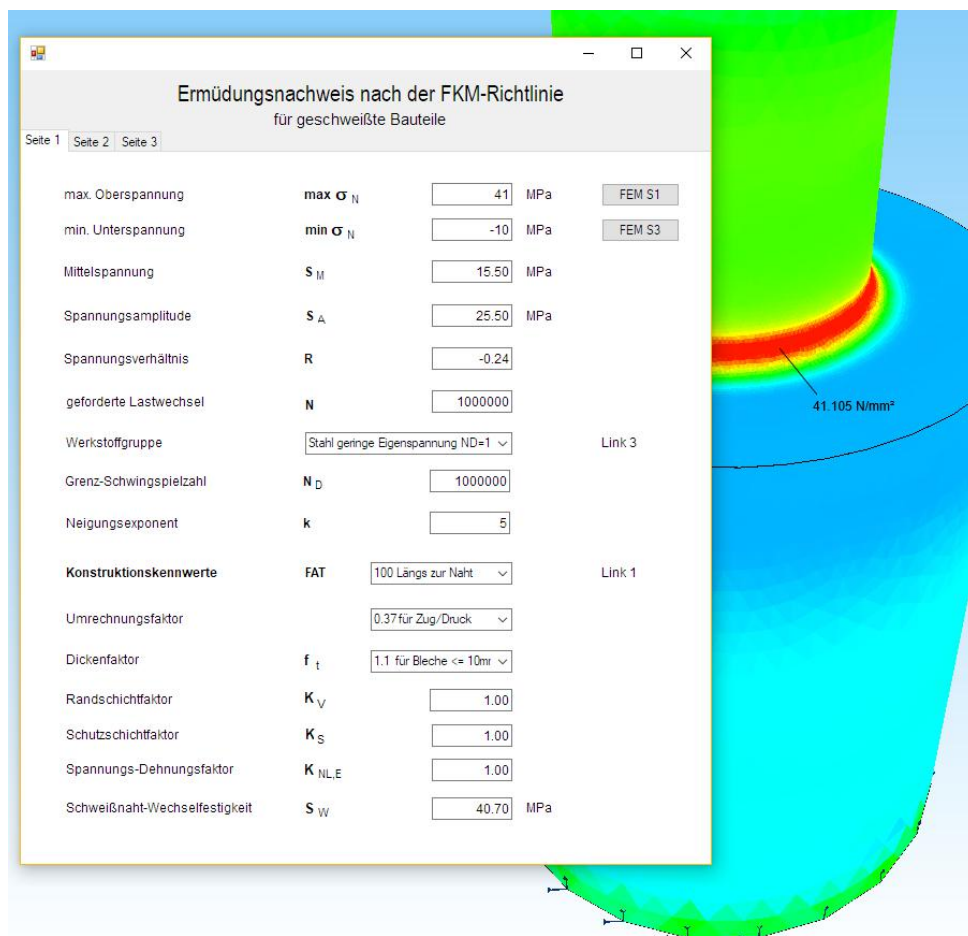


# FEM-System *MEANS V11*

## Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für geschweißte und nicht geschweißte Bauteile



(C) 2018 by  
Ing.Büro HTA-Software  
Germany-Rheinau

[www.femcad.de](http://www.femcad.de)

[www.fem-infos.com](http://www.fem-infos.com)

## Kapitel 10: Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie

Die **Ermüdungsanalyse** oder **Materialermüdung** beschreibt einen langsam voranschreitenden Schädigungsprozess in einem Werkstoff unter Umgebungseinflüssen wie wechselnder mechanischer Belastung, wechselnder Temperatur, UV-Strahlung, radioaktiver Strahlung, eventuell unter zusätzlicher Einwirkung eines korrosiven Mediums. Materialermüdung bedeutet, dass auch eine statisch unkritische Belastung (noch im elastischen Bereich, also noch unterhalb der Streckgrenze des Werkstoffs) zu einer Funktionsuntüchtigkeit (Ermüdungsrisssbildung) oder auch zum Totalausfall (Ermüdungsbruch) eines Bauteils führen kann, wenn sie oft genug auf das Bauteil einwirkt.

