

## 4a Impetus – Neue Wege in der Materialcharakterisierung für die dynamische Simulation am Beispiel eines Schaumwerkstoffes

P. Reithofer , M. Fritz (4a engineering GmbH, Traboch, A)  
K. Witowski, O. Graf (DYNAmore GmbH, Stuttgart, D)

### **Abstract:**

In this presentation new possibilities for the material characterization of foams are shown. Especially the presentation focuses on the testing system 4a Impetus and its interaction with LS-OPT.

To determine meta-models, that describe the stress, strain and strain rate dependency, two principal ways are shown. On measured results of confor blue foam the parameter identification of a material description is conducted. With this material description and material law \*MAT\_Fu\_Chang\_Foam the tests were simulated and compared to the measurement. This was also done for the second way of meta-model building. The starting point is the stress, strain and strain rate points of different tests with different impact velocity. These points were used in LS-OPT to build up a neuronal net as a meta-model. These two ways can be automatically done by 4a impetus testing system, so that a whole process from measurement to a final material card exists.

Finally the two ways for building a meta-model are compared. There could be found a good correlation between simulated and measured forces. The neuronal net meta-model reproduces the initial impact behavior, which was effected by the fluid flow in the foam. The disadvantage of the neuronal net is the unforeseeable prediction in unknown areas.

It is also shown, how to implement LS-DYNA into this whole process. So it is possible to include simulation software related influences- like mesh size or hour glassing- in the material card determination.

### **Keywords:**

4a Impetus, LS-OPT, material card generation, meta-model, parameter identification, neuronal net,

## 4a Impetus



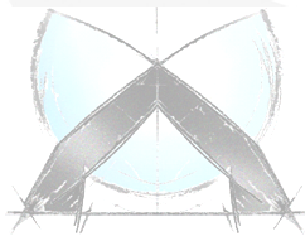
**DYNA  
MORE**

7. LS-DYNA FORUM 2008

30. SEPTEMBER - 1. OKTOBER 2008, BAMBERG

**4a Impetus – Neue Wege in der Materialcharakterisierung für  
die dynamische Simulation am Beispiel eines  
Schaumwerkstoffes**

P. Reithofer, M. Fritz (4a engineering GmbH)  
K. Witowski, O. Graf (Dynamore GmbH)



**DYNA  
MORE**

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 1/33  
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritz  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

## Inhaltsverzeichnis

### Themen



- **4a Impetus**
  - Motivation
  - Messtechnik
  - Versuchsablauf
  - Softwarelösung vom Versuch bis zur Materialkarte
- **Anwendungsbeispiel**
  - Confor Blue Foam CF45
  - Messergebnisse
    - Mögliche Vorgehensweisen Metamodellbildung
    - Modellbildung Materialansatzfunktion
    - Metamodellbildung neuronale Netze
    - Vergleich Ergebnisse
  - Anbindung von LS-DYNA
- **Zusammenfassung**

**DYNA  
MORE**

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 2/33  
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritz  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

UNTERNEHMENSGRUPPE



© 4d engineering GmbH, all rights reserved

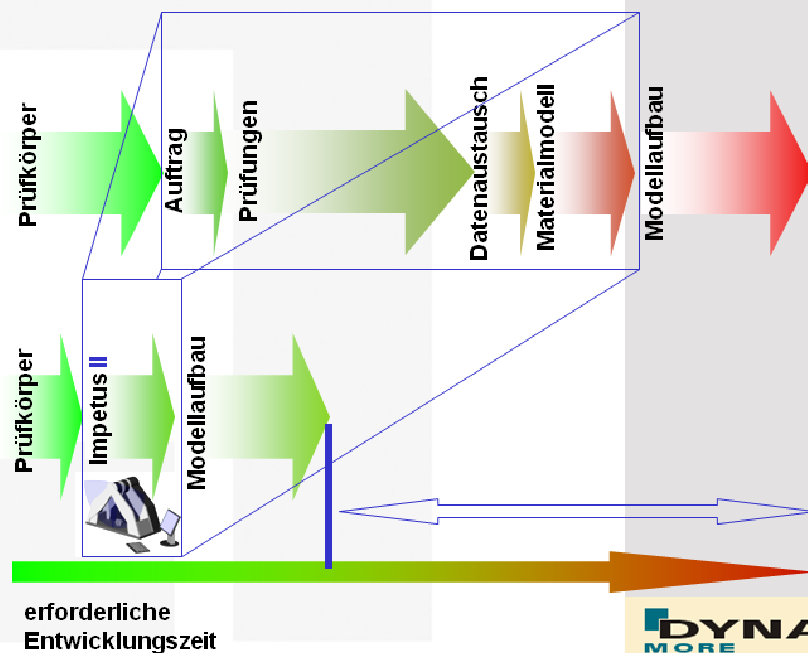
Seite: 2/33  
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

4a Impetus Motivation



- Entwicklungszeiten und -kosten senken
- Zeitlicher Vorsprung
- Probekörper aus dem Bauteil
  - Realistisches Versagen an der Oberfläche
  - Belastung und Entlastung
  - Erkenntnisse über die Energieaufnahme
  - Spannungsverlauf über dem Querschnitt
  - Dehnraten wie in der Realität aufgrund der Energieaufnahme
- Nachvollziehbar
- Datenbankstruktur
- In sich geschlossenes System
- Tischgerät



© 4d engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 4/33  
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# 4a Impetus Messtechnik



- **Prüfungsarten**  
Elastomere, geschäumte Polymere, unverstärkte und verstärkte Thermoplaste, Duroplaste,  
Druckversuch → (TxBxL)<sub>max</sub> 60 x 40 x 40 mm  
Biegeversuch → (TxBxL)<sub>max</sub> 40 x 40 x 250 mm  
Durchstoßversuch → (TxBxL)<sub>max</sub> 60 x 40 x 40 mm  
Komponenten → (TxBxL)<sub>max</sub> 200 x 200 x 200 mm
- **Einfachpendelausführung**  
dynamischer Geschwindigkeitsbereich  
500 - 4500 mm/s  
Maximale Energie 50J  
Betriebstemperatur von + 20 bis + 25 °C  
Maximal zulässige Beschleunigung 2000 g
- **Optionale Doppelpendelausführung**  
dynamischer Geschwindigkeitsbereich  
500 - 9000 mm/s
- **Optionale quasistatische Prüfvorrichtung**  
quasistatischer Geschwindigkeitsbereich - 10 mm/s
- **Sensoren**  
Temperatur und Feuchtesensor  
Zwei (ein) Beschleunigungssensoren (50g, 200g)  
Zwei (ein) Winkelsensoren
- **Optischer Sensor für die Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit und des Nullpunktes**



© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 6/33  
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# 4a Impetus Versuchsablauf



© da engineering GmbH, all rights reserved

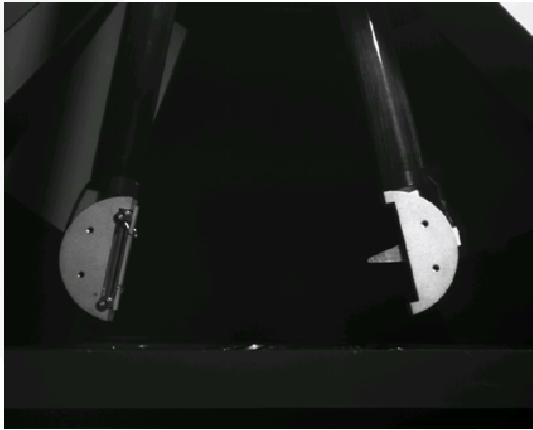
Seite: 6/33  
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# 4a Impetus Versuchsablauf



Biegeversuch



Druckversuch



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 7/33  
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

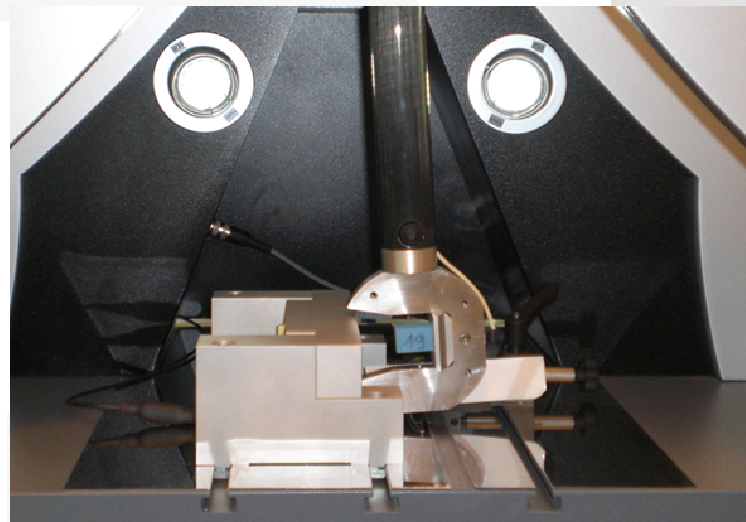
I N P H Y S I C S W E T R U S T

# 4a Impetus Versuchsaufbau



Impetus II

© by 4a engineering GmbH - intelligent testing systems



Druckprüfung am Pendel

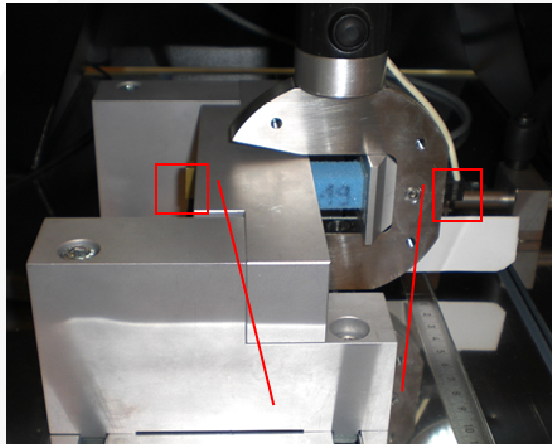


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

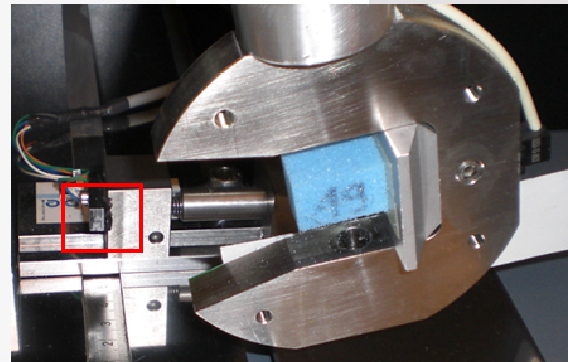
Seite: 8/33  
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

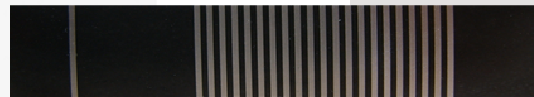
# 4a Impetus Versuchsaufbau



50 g Beschleunigungssensoren am Pendelkopf und am Widerlager  
 Pendelkopfmasse: 530g und 1300g  
 Prüfgeschwindigkeit: 0.7 – 3 m/s



Zusätzlicher optischer Sensor zur Geschwindigkeitsbestimmung



© da engineering GmbH, all rights reserved

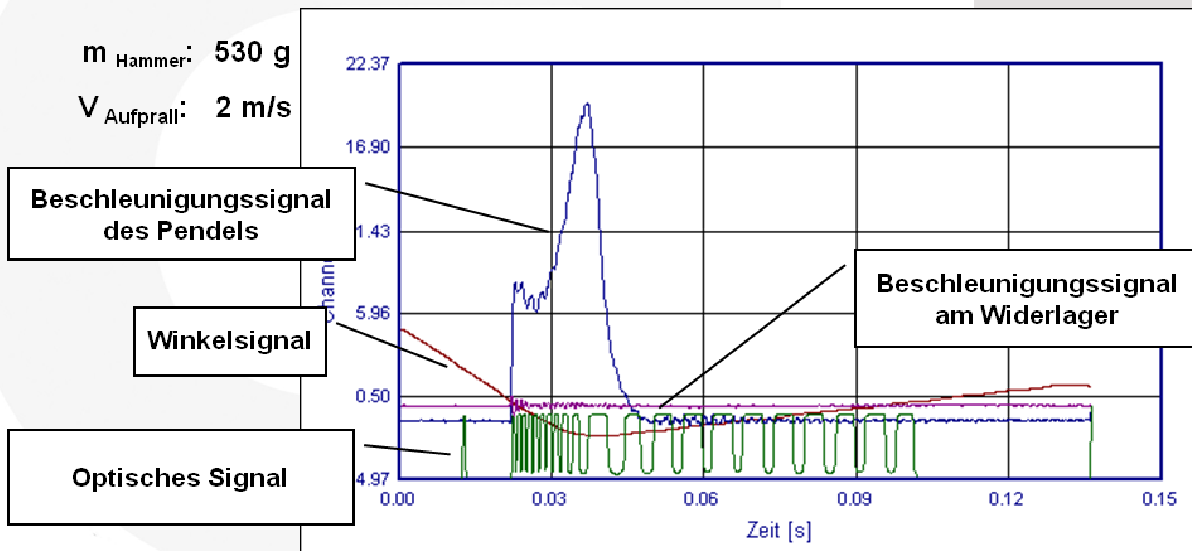
Seite: 9 / 33  
 Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# 4a Impetus Messsignale



