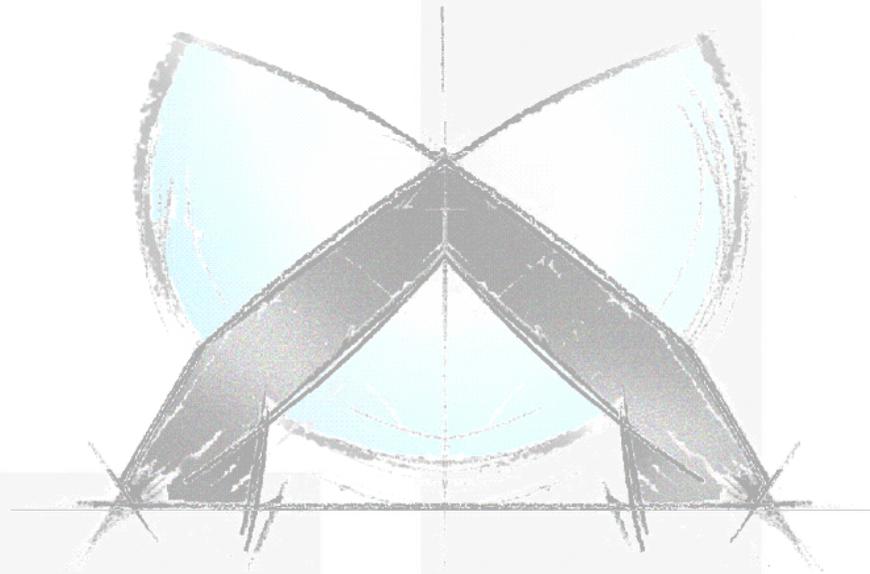


# Versagen von Thermoplasten

## Teil 2 - Charakterisierung, Versuche

A. Fertschej, P. Reithofer, M. Rollant (4a engineering GmbH)

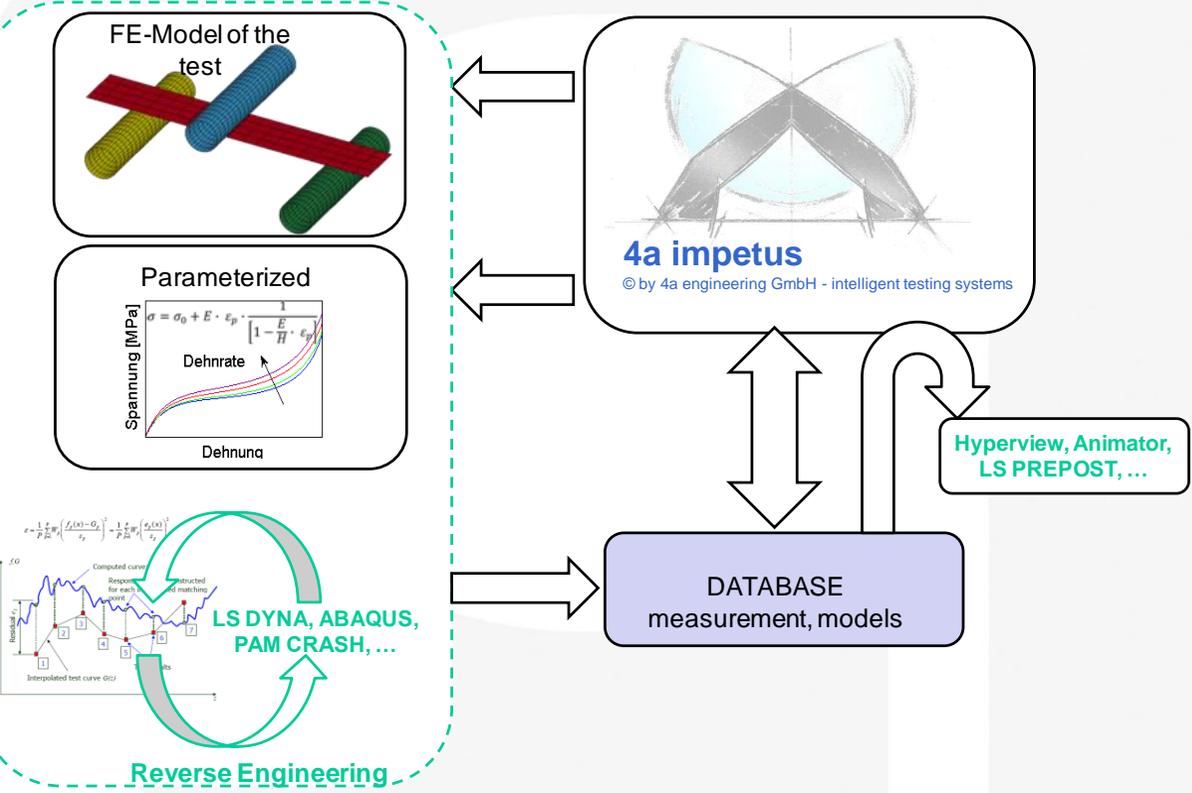


**DYNAFORUM 2014**  
Bamberg

4a engineering GmbH  
Industriepark 1  
A-8772 Traboch  
reithofer@4a.co.at  
++43 (0) 664 80106 601

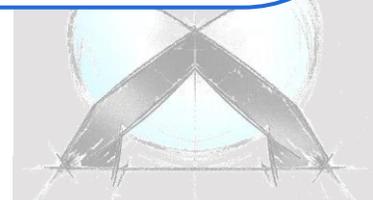
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

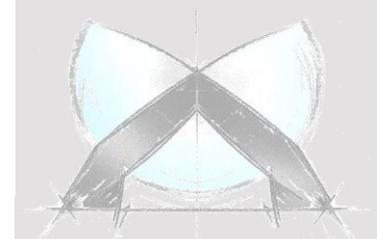
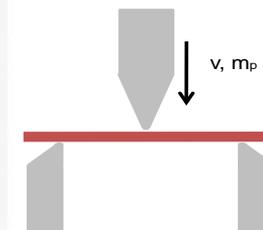
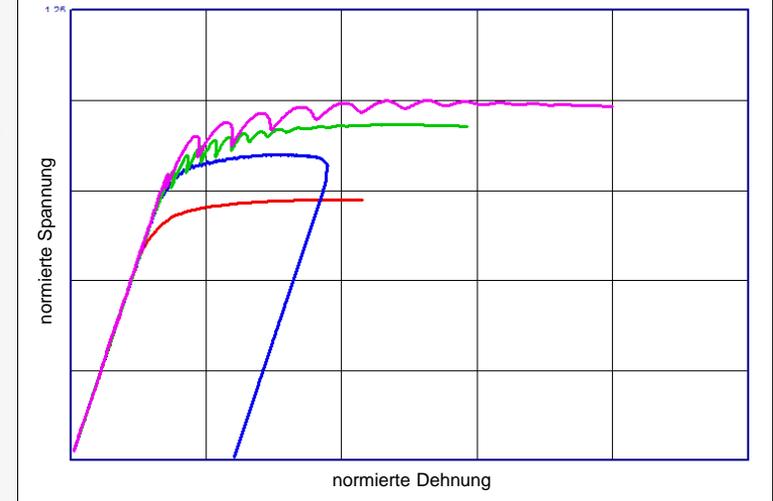
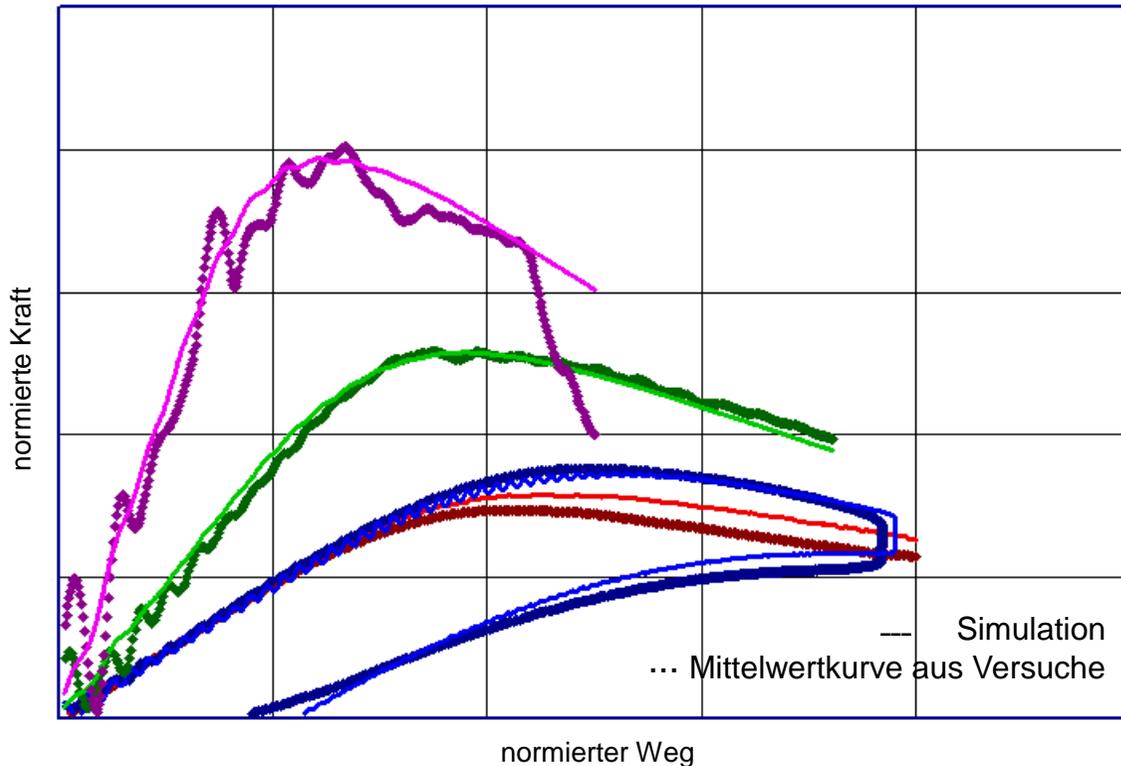
### Materialcharakterisierung / Reverse Engineering



