
Crashsimulation langfaserverstärkter Thermoplaste mit Berücksichtigung von Schädigung und Versagen

Lukas Schulenberg*, Jörg Lienhard

Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Seelig

Institut für Mechanik (IfM), KIT Karlsruhe



Kooperationspartner

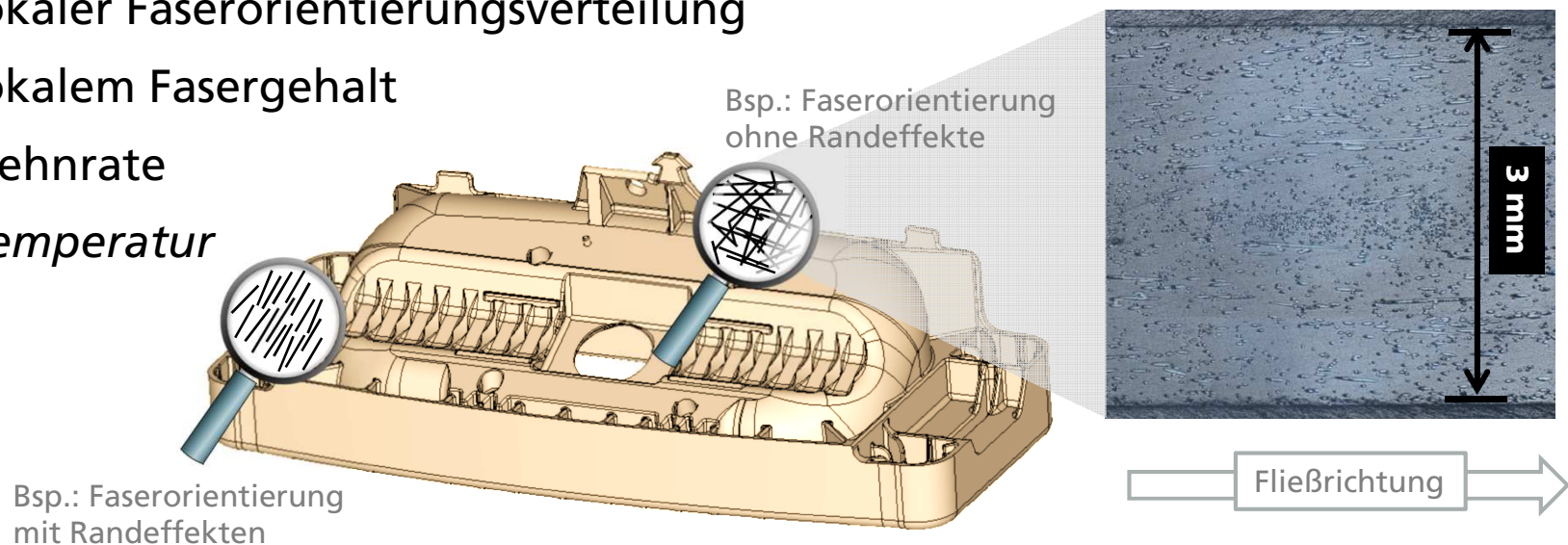


Inhalt

- Einführung & Motivation
- Materialmodell (UMAT) mit Berücksichtigung der Faserorientierungsverteilung
- Simulation positionsabhängiger Zugversuche
- Simulation von Probenversuchen in Abhängigkeit der Mehrachsigkeit und Dehnrates
- Validierung des Modells am Bauteilversuch
- Zusammenfassung

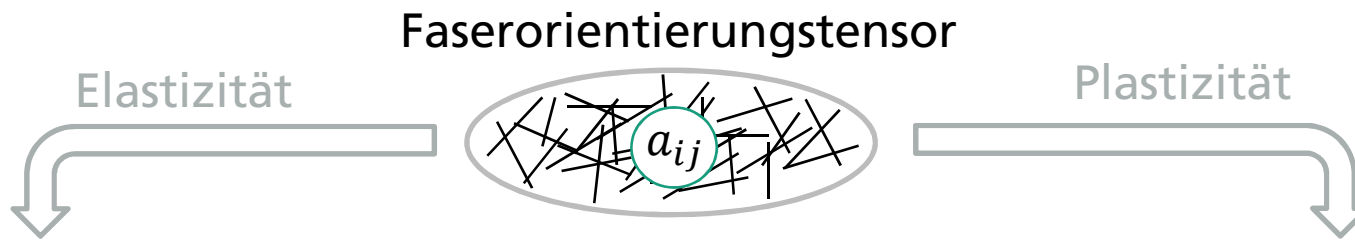
Einführung & Motivation

- Spritzgegossener langfaserverstärkter Thermoplast (LFT)
 - Matrix: Polypropylen ($E = 1\,450\text{ MPa}$, $\nu=0.39$)
 - Fasern: E-glas, 30 Gew.-% ($E = 73\,000\text{ MPa}$, $\nu=0.23$)
 - ⇒ Gewichtsgemittelte Faserlängen ca. 2 bis 3 mm
- Materialverhalten ist abhängig von ...
 - lokaler Faserorientierungsverteilung
 - lokalem Fasergehalt
 - Dehnrage
 - *Temperatur*



Ref.: Fa. Autoliv: Airbaggehäuse, Fa. SABIC: Werkstoffdaten

Materialmodell (UMAT): Elasto-plastisch Faserorientierungsverteilung



- Nach Advani & Tucker

$$\bar{C}_{ijkl} = f(C_{ijkl}^{MT}, a_{ij})$$

Orientierungs-
gemittelter
Steifigkeits-
tensor

Mori-Tanaka
Steifigkeits-
tensor
(*transv. isotrop*)

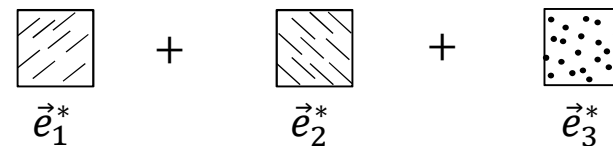
⇒ Berücksichtigung von
Faserlänge, Faserorientierung
& Faservolumengehalt

$$a_{ij} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} \underline{\vec{e}_i} \otimes \underline{\vec{e}_j} \quad \text{globales KOS}$$

$$= \sum_{i=1}^3 a_i \underline{\vec{e}_i^*} \otimes \underline{\vec{e}_i^*} \quad \text{Haupt-richtungen}$$

