

Kapitel 11 - Lebensdauerberechnung einer Tretkurbel und einer Tretlagerwelle

Inhaltsverzeichnis:

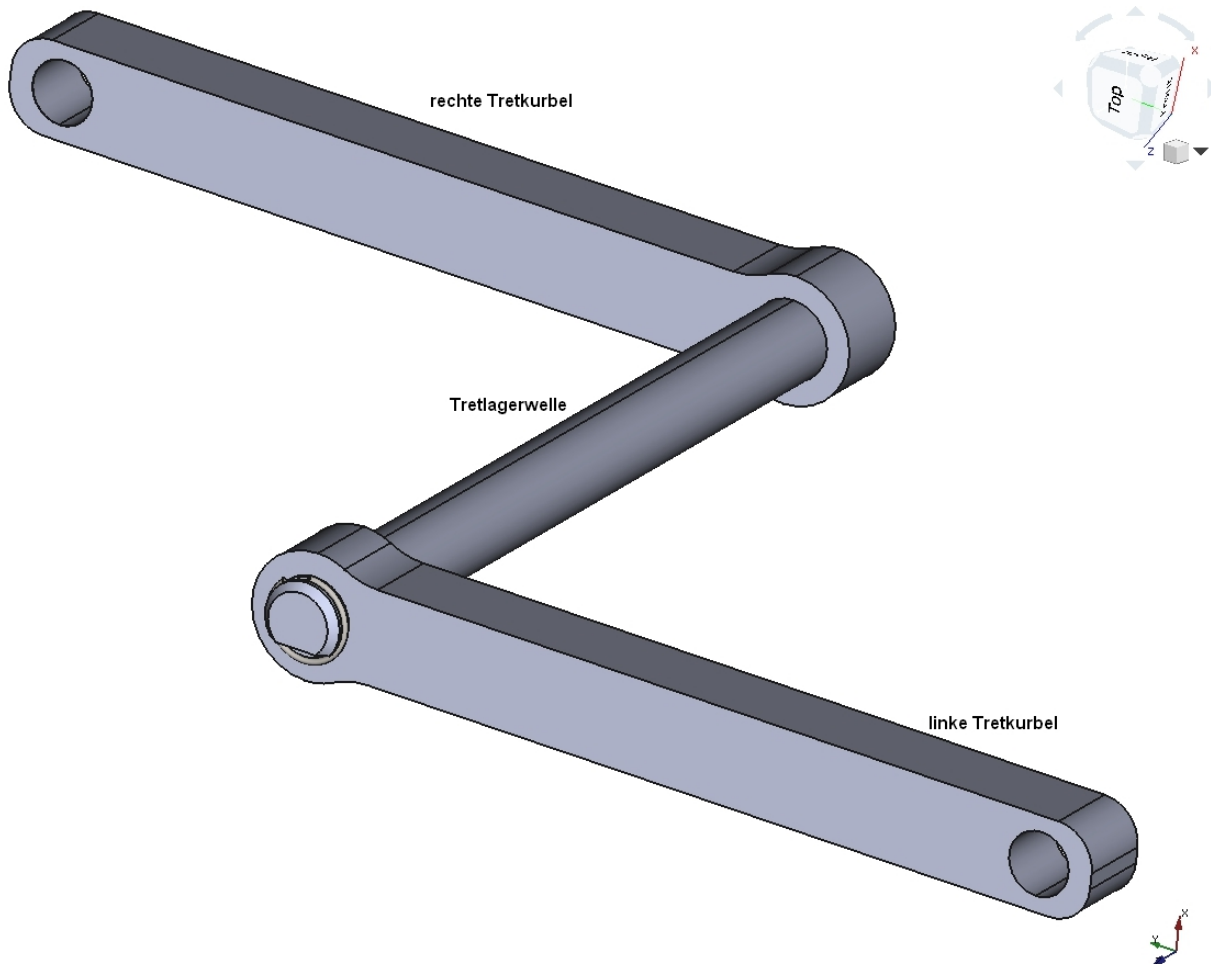
	Seite
1. FEM-Berechnung der Tretkurbel	2
1.1 CAD-Modell	2
1.2 FEM-Modell	3
1.3 Werkstoff	3
1.4 Belastungen	4
1.5 Lagerungen	4
1.6 Auswertung der Ergebnisse	5
1.6.1 Verformungen	5
1.6.2 Zug- und Druckspannungen	6
1.6.3 Ermüdungsnachweis für 100 000 Lastwechsel	7
2. FEM-Berechnung der Tretlagerwelle	11
2.1 CAD-Modell	11
2.2 FEM-Modell	11
2.3 Werkstoff	12
2.4 Belastungen	12
2.4.1 Biegemoment	12
2.4.2 Torsionsmoment	13
2.5 Lagerungen	13
2.6 Auswertung der Ergebnisse	14
2.6.1 Verformungen	14
2.6.2 Zug- und Druckspannungen für Biegemoment	15
2.6.3 Zug- und Druckspannungen für Torsionsmoment	16
2.6.4 Ermüdungsnachweis für Biegemoment	17
2.6.5 Ermüdungsnachweis für Torsionsmoment	21

1. FEM-Berechnung der Tretkurbel

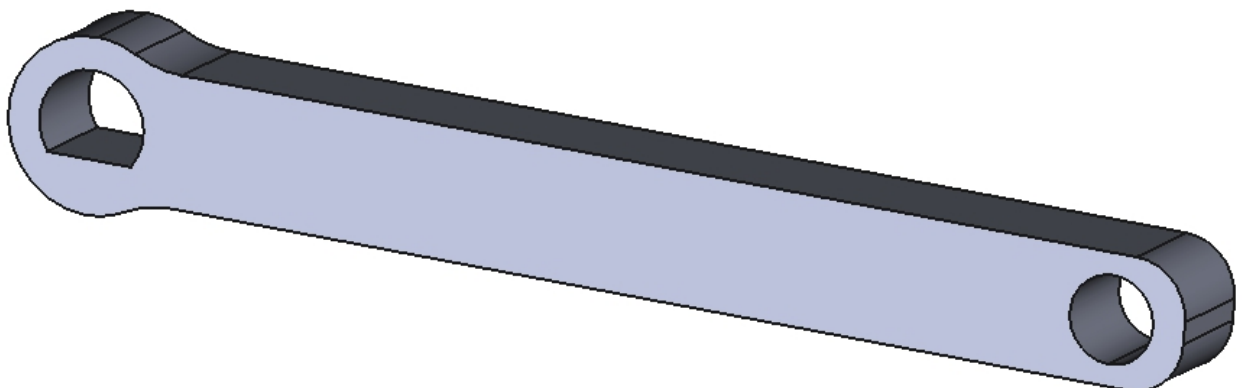
1.1 CAD-Modell

Eine CAD-Baugruppe im STEP-Format diene als Vorlage für die FEM-Netzgenerierung.

CAD-Baugruppe

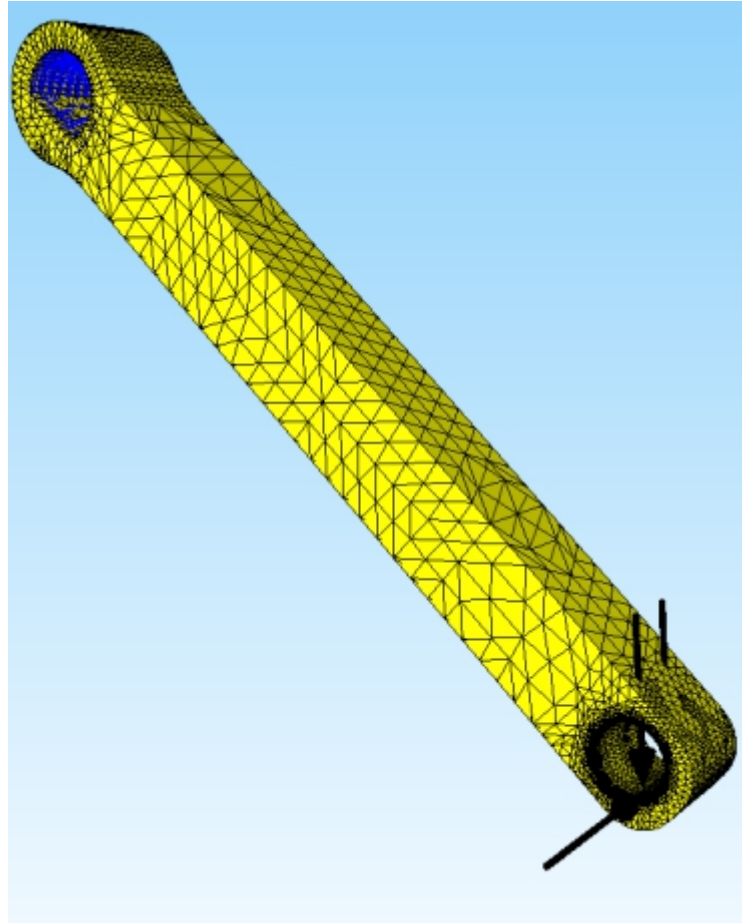


Tretkurbel



1.2 FEM-Modell

Aus der STEP-Datei wurde mit dem 3D-Netzgenerator des FEM-System MEANS V12 ein FEM-Modell mit 108 384 Tetraedern und 171 675 Knotenpunkten generiert.



1.3 Werkstoff

Es wurde der Werkstoff **AL7075** aus Aluminium mit folgenden Materialdaten gewählt:

E-Modul = 71 000 N/mm²

Poisson-Zahl = 0.34

Zugfestigkeit R_m = 540 N/mm²

Streckgrenze = 580 N/mm²

1.4 Lagerung

Da die beiden Tretkurbeln fest mit der Tretlagerwelle verbunden waren wurde die Kurbel in der oberen Wellenbohrung in X-, Y- und Z-Richtung fest eingespannt.

