



# Identifikation von Materialparametern mit LS-OPT<sup>®</sup> – Anwendungsbeispiele aus der Praxis

J.Effelsberg, A. Förderer (DYNAmore GmbH) ,  
Dr. M. Feucht (Daimler AG),  
M. Söllner (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 (DYNAmore GmbH) ,  
M. Söllner (Porsche AG)

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

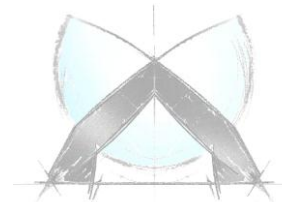
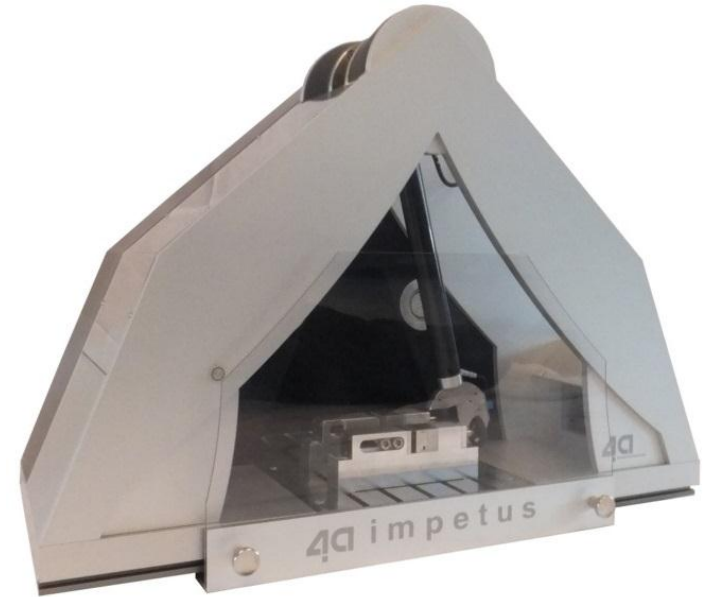
# Übersicht

- 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

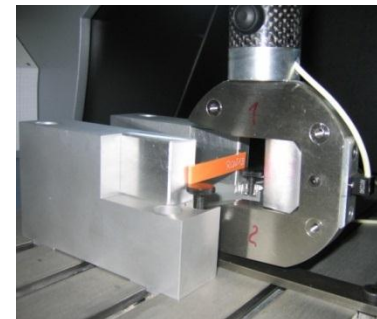
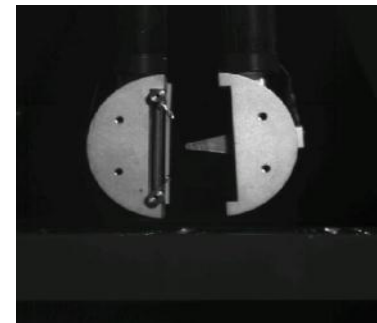
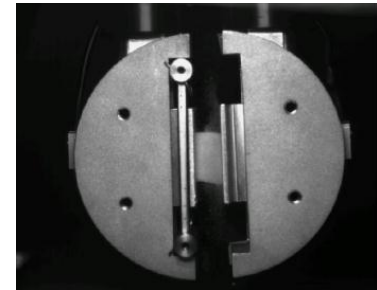
## Möglichkeiten:

### ■ Sensoren:

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

### ■ Werkstoffe:

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



# Vorstellung 4a impetus

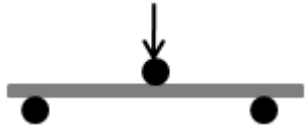
The screenshot displays the 4a Impetus v3.1 beta software interface, which is used for managing test data and performing optimization. The interface is divided into several main sections:

- Versuchsdatenbank (Test Data Bank):** A table listing test runs with columns for ID, Prüfer (Inspector), Probekör... (Sample No.), Prüfmetho... (Method), Gesch... (Speed), and Auflag... (Load). The table contains 16 entries, with the first five highlighted in a red box labeled "Versuchsdatenbank".
- Versuchsergebnisse (Test Results):** A graph showing Channels [Y-axis] versus Zeit [s] [X-axis]. The graph displays several curves, with a prominent one labeled "130214\_001/channel 0 (Filter CFC 1000)". A red box labeled "Versuchsergebnisse" highlights the graph area.
- Datenbank für Materialmodelle (Material Model Database):** A section for managing material models, including fields for Datum\_Nr\_Nom (Date No Name), Material, and Designvariable. A red box labeled "Datenbank für Materialmodelle" highlights this section.
- Optimierung mit LS-OPT (Optimization with LS-OPT):** A section for optimization settings, including fields for LS-OPT Version, LS-OPT Revision, File name, and Project Command File. A red box labeled "Optimierung mit LS-OPT" highlights this section.

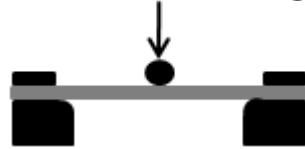
At the bottom of the interface, there is a status bar showing "Loading TEST ID: 130214\_001" and "Aktive Datenbank: D:\DATA\_4a\130214\_Damier\_PP\main\_v3.mdb".

# Vorstellung 4a impetus

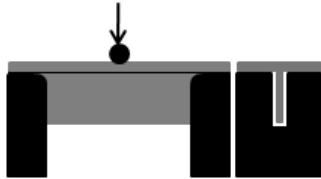
- 3-Punkt-Biegung



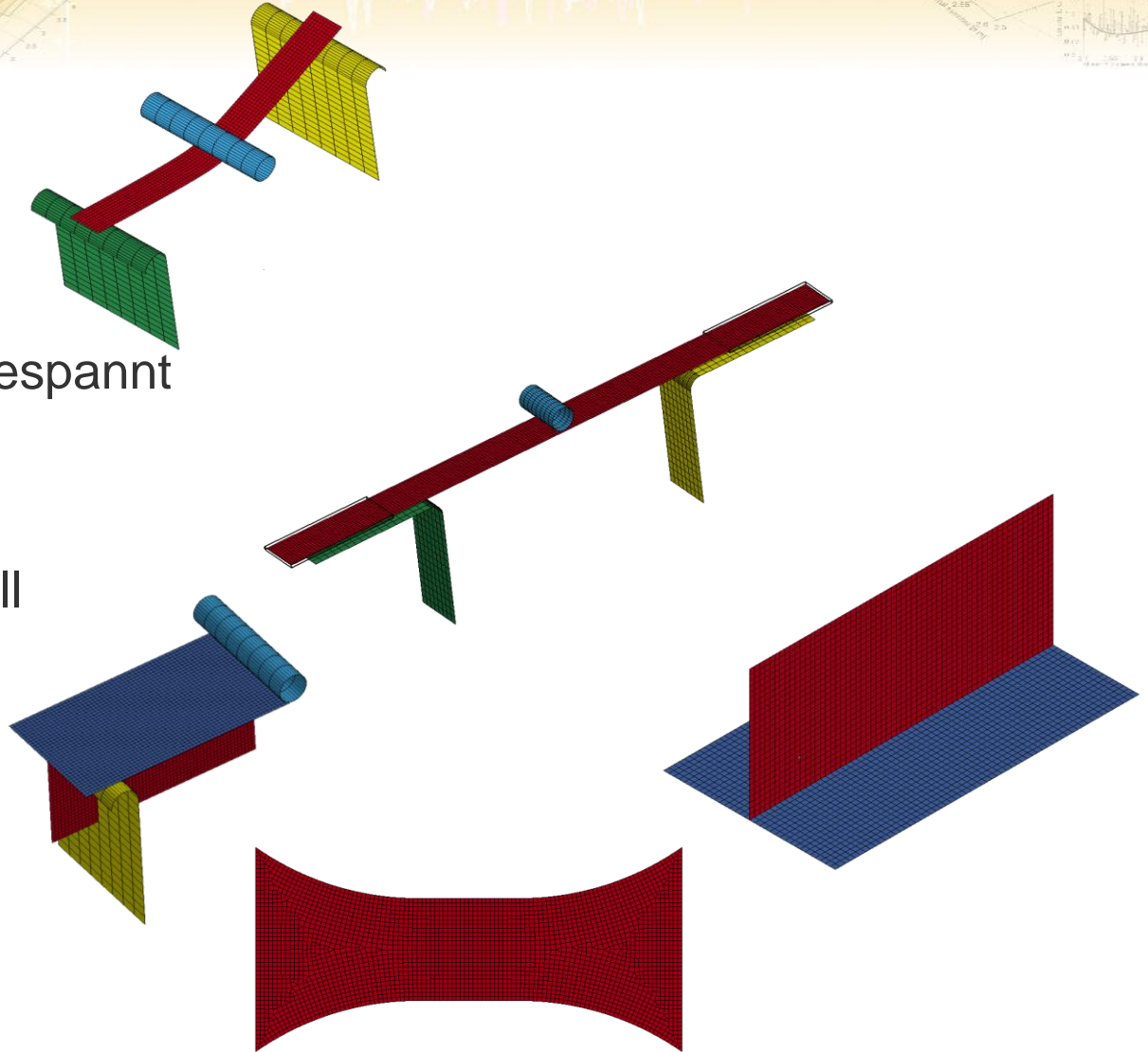
- 3-Punkt-Biegung gespannt



- T-Probe Halbmodell

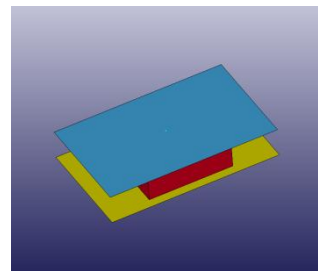
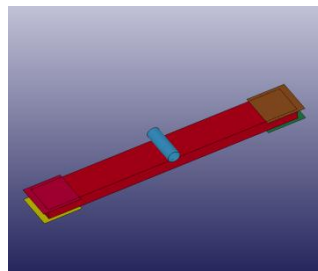
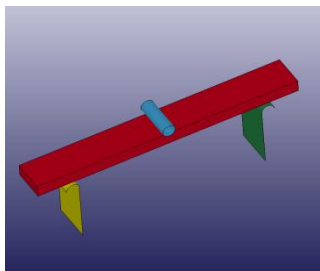