⇒ Eigenwerte a_i : $\sum_{i=1}^3 a_i = 1$; $a_i \in [0,1]$

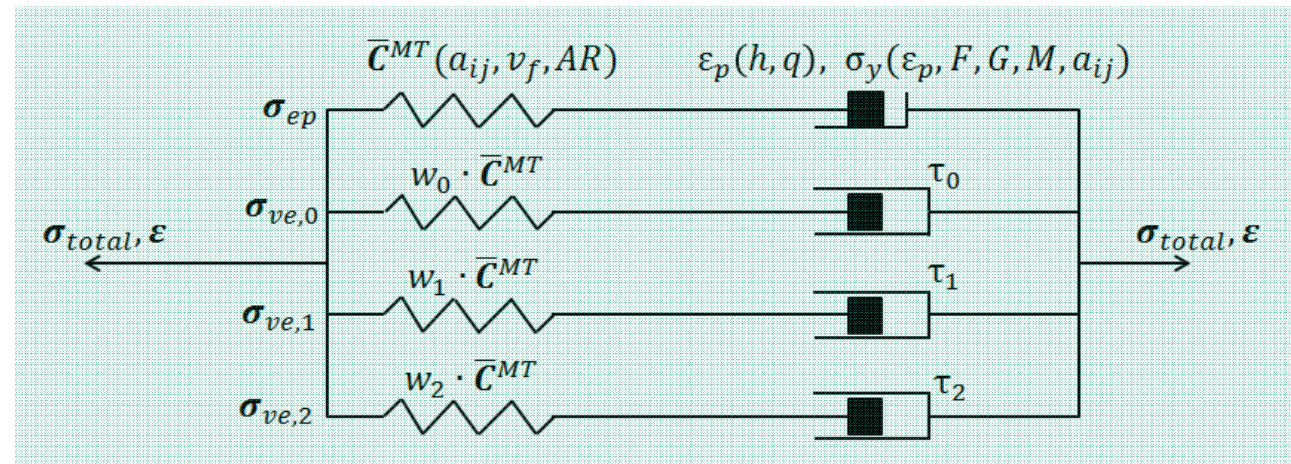
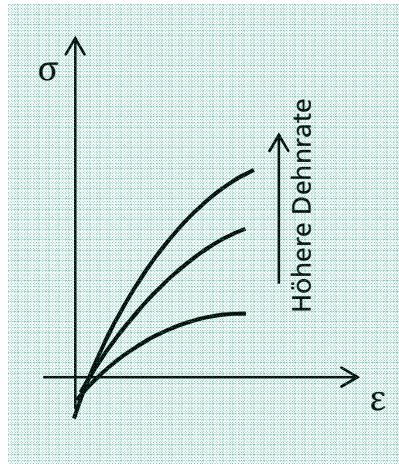
- Hill-Plastizität (3 Richtungen):



$$\sigma_{ep} = a_1 \sigma(\vec{e}_1^*) + a_2 \sigma(\vec{e}_2^*) + a_3 \sigma(\vec{e}_3^*)$$

Materialmodell (UMAT): Visko-elasto-plastisch

Parallelschaltung der Teilmodelle



- Berechnung der visko-elasto-plastischen Spannung:

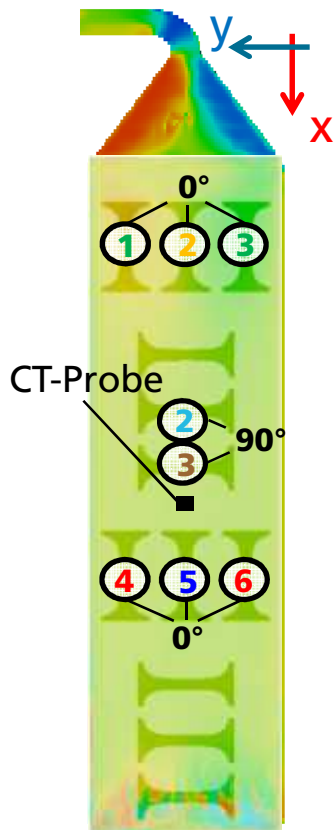
$$\sigma_{total} = \sigma_{ep} + \sigma_{ve,0} + \sigma_{ve,1} + \sigma_{ve,2}$$

Plastizität		Visko-Elastizität	
Fließbedingung (Hill)	Verfestigung (Power-Law)	3 Maxwell-Elemente	
$\sigma_0 = 10\text{MPa}, F = 2.5,$ $G = 0.5, M = 4$	$h = 0.47$ $q = 0.27$	$\tau_0 = 10^5\text{s}^{-1}$	$w_0 = 0.3$
		$\tau_1 = 80\text{s}^{-1}$	$w_1 = 0.25$
		$\tau_2 = 1\text{s}^{-1}$	$w_3 = 0.3$

