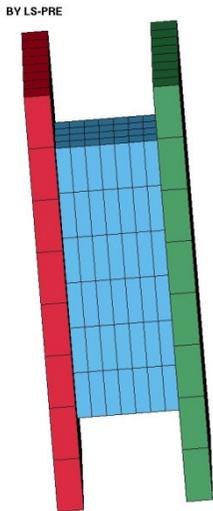
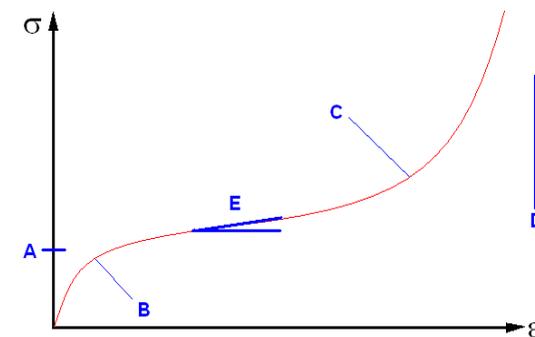

Verwendung von LS-OPT zur Generierung von Materialkarten am Beispiel von Schaumwerkstoffen



Katharina Witowski (DYNAmore GmbH)
Peter Reithofer (4a engineering GmbH)



Übersicht

- Problemstellung
- Parameteridentifikation mit LS-OPT
- Neuronale Netze
- Vergleich der Ergebnisse
- Zusammenfassung

Problemstellung

- Bestimmung der Materialkarte für Confor Blue Foam CF45[®]
- Materialmodell *MAT_FU_CHANG_FOAM

```
*MAT_FU_CHANG_FOAM_TITLE
MAT_FU_CHANG_FOAM (Confor blue)
$# mid ro e ed tc fail damp tbid
2 1.0720E-7 0.150000 0.000 0.000 0.000 0.00500 7
$# bvflag sflag rflag tflag pvid sraf ref nu
1.000000 1.000000 1.000000
$# d0 n0 n1 n2 n3 c0 c1 c2
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
$# c3 c4 c5 aij sij minr maxr shape
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
```

- Dehnratenabhängiges Material

```
*DEFINE_TABLE_TITLE
Dehnraten Table
$# tbid
7
$# value lcid
```

- Bestimmung der Spannungs-Dehnungskurven zu konstanten Dehnraten mit Hilfe von LS-OPT

```
*DEFINE_CURVE
$Dehnraten für 1 1/s
$ LCID SIDR SCLA SCLO OFFA
1 0 1.0 1.000000
a1 o1
```

Parameteridentifikation mit LS-OPT

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

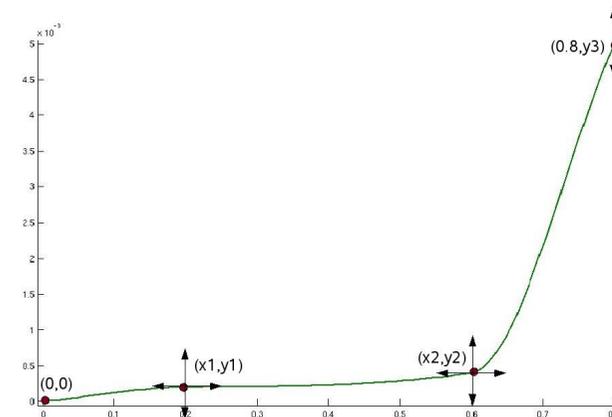
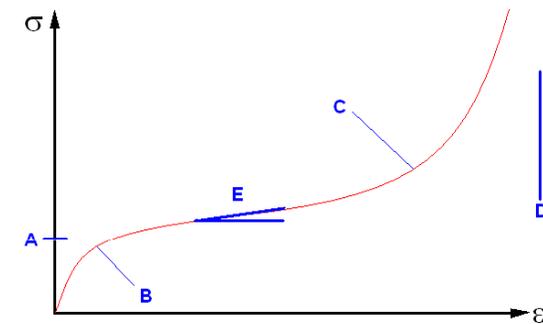
$$a_0(\dot{\varepsilon}) = c + \frac{g}{(g + \dot{\varepsilon})}$$

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

$$\sigma = a_0 \cdot \left(1 + k \varepsilon - e^{-\frac{\varepsilon}{s}}\right) \cdot \frac{e^{a(\varepsilon - \varepsilon_0)}}{e}$$

- Splines: Variation der Stützstellen

⋮



Parameteridentifikation mit LS-OPT

➤ Definition in LS-OPT

Externes Programm, das Kurve zu gegebenen Parametern bestimmt

Variablenwerte

LS-DYNA Aufruf

LS-DYNA Input
Ausgabe von Preprozessor wird über *INCLUDE eingebunden

Pre-Processor Package Name: User-Defined
Command: ../cubic_hermite_interpolation.pl curve.inc
Input File: sampling_points.txt
Solver Package Name: LS-DYNA
Command: ls971_s_7600
Input File: example.key
Post-Processor Package Name: None

Parameteridentifikation mit LS-OPT

➤ Variablendefinition in LS-OPT

The image displays two overlapping screenshots of the LS-OPT software interface. The top screenshot shows the 'Variables' tab with a table of design variables. The bottom screenshot shows the 'Responses' tab with a list of constraints.