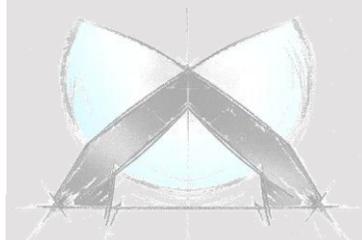
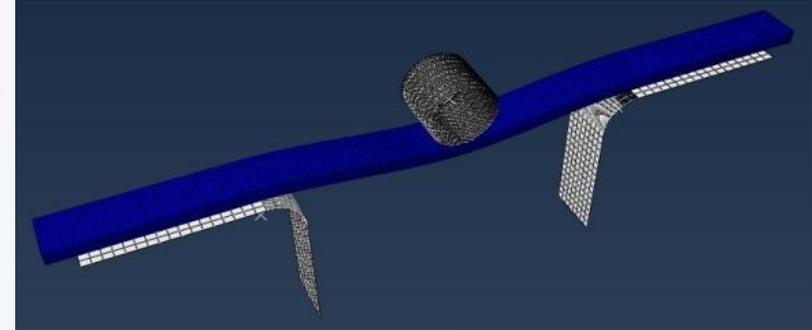
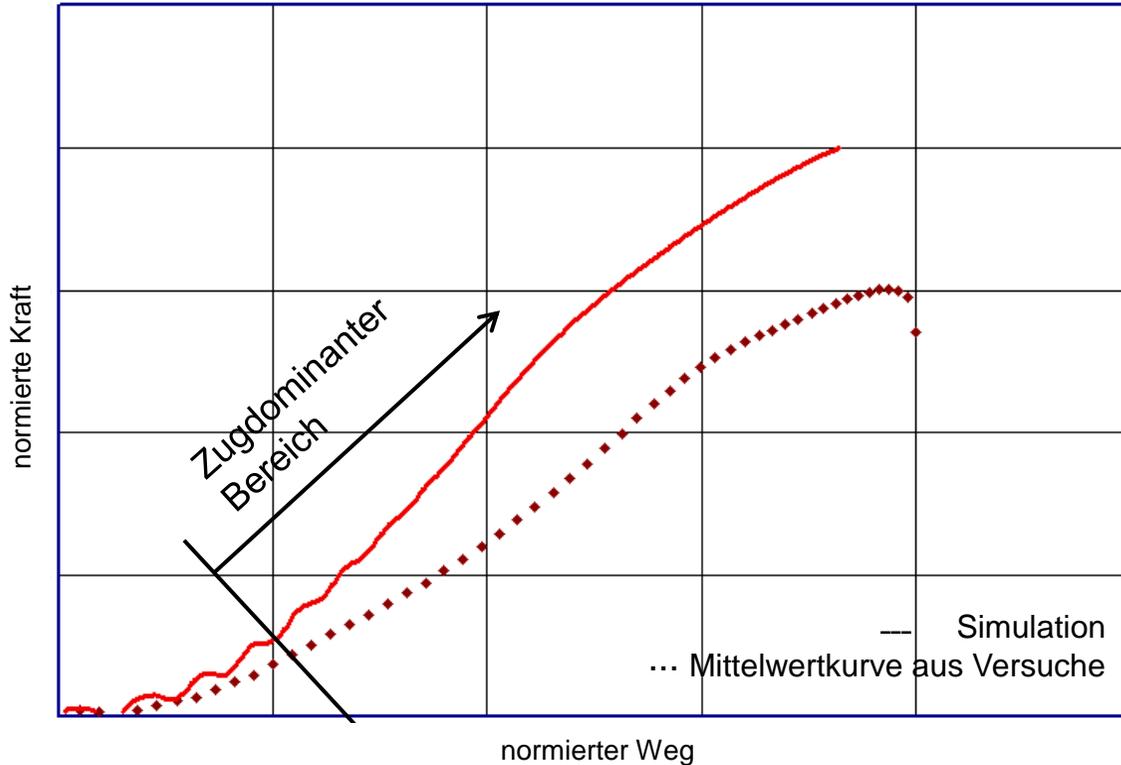
$$\sigma = \sigma_0 + E \cdot \epsilon_p \cdot \frac{1}{\left[1 - \frac{E}{H} \cdot \epsilon_p\right]}$$

**unv. Thermoplaste**  
(PA6, PBT, PE, PP, PC, ABS ...)  
\*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY





Für das isotrop elastisch viskoplastische Materialmodell (\*MAT\_24 in LSDYNA) wurden für die durchgeführten statischen und dynamischen 3-Punkt-Biegeversuche mit der Methode des Reverse Engineerings ein dehnratenabhängiges Materialmodell bestimmt. Die Optimierung kann das mechanische Verhalten sehr gut reproduzieren.



Für den Lastfall gespannte Biegung liefert die Simulation im zugdominanten Bereich ein steiferes Verhalten. In diesem Bereich stößt das verwendete Materialmodell an seine Grenzen.

- Aktuell für LS-DYNA implementiert
  - MAT\_19: *\*MAT\_STRAIN\_RATE\_DEPENDENT\_PLASTICITY* von Mises
  - MAT\_24: *\*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY* von Mises
  - MAT\_124: *\*MAT\_PLASTICITY\_COMPRESSION\_TENSION* Drucker Prager
  - MAT\_187: *\*MAT\_SAMP-1* Allg. Fließfläche

Materialverhalten	
Materialquelle	implementiert
Dichte	-1020.83399793837
Querkontraktion	0.3
Bruchdehnung	0
Elastizität	linear elastisch
Plastizität	vonMises
Kurve 1	4a Modell A
Dehnratenabhängigkeit	Tabelle
Dehnungsbereich bis	0.12
Stützstellen	50
Biasfaktor	10
Materialkarte	7011_MAT24_Plasticity Table Rate log. Table

Materialverhalten	
Materialquelle	implementiert
Dichte	-1020.83399793837
Querkontraktion	0.3
Bruchdehnung	0
Elastizität	linear elastisch
Plastizität	Drucker-Prager
Kurve 1	4a Modell A
Kurve 2	Kurve 1 skaliert
Dehnratenabhängigkeit	Tabelle
Dehnungsbereich bis	0.12
Stützstellen	50
Biasfaktor	10
Materialkarte	7021_MAT124