- Zugstab kurz

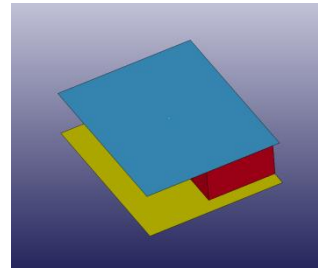
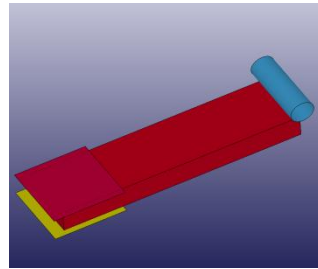
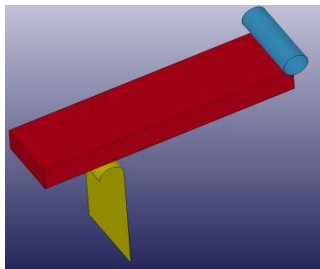


# Vorstellung 4a impetus

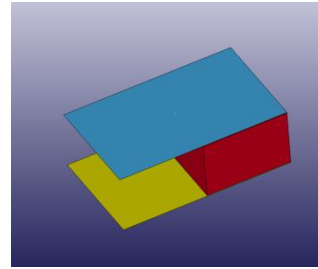
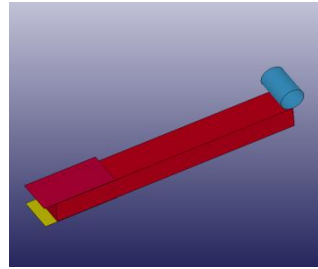
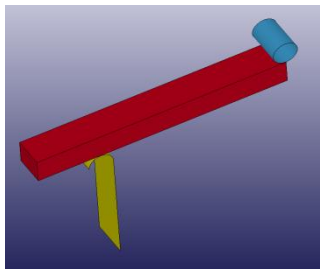
- Um die Berechnungsgeschwindigkeit zu erhöhen können Symmetrien genutzt werden.