1.5 Belastung

Für die Pedalkraft mußte das FEM-Modell zuerst um -45 Grad in der XY-Ebene gedreht werden. Die Pedalkraft wurde aus dem Kurbeltest DIN EN übernommen, dort wurde eine senkrechte Pedalkraft von -1200 N schräg zur YZ-Ebene mit einem Winkel von 7.5° Grad angegeben, daraus wurden folgende Kraftanteile berechnet:

$$F_y = -1\,200\text{ N} \cdot 0.925 = -1\,110\text{ N}$$

$$F_z = 1\,200\text{ N} \cdot 0.075 = 90\text{ N}$$

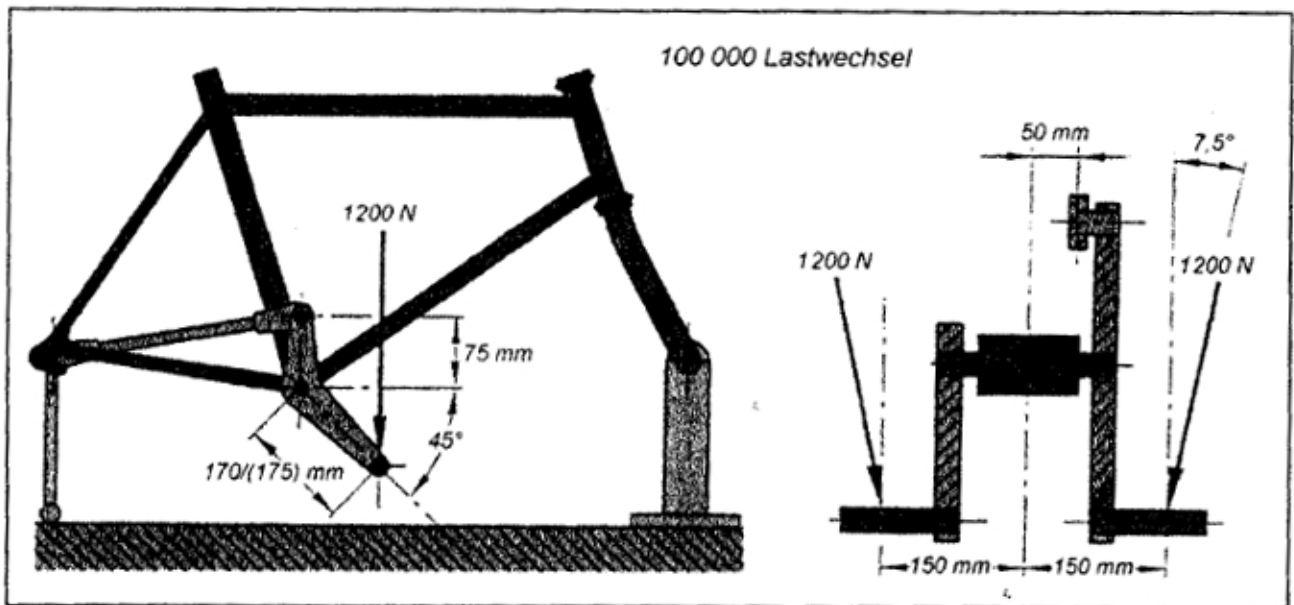
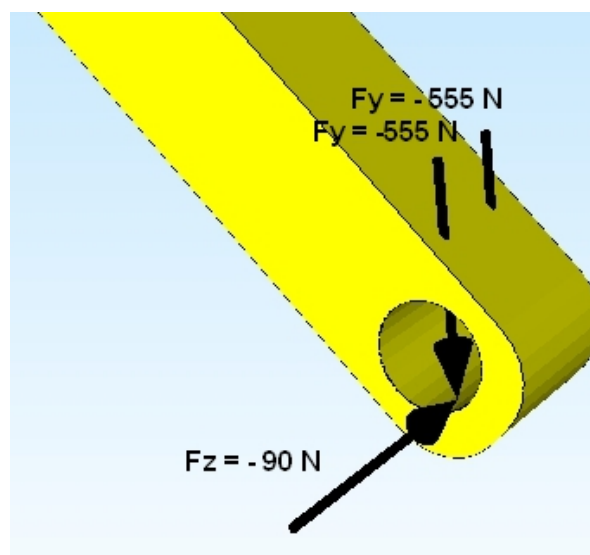


Bild 26: Kurbeltest nach DIN EN.

