

Universell anwendbares Verfahren zur Bestimmung von Materialkarten für die FE-Simulation

M. Bosseler, B. Kleuter, (Parsolve GmbH, Düsseldorf)

Simulation von Werkstoffverhalten bei automobilen Anwendungen

Einleitung

Bauteilentwicklung

- Kürzere Entwicklungszeiten, Gewichtseinsparung, Kostensenkung

Erfordern: Computersimulationen statt realer Prototypen

Simulationen mit der FEM

- Realitätsnahe und robuste Berechnungsergebnisse

Erfordern: optimierte Materialkarten

Materialmodelle und zugehörige Materialdatensätze

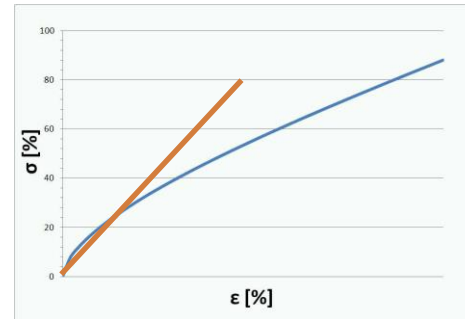
- Repräsentieren das 3D-Verhalten für den gesamten Verformungsbereich
- Ermittlung der Daten bei voller Kostenkontrolle

Erfordert: Universell anwendbares Versuchs- und Auswertekonzept

Stand der Technik

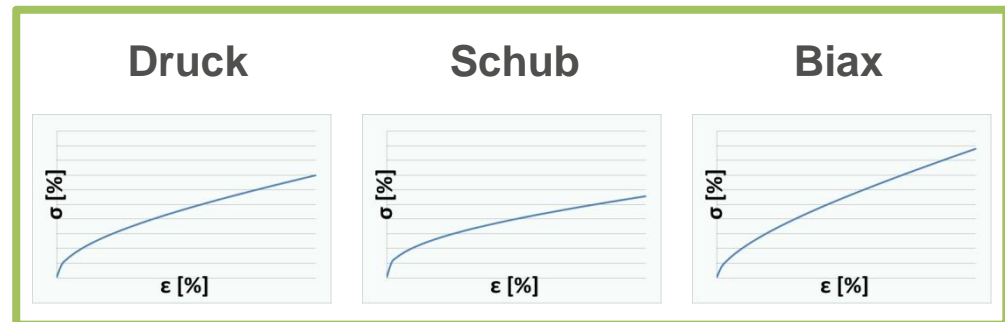
Materialdaten aus Zugversuchen

- Vereinfachte Auswertemethoden
- Stark fehlerbehaftete Simulationsergebnisse



Berücksichtigung zusätzlicher homogener Spannungszustände

- z.B. Schub, Druck, usw.
- Nichtlinearität



Einschränkungen:

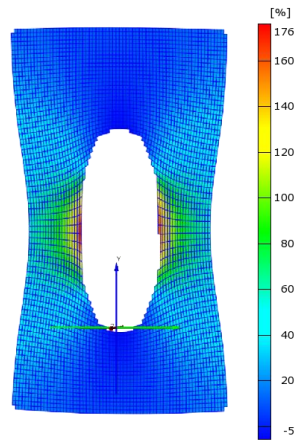
- Die Prüfung einzelner homogener Spannungszustände ist aufwändig und je nach Versuchsart im Bereich großer Verformungen nicht möglich.
- Serielle Prüfung und Auswertung kann zu inkonsistenten Ergebnissen führen

Bauteilnahes Prüfungskonzept

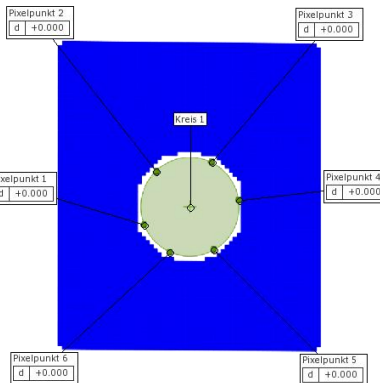
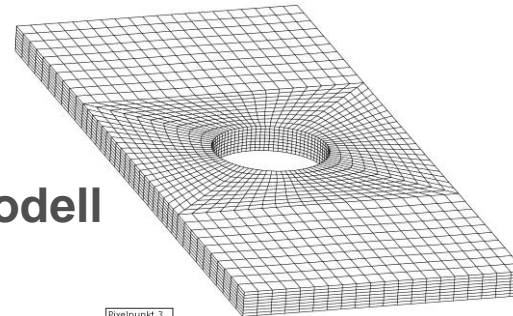
- Probekörpergeometrie verursacht mehrachsigen Spannungszustand
- Auswertung eines ganzen Messfeldes auf der Oberfläche



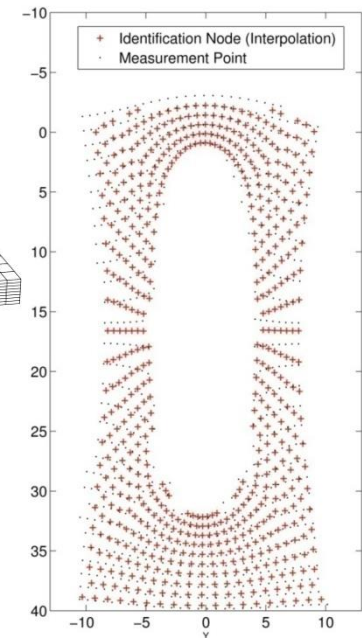
Optische Erfassung



FE-Modell

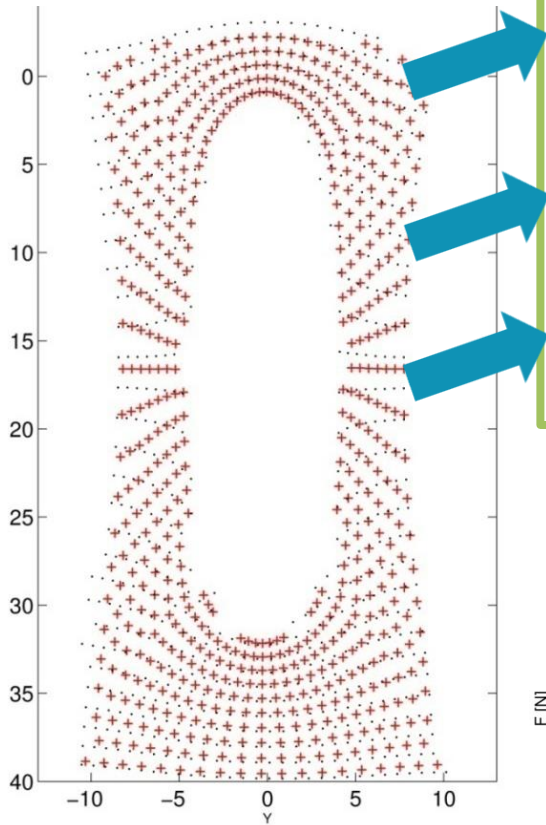
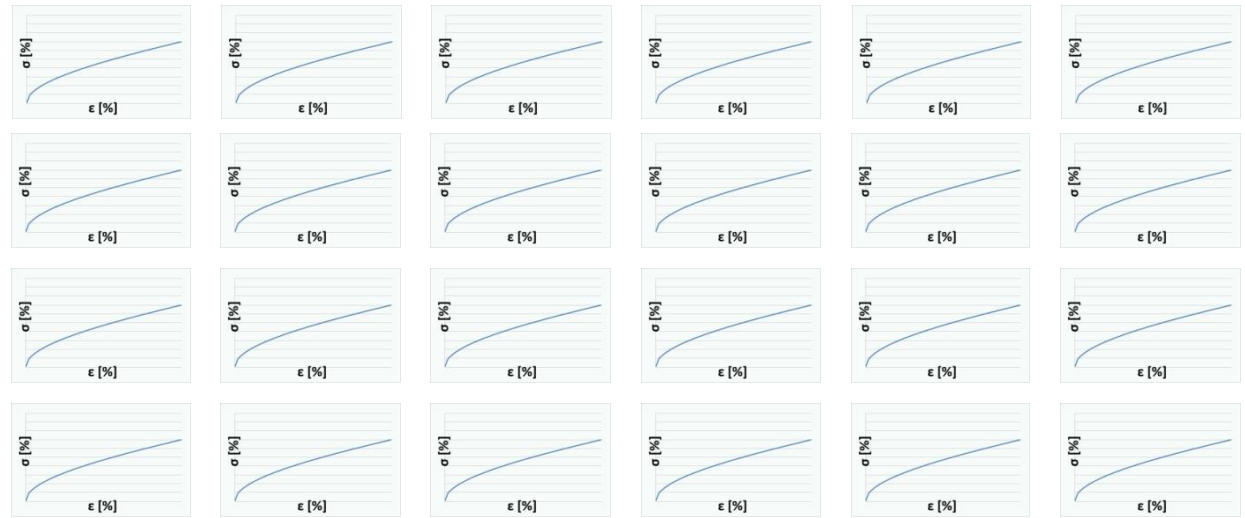


