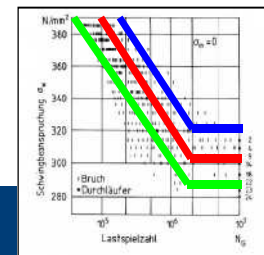
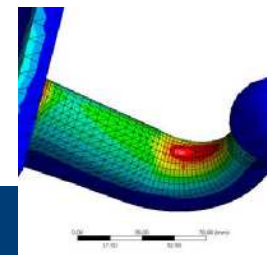
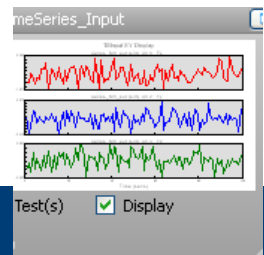


# CADFEM®

Competence Center FEM

Simulation ist mehr als Software®



# Lebensdauer und Simulation

ACUM 2014

## Betriebsfestigkeit und Simulation

Nürnberg

CADFEM GmbH

Marktplatz 2  
85567 Grafing b. München

Verfasser: Dipl.-Ing. Thomas Ebbecke  
Geschäftsstelle: Berlin

Ausgabedatum: ACUM 2014  
Status: öffentlich

## Betriebsfestigkeit und Simulation

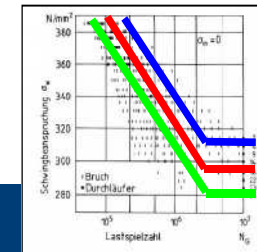
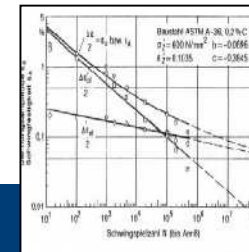
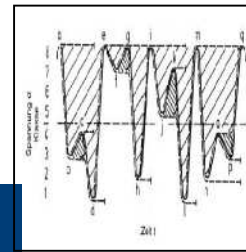
### Berufliche Daten:

- Studium der Schiffs- und Meerestechnik an der TU-Berlin
- Wissenschaftliche Mitarbeit beim Thema Seegangversuche im Fachgebiet Meerestechnik der TU-Berlin
- Festigkeitsberechnungen in der U-Bootkonstruktion bei den Howaldt Werken Deutsche Werft (HDW)
- Seit 1999 Mitarbeit bei CADFEM im Bereich Consulting, Projektarbeit, strukturmechanische Berechnungen, Betriebsfestigkeit
- Seit Ende 2012 Geschäftsstellenleitung der CADFEM-Niederlassung Berlin

## Gliederung

- **Einleitung**
- Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse
- Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse
  - Interpretation der Bauteilbelastungen
  - Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben
  - Bewertung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben

Simulation ist mehr als Software®



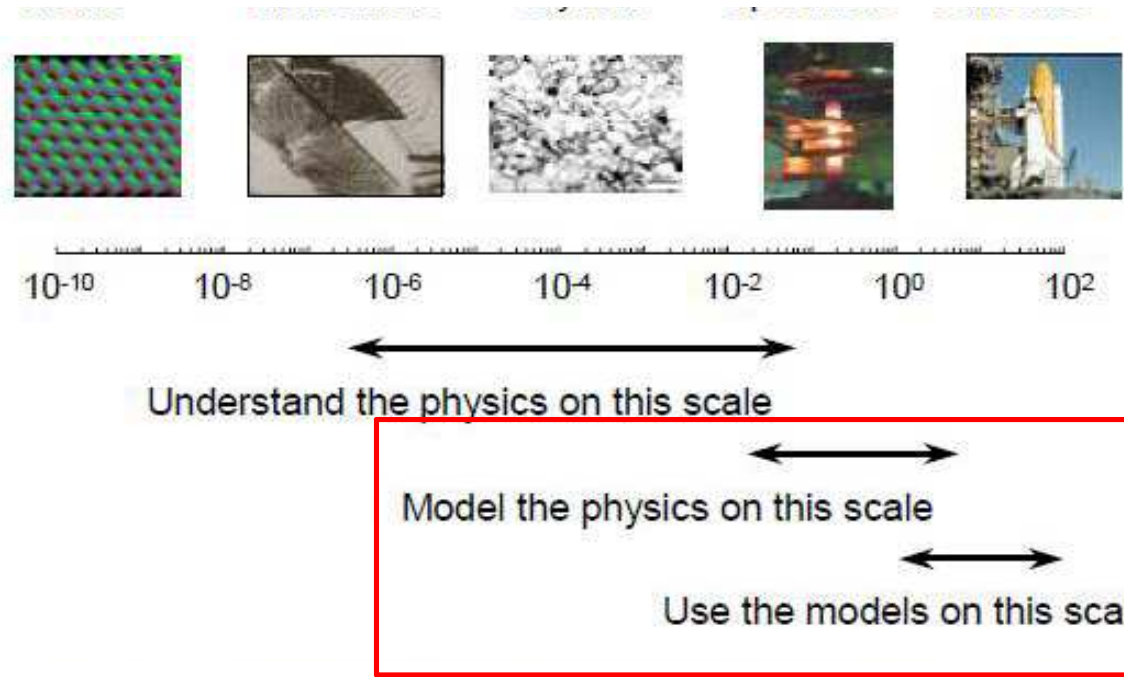
## Einleitung

## Einleitung

- Die zunehmende Notwendigkeit der Effizienzsteigerung, bedeutet eine „optimale“ Ausnutzung des Bauteilwerkstoffes.
  - ▶ Z. B. bei duktilen Werkstoffen Ausnutzung lokaler plastischer Reserven
- Rechenkonzepte und Richtlinien fokussieren zunehmend auf „örtliche“ Konzepte zur Ermittlung lokaler Bauteilbelastungen.
  - ▶ Weg vom „Nennspannungskonzept“ (siehe auch Ersetzung der DIN 15018) hin zur **Simulation** mit lokal aufgelöster Kerbspannung.
- Drei Bereiche der Betriebsfestigkeitsanalyse zur Unterscheidung:
  1. Ermittlung und Interpretation der Bauteillastgeschichte
  2. Ermittlung der daraus resultierenden, durch Simulation errechneten, „örtlichen“ Bauteilbeanspruchungen
  3. Bewertung eben dieser Beanspruchungen
- Software kommt heute in allen drei Bereichen zum Einsatz.
  - ▶ Von der Datenorganisation bis zur Dokumentation „ein Paket“Daher wird auf die CADFEM-IHF-Toolbox in ANSYS Workbench und ANSYS n-code im Folgenden eingegangen

Einleitung

Größenordnungen beim Betrachten und  
Untersuchen des Phänomens der Ermüdung  
- Abgrenzung zu anderen Disziplinen  
(Werkstoffwissenschaften)

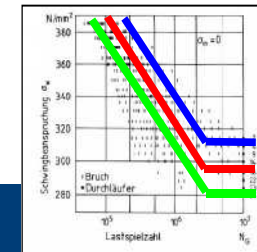
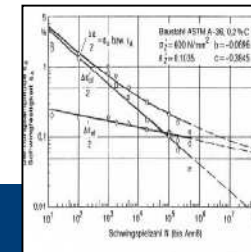
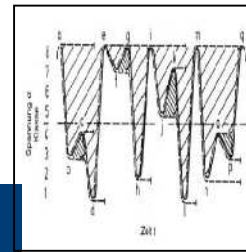


## Gliederung

- Einleitung
- **Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse**
- Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse
  - Interpretation der Bauteilbelastungen
  - Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben
  - Bewertung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben



Simulation ist mehr als Software®



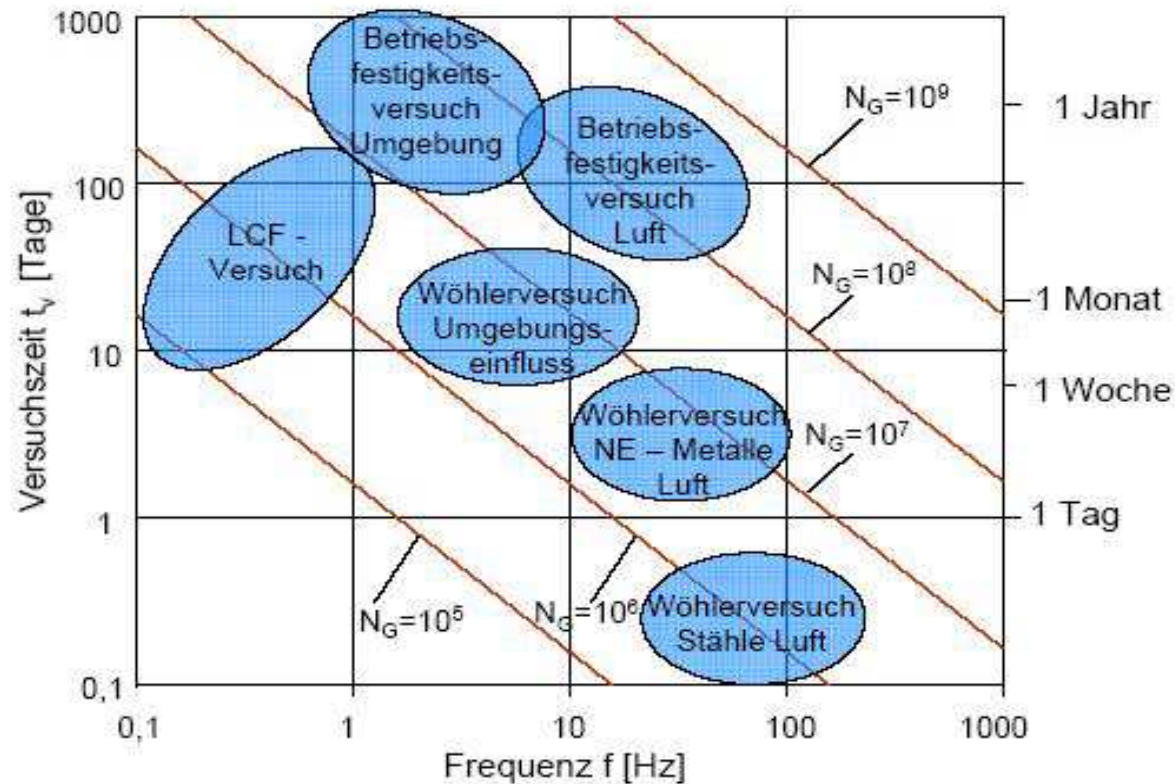
## Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

## Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

- **Betriebsfestigkeitsversuche**
- **Von der Bauteillastermittlung über Simulation zur Verifikation**
- **Bauteillastermittlung: Versuch - Simulation**
- **Versagensarten**
- **Rechenmethoden**
- **Schweißverbindungen**
- **Rissfortschritt**

# Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

## • Betriebsfestigkeitsversuche - Zeitaufwand:



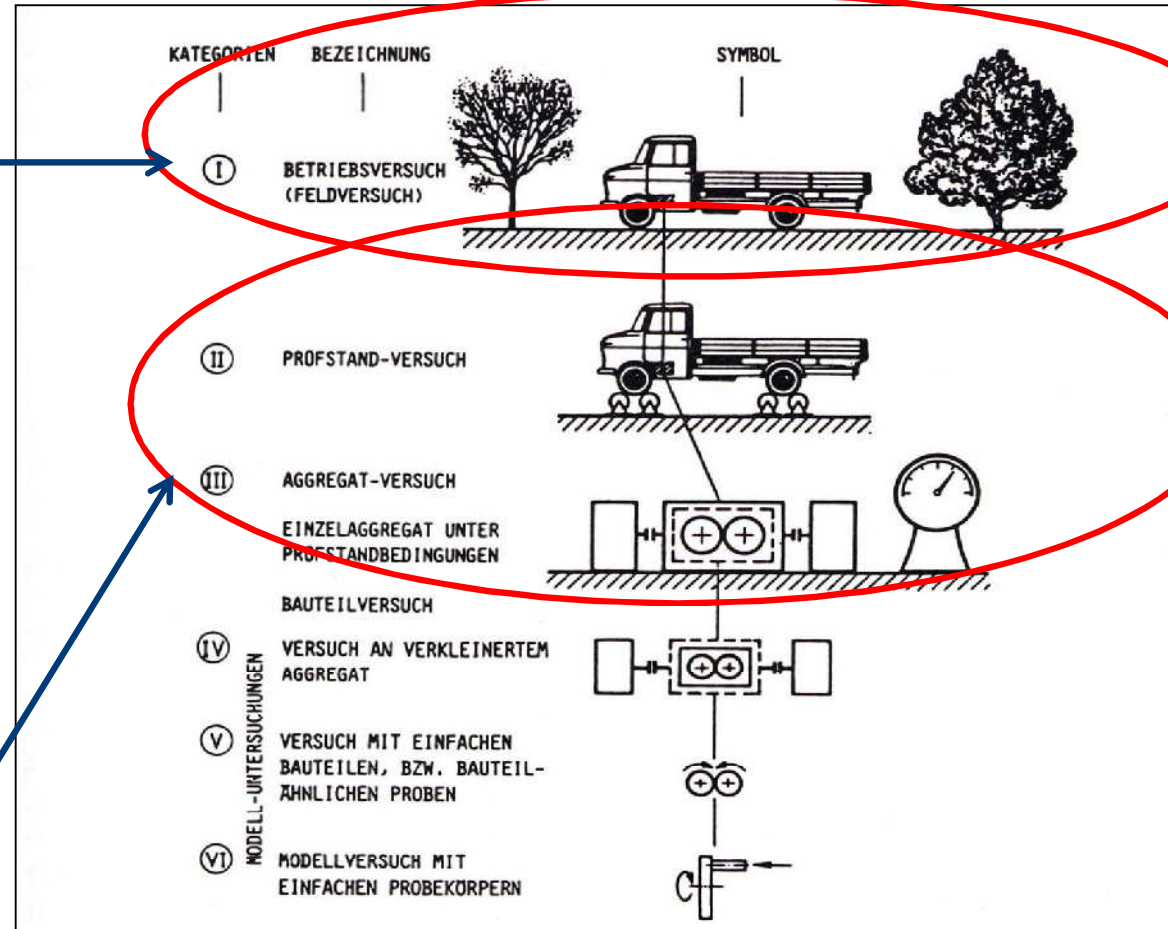
- Immer hoher Zeitaufwand bei Betriebsfestigkeitsversuchen am Prototyp
- Um Wöhlerversuche kommt man nicht herum, wenn keine Daten vorliegen (Stahl u. Alu ausreichend Datenmaterial)

# Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

## Von der Bauteillastermittlung über Simulation zur Verifikation:

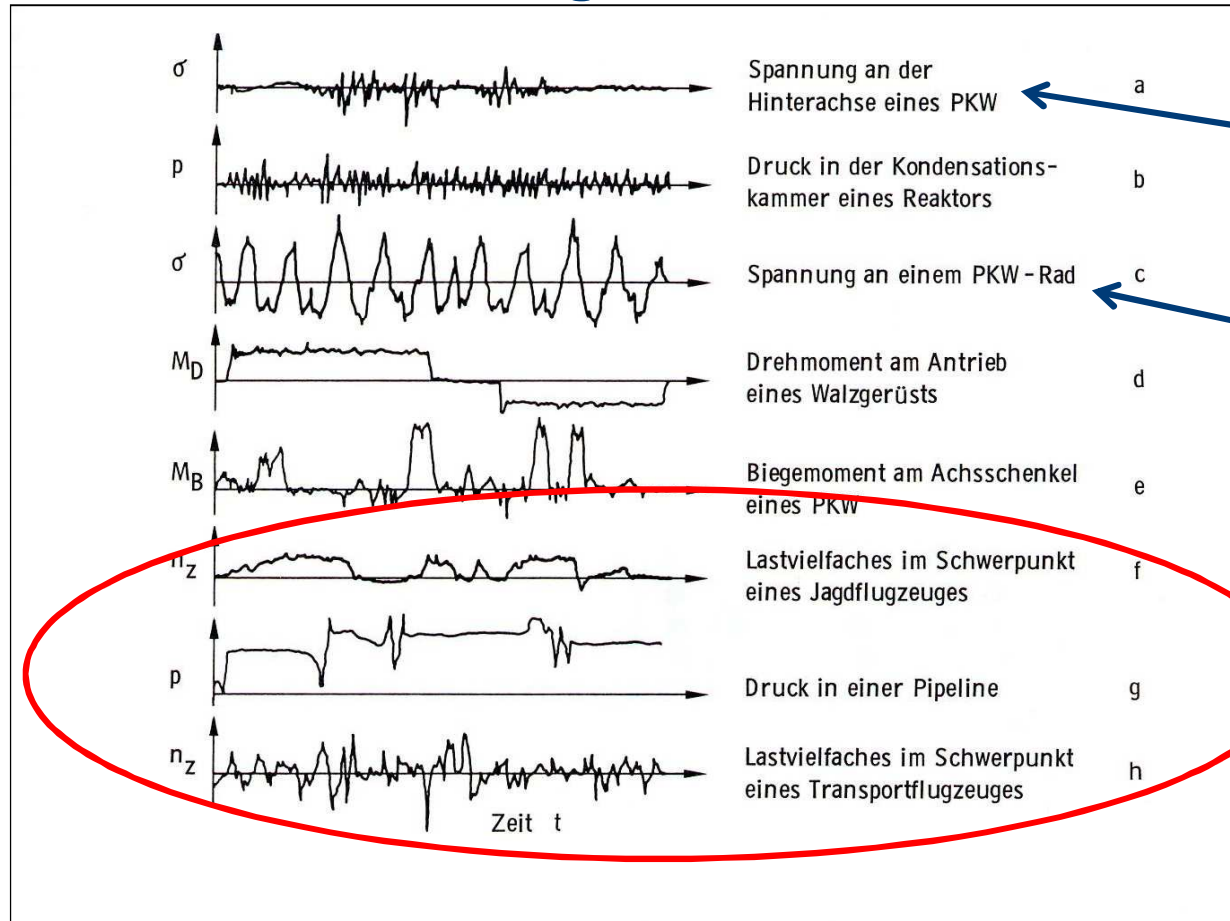
Ziel:

- Betriebslastermittlung der Gesamtkonstruktion im Feldversuch an ausgezeichneten Stellen
- Ermittlung der Lastübertragungsfunktionen für das Einzelbauteil per Simulation (Starrkörper oder Berücksichtigung der Einzelelastizitäten im Lastpfad)
- Nachweis des Einzelbauteils per Simulation
- Prüfstandsversuche (reduziert) zur Verifikation



## Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

### • Bauteillastermittlung: Versuch - Simulation

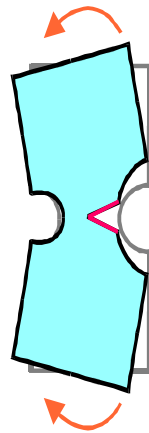


- Instationäre Lasten wie Spannungen oder Schnittlasten an den Grenzen des Einzelbauteils sind vergleichsweise aufwendig mit begrenzter Auflösung (Dehnmessstreifen) zu ermitteln.
- Instationäre Lasten im Feldversuch an ausgewiesenen Punkten der Gesamtkonstruktion vergleichsweise leicht zugänglich.

Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

• **Versagensarten:**

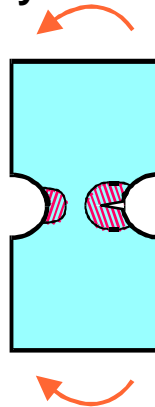
**Gewaltbruch**



große  
Verformung  
der gesamten  
Struktur

Festigkeit  
Nettoquerschnitt

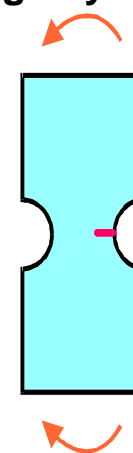
**low cycle fatigue**



große plastische  
Wechselverformungen  
im Kerbgrund

Kerbschärfe,  
zyklisches s-e-Verhalten

**high cycle fatigue**

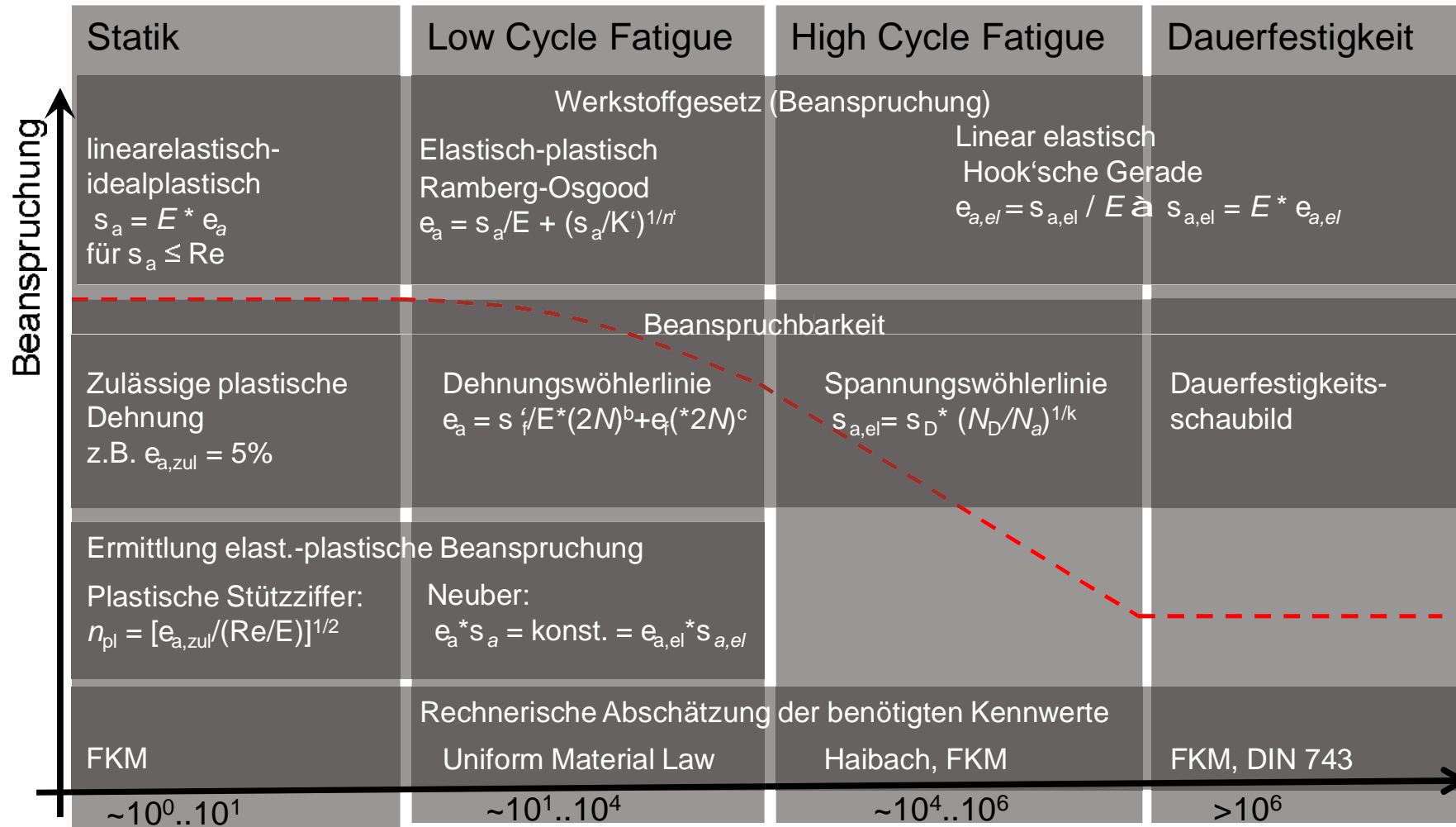


geringe plastische  
Wechselverformun-  
gen im Kerbgrund

Kerbschärfe,  
Herstellung,  
Eigenspannungen

**Haupt-  
einfluss-  
größen**

Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse - **Rechenmethoden**

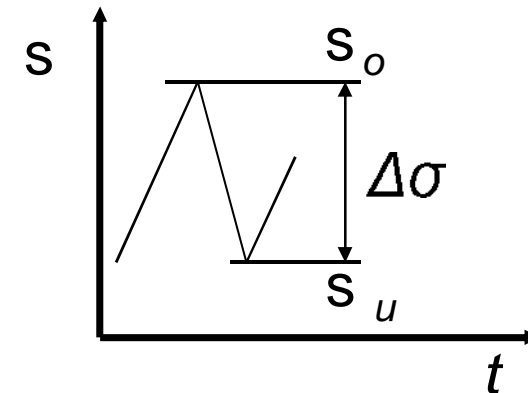


## Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

### • Schweißverbindungen

#### └ Berechnungsansätze

- Nennspannungsnachweis
- Strukturspannungsnachweis
- Kerbspannungsnachweis
- bruchmechanischer Sicherheitsnachweis



└ Regelwerke verwenden überwiegend das  $\Delta\sigma$  - Konzept und die oben genannten Nachweiskonzepte je nach Regelwerk.



