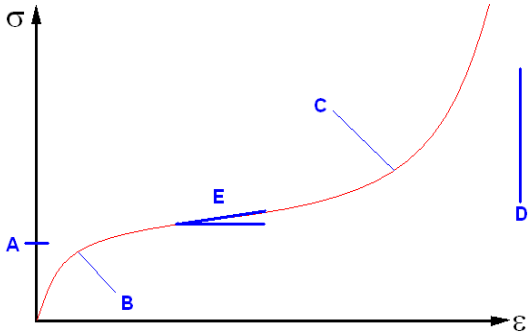
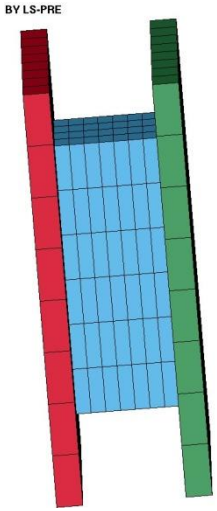
LS-OPT ® - Parameteridentifikation und Metamodellbildung



Katharina Witowski
Dr. Heiner Müllerschön
(DYNAmore GmbH)



DYNA*more* GmbH
Industriestraße 2
70565 Stuttgart
http://www.dynamore.de

Übersicht

- Problemstellung
- Parameteridentifikation mit LS-OPT
- Neuronale Netze
- Vergleich der Ergebnisse
- Zusammenfassung
- Ausblick auf LS-OPT 5.0

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        mu
  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
