



Identifikation von Materialparametern mit LS-OPT[®] – GISSMO und andere Anwendungen

J.Effelsberg, A. Förderer, K. Witowski (DYNAmore GmbH),
Dr. M. Feucht (Daimler AG),
M. Söllner (Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG)

DYNAmore GmbH
Industriestraße 2
70565 Stuttgart
<http://www.dynamore.de>



Teil 1: Materialcharakterisierung mit 4a impetus – Metamodellbildung und Parameteridentifikation mit LS-OPT®

A. Förderer, K. Witowski (DYNAmore GmbH) ,
M. Söllner (Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG)

DYNAmore GmbH
Industriestraße 2
70565 Stuttgart
<http://www.dynamore.de>

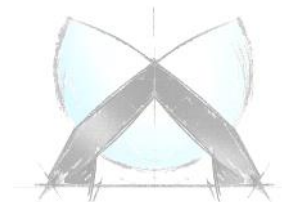
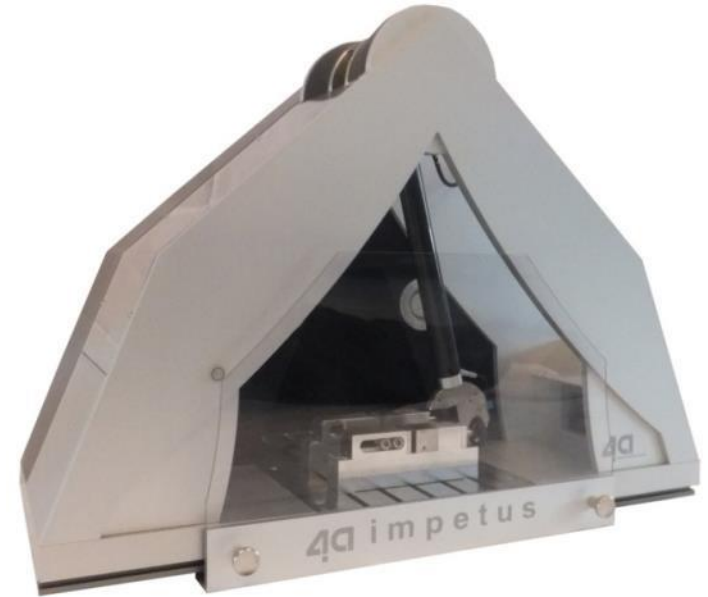
Übersicht

- Vorstellung 4a impetus
- Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes (EPP RG30)
- Materialcharakterisierung eines Kunststoffes (PP T20)
- Zusammenfassung

Vorstellung 4a impetus

Möglichkeiten:

- Prüfungsarten:
 - *Druckversuch*
 - *Biegeversuch (frei, gespannt)*
 - *Durchstoßversuch*
 - *Komponentenversuch*
- Prüfungsgeschwindigkeiten
 - *Einfachpendel: 0.5 - 4.5 m/s*
 - *Doppelpendel: 0.5 - 9.0 m/s*
- Quasi-statische Tests werden als Ergänzung durchgeführt



4a impetus

© by 4a engineering GmbH - intelligent testing systems

Vorstellung 4a impetus

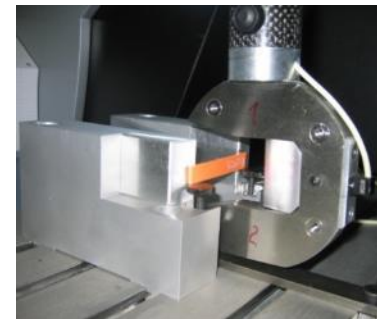
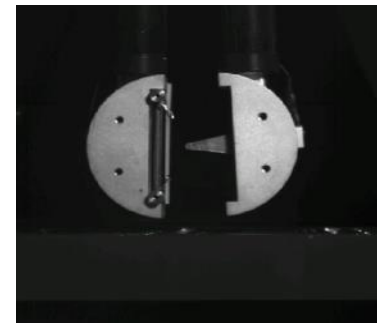
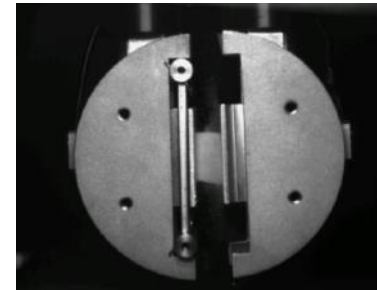
Möglichkeiten:

■ Sensoren:

- *Temperatur- und Feuchtesensor*
- *Beschleunigungssensor(en)*
- *Winkelsensor(en)*

■ Werkstoffe:

- *Druckversuch :*
Schaumwerkstoffe , Elastomere
- *Biegeversuch:*
Kunststoffe unverstärkt, verstärkt
GFK, CFK, Aluminium, ...
- *Durchstoßversuch :*
Textilien



Vorstellung 4a impetus

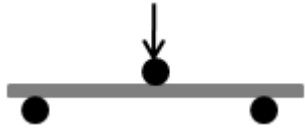
The screenshot displays the 4a Impetus v3.1 beta software interface. It is divided into several main sections:

- Versuchsdatenbank (Test Data Bank):** A table listing test runs with columns for ID, Prüfer, Probekör..., Prüfmetho..., Gesch..., and Auflag.
- Versuchsergebnisse (Test Results):** A graph showing Channels [vs Zeit [s]. The y-axis ranges from -1.95 to 10.38, and the x-axis ranges from 0.00 to 0.15. Multiple curves are plotted, representing different test runs.
- Datenbank für Materialmodelle (Material Model Database):** A section for parameter models with fields for Datum_Nr_Nom, Material, and Designvariable.
- Optimierung mit LS-OPT (Optimization with LS-OPT):** A section showing optimization parameters and results, including LS-OPT Version, Revision, and File name.

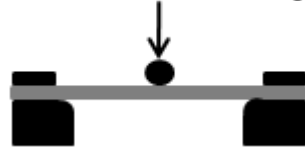
Additional elements include a left sidebar with navigation options (Neu, Kopieren, Prüflin, DB-Import, etc.), a top menu bar (Messung, Report, Messkurven, Viewer, etc.), and a bottom status bar showing the active database path: D:\DATA_4a\130214_Damier_PP\main_y3.mdb.

Vorstellung 4a impetus

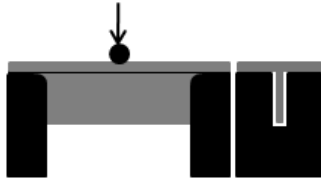
- 3-Punkt-Biegung



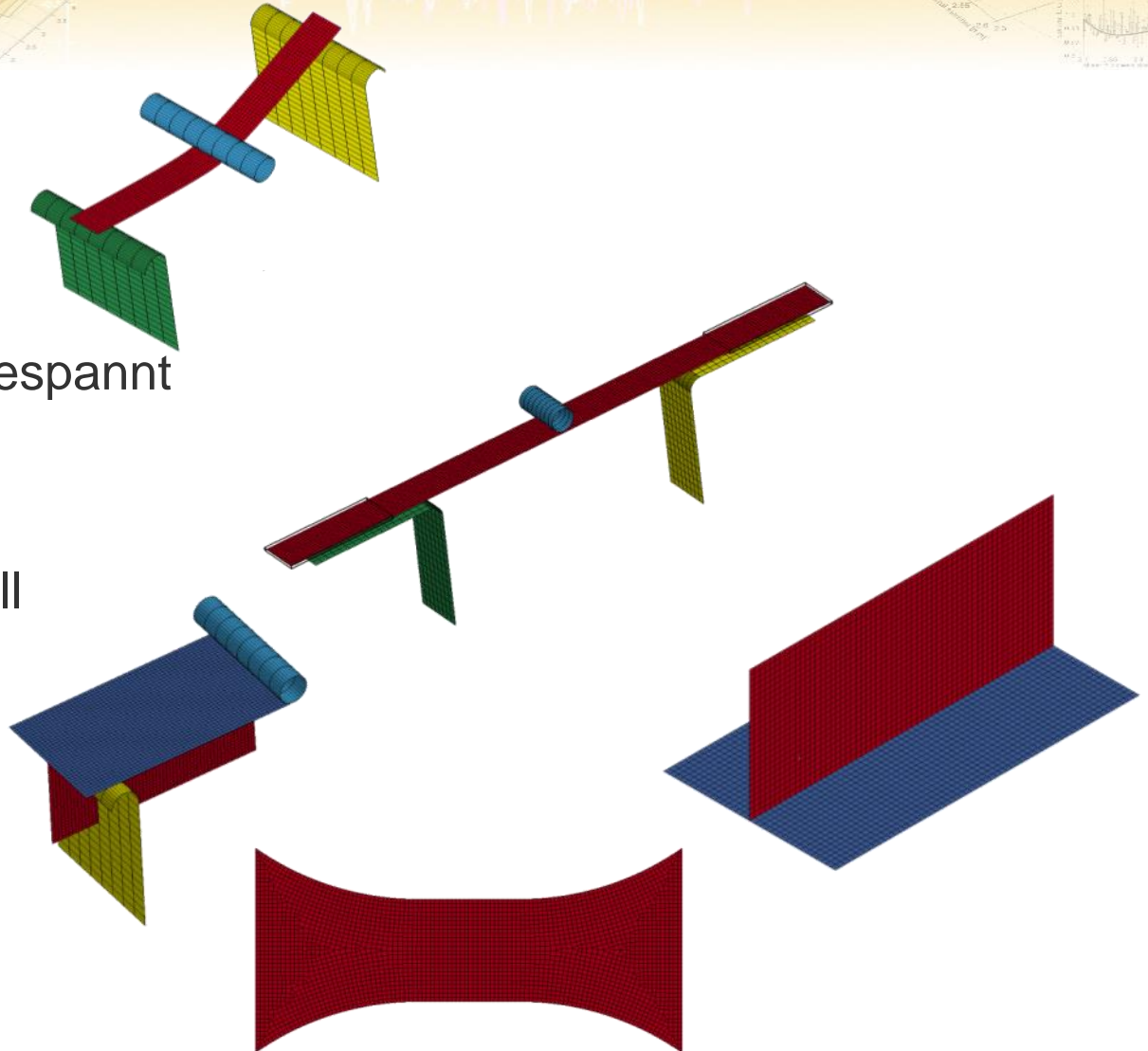
- 3-Punkt-Biegung gespannt



- T-Probe Halbmodell

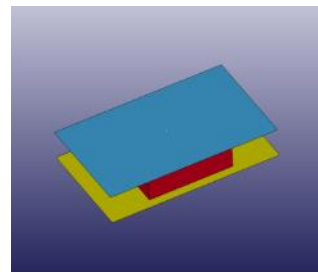
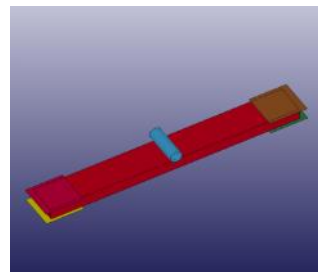
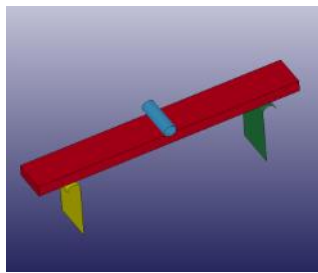