$m_{\text{Hammer}} = 530 \text{ g}$   
 $V_{\text{Aufprall}} = 2 \text{ m/s}$



© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 10 / 33  
 Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# 4a Impetus Bestimmung der relevanten Messgrößen



- Die Kraft wird über das Beschleunigungssignal berechnet

$$F = m_{Pendel} \cdot a_{Pendel}$$

- Der Weg errechnet sich über das Winkelsignal

$$s = \Delta \hat{\alpha}_{Pendel} \cdot l_{Pendel}$$

- Aufprallgeschwindigkeit wird aus dem optischen Signal ermittelt

$$v_0 = \frac{\Delta s_{1-2Peak}}{\Delta t_{1-2Peak}}$$

- Dehnung und Spannung werden auf den Ausgangszustand bezogen

$$\epsilon = \frac{s}{l_0} \quad \sigma = \frac{F}{A_0}$$



© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 11 / 33  
 Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
 Datum: 08.09.12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# 4a Impetus Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte



The screenshot displays the Impetus II v1.34b software interface. It is divided into several panels:

- Top Left:** A table listing test data with columns for ID, Probennr., Material, Prüfmethode, Temperatur, and Feud. The table contains 15 rows of data.
- Top Right:** A graph titled 'Messung | Report | Messkurven' showing 'Kraft [N]' on the y-axis (ranging from 0.00 to 151.04) and 'Weg [mm]' on the x-axis (ranging from 0.16 to 18.06). The plot shows a red curve representing the force-displacement relationship.
- Bottom Left:** A graph titled 'Spannung [MPa]' vs 'Dehnung' showing a linear stress-strain relationship with a slope labeled 'Dehnrates'.
- Bottom Center:** A 'Parametermodell' window showing material properties for '101 Invar + Johnson Cook Law'.
- Bottom Right:** An 'Optimierung' window showing the results of an optimization process, including a table of iterations (1 to 15) and a list of design points.



© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 12 / 33  
 Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
 Datum: 08.09.12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# 4a Impetus Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte



**Versuchsdatenbank zur Verwaltung aller Messungen**

ID	Probenbezeichnung	Material	Prüfmethode	Temperatur	Feuchte
060913_003		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060913_004		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060913_005		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060913_006		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060915_001		PP-GF30	100-3 Punkt Begung25	-300	
060915_002		PP-GF30	100-3 Punkt Begung25	-300	
060915_003		PP-GF30	100-3 Punkt Begung25	-300	
060915_004		PP-GF30	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_001		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_002		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_003		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_005		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_006		PP-GF30	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_007		PP-GF30	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_008		PP-GF30	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_009		PP-GF30	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_010		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_011		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_012		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	
060918_013		PP-GHT	100-3 Punkt Begung25	-300	

Graph: Kraft [N] vs. Weg [mm]. Y-axis: 0.00, 26.90, 53.00, 79.00, 105.00, 131.04. X-axis: 0.16, 3.75, 7.33, 10.91, 14.48, 18.06.

Iteration table: 1-15, all green checkmarks.



# 4a Impetus Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte



**Intelligente Auswertungsroutinen  
benutzerfreundliche Darstellung**

Graph: Spannung [MPa] vs. Dehnung. Y-axis: 0.00, 26.90, 53.00, 79.00, 105.00, 131.04. X-axis: 0.16, 3.75, 7.33, 10.91, 14.48, 18.06.

Iteration table: 1-15, all green checkmarks.





# 4a Impetus Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte



**Datenbank für Materialmodelle / -funktionen**

ID	Probenbez.	Material	Prüfmethode	Temperatur	Feuch.
060913_003	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060913_004	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060913_005	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060913_006	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060915_001	PP-GF30	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060915_002	PP-GF30	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060915_003	PP-GF30	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060915_004	PP-GF30	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060918_001	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060918_002	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060918_003	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060918_006	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060918_006	PP-GF30	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060918_007	PP-GF30	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060918_009	PP-GF30	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060919_001	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060919_002	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060919_003	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	
060919_004	PP-GHT	100-3 Punkt Biegung25		-300	

**Optimierung mit LS-OPT**

```

Iteration 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
1
a
    
```

# 4a Impetus Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte



**Optimierung mit LS-OPT**

```

Iteration 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
1
a
    
```

# 4a Impetus Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte



**Geschlossenes System vom Versuch bis zur validierten Materialkarte**

ID	Probenbez.	Material	Prüfmethode	Temperatur	Feuch
060913_003		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060913_004		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060913_005		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060913_006		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060915_001		PP-GF30	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060915_002		PP-GF30	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060915_003		PP-GF30	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060915_004		PP-GF30	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_001		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_002		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_003		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_006		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_007		PP-GF30	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_008		PP-GF30	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_009		PP-GF30	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_010		PP-GF30	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_011		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_012		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300
060918_013		PP-GMT	100-3 Punkt	Biegung25	-300

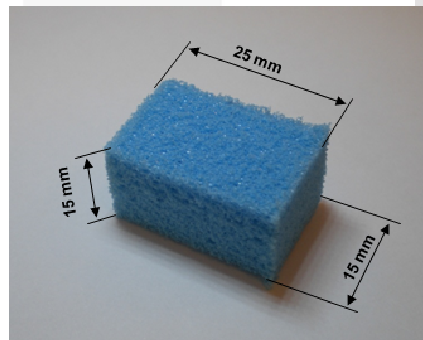
Iteration	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



