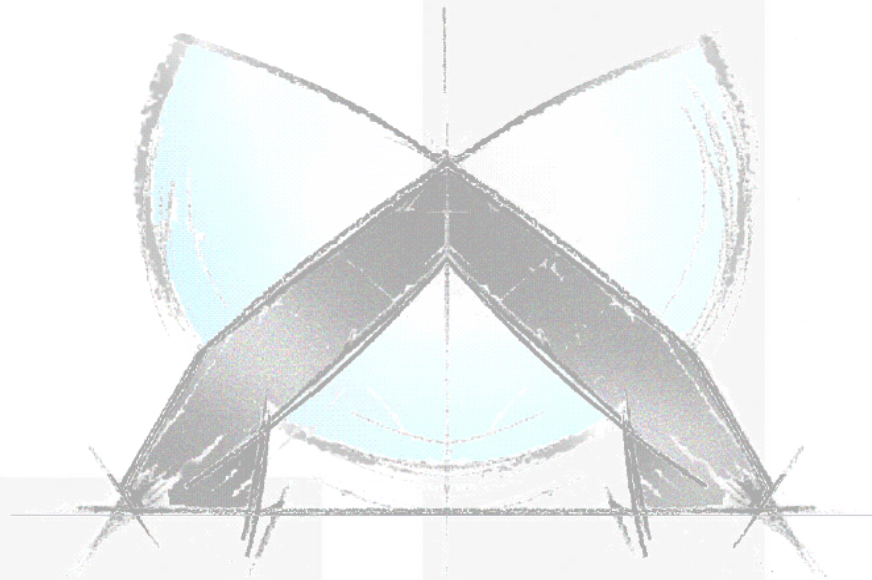


Versagen von Thermoplasten

Teil 2 – Materialmodellierung und Simulation

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

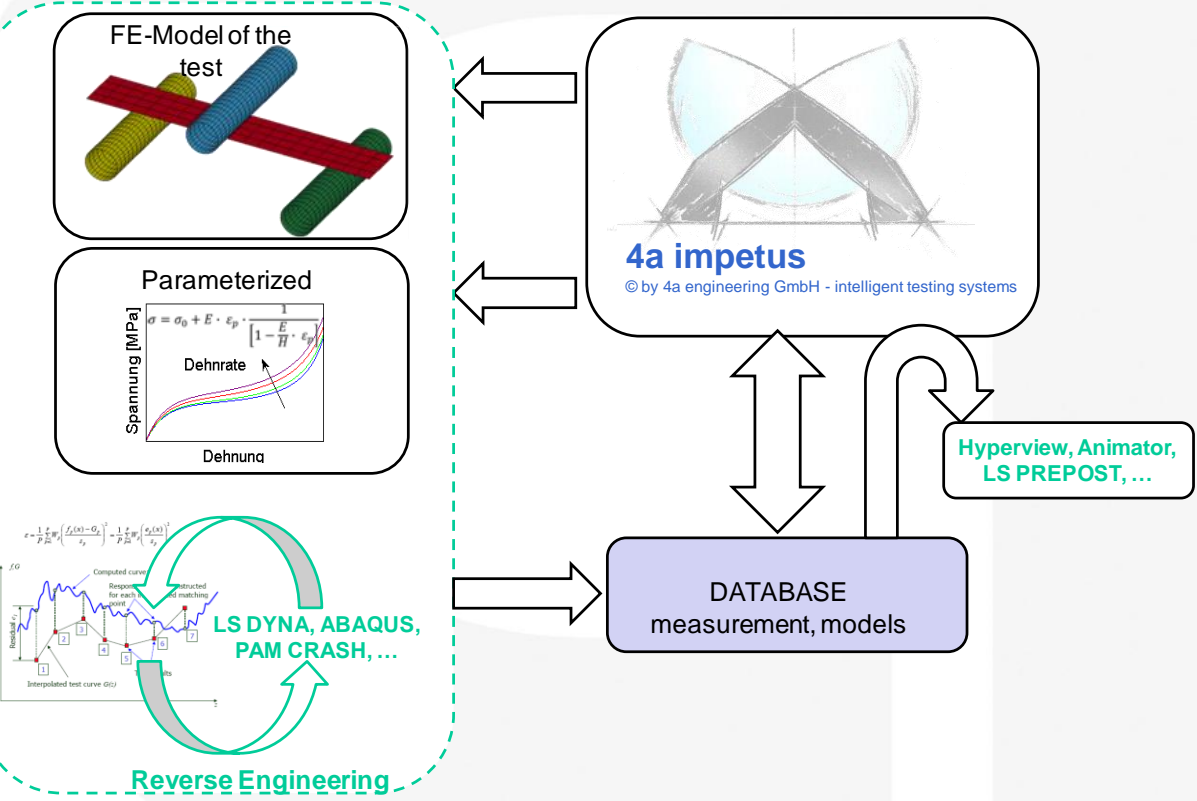


DYNAFORUM 2014
Bamberg

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

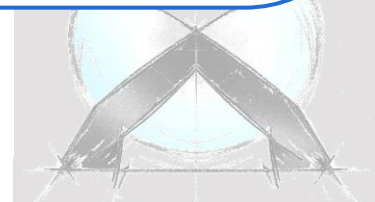
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

