

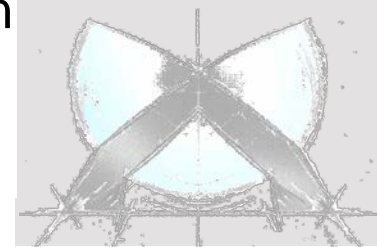
# Materialmodelle für Kunststoffe

## Komplexe Fließflächen und Versagen

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

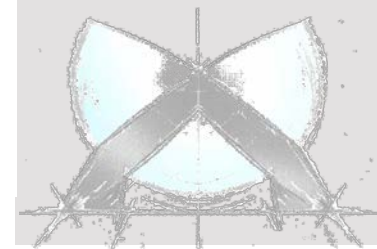


4a Technologietag 2014:  
Kunststoffe auf dem Prüfstand - Testen und Simulieren  
Schladming, 27. Februar 2014

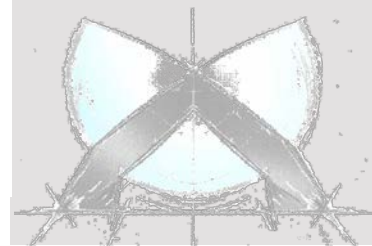
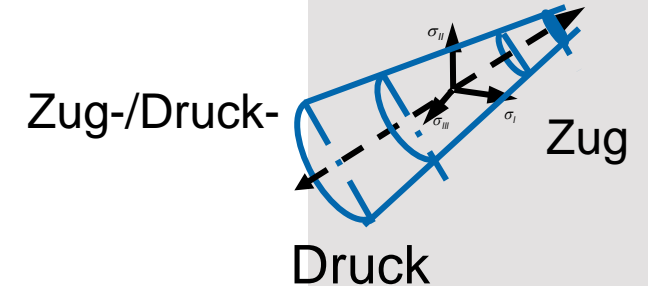
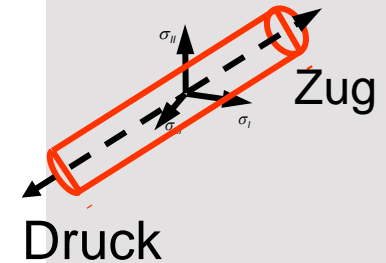


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

- Einleitung
- Materialverhalten von Kunststoffen
- Komplexe Fließfläche
  - Verfügbare Materialmodelle
  - Verfügbare Prüfmethode
  - Anpassung Materialkarten
  - Alternative Prüfmethode
- Möglichkeiten der Versagensabbildung
  - Einleitung
  - Umsetzung in 4a impetus
  - Ausblick
- Zusammenfassung



- Materialmodellierung – Stand der Technik
  - von Mises – Materialmodell mit Dehnratenabhängigkeit, ermittelt über Zug- und/oder Biegeversuche
- Komplexere Materialmodelle sind gefordert
  - steigende Rechnerkapazitäten
  - erlauben genauere Abbildung der Realität (z.B. Zug-/Druck-Asymmetrie; Einfluss der Mehrachsigkeit)
- Zukünftiges Thema: Versagensmodellierung
  - bestmögliche Abbildung der Realität
  - Versagen in Abhängigkeit der Dehnrates und der Belastungsart/Mehrachsigkeit
- Diesen Ansprüchen wird in der Weiterentwicklung von 4a impetus Rechnung getragen.



# Einleitung

## einfache Fließflächen

hydrostatischer Druck

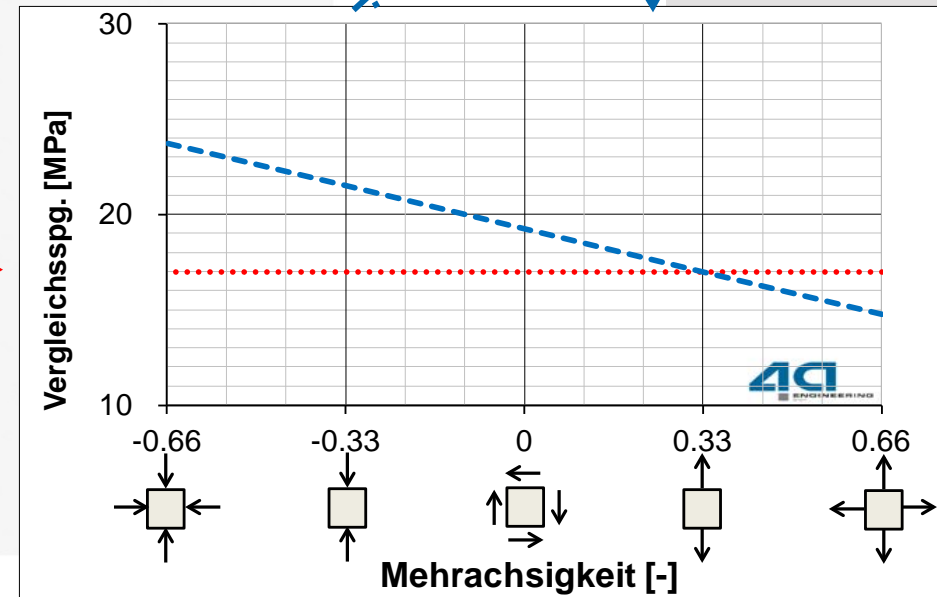
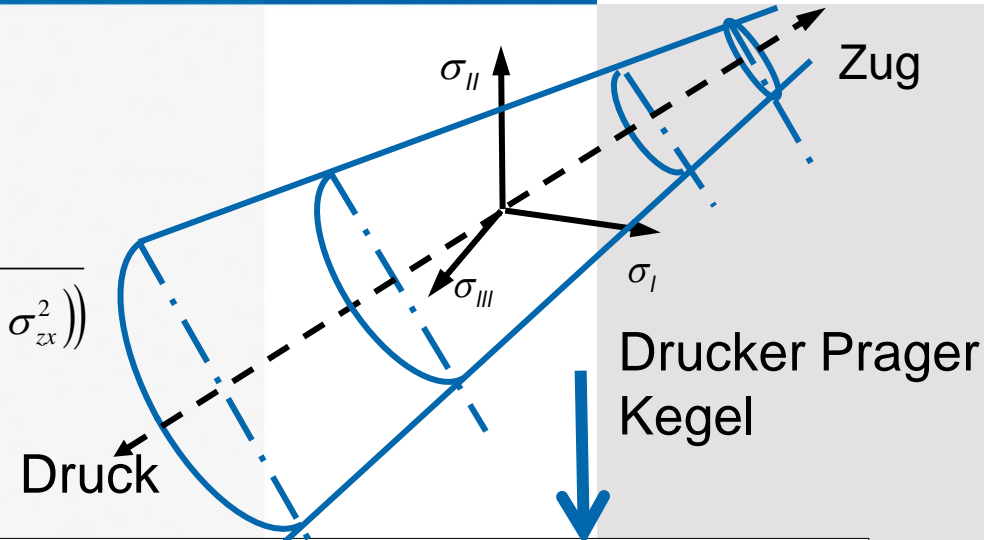
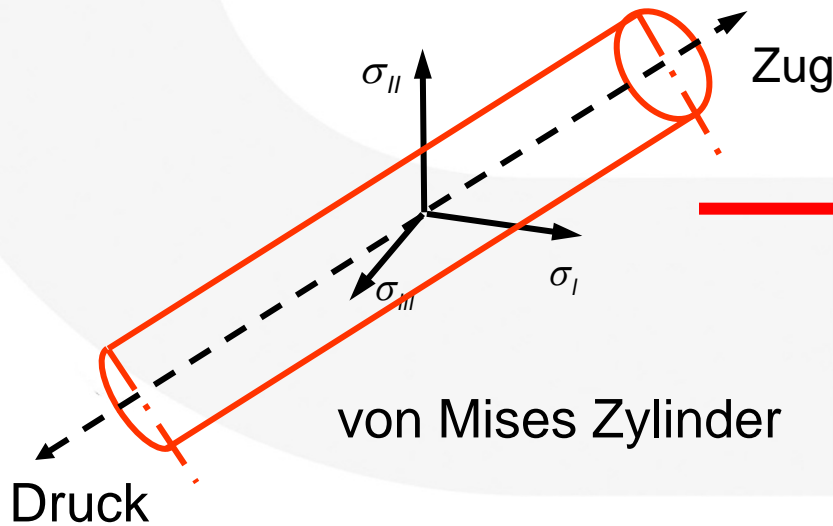
$$p = -\frac{\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}}{3}$$

Vergleichsspannung

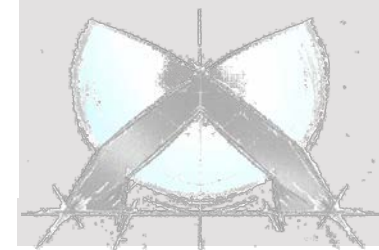
$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot ((\sigma_{xx} + p)^2 + (\sigma_{yy} + p)^2 + (\sigma_{zz} + p)^2 + 2 \cdot (\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2))}$$

Mehrachsigkeit

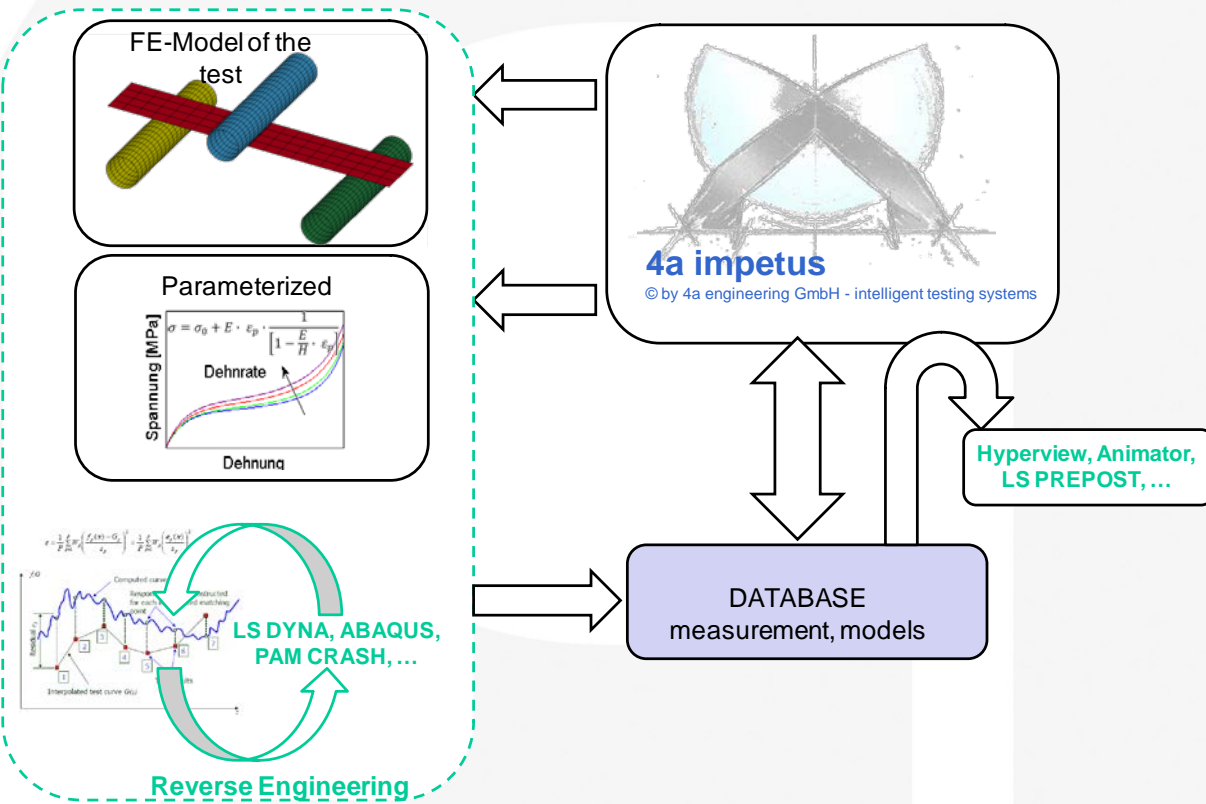
$$\eta = -\frac{p}{\sigma_{VM}}$$



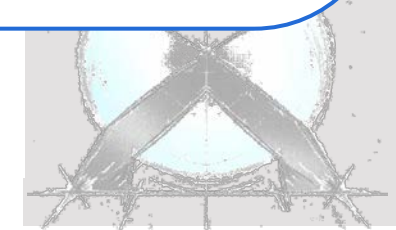
- FAT Arbeitskreis (Institute DKI, IWM, KIT)  
*„Verbesserung der Crashsimulation von Kunststoffbauteilen durch Einbinden der Morphologiedaten aus der Spritzgießsimulation“*
- Im Arbeitskreis wurde unter anderem ein **Hostacom XBR169G** (Polypropylen gefüllt mit Talkum und EPDM) untersucht [1] [2]
  - statische und dynamische Zugversuche
  - statische Schubversuche und Druckversuche
  - statische Biegeversuche
- Von der **THM** wurden **dynamische Biegeversuche mit 4a impetus** durchgeführt.
- Nach Ende des Arbeitskreises wurden an bereitgestellten Platten im Hause 4a weitere Untersuchungen durchgeführt.
- Danksagung dem Fraunhofer LBF (ehemals DKI) und der Technischen Hochschule Mittelhessen für die Bereitstellung der Versuchsdaten und Materialien.



### Materialcharakterisierung / Reverse Engineering


$$\sigma = \sigma_0 + E \cdot \varepsilon_p \cdot \frac{1}{1 - \frac{E}{H} \cdot \varepsilon_p}$$

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



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

- 1. Schritt: Durchführung statischer und dynamischer Biegeversuche
- 2. Schritt: Datenauswertung
- 3. Schritt: Materialcharakterisierung - Parameteridentifikation mit LS-OPT

### E-Modul



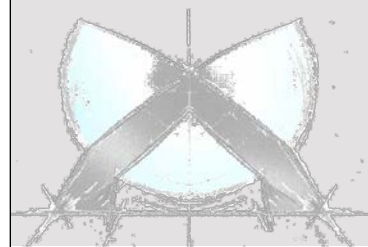
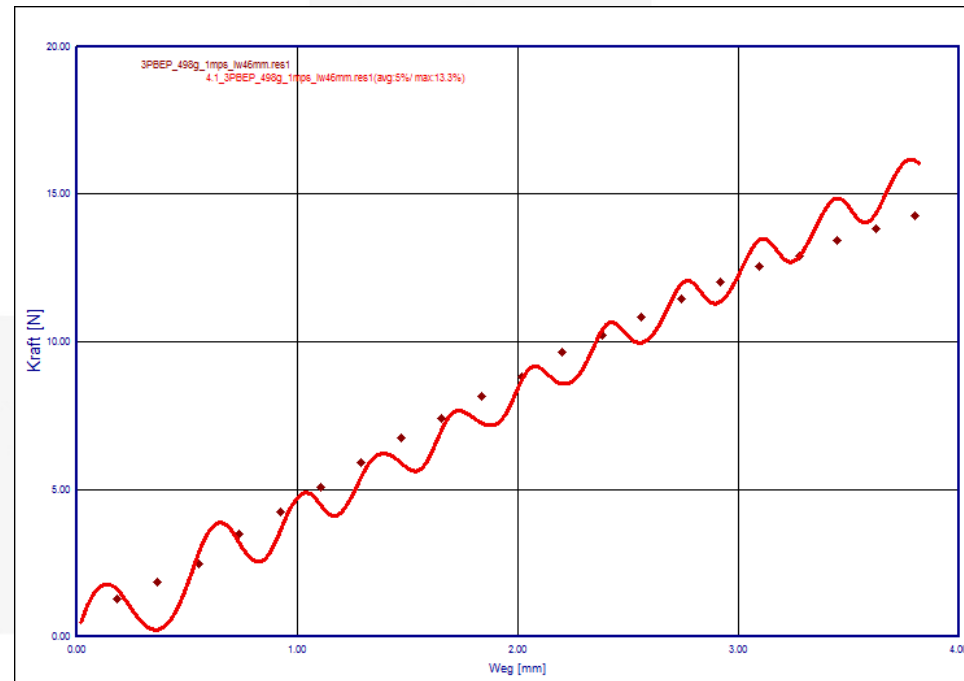
plastischen Kenndaten



Dehnratenabhängigkeit



Validierung



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

- 1. Schritt: Durchführung statischer und dynamischer Biegeversuche
- 2. Schritt: Datenauswertung
- 3. Schritt: Materialcharakterisierung - Parameteridentifikation mit LS-OPT