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 [redacted] [redacted] 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
[redacted]
101
102
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
[redacted] [redacted]
```

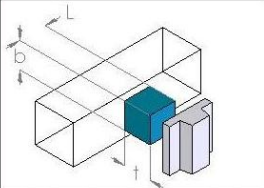
# Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

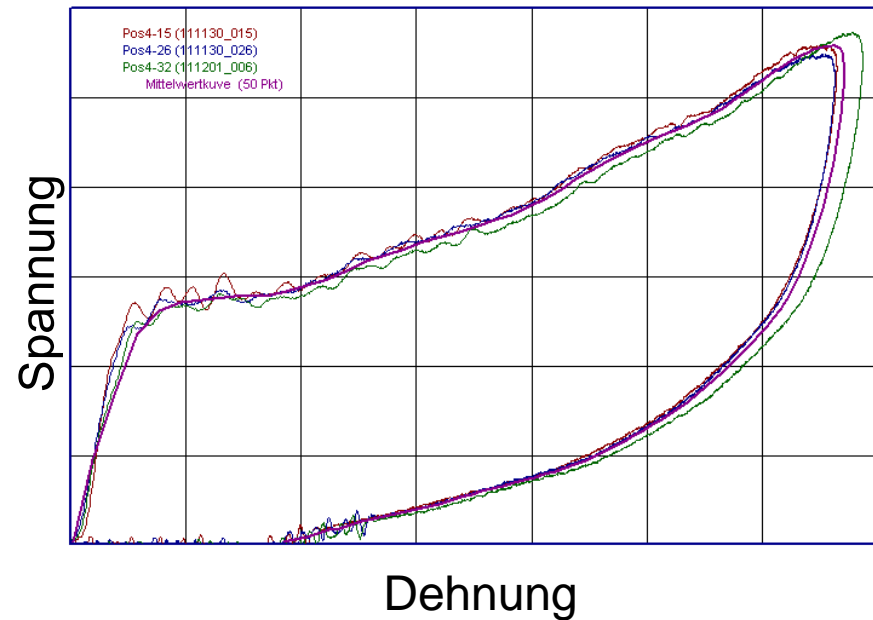
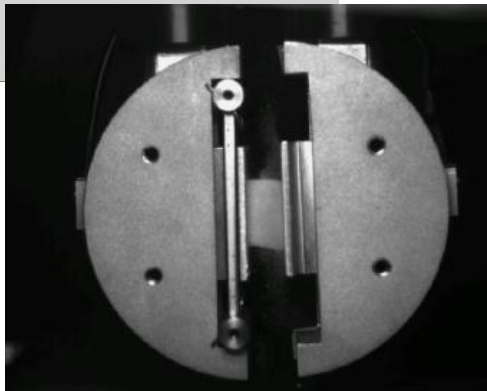
- Probenbauteile aus Stoßfängerquerträger
- Probenzuschnitt mittels Bandsäge
  - *Würfel ca. 20x20x20 (mm) bzw. 25x20x20 (mm)*



# Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

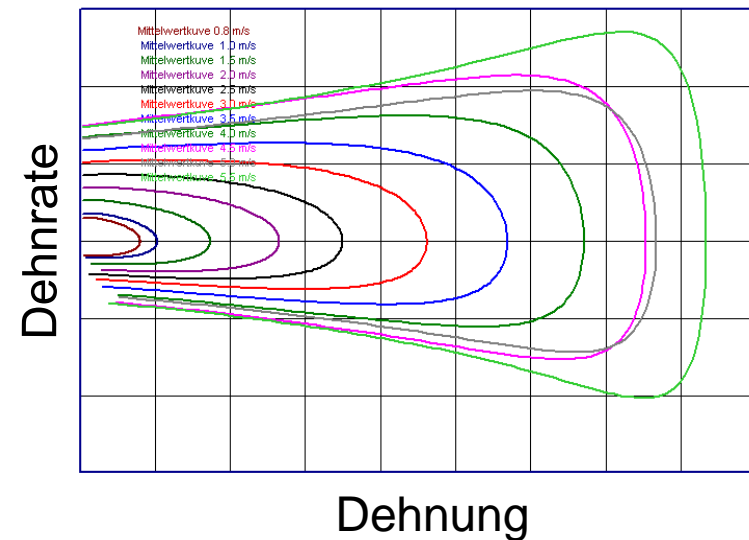
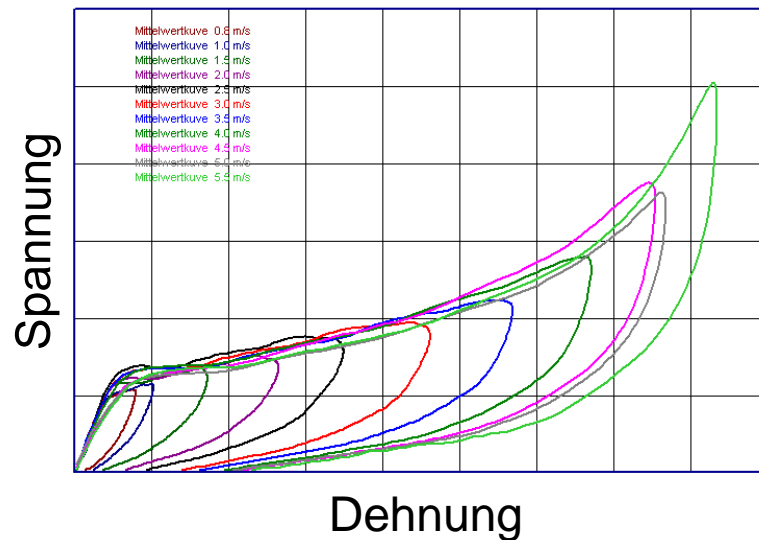
- Druckversuche mit 4a impetus (Doppelpendel)
- Belastungsgeschwindigkeiten zwischen 0.8 und 5.0 m/s
  - 3 Versuche pro Geschwindigkeit

Datum_Nr_Serie	Prüfer
1006T1_025 04	sk
Prüfmethode 300-DB (Druckbelastung)	
Material	
	
Probebez.	86
m	0.32 g
t	24.3 mm
b	20 mm
l	19.4 mm
p	33.34 g/l
Temperatur	Get 23.2 °C
rel. Feuchte	Get 51.06 %
benutzerdefinierter Eingabeparameter	
Beschreibung	
Wert	0
Probekörper	Prüfsetup
Auswertung	Bemerkung

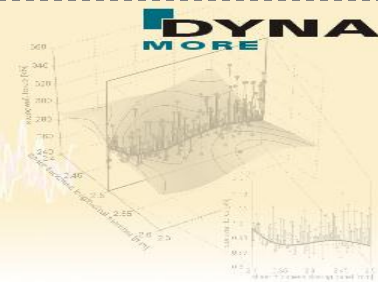


# Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

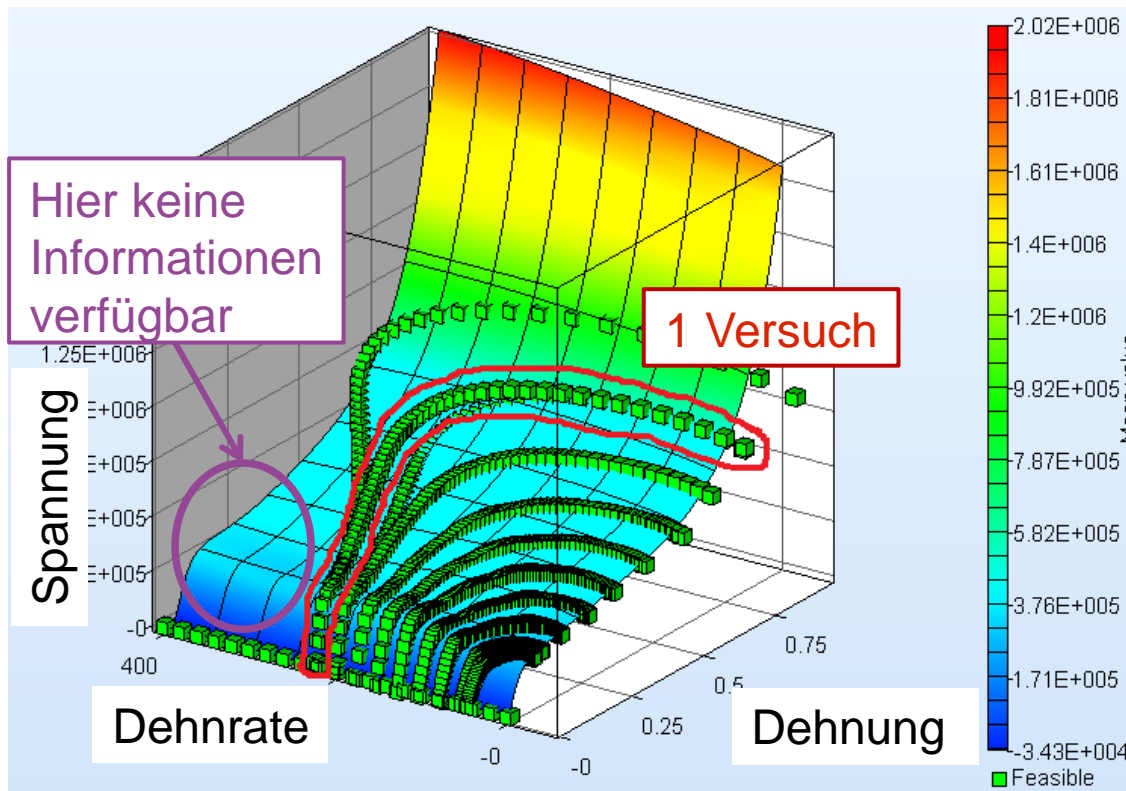
- Spannungs-Dehnungs-Kurven für Belastungsgeschwindigkeiten
- Dehnraten sind nicht konstant
- Aber: Zusammenhang zwischen Spannung, Dehnung und Dehnrates



# Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

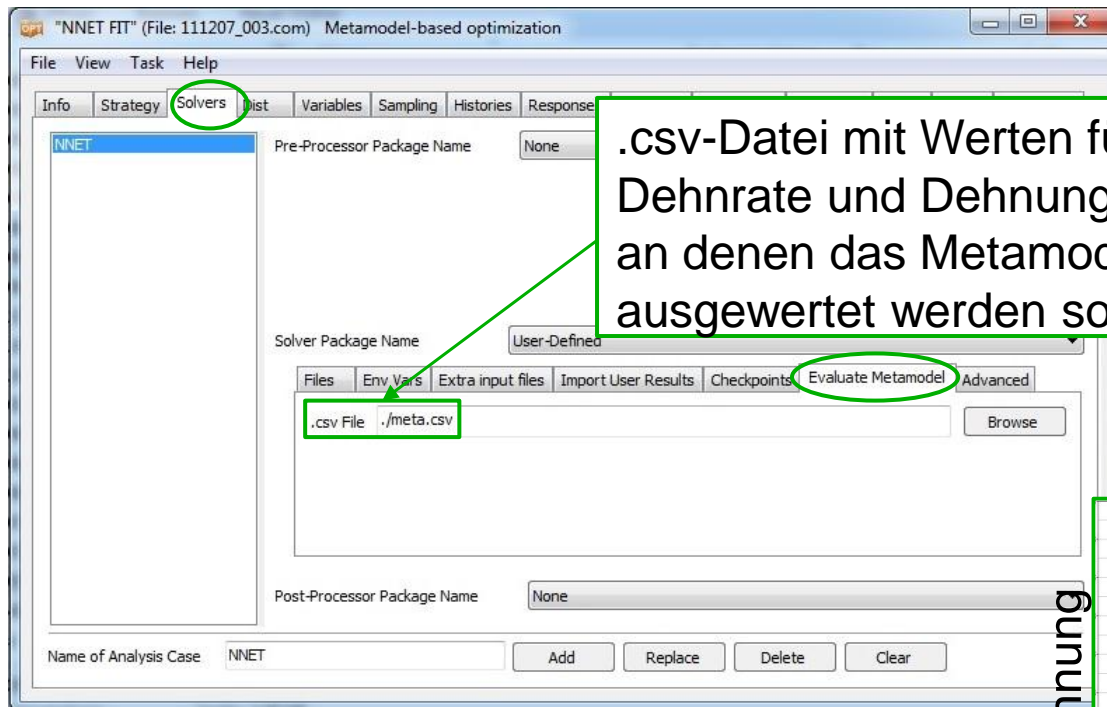


- Datenpunkte aus Versuch werden mit Neuronalen Netzen in LS-OPT approximiert → kontinuierlicher Zusammenhang



# Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

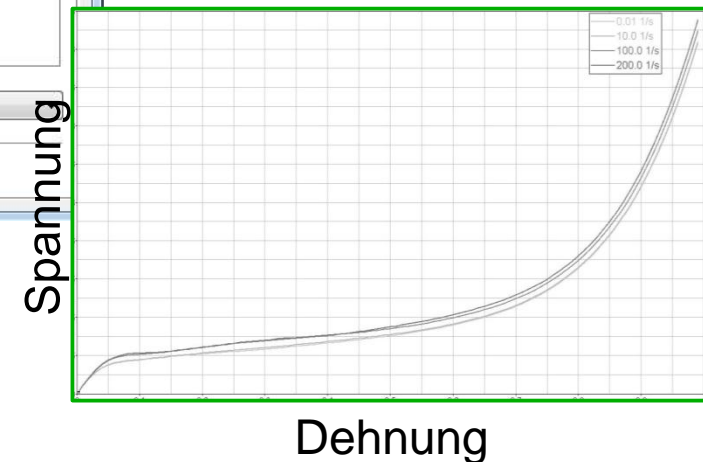
- Extraktion von 2D-Kurven aus dem Metamodell



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

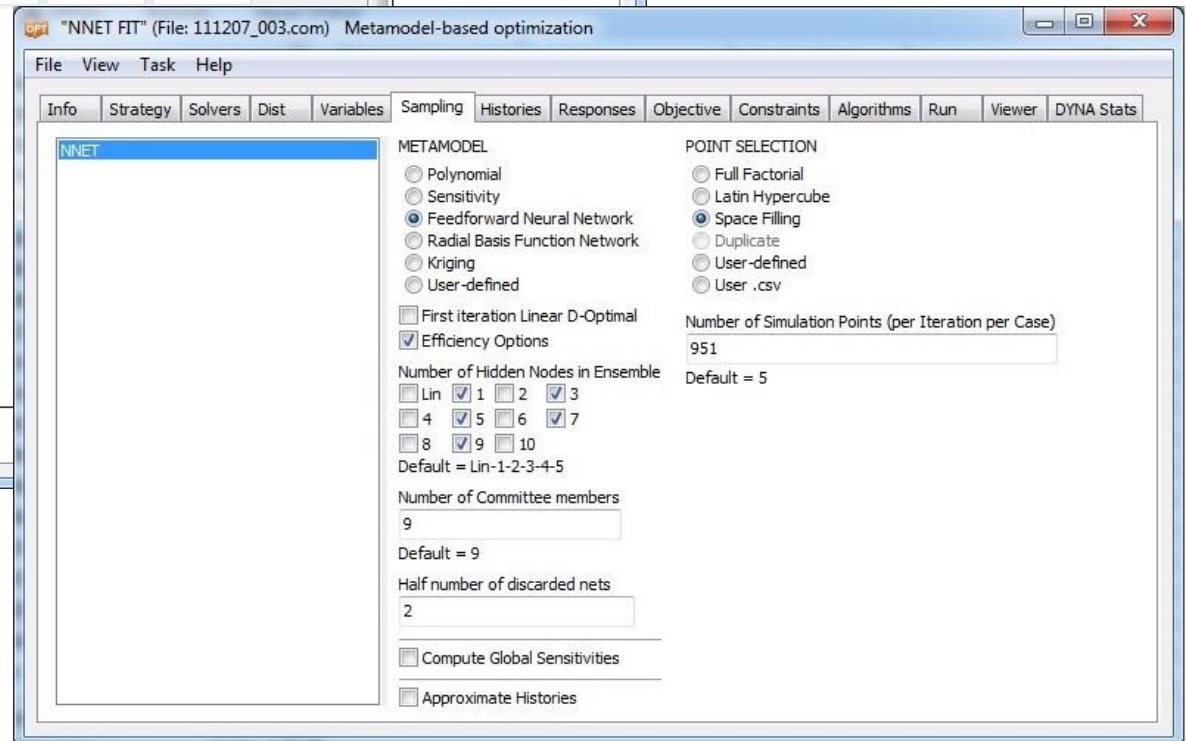
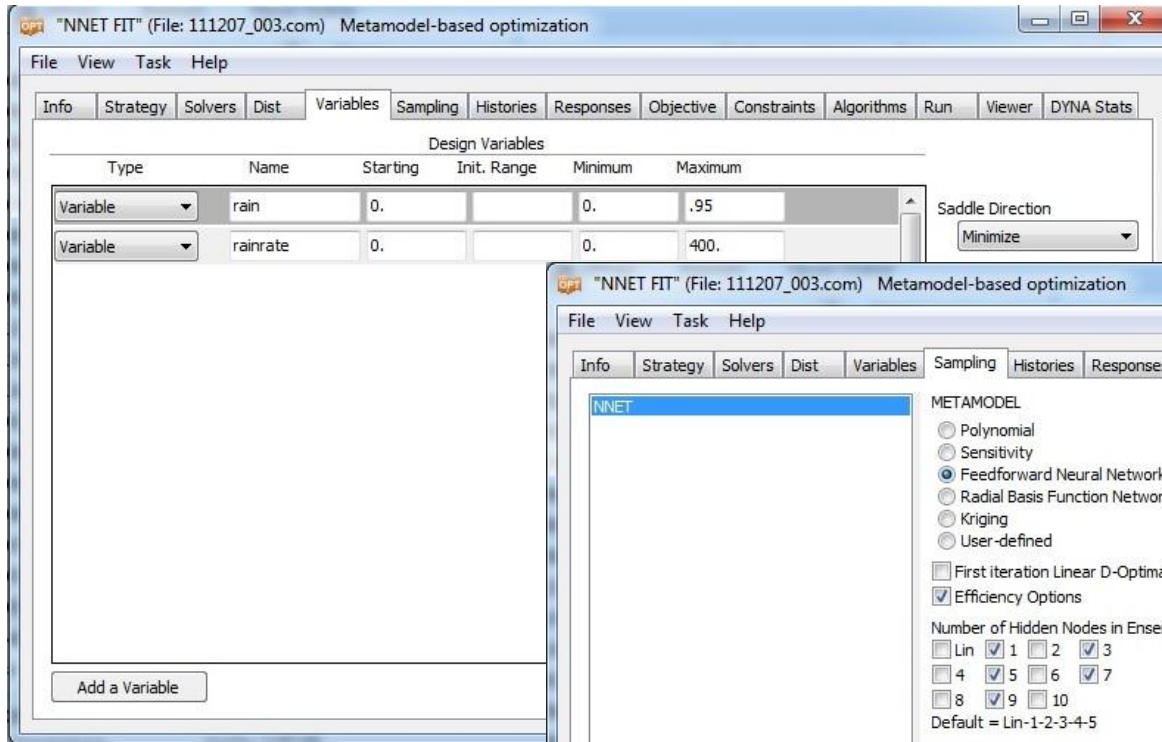
```
lsopt_version 4.1
"Point", "rain", "rainrate"
"sk", "dv", "dv"
1, 4.96297498881256E-06, 45.4385769659885
2, 0.00234862548800505, 45.4719915685619
3, 0.00468805374193422, 45.4718292376897
4, 0.00702614946987187, 45.462407407824
5, 0.00935664178964787, 45.3977884885382
6, 0.0116766040553339, 45.2741396102513
```

- Metamodellwerte werden in .csv-Datei geschrieben

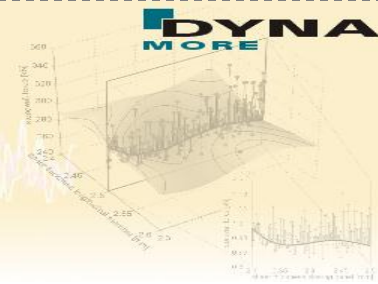


# Materialcharakterisierung eines Schaumwerkstoffes

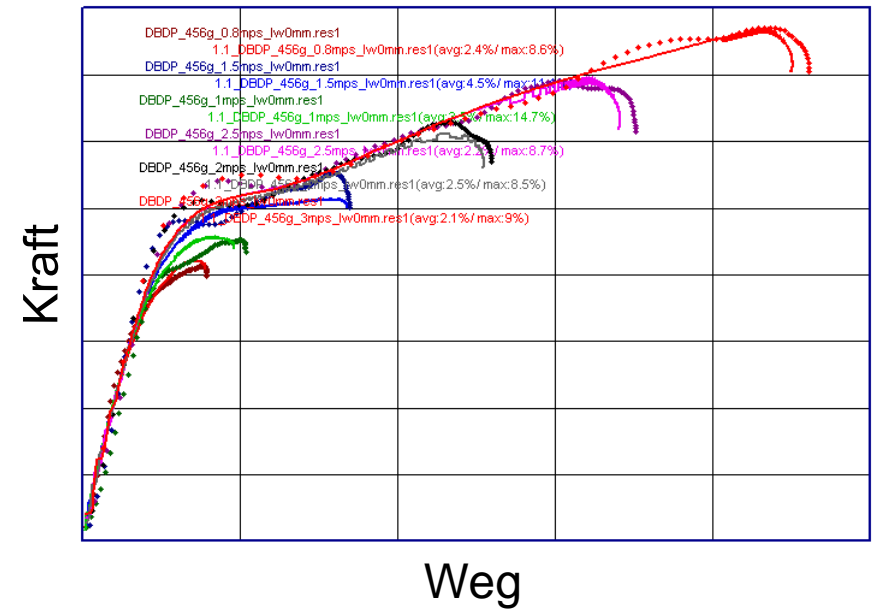
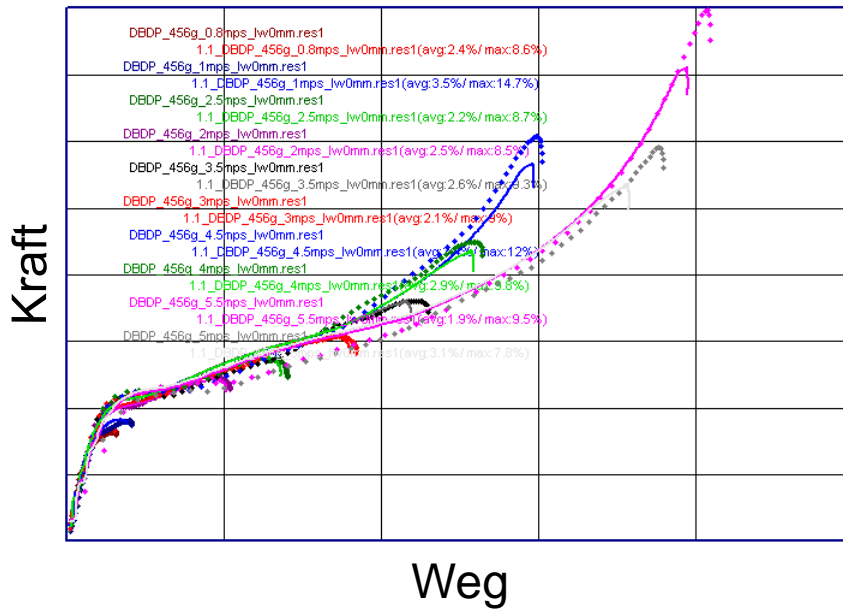
## ■ Definition in LS-OPT



# 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 [redacted] [redacted] 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
[redacted] 1000001
[redacted] 1000002
[redacted] 1000003
    
```