Type	Name	Starting	Init. Range	Minimum	Maximum
Variable	x1	.2		.1	.4
Variable	y1	.0002		.0001	.0004
Variable	x2	.6		.4	.7
Variable	y2	.0004		.0004	.0006
Variable	y3	.005		.001	.01

Variablendefinition mit Startwert, Minimum und Maximum

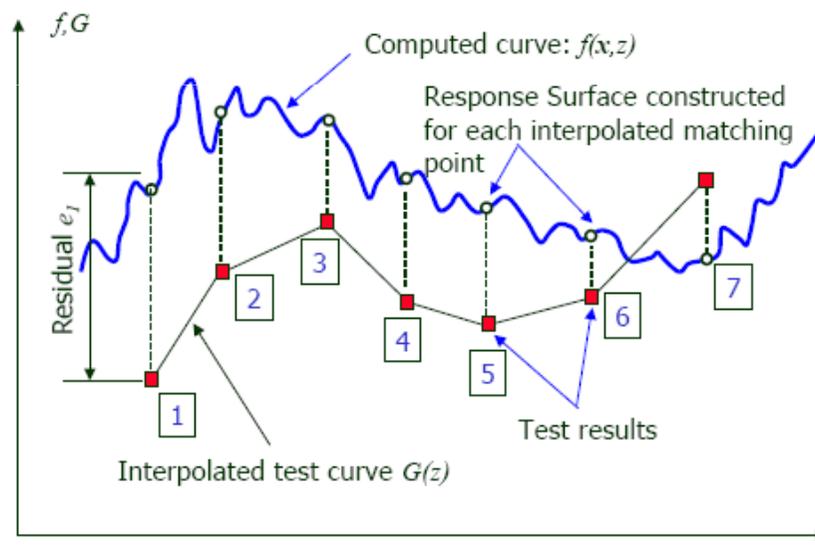
Nebenbedingungen für Variablen

Response	Lower Bound	Upper Bound
MSE_displ		
constraint_x2_x1	0.1	+inf
constraint_y2_y1	1e-06	+inf

Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Bestimmung der optimalen Parameter durch Vergleich von Verschiebungskurven aus Versuch (4a Impetus) und LS-DYNA Simulation
- Mean Squarred Error Composite wird minimiert

