

# Simulation von pressgehartetem Stahl mit \*MAT\_GURSON\_JC

Reinhard Müller, Adam Opel GmbH  
Silvia Schmitt, TU Darmstadt



Wir leben Autos.

# Motivation



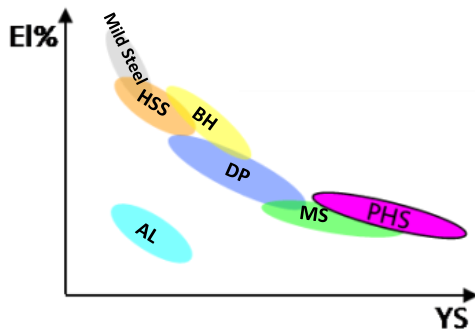
Gewichtseinsparung



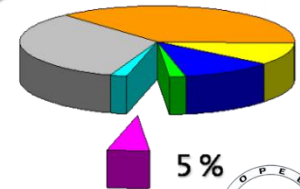
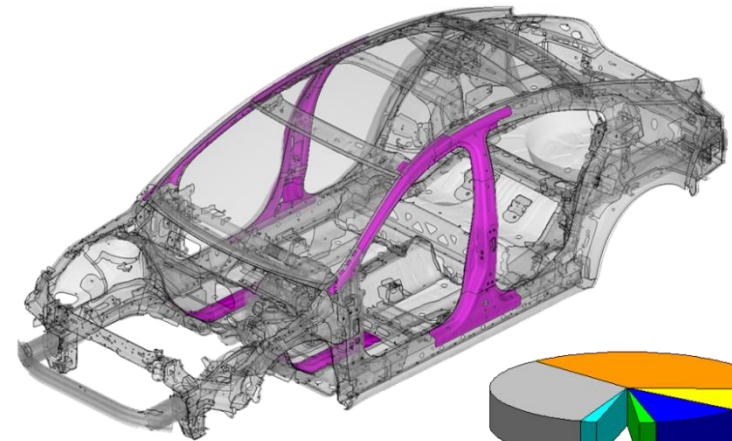
geringerer CO<sub>2</sub>-Ausstoß



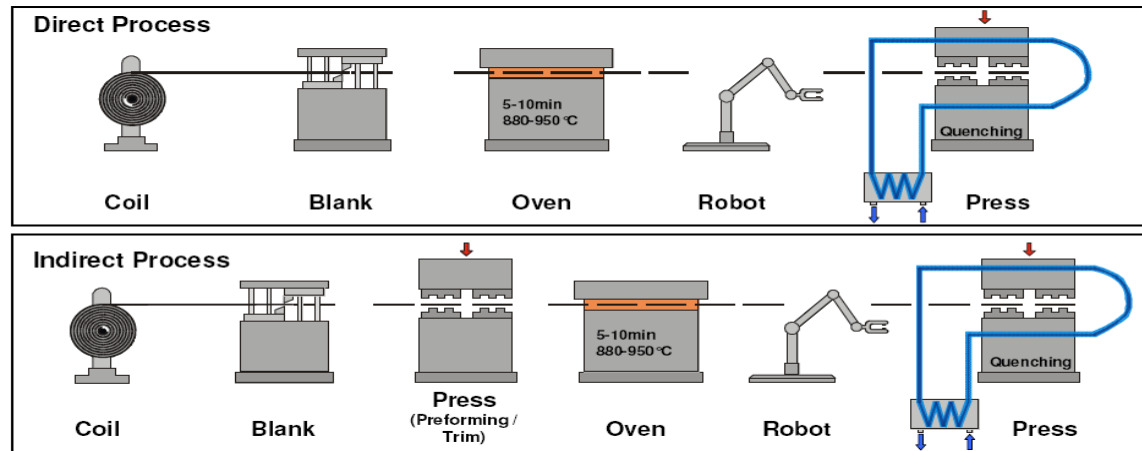
➔ Hoch- und höchstfeste Stähle im Karosseriebau



