Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V.

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Open-Minded

K-TAG
20. Bayreuther 3D-Konstrukteurstag
20. September 2018

Wissensbasiertes Unterstützungssystem zur virtuellen Lebensdauerprognose von Elastomerbauteilen

Robin Pluhnau, M. Sc.

ipe Institut für Produkt Engineering

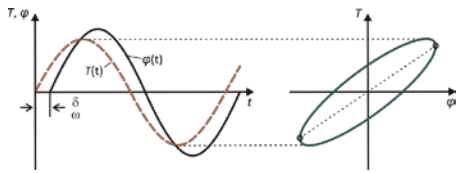
Lehrstuhl für Produktentstehungsprozesse und Datenmanagement
Prof. Dr.-Ing. Arun Nagarajah

Gliederung

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Open-Minded

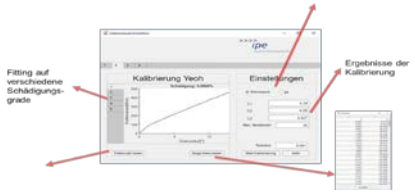
Einleitung



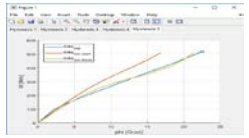
Methodenentwicklung

Umsetzung

Prozessunterstützung



Validierung



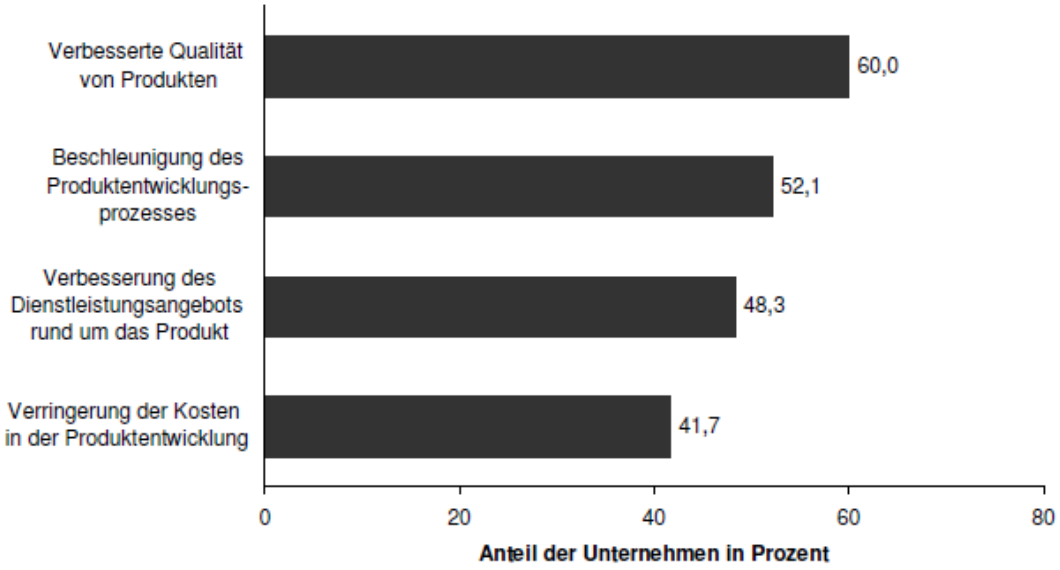
Bedeutung der Simulation in der Produktentwicklung

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Open-Minded

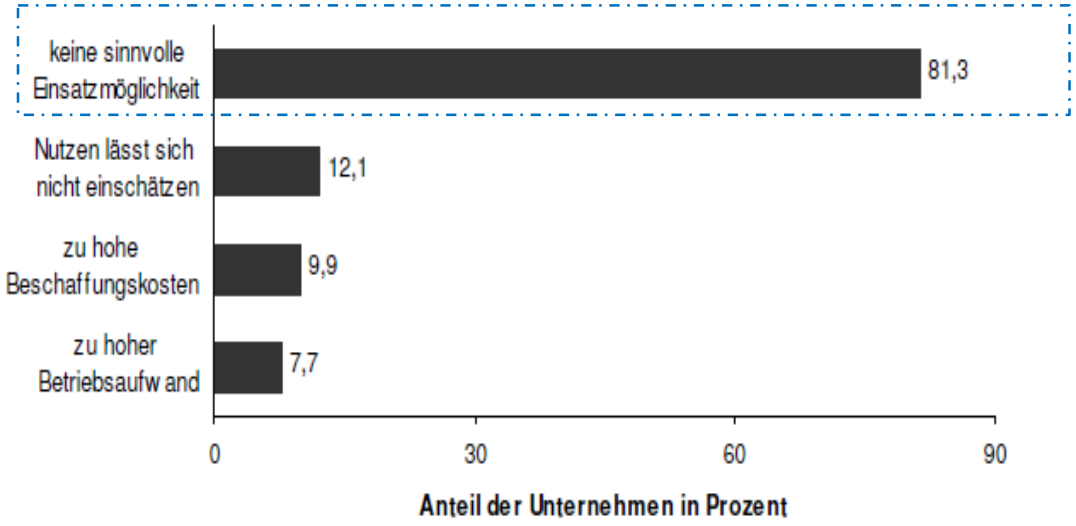
Bedarf

- Großes Potential von Simulationsintegration in die Produktentwicklung erwartet
- Schwierigkeiten bei der methodischen Umsetzung / Anwendung im Unternehmen (Schnittstellen, Rechenleistung, Datenhandling, Prozesse / Workflows)

Erwartete Vorteile von Simulationstechnologien



Bisherige Gründe für den Nichteinsatz von Simulation



Quelle: Döbler 2008 – Simulation und Visualisierung in der Produktentwicklung. FAZIT Schriftenreihe. Band 12. MFG Stiftung Baden-Württemberg. pp. 19-27

Von der Problemstellung zur Zielsetzung

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Open-Minded

Problemstellung

- Kenntnisstand über materialspezifische Phänomene deutlich hinter anderen technischen Werkstoffen
- Es existieren keine allgemeingültigen Festigkeitshypothesen für Elastomerwerkstoffe
- Vielzahl von Einflussfaktoren auf die Lebensdauer wie Belastungshöhe, Temperatur, Reihenfolge, Alterung etc.

