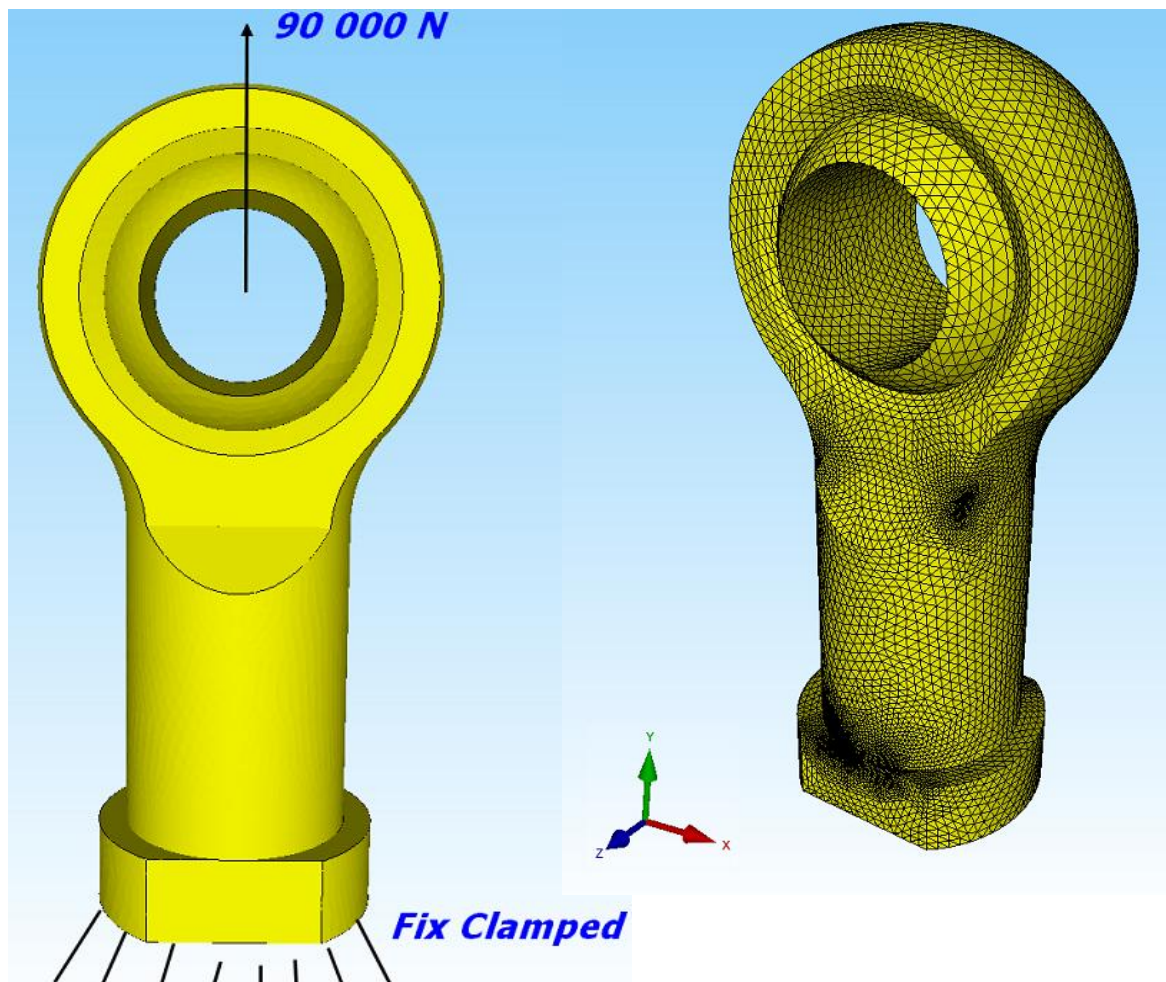