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



LS-OPT® User's Manual v4.0 Aug 2009 - Seite 77

Parameteridentifikation mit LS-OPT

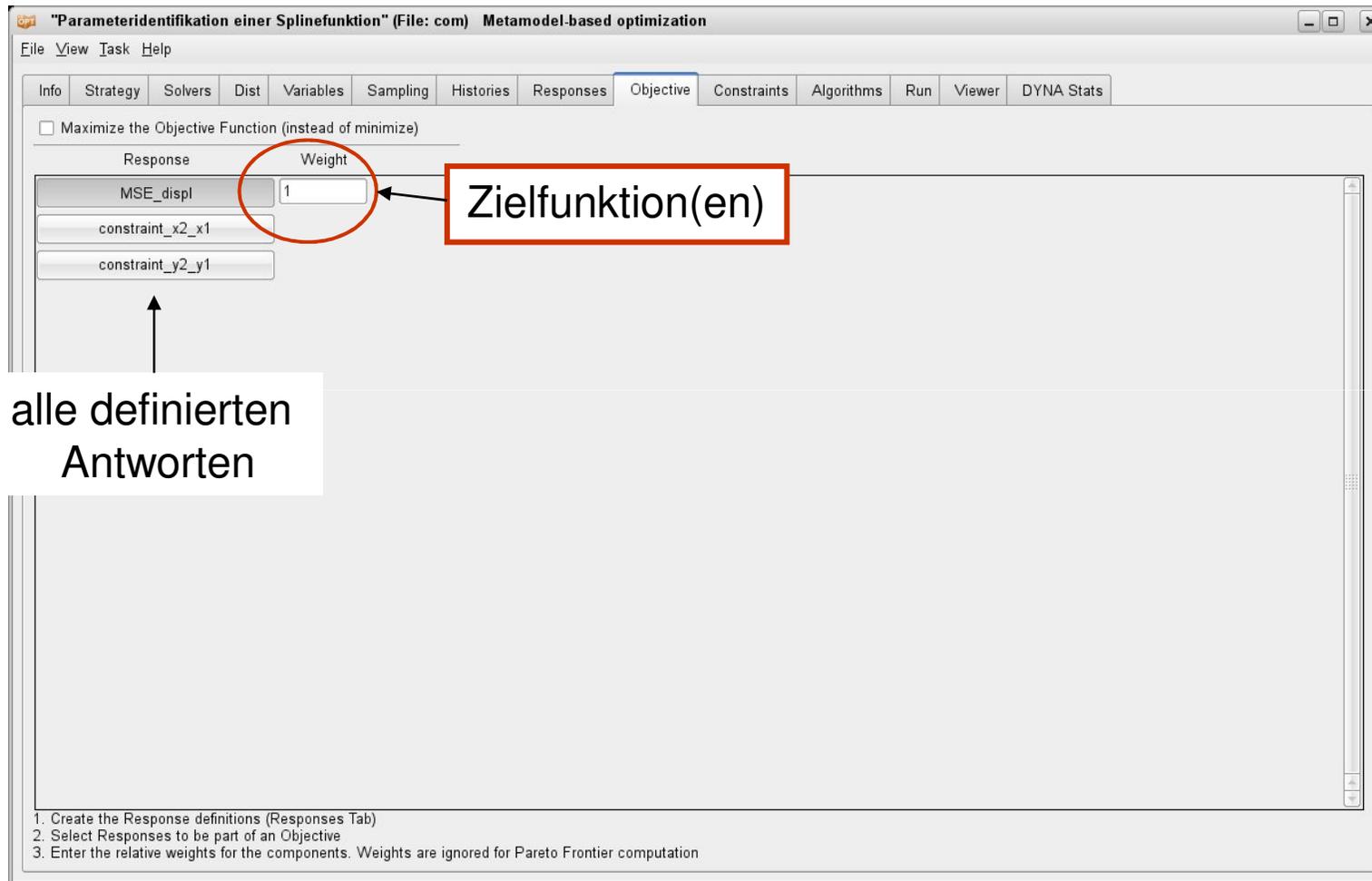
➤ Definition der Zielfunktion in LS-OPT

The image displays three overlapping screenshots of the LS-OPT software interface, illustrating the configuration of a Mean Squared Error (MSE) objective function for parameter identification.

- Top Screenshot:** Shows the "Histories" tab. The "Input file name" is set to "test_curve.dat". A blue box highlights the "x_displ" response in the "Histories" list, with the label "Versuchskurve" (Test Curve) overlaid.
- Middle Screenshot:** Shows the "Component" and "Direction" settings. The "Component" is set to "Displacement" and the "Direction" is set to "X Component". A green box highlights the "x_displ" response in the "Histories" list, with the label "Simulationskurve" (Simulation Curve) overlaid.
- Bottom Screenshot:** Shows the "Responses" tab. The "Target curve" is set to "x_displ_test" and the "Computed curve" is set to "x_displ". A red box highlights the "MeanSqErr" response in the "USERDEFINED" list, with the label "Mean Squared Error" overlaid. The "Number of equidistant interpolated regression points" is set to 10.