- Zugstab kurz

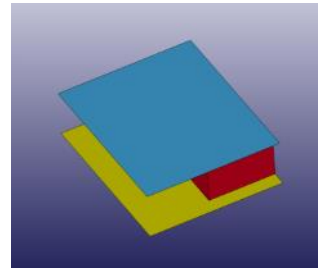
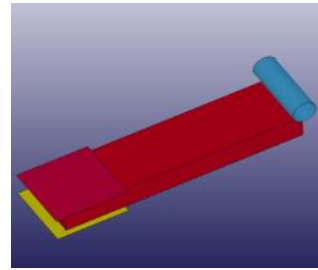
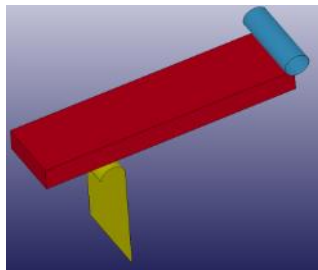


Vorstellung 4a impetus

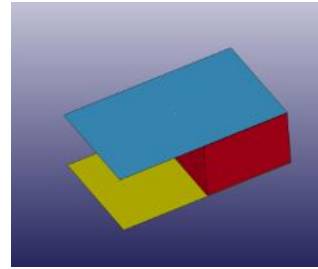
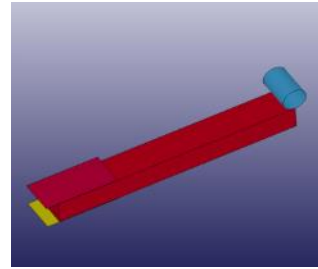
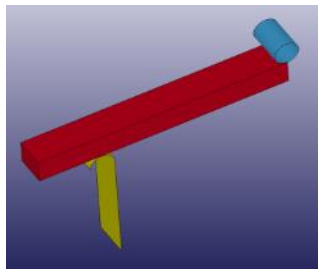
- Um die Berechnungsgeschwindigkeit zu erhöhen können Symmetrien genutzt werden.



Vollmodell



Halbmodell



Viertelmodell

freie Biegung

gespannte Biegung

Druck

Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

Problemstellung:

- Erzeugen der Versuchsdaten mit 4a impetus
- Erstellen einer Materialkarte für EPP RG30
- Materialmodell *MAT_FU_CHANG_FOAM

```
*MAT_FU_CHANG_FOAM_TITLE
EPP RG30
$# mid ro e ed tc fail damp tbid
1000000 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.1 100
$# bvflag sflag rflag tflag pvid sraf ref
0.0 0.0 0.0 1.0 0 0.0 0.0 0.0
$# d0 n0 n1 n2 n3 c0 c1
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
$# c3 c4 c5 aij sij minr maxr
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
```

- Dehnratenabhängiges Material

```
*DEFINE_TABLE
$# tbid
100
$# value
9.9999998E-3 101
10.000000 102
100.00000 103
```

- Bestimmung der Spannungs-Dehnungs-Kurven mit LS-OPT

```
*DEFINE_CURVE
$ LCID SIDR SCLA SCLO OFFA OFFO DATTYP
$ 101 0 1.0 1.0E-6 0.0 0.0 0
$-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
$ ABSCISSA ORDINATE
$ -9.9999998E-3 -55455.910
$ 0.0 0.0
```

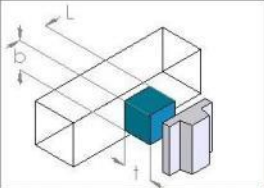
Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

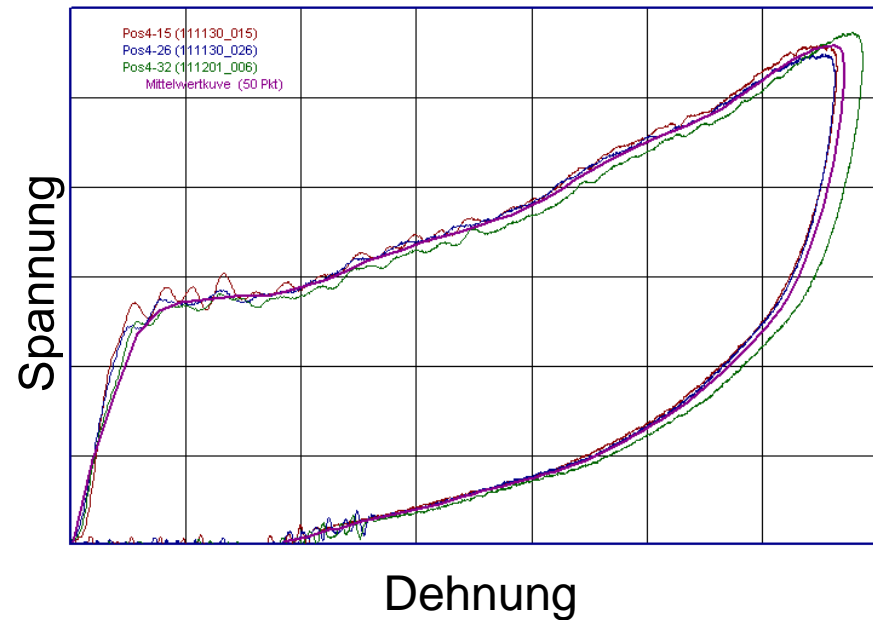
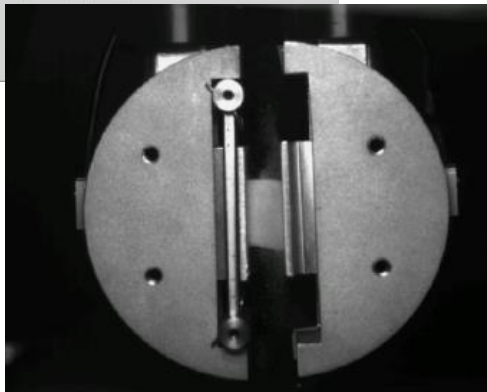
- Probenbauteile aus Stoßfängerquerträger
- Probenzuschnitt mittels Bandsäge
 - *Würfel ca. 20x20x20 (mm) bzw. 25x20x20 (mm)*



Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

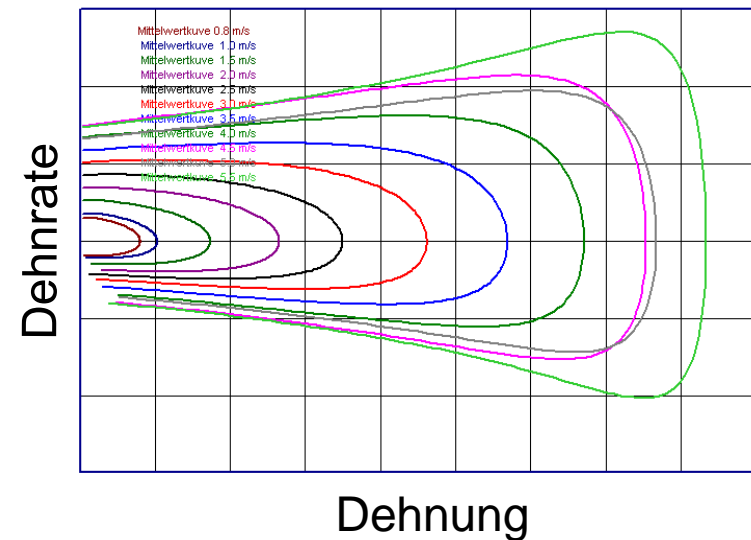
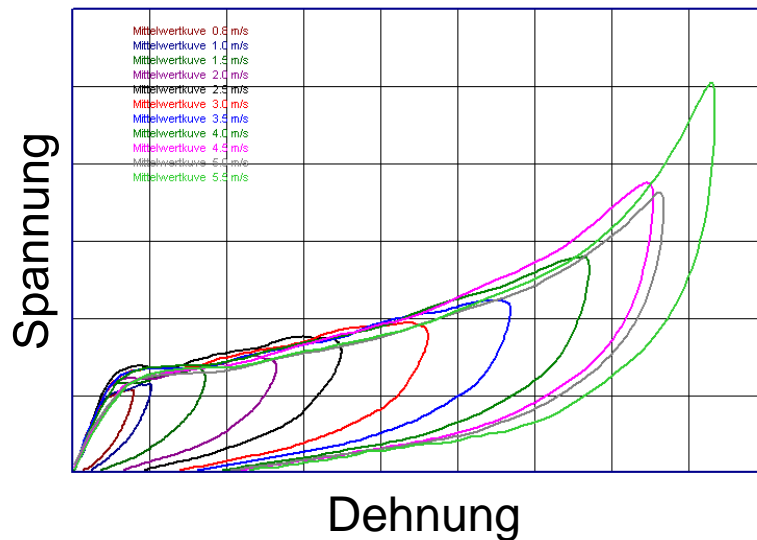
- Druckversuche mit 4a impetus (Doppelpendel)
- Belastungsgeschwindigkeiten zwischen 0.8 und 5.0 m/s
 - 3 Versuche pro Geschwindigkeit

Datum_Nr_Serie	Prüfer
1006T1_025 04	sk
Prüfmethode 300.0B (Druckbelastung)	
Material	
	
Probefez:	86
m	0.32 g
t	24.3 mm
b	20 mm
l	19.4 mm
p	33.94 g/l
Temperatur	Get 23.2 °C
rel. Feuchte	Get 51.06 %
benutzerdefinierter Eingabeparameter	
Beschreibung	
Wert	0
Probekörper	Prüfsetup
Auswertung	Bemerkung



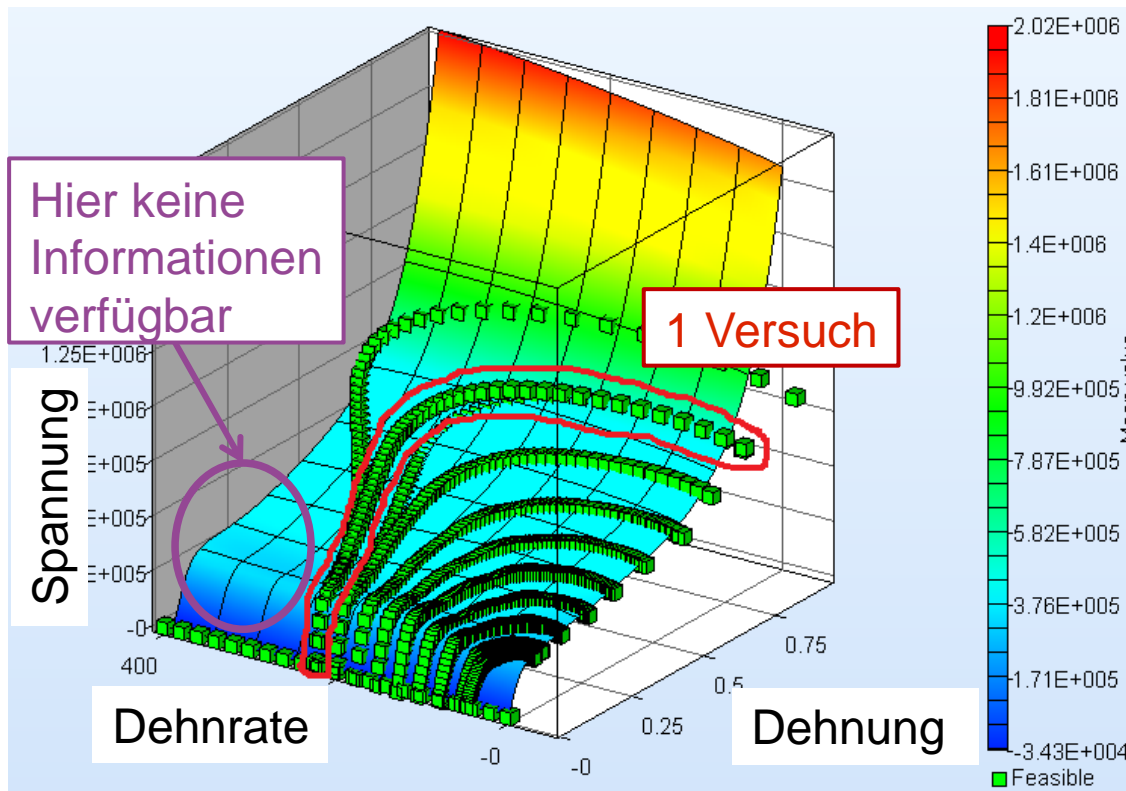
Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