Konsequenzen

- Verwendung linearer Schadensakkumulation
- Ergebnisse heutiger Prognosen streuen häufig um Faktor 2-10
- Wartungsintervalle / Dienstleistungsangebot leiden
- Kein Nutzen für frühzeitige Integration von Erkenntnissen in die Produktentwicklung

- Entwicklung einer Methode zur konstruktionsbegleitenden Simulation von Elastomerkupplungen auf Basis von Vorarbeiten
- Entwurf einer GUI zur effizienten und automatisierten Datennutzung im PE-Umfeld
- Steigerung der Produktqualität durch frühzeitige Integration von Erkenntnissen aus der Simulation in die Gestaltung
- Verbesserung des DL-Angebotes durch genauere Prognose von Ausfallzeitpunkten / Wartungsintervallen

Steifigkeitsverhalten von Elastomeren

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Open-Minded

Materialdämpfung

In Bezug auf Eingangssignal (Drehmoment) verzögertes Ausgangssignal (Drehwinkel)

Hystereseschleife

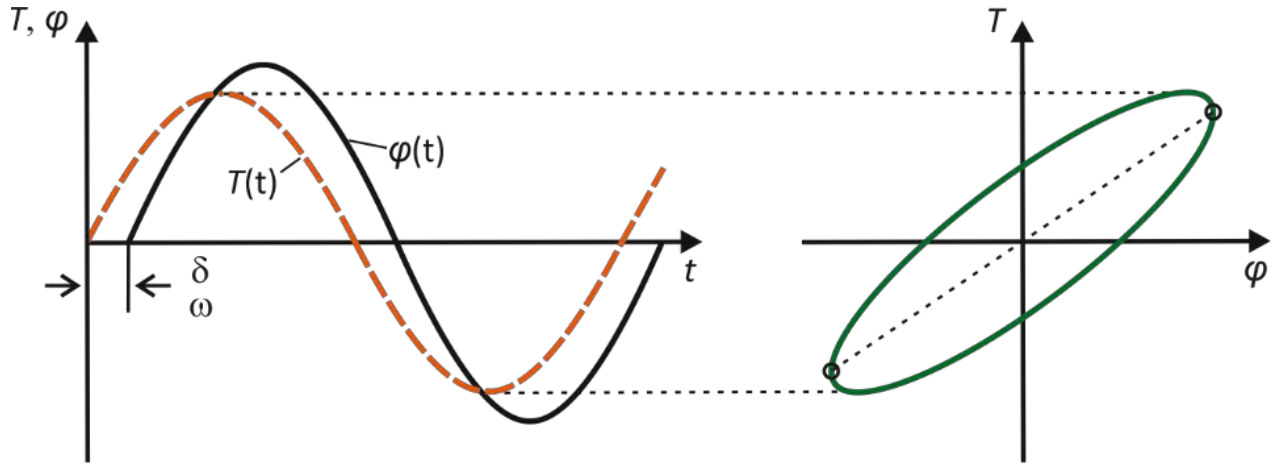
Auftragen von Drehmoment über Drehwinkel liefert Hystereseschleife

Dynamische Steifigkeit

Ableitung der dynamischen Steifigkeit aus Endpunktlinearisierung der Hysterese

Einfluss mechanischer Belastung

Abkippen der Hystereseschleife entsprechend Steifigkeitsverlust



Methodenentwicklung

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Open-Minded

Stufen der virtuellen Lebensdauerprognose

Randbedingungen /Vorarbeiten

- Kennwertverläufe und Schädigung von Elastomeren
- Schadensakkumulationsmodell nach Spitz

CAD/CAE-Modellerstellung

- Erstellung / Aufbereitung des Geometriemodells
- Preprocessing Simulationsmodell

Materialmodellierung

- Definition und Kalibrierung Materialmodell an Versuchsdaten

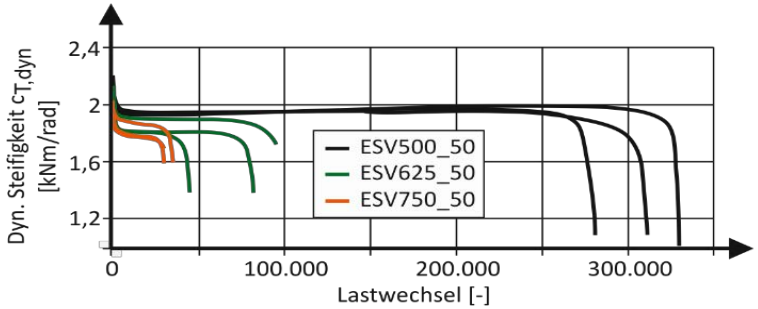
CAE / Solving

- Ermittlung von Beanspruchungsgrößen aus FEM

Schädigungsberechnung

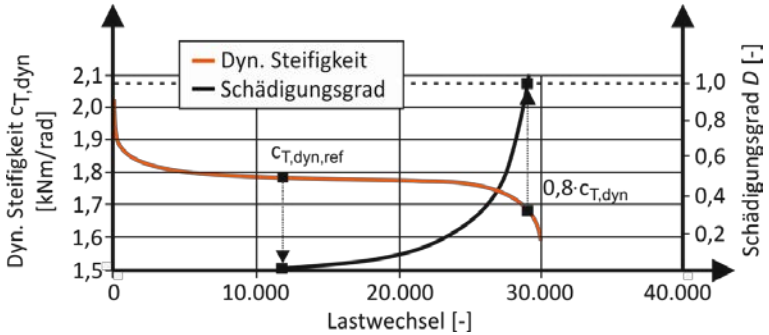
- Nichtlineare Schadensakkumulation nach Spitz (erweitert)

Kennwertverläufe und Schädigungsgrad



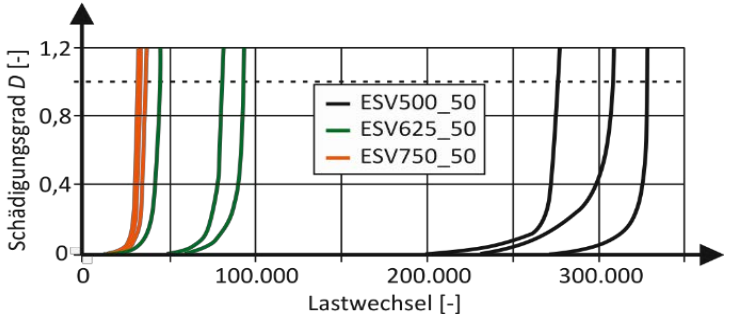
Der Steifigkeitsverlauf

- Drehmoment-Drehwinkel-Aufnahme für verschiedene Lastfälle auf Laborprüfstand
- Überführen in dynamische Steifigkeit zeigt charakteristischen Steifigkeitsverlauf



Der Schädigungsgrad

- Abhängig von relativer Steifigkeitsänderung bezogen auf Referenzsteifigkeit (Nachvernetzungseffekte)
- Definition: 20% Abfall der Steifigkeit entsprechen Schädigungsgrad 1