KO-Transformation

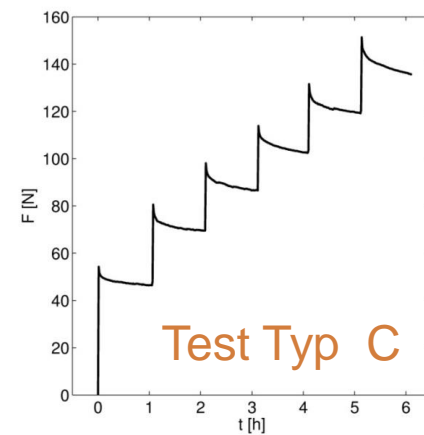
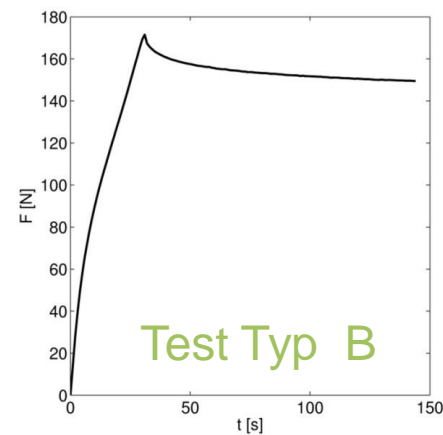
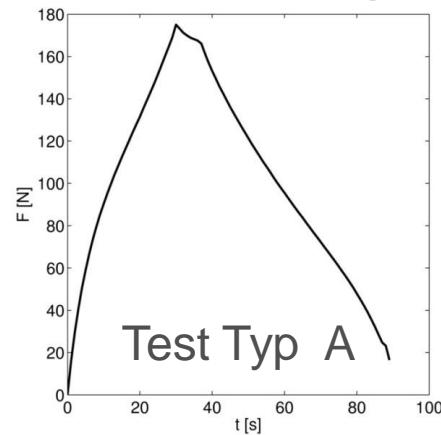


Interpolation

Hunderte von Lastkombinationen an einem PK



Zusätzlich möglich: Variation von Dehnrates und/oder Temperatur



Optimierungsalgorithmus

1. Vergleich gemessener und simulierter 2D- oder 3D-Verschiebungsfelder für jeden Lastschritt
2. Bestimmung des optimalen Materialdatensatzes mittels Minimierung der Fehlerquadratsumme
3. Berücksichtigung unterschiedlicher Testtypen und/oder Probegeometrien innerhalb einer Optimierungsroutine
4. Gleichzeitige Ermittlung des kompletten Materialdatensatzes

$$\begin{aligned}
 f(\kappa) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{T_A} \left[\bar{\mathbf{u}}_{ij}(\kappa) - \bar{\mathbf{u}}_{ij}^{\text{exp}} \right]^2 \\
 &\quad \text{Einzelversuch} \\
 &\quad \longrightarrow \\
 f(\kappa) &= \frac{1}{2} \left[\underbrace{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{T_A} \left[\mathbf{W}_{ij} \cdot \left[\bar{\mathbf{u}}_{ij}(\kappa) - \bar{\mathbf{u}}_{ij}^{\text{exp}} \right] \right]^2}_A \right. \\
 &\quad \left. + \underbrace{\sum_{i=1}^{N_B} \sum_{j=1}^{T_B} \left[\mathbf{W}_{ij} \cdot \left[\bar{\mathbf{u}}_{ij}(\kappa) - \bar{\mathbf{u}}_{ij}^{\text{exp}} \right] \right]^2}_B + \underbrace{\sum_{i=1}^{N_C} \sum_{j=1}^{T_C} \left[\mathbf{W}_{ij} \cdot \left[\bar{\mathbf{u}}_{ij}(\kappa) - \bar{\mathbf{u}}_{ij}^{\text{exp}} \right] \right]^2}_C \right]
 \end{aligned}$$



Projektbeispiel Viskoelastizität

- Siehe z.B. Abaqus (time domain viscoelasticity), Pamcrash (Mat 38)
- Elastic response: Ogden Model

$$\psi^{\text{OG}} = \sum_{i=1}^M \frac{2\mu_i}{\alpha_i} \left(\hat{\lambda}_1^{\alpha_i} + \hat{\lambda}_2^{\alpha_i} + \hat{\lambda}_3^{\alpha_i} - 3 \right) + \sum_{i=1}^M \frac{1}{D_i} [J-1]^{2i}$$

- Prony series: shear and bulk relaxation

$$g(t) = 1 - \sum_{j=1}^N g_j \left[1 - \exp(-t / \tau_j) \right] \quad g_j = G_j / G^0$$

$$k(t) = 1 - \sum_{j=1}^N k_j \left[1 - \exp(-t / \tau_j) \right] \quad k_j = K_j / K^0$$

- Relaxation coefficients for Ogden material

$$\mu_i^R(t) = \mu_i^0 \left[1 - \sum_{j=1}^N g_j \left[1 - \exp(-t / \tau_j) \right] \right] \quad D_i^R(t) = D_i^0 \left[1 - \sum_{j=1}^N k_j \left[1 - \exp(-t / \tau_j) \right] \right]$$



Modellidentifikation

- **Hier:** Anzahl an Ogden Termen: **M=1**

Parameter	Einheit
mu1	[MPa]
alpha1	[-]
D1	[1/MPa]

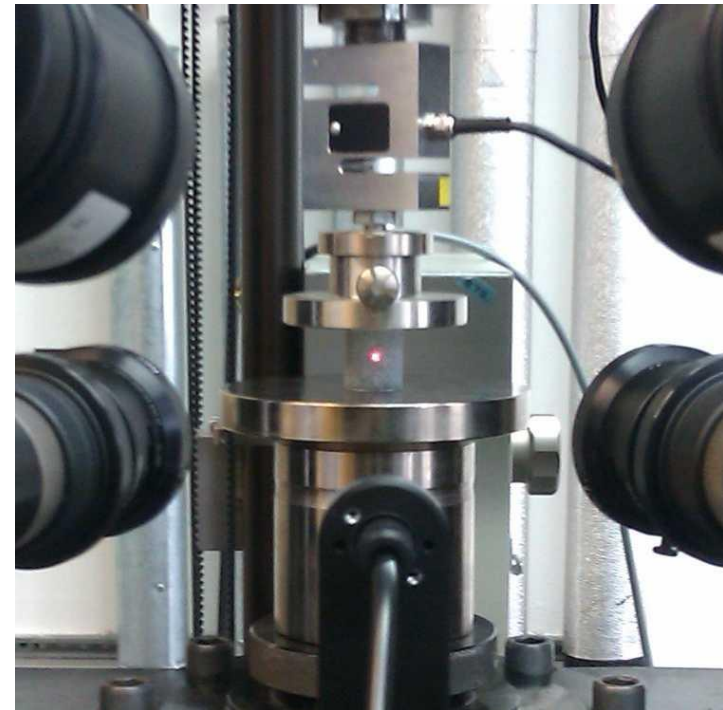
- **Hier:** Anzahl an Relaxationsmoduln: **N=3**

Parameter			Einheit
g_1	g_2	g_3	[-]
k_1	k_2	k_3	[-]
tau_1	tau_2	tau_3	[s]