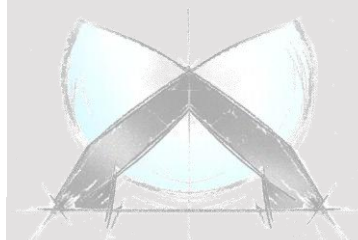
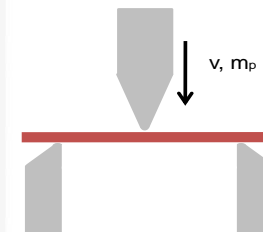
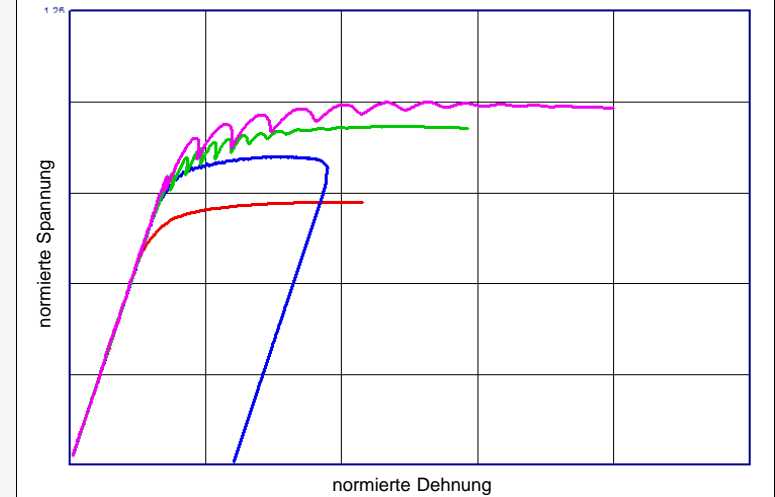
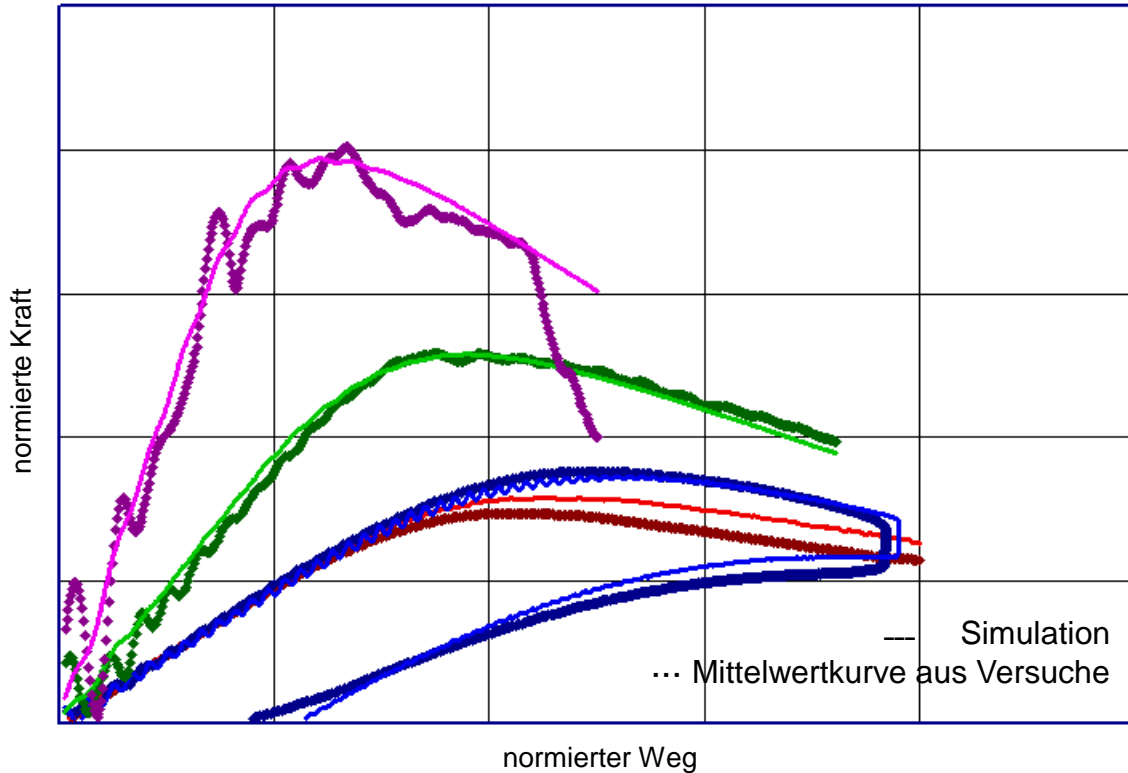
Materialcharakterisierung / Reverse Engineering



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

unv. Thermoplaste
 (PA6, PBT, PE, PP, PC, ABS ...)
 *MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY

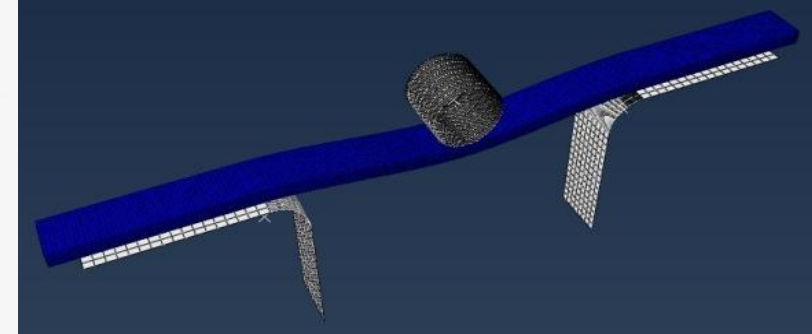
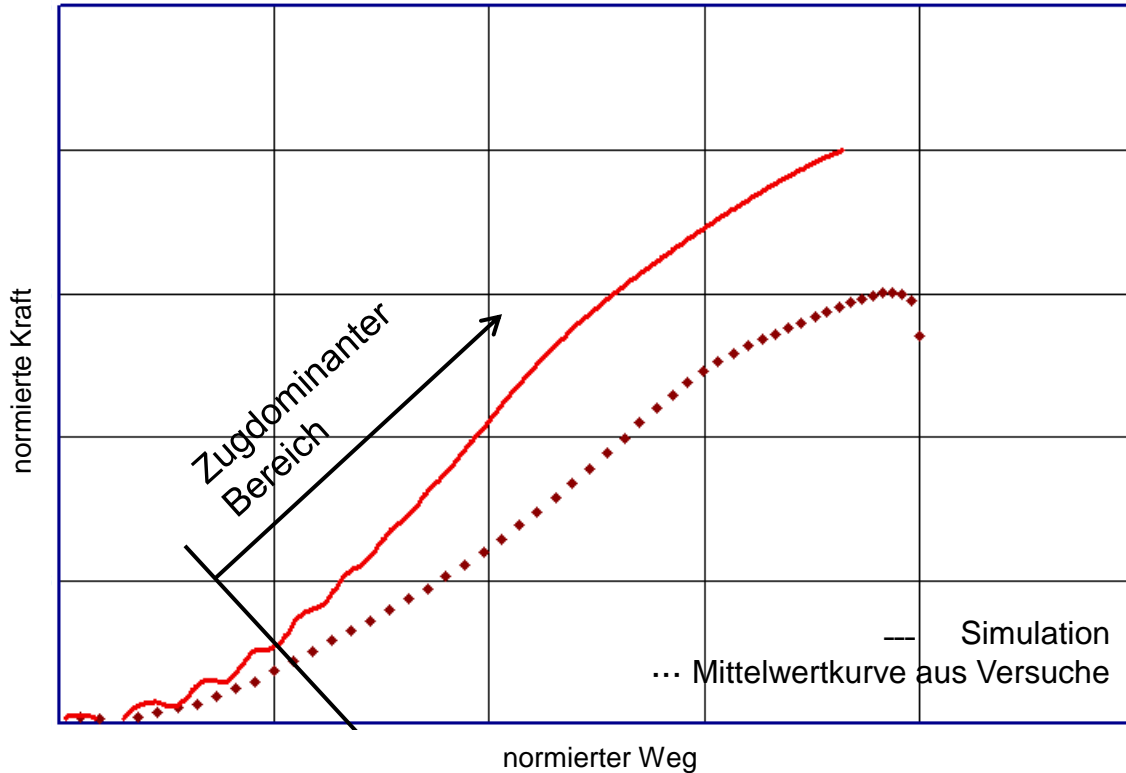




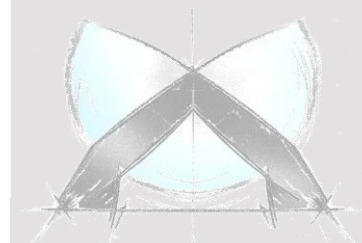
Für das isotrop elastisch viskoplastische Materialmodell (*MAT_24 in LSDYNA) wurden für die durchgeführten statischen und dynamischen 3-Punkt-Biegeversuche mit der Methode des Reverse Engineerings ein dehnratenabhängiges Materialmodell bestimmt. Die Optimierung kann das mechanische Verhalten sehr gut reproduzieren.