$#      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
$Dehnrate für 1 1/s
$     LCID      SIDR      SCLA      SCLO      OFFA
         1         0       1.0  1.000000
$                 a1                  o1
```

?

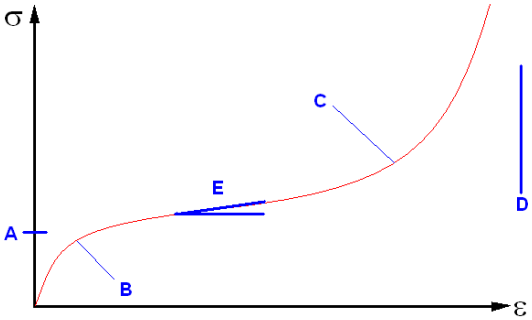
Parameteridentifikation mit LS-OPT

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

$$c_0(\dot{\varepsilon}) = c + \frac{g}{(g + \dot{\varepsilon})}$$

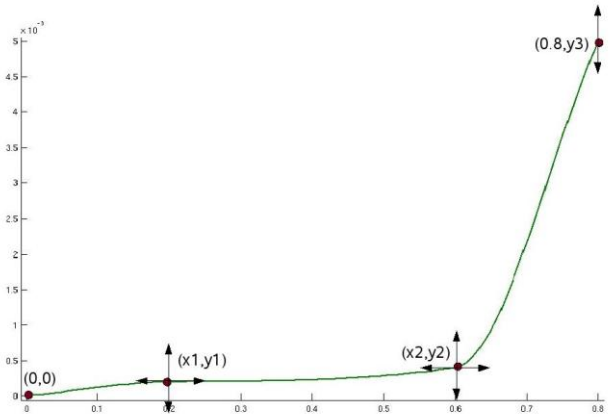
$$a_0(\dot{\varepsilon}) = a + h \cdot \left(\lg\left(\frac{\dot{\varepsilon} + f}{f}\right)\right)$$

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



