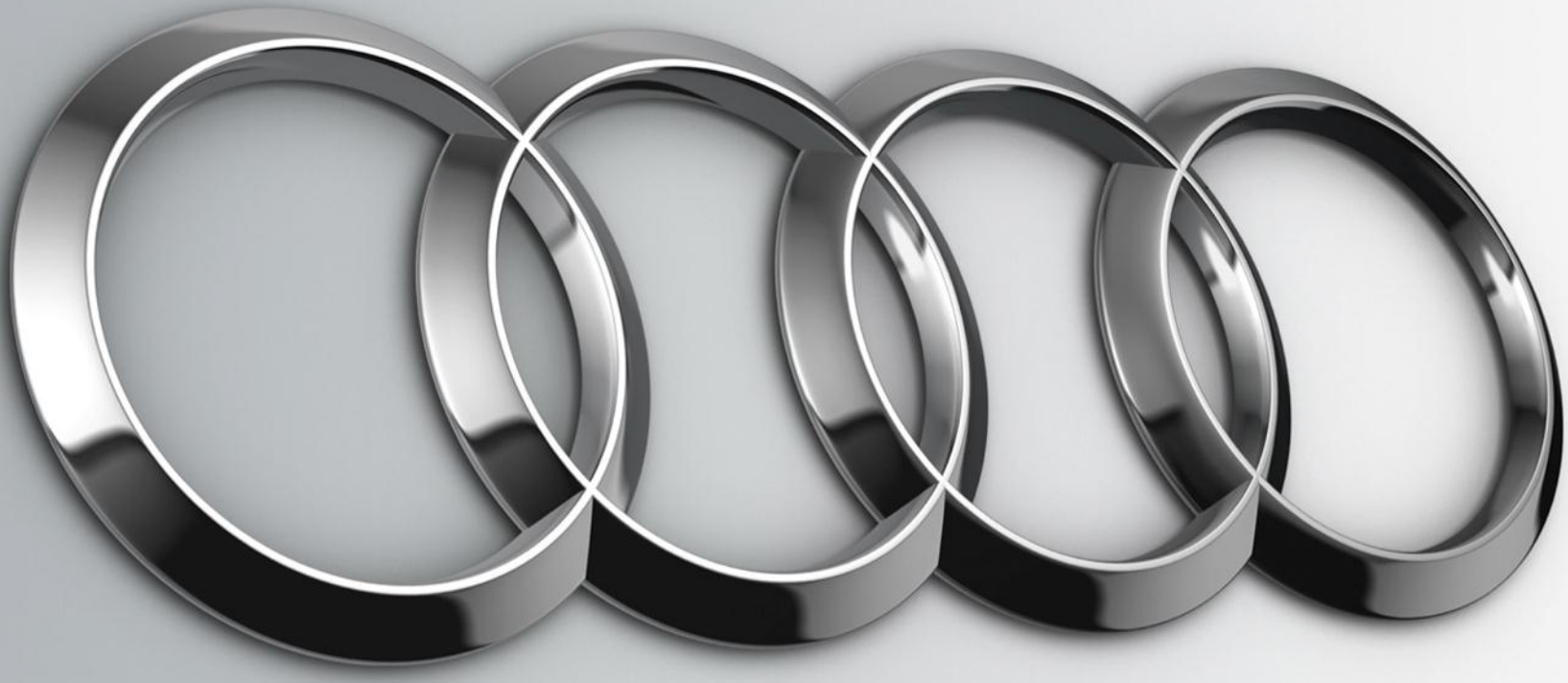
Audi
Vorsprung durch Technik



Anforderungsgerechte Material- und Bruchmodellierung für die Fahrzeugsicherheit

TT2016, Schladming

Holger Staack, Andreas Koukal

Inhalt

1. Motivation: Einführung Fußgängerschutz
2. Randbedingungen des Fußgängerschutzes
3. Materialmodellierung
4. Versagensmodellierung
5. Validierung an Fahrzeugkomponenten

Audi
Vorsprung durch Technik

Inhalt

1. **Motivation: Einführung Fußgängerschutz**
2. Randbedingungen des Fußgängerschutzes
3. Materialmodellierung
4. Versagensmodellierung
5. Validierung an Fahrzeugkomponenten

Audi
Vorsprung durch Technik

1. Motivation: Einführung Fußgängerschutz

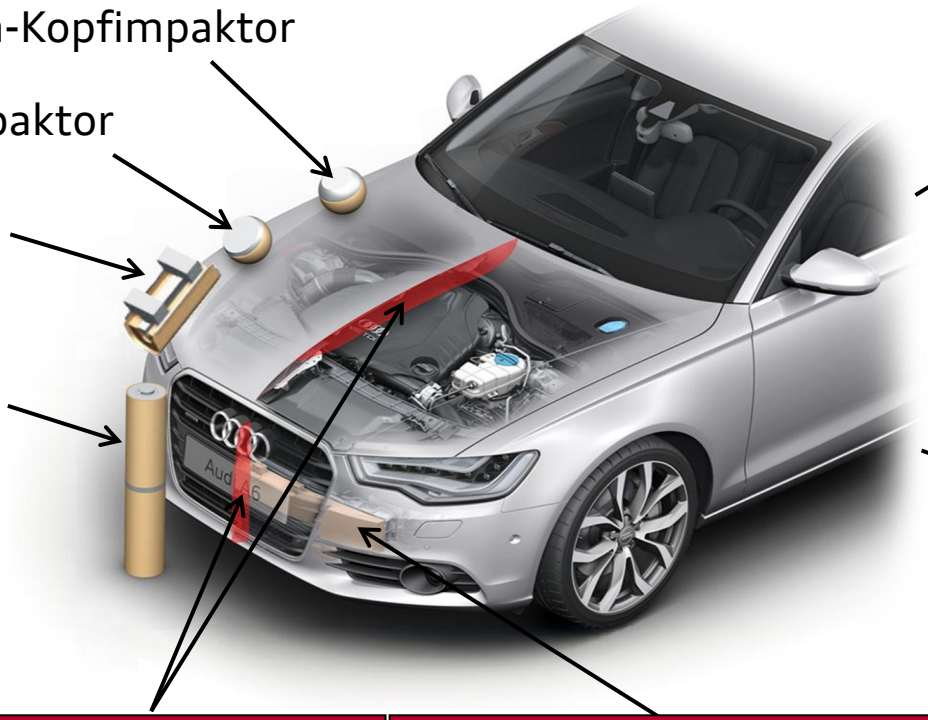
- Wie funktioniert Fußgängerschutz?

Erwachsenen-Kopfimpaktor

Kinder-Kopfimpaktor

Hüftimpaktor

Beinimpaktor



Homologation

- UN R-127
- GTR No.9

Verbraucher-schutz

(z.B. NCAP)