- FKM: Nennspannungsnachweis, Strukturspannungsnachweis, Kerbspannungsnachweis
- IIW: enthält inzwischen ebenfalls den Kerbspannungsnachweis
- DNV GL: Strukturspannungsnachweis oder erklärt andere Regelwerke wie FKM, IIW etc. gegebenenfalls für zulässig.



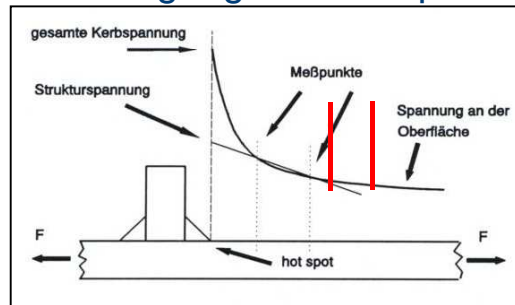
# Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

## Festigkeitsnachweise für Schweißverbindungen

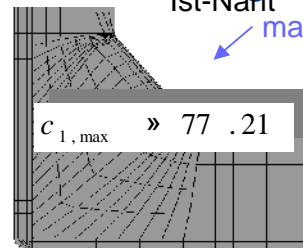
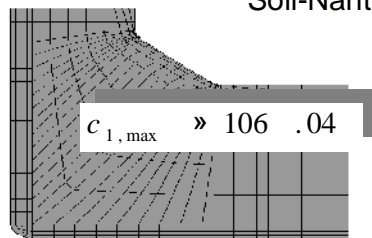
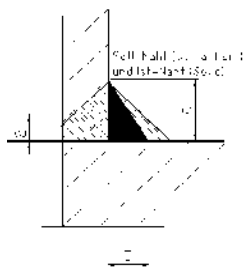
- Nennspannungsnachweis: Kerbfälle (Schweißstöße) müssen klassifiziert sein;

452	Mit Doppelkehlnaht-Normalgüte in Anschlüssen mit Biegung und Schub		
-----	--	---	---

- Strukturspannungsnachweis: Festlegung der Extrapolationspunkte;



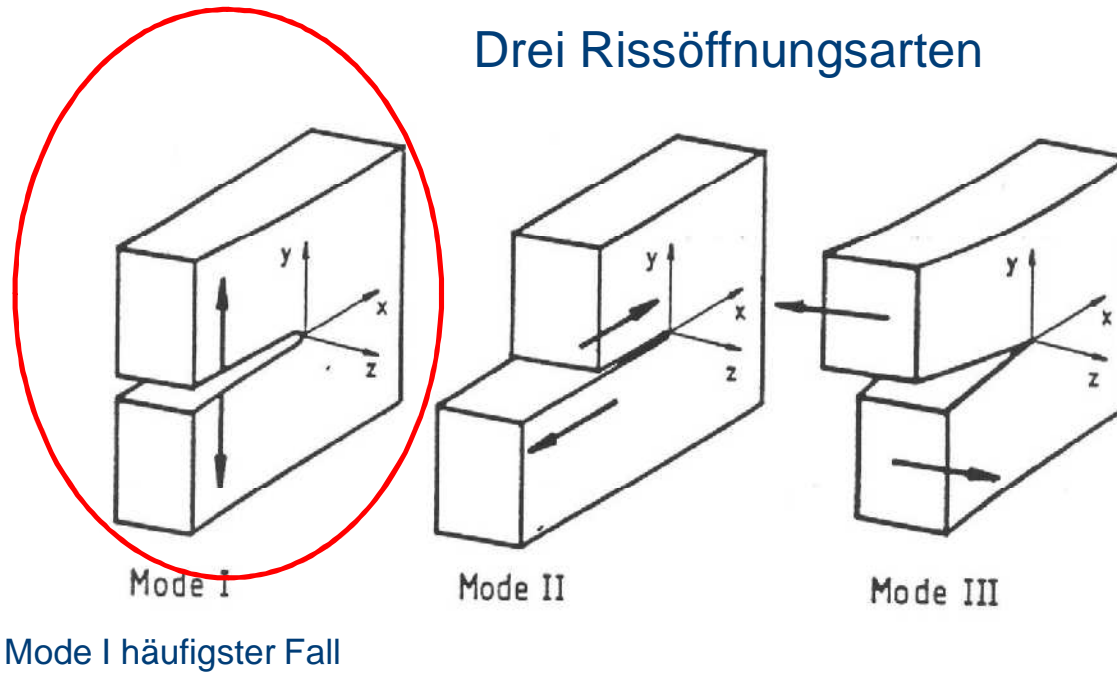
- Kerbspannungsnachweis: **Übereinstimmung der Nahtgeometrie in FE-Modell und realer Ausführung**



37% Abweichung in Maximalbeanspruchung und Verlagerung des versagenskritischen Ortes!!!

## Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

- Rissfortschritt



# Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

- Die Spannungsverteilung an der Risspitze lässt sich mittels Proportionalitätsfaktoren  $K_I$  beschreiben.

Beispiel: Ebener Spannungszustand Mode I (Mode II und III haben ähnliche Gleichungsstrukturen auch im räumlichen Fall).

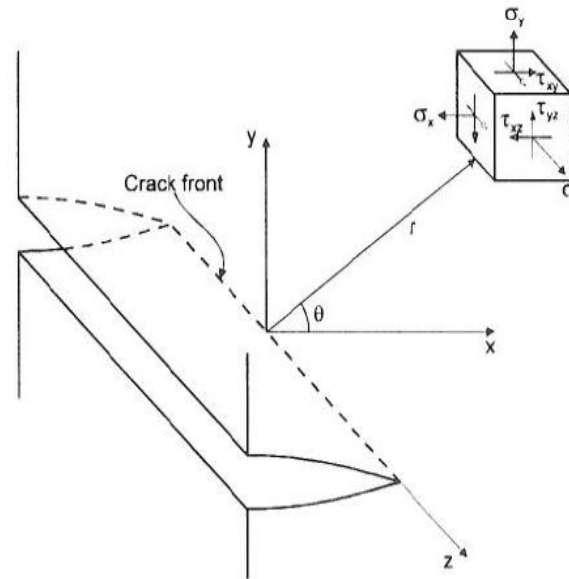
$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos\frac{\theta}{2} \left[ \frac{1-\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^2 - \frac{1+\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^4 \right] - \sin\frac{\theta}{2} \left[ \frac{1-\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^2 - \frac{1+\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^4 \right] \frac{\partial}{\partial z}$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos\frac{\theta}{2} \left[ \frac{1-\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^2 - \frac{1+\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^4 \right] + \sin\frac{\theta}{2} \left[ \frac{1-\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^2 - \frac{1+\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^4 \right] \frac{\partial}{\partial z}$$

$$\sigma_z = 0 \text{ (ESZ)} \quad \sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y) \text{ (EVZ)}$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos\frac{\theta}{2} \left[ \frac{1-\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^2 - \frac{1+\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^4 \right] - \sin\frac{\theta}{2} \left[ \frac{1-\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^2 - \frac{1+\nu}{2} \left( \frac{z}{r} \right)^4 \right] \frac{\partial}{\partial z}$$

$$\tau_{xz} = 0$$



## Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

- Die „Stärke“ (Amplitude) des Riss-Spitzenfeldes wird durch die Spannungsintensitätsfaktoren  $K_I$ ,  $K_{II}$  und  $K_{III}$  beschrieben.
- Ermittelt man mittels FEM ein Spannungs- und Verschiebungsfeld mit Singularität an der Risspitze, so können die einzelnen K-Faktoren aus Grenzwertbetrachtungen numerisch bestimmt werden.
- Aus den Spannungen erhält man bei  $\theta = 0^\circ$  :

$$K_I = \sqrt{2\pi r} \lim_{r \rightarrow 0} \sigma_y$$

$$K_{II} = \sqrt{2\pi r} \lim_{r \rightarrow 0} \tau_{xy}$$

$$K_{III} = \sqrt{2\pi r} \lim_{r \rightarrow 0} \tau_{yz}$$

- Ebenso ist eine Berechnung bei  $\theta = \pm 180^\circ$  aus den Verschiebungen möglich. So wird es auch in ANSYS vorgenommen.

# Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

- Spannungsintensitätsfaktoren: Geschlossene Lösung

1		$\begin{Bmatrix} K_I \\ K_{II} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sigma \\ \tau \end{Bmatrix} \sqrt{\pi a}$
2		$\begin{Bmatrix} K_I^\pm \\ K_{II}^\pm \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P \\ Q \end{Bmatrix} \frac{1}{\sqrt{\pi a}} \sqrt{\frac{a \pm b}{a \mp b}}$
3		$\begin{Bmatrix} K_I \\ K_{II} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sigma \\ \tau \end{Bmatrix} \sqrt{2b \tan \frac{\pi a}{2b}}$
4		$\begin{Bmatrix} K_I \\ K_{II} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P \\ Q \end{Bmatrix} \frac{2}{\sqrt{2\pi b}}$
5		$K_I = 1,1215 \sigma \sqrt{\pi a}$
6		$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} F_I(a/b)$ $F_I = \frac{1 - 0,025(a/b)^2 + 0,06(a/b)^4}{\sqrt{\cos(\pi a/2b)}}$

7		$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \sqrt{\frac{2b}{\pi a}} \tan \frac{\pi a}{2b} G_I(a/b)$ $G_I = \frac{0,752 + 2,02 \frac{a}{b} + 0,37(1 - \sin \frac{\pi a}{2b})^3}{\cos \frac{\pi a}{2b}}$
8		$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \sqrt{\frac{2b}{\pi a}} \tan \frac{\pi a}{2b} G_I(a/b)$ $G_I = \frac{0,923 + 0,199(1 - \sin \frac{\pi a}{2b})^4}{\cos \frac{\pi a}{2b}}$
9		$K_I = \frac{2}{\pi} \sigma \sqrt{\pi a}$
10		$K_I = \frac{2}{\pi} \sigma \sqrt{\pi a} \left[ 1 - \sqrt{1 - (b/a)^2} \right]$
11		$K_I = \frac{P}{\pi a^2} \sqrt{\pi a} \sqrt{1 - a/b} G_I(a/b)$ $K_{III} = \frac{2M_T}{\pi a^3} \sqrt{\pi a} \sqrt{1 - a/b} G_{III}(a/b)$ $G_I = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\epsilon}{2} + \frac{3}{8} \epsilon^2 - 0,363 \epsilon^3 + 0,731 \epsilon^4 \right)$ $G_{III} = \frac{3}{8} \left( 1 + \frac{\epsilon}{2} + \frac{3}{8} \epsilon^2 + \frac{5}{16} \epsilon^3 + \frac{35}{128} \epsilon^4 + 0,208 \epsilon^5 \right), \quad \epsilon = a/b$
12		$K_I(\theta) = \sigma \sqrt{\pi a} F_I(\theta)$ $F_I = \frac{2}{\pi} (1,211 - 0,186 \sqrt{\sin \theta})$ $10^\circ < \theta < 170^\circ$

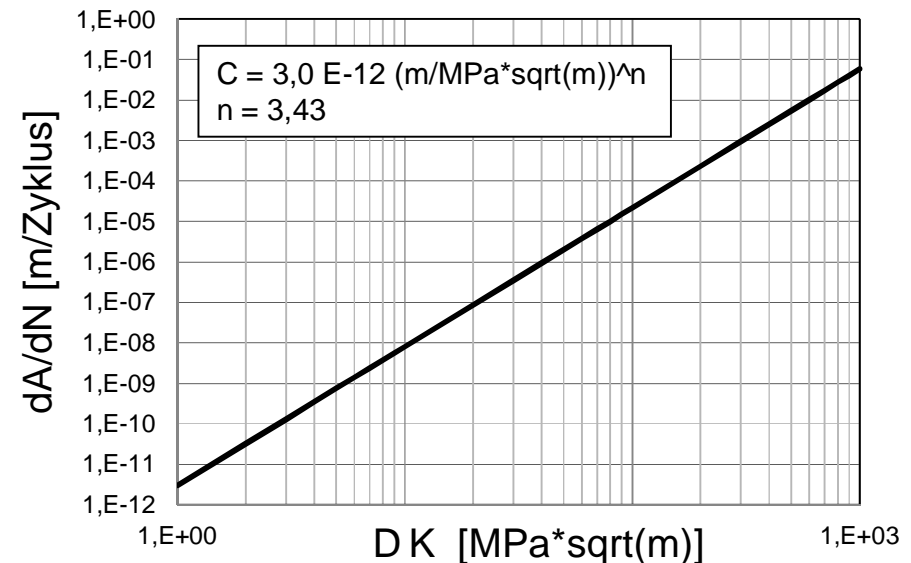
Gross, Seelig  
(2006)

## Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

### Risswachstum, oder -fortschritt

- Die älteste und einfachste Beschreibung des stabilen Risswachstums wurde zuerst von PARIS vorgeschlagen ist beschränkt auf das Stadium 2:
  - C Paris Koeffizient [m/MPaÖm)<sup>n</sup>
  - n Paris exponent [keine Einheit]
  - DK Spannungsintensitätsfaktor [MPaÖm]
  - a Rißlänge [m]
  - N Zyklus [keine Einheit]
- DK beschreibt dabei den zyklischen Anteil der Belastung (Kmax – Kmin)

Paris Rißfortschrittgesetz für Aluminium 2024 T3

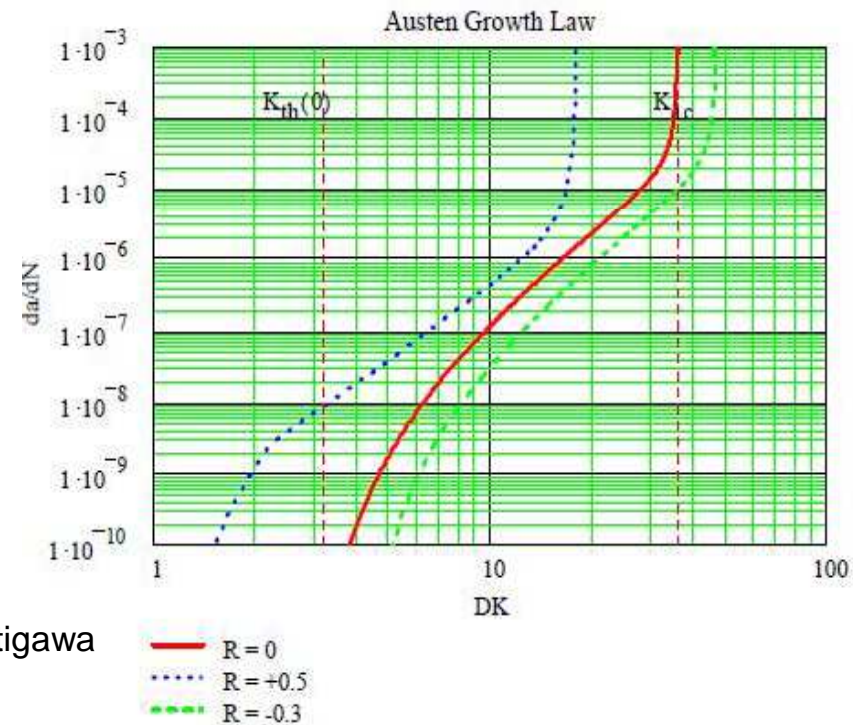


$$\frac{da}{dN} = C \times DK^n$$

## Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse

- Paris Gesetz Modifikation nach Austen – effektiver Spannungsintensitätsfaktor
  - $K_{eff}$  effektiver Spannungsintensitätsfaktor
  - $n$  Paris Exponent
  - $C$  Paris Koeffizient
- Rissinitiierung, stabiles Risswachstum, kritische Spannungsintensität und Mittelspannungseinfluß werden abgebildet über den effektiven Spannungsintensitätsfaktor  $K_{eff}$
- Rißfortschritt nach Austen ist der Default in nCode Designlife

$$\frac{da}{dN} = C \times (DK_{eff})^n$$



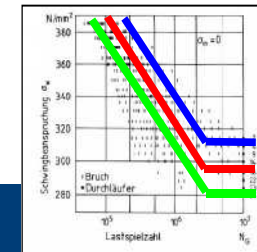
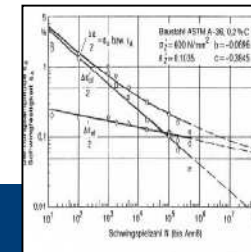
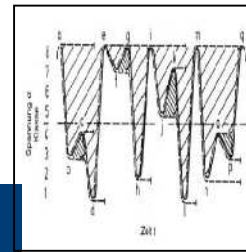
- $l_0$  kleinster Anriß, der propagieren kann, nach Kitigawa
- $\Delta K_{th}$  Schwellwert Spannungsintensitätsfaktor
- $K_{1c}$  kritischer Spannungsintensitätsfaktor
- $\Delta s_0$  Dauerfestigkeit des ungekerbten Werkstoffes

## Gliederung

- Einleitung
- Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse
- **Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse**
  - Interpretation der Bauteilbelastungen
  - Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben
  - Bewertung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben



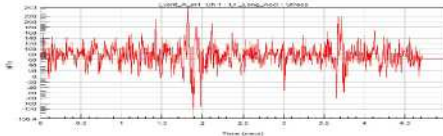
Simulation ist mehr als Software®



## Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse

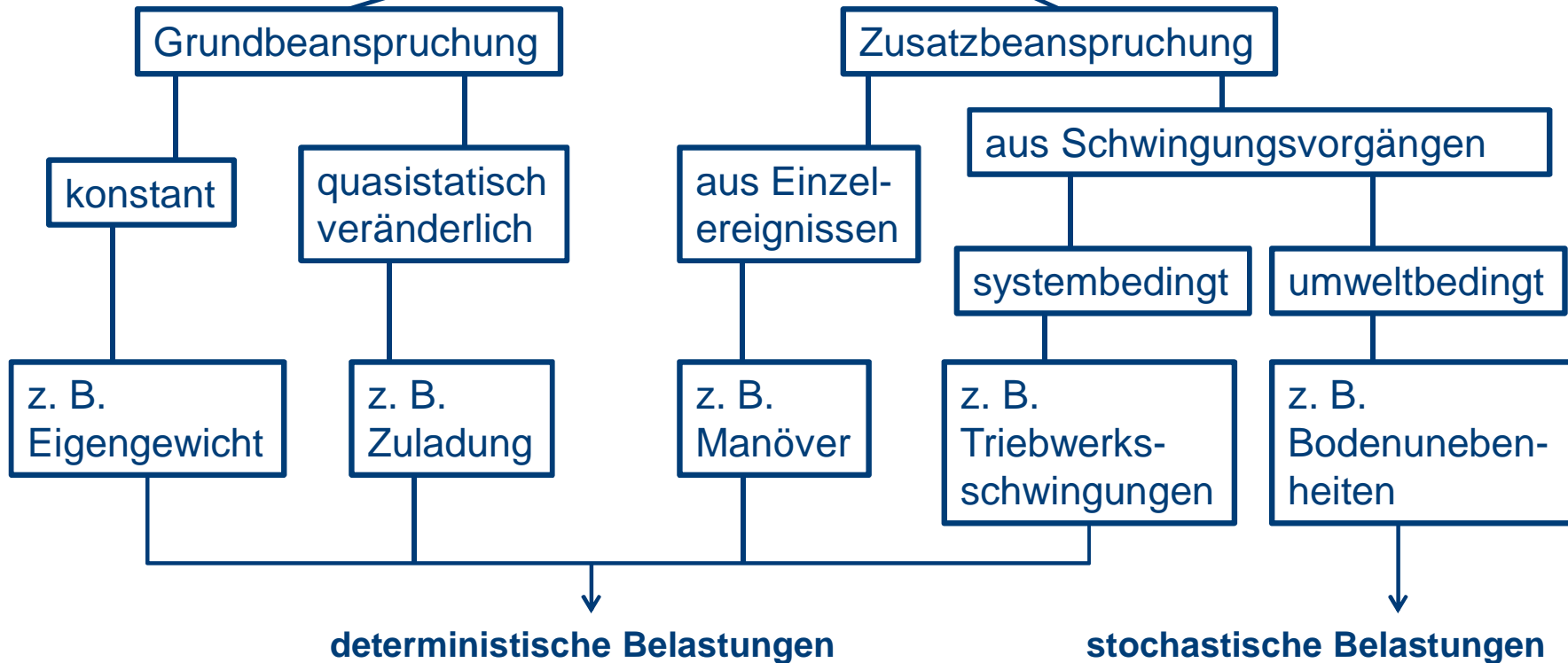
Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

• Interpretation der Bauteilbelastungen / Lastarten



Beanspruchungs-Zeit-Funktion

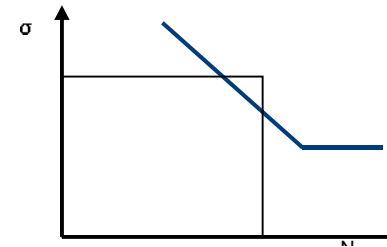
nach Haibach



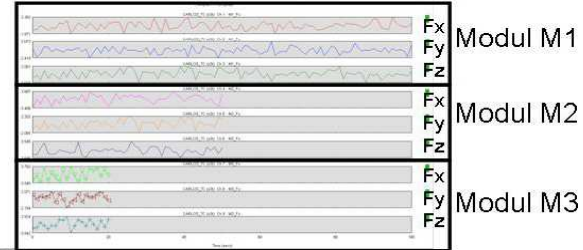
Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

• Bauteilbelastungen / Lastarten analysieren mit ANSYS15.0 nCode DesignLife

- Konstante Amplitude :
  - Einheitslastfälle werden zu einem Einstufenkollektiv addiert.
- Timeseries:
  - Einheitslastfälle werden mit Last-Zeitserien verknüpft.
- TimeStep:
  - Lastschritte werden zu einer zeitlichen Reihenfolge zusammengesetzt.
- Vibration (Frequenzbereich):
  - Lebensdauerberechnung auf Grundlage von PSD und harmonischen FE-Analysen.