- Spannungs-Dehnungs-Kurven für Belastungsgeschwindigkeiten
- Dehnraten sind nicht konstant
- Aber: Zusammenhang zwischen Spannung, Dehnung und Dehnrates



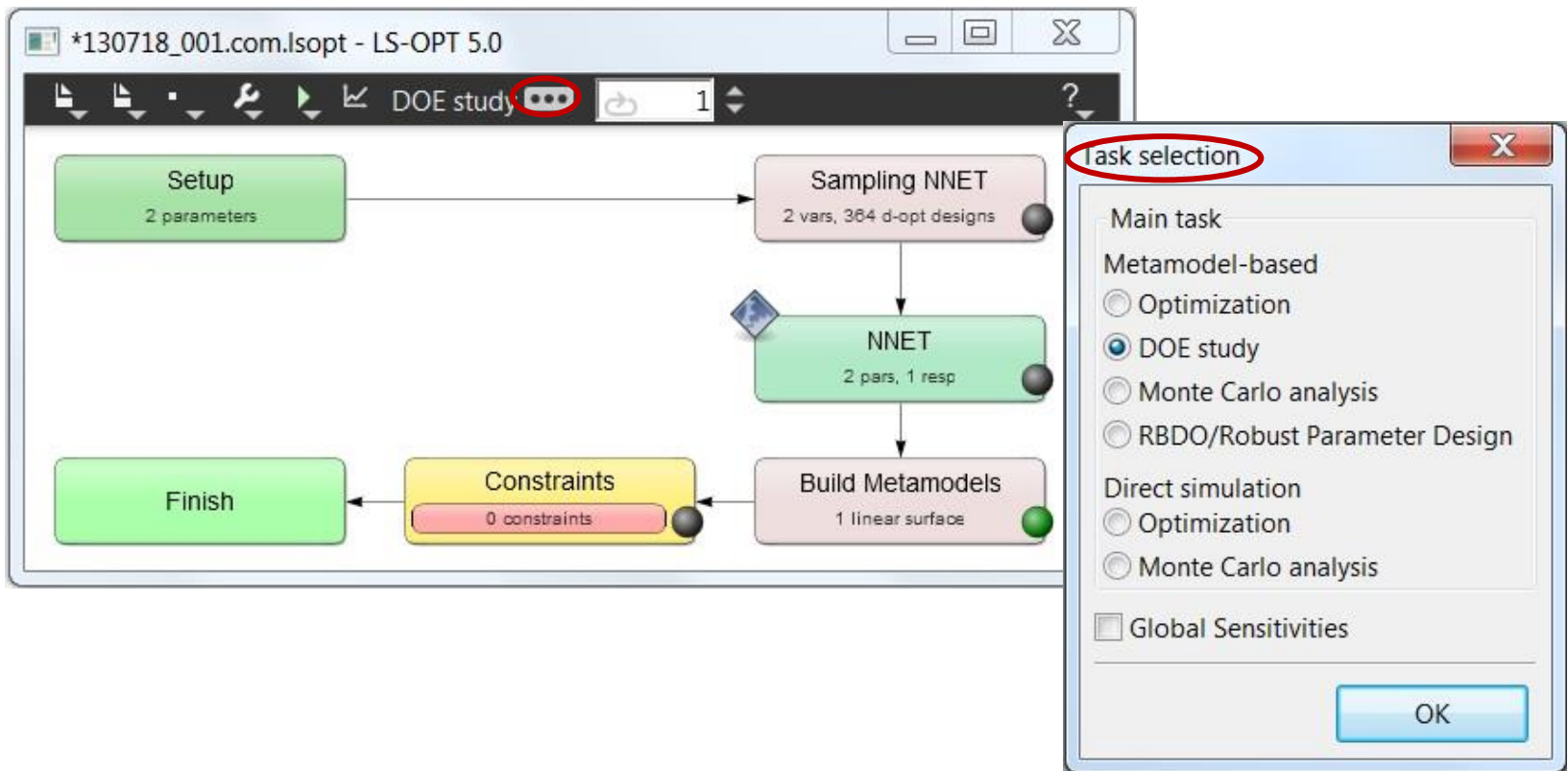
Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

- Datenpunkte aus Versuch werden mit Neuronalen Netzen in LS-OPT approximiert → kontinuierlicher Zusammenhang



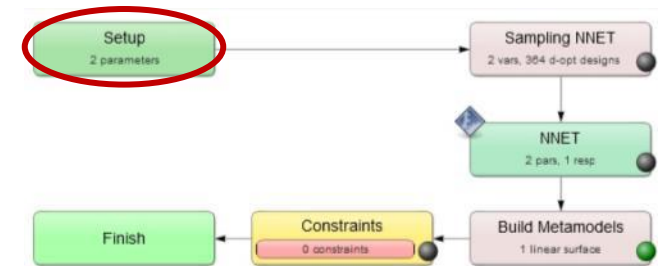
Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

■ Definition in LS-OPT - Übersicht



Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

- Definition in LS-OPT - Parameter



Problem global setup

Parameter Setup | Stage Matrix | Sampling Matrix | Resources | Features

Show advanced options

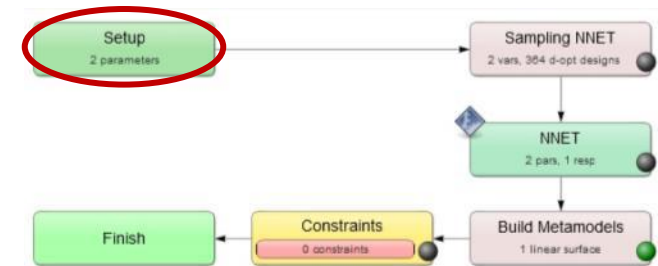
Type	Name	Starting	Minimum	Maximum	Delete
Continuous	strain	0	0	0.96	⚠ ×
Continuous	strainrate	0	0	0.25	⚠ ×

Add...

OK

Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

- Extraktion von 2D-Kurven aus dem Metamodell



Problem global setup

Parameter Setup | Stage Matrix | Sampling Matrix | Resources | **Features**

Evaluate Metamodel
 .csv file with variable values
 ./meta.csv

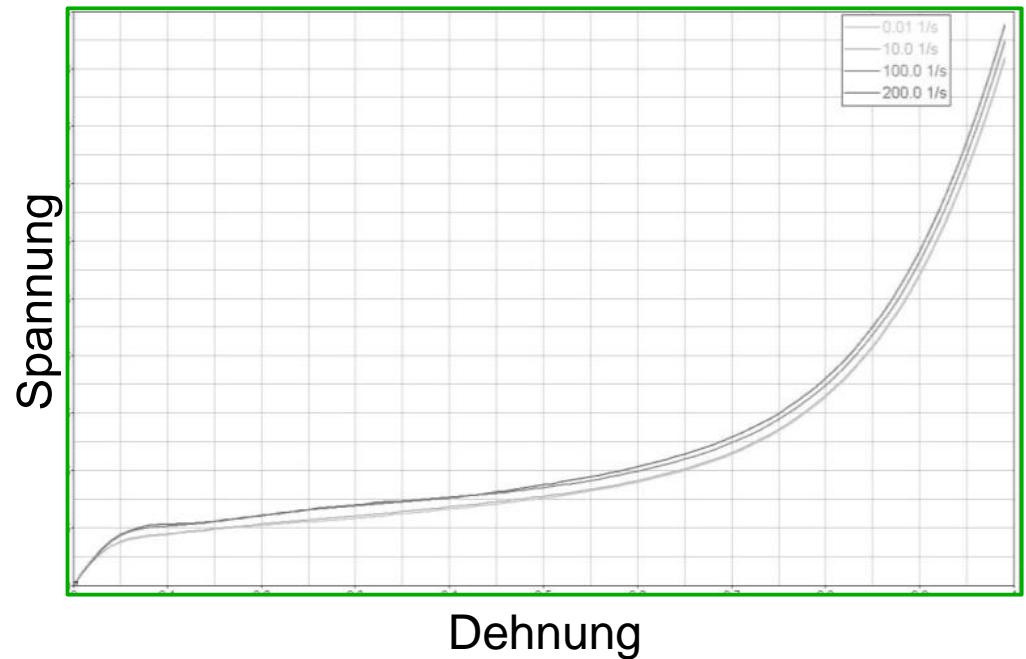
.csv-Datei mit Werten für Dehnrates und Dehnung, an denen das Metamodell ausgewertet werden soll

Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

- Extraktion von 2D-Kurven aus dem Metamodell

- *meta.csv*:

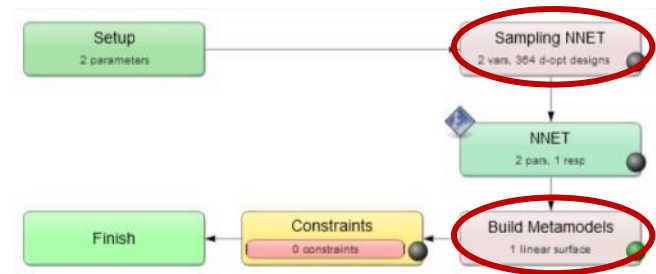
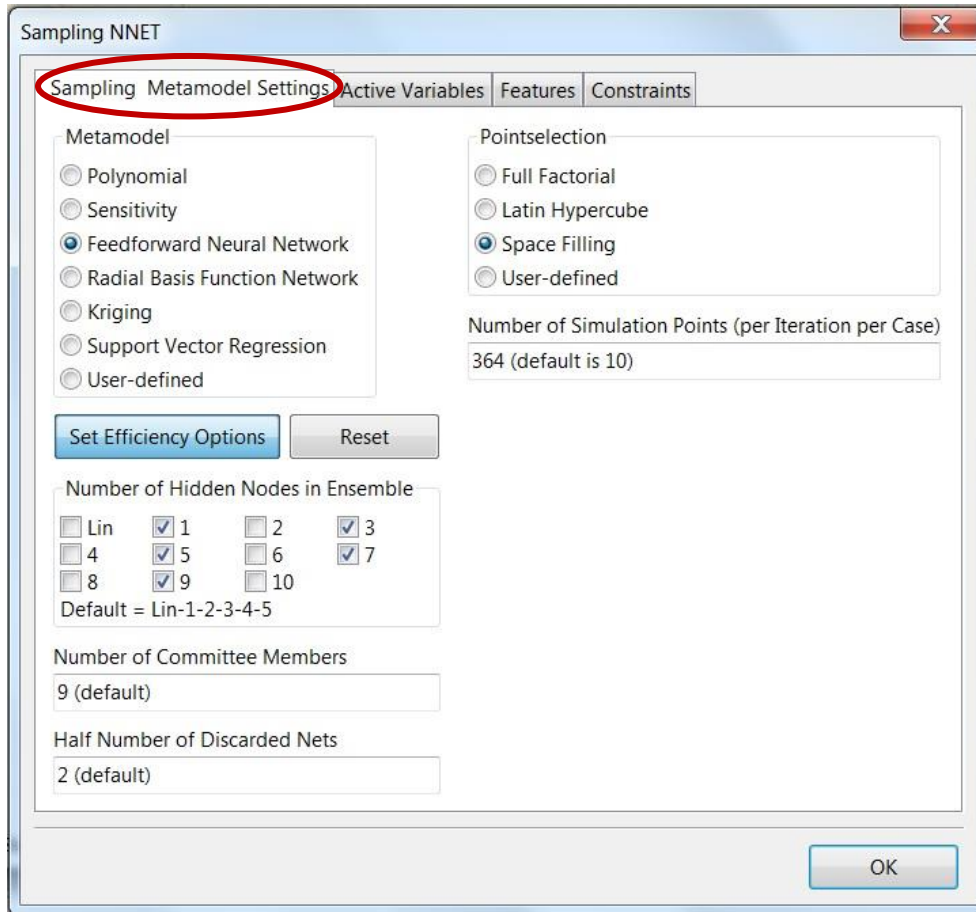
```
"Point", "strain", "strainrate"  
"sk", "dv", "dv"  
1,0,0.0001  
2,0.02,0.0001  
3,0.04,0.0001  
4,0.06,0.0001  
5,0.08,0.0001  
6,0.0,0.01  
7,0.02,0.01  
8,0.04,0.01  
9,0.06,0.01  
10,0.08,0.01
```