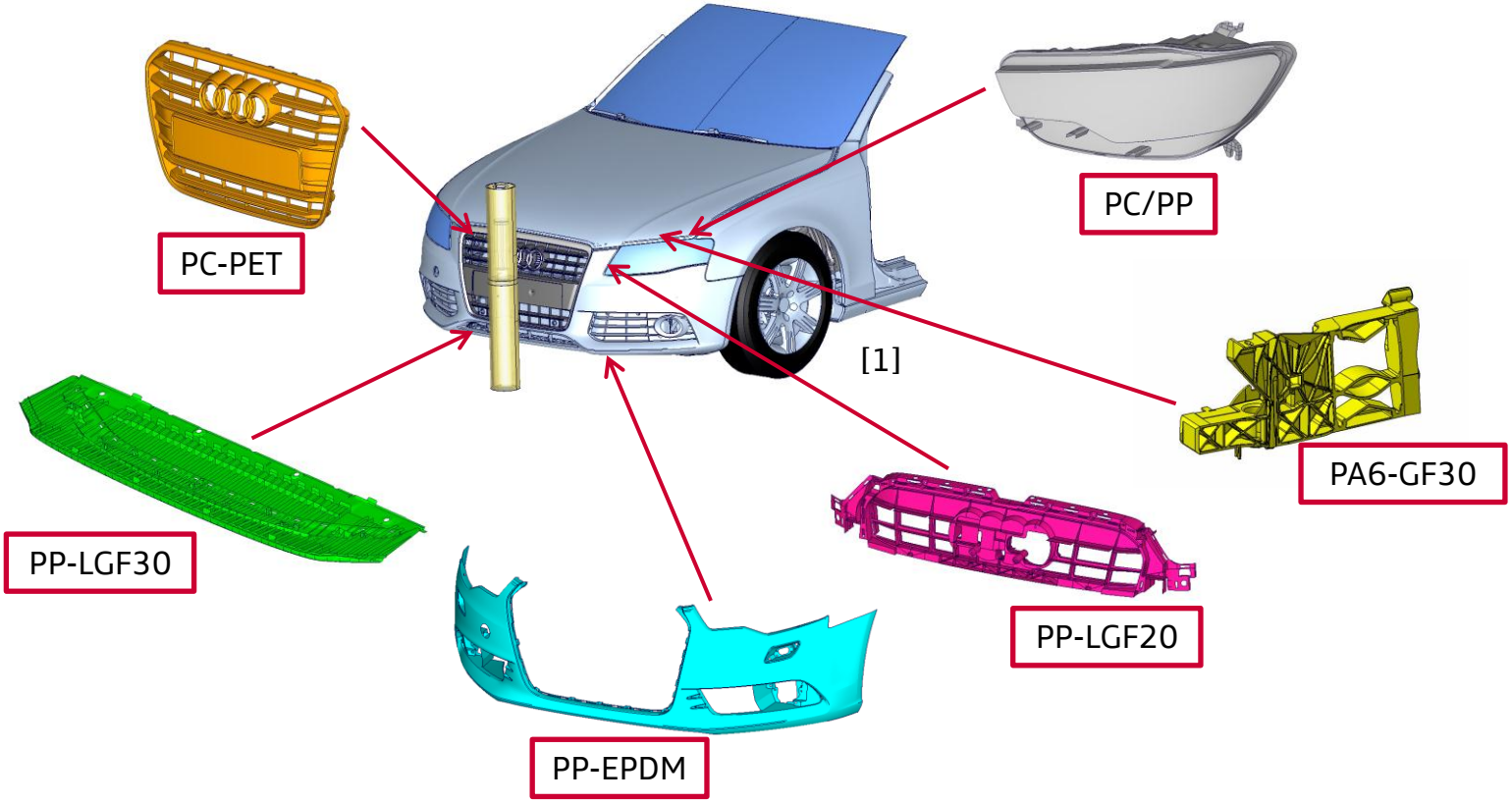
TEST 2012 ★★★★★

Deformationsräume | Energieabsorbierende Bauteile

Audi
Vorsprung durch Technik

1. Motivation: Einführung Fußgängerschutz

- Lasttragende Teile beim FGS-Anprall v.a. glasfaser- und unverstärkte Thermoplaste



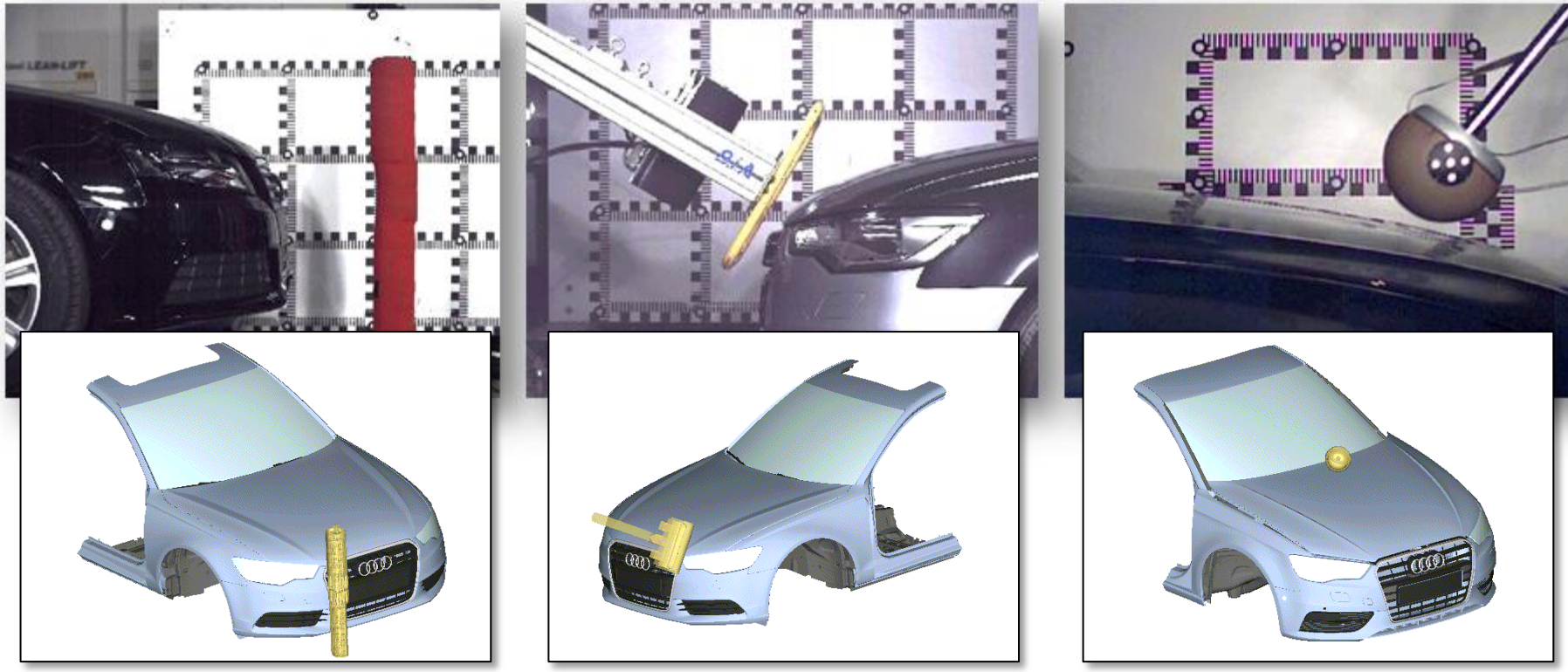
Audi
Vorsprung durch Technik

Inhalt

1. Motivation: Einführung Fußgängerschutz
2. **Randbedingungen des Fußgängerschutzes**
3. Materialmodellierung
4. Versagensmodellierung
5. Validierung an Fahrzeugkomponenten

Audi
Vorsprung durch Technik

2. Randbedingungen des Fußgängerschutzes

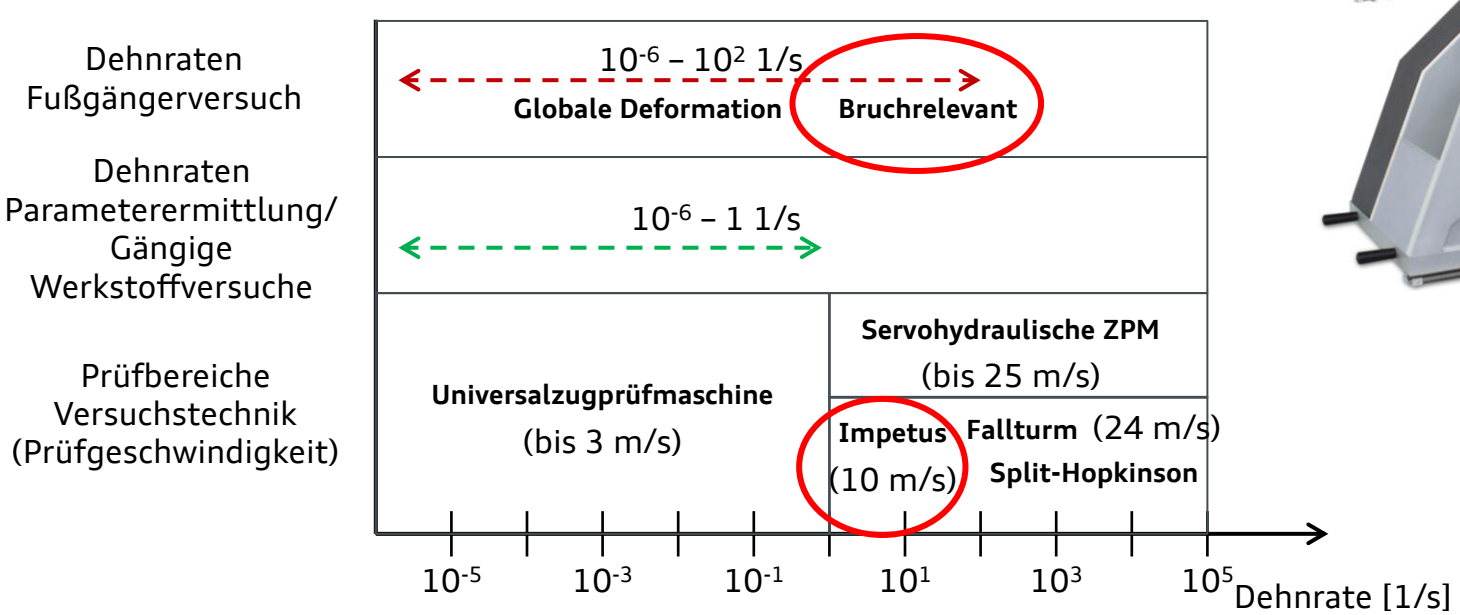


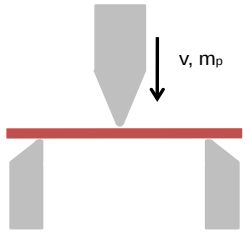
[2]