E-Modul



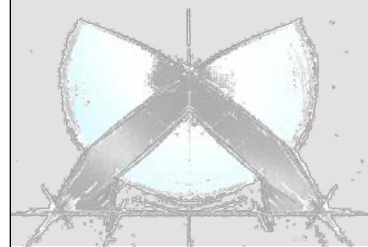
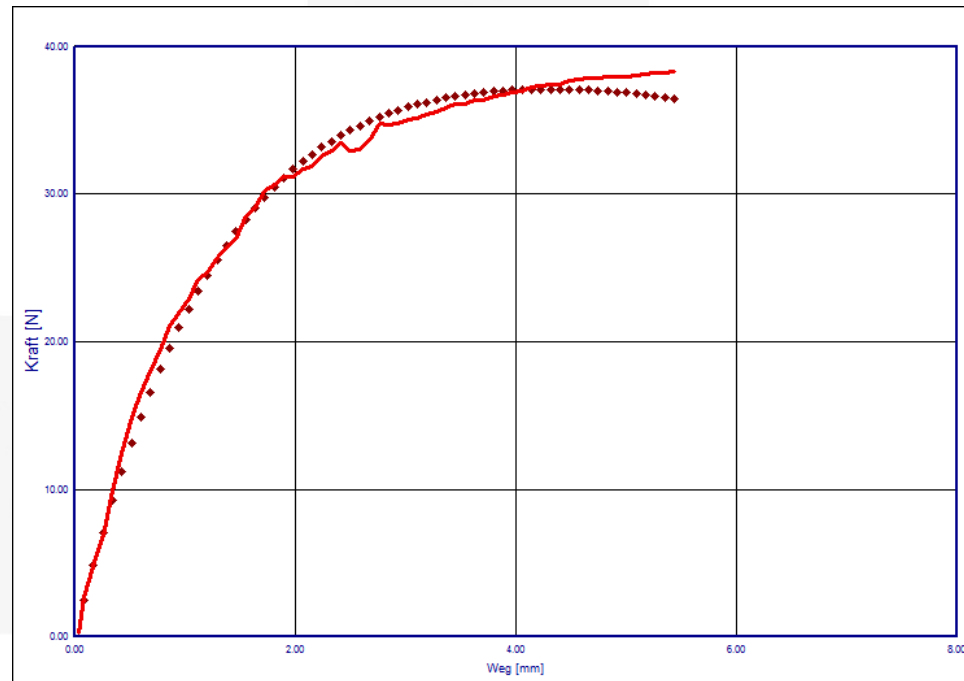
**plastischen Kenndaten**



Dehnratenabhängigkeit



Validierung



© 4a engineering GmbH, all rights reserved



- 1. Schritt: Durchführung statischer und dynamischer Biegeversuche
- 2. Schritt: Datenauswertung
- 3. Schritt: Materialcharakterisierung - Parameteridentifikation mit LS-OPT

E-Modul



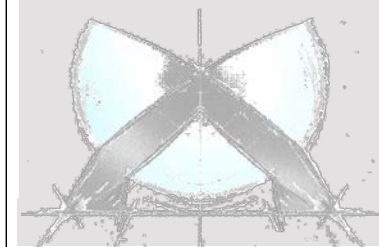
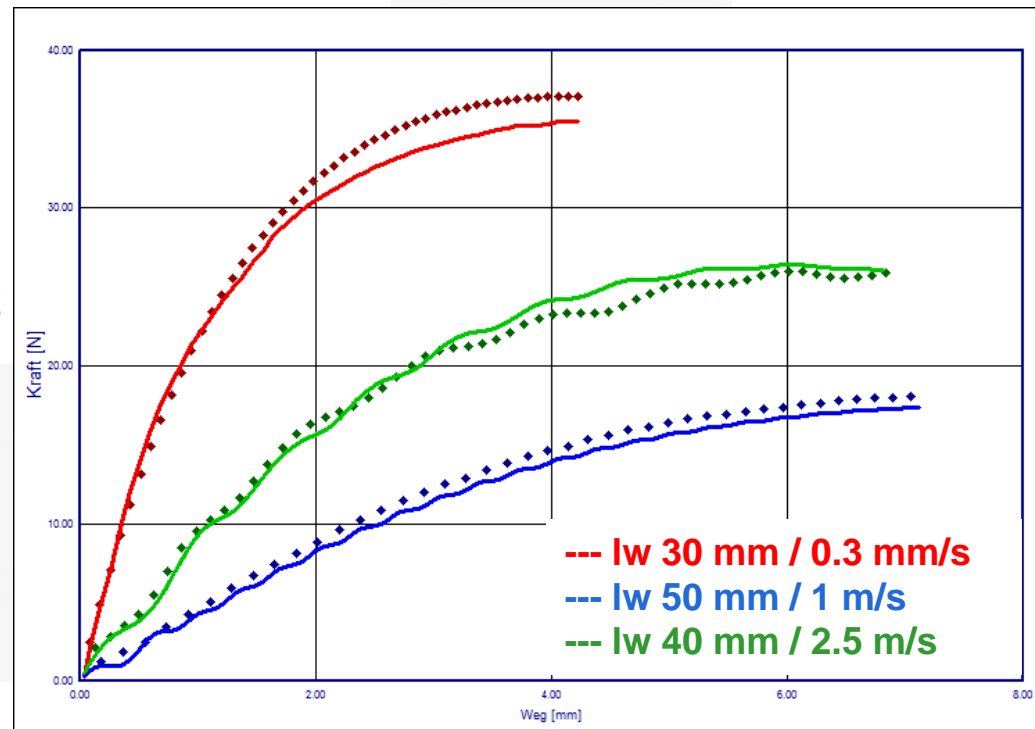
plastischen Kenndaten



**Dehnratenabhängigkeit**



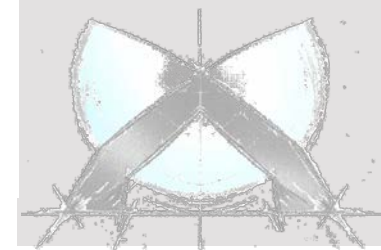
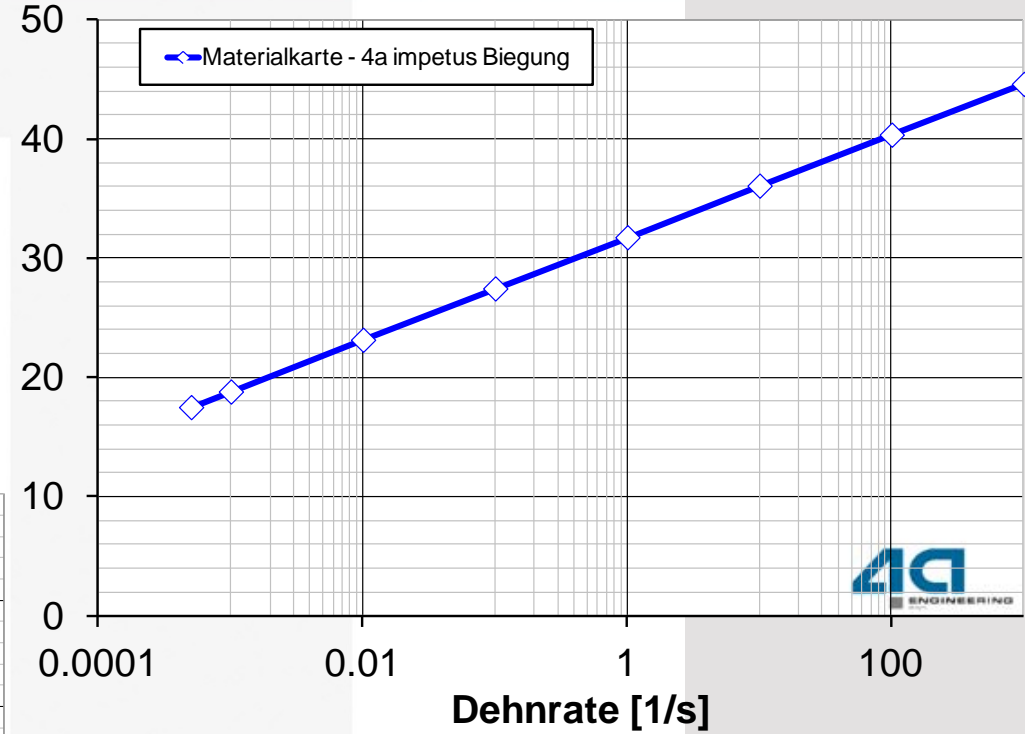
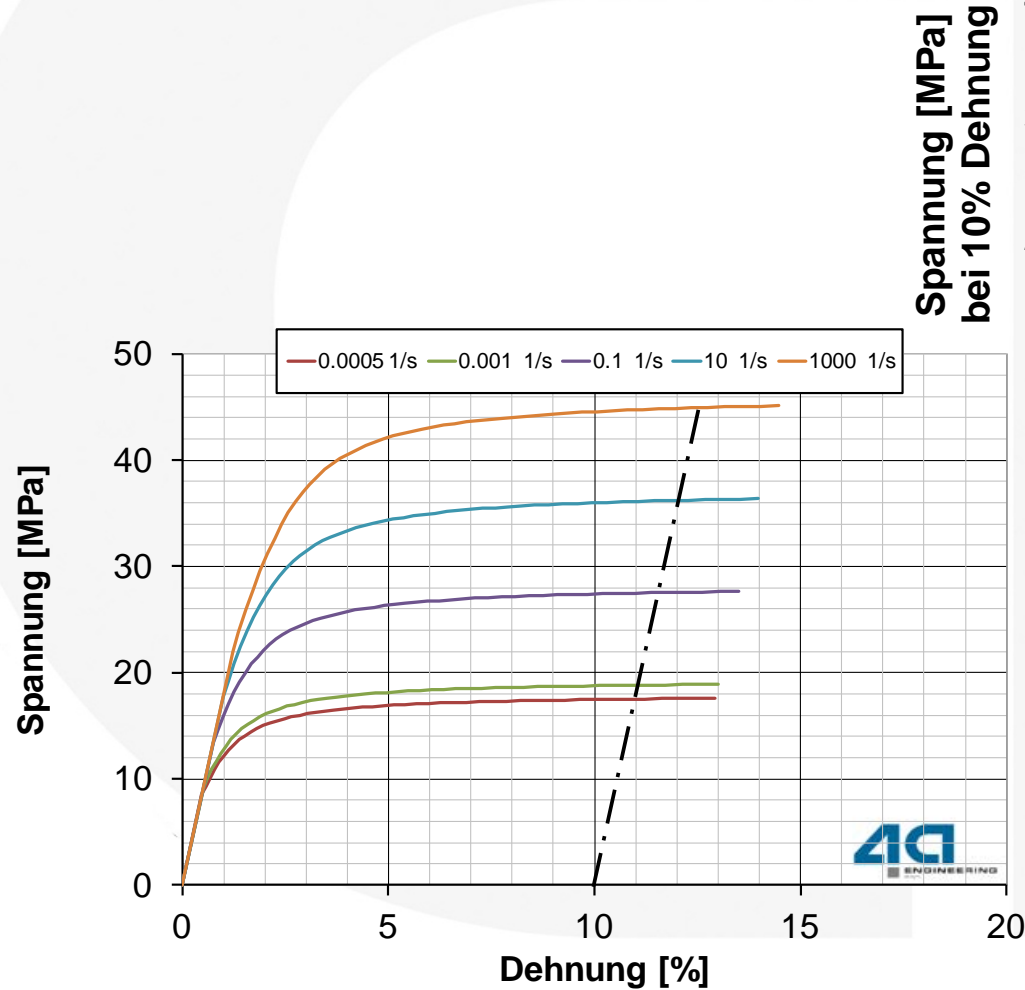
Validierung



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

# Einleitung

## Vorgehensweise 4a impetus Biegeversuche

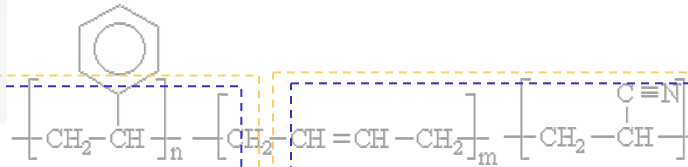


### Material

### Anwendung

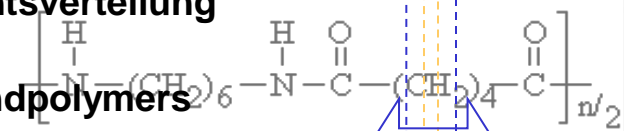
#### Polymer-Zusammensetzung

Chemische Grundstruktur



Molekulargewichtsverteilung

Morphologie des Grundpolymers



#### Einsatzbedingungen

Einsatztemperatur

Belastungsart,  
-richtung, -niveau

Dreidimensionalität des  
Belastungszustandes

Belastungsgeschwindigkeit

Umgebungsfeuchte

Füllstoffe (Talkum)

Verstärkungsstoffe

Blend-Anteile

Eigenschaften  
Anteile  
Orientierungs-  
verhalten

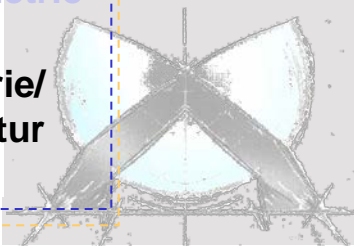
#### Herstellbedingungen

Fließrichtung

Abkühlgeschwindigkeiten

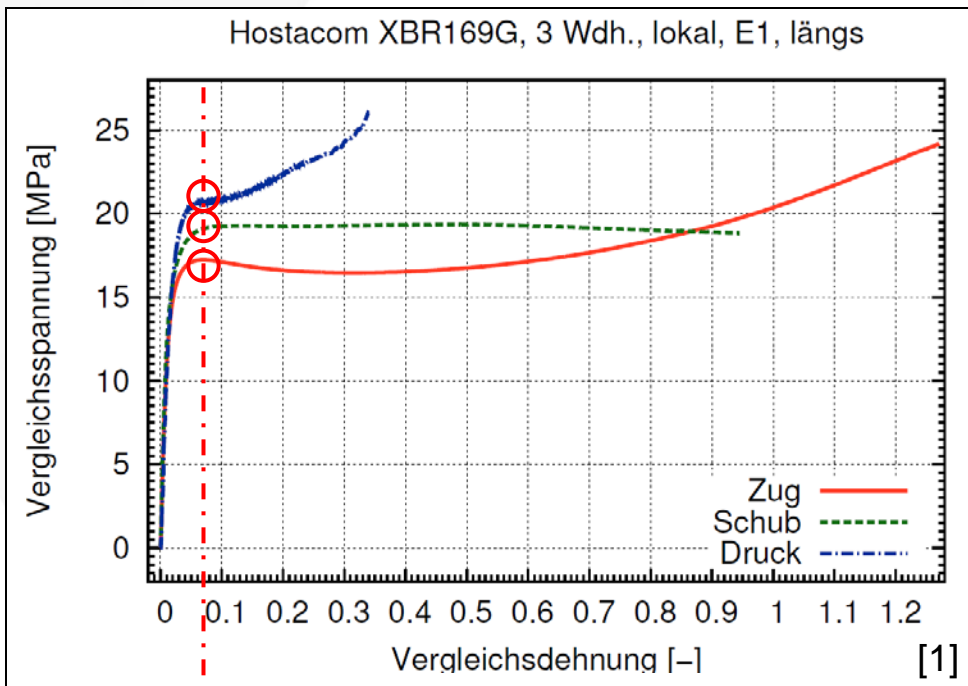
#### Geometrie

Bauteilgeometrie/  
-struktur

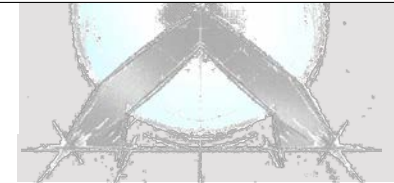
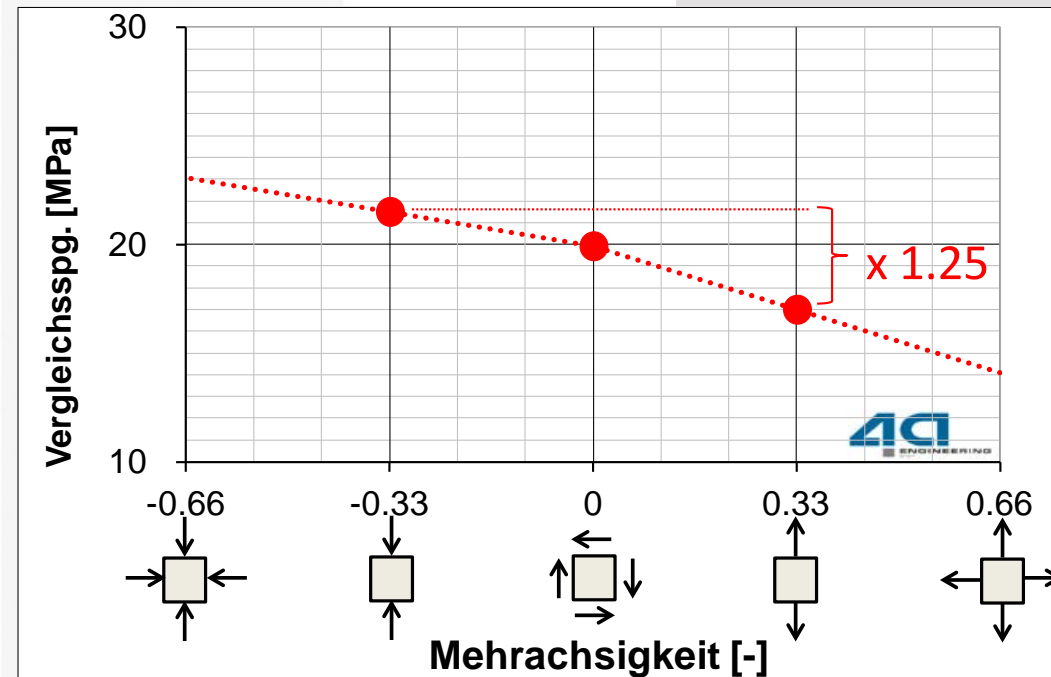