### Beispiel 1:

Ein geschweißter Wellenabsatz aus C45 wird mit 10 000 N auf Zug belastet. Wie groß ist die Ermüdungsfestigkeit bei einer Lastspielzahl von 500000 und einer Lebensdauer von 19.5 Jahren.

Lebensdauer = 5 Mill. Lastfälle / (700 Lastfälle pro Tag x 365 Tage) = 19.5 Jahre.

### Berechnung der Zugspannung nach Roloff/Matek:

$$\begin{aligned} F &= 10000 \quad [\text{N}] \\ D &= 50 \quad [\text{mm}] \\ d &= 25 \quad [\text{mm}] \\ r &= 2,5 \quad [\text{mm}] \end{aligned}$$

$$\sigma_n = \frac{F}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} \quad \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

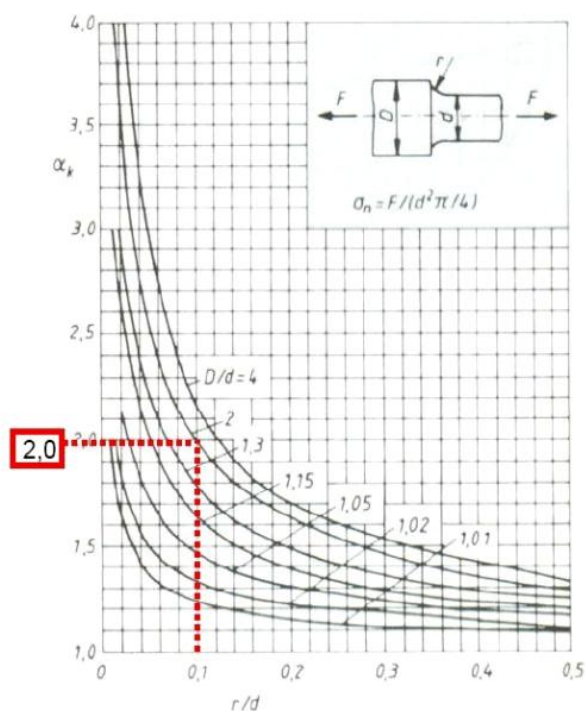
$$= \frac{10000}{\pi \cdot \frac{25^2}{4}}$$

$$= 20,37 \quad \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_n \cdot \alpha_k \quad \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$= 20,37 \cdot 2$$

$$= \underline{\underline{40,74}} \quad \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$



