

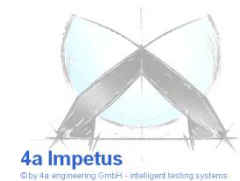
4a Impetus

Kunststoffgerechte Charakterisierung für die dynamische Simulation

Dipl. Ing. Peter Reithofer , Dipl. Ing. Martin Fritz



4a engineering GmbH
Industriepark 1
8772 Traboch
Austria



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

- Einflussfaktoren Materialverhalten Kunststoffe
 - Allgemein - Temperatur, Feuchte - dynamisches Verhalten
- Klassische Vorgehensweise
 - Prüfmaschinen, Messtechnik – Belastungssituation - Einschränkungen
- 4a Impetus
 - Motivation – Prüfmöglichkeiten
- Anwendungsbeispiel
 - Elastomere - Schäume – kompakte Kunststoffe – Kabelbaum
- 4a Impetus
 - Reverse Engineering - Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte
- Zusammenfassung
- Anhang



- Gründungsjahr 2002
- F&E - Dienstleistung
- 15 bis 20 Kernkunden
- bisher mehr als 500 Projekte
 - 45% Automotive
 - 15% Luft- und Raumfahrt
 - 15% Maschinenbau
 - 10% Medizintechnik
 - 15% Consumer goods
- Kernkompetenzen
 - Kunststoff- und Werkstoffwissenschaften
 - Numerische Simulationsmethoden
 - Leichtbau und Faserverbundwerkstoffe
 - Methodenentwicklungskompetenz

... in physics we trust





LH₂ – Innentankaufhängung

geringer Wärmeeintrag in den Innentank
Betriebs- und Crashlasten – geringer Platz
Performancesteigerung 250%



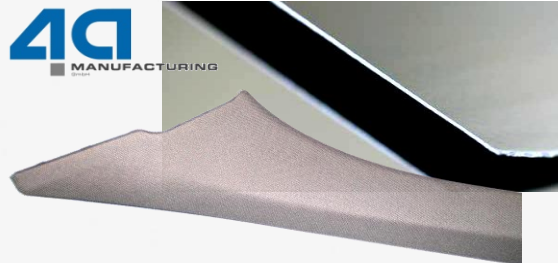
Lautsprechermembran

Hohe Steifigkeit, geringes Gewicht
Hervorragende Klangqualität
2008: 15% Weltmarktanteil



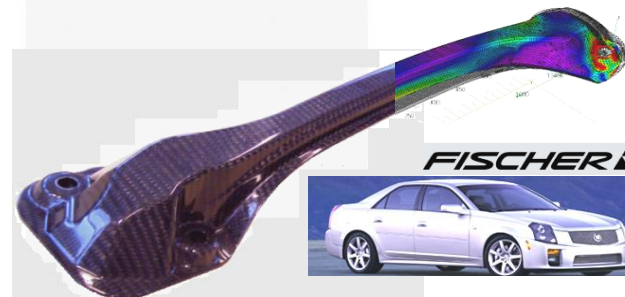
Tourenschibindung

leichteste schischuhunabhängige
Tourenschibindung der Welt
Gewichtsreduktion 40% (Mittbewerb 30%)



4a Mehrschichtverbund

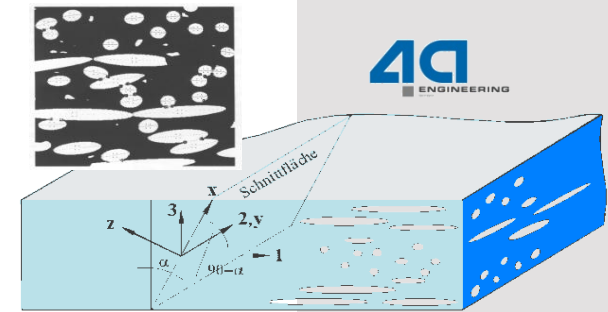
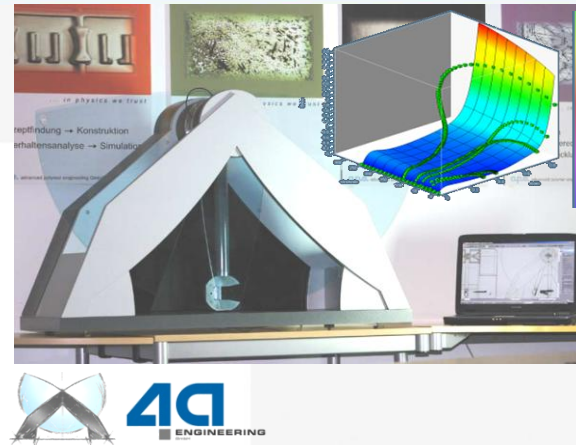
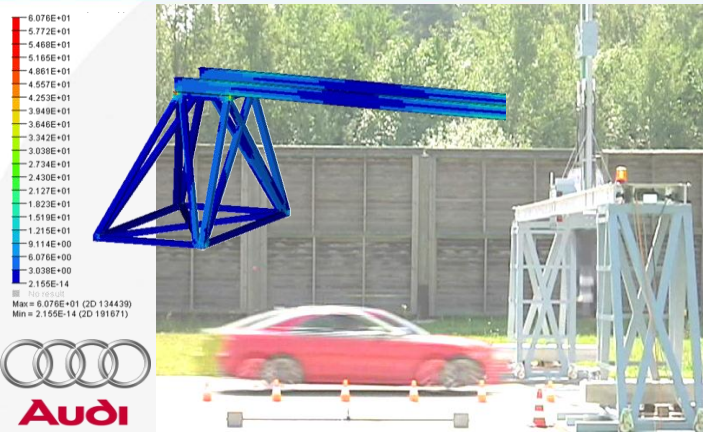
Extremes Leichtbaupotential
20% Gewichtseinsparung gegen CFK
70% Gewichtseinsparung gegen PP



RTM – CFK - Domstrebe

Substitution einer Stahl-Domstrebe
aus Stahl durch eine CFK – Lösung
60 % Gewichtsreduktion





GFK - Prüfstand

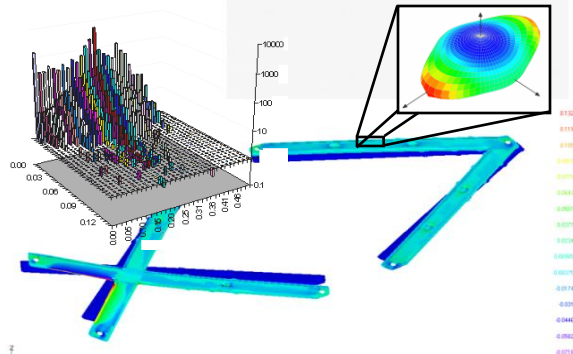
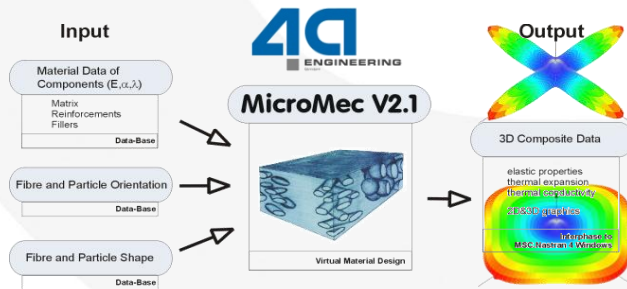
Entwickelt – Gebaut - Geliefert
60 g Beschleunigung eines FG - Dummies
BxTxH 14 x 3 x 6 m → 800 kg

4a Impetus

Einzigartiges Pendelprüfsystem
Simultane numerische Simulation
Automatische Materialkarte (LSDyna...)

4a Bildanalyzesystem

Orientierungswinkel aus Schnittellipsen
mehrere 1000 Fasern pro Messung
Ableitung von 3D Orientierungstensoren



4a Micromec

Mikromechanik Programm
Ermittlung der thermomechanischen Eigenschaften von Faserverbunden

4a Fatigue - Composites

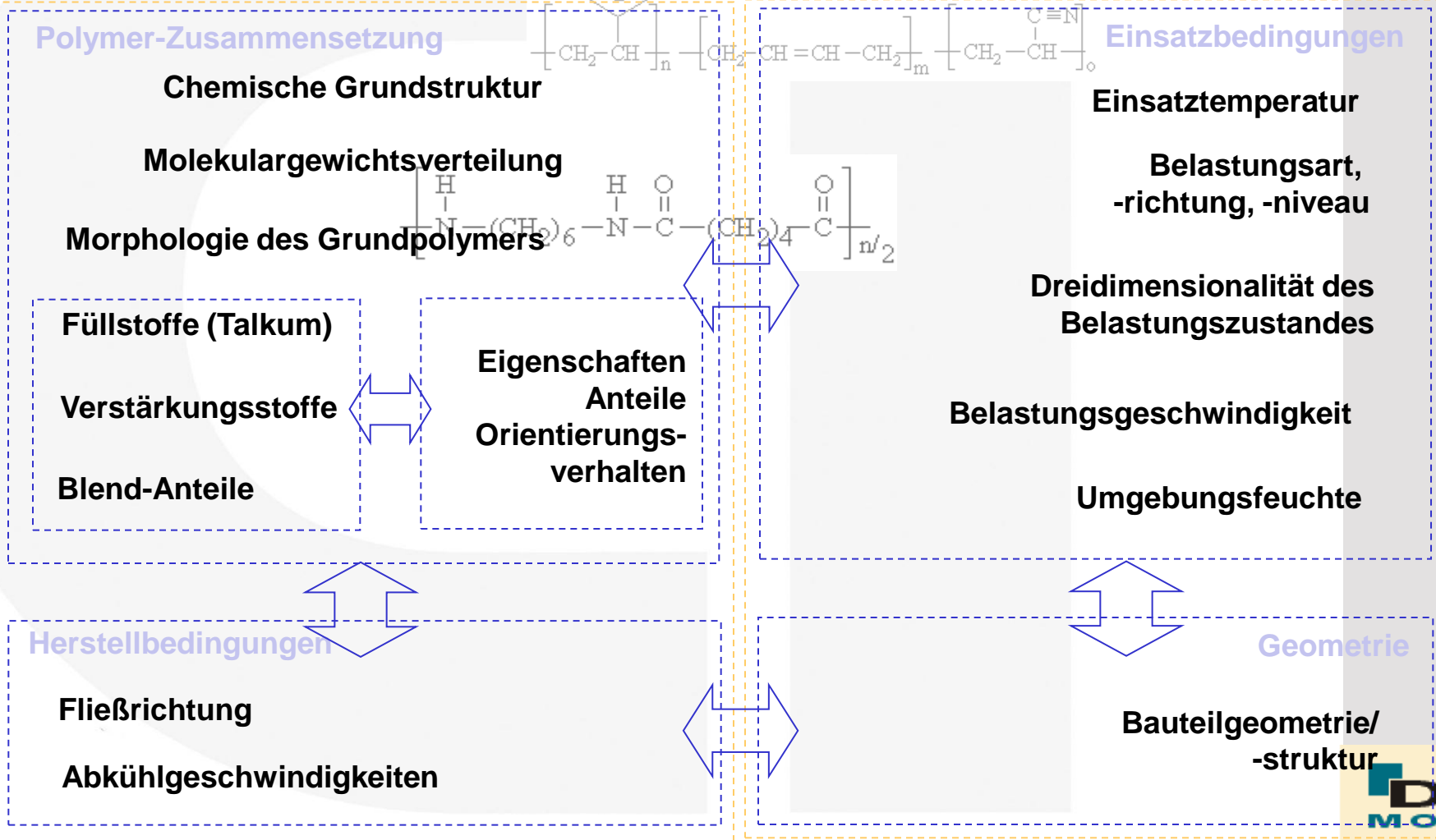
Lineare Schadensakkumulation
Versagensgesetz nach Puck
Berücksichtigung der Anisotropie

4a Fibermapping

Berücksichtigung der Faserorientierung in
Struktursimulation von Kurz- und Langfaser
verbundwerkstoffe

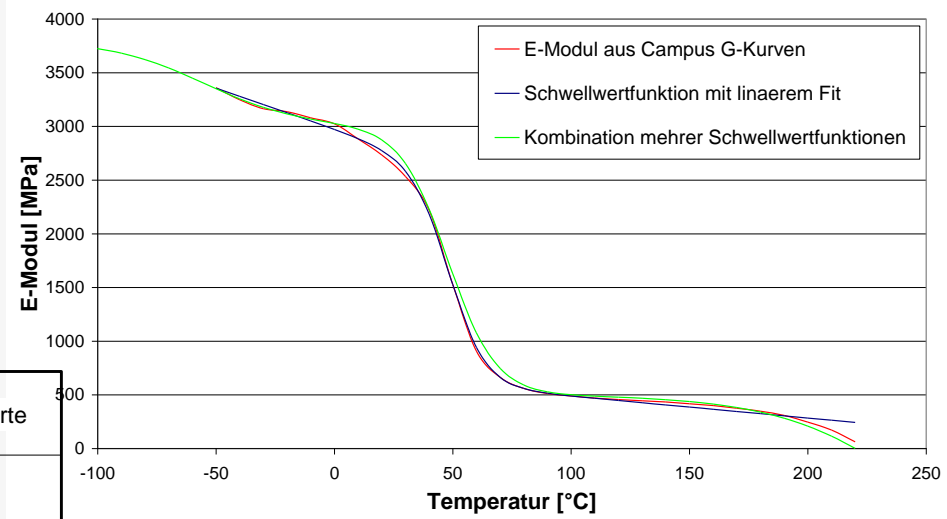
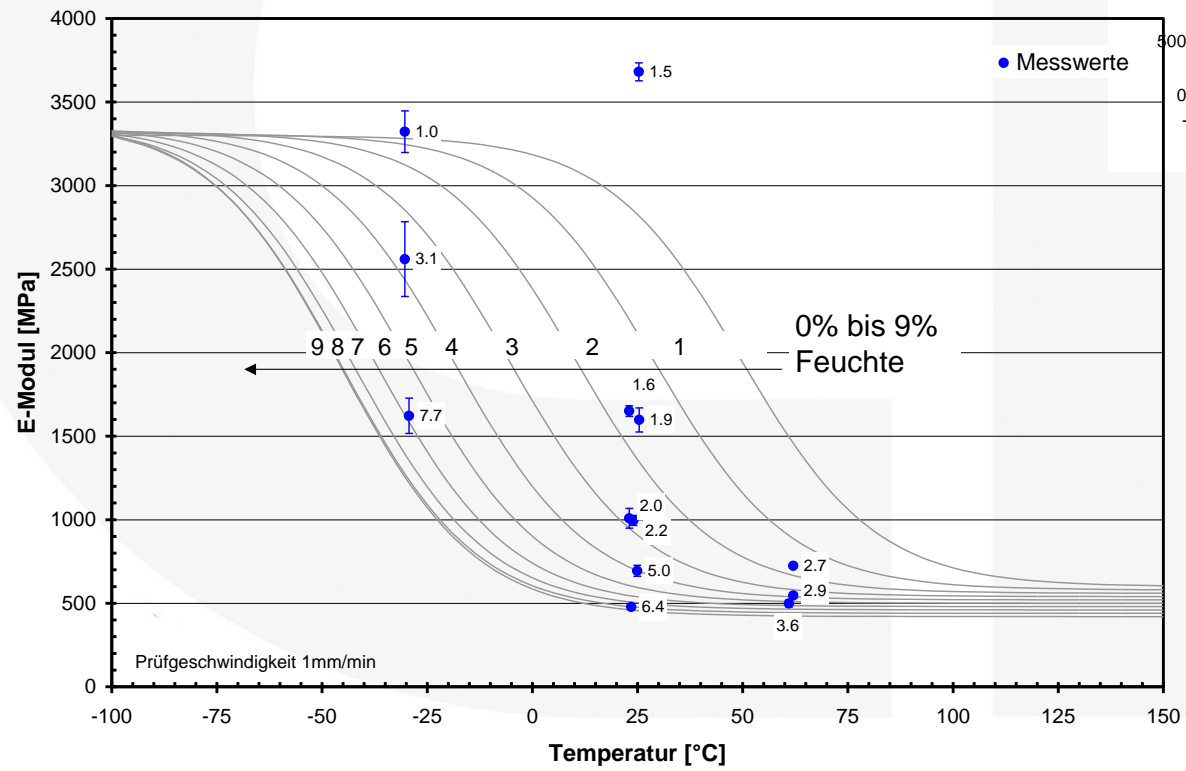
Material