Materialprüfung für die Crashsimulation



Zugprüfungen, 2D-Optik,
quasistatisch, 0.3 m/s, 5 m/s



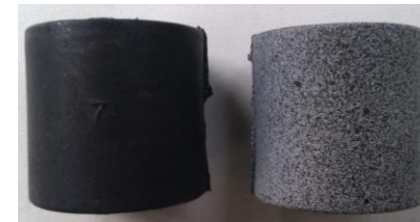
Druckprüfungen, 3D-Optik,
quasistatisch

Probekörpergeometrien & opt. Messungen

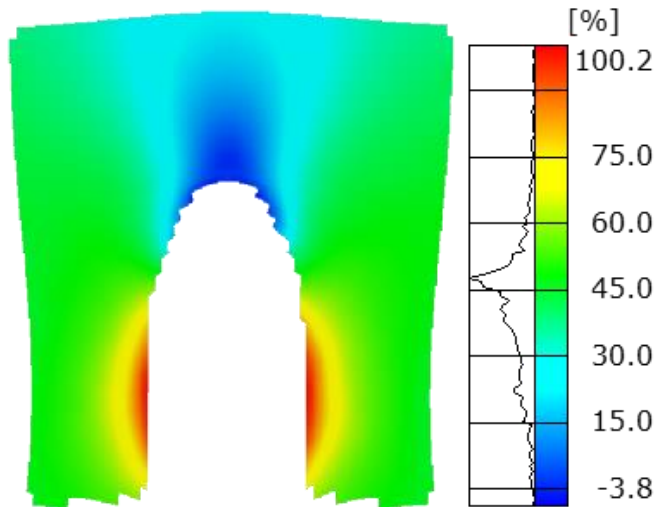
Berücksichtigung hoher Dehnraten und von Druckversuchen



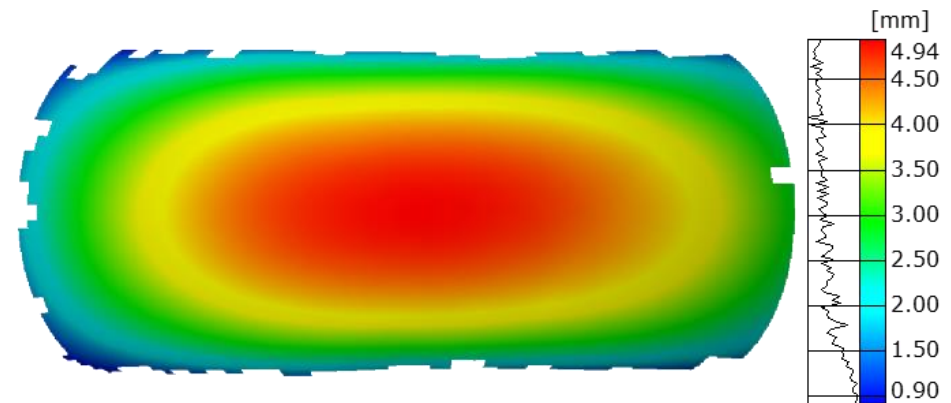
quasistatisch, 0.3 m/s, 5 m/s



quasistatisch

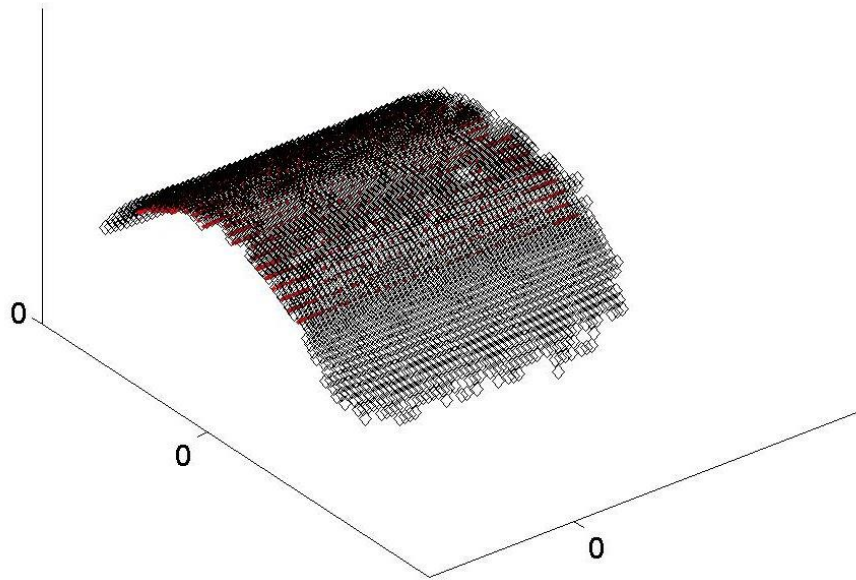


Vertikaldehnungen

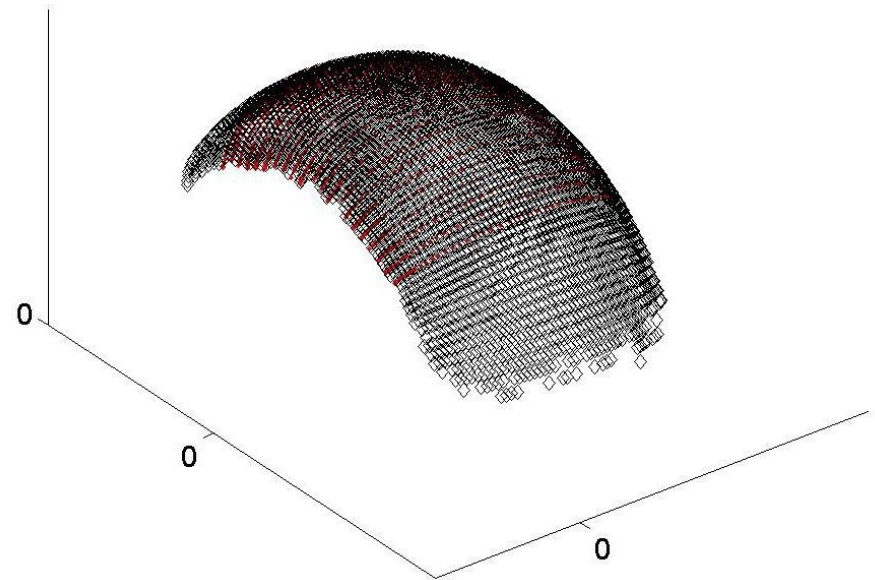


Radialverschiebungen

3D-Interpolation bei Druckversuchen

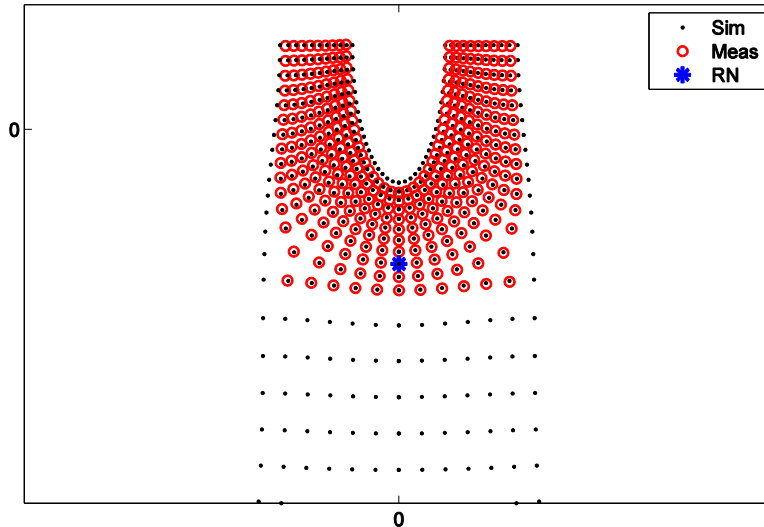
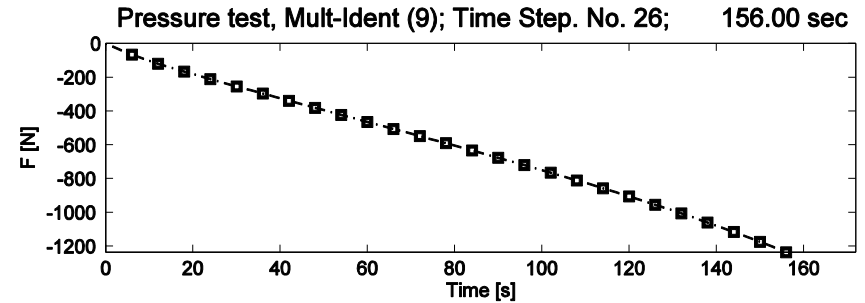
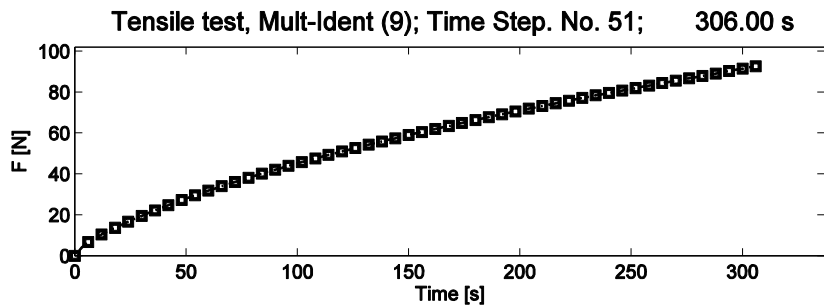