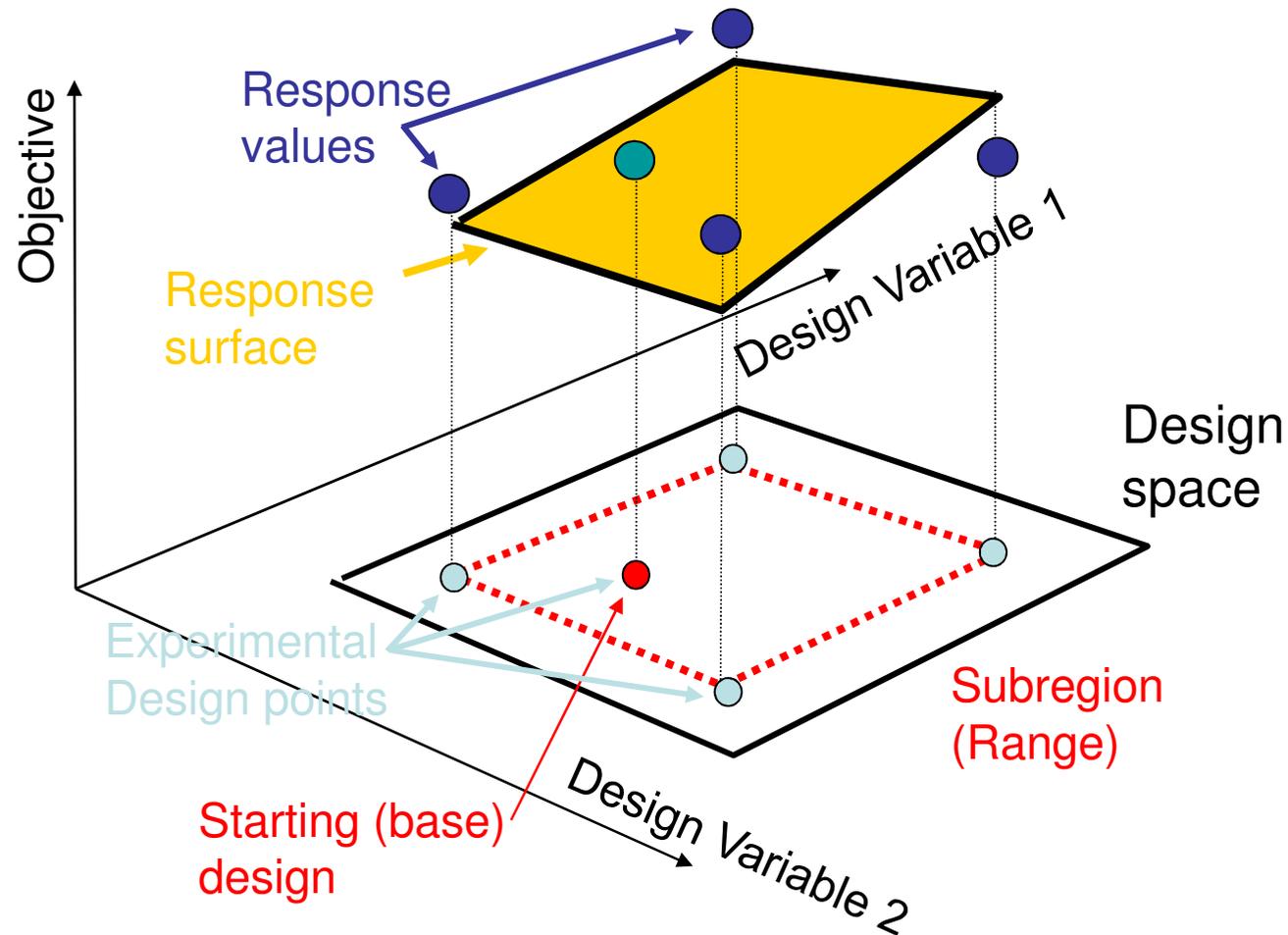
Parameteridentifikation mit LS-OPT

➤ Definition der Zielfunktion in LS-OPT



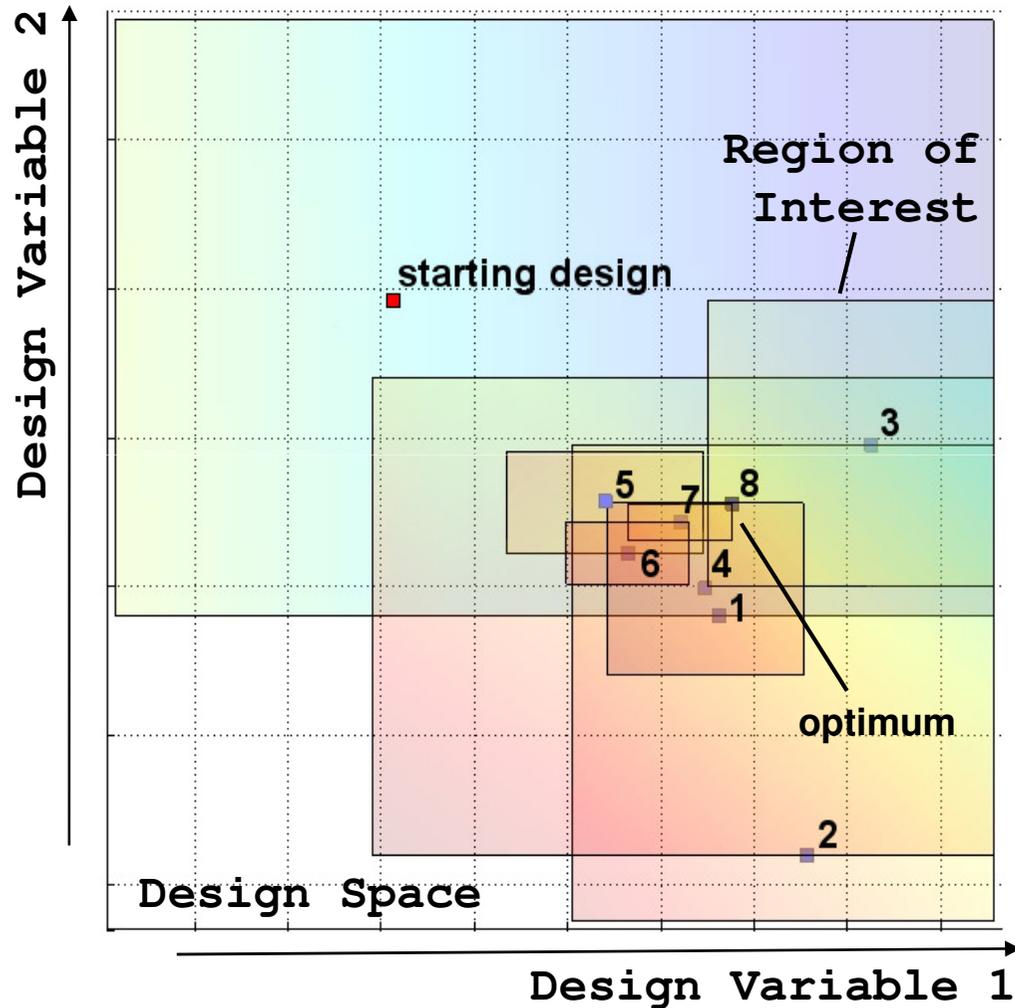
Parameteridentifikation mit LS-OPT

➤ Successive Response Surface Methode



