

flkm

May 16, 2024

0.1 Die Kritische Stelle:

Die Kritische Stelle befindet sich ,wo das maximale Biegemoment auftritt bzw. auf dem Punkt wo der Festlager sitzt

Dies hat folgende Koordinaten:

L=0.1 m , D(Durchmesser)=540 mm

An diesem Punkt treten folgende Kräfte / Momente auf:

$$M_{b.y_{max}} = 800000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{b.y_{min}} = 800000000 \text{ Nmm}$$

$$Q_{b.y_{max}} = 8000000 \text{ N}$$

$$Q_{b.y_{min}} = 8000000 \text{ N}$$

$$N_{x_{max}} = 10000 \text{ N}$$

$$N_{x_{min}} = 0 \text{ N}$$

$$M_t = 2160000000.0 \text{ } Nmm$$

1 Statischer Festigkeitsnachweis der Welle:

1.1 Nennspannungen:

1.1.1 Für die Minimal- und Maximalspannungen ergibt sich:

$$S_{\min b_x} = \frac{32 \cdot (M_{bx_B.\min})}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot (0 \text{ Nmm})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^3} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$S_{\max b_x} = \frac{32 \cdot (M_{bx_B.\max})}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot (0 \text{ Nmm})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^3} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$S_{\min b_y} = \frac{32 \cdot (M_{by_B.\min})}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot (800000000 \text{ Nmm})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^3} = 51.750 \text{ Mpa}$$

$$S_{\max b_y} = \frac{32 \cdot (M_{by_B.\max})}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot (800000000 \text{ Nmm})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^3} = 51.750 \text{ Mpa}$$

$$S_{\min b_z} = \frac{32 \cdot (M_{bz_B.\min})}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot (0 \text{ Nmm})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^3} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$S_{\max b_z} = \frac{32 \cdot (M_{bz_B.\max})}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot (0 \text{ Nmm})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^3} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$S_{\max_x zd} = \frac{4 \cdot (N_{\max_x})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (10000 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.044 \text{ Mpa}$$

$$S_{\min_x zd} = \frac{4 \cdot (N_{\min_x})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (0 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$S_{\max_y zd} = \frac{4 \cdot (N_{\max_y})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (0 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$S_{\min_y zd} = \frac{4 \cdot (-N_{\min_y})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (0 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$S_{\max_z zd} = \frac{4 \cdot (N_{\max_z})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (0 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$S_{\min_z zd} = \frac{4 \cdot (N_{\min_z})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (0 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$T_{\max_s x} = \frac{4 \cdot (Q_{\underline{x}. \max})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (0 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$T_{\min_s x} = \frac{4 \cdot (Q_{\underline{x}. \min})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (0 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$T_{\max_s y} = \frac{4 \cdot (Q_{\underline{y}. \max})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (8000000 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 34.931 \text{ Mpa}$$

$$T_{\min_s y} = \frac{4 \cdot (Q_{\underline{y}. \min})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (8000000 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 34.931 \text{ Mpa}$$

$$T_{\max_s z} = \frac{4 \cdot (Q_{\underline{z}. \max})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (0 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$T_{\min_s z} = \frac{4 \cdot (Q_{\underline{z}. \min})}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (0 \text{ N})}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.000 \text{ Mpa}$$

1.2 Gesamtspannungen:

$$S_{\min_b} = -\sqrt{S_{\min_b x}^2 + S_{\min_b y}^2 + S_{\min_b z}^2} = -\sqrt{(0.000 \text{ Mpa})^2 + (51.750 \text{ Mpa})^2 + (0.000 \text{ Mpa})^2} = -51.750 \text{ Mpa}$$

$$S_{\max_b} = \sqrt{S_{\max_b x}^2 + S_{\max_b y}^2 + S_{\max_b z}^2} = \sqrt{(0.000 \text{ Mpa})^2 + (51.750 \text{ Mpa})^2 + (0.000 \text{ Mpa})^2} = 51.750 \text{ Mpa}$$

$$T_{\min_t} = \frac{16 \cdot M_{t.\min}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot (0.000 \text{ Nmm})}{\pi \cdot 540^3} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$T_{\max_t} = \frac{16 \cdot M_{t.\max}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot (2160000000.000 \text{ Nmm})}{\pi \cdot 540^3} = 69.862 \text{ Mpa}$$

$$S_{\min_{zd}} = -\sqrt{S_{\min_x d}^2 + S_{\min_y d}^2 + S_{\min_z d}^2} = \sqrt{(0.000 \text{ Mpa})^2 + (0.000 \text{ Mpa})^2 + (0.000 \text{ Mpa})^2} = -0.000 \text{ Mpa}$$