Versuchsbeginn

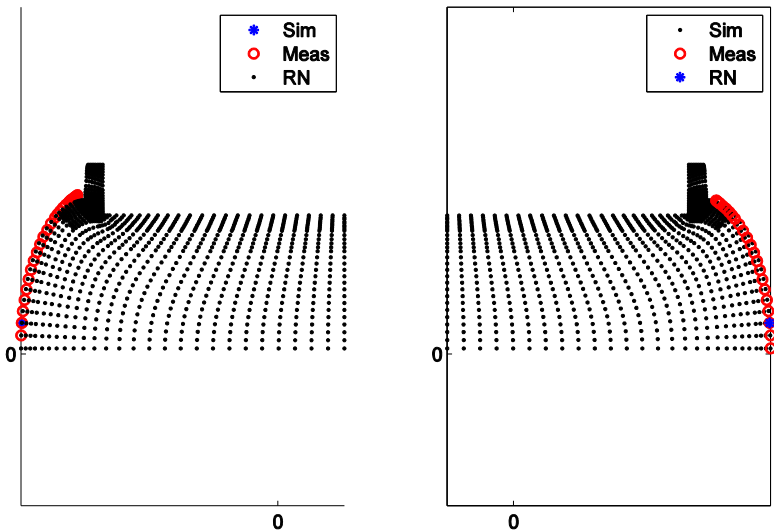


Maximallast

Verifikation (komplettes Messfeld)

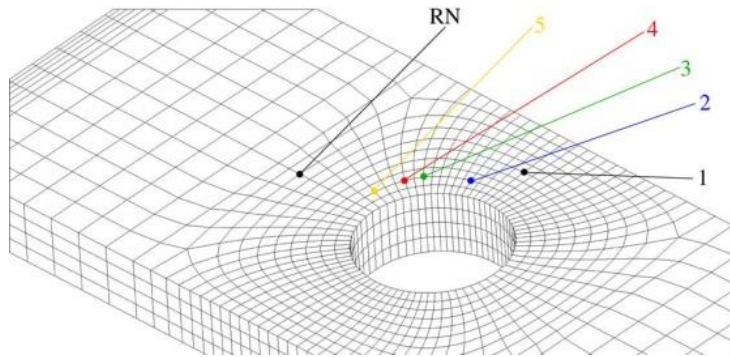


Movie: Zugversuch
(quasistatisch)

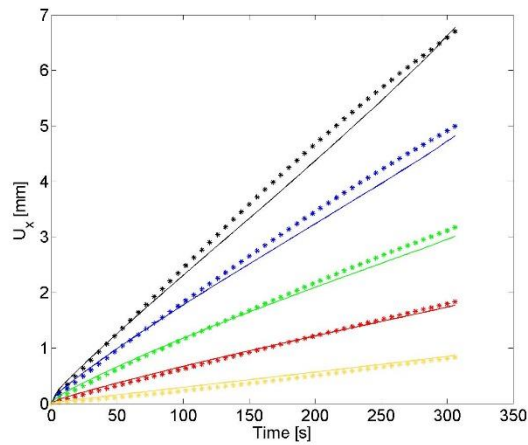


Movie: Druckversuch (quasistatisch)

Lokale Verifikation an Einzelknoten

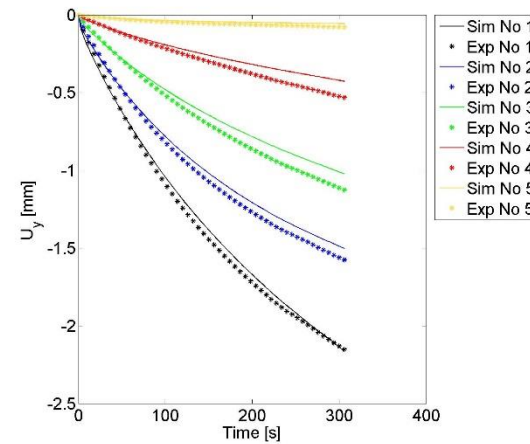


Lage des Relativknotens RN und der Verifikationsknoten 1-5



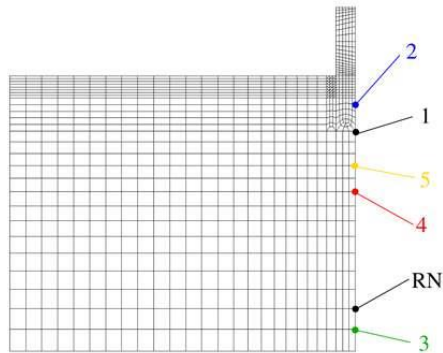
Längsverschiebungen

Zugversuch
(quasistatisch)

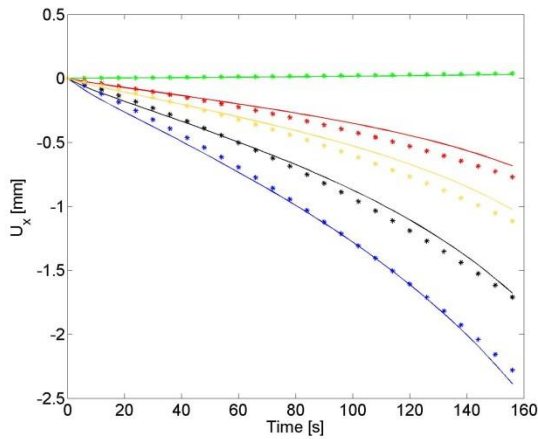
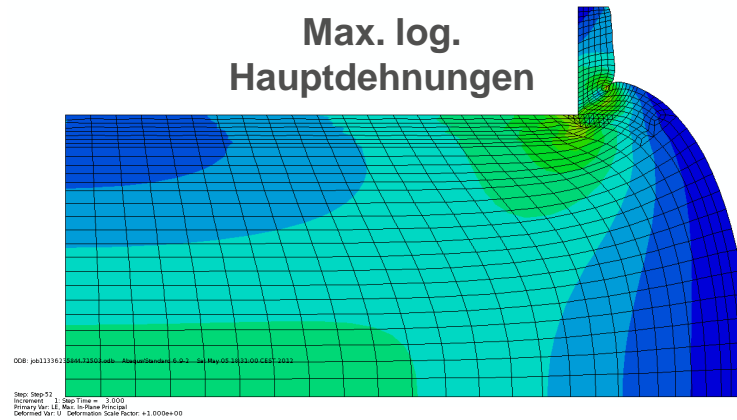


