
$$\bar{\Pi} = \frac{1}{2} \sum_e \{u\}^T \cdot [K] \cdot \{u\} - \{u\}^T \cdot \{F\}$$

FEM SOFTWARE AND SERVICES



# Betriebsfestigkeit

## Grundlagen und Umsetzung in ANSYS

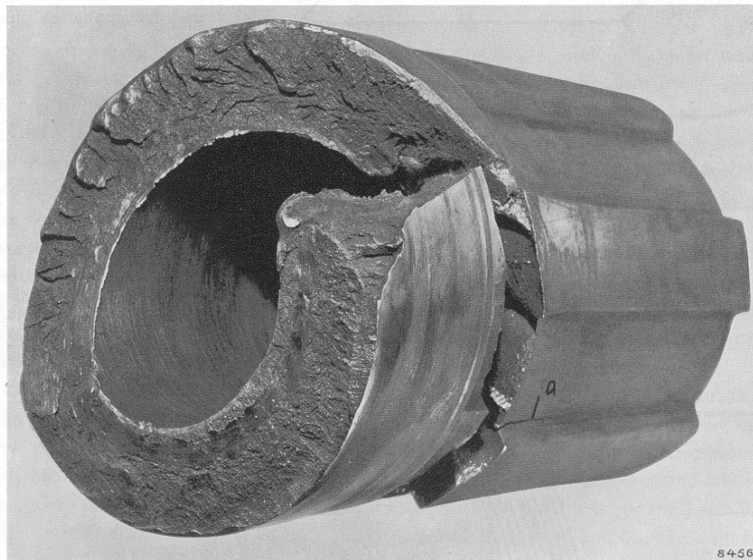
Christof Gebhardt, CADFEM GmbH  
[cgebhardt@cadfem.de](mailto:cgebhardt@cadfem.de)

**ANSYS**<sup>®</sup>

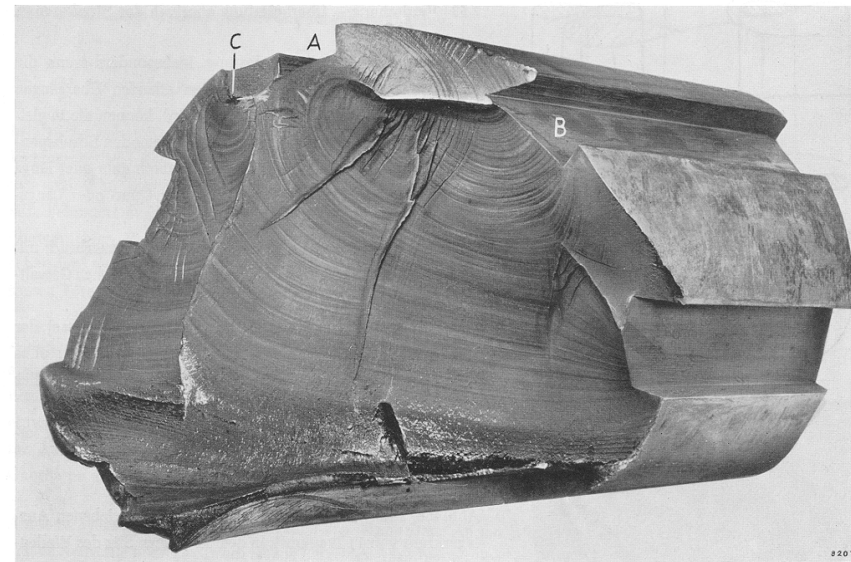
ANSYS Competence Center FEM

**CADFEM**<sup>®</sup>

# Versagensarten

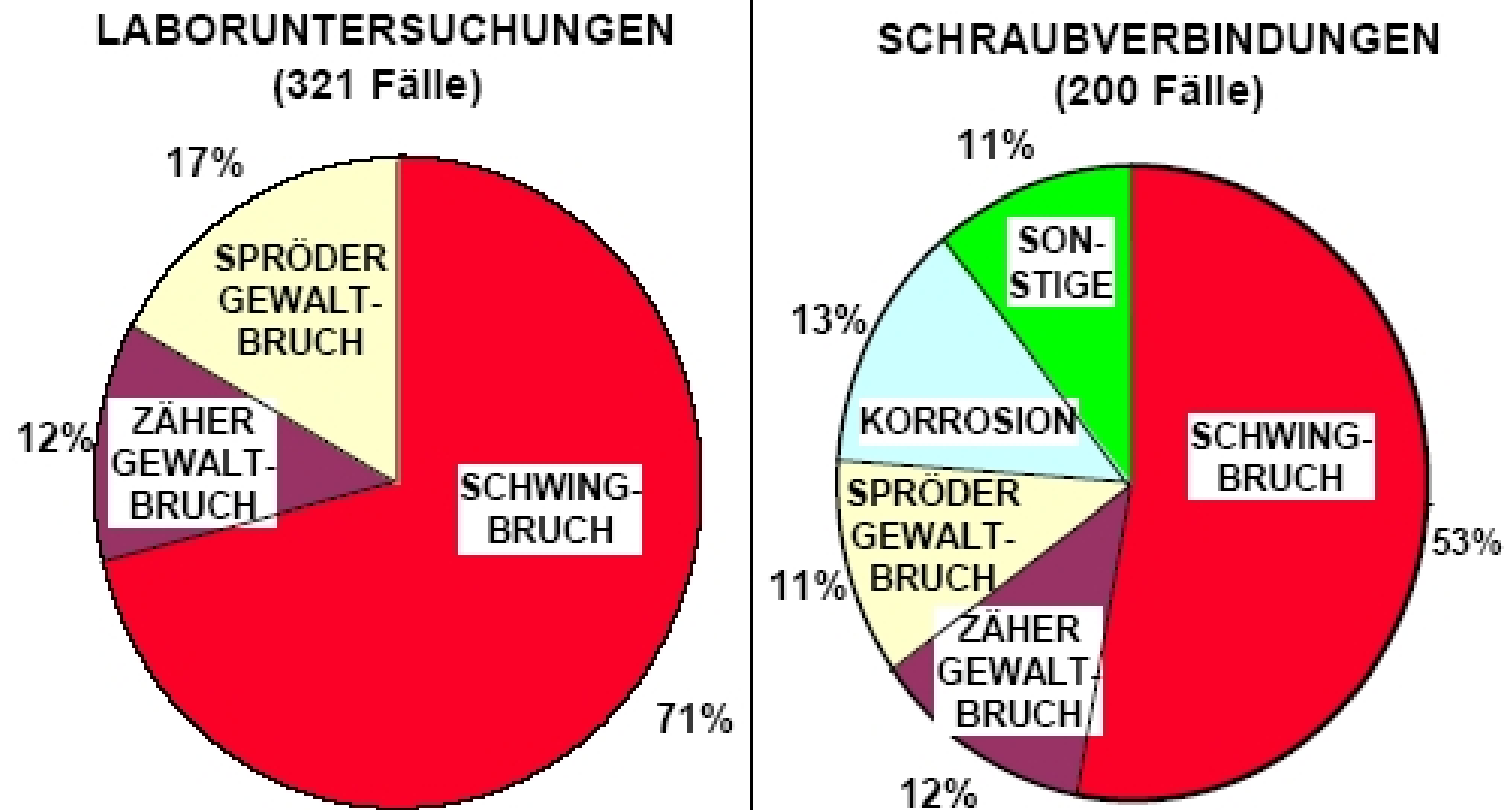


Statische Überlast



Ermüdungsbruch  
(High Cycle Fatigue, HCF)