Anwendung



Einflussfaktoren Materialverhalten Kunststoffe

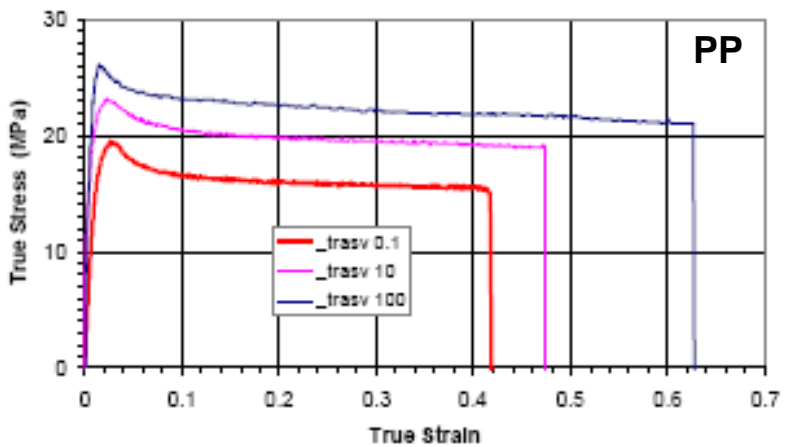
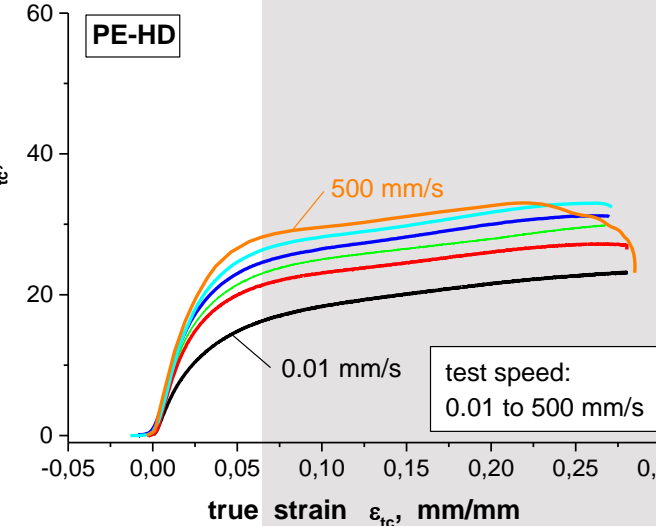
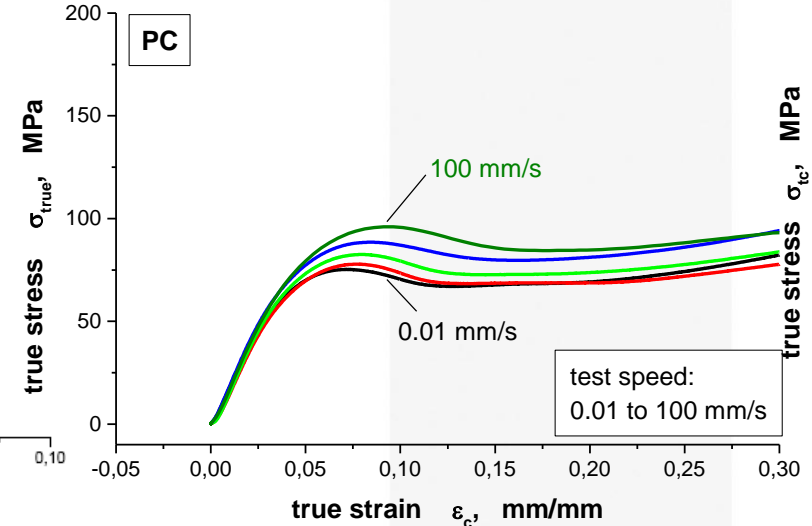
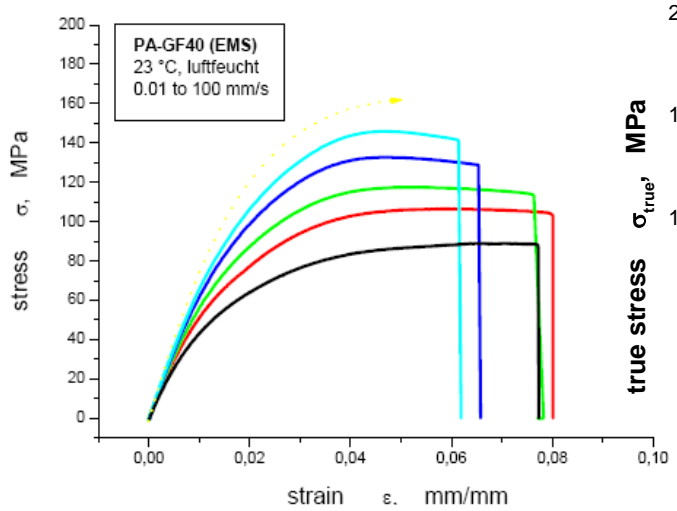
Temperatur, Feuchte



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Je nach Material ist das dynamische Verhalten mehr oder weniger ausgeprägt.

Beispielhaft dargestellt für unterschiedliche Materialien. [1], [2], [3]

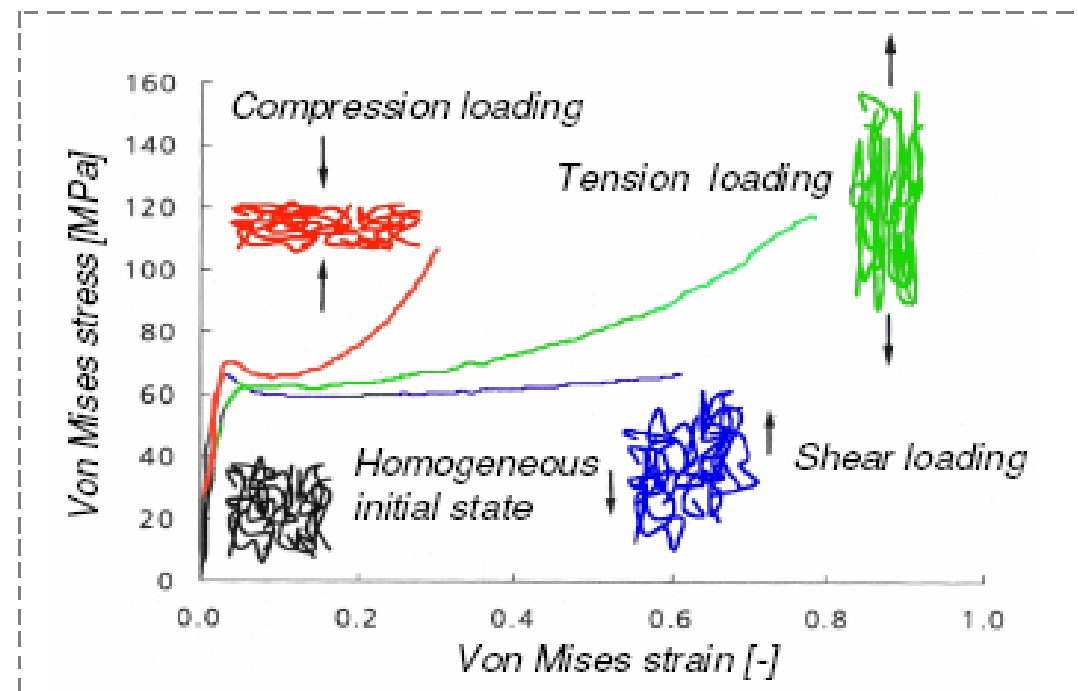
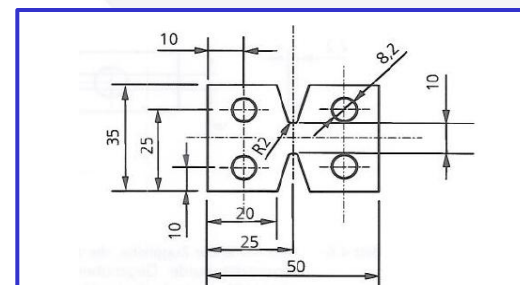
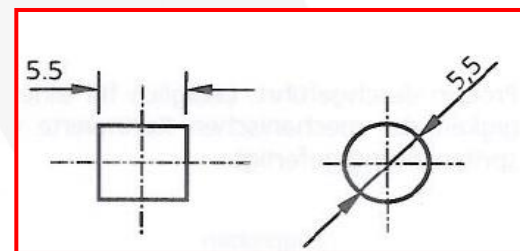
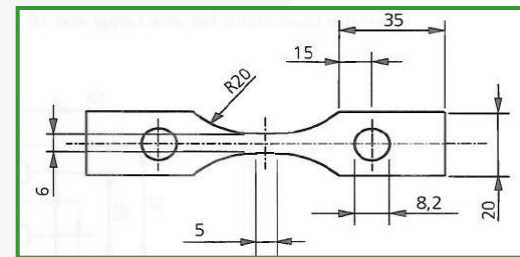


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Je nach Anforderungen und Einsatzgebiet können unterschiedliche Prüfmaschinen zum Einsatz kommen

- Fallturm
ohne ($v \sim 7$ m/s) und mit Vorbeschleunigung ($v \sim 20$ m/s)
- Pendel
Einfach- ($v \sim 5$ m/s) oder Doppelpendel ($v \sim 10$ m/s)
- Servohydraulische Maschine (bis zu ~ 20 m/s)
- Hopkinson Bar (Spezieller Aufbau für hochdynamische Charakterisierung)
- Je nach Prüfaufbau werden
Kräfte, Beschleunigungen direkt gemessen.
Verformungen (Dehnungen) meist über optische Verfahren → Lokales Messen möglich

Um zum Beispiel von Kunststoffen das unterschiedliche von der Belastungssituation abhängige typische mechanische Verhalten zu untersuchen, werden spezielle Prüfgeometrien als auch optische Messverfahren (z.B. Graufeldanalyse) benötigt. [4] [5] [6] Trotz des hohen Aufwandes ist nicht gewährleistet bei jeder Prüfbedingung hinreichende Informationen aus den Materialversuchen zu gewinnen (z.B. zu hohe Geschwindigkeit aufgrund von Lokalisierung, Prüfbedingen bei dem das optische Verfahren keine Ergebnisse liefert)



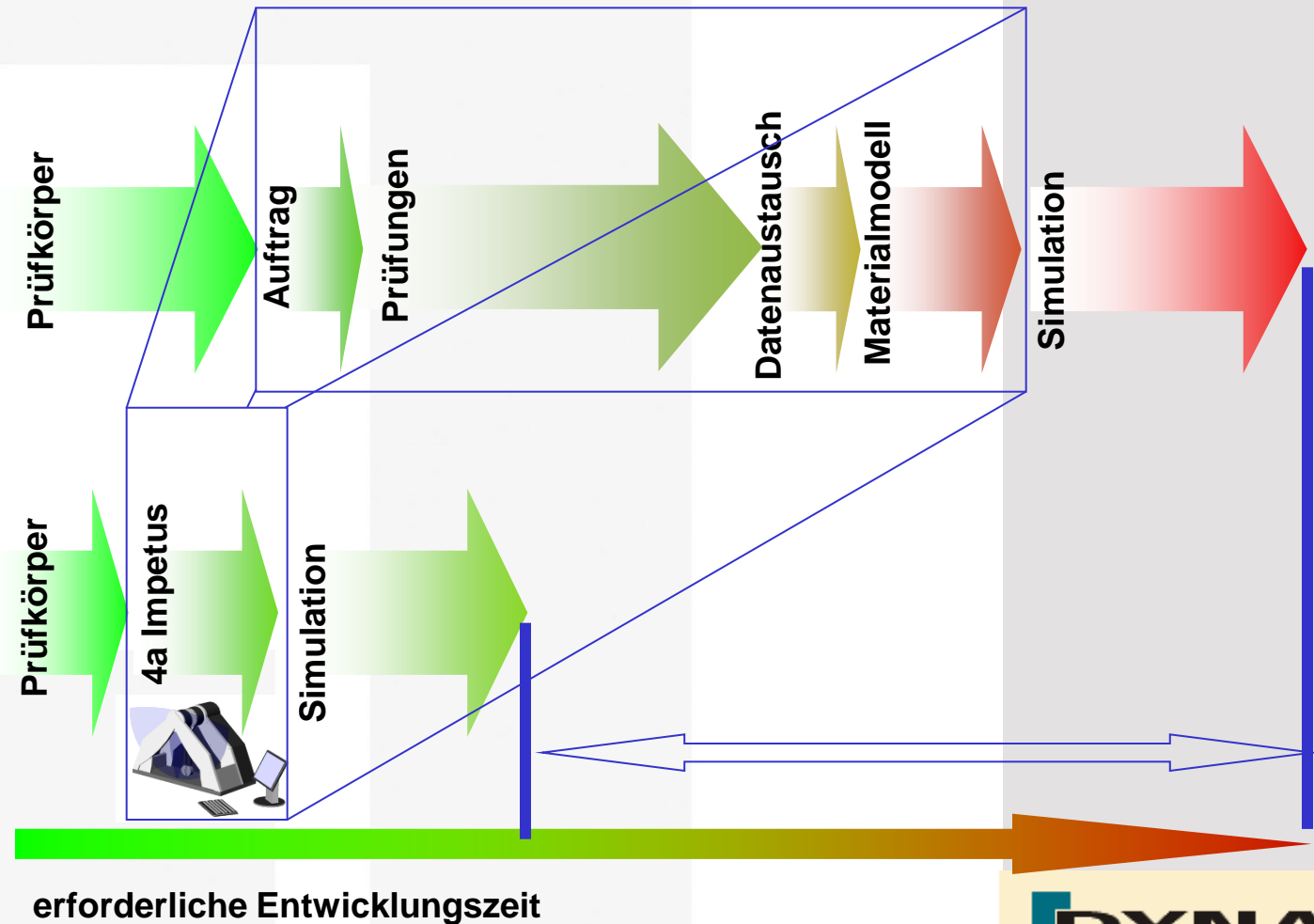
Einschränkungen

- Unabhängig davon ist aufgrund der optischen Dehnungsmessung (Grauwertkorrelationsanalyse) mit einem höheren Aufwand (u.a. Beleuchtung, Datenmengen, Auswertung) zu rechnen.
- Während der Messung ist keine konstante Dehnrates gewährleistet.
- Trotz spezieller Prüfkörper ist der gewollte Spannungszustand (z.B. Schub bei DKI oder Junginger Probekörper) während der gesamten Messung nicht eindeutig gegeben.
- Aufgrund von Einschnürung (Lokalisierung) und den damit verbundenen raschen Verformungen kann es sein, dass optische Verfahren nicht die benötigte Samplerate erreichen können.

Daher erfolgt in den meisten Fällen

- Eine zusätzliche Validierung der Versuche mittels Simulation
- oder ein Reverse Engineering um Aussagen in nicht messbaren Bereichen tätigen zu können.