Querverschiebungen

Lokale Verifikation an Einzelknoten

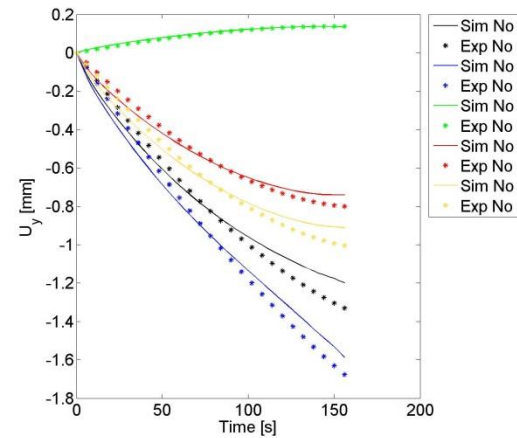


Max. log. Hauptdehnungen



Längsverschiebungen

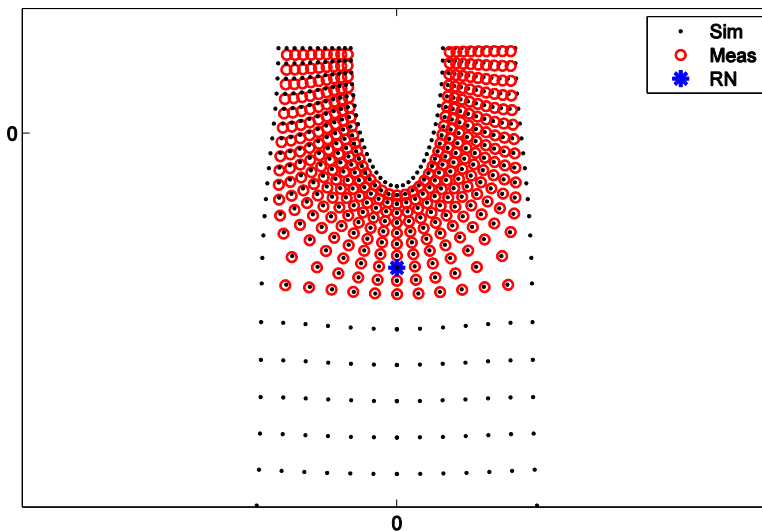
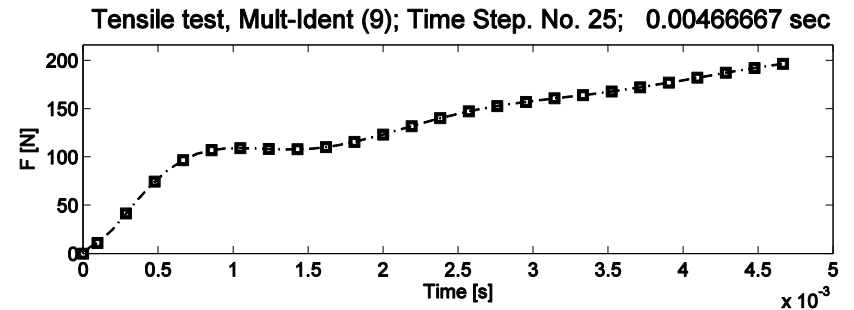
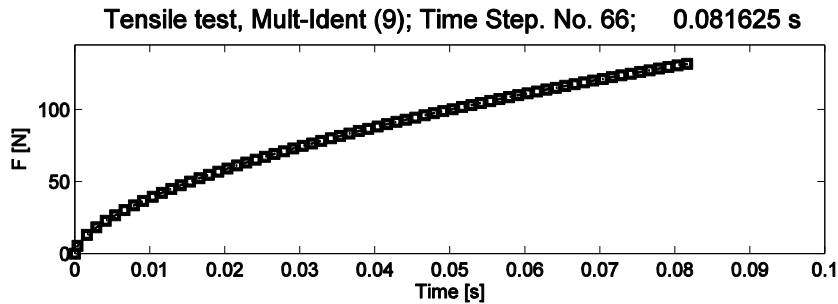
Druckversuch (quasistatisch)



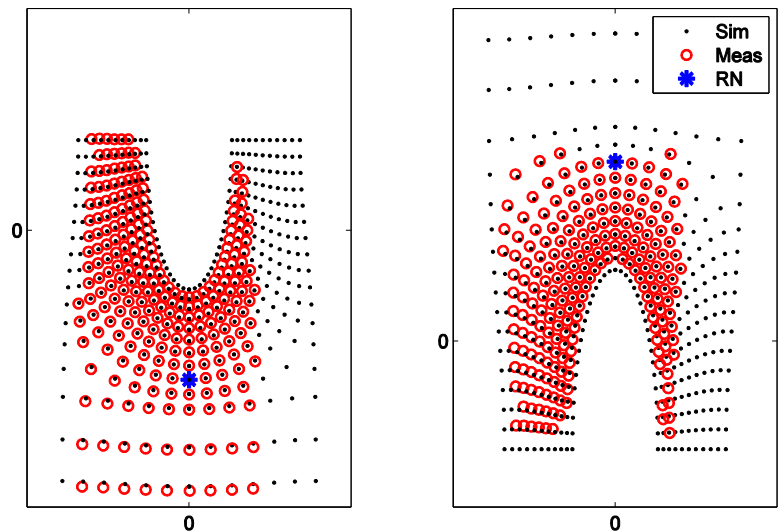
Radialverschiebungen



Verifikation (komplettes Messfeld)

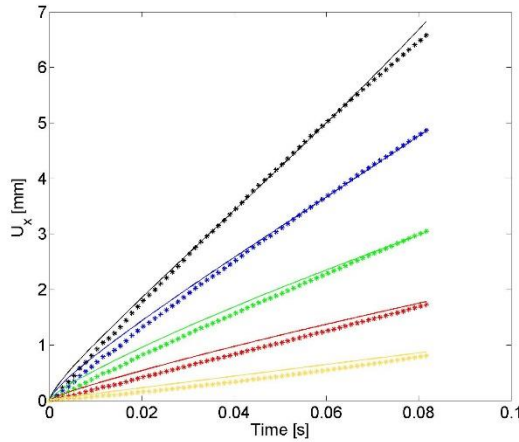


Movie: Zugversuch (0.3 m/s)



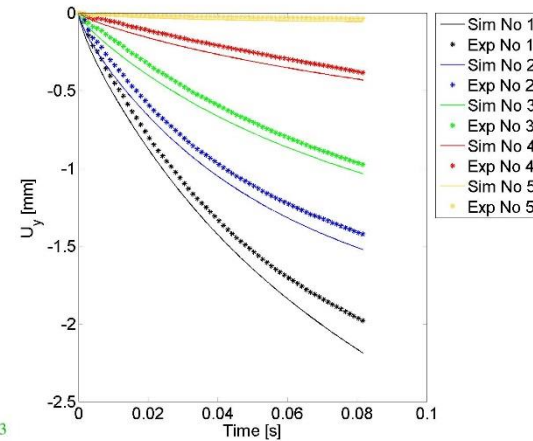
Movie: Zugversuch (5.0 m/s)

Lokale Verifikation an Einzelknoten

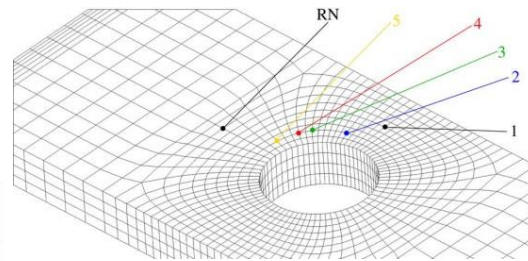


Längsverschiebungen

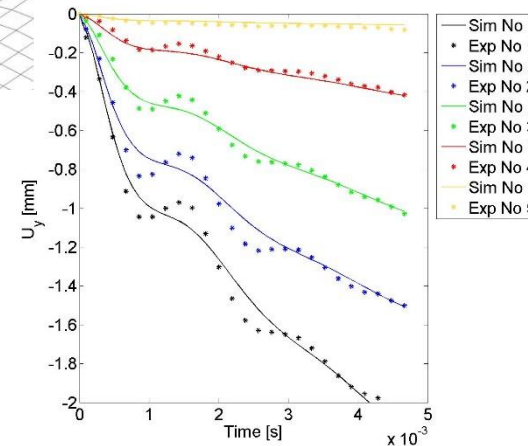
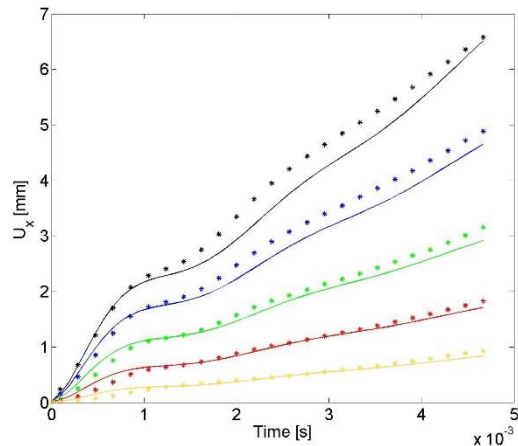
Zugversuch
(0.3 m/s)



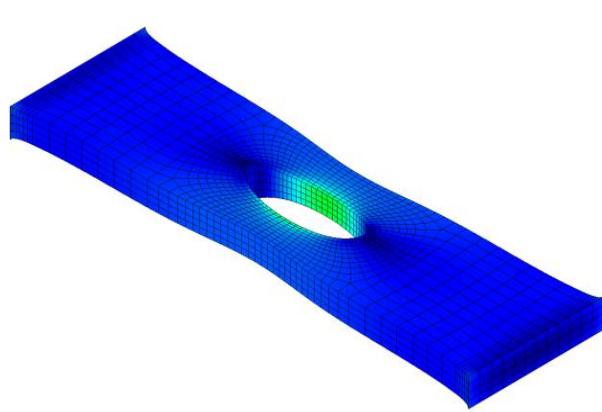
Querverschiebungen



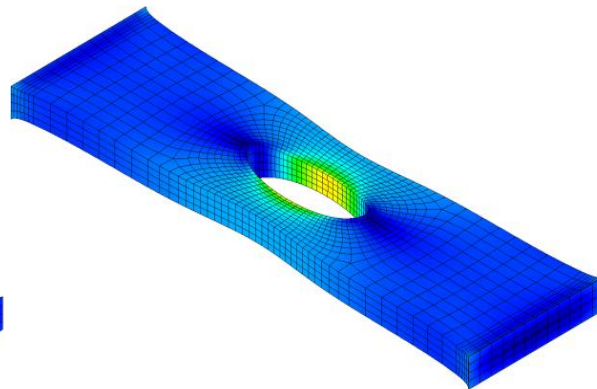
Zugversuch
(5.0 m/s)