$$S_{\max_{zd}} = \sqrt{S_{\max_x d}^2 + S_{\max_y d}^2 + S_{\max_z d}^2} = \sqrt{(0.044 \text{ Mpa})^2 + (0.000 \text{ Mpa})^2 + (0.000 \text{ Mpa})^2} = 0.044 \text{ Mpa}$$

$$T_{\min_s} = \sqrt{T_{\min_x s}^2 + T_{\min_y s}^2 + T_{\min_z s}^2} = \sqrt{(0.000 \text{ Mpa})^2 + (34.931 \text{ Mpa})^2 + (0.000 \text{ Mpa})^2} = 34.931 \text{ Mpa}$$

$$T_{\max_s} = \sqrt{T_{\max_x s}^2 + T_{\max_y s}^2 + T_{\max_z s}^2} = \sqrt{(0.000 \text{ Mpa})^2 + (34.931 \text{ Mpa})^2 + (0.000 \text{ Mpa})^2} = 34.931 \text{ Mpa}$$

2 Statische Festigkeitswerte und Festigkeitsnachweis

2.1 Werkstoffnormwerte

Für die Welle wurde der Werkstoff 42CrMo4 ausgewählt aufgrund von seiner hohen Norm-Zugfestigkeit und Streckgrenze

Für den Werkstoff 42CrMo4 ergeben sich aus der Tabelle die Norm-Zugfestigkeit und Streckgrenze:

- Norm-Zugfestigkeit ($R_{m.N}$): 1100 MPa

- Norm-Streckgrenze ($R_{p.N}$): 900 MPa

- $j = 4.5$ (Hoch da wir grosse Belastung an der Welle haben)

$$\sigma_{W_{soll}} = \frac{R_{p.N}}{j_{min}} = \frac{900.00 \text{ MPa}}{1} = 900.00 \text{ MPa}$$

Wobei j_{min} und J sind Sicherheitsfaktor

$$d_{eff} = \left(\frac{32 \cdot M_{max_b} \cdot j}{\pi \cdot \sigma_{W_{soll}}} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{32 \cdot 800000000.00 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot 3}{\pi \cdot 900.00 \text{ MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} = 300.60$$

Der effektive Durchmesser (d_{eff}) beträgt 300.60 mm.

Die Durchmesser der Proben, an denen die Festigkeitswerte ermittelt wurde sind für vergüteten Vergütungsthal:

$$d_{eff.N.m} = 16 \text{ mm} \quad d_{eff.N.p} = 16 \text{ mm}$$

Zur Berechnung werden außerdem folgende Faktoren benötigt:

- ($a_{d.m}$) = 0.3

- ($a_{d.p}$) = 0.4

2.1.1 Bestimmung der Technologischen Größenfaktoren:

2.1.2 Die Formel für den technologischen Größenfaktor Kd_m lautet:

2.2 Zugfestigkeit

$$Kd_m = \begin{cases} 1 & \text{für } d_{\text{eff}} \leq d_{\text{eff_Nm}} \\ \frac{1-0.7686 \times ad_m \times \log_{10}(\frac{d_{\text{eff}}}{7.5})}{1-0.7686 \times ad_m \times \log_{10}(\frac{d_{\text{eff_Nm}}}{7.5})} & \text{für } d_{\text{eff}} < 250 \text{ und } d_{\text{eff_Nm}} < d_{\text{eff}} \\ \frac{1-1.17 \times ad_m}{1-0.7686 \times ad_m \times \log_{10}(\frac{d_{\text{eff_Nm}}}{7.5})} & \text{für } d_{\text{eff}} > 250 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$\text{Für } d_{\text{eff}} > 250 : Kd_m = \frac{1-1.17 \times 0.3}{1-0.7686 \times 0.3 \times \log_{10}(\frac{16 \text{ mm}}{7.5})} = 0.70$$

2.3 Fließgrenze:

Die Formel für den technologischen Größenfaktor Kd_p lautet:

$$Kd_p = \begin{cases} 1 & \text{für } d_{\text{eff}} \leq d_{\text{eff_Np}} \\ \frac{1-0.7686 \times ad_p \times \log_{10}(\frac{d_{\text{eff}}}{7.5})}{1-0.7686 \times ad_p \times \log_{10}(\frac{d_{\text{eff_Np}}}{7.5})} & \text{für } d_{\text{eff}} < 250 \text{ und } d_{\text{eff_Np}} < d_{\text{eff}} \\ \frac{1-1.17 \times ad_p}{1-0.7686 \times ad_p \times \log_{10}(\frac{d_{\text{eff_Np}}}{7.5})} & \text{für } d_{\text{eff}} > 250 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$\text{Für } d_{\text{eff}} > 250 : Kd_p = \frac{1-1.17 \times 0.4}{1-0.7686 \times 0.4 \times \log_{10}(\frac{300.600440476487 \text{ mm}}{7.5})} = 0.59$$

