Modelltechnik und Werkstoffmodelle bei der Simulation von Thermoplasten mit LS-DYNA in Crashanwendungen

Veronika Effinger, André Haufe
DYNAmore GmbH

Andreas Hirth
Daimler AG

4a Technologietag
Kunststoffe auf dem Prüfstand

16.02.2012

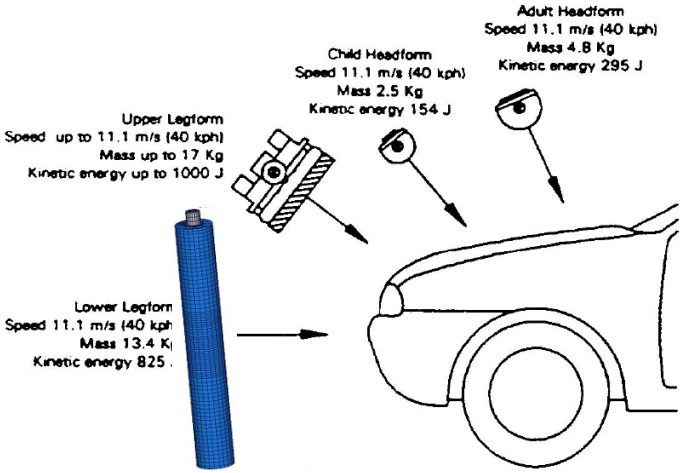
Übersicht

- Motivation
- Materialverhalten von Thermoplasten
- Materialmodelle für Thermoplaste
- Beispiel: Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum

Motivation

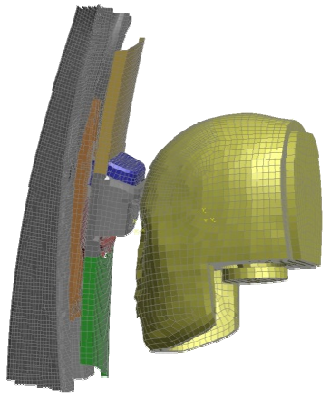
- Sicherheitsrelevante Strukturbauteile aus Thermoplasten

- Fußgängerschutz
  EEVC AG 17



www.eevc.org

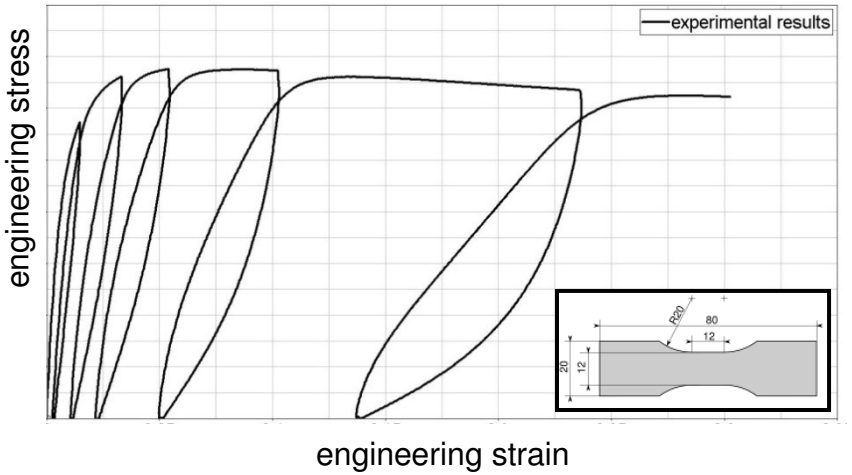
- Insassenschutz
  FMVSS 201: Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum



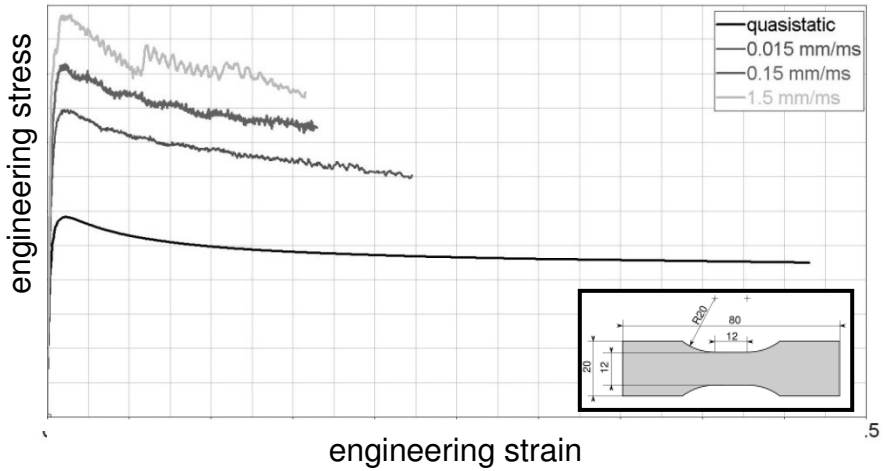
Materialverhalten von Thermoplasten

- Viskoelastisch-Viskoplastisches Materialverhalten

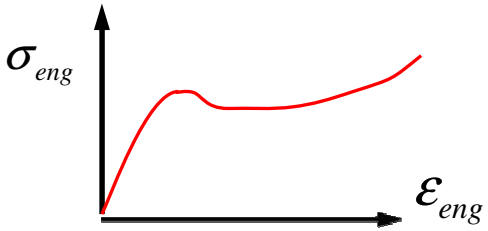
Zyklische Zugversuche



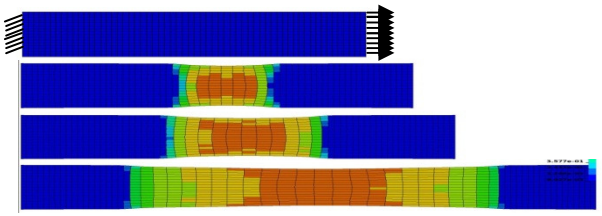
Dynamische Zugversuche



- Ent- und Verfestigung

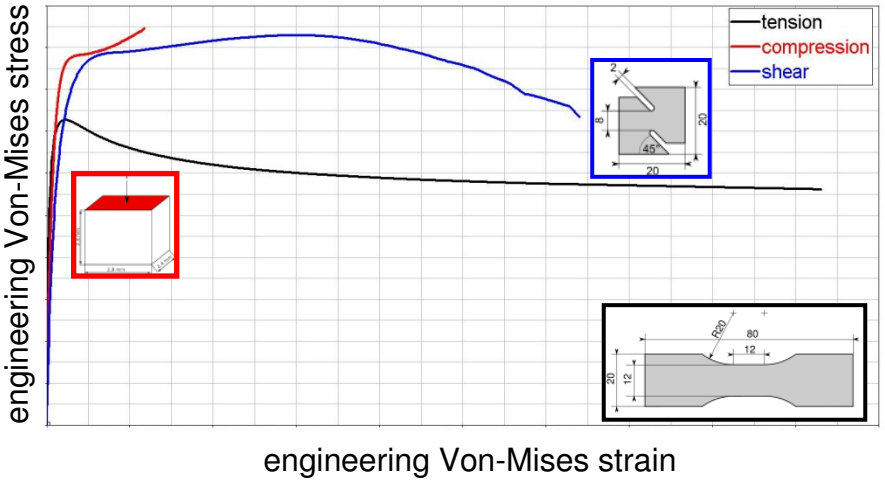


Teleskopeffekt / Schulterhalswachstum

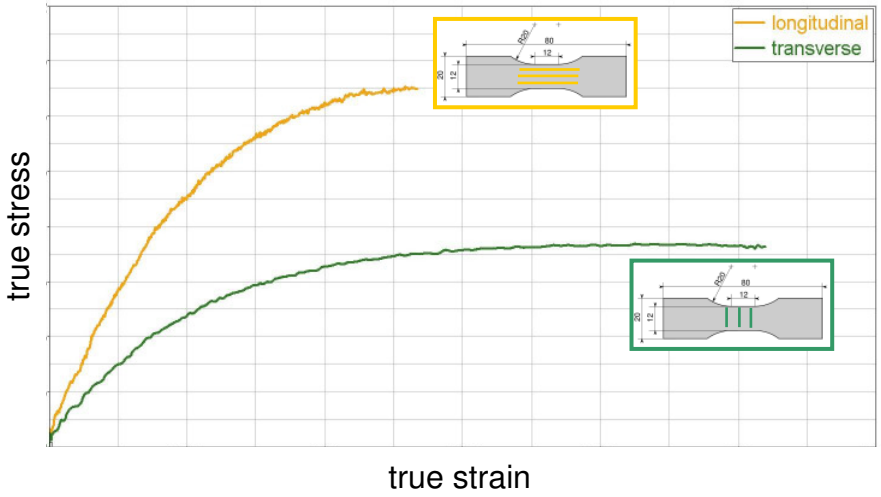


Materialverhalten von Thermoplasten

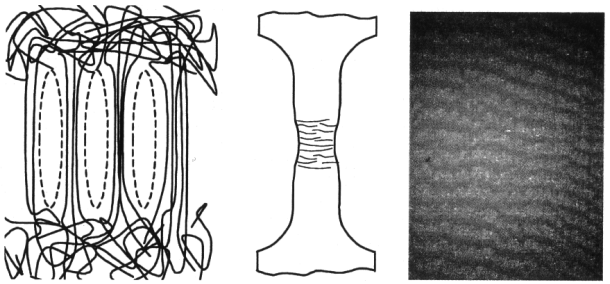
- Zug-Druck-Asymmetrie



- Anisotropie



- Plastische Kompressibilität



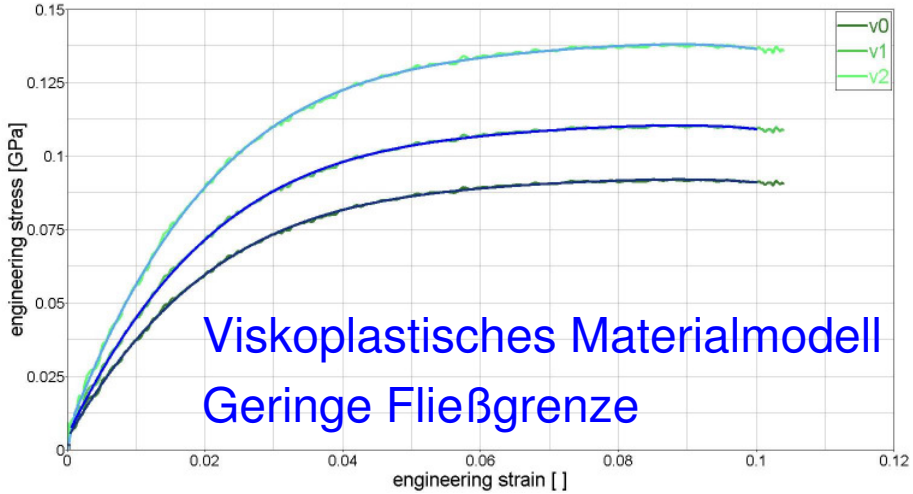
[Junginger 2002]

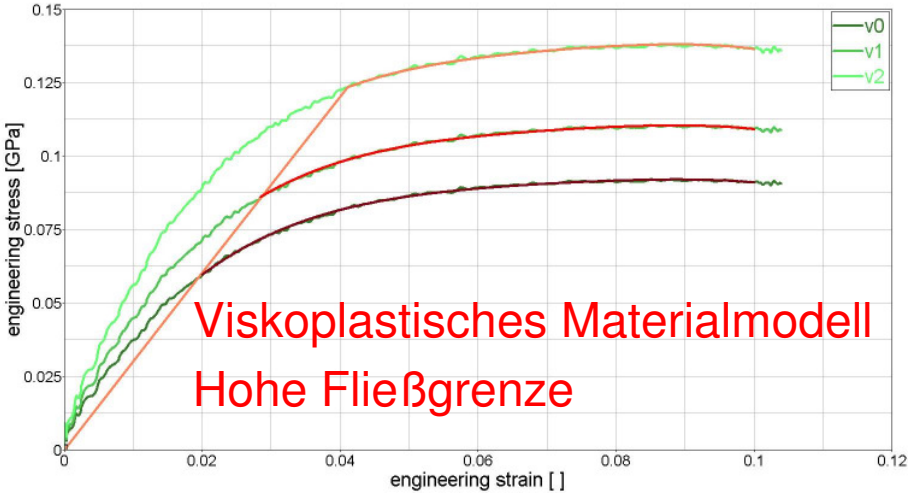
Crazing bewirkt Volumenzunahme

Materialmodelle für Thermoplaste

- Viskoelastische Materialmodelle
  - Lineare Viskoelastizität mit Prony-Serien

- Viskoplastische Materialmodelle
  - Lineare Elastizität
  - Fließspannung in Abhängigkeit der Dehnung
  - Dehnratenabhängige Fließbedingung





Viskoelastische Materialmodelle

- Lineare Viskoelastizität: Boltzmann-Integral

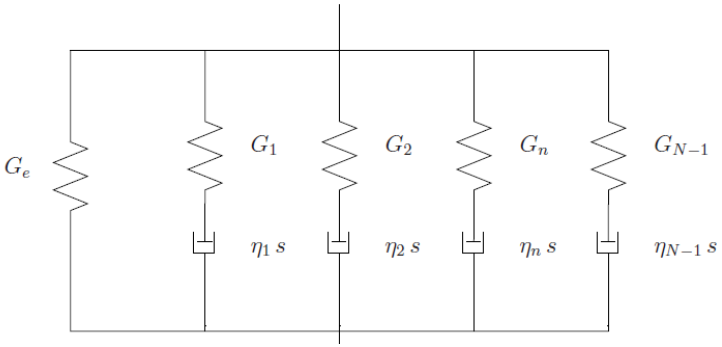
$$\sigma_{ij} = \int_0^t C_{ijkl}(t-\tau)\frac{d\varepsilon_{kl}}{d\tau}d\tau$$