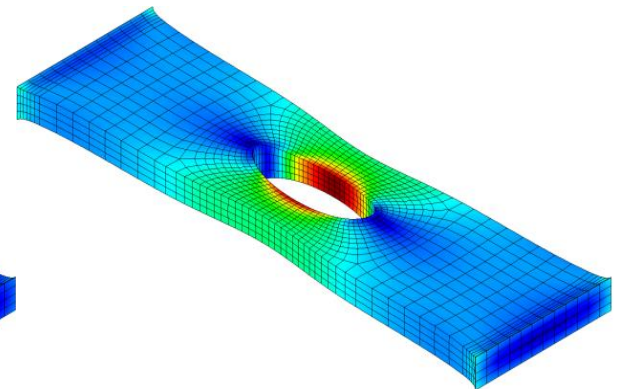
Viskoelastische Effekte (Von Mises-Spannungen)



quasistatisch



0.3 m/s



5.0 m/s



Validierungen

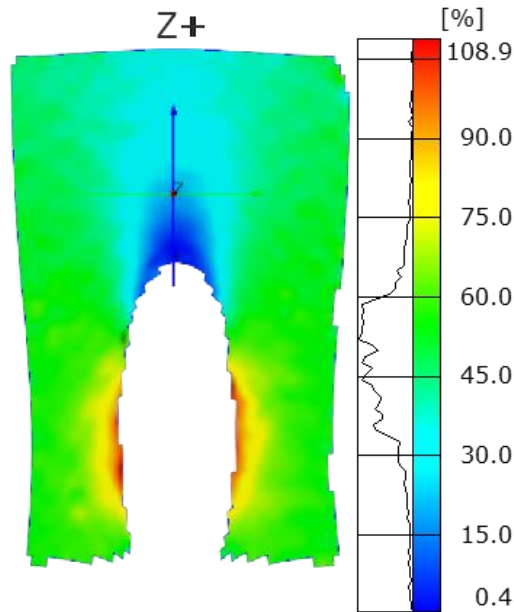
- Es wurden Komponententests an Motorlagern im Rahmen von Fallturmversuchen durchgeführt.
- Ein breites Spektrum an Lastvariationen wurde aufgebracht.
- Die FEM-Simulationen liefern eine sehr gute Korrelation mit den experimentellen Ergebnissen; signifikant besser als mit den zuvor verwendeten Elastomer-Materialdaten.
- Der mit dem vorgestellten Verfahren ermittelte Elastomerdatensatz wird in der Crashberechnung bei Volkswagen eingesetzt.

Probekörpergeometrien & opt. Messungen

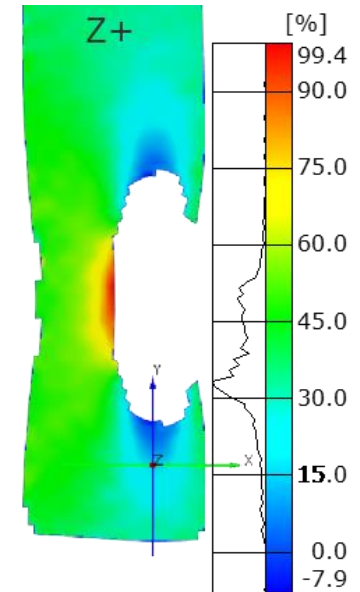
Elastomerschaum, Crash, Foam-Modell in ABAQUS



Zug- und Druckprobekörper

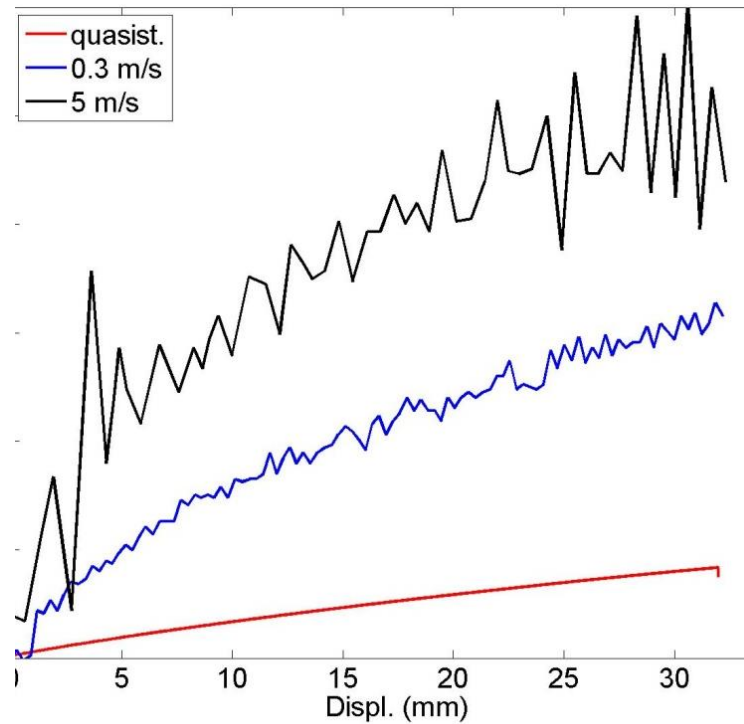


quasistatisch

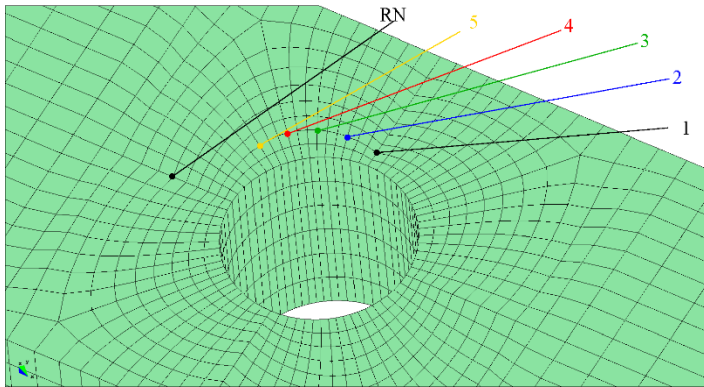


5 m/s

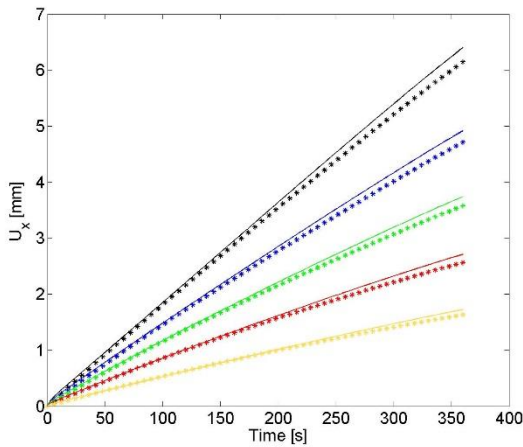
Kraft-Weg-Kurven (Rohdaten)



Lokale Verifikation an Einzelknoten

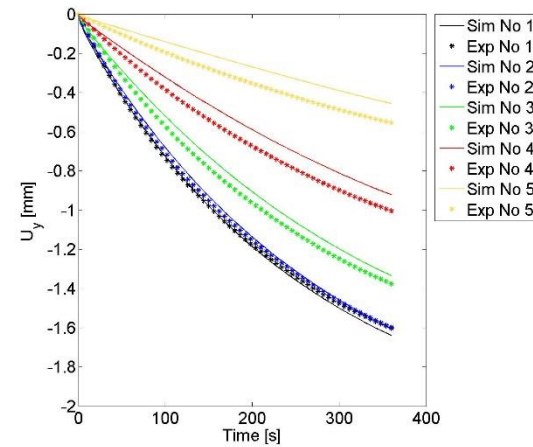


Lage des Relativknotens RN und der Verifikationsknoten 1-5



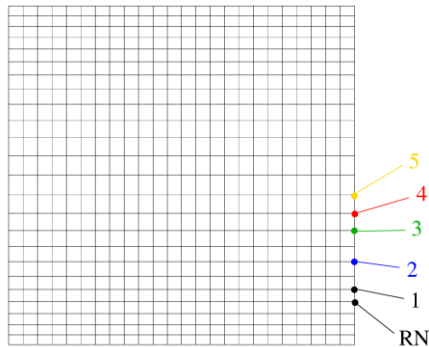
Längsverschiebungen

Zugversuch
(quasistatisch)