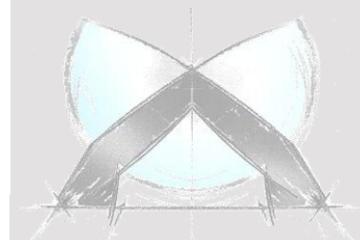
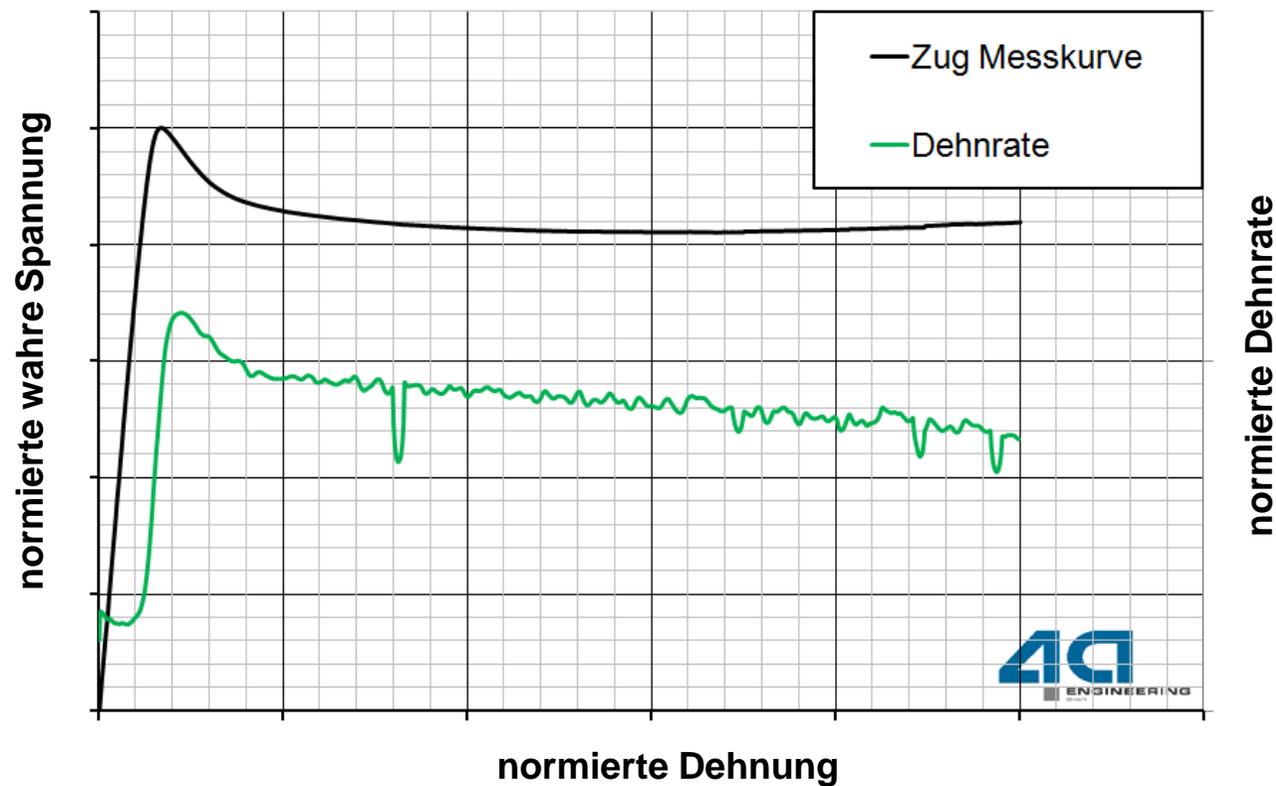
Materialverhalten	
Materialquelle	implementiert
Dichte	-1020.83399793837
Querkontraktion	0.3
Bruchdehnung	0
Elastizität	linear elastisch
Plastizität	allg. Fließfläche (3 Kurven)
Kurve 1	4a Modell A
Kurve 2	Kurve 1 skaliert
Kurve 3	Kurve 1 skaliert
Dehnratenabhängigkeit	Tabelle
Dehnungsbereich bis	0.12
Stützstellen	50
Biasfaktor	10
Materialkarte	7031_MAT187

- Alle LS-DYNA Materialkarten über benutzerdefinierte Schnittstellen verfügbar

# Anpassung komplexe Fließfläche

## Anpassung \*MAT\_SAMP-1

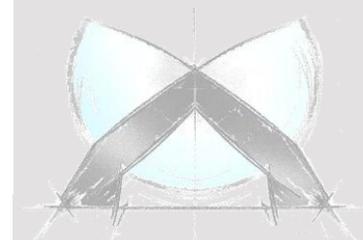
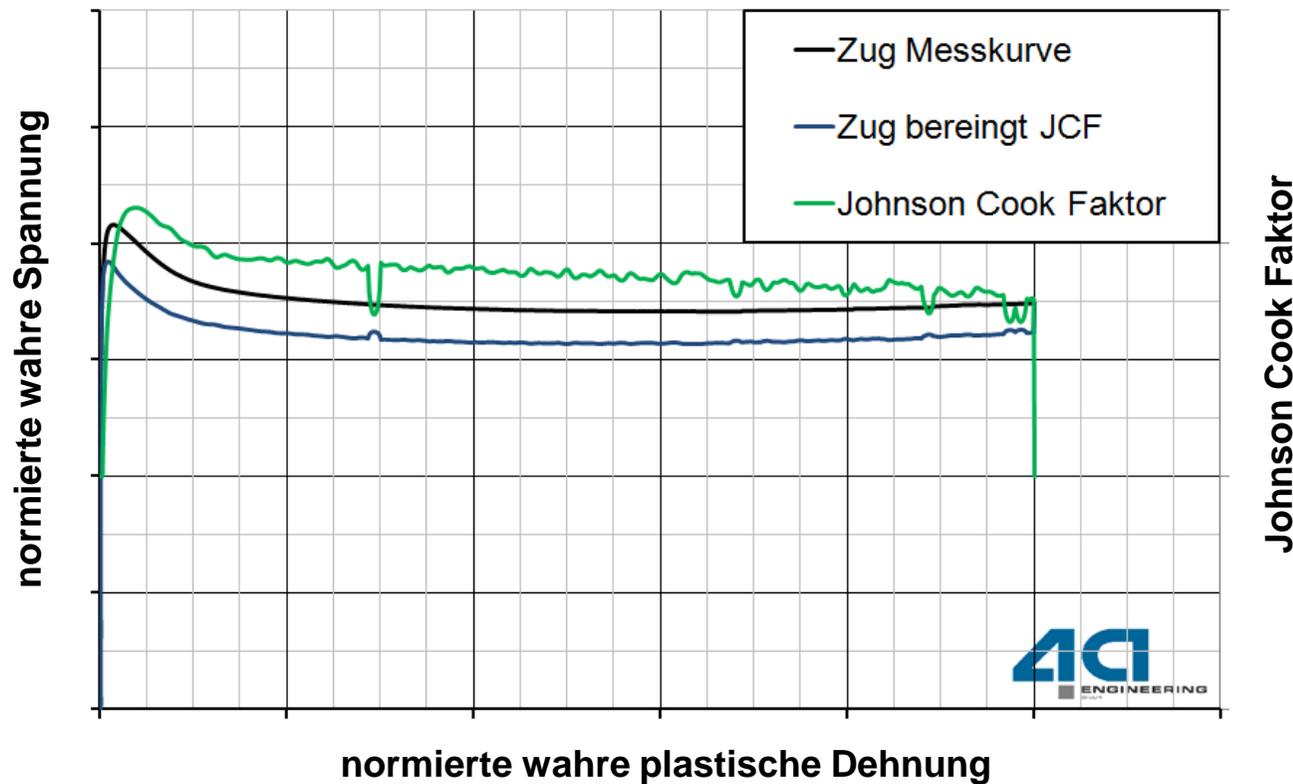
1. Schritt: Die Dehnratenabhängigkeit wird aus den Biegeversuchen bestimmt → im \*MAT\_24 durchgeführt
2. Schritt: Zug-/Druck-/Schubkurven werden dehnratenbereinigt