### Belastungsart

- statische Zugversuche
- statische Schub- und Druckversuche



### Zug/Druck Asymmetrie

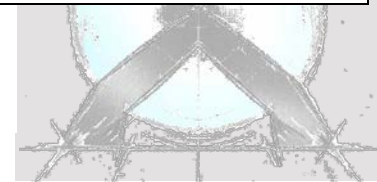
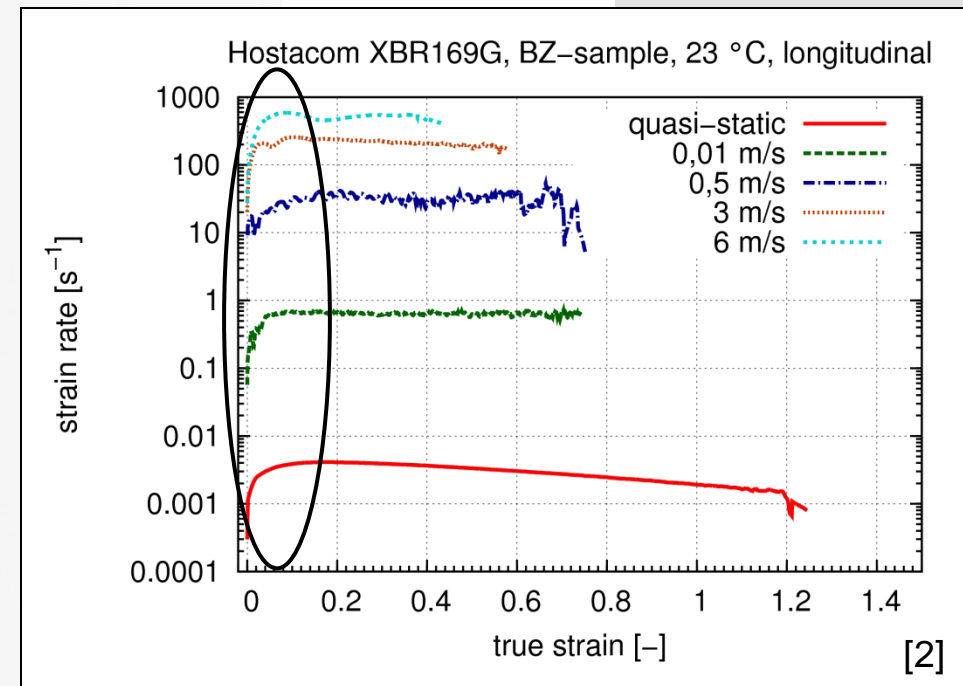
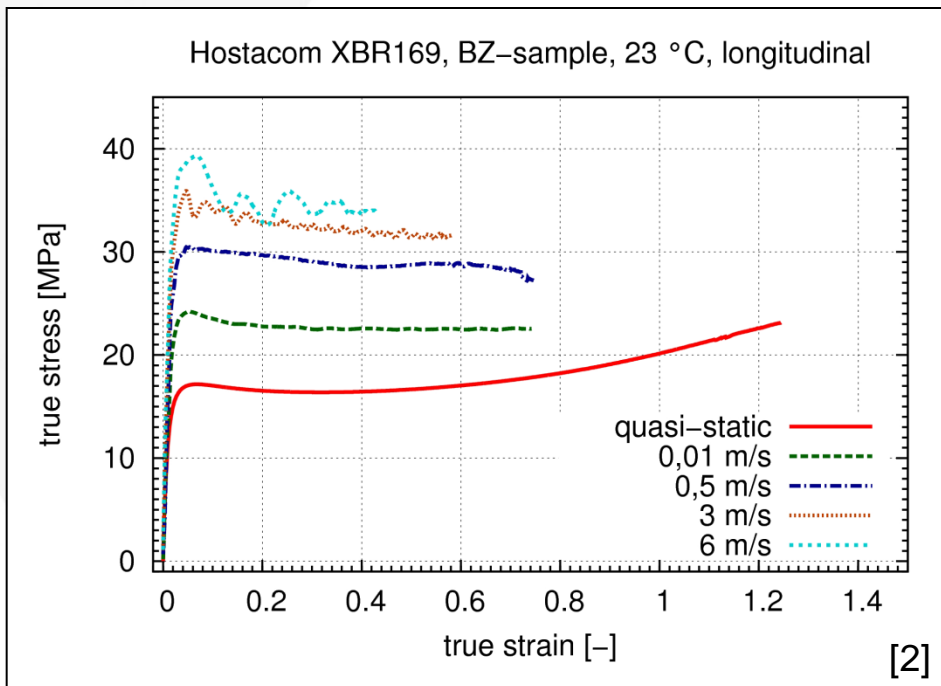


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

### Belastungsgeschwindigkeit

- statische und dynamische Zugversuche

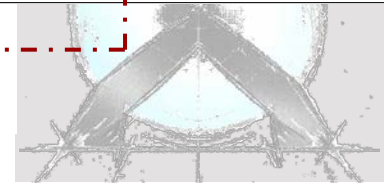
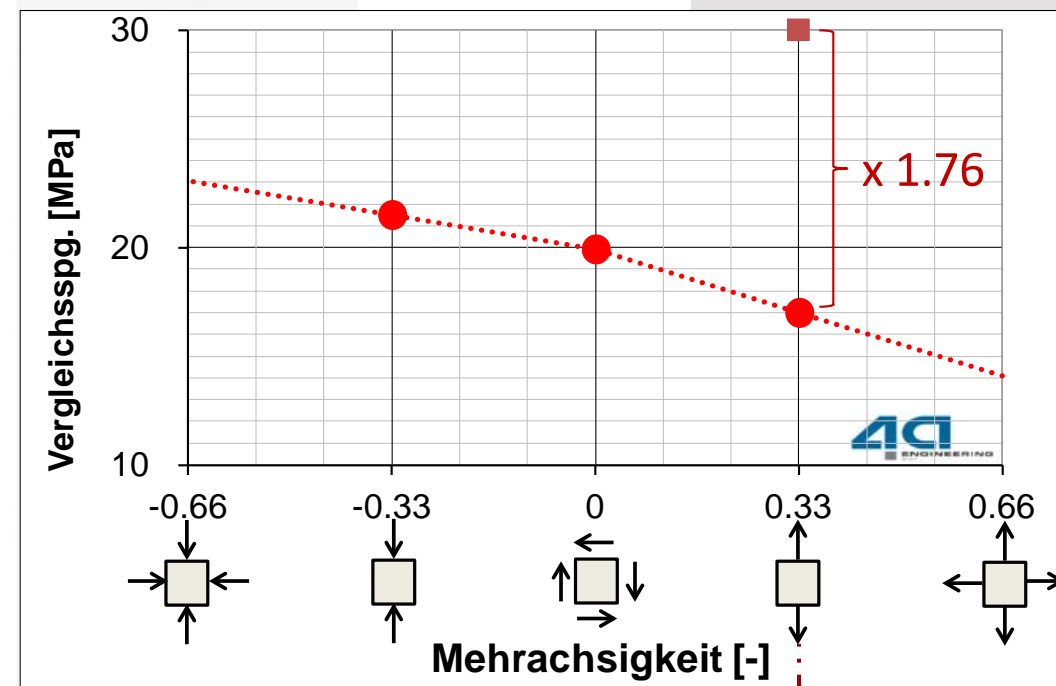
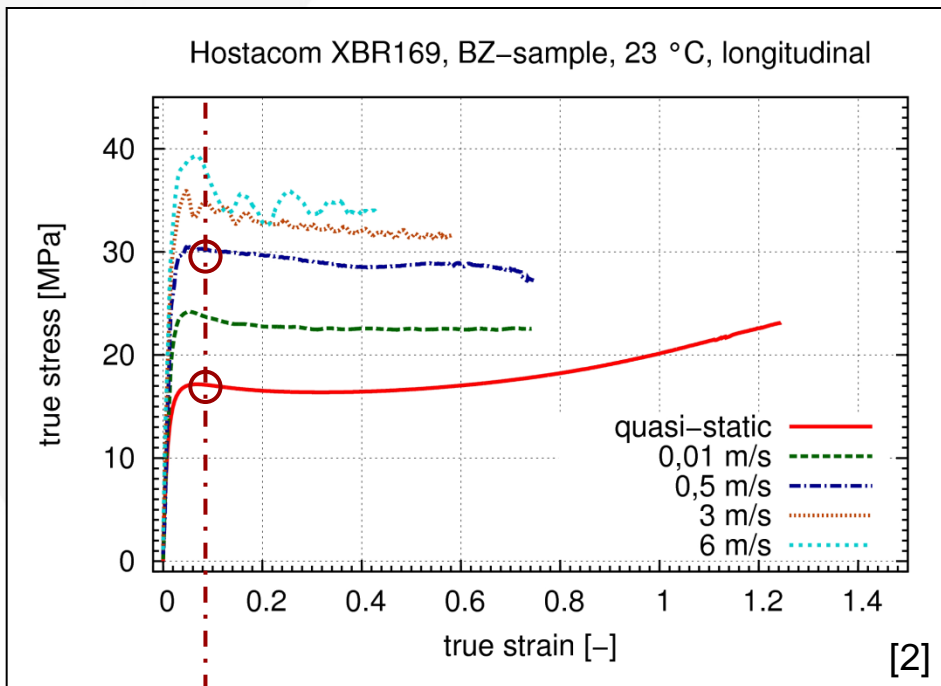
### Dehnrage variiert vor allem im Bereich des Fließbeginns



### Belastungsgeschwindigkeit

- statische und dynamische Zugversuche

### Dehnratenabhängigkeit statisch vs. dynamisch

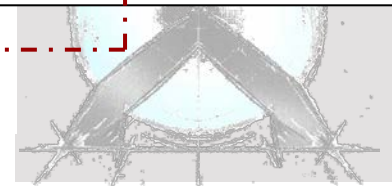
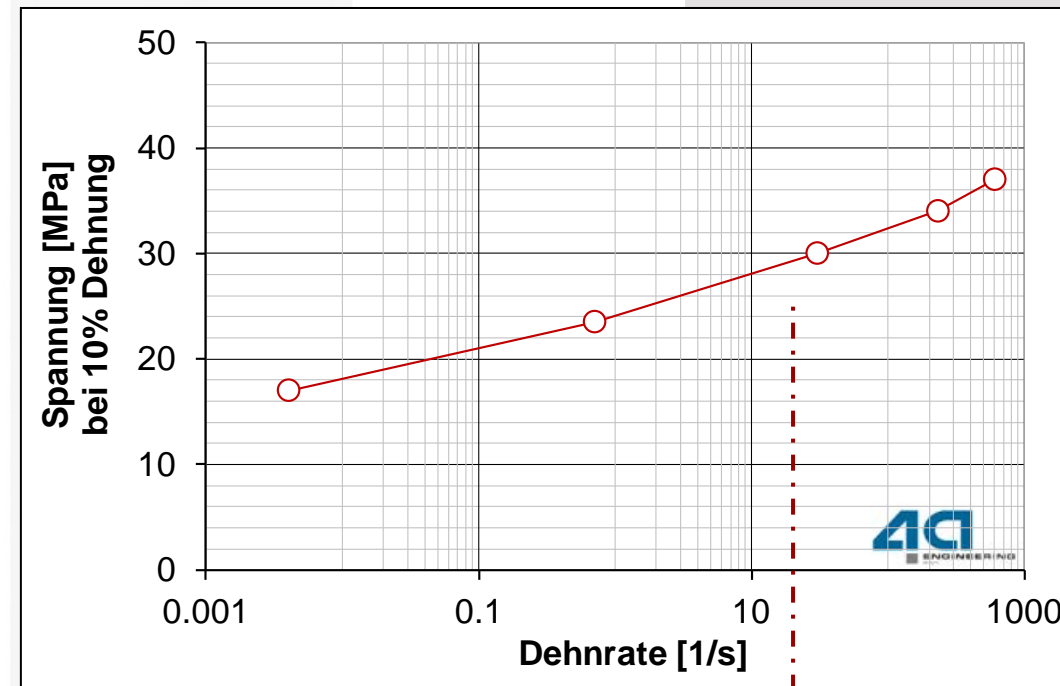
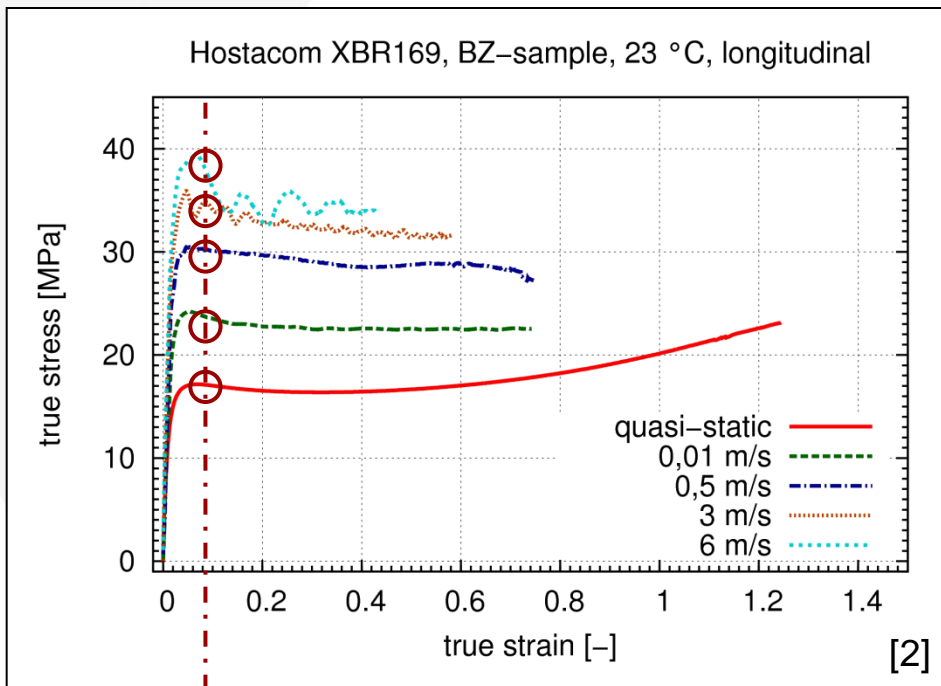


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

### Belastungsgeschwindigkeit

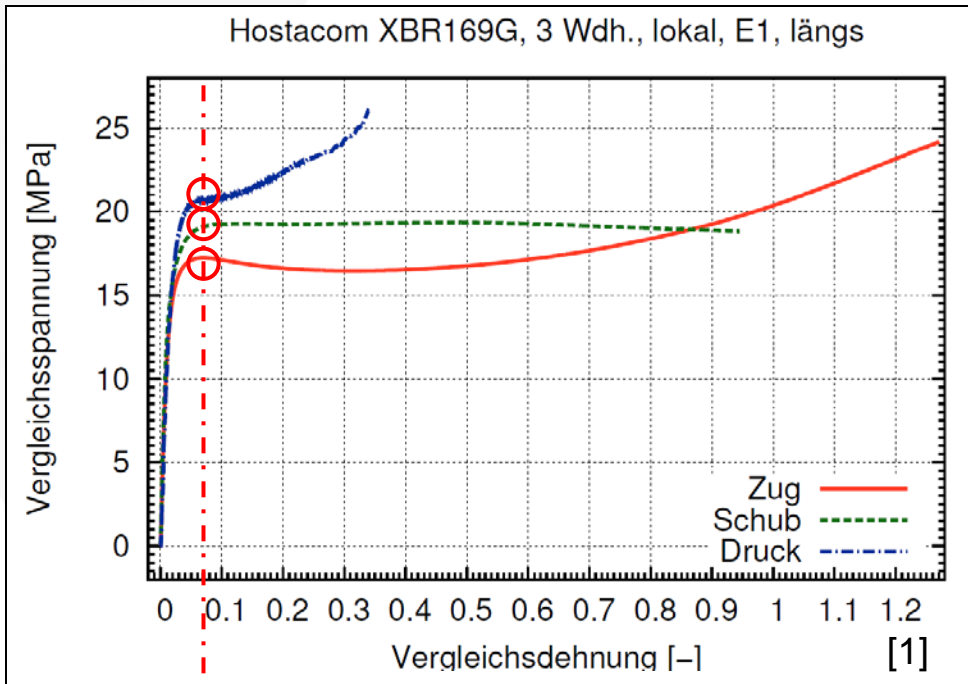
- statische und dynamische Zugversuche

### Dehnratenabhängigkeit statisch vs. dynamisch

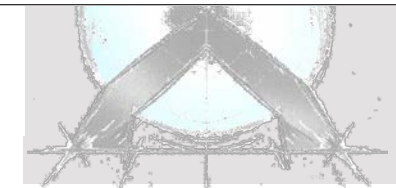
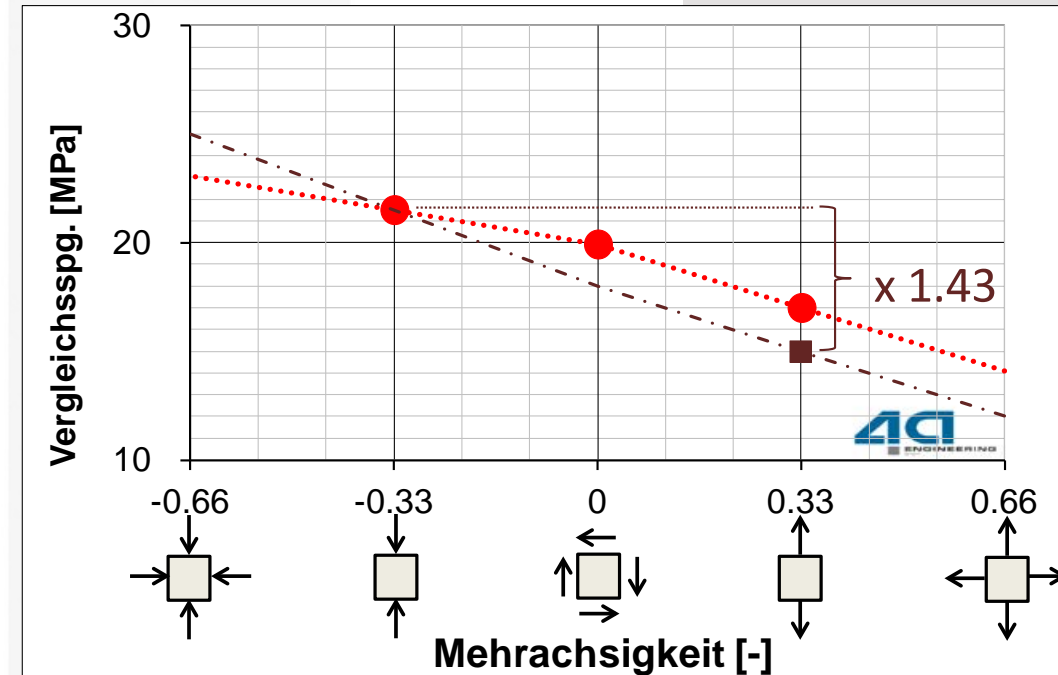