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



- **Prüfungsarten**
 - Elastomere, geschäumte Polymere, unverstärkte und verstärkte Thermoplaste, Duroplaste,
 - Druckversuch → (TxBxL)max 60 x 40 x 40 mm
 - Biegeversuch → (TxBxL)max 40 x 40 x 250 mm
 - Durchstoßversuch → (TxBxL)max 60 x 40 x 40 mm
 - Komponenten → (TxBxL)max 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 dem Nullpunkt**



Probe-
körper-
herstellung

seriennaher Probekörper
(Flachprobe aus realen Herstellungsverfahren)

Versuchs-
durch-
führung

realitätsnahe Belastungsart
(dynamische Biegebelastung)

kostengünstige antriebsfreie Belastung der Probekörper
(Pendelmasse – potentielle und kinematische Energie)

Aus-
werte-
verfahren

semianalytisches Auswerteverfahren
(analytische Auswerteverfahren sowie eventuelle Verwendung von Neuronalen Netzwerken zur schnelleren Startwertfindung, Optische Auswerteverfahren)

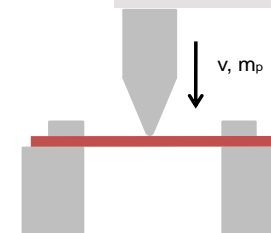
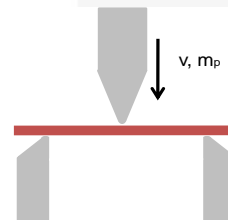
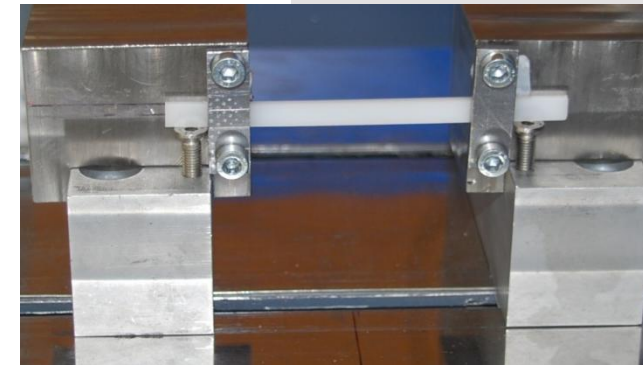
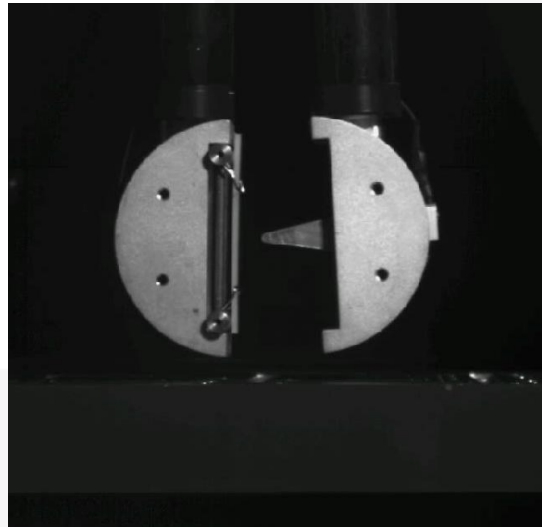
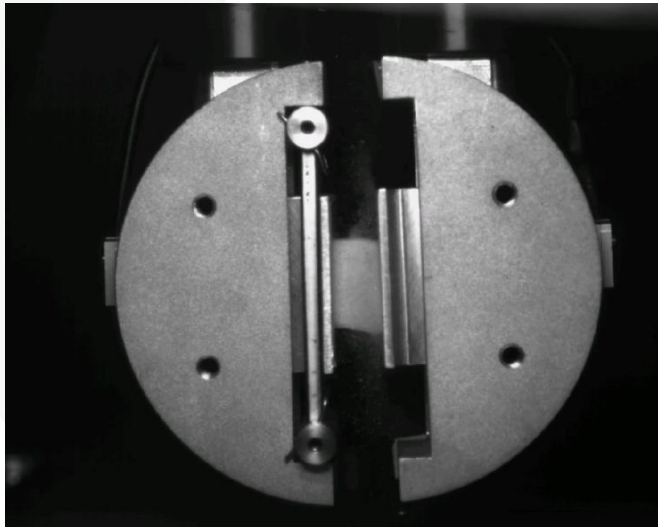
**Lösung der entstehenden komplexen Belastungssituation durch
simultane Simulation**
(explizite Simulation)

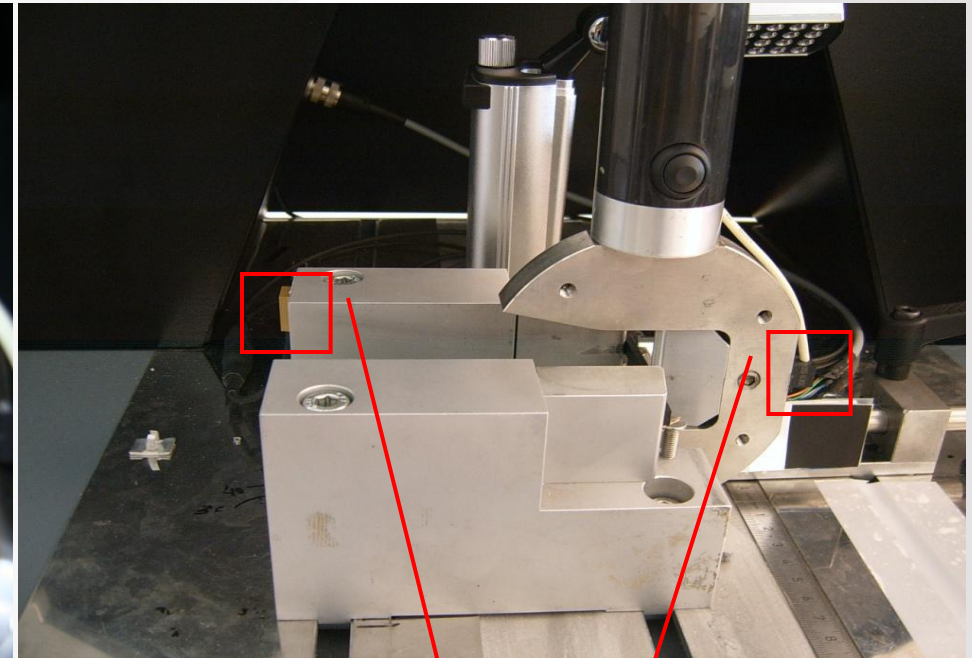
Werte-
rückgabe

**Rückgabe von Materialdaten für die Simulation oder
direkte Verwendung**

(Ausgabe im entsprechend optimalen Format –
Messkurven – Materialkarten – stochastische Ausgabemöglichkeiten)

- Druckversuch (Schaumwerkstoffe)
- Biegeversuch (kompakte Werkstoffe)
- Gespannter Biegeversuch (dominierender Zuganteil)
- Durchstoßversuch (für Textilien)





Dynamische 3 Punktbiegung

Pendelkopfmasse: 560 – 2110 g

Prüfgeschwindigkeit: 1 – 4 m/s

Finnen und Widerlagerradius 2 mm

Auflagerbacken und Prüffinne aus Stahl verwendet.

Der Auflagerabstand und Prüfgeschwindigkeit wurden aufeinander abgestimmt.

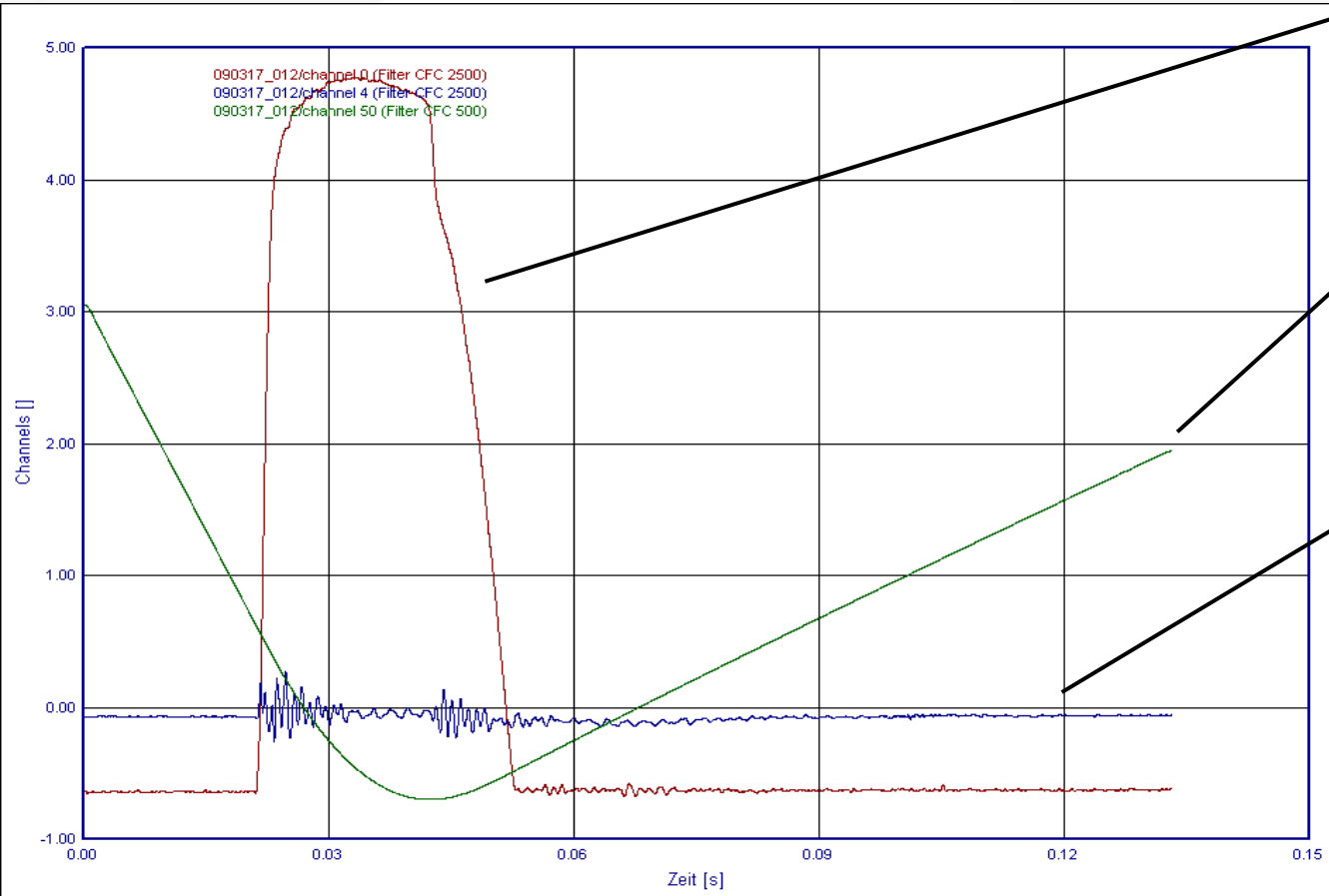
50 g Beschleunigungssensoren am
Pendelkopf und am Widerlager

4a Impetus

Beispielmesssignale dynamische Biegeprüfung

$m_{\text{Hammer}}: 2118.2 \text{ g}$

$V_{\text{Aufprall}}: 1 \text{ m/s}$



Beschleunigungssignal
des Pendels

Winkelsignal

Beschleunigungssignal am
Widerlager

Bestimmung der Messgrößen – dynamische Biegeprüfung

- Die Kraft wird über das Beschleunigungssignal berechnet

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

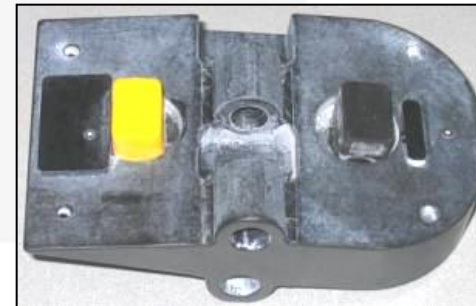
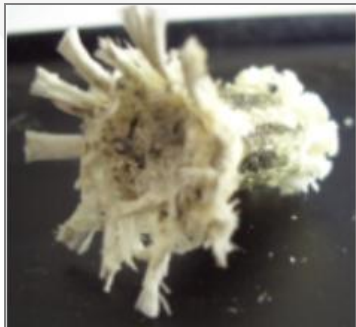
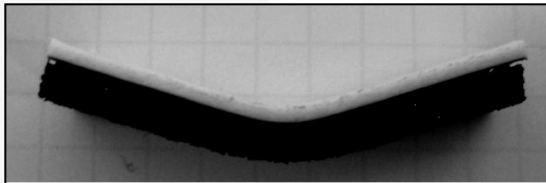
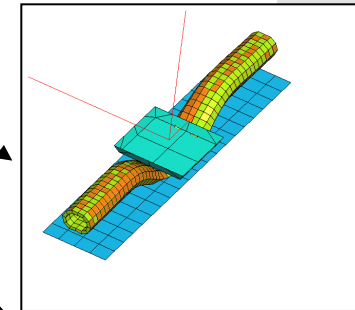
- Der Weg s errechnet sich über Integration der gemessenen Beschleunigung

$$v_i = v_{i-1} + a_i \cdot \Delta t$$

$$s_i = s_{i-1} + v_i \cdot \Delta t$$

- Aufprallgeschwindigkeit wird aus der gemessenen Winkelgeschwindigkeit ermittelt.

- Kabelbaum
- Wasserschläuche
- Bremsleitungen
- Airbagmodul
- Sonnenblende
- Geschäumt Bauteile
- Wirbelkörper
- Mehrschichtaufbauten

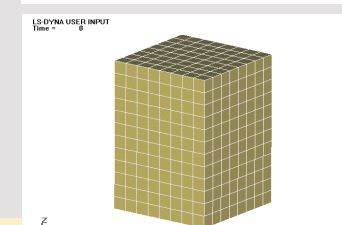
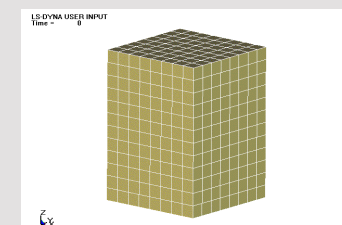
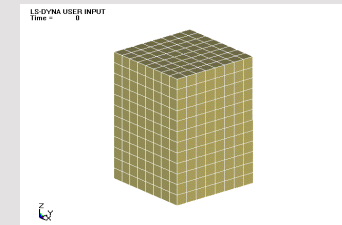
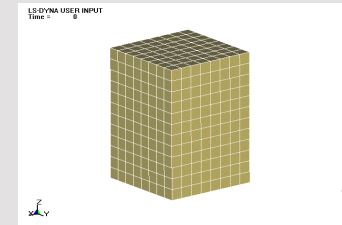
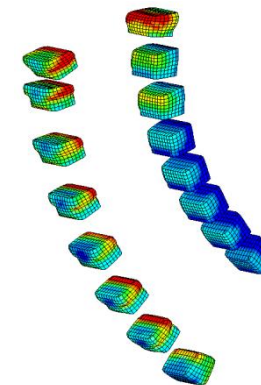
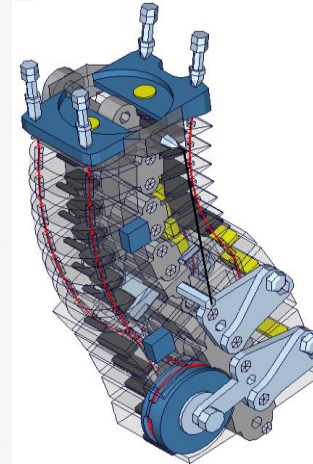
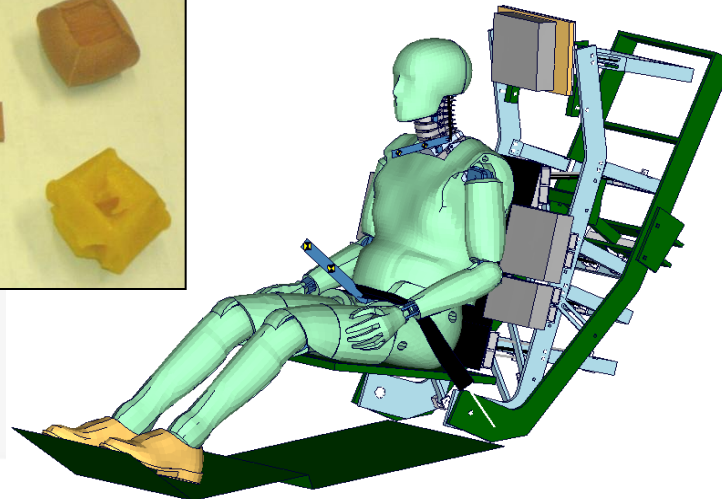
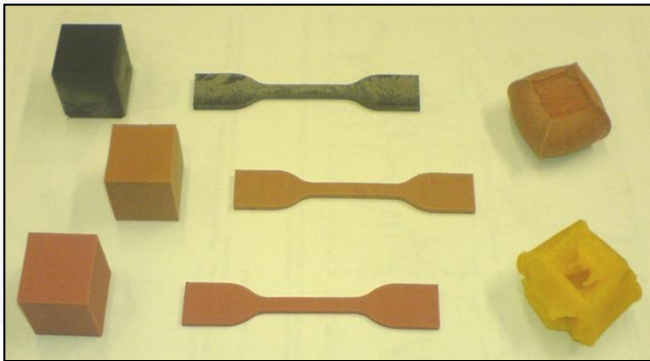