Module für CARLOS TC



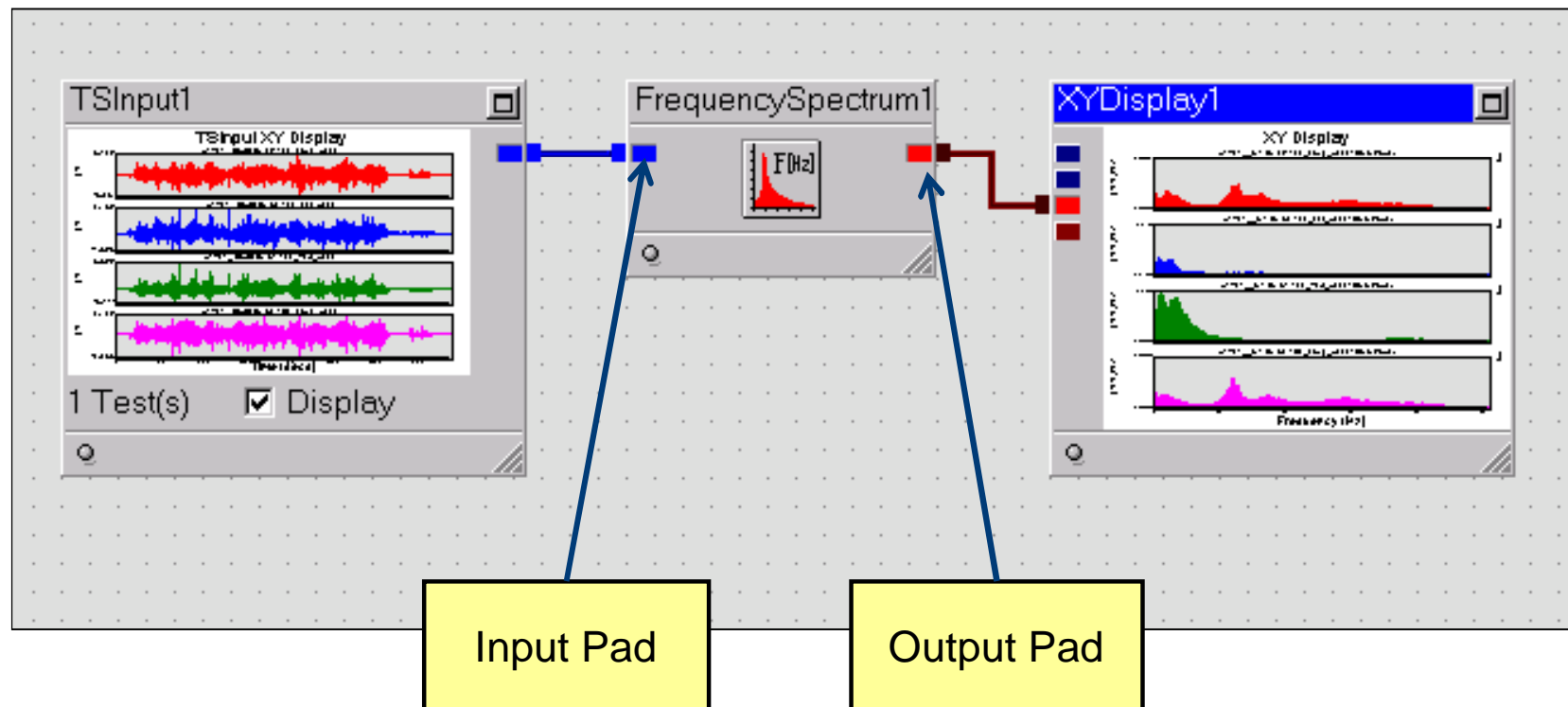
U. S. highway truck vibration exposures  
figure 514.5C-1

vertical		transverse		longitudinal	
Hz	g <sup>2</sup> /Hz	Hz	g <sup>2</sup> /Hz	Hz	g <sup>2</sup> /Hz
10	0.01500	10	0.00013	10	0.00650
40	0.01500	20	0.00065	20	0.00650
500	0.00015	30	0.00065	120	0.00020
1.04 g rms		78	0.00002	121	0.00300
		79	0.00019	200	0.00300
		120	0.00019	240	0.00150
		500	0.00001	340	0.00003
		0.204 g rms		500	0.00015
					0.740 g rms

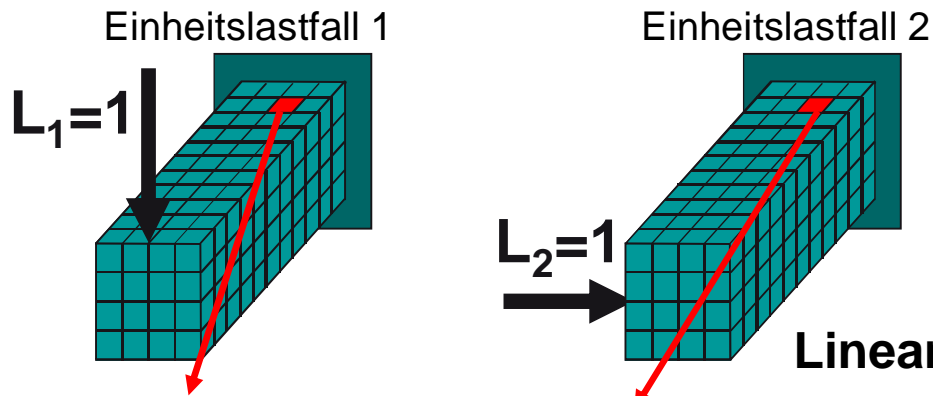
Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

- Bauteilbelastungen / Lastarten analysieren mit **ANSYS15.0 nCode DesignLife**

Bsp.: aus dem Zeitschrieb ein Frequenzspektrum erstellen für die dynamische Analyse



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

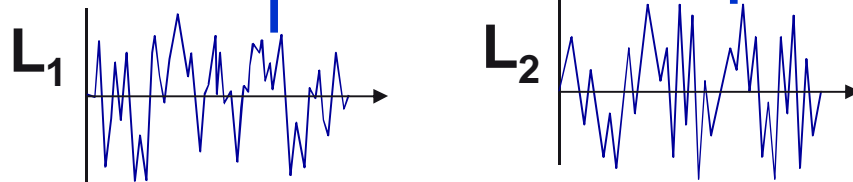


- Bauteilbelastungen / Lastarten analysieren mit **ANSYS15.0 nCode DesignLife**

Spannungen der Einheitslastfälle

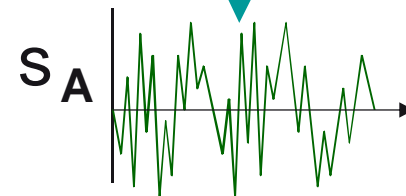
Lineare statische Superposition

$$C_{1A} * L_1(t) + C_{2A} * L_2(t) + \dots = S_A(t) \text{ für alle Knoten/Elemente}$$



Last-Zeit-Reihen

Lokale Spannungs-Zeit Reihe



## Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

- Bauteilbelastungen / Lastarten analysieren mit **ANSYS15.0 nCode DesignLife**

- Vorteil:

- geringe Rechenzeiten des FE-Modells
- wenig Speicherbedarf auf der Platte nötig
- die Einheitslastfälle können für verschieden Lastkollektive verwendet werden
- Auto-Elimination kann vor der Schädigungsrechnung durchgeführt werden

### **Lineare statische Superposition**

- Nachteil:

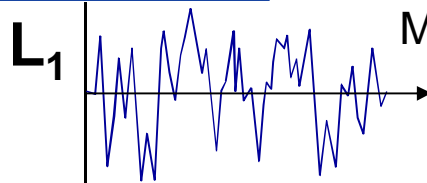
- lineare, statische FE-Analysen können Randbedingungen beinhalten, die nicht realistisch sind (z.B. nichtlinearer Kontakt)
- Methode liefert falsche Ergebnisse wenn Eigenfrequenzen durch die äußeren Lasten angeregt werden.

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

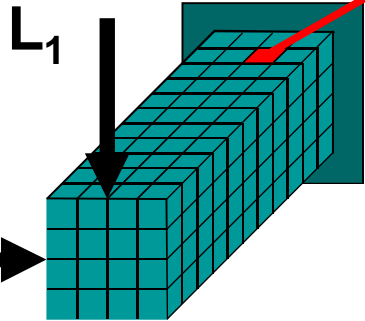
- Bauteilbelastungen / Lastarten analysieren mit **ANSYS15.0 nCode**

**DesignLife**

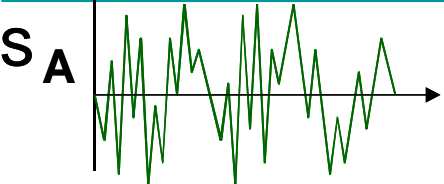
Last-Zeit-Reihen



Time Step: Transiente Analyse mit vollen Matrizen



Lokale Spannungs-Zeit Reihe



Rainflow Counting

Fatigue Analysis

Spannungen aus kombinierten Lasten werden von ANSYS bei jedem Zeitschritt berechnet.

Für lange Last-Zeit-Reihen werden lange Rechenzeiten und großer Plattenspeicher benötigt !

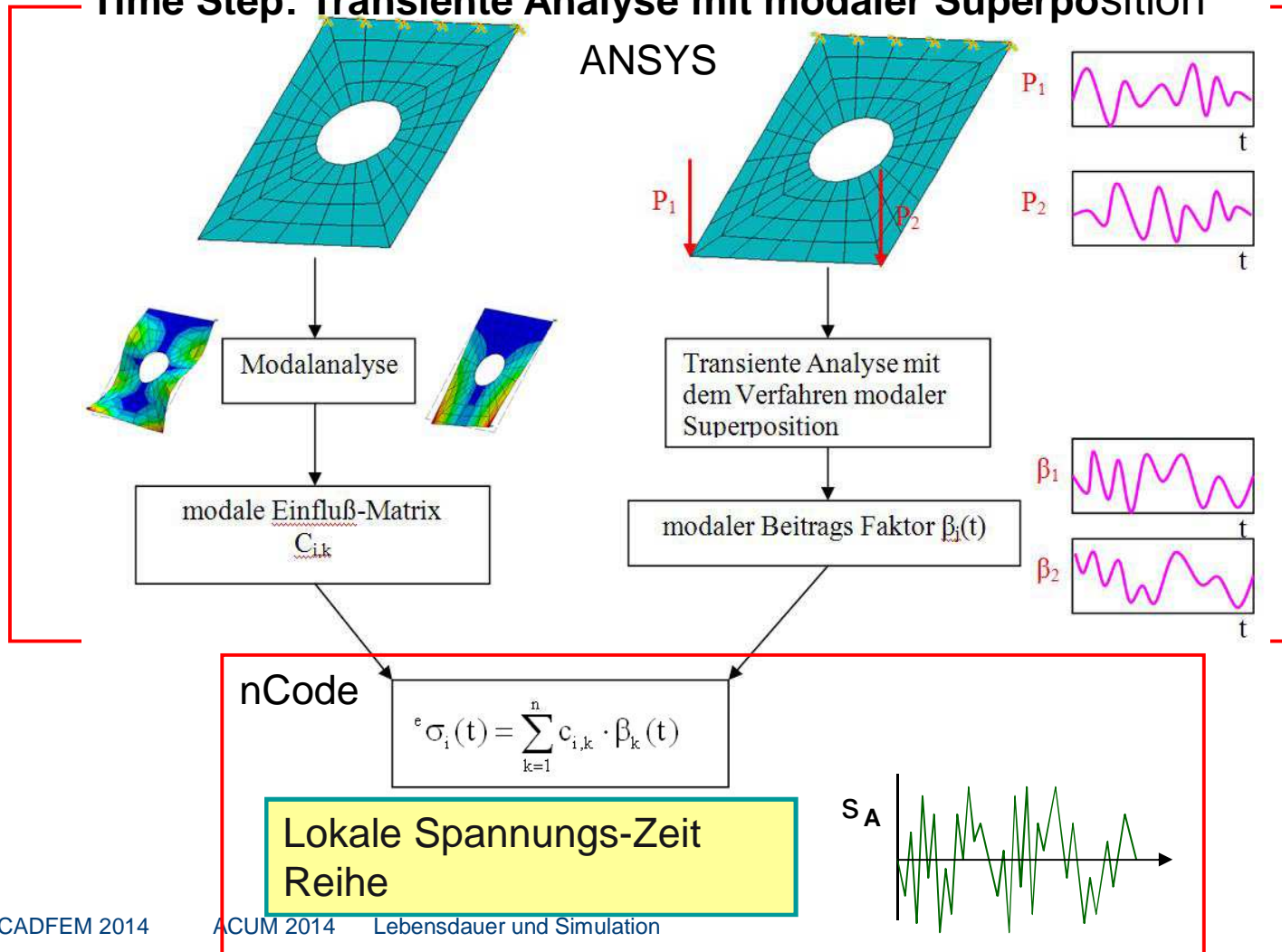
## Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

- Bauteilbelastungen / Lastarten analysieren mit **ANSYS15.0 nCode DesignLife**
- Vorteil: Time Step: Transiente Analyse mit vollen Matrizen
  - berücksichtigt dynamische Effekte
  - System kann dynamisch analysiert werden ohne künstliche Randbedingungen
  - Modell kann alle Effekte wie Kontakt, Plastizität und große Verformungen beinhalten
- Nachteil:
  - transiente Analysen haben sehr lange Rechenzeiten gegenüber statischen Analysen
  - um den Spannungszustand zu jedem Zeitpunkt zu Speichern wird sehr viel Plattenplatz benötigt
  - jeder Lastfall muss separat berechnet werden
  - es kann kein Spannungsfilter verwendet werden um die Element / Knoten Anzahl zu verringern



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

Time Step: Transiente Analyse mit modaler Superposition



## Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

- Bauteilbelastungen / Lastarten analysieren mit **ANSYS15.0 nCode DesignLife**
- Vorteil: **Time Step: Transiente Analyse mit modaler Superposition**
  - benötigt deutlich weniger Plattenspeicher und berechnet die Spannungszustände auf die gleiche Weise wie ANSYS
  - ist die modale Einflussmatrix einmal berechnet kann sie für verschiedene Lastfälle verwendet werden.
  - ein Spannungsfiler kann verwendet werden um kritische Elemente/Knoten zu selektieren. Damit wird die Berechnungszeit in nCode zu verkürzen
  - der Einfluss durch das Weglassen eines Modes kann untersucht werden
- Nachteil:
  - transiente Analysen haben sehr lange Rechenzeiten gegenüber statischen Analysen
  - es werde zwei FE-Analysen benötigt
  - Effekte wie Plastizität, Kontakt und große Verformungen werden nicht berücksichtigt

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

Dynamische Analyse mit PSD, Bsp. Integration nCode in WB

The screenshot shows the ANSYS Workbench interface for a project named 'PCB\_Board'. The Project Schematic displays a sequence of analyses: 
 

- Stage A:** Geometry (1, 2)
- Stage B:** Modal (ANSYS) (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)
- Stage C:** Harmonic Response (ANSYS) (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)
- Stage D:** nCode SN Vibration (DesignLife) (1, 2, 3, 4)

 The nCode SN Vibration stage is highlighted, and a large blue arrow points from the PSD data table below towards it. The table lists the following data:

Frequency	(mm/sec <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> Hz <sup>-1</sup>
10	1.00 E-01
500	0.75 E+06
1500	1.00 E+06
2000	1.00 E-01

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

- Bauteilbelastungen / Lastarten analysieren mit **ANSYS15.0 nCode DesignLife**

Ergebnis aus der ANSYS-WB Harmonic-Response-Analyse über den entsprechenden Frequenzbereich

The screenshot shows the ANSYS Workbench environment. A 'Simulation\_Input' block is circled in blue, containing a 3D model of a PCB. Another 'VibrationGenerator1' block is also circled in blue. A 'VibrationGenerator Properties' dialog box is open, showing a table of PSD input data. The table has two columns: 'Frequency (Hz)' and 'Amplitude (g<sup>2</sup>/Hz)'. The data points are: (1, 1e-08), (500, 0.0078), (1500, 0.01), and (2000, 1e-08). Other visible components include 'HotSpotDetection1', 'Fatigue\_Results\_Display', 'Vibration\_Analysis', and 'PSD\_Display' which shows a graph of the input PSD.

Dynamische Analyse mit PSD

Eingabe des PSD-Spektrums

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

- Bauteilbelastungen / Lastarten analysieren mit **ANSYS15.0 nCode DesignLife**

**Übersicht Lastaufbringungen**

Linear Superposition	Modal Superposition	Transient	Vibration
Quasi-static	Dynamic	Dynamic	Dynamic (steady-state)
Linear only	Linear only	Linear and nonlinear	Linear only
Minimum CPU	Moderate CPU	CPU Intensive	Moderate CPU
Minimum Disk Space	Minimum Disk Space	Disk Space Intensive	Minimum Disk Space
	Accuracy dependent on selection and number of modes	Mode selection not needed	

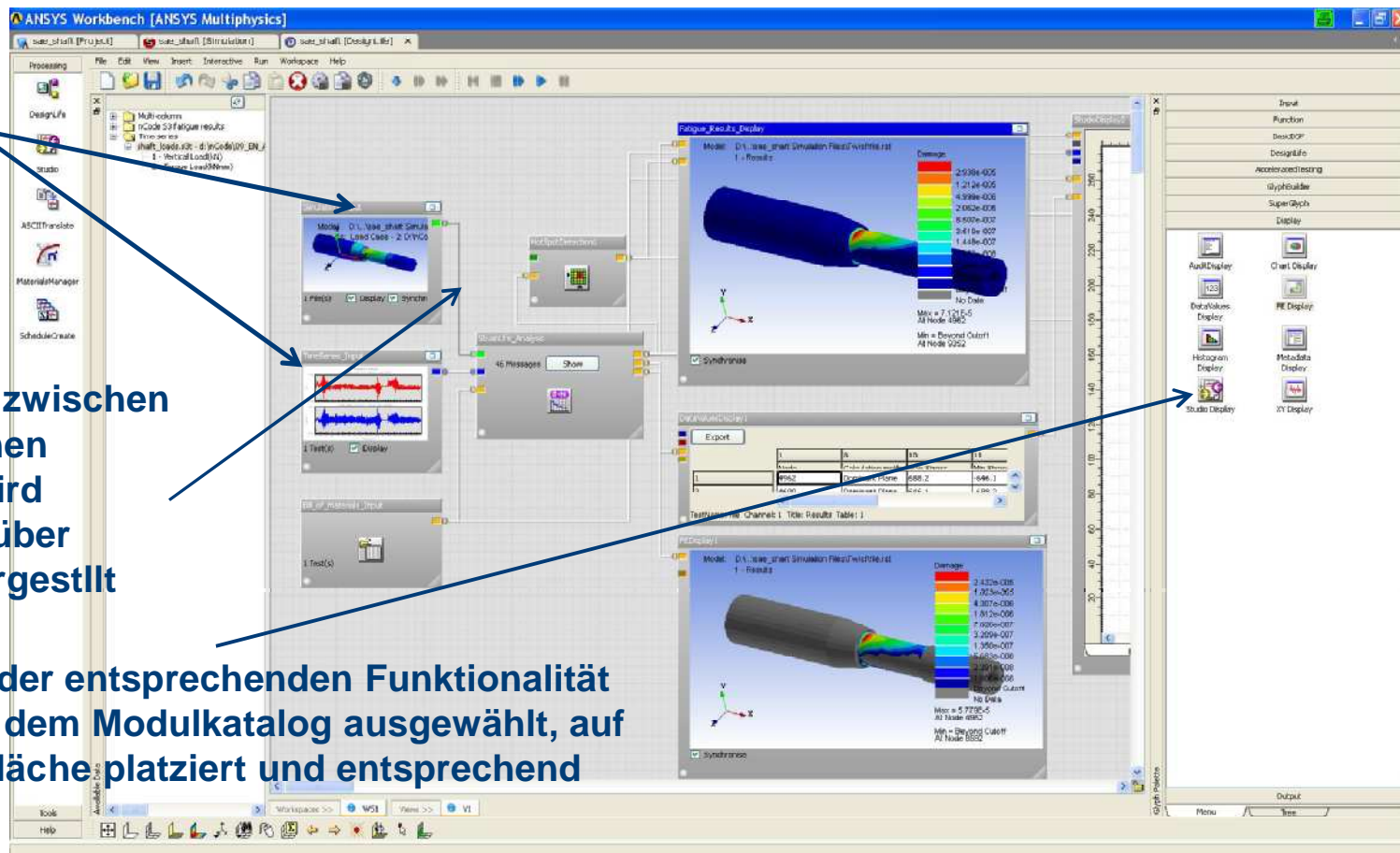
Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Interpretation der Bauteilbelastungen

- Arbeitsoberfläche ANSYS nCode DesignLife

Modularer Aufbau

Datenfluss zwischen den einzelnen Modulen wird graphisch über „Pipes“ dargestellt

Module mit der entsprechenden Funktionalität werden aus dem Modulkatalog ausgewählt, auf der Arbeitsfläche platziert und entsprechend verlinkt



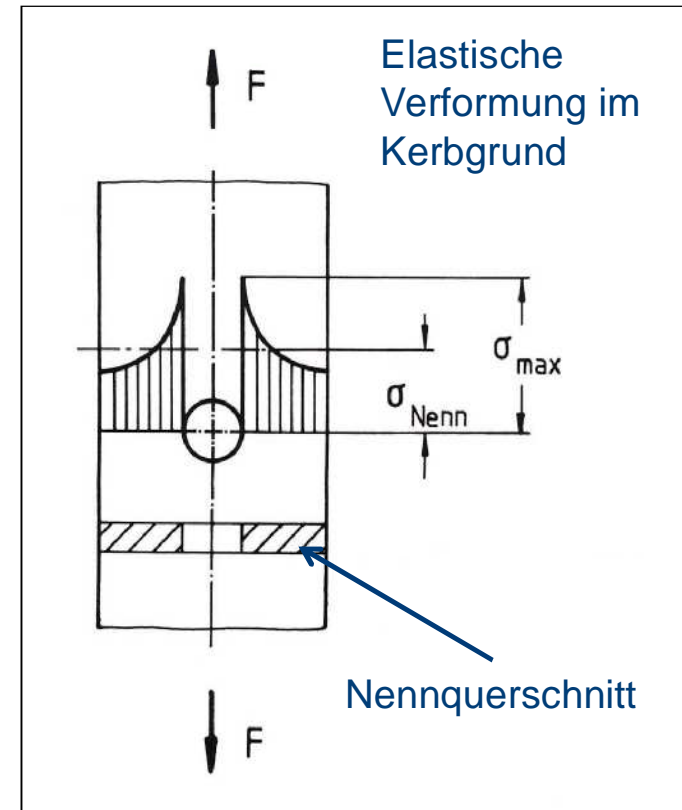
## Gliederung

- Einleitung
- Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse
- Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse
  - Interpretation der Bauteilbelastungen
  - Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben
  - Bewertung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben

## Nicht geschweißte Bauteile

### Elastische Spannungsermittlung

- **Nennspannungen:** über den „tragenden“ – auch Nennquerschnitt genannten Querschnitt des Bauteils gemittelte Spannungen
- **Örtliche Spannungen:** lokale, örtliche Spannungen werden mit ausreichender Genauigkeit ermittelt.