### Belastungsart

- statische Zugversuche
- statische Schub- und Druckversuche



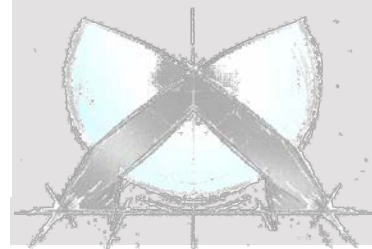
### Zug/Druck Asymmetrie dehnratenbereinigt



© 4a engineering GmbH, all rights reserved



# Komplexe Fließfläche



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

# Verfügbare Materialmodelle für Thermoplaste

Schnittstellenstand in 4a impetus V3.2

- 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

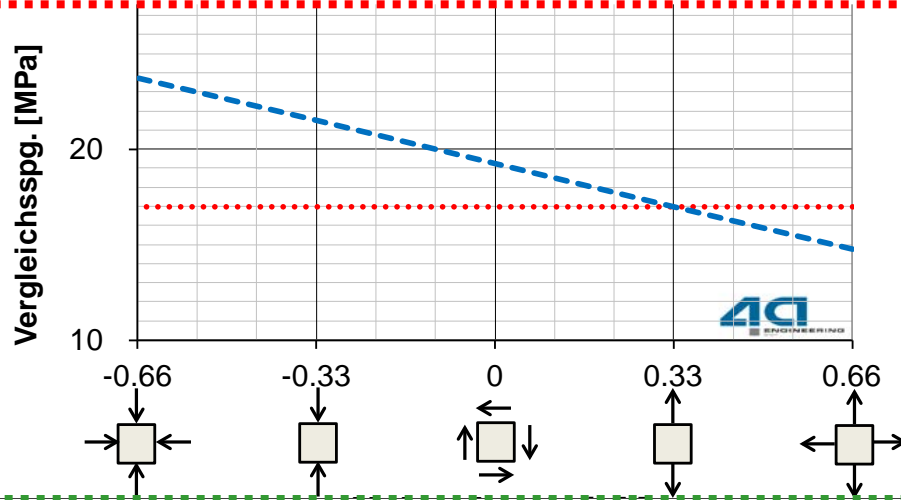
- Alle LS-DYNA Materialkarten über benutzerdefinierte Schnittstellen verfügbar



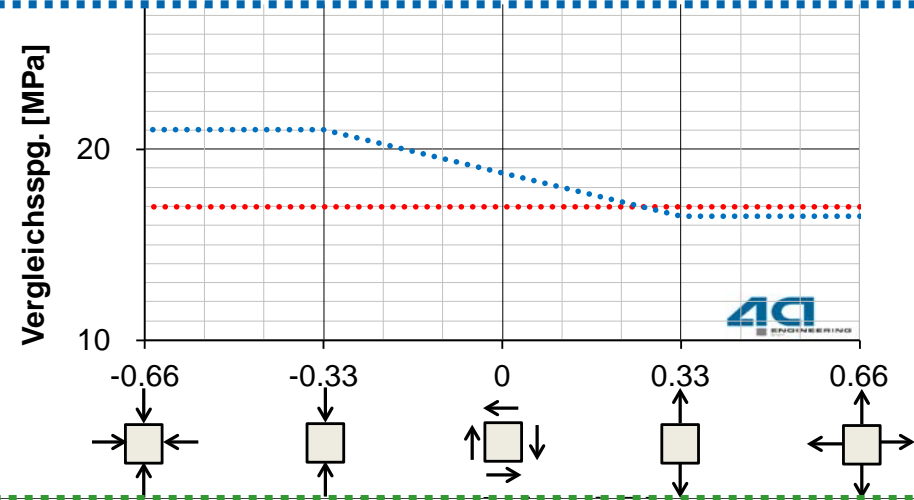
# Verfügbare Materialmodelle für Thermoplaste

## Materialverhalten von Kunststoffen

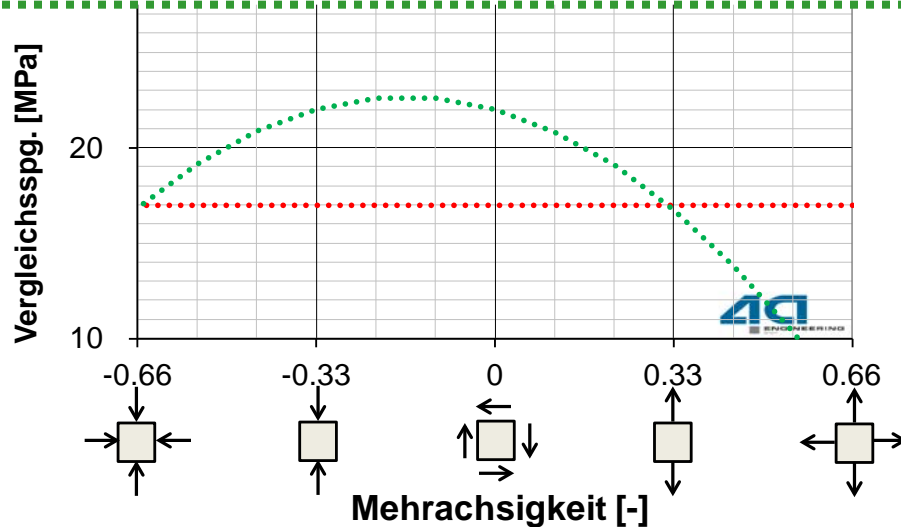
**\*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY**



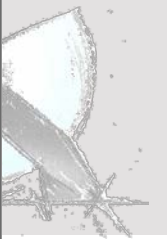
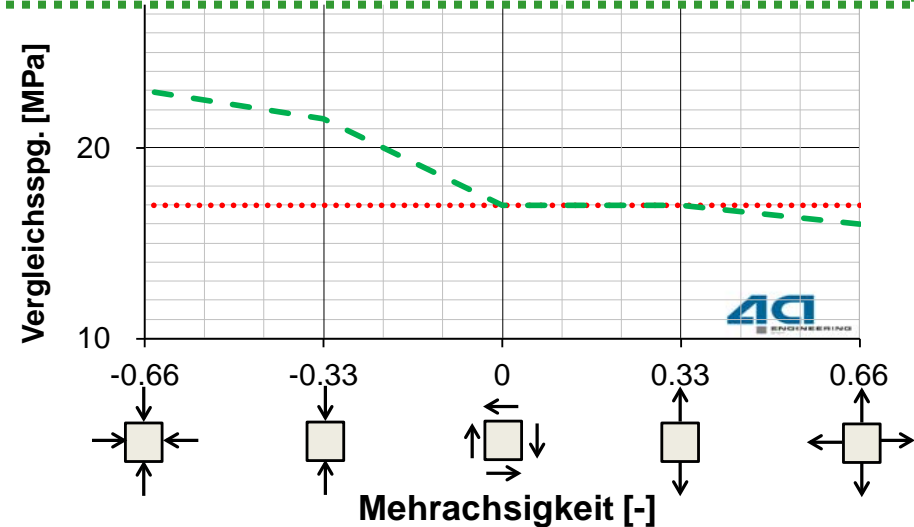
**\*MAT\_PLASTICITY\_COMPRESSION\_TENSION**



**\*MAT\_SAMP-1 – Parameter RBFAC = 0**




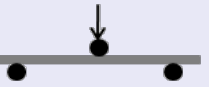

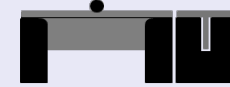


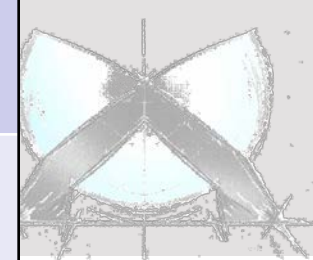
**\*MAT\_SAMP-1 – Parameter RBFAC ≠ 0**



all rights reserved

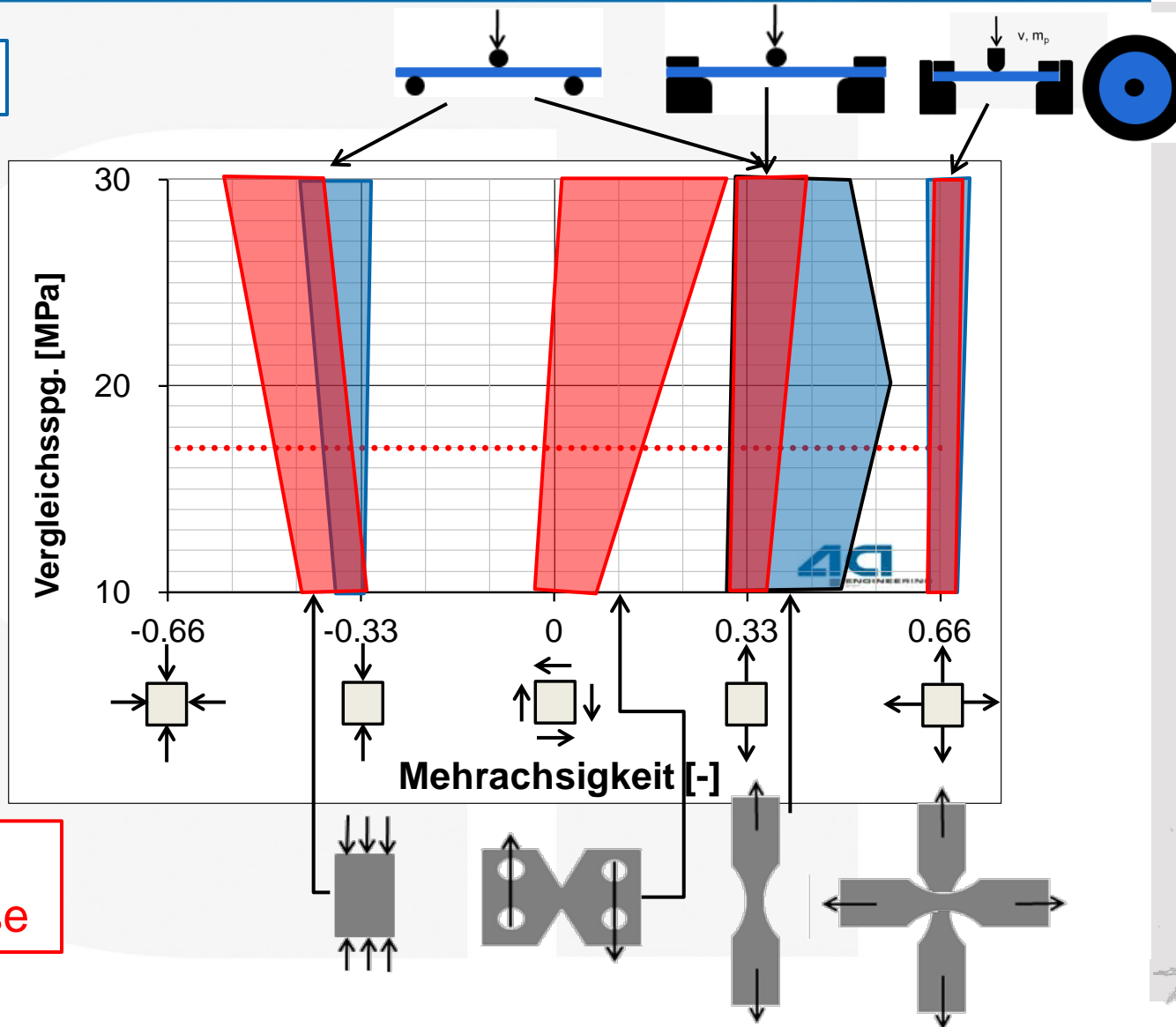
# Vorgehensweisen Materialkartenerstellung

	klassische Vorgehensweise		4a impetus		
	*MAT_24	*MAT_187	*MAT_24	*MAT_124	*MAT_187
Zugversuch 	statische und dynamische Versuche	statische und dynamische Versuche		statische Versuche	statische Versuche
Druck 		statische Versuche			
Schub 		statische Versuche			
Biax-Zug Durchstoß		statische Versuche			
3-Punkt-Biegung 			statische und dynamische Versuche	statische und dynamische Versuche	statische und dynamische Versuche
gespannte Biegung 				statische Versuche	statische Versuche
T-Proben Biegung 					

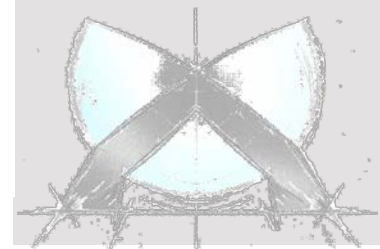


4Q engineering GmbH, all rights reserved

4a impetus





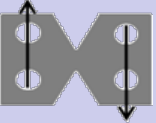
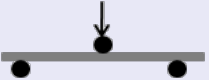
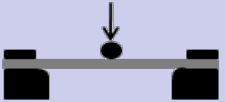
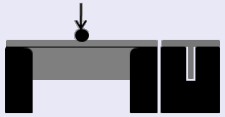
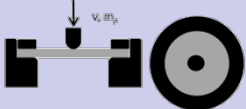
Klassische Vorgehensweise



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

# Verfügbare Prüfmethode

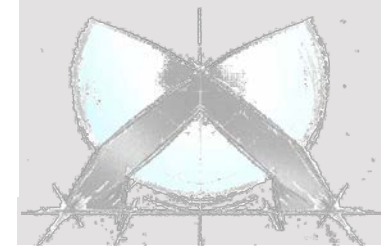
Schnittstellenstand in 4a impetus V3.2

	ABAQUS	LS-DYNA	PAMCRASH	RADIOSS
	implizit / explizit	implizit / explizit	explizit	
	implizit / explizit	implizit / explizit	explizit	
	implizit / explizit	implizit / explizit	explizit	
	implizit / explizit	implizit / explizit	explizit	explizit
	implizit / explizit	implizit / explizit	explizit	explizit
	implizit / explizit	implizit / explizit	explizit	explizit
	implizit / explizit	implizit / explizit	explizit	

in Arbeit

umgesetzt

getestet



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

# Verfügbare Prüfmethode

Idealisierung - Symmetrien - Vereinfachung bis zum 1-Element

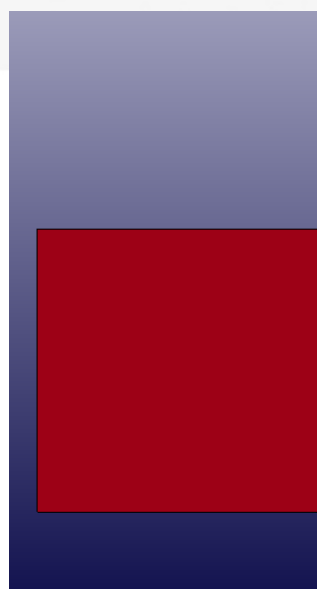
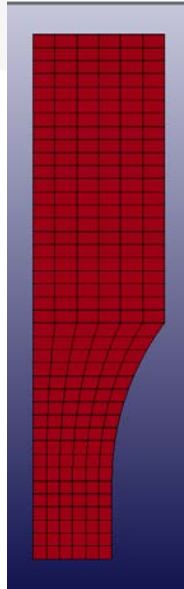
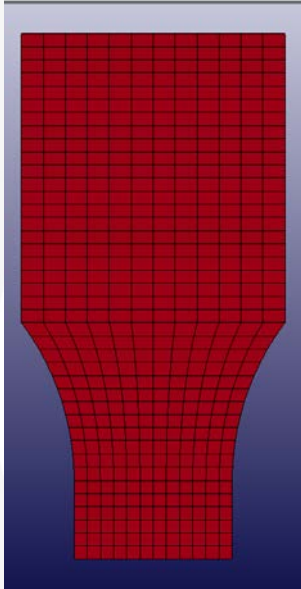
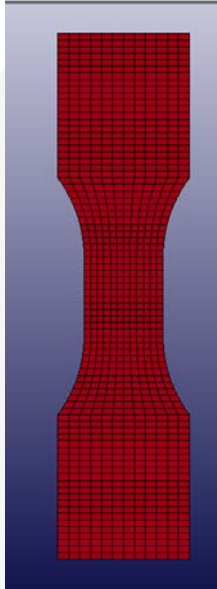
Vollmodell