## Motivation



Statistische Verteilung von Schadensursachen (Auswertung Allianz-Versicherung)

## Beispiel

§ FAZ, 21. Februar 2009

§ Ermüdungsbruch einer  
Radsatzwelle beim ICE 3

§ 2008 entgleiste ICE in Köln

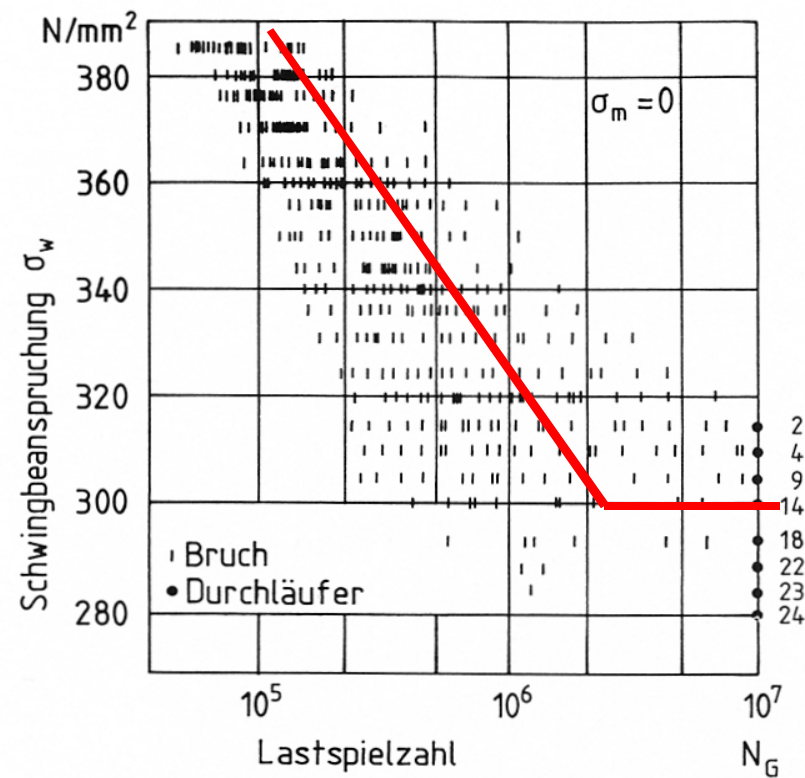
§ 2 Jahre dauernder Wechsel der  
Radsatzwellen

§ Verkürzte Inspektionsintervalle von  
240.000 km auf 30.000 km

§ Bahn-Chef Mehdorn: Schaden in  
dreistelliger Millionenhöhe

# Wöhler Diagram (SN-Curve)

§ à Ermüdung ist ein statistisches Phänomen



476 Proben C35

# Einflußgrößen

## § Last

- § Spannungsamplitude
- § Mittelspannung

## § Material

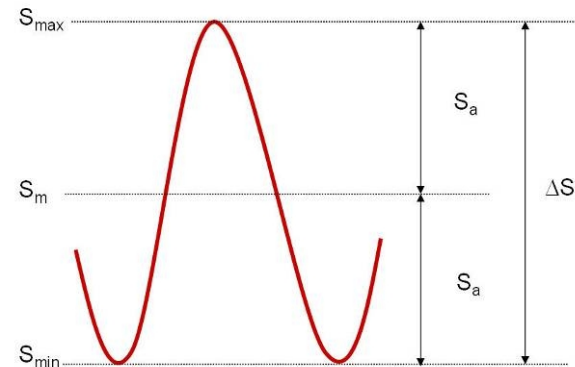
- § Legierung
- § Wärmebehandlung
- § Kerbspannungsempfindlichkeit

## § Fertigung

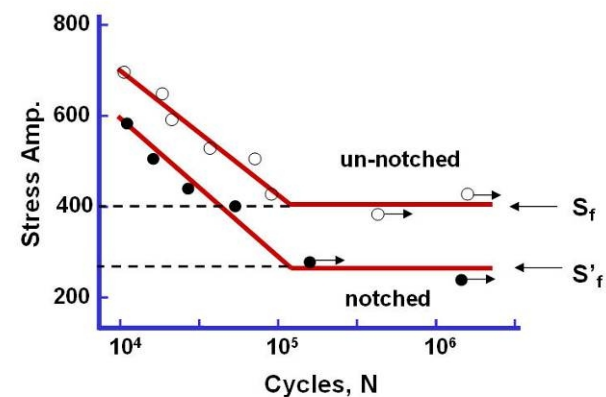
- § Oberfläche
- § Eigenspannungen
- § Toleranzen

## § Umgebung

- § Korrosion
- § Temperatur



$$R = S_{\min} / S_{\max} \quad A = S_a / S_m = \frac{1-R}{1+R}$$



# Konzepte

## § Nennspannungskonzept

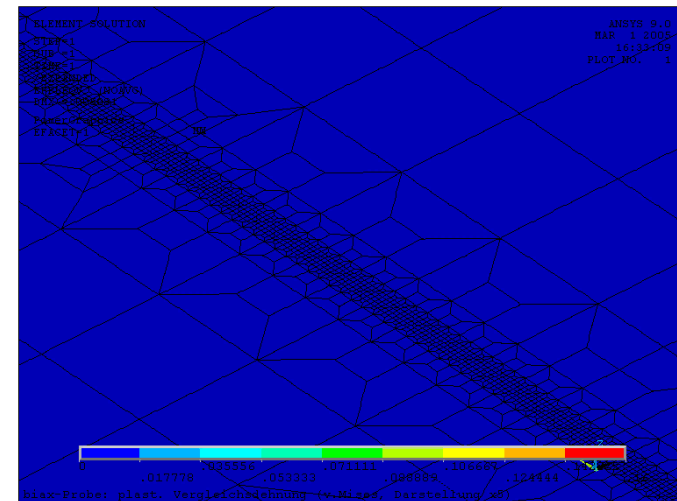
- § Strukturspannungs-, Kerbspannungs-Konzept
- § Stress life (SN)

## § Örtliches Konzept

- § Kergrund-, Kerbdehnungs-Konzept
- § Strain life (EN)

## § Bruchmechanik

- § Fehlstelle liegt vor
  - § Anriß, Lunker ...
- § Wachstum und Stabilität von Rissen