- Kurze Belastungszeiten → Hohe Dehnraten
- Globale Biegebelastung
- Komplexe Thermoplastbauteile

Audi
Vorsprung durch Technik

2. Randbedingungen des Fußgängerschutzes





- Beanspruchungsgerechter Modellierungsansatz
- Voraussetzung für Versagensmodellierung:

Korrekte Abbildung des Deformations- und Werkstoffverhaltens bereits in der Versuchstechnik

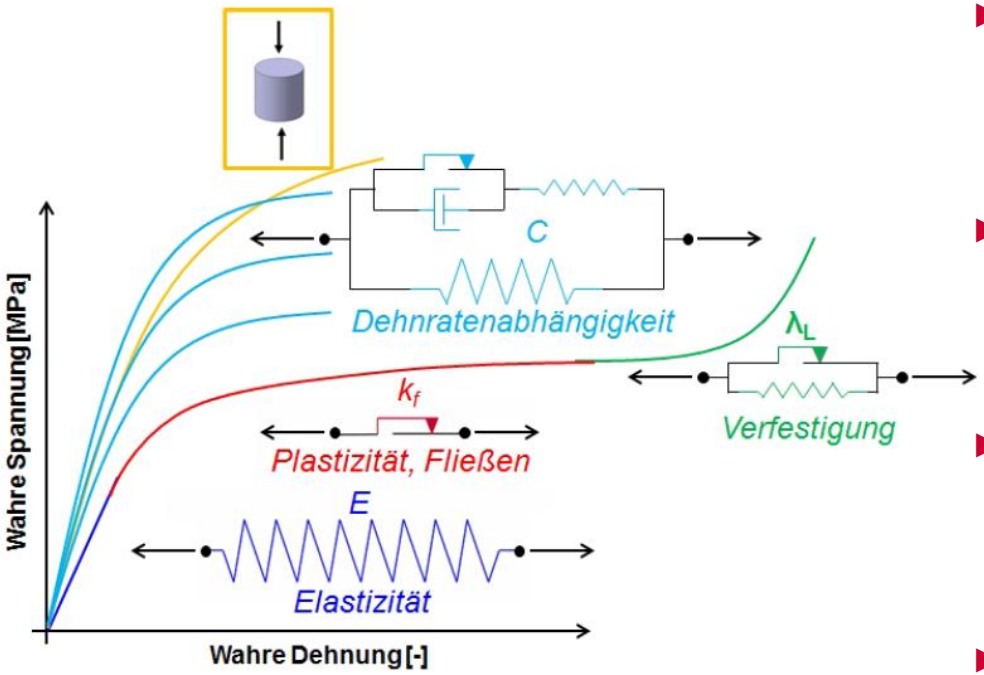
Audi
Vorsprung durch Technik

Inhalt

1. Motivation: Einführung Fußgängerschutz
2. Randbedingungen des Fußgängerschutzes
3. **Materialmodellierung**
4. Versagensmodellierung
5. Validierung an Fahrzeugkomponenten

Audi
Vorsprung durch Technik

3. Materialmodellierung



[3]

- Elastizität: **Isotrop**
- Plastizität: **Raghava**

$$f(\sigma) = \frac{3(\alpha-1)\sigma_m + \sqrt{9((\alpha-1)\sigma_m)^2 + 4\alpha\sigma_v^2}}{2\alpha} - \sigma_0$$

- Hardening: **Greve-Fahrenbach**

$$\sigma_0 = (1 + b(\bar{\varepsilon}^p)^n))(\sigma_{Plat} - (\sigma_{Plat} - \sigma_{Yld})e^{-\frac{\bar{\varepsilon}^p}{\varepsilon_0}})$$

- Softening: **Volumetrische Schädigung**

$$d_{vol} = 1 - Ae^{(-(B\varepsilon_{vol}^p)^M)}$$

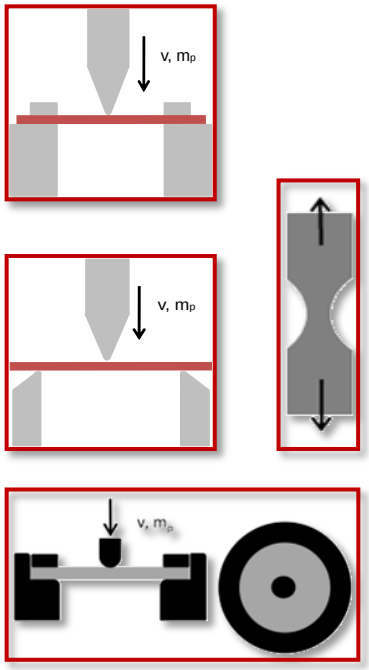
- Dehnratenverfestigung: **Johnson-Cook**

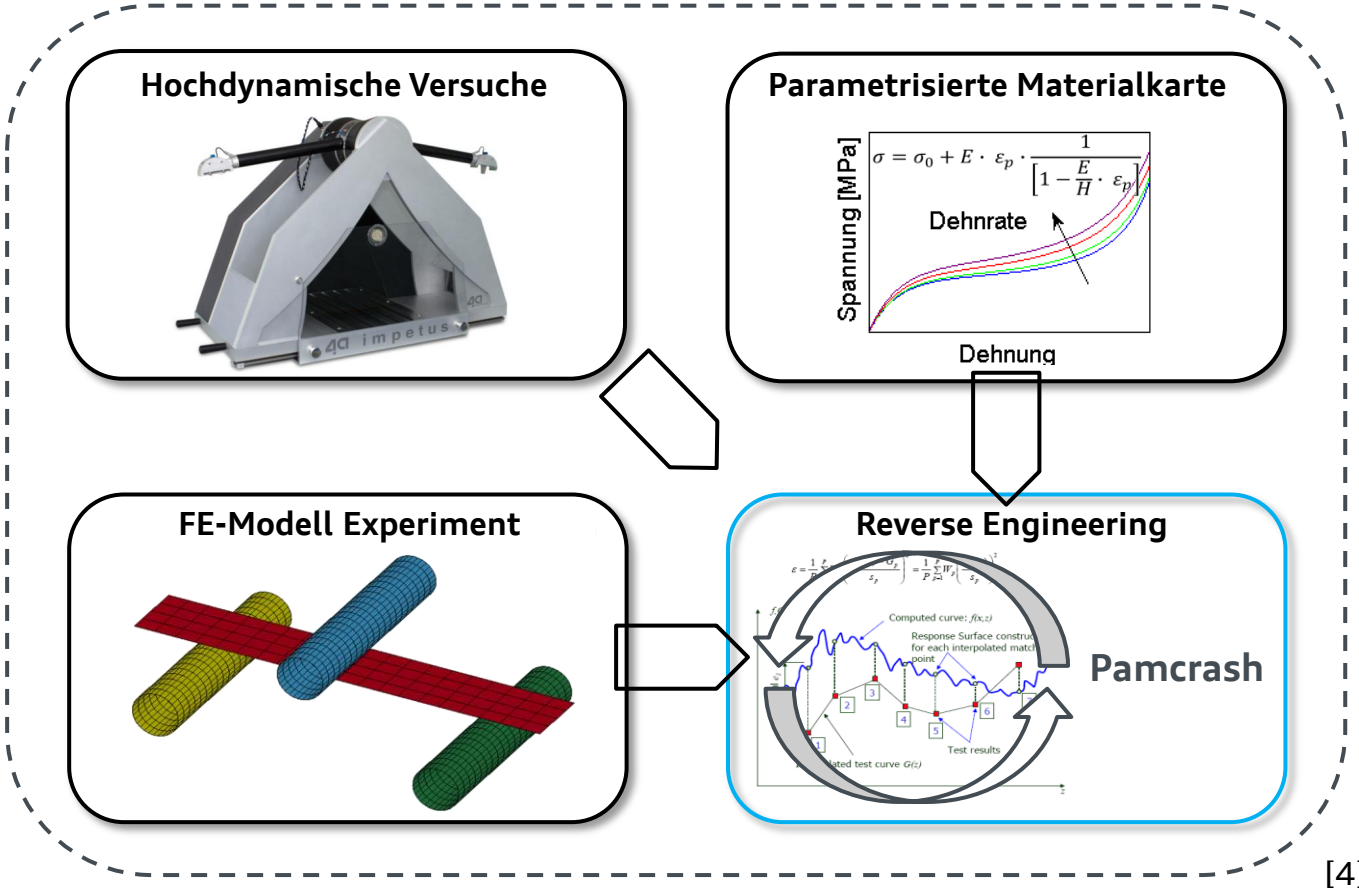
$$\sigma_0^q(1 + c_{Hard}\log\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\varepsilon_{Thres}})$$