Mit steigender Fließgrenze bzw. Zugfestigkeit abnehmende Bruchdehnung



# Presshärtungs-Verfahren



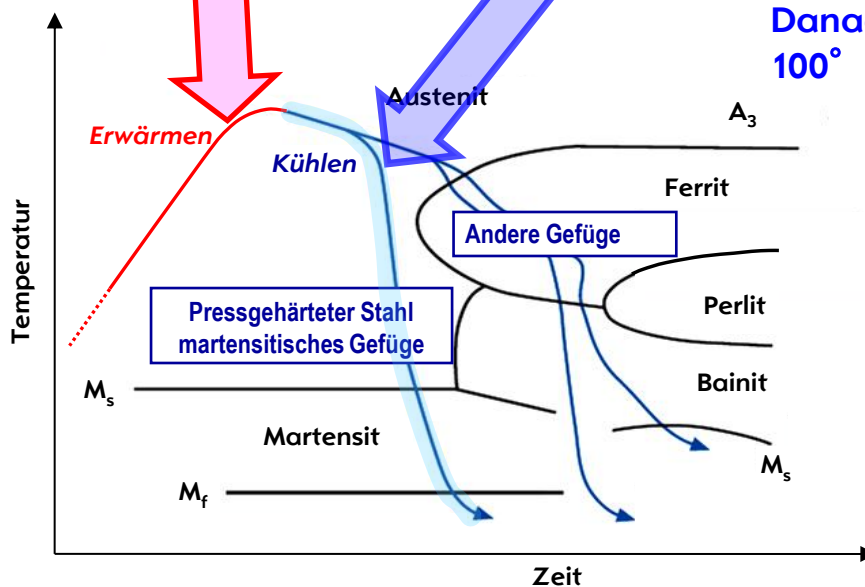
Durchlaufofen

5-10 min  
880-950° C

Presshärten

Verformung

Danach Abkühlung mit über  
100° C/s

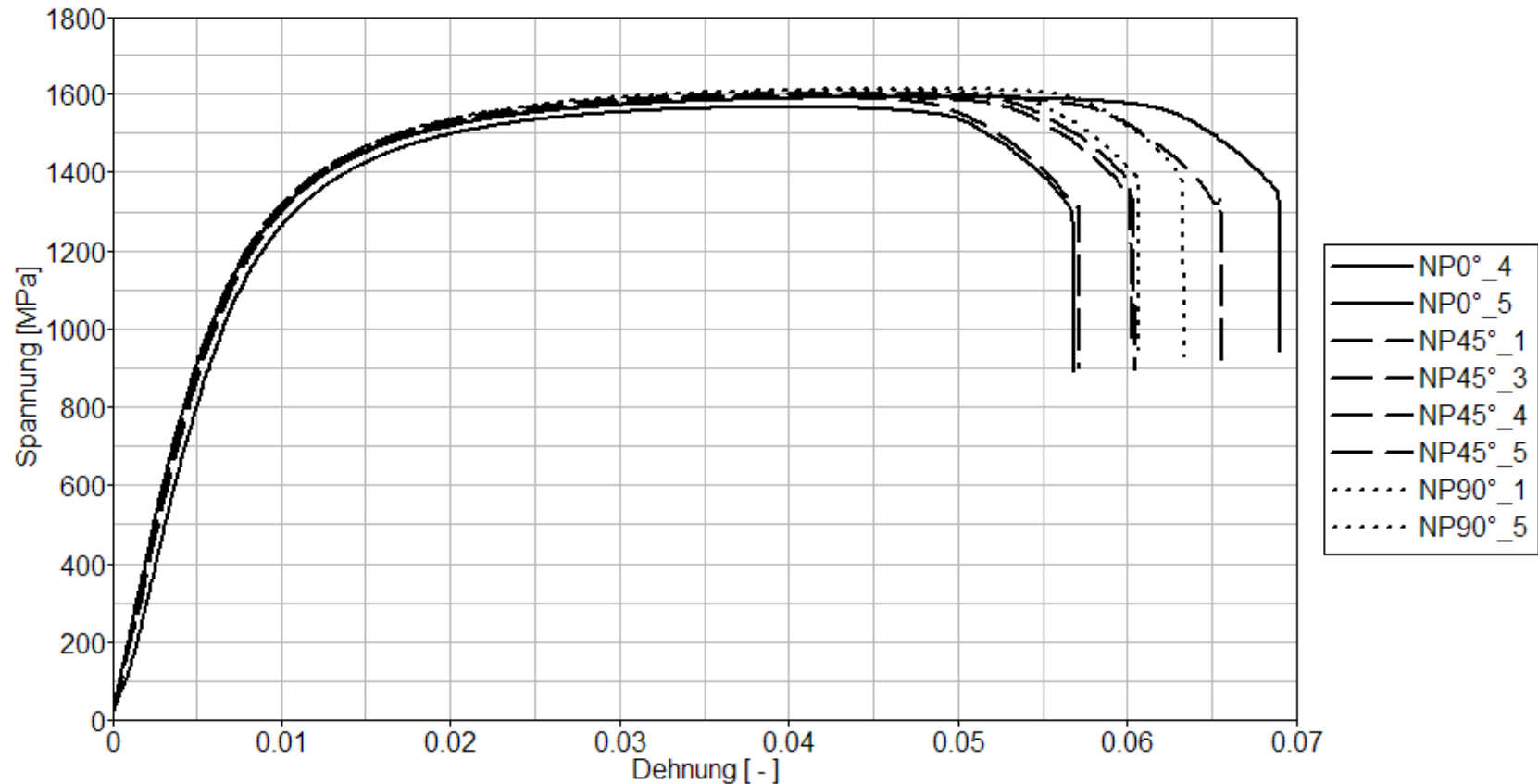


→ Gefüge wird erst nach der Verformung gebildet

→ Bauteil ist nicht durch den Umformprozeß kaltverfestigt



# PHS - Walzrichtungsabhängigkeit



Proben aus labormäßig gehärtetem Tafelmaterial:

→ Spannungs-Dehnungsverlauf nicht abhängig von Walzrichtung

→ Bruchdehnung nicht abhängig von Walzrichtung, jedoch starke Streuung



# Bruchdehnung

Bruchdehnung abhängig von:

- Probengeometrie
- Spannungszustand

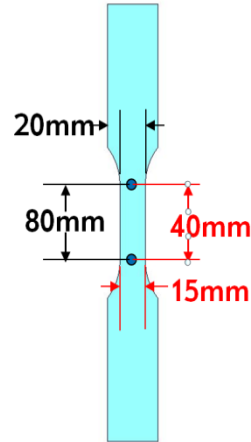
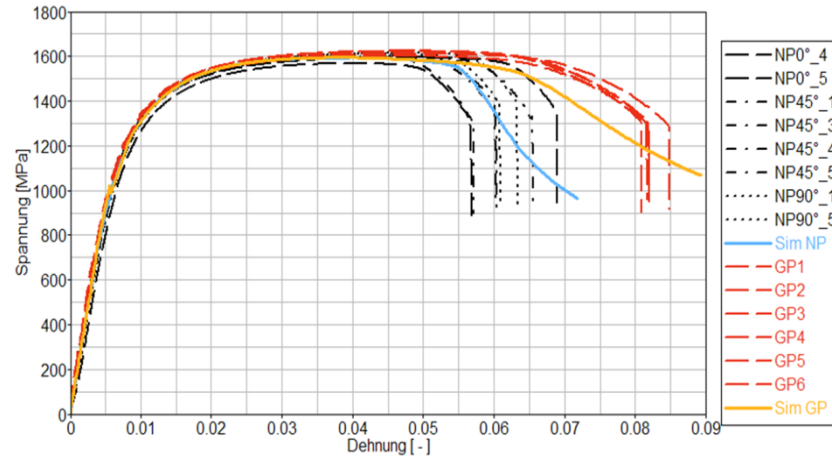


Table 4: Hot-Stamped Product Mechanical Requirements<sup>Note 1, 2, 3</sup>

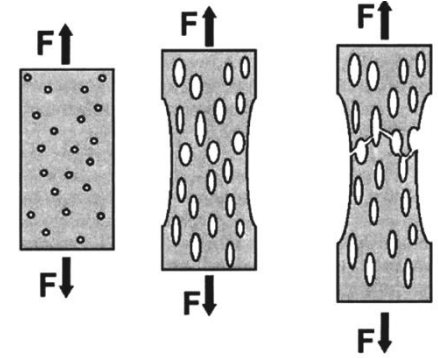
Condition	Designation	Yield Strength at 0.2% offset (MPa)		Tensile Strength (MPa)		Total Elong. in 50 mm (min. %)		Total Elong. in 80 mm (min. %)
		min.	max.	min.	max.	ISO 1	JIS	ISO II
Finished Part	GMW14400M-ST-S HS1300T/950Y MS	950	1250	1300	1700	5	6	4.5

→ Literaturwerte der Bruchdehnung sind kein sinnvolles Versagenskriterium für die FE-Berechnung !!!



# Versagensmodell nach Johnson und Cook

- Bruchverhalten ist abhängig vom Spannungszustand
- Schädigungsmechanik: Annahme von Mikrodefekten im Material, hydrostatische Spannung beeinflusst die Schädigung ebenfalls

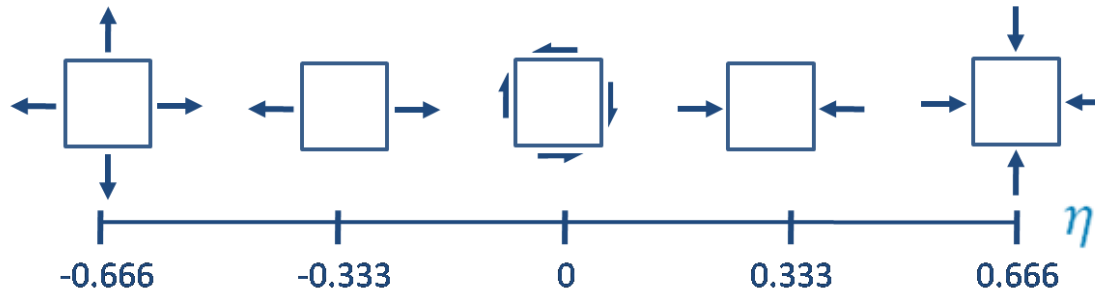


→ Spannungstriaxialität:  $\eta = \frac{-\sigma_H}{\sigma_V}$

Hydrostatische Spannung:  $\sigma_H = \frac{1}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})$

Vergleichsspannung nach Von Mises:

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)}$$



# Implementierung in LS-DYNA

Johnson-Cook:

Plastische Vergleichsdehnung bei Versagen

$$\epsilon_f^{pl} = (D_1 + D_2 e^{D_3 \eta}) (1 + D_4 \ln \dot{\epsilon}) (1 + D_5 T)$$

Triaxialität (points to  $D_3 \eta$ )  
Dehnrates (points to  $\ln \dot{\epsilon}$ )  
Temperatur (points to  $T$ )  
Parameter zur Anpassung (points to  $D_1, D_2, D_4, D_5$ )