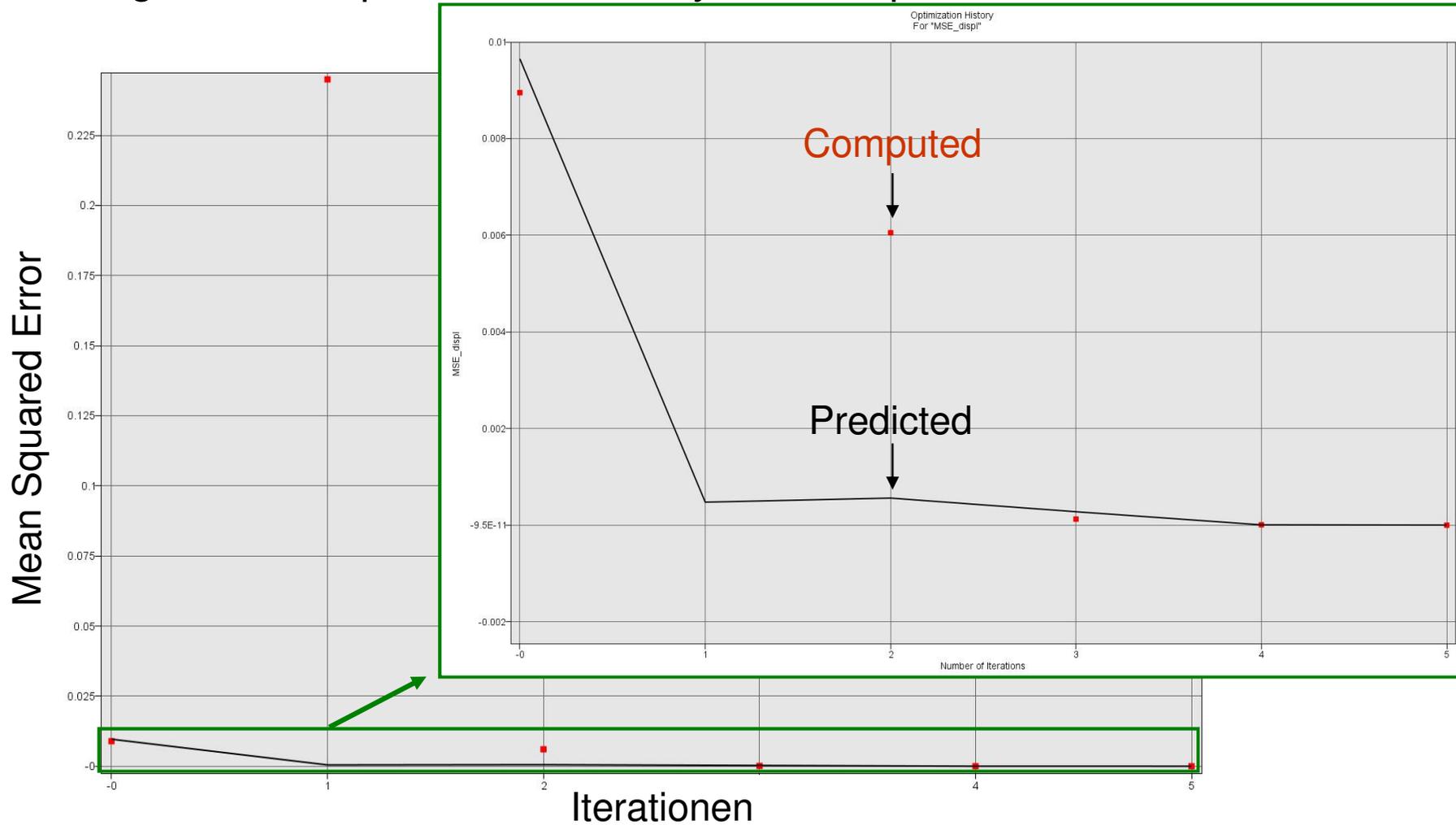
Parameteridentifikation mit LS-OPT

➤ Successive Response Surface Methode



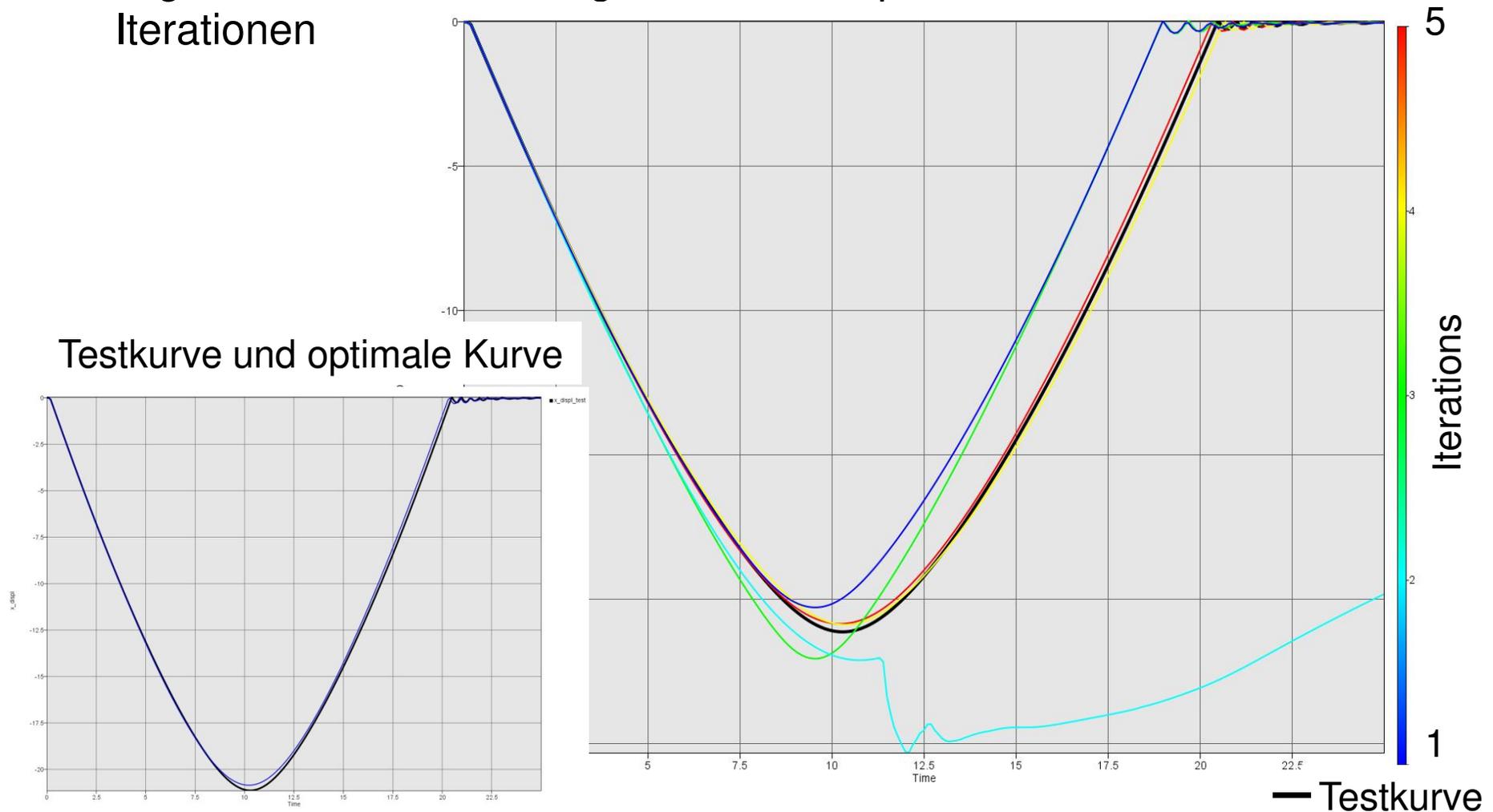
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Ergebnisse: Optimization History Mean Squared Error