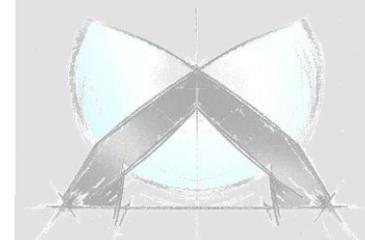
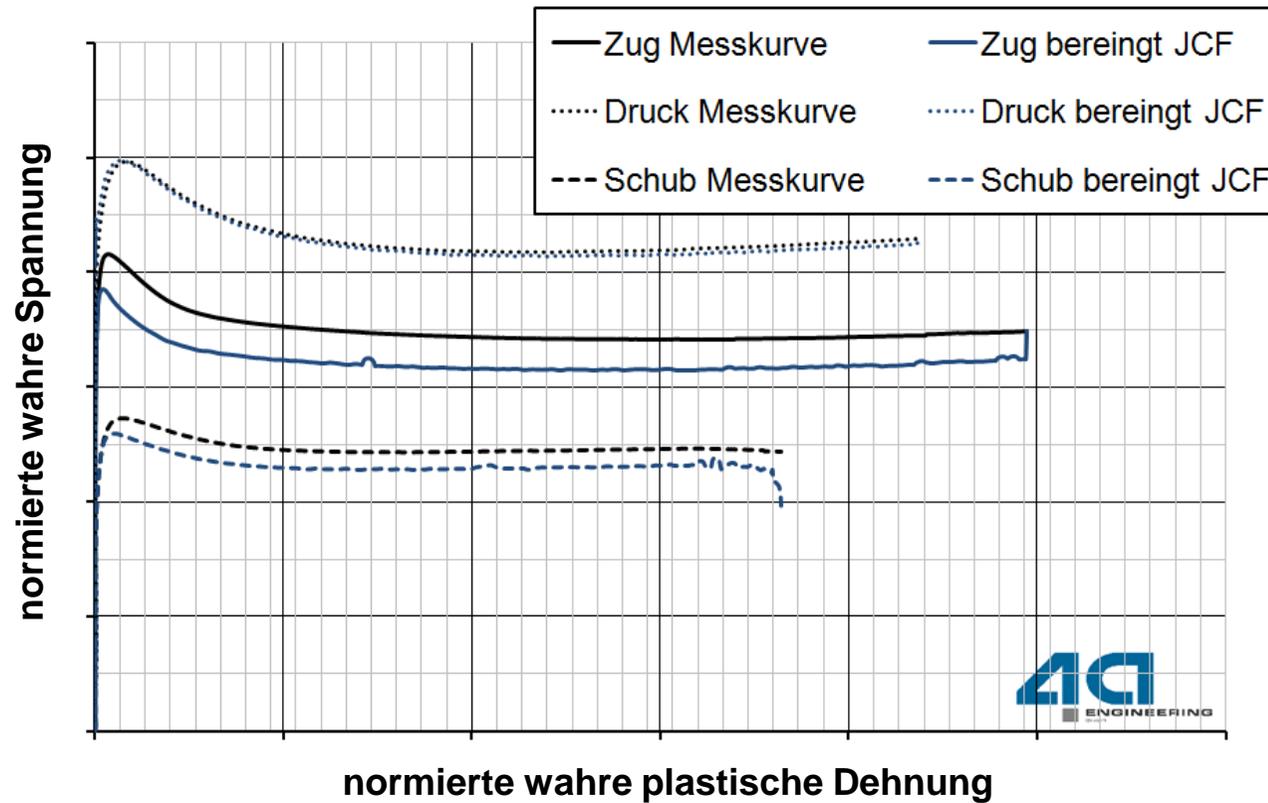
# Anpassung komplexe Fließfläche

## Anpassung \*MAT\_SAMP-1

2. Schritt: Zug-/Druck-/Schubkurven werden dehnratenbereinigt (Dehnratenabhängigkeit wurde über den Johnson-Cook-Ansatz bestimmt)



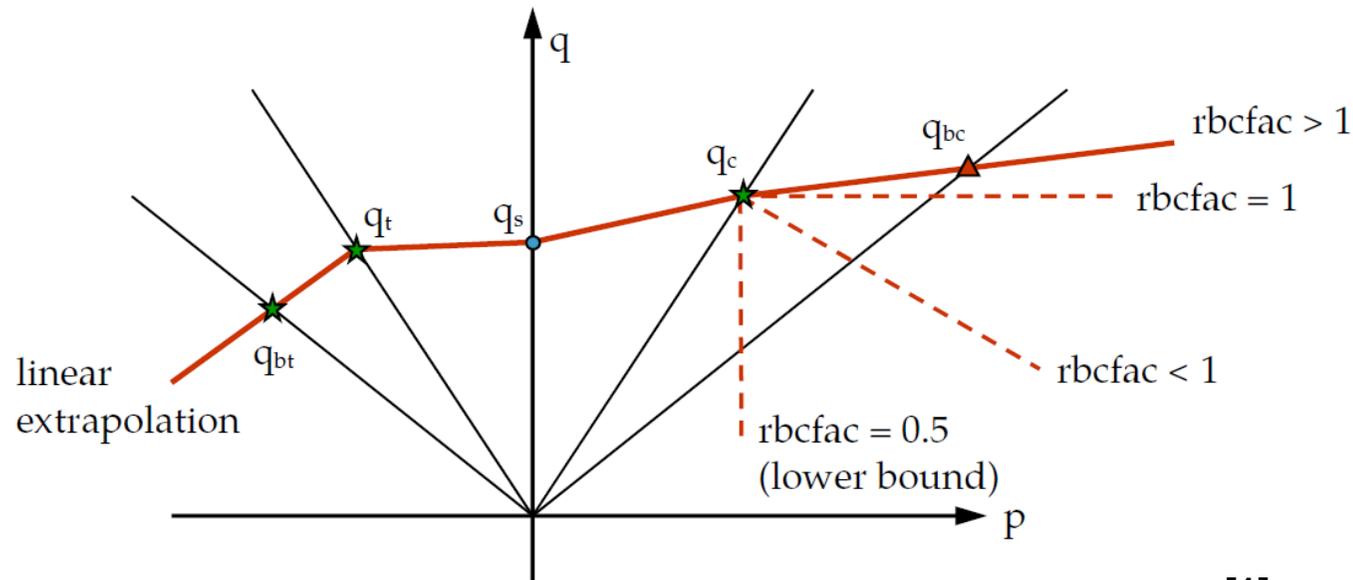
### 2. Schritt: Vergleich Zug/Schub/Druck



# Anpassung komplexe Fließfläche

## Anpassung \*MAT\_SAMP-1

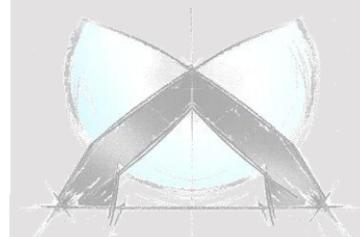
### 3. Schritt: Fließfläche



[1]

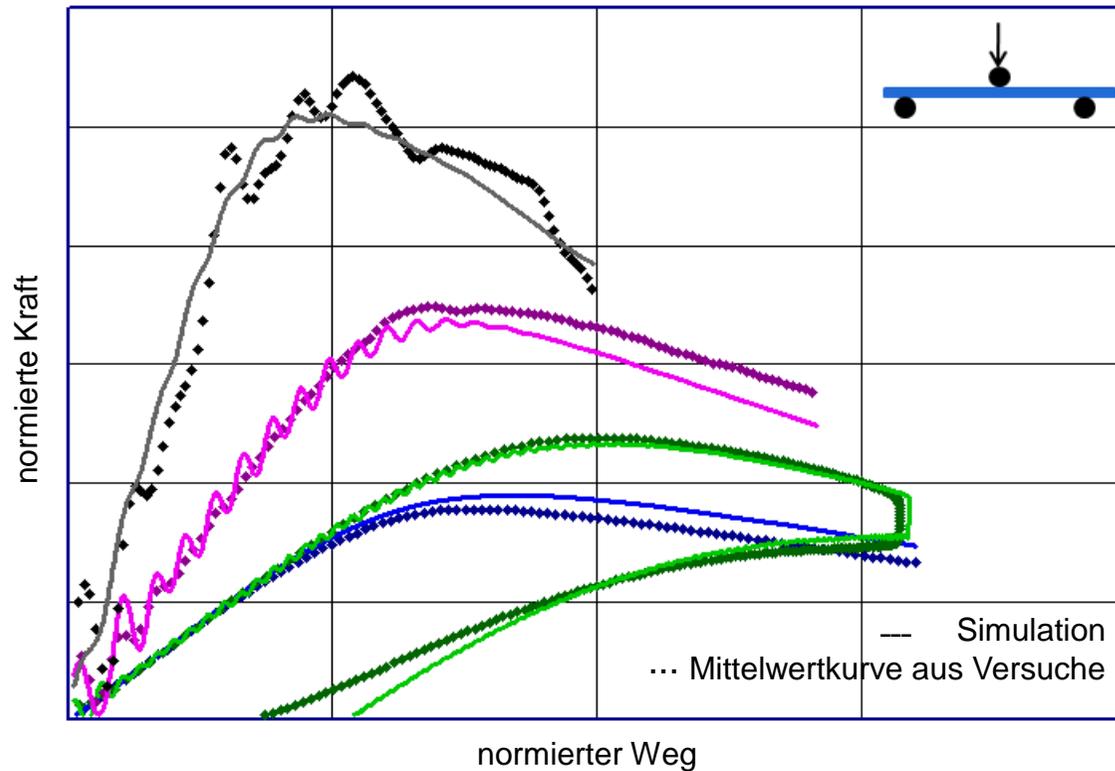
q	von Mises stress	bt	biaxial tension
p	pressure	t	tension
★	required input data	s	shear
●	optional input data	c	compression
▲	extrapolated data	bc	biaxial compression