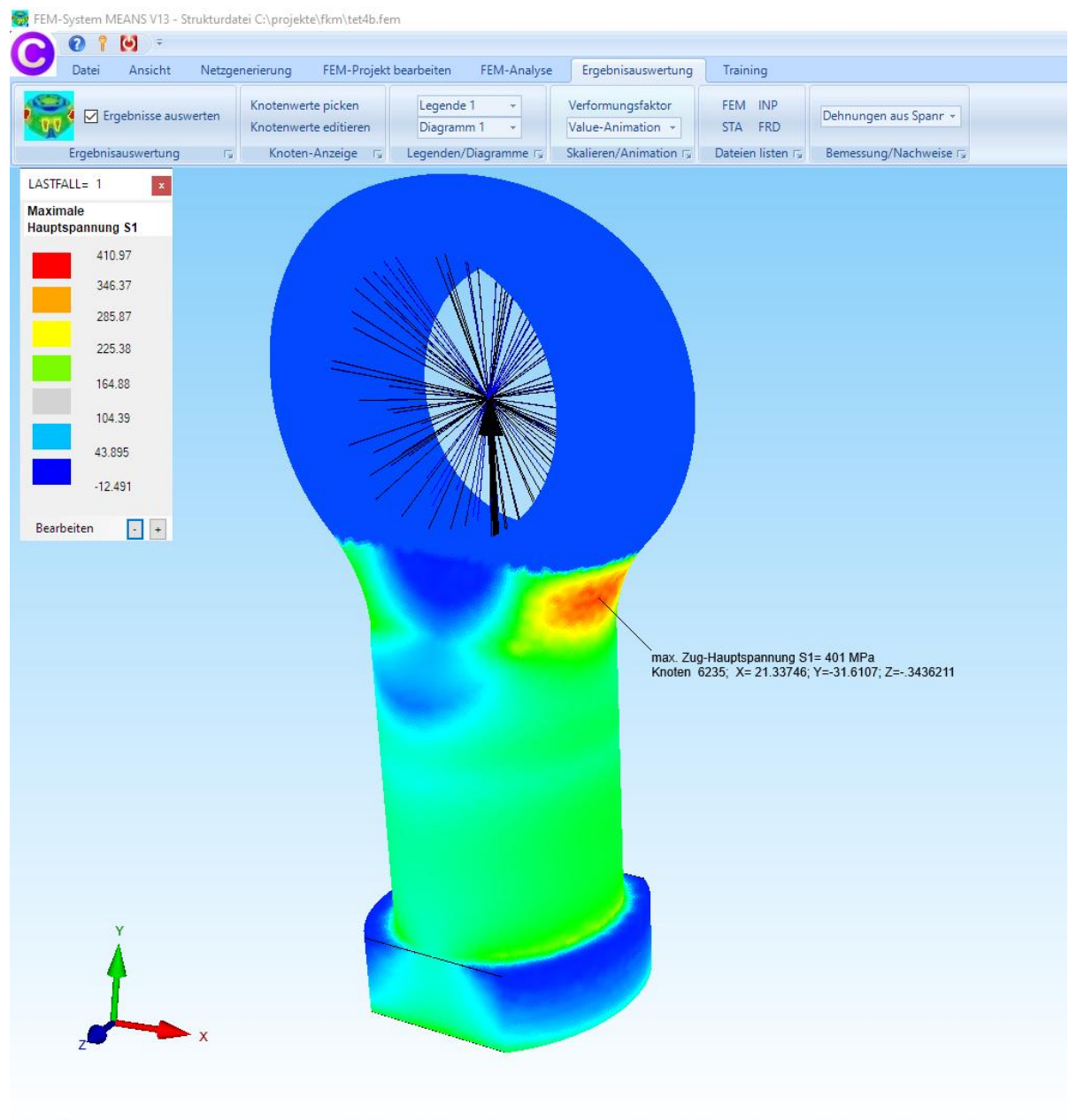