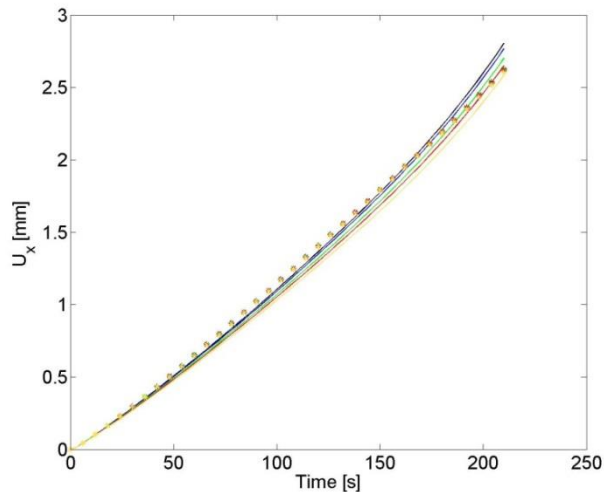
Querverschiebungen

Lokale Verifikation an Einzelknoten

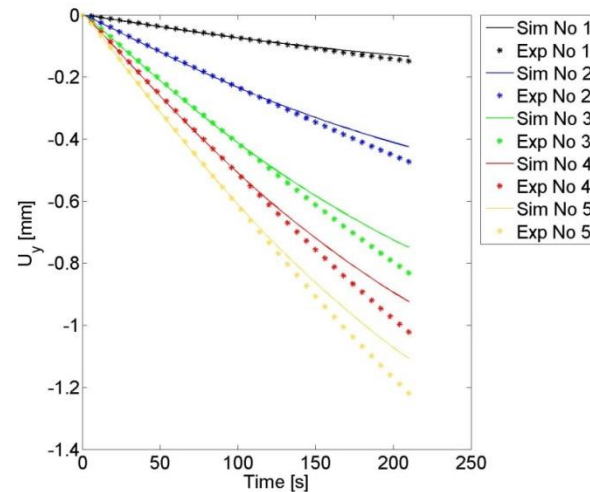


Lage des Relativknotens RN und der Verifikationsknoten 1-5;
Axisymm. Elemente;
Längss. Symmetriebed.

Druckversuch (quasistatisch)

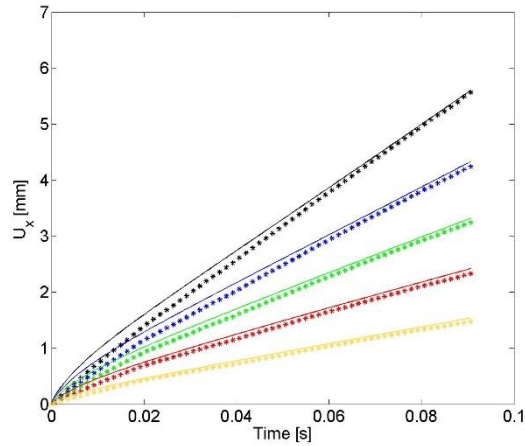


Radialverschiebungen (absolut)



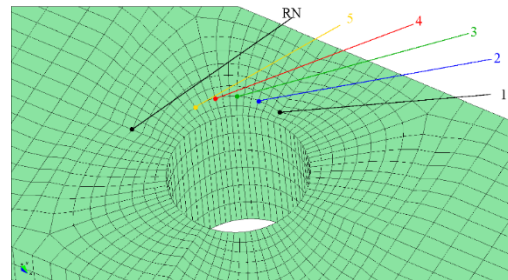
Längsverschiebungen (relativ)

Lokale Verifikation an Einzelknoten

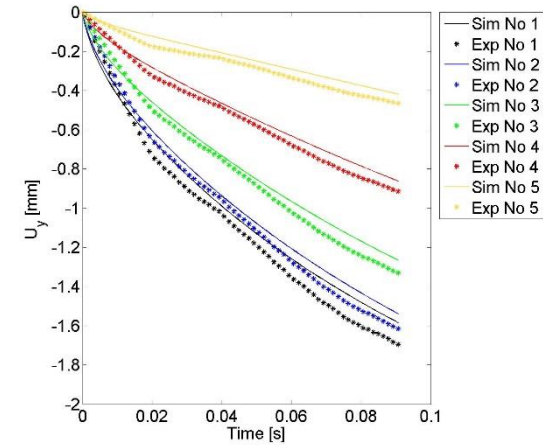
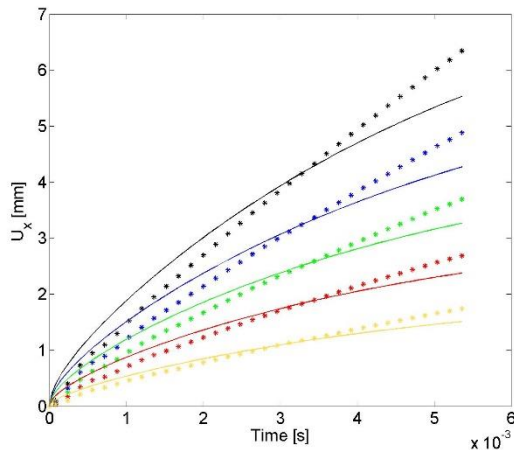


Längsverschiebungen

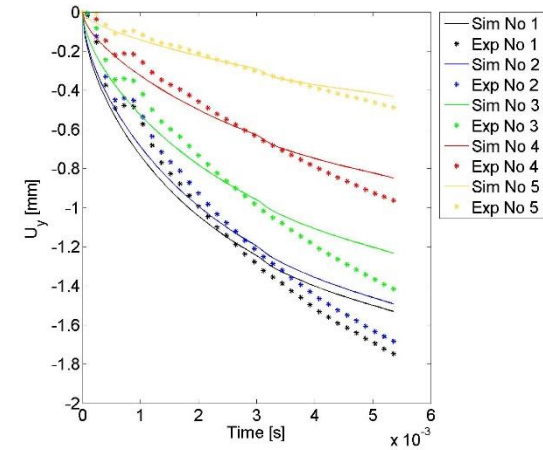
Zugversuch
(0.3 m/s)



Zugversuch
(5.0 m/s)