$$rbcfac = \frac{q_{bc}}{q_c}$$

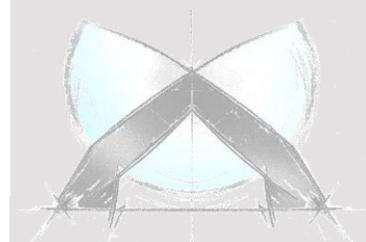


# Anpassung komplexe Fließfläche

## Validierung Biegeversuche, \*MAT\_SAMP-1

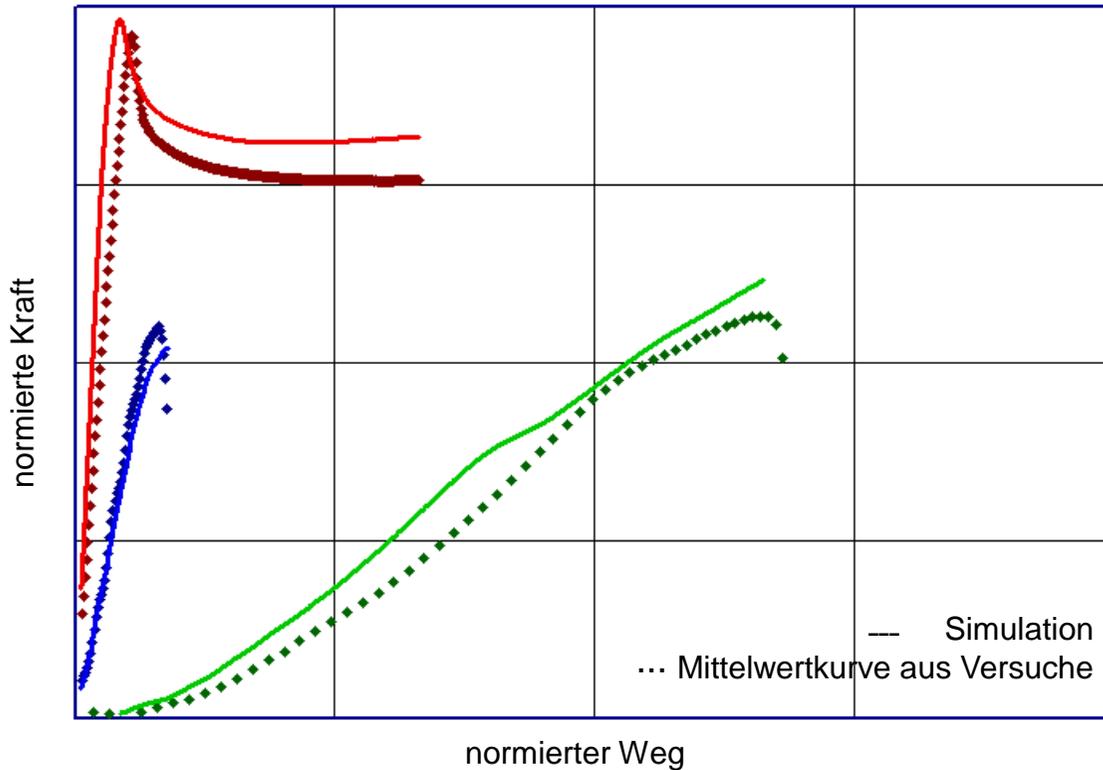


Mit dem komplexen Materialmodell lassen sich die Biegeversuche sehr gut simulieren. Das Versagen wurde noch nicht berücksichtigt.



# Anpassung komplexe Fließfläche

Validierung Zug, T-Probe und gespannte Biegung, \*MAT\_SAMP-1



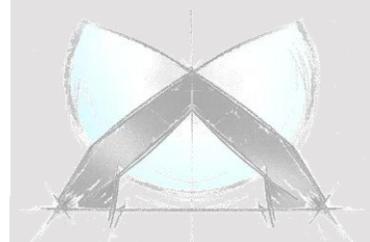
Zugversuch

T-Probe 2 m/s

Gespannte Biegung 4 m/s

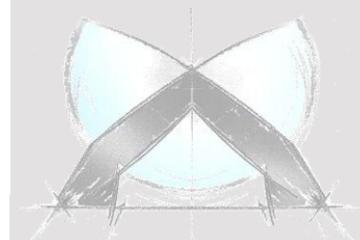
— Simulation  
... Mittelwertkurve aus Versuche

Auch der Zugversuch, die T-Probe und die gespannte Biegung werden gut getroffen. Wiederum wurde das Versagen nicht berücksichtigt.



- Plastische Vergleichsdehnung  
z.B. **MAT\_24: \*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY**
- Plastische Vergleichsdehnung mit Schädigung  
z.B. **MAT\_81: \*MAT\_PLASTICITY\_WITH\_DAMAGE**
- Dehnratenabhängiges Vergleichskriterium  
z.B. **MAT\_19: \*MAT\_STRAIN\_RATE\_DEPENDENT\_PLASTICITY**  
oder **MAT\_124: \*MAT\_PLASTICITY\_COMPRESSION\_TENSION**
- Vergleichskriterium in Abhängigkeit der Mehrachsigkeit, ...  
z.B. **MAT\_187: \*MAT\_SAMP-1**

Alternativ bietet die zusätzliche Option **\*MAT\_ADD\_EROSION** in Kombination mit einer Materialkarte eine Vielzahl an möglichen Schädigungs- und Versagensmodellierungen.



# Möglichkeiten der Versagensabbildung

## Benutzerdefinierte Materialkarte / \*MAT\_ADD\_EROSION

- Zu einer vorhandenen Materialkarte z.B. \*MAT\_187 wird eine zusätzliche Karte **\*MAT\_ADD\_EROSION** hinzugefügt:

```

*MAT_ADD_EROSION
$ MID EXCL MXPRES MNEPS EFFEPS VOLEPS NUMFIP NCS
1000000
$ MNPRES SIGP1 SIGVM MXEPS EPSSH SIGTH IMPULSE FAILTM
$ IDAM DMGTYP LCSDG ECRIT DMGEXP DCRIT FADEXP LCREGD
-1 1
$ DITYP P1 P2
0 100005 0
$ DETYP DCTYP Q1
1 0.1
=====
*DEFINE_CURVE
$ P1
$ lcid sidr scla sclc offa offo dattyp
100005 0 1.0 1.0
$ x y
-1.000000 1.0000000000
0.000000 0.0400000000
0.330000 0.0600000000
0.660000 0.0800000000
1.000000 0.1000000000
    
```

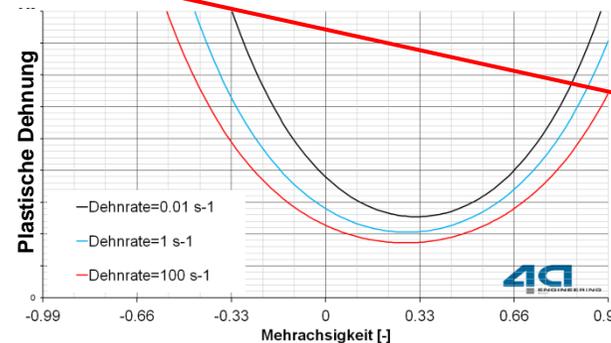
Gleiche ID wie in \*MAT\_187

1 Damage Initiierungs- und Entwicklungs-Kriterium (DIEM)  
Alternative Möglichkeit: GISSMO

Duktile Damage Initiierung  
Weitere Möglichkeiten: Schub- und Instabilitätskriterium