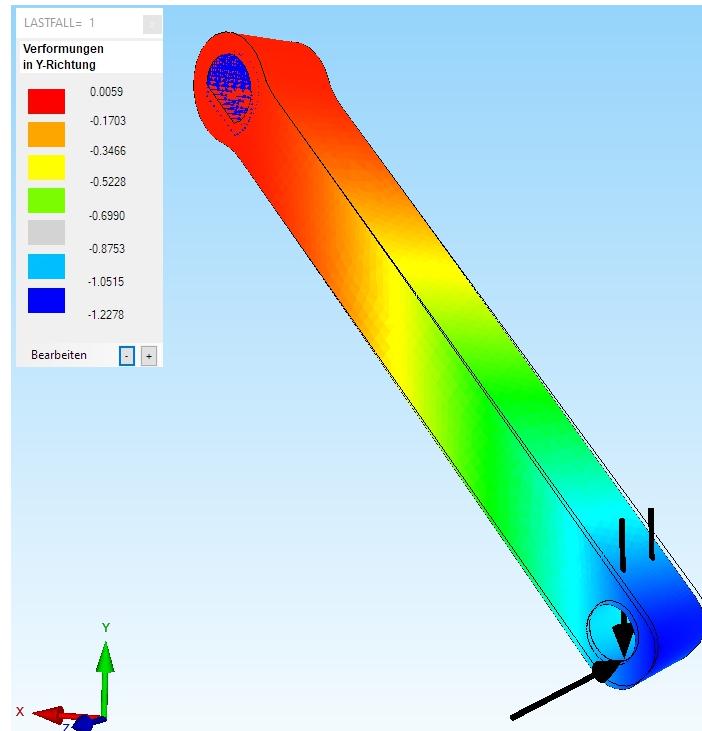
Pedalkraft an der Kurbel



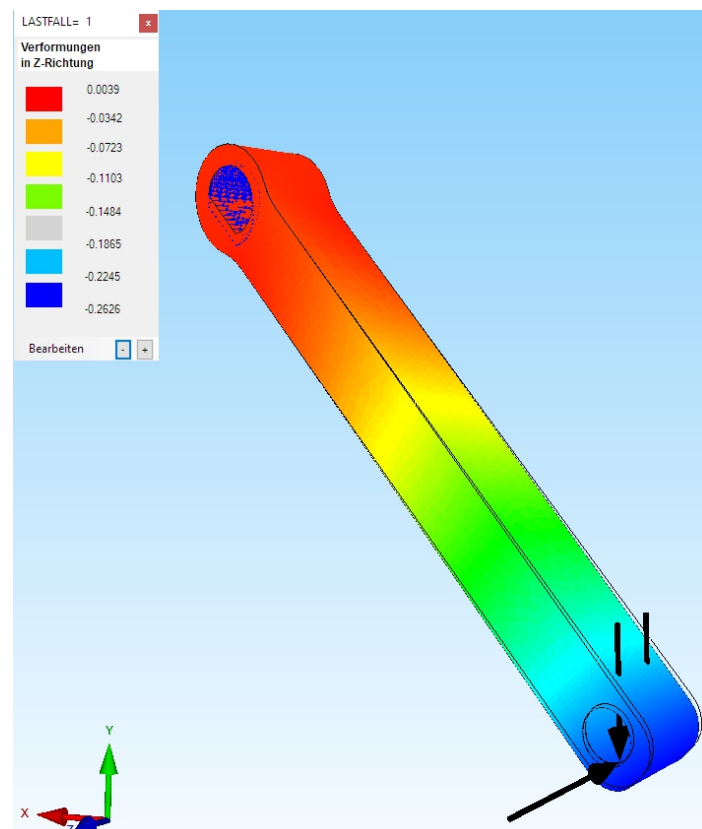
1.6 Auswertung der Ergebnisse

1.6.1 Verformungen

Die max. Verformung in Y-Richtung beträgt -1.22 mm

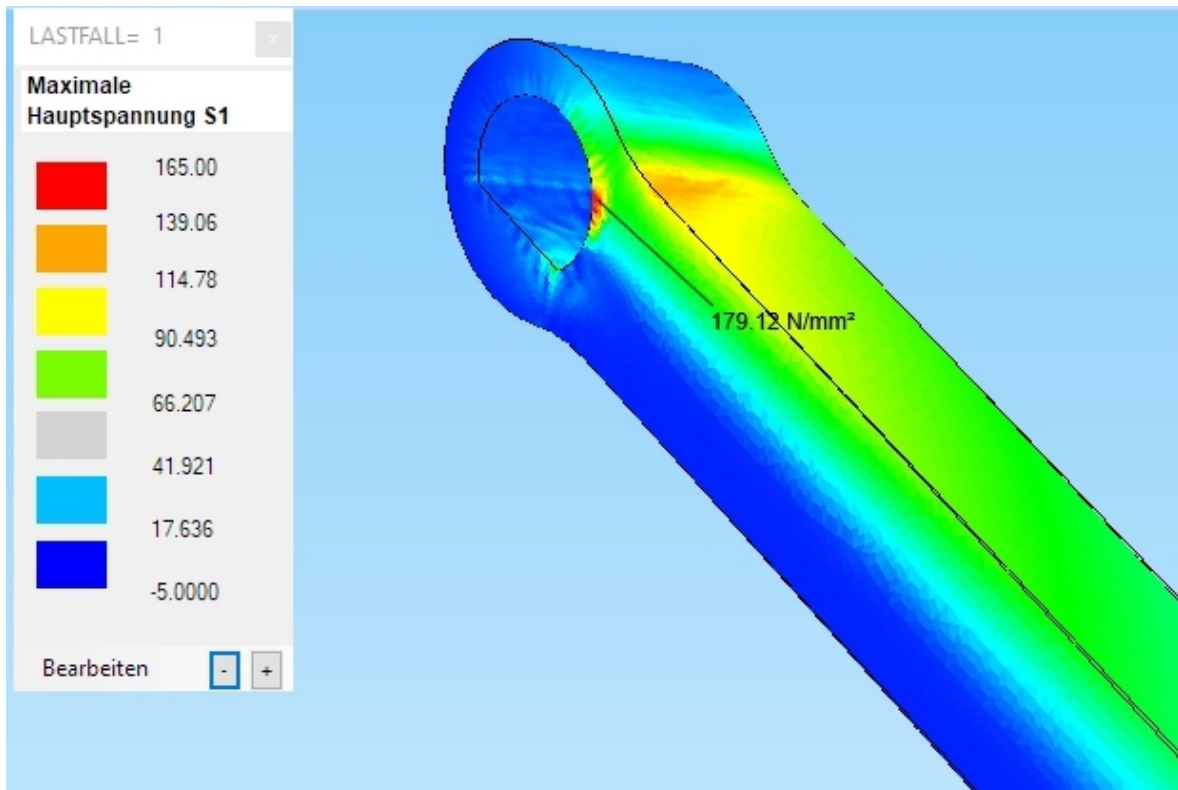


Die max. Verformung in Z-Richtung beträgt -0.26 mm

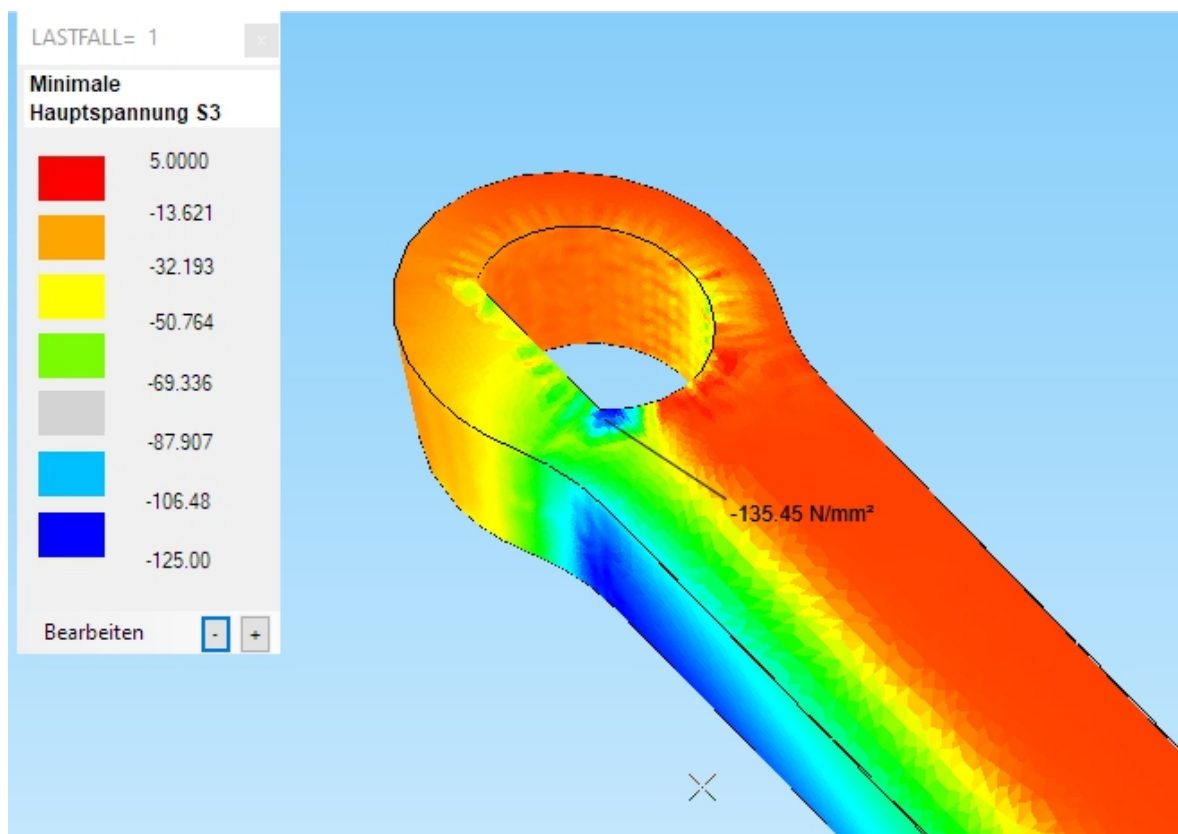


1.6.2 Zug- und Druckspannungen

Die maximale Zug-Hauptspannung S1 beträgt 179 N/mm^2



Die minimale Druck-Hauptspannung S3 beträgt -135 N/mm^2



1.6.3 Ermüdungsnachweis für 100 000 Lastwechsel

Es folgt eine vereinfachte Ermüdungsanalyse nach der FKM-Richtlinie mit dem Zusatzmodul „Lebensdauerberechnung“ des FEM-System MEANS V12 (siehe www.femcad.de).

Nachweis der Zuspännungen

Max. Oberspannung = max. Zugspannung am Knoten $168\,866 \cdot 1.5$ Sicherheit
 $= 179 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5 = 268 \text{ N/mm}^2$

Min. Unterspannung = min. Druckspannung am Knoten $168\,866 \cdot 1.5$ Sicherheit
 $= 6.9 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5 = 10.39 \text{ N/mm}^2$

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile				
Nachweise Seite 1	Nachweis Seite 2	FEM-Schnittstelle	Links	
max. Oberspannung	$\max \sigma_N$	<input type="text" value="268"/>	MPa	
min. Unterspannung	$\min \sigma_N$	<input type="text" value="10"/>	MPa	
Mittelspannung	S_M	<input type="text" value="139.00"/>	MPa	
Spannungsamplitude	S_A	<input type="text" value="129.00"/>	MPa	
Spannungsverhältnis	R	<input type="text" value="0.04"/>		
Zugdruck-Wechselfestigkeitsfaktor	$f_{W,\sigma}$	<input type="text" value=".45"/>		Aluminium 0.45 <input type="button" value="v"/>
Werkstoffzugfestigkeit	R_m	<input type="text" value="540"/>	MPa	<input type="button" value="Rm-Werte Stahl"/>
minimale Werkstoffzugfestigkeit	$R_{m \min}$	Alu = <input type="text" value="350"/>	MPa	<input type="button" value="Rm-Werte Alu"/>
Werkstoffwechselfestigkeitsfaktor	$\sigma_{W, zd}$	<input type="text" value="243"/>	MPa	
Rauheit nach DIN 4768	R_z	<input type="text" value="12"/>	μm	<input type="button" value="Rz-Richtwerte"/>
Rauheitsfaktor	$K_{R,\sigma}$	<input type="text" value="0.853"/>		
Stützzahl nach Stiehr	n_σ	<input type="text" value="1"/>		<input type="button" value="Stützzahl berechnen"/>
Konstruktionsfaktor	$K_{WK,\sigma}$	<input type="text" value="2.604094"/>		
Bauteilwechselfestigkeitsfaktor	σ_{WK}	<input type="text" value="93.31"/>	MPa	

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile

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

Konstante	a_M	<input type="text" value="Aluminium = 1.0"/>	b_M	<input type="text" value="Aluminium = -0.045"/>
Mittelspannungsempfindlichkeit	M_σ	<input type="text" value=".495"/>		
Mittelspannungsfaktor	$K_{AK,\sigma}$	<input type="text" value=".6616321"/>		
Bauteildauerfestigkeit	$S_{A,K}$	<input type="text" value="61.74"/>		MPa
geforderte Lastwechsel	N	<input type="text" value="100000"/>		
Werkstoffgruppe		<input type="text" value="Aluminium ND=10^7"/>		
Grenz-Schwingspielzahl	N_D	<input type="text" value="10000000"/>		
Betriebsfestigkeitsfaktor	$K_{B,K}$	<input type="text" value="2.51"/>		
Bauteilbetriebsfestigkeit	$S_{B,K}$	<input type="text" value="155.08"/>		MPa
Lastfaktor	j_S	<input type="text" value="1.00"/>		
Materialsicherheitsfaktor	j_F	<input type="text" value="1.1 für mittel regelmäßige Inspektion"/>		
Gesamtsicherheitsfaktor	j_D	<input type="text" value="1.10"/>		
Nachweis				
Zyklischer Einzelauslastungsgrad	a_{bk}	<input type="text" value="0.915"/>		

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

Der Auslastungsgrad der Zugspannung beträgt 0.915 und ist < 1 , damit ist die Betriebsfestigkeit bei 100 000 Lastwechseln erbracht.