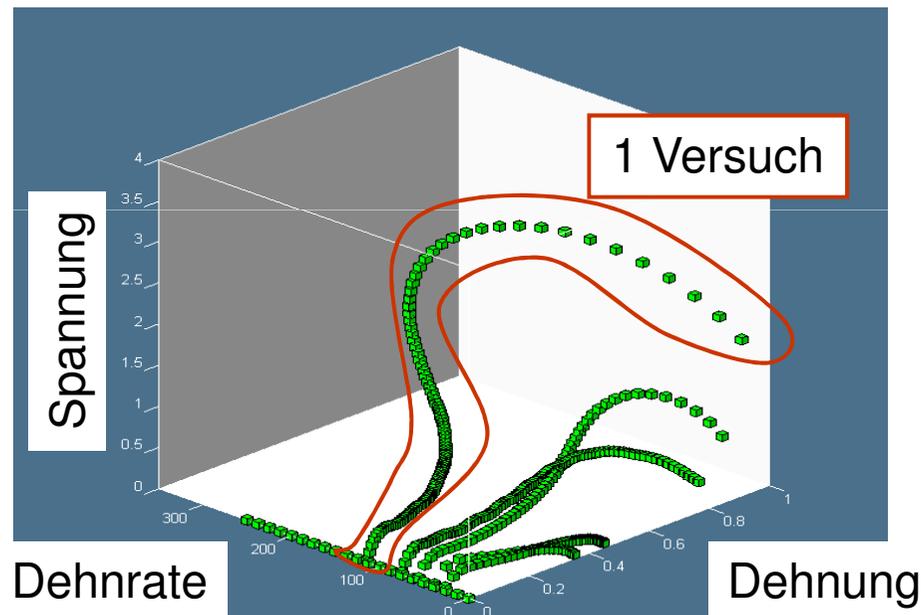
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Ergebnisse: Verschiebungskurven aus optimalen Läufen aller Iterationen



Neuronale Netze

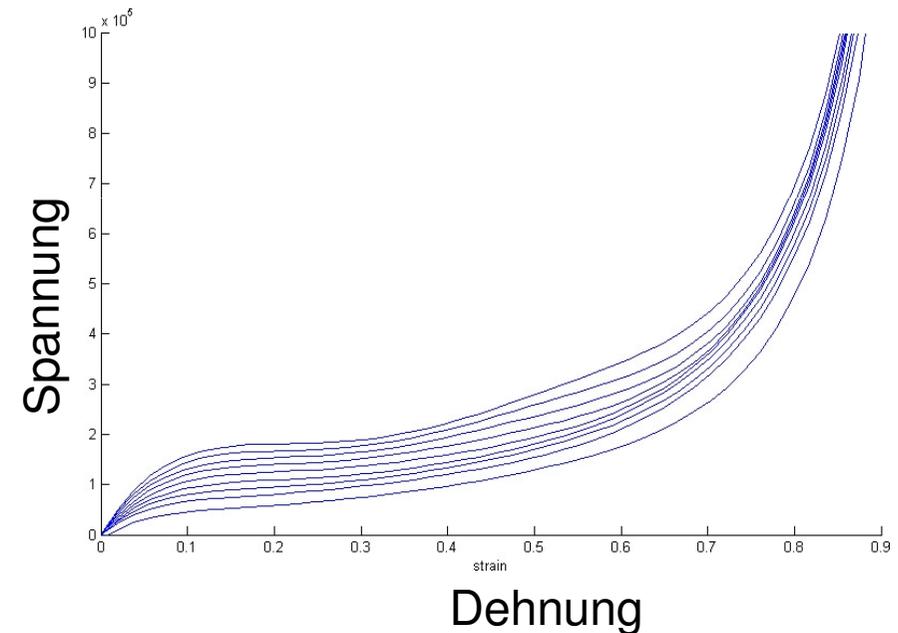
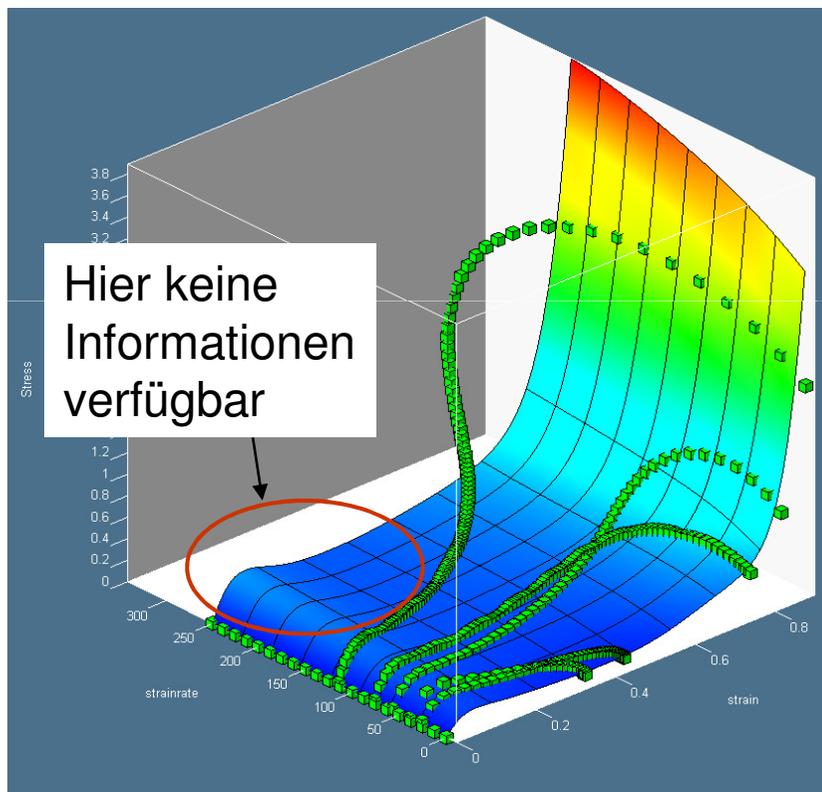
- Im Versuch können Spannungs- Dehnungs-Kurven gemessen werden, allerdings nicht zu konstanten Dehnraten
- Man erhält daraus aber Zusammenhänge zwischen Spannung, Dehnung und Dehnrates (mehrere Versuche mit unterschiedlichen Massen und Fallhöhen, um verschiedene Bereiche abzudecken)