Damage Initiierungs-Parameter:  
Mehrachsigkeit vs. plast. Dehnung

Damage Entwicklungs-Parameter



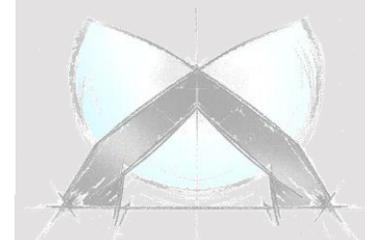
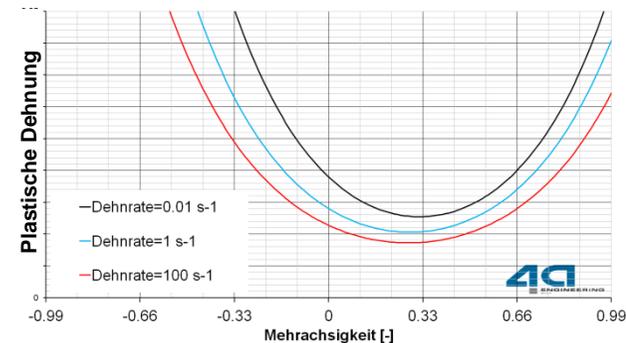
# Möglichkeiten der Versagensabbildung

## Benutzerdefinierte Materialkarte / \*MAT\_ADD\_EROSION

➤ Das Versagen kann auch dehnratenabhängig gemacht werden:

```
*DEFINE_TABLE
$# tbid
100005
$# value lcid
0.001 1000011
100 1000012
*DEFINE_CURVE
$ lcid sidr scla sclo offa offo dattyp
1000011 0 1.0 1.0
$ x y
-1.000000 1.0000000000
0.000000 0.0400000000
0.330000 0.0600000000
0.660000 0.0800000000
1.000000 0.1000000000
$=====
*DEFINE_CURVE
$ lcid sidr scla sclo offa offo dattyp
1000012 0 1.0 1.0
$ x y
-1.000000 1.0000000000
0.000000 0.0200000000
0.330000 0.0400000000
0.660000 0.0600000000
1.000000 0.0800000000
```

Dehnraten



# Anpassung \*MAT\_ADD\_EROSION

## DIEM-Modell

- DIEM: Damage Initiation and Evolution Model [1]
- Basis: Standard Material Modell (z.B. \*MAT\_187)
- 3 individuelle Kriterien können eingesetzt werden:

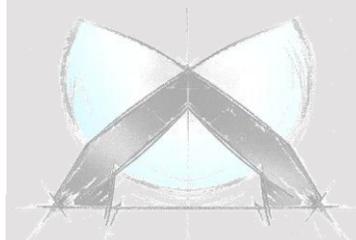
➤ Duktiles Kriterium:  $\varepsilon_D^P = \varepsilon_D^P(\eta, \dot{\varepsilon}^P)$   $\longrightarrow$   $\omega_D = \int_0^{\varepsilon^P} \frac{d\varepsilon^P}{\varepsilon_D^P}$

➤ Schub Kriterium  $\varepsilon_D^P = \varepsilon_D^P(\theta, \dot{\varepsilon}^P)$   $\longrightarrow$

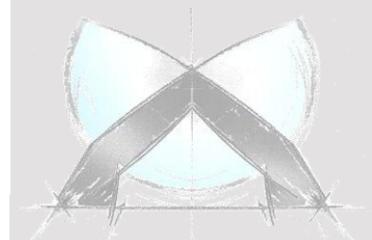
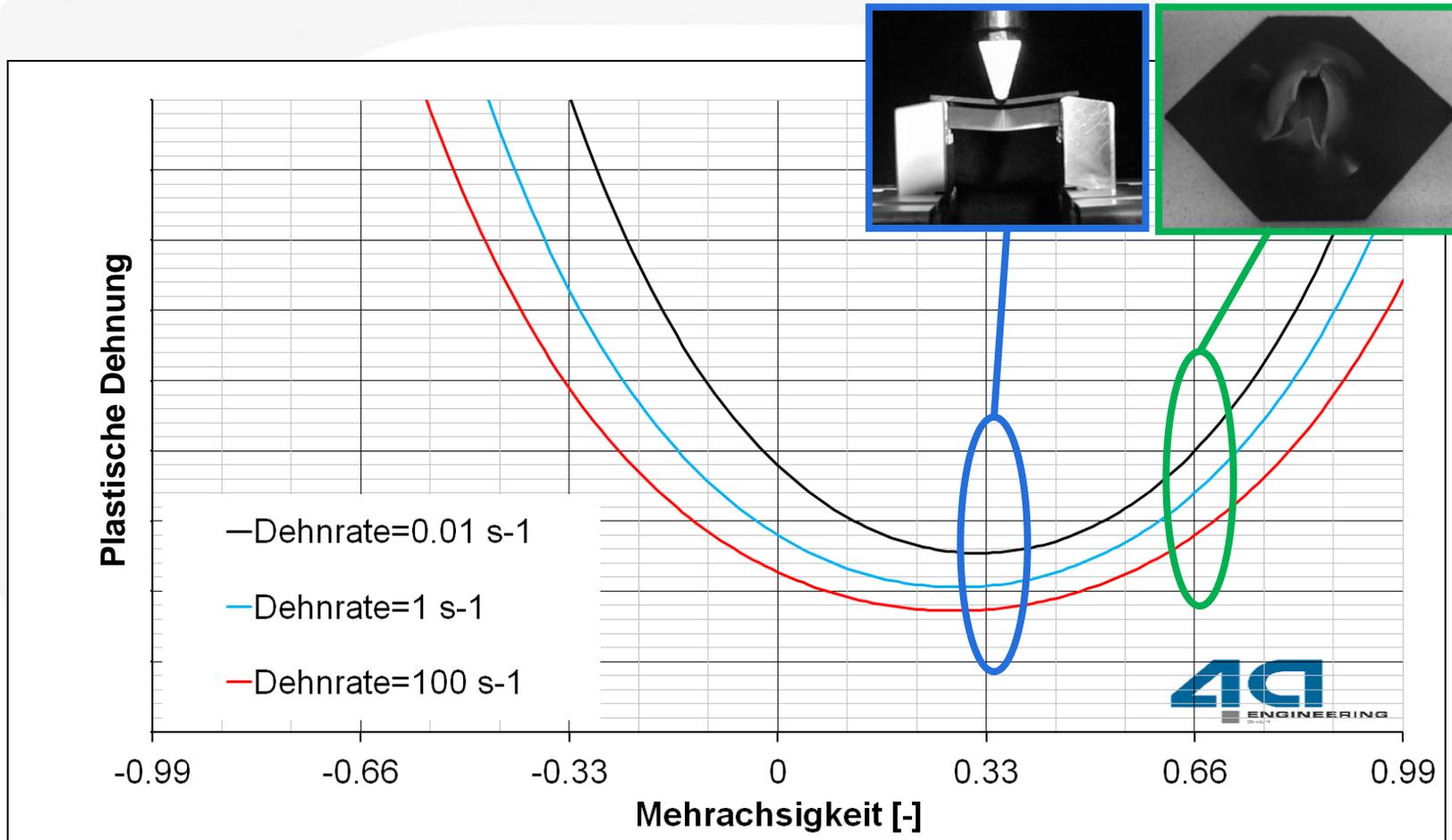
➤ Instabilitätskriterium  $\varepsilon_D^P = \varepsilon_D^P(\alpha, \dot{\varepsilon}^P)$   $\alpha = \frac{\dot{\varepsilon}_{\min or}^P}{\dot{\varepsilon}_{\max}^P} \longrightarrow \omega_D = \max \frac{\varepsilon^P}{\varepsilon_D^P}$