Exponentielle Funktion bildet nicht das reale Verhalten ab

→ Möglichkeit der Vorgabe einer beliebigen Kurve

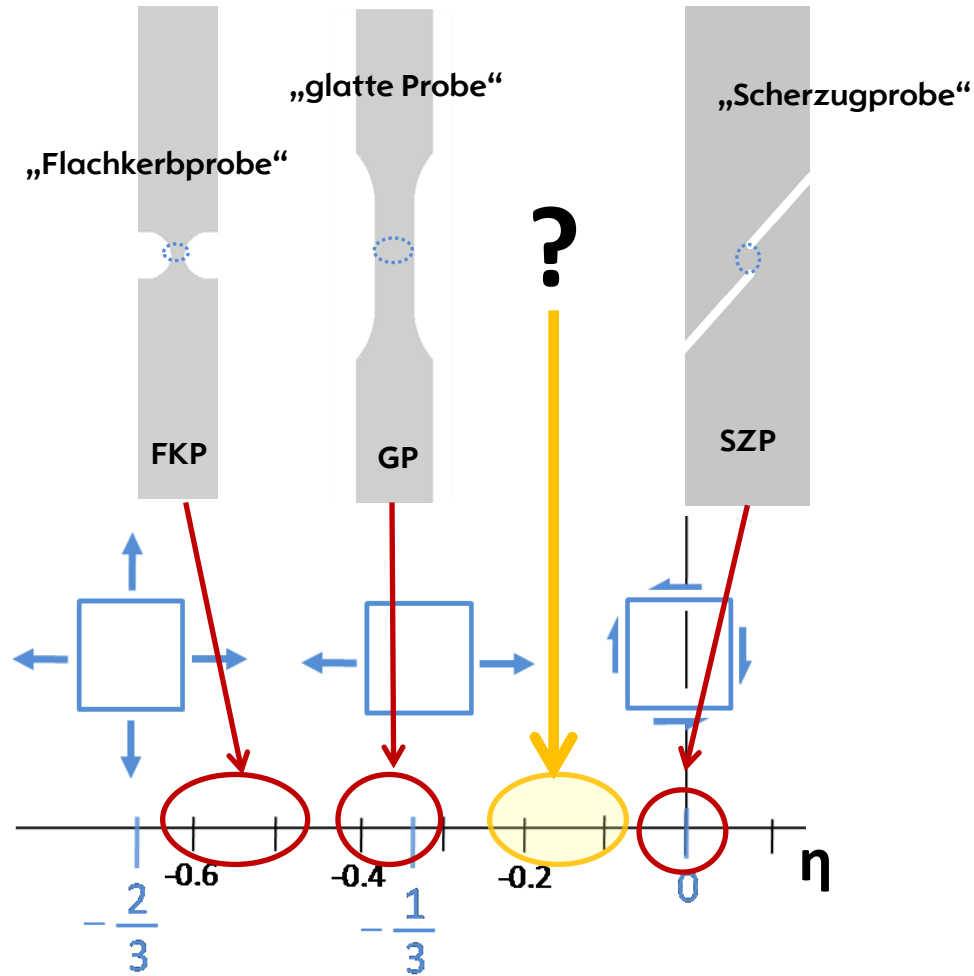
Material-Input \*MAT\_120\_JC:

$$\epsilon_f^{pl} = LCJC(\eta) \cdot \Lambda$$

Skalierungsfaktor (points to  $\Lambda$ )  
 macht  $\epsilon_f^{pl}$  unabhängig von Elementkantenlänge  
„Versagenskurve“ (points to  $LCJC(\eta)$ )



# Triaxialitätsbereiche verschiedener Probengeometrien





# Probengeometrie

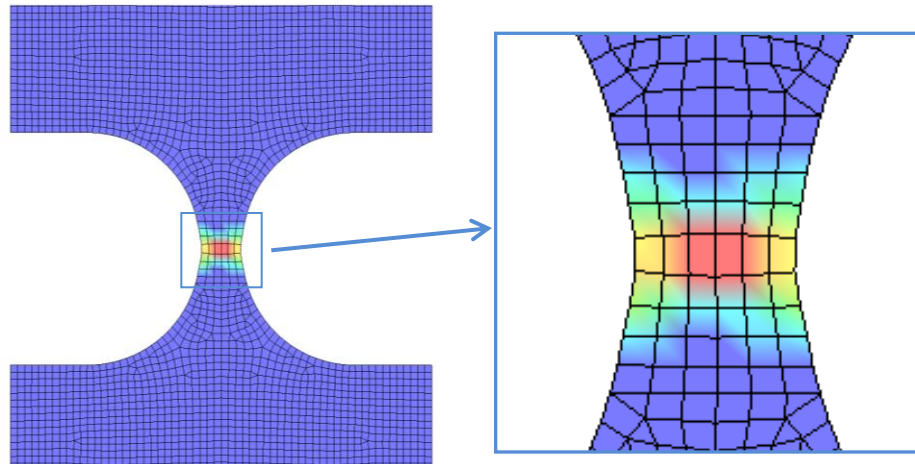
## Zugproben und Kerbzugproben:

- größte plastische Dehnungen in Probenmitte
- Versagen aus dem Vollmaterial, nicht vom Rand her

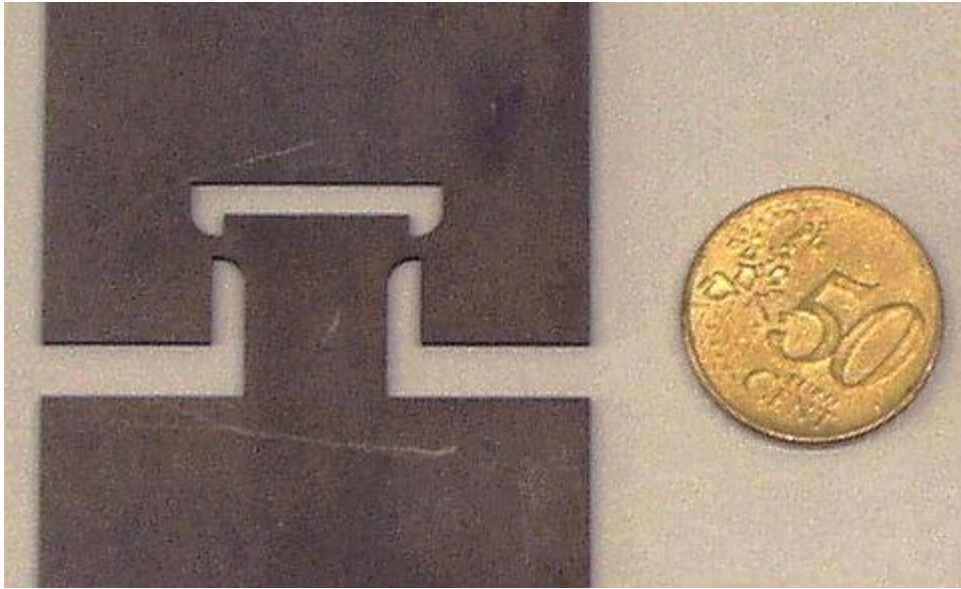
Plast.  
Vergleichsdehnung  
 $\epsilon^{pl} [-]$

Fringe Levels

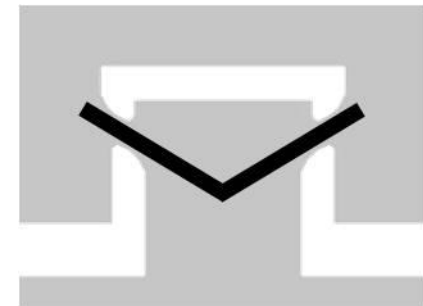
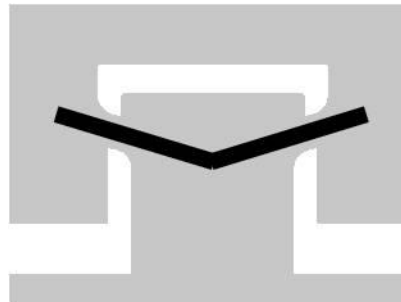
2.800e-01  
2.520e-01  
2.240e-01  
1.960e-01  
1.680e-01  
1.400e-01  
1.120e-01  
8.400e-02  
5.600e-02  
2.800e-02  
0.000e+00