Einleitung

Validierung gespannte 3-Punkt-Biegung, *MAT_24



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

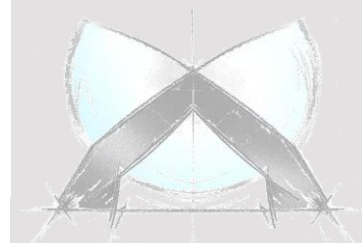
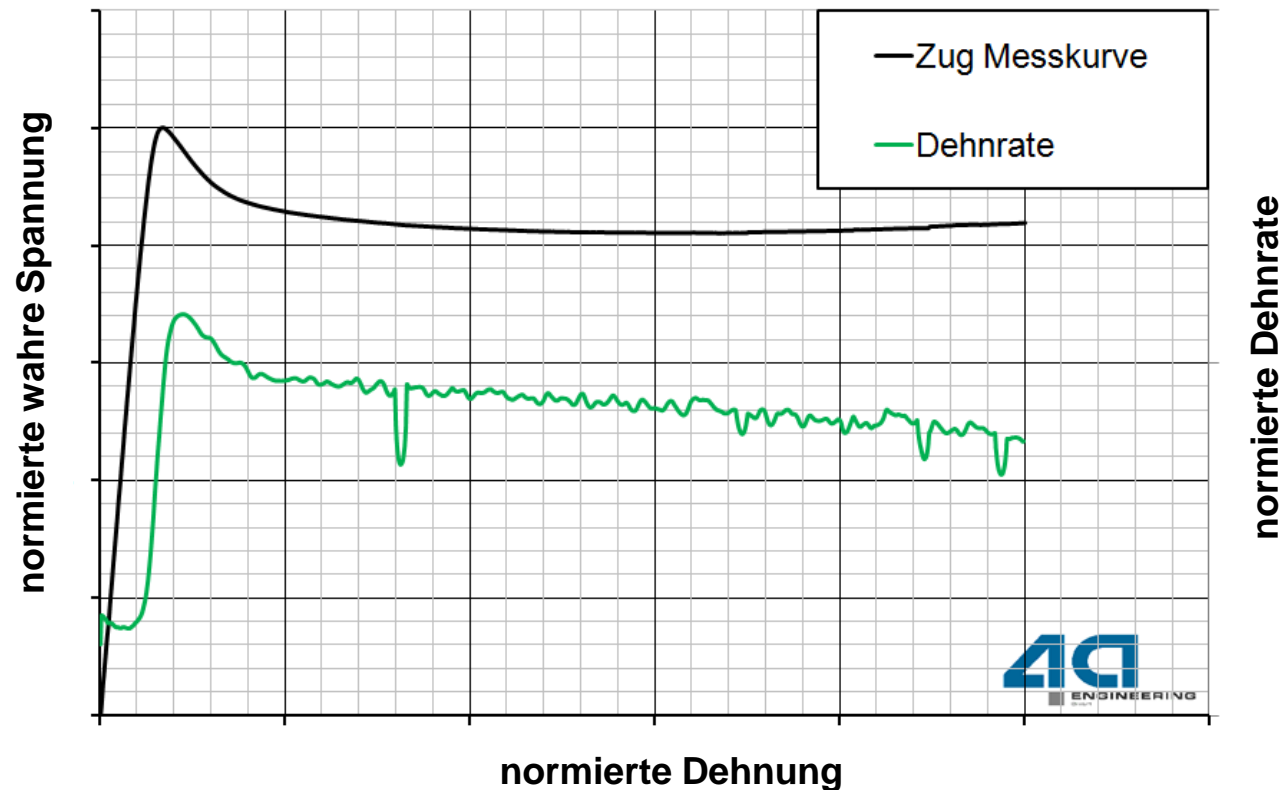
Materialverhalten	
Materialquelle	implementiert
Dichte	-1020.83399793837
Querkontraktion	0.3
Bruchdehnung	0
Elastizität	linear elastisch
Plastizität	allg. Fließfläche (3 Kurven)
Kurve 1	4a Modell A
Kurve 2	Kurve 1 skaliert
Kurve 3	Kurve 1 skaliert
Dehnratenabhängigkeit	Tabelle
Dehnungsbereich bis	0.12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

- Alle LS-DYNA Materialkarten über benutzerdefinierte Schnittstellen verfügbar

Anpassung komplexe Fließfläche

Anpassung *MAT_SAMP-1

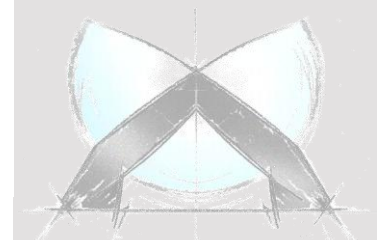
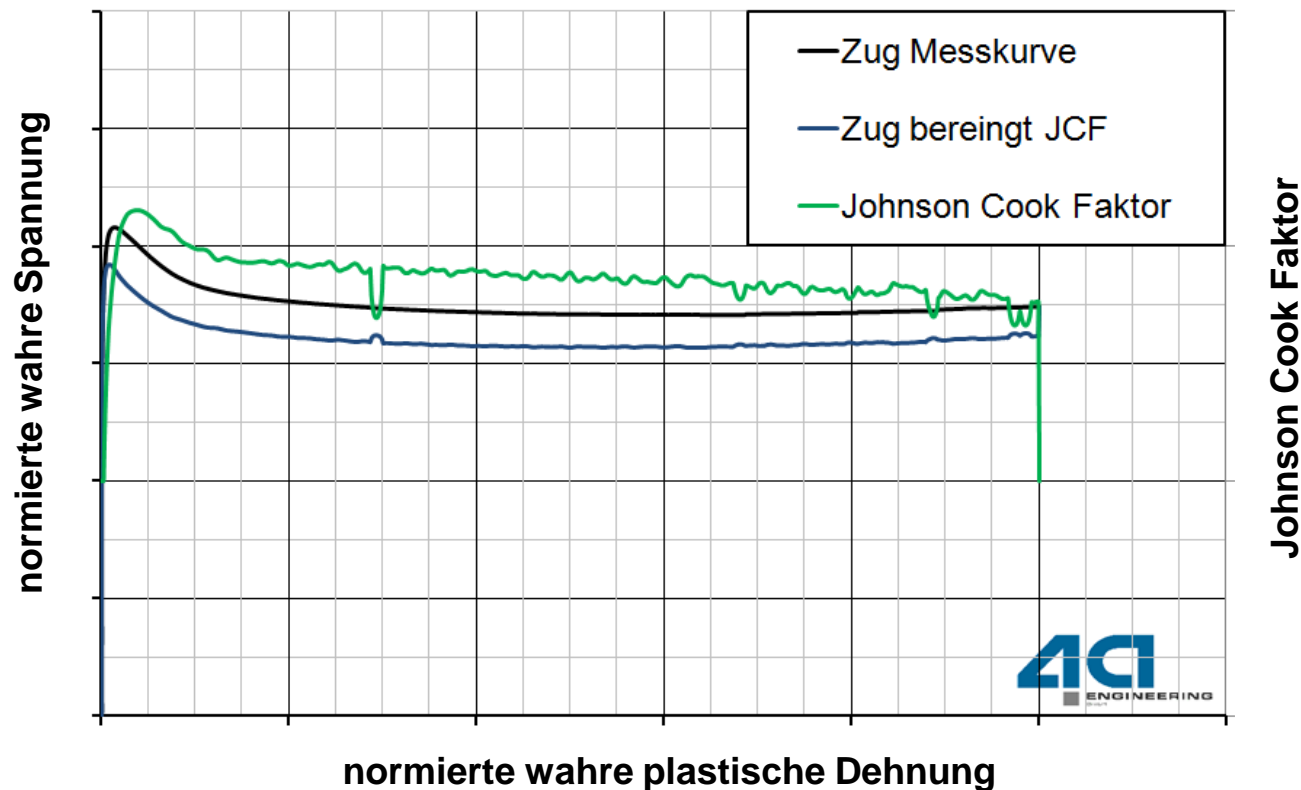
1. Schritt: Die Dehnratenabhängigkeit wird aus den Biegeversuchen bestimmt → im *MAT_24 durchgeführt
2. Schritt: Zug-/Druck-/Schubkurven werden dehnratenbereinigt