Nachweis der Druckspannungen

Min. Unterspannung = min. Druckspannung am Knoten $3765 \cdot 1.5$ Sicherheit
 $= -135 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5 = -202 \text{ N/mm}^2$

Max. Oberspannung = max. Zugspannung am Knoten $3765 \cdot 1.5$ Sicherheit
 $= -0.47 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5 = -0.71 \text{ N/mm}^2$

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie

für nicht geschweißte Bauteile

Nachweise Seite 1		Nachweis Seite 2		FEM-Schnittstelle		Links	
max. Oberspannung	$\max \sigma_N$	<input type="text" value="-0.71"/>	MPa				
min. Unterspannung	$\min \sigma_N$	<input type="text" value="-202"/>	MPa				
Mittelspannung	S_M	<input type="text" value="-101.36"/>	MPa				
Spannungsamplitude	S_A	<input type="text" value="100.65"/>	MPa				
Spannungsverhältnis	R	<input type="text" value="284.52"/>					
Zugdruck-Wechselfestigkeitsfaktor	$f_{W\sigma}$	<input type="text" value=".45"/>				Aluminium 0.45	▼
Werkstoffzugfestigkeit	R_m	<input type="text" value="540"/>	MPa			Rm-Werte Stahl	
minimale Werkstoffzugfestigkeit	$R_{m \min}$	Alu = <input type="text" value="350"/>	MPa			Rm-Werte Alu	
Werkstoffwechselfestigkeitsfaktor	$\sigma_{W, zd}$	<input type="text" value="243"/>	MPa				
Rauheit nach DIN 4768	R_Z	<input type="text" value="12"/>	μm			Rz-Richtwerte	
Rauheitsfaktor	$K_{R, \sigma}$	<input type="text" value="0.853"/>					
Stützzahl nach Stiehler	n_σ	<input type="text" value="1"/>				Stützzahl berechnen	
Konstruktionsfaktor	$K_{WK, \sigma}$	<input type="text" value="2.604094"/>					
Bauteilwechselfestigkeitsfaktor	σ_{WK}	<input type="text" value="93.31"/>	MPa				

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile

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

Konstante	a_M	<input type="text" value="Aluminium = 1.0"/>	b_M	<input type="text" value="Aluminium = -0.045"/>
Mittelspannungsempfindlichkeit	M_σ	<input type="text" value=".495"/>		
Mittelspannungsfaktor	$K_{AK,\sigma}$	<input type="text" value=".505"/>		
Bauteildauerfestigkeit	$S_{A,K}$	<input type="text" value="47.12"/>		MPa
geforderte Lastwechsel	N	<input type="text" value="100000"/>		
Werkstoffgruppe		<input type="text" value="Aluminium ND=10^7"/>		
Grenz-Schwingspielzahl	N_D	<input type="text" value="10000000"/>		
Betriebsfestigkeitsfaktor	$K_{B,K}$	<input type="text" value="2.51"/>		
Bauteilbetriebsfestigkeit	$S_{B,K}$	<input type="text" value="118.36"/>		MPa
Lastfaktor	j_S	<input type="text" value="1.00"/>		
Materialsicherheitsfaktor	j_F	<input type="text" value="1.1 für mittel regelmäßige Inspektion"/>		
Gesamtsicherheitsfaktor	j_D	<input type="text" value="1.10"/>		
Nachweis				
Zyklischer Einzelauslastungsgrad	a_{bk}	<input type="text" value="0.935"/>		

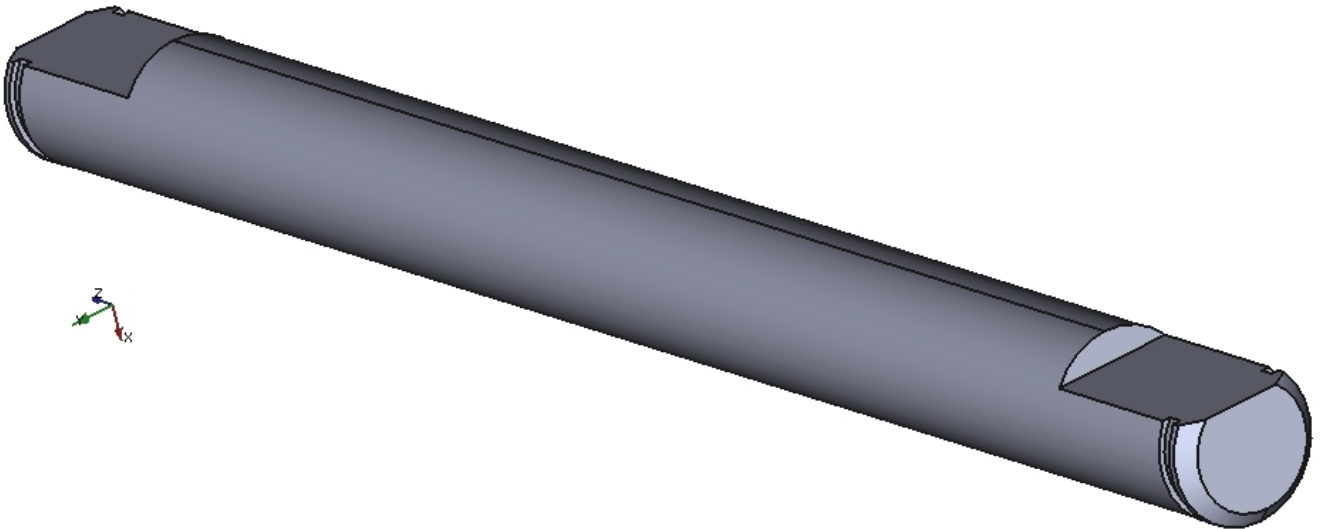
Der zyklische Auslastungsgrad ist ≤ 1 , damit ist der Betriebsfestigkeitsnachweis erbracht

Der Auslastungsgrad der Druckspannung beträgt 0.935 und ist < 1 , damit ist die Betriebsfestigkeit bei 100 000 Lastwechseln erbracht.

2. FEM-Berechnung der Tretlagerwelle

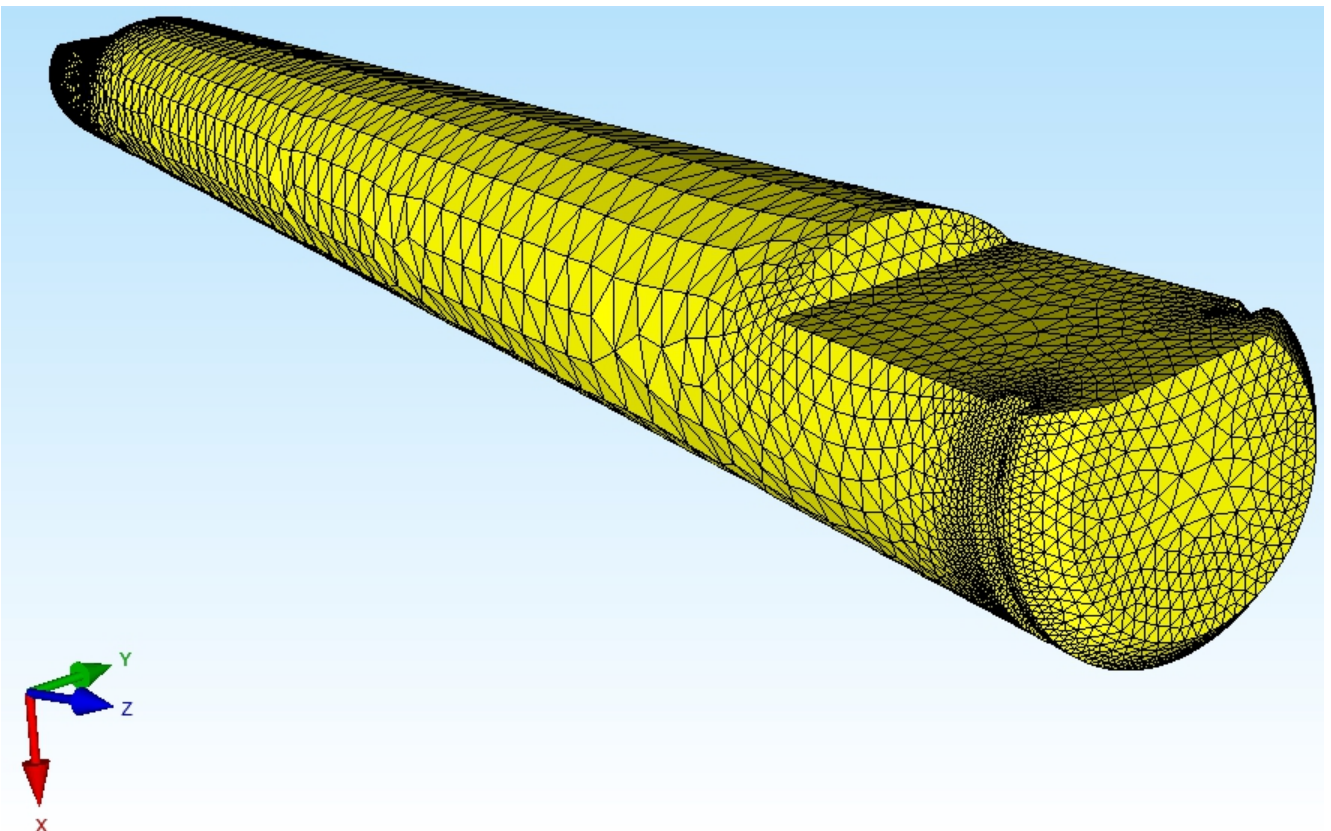
2.1 CAD-Modell

Die Tretlagerwelle hatte eine Länge von 110 mm mit einem Außendurchmesser von 15 mm. Eine STEP-Datei diente als Vorlage für die FEM- Netzgenerierung.



2.2 FEM-Modell

Aus der STEP-Datei wurde mit dem 3D-Netzgenerator des FEM-System MEANS V12 ein FEM-Modell mit 158 921 Tetraedern und 31 379 Knotenpunkten generiert.