- Nach Initiierung erfolgt Schädigungsentwicklung:

$$\sigma = (1 - D)C^{ep} : \varepsilon$$



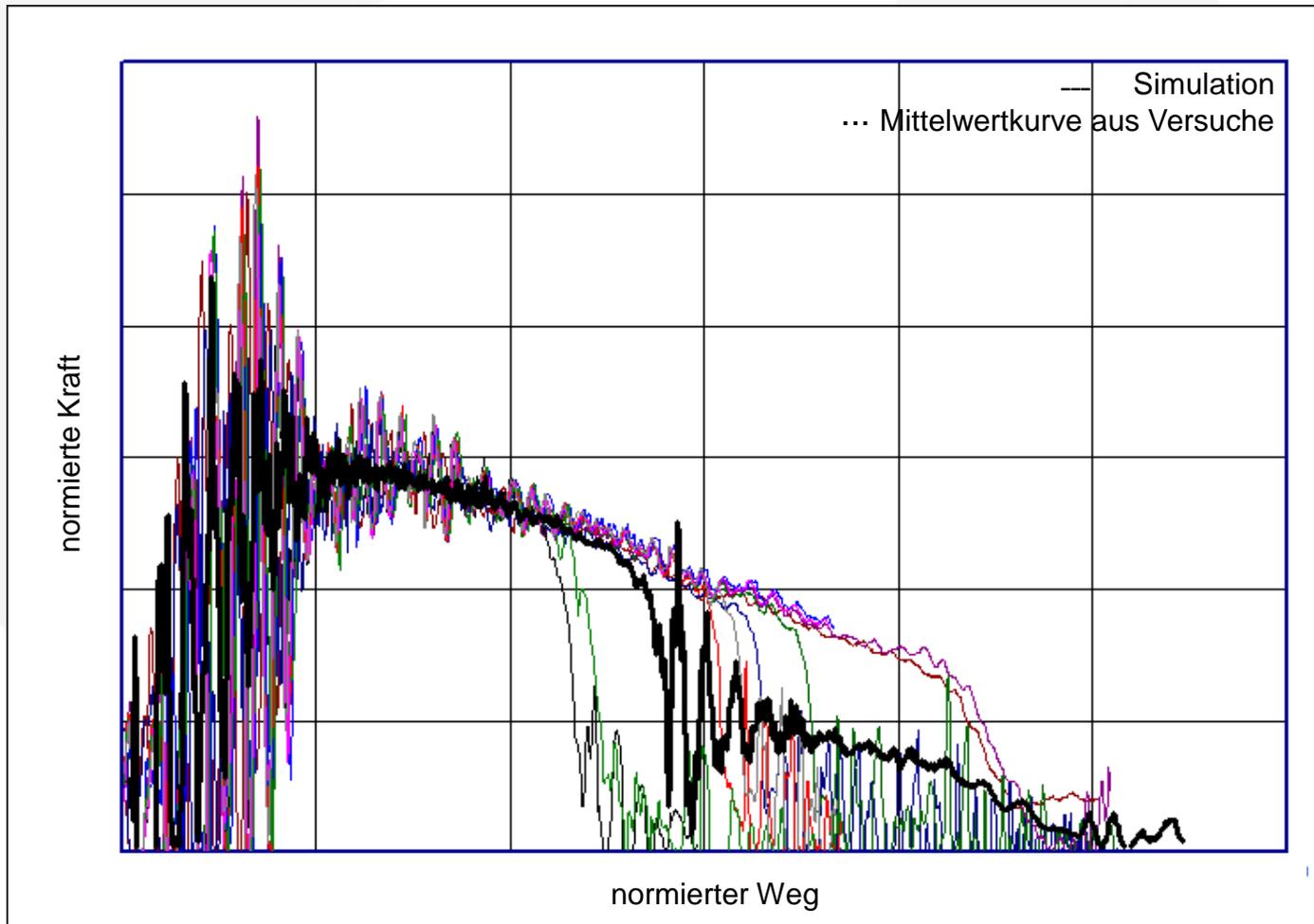
- Ermittlung der Versagensdehnungen



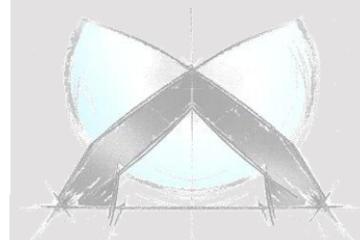
# Validierung

\* MAT\_SAMP-1 mit \*MAT\_ADD\_EROSION

- 3-Punkt-Biegung, 4 m/s, ungefiltert
- Die Versuchskurven werden sehr gut abgebildet.



Bunt: Versuchskurven  
Schwarz: Simulation

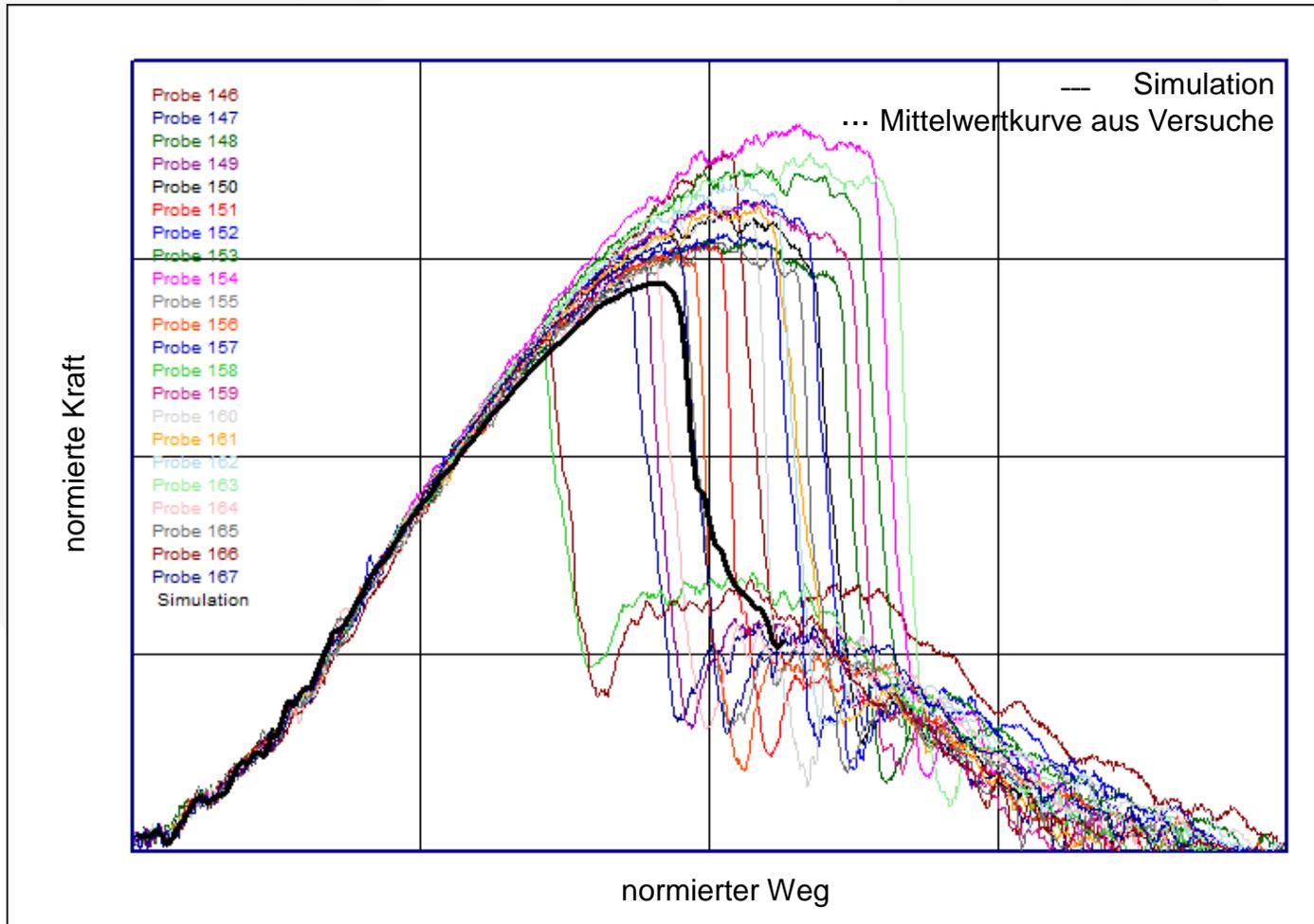


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

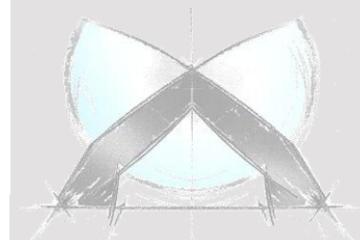
# Validierung

\* MAT\_SAMP-1 mit \*MAT\_ADD\_EROSION

- Dynamischer Durchstoßversuch
- Die Versuchskurven werden sehr gut abgebildet.