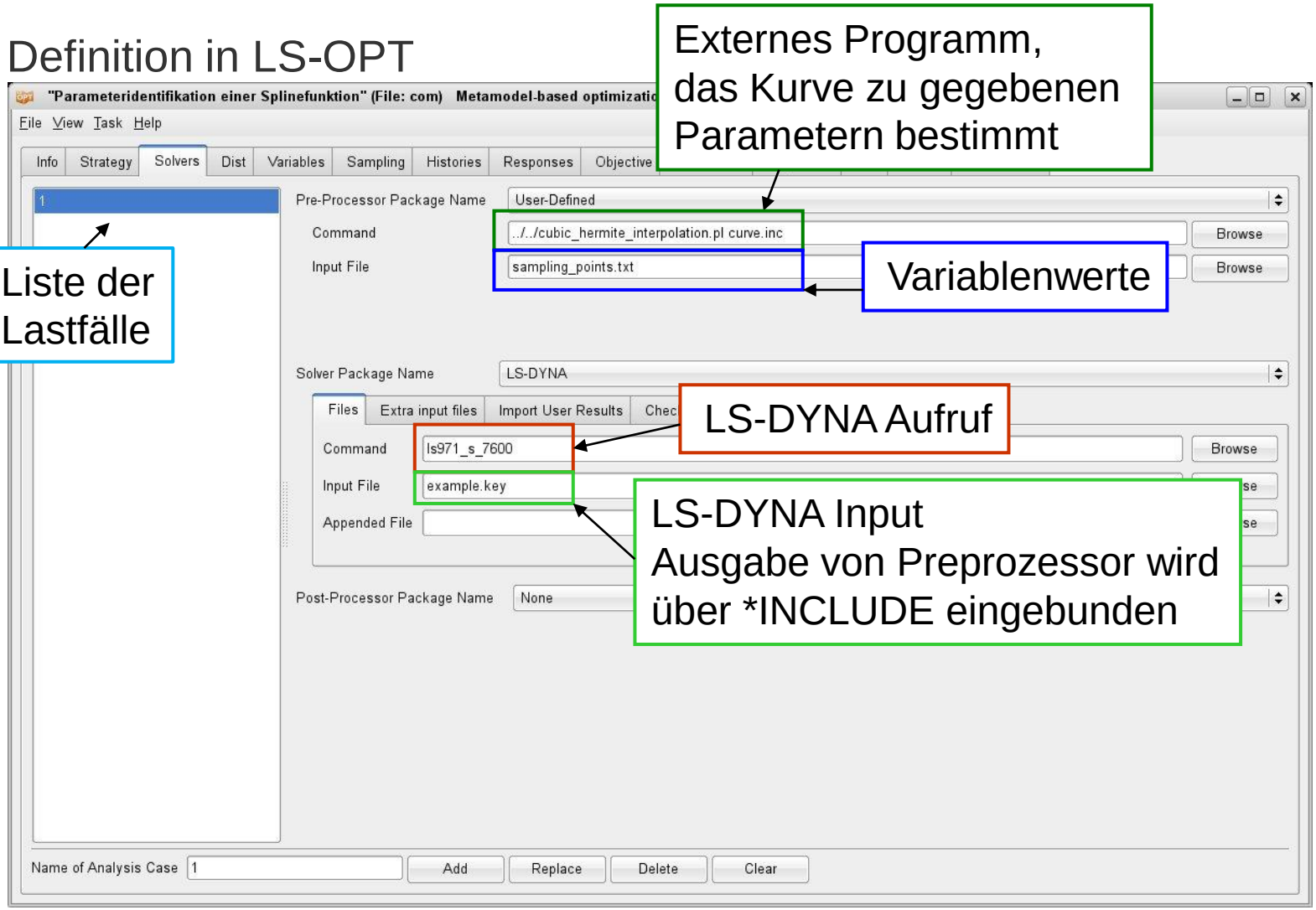
  - *Splines: Variation der Stützstellen*

⋮



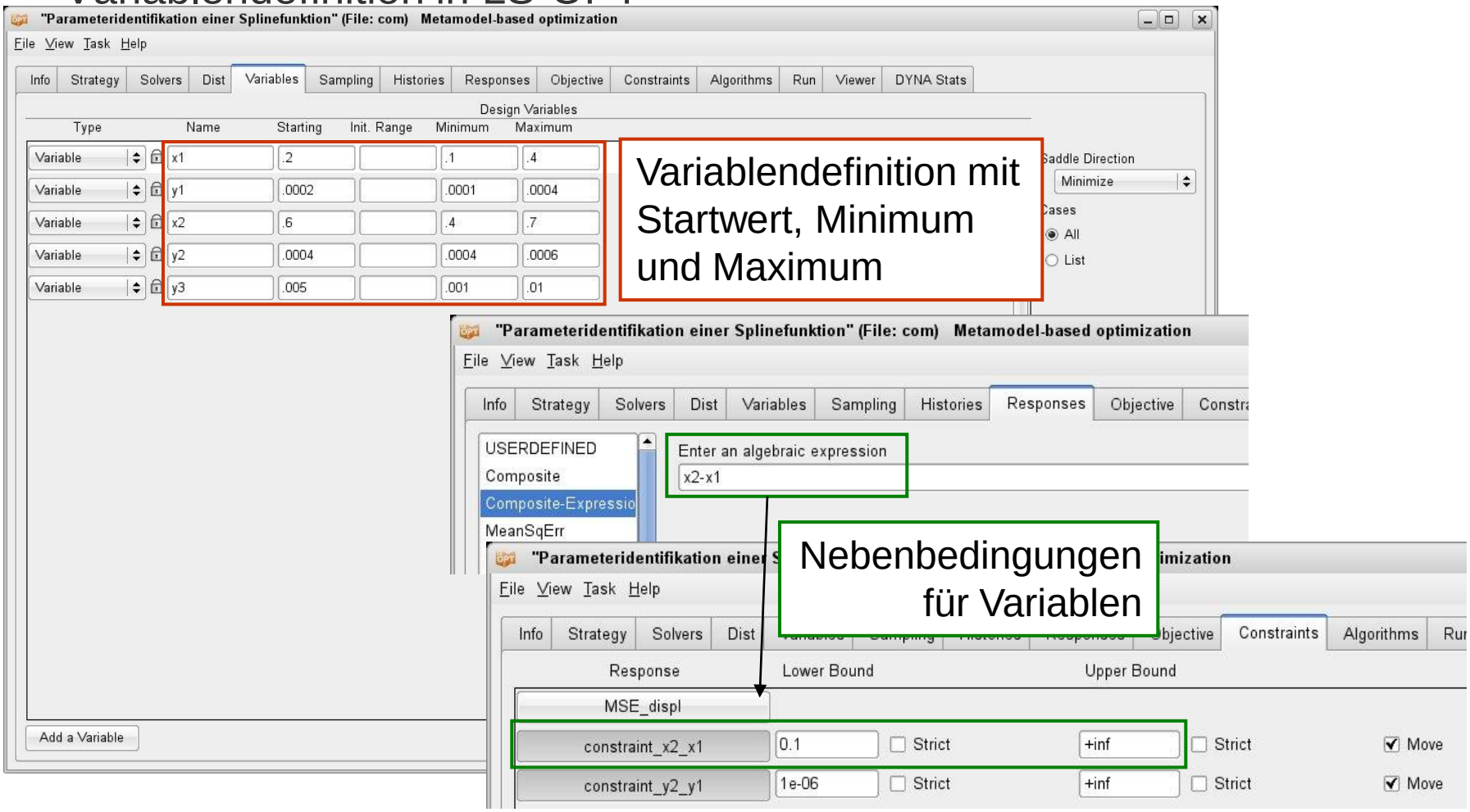
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Definition in LS-OPT



Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Variablendefinition in LS-OPT

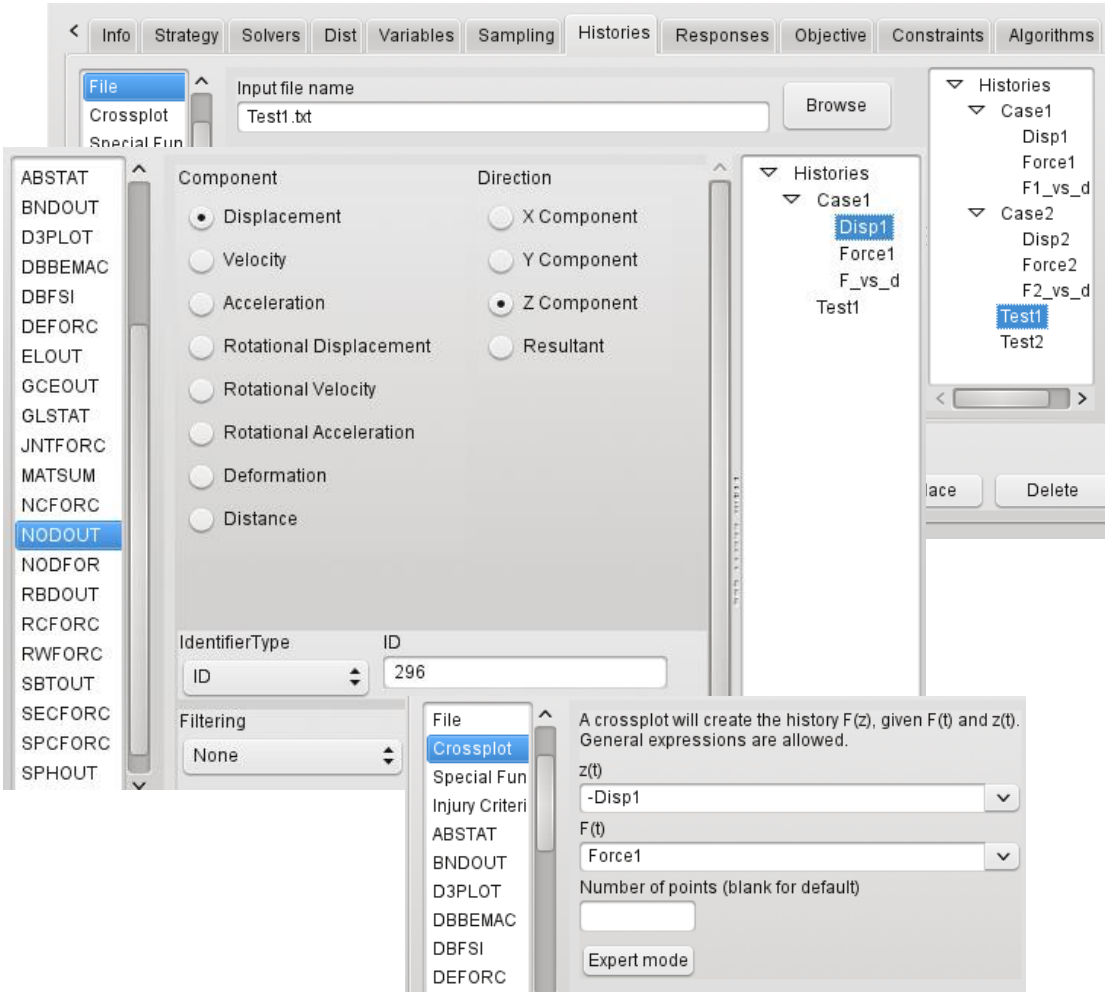


Parameteridentifikation mit LS-OPT

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

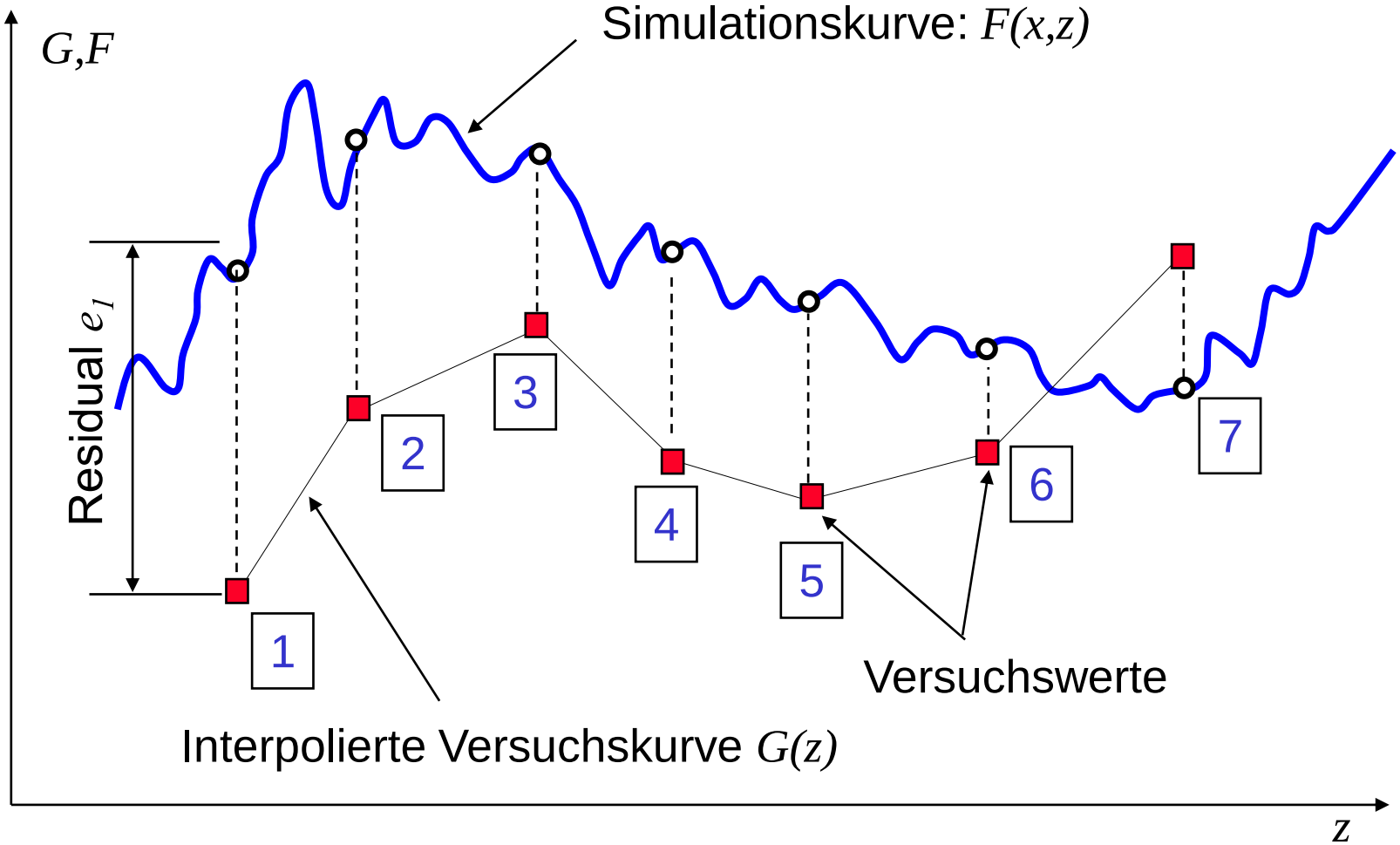
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Definition von Test- und Simulationskurve in LS-OPT