# Anwendungsbeispiel Confor Blue Foam CF45®



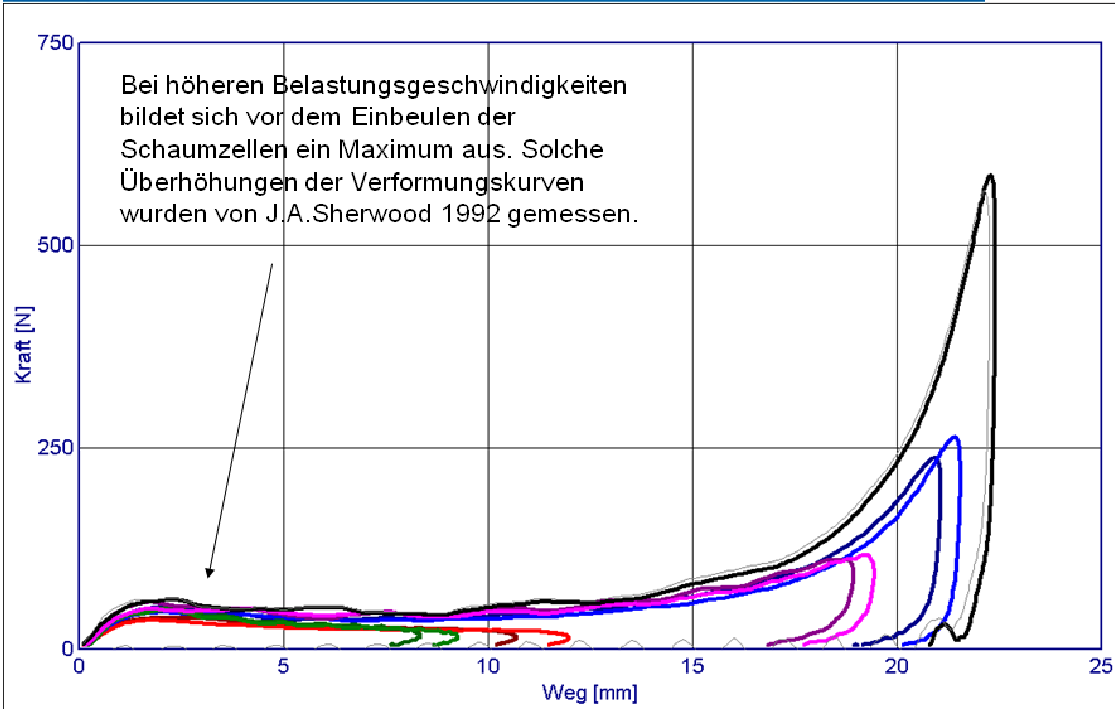
➤ offenzelliger geschäumter weicher PU-Schaum



➤ Einsatzgebiet:  
 Energieabsorptionselemente, Fahrzeugsicherheitstechnik (Ummantelung von Prüfkörpern als „menschliches Gewebe“)



## Anwendungsbeispiel ermittelte Kraft-Weg Kurven

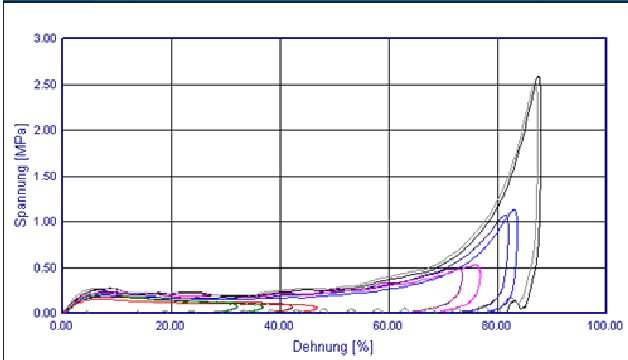


© da engineering GmbH, all rights reserved

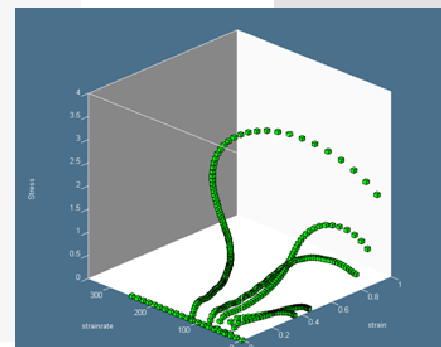
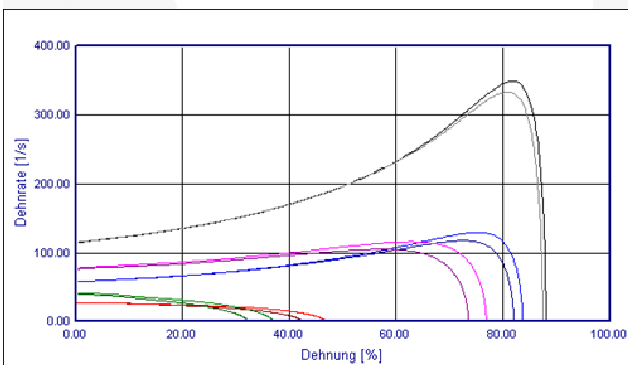
Seite: 19 / 33  
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

## Anwendungsbeispiel gemessenes Materialverhalten



- Hier dargestellt sind technische Dehnung, technische Spannung und wahre Dehnrates
- Gut erkennbar ist die Abnahme der Dehnrates aufgrund der Verzögerung des Pendels



© da engineering GmbH, all rights reserved

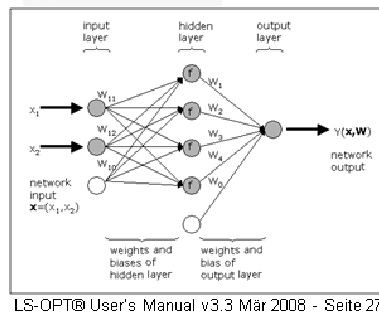
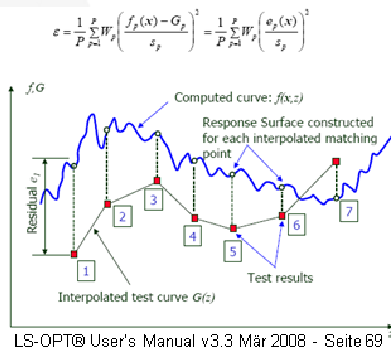
Seite: 20 / 33  
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# Anwendungsbeispiel mögliche Vorgehensweisen Metamodellbildung



- „Materialansatzfunktion“  
Die Versuche werden nachsimuliert. Dabei wird ein parametrisiertes dehnratenabhängiges Materialverhalten verwendet. Mittels „Response Surface Methodology“ werden durch LSOPT die Parameter so gesteuert, dass der „Mean Square Error“ zwischen Versuchs- und Simulationskurve minimiert wird.
- „Neuronales Netz“  
Da aus den Versuchen direkte Materialkennwerte verfügbar sind ( $\sigma(\dot{\epsilon}, \epsilon)$ ) kann der Zusammenhang versucht werden mittels eines neuronalen Netzes zu erfasst werden und somit ein Metamodell erstellt werden.