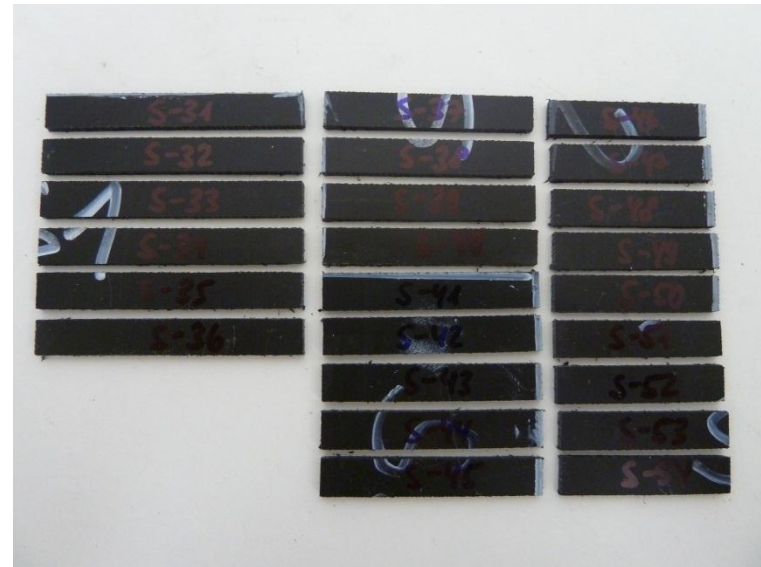
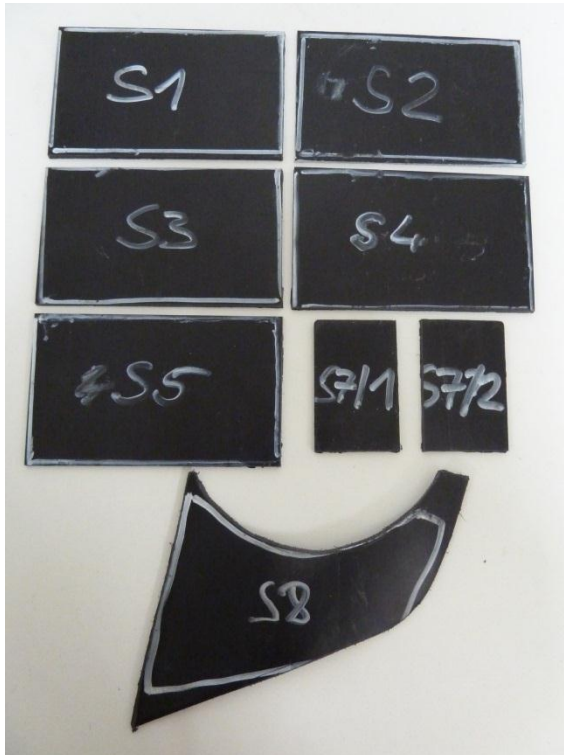
- Bestimmung der Spannungs-Dehnungs-Kurven mit LS-OPT

```

*DEFINE_CURVE
$# lcid sidr sfa sfo offa offo dattyp
1000001 0 1.000000 1.0
$# [redacted] [redacted]
    
```