- Versuchskurven können direkt eingelesen werden
- Schnittstellen zu den meisten LS-DYNA Ausgabegrößen
- Crossplots können definiert werden, z.B. Spannung-Dehnung, Kraft-Weg …



Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Mean Squared Error (ordinaten-basiertes Fehlermaß)

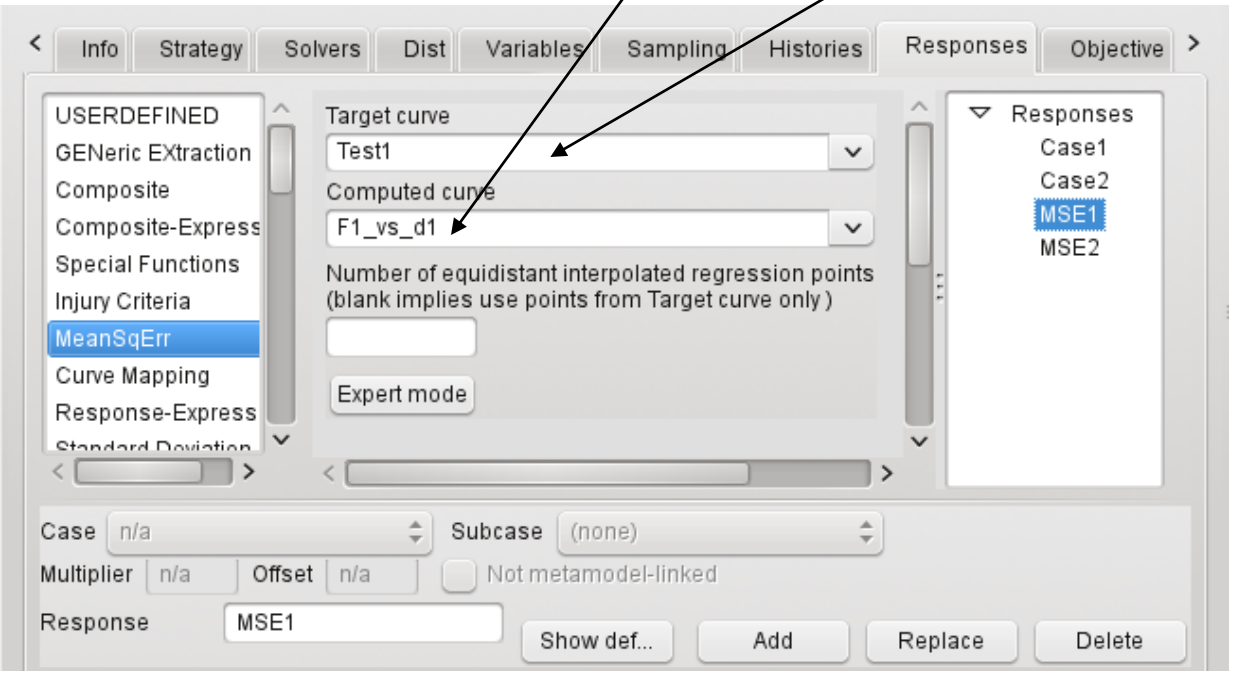


Parameteridentifikation mit LS-OPT

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

  Test curve

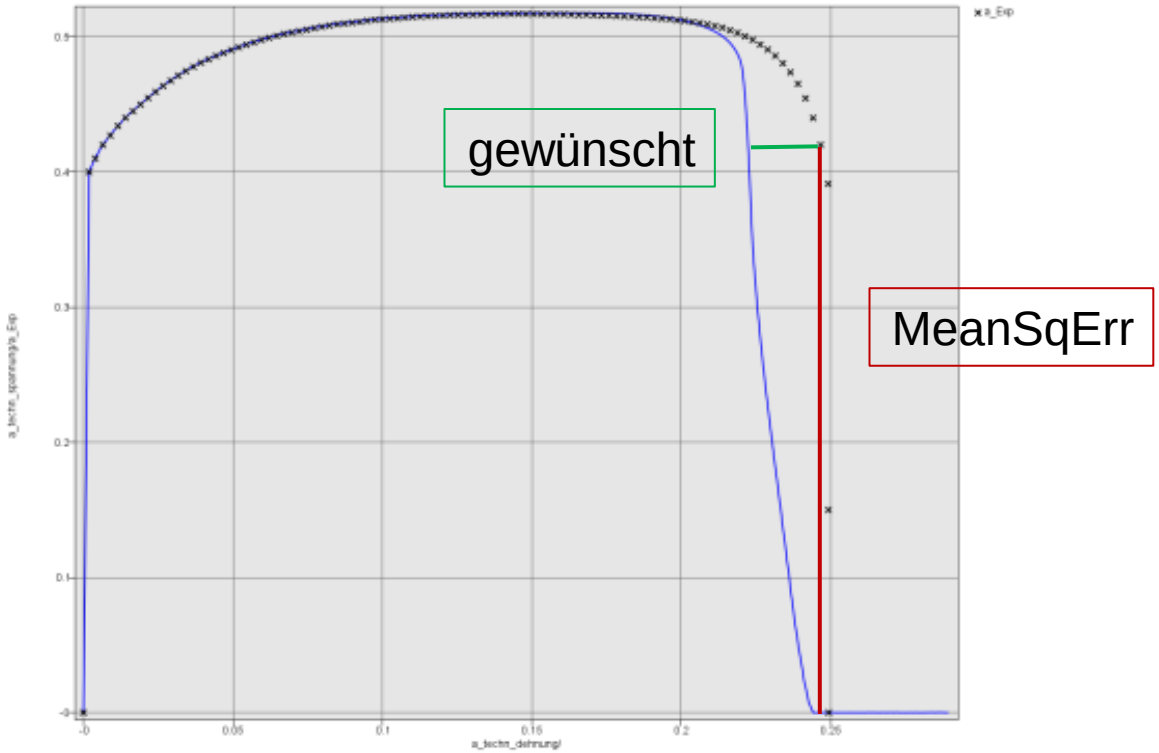
  Simulation curve



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