Faltungsintegral:
Einfluss der gesamten Belastungsgeschichte

- Isotropes Materialverhalten

$$\sigma_{ij} = \int_0^t 2G(t-\tau)\frac{d\varepsilon_{ij}}{d\tau}d\tau + \int_0^t \left(K(t-\tau) - \frac{2}{3}G(t-\tau)\right)\delta_{ij}\frac{d\varepsilon_{kk}}{d\tau}d\tau$$

- Prony-Serie

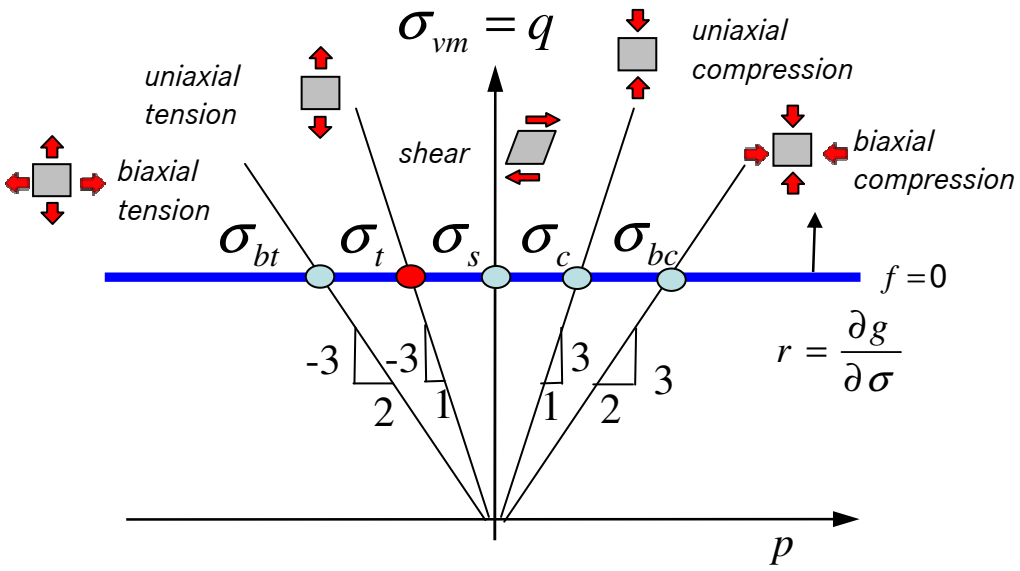


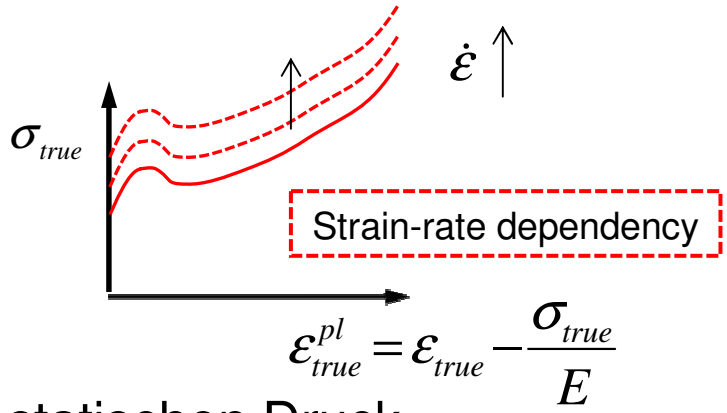
$$G(t) = G_e + \sum_{n=1}^{N-1} G_n \exp\left(-\frac{t}{\tau_n}\right) \qquad \tau_n = \frac{\eta_n}{G_n}$$

$$K(t) = K_e + \sum_{m=1}^{M-1} K_m \exp\left(-\frac{t}{\tau_m}\right) \qquad \tau_m = \frac{\mu_m}{K_m}$$