Quelle: Roloff/ Matek Maschinenelemente; 15. Auflage; August 2001; Vieweg Verlag

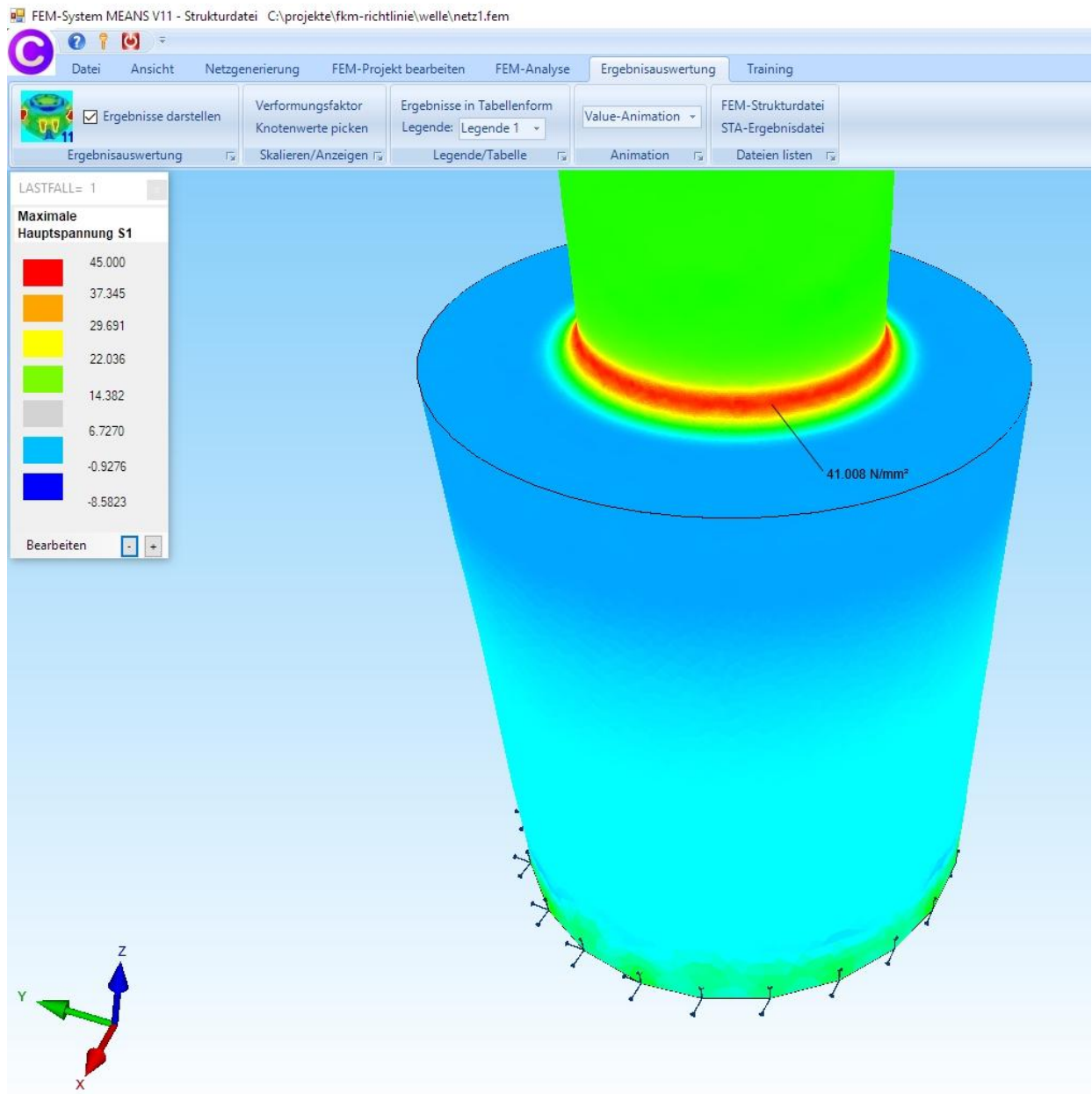
max. Zugspannung ohne Kerbspannung = 20.37 N/mm<sup>2</sup> = 20.37 MPa  
 max. Zugspannung mit Kerbspannung = 40.74 N/mm<sup>2</sup> = 40.74 MPa

## FEM-Berechnung

Die maximale Hauptspannung S1 mit den Zugspannungen und die minimale Hauptspannung S3 mit den Druckspannungen werden mit dem FEM-System MEANS V11 berechnet und in den Ermüdungsnachweis eingeladen.

**max. Zug-Hauptspannung S1 = 41 N/mm<sup>2</sup>**

**Max. Druck-Hauptspannung S3 = -8 N/mm<sup>2</sup>**



## Ermüdungsnachweis

Ab dem Update 1.1.2019 können mit MEANS V11 folgende drei Ermüdungsnachweise durchgeführt werden:

- Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für geschweißte Bauteile
- Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für nicht geschweißte Bauteile
- Ermüdungsnachweis AD-Merkblatt S2 für geschweißte und nicht geschweißte Bauteile

Wählen Sie das Register “FEM-Analyse” und das Menü “Ermüdungsnachweis FKM-Richtlinie für geschweißte Bauteile”

Strukturdatei C:\projekte\fkm-richtlinie\welle\netz1.fem



### FEM-Ergebnisse in den Nachweis übertragen

Wählen Sie mit Menü “FEM S1” um die maximale Hauptspannung S1 und Menü “FEM S3” um die minimale Hauptspannung S3 in die Felder “max. Oberspannung” und “max. Unterspannung” einzuladen.