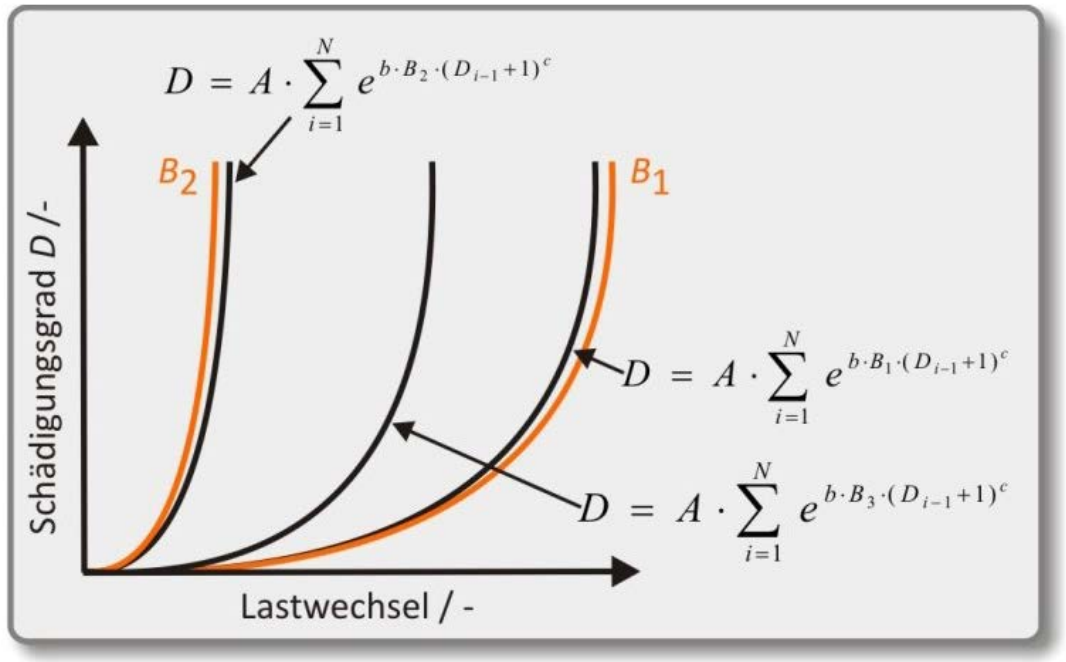
Die Schädigungskurve

- Über Zusammenhang von Steifigkeitsänderung und Schädigung
- Charakteristische Verläufe für Schädigung
- Nutzung nlSAM

Schadensakkumulation

Nichtlineares Schadensakkumulationsmodell (Spitz)

- Zusammenhang von Beanspruchung und Schädigung
- Kalibrierung anhand von Versuchsdaten
- Kalibrierparameter A, b, c
- Prognose des Schädigungsverlaufes für unbekannte Beanspruchungen

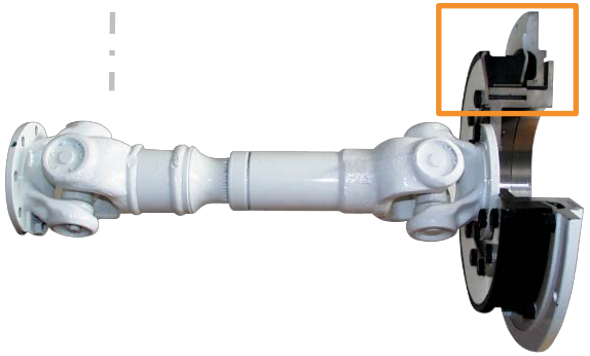


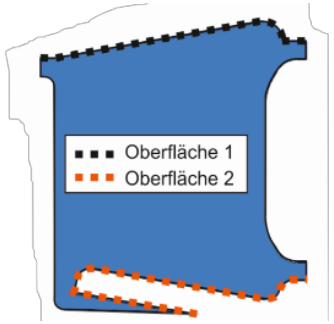
Quelle: Spitz 2012 – Modellbasierte Lebensdauerprognose für dynamisch beanspruchte Elastomerbauteile

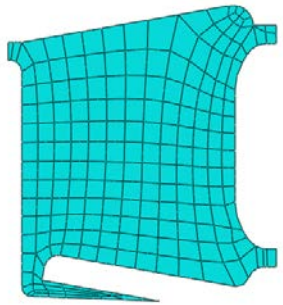
CAD/CAE – Modellerstellung

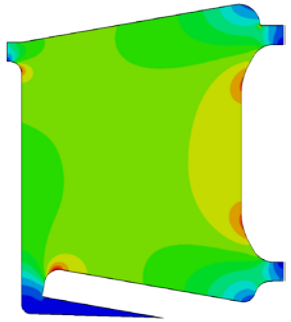
UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Open-Minded

- Ableitung einer 2D-Bauteilgeometrie der Elastomerkupplung
- Randbedingungen aus Bauteilprüfung
- Vernetzung
- Solving









Materialmodellierung

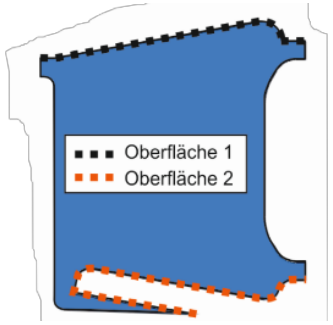
UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Open-Minded

Yeoh-Materialmodell

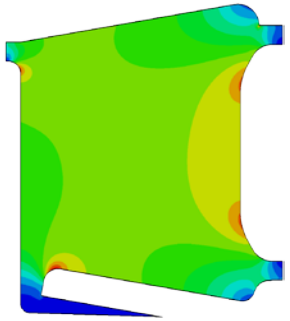
C10,C20,C30

Pre



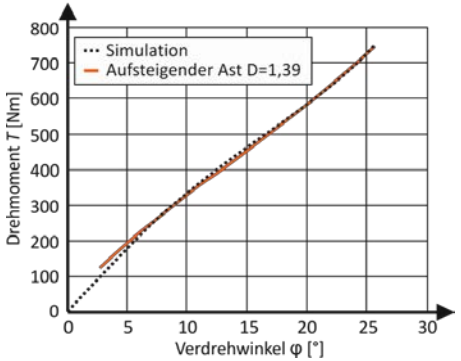
Belastung

Post

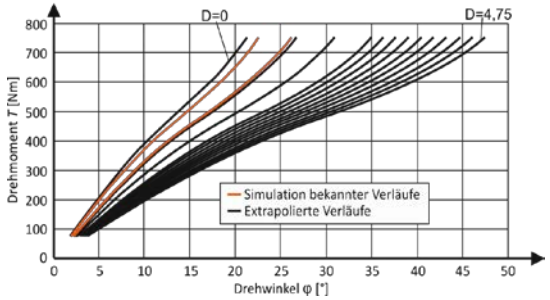


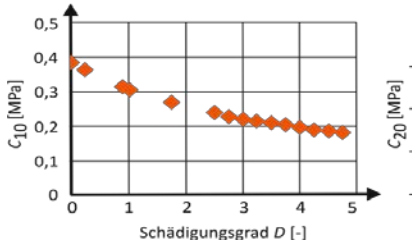
Beanspruchung

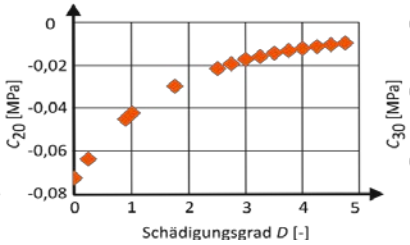
Curve - Fitting

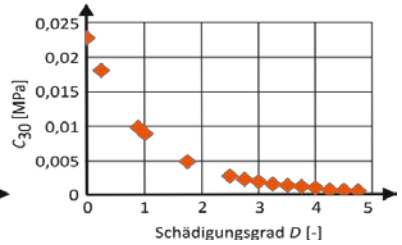


Anpassung der Parameter







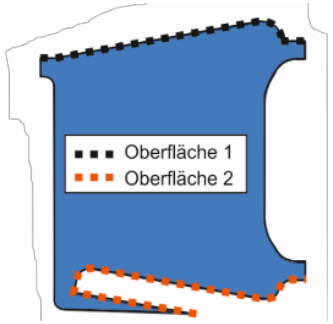


Schädigungsberechnung

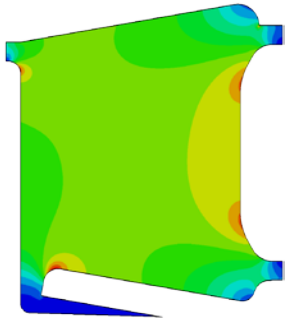
UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Open-Minded