# Nennspannungskonzept

§ Spannungswöhlerlinie

§ HCF

§ Spannungen im Bauteil vs. Wöhlerlinie für das Bauteil

§ Unterarten

§ Strukturspannungen vs. Strukturspannungs-Wöhlerlinie

§ Elastische Kerbspannungen vs. Kerbspannungs-Wöhlerlinie

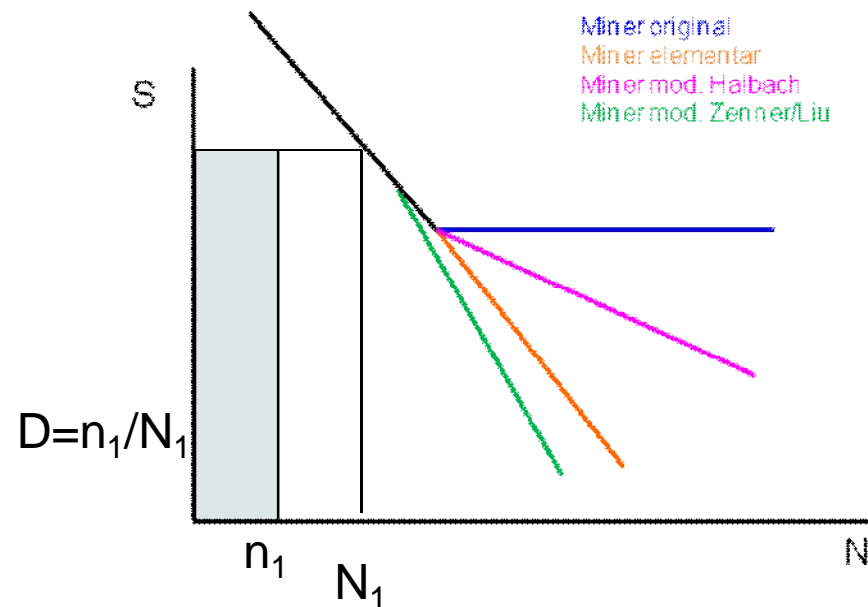
§ Mittelspannungskorrektur

§ Schadensakkumulation

§ Achtung

§ Dauerfestigkeit

§ Reihenfolge





# Örtliches Konzept

§ Dehnungswöhlerlinie (Manson Coffin)

§ HCF und LCF

§ Mittelspannungseinfluß (SWT und andere)

§ Hystereseschleifen im Spannungs-Dehnungs-Pfad

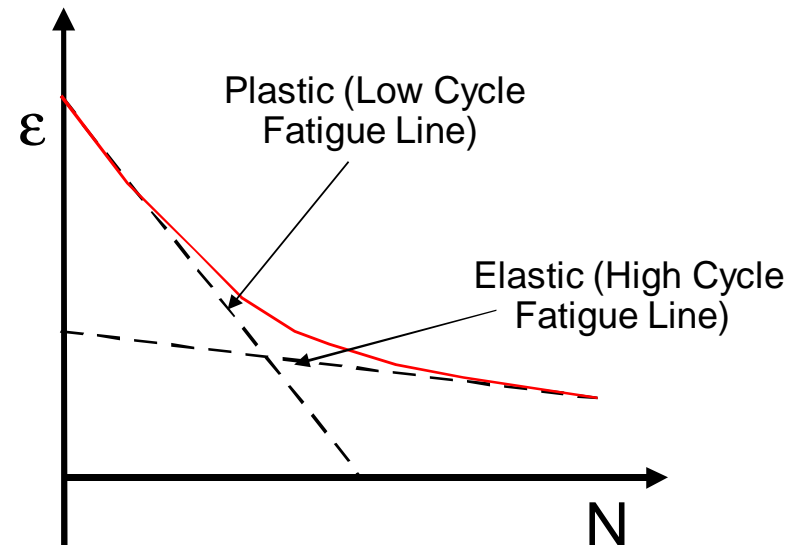
§ FEM-Analyse

§  $10^2$ - $10^4$  Zyklen: Elastisch mit Plastizitätskorrektur

§ Neuber Verfahren

§ Seeger/Beste ...

§  $<10^2$  Zyklen: Elastisch-plastische FEM



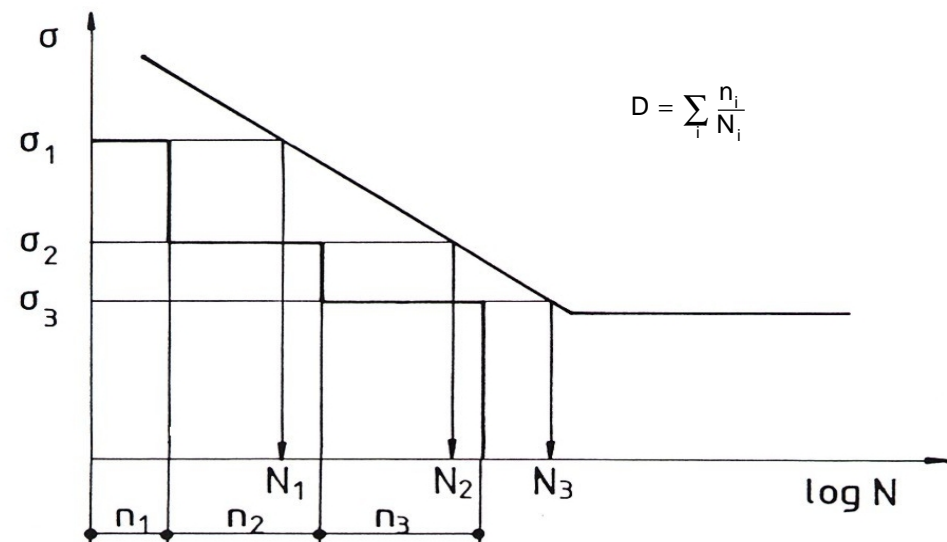
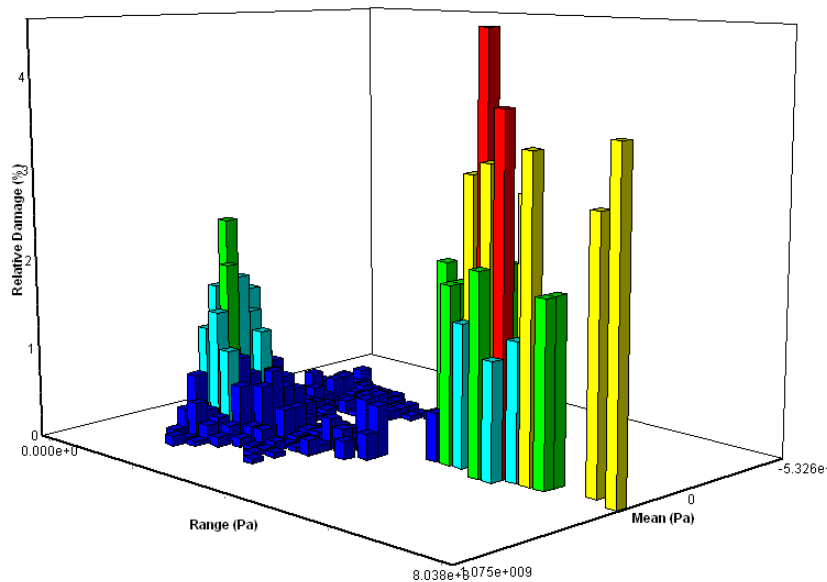
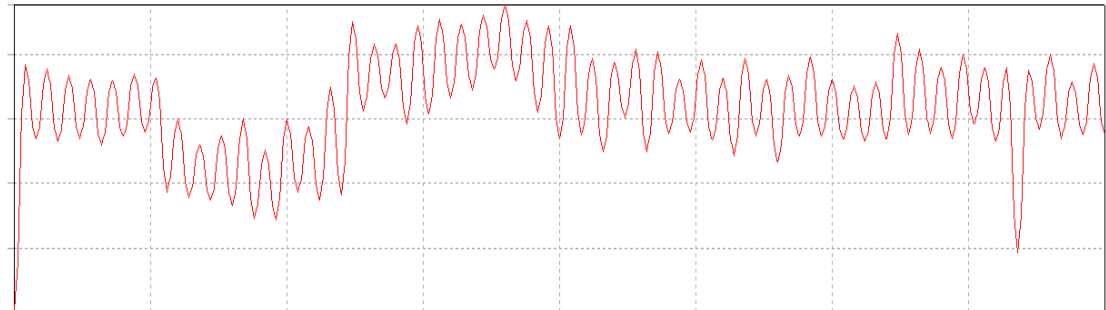
# Mehrstufige Beanspruchung