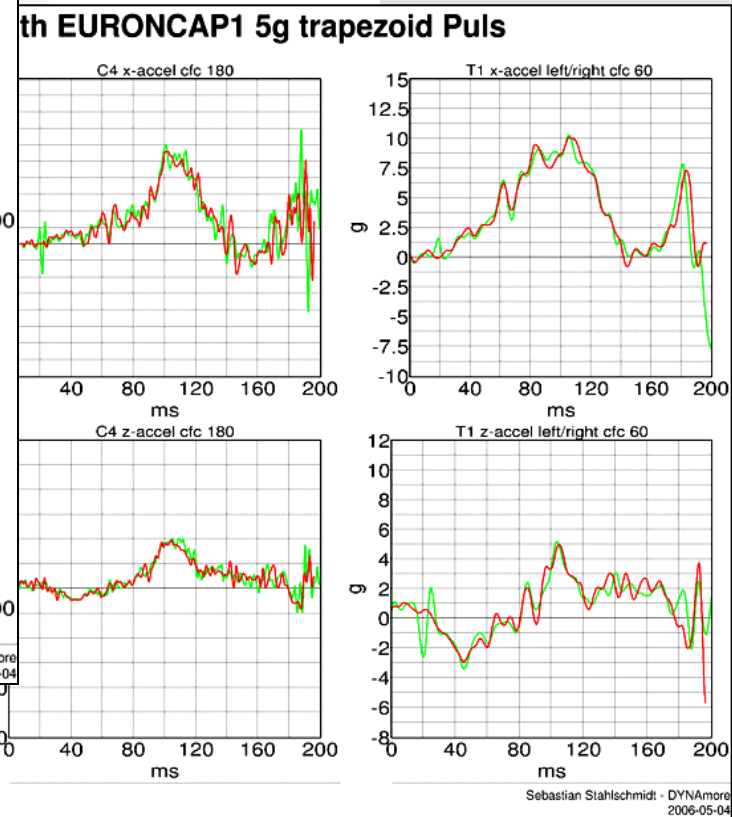
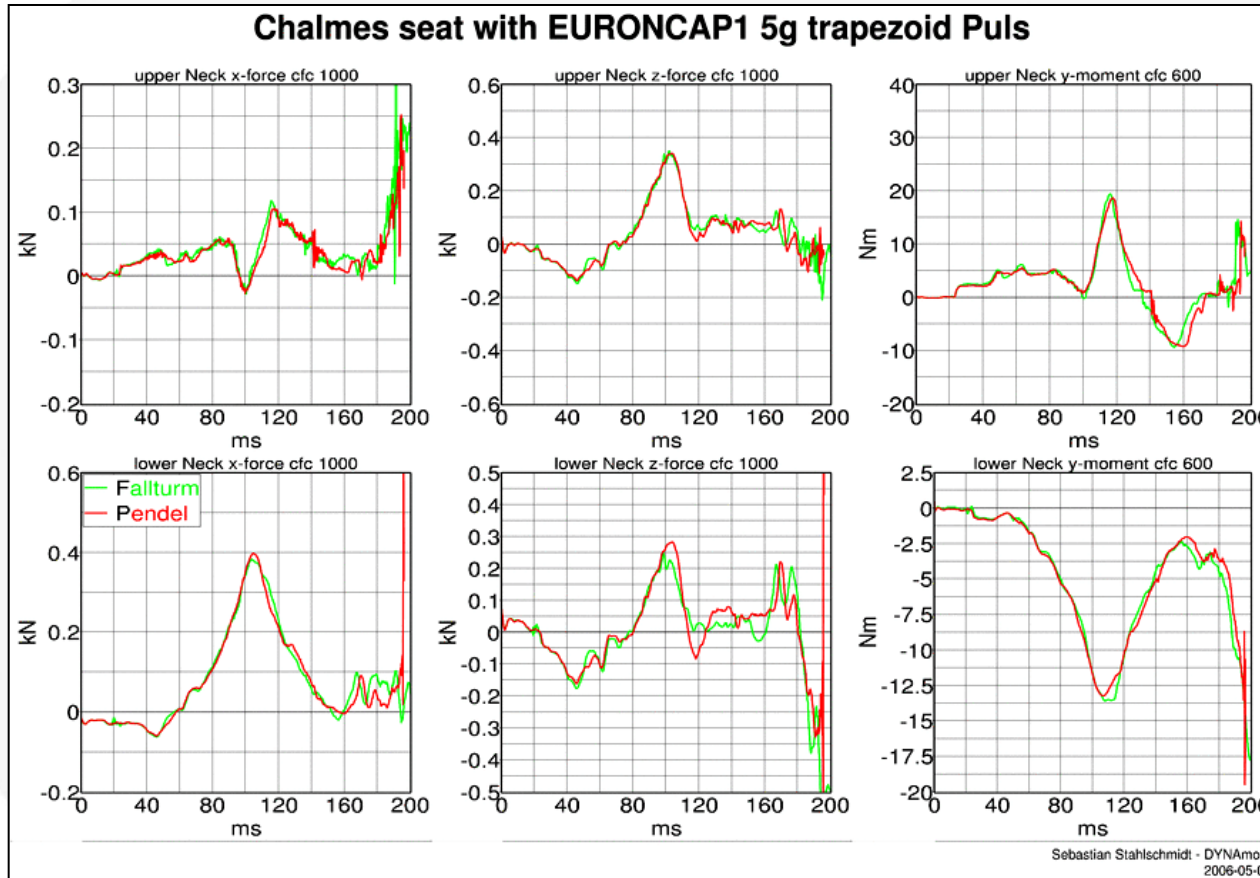
➤ Materialdaten I (Fallturm)

- *MAT_SIMPLIFIED_RUBBER
- Quasistatische Zug- und Druckversuche
- Dynamische Zug- und Druckversuche mit Dehnraten von 0.001, 0.1, 10, 100, 500 [1/s]

➤ Materialdaten II (Impetus II)

- *MAT_MOONEY_RIVLIN_RUBBER
- Druckversuche mit Impetus II
- **Anfangsdehnrate** 30, 75, 165, 250 1/s





Vergleich zwischen Daten von 4a Impetus
und Zug- und Druckdaten



➤ Materialdaten I (Prüfmaschine MTS® 831)

- Impact-Beanspruchung: bis 6 m/s
- Kraftbereich: bis 100 kN

➤ Materialdaten II (Impetus II)

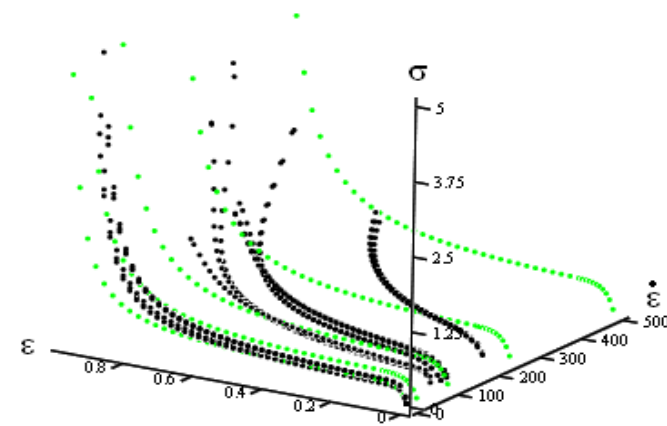
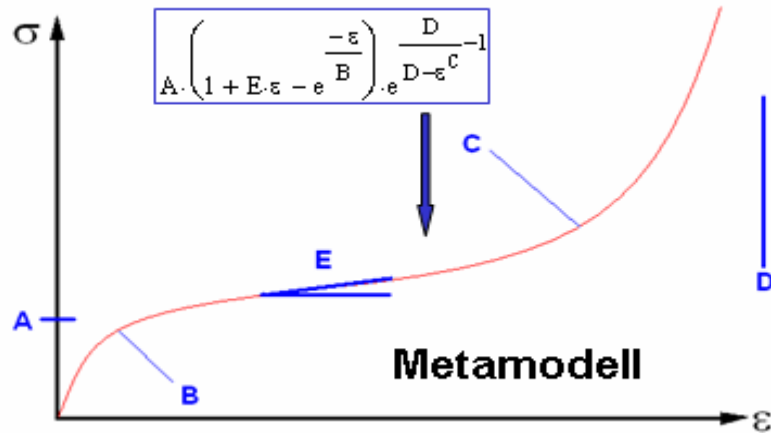
- *MAT_LOW_Density_Foam
- Druckversuche mit Impetus II

➤ Vergleich Hydropuls direkt – Pendel direkt - Metamodell

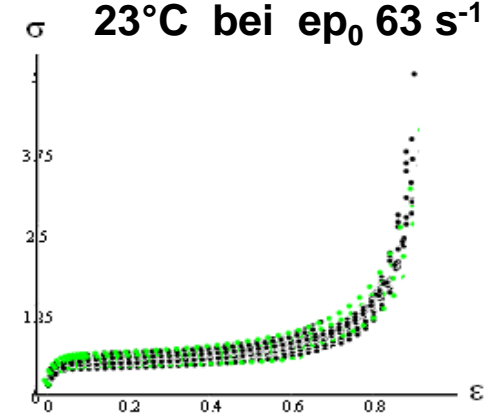
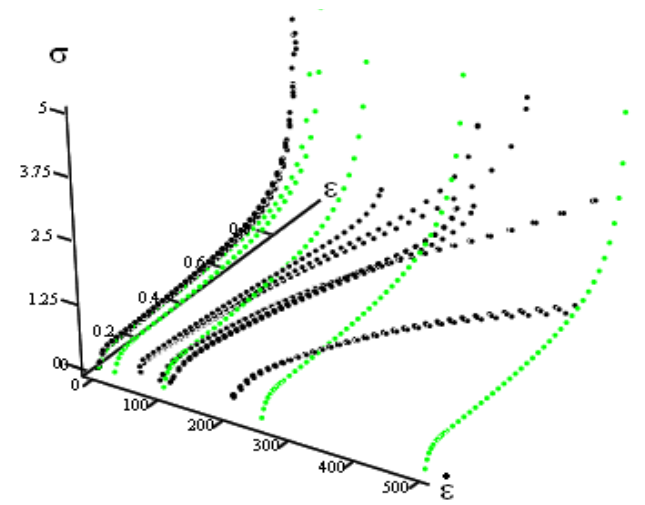
Dehnrage [1/s]	Temp. [°C]	EPP30	EPP45	EPP60	PU45	PU60	Abmaße	Anzahl der Prüfungen
1	-25						20x20x30mm	
	23	3H	3H	3H	3H	3H	20x20x30mm	15
	65						20x20x30mm	
50	-25	3P	3P	3P	3P	3P	20x20x30mm	15
	23	3P+3H	3P+3H	3P+3H	3P+3H	3P+3H	20x20x30mm	30
	65	3P	3P	3P	3P	3P	20x20x30mm	15
100	-25	3P	3P	3P	3P	3P	20x20x20mm	15
	23	3P+3H	3P+3H	3P+3H	3P+3H	3P+3H	20x20x20mm	30
	65	3P	3P	3P	3P	3P	20x20x20mm	15
200	-25	3P	3P	3P	3P	3P	20x20x20mm	15
	23	3P+3H	3P+3H	3P+3H	3P+3H	3P+3H	20x20x20mm	30
	65	3P	3P	3P	3P	3P	20x20x20mm	15
								195

Anwendungsbeispiel

Schäume / Vergleich mit Hydropulsdaten

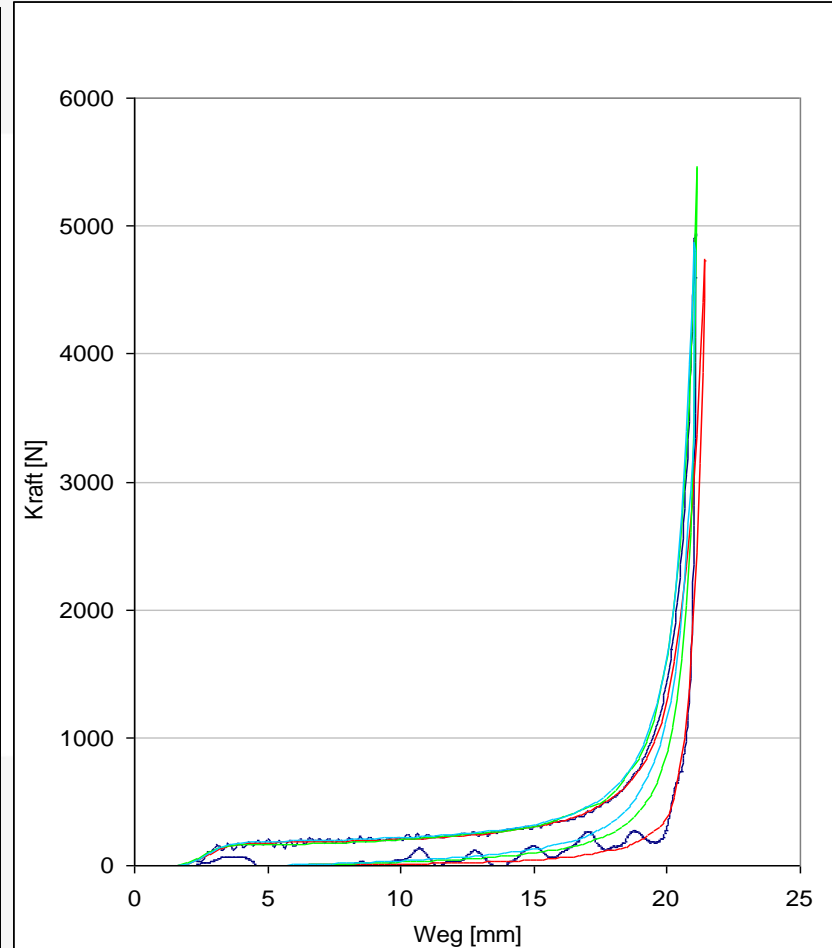
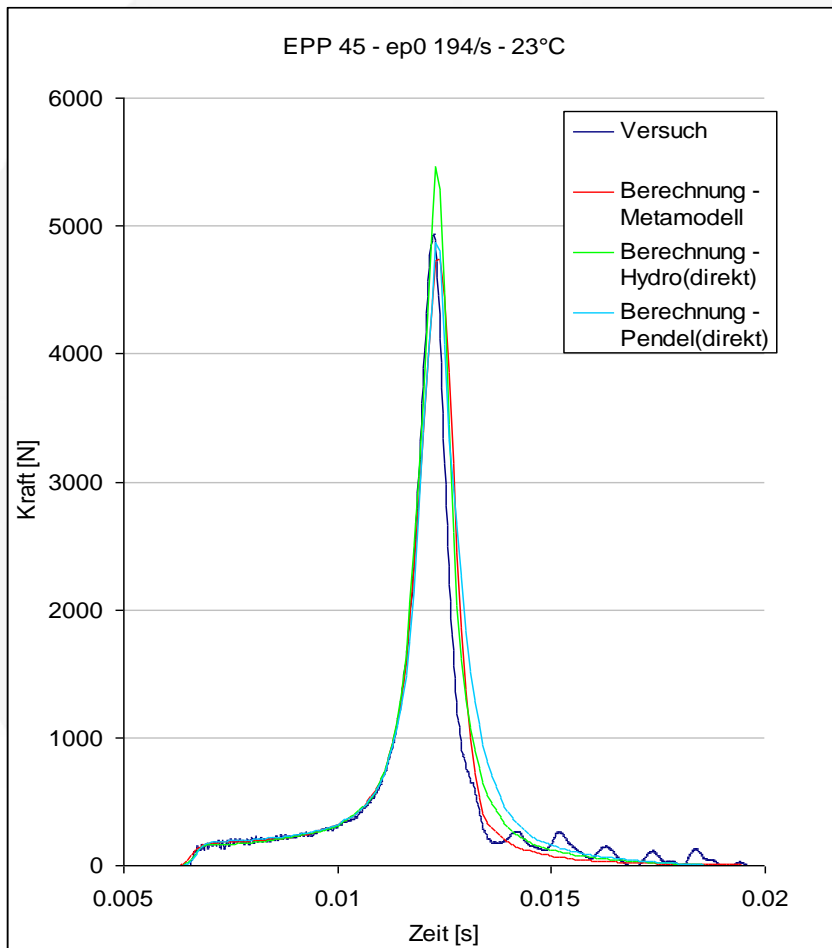