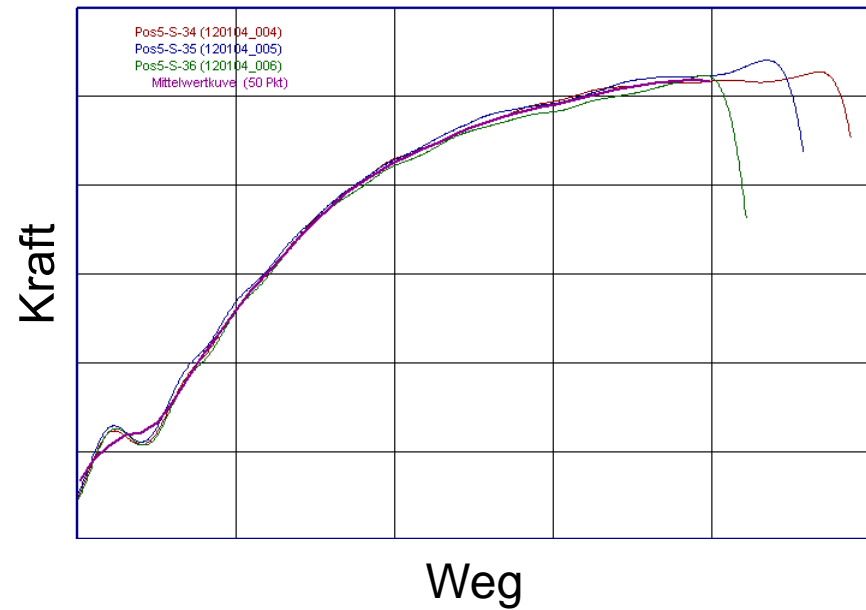
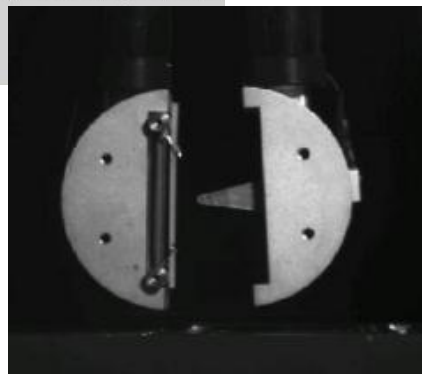
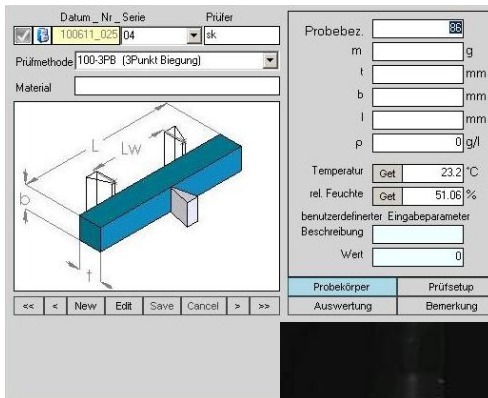
# Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

- 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:

- Verwendung von parametrisierten analytischen Kurven zur Bestimmung der Materialkurven
- Parameter werden mit LS-OPT bestimmt
- Verschiedene Ansätze für Kurven
  - *gewählt: Materialansatzfunktion (4a engineering)*

$$\sigma(\dot{\epsilon}) = DV2 * (1 + \log \frac{(\max(\dot{\epsilon}, DV6))}{DV5}) + \frac{DV1 * \epsilon * (1 + DV3 * \epsilon)}{(1 + \frac{DV1}{DV4} * \epsilon) * (1 + \log \frac{(\max(\dot{\epsilon}, DV6))}{DV5})}$$

# Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

## Definition in LS-OPT

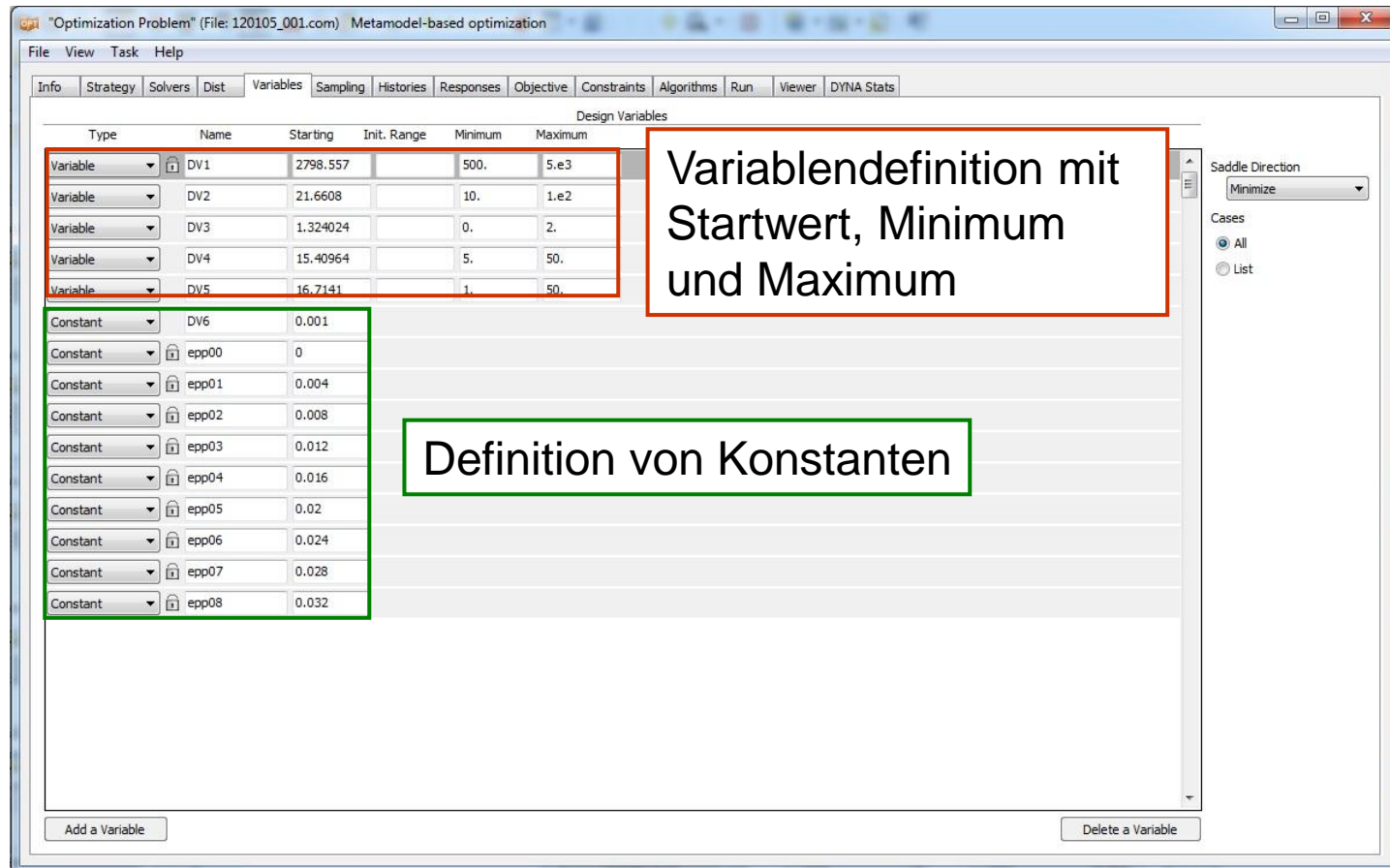
The screenshot shows the LS-OPT software interface. On the left, a list of analysis cases is displayed, with 'caseimps\_lw50' selected. The main configuration area is divided into several sections:

- Pre-Processor Package Name:** Set to 'User-Defined'. A callout box explains: "Externes Programm, das Probengeometrie für Simulation erzeugt".
- Command:** Contains a Perl script: `perl ../../mesh_skript.pl mesh.inp 7 1 - 0.002 2 100 0.05995666666666667 0.008333333333333333 0.002516666666666667 0.05 0.0021`. A callout box points to this field.
- Input File:** Set to 'caseimps\_lw50.inp'. A callout box explains: "LS-DYNA Input Ausgabe von Preprozessor wird über \*INCLUDE eingebunden".
- Solver Package Name:** Set to 'User-Defined'.
- Files:** Includes tabs for 'Files', 'Env Vars', 'Extra input files', 'Import User Results', 'Checkpoints', 'Evaluate Metamodel', and 'Advanced'.
  - Command:** Set to `perl ../../705run.pl`. A callout box explains: "LS-DYNA Aufruf über Skript".
  - Input File:** Set to 'caseimps\_lw50.inp'. A callout box explains: "LS-DYNA Input Ausgabe von Preprozessor wird über \*INCLUDE eingebunden".
- Post-Processor Package Name:** Set to 'None'.