§ Last-Zeit-Funktion

§ Klassieren

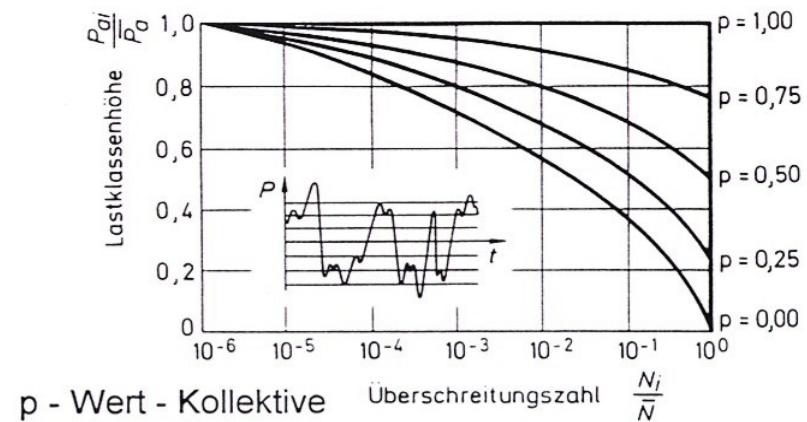
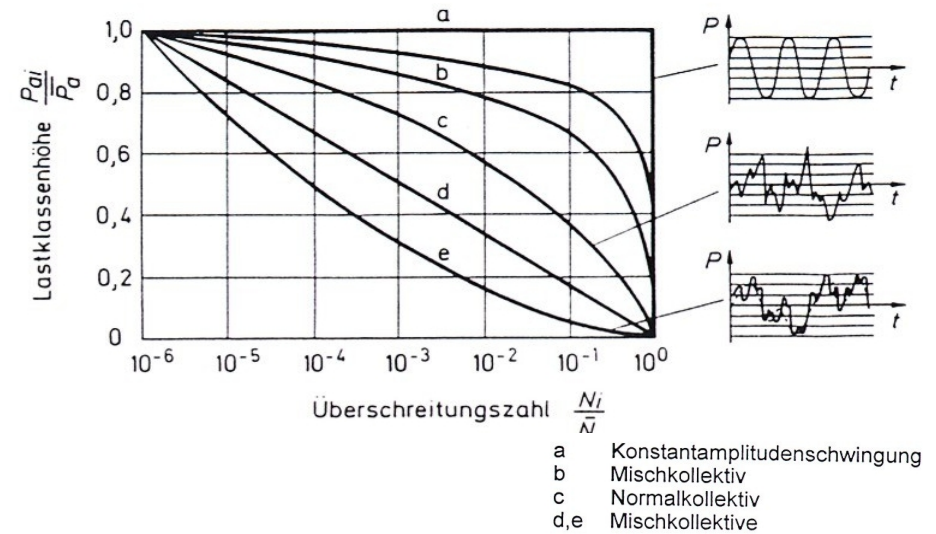
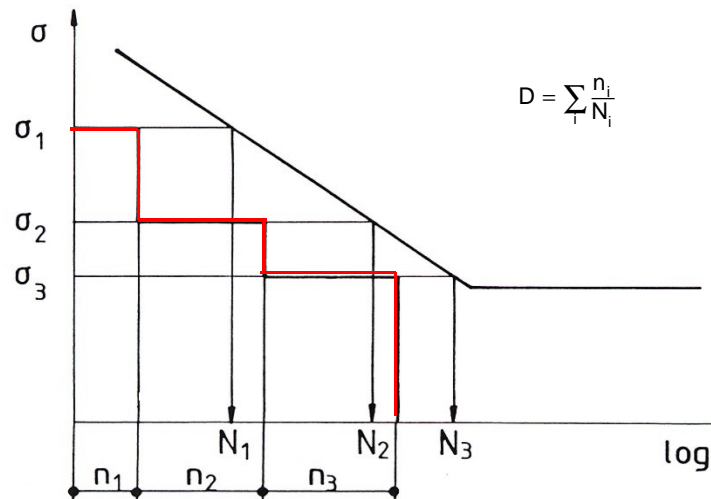
§ Teil-Schädigung

§ Gesamt-Schädigung



# Mehrstufige Beanspruchung

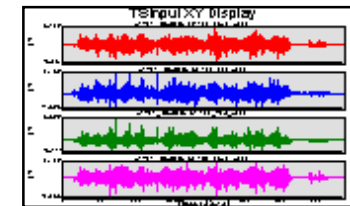
## § Kollektive



# Mehrachsige Beanspruchung

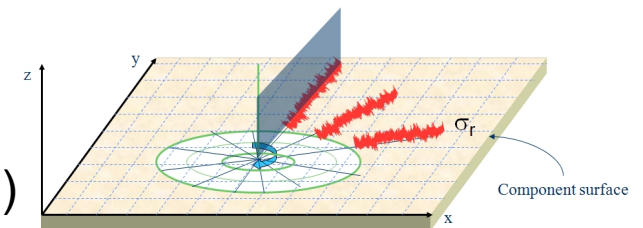
## § Auftreten


- § Einachsige Belastung an Bauteilen mit Kerben
- § Einachsige Belastung an Bauteilen aus verstärktem Material
- § Mehrere Kraftkomponenten



## § Modelle

- § Critical Plane
- § Dang Van (Schubsp., hydrostat. Normalspannung)
- § ...
- § Unterschiede klein & im Rahmen der Genauigkeit




$$\bar{\Pi} = \frac{1}{2} \sum_e \{u\}^T \cdot [K] \cdot \{u\} - \{u\}^T \cdot \{F\}$$