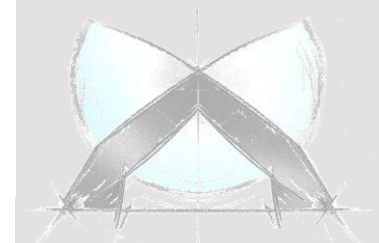
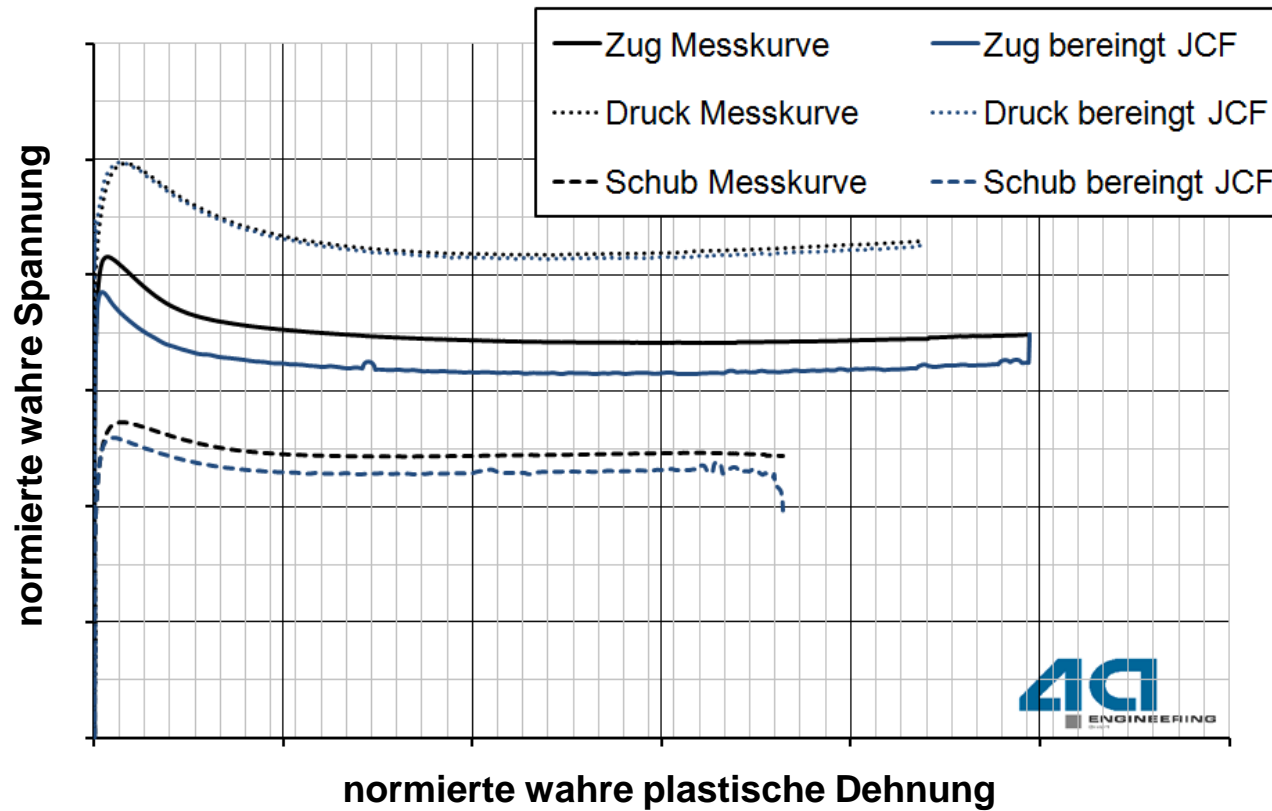
Anpassung komplexe Fließfläche

Anpassung *MAT_SAMP-1

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



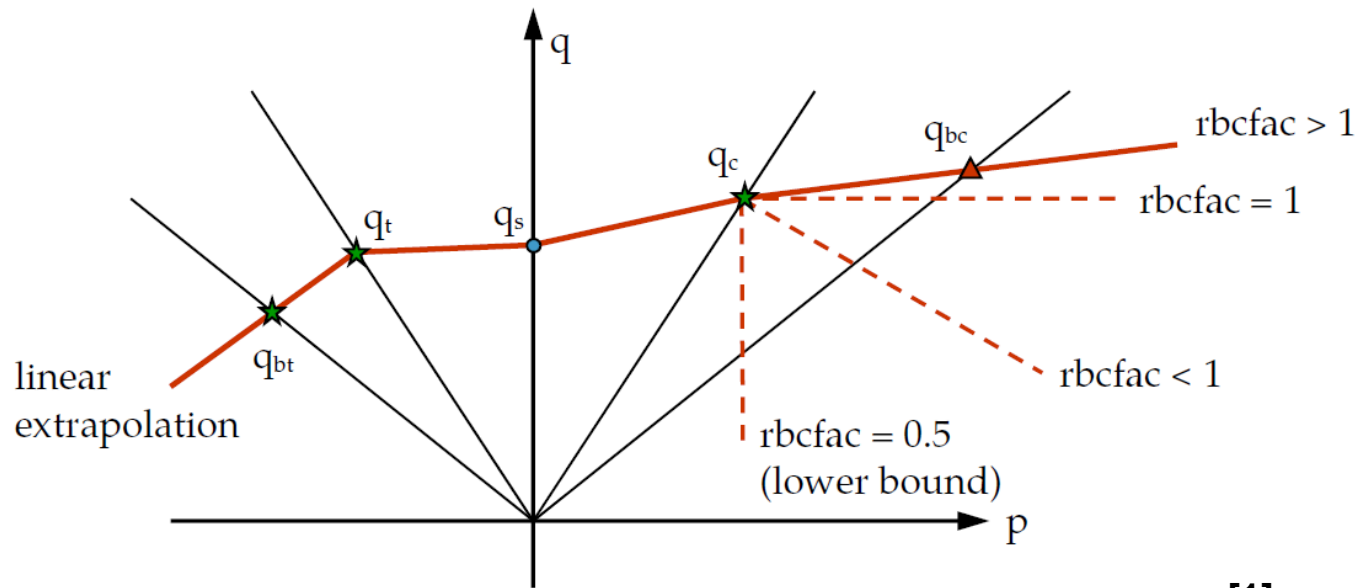
2. Schritt: Vergleich Zug/Schub/Druck



Anpassung komplexe Fließfläche

Anpassung *MAT_SAMP-1

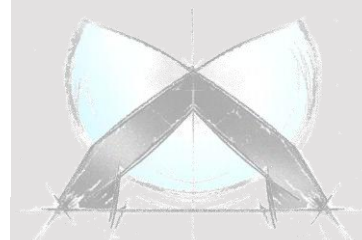
3. Schritt: Fließfläche



[1]