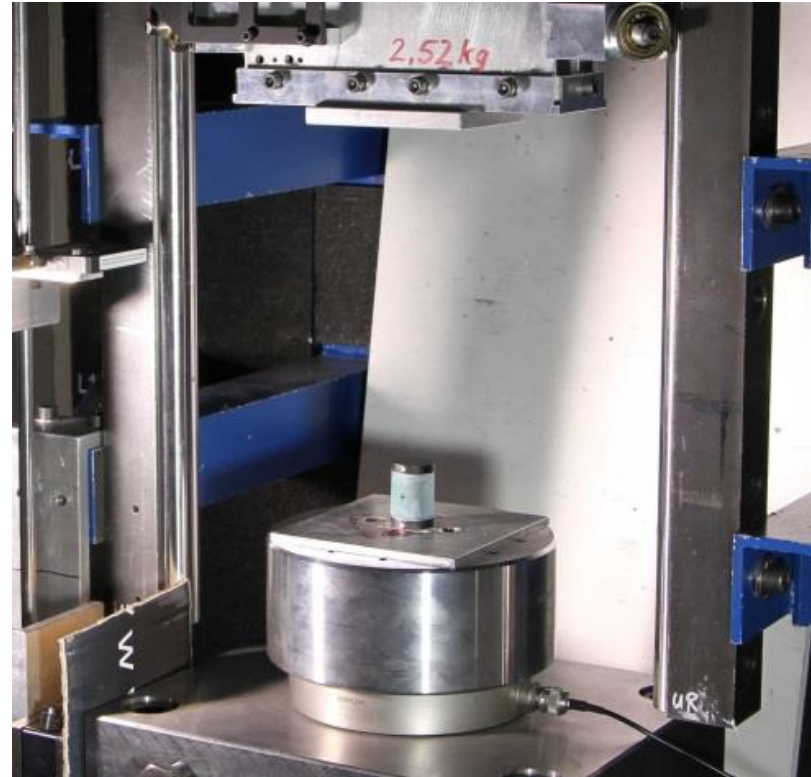
Querverschiebungen



Validierungen

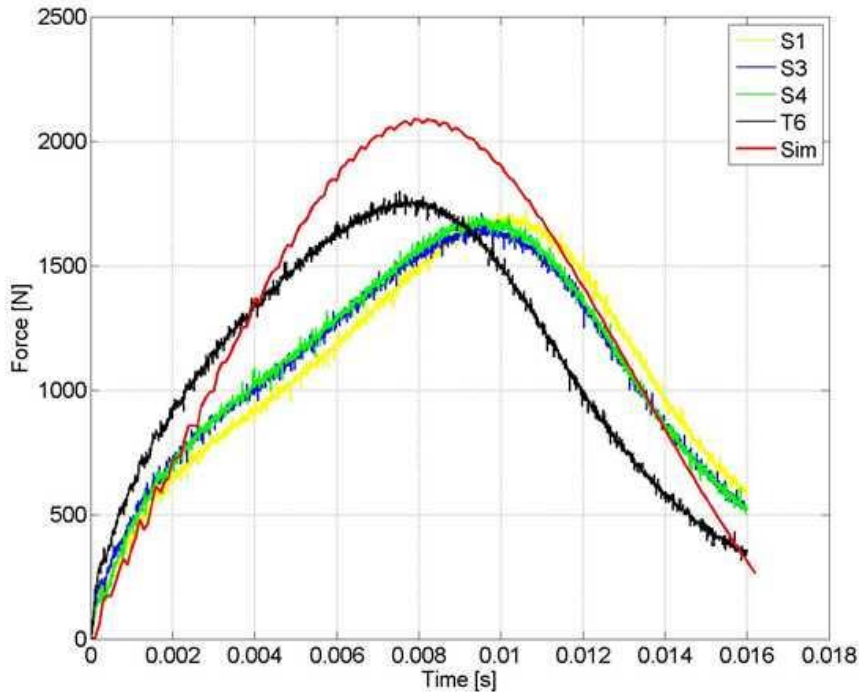


Probekörper mit Trackingpoints



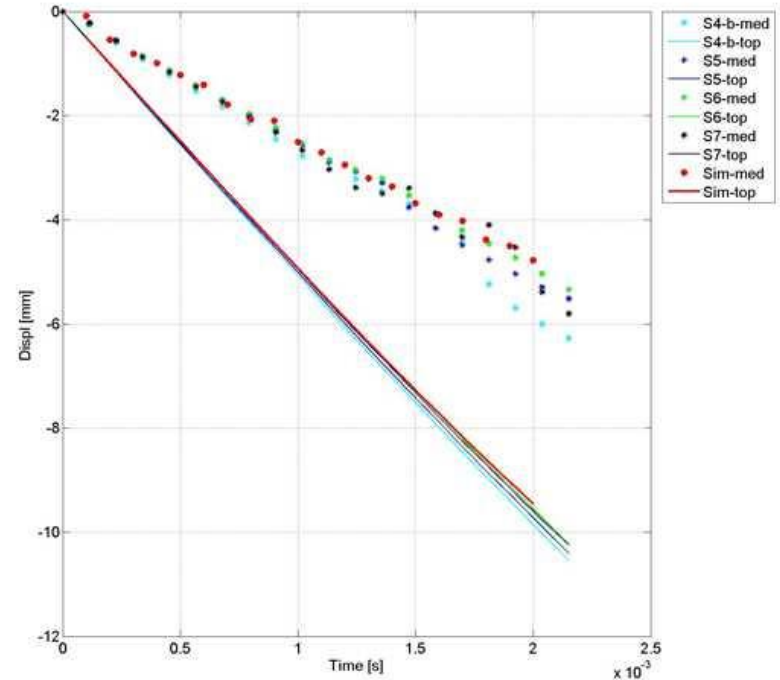
Fallturm

Validierungen



Kraft-Zeit-Verlauf, $v = 1,8 \text{ m/s}$

Simulierte Werte rot!



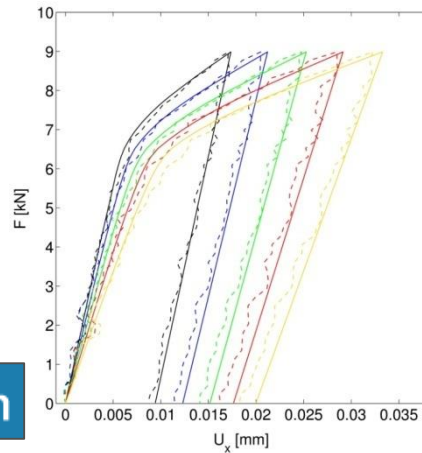
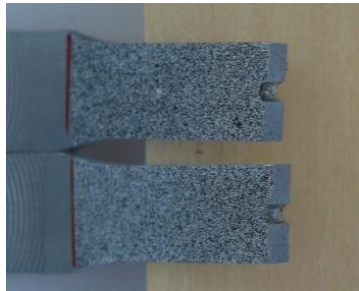
Verschiebungen PK-Mitte und Oberseite (bis max. Auslenkg.), $v = 4,9 \text{ m/s}$

Simulierte Werte rot!

Anmerkungen:

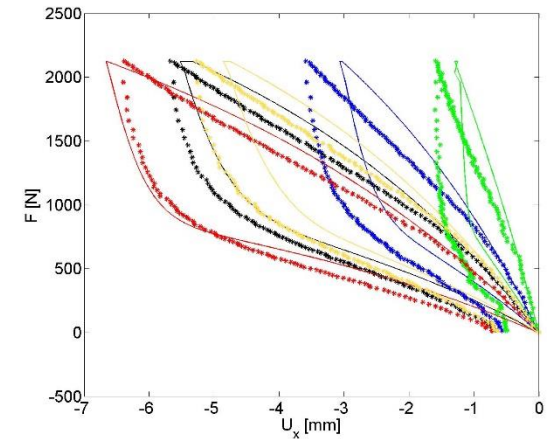
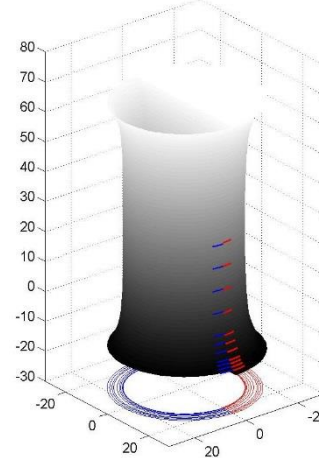
- Die Haftreibung am Umkehrpunkt sowie die Rollreibung des Schlittens wurden in der Simulation nicht berücksichtigt.
- Für die Bestimmung der Materialparameter wurden keine Druckversuche unter höheren Dehnraten berücksichtigt.
- Der Einfluss der Klebung der Alu-Plättchen wird in der Simulation nicht berücksichtigt.

Weitere Anwendungsgebiete

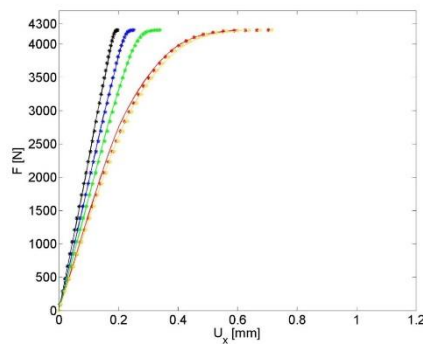


GM Powertrain

Aluminiumdruckguß => Elastoplastizität

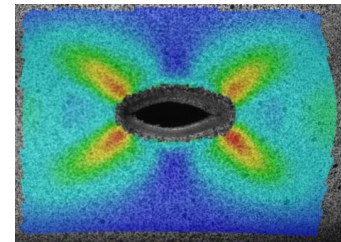


Elastomer => (Visko)elastizität (-Plastizität) mit Mullins Effect



PBT => Drucker Prager Plastizität (ggfs. mit Kriechen)

- Kinematische Verfestigung
- Two-Layer-Viscoplasticity
- Anisotropie
- Kriechen und Relaxation bei hohen Temperaturen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Parsolve GmbH Düsseldorf

contact@parsolve.de

0211-59870-325