FEM SOFTWARE AND SERVICES



# Software-Lösungen

## Umsetzung in ANSYS

## Umsetzung in ANSYS

### § FKM Richtlinie → AutoFENA3D

- § rechnerischer Nachweis der statischen Festigkeit und Ermüdungsfestigkeit
- § Nachweis strikt nach FKM-Richtlinie
- § Anwendung auf die gesamte Bauteiloberfläche (vgl. Rifest)

### § Prozeßorientierte Betriebsfestigkeit → ANSYS nCode DesignLife

- § Universell einsetzbar
  - § HCF, LCF
  - § Mehrachsigkeit
  - § Schwingungen
  - § Lastverläufe
- § Komplexe Berechnungsprozesse in logischen Abläufen
- § Automatisierbar für Optimierungs- und Robustheitsanalysen

# AutoFENA 3D

§ Einlesen von ANSYS Ergebnissen

§ 2 Verfahren für  
Lastfallkombinationen

§ Unabhängige Lastfälle

§ Aufeinander aufbauende Lasten

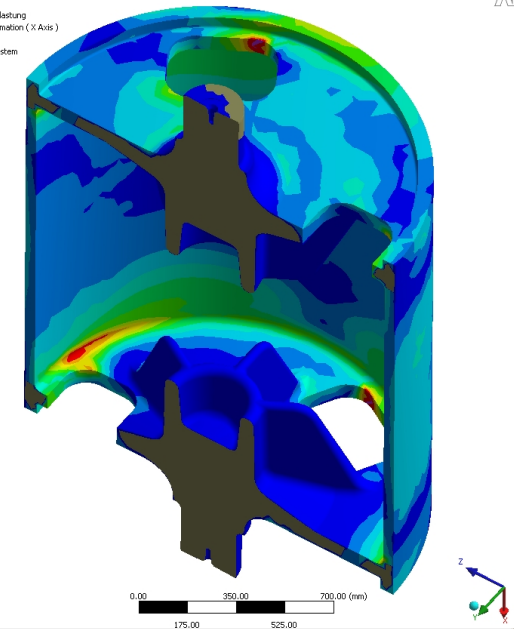
§ Grafische Ergebnisdarstellung in  
ANSYS Workbench

§ Vollflächige Darstellung des  
Auslastungsgrades

§ Dokumentation an den kritischen  
oder ausgewählten Knoten

E: ProCAST  
Fatigue - maximale Auslastung  
Type: Directional Deformation (X Axis)  
Unit: mm  
Globales Koordinatensystem  
Time: 90  
12.11.2009 17:53

98.14 Max  
95  
85.5  
76  
66.5  
57  
47.5  
38  
28.5  
19  
9.5  
0  
-30 Min



**AutoFENA 3D - Ergebnisdokumentation**  
Der Bericht umfasst eine ausführliche Dokumentation der Eingangsgrößen, Programmeinstellungen und Ergebnisse des FKM-Nachweises für bestimmte Knoten eines Rechenmodells.

**Allgemeine Daten**  
Der Bericht wurde am 12.03.2010 um 14:01 Uhr mit AutoFENA 3D Version 1.5.7 erstellt. Die Lizenz für das Programm wurde für Ingenieurbüro Huf & Feickert ausgestellt.

**Globale Einstellungen**

Einstellung	Wert
Berechnungsverfahren	Dauerfestigkeit
Spannungserkung	wie eingelesen
Überlastungsfall	F2: Spannungsverhältnis R konstant
Distanz für Spannungsgradient	- mm
Zyklerzahl	-

**Toleranzen**  
Die Toleranzen ermöglichen es, die Bedingungen unter denen der Nachweis berechnet wird, einzustellen. Mit den Toleranzen können einige der Voraussetzungen für den FKM-Nachweis ausgedehnt werden. Wenn die Werte zu hoch eingestellt werden, kann dies zu unzuverlässigen Ergebnissen führen.

Einstellung	Wert
Hauptspannungsabweichung	10.0 °
Spannungsgradient	15.0 % / mm
Spannungsgradient	5.0 MPa / mm
Toleranzen ignorieren bis Auslastung	15.0 %

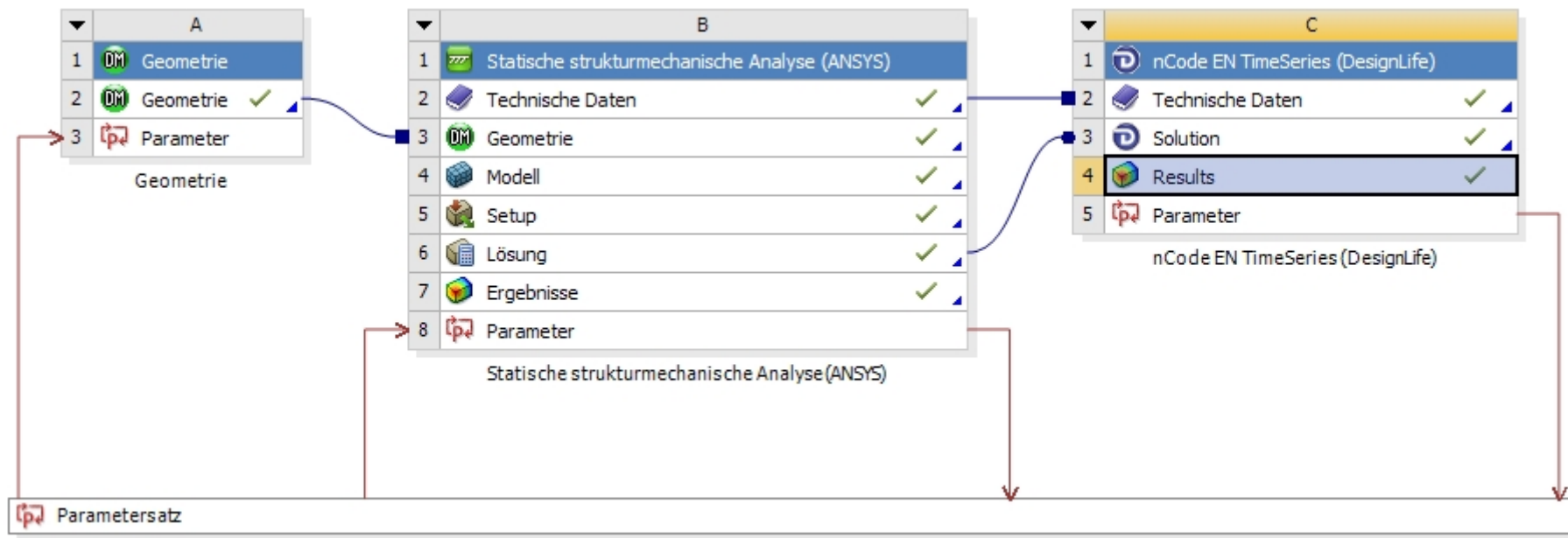
**Berechnungsoptionen**  
Mit den Berechnungsoptionen kann das Nachweisverfahren angepasst werden.