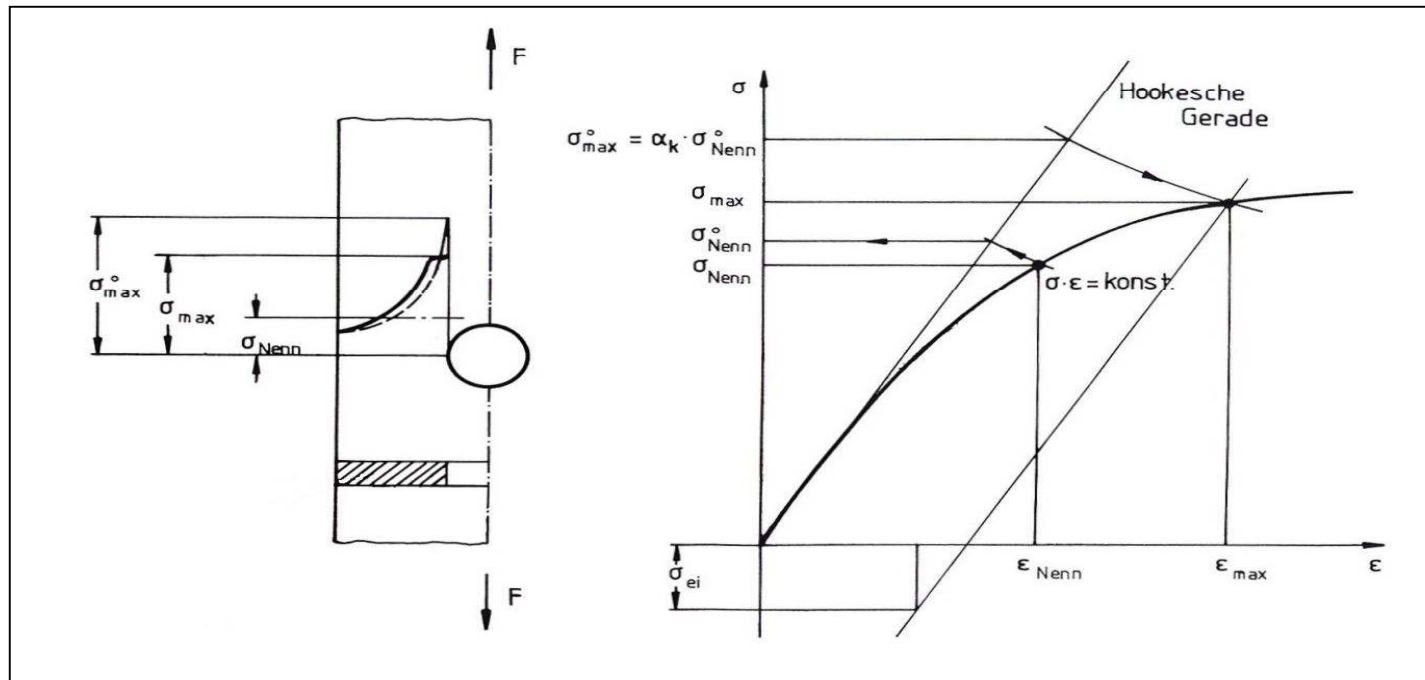


Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

## Nicht geschweißte Bauteile

### Elastisch-plastische Spannungsermittlung

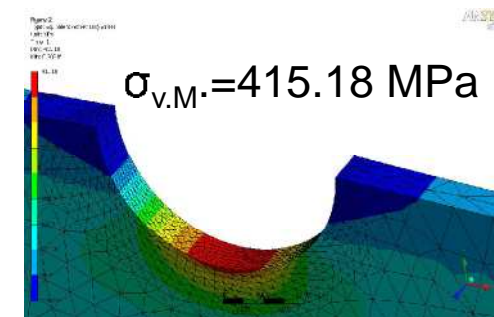
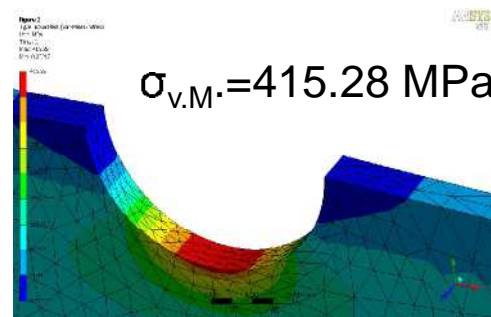
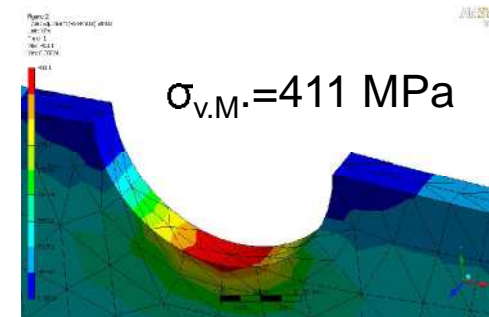
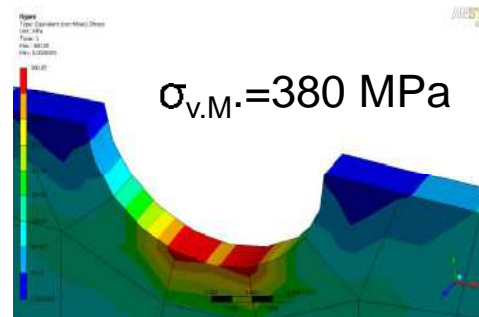
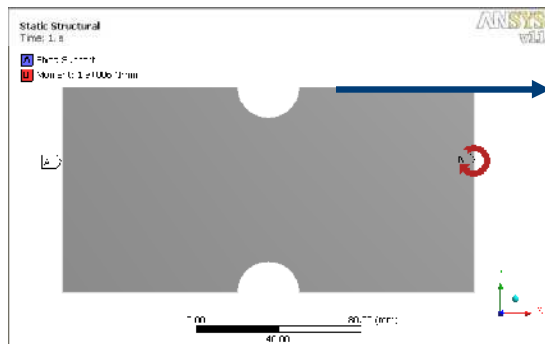
Neuber – Hyperbel und s-e-Diagramm liefern  $s_{max}$  und  $e_{max}$ , oder Berechnung mit elastisch-plastischem Werkstoffgesetz



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile elastisch

- Örtliche - bzw. Kerbspannungen sind sensibel bezüglich der gewählten Netzdicke



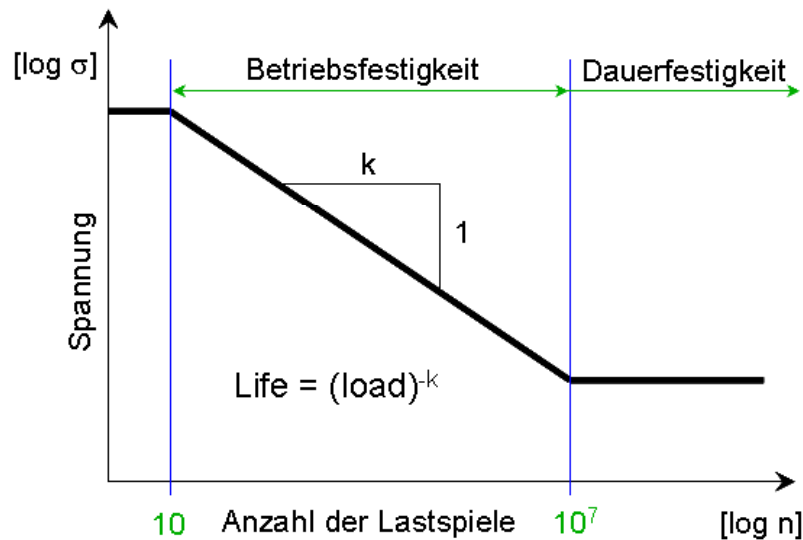
Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

## Nicht geschweißte Bauteile elastisch

Bei Betriebsfestigkeitsanalysen wirkt sich der Anstieg der Spannung sehr stark aus!

Netzvariante	max. Spannung [MPa]	Änderung [%]	Anzahl Zyklen bis D=1	Änderung [%]
1	380.05		3167	
2	411.10	7.85%	2484	-27.50%
3	415.28	1.01%	2408	-3.16%
4	415.18	-0.02%	2410	0.08%

Vernetzungsvarianten und die Spannungen in der Kerbe



Spannung	Schweißnähte	Stahl
	k=3 Life	k=5 Life
1	1	1
0,9	1,37	1,7
0,8	1,95	3

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

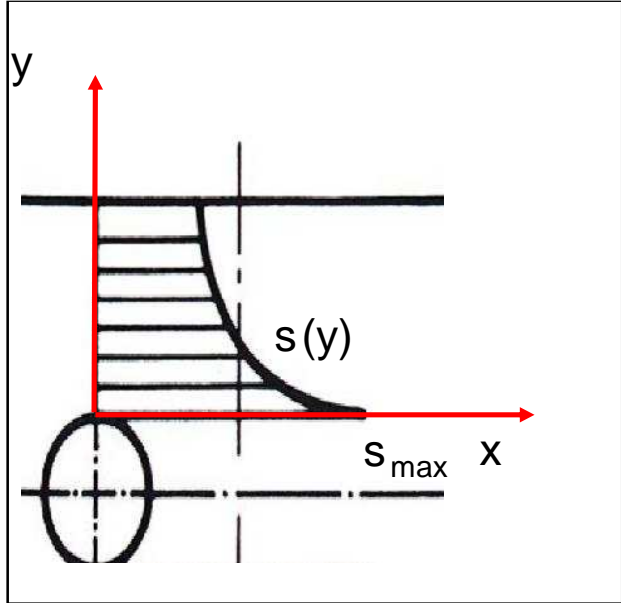
## Nicht geschweißte Bauteile elastisch

Nicht nur die Maximalspannung an der Oberfläche, sondern auch der Gradient in das Volumen hinein wirkt sich sehr stark aus! „**Stützwirkung**“  
 Bsp.: Berücksichtigung der Stützwirkung beim Konstruktionsfaktor der FKM-Richtlinie

$$K_{WK} = \frac{1}{n_{\sigma}} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{\tilde{K}_f} \left( \frac{1}{K_{R,\sigma}} - 1 \right) \right] \cdot \frac{1}{K_V \cdot K_S \cdot K_{NL,E}}$$

- Rauigkeit
- Randschichtverfestigung
- Schutzschicht Aluminium

$$S_{WK} = \frac{\sigma_{W,zd}}{K_{WK}}$$



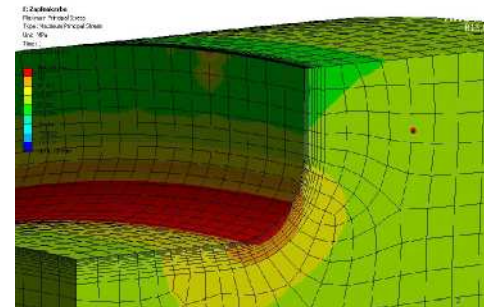
$$c^* = - \frac{1}{s_{max}} \times \frac{ds}{dy}$$

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile elastisch

Ermittlung des Gradienten in ANSYS-Workbench:

1. Berechnung der Kerbspannung im Submodell
2. Platzierung eines Koordinatensystems am Ort der maximalen Spannung mit der Option „Hit Point Normal“

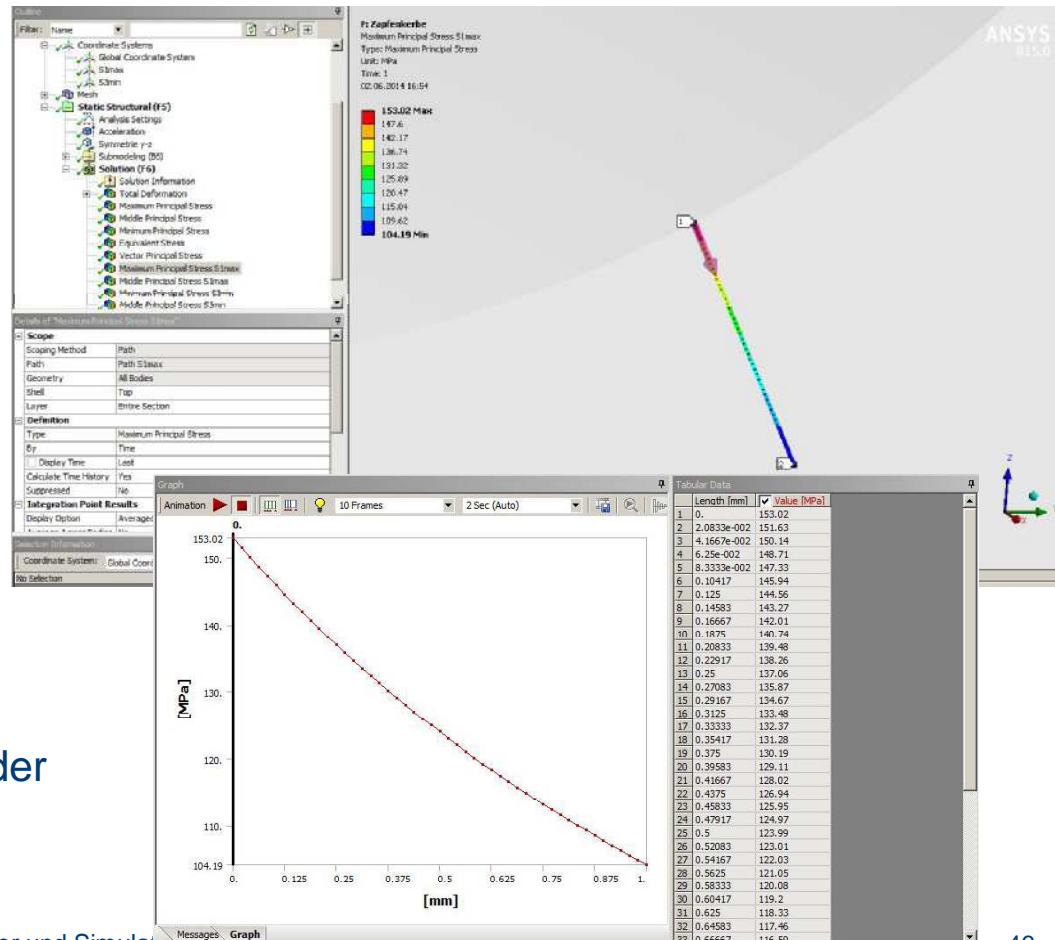


Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile elastisch

Ermittlung des Gradienten in ANSYS-Workbench:

1. Berechnung der Kerbspannung im Submodell
  2. Platzierung eines Koordinatensystems am Ort der maximalen Spannung mit der Option „Hit Point Normal“
  3. Pfad im entsprechenden Koordinatensystem definieren und Spannung auf den Pfad interpolieren lassen
  4. Aus der graphischen und tabellarischen Ausgabe die Daten für die Ermittlung der Stützziffer entnehmen.
- Hinweis: ANSYS-WB-FKM in der CADFEM-Toolbox berechnet den Gradienten automatisch



## Gliederung

- Einleitung
- Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse
- Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse
  - Interpretation der Bauteilbelastungen
  - Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § **Geschweißte Bauteile**
    - § Normteile z. B. Schrauben
  - Bewertung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben

## Geschweißte Bauteile

### └ Berechnungsansätze

- Nennspannungsnachweis
- Strukturspannungsnachweis
- Kerbspannungsnachweis
- auf den bruchmechanischen

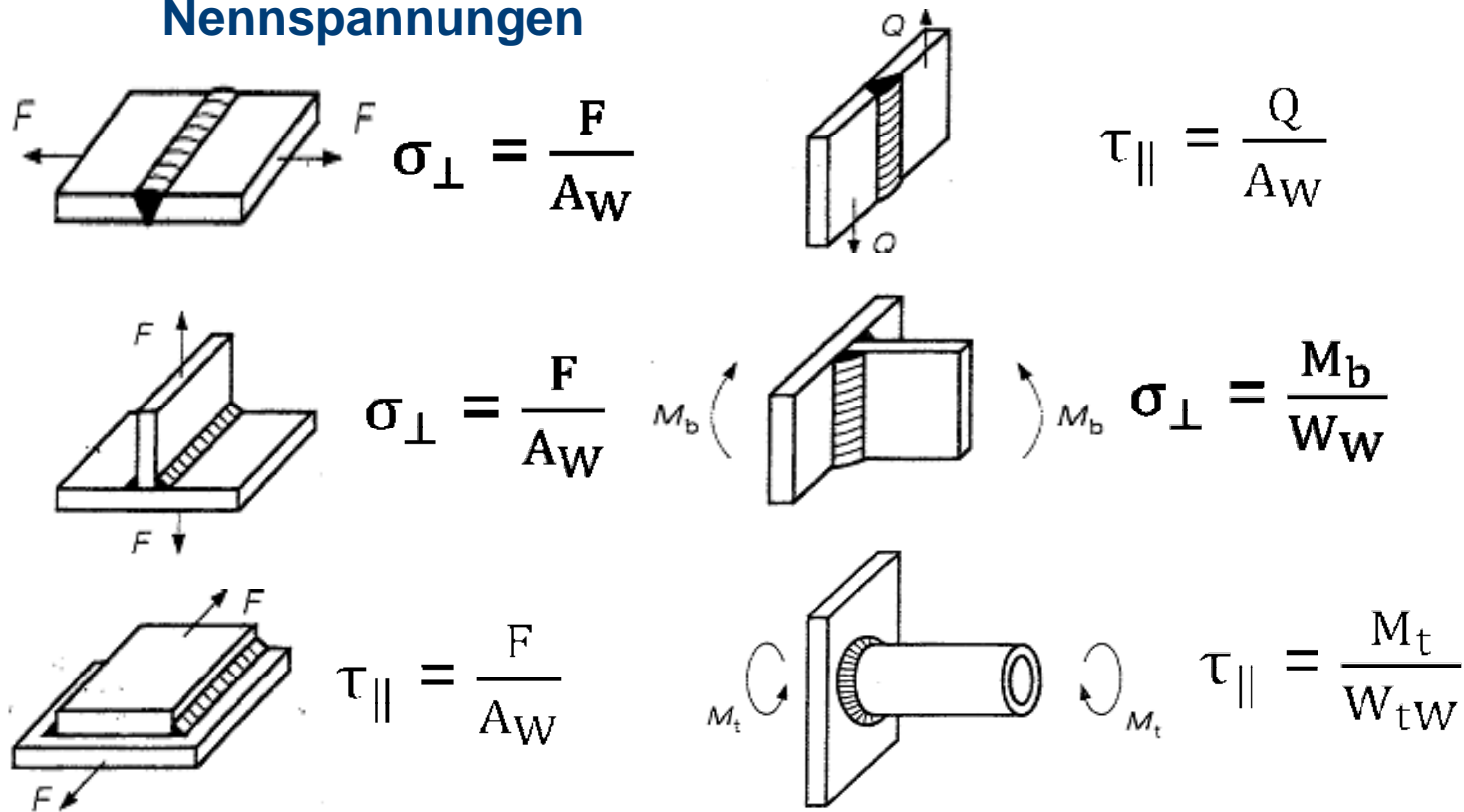
Sicherheitsnachweis wird hier nicht weitergegangen