Halbmodell

Viertelmodell

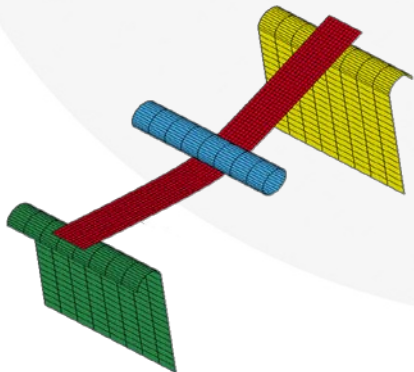
1-Element

→ Erhöhung der Rechengeschwindigkeit

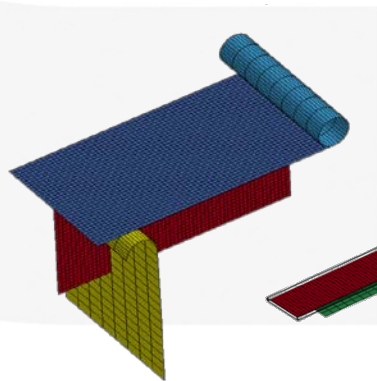


⊕ Modelleinstellungen	
⊕ Werkstoff	
⊖ Idealisierung	
Einheitensystem	t-mm-sec-MPa
Solver	LS DYNA
Inputdeck	default
Modellsymmetrie	1-Element oder komplexer
Idealisierungstyp	Vollmodell
Elementgröße	Halbmodell oder komplexer
⊕ Erweiterte Eins	Viertelmodell oder komplexer
⊕ Materialverhalten	1-Element oder komplexer
⊖ Fälle	
⊕ Fallname	ZBST_0g_0mps_lw40mm
⊕ Ergebnisse	

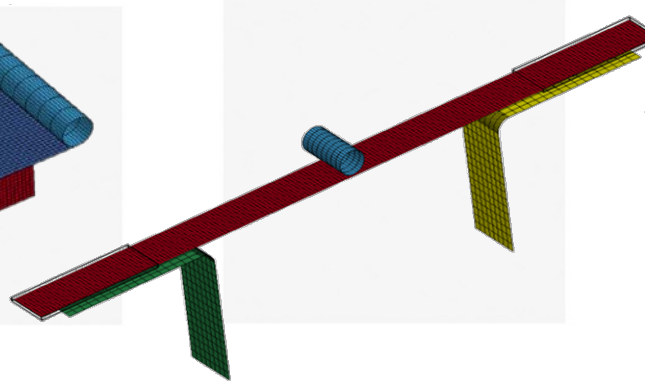
3-Punkt-Biegung



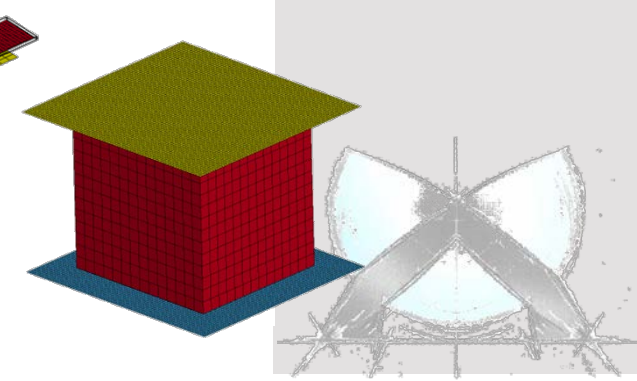
T-Probe (Halbmodell)



gespannte Biegung

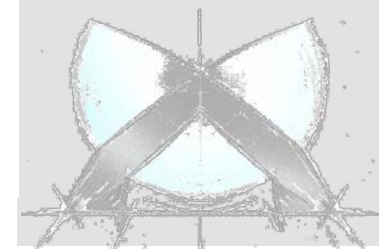


Druckversuch



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

- 1. Schritt: Import quasistatische Zugversuche
- 2. Schritt: Datenauswertung
- **Überprüfung der Notwendigkeit**
- 3. Schritt: Validierung mit vorhandener Materialkarte
- **Ermittlung der Zug/Druck Asymmetrie**
- 4. Schritt: Materialcharakterisierung Zug - Parameteridentifikation mit LS-OPT
- 5. Schritt: Materialcharakterisierung mit allg. Fließfläche – Parameteridentifikation mit LS-OPT
- 6. Schritt: Validierung

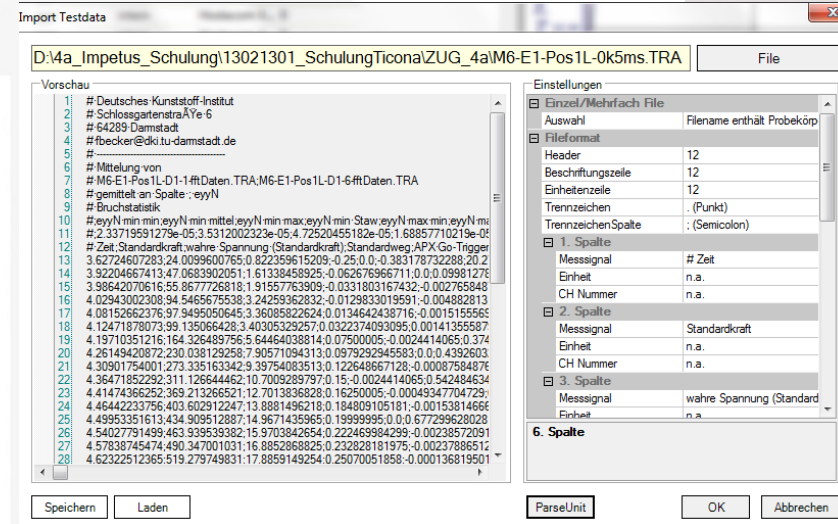
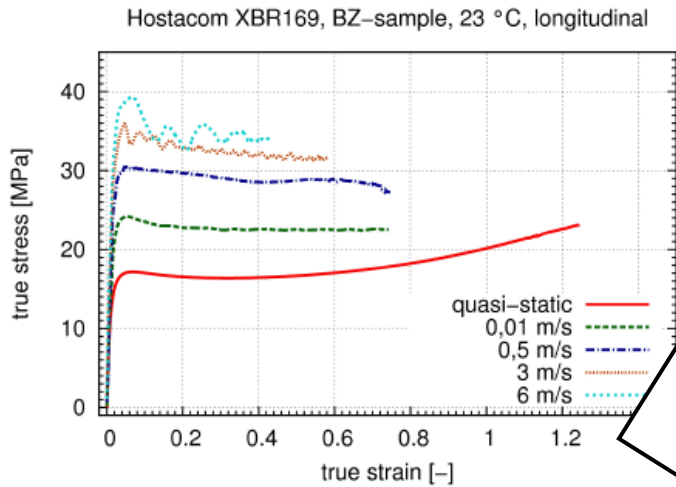




# Anpassung Materialkarte mit allg. Fließfläche

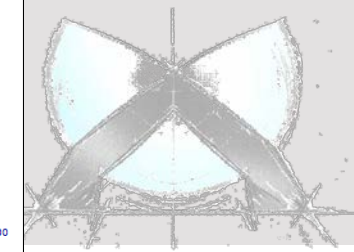
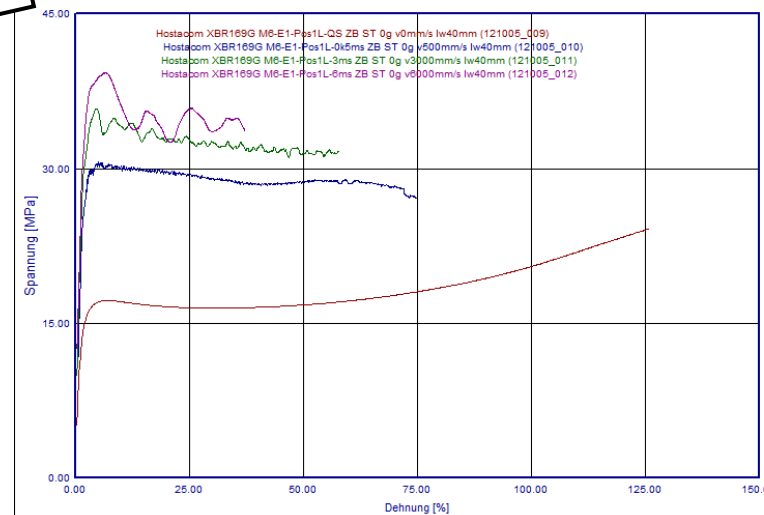
## Import von externen Messdaten / Beispiel Zugversuche

### ➤ 1. Schritt: Import externer Versuchsdaten [1][2]



#### Unterstützte Datenformate:

- Zwick ASCII Format
- Shimadzu ASCII Format
- Plain Text
- CSV
- Excel



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

# Anpassung Materialkarte mit allg. Fließfläche

## Datenauswertung / Beispiel Zugversuche

### ➤ 2. Schritt: Datenauswertung

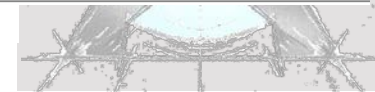
Welche Dehnungen liegen vor ?

Bezugslänge für Dehnungsauswertung

- Querhaupt
- Standard Extensometer
- DMS
- Laser Extensometer
- optische Punktverfolgung
- Grauwertkorrelation

Was möchte man auswerten bzw. anpassen ?

Allgemeine Informationen	
Prüfsetup	
Prüfmethode	ZB (Zugbelastung)
Geschwindigkeit	0.5
Auflagerabstand	40
Messlänge L0 [mm]	0
Probekörper	
Probekörperbezeichnung	M6-E1-Pos1L-0k5ms
Normmaße	
Probekörperabmessungen	
Masse	4.08
Dichte	1020
Probentemperatur	0
Probenfeuchte	0
benutzerdefinierter Text	
benutzerdefinierter Wert	0
Probekörperorientierung	0
Auswertung	
Filter	0 kein Filter
Geschwindigkeitsermittlung	3 - Weg (statisch Anfangsanstieg)
Nullpunktsbestimmung	7 - Extrapolation Steigung Kraft-Weg
Brucherkenung	1 - automatisch
Spannungsauswertung	
Auswertung Zug	$\sigma$ tech, $\epsilon$ tech (Querhaupt)
Steifigkeitsauswertung	
keine	
Ergebnisse	
$\sigma$ tech, $\epsilon$ tech (Querhaupt)	
$\sigma$ tech, $\epsilon$ tech (lokal)	
$\sigma$ tech, $\epsilon$ tech (global)	
$\sigma$ wahr, $\epsilon$ wahr (lokal, $v=0.5$ )	
$\sigma$ wahr, $\epsilon$ wahr (lokal, $v$ =gemessen)	
$\sigma, \epsilon$ aus Messung (wahre Spannung)	



# Anpassung Materialkarte mit allg. Fließfläche

## Überprüfung der Notwendigkeit

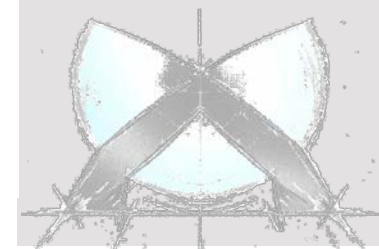
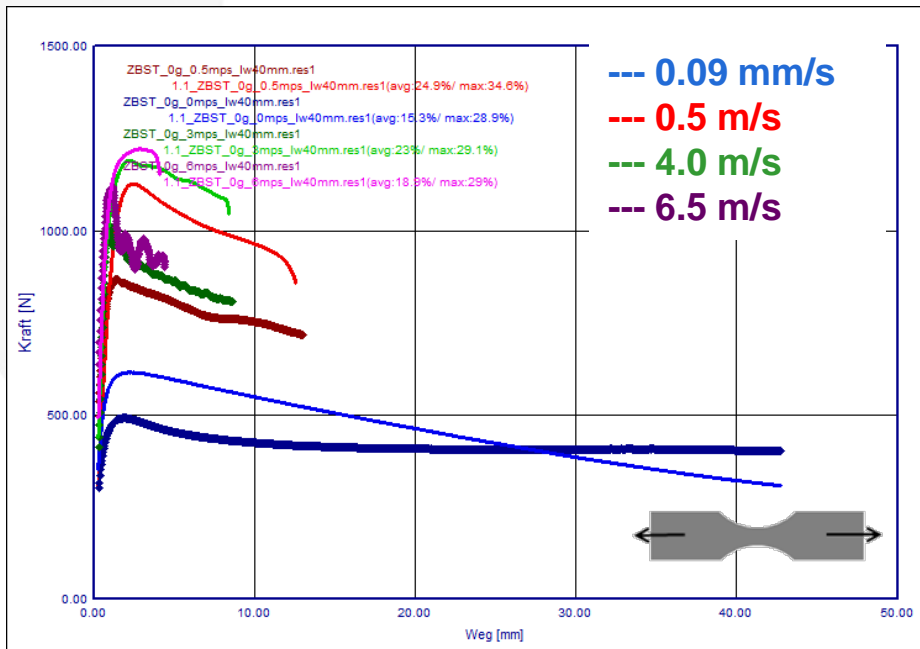
### ➤ 3. Schritt: Validierung mit vorhandener Materialkarte

Höhere Fließspannungen aufgrund der Zug/Druck Asymmetrie

→ MAT\_PLASTICITY\_COMPRESSION\_TENSION  
oder MAT\_SAMP-1

Lokalisieren aufgrund der Volumenskonstanz

→ Fließkurvenextrapolation oder  
Berücksichtigung der plastischen Querkontraktion