2.3 Werkstoff

Es wurde der Werkstoff **AL7075** aus Aluminium mit folgenden Materialdaten gewählt:

F-Modul = 71 000 N/mm²

Poisson-Zahl = 0.34

Zugfestigkeit Rm = 540 N/mm²

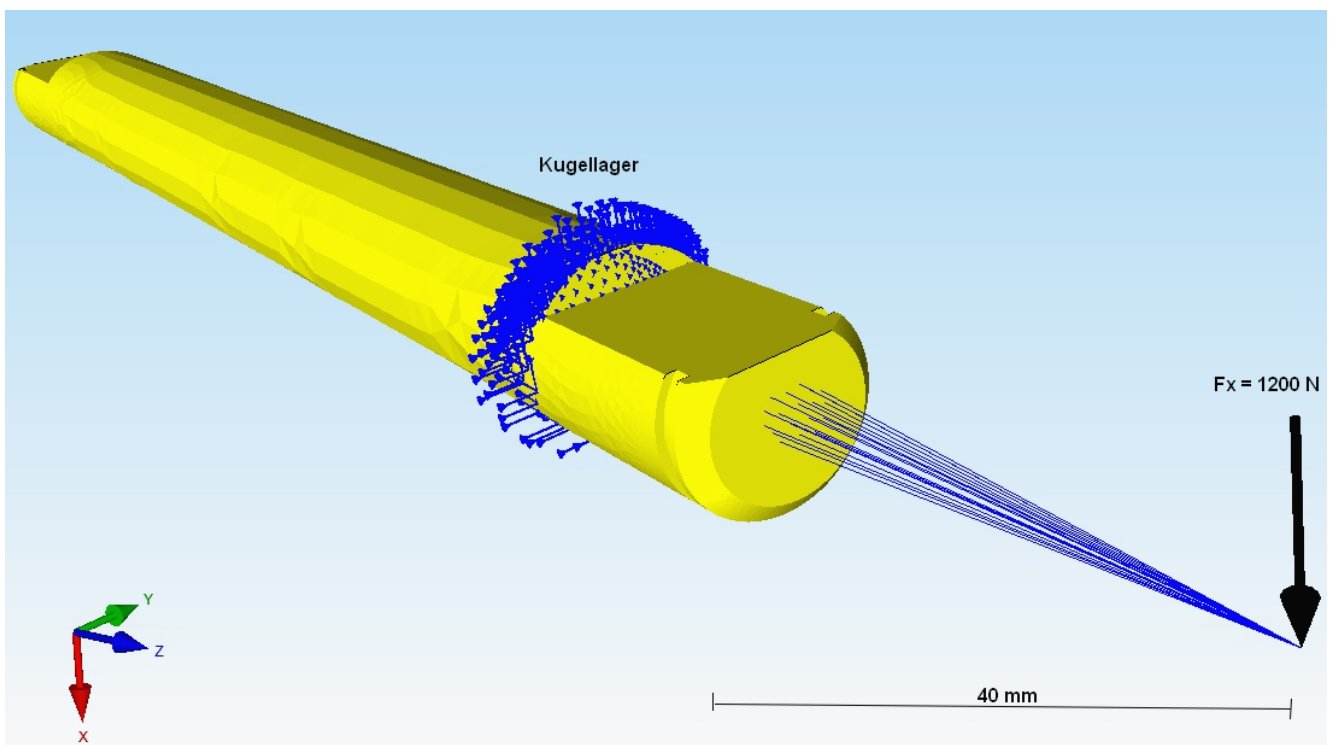
Streckgrenze = 580 N/mm²

2.4 Belastung

Die CAD-Baugruppe konnte nicht berechnet werden da Kurbel, Welle und Zahnrad nicht zu einem Bauteil vereint werden konnten. Das FEM-System MEANS V12 ermöglichte aber den Einsatz von MPC-Elementen um den Hebelarm des Biege- und Torsionsmomentes an der Welle zu simulieren.

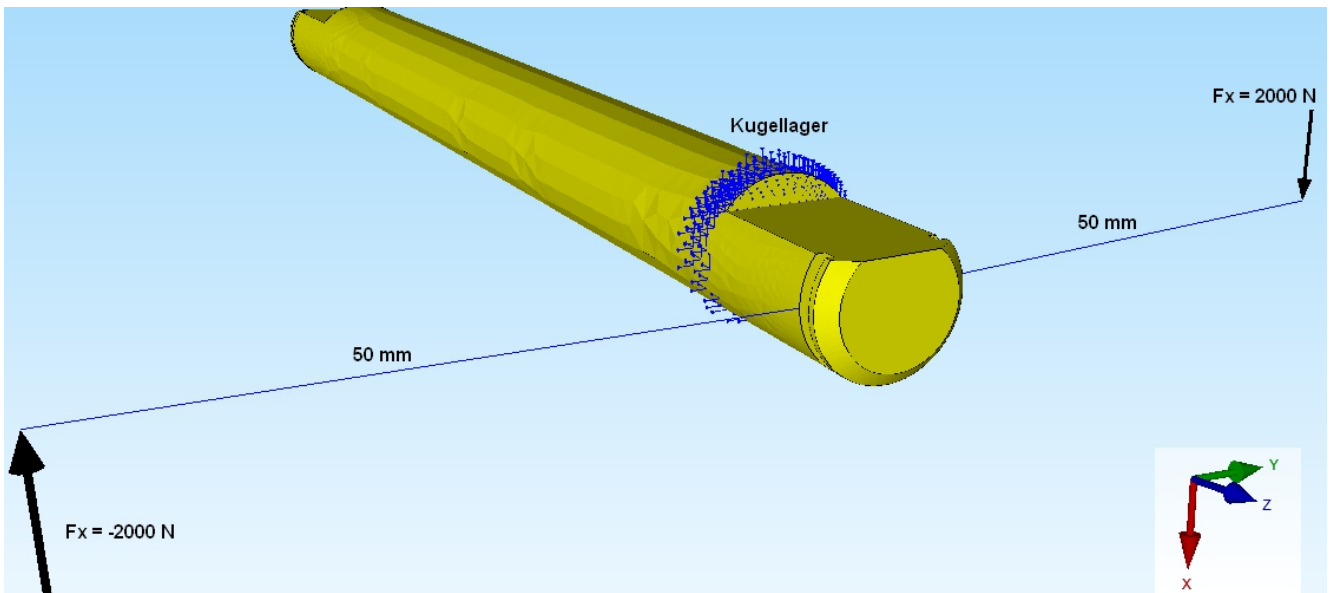
2.4.1 Biegemoment

Das Biegemoment entsteht durch die Pedalkraft 1200 N und dem Pedalabstand von 40 mm.



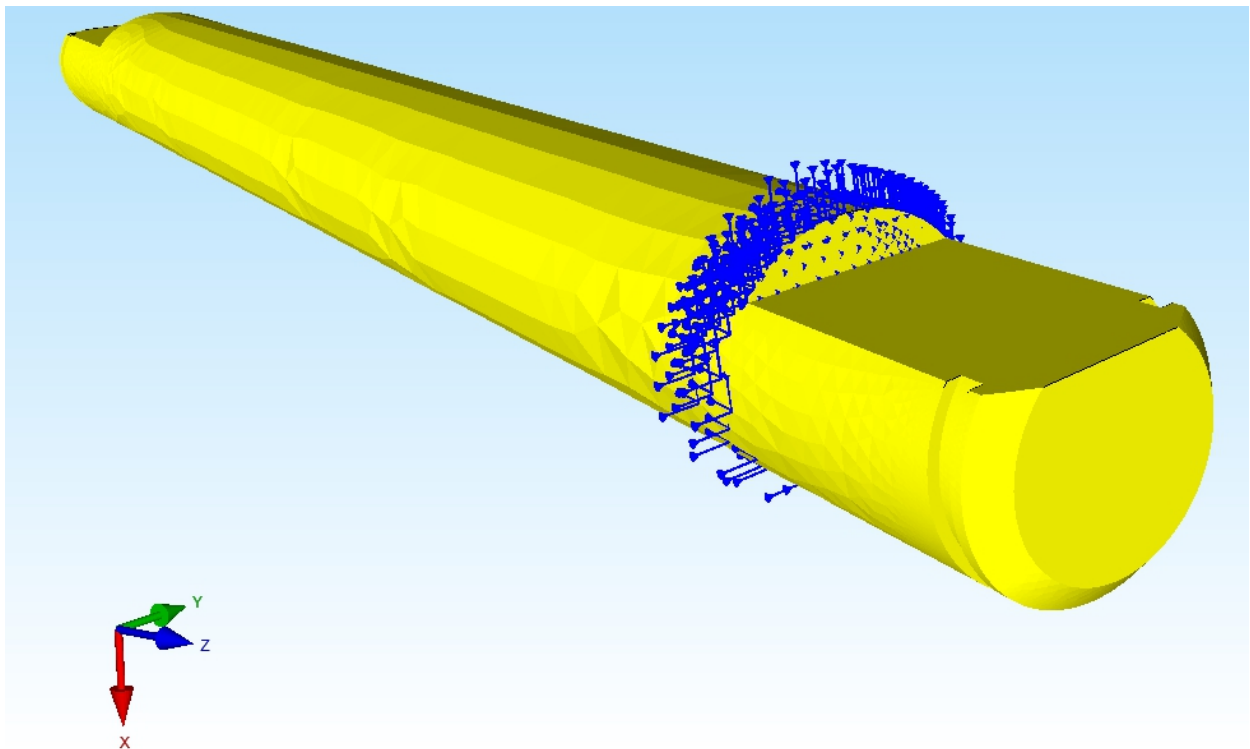
2.4.2 Torsionsmoment

Das Drehmoment entsteht durch die Kettenkraft 2000 N und dem Zahnradradius von 50 mm.



2.5 Lagerung

Die Welle wurde am Wellenabsatz fest eingespannt da dort das Außen-Kugellager angebracht war.