Viskoplastische Materialmodelle

- Von-Mises Fließbedingung: Assoziierte J_2-Plastizität

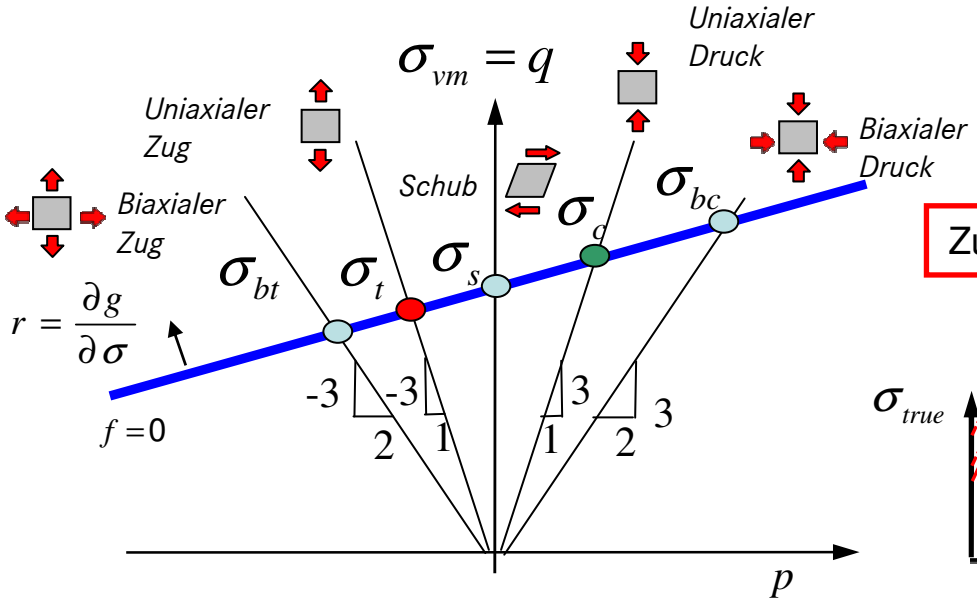


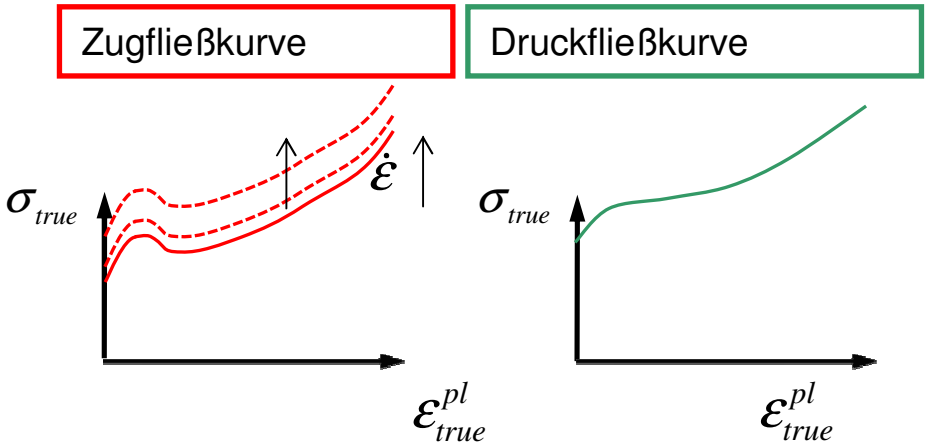


- Fließbedingung unabhängig vom hydrostatischen Druck
- Plastische Inkompressibilität $\nu_p = 0.5$
- Dehnratenabhängigkeit
- LS-Dyna: z. B. MAT_024, MAT_089

Viskoplastische Materialmodelle

- Drucker-Prager Fließbedingung: Assoziierte I_1-J_2-Plastizität

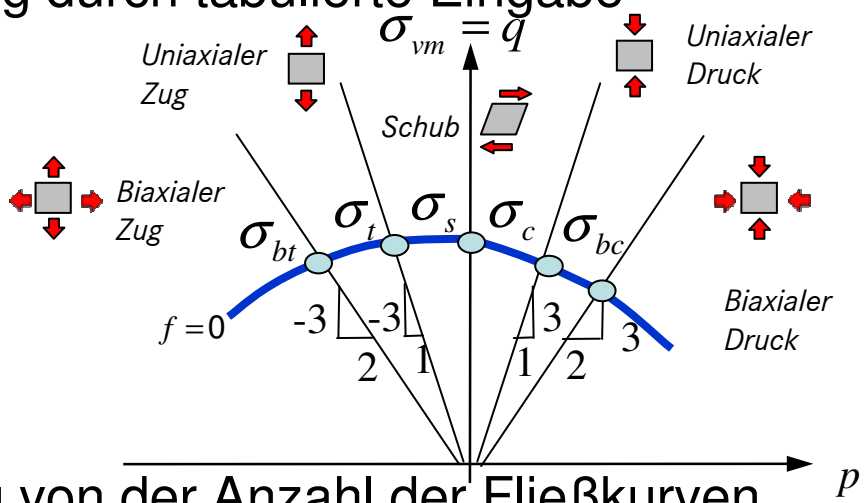




- Lineare Abhängigkeit vom hydrostatischen Druck
- Volumenzunahme
- LS-Dyna: z. B. MAT_SAMP-1

Viskoplastische Materialmodelle

- MAT_SAMP-1 : Fließbedingung durch tabulierte Eingabe
  - Biaxialer Zug
  - Uniaxialer Zug
  - Schub
  - Uniaxialer Druck

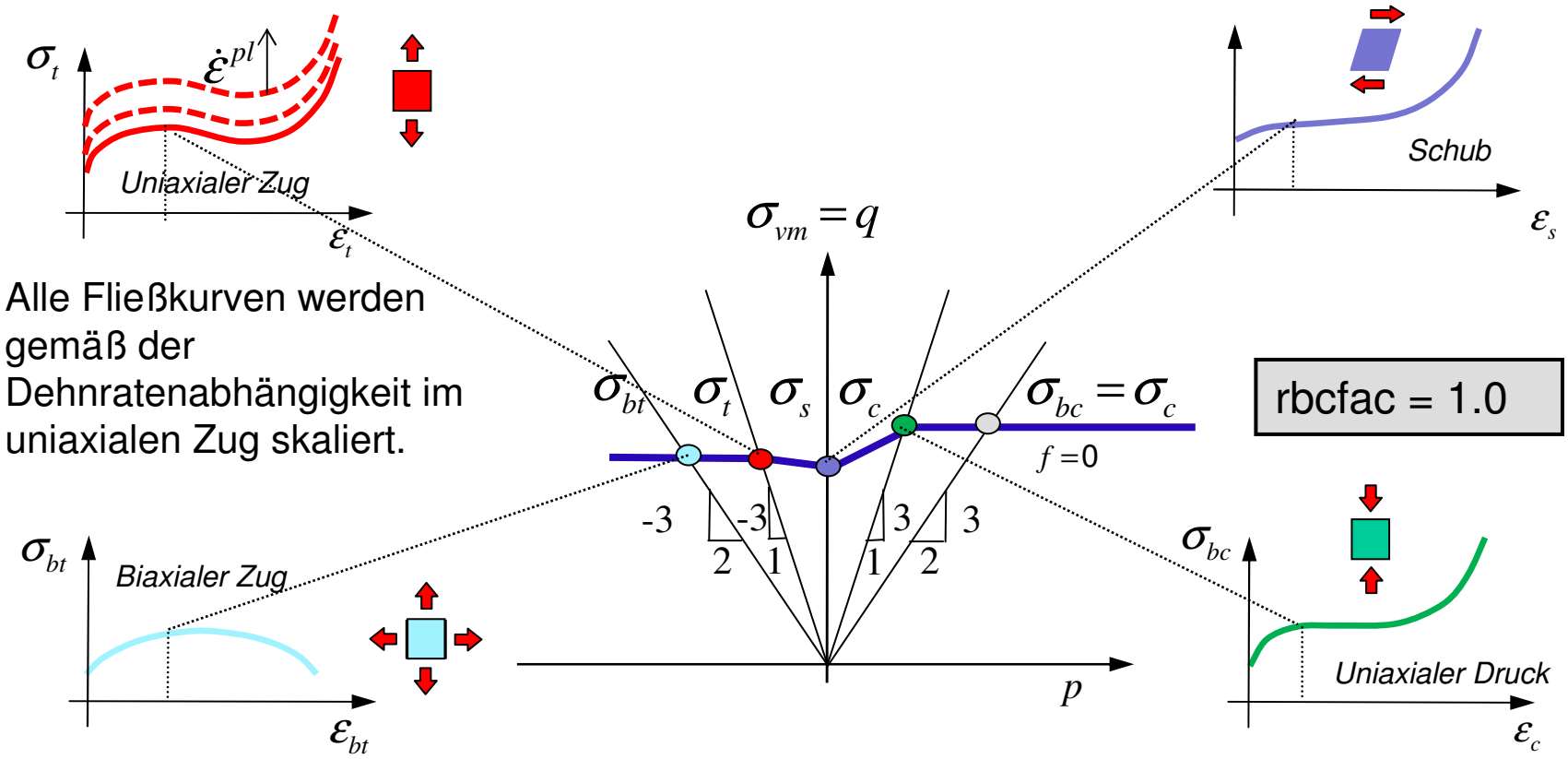


- Form der Fließfläche abhängig von der Anzahl der Fließkurven

n ≤ 2	• Linear yield surface
n = 3	• Quadratic yield surface $f = \sigma_{vm}^2 - A_0 - A_1 p - A_2 p^2$
n = 4	• Least squares fit for quadratic yield surface • Multilinear yield surface if rbcfac > 0