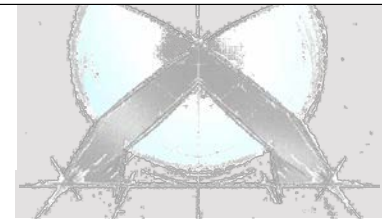
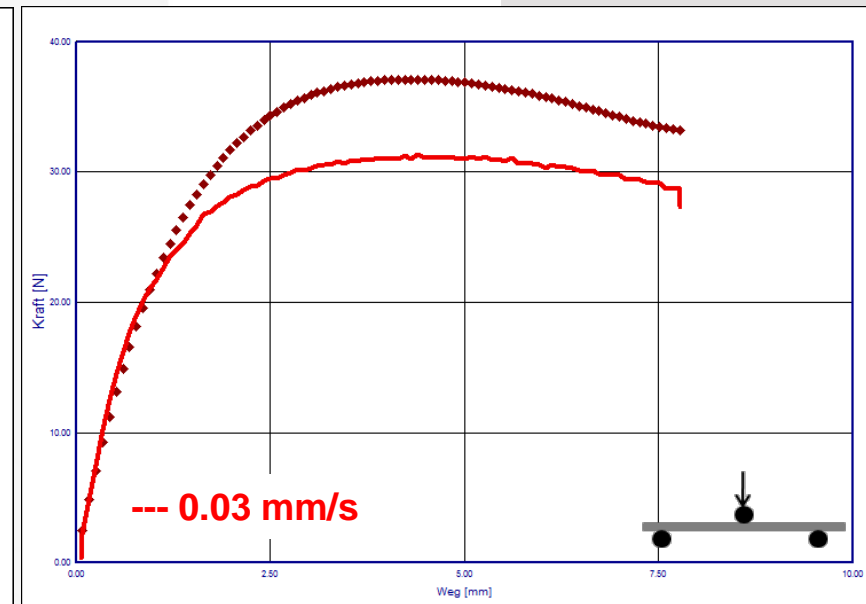
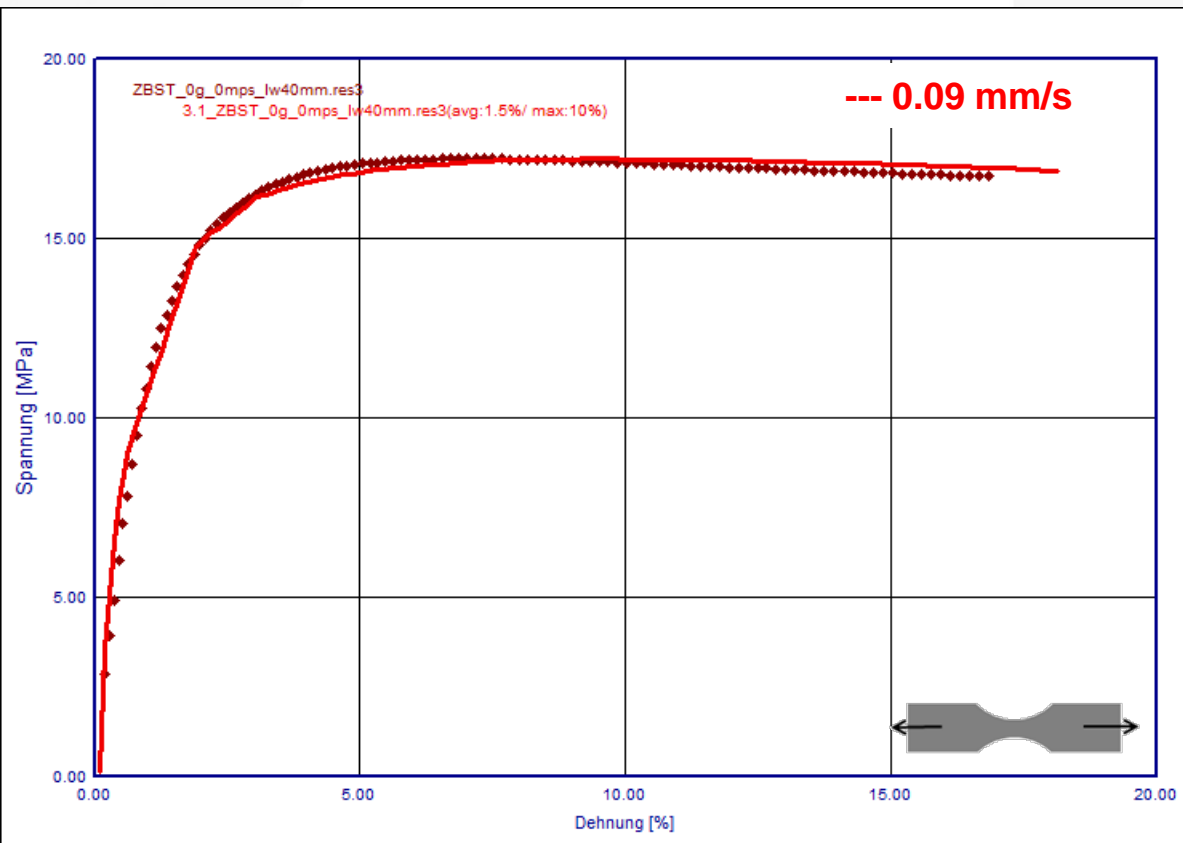


# Anpassung Materialkarte mit allg. Fließfläche

## Ermittlung der Zug/Druck Asymmetrie

### ➤ 4. Schritt: Materialcharakterisierung Zug - Parameteridentifikation mit LS-OPT

- vereinfacht am 1-Element Modell
- Dehnratenabhängigkeit aus vorhandener Materialkarte auf Basis Biegung
- Ansatzfunktion 3-Parameter-Modell

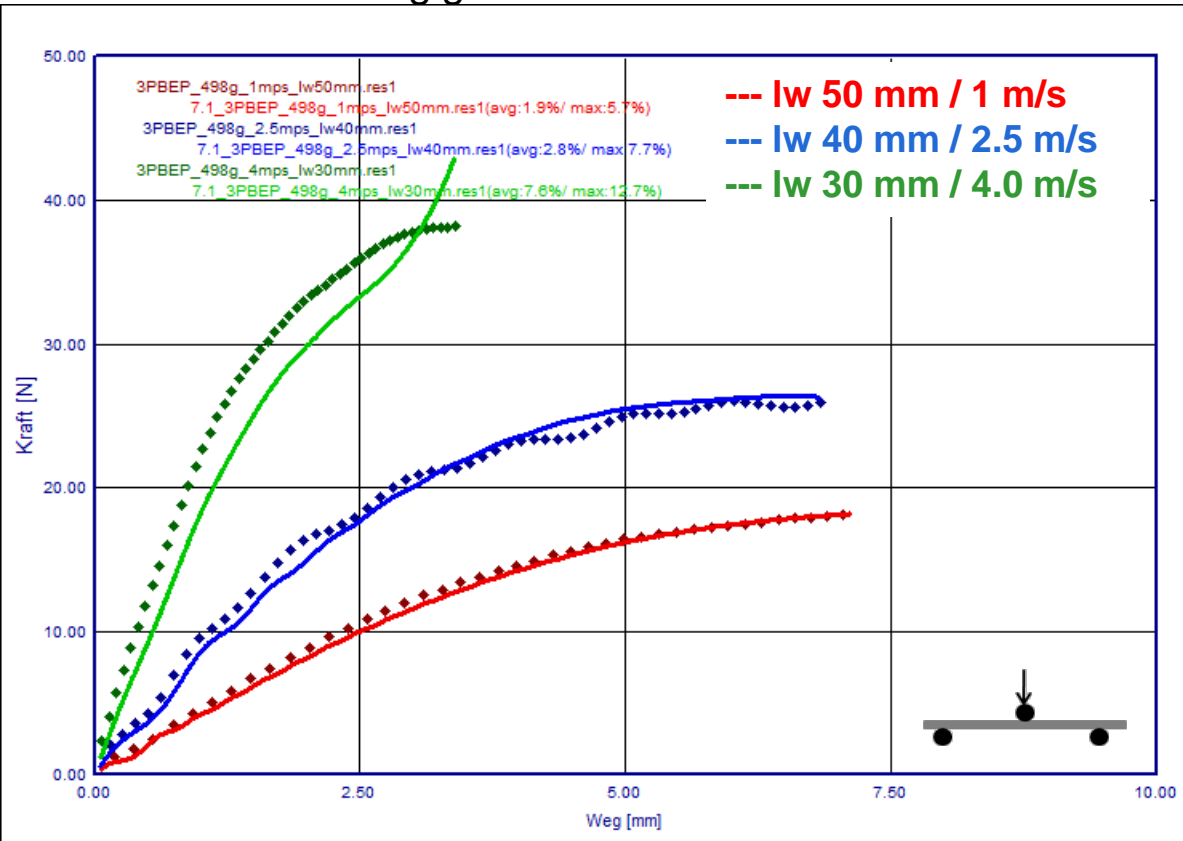


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

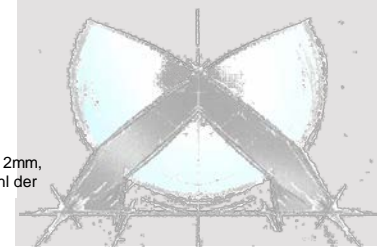
# Anpassung Materialkarte mit allg. Fließfläche

## Ermittlung der Zug/Druck Asymmetrie

- 5. Schritt: Materialcharakter. mit allg. Fließfläche - Parameteridentifikation mit LS-OPT
- MAT\_SAMP-1
- plastische Querkontraktion aus Zugmessungen fixiert
- Schub- und Druckkurven skaliert auf Basis Zug
- Dehnratenabhängigkeit aus vorhandener Materialkarte auf Basis Biegung



Modell 130322\_001  
Solver: LS DYNA, Metamodell: 7031\_MAT187, Elementgröße: 2mm,  
Elementtyp:16: Fully integrated shell element (very fast), Anzahl der  
Integrationspunkte: 8  
Annahmen: Querk. 0.3, Reibk. 0.1



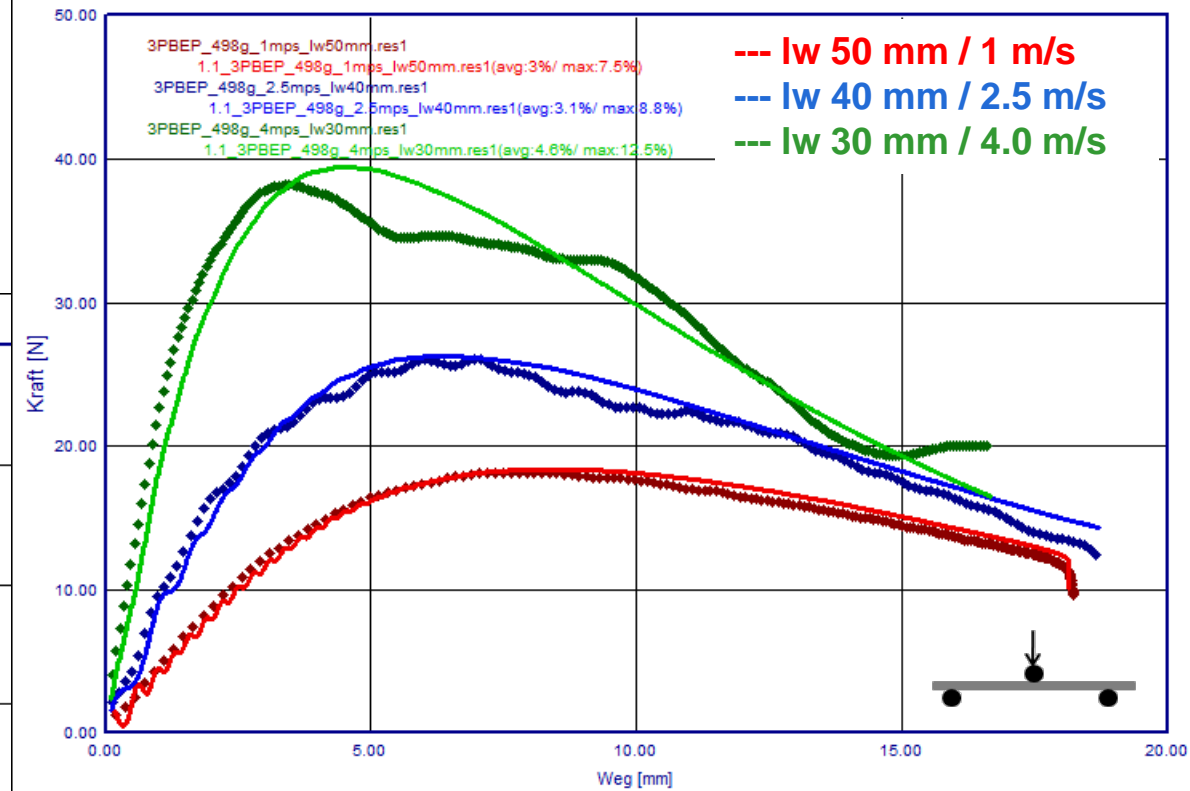
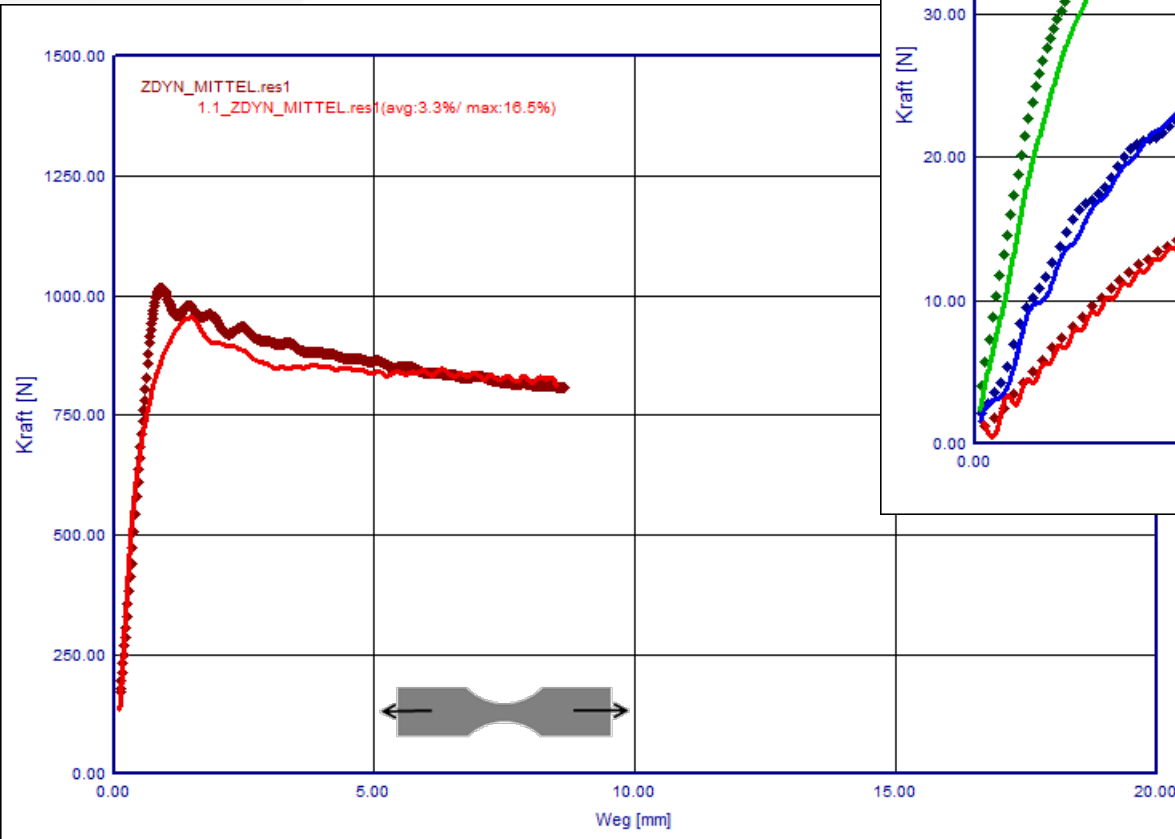
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

# Anpassung Materialkarte mit allg. Fließfläche

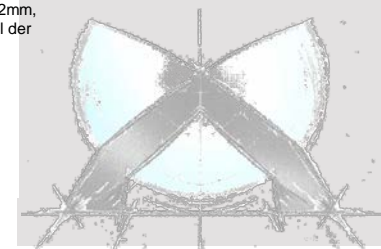
## Ermittlung der Zug/Druck Asymmetrie

### ➤ 6. Schritt: Validierung

gute Übereinstimmung für alle Lastfälle



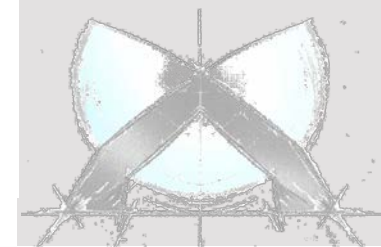
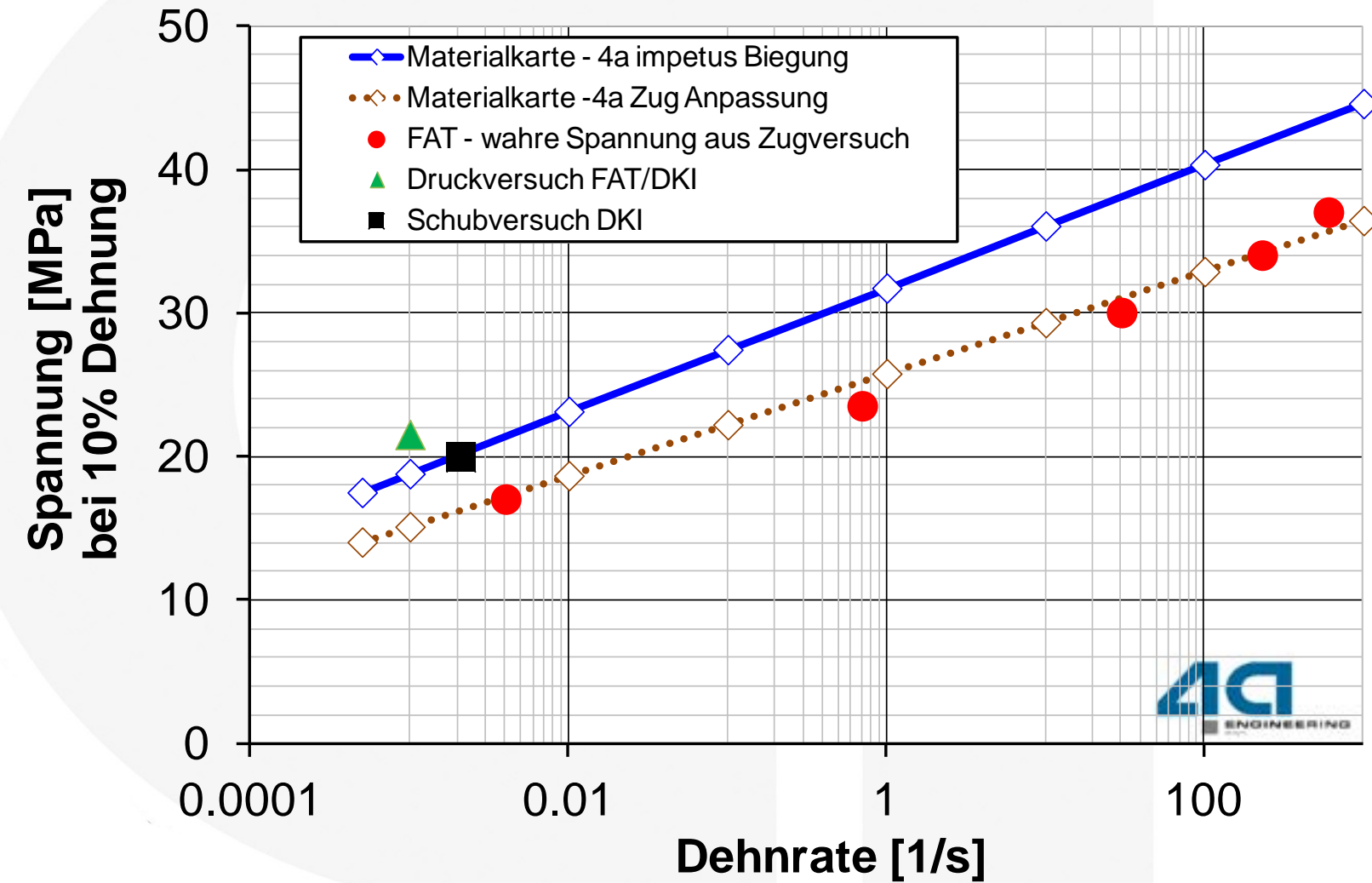
Modell 130323\_001  
Solver: LS DYNA, Metamodel: 7031\_MAT187, Elementgröße: 2mm,  
Elementtyp: 16: Fully integrated shell element (very fast), Anzahl der  
Integrationspunkte: 9  
Annahmen: Querk. 0.3, Reibk. 0.1