Audi
Vorsprung durch Technik

3. Materialmodellierung

- Parameterermittlung: 4a Impetus + Zusatzuntersuchungen





[4]

Audi
Vorsprung durch Technik

Inhalt

1. Motivation: Einführung Fußgängerschutz
2. Randbedingungen des Fußgängerschutzes
3. Materialmodellierung
4. **Versagensmodellierung**
5. Validierung an Fahrzeugkomponenten

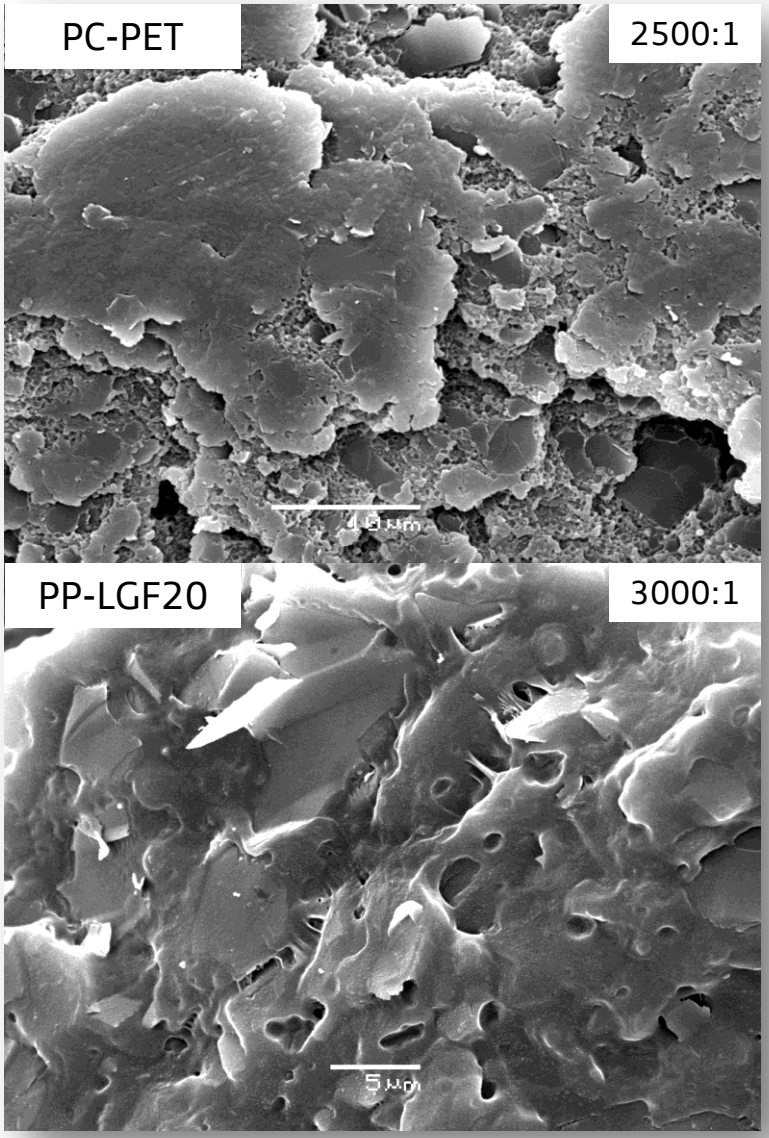
Audi
Vorsprung durch Technik

4. Versagensmodellierung

- Physikalische Indikationen:
  - Thermoplastisches Kunststoffversagen quasi-spröde (makroskopisch)
  - Plastische Dehnung und Crazing (mikroskopisch - REM)
  - Mehrachsigkeit Versagen: $0.33 \geq \eta \geq 0.66$

$$\eta = \frac{\sigma_m}{\sigma_{equ}} = \frac{\frac{1}{3} \cdot (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}}$$

- Kein Versagen unter Druck und reinem Schub

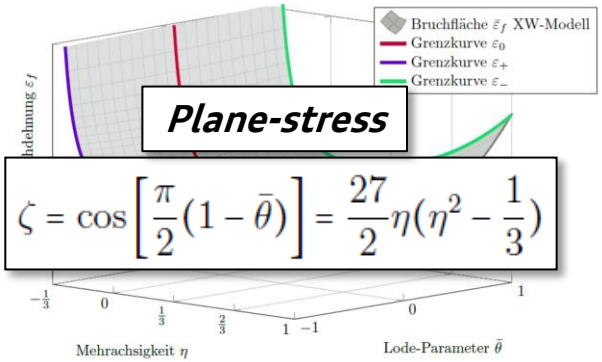


[5]

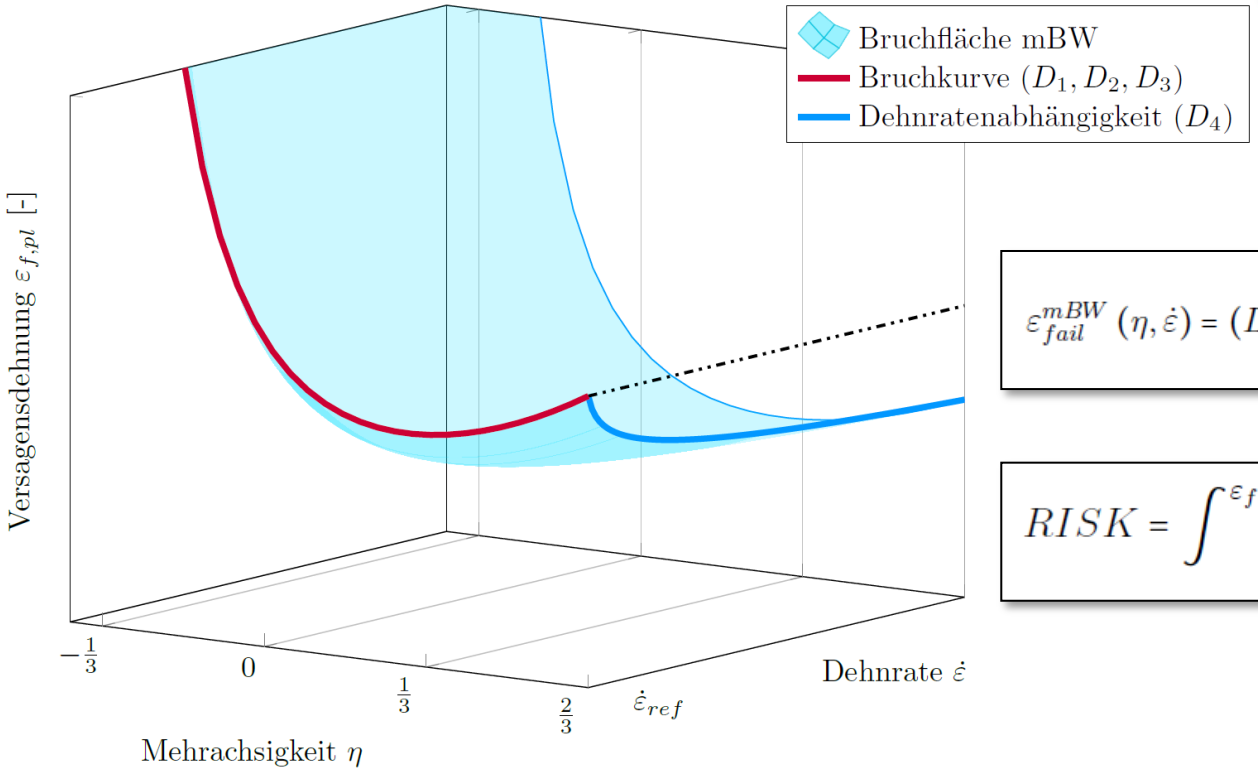
Audi
Vorsprung durch Technik

4. Versagensmodellierung

- Simplifizierung des Bai-Wierzbicki-Modells für Schalen [6]
- Erweiterung um Dehnratenabhängigkeit



$$\zeta = \cos\left[\frac{\pi}{2}(1-\bar{\theta})\right] = \frac{27}{2}\eta(\eta^2 - \frac{1}{3})$$