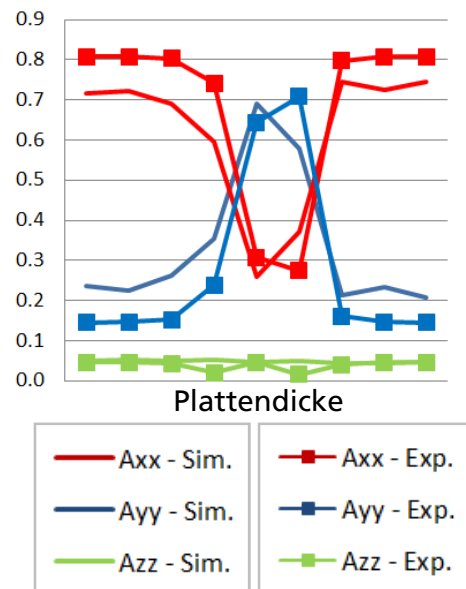
Simulation Zugversuche mit UMAT

Positionen abhängig von Faserorientierungsverteilung

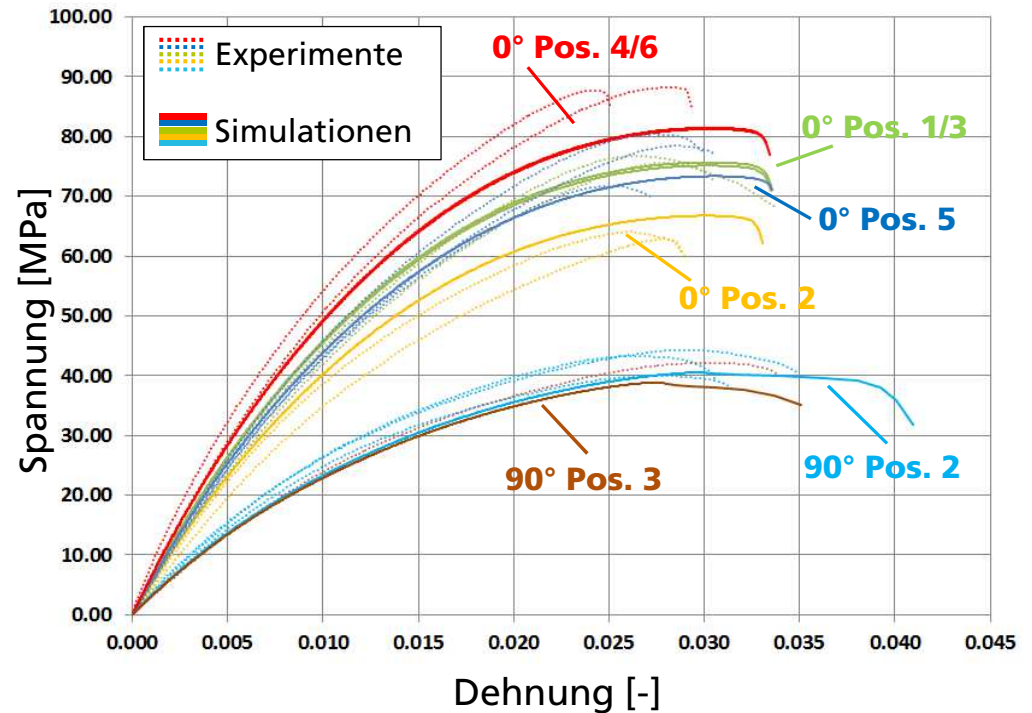
Spritzgussimulation
der Probenplatte



Validierung simulierter
Faserorientierungen



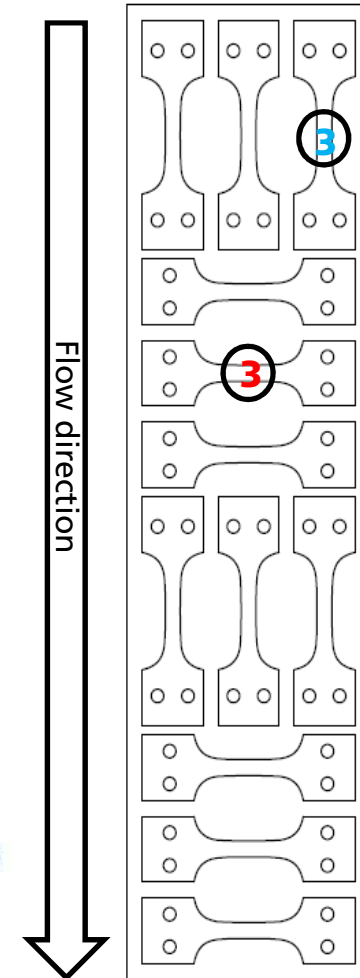
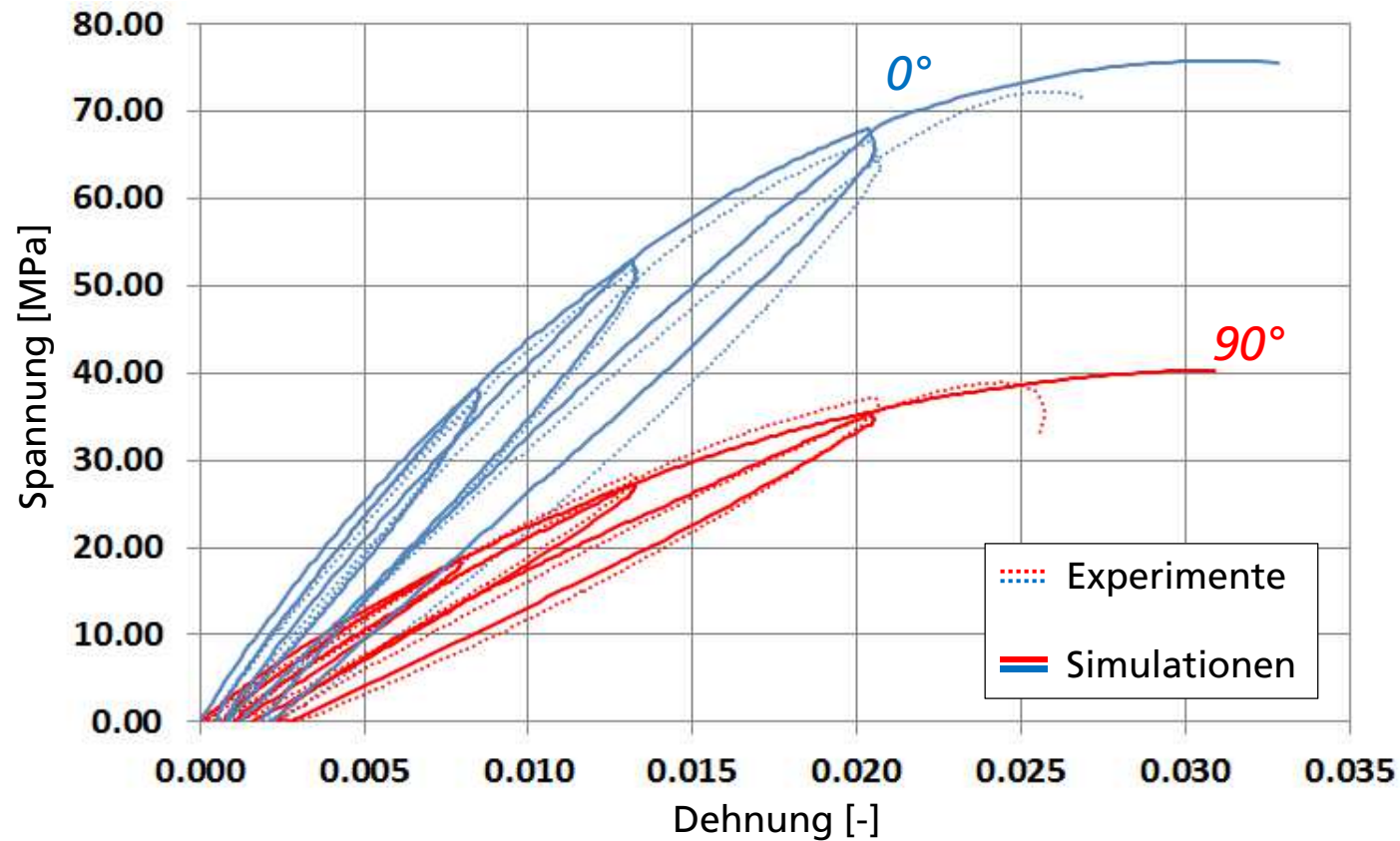
FEM-Simulation gemappter Zugproben



Ref.: Fraunhofer ITWM: Spritzgussimulation

Simulation Zugversuche mit UMAT

Be- und Entlastungsversuch



Schädigungs- und Versagensmodell (UMAT)