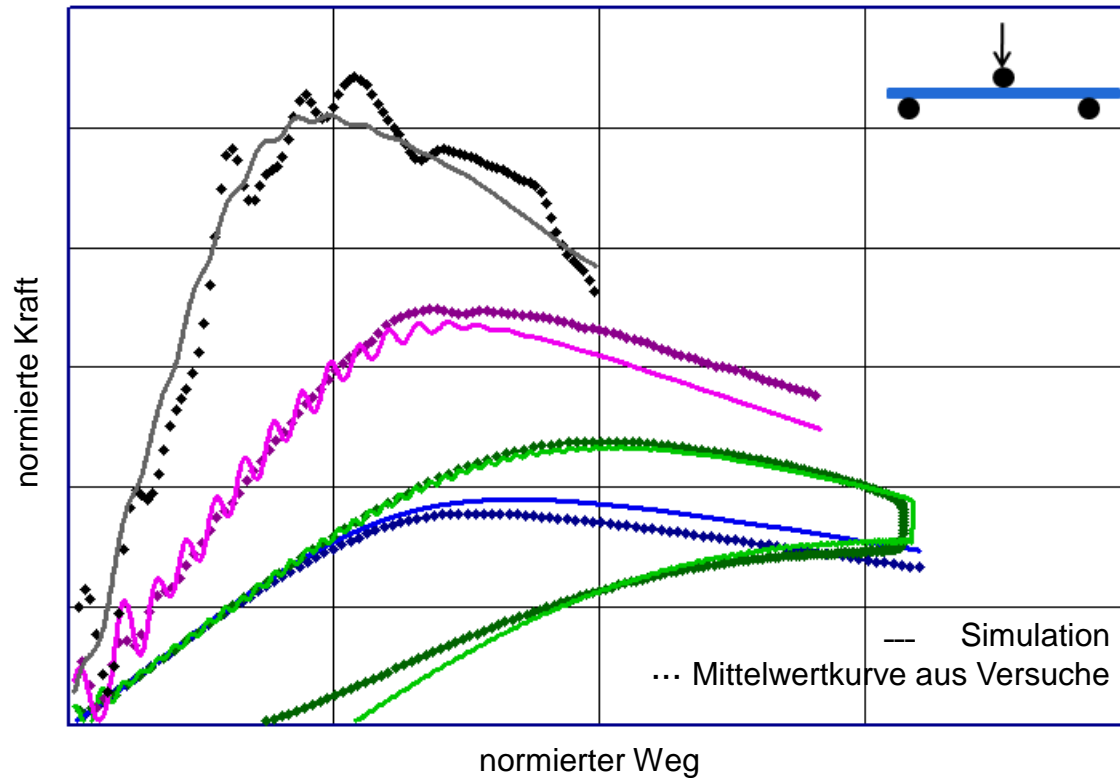
q	von Mises stress	bt	biaxial tension
p	pressure	t	tension
★	required input data	s	shear
●	optional input data	c	compression
▲	extrapolated data	bc	biaxial compression