Viskoplastische Materialmodelle

- MAT_SAMP-1: Multilineare Fließfläche



Alle Fließkurven werden gemäß der Dehnratenabhängigkeit im uniaxialen Zug skaliert.

rbcfac = 1.0

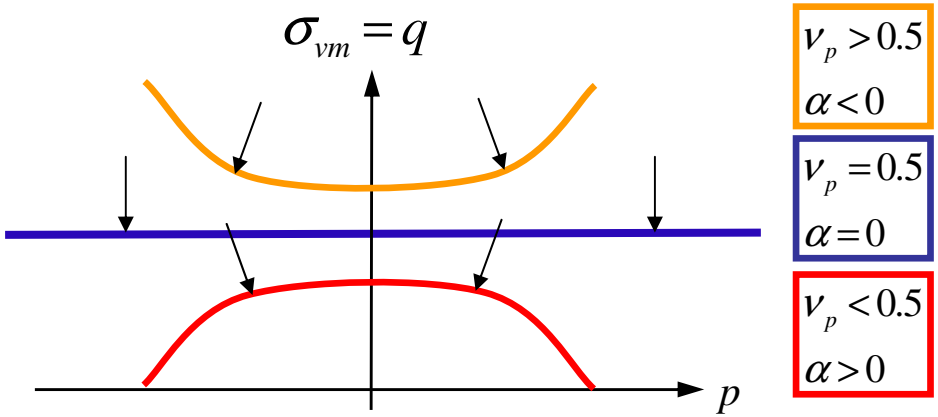
Viskoplastische Materialmodelle

- MAT_SAMP-1: Nicht-assoziierte Plastizität

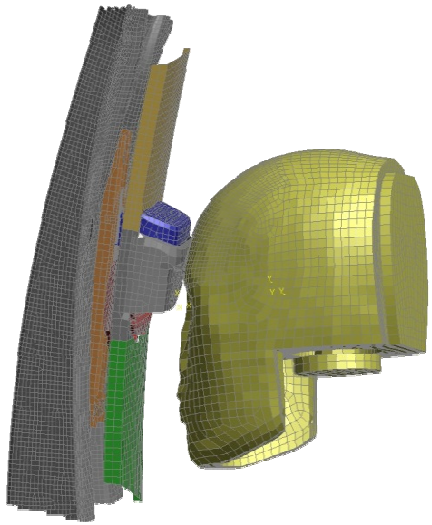
$$d\varepsilon_{ij}^{pl} = d\lambda \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}} = d\lambda\, r_{ij} \qquad g = \sqrt{q^2 + \alpha p^2}$$

- „Plastische“ Querkontraktion bestimmt den plastischen Fluss

$$\alpha = \frac{9}{2}\frac{1-2\nu_p}{1+\nu_P}$$

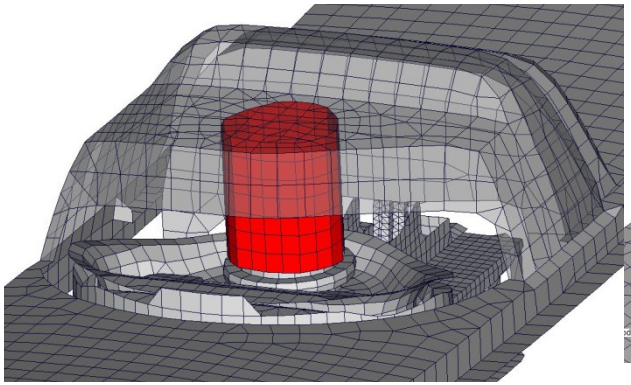


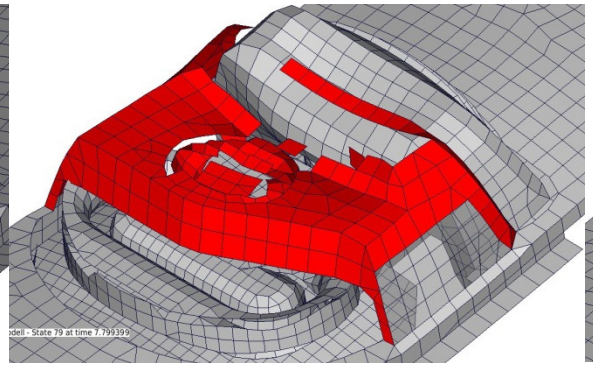
Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum

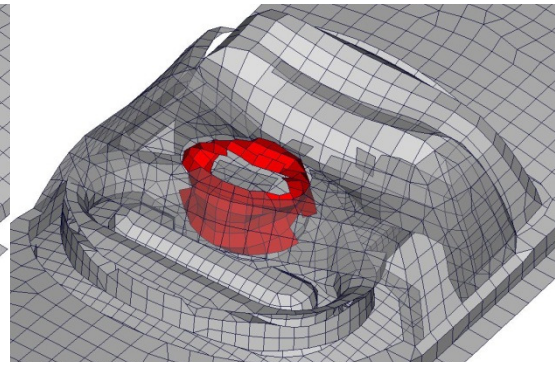


- FMVSS201: Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum
  Prüfpunkt BP2: Gurtumlenker

- HIC durch Verhalten der Kunststoffbauteile bestimmt
- Projektziele:
  - Definition eines geeigneten Komponentenversuchs auf Basis Simulationsuntersuchungen zur gezielten Analyse des Bruchverhaltens
  - Bestimmen geeigneter Modellierungstechnik
  - Identifikation von Materialansatz/ Materialparametern für den Thermoplast