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

# Anpassung Materialkarte mit allg. Fließfläche

## Ermittlung der Zug/Druck Asymmetrie

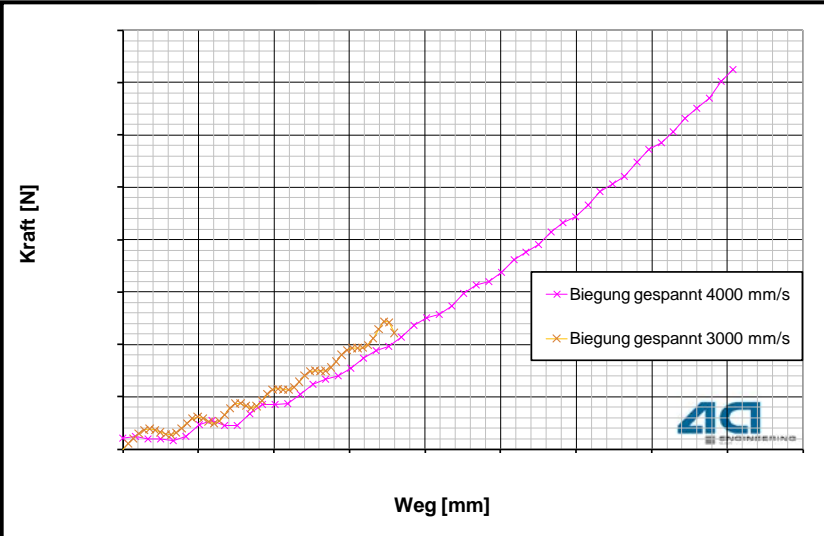
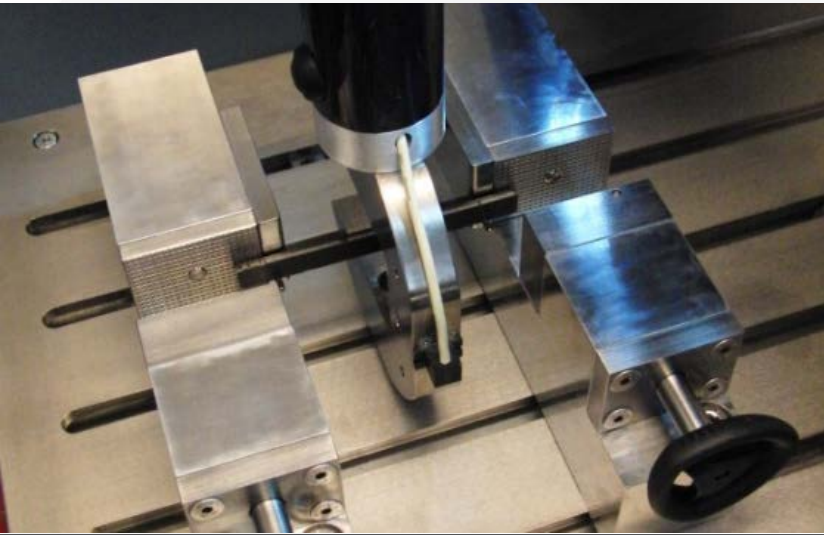


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

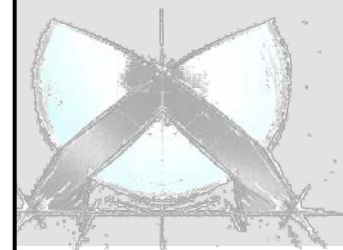
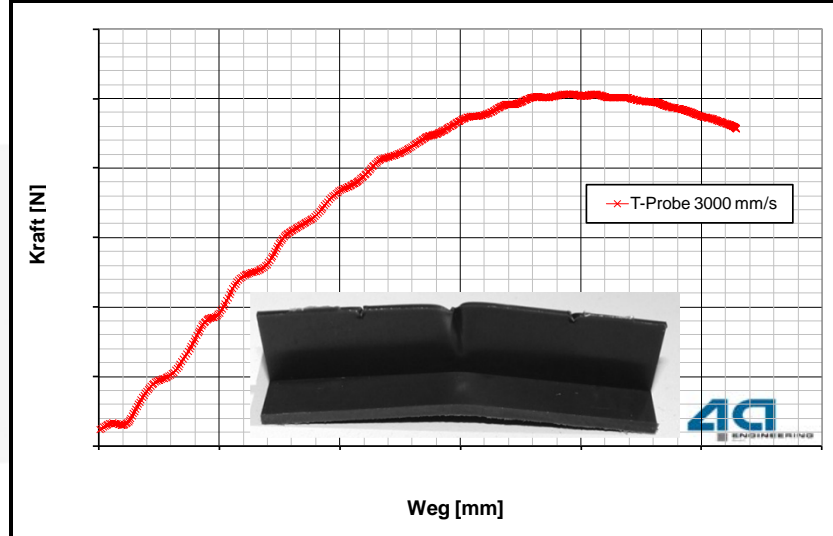
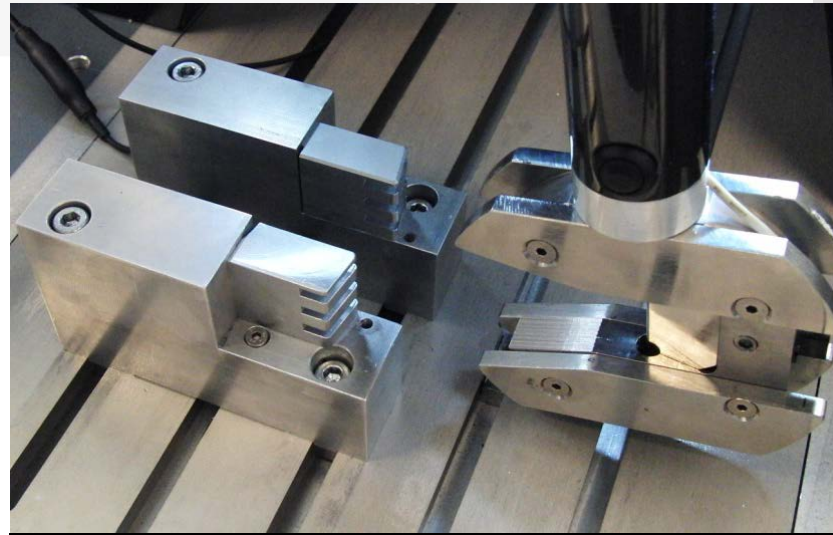
# Anpassung Materialkarte mit allg. Fließfläche

## Alternative Prüfmöglichkeiten zum Zugversuch

### ➤ Gespannte Biegung [3]



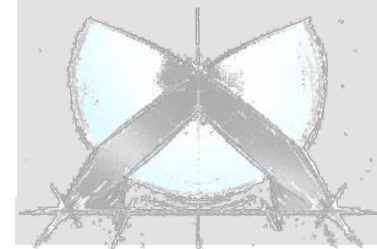
### ➤ T-Probe [3]



© 4a engineering GmbH, all rights reserved



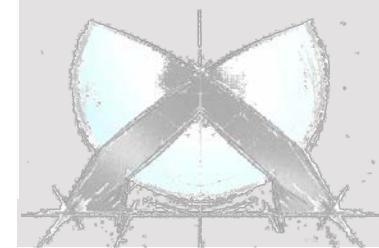
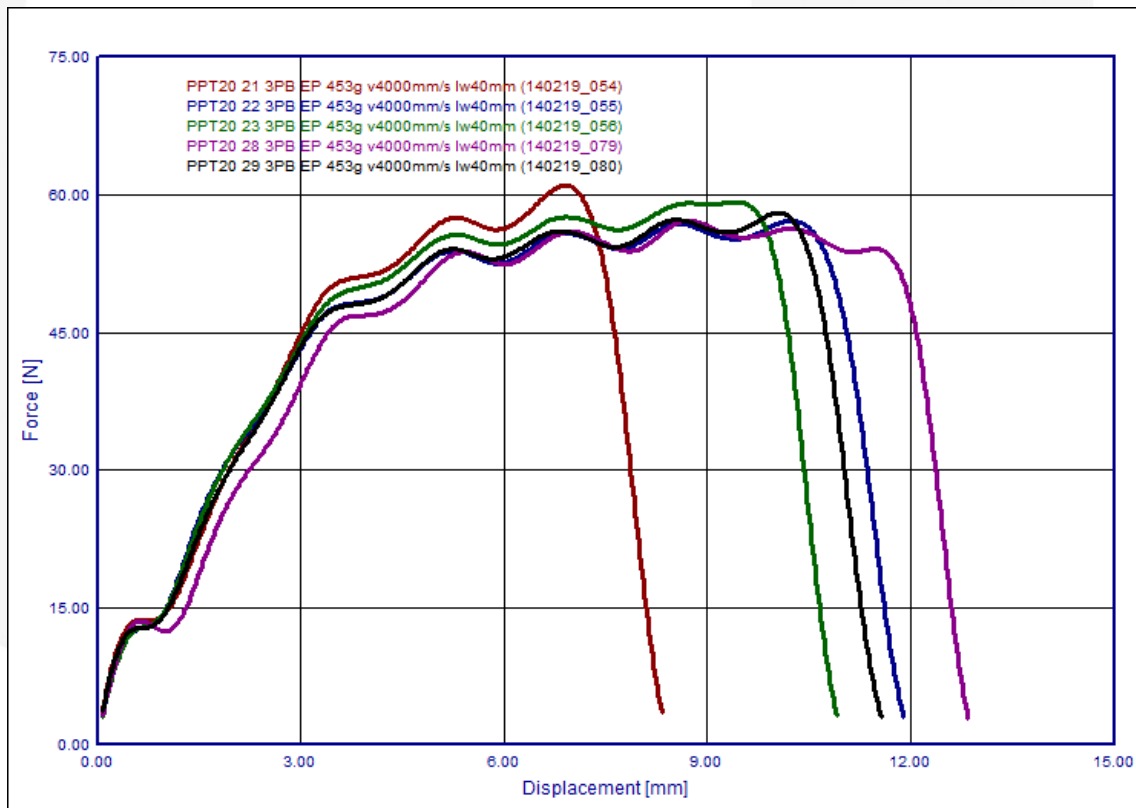
# Möglichkeiten der Versagensabbildung



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

## Versagen

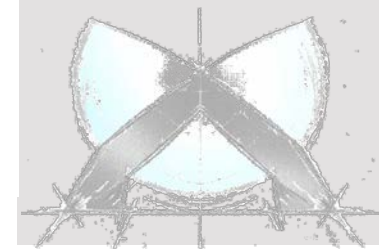
- Das Versagen ist prinzipiell abhängig von der
  - Mehrachsigkeit und der Dehnrates.
- Zusätzlich spielen im Probekörper enthaltene Imperfektionen eine Rolle (→ Streubreite, Bild: 3-Punkt-Biegung 4 m/s, PP T20).



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

- 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

- Zu einer vorhandenen Materialkarte z.B. \*MAT\_24 wird eine zusätzliche Karte **\*MAT\_ADD\_EROSION** hinzugefügt:

```
*MAT_ADD_EROSION
```

```
$ MID EXCL MXPRES MNEPS EFFEPS VOLEPS NUMFIP NCS
```

```
$ 1000000
```

Gleiche ID wie in \*Mat24

```
$ MNPRES SIGP1 SIGVM MXEPS EPSSH SIGTH IMPULSE FAILTM
```

```
$ IDAM DMGTYP LCSDG ECRIT DMGEXP DCRIT FADEXP LCREGD
```

1 Damage Initiierungs- und Entwicklungs-Kriterium

```
$ -1 1
```

```
$ DITYP P1 P2
```

```
$ 0 100005 0
```

Duktile Damage Initiierung

```
$ DETYP DCTYP Q1
```

```
$ =====
```

```
*DEFINE_CURVE
```

```
$ P1
```

Damage Initiierungs-Parameter:  
Dreiachsigkeit vs. plast. Dehnung

```
$ lcid sidr scla sclo offa offo dattyp
```

```
$ 100005 0 1.0 1.0
```

```
$ x y
```

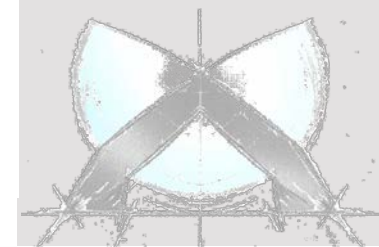
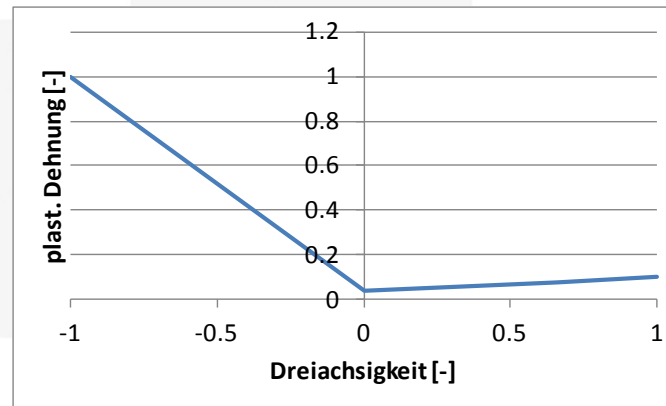
```
$ -1.000000 1.0000000000
```

```
$ 0.000000 0.0400000000
```

```
$ 0.330000 0.0600000000
```

```
$ 0.660000 0.0800000000
```

```
$ 1.000000 0.1000000000
```



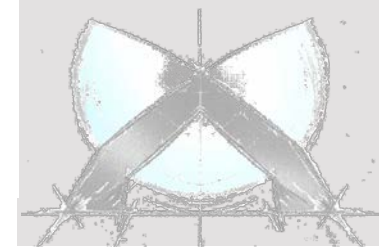
# Möglichkeiten der Versagensabbildung

## Benutzerdefinierte Materialkarte

- 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



### ➤ Prüfmethoden

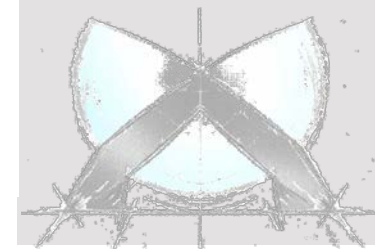
- Handling unterschiedlicher Prüfmethoden erforderlich
- Zusätzliche Informationen müssen in der Datenbank zugänglich gemacht werden (z.B. Orientierung, Mehrachsigkeit)