Yeoh-Materialmodell | **Pre** | **Post** | **nlSAM**

C10,C20,C30



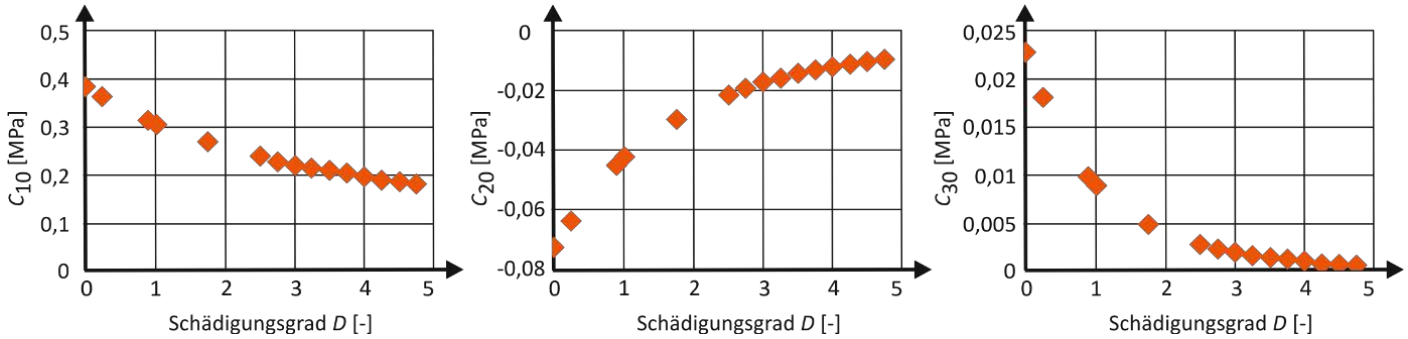
Belastung



Beanspruchung

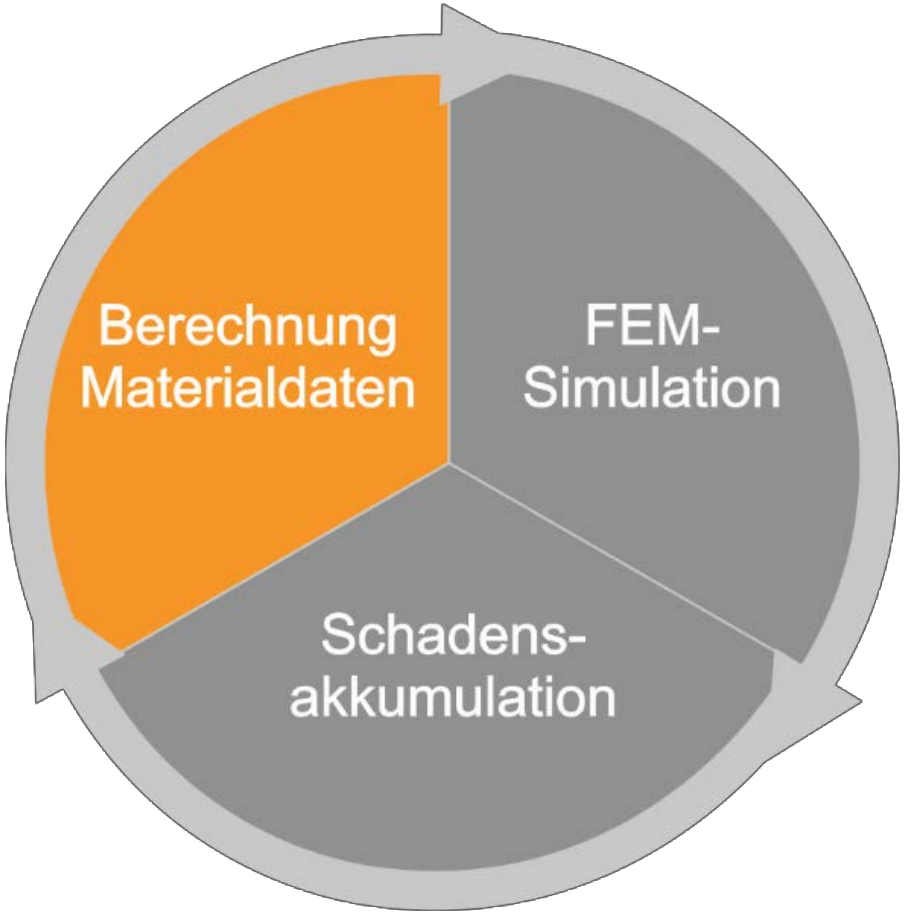
$$D_N = \sum_{j=1}^{N/M} \left(A \cdot \sum_{i=1}^{M} \left(e^{b \cdot B_j (D_{ji-1}+1)^c} - 1 \right) \right)$$