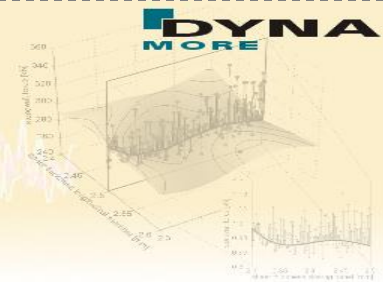
- Metamodellwerte werden in .csv-Datei geschrieben

Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

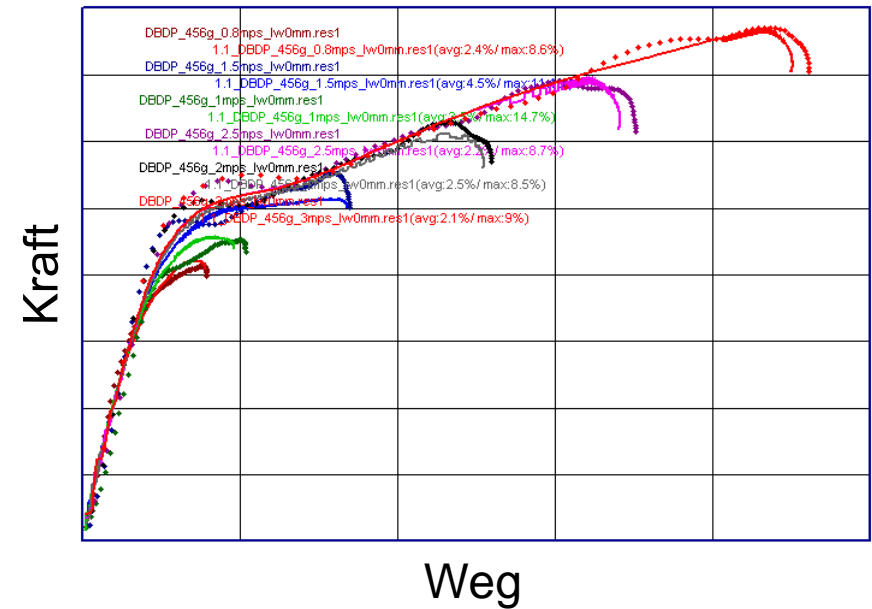
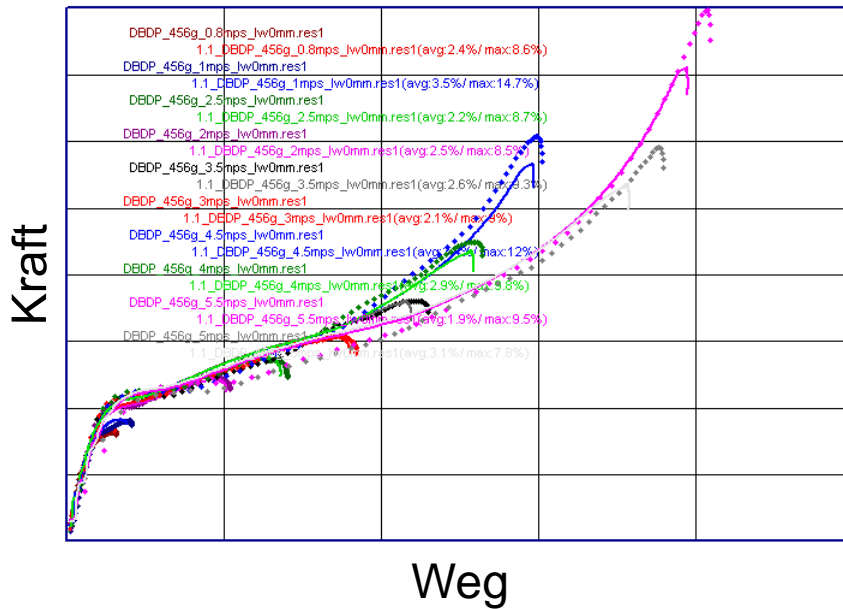
Metamodell



Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes



Ergebnisse der Validierungsrechnung



Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

Problemstellung:

- Erzeugen der Versuchsdaten mit 4a impetus
- Erstellung einer Materialkarte für PP T20
- Materialmodell *MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (Mat24)

```

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
$# mid ro e pr sigy etan fail tdel
1000000 0.3 0
$# c p lcss lcsr vp
0.000 0.000 1000000 0 1
$# eps1 eps2 eps3 eps4 eps5 eps6 eps7 eps8
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
$# es1 es2 es3 es4 es5 es6 es7 es8
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
    
```

- Dehnratenabhängiges Material

```

*DEFINE_TABLE
$# tbid
1000000
$# value lcid
0. 1000001
1. 1000002
10. 1000003
    
```

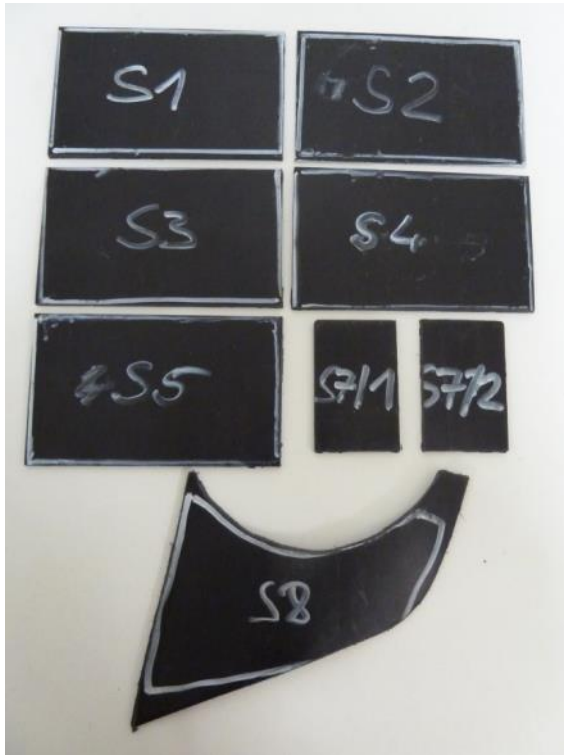
- Bestimmung der Spannungs-Dehnungs-Kurven mit LS-OPT

```

*DEFINE_CURVE
$# lcid sidr sfa sfo offa offo dattyp
1000001 0 1.000000 1.0
$# a1 o1
0. 17.93382
.004 25.717996
    
```

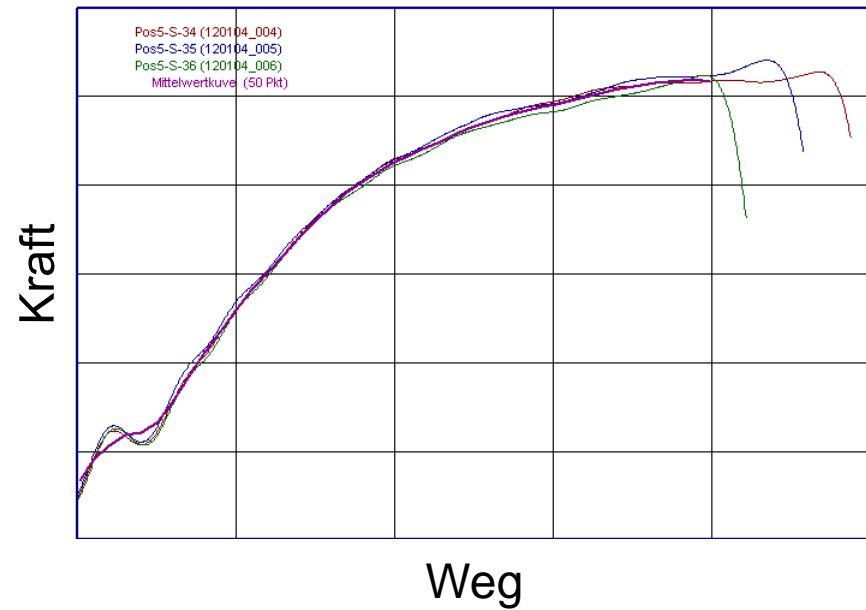
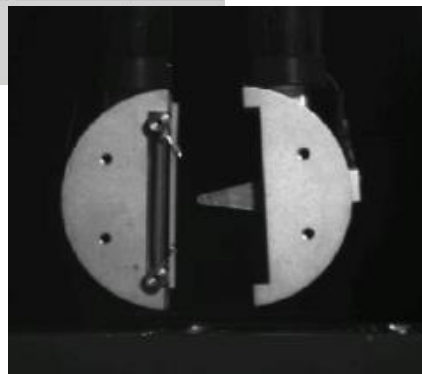
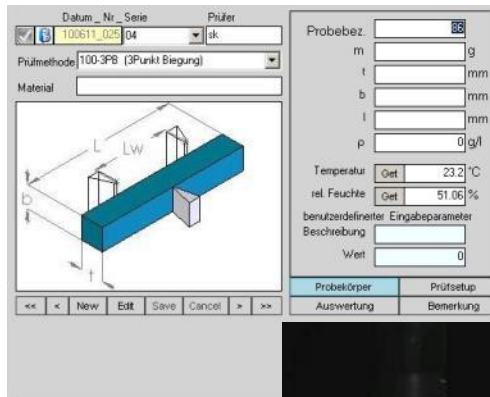
Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

- Probenbauteile aus Technikraumabdeckung
- Probenzuschnitt mittels Bandsäge
 - ca. 60x9x3 (mm), 50x9x3 (mm) bzw. 40x9x3 (mm)



Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

- 3-Punkt-Biegeversuche mit 4a impetus (Doppelpendel)
- Belastungsgeschwindigkeiten zwischen 1.0 und 6.0 m/s und Auflagerabstand zwischen 30 und 50 mm
 - 3 Versuche pro Versuchsaufbau