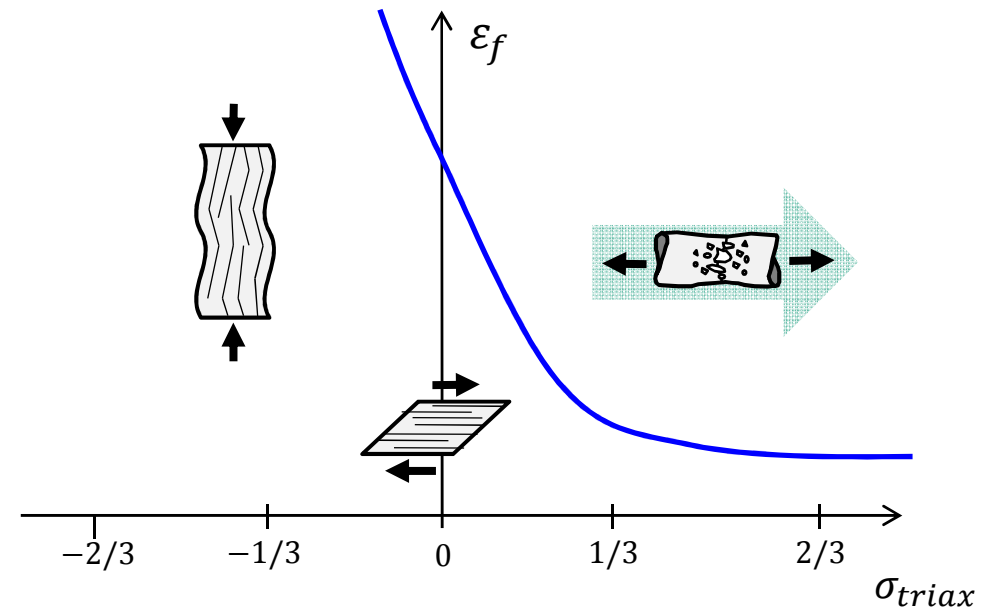
Abhängig von Spannungserachsigkeit

$$\sigma^{dam} = \mathbb{M} \sigma$$

$$\mathbb{M} = \begin{bmatrix} 1-d_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-d_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-d_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1-d_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1-d_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-d_6 \end{bmatrix}$$

$$d_i = \left(\frac{\|\varepsilon_{i,max}\|}{\varepsilon_f} \right)^g$$

Historischer Maximalwert

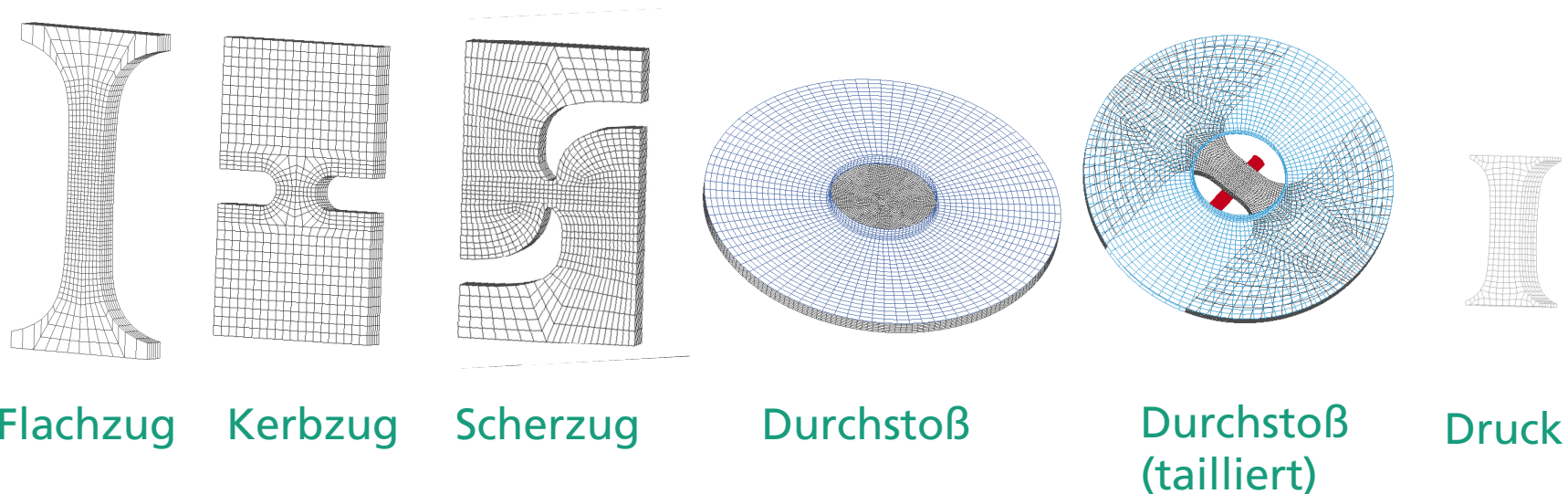


- 6 unabhängige Schädigungsvariable
- Separate Schädigungsentwicklung entsprechend der einzelnen Spannungskomponenten
- Kleines ε_f bei großem σ_{triax}
 \Rightarrow Porenwachstum/Interface-Versagen
- Großes ε_f bei Scherbelastung
- Kein Druckversagen (Instabilität)

Simulation der Probenversuche

FE-Modelle (Solids)

- Versuche unterschiedlicher Lastpfade/Spannungszustände
- 4 Verschiedene Dehnraten/Belastungsgeschwindigkeiten