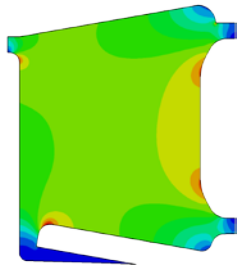
C10,C20,C30



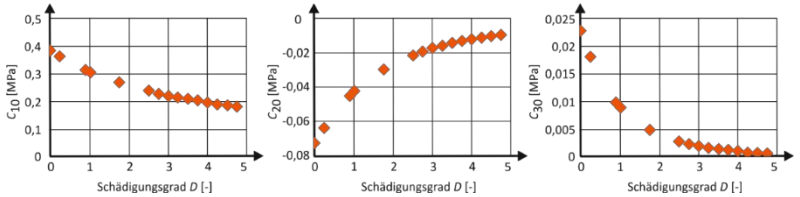
Schädigung

Methode zur Lebensdauersimulation

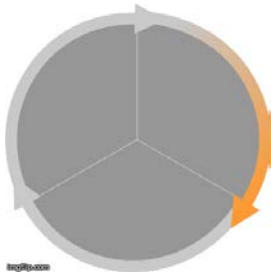


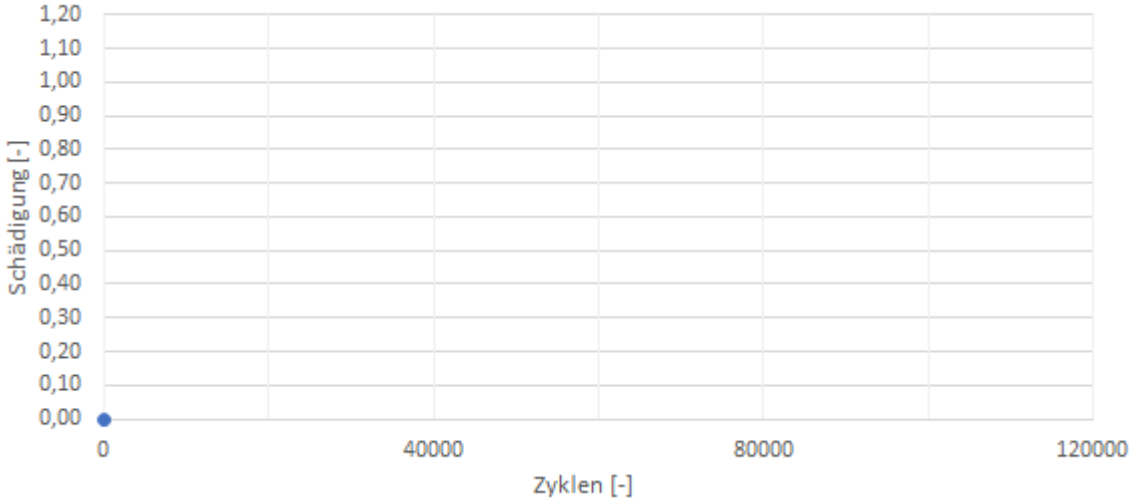


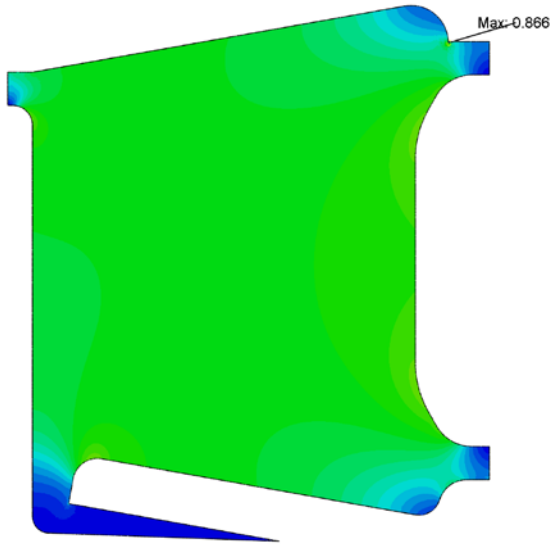
$$D_N = \sum_{j=1}^{N/M} \left(A \cdot \sum_{i=1}^{M} \left(e^{b \cdot B_j (D_{ji-1}+1)^c} - 1 \right) \right)$$