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



Anpassung komplexe Fließfläche

Validierung Biegeversuche, *MAT_SAMP-1



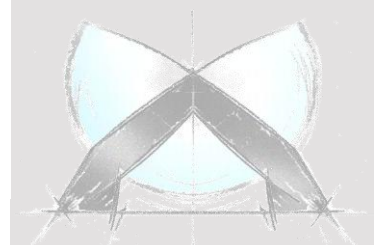
0.1 mm/s

1 m/s

2.5 m/s

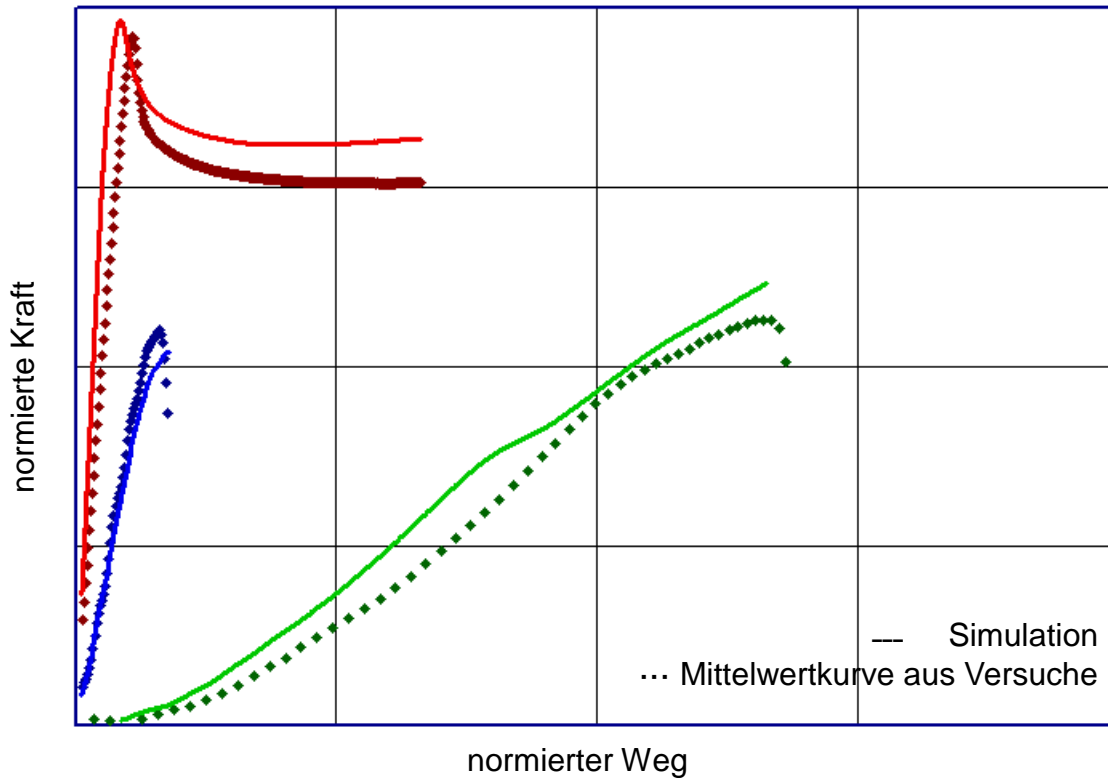
4 m/s

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

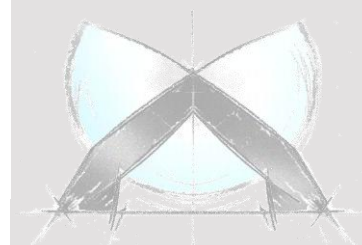


Zugversuch

T-Probe 2 m/s

Gespannte Biegung 4 m/s

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

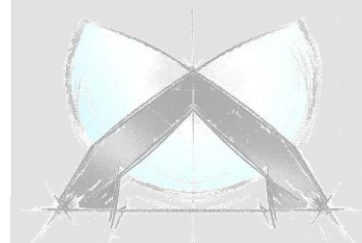


Möglichkeiten der Versagensabbildung

Verfügbare Versagens- bzw. Schädigungsmodelle in LS-DYNA

- 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
  
```

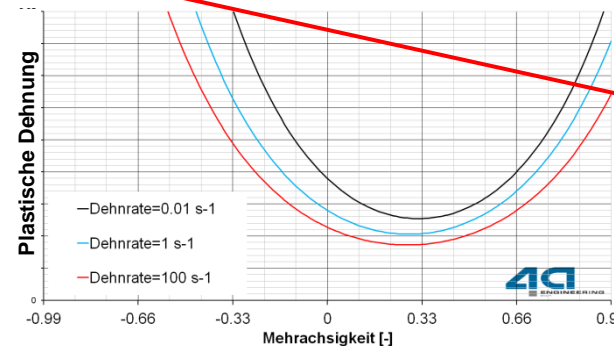
Gleiche ID wie in *MAT_187

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



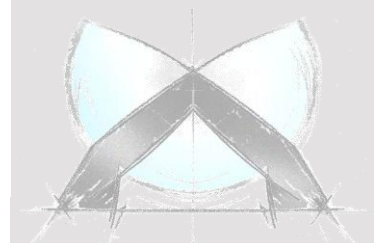
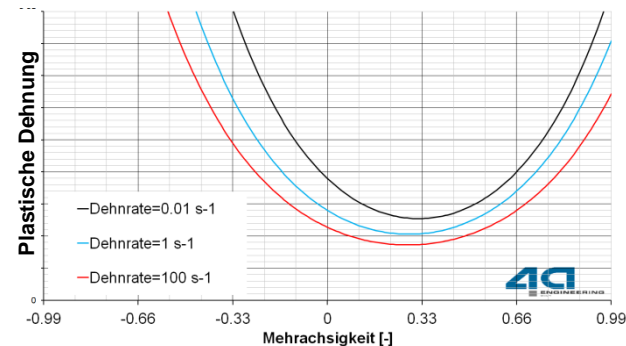
Möglichkeiten der Versagensabbildung

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:

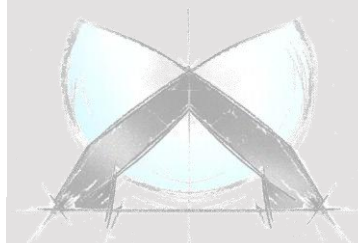