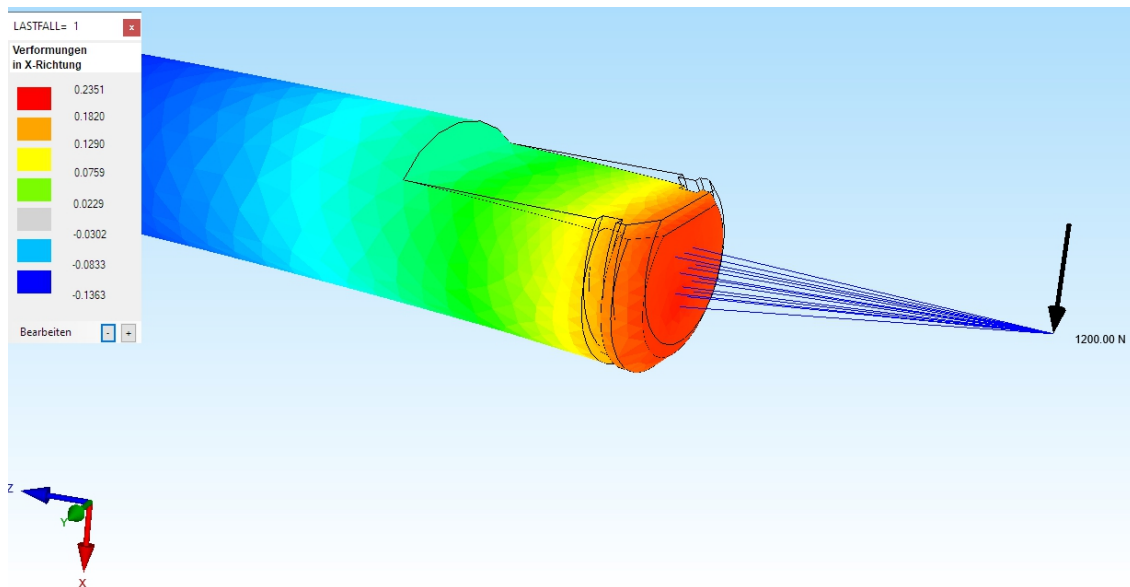


2.6 Auswertung der Ergebnisse

2.6.1 Verformungen

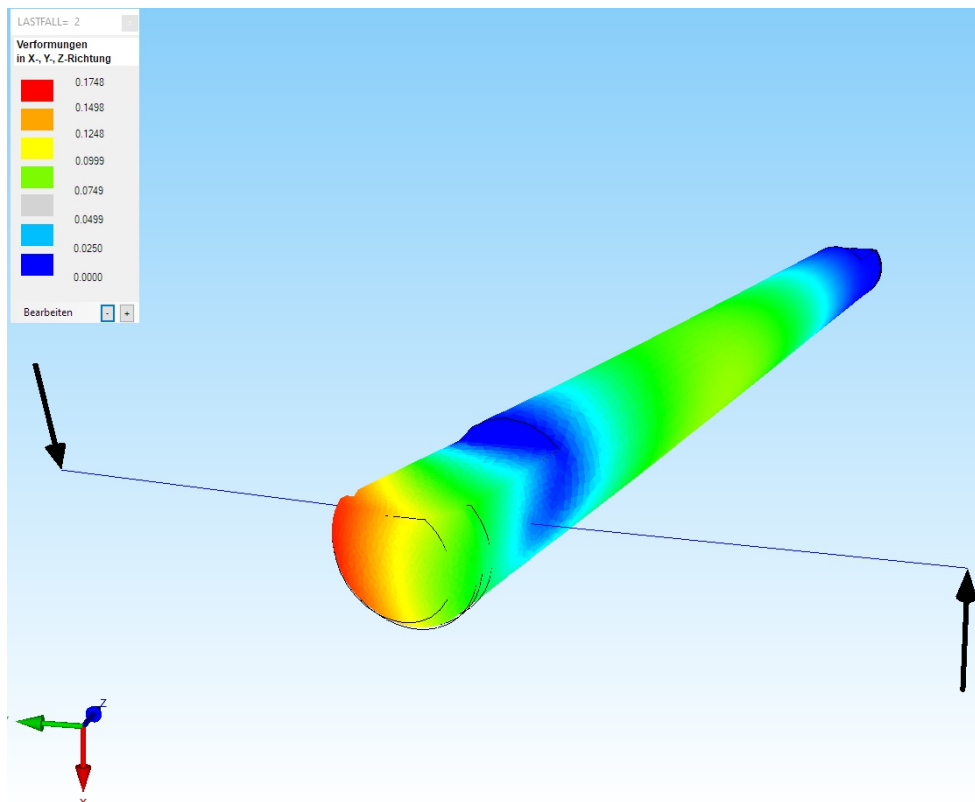
Verformungen mit Biegemoment

Die max. Verformung in X-Richtung beträgt 0.235 mm



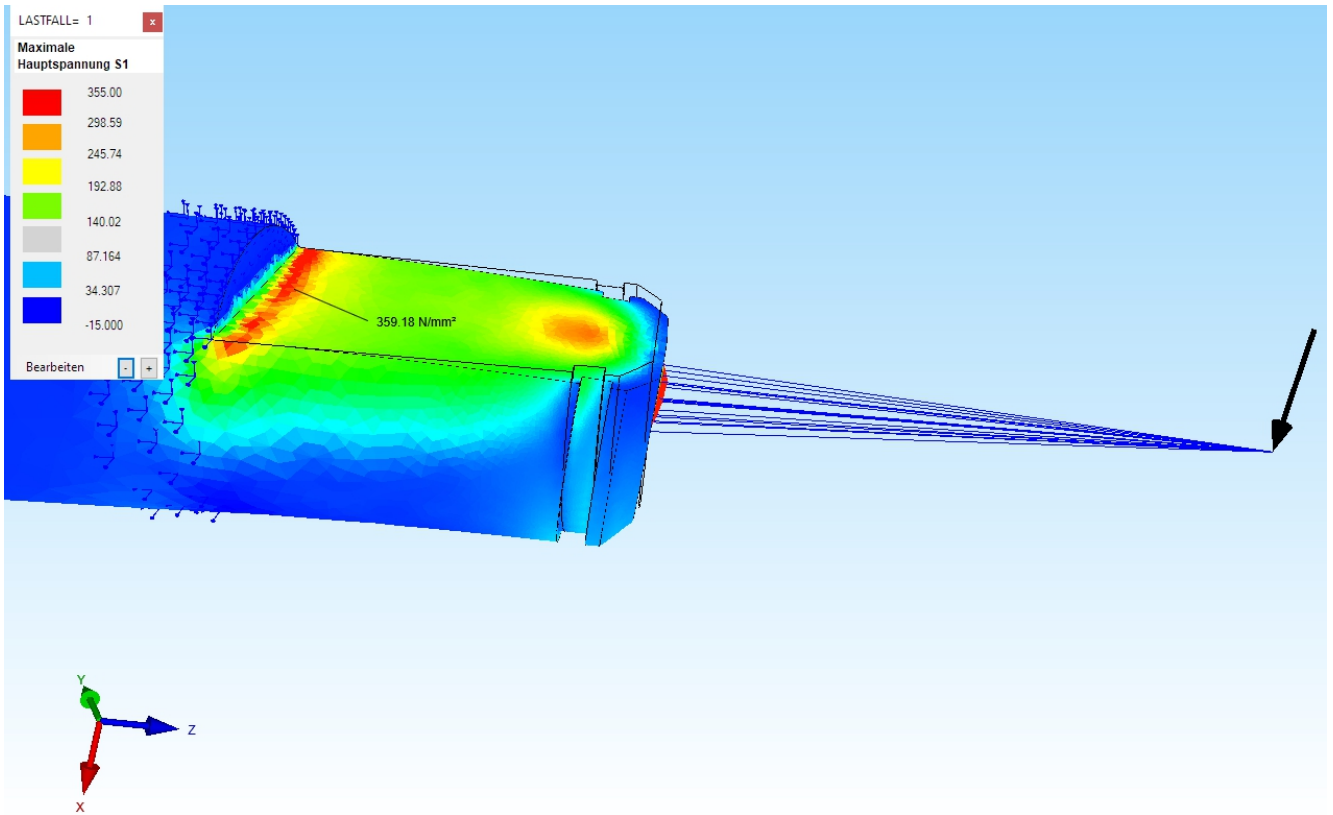
Verformungen mit Torsionsmoment

Die max. Verformung in X-Richtung beträgt 0.17 mm

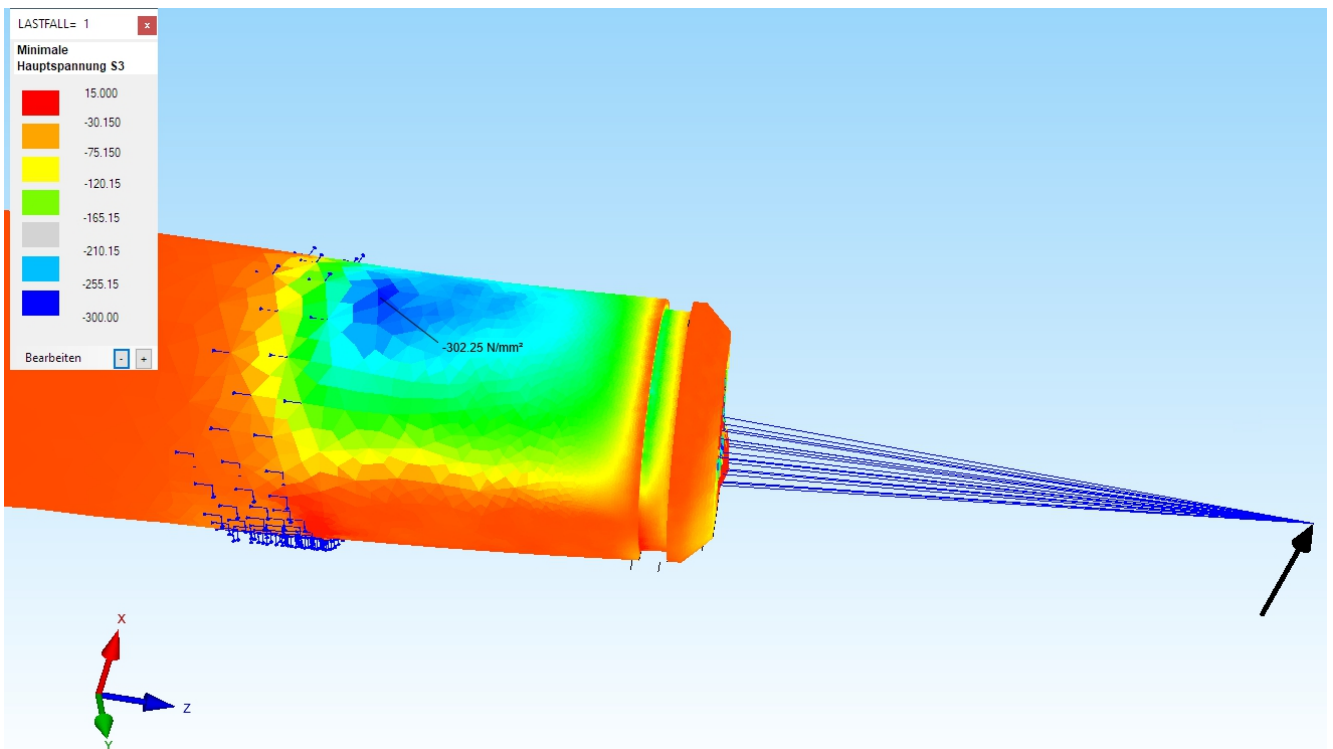


2.6.2 Zug- und Druckspannungen mit Biegemoment

Maximale Zugspannung S1 beträgt 359 N/mm²

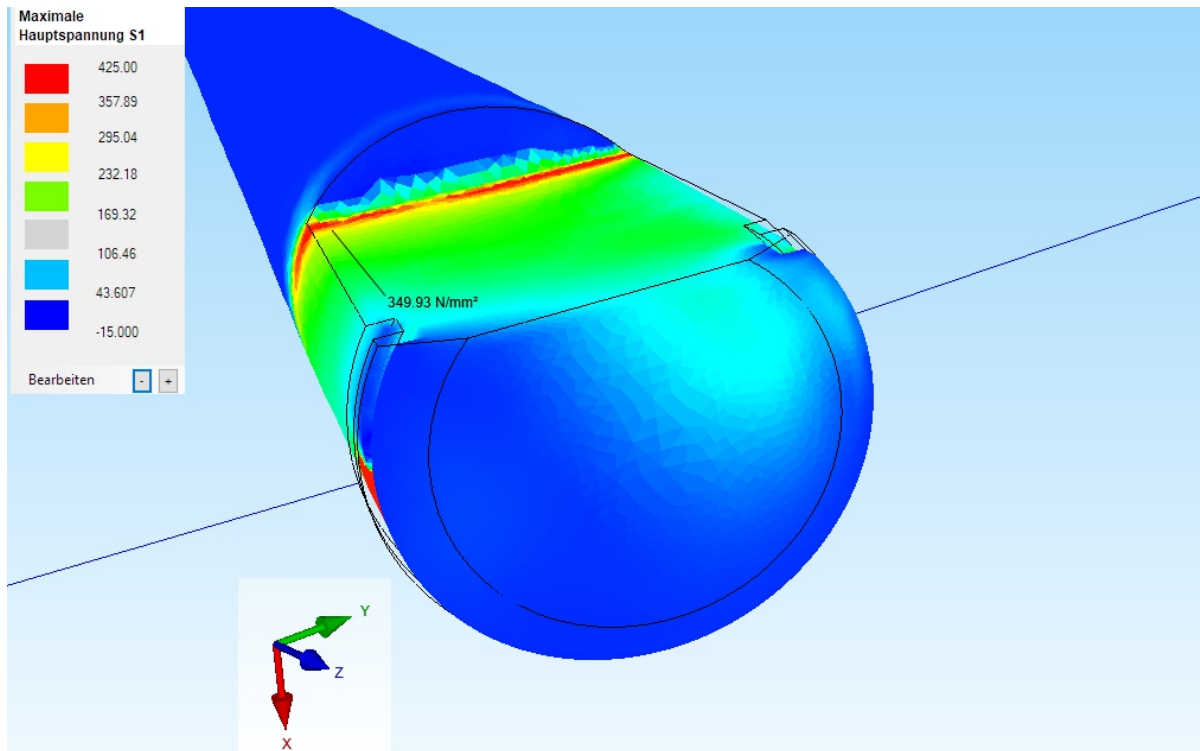


Minimale Druckspannung S3 beträgt -302 N/mm²

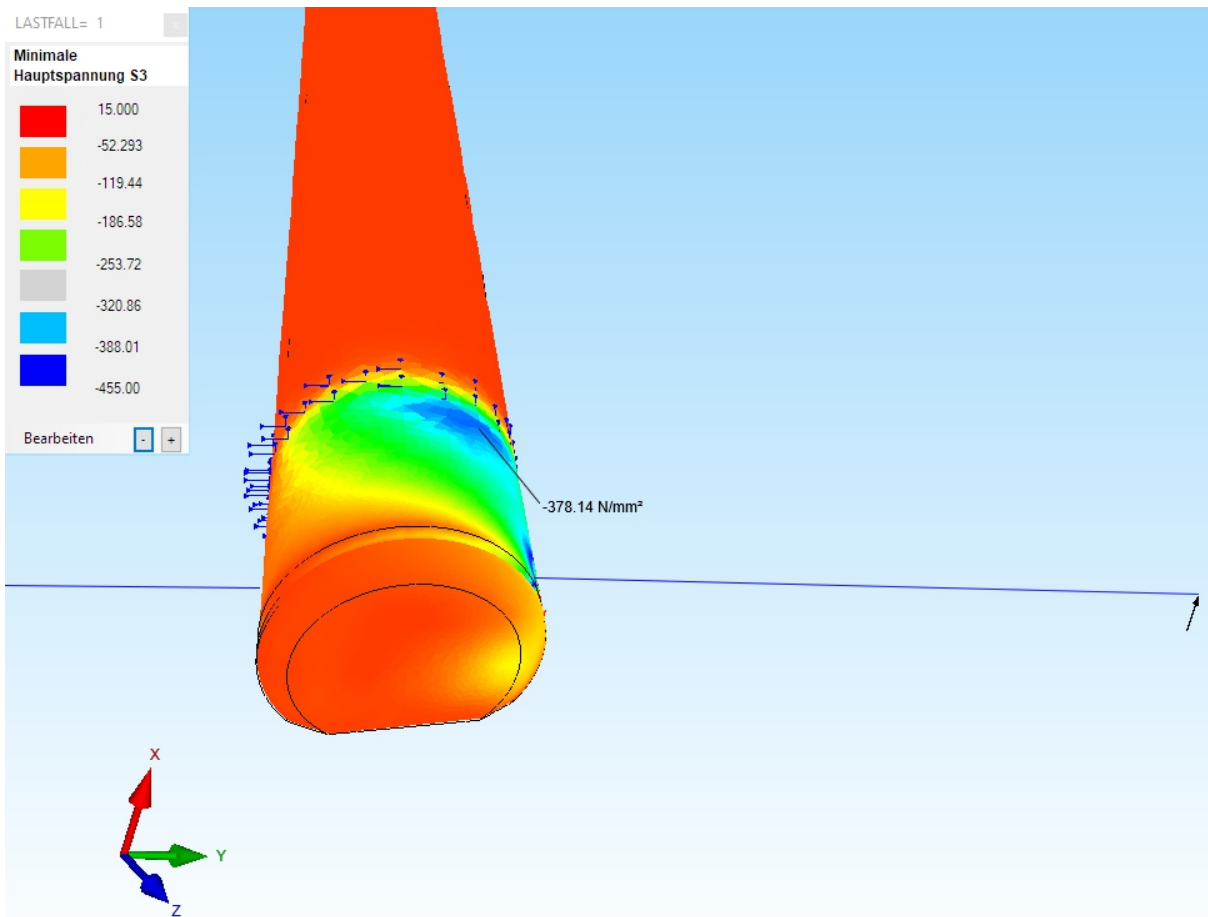


2.6.3 Zug- und Druckspannungen mit Torsionsmoment

Maximale Zugspannung S1 beträgt 349 N/mm²



Minimale Druckspannung S3 beträgt -378 N/mm²



2.6.4 Ermüdungsnachweis für Biegemoment

Nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile erhält man folgende Ermüdungsnachweise.

Nachweis der Zugspannungen

Max. Oberspannung = max. Zugspannung am Knoten 1923 * 1.5 Sicherheit
 = 201 N/mm² * 1.5 = 301 N/mm²

Min. Unterspannung = min. Druckspannung am Knoten 1923 * 1.5 Sicherheit
 = 4.6 N/mm² * 1.5 = 6.95 N/mm²

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile					
Nachweise Seite 1		Nachweis Seite 2		FEM-Schnittstelle	Links