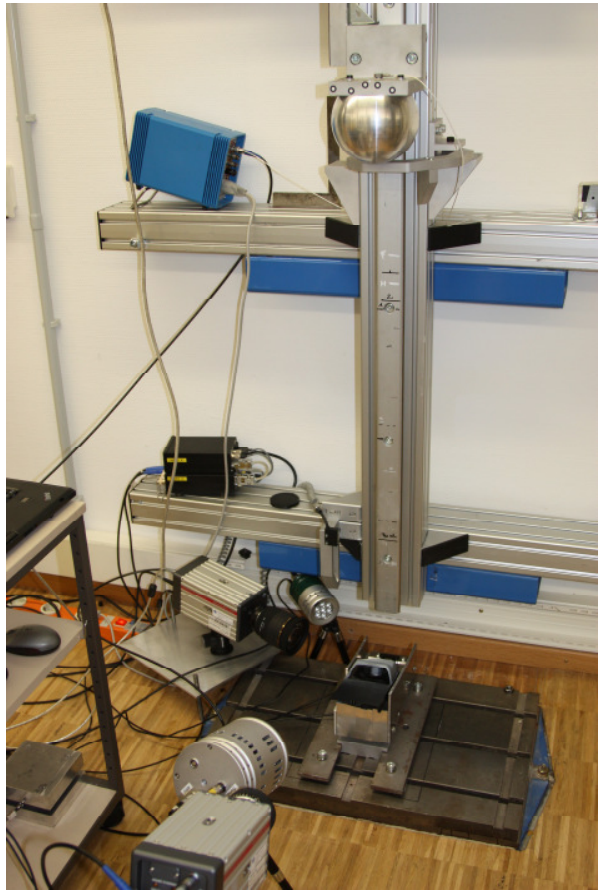




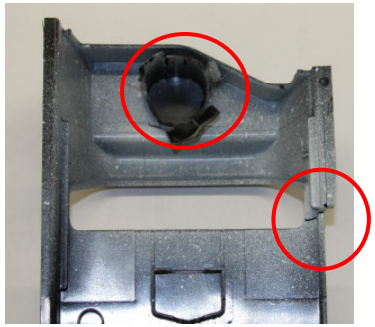
by courtesy of Daimler AG, Stuttgart

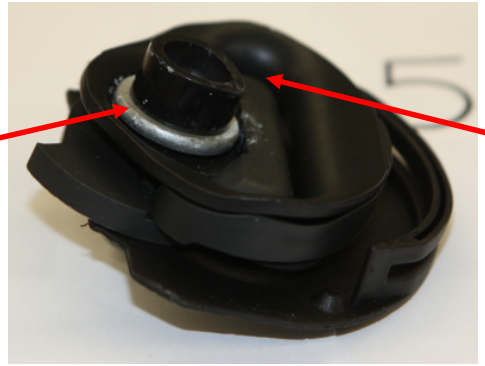
Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum

- Komponentenversuch



- Messung der Impaktorbeschleunigung
- Bruch der Abdeckung
- Deformation und Verkippung der Schraubenkopfhülse

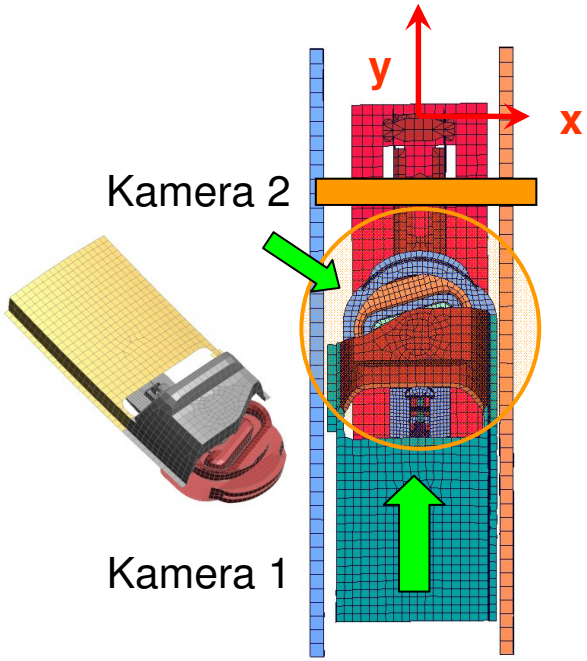




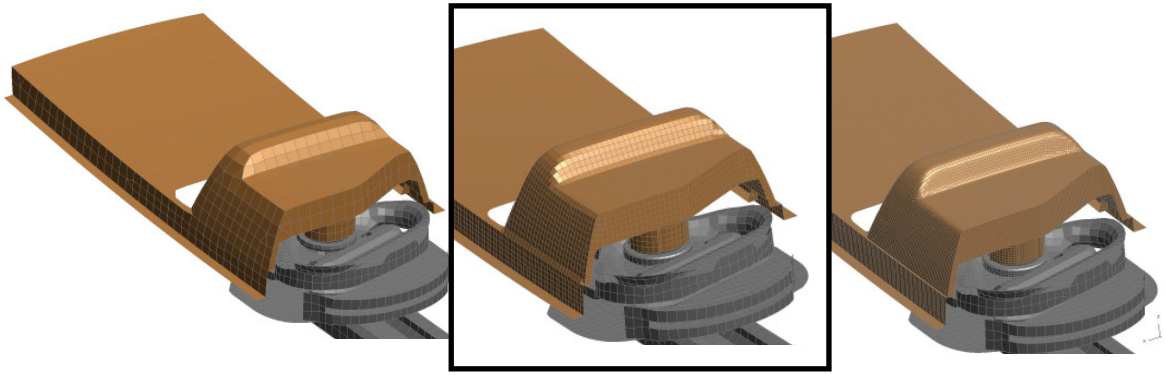
by courtesy of Daimler AG, Stuttgart

Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum

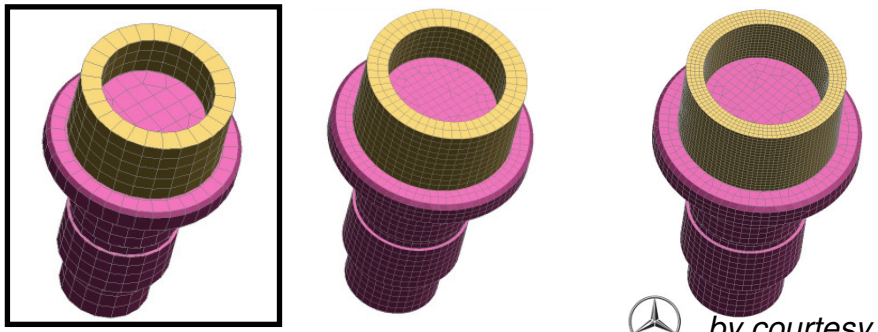
- Modellierungstechnik



- Abdeckung: Schalenelemente 5mm, 2mm, 1mm



- Schraubenhülse: Volumelemente 2mm, 1mm, 0.6mm



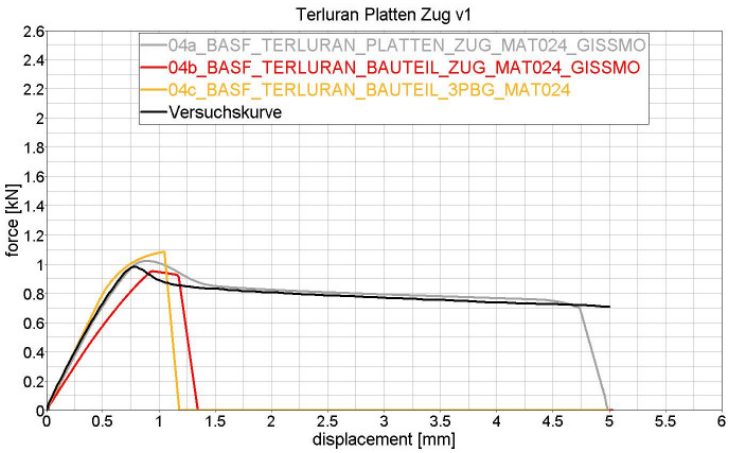
Kontakt:

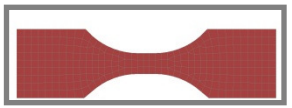
Penetrationen bei Stauchung

by courtesy of Daimler AG, Stuttgart

Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum

- Werkstoffcharakerisierung



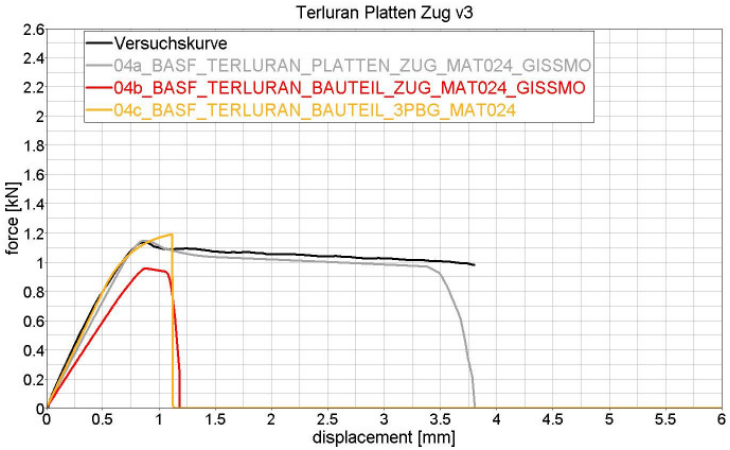


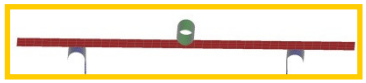
Duktiles Verhalten

Zugversuche
Platten
Versuch
Simulation

Zu geringes Spannungsniveau
Sehr sprödes Versagen

Zugversuche
Bauteil
Simulation





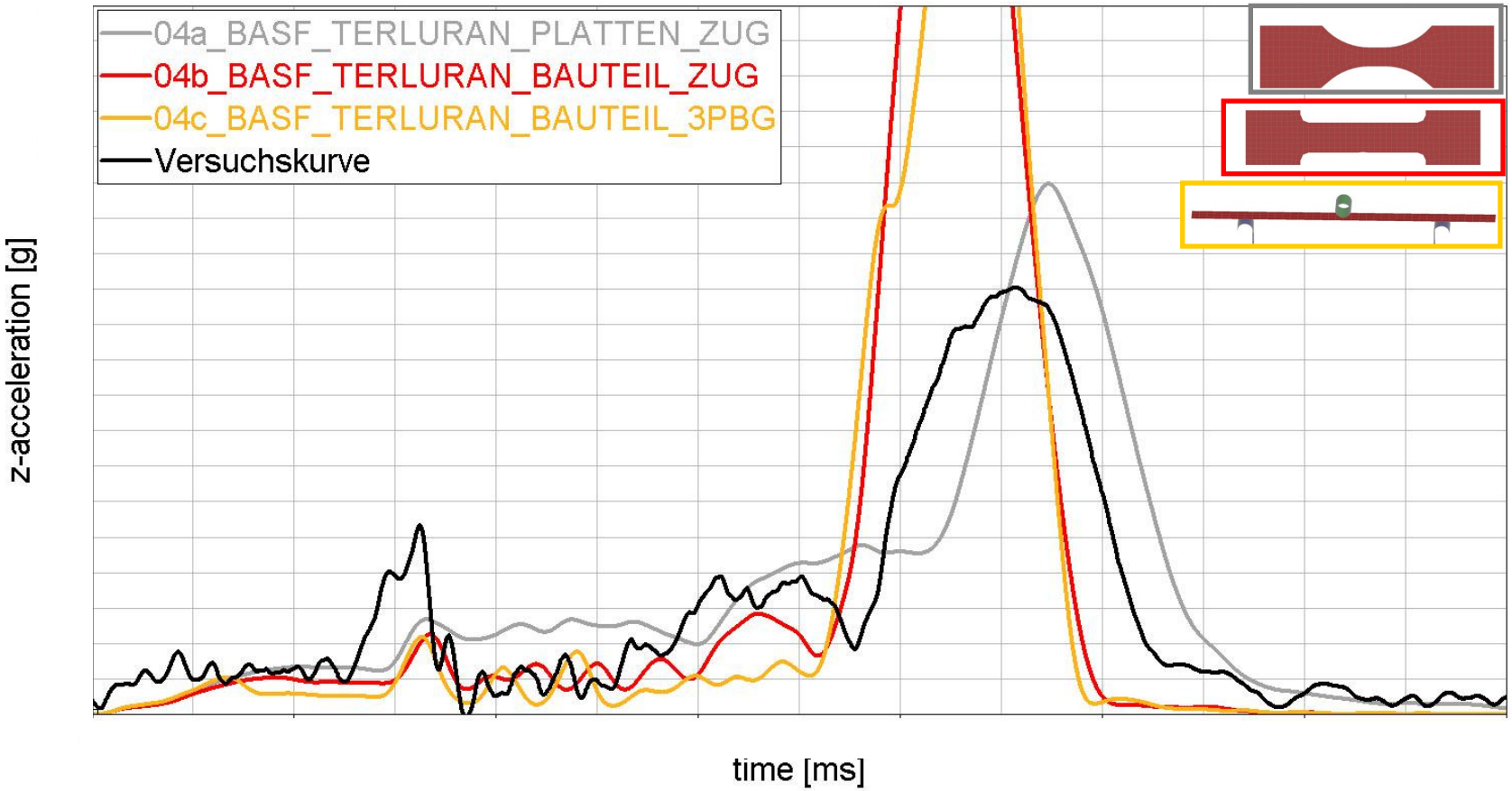
Spannungsmaximum überschätzt
Sehr sprödes Versagen