EPP RG 45
23°C bei $\dot{\varepsilon}_0$ 63 s⁻¹



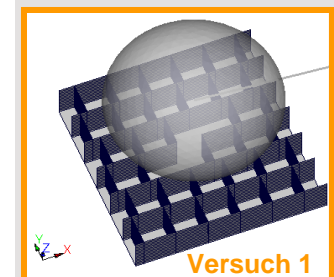
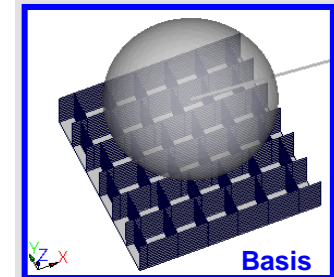
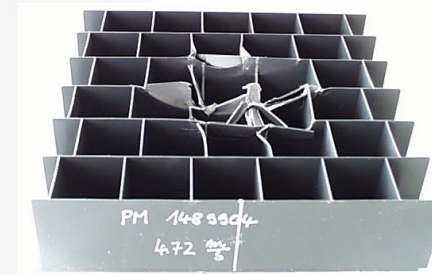
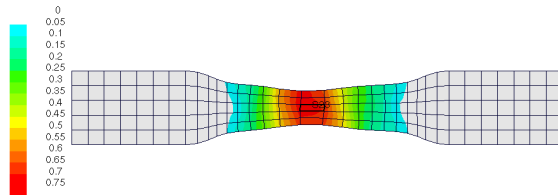
Anwendungsbeispiel

Schäume / Vergleich mit Hydropulsdaten

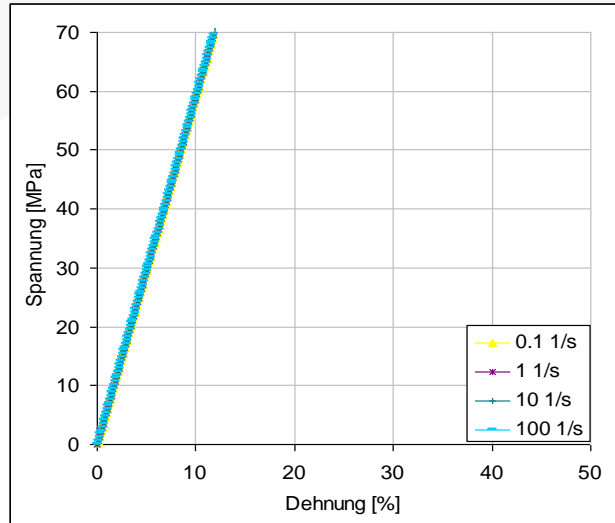


EPP RG 45
23°C bei ep_0 194 s⁻¹

- **dynamische Aufschlagversuche (mit ECE-R21 Kopfpendel, 6 Versuche):**
 - Belastungsgeschwindigkeiten 4.7 m/sec und 6.5 m/sec
 - Impactor: 6.8 kg Impactor, d=165mm, L=800 mm
 - statistische Wiederholung: 3 Versuche pro Geschwindigkeit (6 Versuche)
 - Aufzeichnung von Beschleunigungs-Zeit-Verlauf (Beschleunigungssensor)
- **Bruchdehnung der Zugdaten über reverse engineering (0.7 - 0.85)**

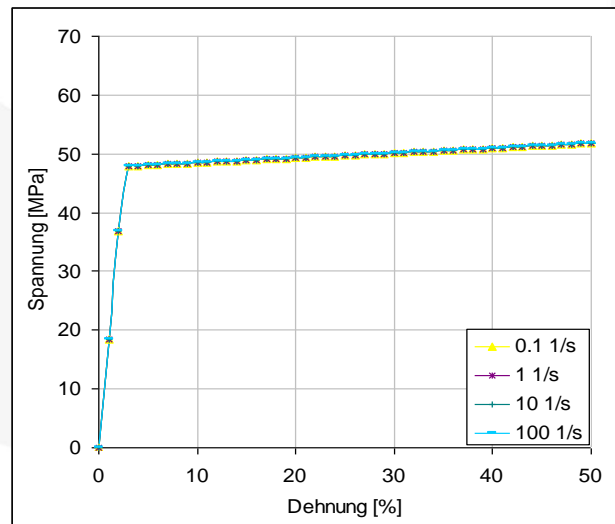
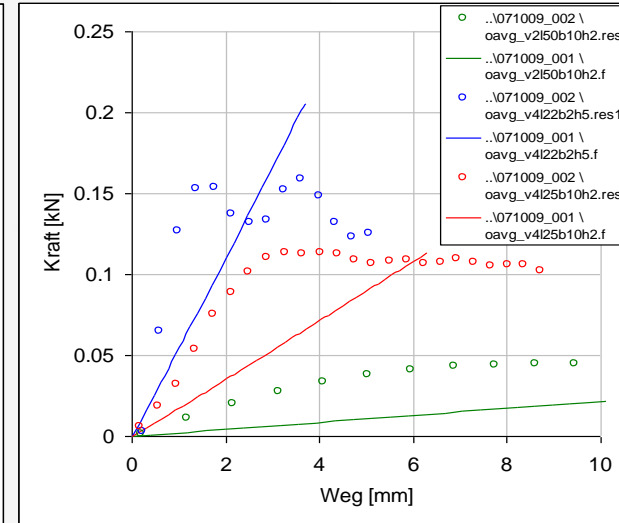


Materialfunktion

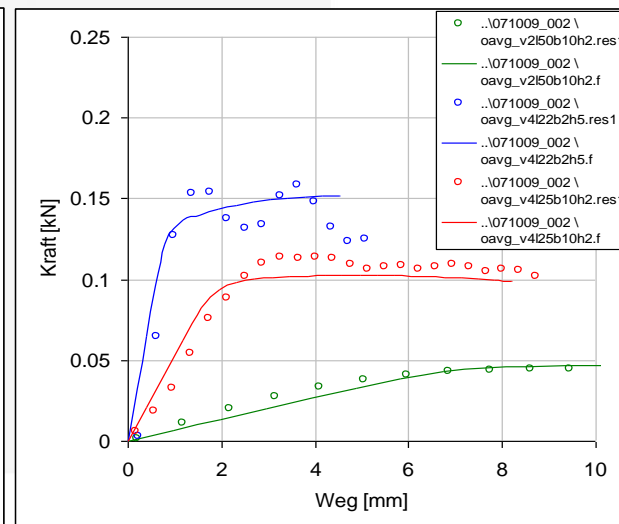


➤ **Elastisch**

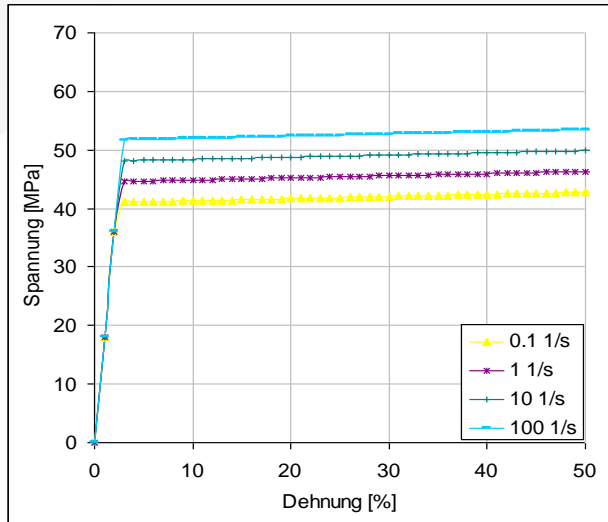
Biegeversuche



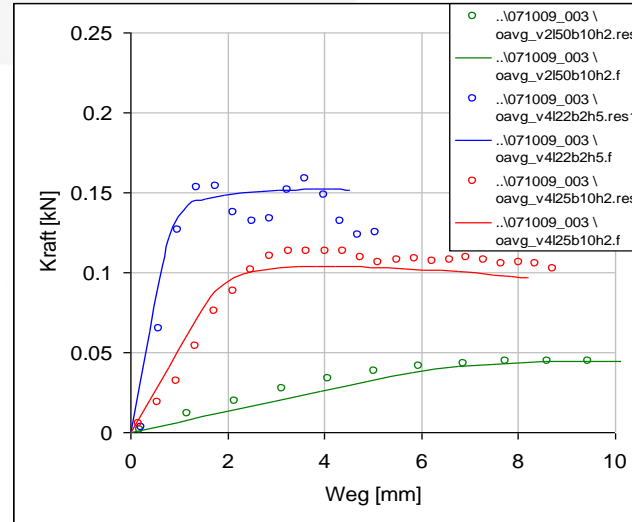
➤ **Bilinear**
➤ **Plastisch**



Materialfunktion

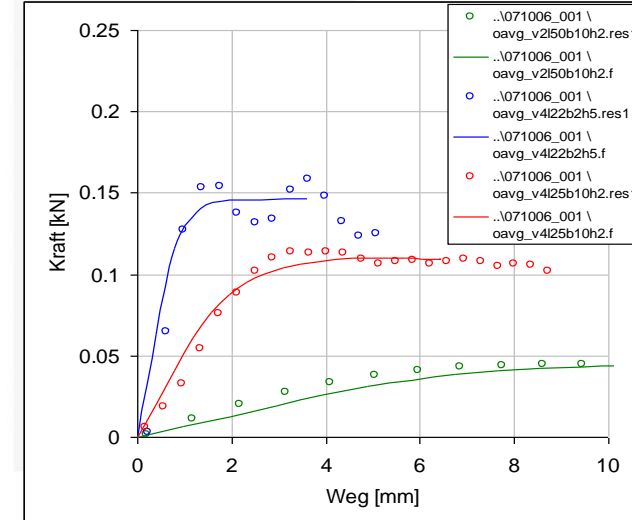
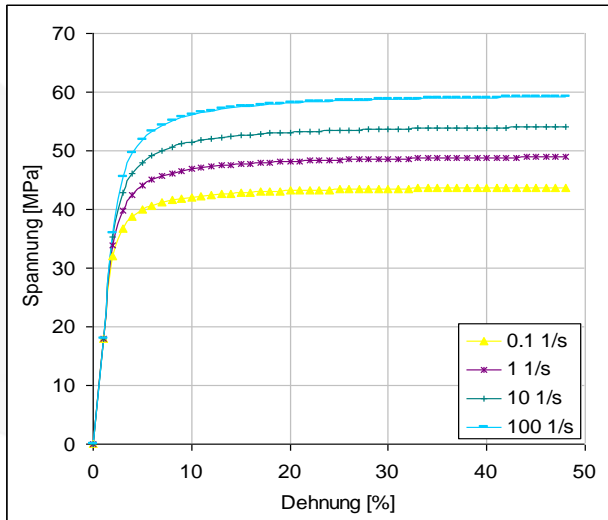


Biegeversuche



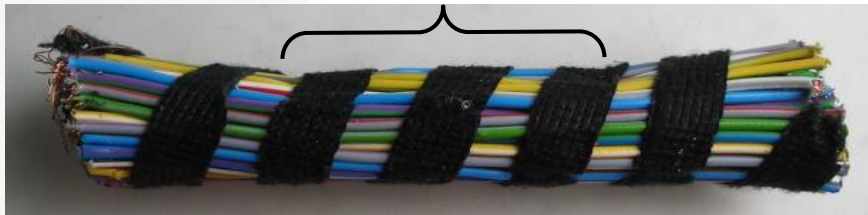
➤ Bilinear
➤ Visko-
plastisch

➤ 3 – Para.
➤ Visko-
plastisch

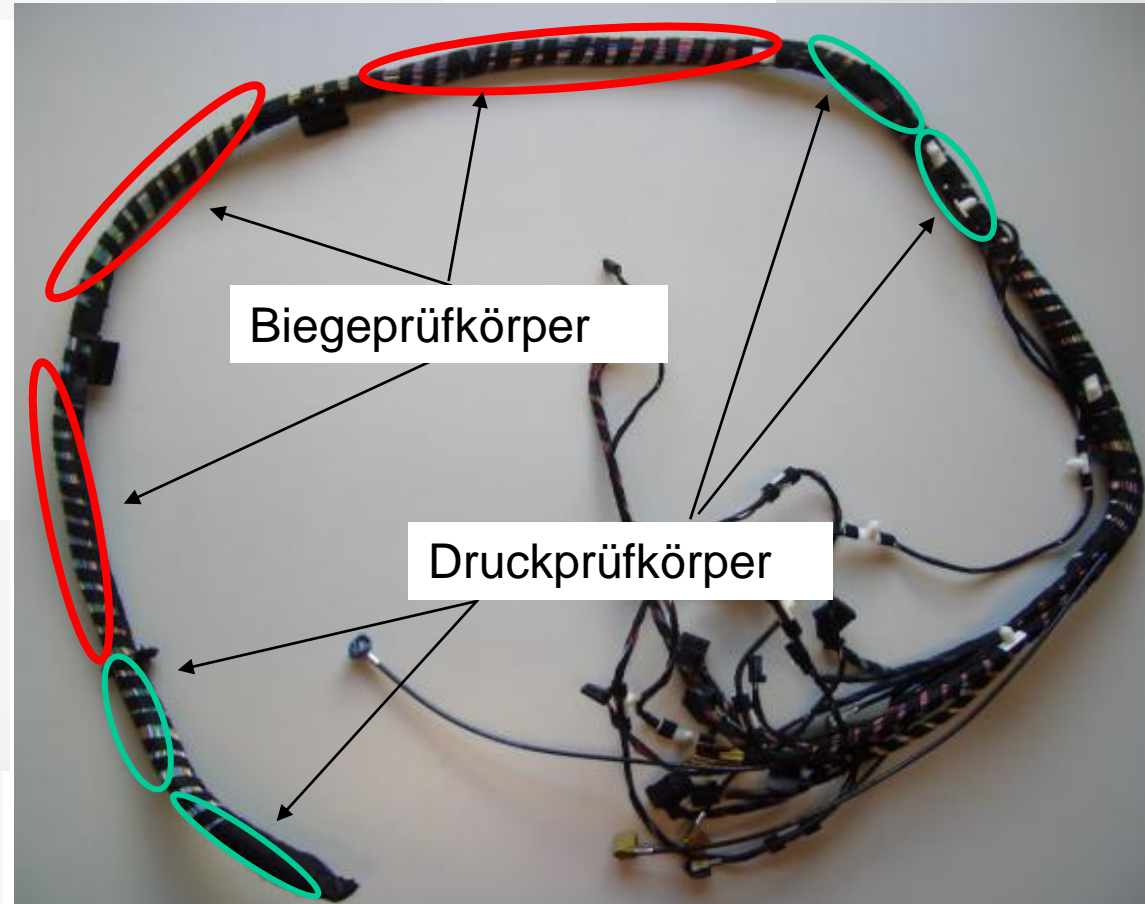
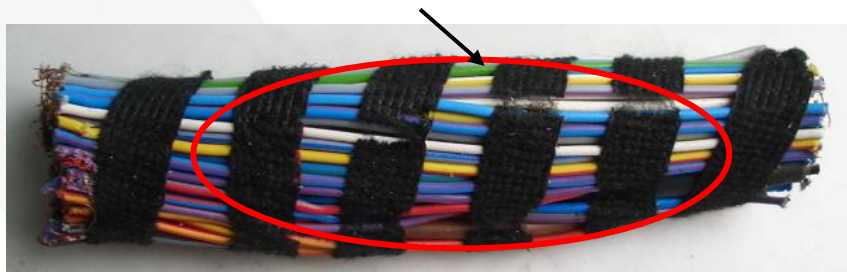


