PCCL
Polymer Competence Center Leoben

Nichtlinear viskoelastische Modellierung von Thermoplasten

4a Technologietag 2012

D. Tscharnuter[1], S. Gastl[1], G. Pinter [2]

[1] Polymer Competence Center Leoben GmbH, Österreich
[2] Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe, Montanuniversität Leoben, Österreich

COMET
Competence Centers for Excellent Technologies

Inhalt

Ziel: Modellierung von nichtlinear-viskoelastischem Verhalten für allgemeine Spannungszustände mit Berücksichtigung der Druckabhängigkeit.

Experimentell: Zeit- und lastabhängige mechanische Charakterisierung

Theoretisch: Modellbestimmung und Simulation

Inhalt

Experimentelles

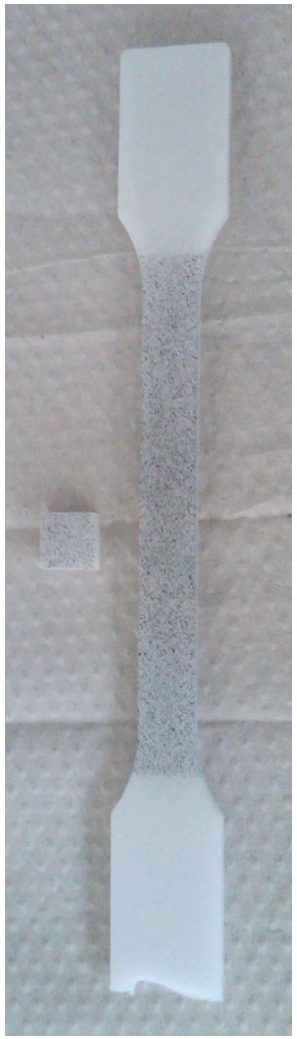
Schaperymodell

- Parameterbestimmung
- Validierung
- FEM Simulation

Ausblick

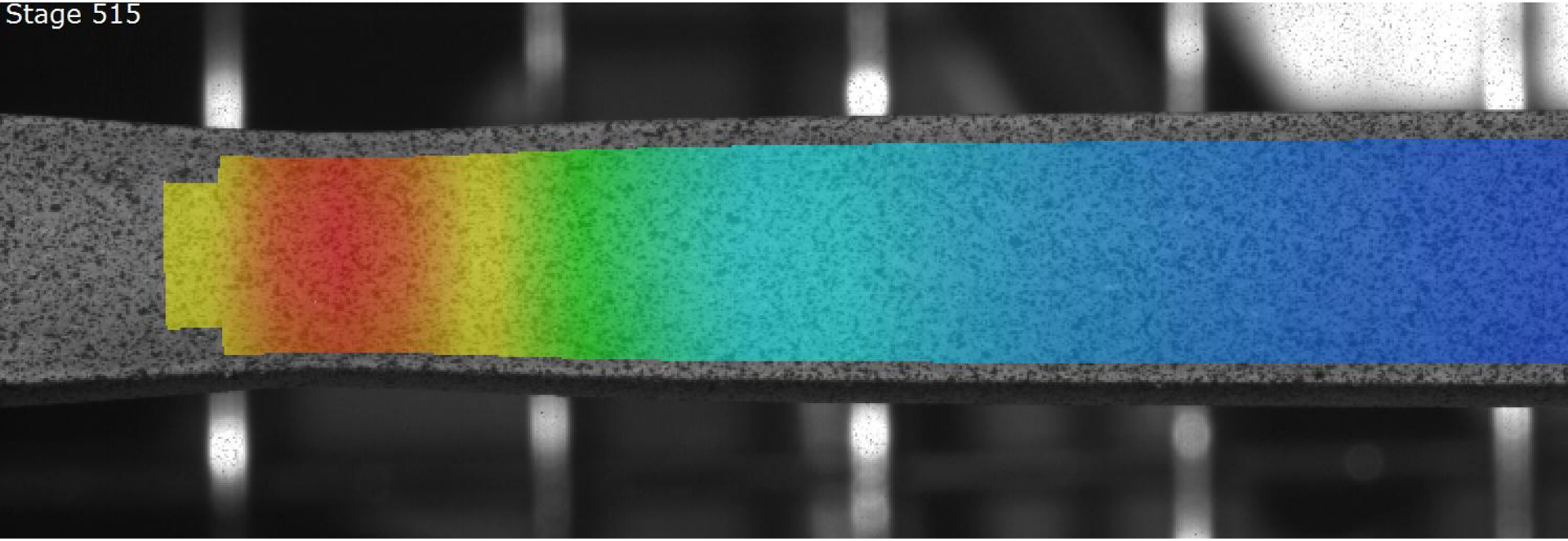
Mechanische Charakterisierung

- **Material**
  Polyoxymethylen
- **Proben**
  ISO 3167, multipurpose
- **Prüfbedingungen**
  - **23°C**
  - **Verschiedene Lastarten**