max. Oberspannung	$\max \sigma_N$	<input type="text" value="301"/>	MPa		
min. Unterspannung	$\min \sigma_N$	<input type="text" value="6.95"/>	MPa		
Mittelspannung	S_M	<input type="text" value="153.98"/>	MPa		
Spannungsamplitude	S_A	<input type="text" value="147.03"/>	MPa		
Spannungsverhältnis	R	<input type="text" value="0.02"/>			
Zugdruck-Wechselfestigkeitsfaktor	$f_{w\sigma}$	<input type="text" value=".45"/>		Aluminium 0.45	<input type="button" value="v"/>
Werkstoffzugfestigkeit	R_m	<input type="text" value="540"/>	MPa	<input type="button" value="Rm-Werte Stahl"/>	
minimale Werkstoffzugfestigkeit	$R_{m\min}$	Alu = <input type="text" value="350"/>	MPa	<input type="button" value="Rm-Werte Alu"/>	
Werkstoffwechselfestigkeitsfaktor	$\sigma_{W,zd}$	<input type="text" value="243"/>	MPa		
Rauheit nach DIN 4768	R_z	<input type="text" value="6"/>	μm	<input type="button" value="Rz-Richtwerte"/>	
Rauheitsfaktor	$K_{R,\sigma}$	<input type="text" value="0.853"/>			
Stützzahl nach Stiehler	n_σ	<input type="text" value="1"/>		<input type="button" value="Stützzahl berechnen"/>	
Konstruktionsfaktor	$K_{WK,\sigma}$	<input type="text" value="1.79909"/>			
Bauteilwechselfestigkeitsfaktor	σ_{WK}	<input type="text" value="135.07"/>	MPa		