- Idee: Datenpunkte aus Versuchen werden mit neuronalen Netzen in LS-OPT approximiert → kontinuierlicher Zusammenhang

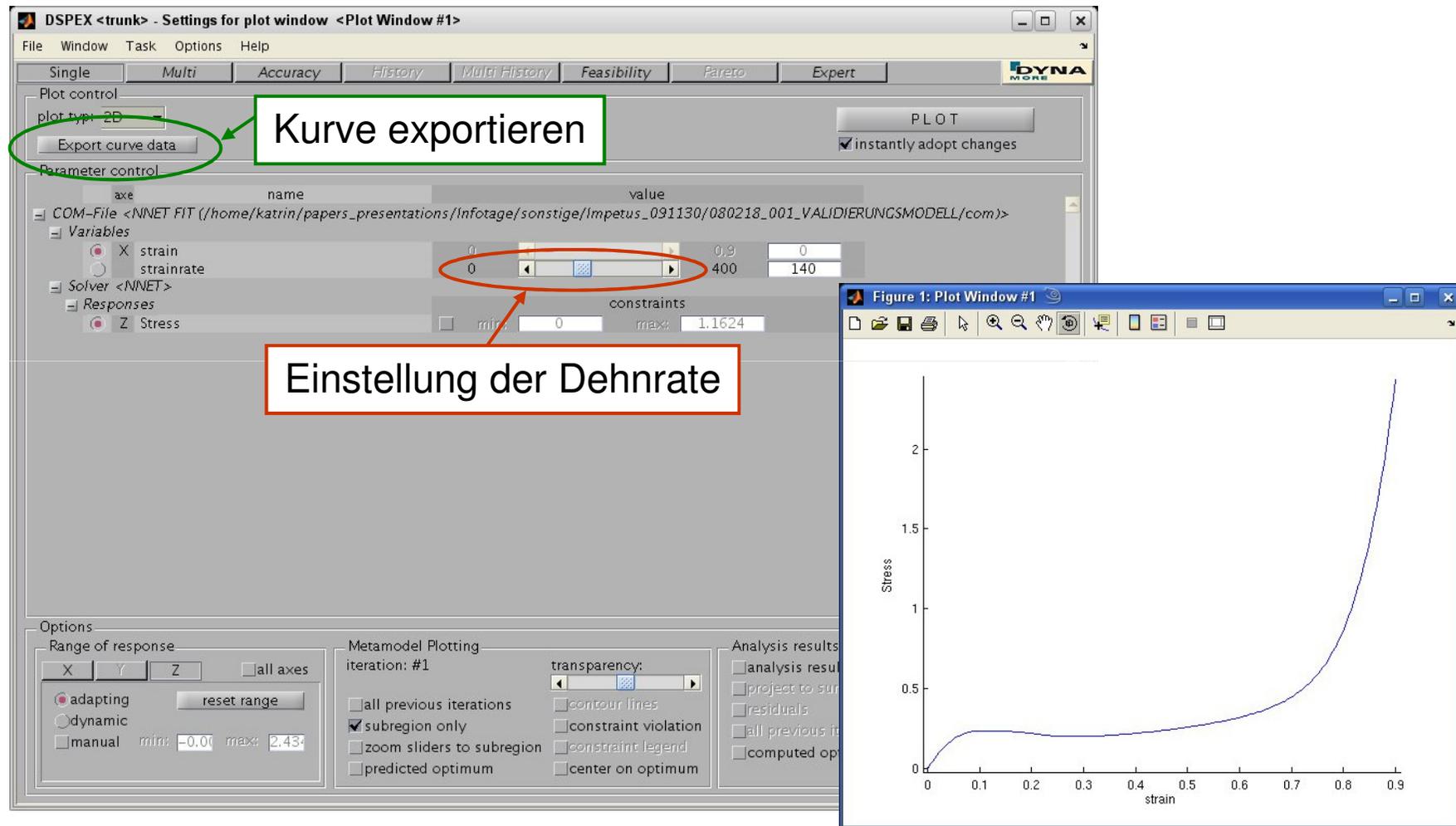
Neuronale Netze

- Aus dem jetzt kontinuierlichen Zusammenhang können Spannungs-Dehnungskurven zu konstanten Dehnraten für die Materialkarte entnommen werden