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

## Geschweißte Bauteile

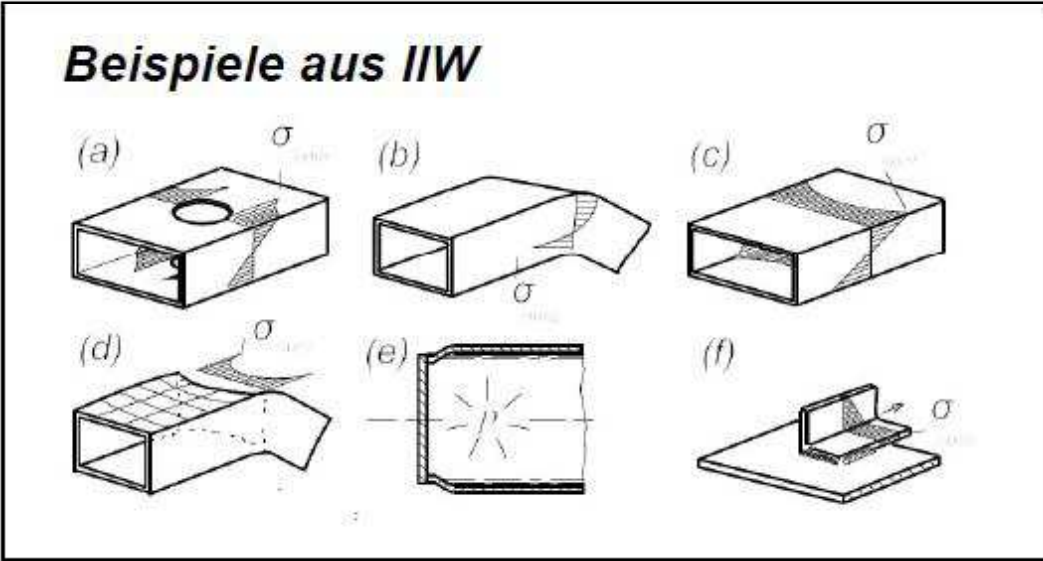
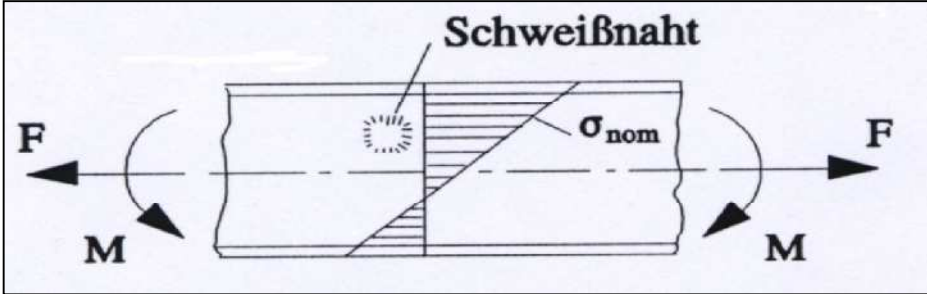
### Nennspannungen



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

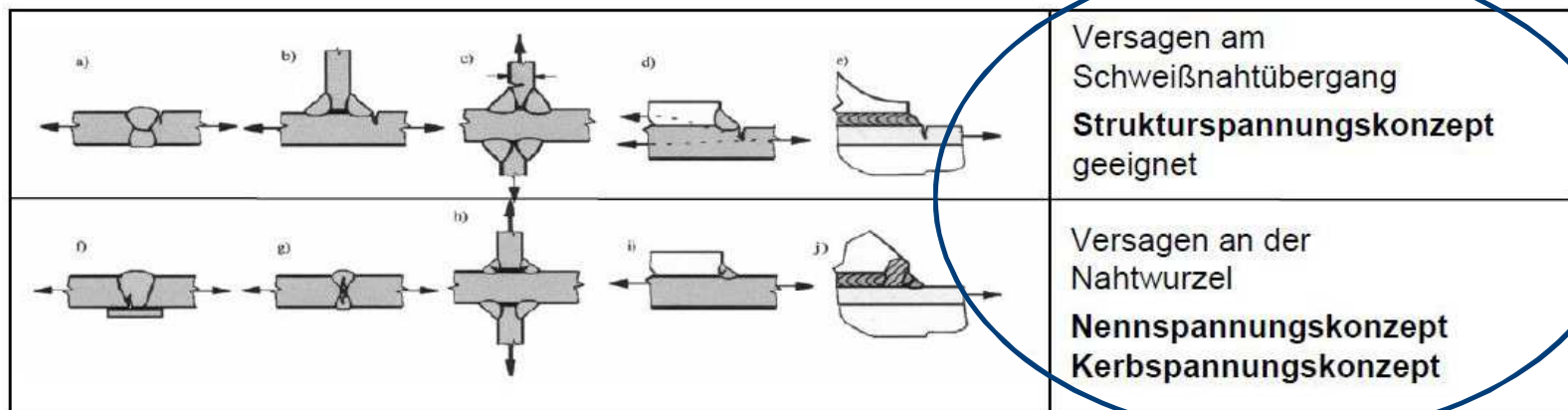
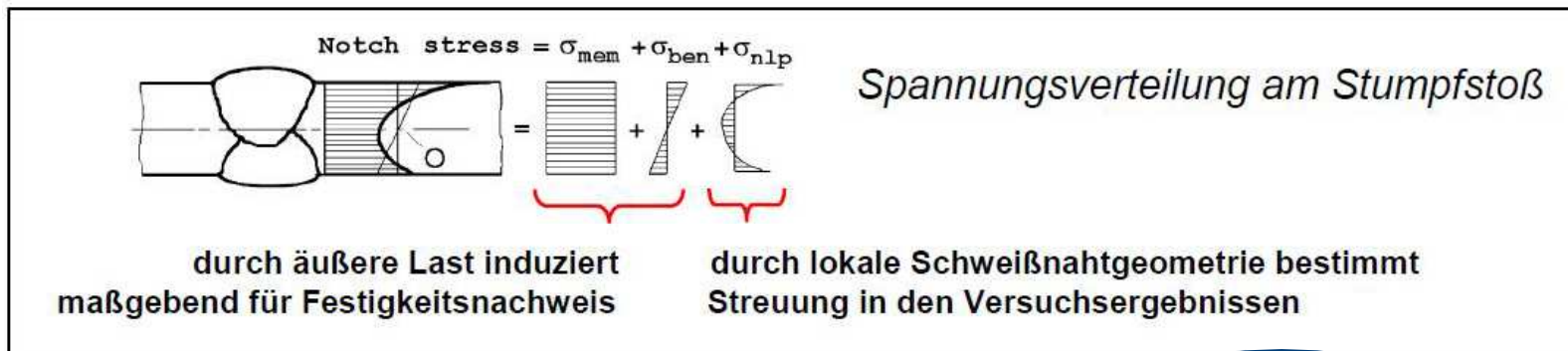
Geschweißte Bauteile  
Nennspannungen

Makrogeometrische Effekte müssen bei den Nennspannungen berücksichtigt werden. (IIW-Richtlinie „lokale Nennspannungen“) => Bei „komplexen“ Strukturen lassen sich ausgewiesene Nennspannungsquerschnitte selten identifizieren

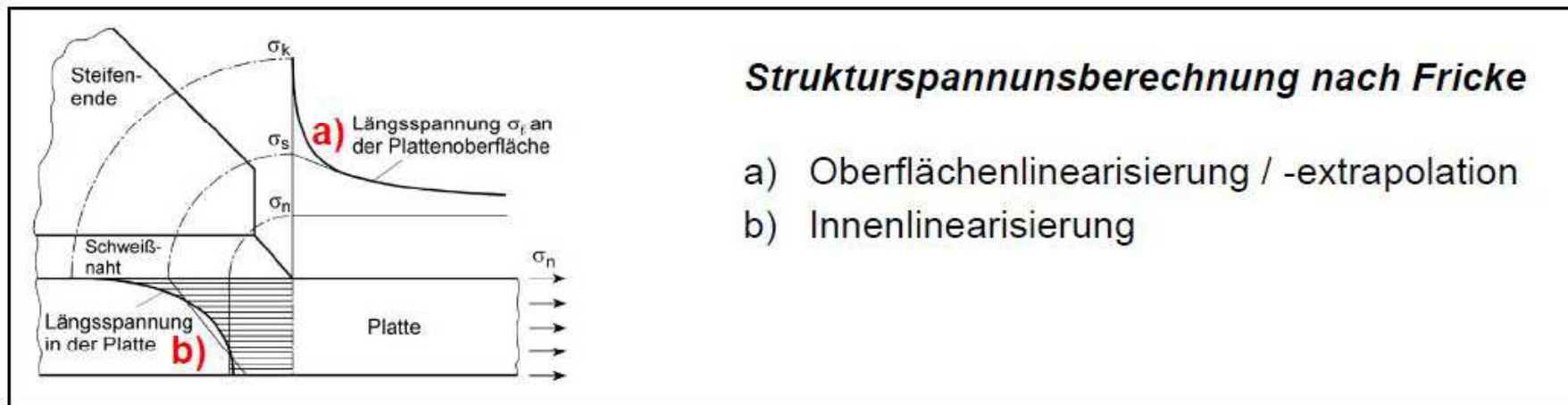


Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

## Geschweißte Bauteile Strukturspannungen



## Geschweißte Bauteile Strukturspannungen



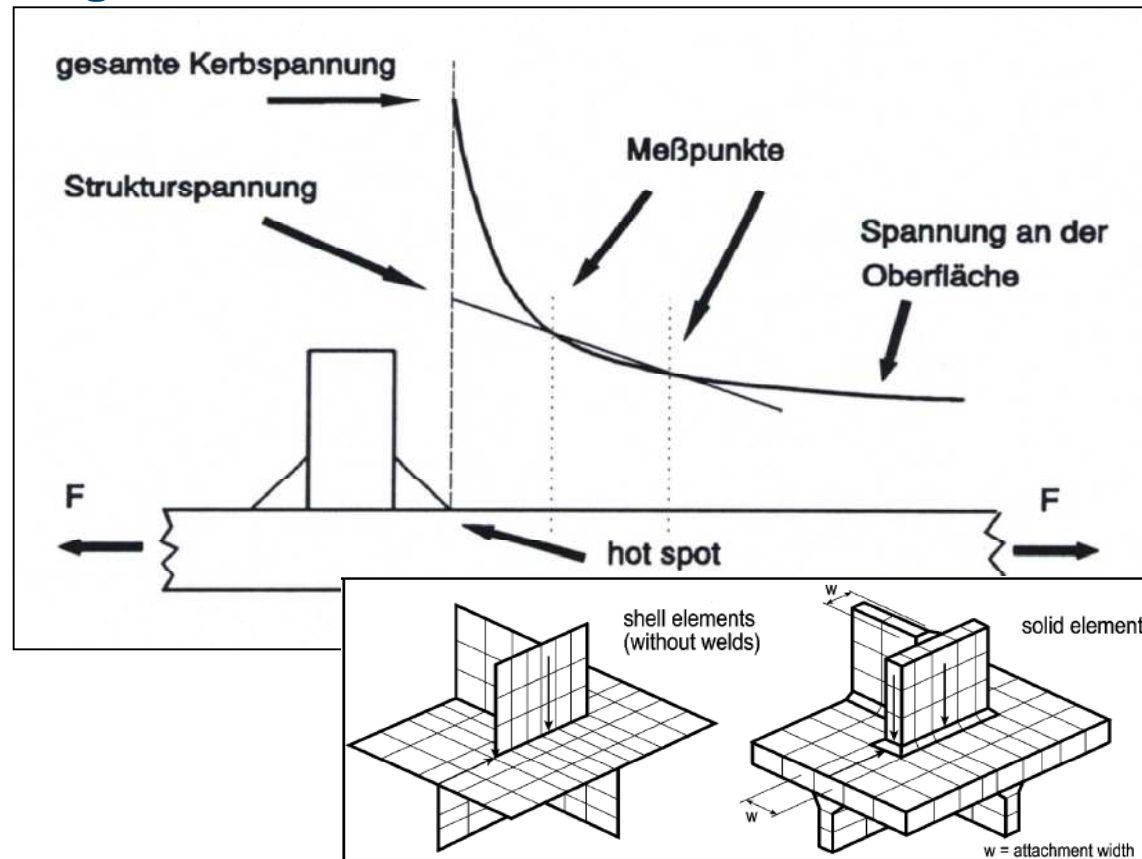
Linearisierte Spannungen können ebenfalls als  
Strukturspannungen verwendet werden

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

# Geschweißte Bauteile

## Strukturspannungen

- Definition und Berechnung der Strukturspannungen IIV-  
Empfehlungen Dok. IIV-1823-07 (12/2008)
- Berechnung der Strukturspannung überwiegend mit FEM (ggfls. auch DMS-Messung).

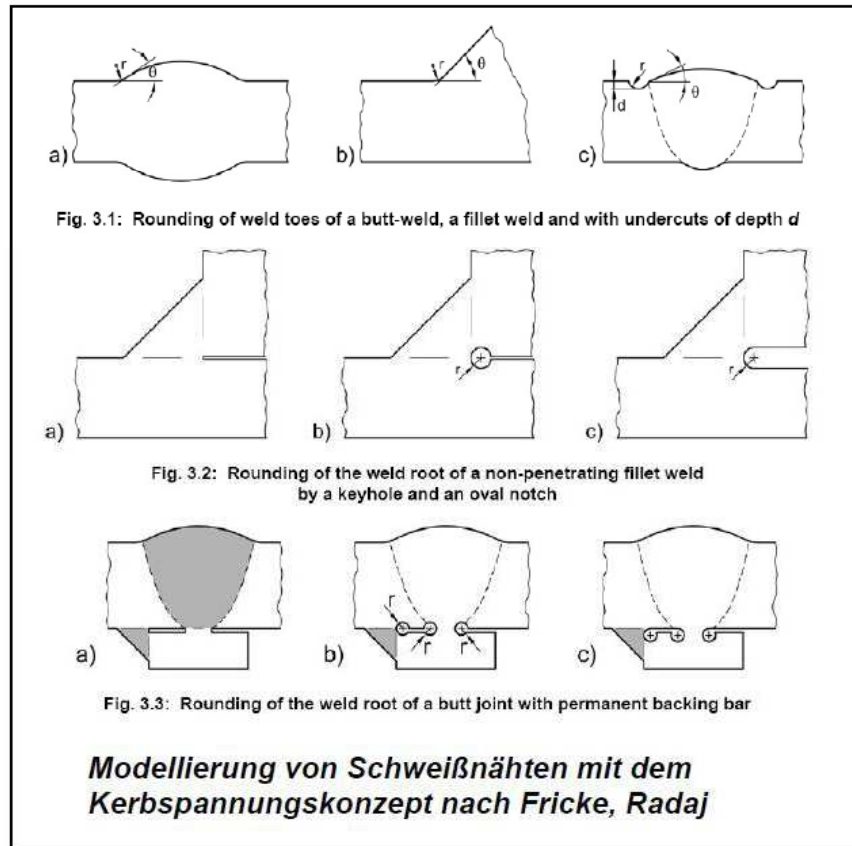


Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

# Geschweißte Bauteile

## Effektive Kerbspannungen

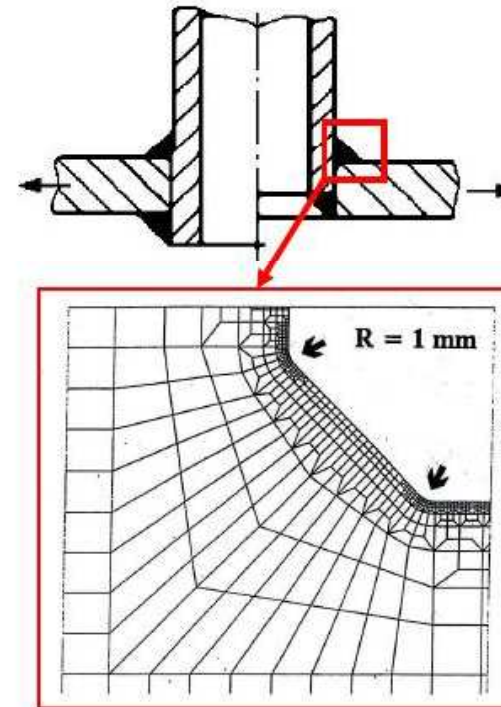
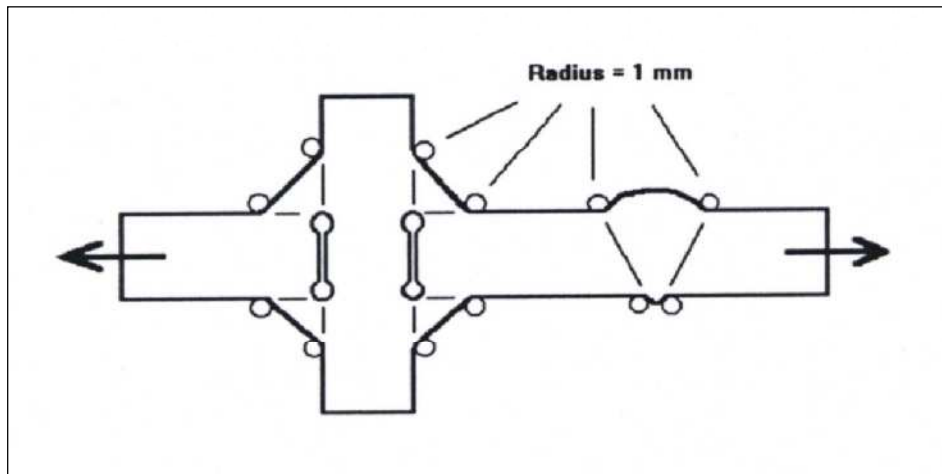
Ableitung des „R1MS“-Konzeptes nach Vorschlägen von Fricke und Radaj



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

Geschweißte Bauteile  
Effektive Kerbspannungen

- Berechnung mit FEM



Elementgröße nach FKM-Empfehlung →

- Elementgröße:  
 r/6 - lineare Elemente  
 r/4 - quadratische Elemente

## Gliederung

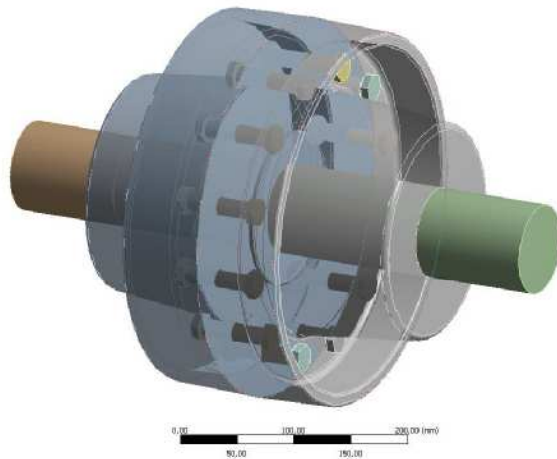
- Einleitung
- Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse
- Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse
  - Interpretation der Bauteilbelastungen
  - Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § **Normteile z. B. Schrauben**
  - Bewertung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

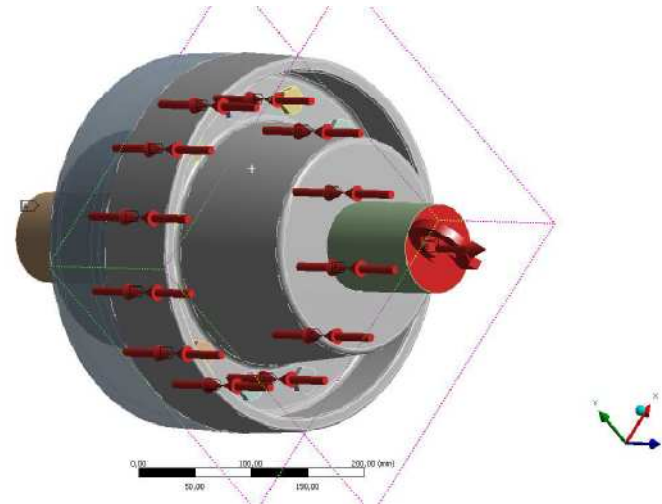
Schrauben

Geometry  
14.11.2013 11:11



A: Kuppelanflansch  
State: Structural  
Time: 5,0  
Items: 10 of 15 indicated  
14.11.2013 17:04

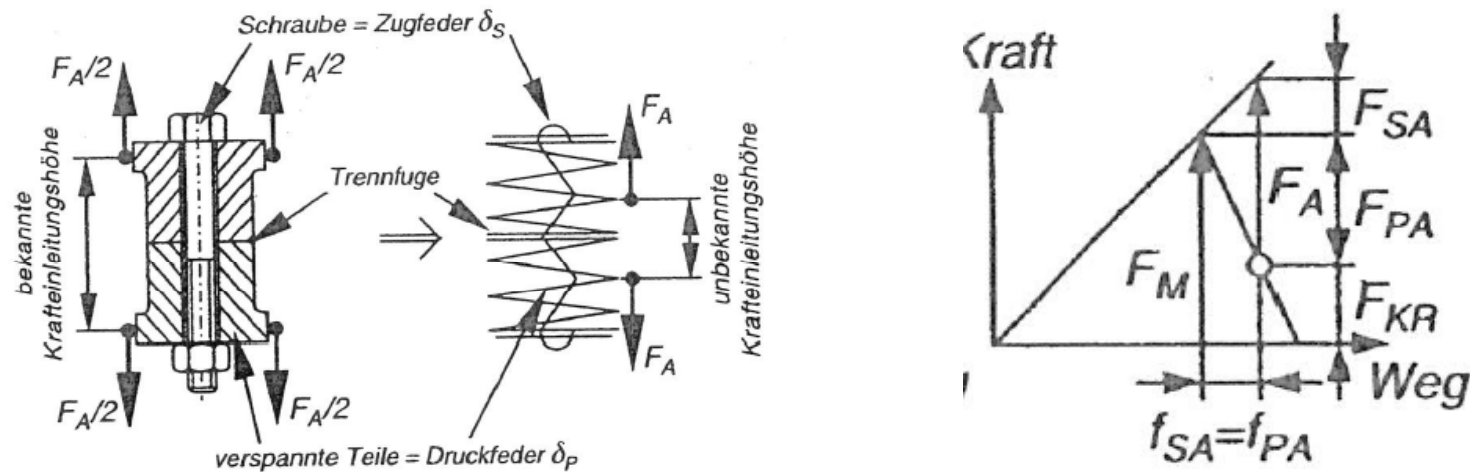
- Fixed Support
- Integration: 433; 1,0e+007 N/mm
- Obj\_gewölk: Precession 2: Lock
- Obj\_gewölk: Precession 3: Lock
- Obj\_gewölk: Precession 4: Lock
- Obj\_gewölk: Precession 5: Lock
- Obj\_gewölk: Precession 6: Lock
- Obj\_gewölk: Precession 7: Lock
- Obj\_gewölk: Precession 8: Lock
- Obj\_gewölk: Precession 9: Lock



- Schraubenverbindungen werden in der Regel als Einschraubenverbindungen nachgewiesen.
- Der Nachweis nach VDI 2230 erfolgt mit Schnittkräften bzw. Nennspannungen und Nachgiebigkeiten

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

### Schrauben



- Mindestmontagevorspannkraft →  $F_{Mmin} = F_{Kerf} + (1 - F) \times F_A + F_Z + DF_{Vth}'$
- Setzkraftverlust  $F_Z$ , Temperatur
- Axiale Schraubenzusatzkraft →  $F_{SA} = F \times F_A$
- Kraftverhältniss →  $F_n = n \times \frac{d_p}{d_s + d_p}$   
aus den Einzelnachgiebigkeiten

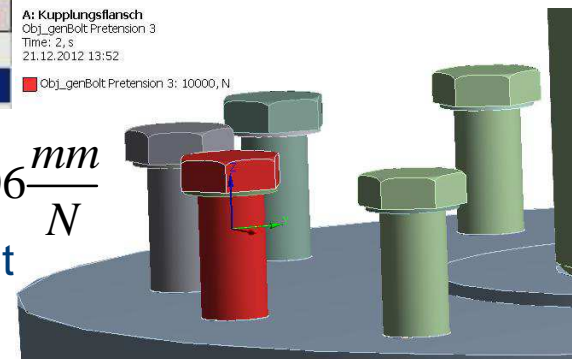
Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

# Schrauben

Für den Nachweis nach VDI 2230 werden benötigt:

- $F_{Smax}$ , die maximale Betriebsbelastung der Schraube,
- $F_{SA}$  Betriebszusatzlast in der Schraube für den zyklischen Nachweis,
- die Nachgiebigkeiten von Schraube und verspannten Teilen  $\delta_p$  und  $\delta_s$  zum Aufteilen der Betriebskraft und zur Berechnung der Restklemmkraft. Dies kann auch über das Auslesen des Kontaktdruckes im Flanschbereich aus den Kontaktergebnissen nachgewiesen werden (Rechenschritt R3 in der VDI-Richtlinie).