➤ Abbildung des Crashverhaltens eines Kabelbaums

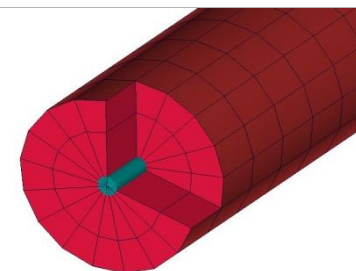
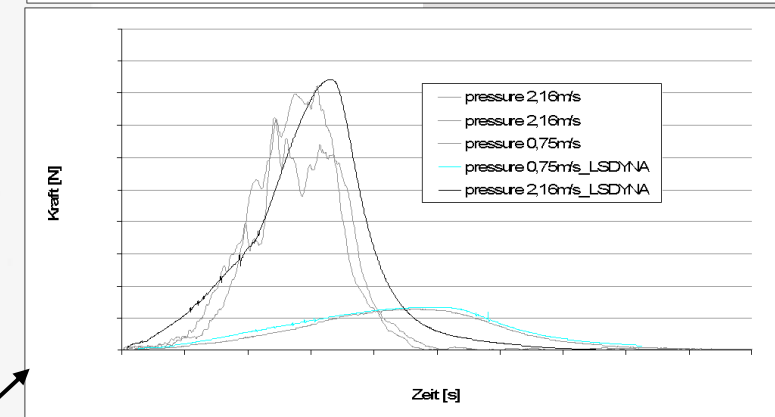
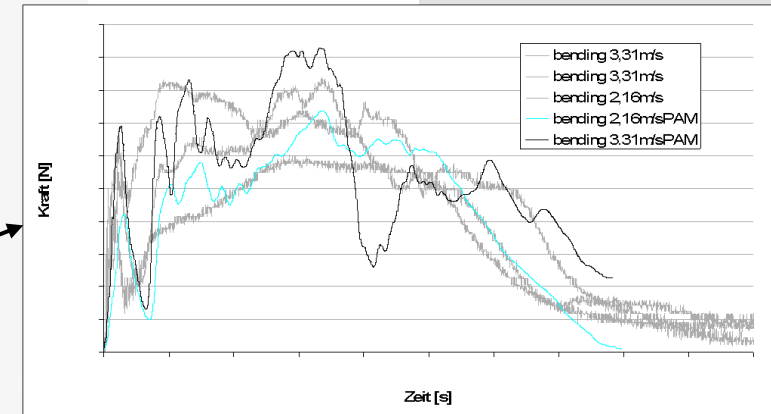
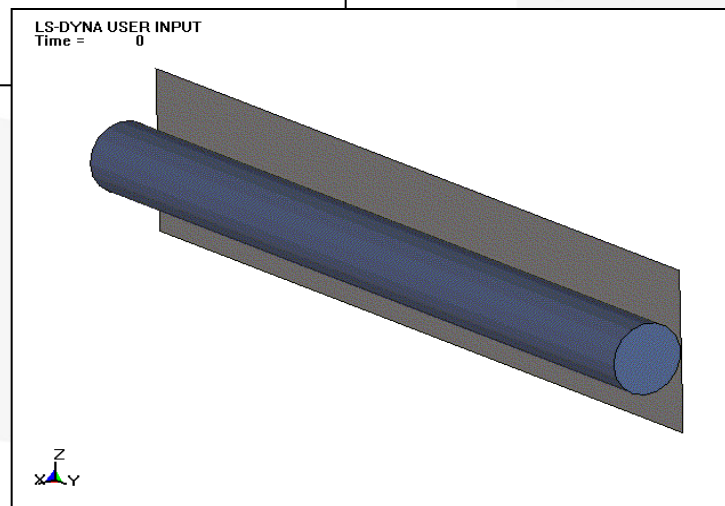
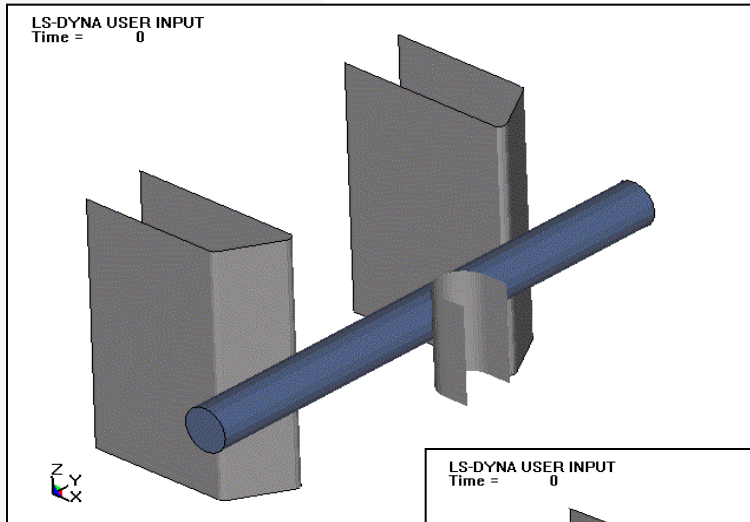
Bereich der Druckfinne



Rückseite am Widerlagerbalken



- Abbildung ist mit einem Material nicht möglich
- Es wurden unterschiedliche Ansätze untersucht



4a Impetus

Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte

Impetus II v1.34b

licensed for: Peter Reithofer, ape GmbH until 20061231

Versuch/Test Database Tests

ID	Probenbez.	Material	Prüfmethode	Temperatur	Feud
060913_003		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060913_004		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060913_005		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060913_006		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_001		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_002		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_003		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_004		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_001		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_002		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_003		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_005		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_006		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_007		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_008		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_009		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_010		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_011		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_012		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_013		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300

Messung Report Messkurven a(t) v(t) s(t) F(t) F(s) sig(eps)

Optimierung s(t) F(t) F(s)

Datum_Nr_Name Ersteller
060925_002 PP_GF30 mf

Input 100-Inputfile Biegesolver
Material 101-linear + Johnson-Cook Law

Spannung [MPa] vs Dehnung graph showing multiple curves and an arrow labeled 'Dehnrate'.

Fall	Versuch/Test
40_4	060918_014
40_4	060918_015
50_2	060918_006
50_2	060918_007
50_2	060918_008
50_2	060918_009
70_1	060915_001
70_1	060915_002
70_1	060915_003
70_1	060915_004

5 Design Points on File
0 Failed runs
Using first 5 Design Points on File (0 failures)

Point	1	2	3	4	5
Point 1:	2.97e+003	5			
Point 2:	2.72e+003	50			
Point 3:	3.22e+003	1			
Point 4:	3.22e+003	50			
Point 5:	2.72e+003	1			

Number of points used for metamodel = 5

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

View Command Stop (LSOPT) Edit (LSOPTUI) View Results (LSOPTVIEW)

Impetus II v1.34b

licensed for Peter Reithofer spegmbt until 20061231

Versuchsdaten

- Neu
- Kopieren

Versuchsdurchführung

- Set Winkel
- Start
- Report
- Messkurven

Versuchsauswertung

- Auswerten
- Load Plots
- Unload Plots
- Mittelwertplots

Parametermodell

- Neu
- Kopieren
- Hinzufügen

Optimierung

- View
- Start

Impetus II

- Datenverzeichnis
- Hilfe
- Beenden

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_005		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung25	-300	
060918_006		PP-GF30	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-GMT	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	

Messung Report Messkurven a(t) v(t) s(t) F(t) F(s) sig(eps)

Versuchsdatenbank zur Verwaltung aller Messungen

Spannung [MP] vs Dehnung

Dehnrates

Bemerkung	Designvariablen
Fälle	Gewichtung

Failed runs

Using first 5 Design Points on File (0 failures)

- Point 1: 2.97e+003 5
- Point 2: 2.72e+003 50
- Point 3: 3.22e+003 1
- Point 4: 3.22e+003 50
- Point 5: 2.72e+003 1

Number of points used for metamodel = 5

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

View Command Stop (LSOPT) Edit (LSOPTUI) View Results (LSOPTVIEW)

Versuch/Test Database Tests

ID	Probenbez.	Material	Prüfmethode	Temperatur	Feuch
060913_003		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060913_004		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060913_005		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060913_006		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_001		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_002		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_003		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_004		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_001		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_002		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_003		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_005		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_006		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_007		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_008		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_009		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_010		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_011		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_012		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_013		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300

Messung Report Messkurven

Kraft [N] vs Weg [mm]

Parametermodell Modelle

Datum_Nr_Name: 060925_002_PP_GF30

Input: 100-Inputfile Biege

Material: 101-linear + Johnson

Spannung [MPa] vs Dehnung

Dehnrate

Using first 5 Design Points on File (0 failures)

Point	Value	Count
Point 1	2.97e+003	5
Point 2	2.72e+003	50
Point 3	3.22e+003	1
Point 4	3.22e+003	50
Point 5	2.72e+003	1

Number of points used for metamodel = 5

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

Buttons: View Command, Stop (LSOPT), Edit (LSOPTUI), View Results (LSOPTVIEW)

Intelligente Auswertungsroutinen, benutzerfreundliche Darstellung

4a Impetus

Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte

Datenbank für Materialmodelle / -funktionen

ID	Probenbez.	Material	Prüfmethode	Temperatur	Feuch
060913_003		PP-GMT	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060913_004		PP-GMT	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060913_005		PP-GMT	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060913_006		PP-GMT	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060915_001		PP-GF30	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060915_002		PP-GF30	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060915_003		PP-GF30	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060915_004		PP-GF30	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060918_001		PP-GMT	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060918_002		PP-GMT	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060918_003		PP-GMT	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060918_005		PP-GMT	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060918_006		PP-GF30	100-3 Punkt: Biegung	25	-300
060918_007		PP-GF30	100-3 Punkt: Biegung	25	-300

Optimierung | s(t) | F(t) | F(s)

```
#####
Creating Approximate Functions for Case "case_40_4"
ITERATION 1
#####
5 Design Points on File
0 Failed runs
Using first 5 Design Points on File (0 failures)
Point 1: 2.97e+003    5
Point 2: 2.72e+003    50
Point 3: 3.22e+003    1
Point 4: 3.22e+003    50
Point 5: 2.72e+003    1

Number of points used for metamodel = 5

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

Spannung [MPa] vs Dehnung graph showing multiple curves and a 'Dehnrates' arrow.

4a Impetus

Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte

Impetus II v1.34b

licensed for: Peter Reithofer apegmbh until 20061231

Versuch/Test Database Tests

ID	Probenbez.	Material	Prüfmethode	Temperatur	Feuc
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_005		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung25	-300	
060918_006		PP-GF30	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-GMT	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	

Messung Report Messkurven a(t) v(t) s(t) F(t) F(s) sig(eps)

Optimierung mit LS-OPT

Optimierung | s(t) | F(t) | F(s)

```

#####
Creating Approximate Functions for Case "case_40_4"
ITERATION 1
#####
5 Design Points on File
0 Failed runs
Using first 5 Design Points on File (0 failures)
Point 1: 2.97e+003   5
Point 2: 2.72e+003  50
Point 3: 3.22e+003   1
Point 4: 3.22e+003  50
Point 5: 2.72e+003   1