2.4 Anisotropiefaktor

Da Schubspannungen und Kerbe vorliegen, definieren wir den Anisotropiefaktor:

$$KA = 1$$

Zugfestigkeit und Fließgrenze des Werkstoffs im Bauteil:

$$R_m = K_{d.m} \times K_A \times R_{m.N} = 0.70 \times 1 \times 1100 \text{ Mpa} = 772.51 \text{ Mpa}$$

$$R_p = K_{d.p} \times K_A \times R_{p.N} = 0.59 \times 1 \times 900 \text{ Mpa} = 532.69 \text{ Mpa}$$

2.5 Bauteilfestigkeit

Plastische Stützwirkungen werden nur bei den Belastungsarten mit Spannungsgefälle berücksichtigt,

wie Biegung und Torsion.

Die Plastische Formzahl für einen kreis-Querschnitt beträgt:

$$K_{p.b} = 1.7$$

$$K_{p.t} = 1.33$$

Damit kann die Stützzahl ermittelt werden.

2.5.1 Berechnung der plastischen Formzahl

Die plastische Formzahl für die Biegung für \$ R_p \leq 1050 \text{ Mpa} \$ (\$ n_{pl_b} \$) und Torsion (\$ n_{pl_t} \$) wird wie folgt berechnet:

$$n_{pl_b} = \min \left(\sqrt{\frac{1050 \text{ Mpa}}{R_p}}, K_{pb} \right) \quad \text{falls } R_p < 1050 = \min \left(\sqrt{\frac{1050 \text{ Mpa}}{532.69 \text{ Mpa}}}, 1.7 \right) = 1.40$$

$$n_{pl_t} = \min \left(\sqrt{\frac{1050 \text{ Mpa}}{R_p}}, K_{pt} \right) \quad \text{falls } R_p < 1050 = \min \left(\sqrt{\frac{1050 \text{ Mpa}}{532.69 \text{ Mpa}}}, 1.33 \right) = 1.33$$

Wenn \$ R_p \$ größer oder gleich 1050 ist, beträgt die plastische Formzahl für beide Belastungsarten 1.

2.6 Konstruktionsfaktoren

Die Konstruktionsfaktoren \$ K_{Sk} \$ berechnen sich folgendermaßen:

$$K_{SK_{zd}} = 1$$

$$K_{SK_b} = \frac{1}{n_{pl_b}} = 0.71$$

$$K_{SK_s} = 1$$

$$K_{SK_t} = \frac{1}{npl_t} = 0.75$$

Die Konstruktionsfaktoren gelten immer nur für einen Kerbquerschnitt, d.h., es müssen ggf. mehrere Querschnitte berechnet werden.

2.7 Bauteilfestigkeit

Die Festigkeitswerte des Bauteils können wie folgt berechnet werden:

$$S_{SK_zd} = \frac{R_m}{K_{SK_zd}} = \frac{772.51 \text{ Mpa}}{1} = 772.514 \text{ Mpa}$$

$$S_{SK_b} = \frac{R_m}{K_{SK_b}} = \frac{772.51 \text{ Mpa}}{0.71} = 1084.585 \text{ Mpa}$$

$$T_{SK_s} = f_t \times \frac{R_m}{K_{SK_s}} = 0.577 \times \frac{772.51 \text{ Mpa}}{1.00} = 445.741 \text{ Mpa}$$

$$T_{SK_t} = f_t \times \frac{R_m}{K_{SK_t}} = 0.577 \times \frac{772.51 \text{ Mpa}}{0.75} = 592.835 \text{ Mpa}$$

2.7.1 Die Erklärung:

Der Faktor $f_t = 0.577$ korrigiert die Zugfestigkeit R_m und die Fließgrenze R_p , sodass sich die Schubfestigkeitswerte ergeben.

2.8 Sicherheitsfaktoren

Die Sicherheitsfaktoren werden entsprechend der Schadensfolge und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der angenommenen Spannungen und hohe Belastungen wie folgt ausgewählt .