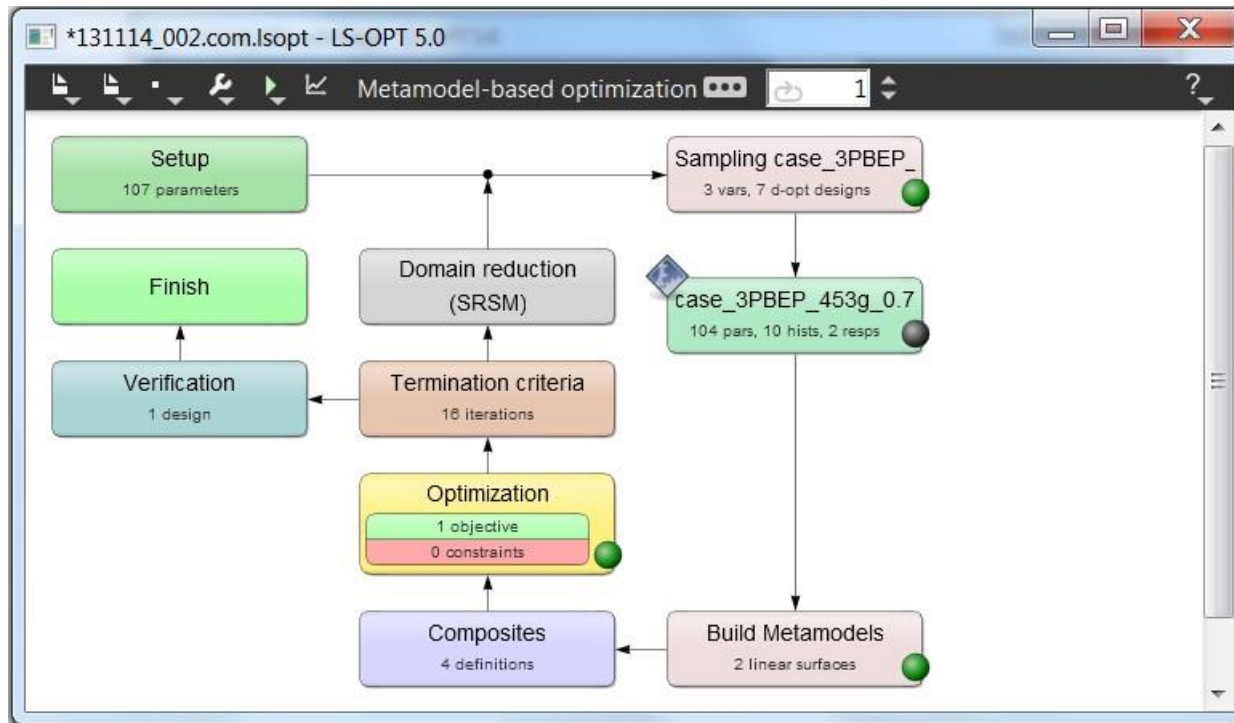
Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

Parameteridentifikation mit LS-OPT:

- Anpassung in 3 Schritten (3 Optimierungen):
 - *Anpassung E-Modul*
 - ***Anpassung Materialkurve***
 - *Anpassung Dehnratenabhängigkeit*
- Verwendung von parametrisierten analytischen Kurven zur Bestimmung der Materialkurven
- Parameter werden mit LS-OPT bestimmt
- Verschiedene Ansätze für Kurven implementiert, z.B.:
 - *Bilinear*: $\sigma = \sigma_0 + E_T \cdot \varepsilon_p$
 - *Ludwik*: $\sigma = A + B\varepsilon_p^n$
 - *4-Parameter-Ansatz von 4a*:
$$\sigma = \sigma_0 + E \cdot \varepsilon_p \cdot \frac{1}{\left[1 - \frac{E}{H} \cdot \varepsilon_p\right]}$$
 - ...

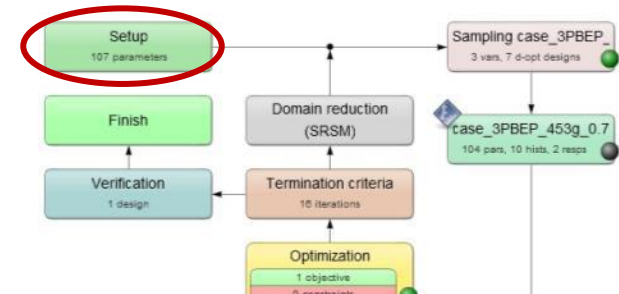
Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

- Definition in LS-OPT - Übersicht



Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

Parameterdefinition



Problem global setup

Parameter Setup | Stage Matrix | Sampling Matrix | Resources | Features

Show advanced options

Type	Name	Starting	Minimum	Maximum	Delete
Continuous	s_ET	20	0	50	⚠ x
Continuous	s_h	90	50	130	⚠ x
Continuous	s_y	30	5	50	⚠ x
Dependent	sig0000	Definition: (s_y+e_E*eppp00*(1+s_ET/e_E*eppp) 🔒			
Dependent	sig0001	Definition: (s_y+e_E*eppp01*(1+s_ET/e_E*eppp) 🔒			
Dependent	sig0002	Definition: (s_y+e_E*eppp02*(1+s_ET/e_E*eppp) 🔒			
Dependent	sig0003	Definition: (s_y+e_E*eppp03*(1+s_ET/e_E*eppp) 🔒			
Dependent	sig0004	Definition: (s_y+e_E*eppp04*(1+s_ET/e_E*eppp) 🔒			

Add...

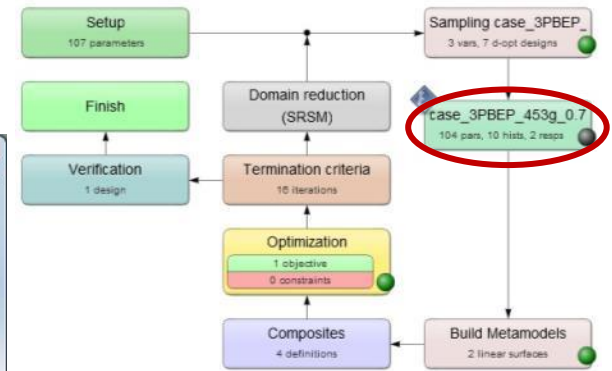
OK

Variablendefinition mit Startwert, Minimum und Maximum

Definition von abhängigen Parametern

Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

■ Definition in LS-OPT - Übersicht



Stage case_3PBEP_453g_0.7mps_lw50mm

Setup Parameters Histories Responses File Operations

General

Package Name: User-Defined

Command per l: `./../7run.pl` Browse

Do not add input file argument

Input File: `case_3PBEP_453g_0.7mps_lw50mm.inp` Browse

copies case_3PBEP_453g_0.7mps_lw50mm.inp to case_3PBEP_453g_0.7mps_lw50mm/ft.run/ UserOpt.inp and substitutes parameters

Extra input files

Execution

Resources

Resource	Units per job	Global limit	Delete
case_3PBEP_453g_0.7mps_lw50mm	1	2	x

Create new resource

Use Queuing

Use LSTCVM proxy

Environment Variables

Run Jobs in Directory of Stage:

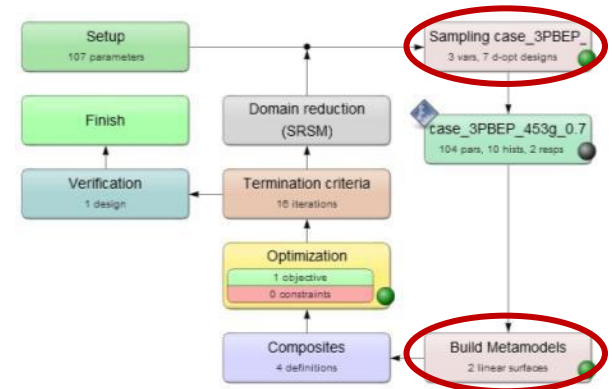
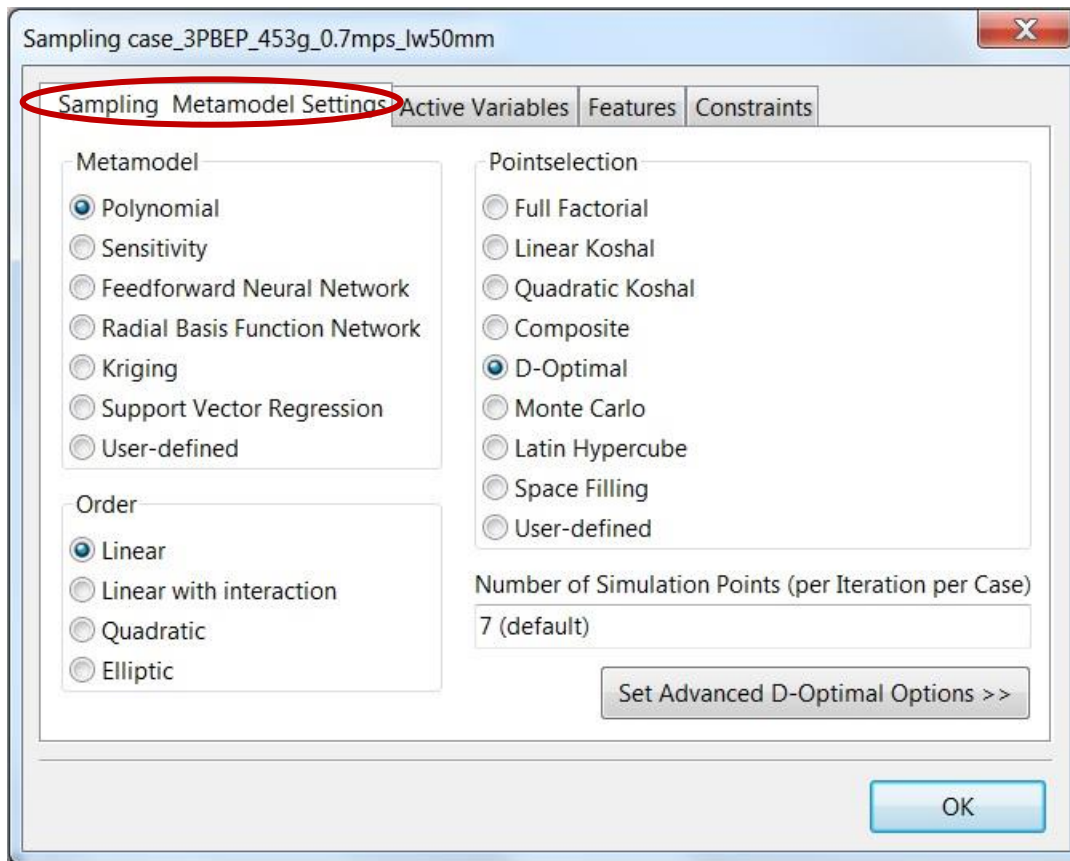
OK