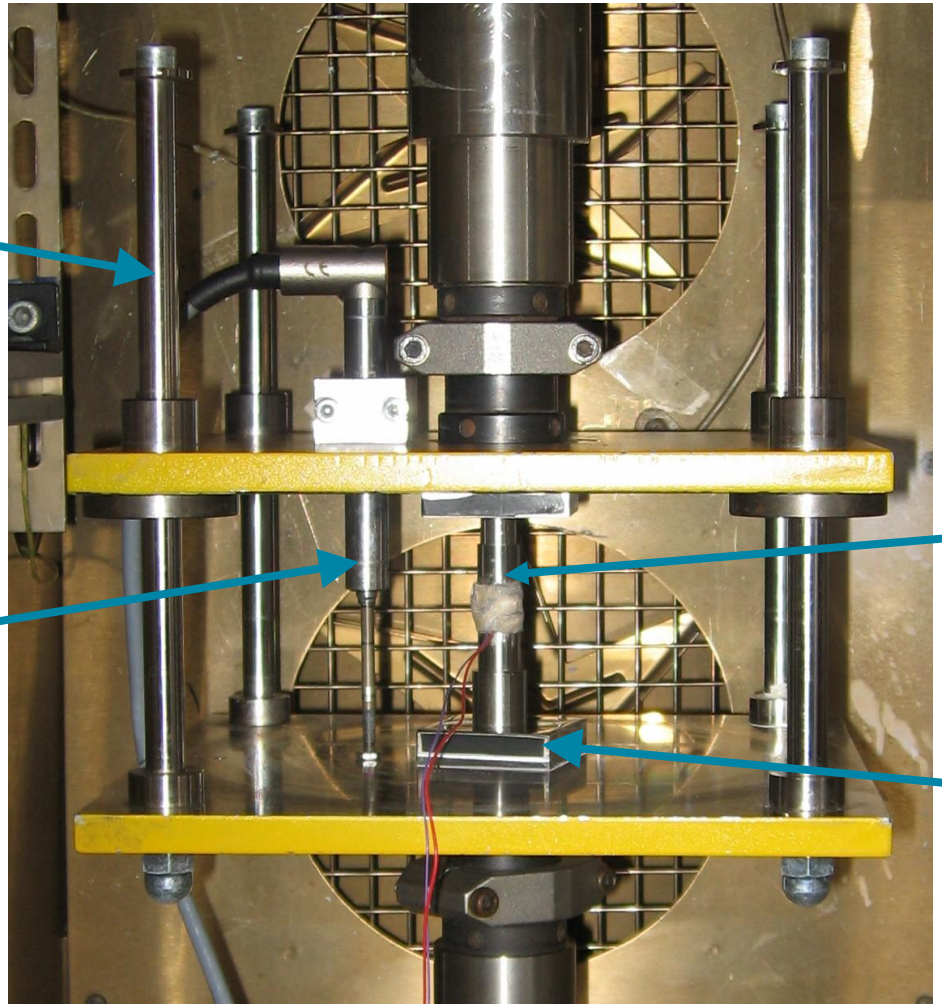


Experimentelles
Optische Dehnungsmessung

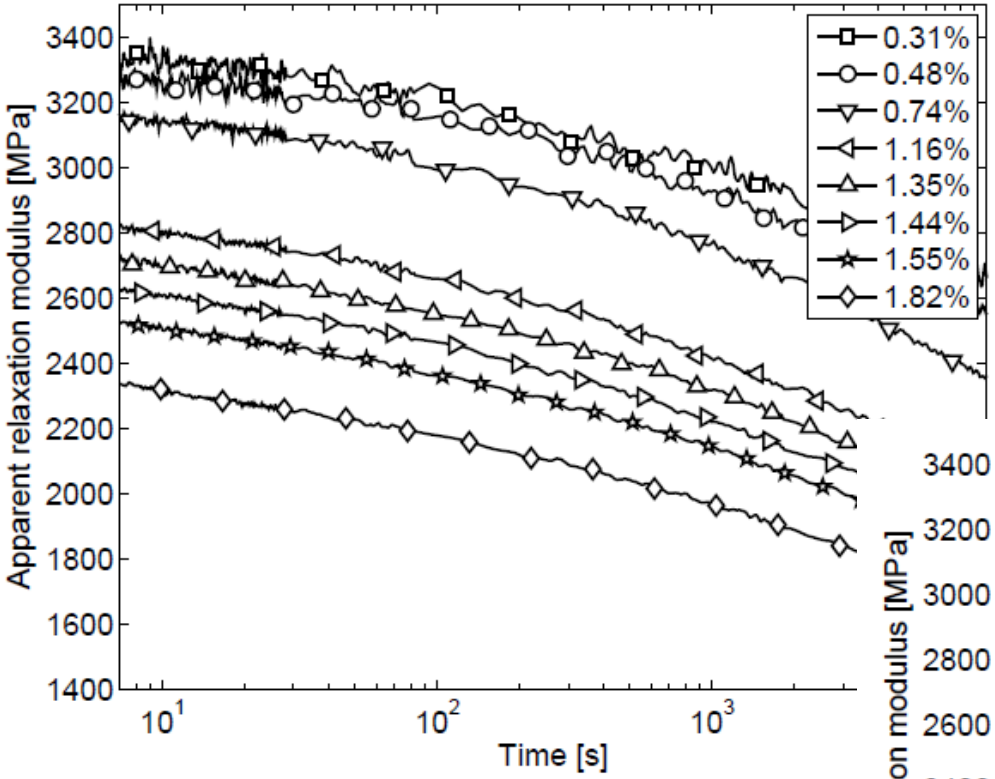
Proben werden mit Punktmuster besprüht. Das Dehnungsfeld wird aus der Deformation des Punktmusters berechnet.