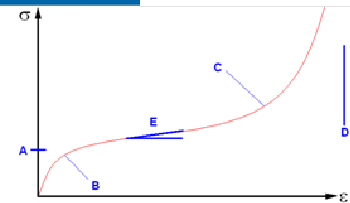
Seite: 21 / 33  
 Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# Anwendungsbeispiel Modellbildung Materialansatzfunktion



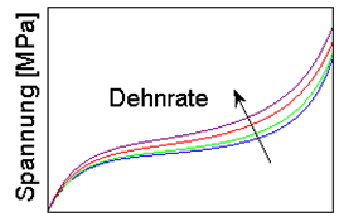
- Durch die Datenpunkte  $\sigma(\dot{\epsilon}, \epsilon)$  wird eine Ersatzfläche mittels einer Materialansatzfunktion gelegt.
- Die Parameter beschreiben
  - A – vorderes Plateau
  - B – vordere Krümmung
  - C – hintere Krümmung
  - D – Endkompression
  - E – Steigung in Kompressionsphase
  - G, F, H – Dehnratenparameter
- Mittels LS-Opt werden die Parameter der Materialfunktion angepasst, damit minimale Abweichung zum Versuch erreicht wird. Dabei wird ein eigen entwickelter expliziter Solver verwendet, um die Energiebilanz am Pendel zu berücksichtigen.



$$a_0(\dot{\epsilon}) = c + \frac{g}{(g + \dot{\epsilon})}$$

$$a_0(\dot{\epsilon}) = a + b \cdot \left( \lg \left( \frac{\dot{\epsilon} + f}{f} \right) \right)$$

$$\sigma = a_0 \cdot \left( 1 + k \cdot \epsilon - e^{-\frac{\epsilon}{\tau}} \right) \cdot \frac{e^{-(\sigma - \sigma_0)}}{e}$$



Seite: 22 / 33  
 Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

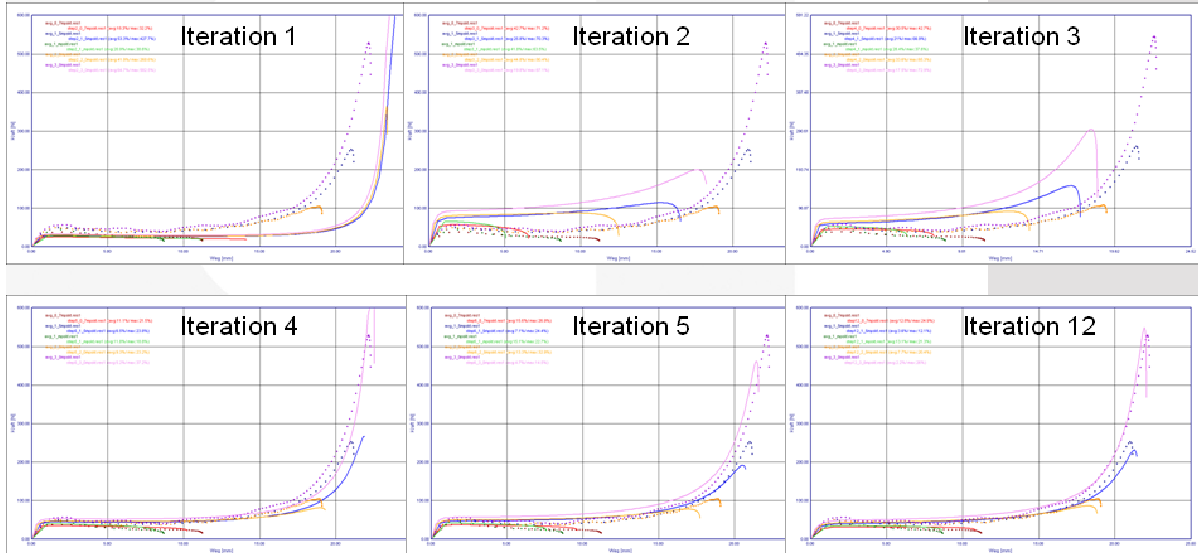
I N P H Y S I C S W E T R U S T

# Anwendungsbeispiel

## Modellbildung Materialansatzfunktion



- LS-OPT Optimums nach durchlaufene Iterationsschritten  
Gut erkennbar wie aufgrund der Optimierung das Werkstoffverhalten und damit die Messkurven immer besser abgebildet werden können.



© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 23 / 33  
 Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

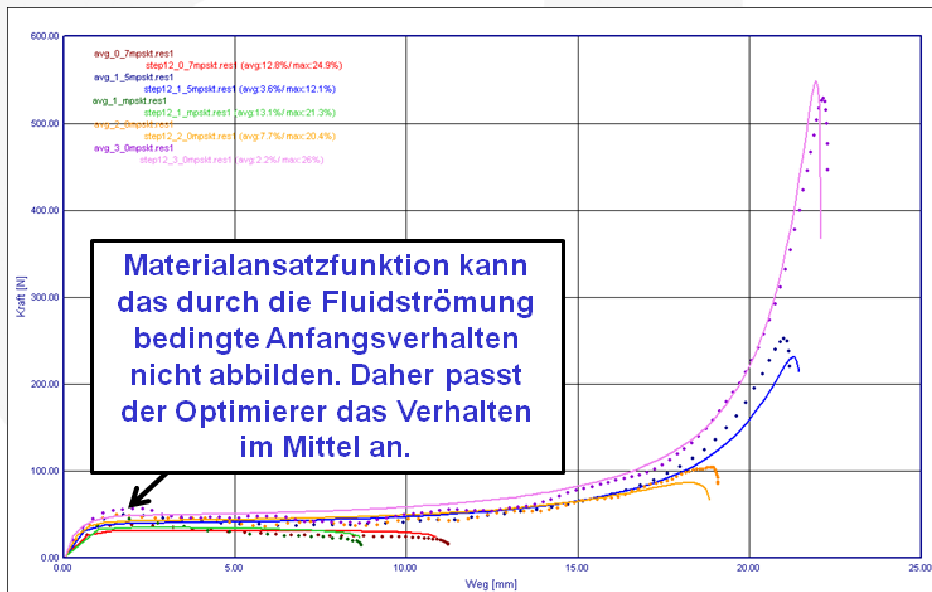
I N P H Y S I C S W E T R U S T

# Anwendungsbeispiel

## Modellbildung Materialansatzfunktion



Optimierungsziel nicht  $F(t)$  alleine sondern maximaler Weg zusätzlich als Zielgröße vorgegeben → bessere Abbildung des Materialverhaltens.