Tabular Data		
	Time [s]	<input checked="" type="checkbox"/> Bolt Pretension 2 (Adjustment Reaction)
1	1,	-1,107328455e-003
2	2,	2,345446311e-002



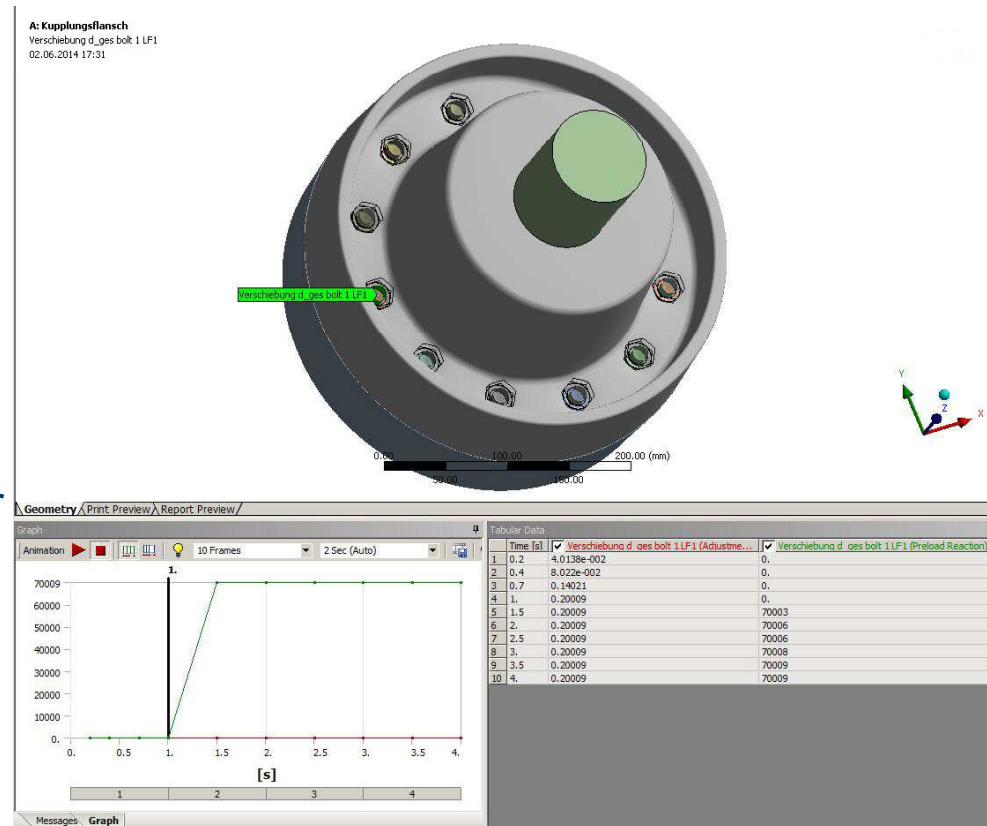
$$d_{S+P,FEM} \gg 0,02345/10000 = 2,345E - 06 \frac{mm}{N}$$

- Rechenbeispiel für die Gesamtnachgiebigkeit einer mit 10000 N vorgespannten Schraube
- $F_{Smax}$  lässt sich in entsprechender Weise ausgeben

## Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen

### Schrauben

- Schraubenvorspannweg und Schraubengesamtkraft über „Solution -> Insert -> Probe -> Bolt Pretension“
- Hinweis: Bei ungleich verteilter Nachgiebigkeit um den Schraubenkopf (exzentrische Verspannung Bsp. Rohrflanschverbindung) muss zur Ermittlung des daraus resultierenden Biegemomentes in der Schraube die Vernetzung des Flansches um die Schraubenbohrung ausreichend fein sein



## Gliederung

- Einleitung
- Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse
- Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse
  - Interpretation der Bauteilbelastungen
  - Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben
  - **Bewertung der Bauteilbeanspruchungen**
    - § **Nicht geschweißte Bauteile**
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben

## Nicht geschweißte Bauteile

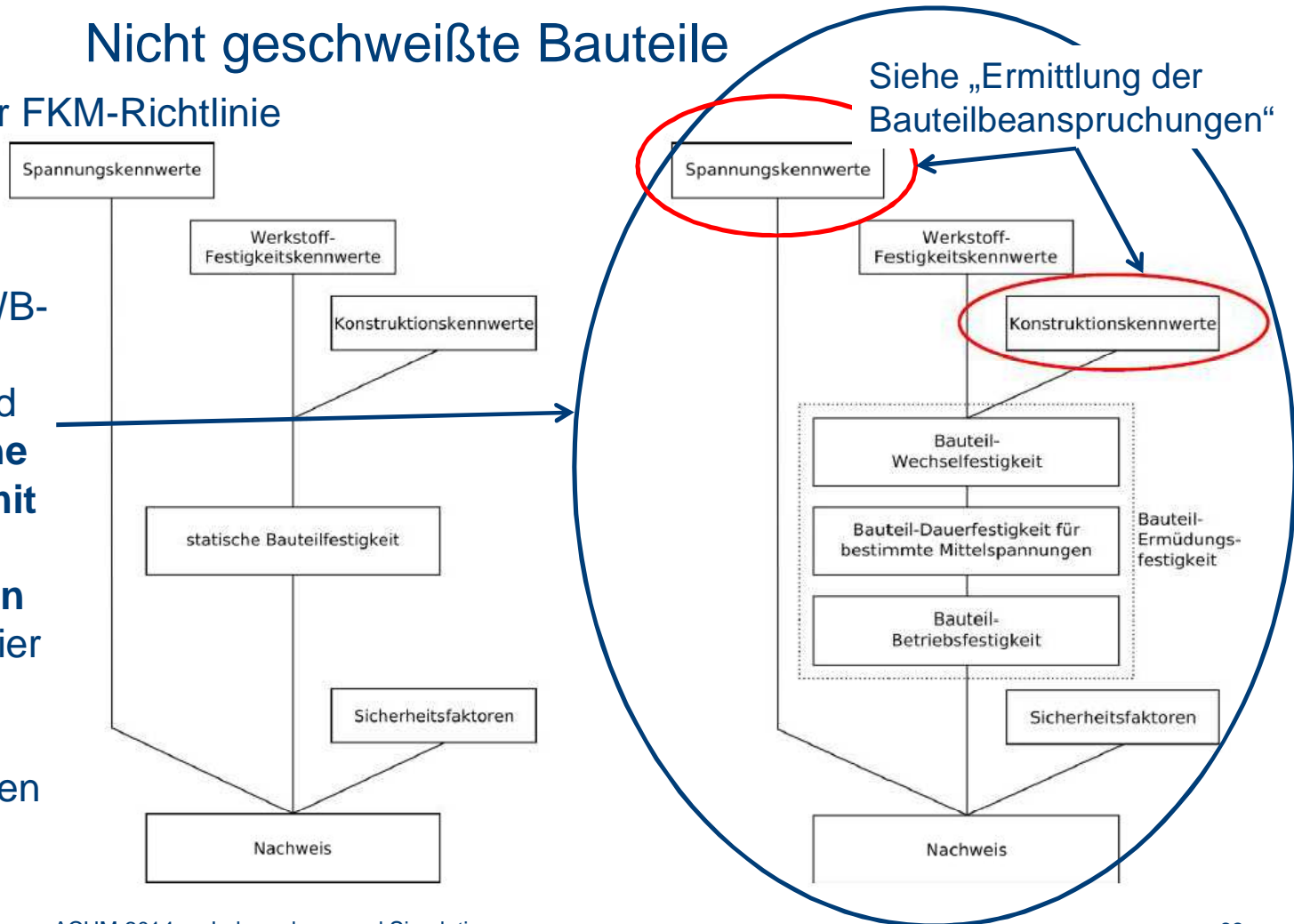
- Am Beispiel der FKM-Richtlinie mit ANSYS-Workbench-FKM als Teil der CADFEM-IHF-Toolbox
- Warum FKM?
  - Die FKM-Richtlinie hat ein in sich geschlossenes Nachweiskonzept und ist von ihrer Struktur her bereits algorithmisch aufgebaut.
  - Das Nachweisverfahren ist allgemein definiert für mechanisch beanspruchte Bauteile. Es gibt keine Begrenzung auf spezifische Bauteilarten
  - Darüber hinaus ist sie eine der meist verwendeten und modernsten Richtlinien.

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile

- Struktur der FKM-Richtlinie

In ANSYS WB-FKM ist der statische und der **zyklische Nachweis mit örtlichen Spannungen** enthalten. Hier nur die Betrachtung des zyklischen Nachweises



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile

WB-FKM Toolbar

Ablauf der Rechnung:

1. Die Spannungen werden durch eine statische mechanische Analyse gerechnet. Gegebenenfalls mit mehreren Lastfällen.
2. Möglichkeit: Eingabe eines Lastkollektivs über den Kollektiveditor oder Verwendung eines vordefinierten Standardkollektivs

**Kollektiveditor**

**Kollektive:**

- Binomial, r\_sig = konst, p = 0
- Binomial, r\_sig = konst, p = 1/3
- Binomial, r\_sig = konst, p = 2/3
- Binomial, sig\_m = konst, p = 0
- Binomial, sig\_m = konst, p = 1/3
- Binomial, sig\_m = konst, p = 2/3
- Exponential, r\_sig = konst, p = 0
- Exponential, r\_sig = konst, p = 1/3
- Exponential, r\_sig = konst, p = 2/3
- Exponential, sig\_m = konst, p = 0
- Exponential, sig\_m = konst, p = 1/3
- Exponential, sig\_m = konst, p = 2/3

**Eigenschaften**

$n_i$	$\sigma_{a,i} / \sigma_{a,1}$	$\sigma_{m,i} / \sigma_{m,1}$
2	1.0	1.0
16	0.95	0.95
280	0.85	0.85
2720	0.725	0.725
20000	0.575	0.575
92000	0.425	0.425
280000	0.275	0.275
604982	0.125	0.125

**Kollektive hinzufügen:**

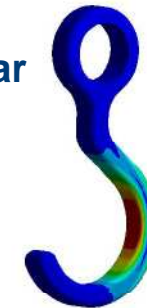
Kollektiv hinzufügen

Kollektiv löschen

Zeile hinzufügen

Zeile löschen

OK Abbrechen Zurücksetzen





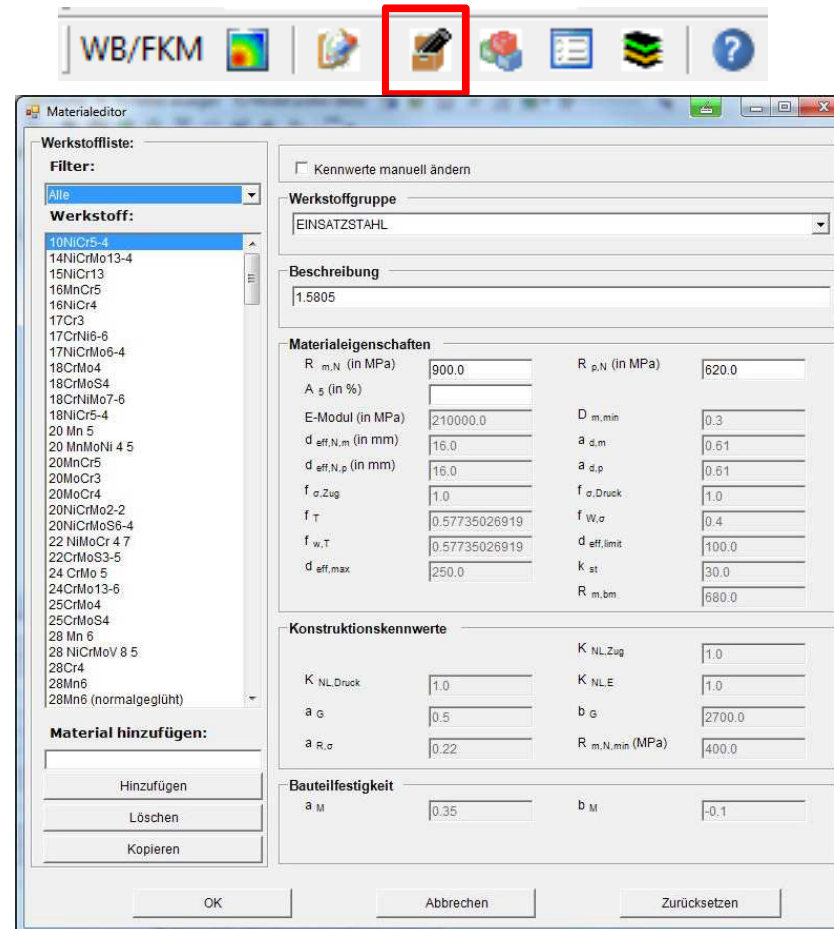
Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile

Ablauf der Rechnung:

3. Materialdaten:

- Die in der Richtlinie enthaltenen Materialien stehen größtenteils in WB-FKM zur Verfügung
- Entsprechend der Richtlinie können auch eigene Materialien definiert werden
- Die Werkstoffe sind nach Werkstoffgruppen entsprechend der Richtlinie eingeteilt



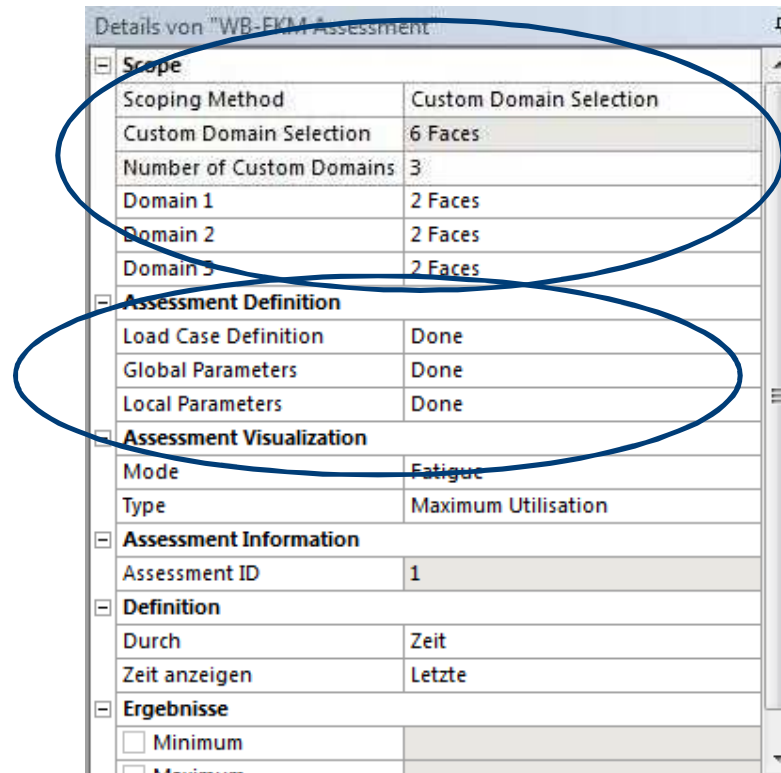
Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile

Ablauf der Rechnung:

4. Einfügen der Analyse als Item unter „Solution“ und Definitionen im Detailfenster

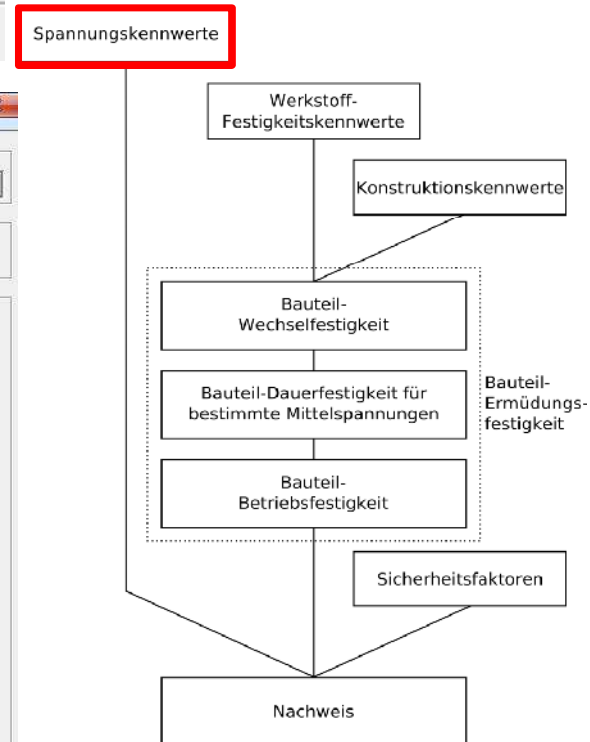
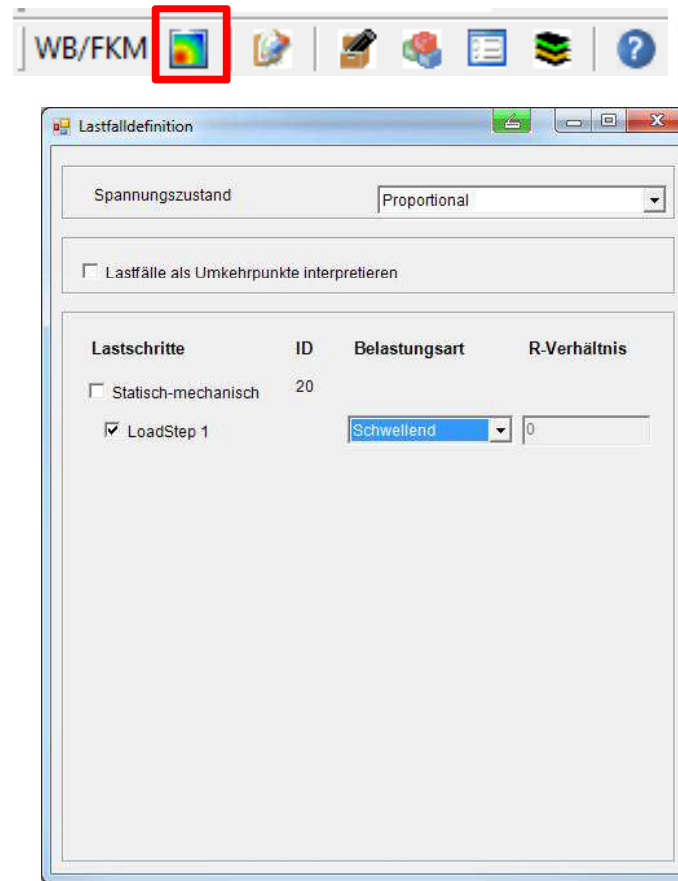
- Auswahl der nachzuweisenden Bereiche als:
  - Alle Körper
  - Eine Geometrieauswahl
  - Eine Komponente
  - Mehrere Geometrieauswahlen, wenn benutzerdefinierte Auswahl verwendet wird
- Nachweiseinstellungen:
  - Definition der Lastfälle
  - Globale Parameter
  - Lokale Parameter



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile

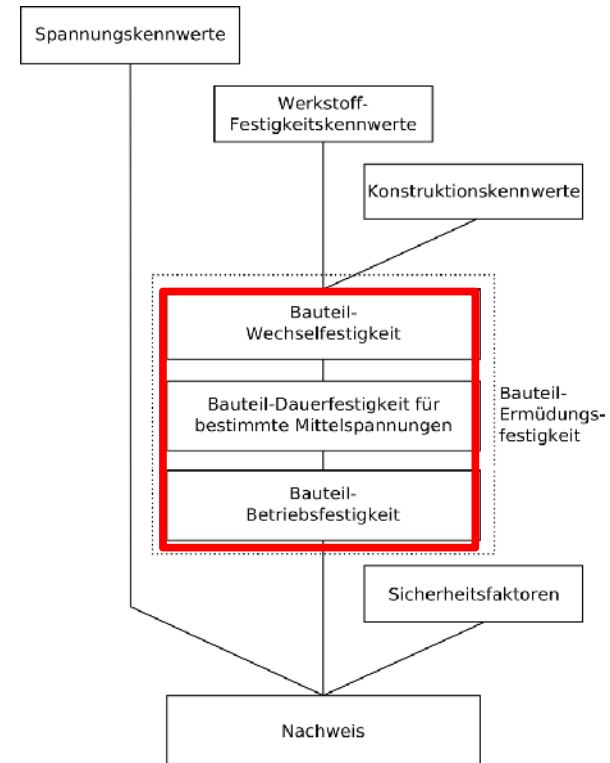
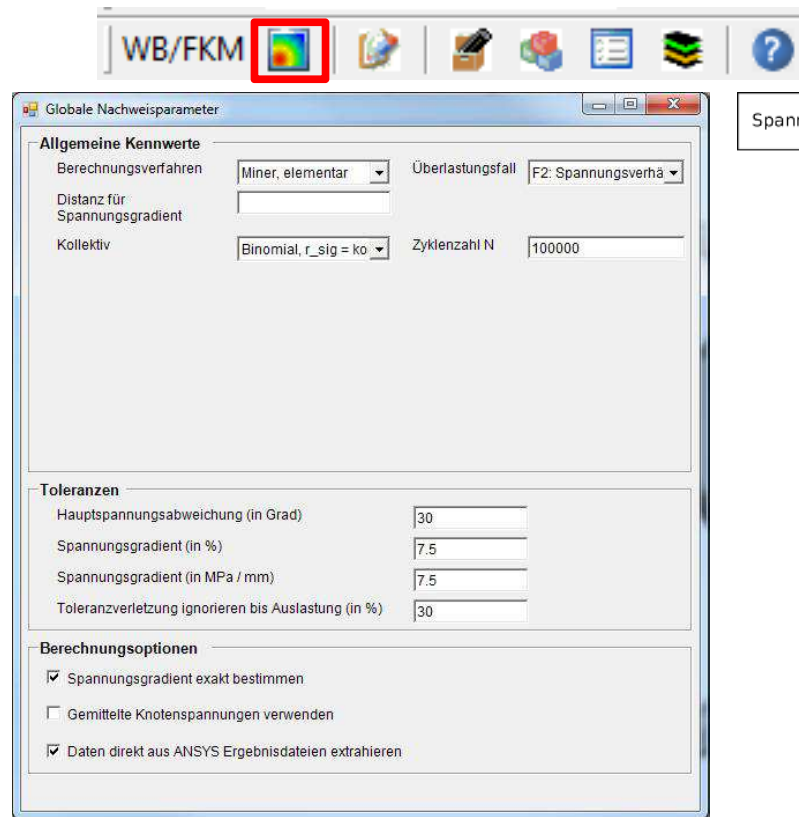
- Nachweiseinstellungen:
- Definition der Lastfälle z. B. als Umkehrpunkte oder über das Spannungsverhältnis