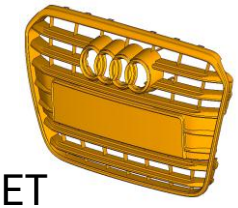


$$\varepsilon_{fail}^{mBW}(\eta, \dot{\varepsilon}) = (D_1 + \frac{D_2}{3\eta + 1} e^{-D_3\eta}) \cdot \left(1 + D_4 \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{ref}}\right)\right)$$

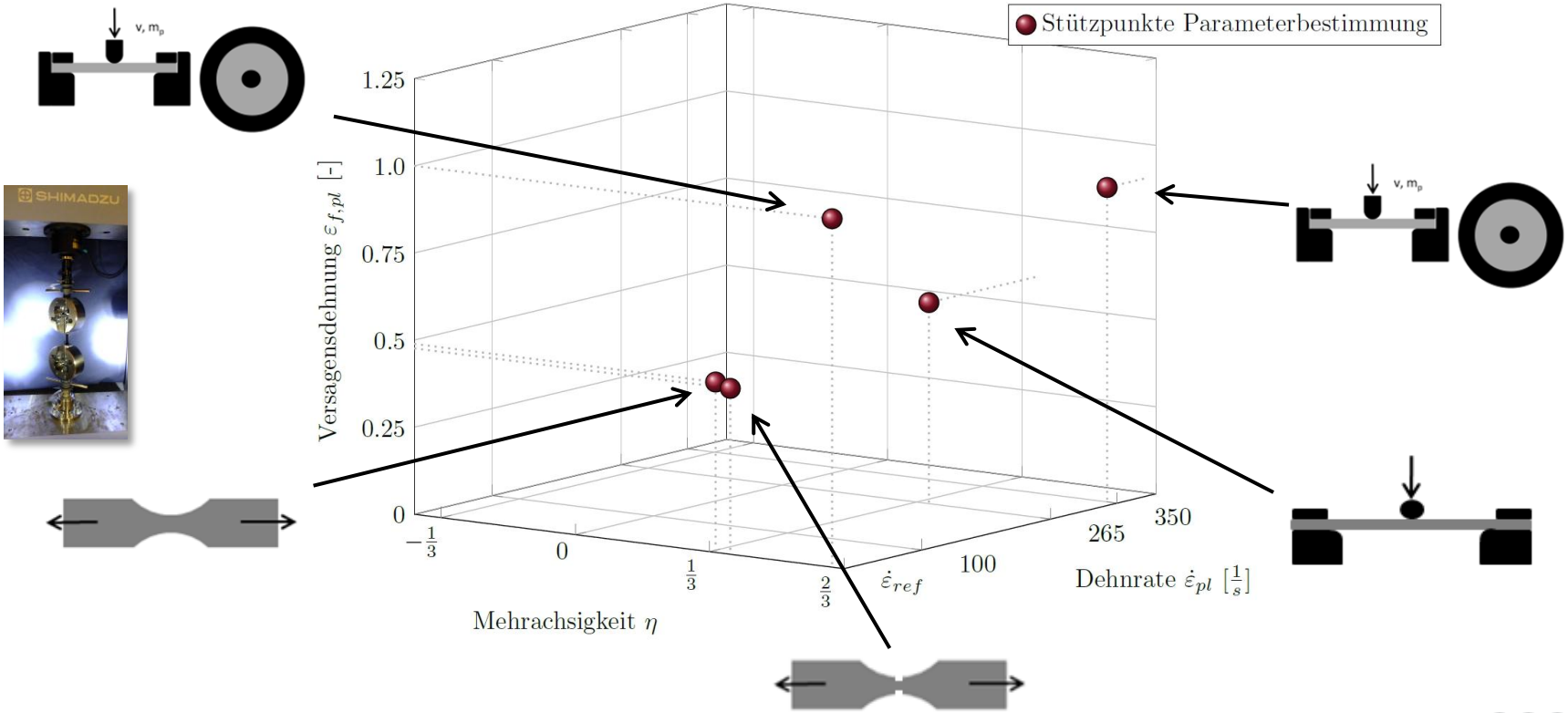
$$RISK = \int^{\varepsilon_{fail}} \frac{d\varepsilon_{pl}}{\varepsilon_{fail}^{mBW}}$$

Audi
Vorsprung durch Technik

4. Versagensmodellierung



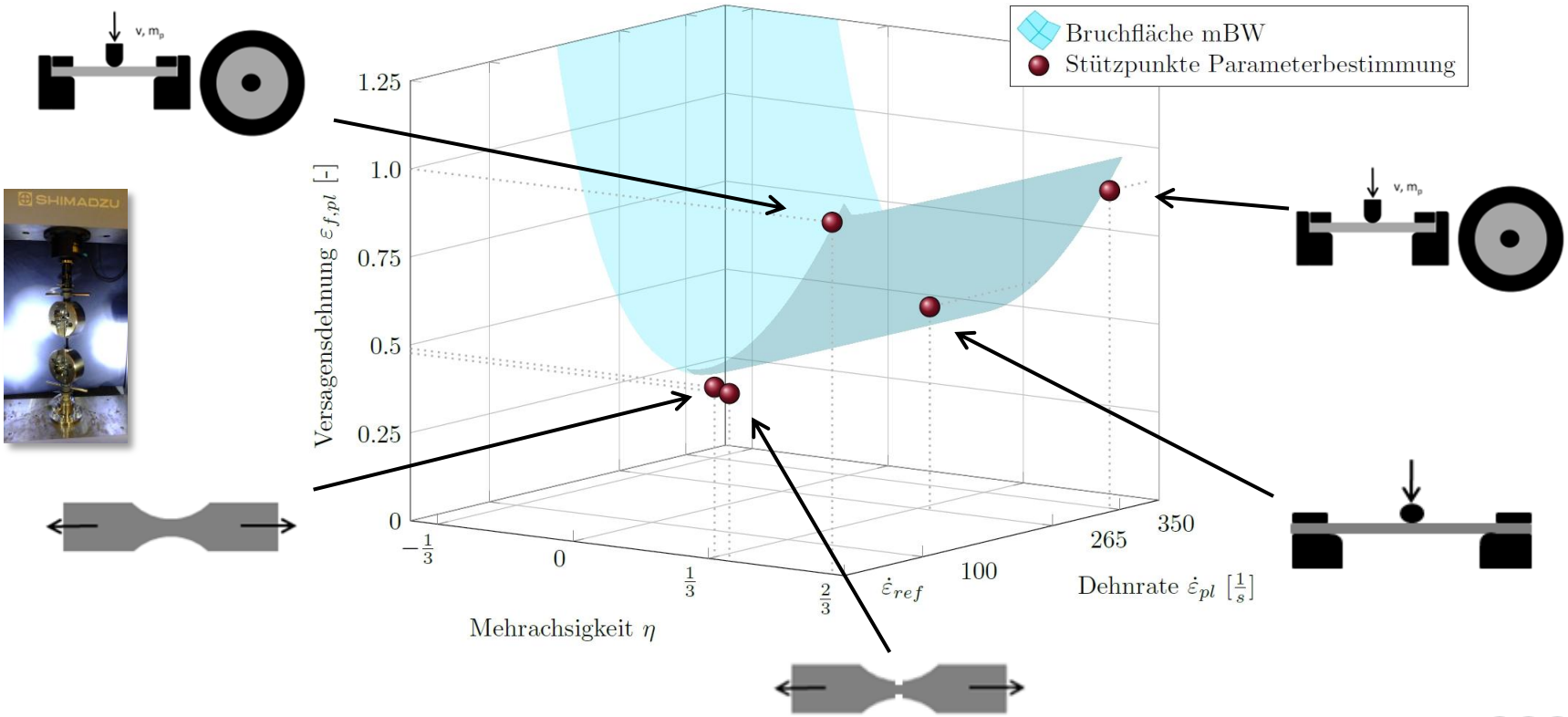
- Reverse-Engineering Ansatz für Bruchbestimmung PC-PET
- Experimentelle Bestimmung mit 4a Impetus
  - Gemeinsame Weiterentwicklung der Methoden und Versuche