© da engineering GmbH, all rights reserved

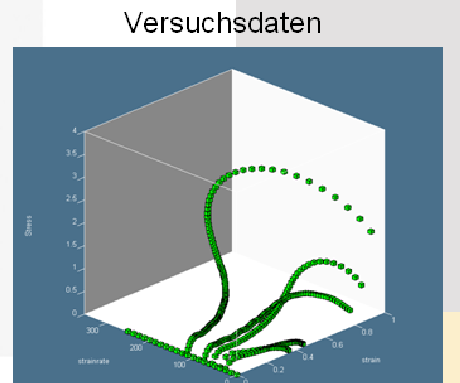
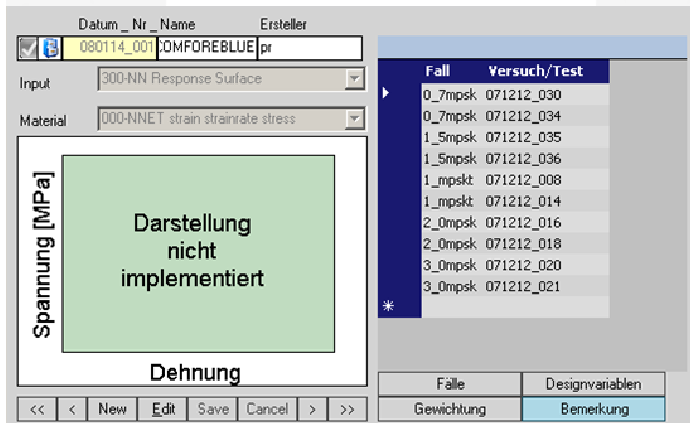
Seite: 24 / 33  
 Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

## Anwendungsbeispiel Modellbildung Neuronales Netz



- Durch die Datenpunkte  $\sigma(\epsilon, \dot{\epsilon})$  wird eine Ersatzfläche (Metamodell) mittels neuronalem Netz gebildet.
- Für ein Parametermodell in Impetus II wird automatisch ein Inputdeck für LS-OPT erstellt → neuronales Netz erzeugt.



Seite: 26 / 33  
Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08011201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

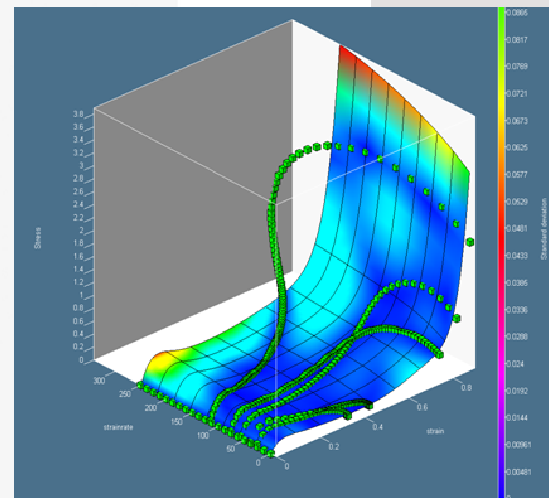
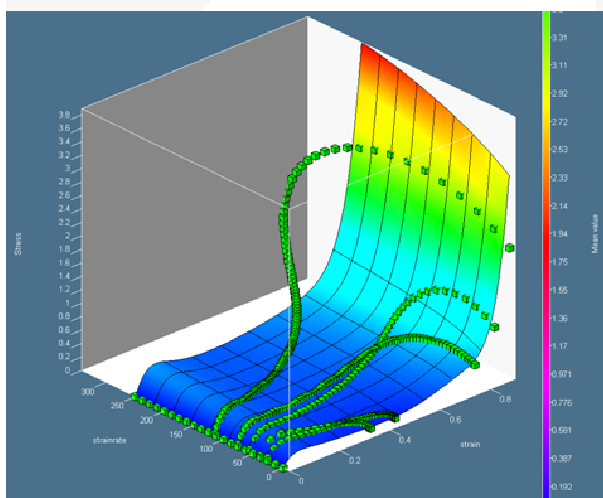
I N P H Y S I C S W E T R U S T

## Anwendungsbeispiel Modellbildung Neuronales Netz



Ergebnis:

- Das neuronale Netz kann die Versuchsdaten gut reproduzieren. Aufgrund der Pendelverzögerung liegt ein breiter Dehnratenbereich zur Anpassung vor.

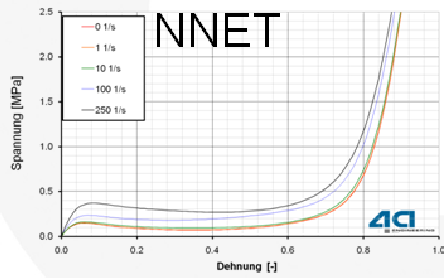
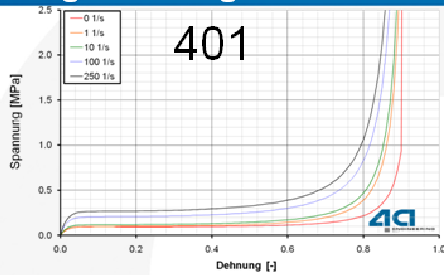


© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 26 / 33  
Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08011201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# Anwendungsbeispiel Vergleich Ergebnisse



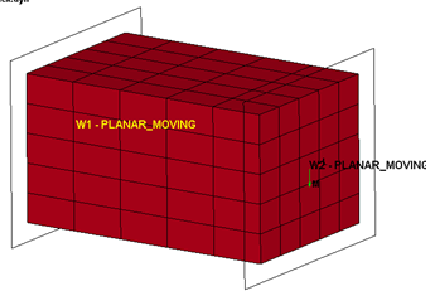
Verwendete  
Materialdaten

\*MAT\_FU\_CHANG\_FOAM (1)

TITLE								
1	MID	BD	E	ED	IC	FAIL	DAMP	IBID
	1000000	114.6975	4.500e+096	0.0	4.610e+007	0.0	0.05000	1000000
2	BYELAG	SELAG	BELAG	TELAG	PVID	SRAE	DEF	BU
	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0
3	D0	N0	N1	N2	N3	C0	C1	C2
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	C3	C4	C5	ALL	SJ3	MINS	MAXS	SHAPE
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