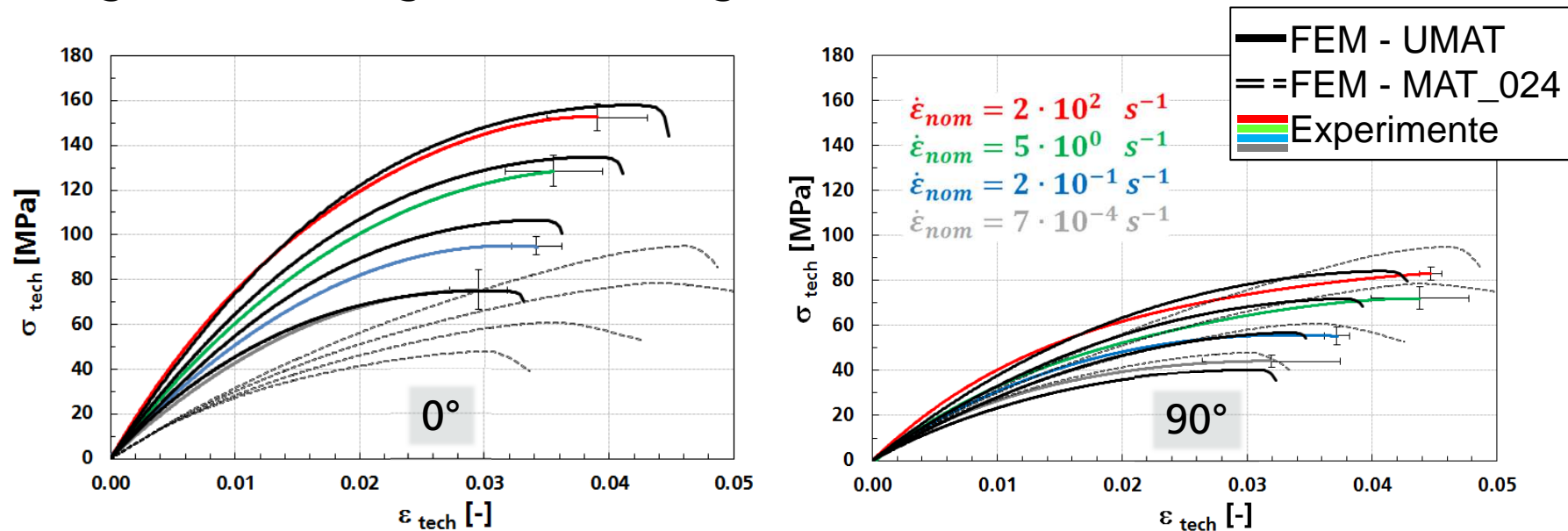


- Solid-Elemente (Hexaeder, Elementkantenlänge: 0,5 mm)

Simulation der Probenversuche Zugversuche (dynamisch)

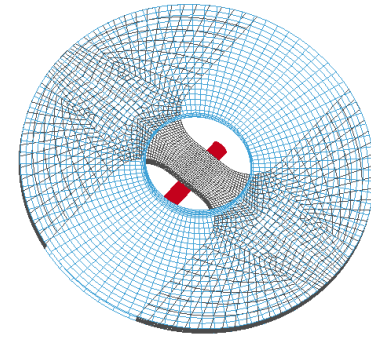
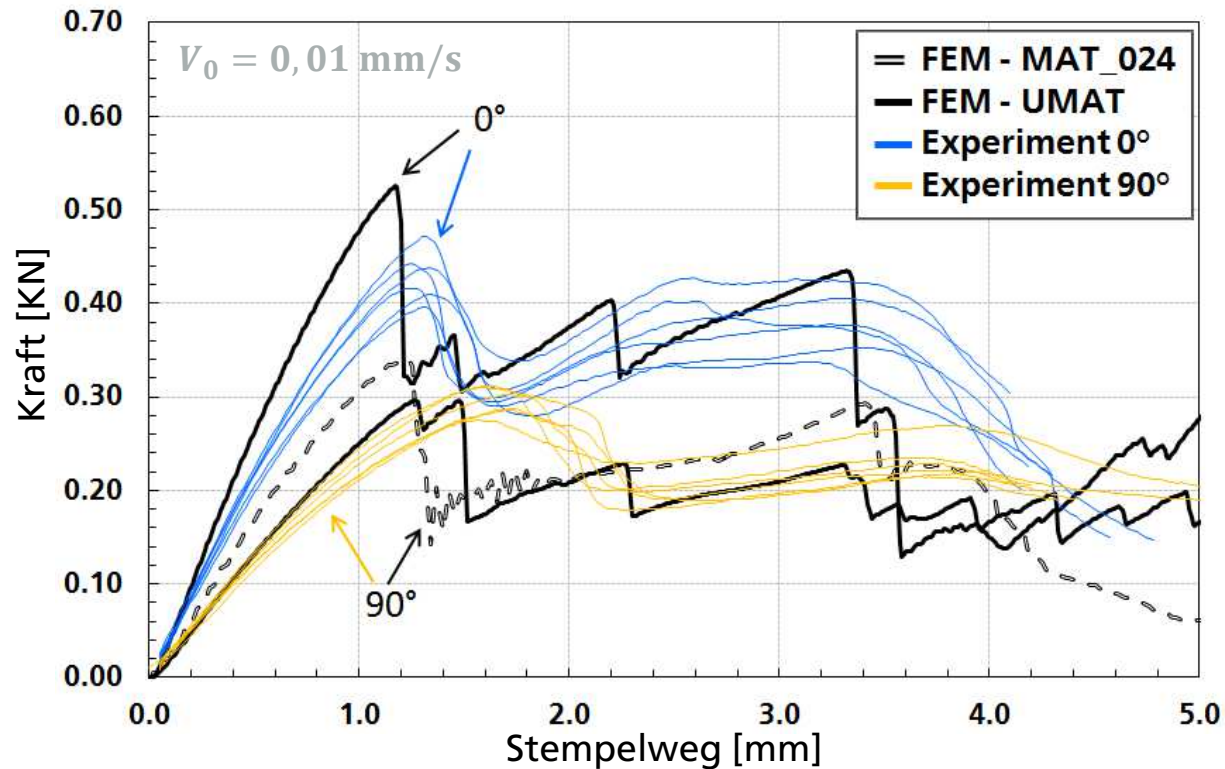
- 2 Materialmodelle wurden für LFT angepasst
 - UMAT: Anisotrop mit Faserorientierungsverteilung
 - == *MAT_024 + GISSMO: Isotrop

(Gegenüberstellung zur Validierung der UMAT)

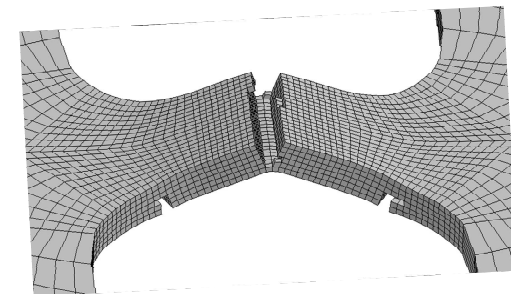


Simulation der Probenversuche

Durchstoßversuche tailliert (quasi-statisch)



Bsp.: Bruchbild 0° Exp. Unterseite



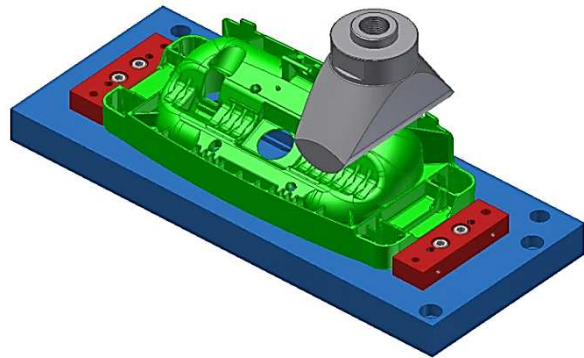
Bsp.: Bruchbild FEM 0° mit UMAT

- UMAT zeigt gute Approximation der Anisotropie
- Isotropes Modell (*MAT_024) liegt im Mittel der Versuche