Einstellung	Wert
vollständige Berechnung aller Kombinationsmöglichkeiten	ja
Spannungsrandkanten evaluiert bestimmen	nein

# ANSYS nCode DesignLife

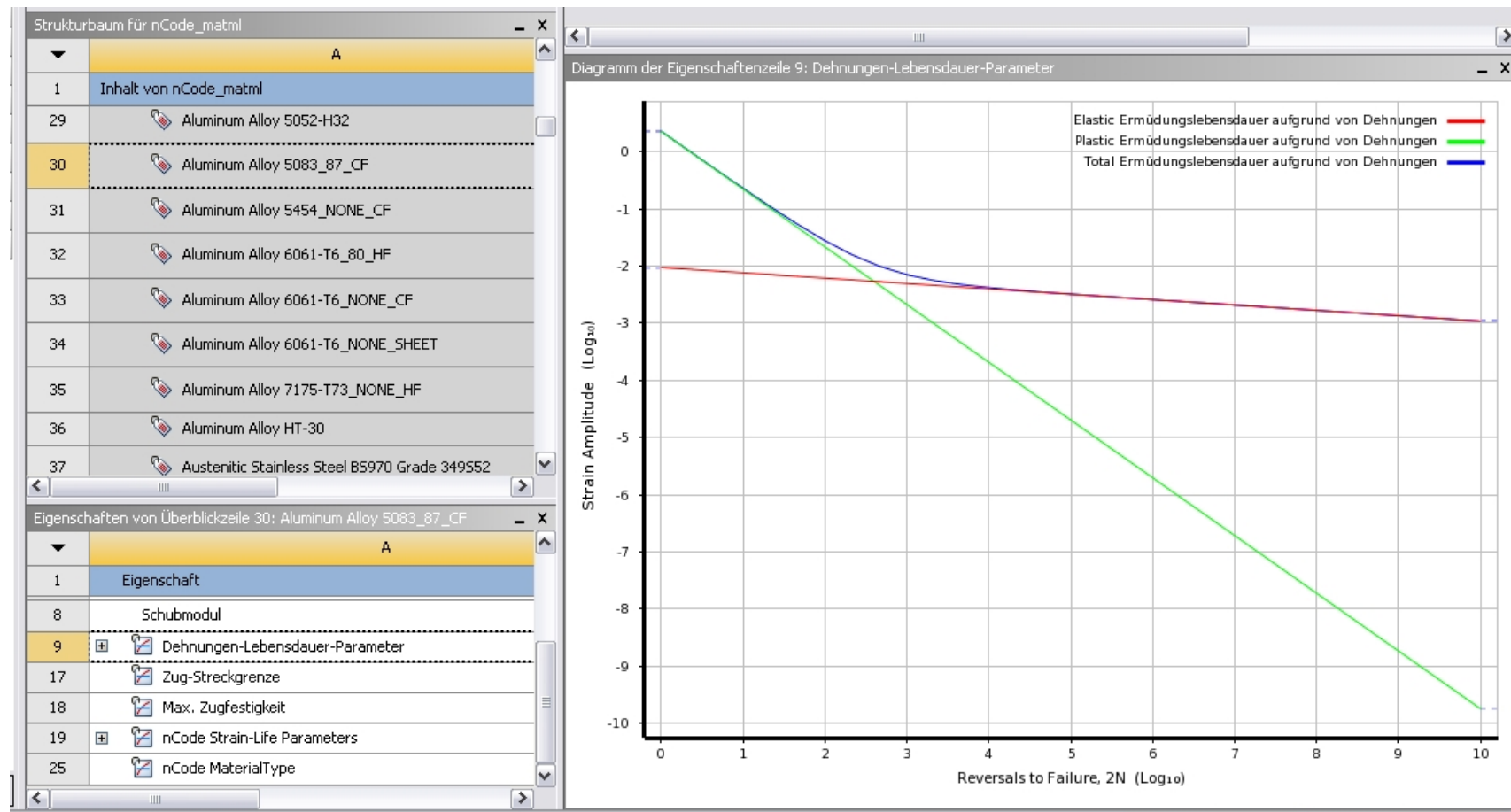
## § Integration von nCode DesignLife (HBM) in ANSYS Workbench

- § Assoziativität zum Geometriemodell
- § Assoziativität zu den Analysen
- § Parametrischer Workflow