Daraus ergibt sich der Gesamtsicherheitsfaktor

$$j_m = 2$$

$$j_p = 1.5$$

$$j_{ges} :$$

$$j_{ges} = \max(j_m, j_p \times \frac{R_m}{R_p}) = \max(2, 1.5 \times \frac{772.51 \text{ Mpa}}{532.69 \text{ Mpa}}) = 2.18$$

3 Nachweis der statischen Festigkeit

3.1 Auslastungen für die einzelnen Spannungsarten

$$a_{SK_b} = \frac{\max(|S_{\max_b}|, |S_{\min_b}|) \times j_{\text{ges}}}{S_{SK_b}} = \frac{\max(|51.75 \text{ Mpa}|, |51.75 \text{ Mpa}|) \times 2.18}{1084.59 \text{ Mpa}} = 0.10$$

$$a_{SK_zd} = \frac{\max(|S_{\max_zd}|, |S_{\min_zd}|) \times j_{\text{ges}}}{S_{SK_zd}} = \frac{\max(|0.00 \text{ Mpa}|, |0.00 \text{ Mpa}|) \times 2.18}{772.51 \text{ Mpa}} = 0.00$$

$$a_{SK_s} = \frac{\max(|T_{\max_s}|, |T_{\min_s}|) \times j_{\text{ges}}}{T_{SK_s}} = \frac{\max(|34.93 \text{ Mpa}|, |34.93 \text{ Mpa}|) \times 2.18}{445.74 \text{ Mpa}} = 0.17$$

$$a_{SK_t} = \frac{\max(|T_{\max_t}|, |T_{\min_t}|) \times j_{\text{ges}}}{T_{SK_t}} = \frac{\max(|69.86 \text{ Mpa}|, |0.00 \text{ Mpa}|) \times 2.18}{592.83 \text{ Mpa}} = 0.26$$

Da alle Einzelauslastungen kleiner als 1 sind, sind die Einzelnachweise erbracht.

3.2 Auslastung für zusammengesetzte Spannungsarten

Die Auslastung für zusammengesetzte Spannungsarten wird wie folgt berechnet:

$$a_{SK_sv} = \sqrt{(a_{SK_zd} + a_{SK_b})^2 + (a_{SK_s} + a_{SK_t})^2} = \sqrt{(0.00 + 0.10)^2 + (0.17 + 0.26)^2} = 0.4393$$

Damit ist der statische Festigkeitsnachweis erbracht. Das Bauteil wird von den angegebenen Belastungen zu 43.93% beim Durchmesser von d=540 mm ausgelastet.

4 Spannungen für den Dauerfestigkeit (Dynamischer Festigkeitsnachweis der Welle)

5 Dynamische Festigkeitswerte und Festigkeitsnachweis

5.1 Spannungen für Dauerfestigkeitsnachweis:

$$N_m = \frac{N_{\max_x} + N_{\min_x}}{2} = \frac{10000 \text{ N} + 0 \text{ N}}{2} = 5000.000 \text{ N}$$

$$N_a = \frac{N_{\max_x} - N_{\min_x}}{2} = \frac{10000 \text{ N} - 0 \text{ N}}{2} = 5000.000 \text{ N}$$

$$Q_a = \frac{Q_{\max_y} - Q_{\min_y}}{2} = \frac{8000000 \text{ N} - 8000000 \text{ N}}{2} = 0.000 \text{ N}$$

$$Q_m = \frac{Q_{\max_y} + Q_{\min_y}}{2} = \frac{8000000 \text{ N} + 8000000 \text{ N}}{2} = 8000000.000 \text{ N}$$

$$M_{b_m} = \frac{M_{by_{\max}} + M_{by_{\min}}}{2} = \frac{800000000 \text{ Nmm} + 800000000 \text{ Nmm}}{2} = 800000000.000 \text{ Nmm}$$

$$M_{b_a} = \frac{M_{by_{\max}} - M_{by_{\min}}}{2} = \frac{800000000 \text{ Nmm} - 800000000 \text{ Nmm}}{2} = 0.000 \text{ Nmm}$$

$$M_{t_m} = \frac{M_{t_{max}} + M_{t_{min}}}{2} = \frac{2160000000.0 \text{ Nmm} + 0 \text{ Nmm}}{2} = 1080000000.000 \text{ Nmm}$$

$$M_{t_a} = \frac{M_{t_{max}} - M_{t_{min}}}{2} = \frac{2160000000.0 \text{ Nmm} - 0 \text{ Nmm}}{2} = 1080000000.000 \text{ Nmm}$$

$$S_{m_z d} = \frac{4 \cdot N_m}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 5000.0 \text{ N}}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.022 \text{ Mpa}$$

$$S_{a_z d} = \frac{4 \cdot N_a}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 5000.0 \text{ N}}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.022 \text{ Mpa}$$

$$S_{m_b} = \frac{32 \cdot M_{b_m}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 800000000.000 \text{ Nmm}}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^3} = 51.750 \text{ Mpa}$$

$$S_{a_b} = \frac{32 \cdot M_{b_a}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 0.000 \text{ Nmm}}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^3} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$T_{a_q} = \frac{4 \cdot Q_a}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0.0 \text{ N}}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 0.000 \text{ Mpa}$$

$$T_{m_q} = \frac{4 \cdot Q_m}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 8000000.0 \text{ N}}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^2} = 34.931 \text{ Mpa}$$

$$T_{m_t} = \frac{16 \cdot M_{t_m}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 1080000000.000 \text{ Nmm}}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^3} = 34.931 \text{ Mpa}$$

$$T_{a_t} = \frac{16 \cdot M_{t_a}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 1080000000.000 \text{ Nmm}}{\pi \cdot (540 \text{ mm})^3} = 34.931 \text{ Mpa}$$