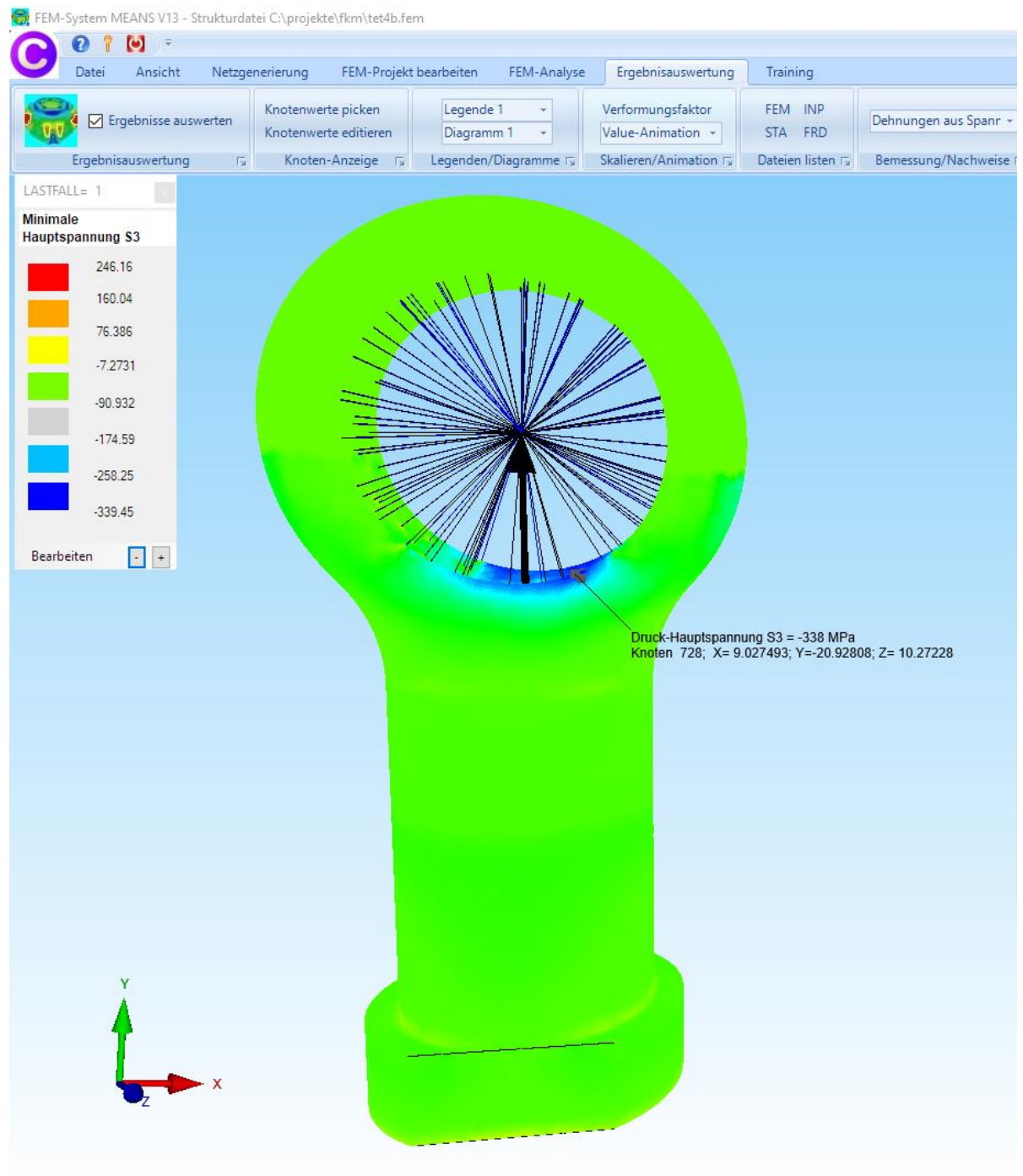