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile

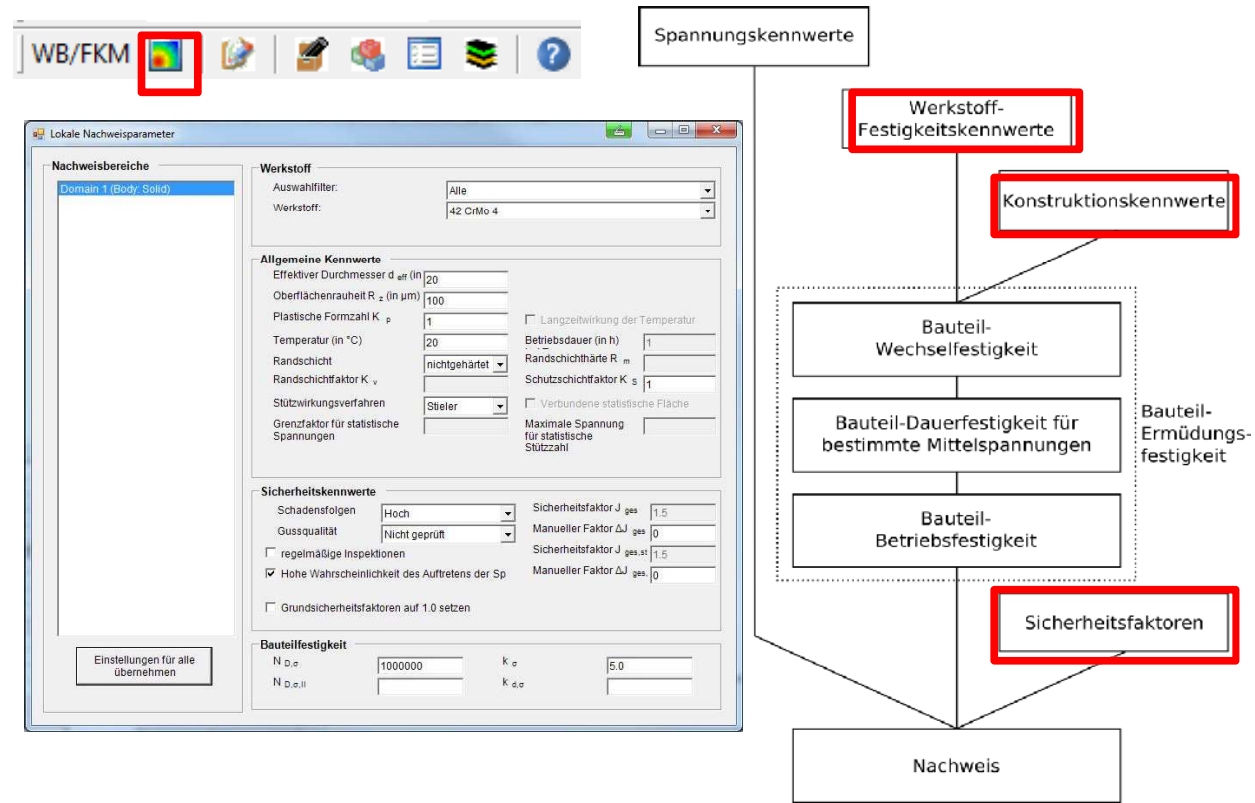
- Nachweiseinstellungen:
- Globale Einstellungen wie Schadensakkumulation, Überlastfall, Kollektivform, ...



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile

- Nachweiseinstellungen:
- Die lokalen Nachweisparameter legen für jede Domäne Werkstoff und Konstruktionswerte fest.
- Weiterhin werden hier die Sicherheitsfaktoren eingestellt.



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

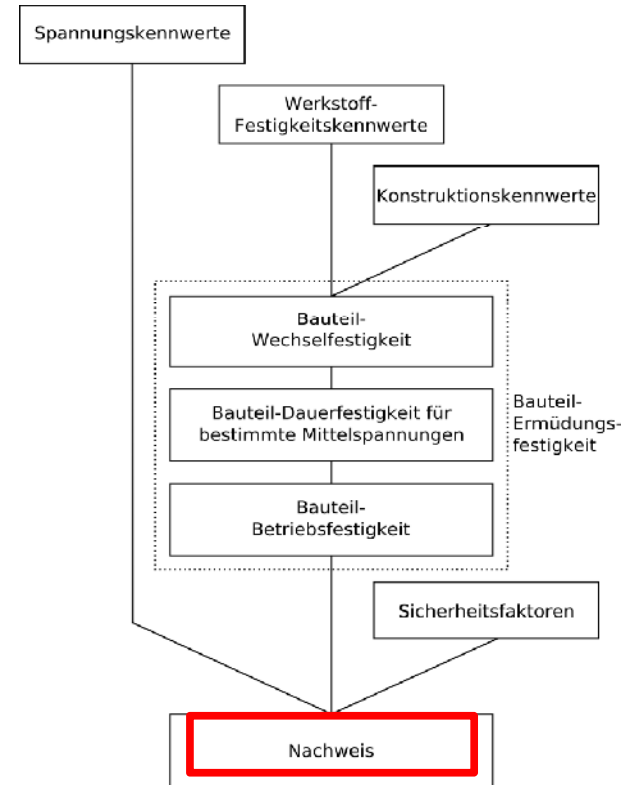
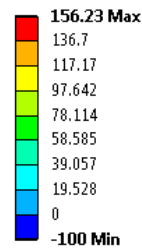
Nicht geschweißte Bauteile

- Nachweiseinstellungen:
  - Die gewünschten Ergebnisse werden direkt im Detailfenster angegeben.
  - Man erhält den gewünschten Plot, hier 156% Auslastungsgrad.
  - Negative Zahlen entsprechen Rückmeldungen des Solvers. Diese Positionen entsprechen nicht der Richtlinie.
  - (Fehlercode siehe Dokumentation)

WB/FKM

<b>Scope</b>	
Scoping Method	All Bodies
<b>Assessment Definition</b>	
Load Case Definition	Done
Global Parameters	Done
Local Parameters	Done
<b>Assessment Visualization</b>	
Mode	Fatigue
Type	Maximum Utilisation
<b>Assessment Information</b>	
Assessment ID	1
<b>Definition</b>	
Durch	Zeit
Zeit anzeigen	Letzte
<b>Ergebnisse</b>	
<input type="checkbox"/> Minimum	-100.
<input type="checkbox"/> Maximum	156.23

B: Statisch-mechanische Analyse  
WB-FKM Assessment  
Ausdruck: RES1  
Zeit: 1



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Nicht geschweißte Bauteile

5. Dokumentation

- Nach der Rechnung innerhalb von ANSYS Workbench kann für die höchstbelasteten Knoten ein Bericht ausgegeben werden.
- In dem Bericht sind die Berechneten Zwischenwerte enthalten sowie alle Eingaben nochmals aufgeführt. Damit ist eine Überprüfung nach Regelwerk möglich



ipgn				
BSK	2.289			
BHz	-			
Bshd	-			

**Ermüdungsfestigkeitsnachweis**

Die maximale zyklische Auslastung beträgt 158.227 %.  
Dieser Nachweis wurde für die Domäne 1 und zwischen den Lastfallkombinationen 1 und 2 berechnet.

Kenngroße	Alle	σ1	σ2	σ3
σ <sub>a</sub>		-398.379	-13.222	-5.353
σ <sub>m</sub>		398.379	13.222	5.353
Winkel zur Nachweisfläche		1.995	2.106	87.099
σ <sub>W,zd</sub>	298.0			
K <sub>1,σ</sub>		1.251	2.137	-
η <sub>σ</sub>		1.083	1.172	-
G <sub>σ</sub>		0.244	1.081	0.773
A <sub>0,σ1</sub>		-	-	-
η <sub>σ1</sub>		-	-	-
η <sub>σm</sub>		-	-	-
η <sub>σ</sub>		1.083	1.172	-
K <sub>1,σ,u</sub>		1.19	1.01	1.0
M <sub>σ</sub>	0.158			
K <sub>AK,σ</sub>		0.861	0.784	0.784
σ <sub>AK</sub>		214.155	229.835	232.035
K <sub>FK,σ</sub>		4.221	4.221	4.221
σ <sub>FK</sub>		382.5	382.5	382.5
σ <sub>FK,max</sub>		382.5	382.5	382.5
η <sub>σ</sub>	1.5			
K <sub>1,σ</sub>	1.0			
η <sub>σ</sub>	1.5			
σ <sub>FK,σ</sub>		-1.662	-0.052	-0.021
g	0.0			
BHK <sub>ny</sub>	1.528			

## Gliederung

- Einleitung
- Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse
- Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse
  - Interpretation der Bauteilbelastungen
  - Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben
  - **Bewertung der Bauteilbeanspruchungen**
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § **Geschweißte Bauteile**
    - § Normteile z. B. Schrauben



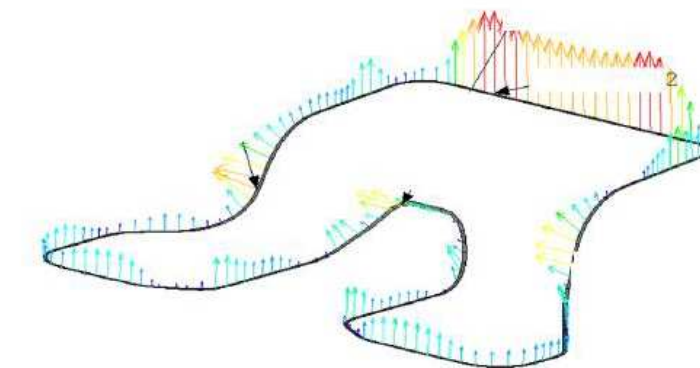
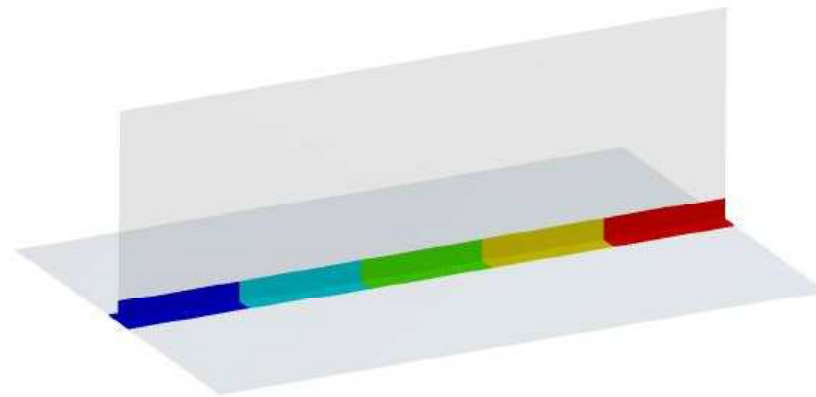
## Geschweißte Bauteile

- Am Beispiel der FKM-Richtlinie mit ANSYS-Workbench-FKM-Weld als Teil der CADFEM-IHF-Toolbox
- Motivation:
  - FKM-Richtlinie: Analog zum Nachweis nichtgeschweißter Bauteile.
  - Der Nachweis von Schweißnähten wird dann schwierig und vor allem aufwendig, wenn das Gesamtbauteil als Schweißkonstruktion sehr komplex ist und eine Vielzahl von Schweißnähten enthält.
  - Es beginnt bei der Fragestellung:  
Welche Schweißnähte liegen im Lastfluss und welche Schweißnähte sind unter den Kriterien der zyklischen Auslastung hoch bzw. überlastet?

## Geschweißte Bauteile

### Umsetzung:

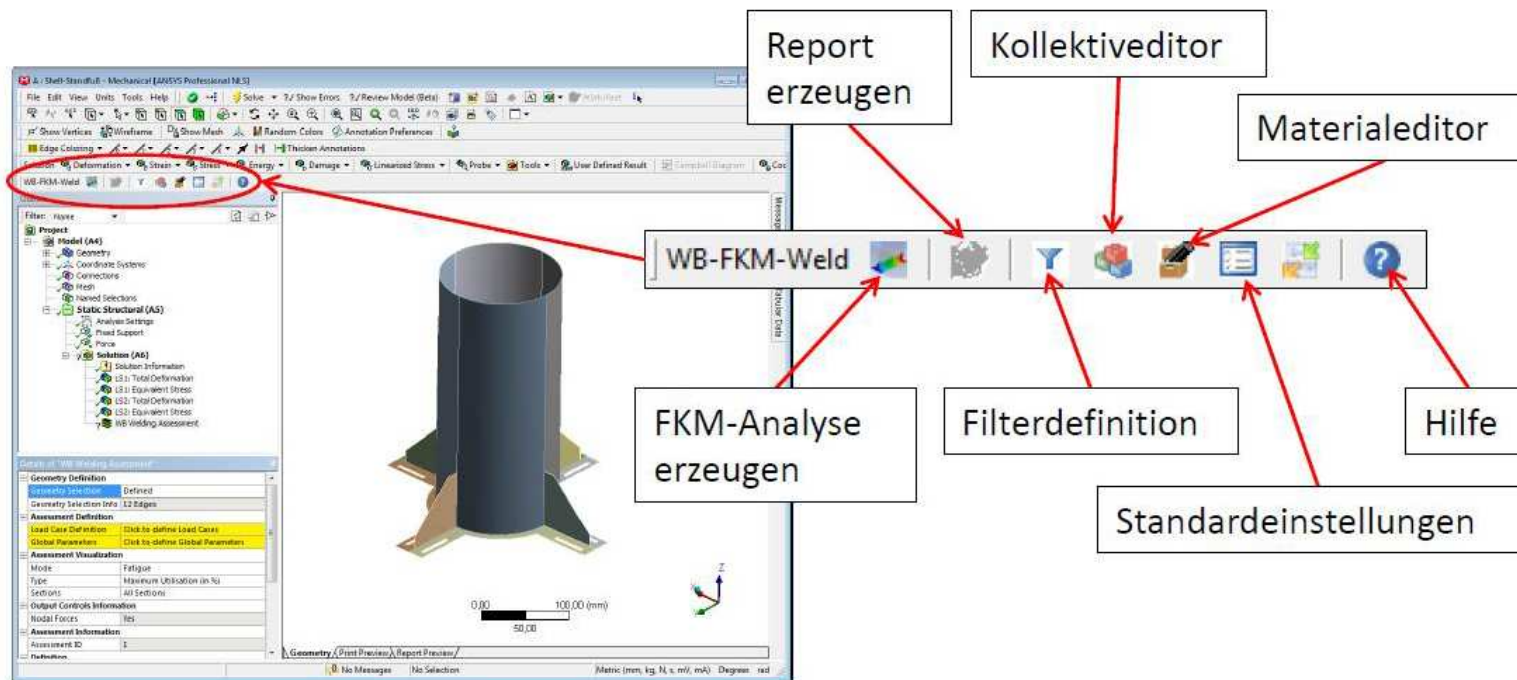
- WB-FKM-Weld setzt auf Schalenmodellen auf.
- Schweißnähte werden automatisch gefunden.
- Der Nachweis wird mit Nennspannungen entsprechend der FKM-Richtlinie geführt.
- Bei „langen“ – Nähten und Nähten mit kompliziertem Verlauf werden die Nennspannungen segmentweise errechnet. => **lokale Nennspannungen** (inzwischen nach IIW-Richtlinie und FKM zulässig)



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Geschweißte Bauteile

Die Bedienstruktur von WB-FKM-Weld ist analog zu WB-FKM aufgebaut

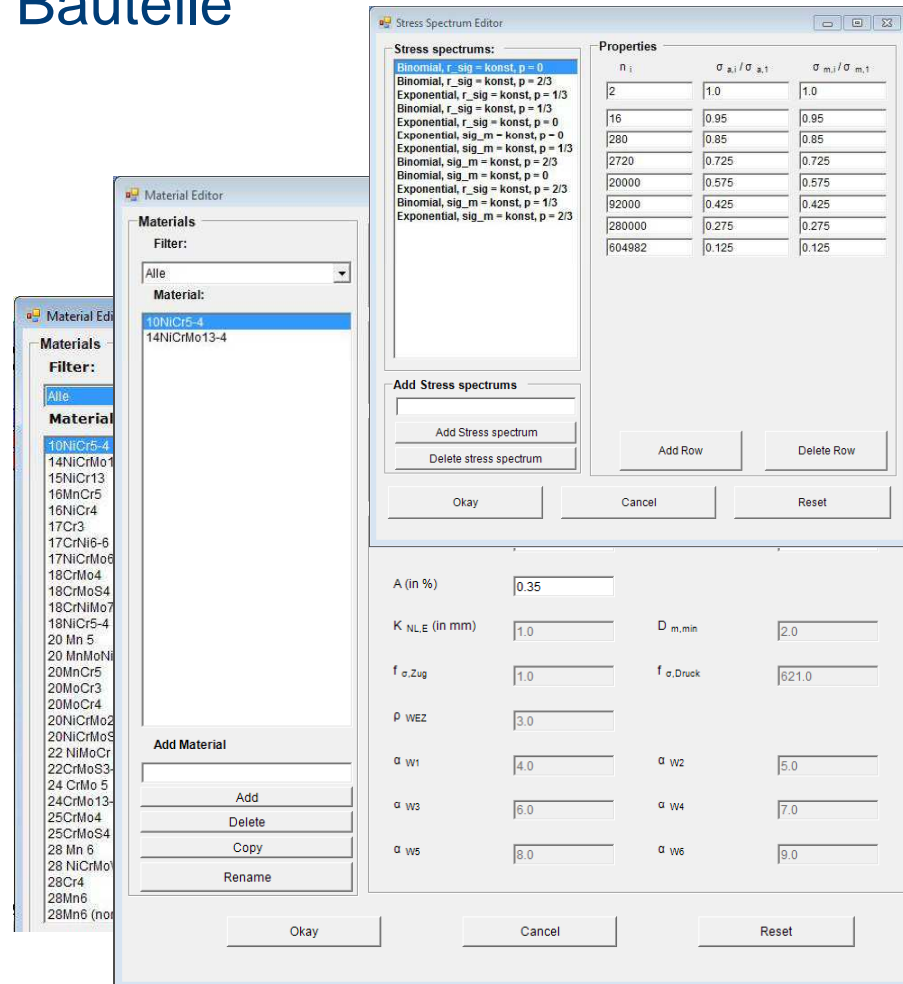


Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

## Geschweißte Bauteile

Ablauf der Rechnung:

1. Die Nennspannungen werden aus den Knotenkräften der mechanischen Analyse entsprechend der Schweißnahtparameter errechnet.
2. Möglichkeit: Eingabe eines Lastkollektivs analog zum Nachweis nicht geschweißter Bauteile
3. Materialdaten analog zum Nachweis nicht geschweißter Bauteile



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Geschweißte Bauteile

Ablauf der Rechnung:

4. Einfügen der Analyse als Item unter „Solution“ und Definitionen im Detailfenster

- Automatisches Auffinden und Visualisieren der Nähte
- Verbindungsbenennungen werden übernommen

**Schweißnähte**

Schweißnähte finden

Finden

Kontakte

Baueiggruppen

Bauteilgruppen: Alle

Schweißnähte

01. Part connection (["Rohr : ID 41", "Versteifung\_1 : ID 43", "Rohr : ID 157"])

02. Part connection (["Rohr : ID 157", "Bodenplatte : ID 159"])

07. Part connection (["Bodenplatte : ID 39", "Versteifung\_4 : ID 47", "Bodenplatte : ID 160"])

08. Part connection (["Rohr : ID 41", "Versteifung\_2 : ID 45", "Rohr : ID 160"])

09. Part connection (["Versteifung\_4 : ID 47", "Rohr : ID 157", "Rohr : ID 161"])

10. Part connection (["Versteifung\_2 : ID 45", "Bodenplatte : ID 156", "Bodenplatte : ID 161"])

11. Part connection (["Bodenplatte : ID 39", "Rohr : ID 161"])

13. Part connection (["Bodenplatte : ID 156", "Rohr : ID 160"])

16. Part connection (["Rohr : ID 41", "Bodenplatte : ID 162"])

22. Part connection (["Bodenplatte : ID 39", "Versteifung\_3 : ID 46", "Bodenplatte : ID 160"])

23. Part connection (["Versteifung\_1 : ID 43", "Bodenplatte : ID 159", "Bodenplatte : ID 160"])

24. Part connection (["Versteifung\_3 : ID 46", "Rohr : ID 160", "Rohr : ID 161"])

Schweißnähte bearbeiten

Schweißnaht hinzufügen

Ausgewählte Schweißnähte löschen

Alle Schweißnähte löschen

Darstellung

Flächen ausblenden

Flächen anzeigen

Schweißnähte anzeigen

Filter

Details of "WB Welding Assessment"

**Geometry Definition**

Scoping Method	Geometry Selection
Geometry Selection Info	3 Edges
Geometry Selection	Defined