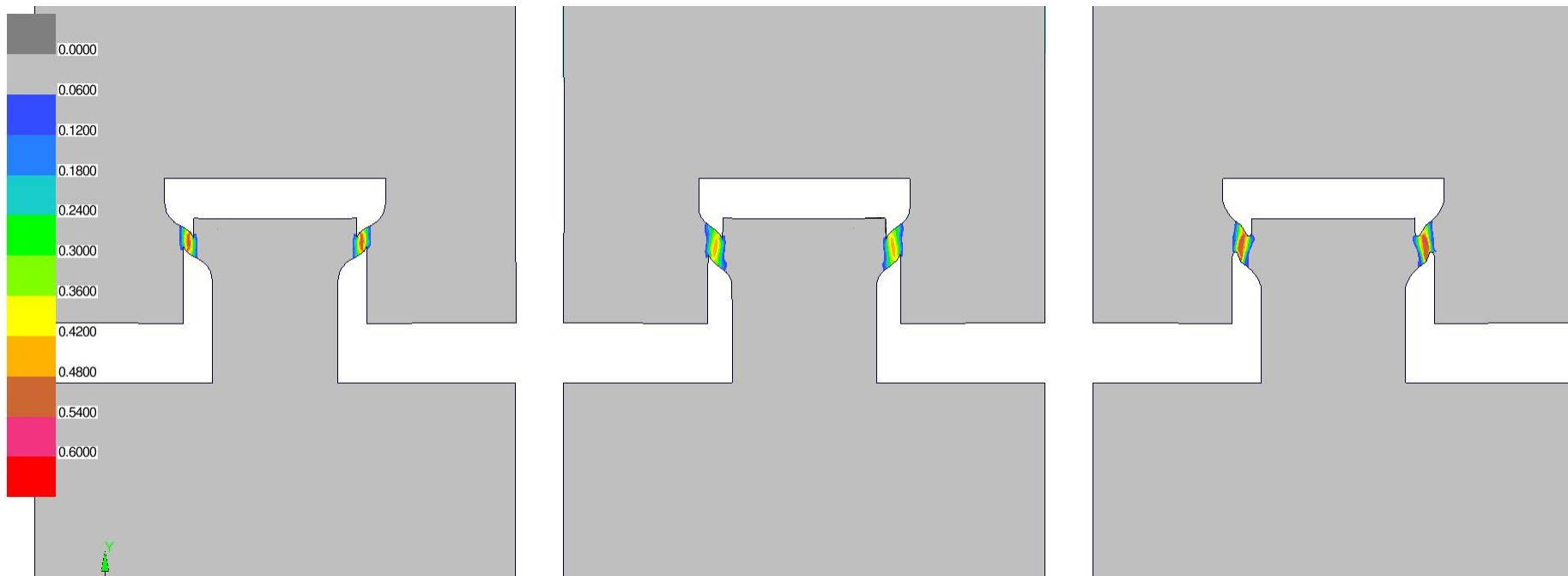
# Neue Schubprobengeometrie



- Grundgeometrie leicht modifizierbar für unterschiedliche Triaxialitätsverläufe
- maximale plastische Dehnungen im Vollmaterial
- einfach aus Blech zu schneiden (Drahterosion)
- in normale Aufnahme der Zugprüfmaschine einzuspannen



# Neue Schubprobe

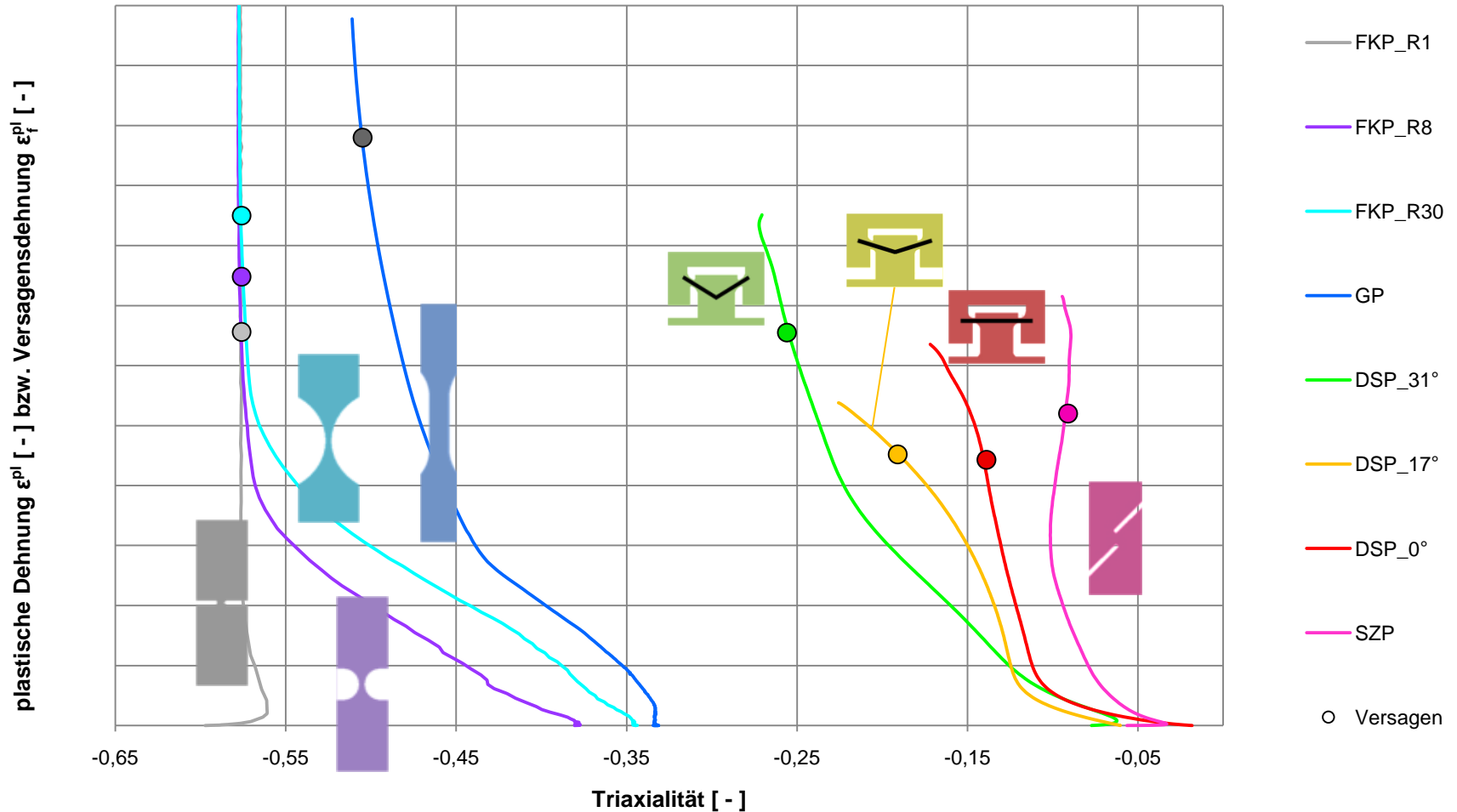


Maximale plastische Dehnung im Vollmaterial



Wir leben Autos.

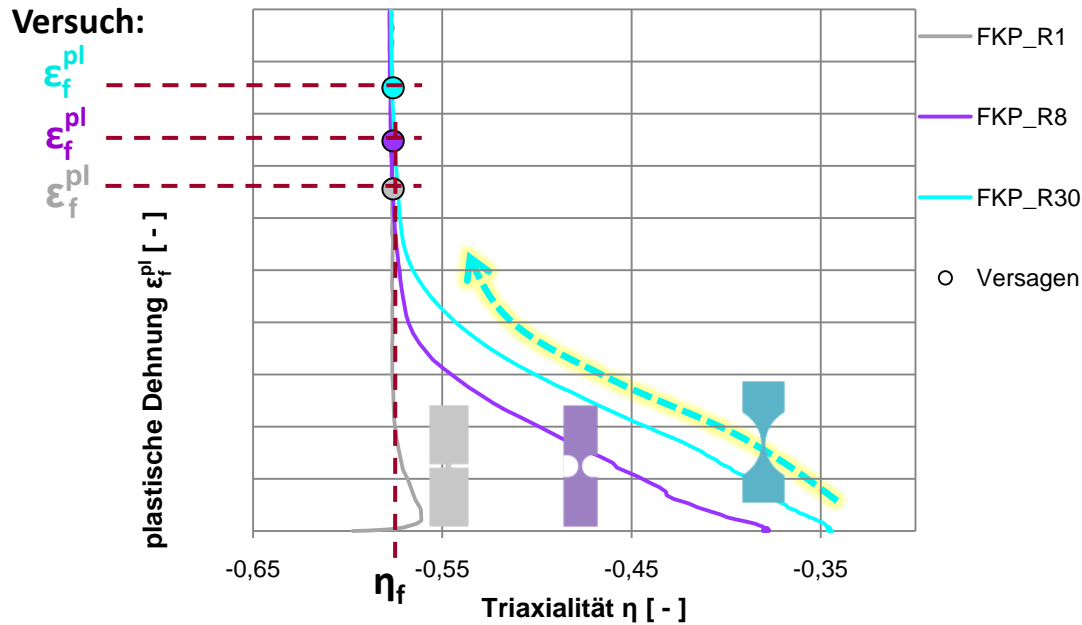
# Triaxialitätsverläufe



○ Werte des höchstbelasteten Integrationspunkts bei Bruchdehnung (Messlänge) der getesteten Proben