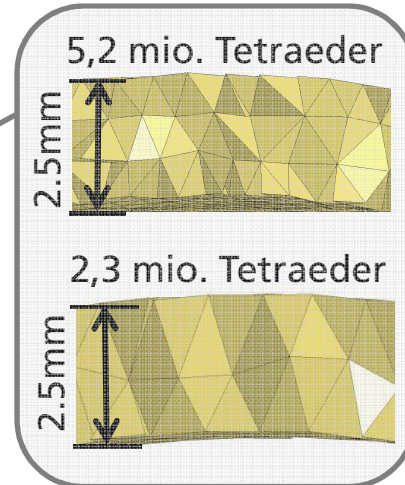
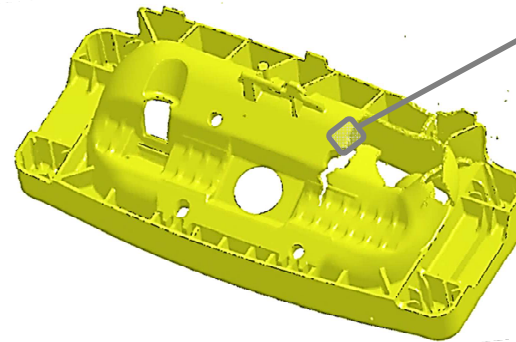
Simulation eines Bauteilversuchs

Prozesssimulation → Mapping → Crashsimulation

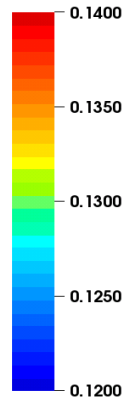
Versuchsaufbau: Airbaggehäuse



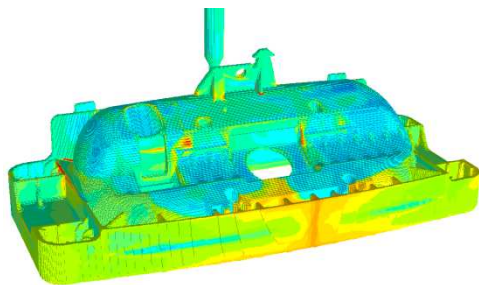
Crashsimulation



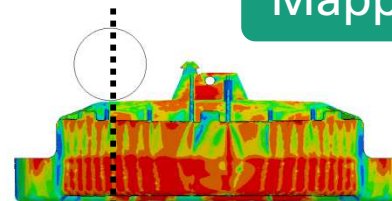
v_{faser}



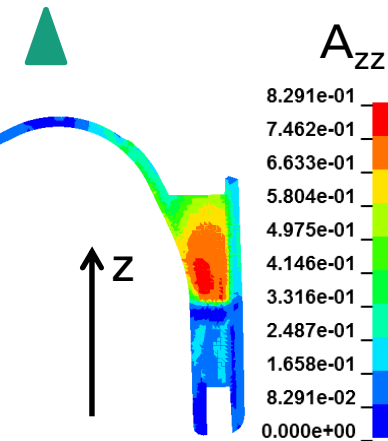
Formfüllsimulation



Mapping



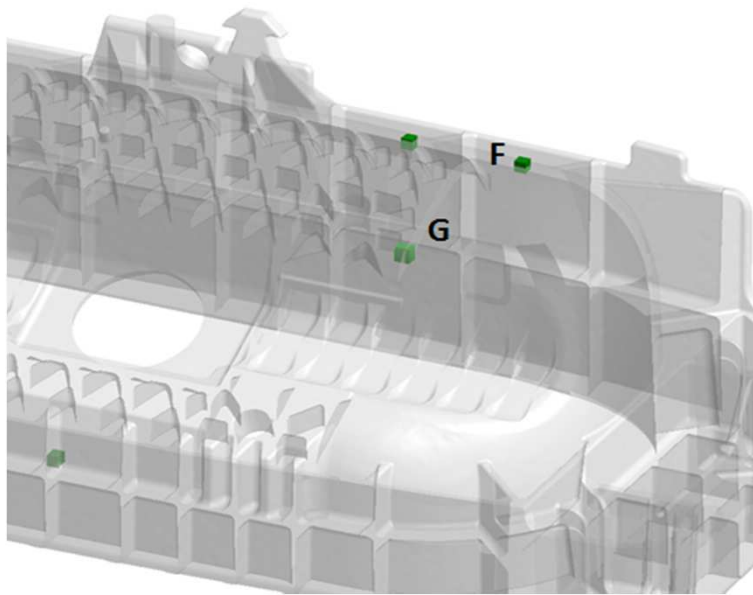
Schnitt



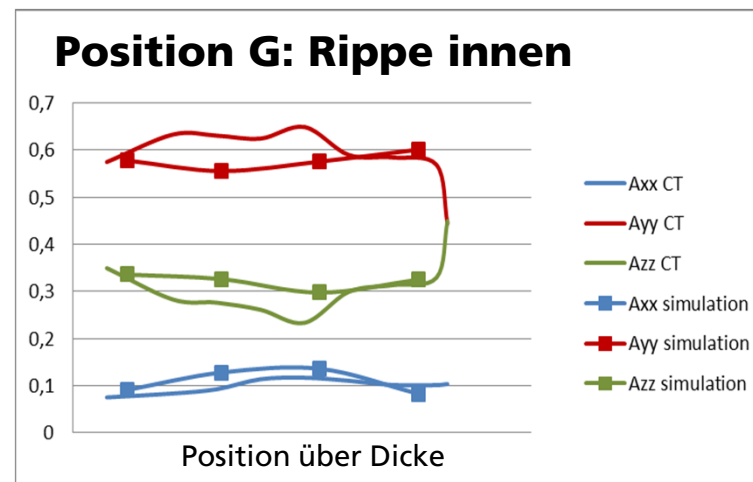
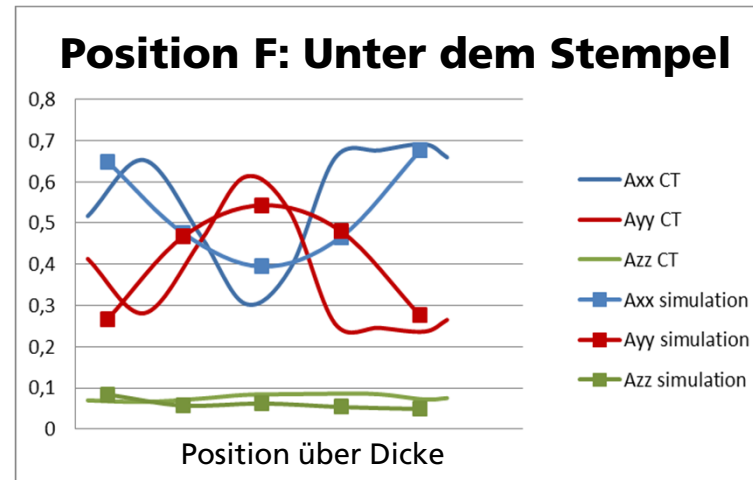
Ref.: Fa. Autoliv: Airbaggehäuse, Fraunhofer ITWM: Prozesssimulation