Kapitel 40 Teil2: Gelenkkopf-Ermüdungsanalyse nach der FKM-Richtlinie

Ein Gelenkkopf aus Schmiedestahl CK 60 wird mit einer Zugbelastung von 90 kN belastet. Es soll ein Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach der vereinfachten FKM-Richtlinie sowohl für geschweißte als auch für nicht geschweißte Bauteile durchgeführt werden und Darstellung der Ausnutzungsgrad-Verteilung am FEM-Modell.

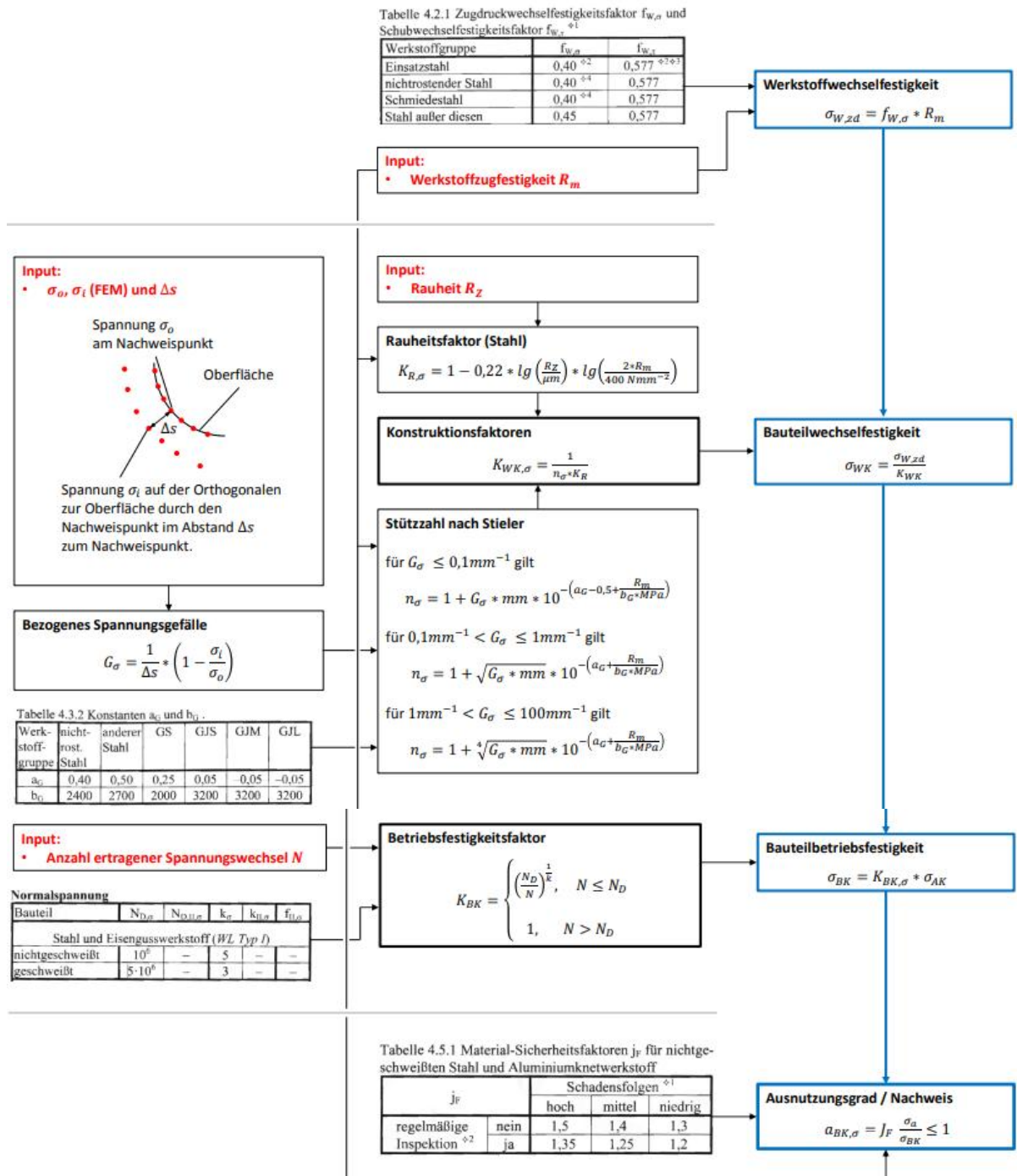


Maximale Zug-Hauptspannung S1 am Knoten 6235

Minimale Druck-Hauptspannung S3 am Knoten 728

1.) Vereinfachter Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach der FKM-Richtlinie für

- nicht geschweißte Strukturstellen
- örtliche Spannungen
- ein Einstufenkollektiv
- nur eine Schädigungsrelevante Normalspannungskomponente
- kerbschärfenunabhängigen Rauigkeitseinfluss



1.1) Werstoffwechselfestigkeit $\sigma_{W,zd}$

$$\sigma_{W,zd} = f_w \cdot R_m = 0.4 \cdot 690 \text{ N/mm}^2 = 276 \text{ N/mm}^2$$

mit

Zugdruckwechselfestigkeitsfaktor für Schmiedestahl $f_w = 0.4$

Werkstoffzugfestigkeit $R_m = 690 \text{ N/mm}^2$ für CK 60

1.2) Bauteilwechselfestigkeit σ_{WK}

$$\sigma_{WK} = \sigma_{W,zd} / K_{WK} = 276 \text{ N/mm}^2 / 1.0813 = 255 \text{ N/mm}^2$$

mit

$$\text{Konstruktionsfaktor } K_{WK} = 1 / K_R \cdot n_{st} = 1 / (0.853 \cdot 1.1075) = 1.0813$$