# Berechnung des Versagens



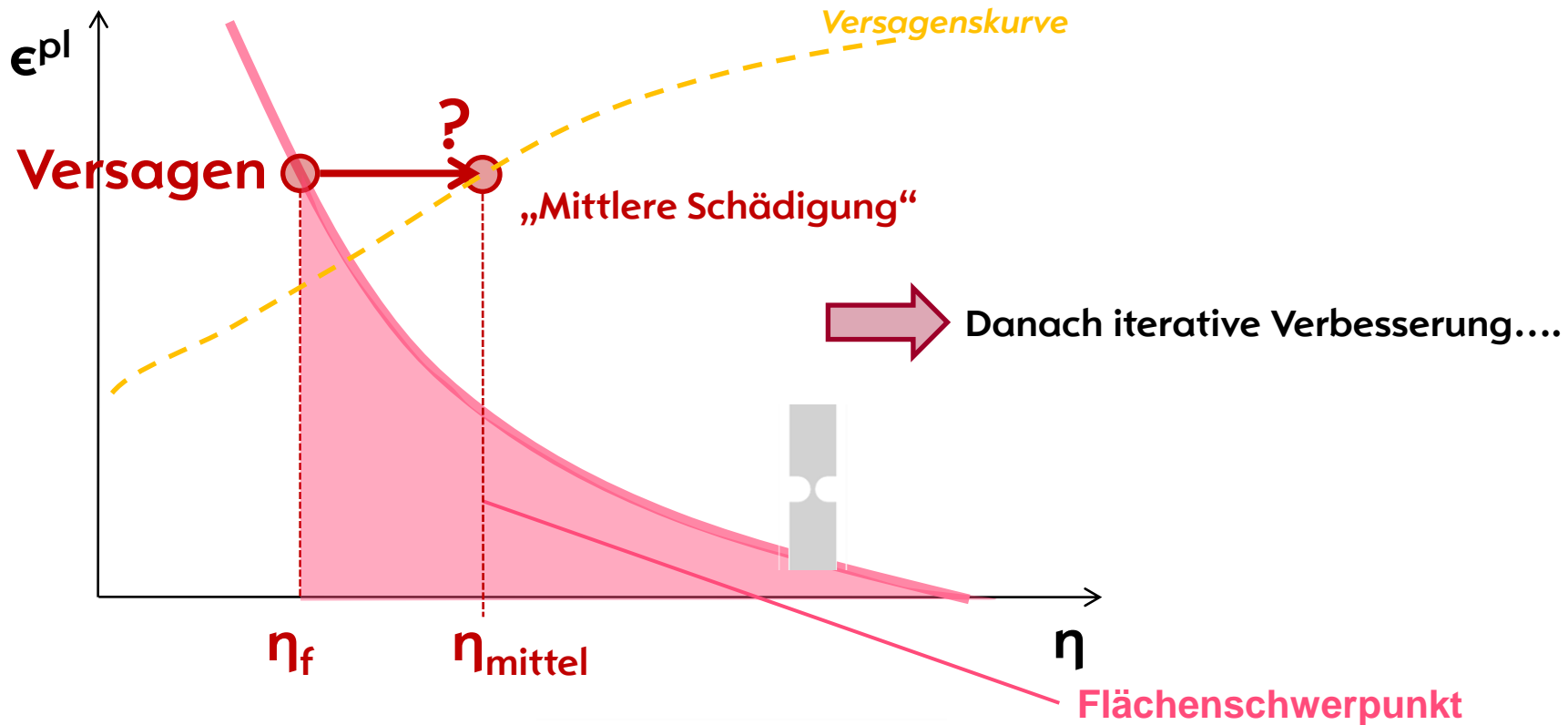
Für verschiedene Probengeometrien verschiedene Versagensdehnungen, jedoch bei gleicher Triaxialität

Der Versagensdehnung ist demnach ein anderer Triaxialitätswert zuzuordnen, als der zum Zeitpunkt des Versagens ermittelte

Dieser neue Triaxialitätswert ist abhängig von der Schädigungshistorie und somit vom Verlauf der Triaxialitätskurve



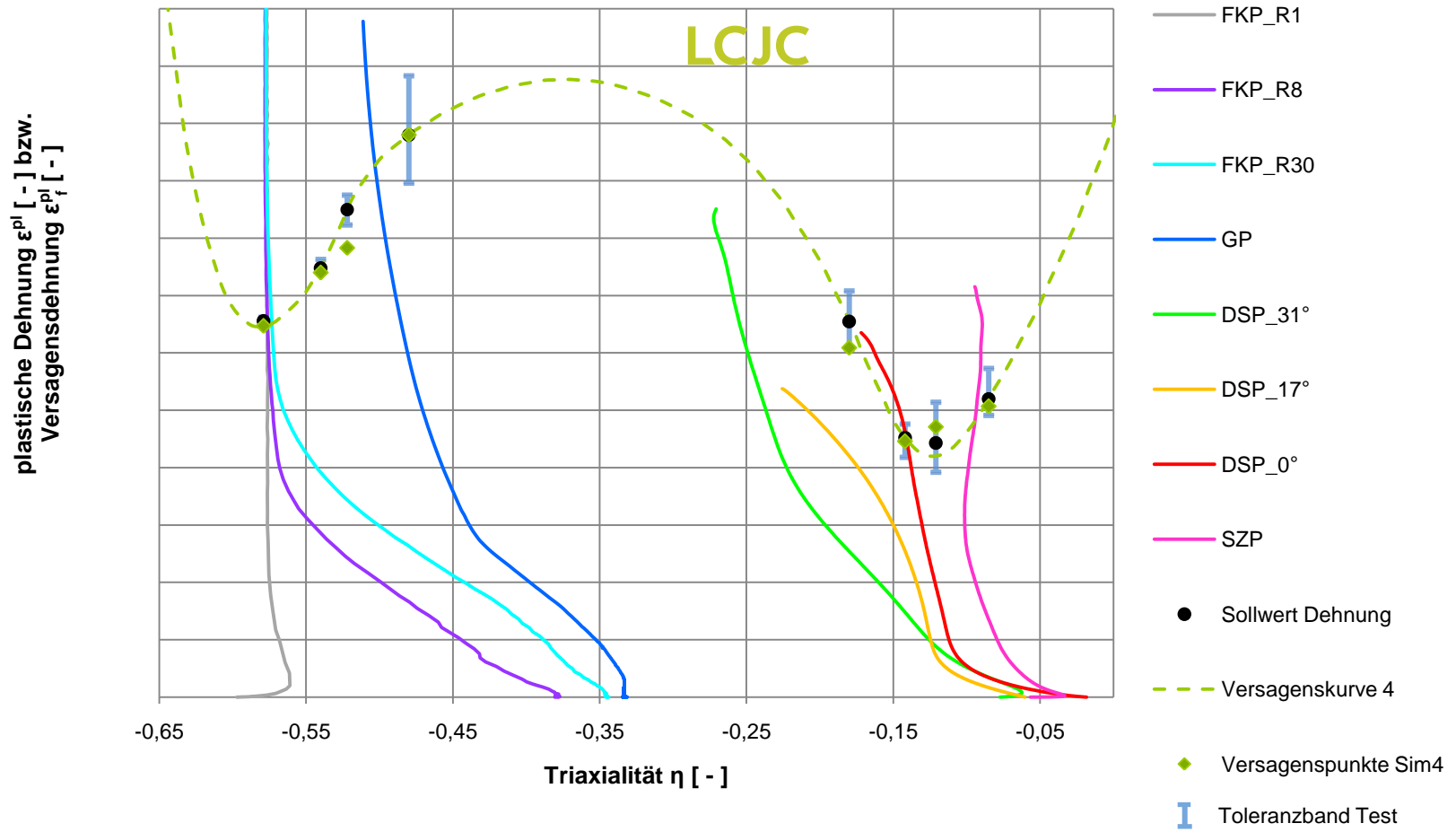
# Erstellung der Versagenskurve



Als erste Abschätzung:  $\eta_{mittel} = \frac{1}{\epsilon_f^{pl}} \int_0^{\epsilon^{pl}} \eta(\epsilon) d\epsilon$