COMMENT:

00012501\_0reck.dyn



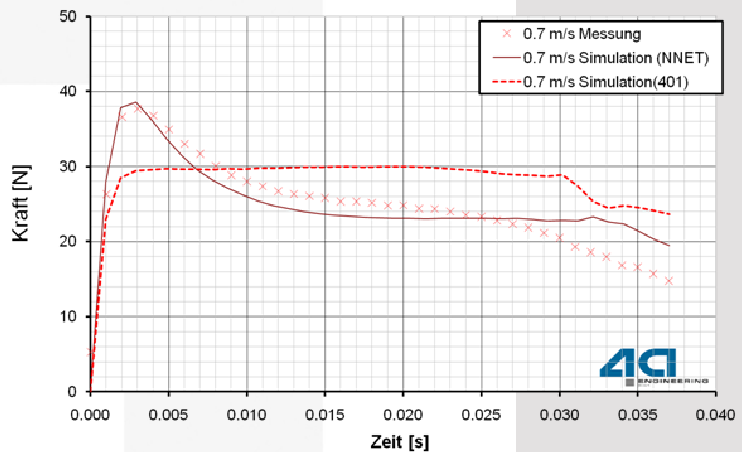
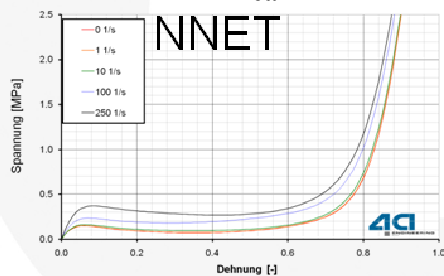
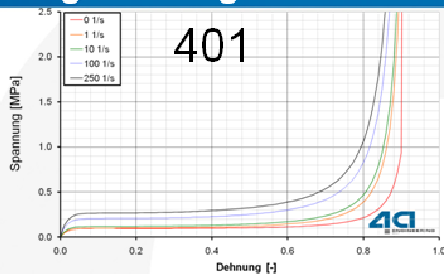
© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 27 / 33

Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# Anwendungsbeispiel Vergleich Ergebnisse



$v = 0,7 \text{ m/s}$



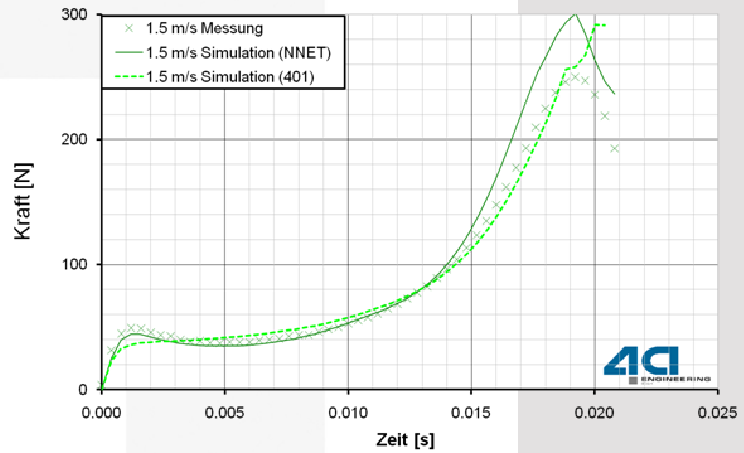
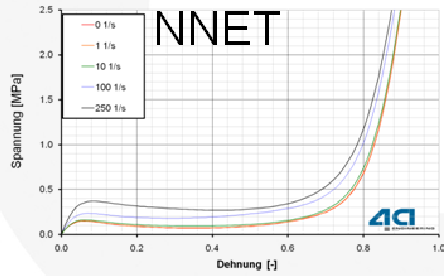
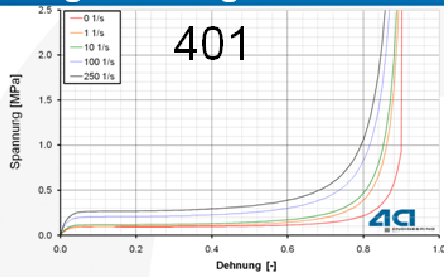
© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 28 / 33

Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# Anwendungsbeispiel Vergleich Ergebnisse



**v = 1,5 m/s**

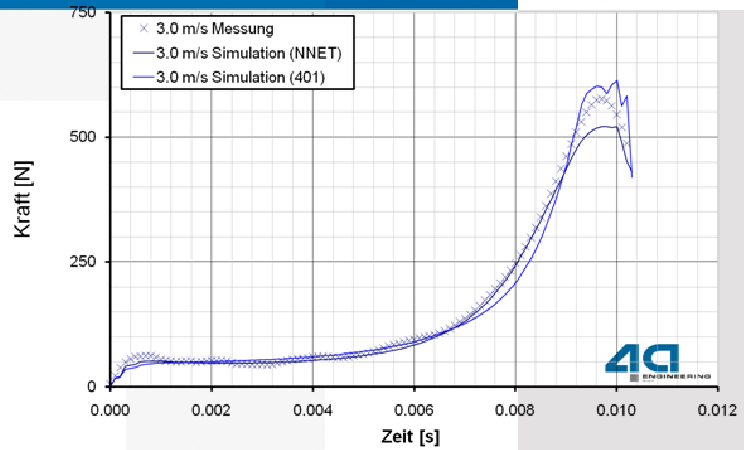
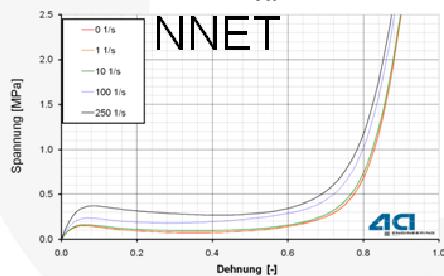
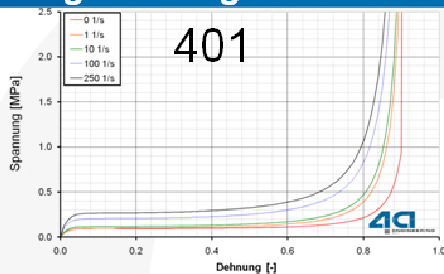


© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 28 / 33  
 Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

# Anwendungsbeispiel Vergleich Ergebnisse



**v = 3,0 m/s**



© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 30 / 33  
 Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze  
 Datum: 08/09/12  
 Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