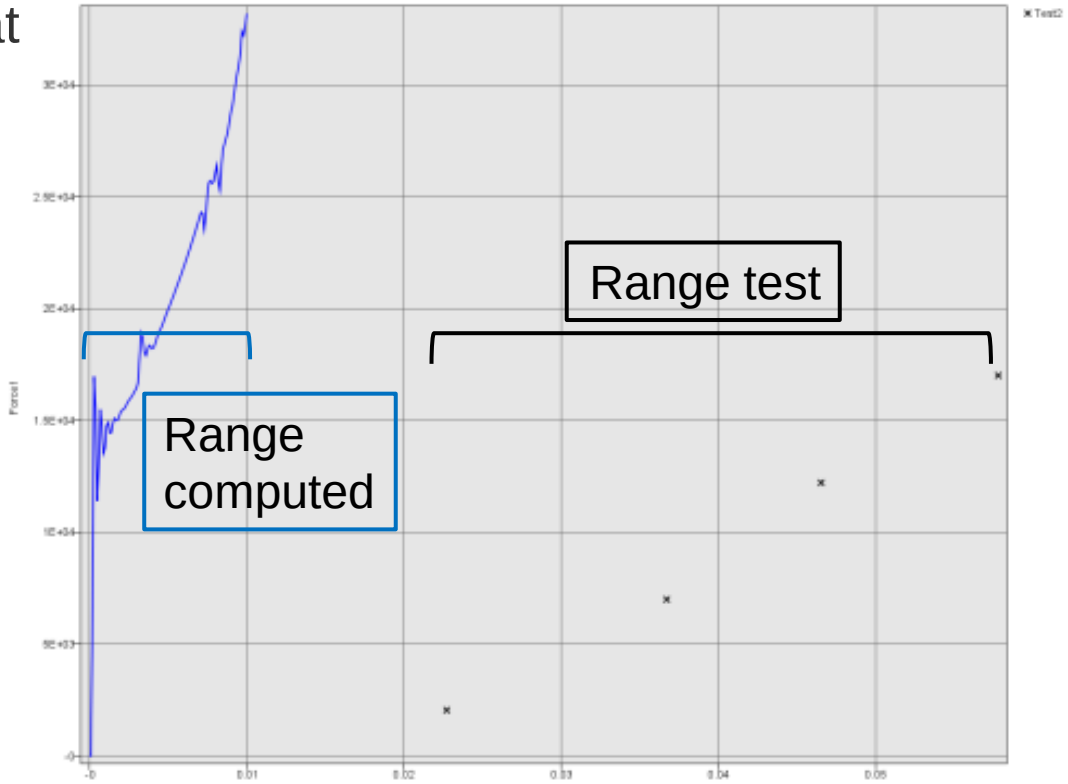
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Probleme der ordinaten-basierten Methode:
- Steile Kurvenstücke sind schwierig oder unmöglich einzubeziehen (z.B. linear-elastischer Bereich oder Versagen)



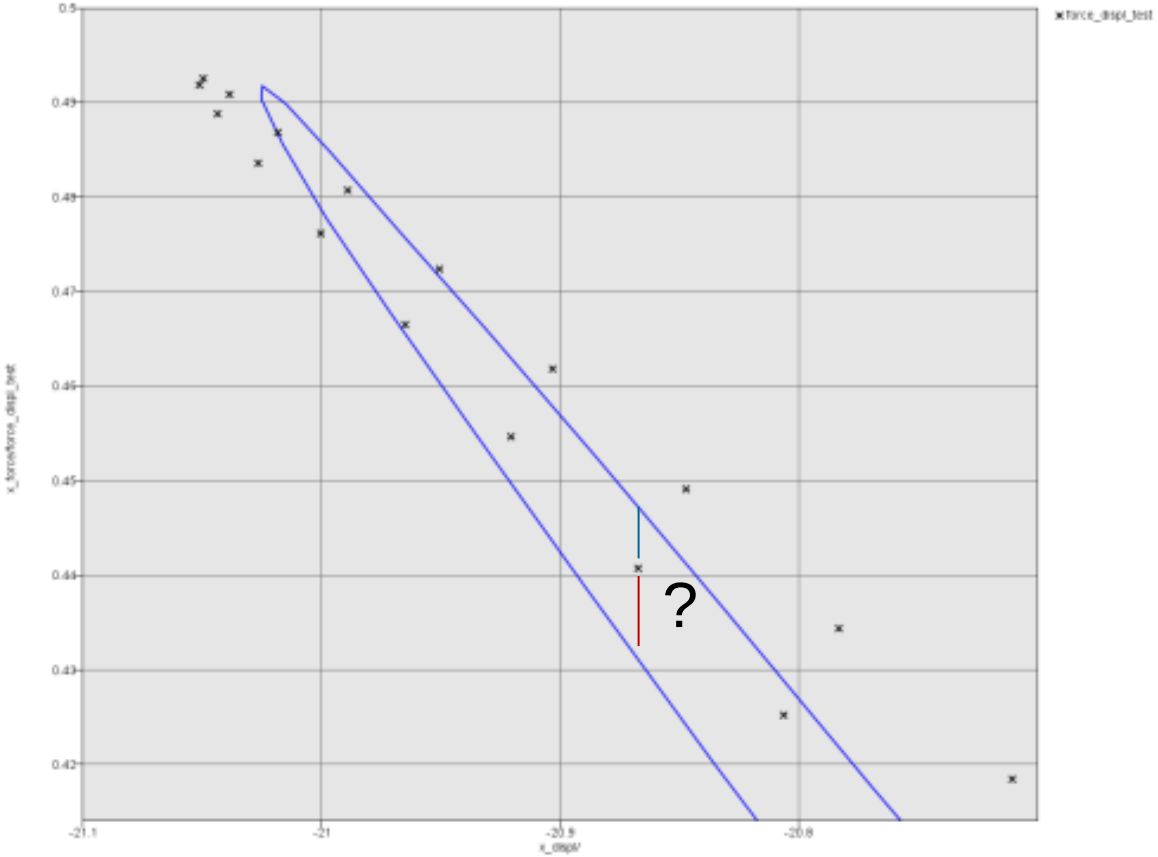
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Probleme der ordinaten-basierten Methode:
- <u>Definitionsbereiche</u> von Simulations- und Testkurve können in Zwischenschritten der Optimierung keine Übereinstimmung haben
  → Instabilität



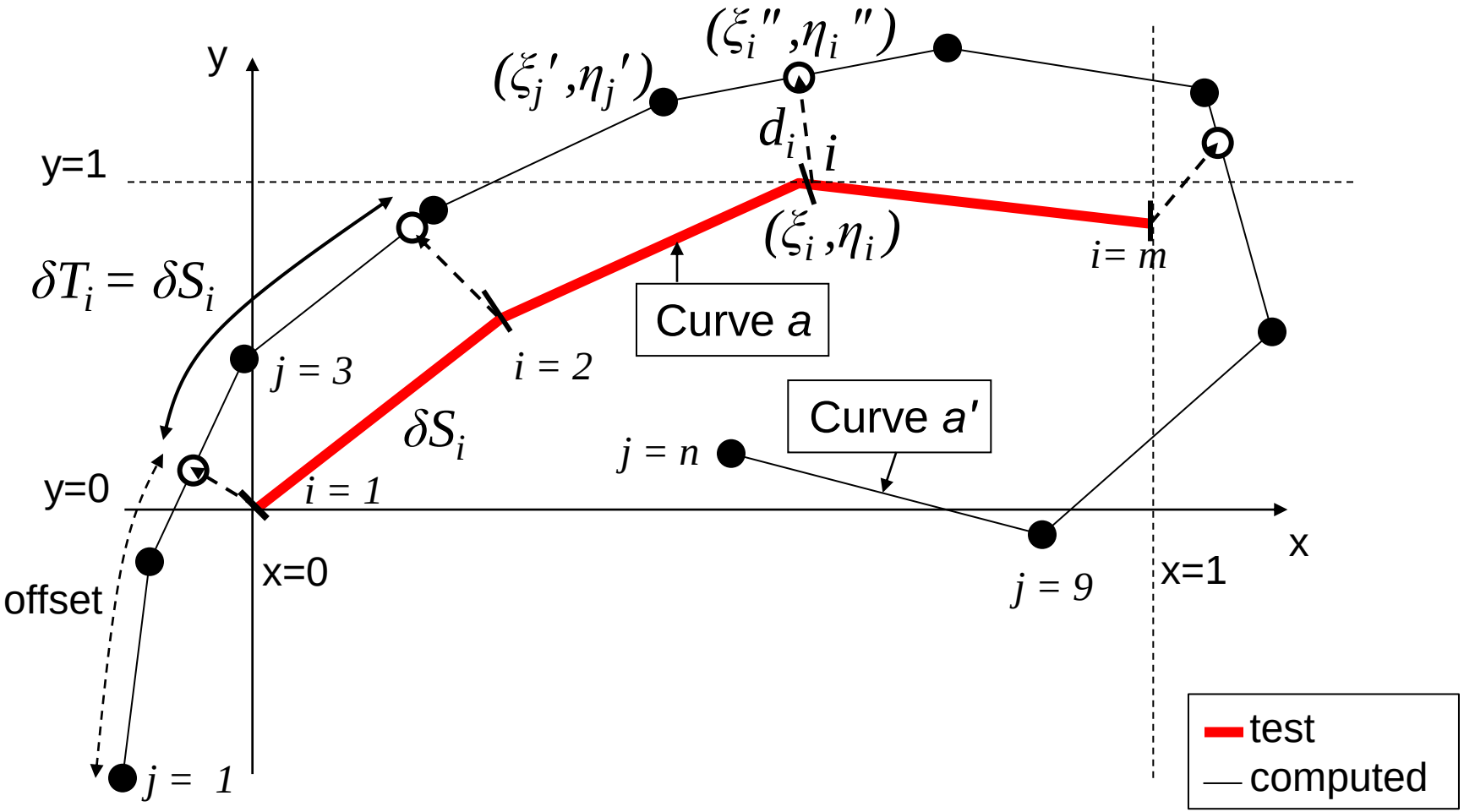