A callout box on the left side of the interface points to the list of cases and is labeled "Liste der Lastfälle".

# Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

## Definition in LS-OPT



Optimization Problem (File: 120105\_001.com) Metamodel-based optimization

File View Task Help

Info Strategy Solvers Dist Variables Sampling Histories Responses Objective Constraints Algorithms Run Viewer DYNA Stats

Type	Name	Starting	Init. Range	Minimum	Maximum
Variable	DV1	2798.557		500.	5.e3
Variable	DV2	21.6608		10.	1.e2
Variable	DV3	1.324024		0.	2.
Variable	DV4	15.40964		5.	50.
Variable	DV5	16.7141		1.	50.
Constant	DV6	0.001			
Constant	epp00	0			
Constant	epp01	0.004			
Constant	epp02	0.008			
Constant	epp03	0.012			
Constant	epp04	0.016			
Constant	epp05	0.02			
Constant	epp06	0.024			
Constant	epp07	0.028			
Constant	epp08	0.032			

Variablendefinition mit Startwert, Minimum und Maximum

Definition von Konstanten

Saddle Direction: Minimize

Cases:  All  List

Add a Variable Delete a Variable

# Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

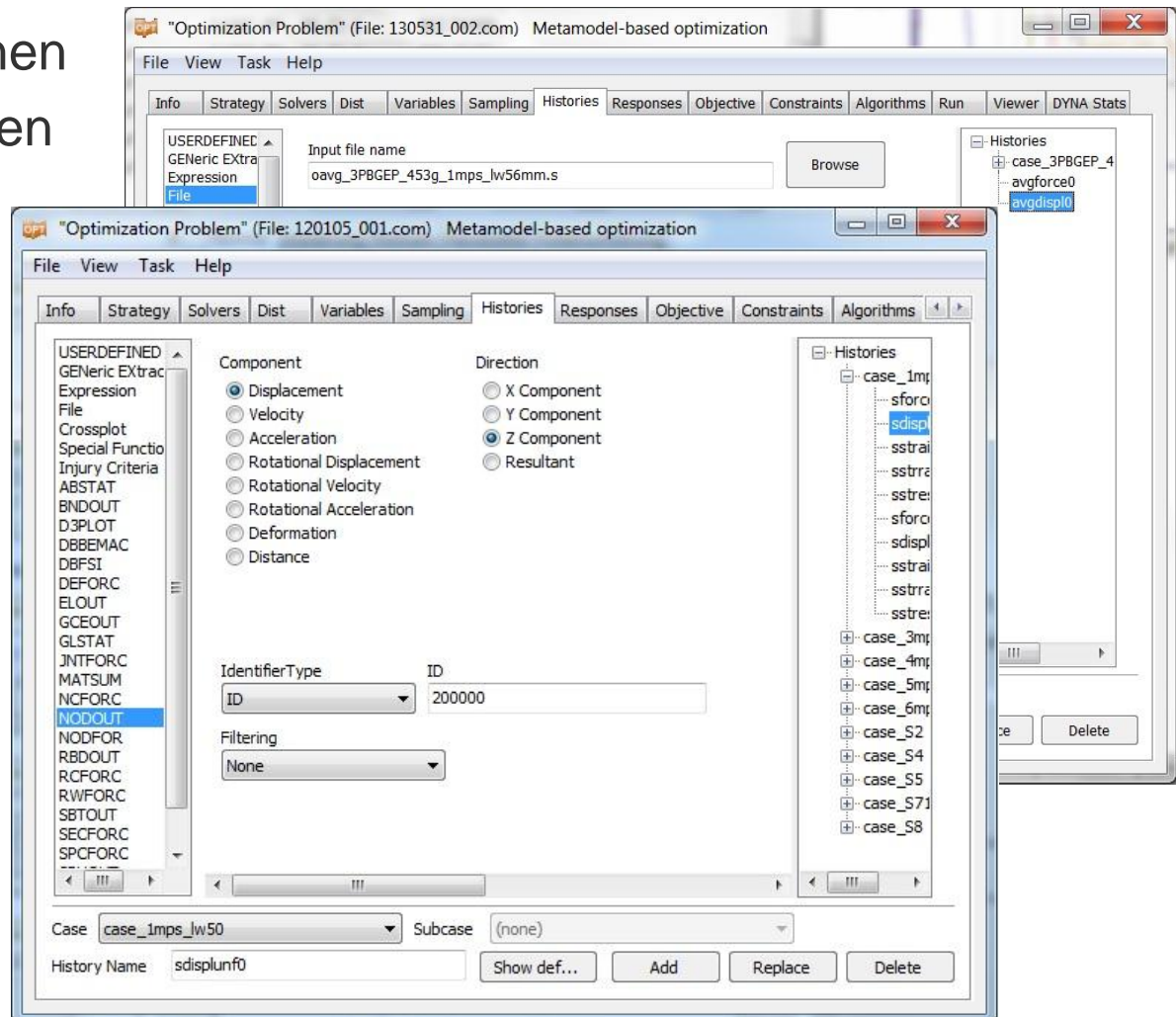
## Parameteridentifikation mit LS-OPT:

- 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 Simulationskurve in LS-OPT

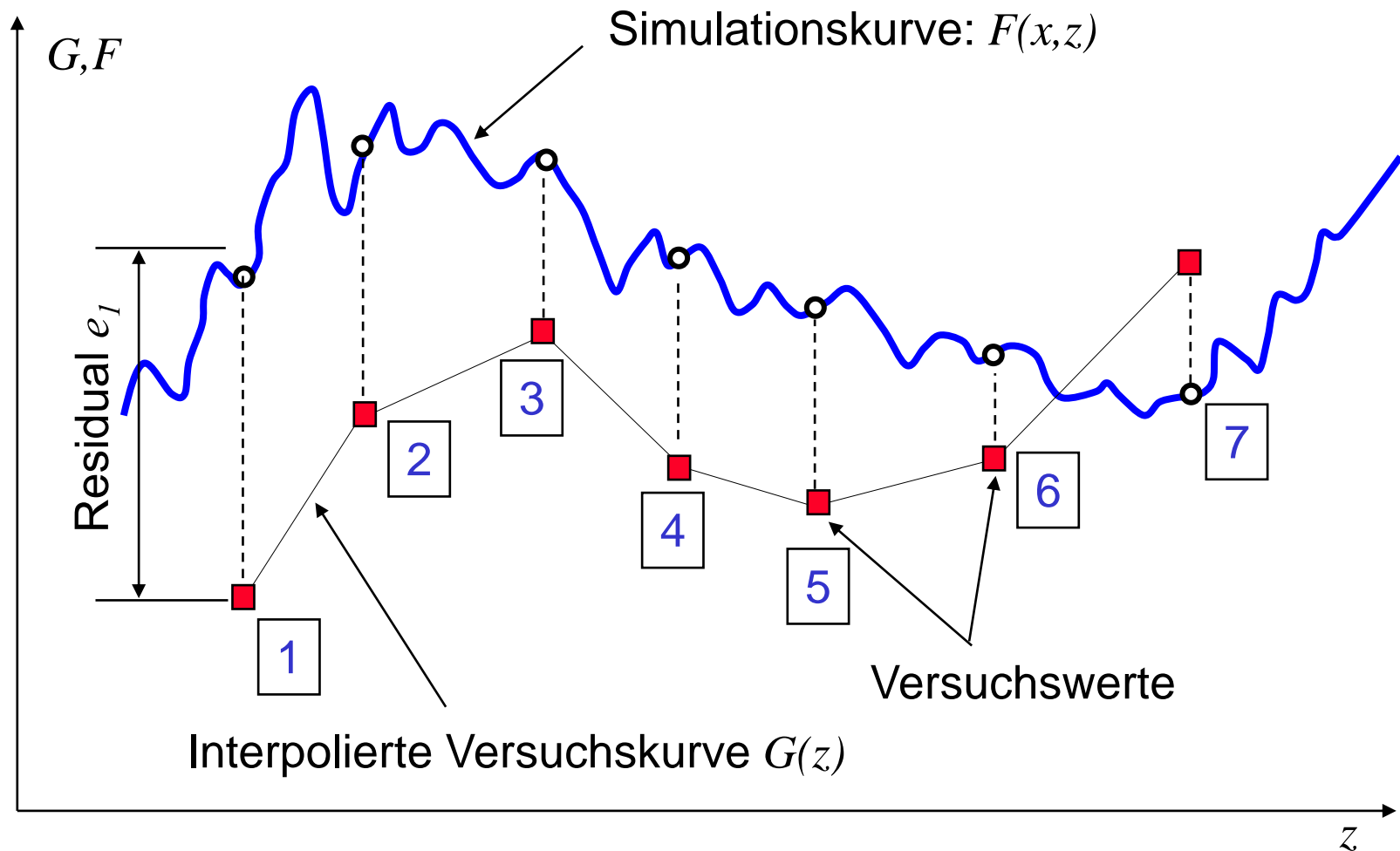
- Versuchskurven können direkt eingelesen werden
- Schnittstellen zu den meisten LS-DYNA-Ausgabegrößen