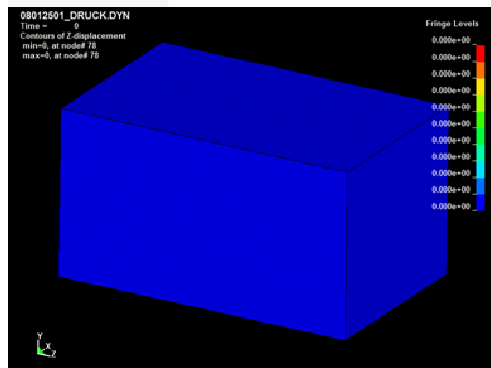


## Anwendungsbeispiel

### Anbindung von LS-DYNA in 4a Impetus



- Implementierung von Materialkarten in Materialmodell für die Steuerung externe Solver (z.B. PAM, LSDYNA, Abaqus)



```

0-----10-----20-----30-----40-----50-----60-----70-----80-----90-----100
1 #PAM+45+Schaum+7+Parameter+dehnratenabhängig
2 #F
3 #dv1:=False;1;0.5;#
4 #dv2:=False;0.1;0.01;1;#
5 #dv3:=True;0.04;1;#
6 #dv4:=False;1;1;20;#
7 #dv5:=True;1;1;#
8 #dv6:=False;0.01;1;1E-05;20;#
9 #dv7:=True;0.0001;1;#
10 # bereits-vergebene-Namen#
11 # eps, 'epspkt, 'pac, 'dvl-dv99#
12 .#
13 .#
14 .#
15 0:0:sigma(eps,epspkt,e,a,b,c,d,f,g)#
16 short:#
17 DV2*(1+log((epspkt+DV6)/DV6))*(1+DV1*(exp+DV5+0.99)-exp(-(exp+DV5+0.99)/DV3)))*exp(DV5/(DV5-pov((exp+DV5+0.
18 short:option:#
19 eps:20;1;#
20 epspkt:1;#
21 epspkt:0:0;1;#
22 pacoard:#
23 # MATERIALS-5-#PSHOCKCURVES#
24 # TENSION*=0.7*#COMPRESSION
25 # ..... ID.....MATYP.....RHO.....NINT.....ISHG.....ISTRATE
26 # MATER / <<ID_MAT;ODBS>>.....45.....<<db_rh;100000000;3D10S>>.....0.....2.....0.....0.....0.....0.....0
27 # ..... 1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....0
28 # NAME=SGID-TYP=45#
29 # .....E.....ALPHA.....HYBR.....DAMP.....SIMUL.....f0.....XBATUL.....#BATEXT#
30 <<(sig0001-sig0000)/(ep01*0.99+DV5)/100010>>.....0.000.....1.0.....0.02.....1.0.....0.0.....0.0.....0.0.....
31 # tension=curves#
32 # ..... FUNCT1..... FUNCT2..... FUNCT3..... FUNCT4..... FUNCT5..... FUNCT6..... FUNCT7..... FUNCT8#
33 # <<ID_FUNC0;ODBS>>.....<<ID_FUNC1;ODBS>>.....<<ID_FUNC2;ODBS>>.....<<ID_FUNC3;ODBS>>.....<<ID_FUNC4;ODBS>>#
34 # .....RATE1.....RATE2.....RATE3.....RATE4.....RATE5.....RATE6.....RATE7.....RATE8#
35 .#
36 .#
37 .#
38 #pscard:#
39 # MAT_TU_CHANG_FORM.....#
40 # ..... MID.....RO.....E.....G.....TC.....ZAL.....DAMP#
41 # <<ID_MAT;ODBS>><<db_rh;3D10S>><<(sig0001-sig0000)/(ep01*0.99+DV5)+1000000:10>>.....0.000<<(sig0001-sig
42 # ..bvflag.....sflag.....tflag.....pvid.....raf.....ref#
43 # .....0.000.....0.000.....0.000.....0.000.....0.000.....0.000.....0.000.....0.000#
44 # .....d0.....d1.....d2.....d3.....d4.....d5.....d6.....d7.....d8.....d9.....#
45 # .....c0.....c1.....c2.....c3.....c4.....c5.....c6.....c7.....c8.....c9.....#
46 # .....m0.....m1.....m2.....m3.....m4.....m5.....m6.....m7.....m8.....m9.....#
47 # .....0.000.....0.000.....0.000.....0.000.....0.000.....0.000.....0.000.....0.000#
48 # .....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....#
49 # .....LOAD_CURVE_CARD#
50 # .....#
51 # .....#
52 # .....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....#

```

© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 31 / 33

Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze

Datum: 08/09/12

Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

## Anwendungsbeispiel

### Anbindung von LS-DYNA in 4a Impetus



- Durch Anbindung externer Solver wie LS-Dyna kann direkt das
  - Materialmodell (z.B. Low Density Foam, Fu Chang Foam) oder
  - verwendete Dehnraten (Tabellenform) angepasst werden oder Feintuning für
    - Elementgrößen
    - Hourglassing Einstellungen gemacht werden.
- Aufgrund der geschlossenen Prozesskette vom Versuch bis zur Simulation ist dies sehr leicht möglich. Neue Erkenntnisse aus weiteren Messungen können so rasch in die Materialkarten einfließen.



© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 32 / 33

Autor: Peter Reithöfer, Martin Fritze

Datum: 08/09/12

Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

## Zusammenfassung



- Die durchgeführten Messungen für Confor Blue Foam zeigen ein ausgeprägtes erstes Kollabieren der Zellen.
- Mit Hilfe der Materialansatzfunktion kann jedoch bei Vernachlässigung des ersten Kollabierens das Gesamtverhalten gut wiedergegeben werden.
- Mit Hilfe der neuronalen Netze kann das Material sehr einfach beschrieben werden. Problematisch für das neuronale Netz sind jedoch Bereiche ohne Informationsgehalt. In diesen Bereichen kann es zu unvorhersehbaren Abbildungen des Materials kommen (z.B. negative Spannungswerte).
- Mit Hilfe einer durchgehenden Prozesskette in der Materialcharakterisierung vom Versuch bis zur validierten Materialkarte können sehr rasch neue Erkenntnisse aus Messungen in Materialkarten für unterschiedlichste Solver einfließen.



© da engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 33 / 33  
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze  
Datum: 08/09/12  
Titel: rep\_08091201\_pr\_mf\_gga\_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T