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Probleme der ordinaten-basierten Methode:
- <u>Hysteresekurven</u> können nicht angepasst werden, da die Ordinatenwerte nicht eindeutig sind



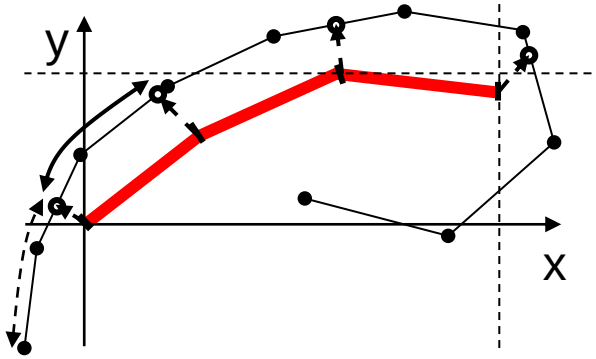
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Curve Mapping



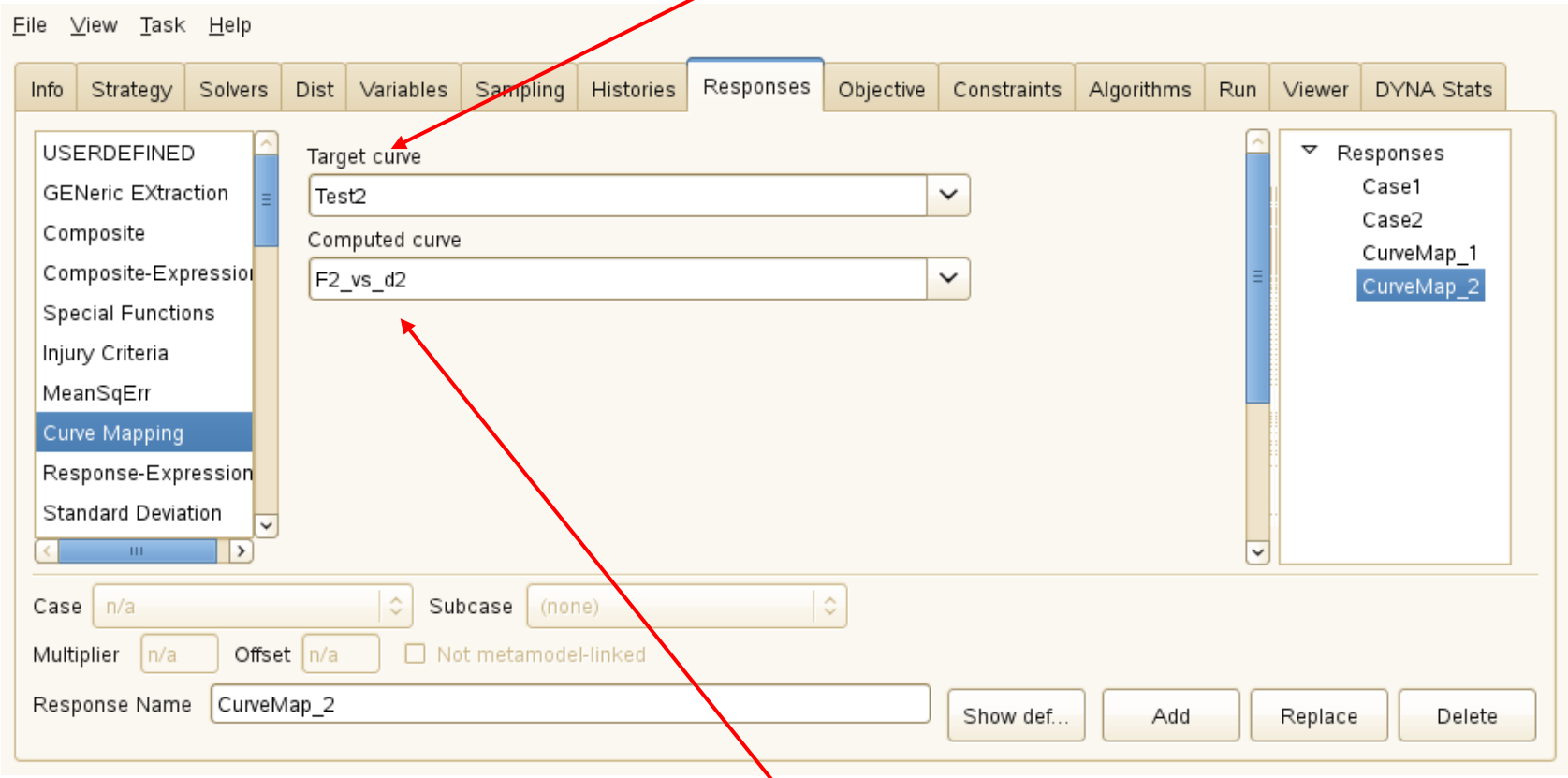
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Die Kurven werden bezüglich der Versuchskurve normiert
  - *Vermeidung von Problemen durch unterschiedliche Größenordnungen von Abszissen- und Ordinatenwerten*
  - *Fehlermaß ist unabhängig von Einheiten*