# Materialcharakterisierung eines Kunststoffes

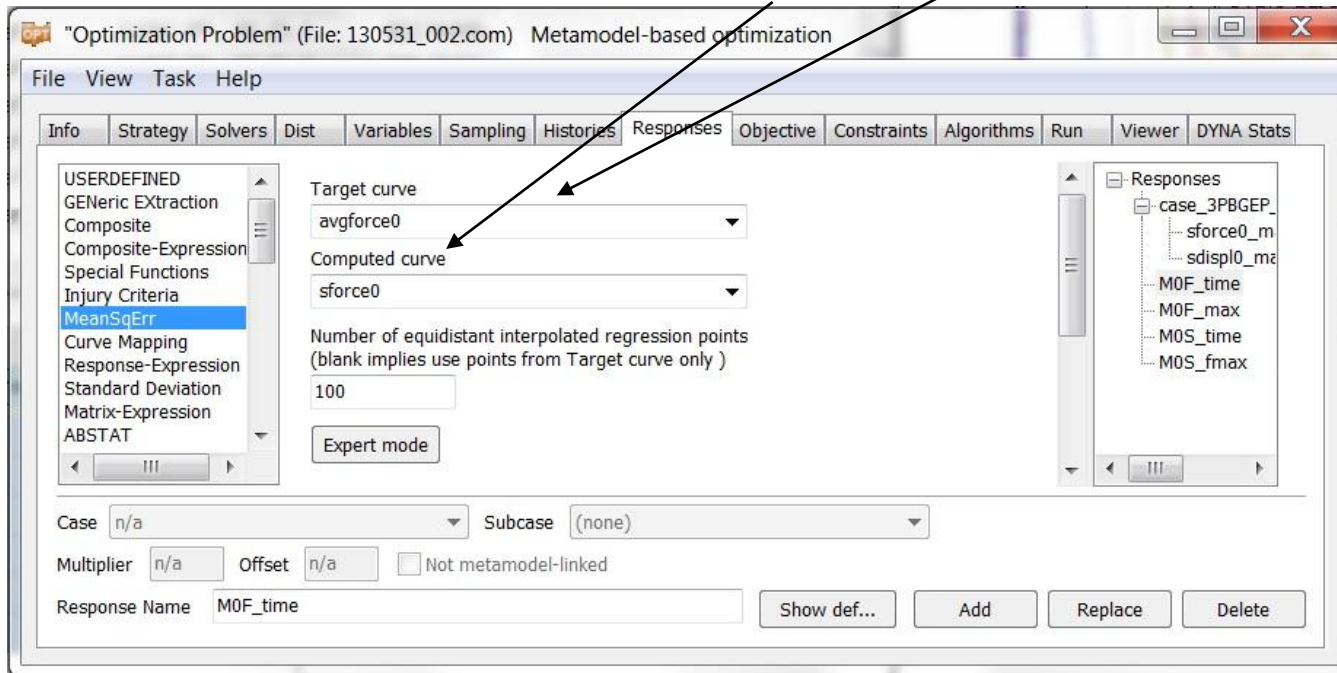
- Mean Squared Error (ordinaten-basiertes Fehlermaß)



# Parameteridentifikation mit LS-OPT

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

$F_i(\mathbf{x})$  → Simulation curve  
 $G_i$  → Test curve  
 $S_i$  → Standard deviation (weighting)



- Optionen: Anzahl Vergleichspunkte, Start-/Endpunkt, Gewichtung/Skalierung

# Parameteridentifikation mit LS-OPT

## ■ Metamodell

The screenshot displays the LS-OPT software interface for "Metamodel-based optimization". It is divided into two main windows.

**Left Window: Strategy for Metamodel-based Optimization**

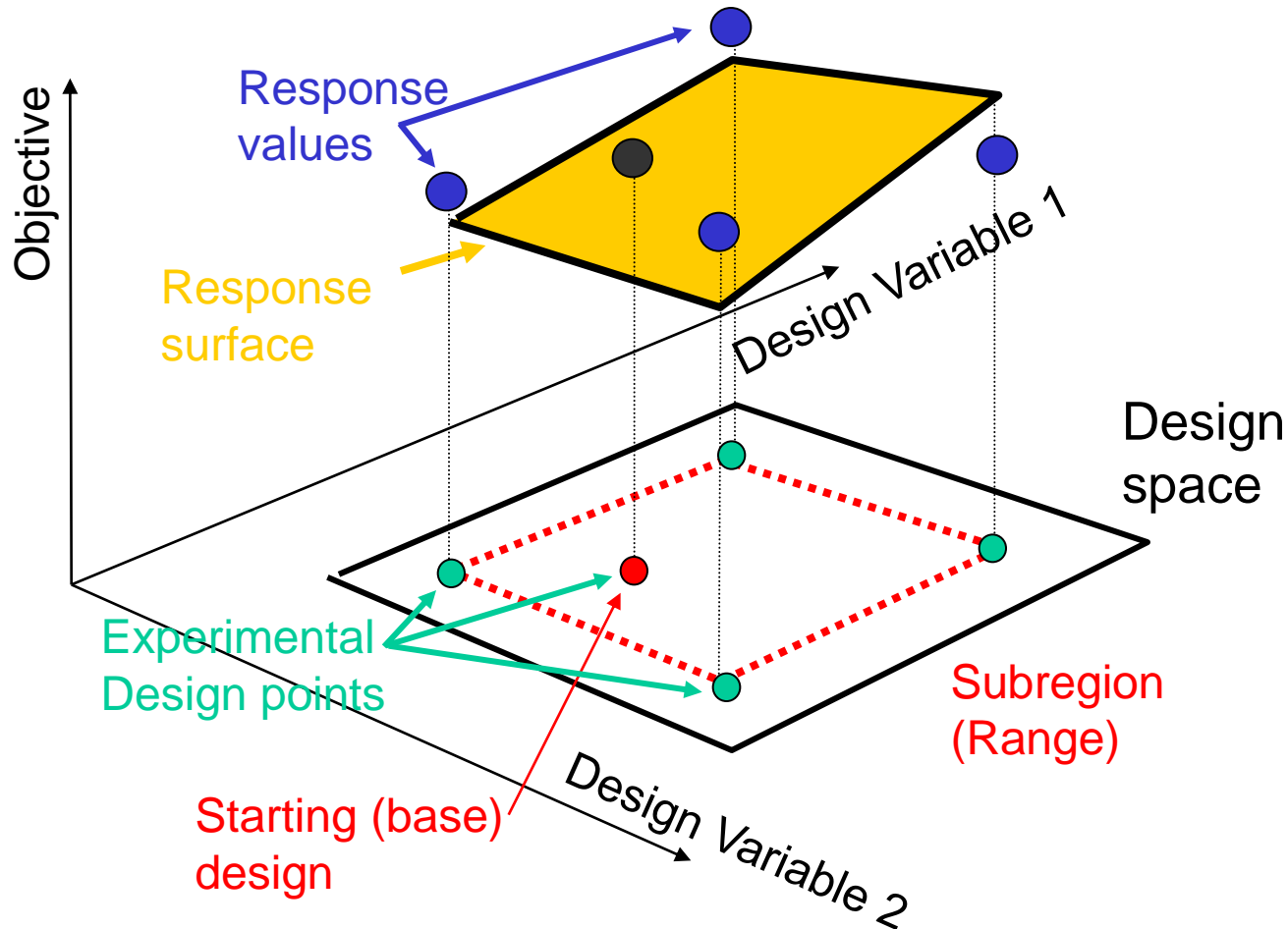
- Create Pareto Optimal Frontier
- Strategy for Metamodel-based Optimization:
  - Single Iteration
  - Sequential
  - Sequential with Domain Reduction (SRSM)
- 1. Sampling points are added sequentially in an adaptive subregion.
- 2. Metamodel optimization is done at each stage and is limited to the current subregion.
- 3. Suitable for finding a converged solution (e.g. system identification).
- 4. Generally unsuitable for global exploration.
- Tolerance required for termination:
  - Design AND Objective AND Metamodel Accuracy
  - Design OR Objective OR Metamodel Accuracy
- Design Change Tolerance:
- Object Function Tolerance:
- Response Accuracy Tolerance:
- SRSM Advanced Settings

**Right Window: Sampling and Metamodel Settings**

- Case list: case\_1mps\_lw50, case\_3mps\_lw40, case\_4mps\_lw40, case\_5mps\_lw40, case\_6mps\_lw30, case\_S2, case\_S4, case\_S5, case\_S71, case\_S8
- METAMODEL:
  - Polynomial
  - Sensitivity
  - Feedforward Neural Network
  - Radial Basis Function Network
  - Kriging
  - User-defined
- Order:
  - Linear
  - Linear with Interaction
  - Quadratic
  - Elliptic
- Compute Global Sensitivities
- Approximate Histories
- History Approximation Type:
  - Linear
  - Quadratic
  - Radial Basis Function
- POINT SELECTION:
  - Full Factorial
  - Linear Koshal
  - Quadratic Koshal
  - Composite
  - D-Optimal
  - Monte Carlo
  - Latin Hypercube
  - Space Filling
  - Duplicate
  - User-defined
  - User .csv
- Number of Simulation Points (per Iteration per Case):  (Default = 10)
- Advanced