LS-DYNA Aufruf über Skript

LS-DYNA Input

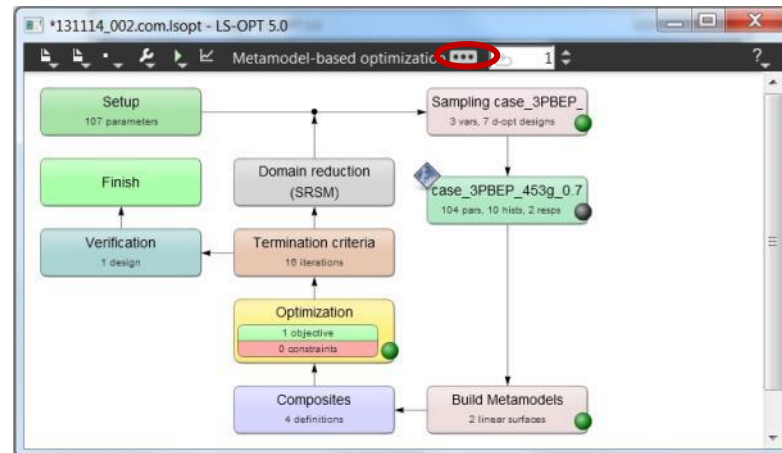
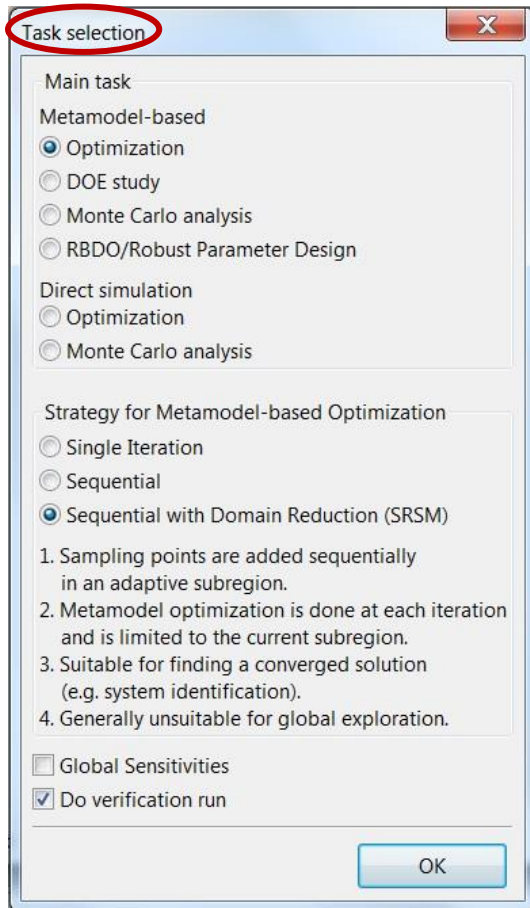
Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

- Metamodell
 - *Sampling*



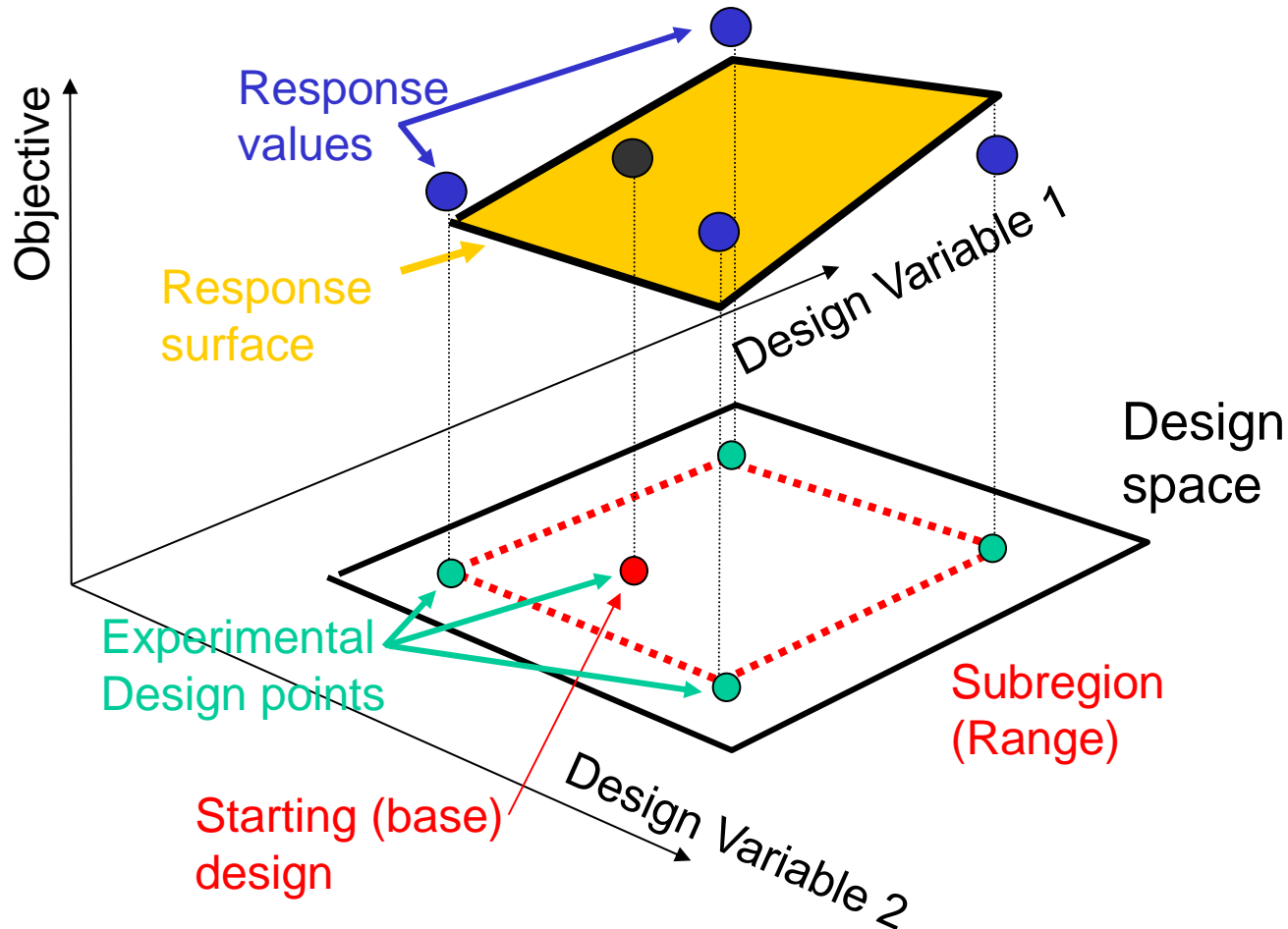
Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

■ Metamodell



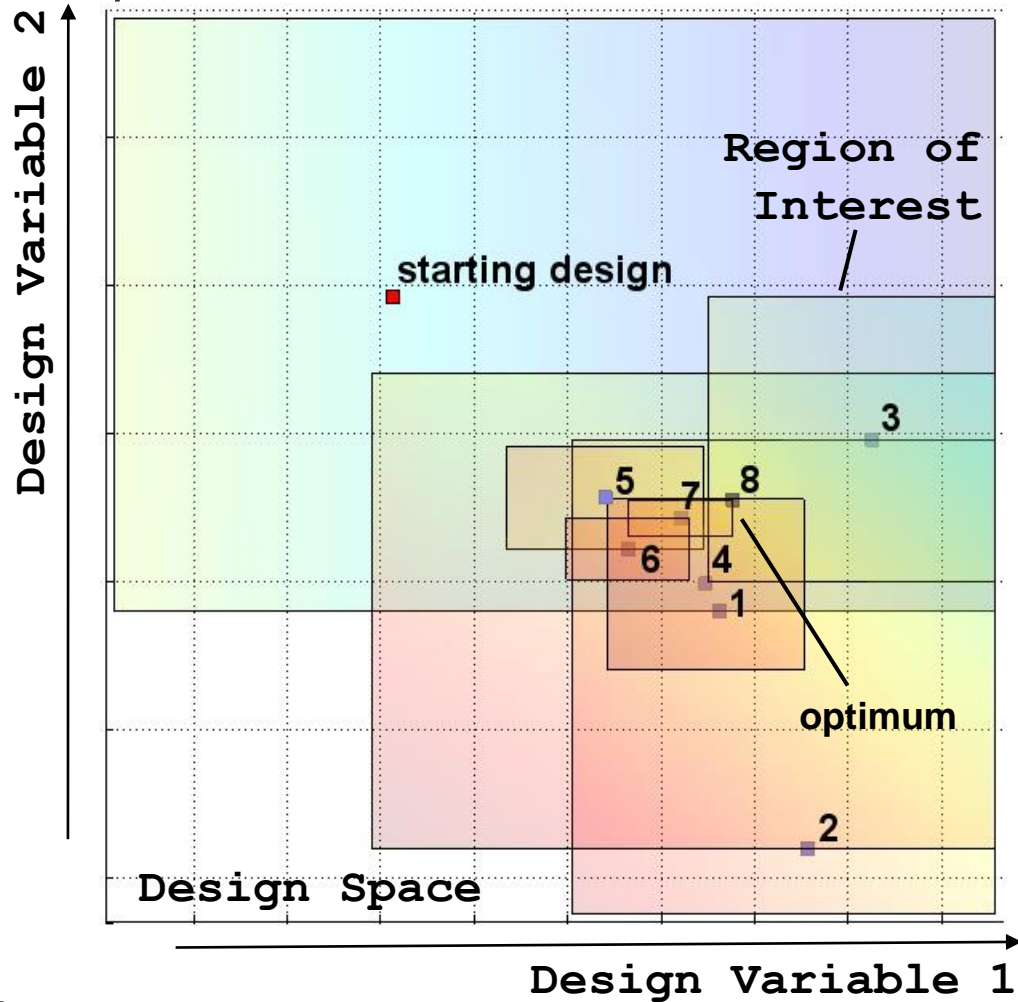
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Sequential Response Surface Methode



Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Sequential Response Surface Methode



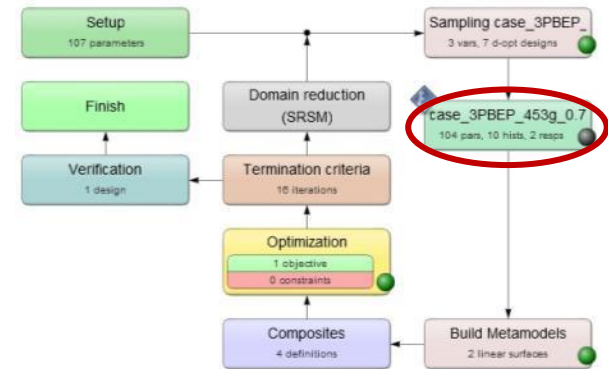
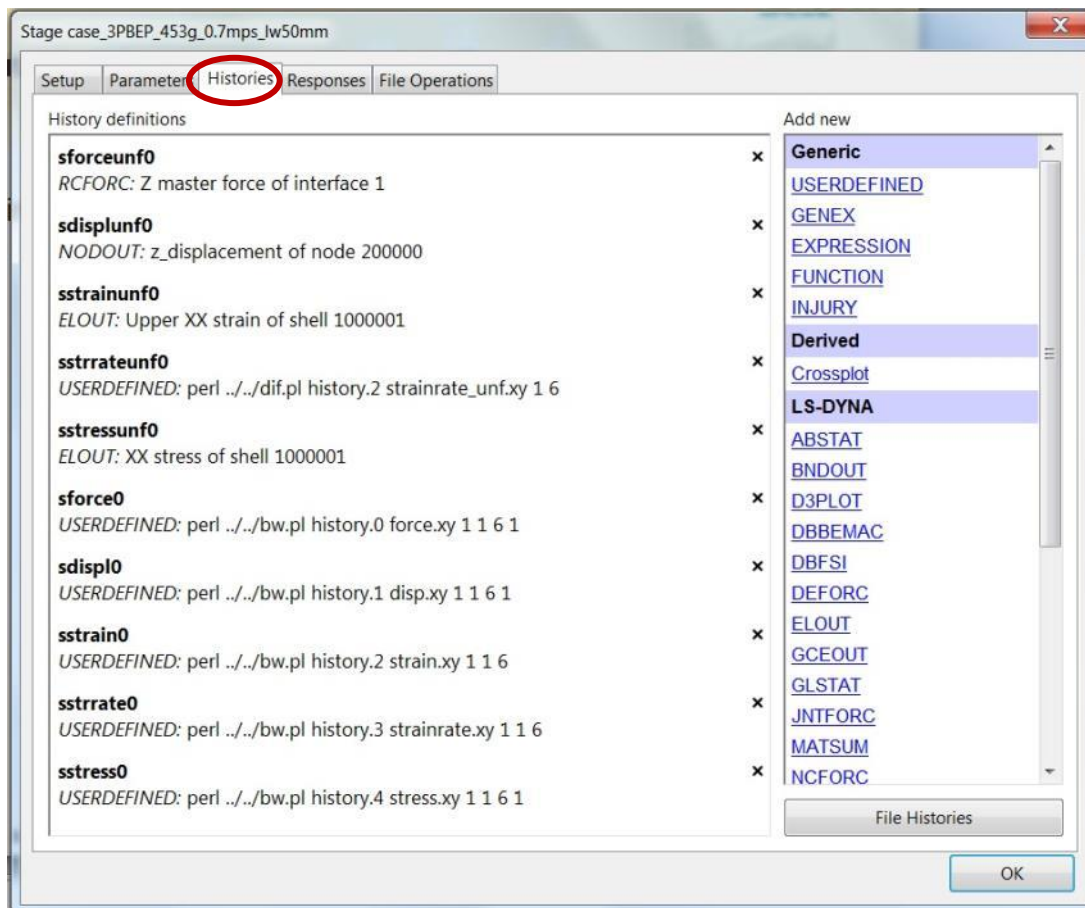
Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