Audi
Vorsprung durch Technik

4. Versagensmodellierung

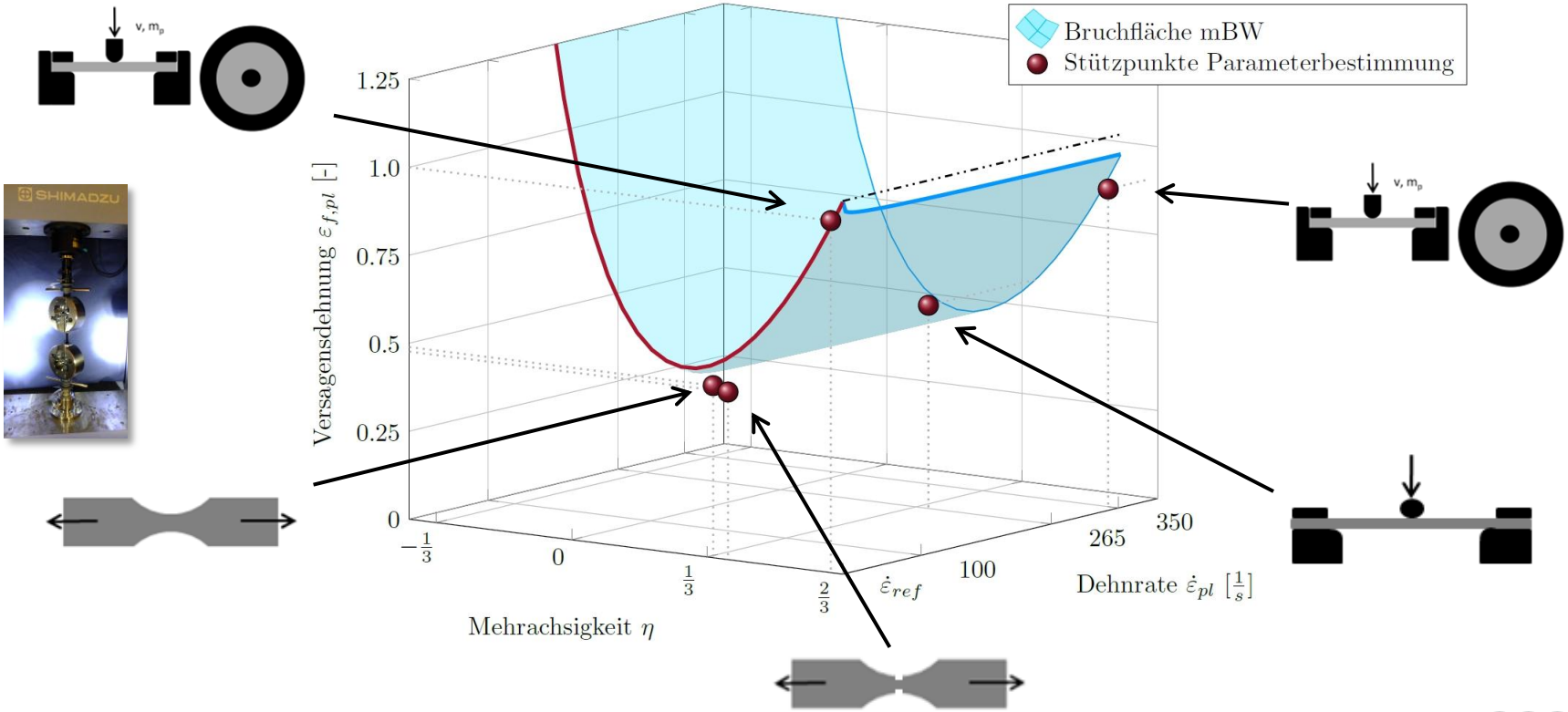
- Reverse-Engineering Ansatz für Bruchbestimmung PC-PET
- Experimentelle Bestimmung mit 4a Impetus
  - Gemeinsame Weiterentwicklung der Methoden und Versuche



Audi
Vorsprung durch Technik

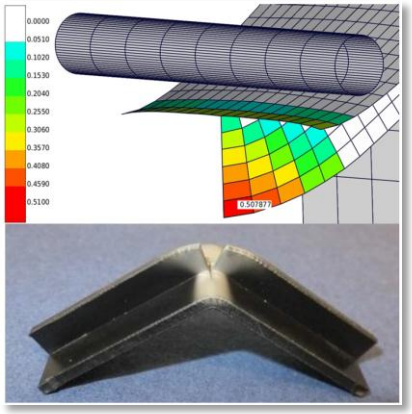
4. Versagensmodellierung

- Reverse-Engineering Ansatz für Bruchbestimmung PC-PET
- Experimentelle Bestimmung mit 4a Impetus
  - Gemeinsame Weiterentwicklung der Methoden und Versuche

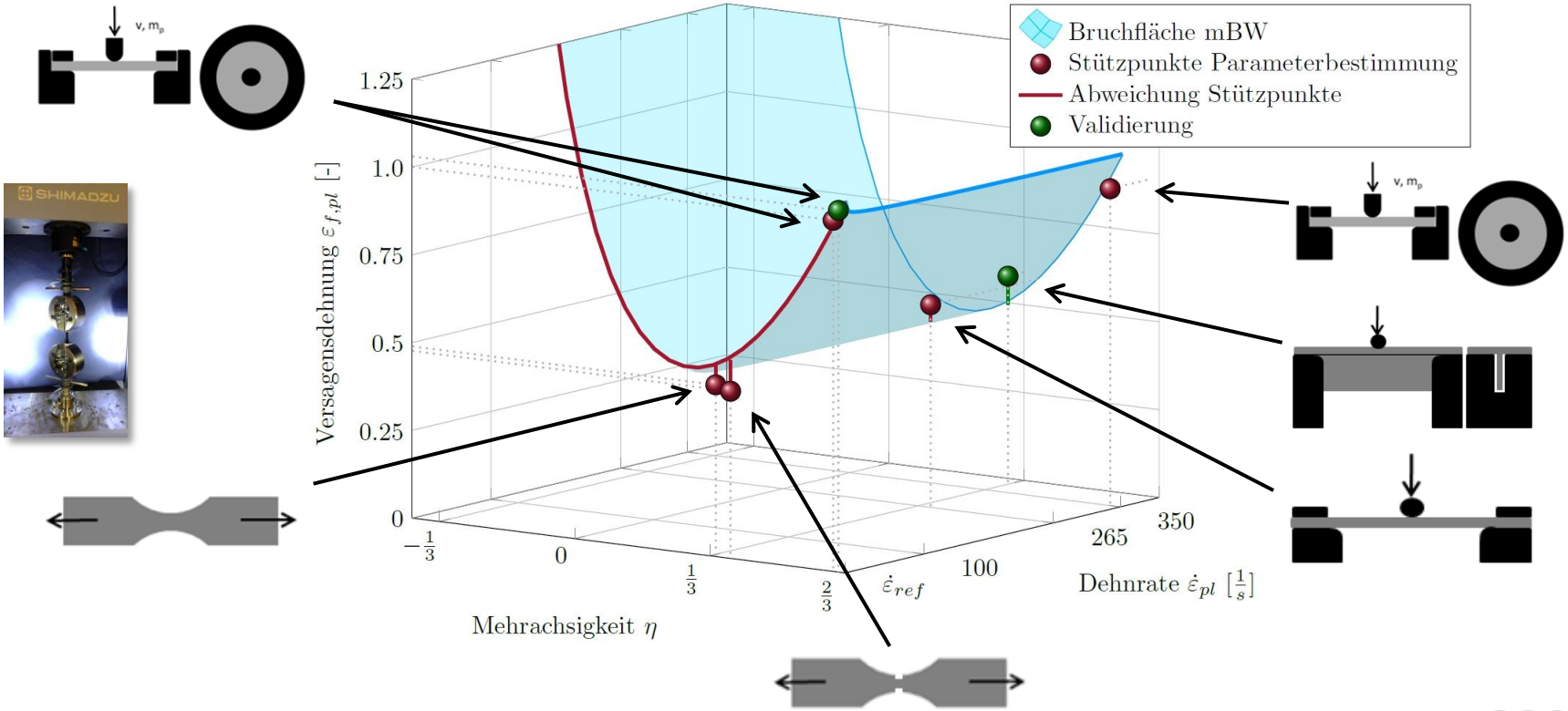


Audi
Vorsprung durch Technik

4. Versagensmodellierung



- Reverse-Engineering Ansatz für Bruchbestimmung PC-PET
- Experimentelle Bestimmung mit 4a Impetus
  - Gemeinsame Weiterentwicklung der Methoden und Versuche