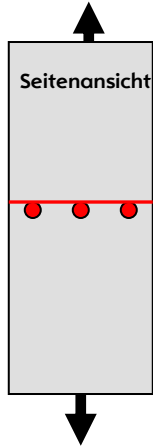
# Loadcurve Johnson-Cook



# Weitere Validierungstests

Untersuchte Proben:  
ebener Spannungszustand

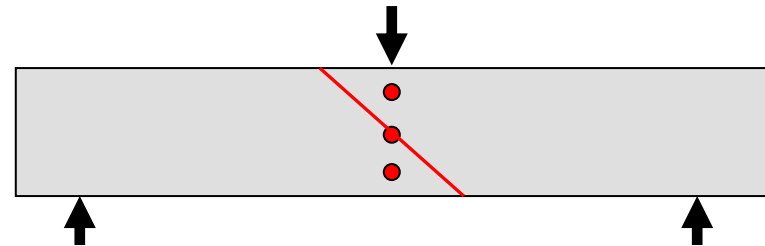
→ Alle Integrationspunkte über die Dicke haben gleichen Dehnungsverlauf



Versagen unabhängig von  
Anzahl der Integrationspunkte  
über die Dicke

Biegung:

→ Die Integrationspunkte über die Dicke haben unterschiedlichen Dehnungsverlauf



Dreipunkt-Biegeversuche notwendig

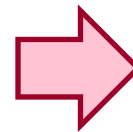
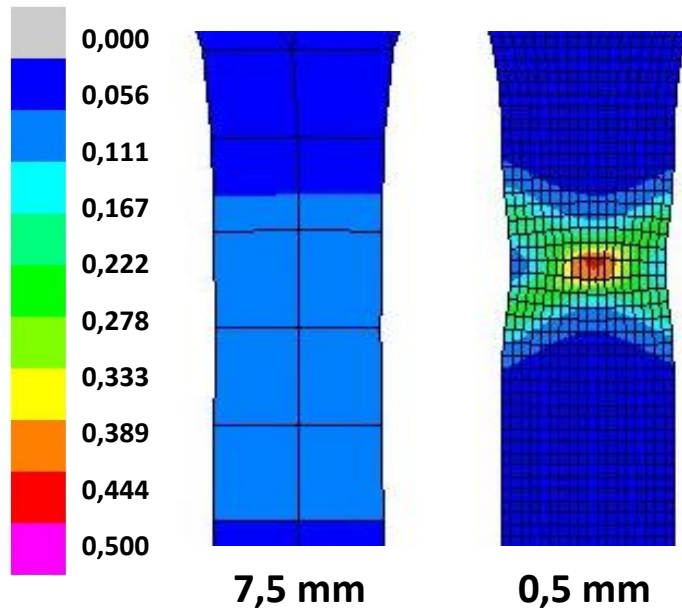
- Ermittlung der benötigten Integrationspunkte über die Dicke
- Ermittlung der Anzahl von Integrationspunkten, die zum Löschen des Elements das Versagenskriterium überschritten haben müssen.



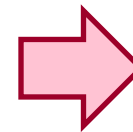


# Skalierung

- Ermittelte LCJC der Versagensdehnung gilt für Vernetzung mit 0,5 mm Elementkantenlänge

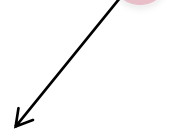


Größere  
Elemente:  
bei gleicher  
Gesamtdehnung  
der Probe  
geringe Dehnung  
im größeren  
Element



**Skalierung**  
der Versagens-  
Kurve nach unten

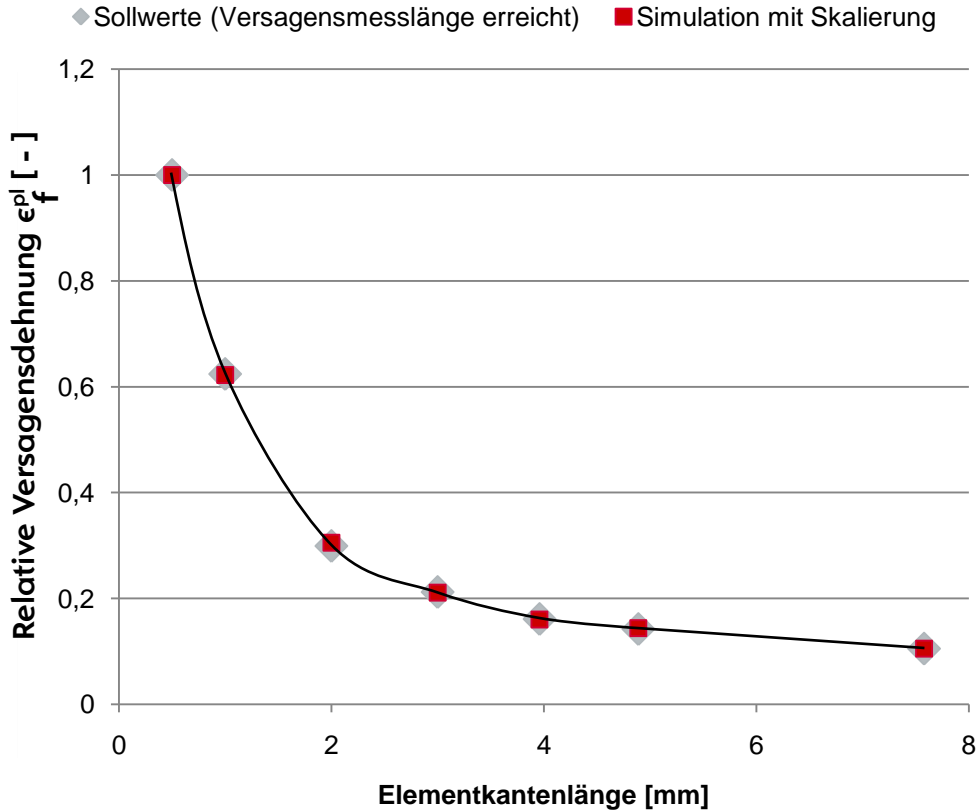
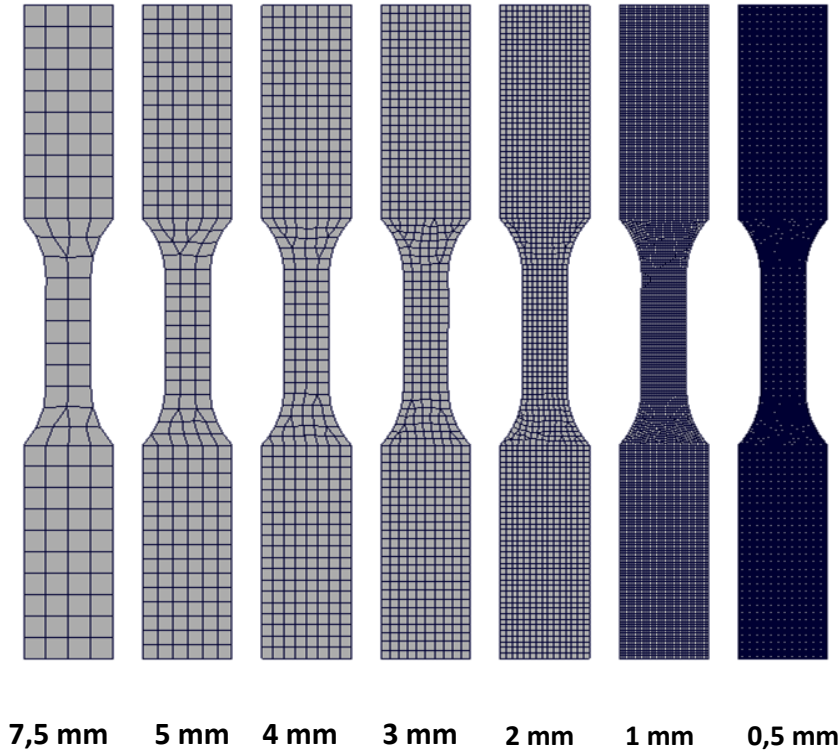
$$\varepsilon_f^{pl} = LCJC(\eta) \cdot \Lambda$$