Simulation eines Bauteilversuchs

Validierung der Faserorientierung aus Formfüllsimulation



- Prozesssimulation liefert gute Übereinstimmungen mit Faserorientierungen aus Computertomografie

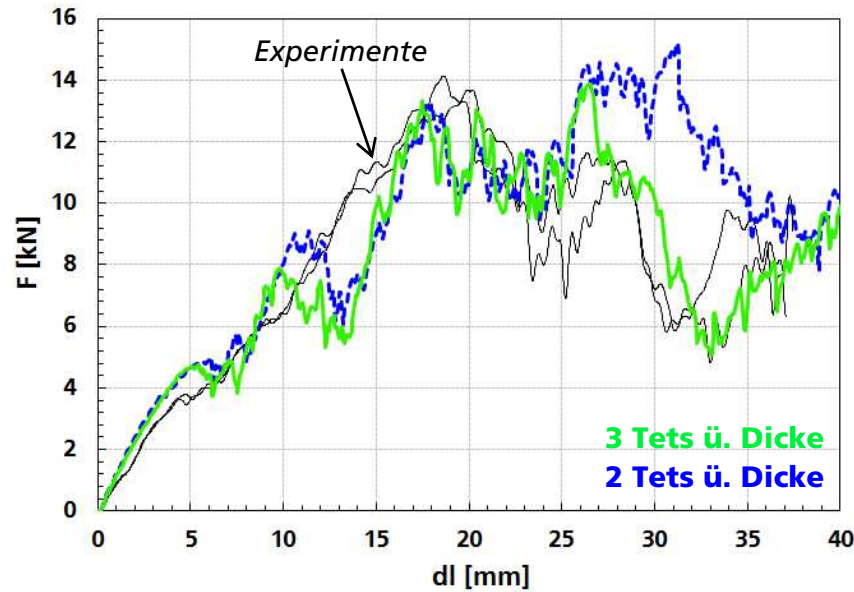


Ref.: Fraunhofer ITWM

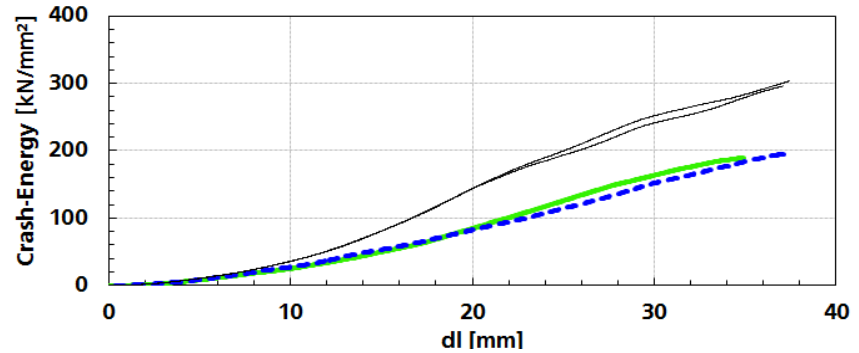
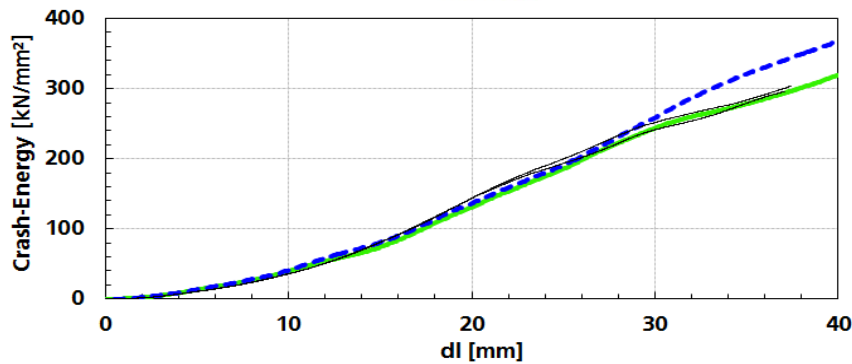
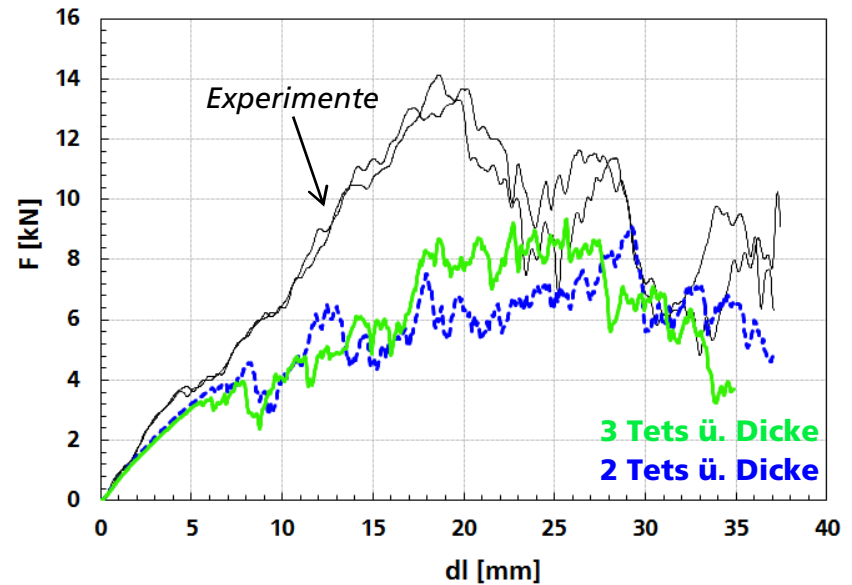
Simulation eines Bauteilversuchs

Validierung der Materialmodelle

UMAT (anisotrop)