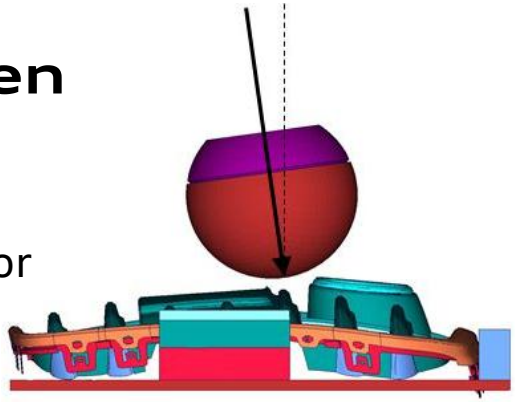
Audi
Vorsprung durch Technik

Inhalt

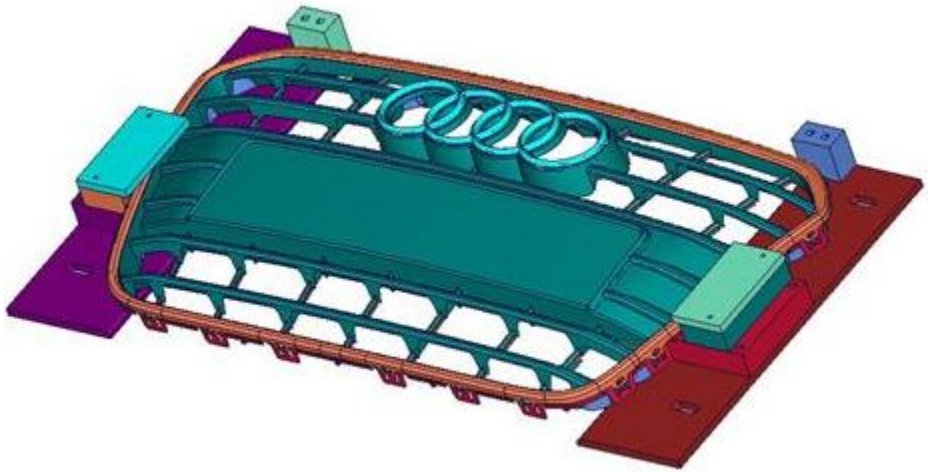
1. Motivation: Einführung Fußgängerschutz
2. Randbedingungen des Fußgängerschutzes
3. Materialmodellierung
4. Versagensmodellierung
5. **Validierung an Fahrzeugkomponenten**

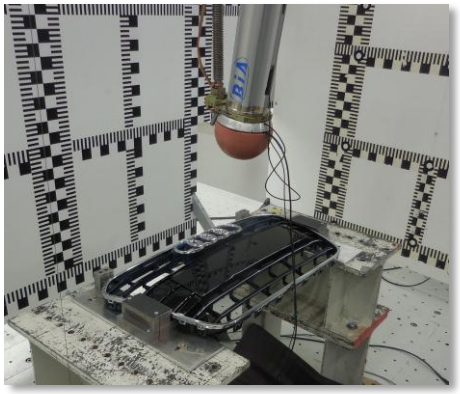
Audi
Vorsprung durch Technik

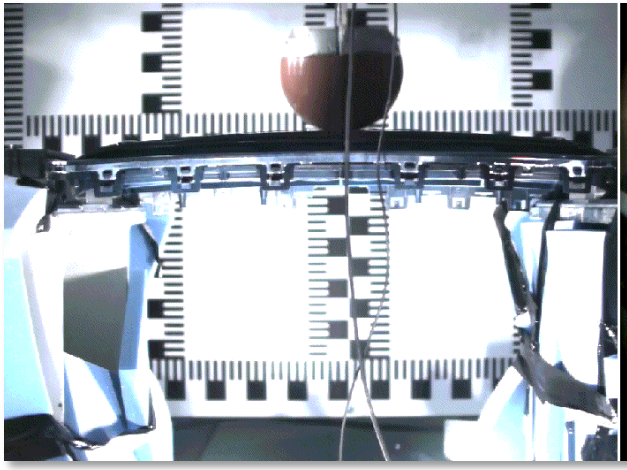
5. Validierung an Fahrzeugkomponenten

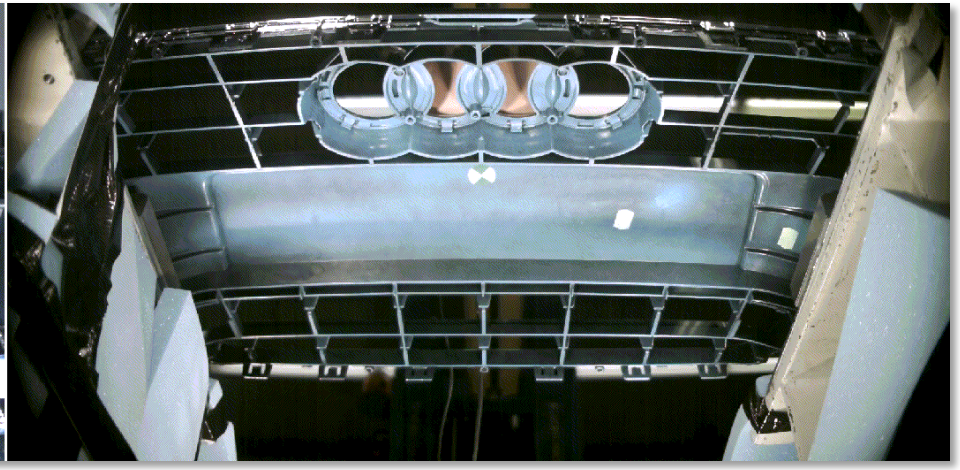


- Validierung mit Komponentenversuchen und FGS-Kopfimpaktor





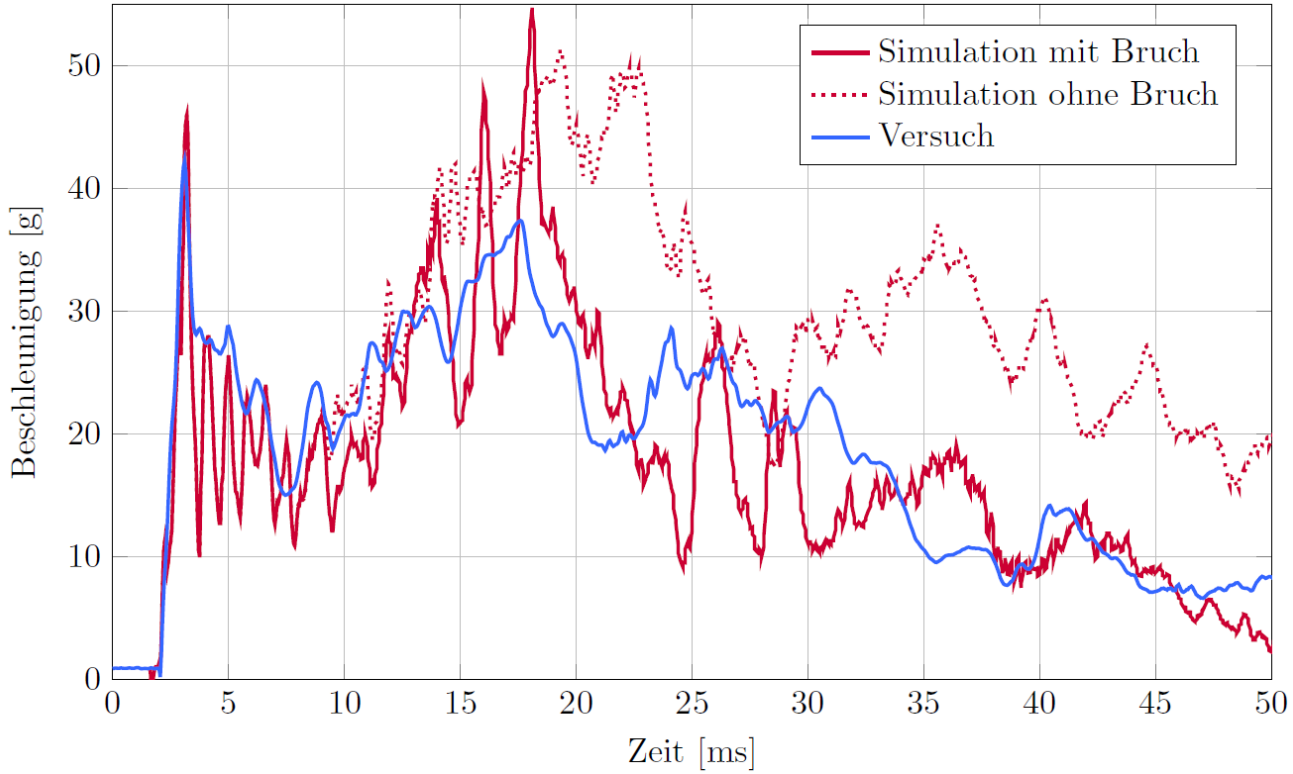




Audi
Vorsprung durch Technik

5. Validierung an Fahrzeugkomponenten

- Validierung mit Komponentenversuchen und FGS-Kopfimpaktor
- Auswertung Beschleunigungssignal Kopfimpaktor