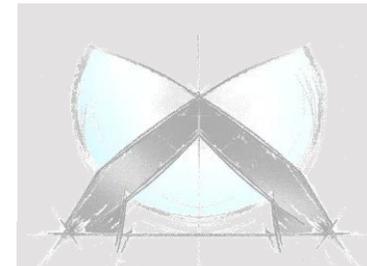
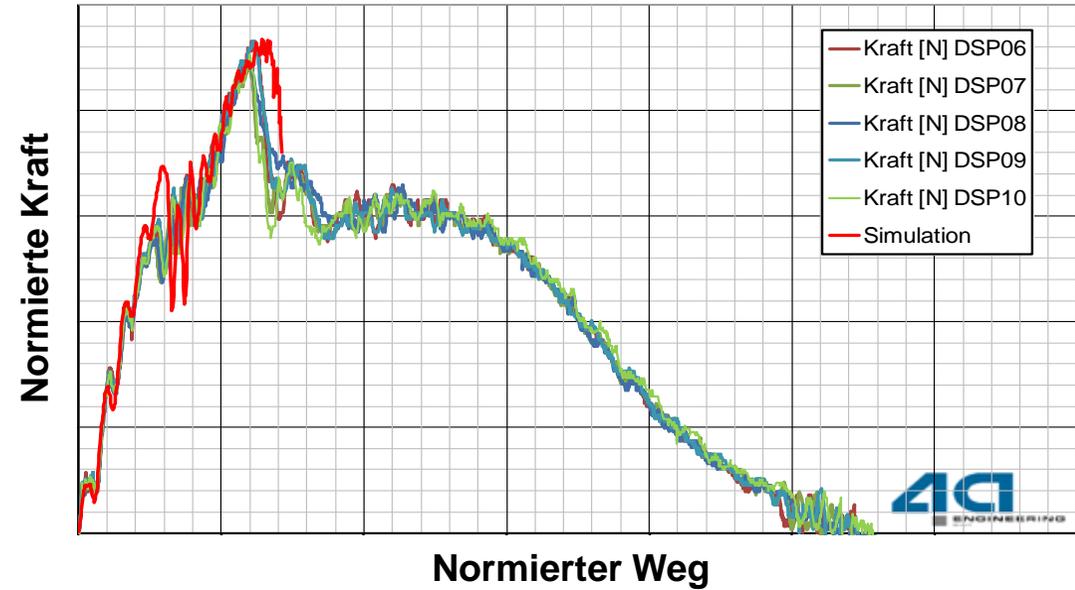
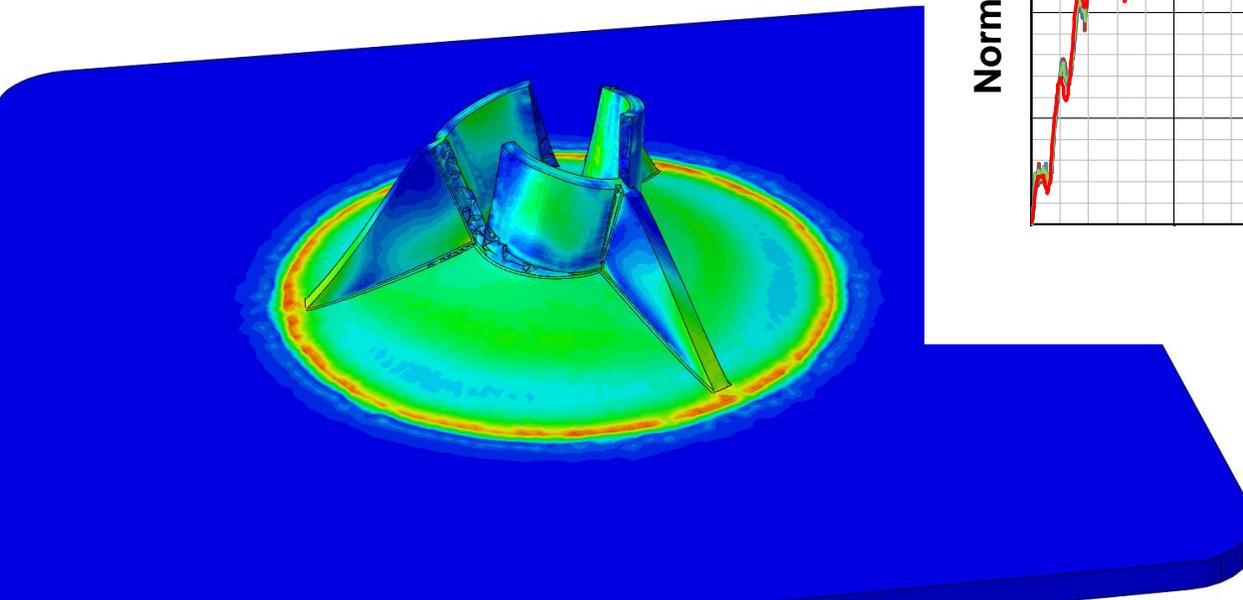
Bunt: Versuchskurven  
Schwarz: Simulation



# Validierung

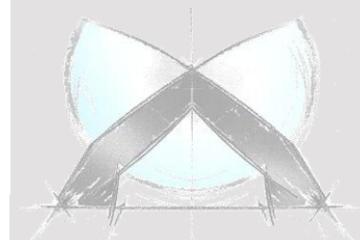
\* MAT\_SAMP-1 mit \*MAT\_ADD\_EROSION

- Dynamischer Durchstoßversuch am Bauteil
- Die Versuchskurven werden sehr gut abgebildet.



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

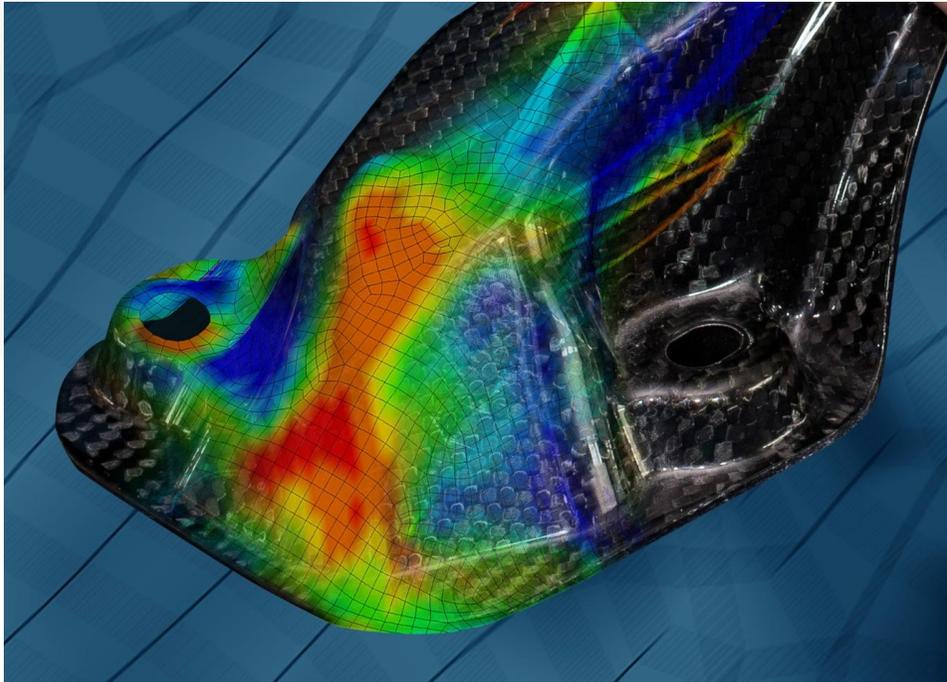
- Mit **statischen und dynamischen Biegeversuchen** lassen sich **einfache Materialkarten** (\*MAT\_24) sinnvoll für die Simulationspraxis erstellen.
- Bei einer **Zug-/Druckabhängigkeit** stößt das einfache Materialmodell schnell an seine Grenzen, komplexere Materialmodelle (z.B. \*MAT\_SAMP-1) sind gefordert.
- **Zusätzliche Versuche** (Zug-, Schub-, Druckversuche, ...) für z.B. \*MAT\_SAMP-1 können in 4a impetus importiert und der Materialcharakterisierung und -modellierung zugeführt werden.
- Durch Integration eines **Versagens- und Schädigungsmodells** (\*MAT\_ADD\_EROSION) konnte der verwendete Kunststoff sehr realitätsnah und bestmöglich abgebildet werden
- Die **Versagensabbildung** durch unterschiedliche Versagensmodelle wird momentan **in 4a impetus erweitert**.



Der **4a TECHNOLOGIETAG** findet vom **5.- 6. März 2015** in Schladming zum insgesamt 12. Mal statt.

Das Thema heuer lautet „**Leichtbau und Composites**“.

Nähere Informationen sind demnächst auf der Homepage <http://technologietag.4a.co.at/> verfügbar.



© 4a engineering GmbH, all rights reserved