3PBG Bauteil
Simulation

by courtesy of Daimler AG, Stuttgart

Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum

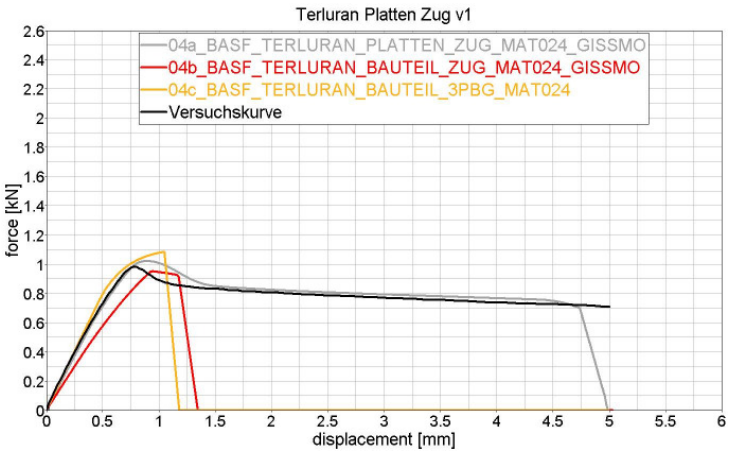
- Komponentenversuch

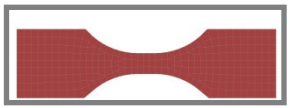


by courtesy of Daimler AG, Stuttgart

Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum

- Werkstoffcharakerisierung





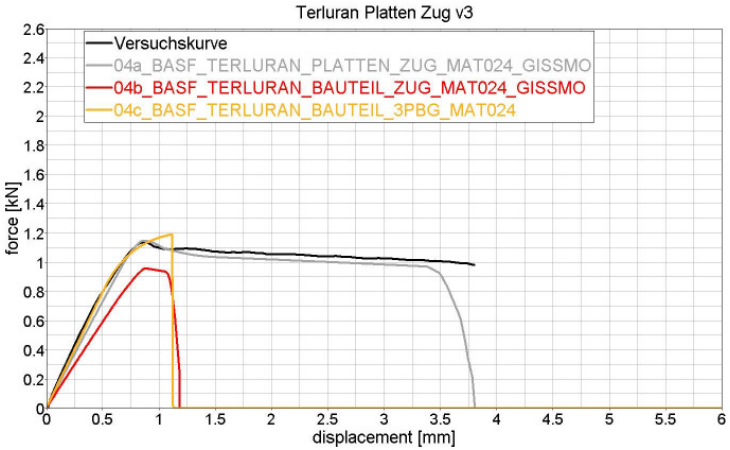
Zugversuche
Platten
Versuch
Simulation

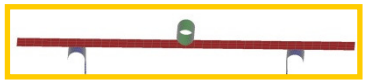
Duktiles Verhalten

Versagenskorrektur ↓

Zugversuche
Bauteil
Simulation

Zu geringes Spannungsniveau
Sehr sprödes Versagen





3PBG Bauteil
Simulation

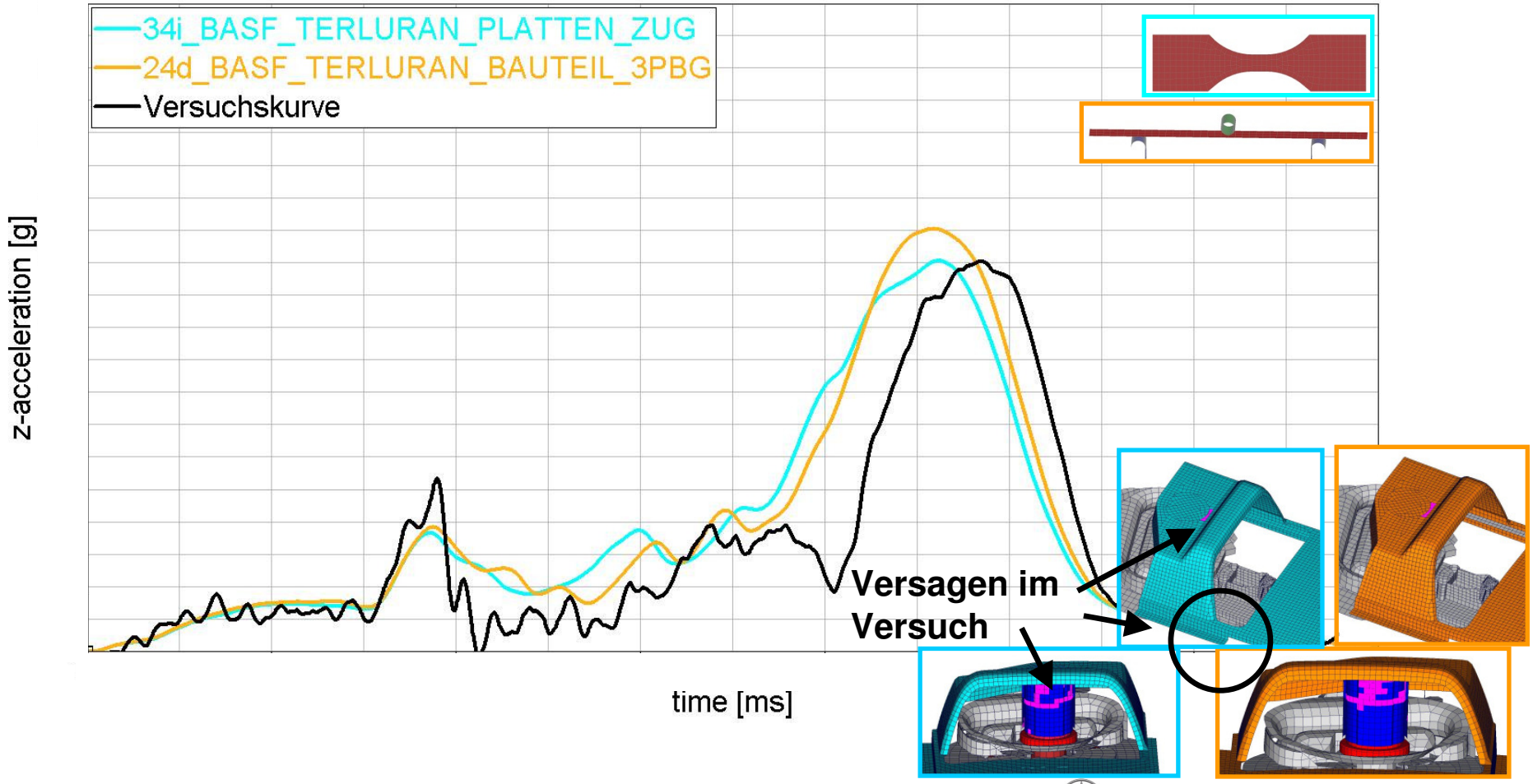
Spannungsmaximum überschätzt
Sehr sprödes Versagen

Versagenskorrektur ↑

by courtesy of Daimler AG, Stuttgart

Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum

- Komponentenversuch



by courtesy of Daimler AG, Stuttgart

Kopfaufprall im Fahrzeuginnenraum

- Zusammenfassung
  - Materialkarten aus Biege- und Zugversuchen mit Abweichung von Komponentenversuch
  - Versagensdehnung als entscheidender Parameter
  - Unterschiedliche Fließflächen besitzen im Komponentenversuch nur geringen Einfluss

Thank you for your attention!