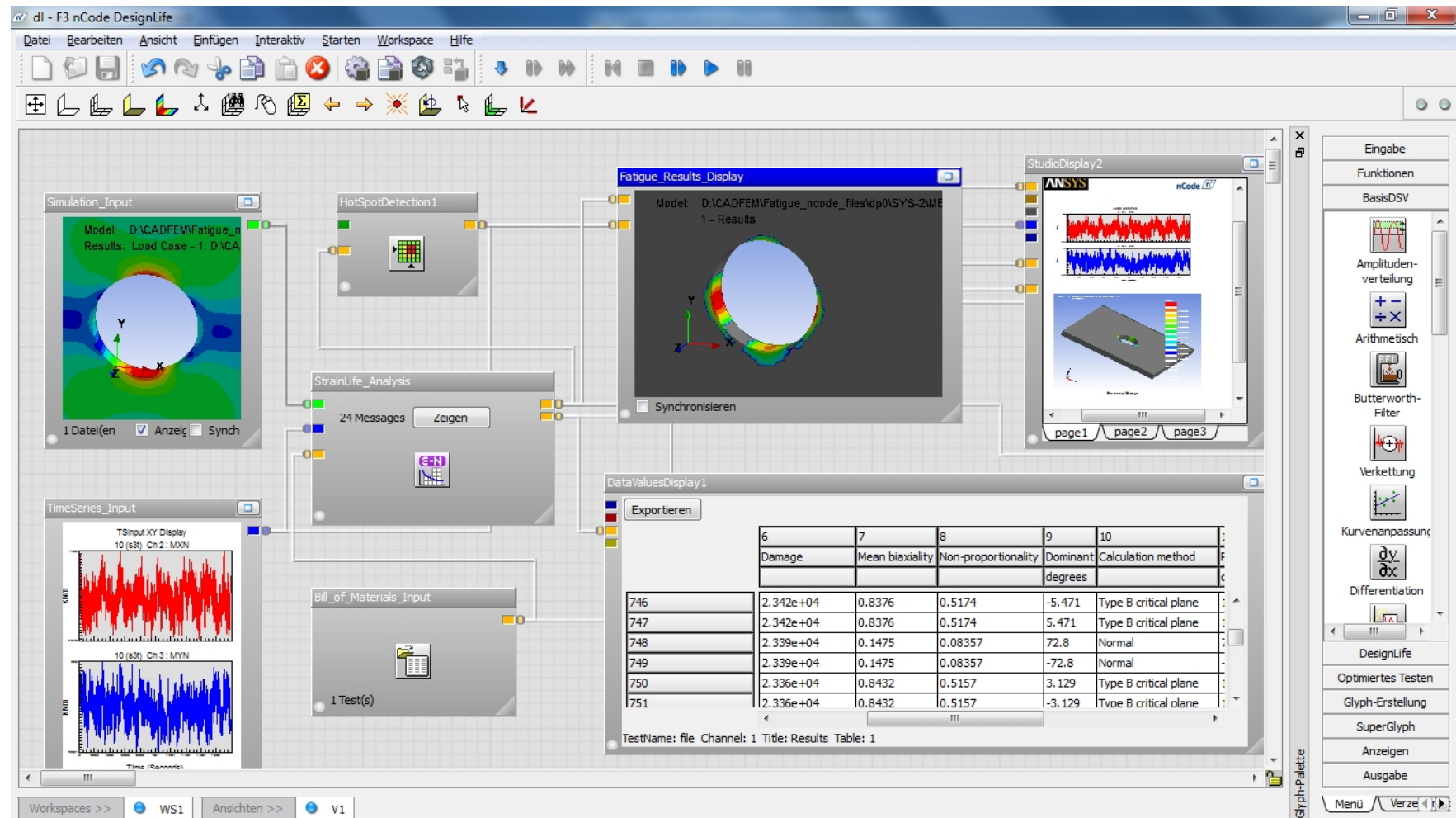




# ANSYS nCode DesignLife Materialdatenbank



# ANSYS nCode DesignLife Workflow



# ANSYS nCode DesignLife Lasten

## § Zeitreihen

- § Lineare Statik

- § Modale Superposition

## § Konstante Amplitude

## § Zeitschritte

## § Schwingung

## § Temperatur

## § Kombinierte Lastzyklen

**§ Ergebnis = 1\*A, 2\*B, 3\*C, 2\*D, 2\*E,1\*F,1\*G**

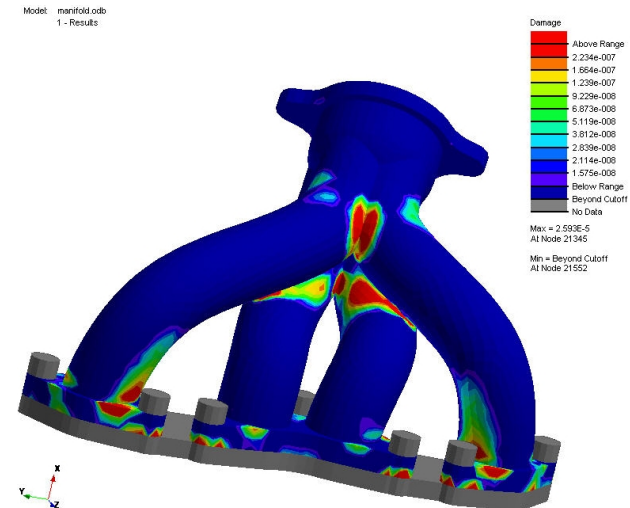
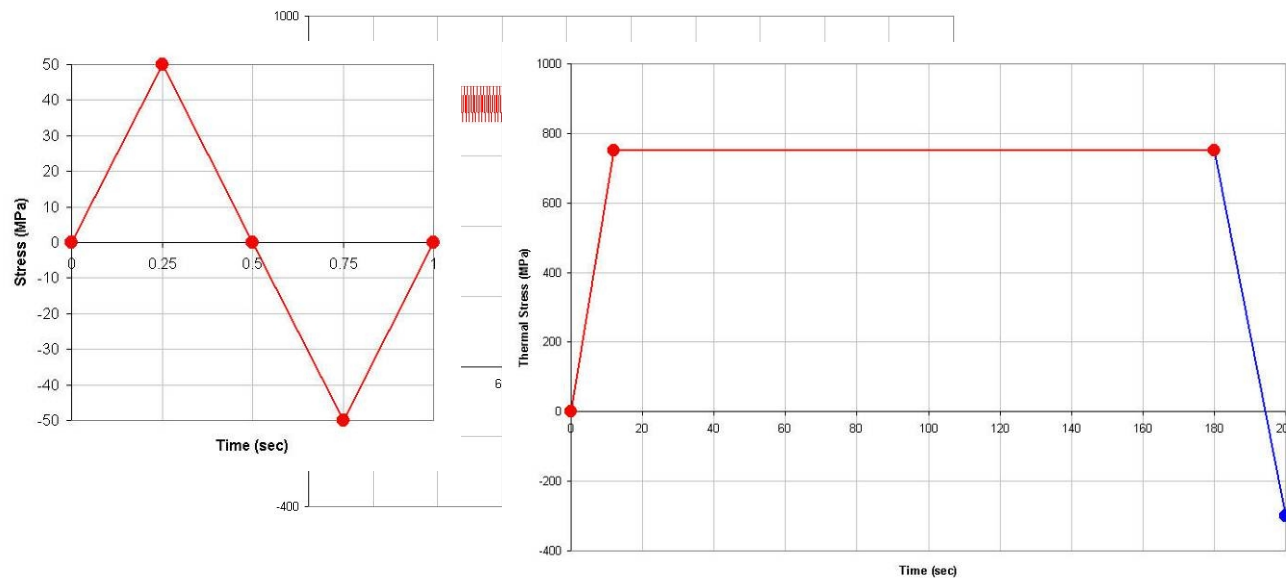