- Abbildung der kürzeren Kurve auf ein Teilstück der längeren Kurve, so dass die Längen zwischen den jeweiligen Punkten gleich sind (Filtern der Kurven wird empfohlen)
- Das Fehlermaß wird durch die Fläche zwischen der kürzeren Kurve und der Abbildung definiert
- Der Offset wird optimiert, so dass die Kurven minimalen Abstand haben



Parameteridentifikation mit LS-OPT

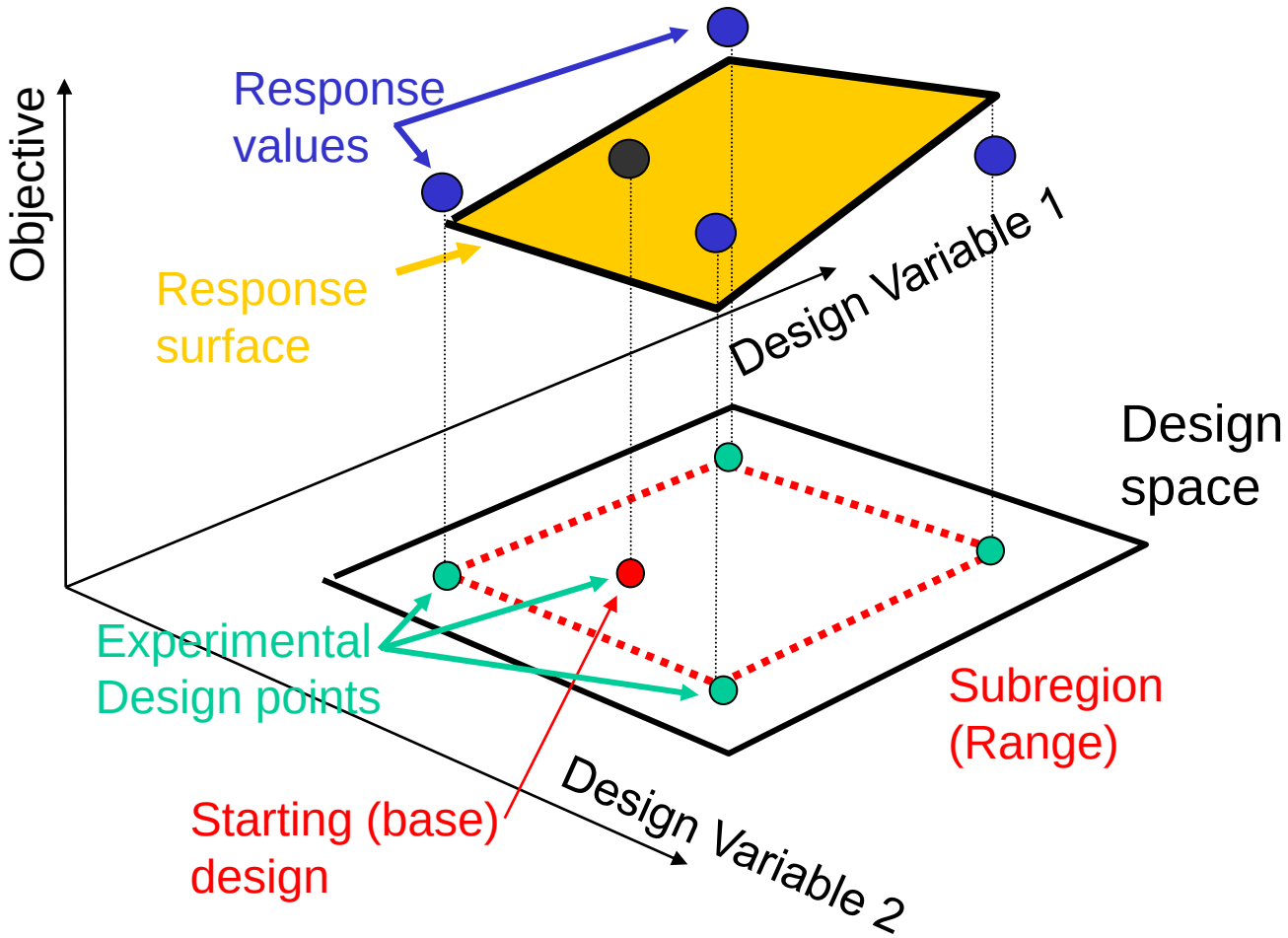
Importierte Versuchskurve im 2-Spalten Format



Simulationskurve/Crossplot

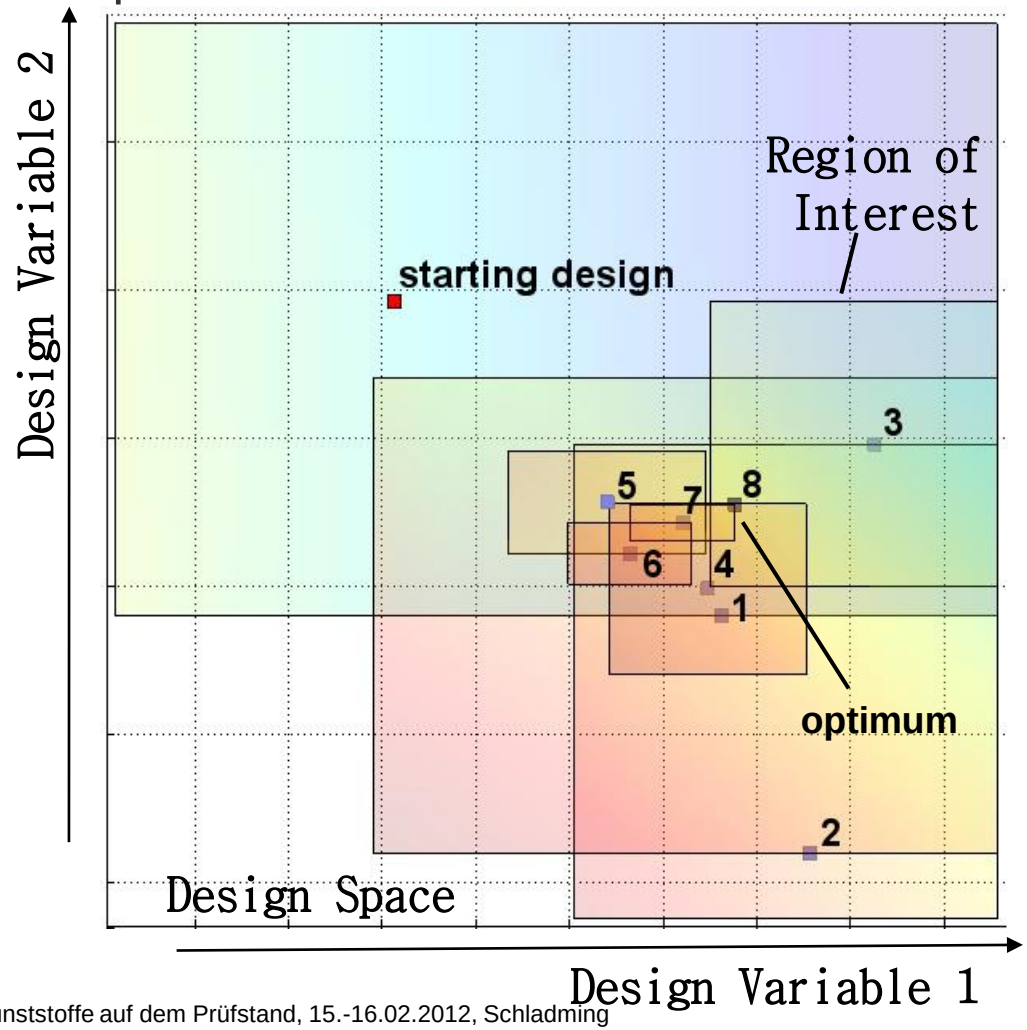