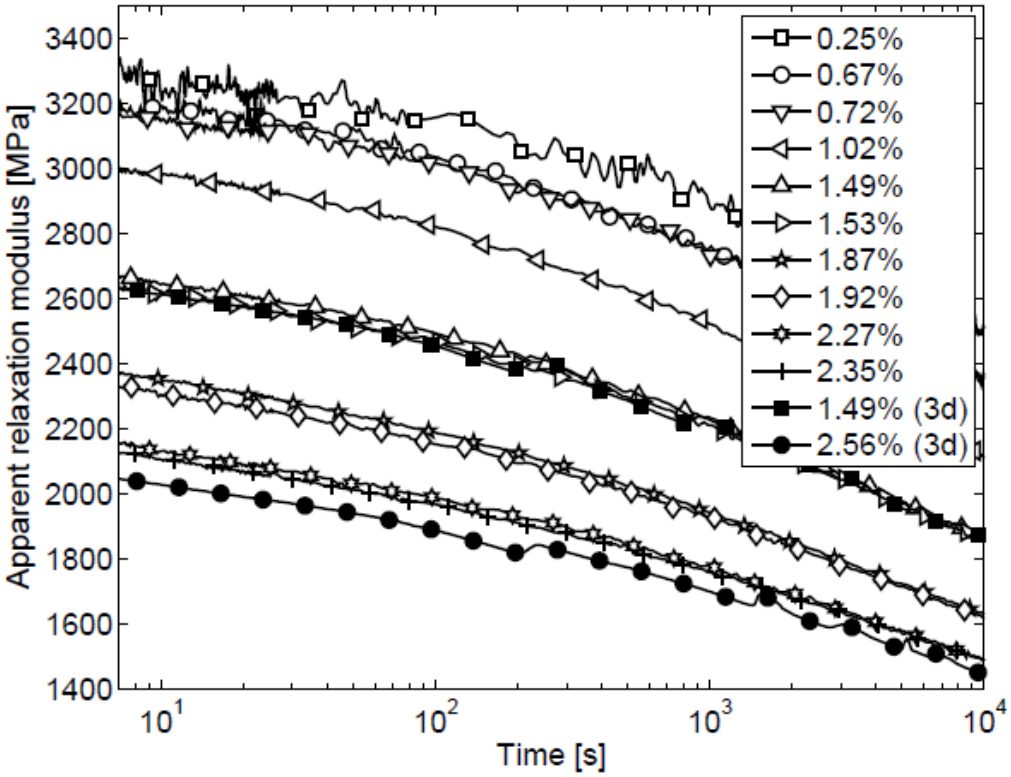


Experimentelles
Druckprüfung



Modellierung
Relaxationsmodul





Lineare Viskoelastizität

$$\varepsilon(t) = D_0\sigma(t) + \int_0^t \Delta D(t-\tau)\frac{\partial\sigma(\tau)}{\partial\tau}d\tau$$

Schaperymodell

$$\varepsilon(t) = g_0 D_0\sigma(t) + g_1\int_0^t \Delta D(\varphi(t)-\varphi(\tau))\frac{\partial g_2\sigma(\tau)}{\partial\tau}d\tau$$

$$\varphi(t) = \int_0^t \frac{1}{a(\sigma(s))}ds$$

g_0, g_1, g_2, a … nichtlinearisierende Funktionen

3D-Modell

$$\varepsilon_i(t) = g_0 D_{ij}\sigma_j(t) + g_{1,ij}\int_0^t \Delta D_{jk}(\psi(t)-\psi(\tau))\frac{d g_2\sigma_k}{d\tau}\,d\tau$$

Zeitabhängige Nachgiebigkeit als Prony-Reihe:

$$\Delta D_{jk}(t) = \sum_m D_{jk}^{(m)} e^{-t\,\lambda_m}$$

Berücksichtigung von Materialsymmetrien

- Orthotropie
- Isotropie

$$\frac{1}{E_m}\begin{pmatrix} 1 & -\nu_m & -\nu_m & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_m & 1 & -\nu_m & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_m & -\nu_m & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu_m) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu_m) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu_m) \end{pmatrix}$$

Nichtlinear elastischer Anteil

$$\boldsymbol{\varepsilon}(t) = g_0(\boldsymbol{\sigma})\,\mathbf{D} : \boldsymbol{\sigma}(t)$$

$\mathbf{D}$ … Nachgiebigkeitstensor

Mit $g_0 = 1$: linear elastisches Verhalten

Hooke'sches Gesetz, isotrop:

$$\frac{1}{E_m}\begin{pmatrix} 1 & -\nu_m & -\nu_m & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_m & 1 & -\nu_m & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_m & -\nu_m & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu_m) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu_m) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu_m) \end{pmatrix}$$

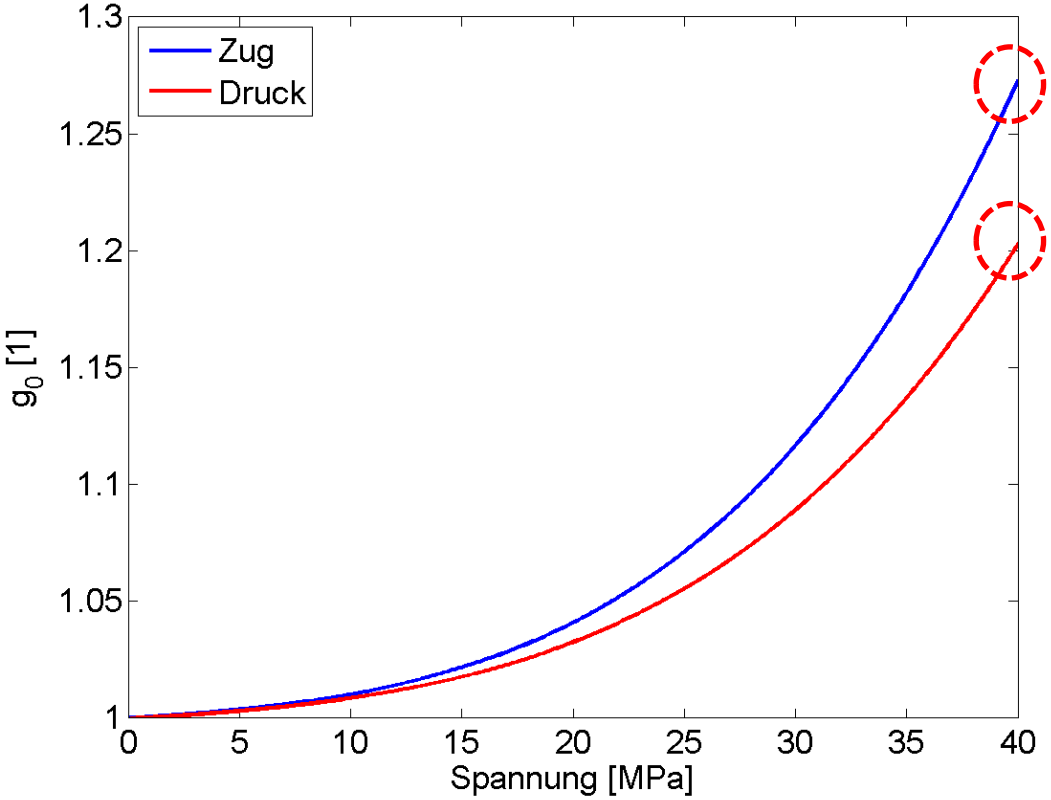
Nichtlinear elastischer Anteil

$$\boldsymbol{\varepsilon}(t) = g_0(\boldsymbol{\sigma})\,\mathbf{D} : \boldsymbol{\sigma}(t)$$

$$g_0 = g_0\left(\alpha\, \mathrm{I}_1 + \sqrt{\mathrm{J}_2}\right)$$

I_1… 1. Invariante des Spannungstensors (≙ hydrostatischem Druck)