Number of points used for metamodel = 5
    
```

Fall	Versuch/Test
40_4	060918_014
40_4	060918_015
50_2	060918_006
50_2	060918_007
50_2	060918_008
50_2	060918_009
70_1	060915_001
70_1	060915_002
70_1	060915_003
70_1	060915_004

Spannung [MPa] vs. Dehnung graph showing multiple curves and a 'Dehnrate' arrow.

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

View Command Stop (LSOPT) Edit (LSOPTUI) View Results (LSOPTVIEW)

4a Impetus

Softwarelösung Versuch bis zur Materialkarte

Geschlossenes System vom Versuch bis zur validierten Materialkarte

ID	Probenbez.	Material	Prüfmethode	Temperatur	Feuc
060913_003		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060913_004		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060913_005		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060913_006		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_001		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_002		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_003		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060915_004		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_001		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_002		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_003		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_005		PP-GMT	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_006		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_007		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_008		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_009		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_010		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_011		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_012		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300
060918_013		PP-GF30	100-3 Punkt Biegung	25	-300

Graph 1: Kraft [N] vs. Displacement

Displacement [mm]	Kraft [N]
0.91	53.00
14.46	105.03
18.06	131.04

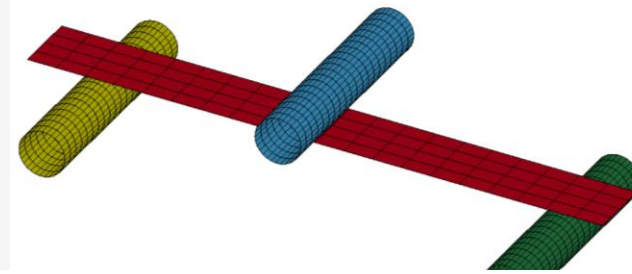
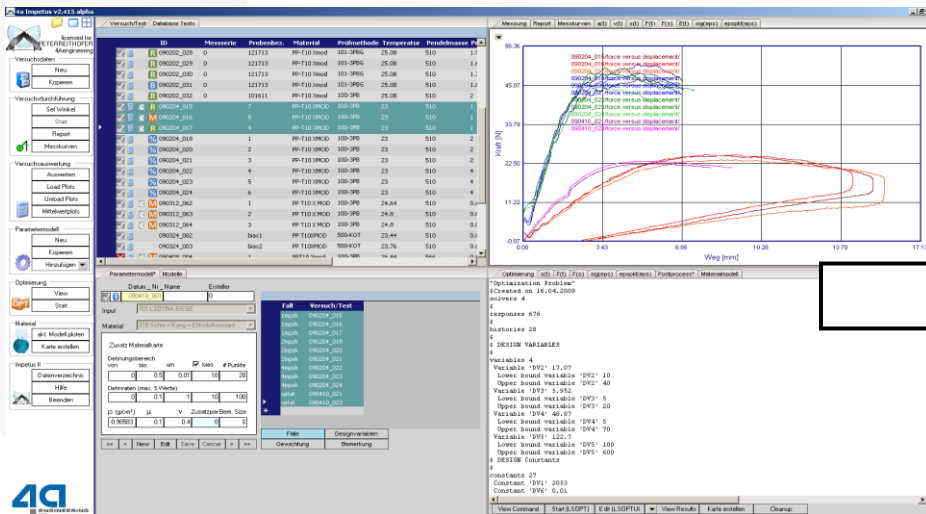
Graph 2: Spannung [MPa] vs. Dehnung

Dehnrates: 1, 2, 3, 4, 5

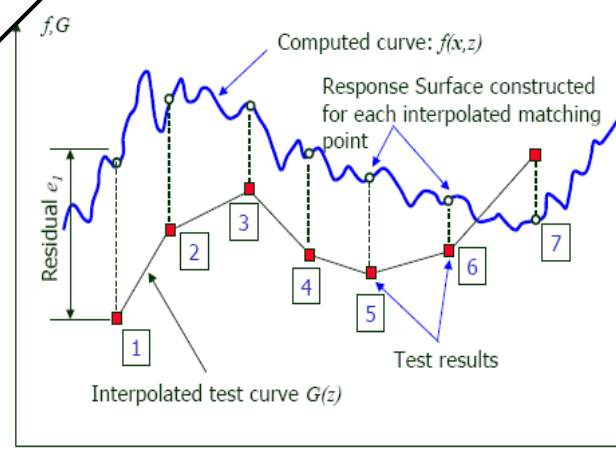
Iteration 1 results:

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

Mit Hilfe von Simulationsmodellen werden die Versuche nachgestellt und die mittlere Abweichung zwischen Versuch und Simulation berechnet. Sukzessive werden mittels Optimierungsverfahren die Materialeigenschaften des Simulationsmodell so angepasst, das die mittlere Abweichung ein Minimum annimmt.



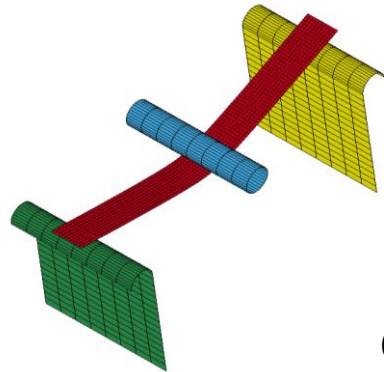
$$\varepsilon = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P W_p \left(\frac{f_p(x) - G_p}{s_p} \right)^2 = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P W_p \left(\frac{e_p(x)}{s_p} \right)^2$$



4a Impetus Software Lösung

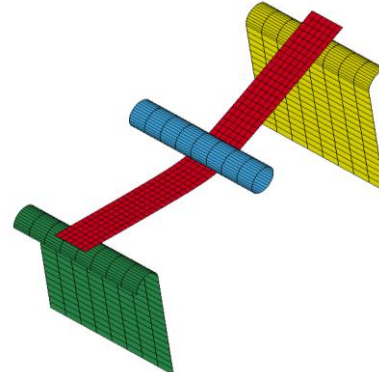
beinhaltet einen vordefinierten Prozess für das generieren von Materialkarten, vom dynamischen Test bis hin zu automatischem Reverse Engineering mit Optimierungsverfahren

08092501_Biegung_parametrisiert
Time = 0.001406



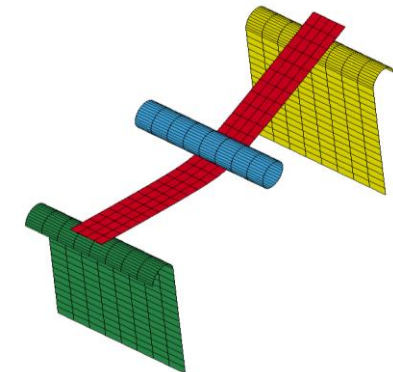
0.5 mm

08092501_Biegung_parametrisiert
Time = 0.0014061



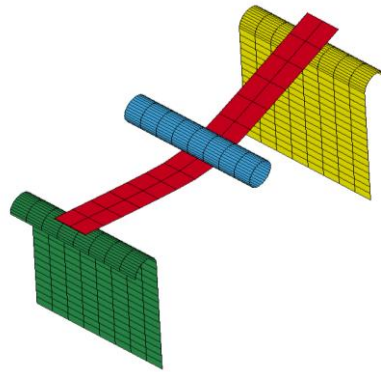
1 mm

08092501_Biegung_parametrisiert
Time = 0.001406



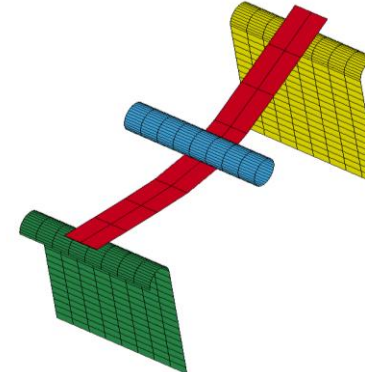
2 mm

08092501_Biegung_parametrisiert
Time = 0.0014062



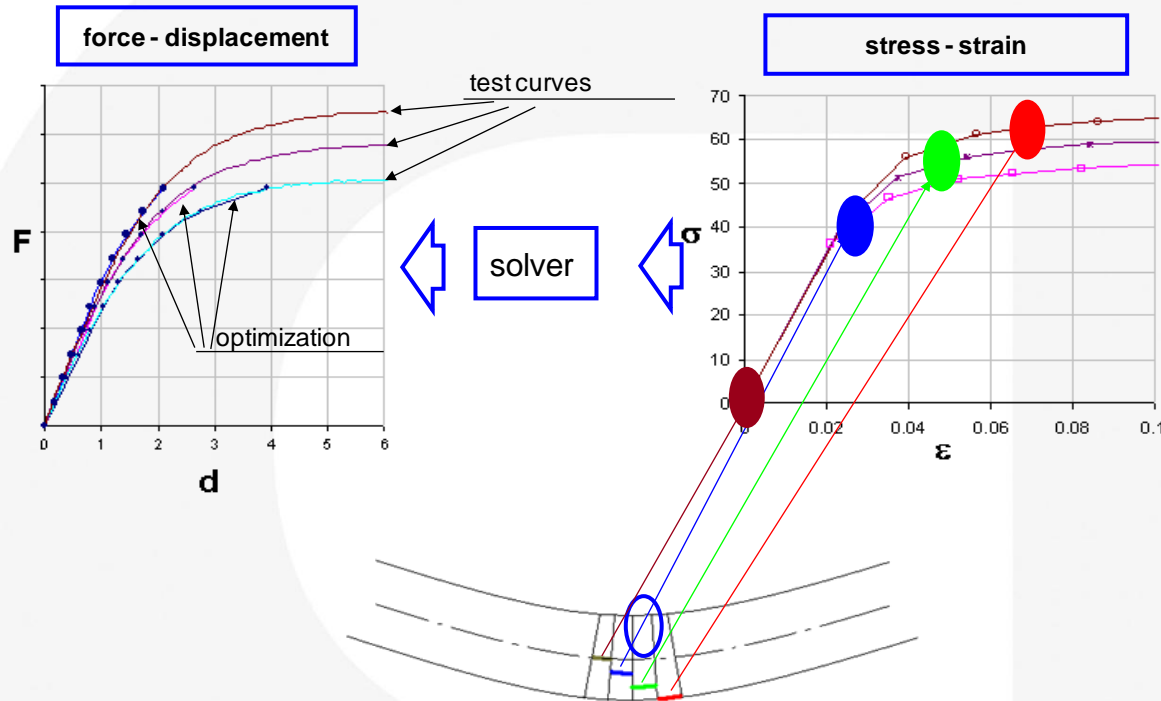
4 mm

08092501_Biegung_parametrisiert
Time = 0.0014061



8 mm

- Unterschiedliche Idealisierung der 3 Punkt Biegeprüfung, dargestellt für einen Auflagerabstand von 40 mm. Die unterschiedlichen Modelle werden automatisch mit einem Skript generiert, wobei versucht wird die Sollelementgröße bestmöglich zu erreichen. Restriktion dabei ist ein symmetrisches Modell in Probenlänge und –breite.



Source: DA Fritz