### ➤ Aufbereitung der Versuchsdaten

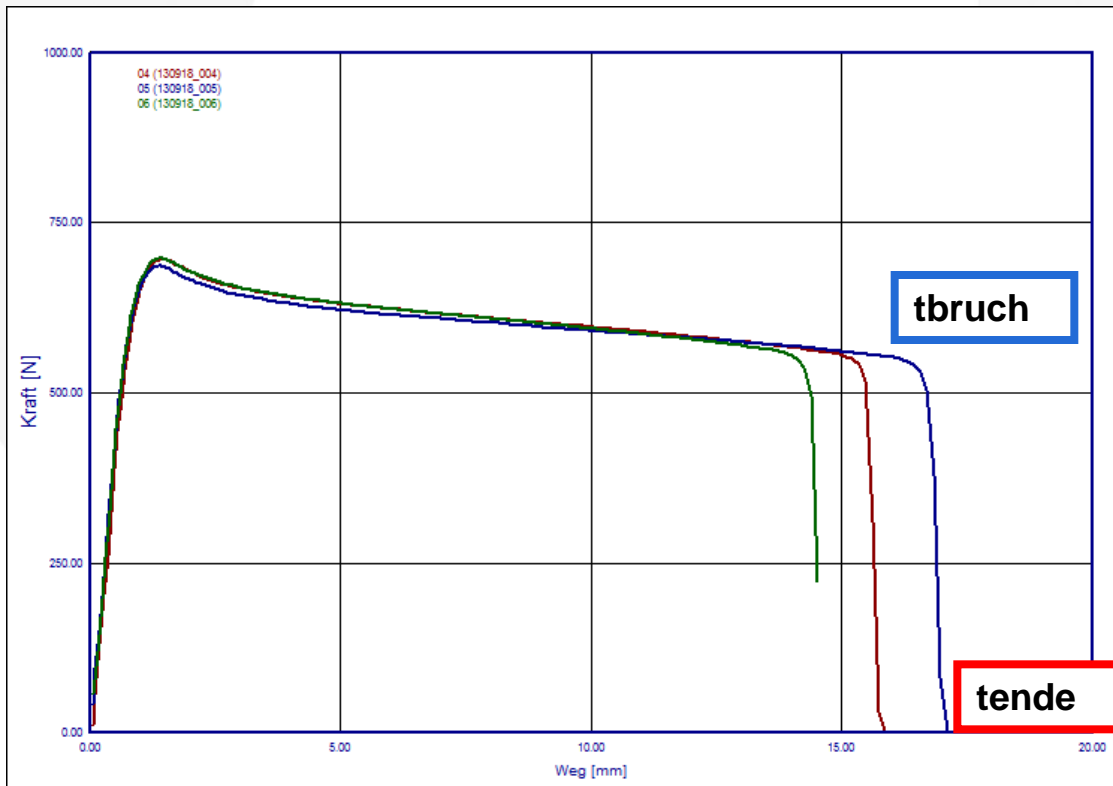
- Filterung
- Ereignisse/Zeiten wie Beginn des Bruches und vollständiges Versagen

### ➤ Modellbildung / Reverse engineering

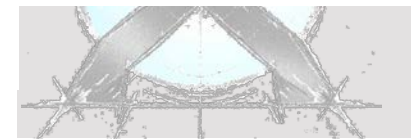
- Zugänglich Maken komplexer Modelle
- statistische Auswertung von Einzelergebnissen
- Simulation mit Elementlöschung



- Aufbereitung der Versuchsdaten
  - Filterung
  - Ereignisse/Zeiten wie Beginn des Bruches und vollständiges Versagen



Versuch/Test		Database Tests	Messung	Report	Messkurven	Viewer	a(t)	v(t)
Datum_Nr		130918_005						
+ Allgemeine Informationen								
+ Prüfsetup								
+ Probekörper								
- Auswertung								
Filter	0	kein Filter						
+ Geschwindigkeitsermittlung	3 - Weg (statisch Anfangsanstieg)							
+ Nullpunktsbestimmung	7 - Extrapolation Steigung Kraft-Weg							
- Brucherkennung	0 - manuell (Zeitpunkt)							
tende	1.8							
tbruch	1.78							
alphamax_ep	-5							
alphamax_dp	-5							
Fbruch	0.05							
tbruchfac	10							
Fperc	0.8							
trueckfac	20							
b_criterium	0							
+ Spannungsauswertung								
+ Steifigkeitsauswertung								
+ Ergebnisse								

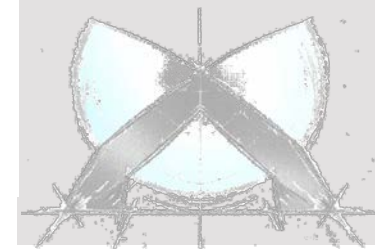


- Modellbildung/Reverse engineering
- In Version 3.2 ist momentan eine Vergleichsdehnung umgesetzt
- Über benutzerdefinierte Materialkarten werden komplexere Versagensmodelle unterstützt

Materialverhalten	
Materialquelle	implementiert
Dichte	-1020
Querkontraktion	0.3
Bruchdehnung	0.2
Elastizität	linear elastisch
Plastizität	vonMises
Dehnratenabhängigkeit	Tabelle

- Es wurden unterschiedliche „Abläufe/Prozesse“ für die Modellbildung eingebaut

Modelleinstellungen	
Datensatzname	A12 Modul Anpassung 1m/s
Name des Erstellers	pr
Validierung/Optimierung	Optimierung
Erweiterte Einstellungen	Vorabsimulation
Werkstoff	Visualisierung Testdaten
Idealisierung	Optimierung
Materialverhalten	Validierung
Fälle	Validierung (Einzelkurven)

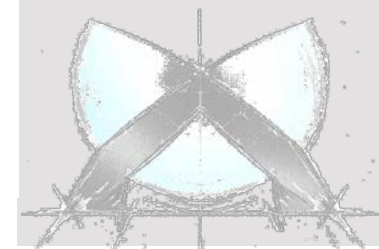
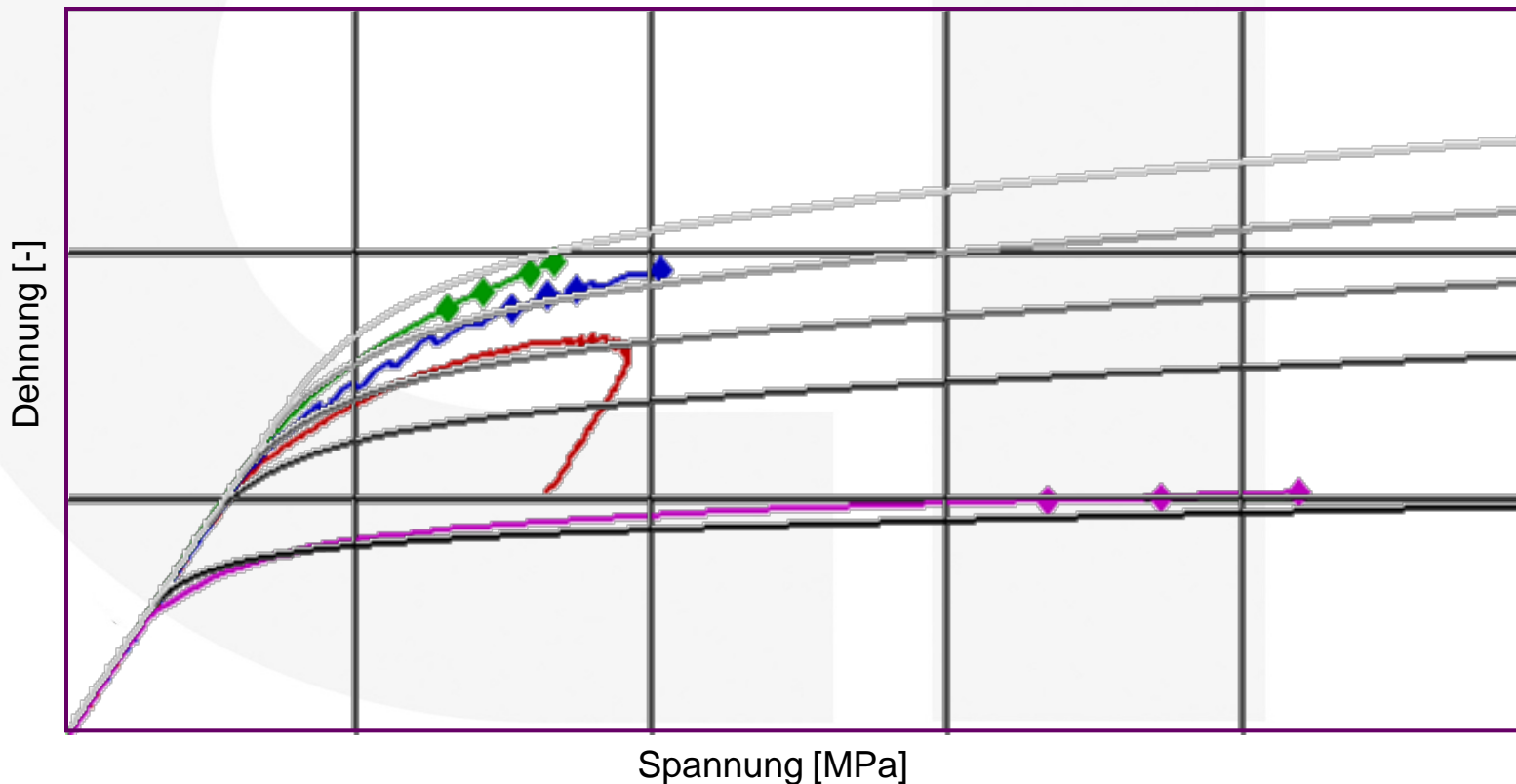




# Möglichkeiten der Versagensabbildung

Aktuelle Umsetzung in 4a impetus

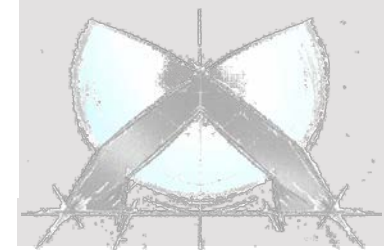
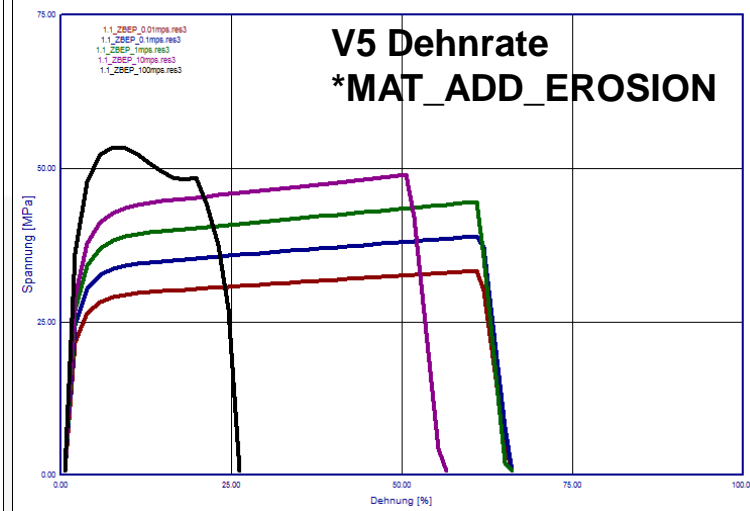
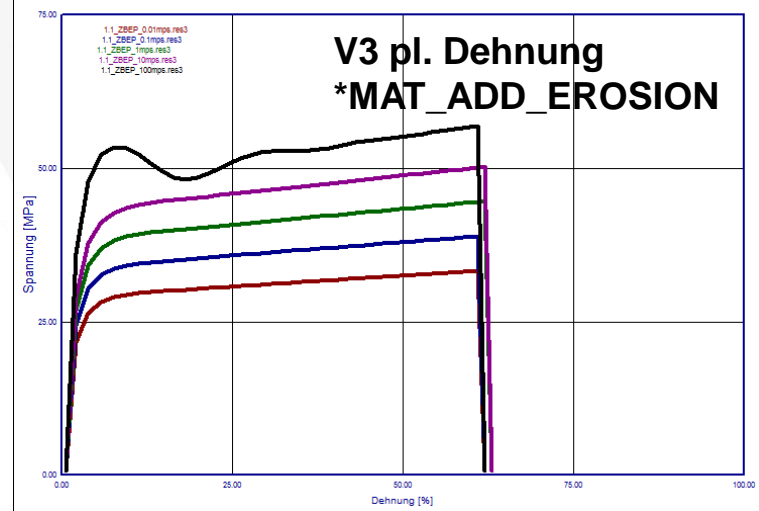
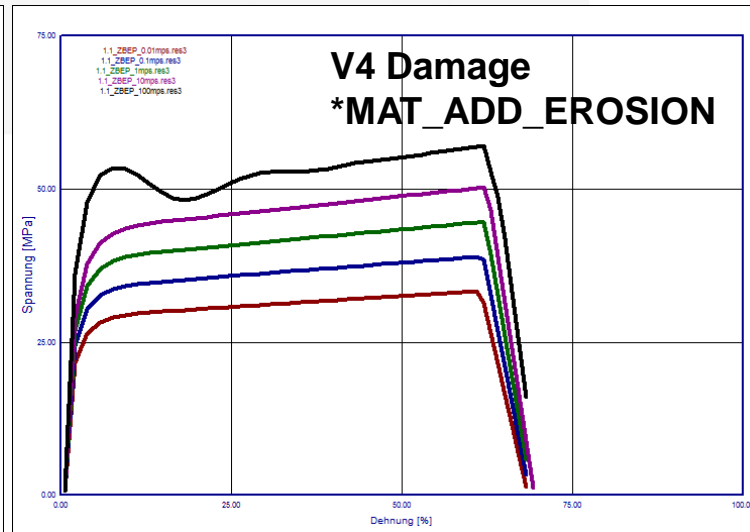
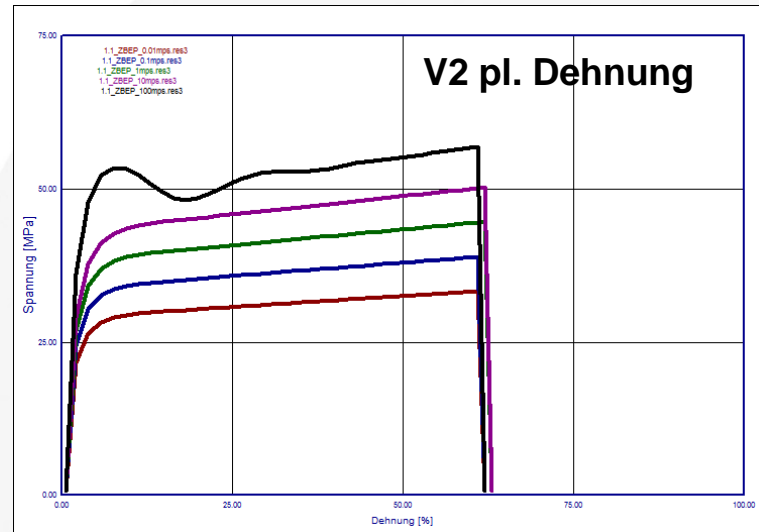
- Bruchzeiten ermöglichen die spätere Auswertung  
z.B. dargestellt: das gefundene Materialmodell (grau);  
die auftretenden Randfaserspannungen und -dehnungen in den  
statischen und dynamischen 3-Punkt-Biegeversuchen (färbig);  
Beginn des Bruches im Einzelversuch (Punkte).



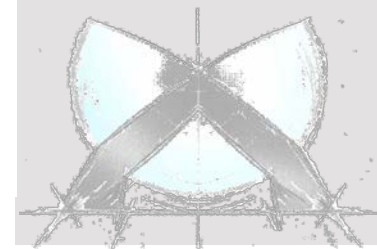
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

# Möglichkeiten der Versagensabbildung

## 1-Element Tests



- Mit **statischen und dynamischen Biegeversuchen** lassen sich **einfache Materialkarten** sinnvoll für die Simulationspraxis erstellen.
- Die **gespannte Biegung** bietet für die Materialcharakterisierung eine rasche Umsetzung Materialien mit einer **Zug-/Druckabhängigkeit** zu charakterisieren.
- **Zusätzliche Versuche** (Zug-, Schub-, Druckversuche, ...) können in 4a impetus importiert und der Materialcharakterisierung und -modellierung zugeführt werden.
- Auf Basis dieser Daten können auch komplexere Materialkarten wie z.B. SAMP-1 erstellt werden.
- Erste Möglichkeiten der **Versagensabbildung** wurden **in 4a impetus implementiert**. Erweiterungen, insbesondere bessere Integration von **Versagens- und Schädigungsmodellen**, sind **geplant**.
- Die **Weiterentwicklungen in diesem Umfeld** werden aufgrund der Vielfalt von **Kundenwünschen geprägt** sein.



**[1] Verbesserung der Crashsimulation von Kunststoffbauteilen durch Einbinden der Morphologiedaten aus der Spritzgießsimulation**

*DKI Deutsches Kunststoff-Institut, Fraunhofer IWM,  
KIT Karlsruhe Institute of Technology  
Abschlussbericht 15826 N, 2011*

**[2] Mechanical Characterization of Talc Particle Filled Thermoplastics**

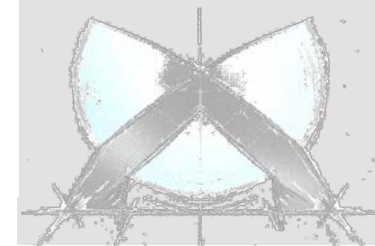
*Frank Kunkel, Florian Becker, Stefan Kolling,  
Europäisches Dynaforum 2011, Straßburg*

<http://www.dynamore.de/de/download/papers/konferenz11/papers/session20-paper3.pdf>

**[3] Validation and Material Modelling of Plastics**

*P. Reithofer, A. Haufe, V. Effinger, M. Rollant, M. Fritz,  
Europäisches Dynaforum 2011, Straßburg*

<http://www.dynamore.de/de/download/papers/konferenz11/papers/session16-paper3.pdf>



© 4a engineering GmbH, all rights reserved