$$\text{Rauheitsfaktor } K_R = 1 - 0.22 \lg(R_z) \cdot \lg(2 \cdot R_m / 400)$$

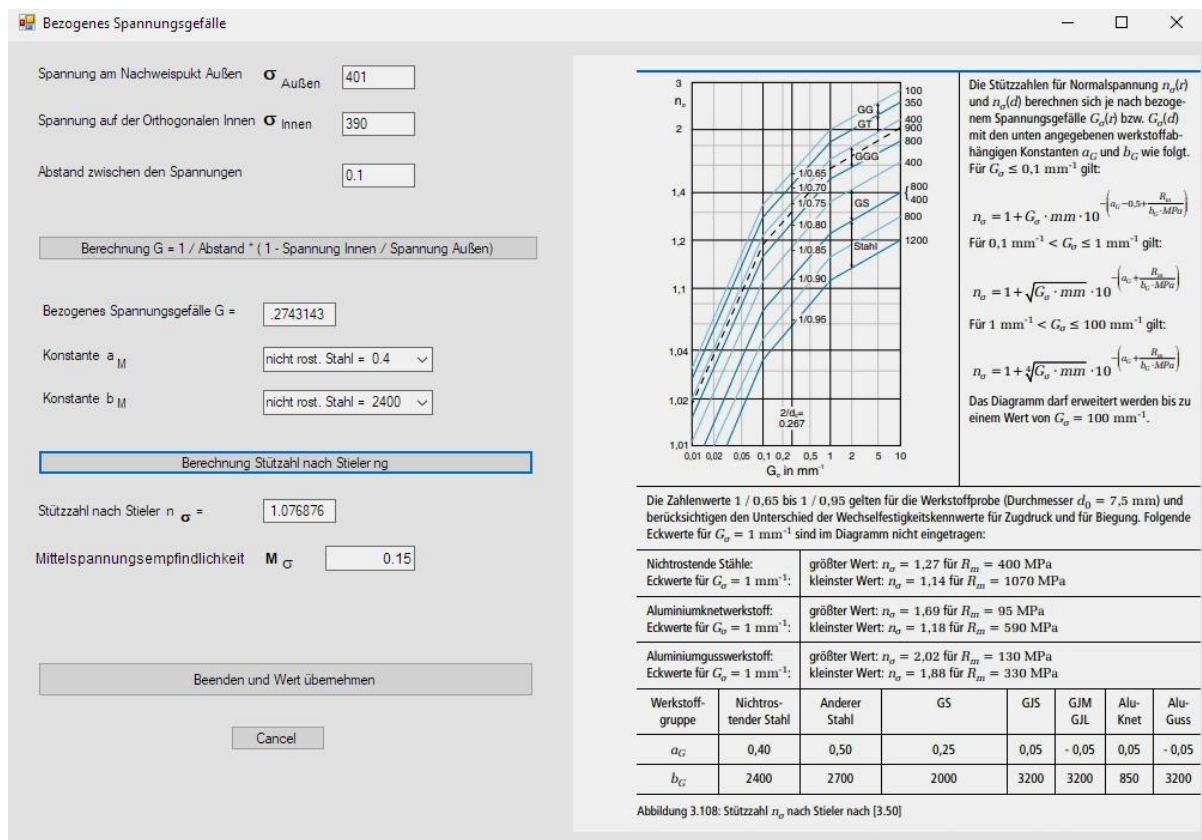
$$= 1 - 0.22 \cdot 1.3979 \cdot 0.5378 = 0.853$$

Rauheitstiefe $R_z = 25 \mu\text{m}$

Stützzahl nach Stieler $n_{st} = 1.1075$ (mit G nach Stieler $> 0.1 \text{ mm}^{-1}$ und $< 1 \text{ mm}^{-1}$)

$$\text{Spannungsgefälle } G = 1 / \Delta S \cdot (1 - \sigma_i / \sigma_a) = 0.2743 \text{ mm}^{-1}$$

mit $\Delta s = 0.1 \text{ mm}$, $\sigma_i = 390 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_a = 401 \text{ N/mm}^2$



Die gleichen Ergebnisse erhält man ohne Formel-Berechnungen mit dem FKM-Nachweis von MEANS V14. Wählen Sie das Register „Ergebnisauswertung“ und Menü „Ermüdungsnachweis FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile“.