**LCDAM**



# Skalierung

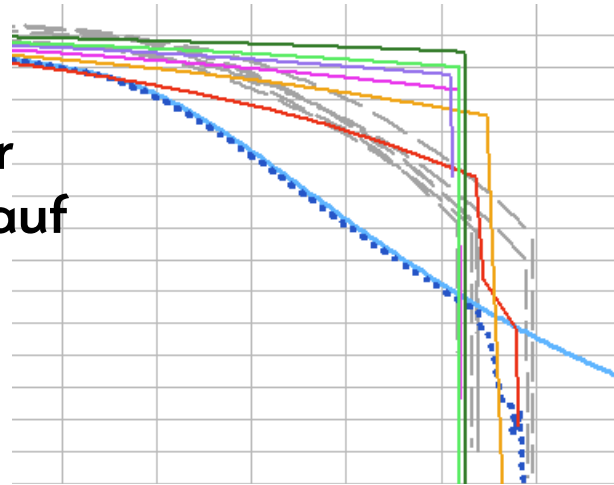


➔ **Versagen bei gleicher Dehnung der Probe unabhängig von der Elementgröße**

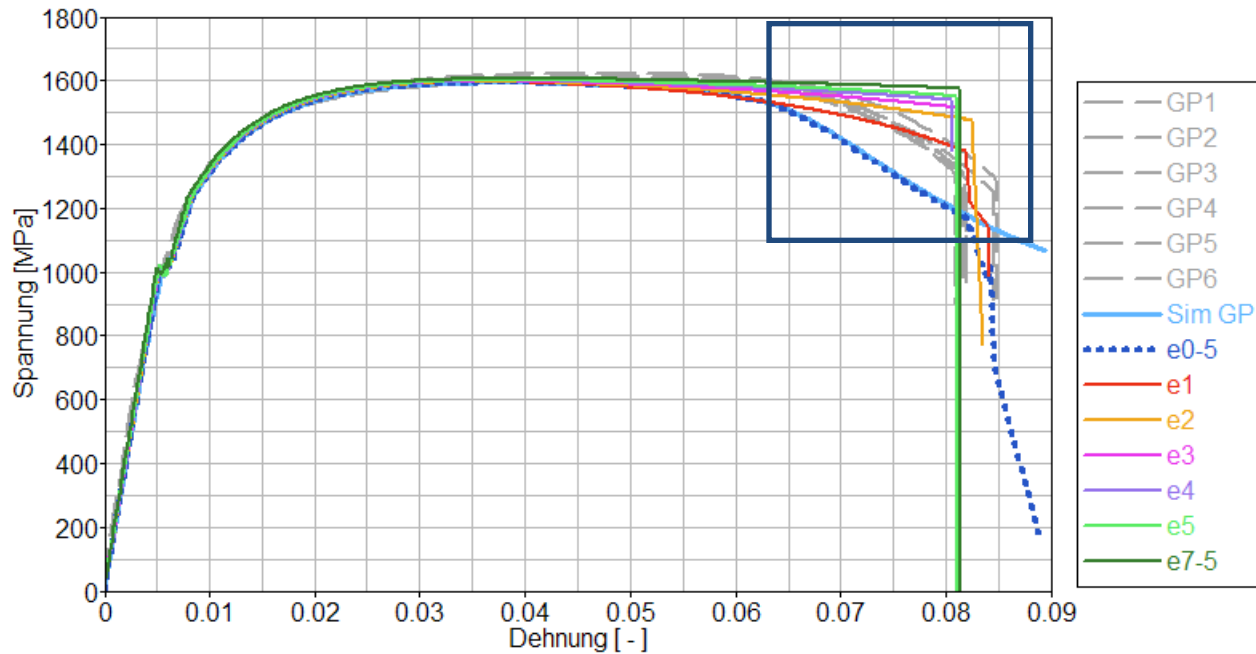


# Skaliertes Versagen

Elementgrößen-abhängiger  
Spannungs-Dehnungs-Verlauf  
(da nur JC ohne Gurson)

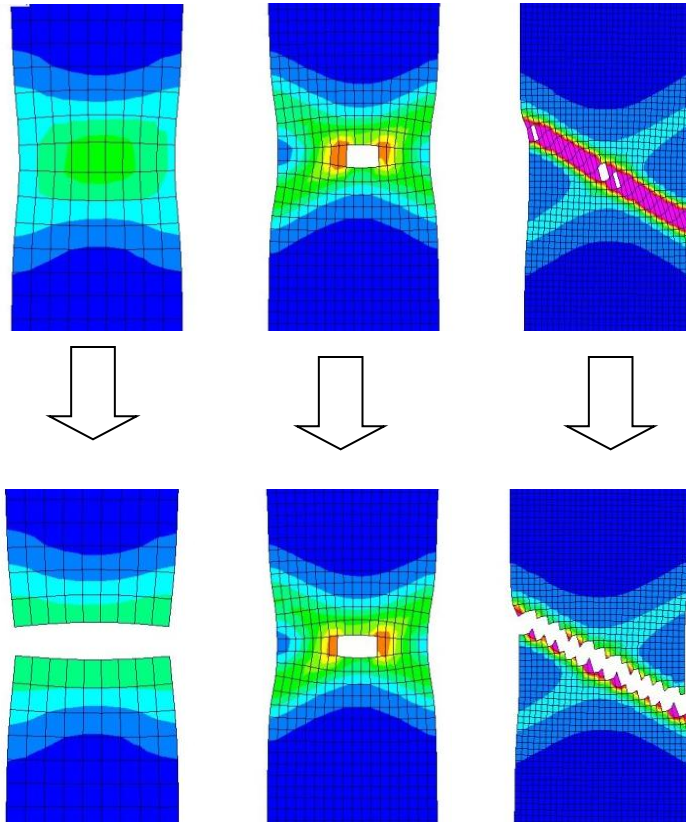
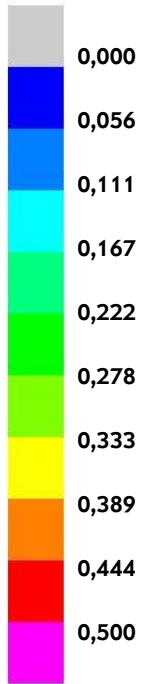