5.2 Werkstoff-Normwerte und Festigkeitskennwerte für den Werkstoff im Bauteil:

- Normwert für axiale Spannungen ($\sigma_{W_zd_N}$): 480 Mpa

- Normwert für Schubspannungen ($\tau_{W_s_N}$): 180 Mpa

5.2.1 Festigkeitskennwerte des Werkstoffs im Bauteil:

- Berechneter Wert für axiale Spannungen $\sigma(\sigma_{W_zd})$

$$\sigma_{W_{zd}} = K_d \cdot m \cdot K_a \cdot \sigma_{W_{zd_N}} = 0.70 \cdot 1 \cdot 480 \text{ Mpa} = 337.097 \text{ Mpa}$$

- Berechneter Wert für Schubspannungen (τ_{W_s})

$$\tau_{W_s} = K_{dm} \cdot K_a \cdot \tau_{W_s_N} = 0.70 \cdot 1 \cdot 180 \text{ Mpa} = 126.411 \text{ Mpa}$$

$$t = \frac{D-d}{2} = \frac{850-540}{2} = 155.0 \text{ mm} \quad r = 15.0$$

5.3 Formzahlen

$$K_{t,t} = 1 + \frac{1}{\sqrt{3.4 \frac{r}{t} + \frac{38}{d} r (1 + 2 \frac{r}{d})^2 + 1.0 (\frac{r}{t})^3 \frac{d}{D}}} = 1 + \frac{1}{\sqrt{3.4 \frac{15.0 \text{ mm}}{155.0 \text{ mm}} + \frac{38}{540} 15.0 \text{ mm} (1 + 2 \frac{15.0 \text{ mm}}{540 \text{ mm}})^2 + 1.0 (\frac{15.0}{155.0})^3 \frac{155.0}{850}}}$$

$$K_{t,b} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0.62 \frac{r}{t} + \frac{11.6}{d} r (1 + 2 \frac{r}{d})^2 + 0.2 (\frac{r}{t})^3 \frac{d}{D}}} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0.62 \frac{15.0 \text{ mm}}{155.0 \text{ mm}} + \frac{11.6}{540} 15.0 \text{ mm} (1 + 2 \frac{15.0 \text{ mm}}{540 \text{ mm}})^2 + 0.2 (\frac{15.0}{155.0})^3 \frac{155.0}{850}}}$$

$$K_{t,zd} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0.62 \frac{r}{t} + \frac{7}{d} r (1 + 2 \frac{r}{d})^2}} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0.62 \frac{15.0 \text{ mm}}{155.0 \text{ mm}} + \frac{7}{540} 15.0 \text{ mm} (1 + 2 \frac{15.0 \text{ mm}}{540 \text{ mm}})^2}} = 2.901$$

$$K_{t,s} = 1.6$$

$$\text{Fr} \quad \frac{t}{d} \quad \text{bzw} \quad \frac{t}{d} > 0.25 \quad \text{ist} \quad \Theta = 0. \quad \text{sonst} \quad \Theta = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{\frac{t}{r} + 2}}$$

Werkstoffgruppe	a_g	b_g
Nichtrostender Stahl	0.4	2400
Anderer Stahl	0.50	2700

$$\Theta = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{\frac{155.0}{15.0} + 2}} = 0.000$$

5.3.1 Damit sind die bezogenen Spannungsgefälle für die Kerbe:

$$G_\sigma(r) = \frac{2.3}{r} \cdot (1 + \theta) = \frac{2.3}{15.0} \cdot (1 + 0.00) = 0.153 \quad \frac{1}{\text{mm}}$$

$$G_\tau(r) = \frac{1.15}{r} = \frac{1.15}{15.0} = 0.077 \quad \frac{1}{\text{mm}}$$