Methode zur Lebensdauersimulation

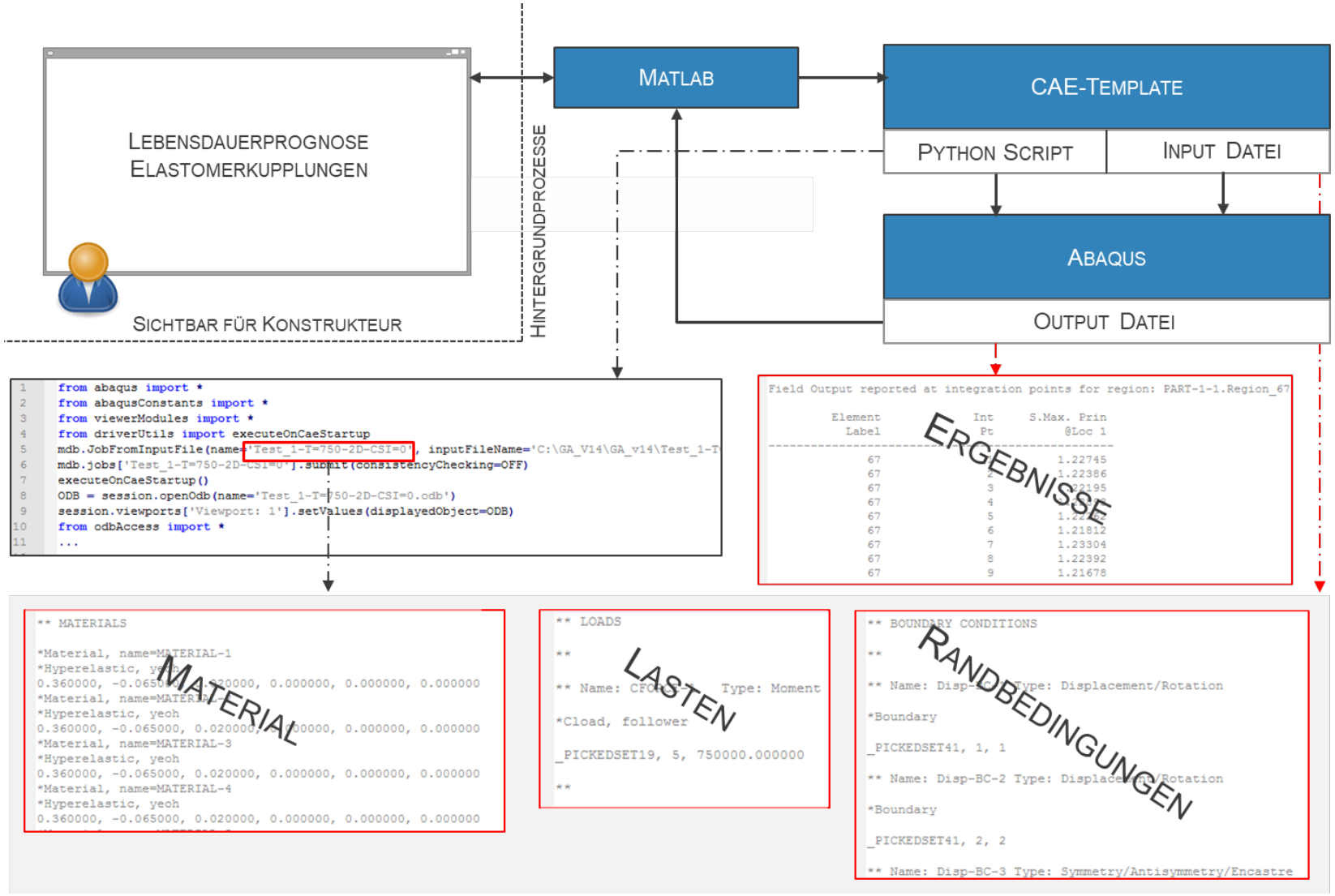




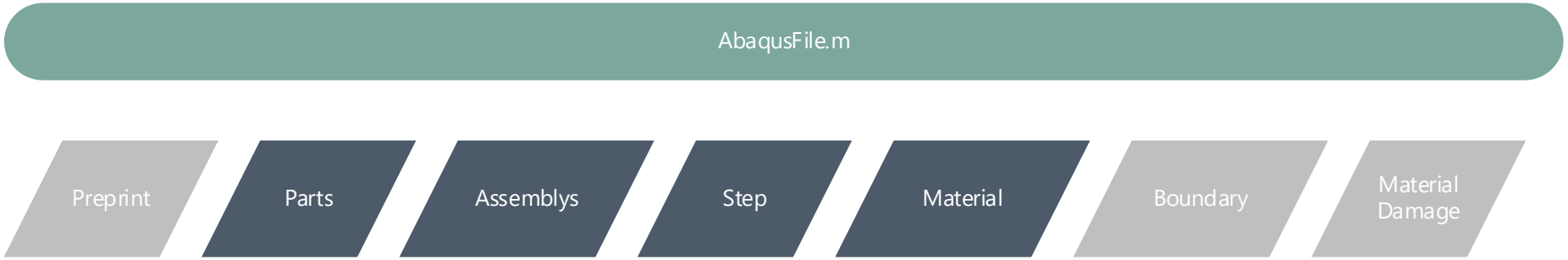


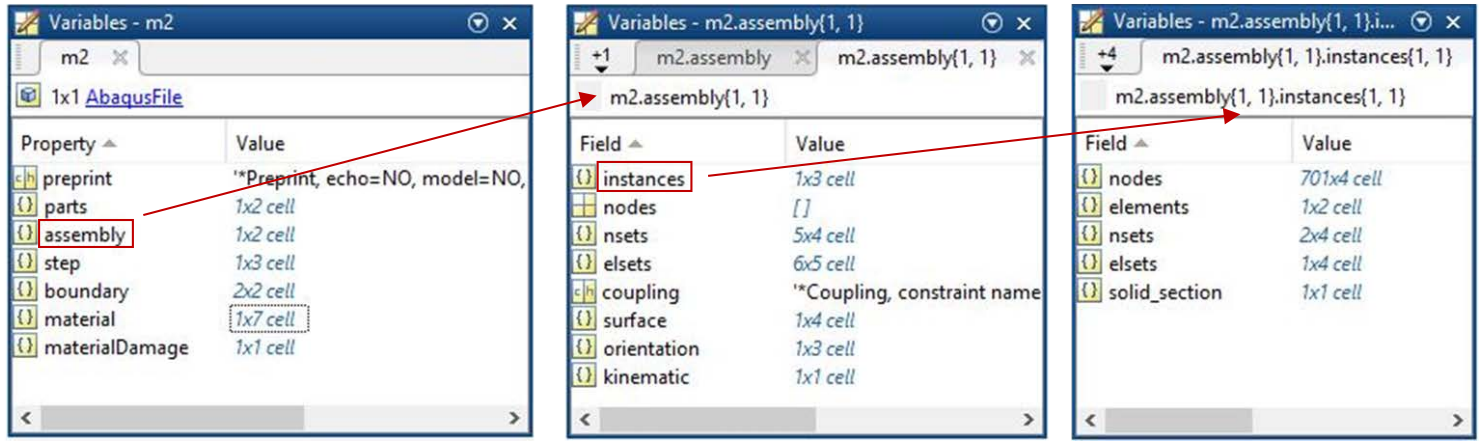
Quelle: KT2017 – Virtuelle Lebensdauerprognose von Elastomerkupplungen