Parameteridentifikation mit LS-OPT:

- Bestimmung der optimalen Parameter durch Vergleich von Kraft- und Verschiebungskurven aus Versuch (4a impetus) und LS-DYNA-Simulation
- Fehlermaß *Mean Squared Error* wird minimiert

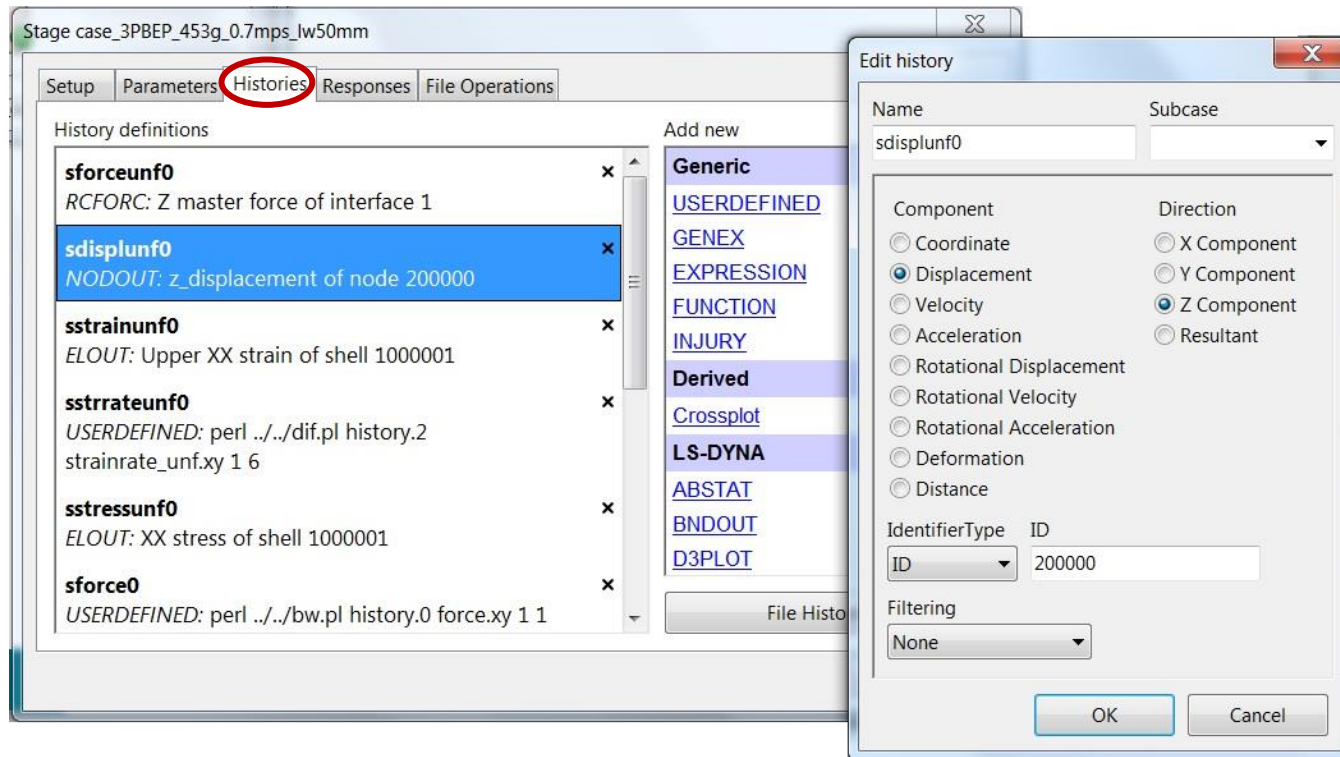
Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

■ Definition von Test- und Simulationskurven



Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

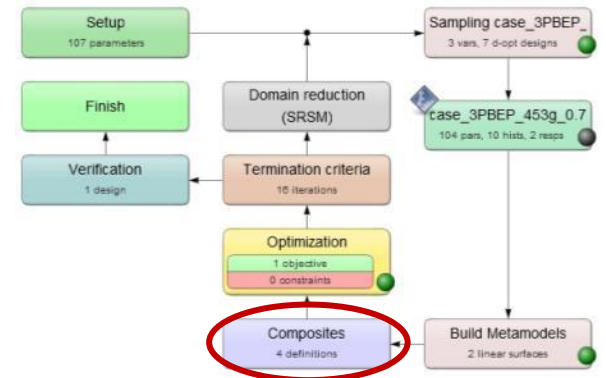
- Definition von Test- und Versuchskurven
 - *Schnittstellen zu den meisten LS-DYNA-Ausgabegrößen*



Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

$$MSE(\mathbf{x}) = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P W_i \left(\frac{F_i(\mathbf{x}) - G_i}{S_i} \right)^2 \rightarrow \min$$

Test curve (points to G_i)
Simulation curve (points to $F_i(\mathbf{x})$)



Composites

Composite definition

M0F_max
Standard Co

M0S_fmax
Standard Co

M0F_time
Curve Match
ordinate val

M0S_time
Curve Match
ordinate val

Curve Matching Composite

Name: MOS_time

Algorithm

Mean Square Error (difference in curve Y values)

Curve Mapping (size of area between curves)

Target curve: avgdisp10

Computed curve: sdisp10

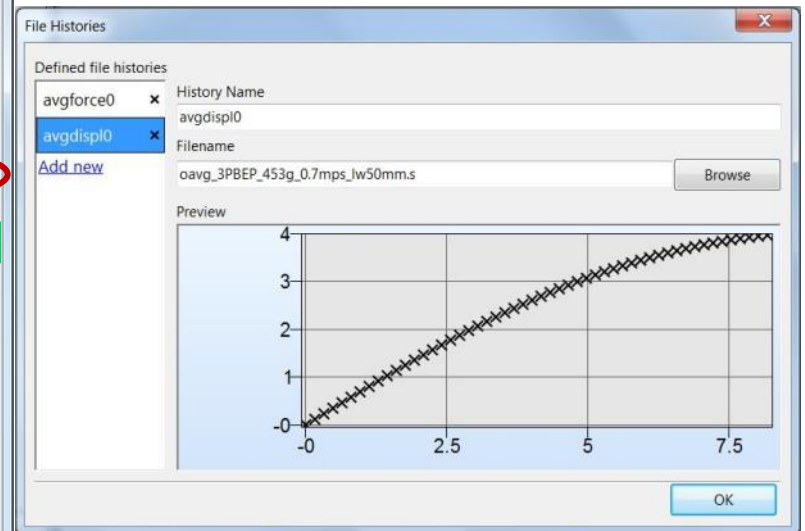
Regression Points

From target curve

Fixed number (equidistant, interpolated) : 100

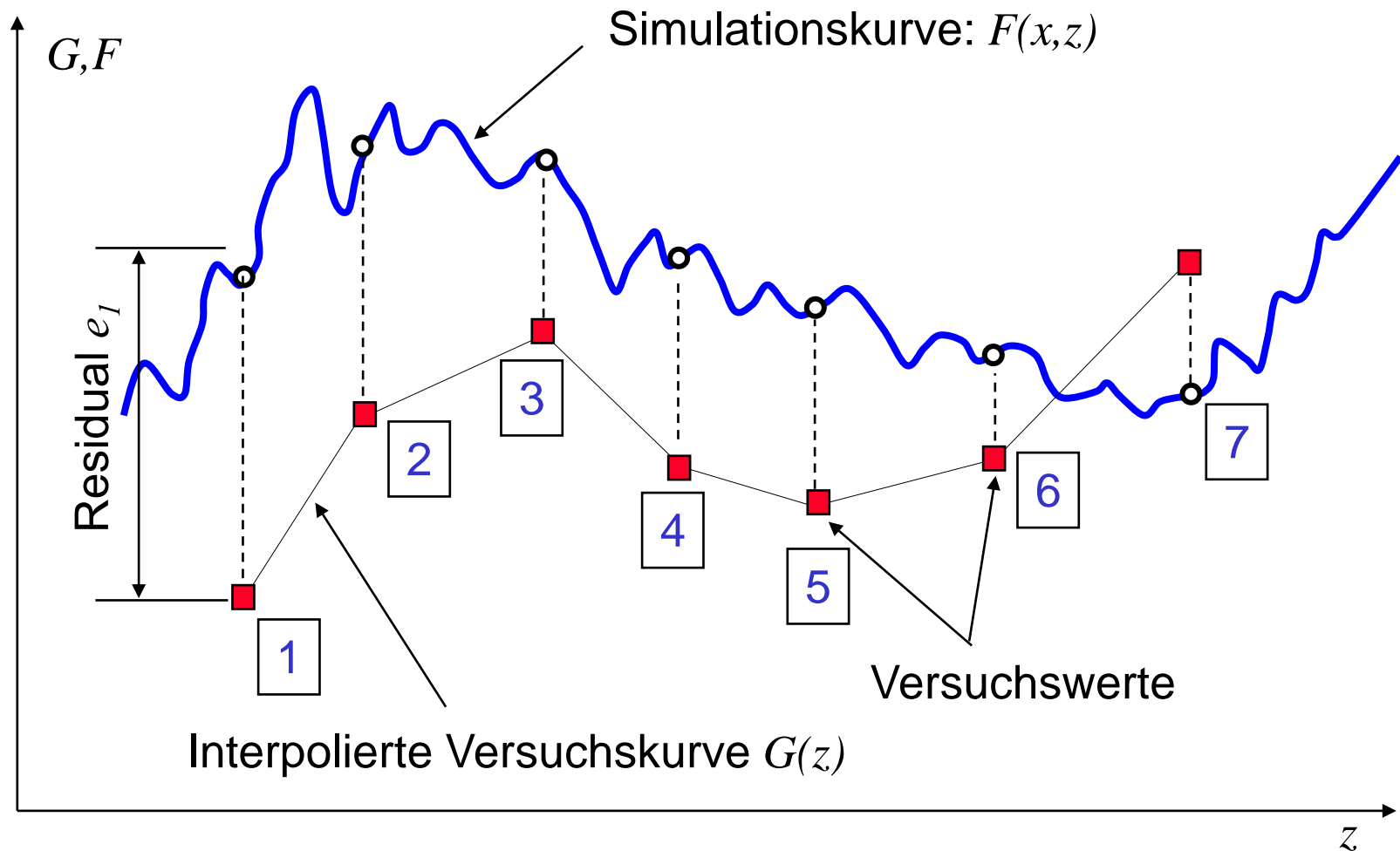
You can convert this composite to an expression for further fine-tuning.

