s} \right)^{0.34} \cdot 10^{-3} \cdot \text{mm}$$

$$\Delta f_z = 4.164 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\Delta F_M := \frac{\Delta f_z}{\delta_S + \delta_P}$$

$$\Delta F_M = 1.889 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{\text{Merf}} := \alpha_A \cdot [F_{KR} + (1 - \Phi_K) \cdot F_A + \Delta F_M]$$

$$F_{\text{Merf}} = 49.422 \text{ KN}$$

$$M_{G1} := F_{\text{Merf}} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \left( \frac{P}{\pi \cdot d_2} + 1.155 \cdot \mu_G \right)$$

$$M_{G1} = 37.56 \text{ Nm}$$

$$M_{K1} := F_{\text{Merf}} \cdot \frac{d_W}{2} \cdot 0.15$$

$$M_{K1} = 57.935 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{an}} := M_{G1} + M_{K1}$$

$$M_{\text{an}} = 95.495 \text{ Nm}$$