5.3.2 und für die Spannungsart:

$$G_\sigma(d) = \frac{2}{d} = \frac{2}{540} = 0.004 \quad \frac{1}{\text{mm}}$$

$$G_{\tau}(d) = \frac{2}{d} = \frac{2}{540} = 0.004 \quad \frac{1}{mm}$$

5.3.3 Für die Werkstoff ergeben sich die Konstanten:

$$a_g = 0.5$$

$$b_g = 2700$$

5.4 Die Stützzahlen für die Spannungsart:

$$n_{\sigma}(r) = 1 + \sqrt{G_{\sigma}(r) \cdot mm} \cdot 10^{(-ag + (\frac{Rm}{bg \frac{N}{mm^2}}))} = 1 + \sqrt{0.15 \cdot mm} \cdot 10^{(-(0.5 + (\frac{772.51}{2700.00 \frac{N}{mm^2}})))} = 1.06$$

$$da \ G_{\tau}(r) < 0.1 \ gilt :$$

\

$$n_{\tau}(r) = 1 + G_{\tau}(r) \cdot mm \cdot 10^{(-(ag - 0.5 + (\frac{0.577 \cdot Rm}{bg \frac{N}{mm^2}})))} = 1 + 0.08 \cdot mm \cdot 10^{(-(0.5 - 0.5 + (\frac{0.577 \cdot 772.51}{2700.00 \frac{N}{mm^2}})))} = 1.05$$

5.5 Die Stützzahlen für die Spannungsart:

$$da \ G_{\sigma}(d) < 0.1 \ gilt :$$

$$n_{\sigma}(d) = 1 + G_{\sigma}(d) \cdot mm \cdot 10^{(-(ag - 0.5 + (\frac{Rm}{bg \frac{N}{mm^2}})))} = 1 + 0.00 \cdot mm \cdot 10^{(-(0.5 - 0.5 + (\frac{772.51}{2700.00 \frac{N}{mm^2}})))} = 1.00$$

$$da \ G_{\tau}(d) < 0.1 \ gilt :$$

$$n_{\tau}(d) = 1 + G_{\tau}(d) \cdot mm \cdot 10^{(-(ag - 0.5 + (\frac{0.577 \cdot Rm}{bg \frac{N}{mm^2}})))} = 1 + 0.00 \cdot mm \cdot 10^{(-(0.5 - 0.5 + (\frac{0.577 \cdot 772.51}{2700.00 \frac{N}{mm^2}})))} = 1.00$$

5.6 Kerbwirkungszahlen:

$$K_{f.b} = \max(\frac{K_{t.b}}{n_{\sigma(d)} \cdot n_{\sigma(r)}}, \frac{1}{n_{\sigma(d)}}) = \max(\frac{2.54}{1.00 \cdot 1.06}, \frac{1}{1.00}) = 2.39$$

$$K_{f.t} = \max(\frac{K_{t.t}}{n_{\tau(d)} \cdot n_{\tau(r)}}, \frac{1}{n_{\tau(d)}}) = \max(\frac{1.81}{1.00 \cdot 1.05}, \frac{1}{1.00}) = 1.72$$

$$K_{f.zd} = \max(\frac{K_{t.zd}}{n_{\sigma(r)}}, 1) = \max(\frac{2.90}{1.06}, 1) = 2.73$$

$$K_{f.s} = \max(\frac{K_{t.s}}{n_{\tau(r)}}, 1) = \max(\frac{1.60}{1.05}, 1) = 1.52$$

5.7 Rauheitsfaktor

Rauheitsfaktor des Bauteils

$$R_z = 30 \mu m$$

$$K_\sigma = 1 - 0.22 \cdot \log_{10}\left(\frac{R_z}{\mu m}\right) \cdot \log_{10}\left(\frac{2 \cdot R_m}{400 MPa}\right) = 1 - 0.22 \cdot \log_{10}\left(\frac{30 \mu m}{\mu m}\right) \cdot \log_{10}\left(\frac{2 \cdot 772.51 MPa}{400 MPa}\right) = 0.81$$

$$K_\tau = 1 - 0.577 \cdot 0.22 \cdot \log_{10}\left(\frac{R_z}{\mu m}\right) \cdot \log_{10}\left(\frac{2 \cdot R_m}{400 MPa}\right) = 1 - 0.577 \cdot 0.22 \cdot \log_{10}\left(\frac{30 \mu m}{\mu m}\right) \cdot \log_{10}\left(\frac{2 \cdot 772.51 MPa}{400 MPa}\right) = 0.89$$