➤ Duktiles Kriterium: $\varepsilon_D^P = \varepsilon_D^P(\eta, \dot{\varepsilon}^P)$ \longrightarrow $\omega_D = \int_0^{\varepsilon^P} \frac{d\varepsilon^P}{\varepsilon_D^P}$

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

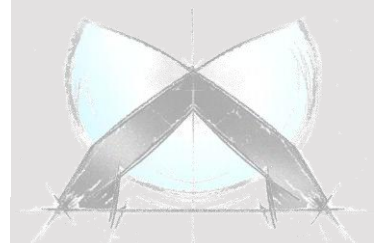
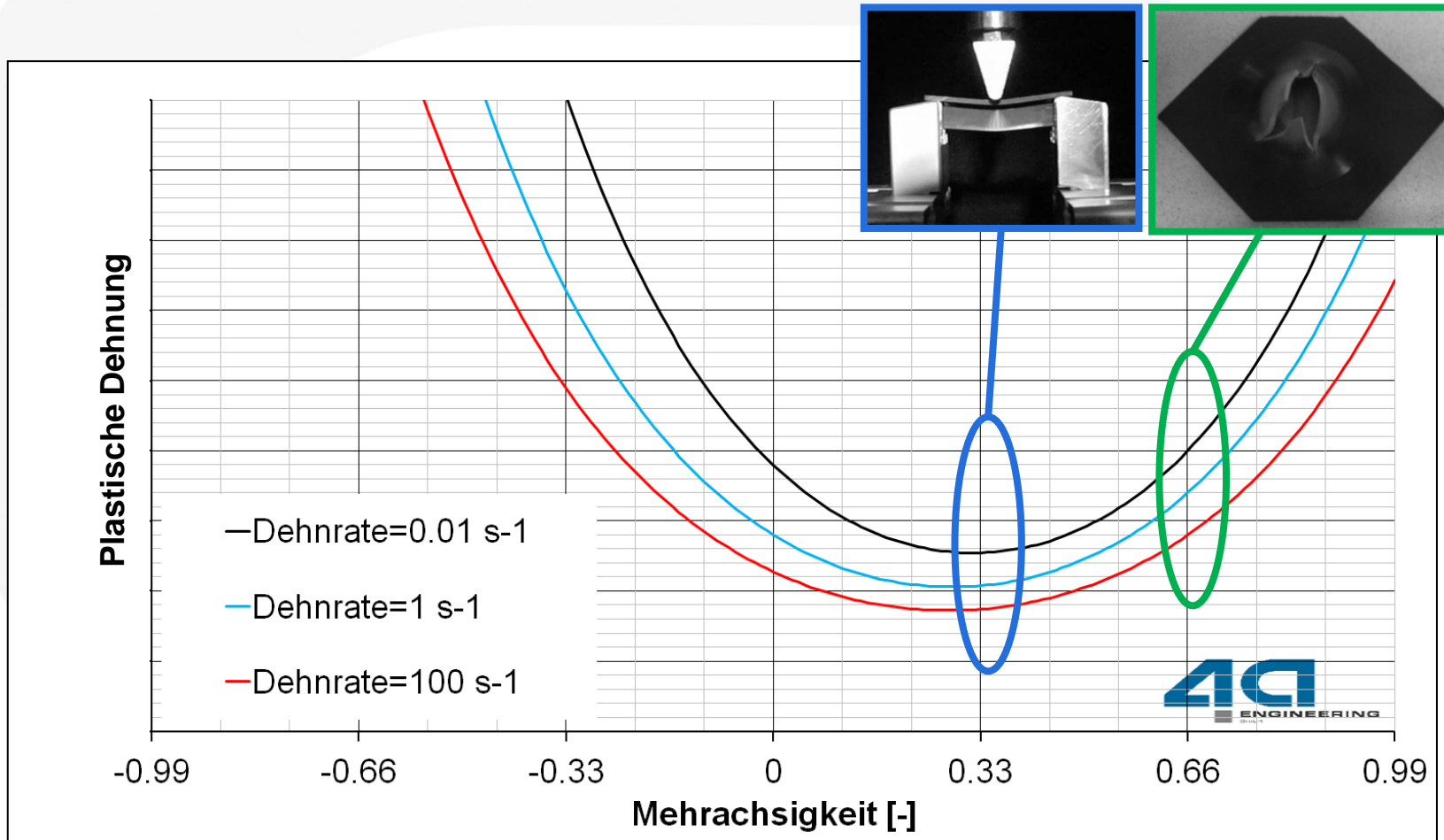
➤ Instabilitätskriterium $\varepsilon_D^P = \varepsilon_D^P(\alpha, \dot{\varepsilon}^P)$ $\alpha = \frac{\dot{\varepsilon}_{\min or}^P}{\dot{\varepsilon}_{\max}^P} \longrightarrow \omega_D = \max \frac{\varepsilon^P}{\varepsilon_D^P}$

- Nach Initiierung erfolgt Schädigungsentwicklung:

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



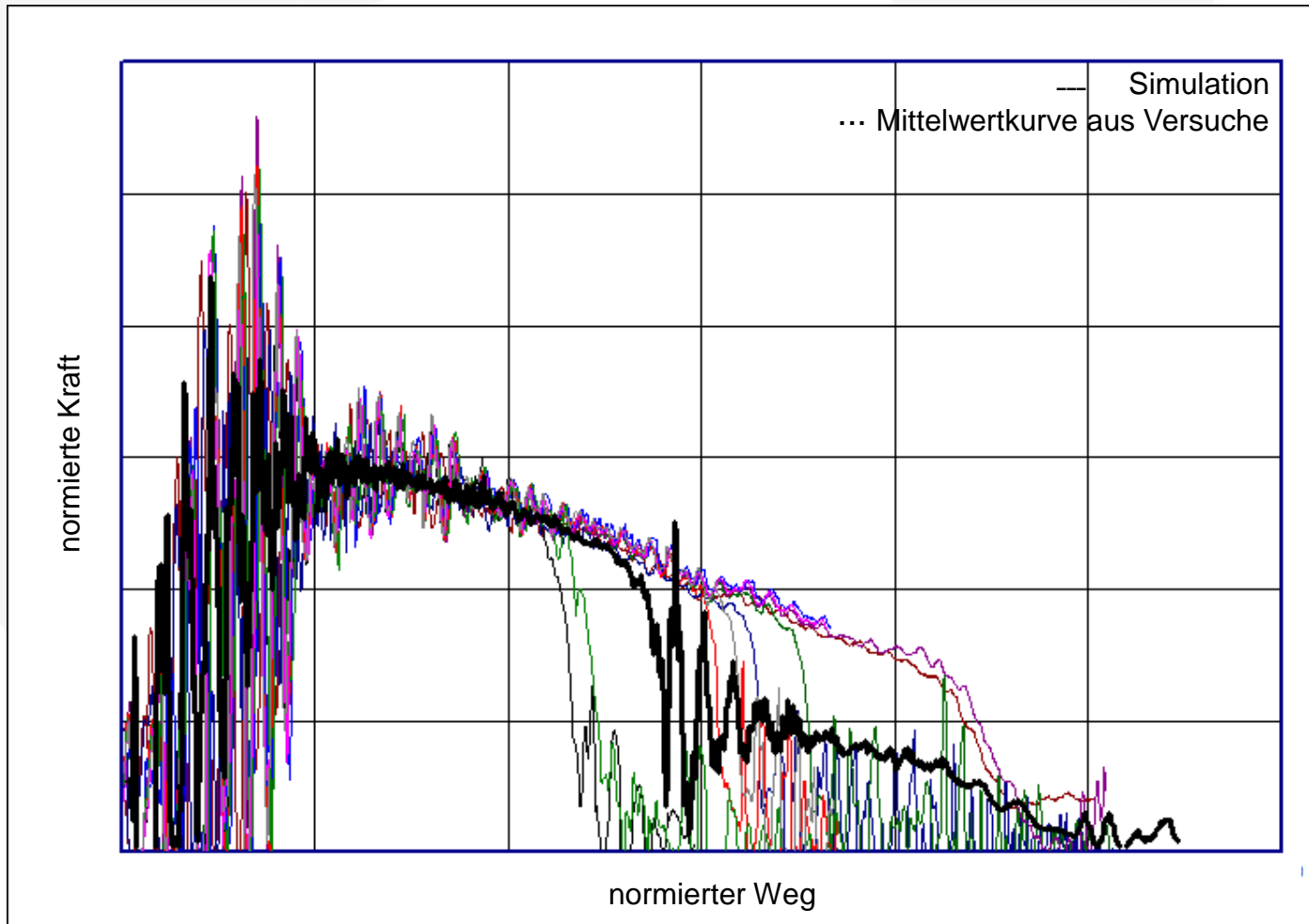
- Ermittlung der Versagensdehnungen



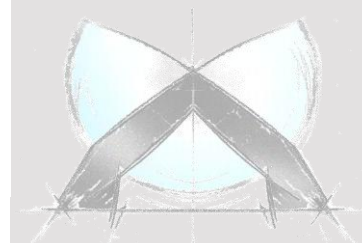
Validierung

* MAT_SAMP-1 mit *MAT_ADD_EROSION

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



Bunt: Versuchskurven
Schwarz: Simulation

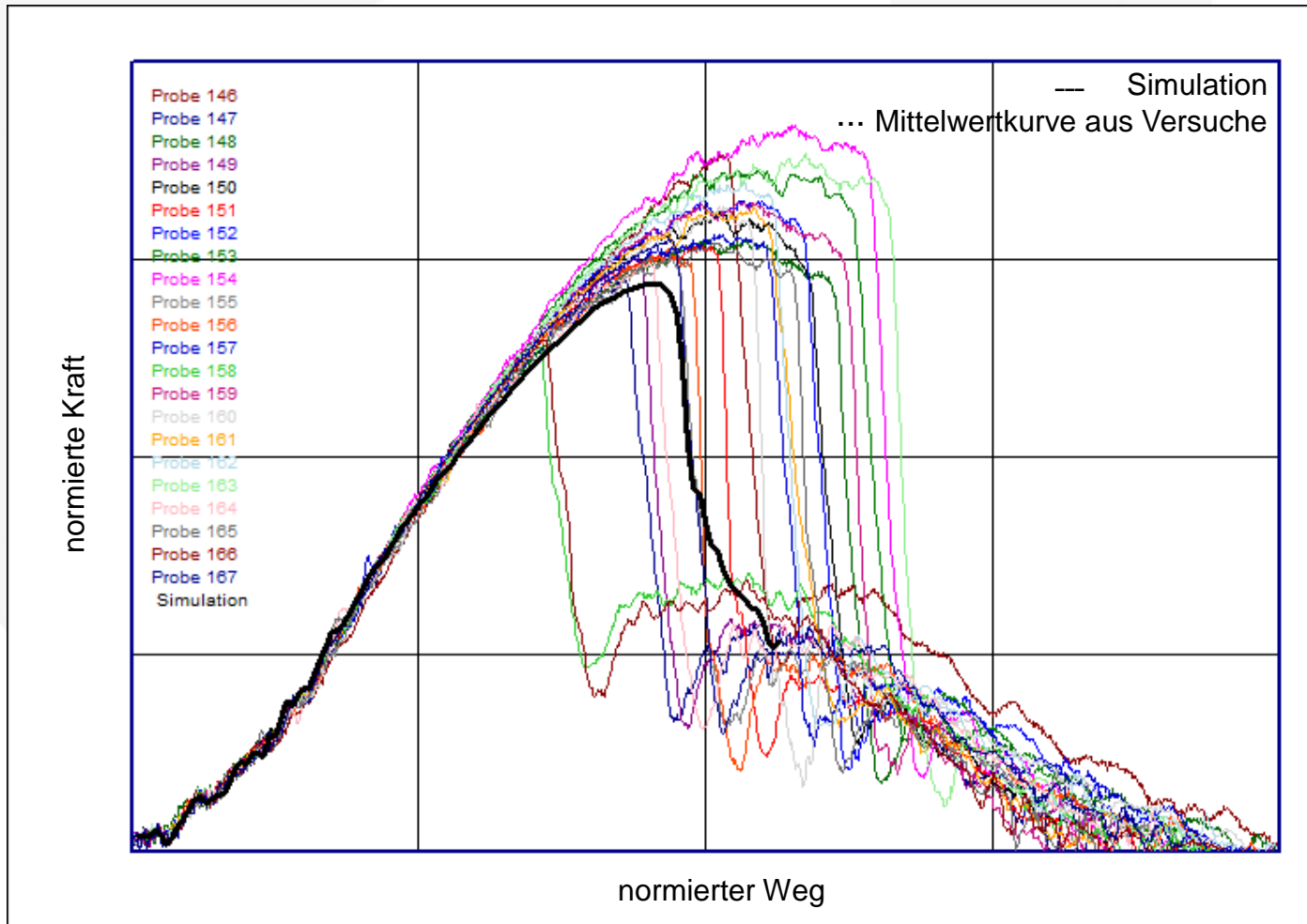