Der Nachweis ist nicht von den FEM-Ergebnissen abhängig, so können alle Textfelder beliebig ediert werden.

Geben Sie die geforderte Lastwechsel von 5000000 ein und berechnen zuerst die Schweißnaht-Wechselfestigkeit mit der materialabhängigen Schwingspielzahl die zum Bruch bzw. Knicken oder Beulen führt.

Dannach wählen Sie Register “Seite 2” um die Bauteil-Wechselfestigkeit sowie die Bauteildauerfestigkeit und die Bauteilbetriebsfestigkeit zu berechnen.

Zum Schluß wird der zyklische Einzelauslastungsgrad berechnet.

Auf Seite 3 können drei Links mit Ermüdungstutorials aufgerufen werden die auch für diesen Nachweis wertvolle Informationen geliefert haben.

## Seite 1:

## Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie

### für geschweißte Bauteile

Seite 1
Seite 2
Seite 3

max. Oberspannung	<b>max <math>\sigma_N</math></b>	<input type="text" value="41.00"/>	MPa	<input type="button" value="FEM S1"/>
min. Unterspannung	<b>min <math>\sigma_N</math></b>	<input type="text" value="-8.00"/>	MPa	<input type="button" value="FEM S3"/>
Mittelspannung	<b><math>S_M</math></b>	<input type="text" value="16.50"/>	MPa	
Spannungsamplitude	<b><math>S_A</math></b>	<input type="text" value="24.50"/>	MPa	
Spannungsverhältnis	<b>R</b>	<input type="text" value="-0.20"/>		
geforderte Lastwechsel	<b>N</b>	<input type="text" value="5000000"/>		
Werkstoffgruppe		<input type="text" value="Stahl geringe Eigenspannung ND=1"/>		Link 3
Grenz-Schwingenspielzahl	<b><math>N_D</math></b>	<input type="text" value="1000000"/>		
Neigungsexponent	<b>k</b>	<input type="text" value="5"/>		
<b>Konstruktionskennwerte</b>	<b>FAT</b>	<input type="text" value="100 Längs zur Naht"/>		Link 1
Umrechnungsfaktor		<input type="text" value="0.37 für Zug/Druck"/>		
Dickenfaktor	<b><math>f_t</math></b>	<input type="text" value="1.1 für Bleche &lt;= 10mm"/>		
Randschichtfaktor	<b><math>K_V</math></b>	<input type="text" value="1.00"/>		
Schutzschichtfaktor	<b><math>K_S</math></b>	<input type="text" value="1.00"/>		
Spannungs-Dehnungsfaktor	<b><math>K_{NL,E}</math></b>	<input type="text" value="1.00"/>		
Schweißnaht-Wechselfestigkeit	<b><math>S_W</math></b>	<input type="text" value="40.70"/>	MPa	

## Seite 2

**Der zyklische Auslastungsgrad beträgt 0.662 und ist kleiner 1.**

Der Betriebsfestigkeitsnachweis mit 5 Mill. Lastspielen und einer Lebensdauer von 19.5 Jahren ist damit erbracht.

### Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie für geschweißte Bauteile

Seite 1 Seite 2 Seite 3

Eigenspannungsanteil		<input type="text" value="hoch"/>
Mittelspannungsempfindlichkeit	$M_{\sigma}$	<input type="text" value="0"/>
	$M_{\tau}$	<input type="text" value="0"/>
Eigenspannungsfaktor	$K_{E\sigma}$	<input type="text" value="1"/>
	$K_{E\tau}$	<input type="text" value="1"/>
Mittelspannungsfaktor	$K_{AK\sigma}$	<input type="text" value="1.00"/>
	$K_{AK\tau}$	<input type="text" value="0.00"/>
Bauteil-Wechselfestigkeit	$S_{W,K}$	<input type="text" value="40.70"/> MPa
Amplitude der Bauteildauerfestigkeit	$S_{A,K}$	<input type="text" value="40.70"/> MPa
Amplitude der Bauteilbetriebsfestigkeit	$S_{B,K}$	<input type="text" value="40.70"/> MPa
<b>Sicherheitsbeiwerte</b>		
Lastfaktor	$j_S$	<input type="text" value="1.00"/>
Materialsicherheitsfaktor	$j_F$	<input type="text" value="1.1 für mittel regelmäßige"/>
Temperaturfaktor	$K_{T,D}$	<input type="text" value="1.00"/>
Gesamtsicherheitsfaktor	$j_D$	<input type="text" value="1.10"/>
<input type="button" value="Berechnen"/>		
<b>Nachweis</b>		
Zyklischer Einzelauslastungsgrad	$a_{bk}$	<input type="text" value="0.662"/> <input type="button" value="Drucken"/>

**Der zyklische Auslastungsgrad ist  $\leq 1$ , damit ist der Betriebsfestigkeitsnachweis erbracht**

Wählen Sie "Drucken" um den Nachweis auf Papier auszudrucken. Geben Sie zusätzliche Infos wie Projekt oder Firma ein um diese in der Fußzeile mitauszudrucken.

Preview or Print

You have 5 printer(s) installed.

Projekt:

Firma:

Datum:

**A4-Ausdruck:**

Ermüdungsfestigkeit nach der FKM-Richtlinie für geschweißte Bauteile		
max. Oberspannung	$\max_{\sigma_N}$	41.00 MPa
min. Unterspannung	$\min_{\sigma_N}$	-8.00 MPa
Mittelspannung	$S_M$	16.50 MPa
Spannungsamplitude	$S_A$	24.50 MPa
Spannungsverhältnis	R	-0.20
geforderte Lastwechsel	N	5000000
Werkstoffgruppe		Stahl geringe Eigenspannung
Grenz-Schwingenspielzahl	$N_D$	1000000
Konstruktionskennwerte	FAT	100 Längs zur Naht
Umrechnungsfaktor		0.37 für Zug/Druck
Dickenfaktor	$f_t$	1.1 für Bleche $\leq 10\text{mm}$
Randschichtfaktor	$K_V$	1.00
Schutzschichtfaktor	$K_S$	1.00
Spannungs-Dehnungsfaktor	$K_{NL,E}$	1.00
Schweißnaht-Wechselfestigkeit	$S_{W,K}$	40.70 MPa
Eigenspannungsanteil		hoch
Mittelspannungsempfindlichkeit	$M_{\sigma}$	0
	$M_{\tau}$	0
Eigenspannungsfaktor	$K_{E\sigma}$	1
	$K_{E\tau}$	1
Mittelspannungsfaktor	$K_{AK\sigma}$	1.00
Bauteilwechselfestigkeit	$S_{W,K}$	40.70 MPa
Amplitude der Bauteildauerfestigkeit	$S_{A,K}$	40.70 MPa
Amplitude der Bauteilbetriebsfestigkeit	$S_{B,K}$	40.70 MPa
Lastfaktor	$j_S$	1.00
Materialsicherheitsfaktor	$j_F$	1.1 für mittel regelmäßige Inspektion
Temperaturfaktor	$K_{T,D}$	1.00
Gesamtsicherheitsfaktor	$j_D$	1.10
Nachweis Einzelauslastungsgrad	$a_{bk}$	0.662
<b>Der zyklische Auslastungsgrad ist <math>\leq 1</math>, damit ist der Betriebsfestigkeitsnachweis erbracht</b>		
Wellenabsatz Ermüdungsanalyse - (C) 2018 by HTA-Software www.femcad.de - Datum: 08.12.2018		