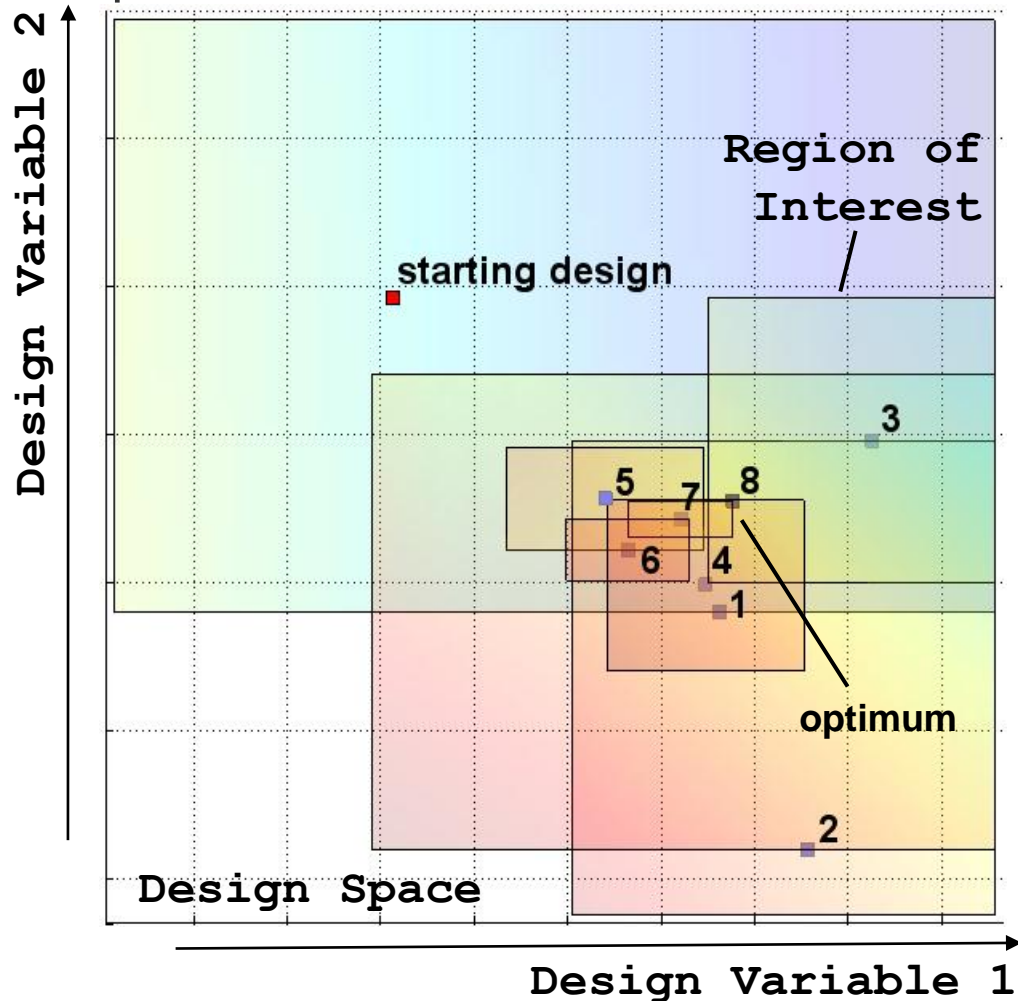
# Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Sequential Response Surface Methode



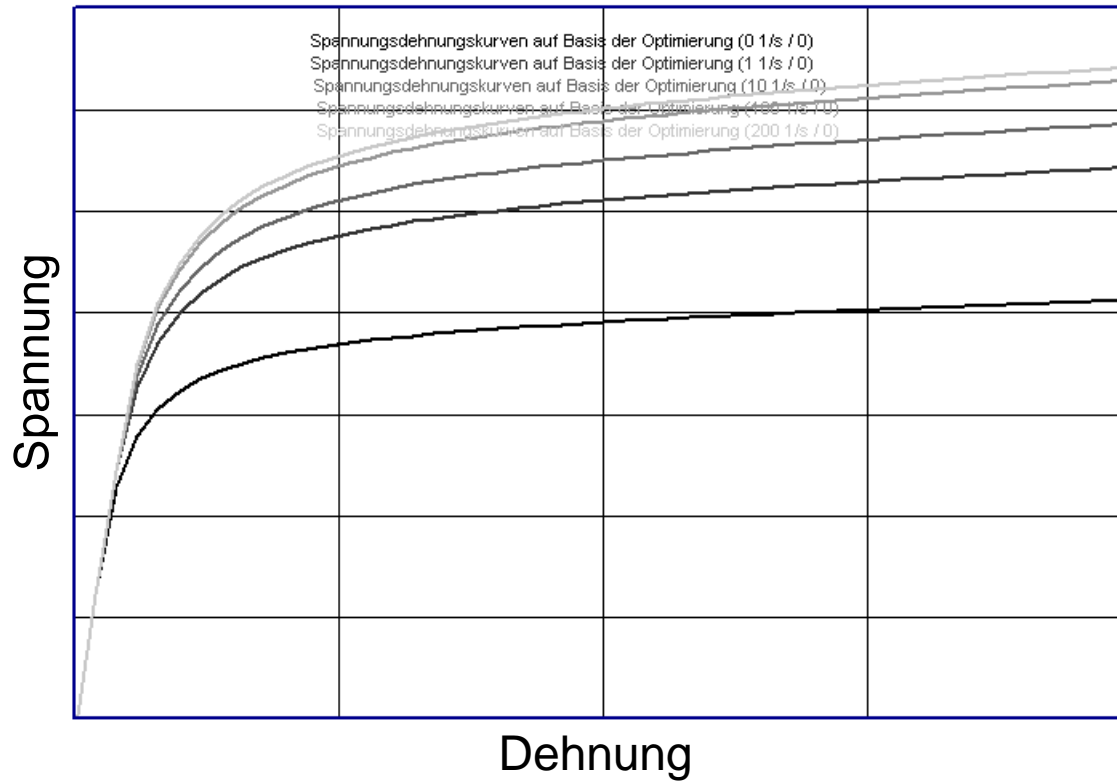
# Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Sequential Response Surface Methode

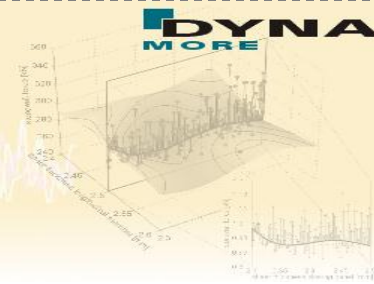


# Parameteridentifikation mit LS-OPT

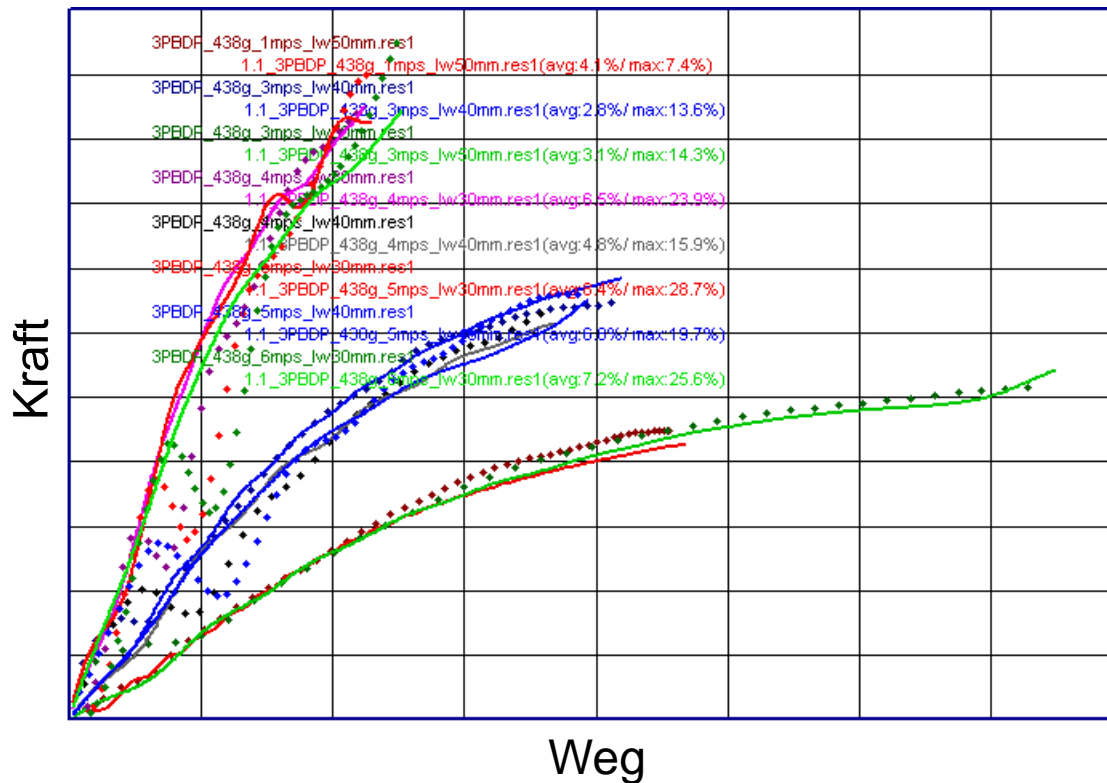
- Ergebnisse der Optimierung - Materialkurven



# 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!