Informationstechnische Umsetzung

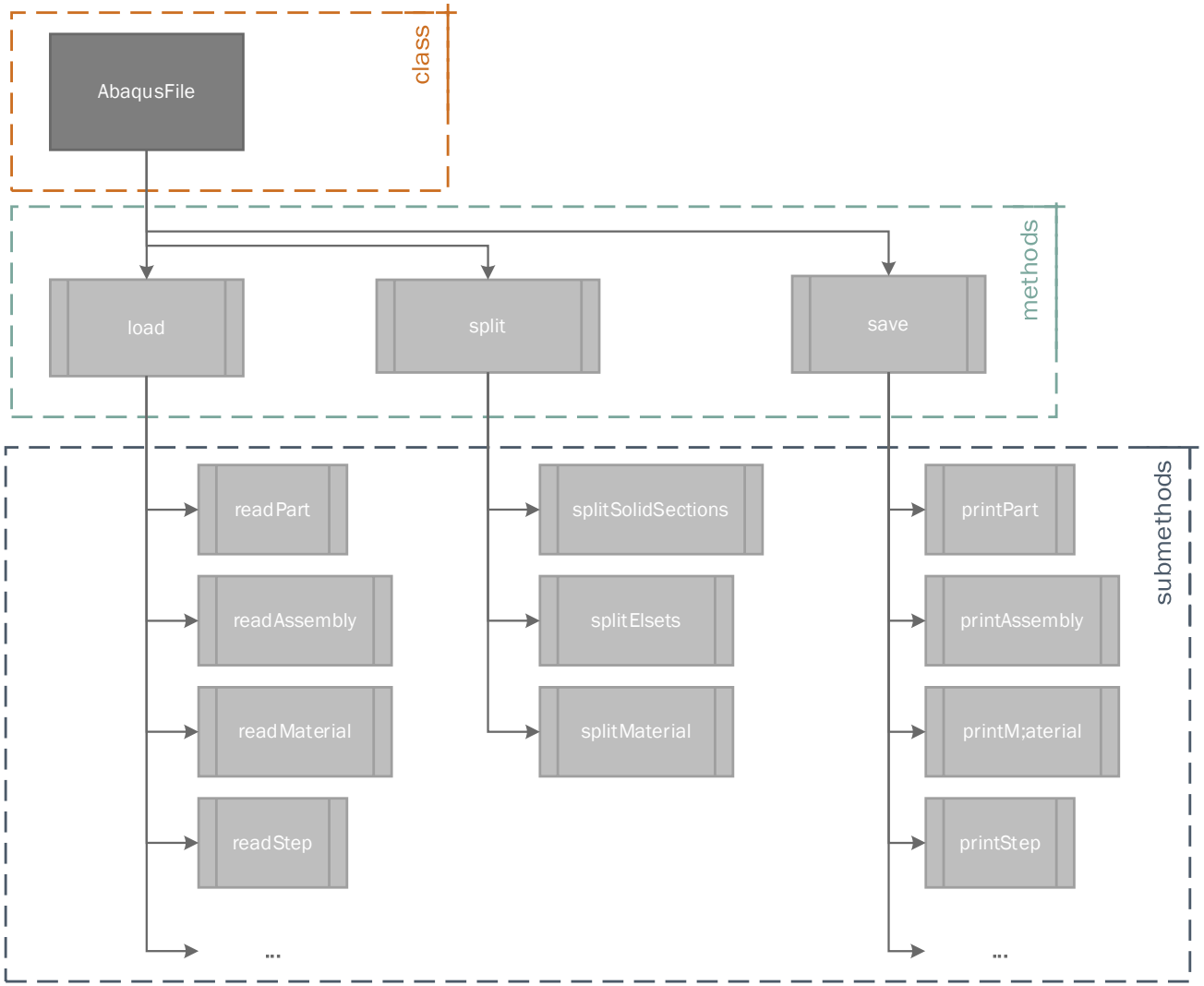


Interpretation des Input-Files in Matlab





Klassen- und Methodendefinition



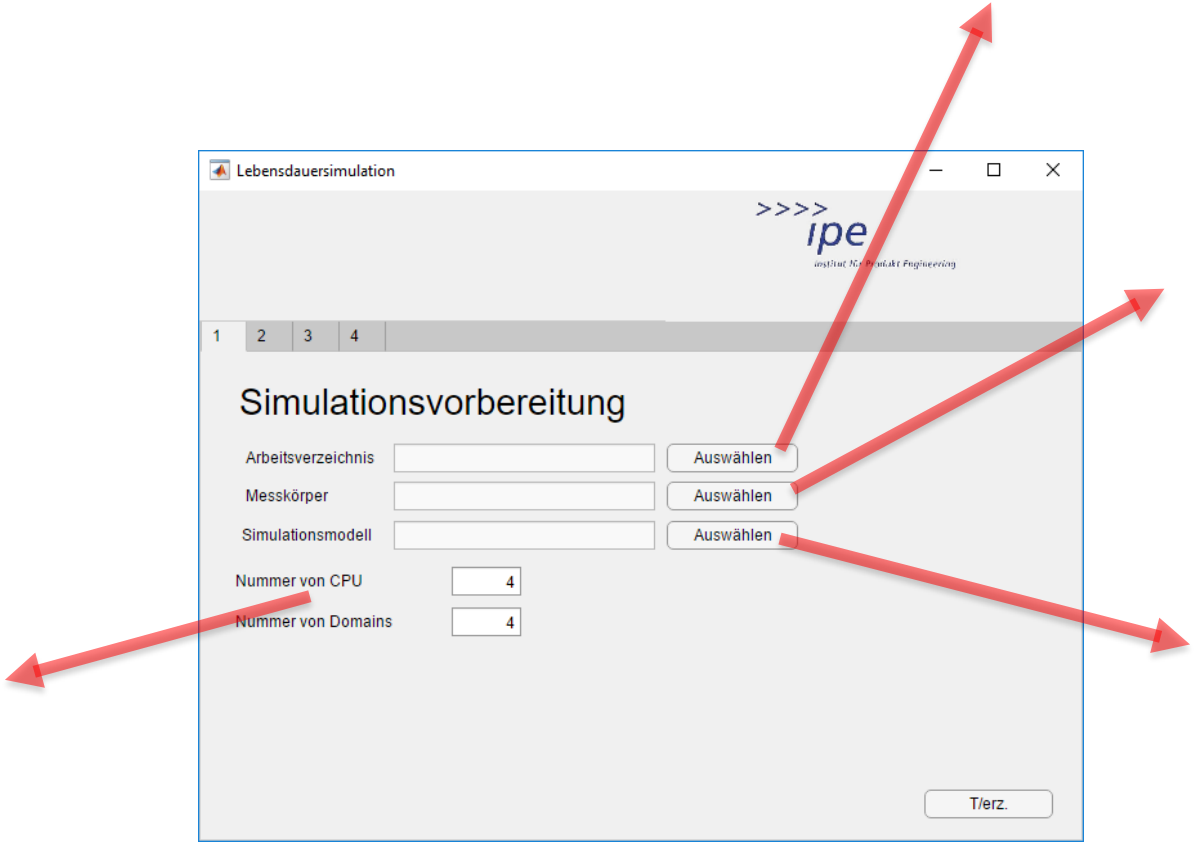
Prototyp Lebensdauersimulation

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Open-Minded

Simulationsvorbereitung

- Einlesen von Kalibrierdaten (Messkörper)
- Einlesen des Simulationsmodells
- Einstellung von Rechenparametern
- Methoden: load&split
- Einführen von Elementsets



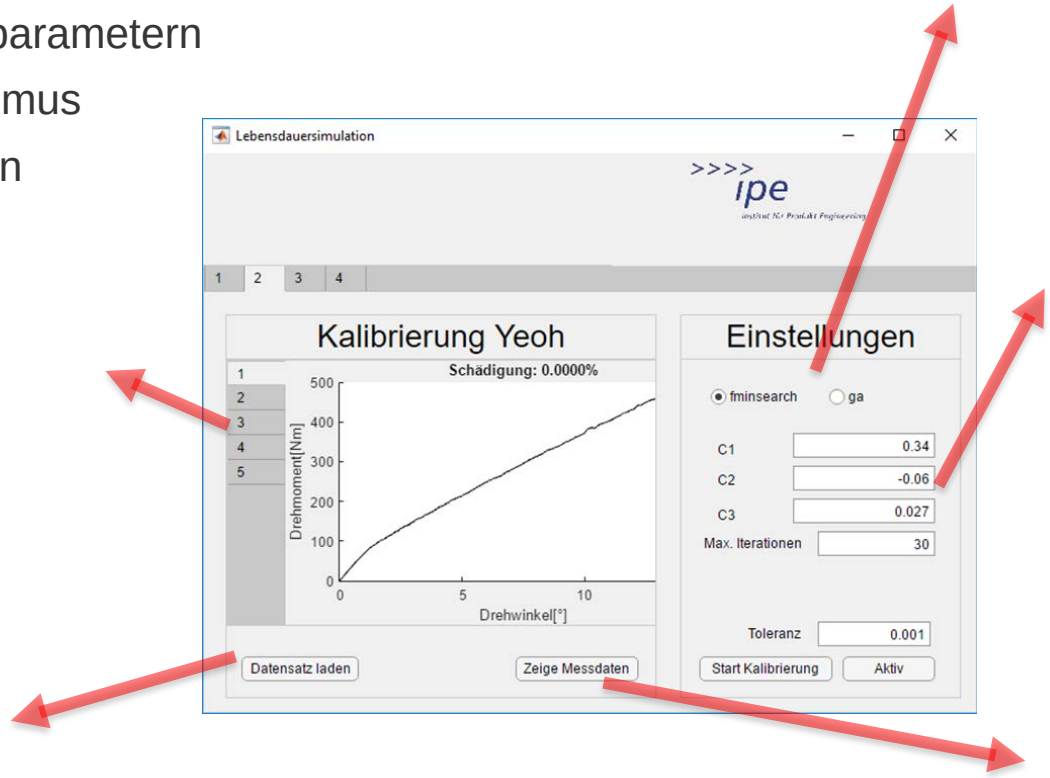
Prototyp Lebensdauersimulation

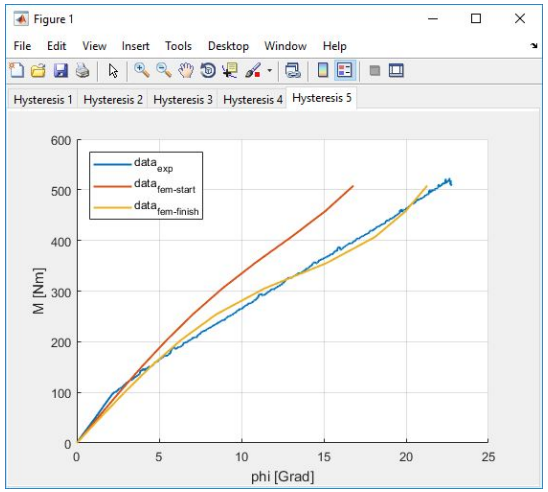
UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