J_2… 2. Invariante des Spannungsdeviators

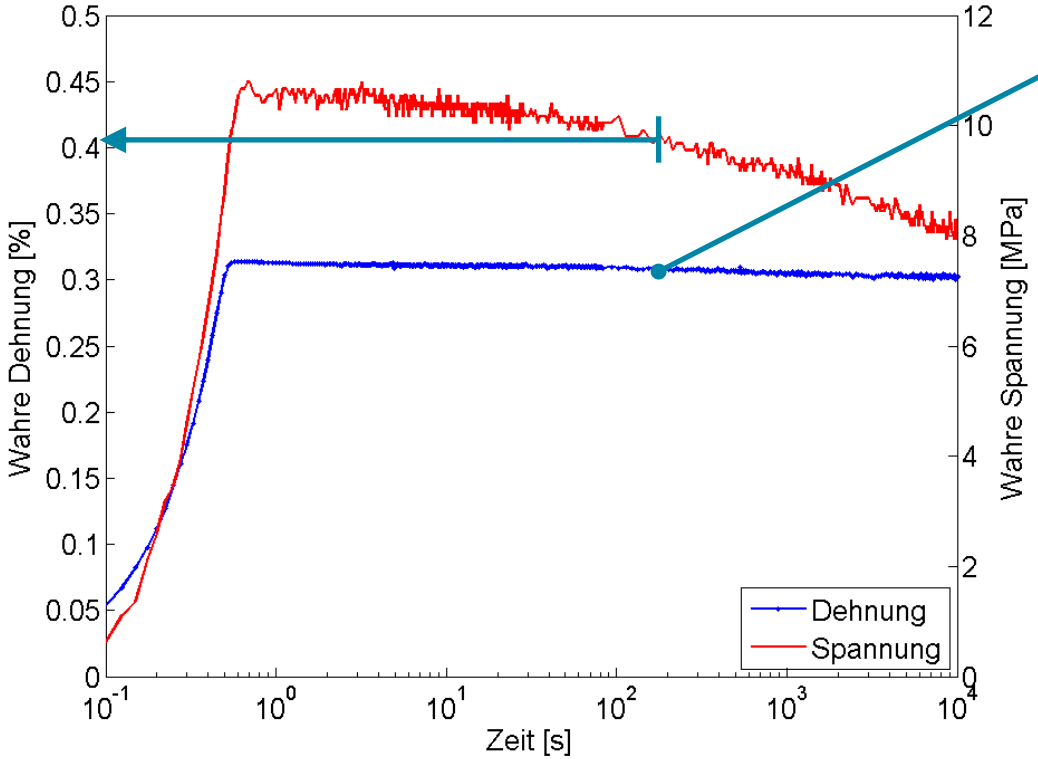


40 MPa Zug: Nachgiebigkeit +27%

40 MPa Druck: Nachgiebigkeit +20%

Optimierung der Parameter: Möglichst geringe Abweichung zwischen Modell und Experiment

$$\mathrm{E} = \sum_m \sum_n \sum_i \left(\varepsilon_i^M(t^n|x_1, x_2, \ldots) - \varepsilon_i^E(t^n)\right)^2$$



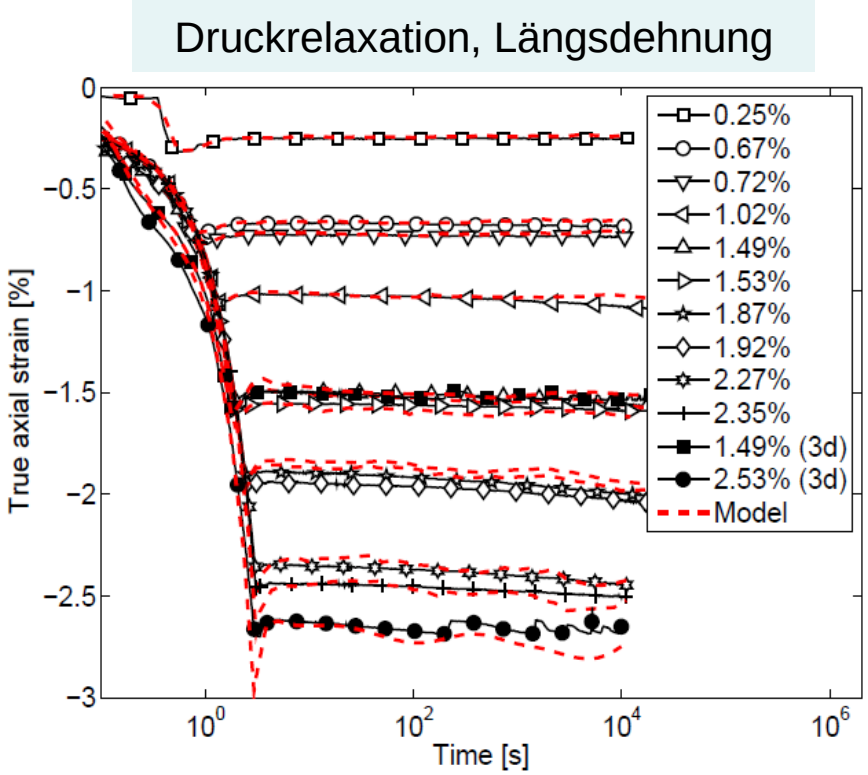
Experimentell gemessener Wert:

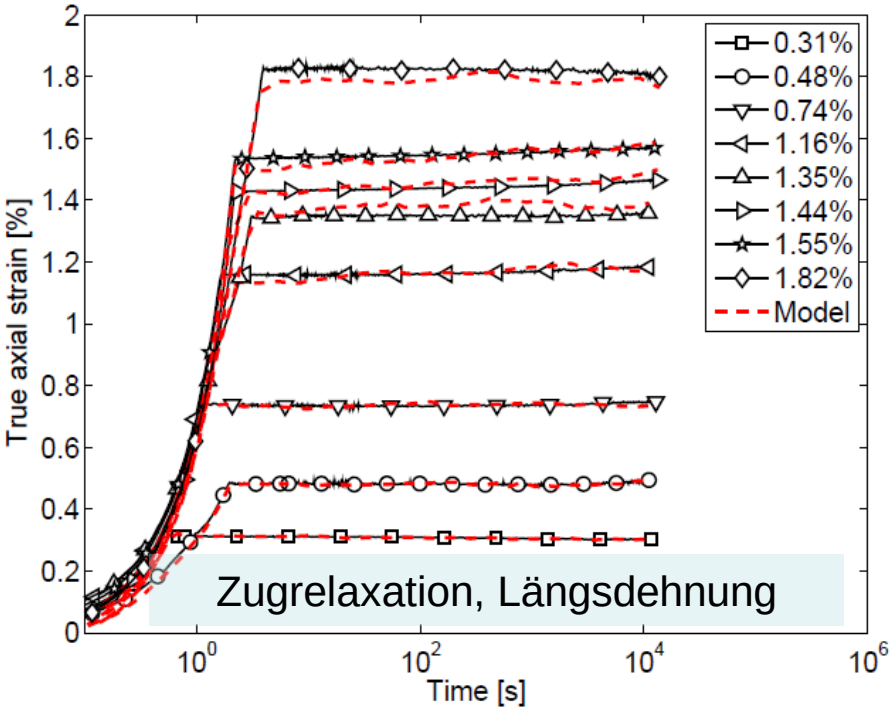
$$\varepsilon_i^E(t^n)$$

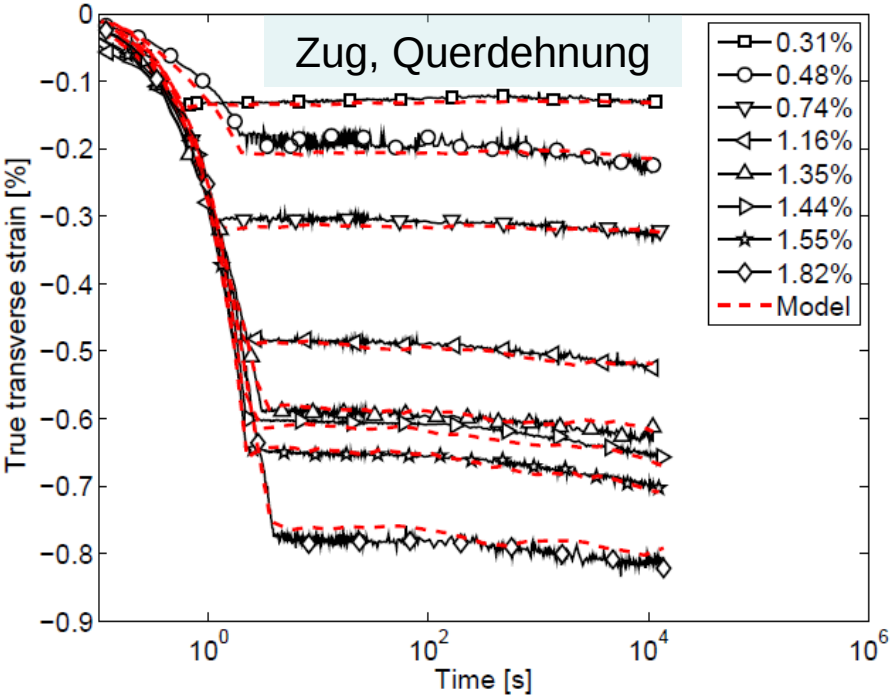
Dazugehöriges Modellergebnis:

$$\varepsilon_i^M(t^n|x_1, x_2, \ldots)$$

Modellierung
Parameterbestimmung







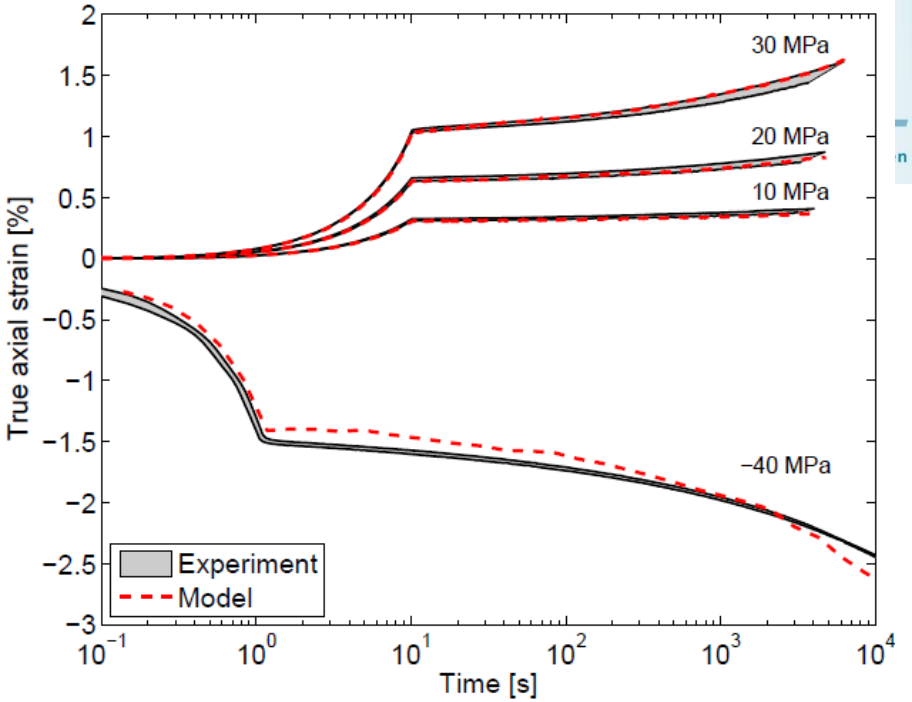
Vorhersage des Kriechverhaltens

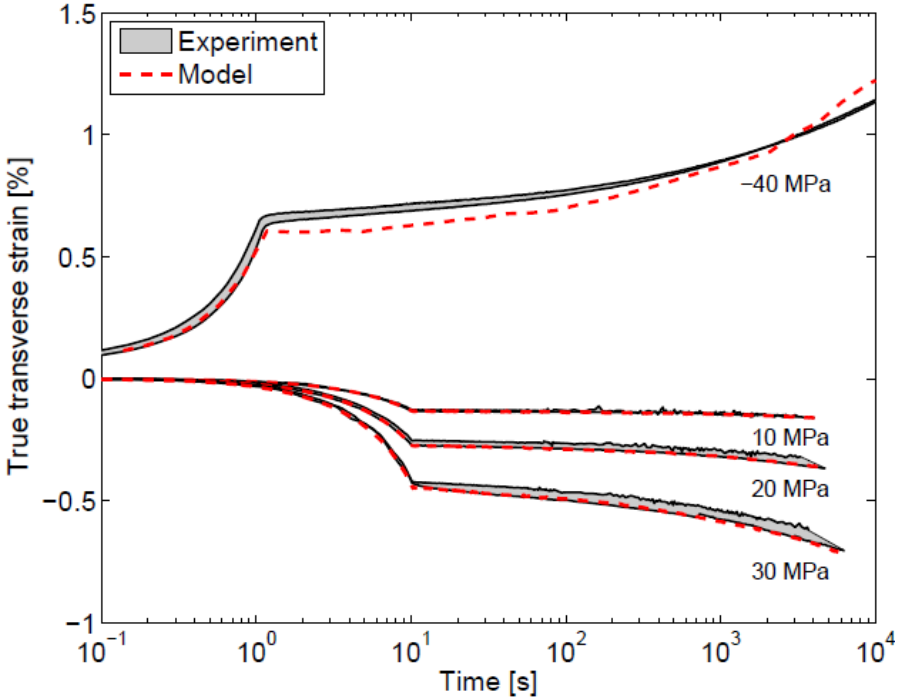
Zug:

10, 20 und 30 MPa,
Lastaufbringung in 10 s

Druck:

-40 MPa
Lastaufbringung in ~1 s

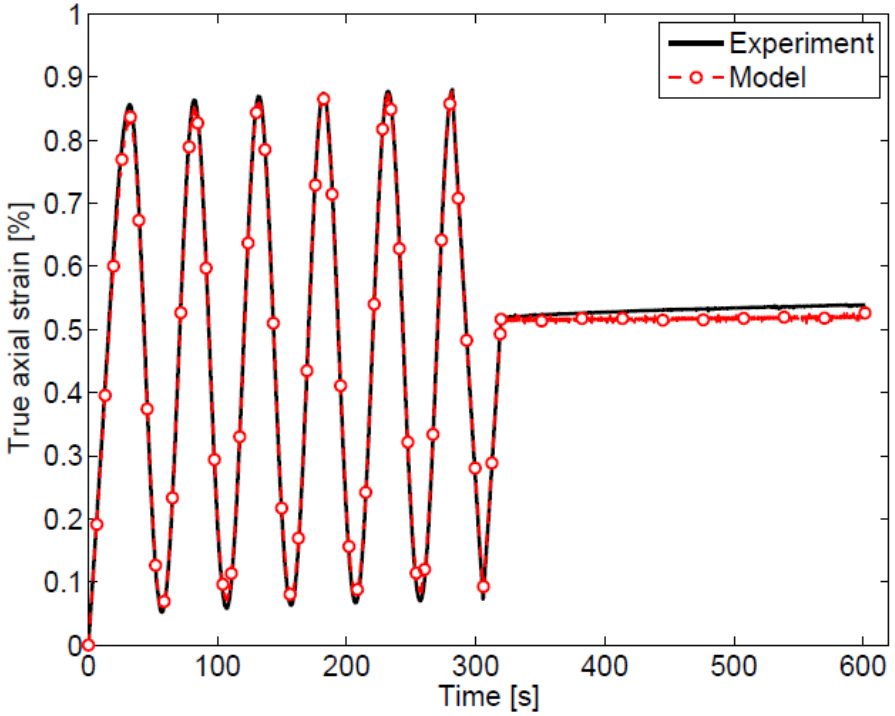


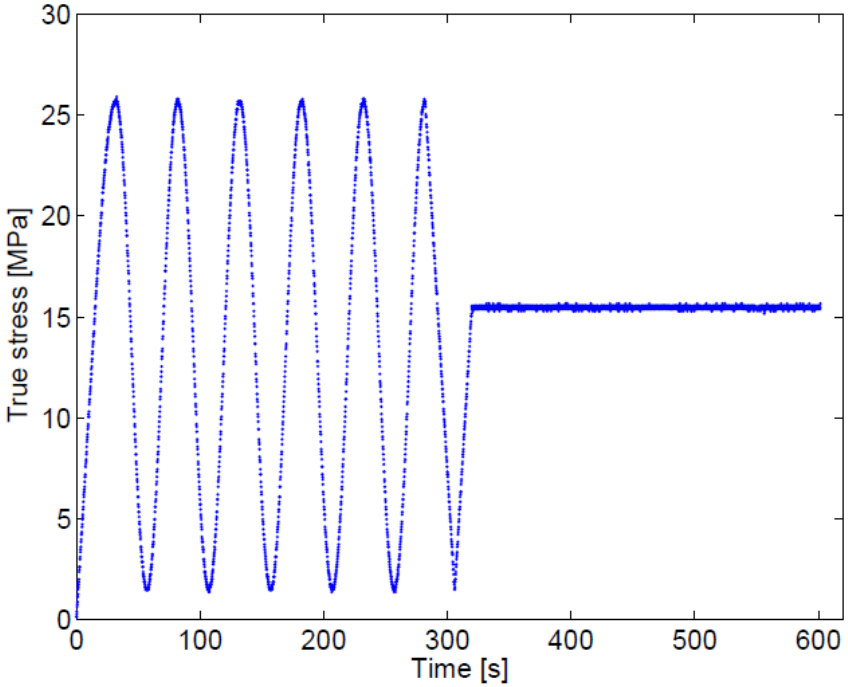


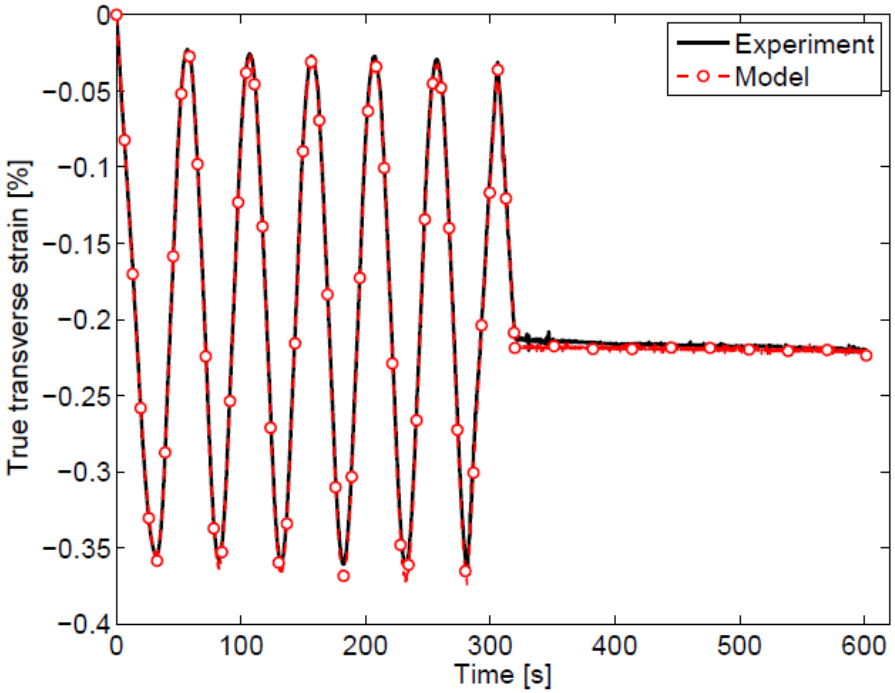
Zyklische Belastung

Kraftkontrollierte zyklische Belastung

6 Zyklen zw. 1,5 und 25 MPa,
300 s Kriechen bei 15 MPa



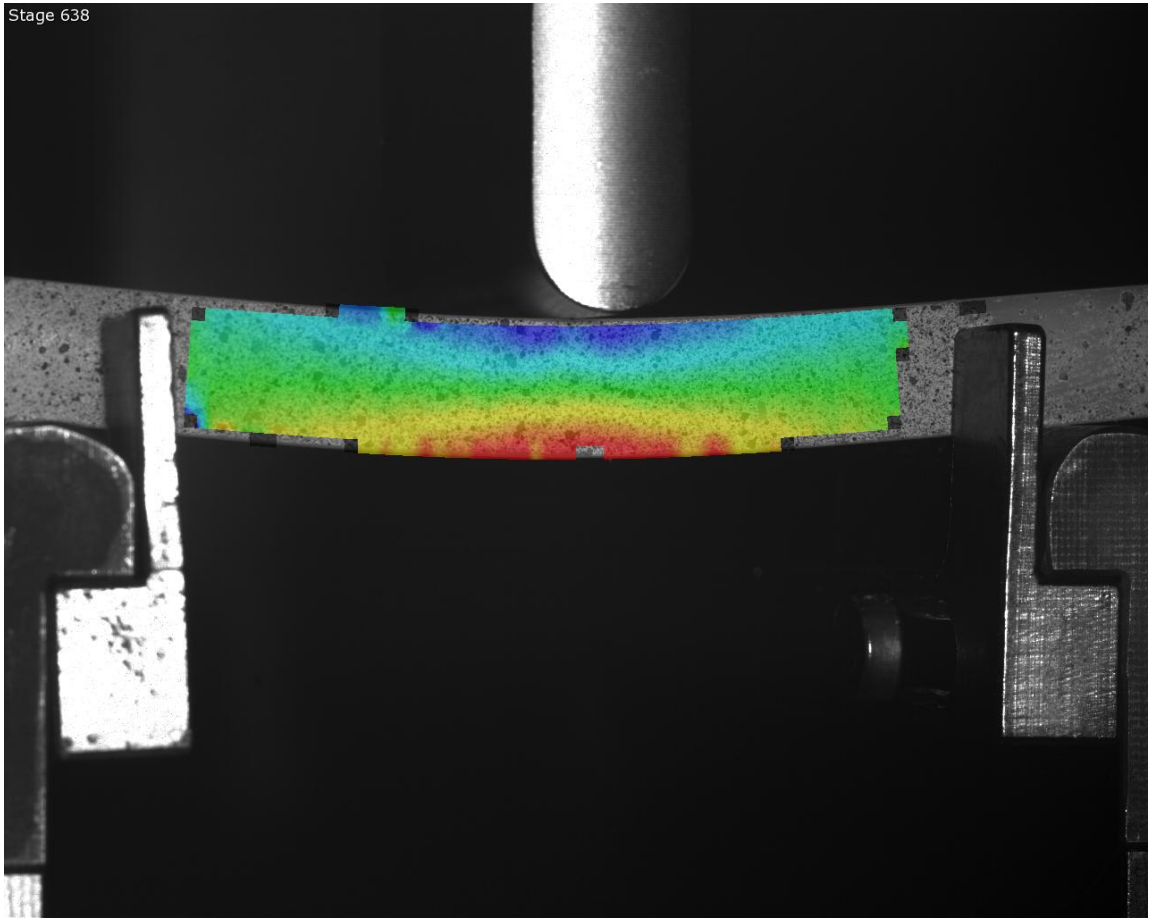




PCCL
Polymer Competence Center Leoben

Modell für Bauteilsimulationen als ABAQUS user material (UMAT) implementiert

Spannungsrelaxation in Drei-Punkt-Biegung



Drei-Punkt-Biegung:

Zug- und Druckspannungen

Nichtlineares Verhalten

PCCL
Polymer Competence Center Leoben

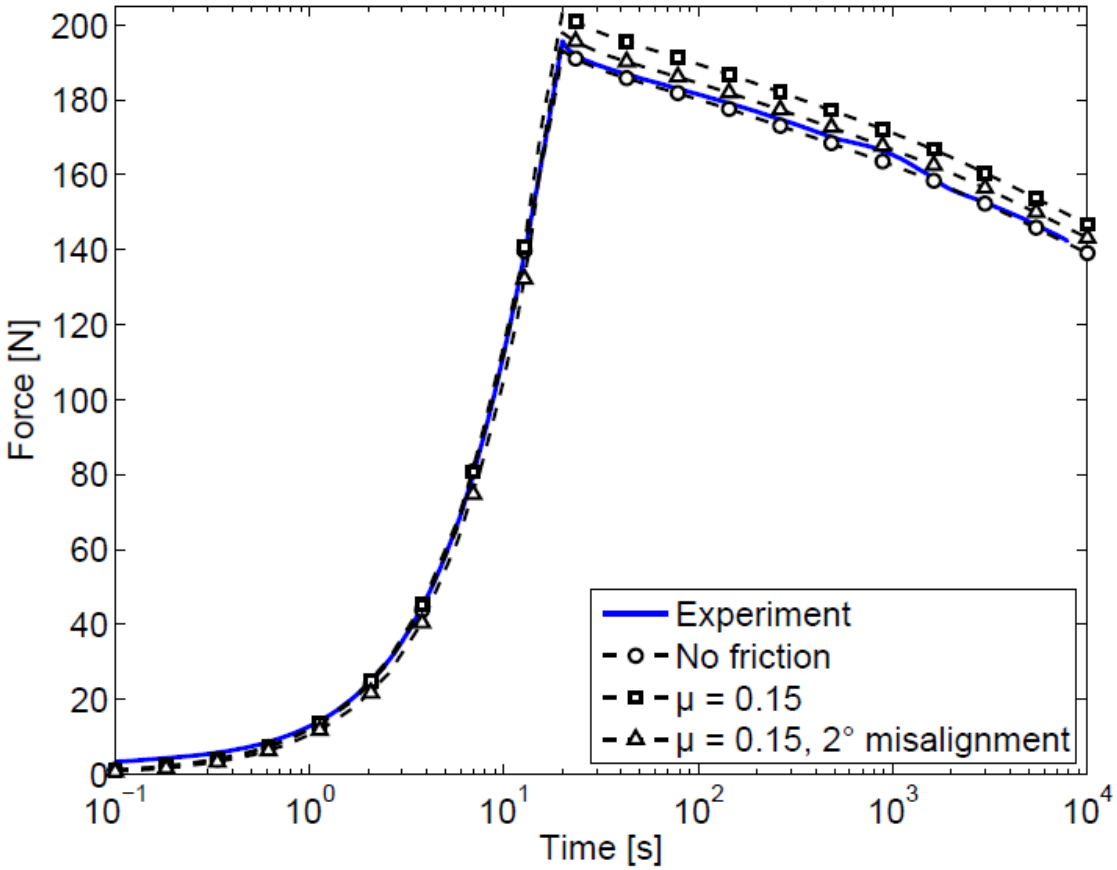
Modell für Bauteilsimulationen als ABAQUS user material (UMAT) implementiert

Spannungsrelaxation in Drei-Punkt-Biegung

Drei-Punkt-Biegung:

Zug- und Druckspannungen

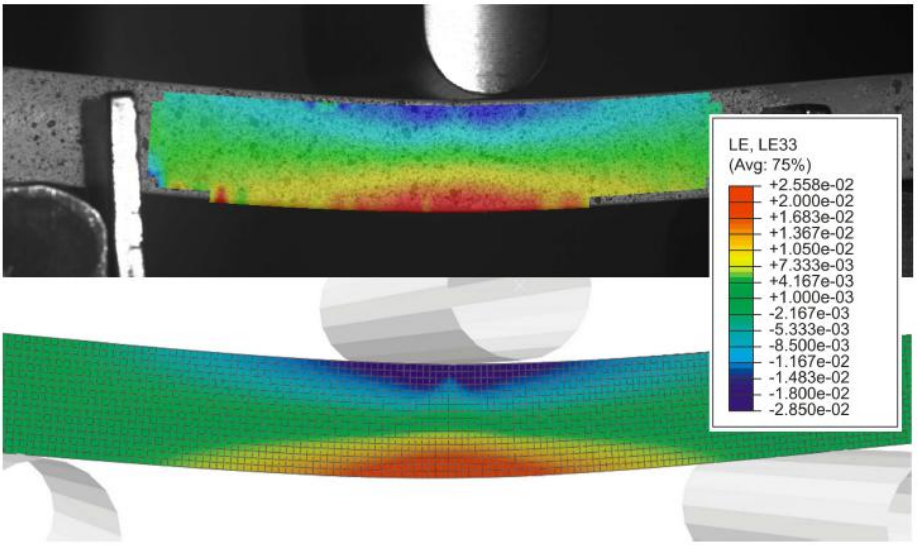
Nichtlineares Verhalten



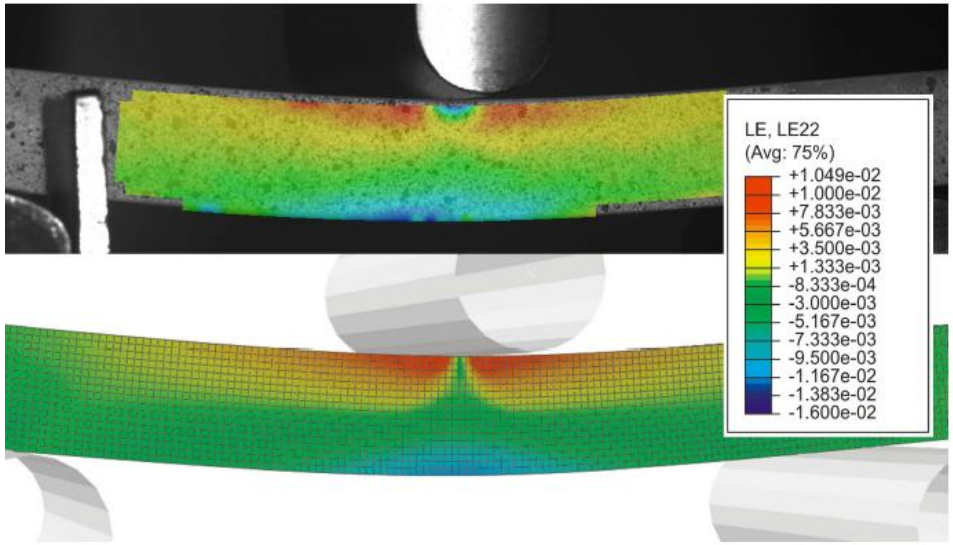
FEM-Modell des Biegeaufbaus

Vergleich optische Dehnungsmessung – FEM Simulation

horizontale Richtung



vertikale Richtung



Ausblick

Durchführung multiaxialer Versuche

- Uniaxial/Torsion, confined compression

Charakterisierung des viskoplastischen Verhaltens

- Plastizität bei Zug, Druck: Relaxation, Kriechen...

Modellierung & FEM-Implementation Viskoplastizität

Bauteilversuche und -simulationen

Acknowledgement

The research work was performed at the Polymer Competence Center Leoben GmbH (PCCL, Austria) within the framework of the COMET-program of the Austrian Ministry of Traffic, Innovation and Technology with contributions by the University of Leoben. The PCCL is funded by the Austrian Government and the State Governments of Styria and Upper Austria.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!