5.8 Randschichtfaktor

Der Randschichtfaktor

Für Bauteile ohne Randschichtverfestigung gilt:

$$K_v = 1$$

5.9 Konstruktionsfaktoren

$$K_{WK_b} = \left(K_{f.b} + \frac{1}{K_{r.\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_v} = \left(3.34 + \frac{1}{0.81} - 1\right) \cdot \frac{1}{1.00} = 3.57$$

$$K_{WK_t} = \left(K_{f.t} + \frac{1}{K_{r.\tau}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_v} = \left(2.27 + \frac{1}{0.89} - 1\right) \cdot \frac{1}{1.00} = 2.39$$

$$K_{WK_{zd}} = \left(K_{f.zd} + \frac{1}{K_{r.\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_v} = \left(2.73 + \frac{1}{0.81} - 1\right) \cdot \frac{1}{1.00} = 2.96$$

$$K_{WK_s} = \left(K_{f.s} + \frac{1}{K_{r.\tau}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_v} = \left(1.52 + \frac{1}{0.89} - 1\right) \cdot \frac{1}{1.00} = 1.64$$

5.10 Bauteilwechselfestigkeit:

Die ertragbaren Nennwerte der Bauteil-Wechselfestigkeit sind:

$$S_{WK.b} = \frac{\sigma_{W_{zd}}}{K_{WK.b}} = \frac{337.10}{2.39} = 94.36 MPa$$

$$S_{WK.zd} = \frac{\sigma_{W_{zd}}}{K_{WK.zd}} = \frac{337.10}{2.96} = 113.80 MPa$$

$$T_{WK.t} = \frac{\tau_{W.s}}{K_{WK.t}} = \frac{126.41}{2.39} = 52.81 MPa$$

$$T_{WK.s} = \frac{\tau_{W.s}}{K_{WK.s}} = \frac{126.41}{1.64} = 76.89 MPa$$

5.11 Mittelspannungsempfindlichkeit

Die Mittelspannungsempfindlichkeit ist ein Maß dafür, wie stark die Ausschlagspannung mit wachsender Mittelspannung abfällt

$$M_\sigma = 0.000035 \cdot \frac{R_m}{MPa} - 0.1 = 0.00035 \cdot \frac{772.51}{MPa} - 0.1 = 0.1704$$

$$M_\tau = 0.577 \cdot M_\sigma = 0.577 \cdot 0.1704 = 0.098$$

5.12 Vergleichspannung

$$S_{m.v} = \sqrt{3 \cdot (T_{m.t} + T_{m.s})^2 + (S_{m.b} + S_{m.zd})^2} = \sqrt{3 \cdot (34.93 + 34.93)^2 + (51.749816 + 0.021832)^2} = 131.61 \text{ Mpa}$$