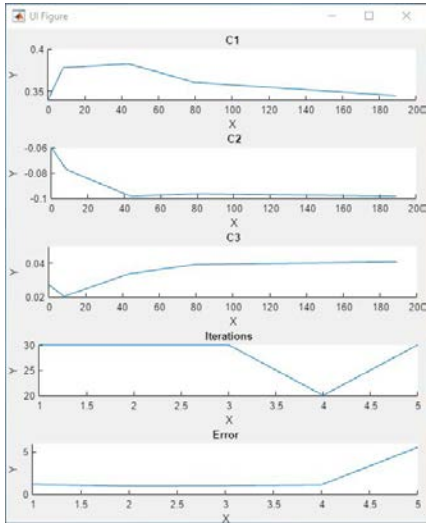
Open-Minded

Materialkalibrierung

- Einlesen der Datensätze
- Festlegen von Initialparametern
- Auswahl des Algorithmus
- Anzahl der Iterationen





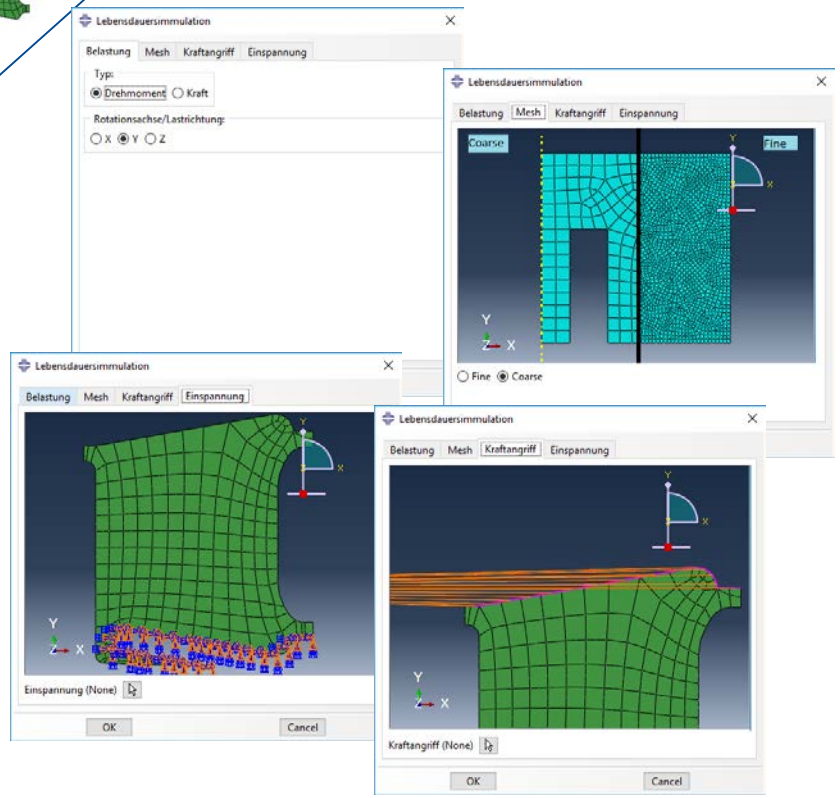


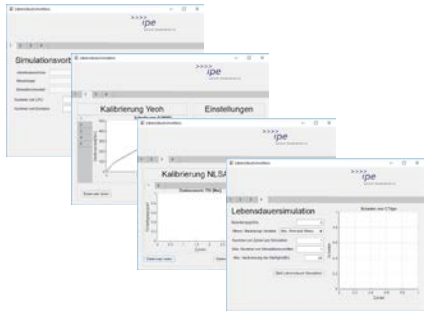
Prozessunterstützung

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Open-Minded

CAD | PRE | LIFETIME SIMULATION | RESULTS

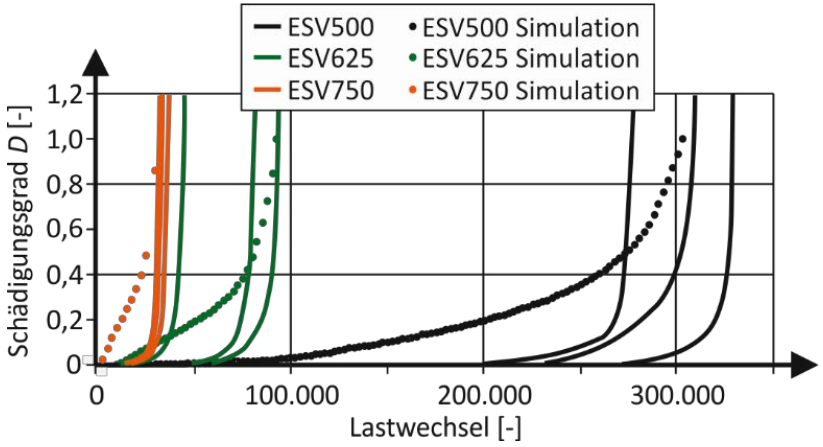




Validierung

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Open-Minded

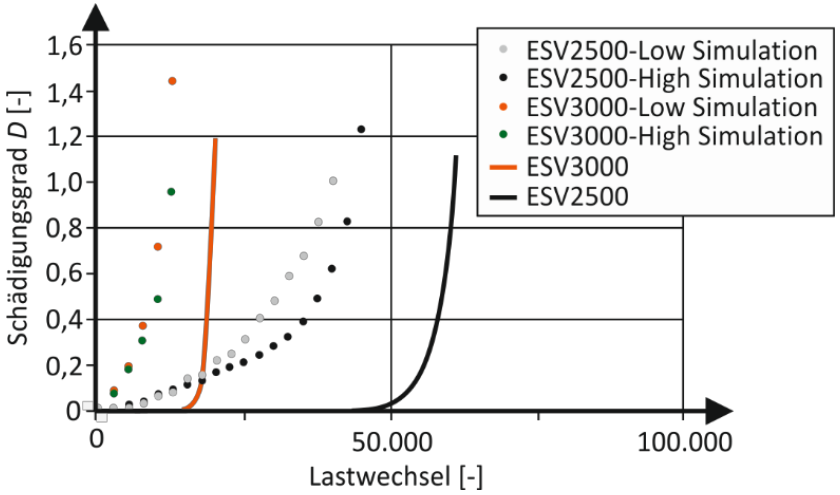
Kupplung L-2115



Kalibriermodell

- Sehr gute Prognoseergebnisse bei Verwendung des Kalibriermodells für unterschiedliche Belastungsgrößen

Kupplung L-3415



Abweichendes Modell

- Überprüfung der Übertragbarkeit auf andere Größe
- Prognoseergebnisse in brauchbarer Näherung
- Konservativ ausfallende Lebensdauern

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Open-Minded

Robin Pluhnau, M. Sc.
robin.pluhnau@uni-due.de

Universität Duisburg-Essen
Lehrstuhl für Produktentstehungsprozesse und Datenmanagement
www.uni-due.de/cae

Lotharstr. 1
47057 Duisburg