Global:

- Impaktorsignale

Lokal:

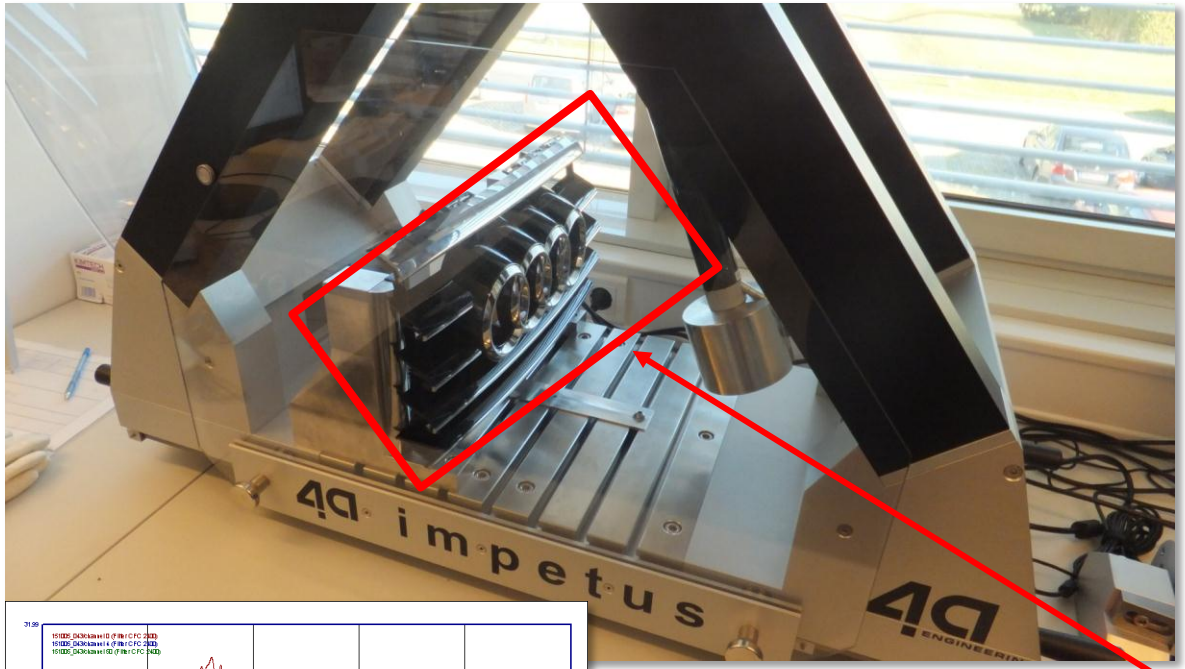
- Bruchzeitpunkt
- Bruchort

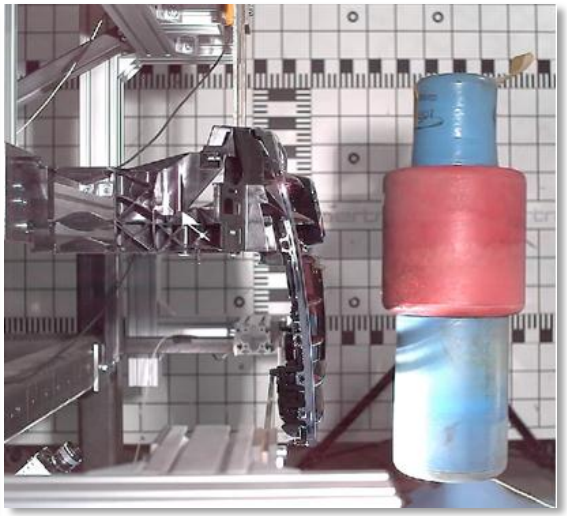
- Gute Korrelation bei globaler und lokaler Validierung

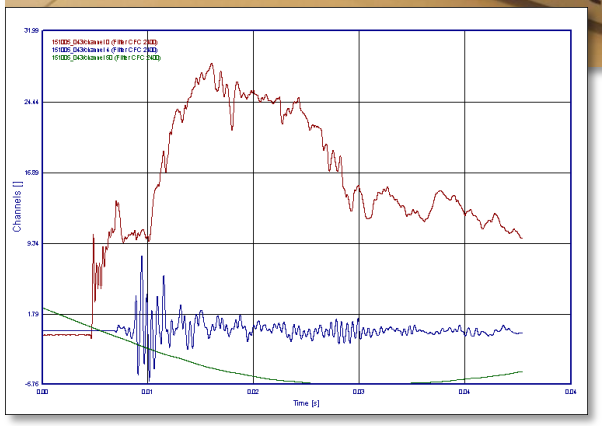
Audi
Vorsprung durch Technik

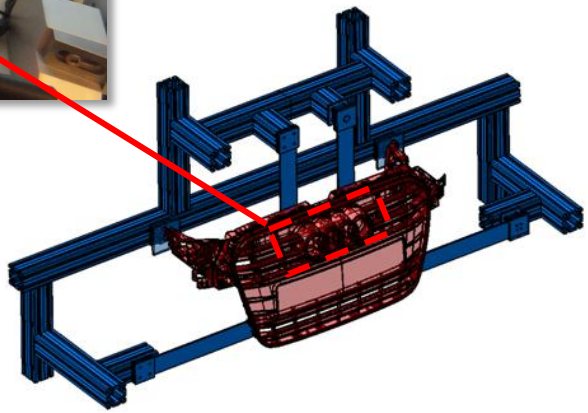
5. Validierung an Fahrzeugkomponenten

- Validierung mit Impetus Pendel: Kleinkomponentenversuch









Audi
Vorsprung durch Technik

Zusammenfassung

- Randbedingungen des Fußgängerschutzes für Material und Bruchmodellierung
- Anwendungsgerechte
  - Materialmodellierung
  - Bruchmodellierung
  - Versuchstechnik
- Validierung mit Klein- und Fahrzeugkomponenten
  - T-Probe, Kleinkomponente (Impetus)
  - Komponentenprüfstand mit Fußgängerschutz-Impaktor
- Vielversprechende Ergebnisse
  - Gute Korrelation auf Komponentenebene bei Bruchmodellierung mit vorgestelltem Ansatz

Audi
Vorsprung durch Technik

Audi
Vorsprung durch Technik

Vielen Dank.

Literaturverzeichnis / Bildnachweise

[1] A. Koukal, *“Crash- und Bruchverhalten von Kunststoffen im Fußgängerschutz von Fahrzeugen”*, TU München, 2014

[2] D. Seibert and H. Staack: *“On the virtual development of pedestrian protection”,* in International Conference Intelligent Collision Protection and Pedestrian Protection, Wiesbaden, 2014

[3] H. Staack, *“Charakterisierung von (kurzfaserverstärkten) Kunststoffen für die Crashsimulation beim Fußgängerschutz”,* in Hochleistungsstrukturen im Leichtbau, Garching, 2014

[5] H. Staack, D. Seibert, A. Koukal, and H. Baier: *“Versuchsbasierte Entwicklung eines industriellen Bruchkriteriums für Kunststoffkomponenten in der Fußgängerschutzauslegung”*, in SIMVEC, Baden-Baden, 2014

[4] 4a Engineering GmbH: *“Material Parameter Identification - Reverse Engineering”*, In: automotive CAECompanion 2015/2016

[6] H. Staack, D. Seibert, A. Koukal, and H. Baier : *“Application-oriented failure modeling and characterization for polymers in automotive pedestrian protection”,* in: International Conference on Computational Plasticity (COMPLAS), Barcelona, 2015