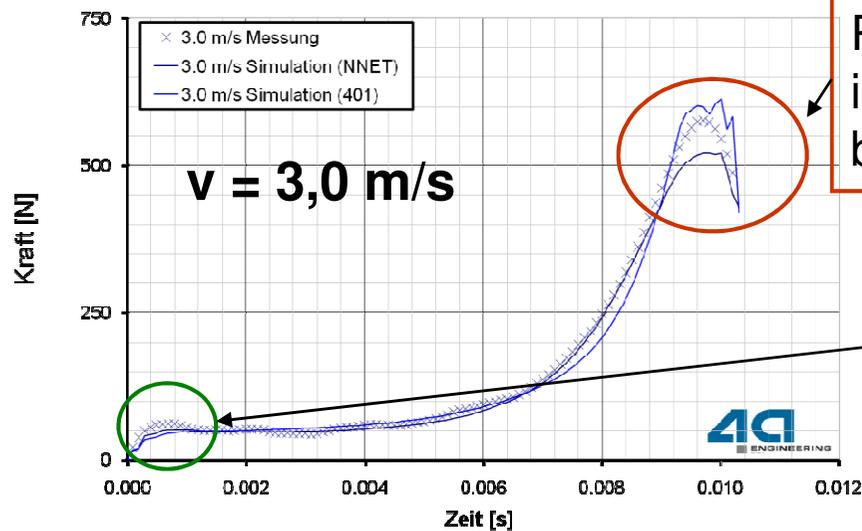
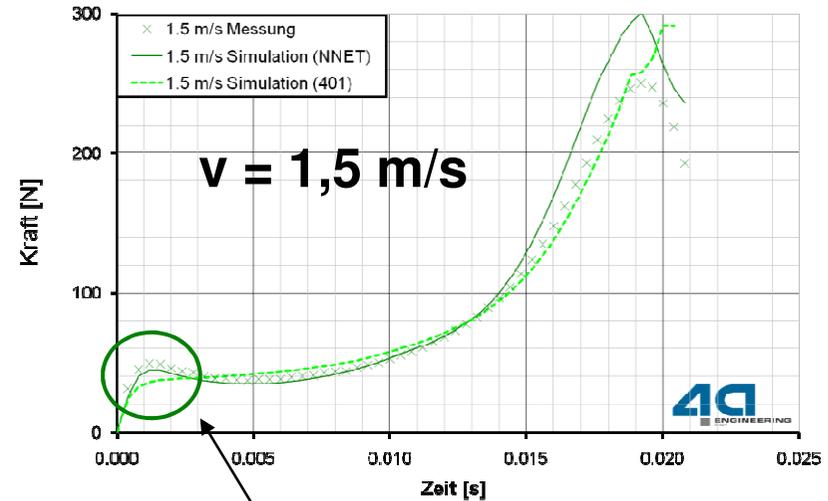
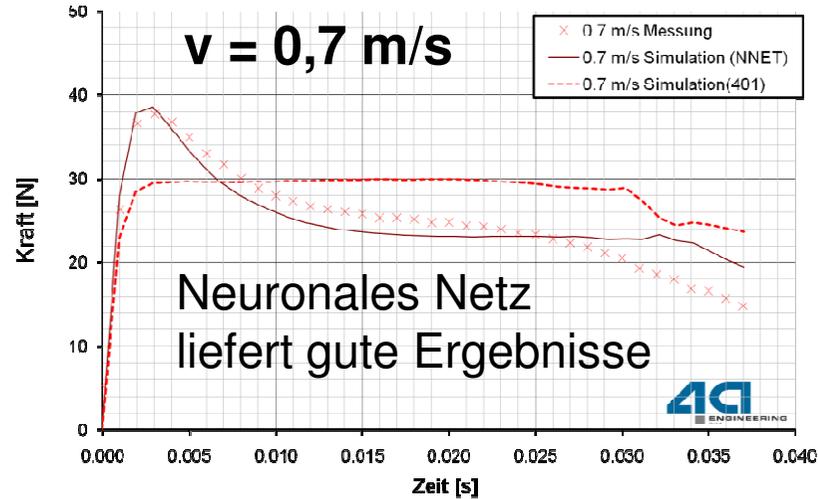


Neuronale Netze

- Extraktion von 2D Kurven aus dem Metamodell mit D-SPEX



Vergleich der Ergebnisse



Parameter-
identifikation
besser

Parameteridentifikation
hat hier Probleme
→ Ansatzfunktion?

Zusammenfassung

- Mit Hilfe der Materialansatzfunktion kann das Gesamtverhalten gut wiedergegeben werden
- Wahl der Ansatzfunktion?
- 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)
- Allgemeine Vorgehensweise in LS-OPT kann auch für andere Problemstellungen verwendet werden
 - Optimierung von Kurven über Ansatzfunktion
 - Anpassung von Versuchskurven an Testkurven über Mean Squared Error
 - Verwendung von Neuronalen Netzen um kontinuierliche Zusammenhänge zwischen Datenpunkten zu erhalten