MAT_024+GISSMO

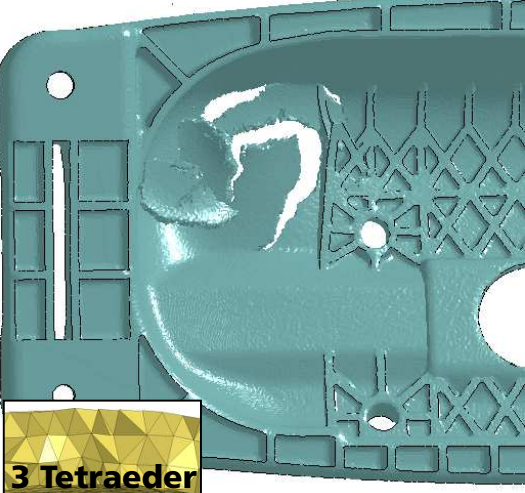
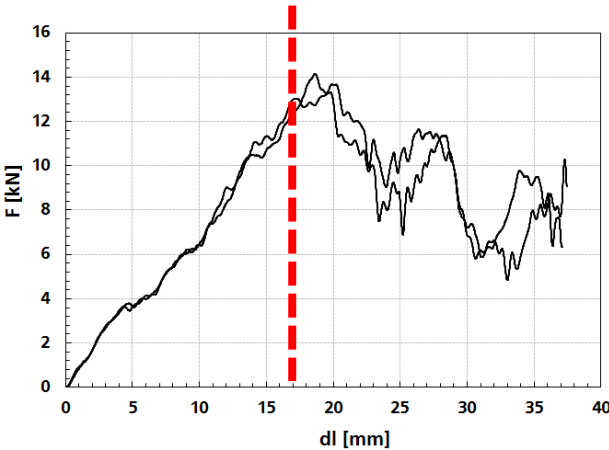
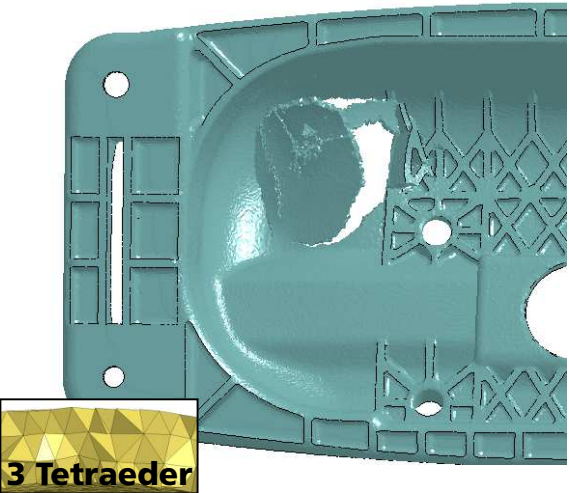
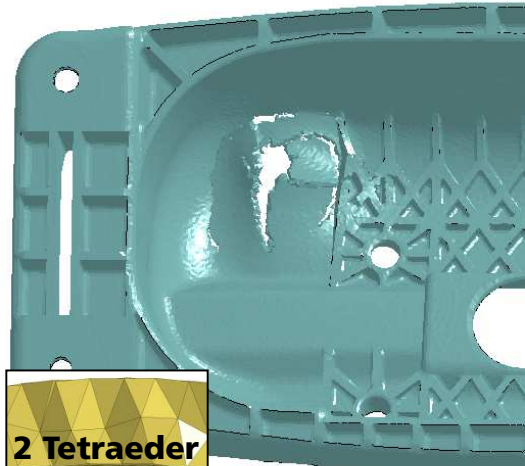
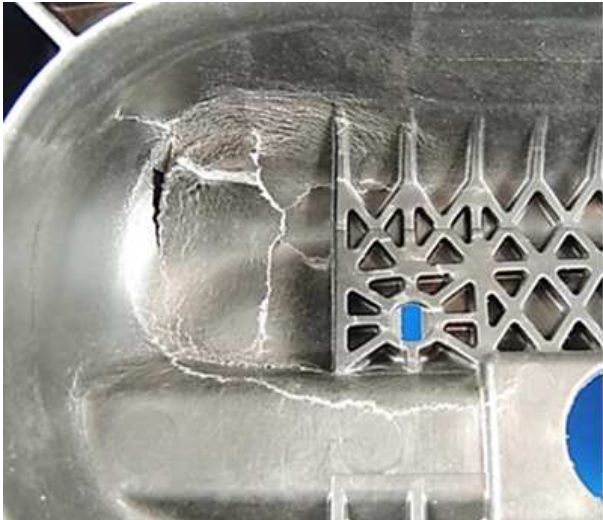
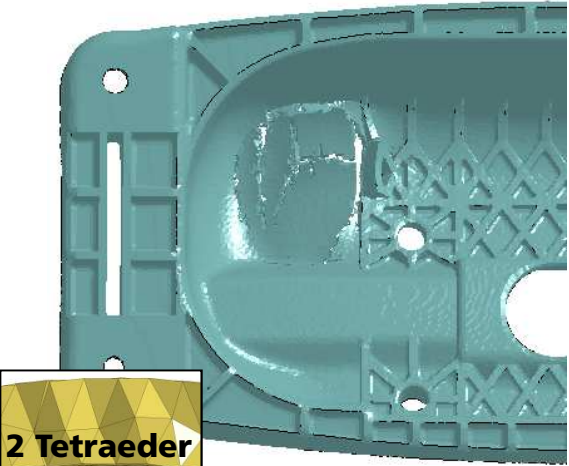


Simulation eines Bauteilversuchs

Validierung der Materialmodelle

UMAT

MAT_024+GISSMO

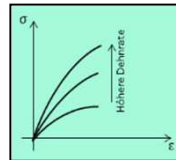


Zusammenfassung

- Entwickeltes Materialmodell (UMAT)
 - Anisotroper Steifigkeitstensor (analyt. Homogenisierung)
 - Plastizität und Viskoelastizität in Abhängigkeit der Faserorientierung
 - Schädigung abhängig von Mehrachsigkeit (isotrop)

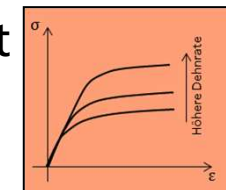
Anisotropes USER-Modell

- + Bessere Probensimulation wegen Anisotropie
- + Berücksichtigt viskoelastischer Effekte
- Leicht spröderes Versagensverhalten



Isotropes Modell (MAT024+GISSMO)

- + Einfache Handhabung, geringer Aufwand, rechnet schnell
- + Rein qualitativ gutes Versagensverhalten
- Mittelung isotroper Größen (Lastfallabhängig $0^\circ/90^\circ$)
- Dehnratenabhängigkeit im Zugversuch schlecht approximiert



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 17334 N der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. (FAT), Behrenstraße 35, 10117 Berlin wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