$$T_{m.v} = 0.577 \cdot S_{m.v} = 0.577 \cdot 131.61 = 75.94 \text{ Mpa}$$

5.13 Bauteil-Ausschlagfestigkeit:

$$M_\sigma = 0.17$$

$$M_\tau = 0.098309$$

$$S_{SK_{zd}} = 772.51$$

$$S_{SK_b} = 1084.59$$

$$T_{SK_s} = 445.74$$

$$T_{SK_t} = 592.83$$

$$S_{WK_{zd}} = 113.80$$

$$S_{WK_b} = 94.36$$

$$T_{WK_s} = 76.89$$

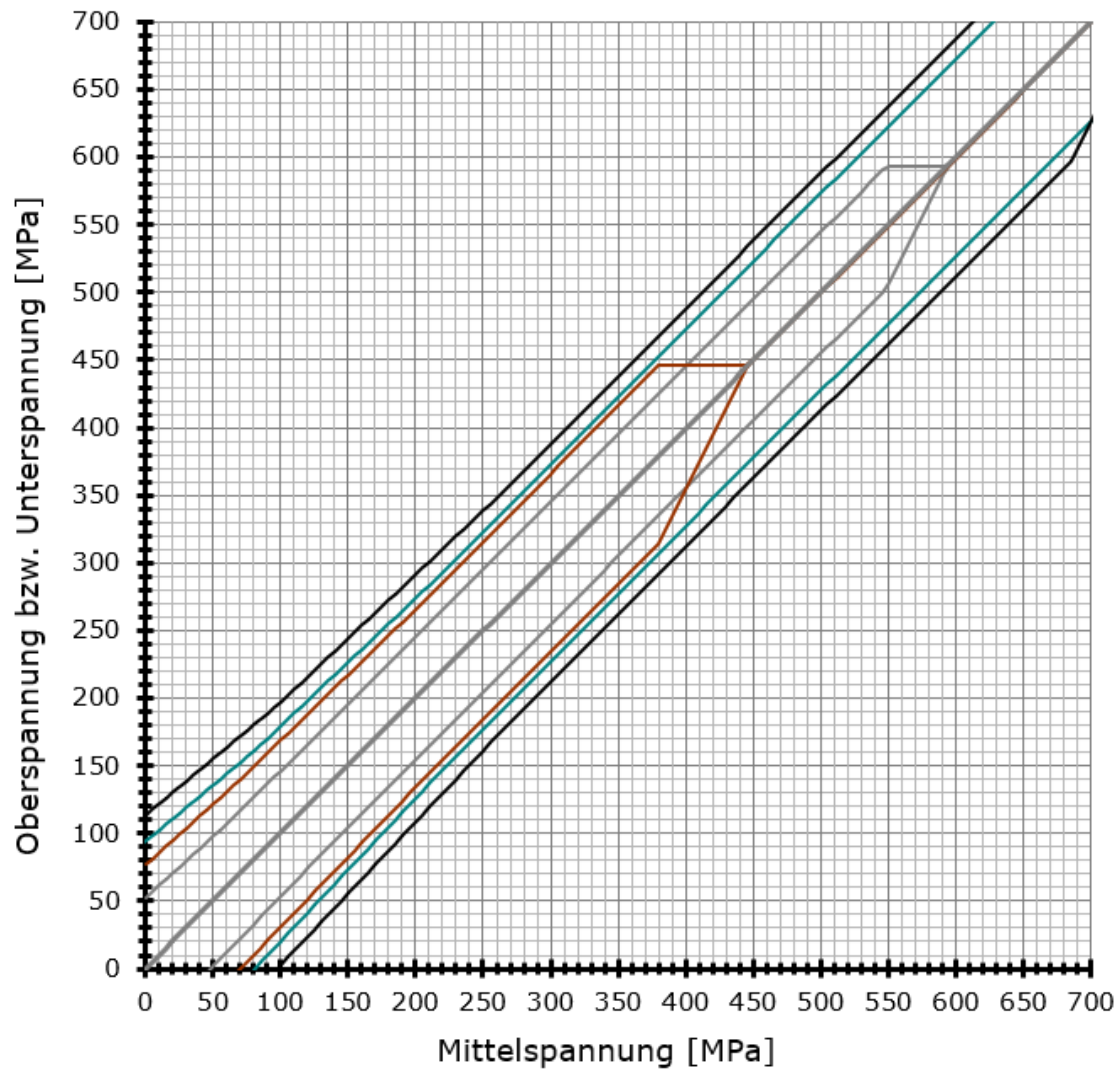
$$T_{WK_t} = 52.81$$

5.14 Aus dem Smith-Diagramm lassen sich folgende Werte ablesen:

Daraus ergeben sich nachfolgende Bauteilauslagsapnungen:

$$S_{o_{zd}} = S_{A_{k_{zd}}} = 117.950 \text{ Mpa} S_{o_b} = S_{A_{K_b}} = 98.510 \text{ Mpa} T_{o_s} = T_{A_{k_s}} = 81.400 \text{ Mpa} T_{o_t} = T_{A_{K_t}} = 57.320 \text{ Mpa}$$

Smithdiagramm



5.15 Sicherheitsfaktoren

Da die Schadenfolge hoch sind und regelmässig Inseption nicht durchgeführt wird , ist die Sicherheitsfaktor gleich

$$J_d = 1.5$$

5.16 Nachweis der Dauerfestigkeit

Auslastungen für einzelne Spannungsarten

$$a_{AK.b} = \frac{S_{a.b} \cdot J_d}{\min(S_{Ak.b}, 0.75 \cdot R_p \cdot K_{p.b})} = \frac{0.00 \cdot 1.5}{\min(98.51, 0.75 \cdot 532.69)} = 0.0000$$

$$a_{AK.t} = \frac{T_{a.t} \cdot J_d}{\min(T_{Ak.t}, 0.75 \cdot 0.577 \cdot R_p)} = \frac{34.93 \cdot 1.5}{\min(57.32, 0.75 \cdot 532.69)} = 0.9141$$

$$a_{AK.zd} = \frac{S_{a.zd} \cdot J_d}{\min(S_{Ak.zd}, 0.75 \cdot R_p)} = \frac{0.02 \cdot 1.5}{\min(117.95, 0.75 \cdot 532.69)} = 0.0003$$

$$a_{AK.s} = \frac{T_{a.s} \cdot J_d}{\min(T_{Ak.s}, 0.75 \cdot 0.577 \cdot R_p)} = \frac{0.00 \cdot 1.5}{\min(81.40, 0.75 \cdot 0.577 \cdot 532.69)} = 0.0000$$

5.17 Auslastungen für zusammengestzte Spannungsarten:

$$a_{AK.Sv} = \sqrt{(a_{AK.b} + a_{AK.zd})^2 + (a_{AK.t} + a_{AK.s})^2} = \sqrt{(0.00 + 0.0003)^2 + (0.91 + 0.0000)^2} = 0.9141$$

Die Einzelauslastungen sind kleiner 1 , die Gesamtauslastung bei D=540 mm ist 91.41 %