Aktuell unterstützt 4a Impetus folgende Materialkarten. Weitere Materialkarten können leicht jederzeit bei Bedarf in den Prozess integriert werden.

- Mat 24 (MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY)
- Mat 81 (MAT_PLASTICITY_WITH_DAMAGE)
- Mat 124 (MAT_PLASTICITY_COMPRESSION_TENSION)
- Mat 187 (MAT_SAMP-1)

Ansatzfunktionen

➤ Bilinear

$$\sigma = \sigma_0 + E_T \cdot \varepsilon_p$$

➤ Ludwik

$$\sigma = A + B\varepsilon_p^n$$

➤ Bergström

$$\sigma = A + k\sqrt{1 - \exp(-0.5 \varepsilon_p)}$$

➤ G'sell Jonas

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot (1 - e^{-w \cdot \varepsilon_p}) \cdot e^{h \cdot \varepsilon_p^n}$$

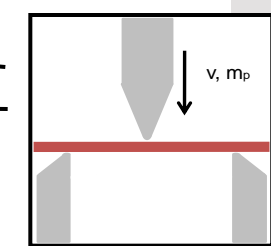
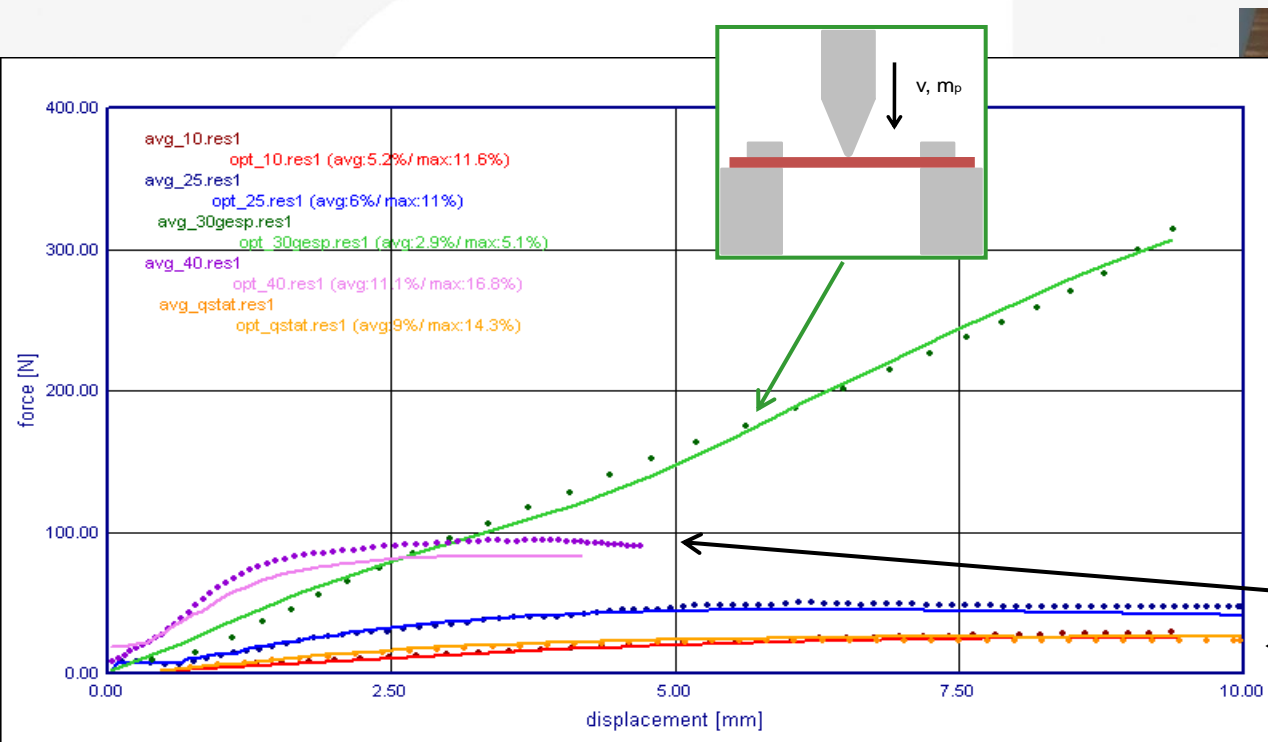
➤ 4a three parameter law

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

4a Impetus

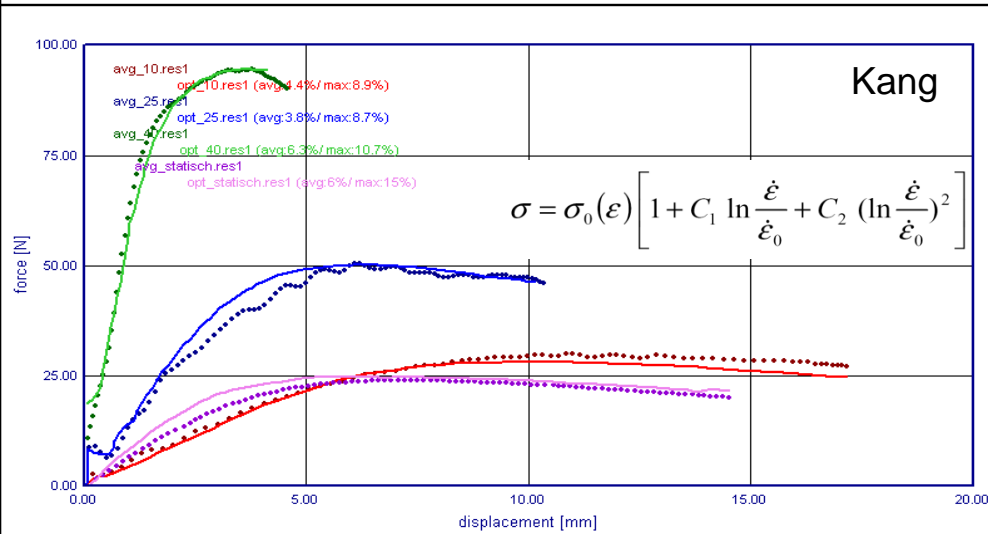
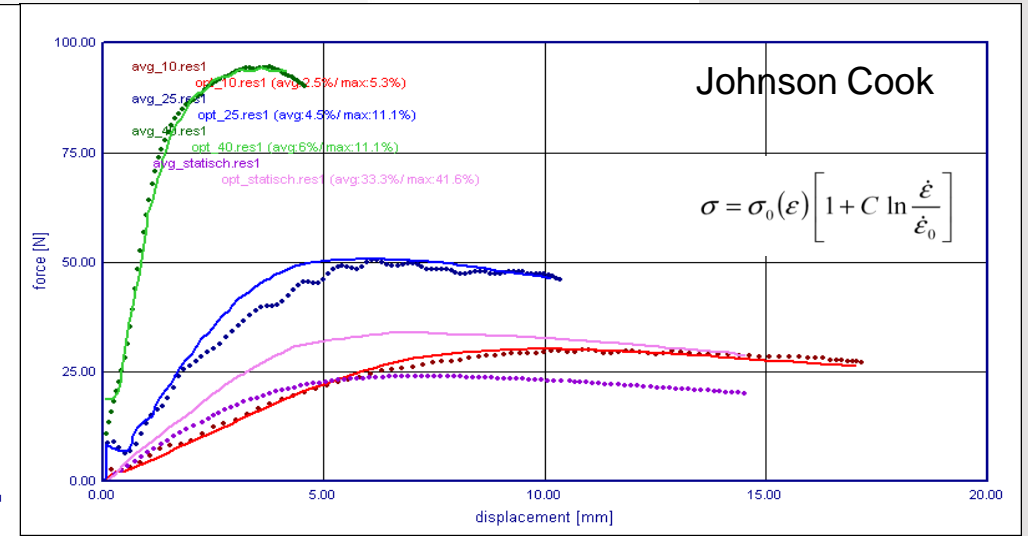
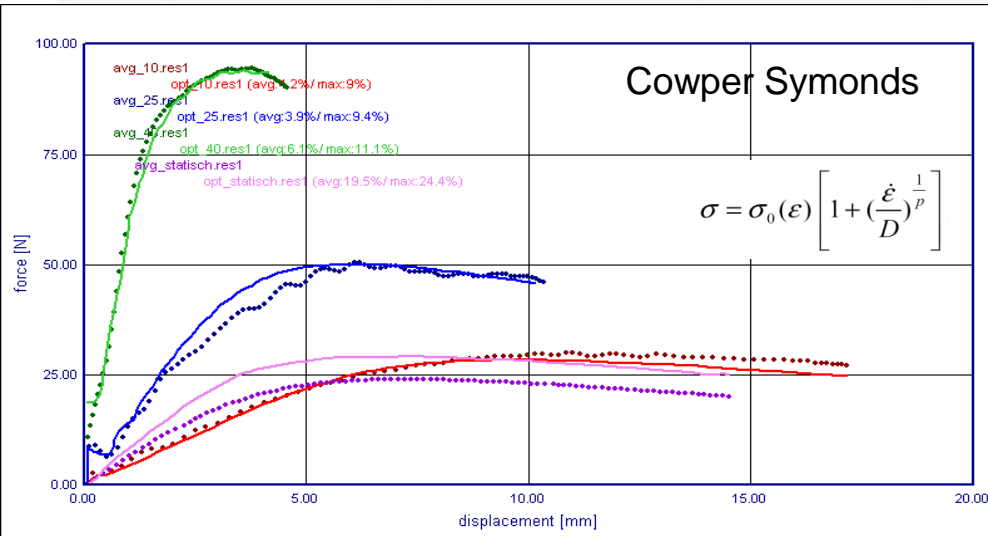
Reverse Engineering – Bestimmung der Materialkarte / -eigenschaften

Fallbeispiel für Materialkarten mit unterschiedlichem Zug/Druck Verhalten
MAT_PLASTICITY_COMPRESSION_TENSION or MAT_SAMP-1

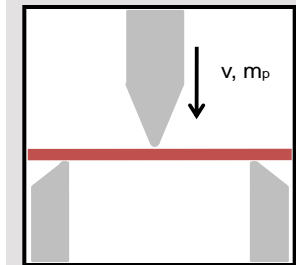


..... averaged test curves
— result of simulation

Unterschiedliche Ansatzfunktion hinsichtlich der Dehnrates

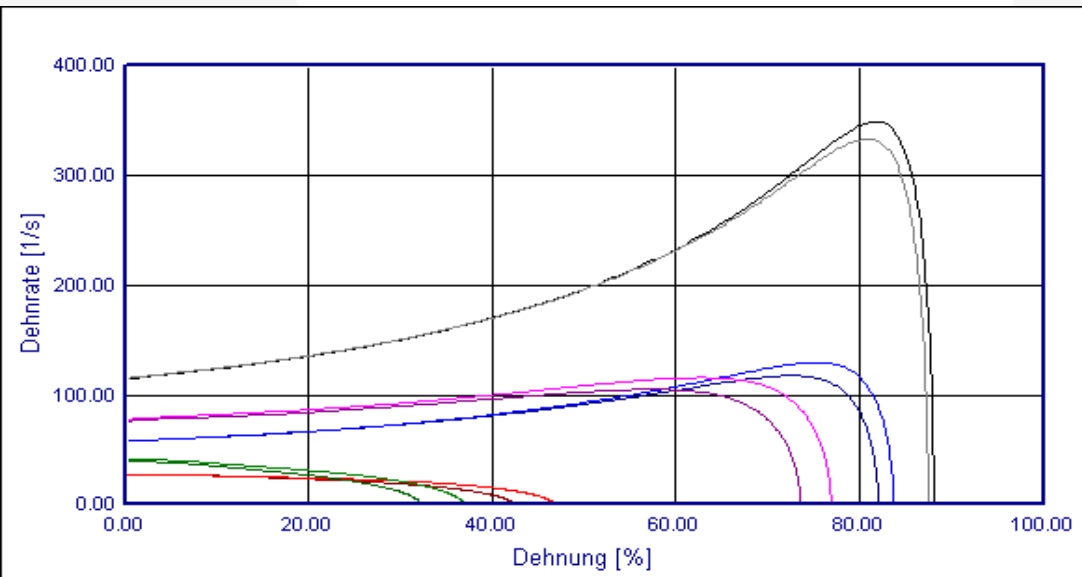
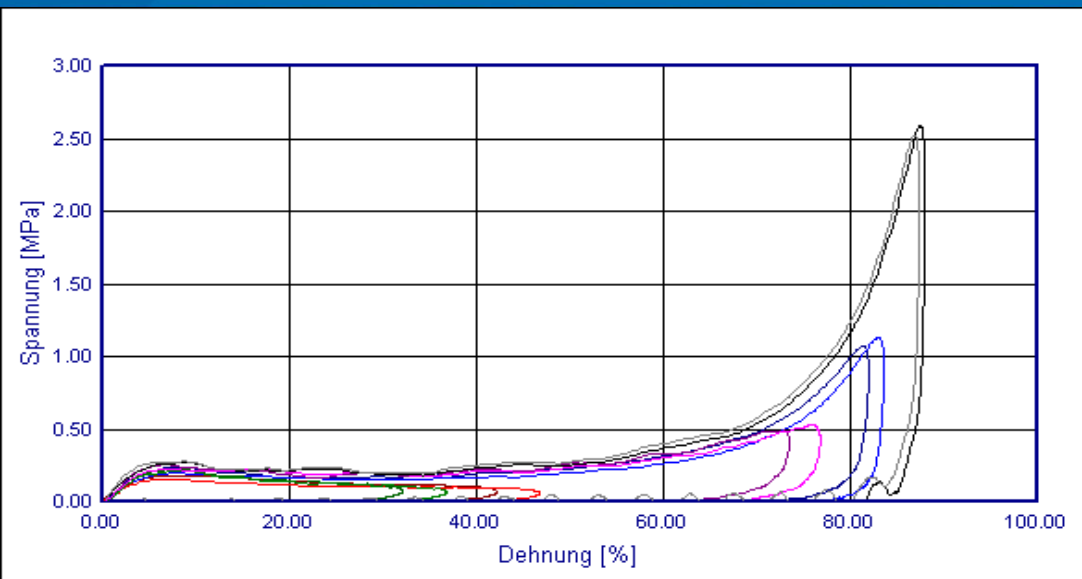


v	l_w	m_{pendulum}
m/s	mm	g
4	25	510
2.5	40	510
1	60	1300
0.001	50	

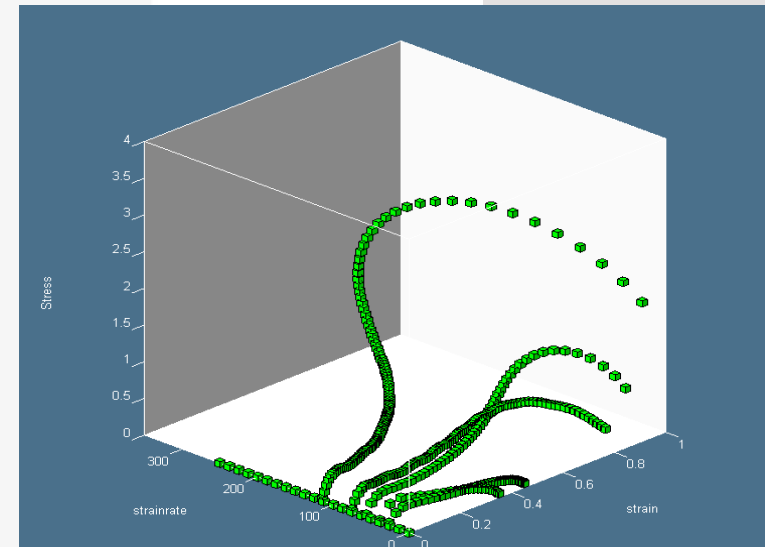


..... averaged test curves
 — result of simulation

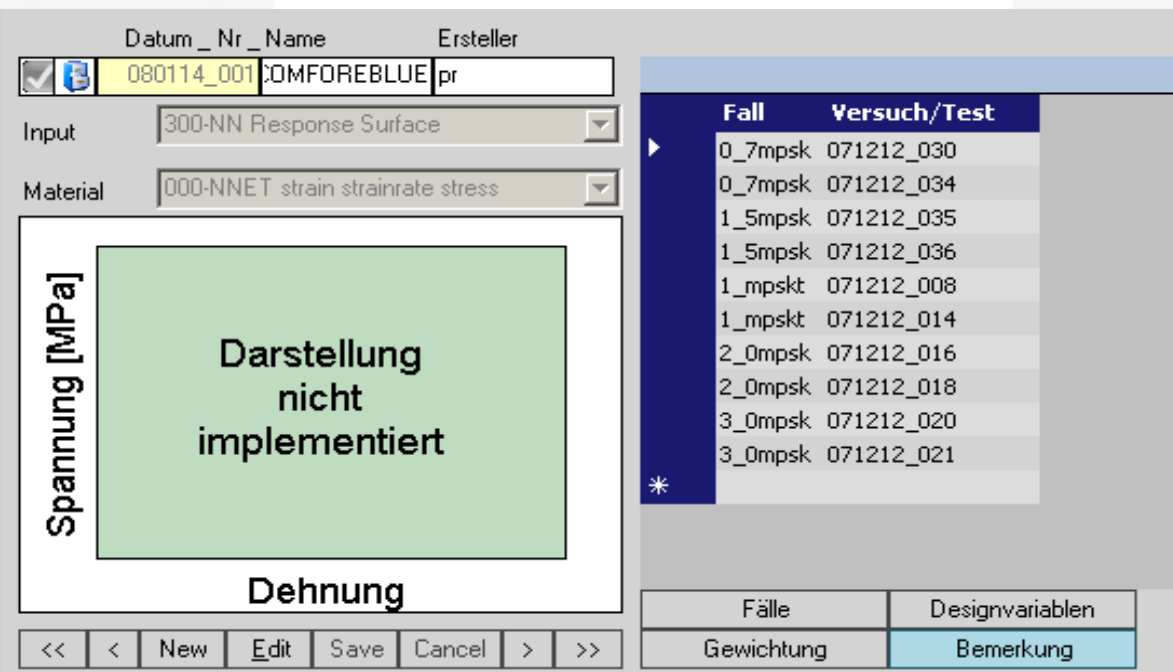




- Hier dargestellt sind technische Dehnung, technische Spannung und wahre Dehnrate
- Gut erkennbar ist die Abnahme der Dehnrate aufgrund der Verzögerung des Pendels



- Durch die Datenpunkte $\sigma(\epsilon, \dot{\epsilon})$ wird eine Ersatzfläche mittels neuronalem Netz gebildet.
- Für ein Parametermodell in 4a Impetus wird automatisch ein Inputdeck für LS-OPT erstellt → neuronales Netz erzeugt.



Datum_Nr_Name Ersteller

080114_001 :DMFOREBLUE | pr

Input 300-NN Response Surface

Material 000-NNET strain strainrate stress

Spannung [MPa]

Darstellung nicht implementiert

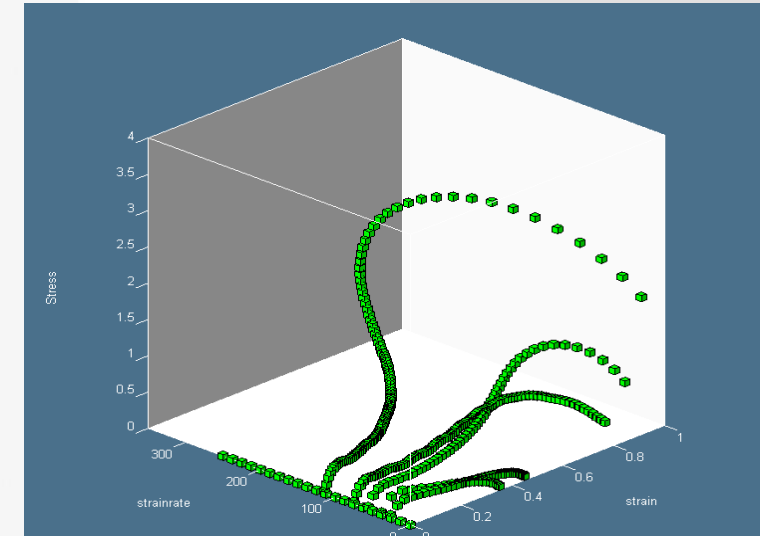
Dehnung

Fall	Versuch/Test
0_7mpsk	071212_030
0_7mpsk	071212_034
1_5mpsk	071212_035
1_5mpsk	071212_036
1_mpskt	071212_008
1_mpskt	071212_014
2_0mpsk	071212_016
2_0mpsk	071212_018
3_0mpsk	071212_020
3_0mpsk	071212_021

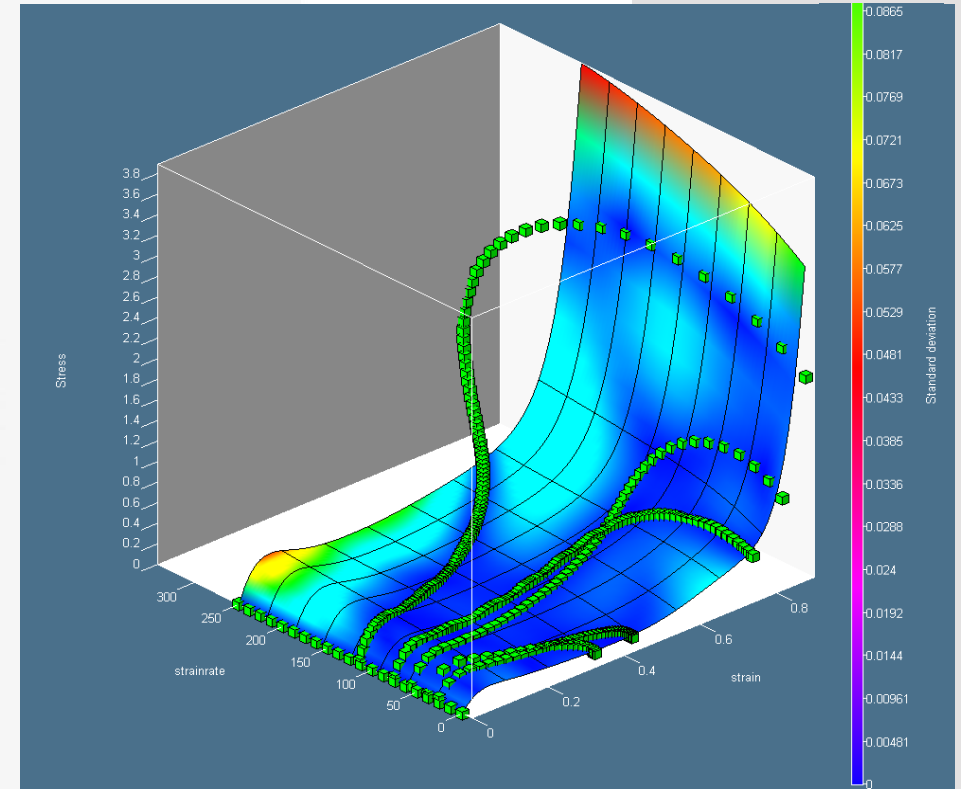
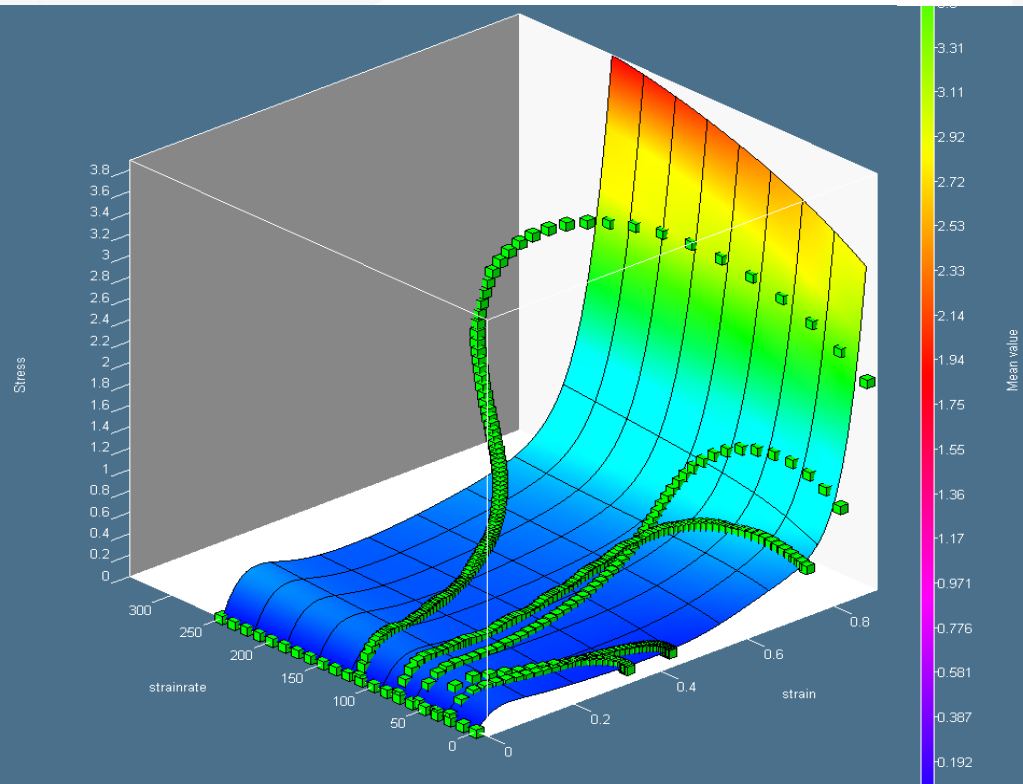
Fälle Designvariablen

Gewichtung Bemerkung

<< < New Edit Save Cancel > >>



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



Metamodell mittels neuronaler Netze

Standardabweichung ermittelt
aus den neuronalen Netzen

- **Umfangreiche Möglichkeiten - Komponententest**
- **Life → Messung und Optimierung im Berechnungsbüro**
- **Datenarchivierung und Verknüpfung zu den einzelnen Messungen automatisch**
- **Sehr rasch zu validierten Materialdaten**

- [1] **Werkstoffprüfung der Kunststoffe - V**
R. W. Lang, Vorlesungsbehelf IWKP 2002
- [2] **Characterization of Dynamic Behavior of Engineering Polymers**
Z. Major, M. Reiter, 4a –VDI Technologietag 2008
- [3] **Material data for CAE simulation. The approach of Basell Polyolefins**
M. Nutini, 4a –VDI Technologietag 2008
- [4] **Mechanik der Kunststoffe**
W. Retting, Hanser Verlag 1991
- [5] **Charakterisierung und Modellierung unverstärkter thermoplastischer Kunststoffe zur numerischen Simulation von Crashvorgängen**
M. Junginger, Fraunhofer EMI Bericht 15/02
- [6] **Characterization of Polyolefines for Design Under Impact: from True Stress / Local Strain Measurements to the F.E. simulation with LS-DYNA Mat. Samp-1**
M. Nutini, M. Vitali, 7th GERMAN LS-DYNA Forum, Bamberg 2008