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile

Nachweise Seite 1 Nachweis Seite 2 FEM-Schnittstelle Links

Konstante	a_M	<input type="text" value="Aluminium = 1.0"/>	b_M	<input type="text" value="Aluminium = -0.04"/>
Mittelspannungsempfindlichkeit	M_σ	<input type="text" value=".5"/>		
Mittelspannungsfaktor	$K_{AK,\sigma}$	<input type="text" value=".662195"/>		
Bauteildauerfestigkeit	$S_{A,K}$	<input type="text" value="89.44"/>		MPa
geforderte Lastwechsel	N	<input type="text" value="100000"/>		
Werkstoffgruppe		<input type="text" value="Aluminium ND=10^7"/>		
Grenz-Schwingspielzahl	N_D	<input type="text" value="10000000"/>		
Betriebsfestigkeitsfaktor	$K_{B,K}$	<input type="text" value="2.51"/>		
Bauteilbetriebsfestigkeit	$S_{B,K}$	<input type="text" value="224.67"/>		MPa
Lastfaktor	j_S	<input type="text" value="1.00"/>		
Materialsicherheitsfaktor	j_F	<input type="text" value="1.1 für mittel regelmäßige Inspektion"/>		
Gesamtsicherheitsfaktor	j_D	<input type="text" value="1.10"/>		
Nachweis				
Zyklischer Einzelauslastungsgrad	a_{bk}	<input type="text" value="0.720"/>		

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

Der Auslastungsgrad für die Zugspannung beträgt 0.72 und ist < 1 , damit ist die Betriebsfestigkeit bei 100 000 Lastwechseln erbracht.

Nachweis der Druckspannungen

Min. Unterspannung = min. Druckspannung am Knoten $361 \cdot 1.5$ Sicherheit
 $= -172 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5 = -258 \text{ N/mm}^2$

Max. Oberspannung = max. Zugspannung am Knoten $361 \cdot 1.5$ Sicherheit
 $= -7 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5 = -10.5 \text{ N/mm}^2$

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie

für nicht geschweißte Bauteile

Nachweise Seite 1

Nachweis Seite 2

FEM-Schnittstelle

Links

max. Oberspannung	$\max \sigma_N$	<input type="text" value="-10.5"/>	MPa	
min. Unterspannung	$\min \sigma_N$	<input type="text" value="-258"/>	MPa	
Mittelspannung	S_M	<input type="text" value="-134.25"/>	MPa	
Spannungsamplitude	S_A	<input type="text" value="123.75"/>	MPa	
Spannungsverhältnis	R	<input type="text" value="24.57"/>		
Zugdruck-Wechselfestigkeitsfaktor	$f_{W\sigma}$	<input type="text" value=".45"/>		Aluminium 0.45 <input type="button" value="v"/>
Werkstoffzugfestigkeit	R_m	<input type="text" value="540"/>	MPa	<input type="button" value="Rm-Werte Stahl"/>
minimale Werkstoffzugfestigkeit	$R_{m \min}$	Alu = <input type="text" value="350"/>	MPa	<input type="button" value="Rm-Werte Alu"/>
Werkstoffwechselfestigkeitsfaktor	$\sigma_{W, zd}$	<input type="text" value="243"/>	MPa	
Rauheit nach DIN 4768	R_z	<input type="text" value="6"/>	μm	<input type="button" value="Rz-Richtwerte"/>
Rauheitsfaktor	$K_{R, \sigma}$	<input type="text" value="0.853"/>		
Stützzahl nach Stiehler	n_σ	<input type="text" value="1"/>		<input type="button" value="Stützzahl berechnen"/>
Konstruktionsfaktor	$K_{WK, \sigma}$	<input type="text" value="1.79909"/>		
Bauteilwechselfestigkeitsfaktor	σ_{WK}	<input type="text" value="135.07"/>	MPa	

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile

Nachweise Seite 1 Nachweis Seite 2 FEM-Schnittstelle Links

Konstante	a_M	<input type="text" value="Aluminium = 1.0"/>	b_M	<input type="text" value="Aluminium = -0.04"/>
Mittelspannungsempfindlichkeit	M_σ	<input type="text" value=".5"/>		
Mittelspannungsfaktor	$K_{AK,\sigma}$	<input type="text" value=".5"/>		
Bauteildauerfestigkeit	$S_{A,K}$	<input type="text" value="67.54"/> MPa		
geforderte Lastwechsel	N	<input type="text" value="100000"/>		
Werkstoffgruppe		<input type="text" value="Aluminium ND=10^7"/>		
Grenz-Schwingspielzahl	N_D	<input type="text" value="10000000"/>		
Betriebsfestigkeitsfaktor	$K_{B,K}$	<input type="text" value="2.51"/>		
Bauteilbetriebsfestigkeit	$S_{B,K}$	<input type="text" value="169.64"/> MPa		
Lastrfaktor	j_S	<input type="text" value="1.00"/>		
Materialsicherheitsfaktor	j_F	<input type="text" value="1.1 für mittel regelmäßige Inspektion"/>		
Gesamtsicherheitsfaktor	j_D	<input type="text" value="1.10"/>		
Nachweis				
Zyklischer Einzelauslastungsgrad	a_{bk}	<input type="text" value="0.802"/>		

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

Der Auslastungsgrad für die Druckspannung beträgt 0.802 und ist < 1 , damit ist die Betriebsfestigkeit bei 100 000 Lastwechseln erbracht.

2.6.5 Ermüdungsnachweis für Torsionsmoment

Nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile erhält man folgende Ermüdungsnachweise.

Nachweis der Zugspannungen

Max. Oberspannung = max. Zugspannung am Knoten $11355 \cdot 1.5$ Sicherheit
 $= 349 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5 = 523.5 \text{ N/mm}^2$

Min. Unterspannung = min. Druckspannung am Knoten $11355 \cdot 1.5$ Sicherheit
 $= -15 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5 = -22.5 \text{ N/mm}^2$

ermüdungsnachweis
— □ ×

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie

für nicht geschweißte Bauteile

Nachweise Seite 1
Nachweis Seite 2
FEM-Schnittstelle
Links

max. Oberspannung	max σ_N	<input style="width: 80%;" type="text" value="523.5"/>	MPa	
min. Unterspannung	min σ_N	<input style="width: 80%;" type="text" value="-22.5"/>	MPa	
Mittelspannung	S_M	<input style="width: 80%;" type="text" value="250.50"/>	MPa	
Spannungsamplitude	S_A	<input style="width: 80%;" type="text" value="273.00"/>	MPa	
Spannungsverhältnis	R	<input style="width: 80%;" type="text" value="-0.04"/>		
Zugdruck-Wechselfestigkeitsfaktor	f_{wσ}	<input style="width: 80%;" type="text" value=".45"/>		<input style="width: 100%;" type="text" value="Aluminium 0.45"/>
Werkstoffzugfestigkeit	R_m	<input style="width: 80%;" type="text" value="540"/>	MPa	<input type="button" value="Rm-Werte Stahl"/>
minimale Werkstoffzugfestigkeit	R_{m min}	<input style="width: 80%;" type="text" value="Alu = 350"/>	MPa	<input type="button" value="Rm-Werte Alu"/>
Werkstoffwechselfestigkeitsfaktor	σ_{w, zd}	<input style="width: 80%;" type="text" value="243"/>	MPa	
Rauheit nach DIN 4768	R_Z	<input style="width: 80%;" type="text" value="4"/>	μm	<input type="button" value="Rz-Richtwerte"/>
Rauheitsfaktor	K_{R, σ}	<input style="width: 80%;" type="text" value="0.853"/>		
Stützzahl nach Stiehler	n_σ	<input style="width: 80%;" type="text" value="1"/>		<input type="button" value="Stützzahl berechnen"/>
Konstruktionsfaktor	K_{WK, σ}	<input style="width: 80%;" type="text" value="1.523581"/>		
Bauteilwechselfestigkeitsfaktor	σ_{WK}	<input style="width: 80%;" type="text" value="159.49"/>	MPa	

Ermüdungsnachweis

Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile

Nachweise Seite 1 Nachweis Seite 2 FEM-Schnittstelle Links

Konstante	a_M	Aluminium = 1.0	b_M	Aluminium = -0.04
Mittelspannungsempfindlichkeit	M_σ			.5
Mittelspannungsfaktor	$K_{AK,\sigma}$.685499
Bauteildauerfestigkeit	$S_{A,K}$			109.33 MPa
geforderte Lastwechsel	N			100000
Werkstoffgruppe		Aluminium ND=10 ⁷		
Grenz-Schwingspielzahl	N_D			10000000
Betriebsfestigkeitsfaktor	$K_{B,K}$			2.51
Bauteilbetriebsfestigkeit	$S_{B,K}$			274.63 MPa
Lastfaktor	j_S			1.00
Materialsicherheitsfaktor	j_F	1.0 für niedrige regelmäßige Inspektion		
Gesamtsicherheitsfaktor	j_D			1.00
Nachweis				
Zyklischer Einzelauslastungsgrad	a_{bk}			0.994

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

Der Auslastungsgrad für die Druckspannung beträgt 0.994 und ist < 1 , damit ist die Betriebsfestigkeit bei 100 000 Lastwechseln erbracht.

Es ist jedoch zu beachten, daß der Nachweis nur für eine sehr feine Rauheitstiefe von 4 μm und für eine niedrige regelmäßige Inspektion zulässig ist.

Weitere Informationen oder Demo-Versionen anfordern:

**Ing.Büro HTA-Software, Maiwaldstraße 24, 77866 Rheinau, Tel. 07844-98641,
www.femcad.de, info@femcad.de**