Versagen bei  
gleicher Proben-  
dehnung



# Skaliertes Versagen

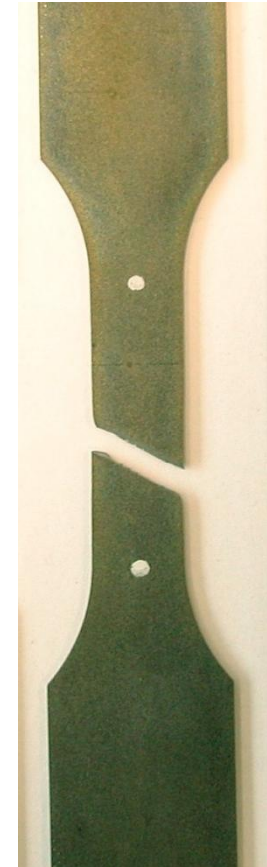
Plast.  
Vergleichs-  
Dehnung



Messlängen-  
Dehnung

$\Delta l = 3,36 \text{ mm}$

$\Delta l = 3,68 \text{ mm}$



**Versagensform Elementgrößen-abhängig**

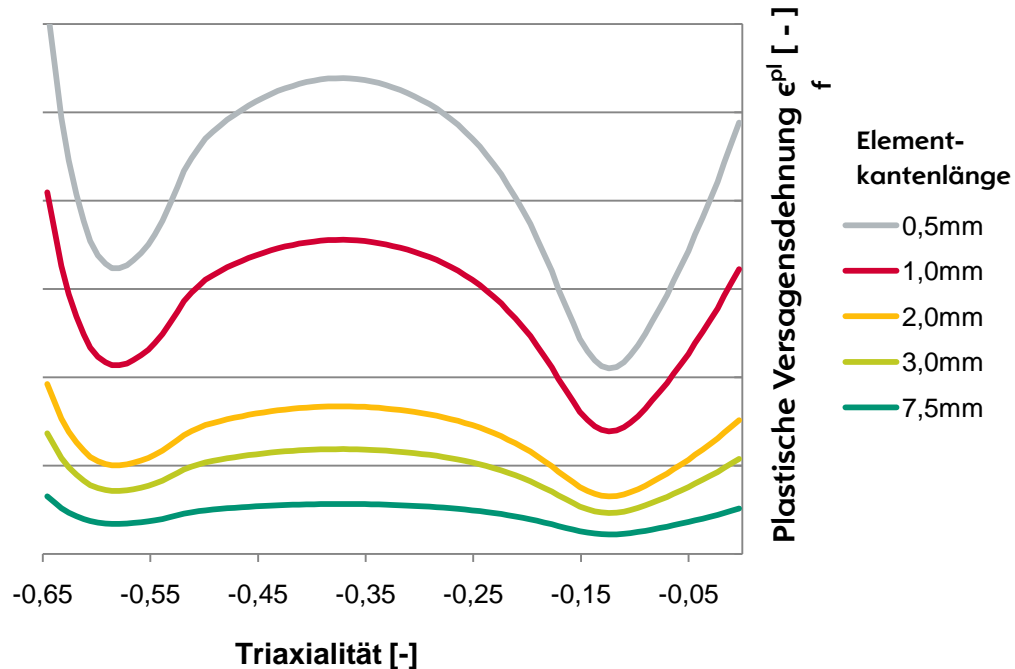
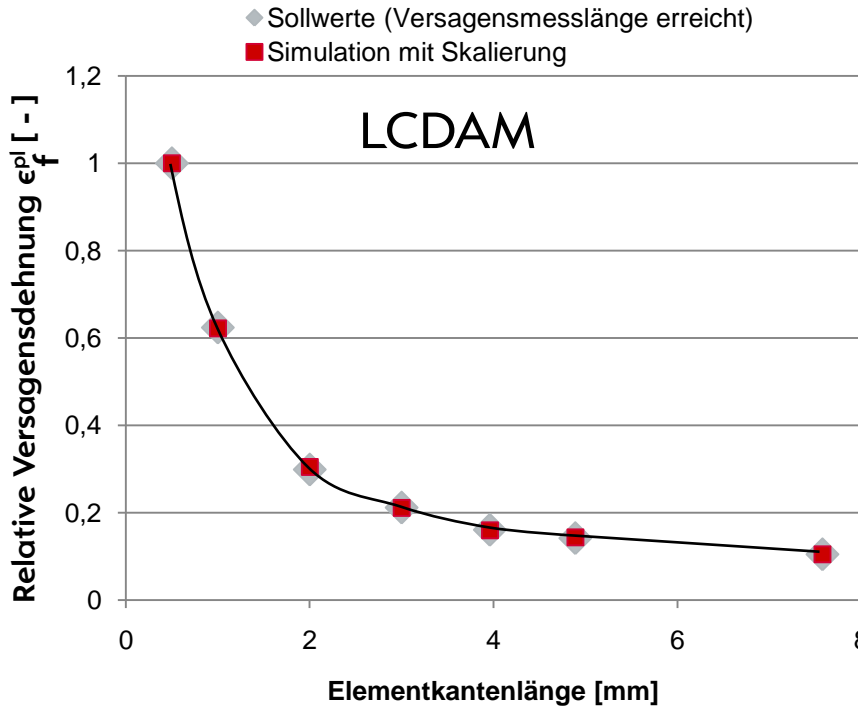
**→ Prädiktion der Rissentwicklung mit zu großen Elementen nicht möglich**



Wir leben Autos.

# Skalierte LCJC

$$\epsilon_f^{pl} = LCJC(\eta) \cdot \Lambda$$



→ Übertragbarkeit der Skalierung an glatten Zugproben auf andere Spannungszustände (Triaxialitätsverläufe) zweifelhaft



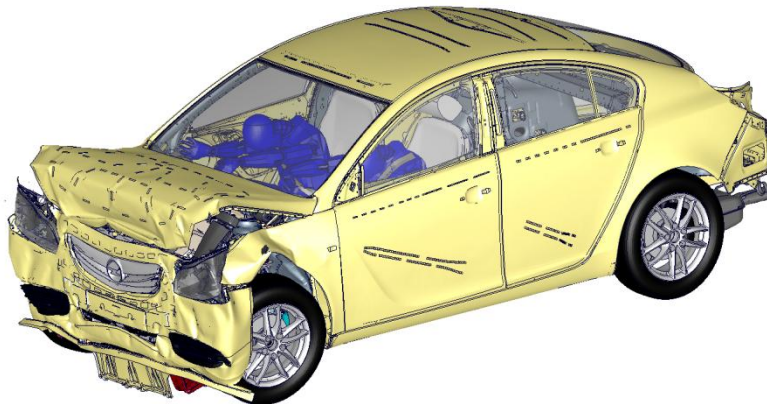
FE- Modell

Realität

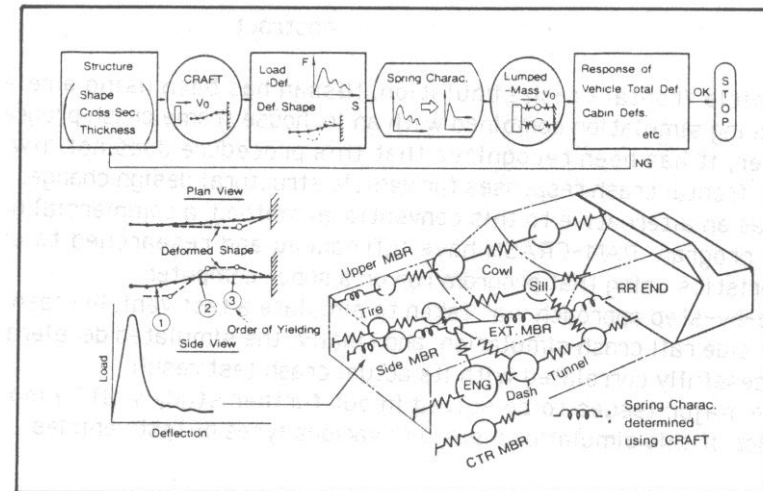
Ersatzsystem

Realer Vorgang wird durch eine große Anzahl einfacher Elemente abgebildet, das einzelne Element ist kleiner, als das abgebildete lokale Verhalten

Realer Vorgang wird durch eine geringe Anzahl hoch komplexer Elemente abgebildet, das einzelne Element ist viel größer, als das abgebildete lokale Verhalten



Fahrzeug



Riß,  
Versagen



\*ELEMENT\_SHELL

\*SECTION\_SHELL, ELFORM=16, NIP=tbd

\*MAT\_120\_JC



Wir leben Autos.



**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**



Wir leben Autos.