**Assessment Definition**

Load Case Definition	Defined
Global Parameters	Defined

**Assessment Visualization**

Mode	Fatigue
Type	Maximum Utilisation
Sections	All Sections

**Output Controls Information**

Nodal Forces	Yes
--------------	-----

**Definition**

Assessment Data	defined
By	Time
<input type="checkbox"/> Display Time	Last

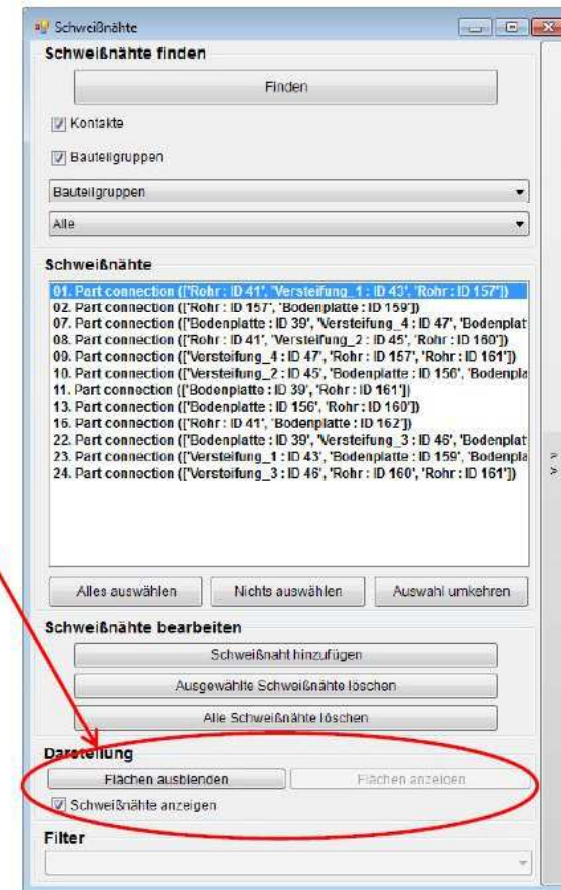
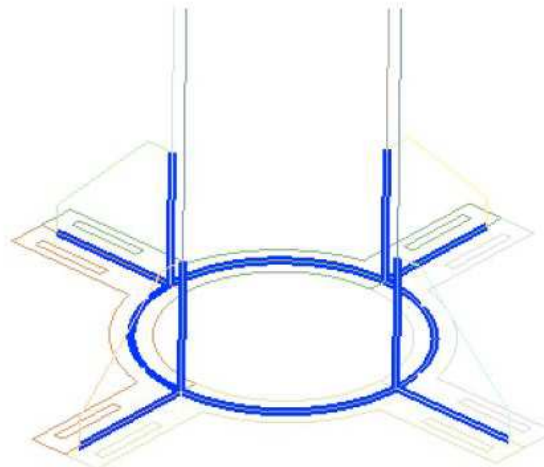
**Results**

<input type="checkbox"/> Minimum	9,7714e-009
<input type="checkbox"/> Maximum	2,0298
Minimum Occurs On	Surface Body
Maximum Occurs On	Surface Body

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

## Geschweißte Bauteile

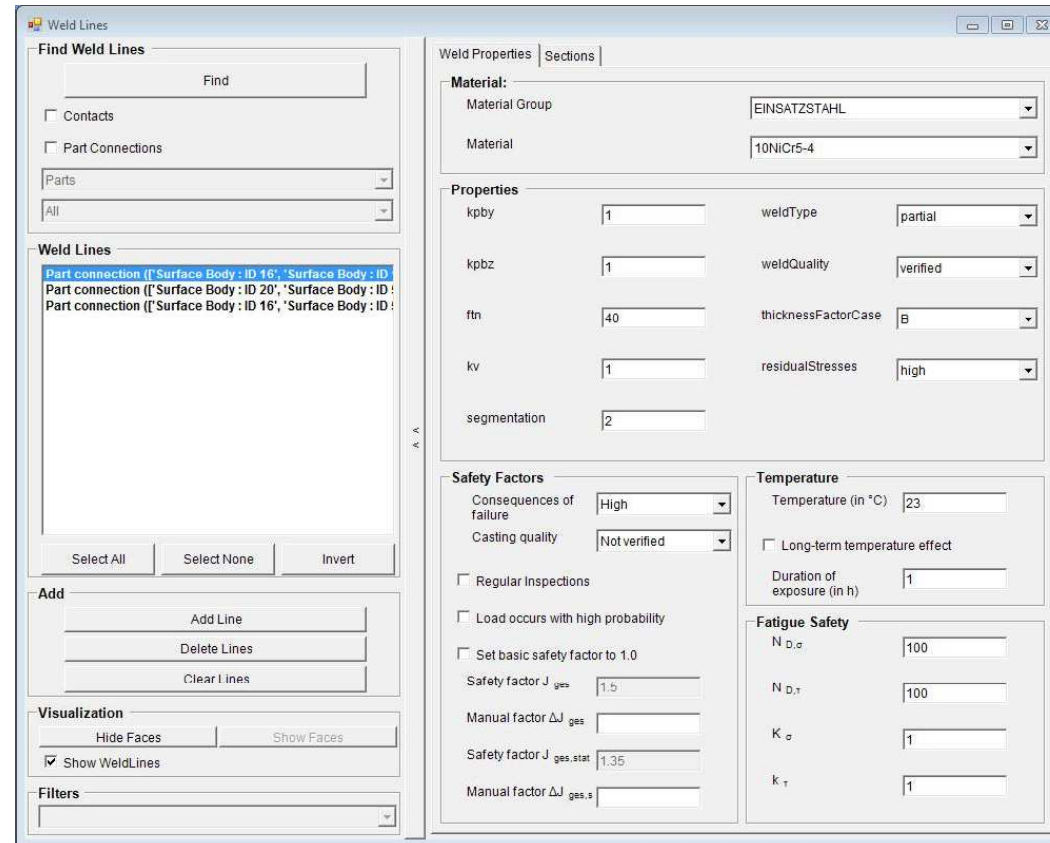
- Visualisierung von Schweißnähten
- Ausblenden von Flächen im FE-Modell zur besseren Darstellung



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

## Geschweißte Bauteile

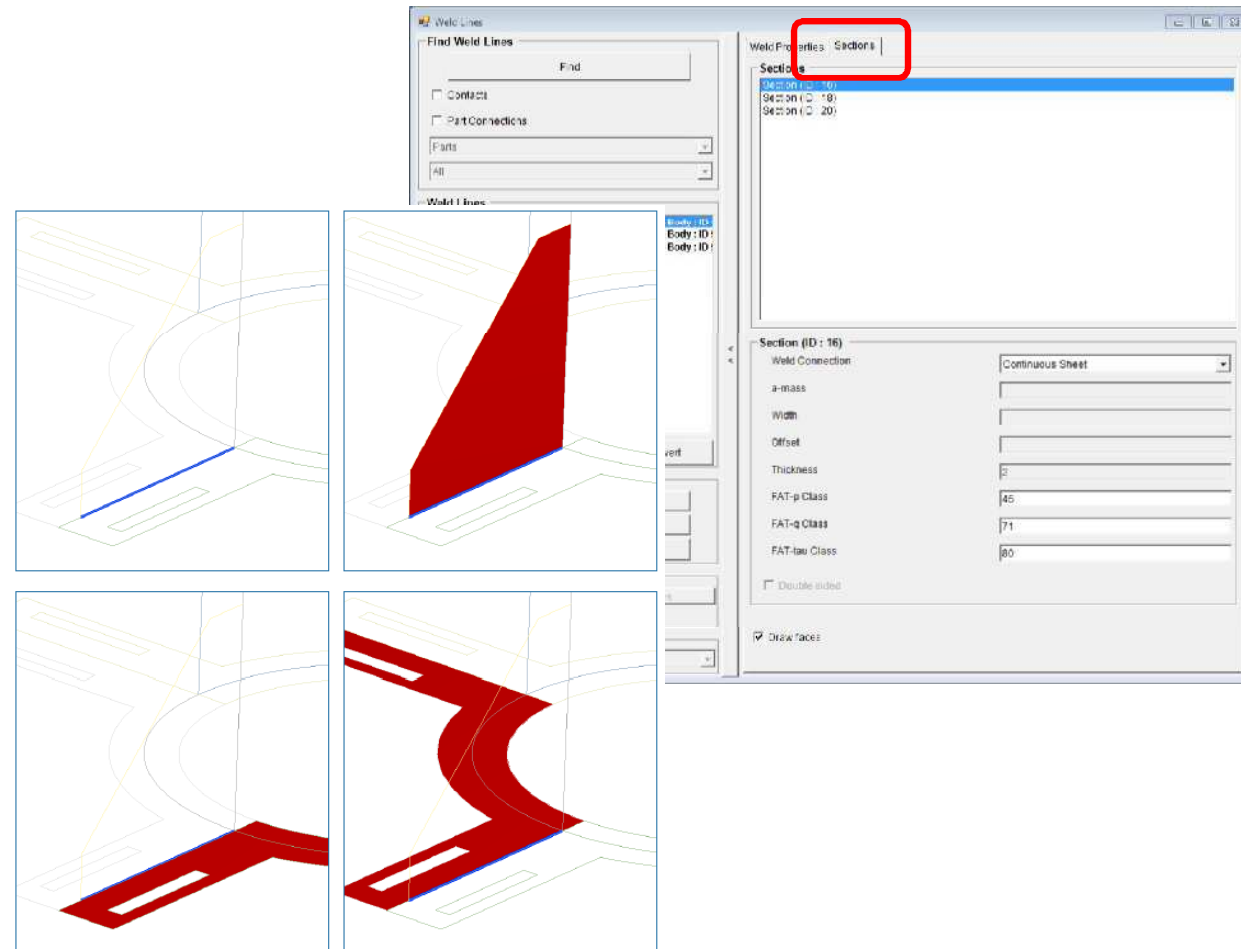
- Nachweisparameter der einzelnen Nähte, wenn nicht die globalen Einstellungen verwendet werden:
  - Material
  - FKM-Schweißnahtparametern
  - Sicherheitsfaktoren



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

## Geschweißte Bauteile

- Nachweisparameter der einzelnen Nähte, wenn nicht die globalen Einstellungen verwendet werden:
- FAT-Klassen in Abhängigkeit vom Schnittufer

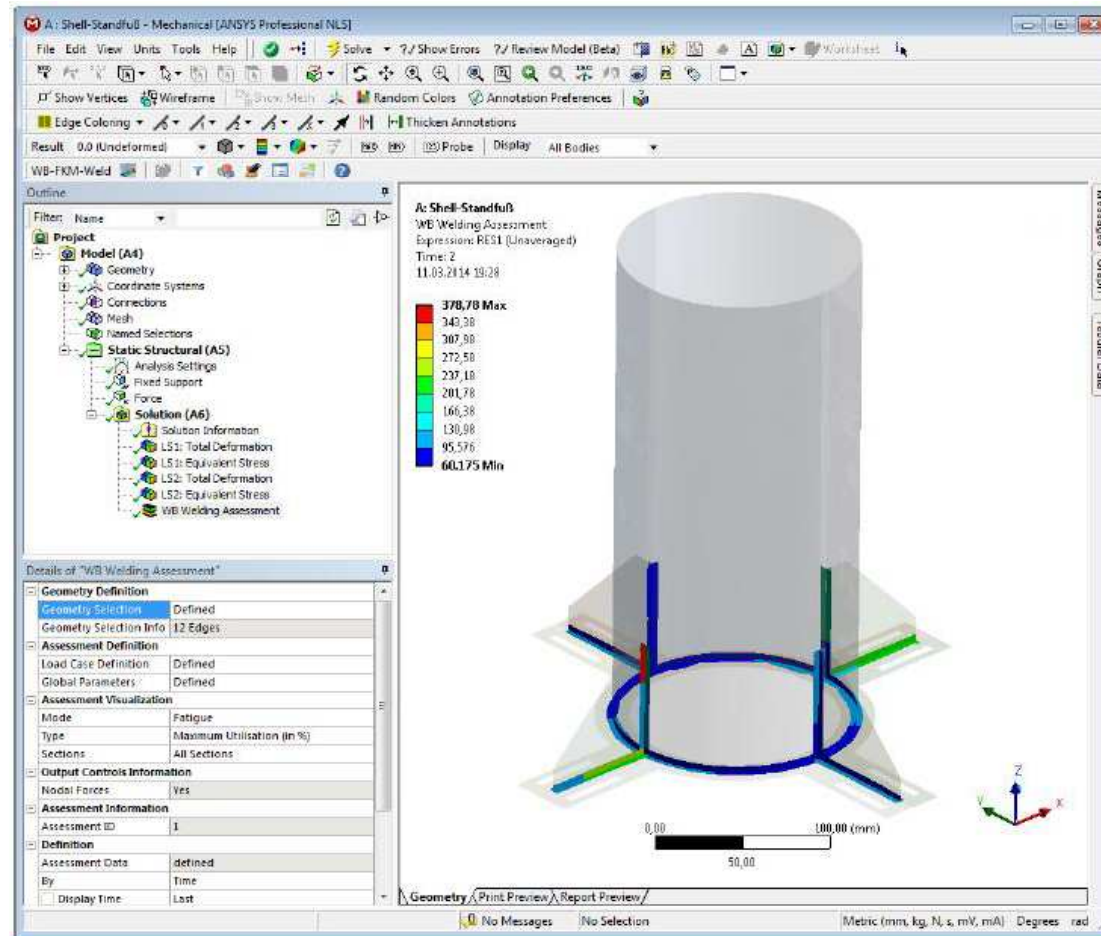




Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

Geschweißte Bauteile

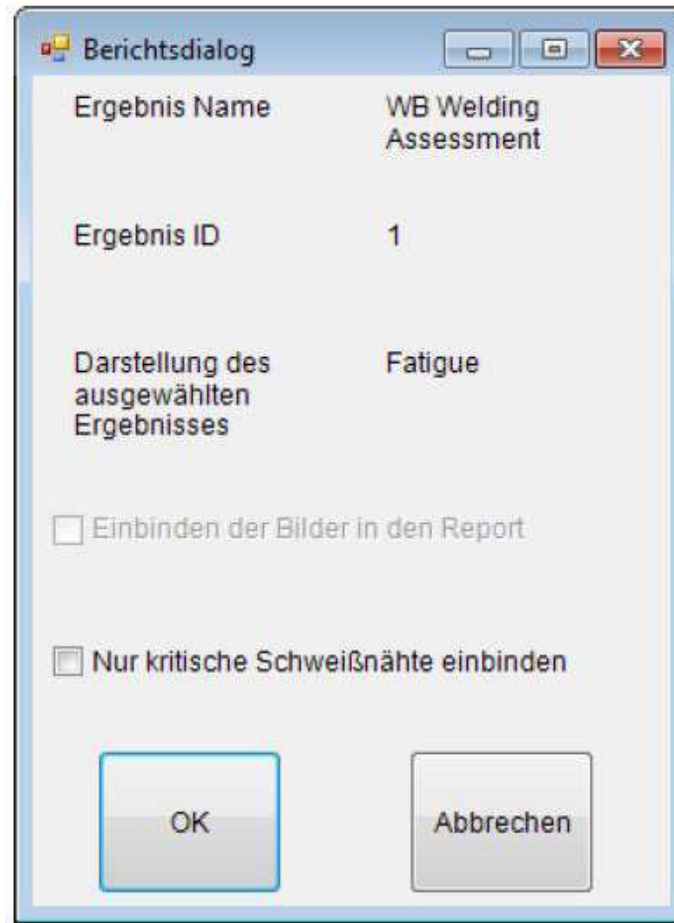
- Nachweisparameter der einzelnen Nähte, wenn nicht die globalen Einstellungen verwendet werden:
- Sonstige Nachweisparameter und Lastdaten werden analog zu WB-FKM für nicht geschweißte Bauteile eingestellt
- Auswahl der Ergebnisse im Detailfenster



## Geschweißte Bauteile

### 5. Dokumentation

- Nach der Rechnung innerhalb von ANSYS Workbench kann für beliebige Schweißnähte ein Bericht ausgegeben werden mit:
  - Eingangsgrößen
  - Zwischenergebnisse für alle Segmente



## Gliederung

- Einleitung
- Methoden und Struktur der Betriebsfestigkeitsanalyse
- Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse
  - Interpretation der Bauteilbelastungen
  - Ermittlung der Bauteilbeanspruchungen
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § Normteile z. B. Schrauben
  - **Bewertung der Bauteilbeanspruchungen**
    - § Nicht geschweißte Bauteile
    - § Geschweißte Bauteile
    - § **Normteile z. B. Schrauben**

Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

# Schrauben

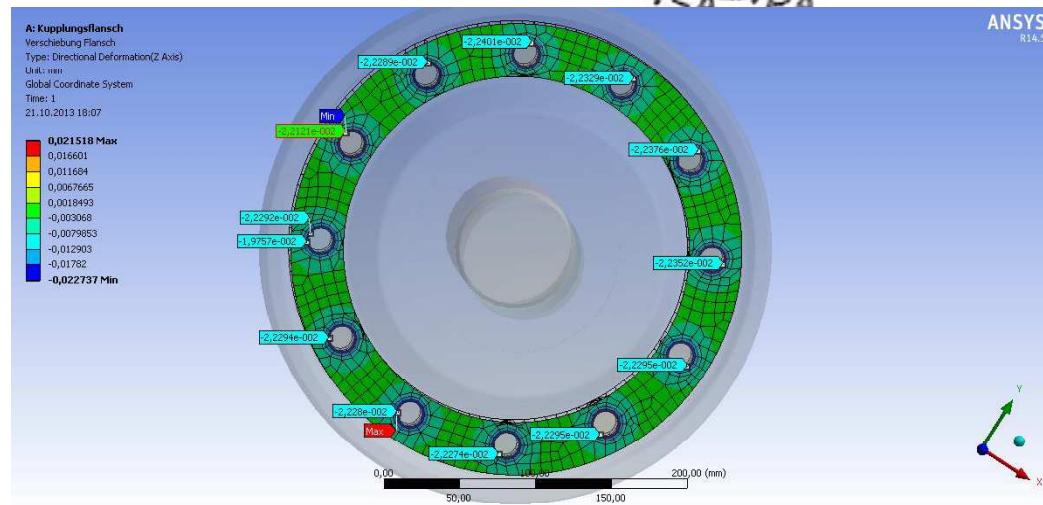
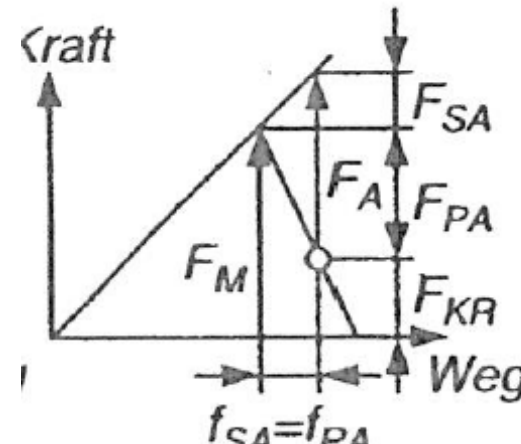
Nachweis nach VDI 2230 als Einzelschraubennachweis der höchst belasteten Schraube:

- Nachweis der Restklemmkraft

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

$$F = \frac{1}{d} \times S$$

$$F_{SA} = n \times \frac{d_P}{d_P + d_S} \times (F_{SA} + F_{PA})$$



Simulation in der Betriebsfestigkeitsanalyse, Bewertung der Bauteilbeanspruchungen

### Schrauben

- Nachweis der maximalen Zugspannung:

$$s_{z \max} = \frac{F_{S \max}}{A_0}$$

$$t_{\max} = \frac{M_G}{W_P}$$

$$\sqrt{s_{z \max}^2 + 3 \cdot (k_t \cdot t_{\max})^2} < R_{p0,2 \min}$$

- Nachweis der Schwingbeanspruchung z. B. bei schlussvergüteten Schrauben:

$$s_a = \frac{F_{SAo} - F_{SAu}}{2A_S}$$

$$s_a < \frac{s_{AS}}{S_D} = \frac{0,85 \cdot \frac{150}{e \cdot d} + 45 \frac{\sigma}{\sigma}}{S_D}$$

# CADFEM®

ANSYS

Competence Center FEM

Simulation ist mehr als Software®

## Hinweise

## Hinweise

- Drei Vortragssessions am Donnerstag zur Betriebsfestigkeit
- Drei Kompaktseminare am Freitag allgemein zur Betriebsfestigkeit und im speziellen zu den Software-Tools
  - ANSYS nCode Designlife
  - CADFEM-IHF-Toolbox ANSYS-WB-FKM und ANSYS-WB-FKM-Weld
- CADFEM FKM-Seminare:  
Nächste Termine:  
25.09.2014 in Wien (AT)  
23.10.2014 in Grafing bei München

<http://www.esocaet.com/seminare/strukturmechanik/s/10068.html>

## Deutschland

**CADFEM GmbH**  
**Zentrale Grafting**  
Marktplatz 2  
85567 Grafting b. München  
T +49 (0) 8092 7005-0  
[info@cadfem.de](mailto:info@cadfem.de)

**Geschäftsstelle Berlin**  
Breite Straße 2a  
13187 Berlin  
T +49 (0) 30 4759666-0

**Geschäftsstelle Dortmund**  
Carlo-Schmid-Allee 3  
44263 Dortmund  
T +49(0) 231 993255-46

**Geschäftsstelle Hannover**  
Pelikanstraße 13  
30177 Hannover  
T +49(0) 511 390603-0

**Geschäftsstelle Chemnitz**  
Cervantesstraße 89  
09127 Chemnitz  
T +49(0) 371 334262-0

**Geschäftsstelle Frankfurt**  
Im Kohlruß 5-7  
65835 Liederbach am Taunus  
T +49(0) 6196 76708-0

**Geschäftsstelle Stuttgart**  
Leinfelder Straße 60  
70771 Leinfelden-Echterdingen  
T +49(0) 711 990745-0

## Österreich

**CADFEM (Austria) GmbH**  
**Zentrale Wien**  
Wagenseilgasse 14  
1120 Wien  
T +43 (0) 1 5877073  
[info@cadfem.at](mailto:info@cadfem.at)

**Geschäftsstelle Innsbruck**  
Grabenweg 68 (SOHO 2.0)  
6020 Innsbruck  
T +43 (0) 512 319056

## Schweiz

**CADFEM (Suisse) AG**  
**Zentrale Aadorf**  
Wittenwilerstrasse 25  
8355 Aadorf  
T +41 (0) 52 36801-01  
[info@cadfem.ch](mailto:info@cadfem.ch)

**Geschäftsstelle Gerlafingen**  
Privatstrasse 8  
4563 Gerlafingen  
T +41 (0) 32 67580-70

**Bureau Lausanne**  
Avenue de la Poste 3  
1020 Renens  
T +41 (0) 21 61480-40