OK Cancel



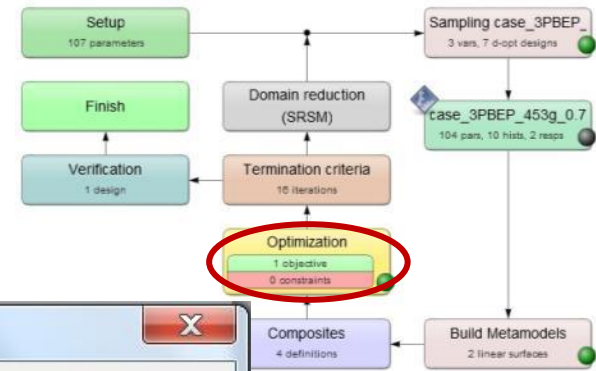
Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

- Mean Squared Error (ordinaten-basiertes Fehlermaß)



Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

- Definition des Optimierungsziels



Optimization

Objectives | Constraints | Algorithms

Maximize the Objective Function (instead of minimize)

Objective components:

Response/Composite	Weight
× MOF_time	1 (default)

Add new

Responses

[sforce0 max](#)

[sdisp10 max](#)

Composites

[MOF max](#)

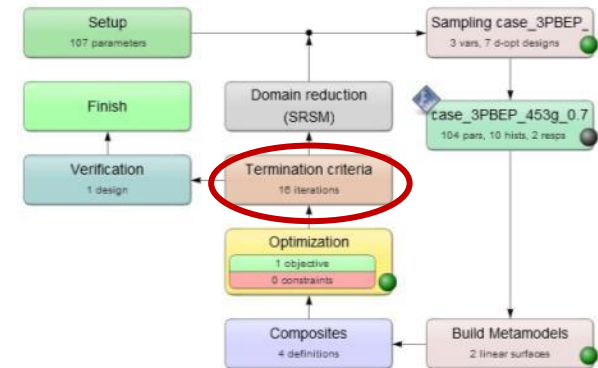
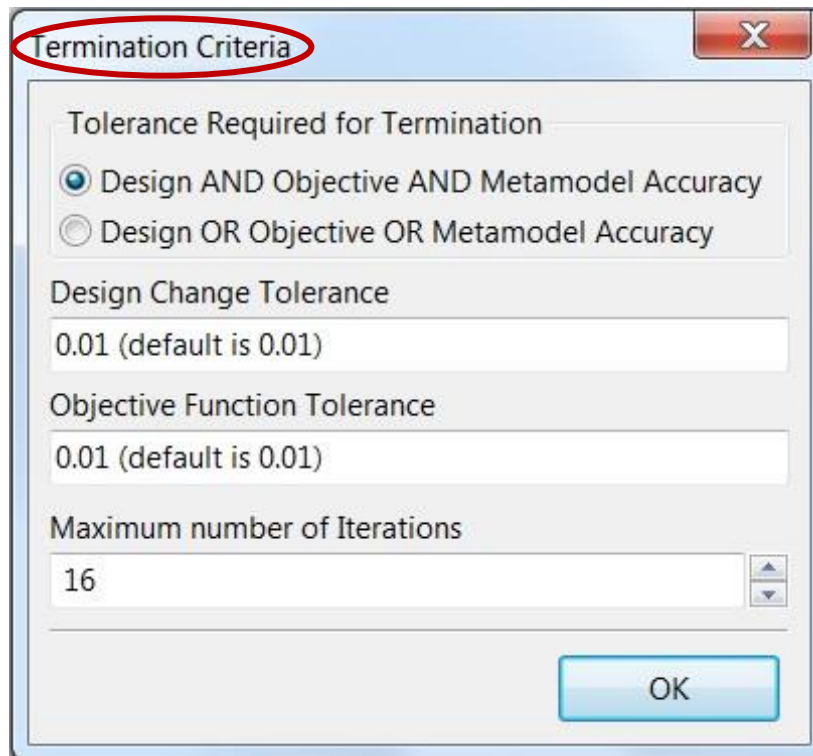
[MOS fmax](#)

[MOS time](#)

OK

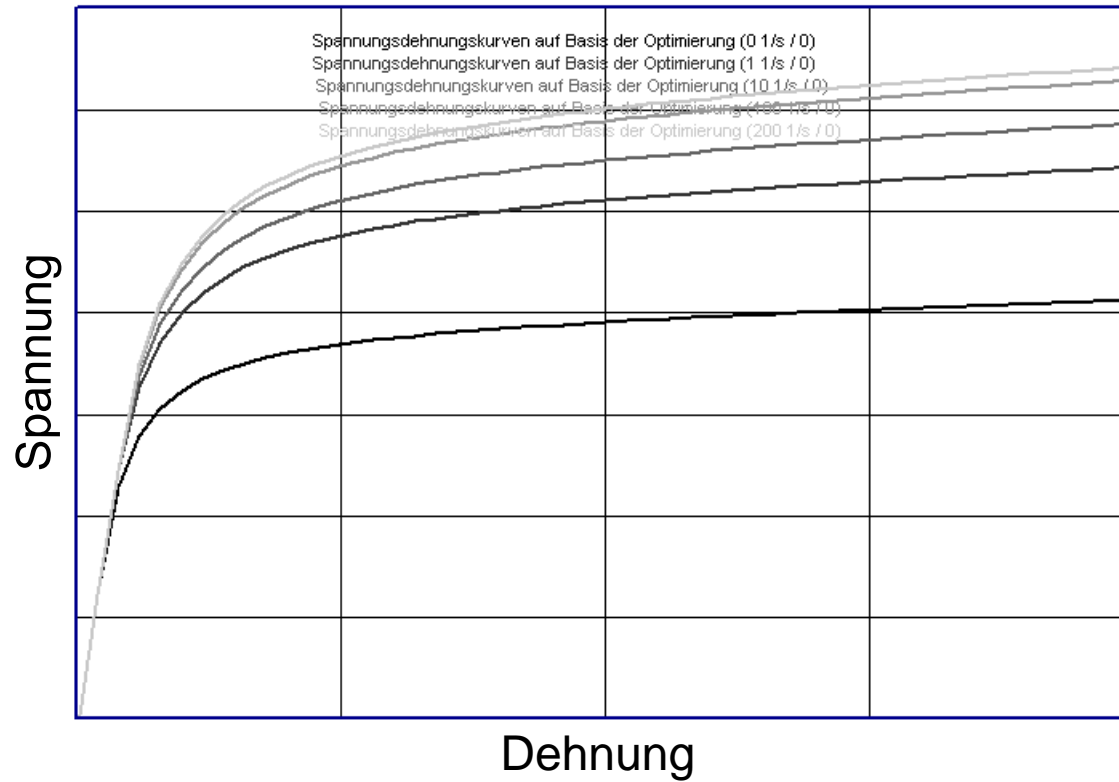
Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

- Definition des Abbruchkriteriums



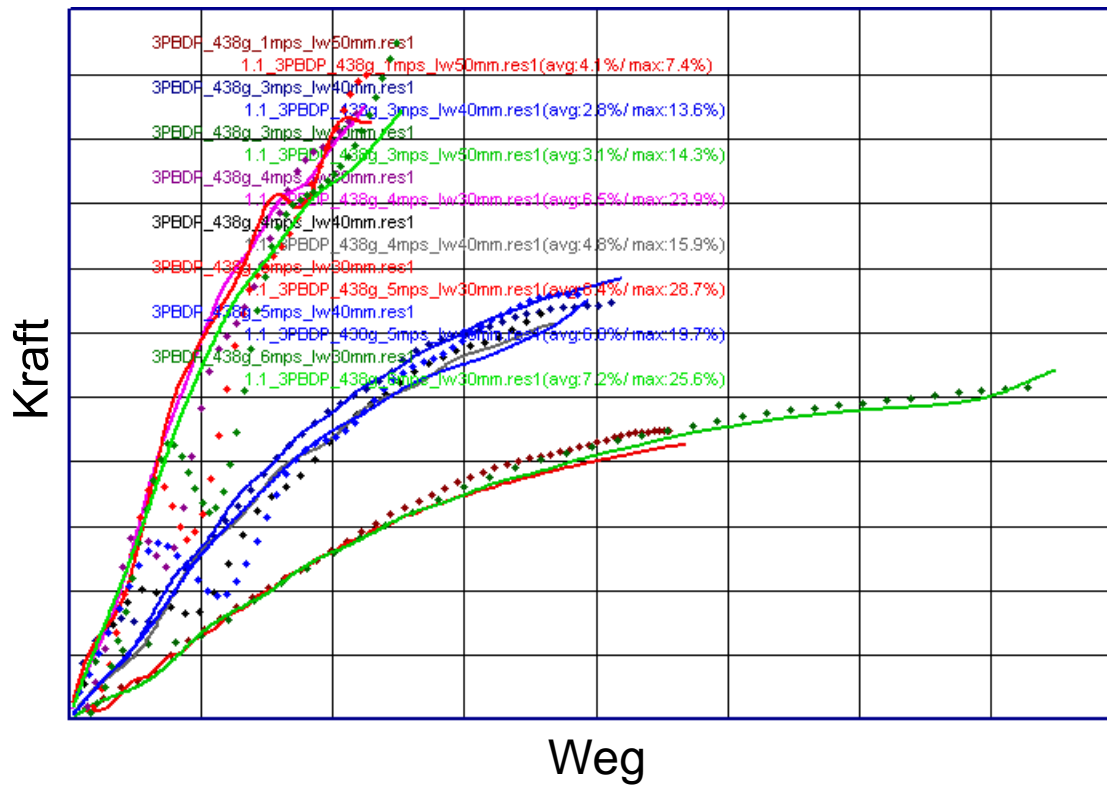
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Ergebnisse der Optimierung - Materialkurven



Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Ergebnisse der Optimierung – Simulation mit optimalem Parametersatz



Zusammenfassung

- 4a impetus bietet einen geschlossenen Weg von der Materialprüfung bis hin zur validierten Materialkarte
- Für die Charakterisierung des Schaummaterials wurden Druckversuche mit 4a impetus bei verschiedenen Belastungsgeschwindigkeiten durchgeführt
- Mit Hilfe der neuronalen Netze konnte ein kontinuierlicher Zusammenhang zwischen Spannung, Dehnung und Dehnrates hergestellt und das Schaummaterial sehr einfach beschrieben werden
- Für die Charakterisierung des Kunststoffes wurden 3-Punkt-Biegeversuche mit 4a impetus bei verschiedenen Versuchsaufbauten durchgeführt
- Mit der gewählten Ansatzfunktion und Parameteridentifikation in LS-OPT konnte das Kunststoffmaterial gut abgebildet werden



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!