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

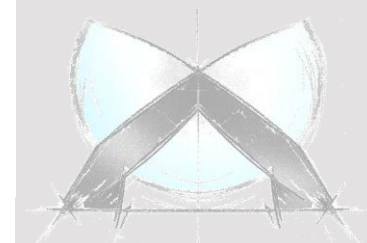
Validierung

* MAT_SAMP-1 mit *MAT_ADD_EROSION

- Dynamischer Durchstoßversuch
- Die Versuchskurven werden sehr gut abgebildet.



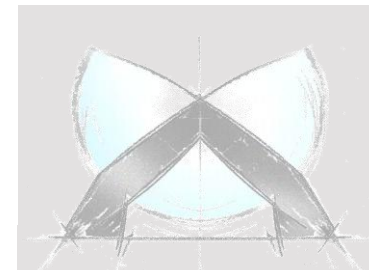
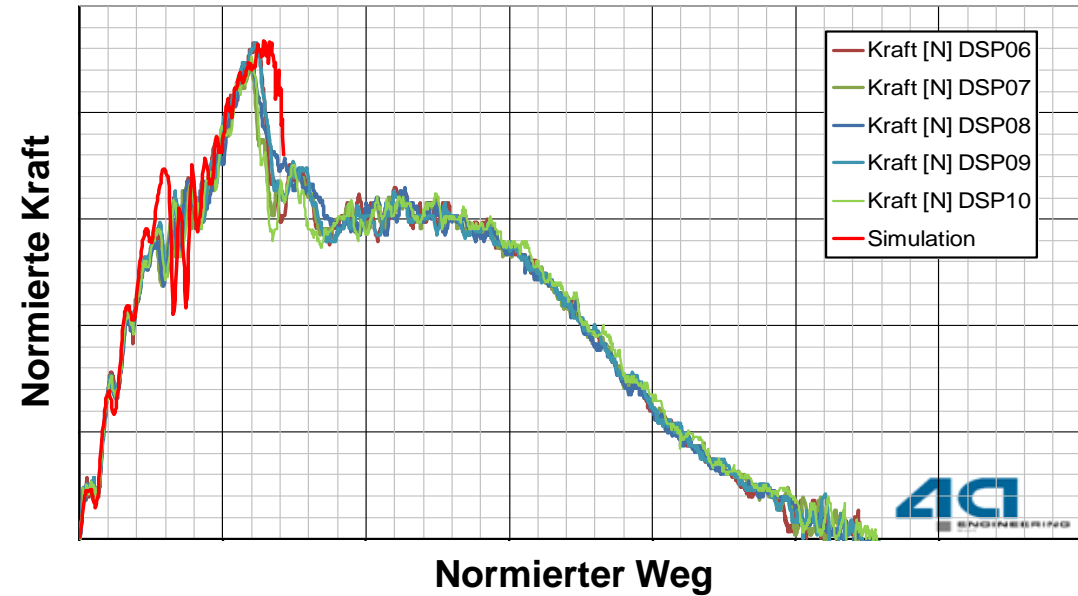
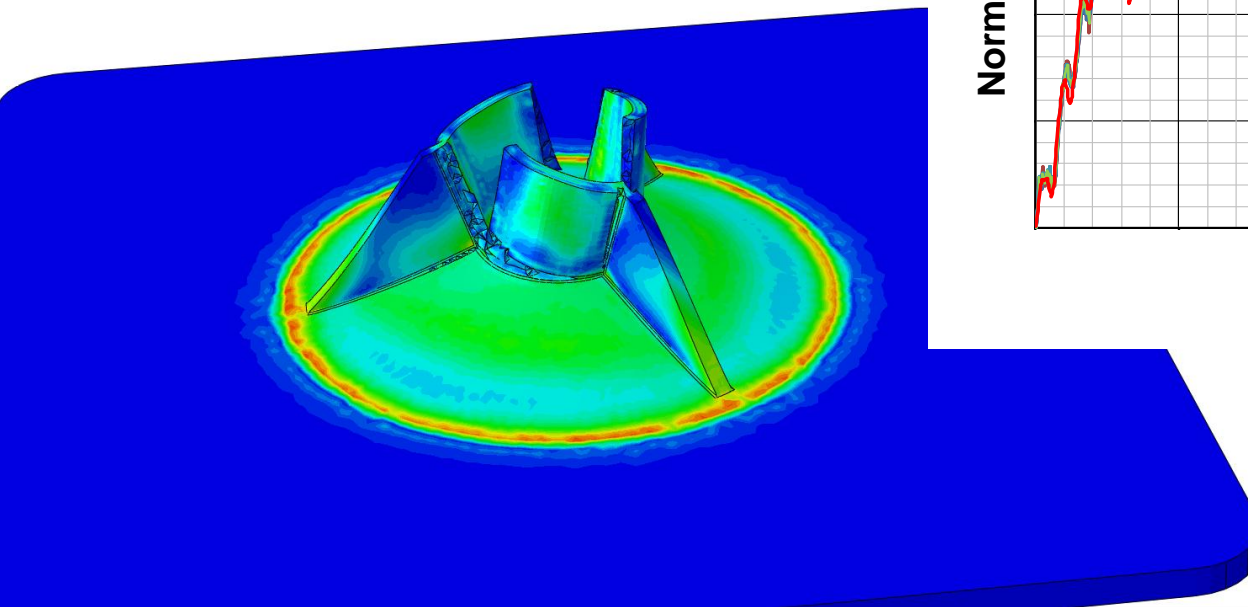
Bunt: Versuchskurven
Schwarz: Simulation



Validierung

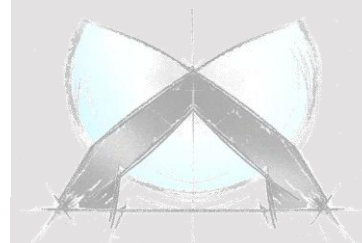
* MAT_SAMP-1 mit *MAT_ADD_EROSION

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



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

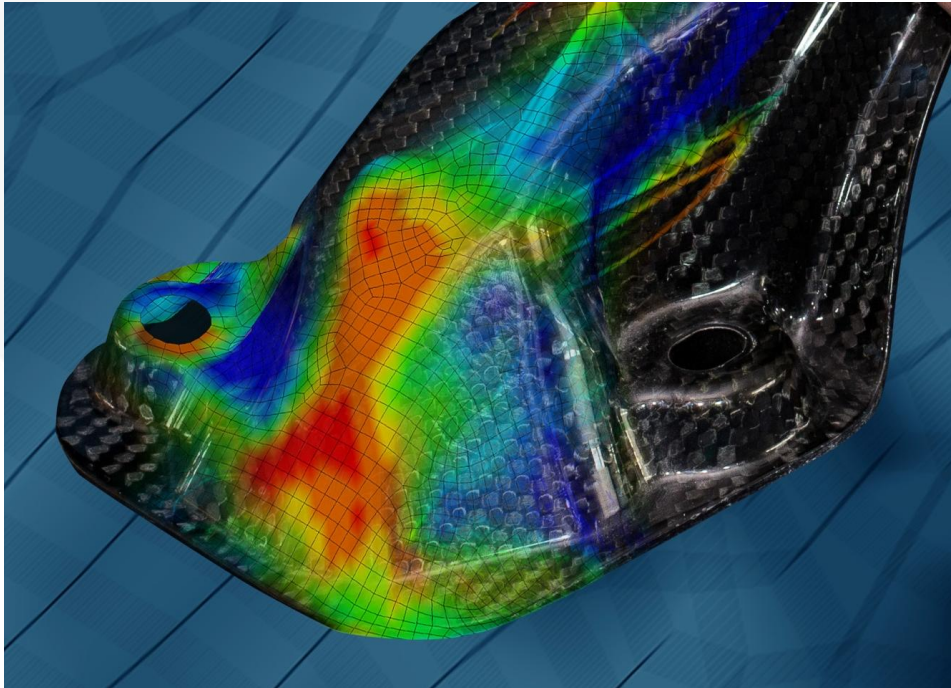
- Mit **statischen und dynamischen Biegeversuchen** lassen sich **einfache Materialkarten** (*MAT_24) sinnvoll für die Simulationspraxis erstellen.
- Bei einer **Zug-/Druckabhängigkeit** stößt das einfache Materialmodell schnell an seine Grenzen, komplexere Materialmodelle (z.B. *MAT_SAMP-1) sind gefordert.
- **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