Nachweis Seite 1:

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile

Nachweise Seite 1 | Nachweis Seite 2 | FEM-Schnittstelle | Links

max. Oberspannung	$\max \sigma_N$	401	MPa
min. Unterspannung	$\min \sigma_N$	100	MPa
Mittelspannung	s_M	250.50	MPa
Spannungsamplitude	s_A	150.50	MPa
Spannungsverhältnis	R	0.25	
Zugdruck-Wechselfestigkeitsfaktor	$f_{w\sigma}$	0.4	Einsatzstahl 0.4
Werkstoffzugfestigkeit	R_m	690	MPa
minimale Werkstoffzugfestigkeit	$R_{m\min}$	Stahl = 400	MPa
Werkstoffwechselfestigkeitsfaktor	$\sigma_{W,zd}$	276	MPa
Rauheit nach DIN 4768	R_z	25	μm
Rauheitsfaktor	$K_{R,\sigma}$	0.853	
Stützzahl nach Stiebler	n_σ	1.107553	Stützzahl berechnen
Konstruktionsfaktor	$K_{WK,\sigma}$	1.081831	
Bauteilwechselfestigkeitsfaktor	σ_{WK}	255.12	MPa

1.3) Bauteildauerfestigkeit σ_{AK}

$$\sigma_{AK} = \sigma_{WK} \cdot K_{AK} = 255 \text{ N/mm}^2 \cdot 0.8505 = 217 \text{ N/mm}^2$$

mit

$$\text{Spannungsverhältnis } R = (\sigma_m - \sigma_A) / (\sigma_m + \sigma_A) = 0.25$$

$$\text{Mittelspannung } \sigma_m = 250 \text{ N/mm}^2 \text{ und Spannungsamplitude } \sigma_A = 150 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Mittelspannungsempfindlichkeit } M_\sigma = 0.35 \cdot 0.001 \cdot 690 \text{ N/mm}^2 - 0.1 = 0.1415$$

$$\text{Mittelspannungsfaktor } K_{AK} = 0.8505 \text{ (mit } R \Rightarrow -0 \text{ und } R < 0.5)$$

1.4) Bauteilbetriebsfestigkeit σ_{BK}

$$\sigma_{BK} = \sigma_{AK} \cdot K_{BK} = 217 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5849 = 343 \text{ N/mm}^2$$

mit

$$\text{Anzahl geforderter Lastwechsel } N = 100\,000$$

$$\text{Lastwechsel } N_D \text{ für nichtgeschweißten Stahl} = 1\,000\,000 \text{ und } k = 5$$

$$\text{Betriebsfestigkeitsfaktor } K_{BK} = (N_D/N)^{1/k} = (1\,000\,000 / 100\,000)^{0.2} = 1.5849$$

1.5) Ausnutzungsgrad a_{BK}

$$a_{BK} = J_F \cdot \sigma_A / \sigma_{BK} = 1.25 \cdot 150 \text{ N/mm}^2 / 343 \text{ N/mm}^2 = 0.547$$

mit

$$\text{Material-Sicherheitsfaktor } J_f \text{ für mittel regelmäßige Inspektion} = 1.25$$

Der zyklische Ausnutzungsgrad a_{BK} ist < 1 und damit ist der Betriebsfestigkeitsnachweis für 100 000 Lastwechsel für nicht geschweißte Bauteile erbracht.

Nachweis Seite 2:

Ermüdungsnachweis

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile

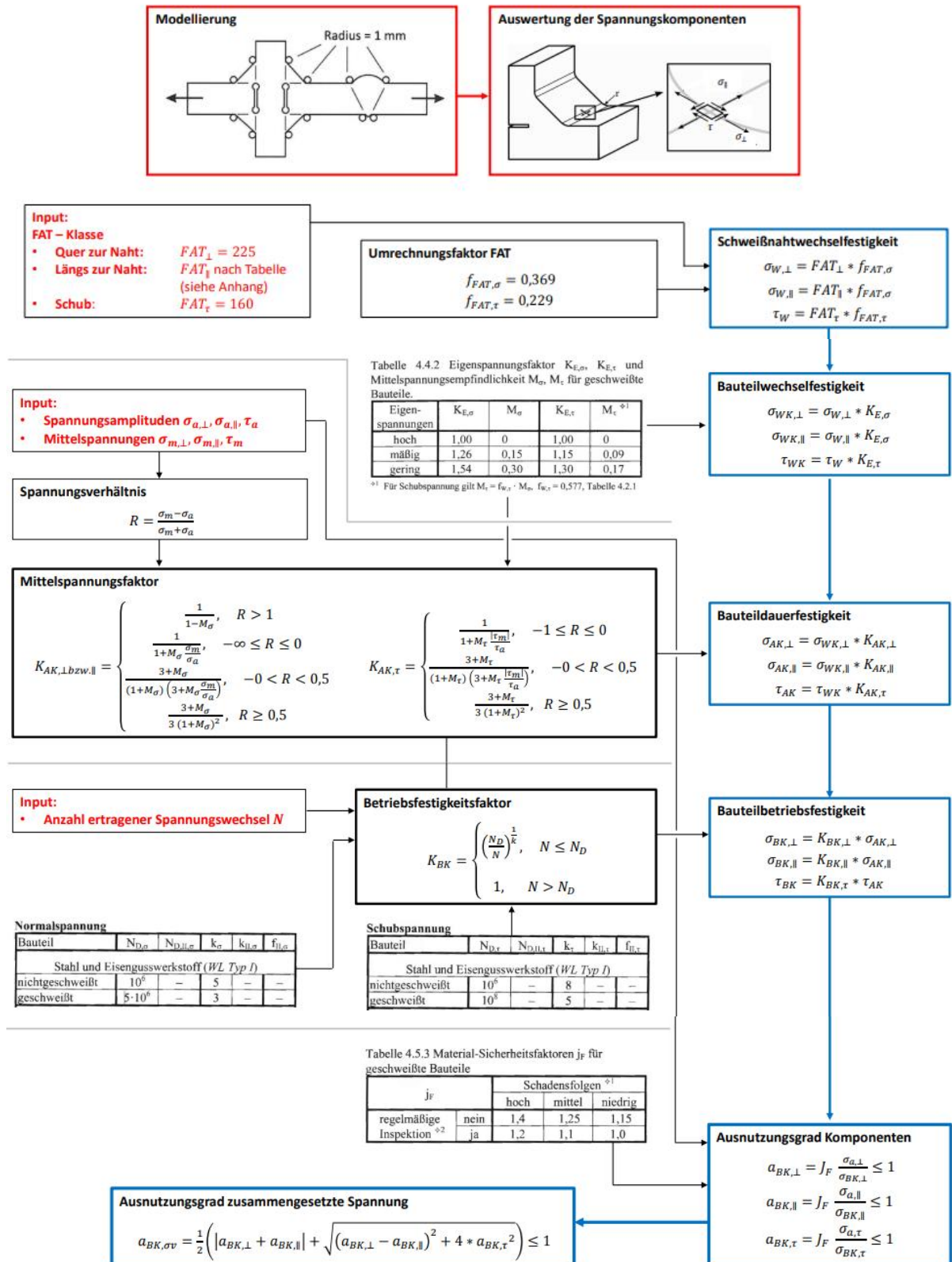
Nachweise Seite 1 Nachweis Seite 2 FEM-Schnittstelle Links

Konstante	a_M	Stahl = 0.35	b_M	Stahl = -0.1
Mittelspannungsempfindlichkeit	M_σ	.1415		
Mittelspannungsfaktor	$K_{AK,\sigma}$	.8505837		
Bauteildauerfestigkeit	$S_{A,K}$	217.00 MPa		
geforderte Lastwechsel	N	100000		
Werkstoffgruppe		Stahl geringe Eigenspannung ND=10^6 k=5 T=50		
Grenz-Schwingenspielzahl	N_D	1000000		
Betriebsfestigkeitsfaktor	$K_{B,K}$	1.58		
Bauteilbetriebsfestigkeit	$S_{B,K}$	343.92 MPa		
Lastfaktor	j_S	1.00		
Materialsicherheitsfaktor	j_F	1.25 für mittel regelmäßige Inspektion		
Gesamtsicherheitsfaktor	j_D	1.25		
Nachweis				
Zyklischer Einzelauslastungsgrad	a_{bk}	0.547		

Der zyklische Auslastungsgrad ist ≤ 1 , damit ist der Betriebsfestigkeitsnachweis erbracht

2.) Vereinfachter Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach der FKM-Richtlinie für

- geschweißte Strukturstellen
- örtliche Spannungen
- ein Einstufenkollektiv



2.1) Schweißnahtwechselfestigkeit σ_w

$$\sigma_w = \text{FAT}_{\text{Längs}} * f_{\text{FAT}} * f_t = 100 * 0.397 * 1.1 = 40.7 \text{ N/mm}^2$$

mit

FAT-Klasse mit Zugbelastung und Längsnaht = 100 N/mm²

Umrechnungsfaktor $F_{\text{FAT}} = 0.397$

Dickenfaktor F_t für Bleche $\leq 10 \text{ mm} = 1.1$

Nachweis Seite 1:

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie
 für geschweißte Bauteile

Nachweis Seite 1 Nachweis Seite 2 FEM-Schnittstelle Links / Video

max. Oberspannung	max σ_N	401	MPa	
min. Unterspannung	min σ_N	100.00	MPa	
Mittelspannung	S_M	250.50	MPa	
Spannungsamplitude	S_A	150.50	MPa	
Spannungsverhältnis	R	0.25		
geforderte Lastwechsel	N	100000		
Werkstoffgruppe	Stahl geringe Eigenspannung ND=1			Link 3
Grenz-Schwingenspielzahl	N_D	1000000		
Neigungsexponent	k	5		
Konstruktionskennwerte	FAT	100 Längs zur Naht		Link 1
Umrechnungsfaktor		0.37 für Zug/Druck		
Dickenfaktor	f_t	1.1 für Bleche <= 10mm		
Randschichtfaktor	K_V	1.00		
Schutzschichtfaktor	K_S	1.00		
Spannungs-Dehnungsfaktor	$K_{NL,E}$	1.00		
Schweißnaht-Wechselfestigkeit	S_w	40.70	MPa	

2.2) Bauteilwechselfestigkeit σ_{WK}

$$\sigma_{WK} = \sigma_W * K_{WK} = 40.7 \text{ N/mm}^2 * 1.54 = 62.68 \text{ N/mm}^2$$

mit

Eigenspannungsfaktor für geringe Eigenspannung $K_{WK} = 1.54$

2.3) Bauteildauerfestigkeit σ_{AK}

$$\sigma_{AK} = \sigma_{WK} * K_{AK} = 62.68 \text{ N/mm}^2 * 0.73 = 45.47 \text{ N/mm}^2$$

mit

Spannungsverhältnis $R = 0.25$

Mittelspannungsfaktor $K_{AK} = 0.72$

2.4) Bauteilbetriebsfestigkeit σ_{BK}

$$\sigma_{BK} = \sigma_{AK} * K_{BK} = 45.47 \text{ N/mm}^2 * 1.58 = 72.06 \text{ N/mm}^2$$

mit

Anzahl geforderter Lastwechsel $N = 100\,000$

Lastwechsel N_D für nichtgeschweißten Stahl = 1 000 000 und $k = 5$

Betriebsfestigkeitsfaktor $K_{BK} = (N_D/N)^{1/k} = (1\,000\,000 / 100\,000)^{0.2} = 1.5849$

2.5) Ausnutzungsgrad a_{BK}

$$a_{BK} = J_F * \sigma_A / \sigma_{BK} = 1.1 * 150 \text{ N/mm}^2 / 72.06 \text{ N/mm}^2 = 2.29$$

mit

Material-Sicherheitsfaktor J_f für mittel regelmäßige Inspektion = 1.1

Der zyklische Ausnutzungsgrad a_{BK} ist > 1 und damit ist der Betriebsfestigkeitsnachweis für 100 000 Lastwechsel für geschweißte Bauteile nicht erbracht.

Nachweis Seite 2:

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie
für geschweißte Bauteile

Nachweis Seite 1 Nachweis Seite 2 FEM-Schnittstelle Links / Video

Eigenspannungsanteil		gering	Drucken
Mittelspannungsempfindlichkeit	M_{σ}	.3	Einladen
	M_{τ}	.17	Sichern
Eigenspannungsfaktor	$K_{E\sigma}$	1.54	
	$K_{E\tau}$	1.3	
Mittelspannungsfaktor	$K_{AK\sigma}$	0.73	
	$K_{AK\tau}$	0.00	
Bauteil-Wechselfestigkeit	$S_{W,K}$	62.68	MPa
Amplitude der Bauteildauerfestigkeit	$S_{A,K}$	45.47	MPa
Amplitude der Bauteilbetriebsfestigkeit	$S_{B,K}$	72.06	MPa
Sicherheitsbeiwerte			
Lastfaktor	j_S	1.00	
Materialsicherheitsfaktor	j_F	1.1 für mittel regelmäßige	
Temperaturfaktor	$K_{T,D}$	1.00	
Gesamtsicherheitsfaktor	j_D	1.10	
Nachweis			
Zyklischer Einzelauslastungsgrad	a_{bk}	2.297	

Der zyklische Auslastungsgrad ist > 1, damit ist der Betriebsfestigkeitsnachweis nicht erbracht