# ANSYS nCode DesignLife Beispiel

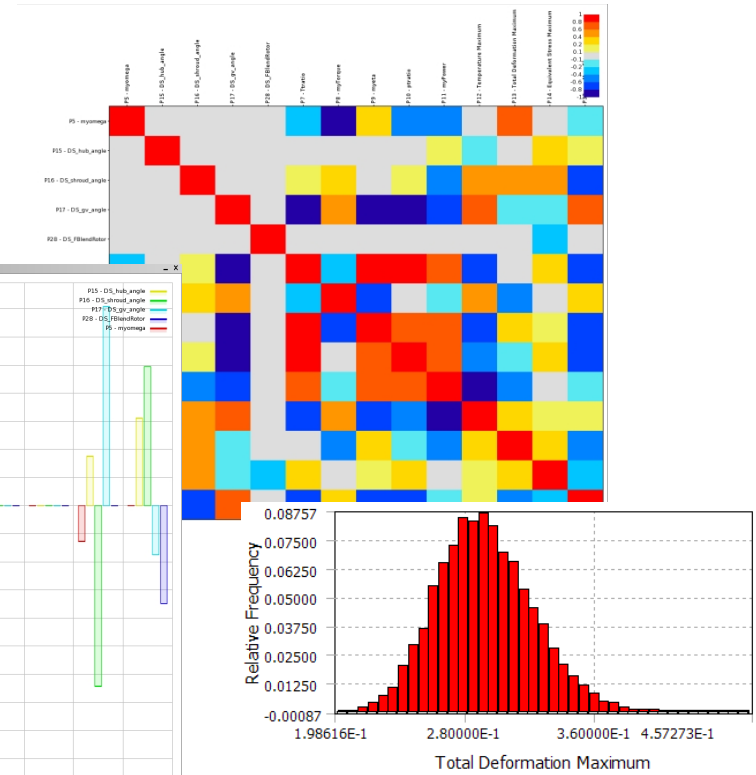
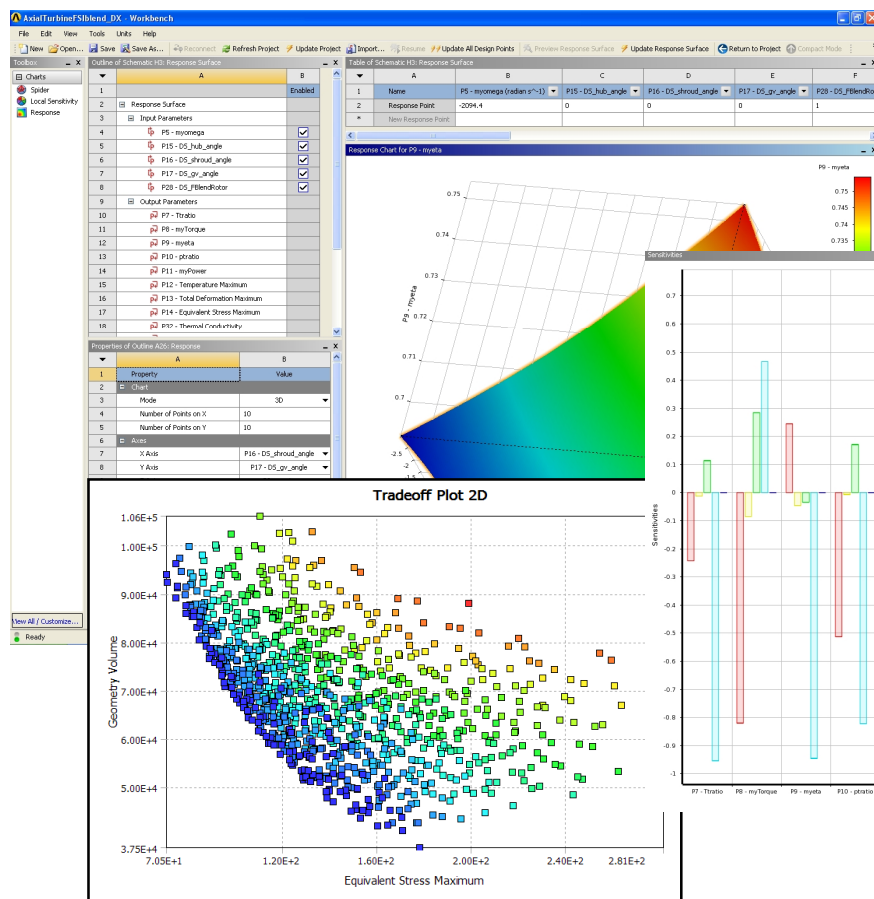
## § Kombination

- § ½ h instationäre Temperatur
- § 60 Hz Motorschwingung
- § Ausschalten + Abklingen

## § Lastzyklus



# ANSYS nCode DesignLife & RDO



# ANSYS nCode DesignLife Vorteile

## § Mehrachsigenkonzepte

- § Critical plane
- § Dang Van...

## § Materialdatenbank

## § Lasten

- § Mehrkanal-Zeitreihen
- § Transient
- § Schwingungen
- § temperaturabhängig
- § Kombinierte Lastzyklen

## § Sichere Prozesse

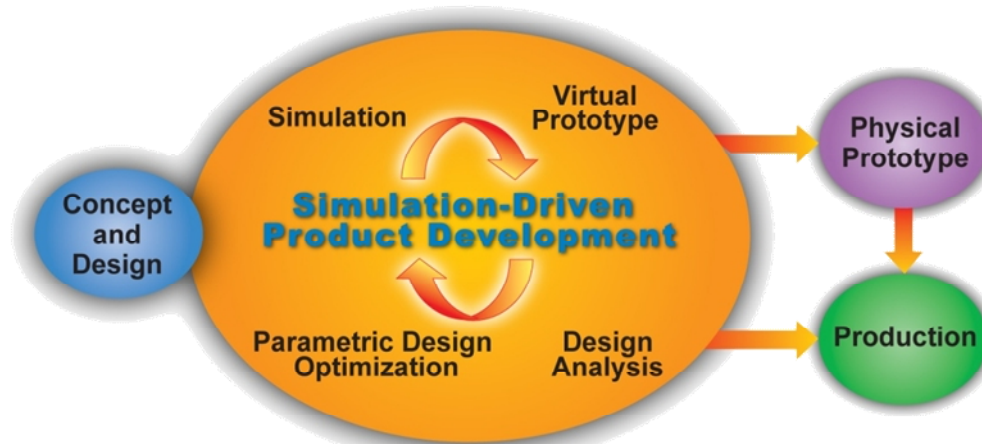
- § Vordefinierbare Abläufe

## § Workbench Integration

- § Assoziativität zum Geometriemodell
- § Assoziativität zu den Analysen
- § Parametrischer Workflow → Robustheitsbasierte Optimierung

## Our Vision

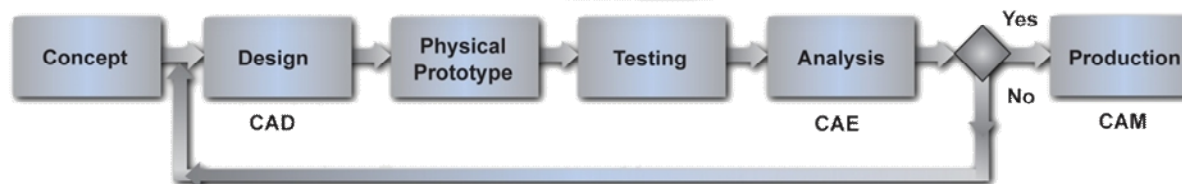
§ Simulation-Driven  
Product Development



*Better Designs  
Faster Time-to-Market  
Accelerated Innovation*

**Customer needs  
Business drivers  
Technology trends**

1990's



**CADFEM**



## CADFEM: FEM Software and Services

### **CADFEM** FEM Software & Services

- § 25+ years experience
- § 140+ employees
- § €40 Mio. revenue
- § Central Europe: 12 offices
- § Privately owned
- § Worldwide through partners & TechNet Alliance
- § CADFEM Innovative
- § Certification: ISO 9000

### **ANSYS** Competence Center FEM



- § ANSYS Channel Partner since 1982
- § 50+ different seminar topics
- § 100+ ANSYS technical & sales engineers

### **CADFEM** Complementary Software

- § **Explicit analysis**  
AUTODYN and LS-DYNA
- § **Metal forming**  
FTI, eta
- § **Robust analysis**  
optiSLang
- § **Materials**  
ESAComp, DIGIMAT, MaterialStudio
- § **Acoustics**  
Actran

Software – Seminars – Support – Consulting – Development