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Sequential Response Surface Methode



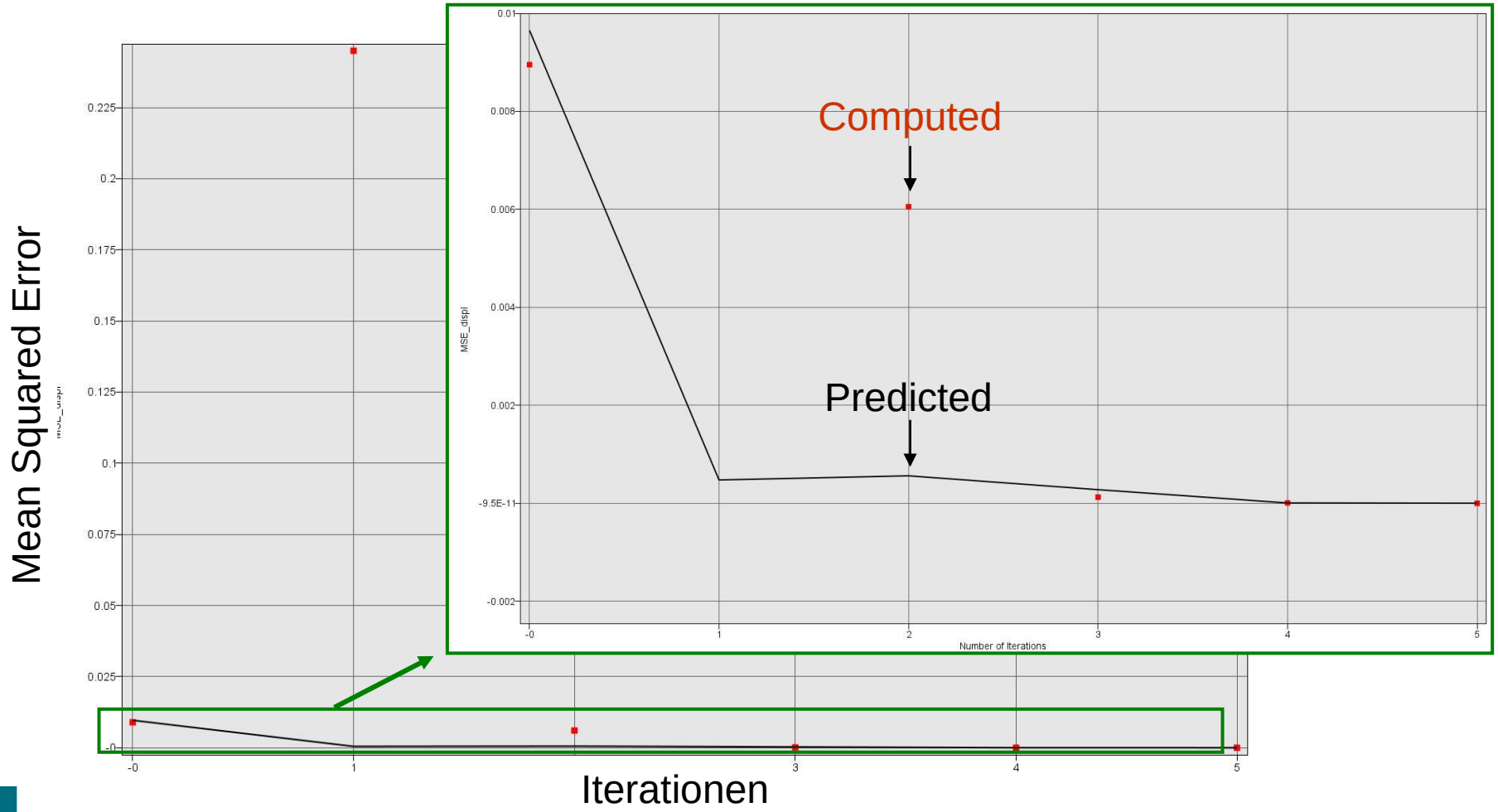
Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Sequential Response Surface Methode



Parameteridentifikation mit LS-OPT

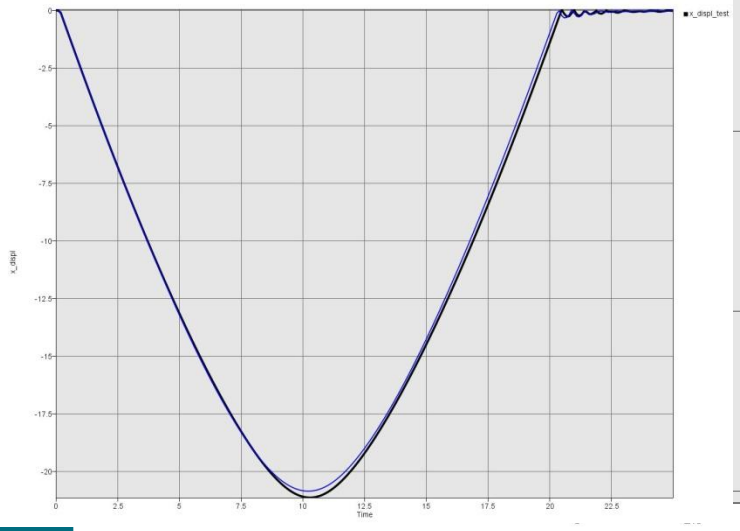
- Ergebnisse: Optimization History Mean Squared Error

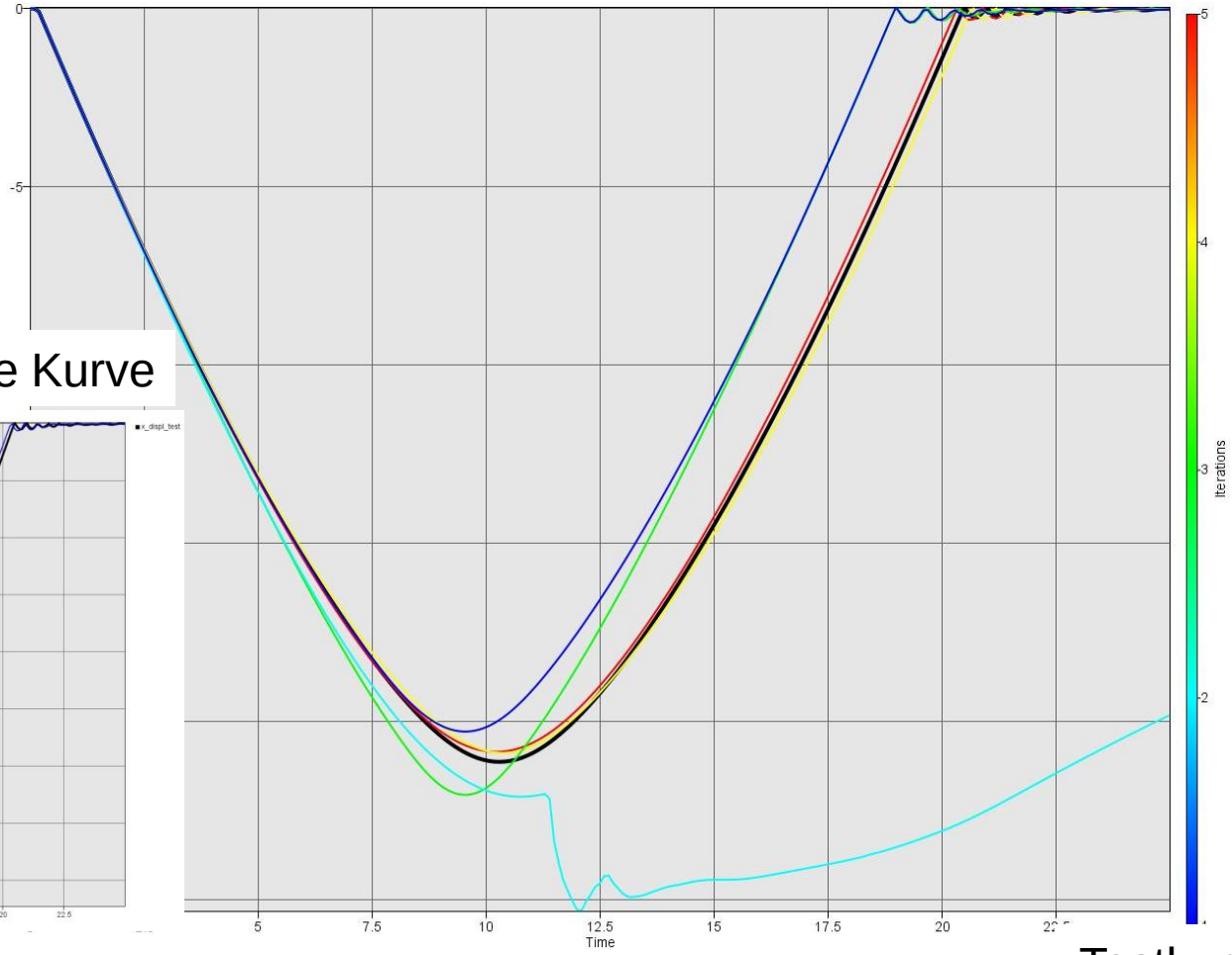


Parameteridentifikation mit LS-OPT

- Ergebnisse: Verschiebungskurven aus optimalen Läufen aller Iterationen

Testkurve und optimale Kurve

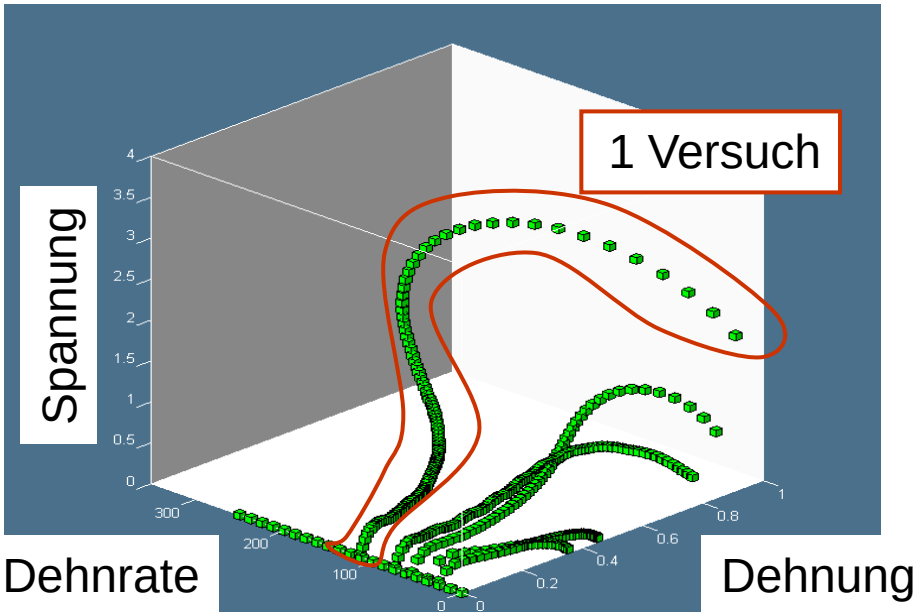




— Testkurve

Neuronale Netze

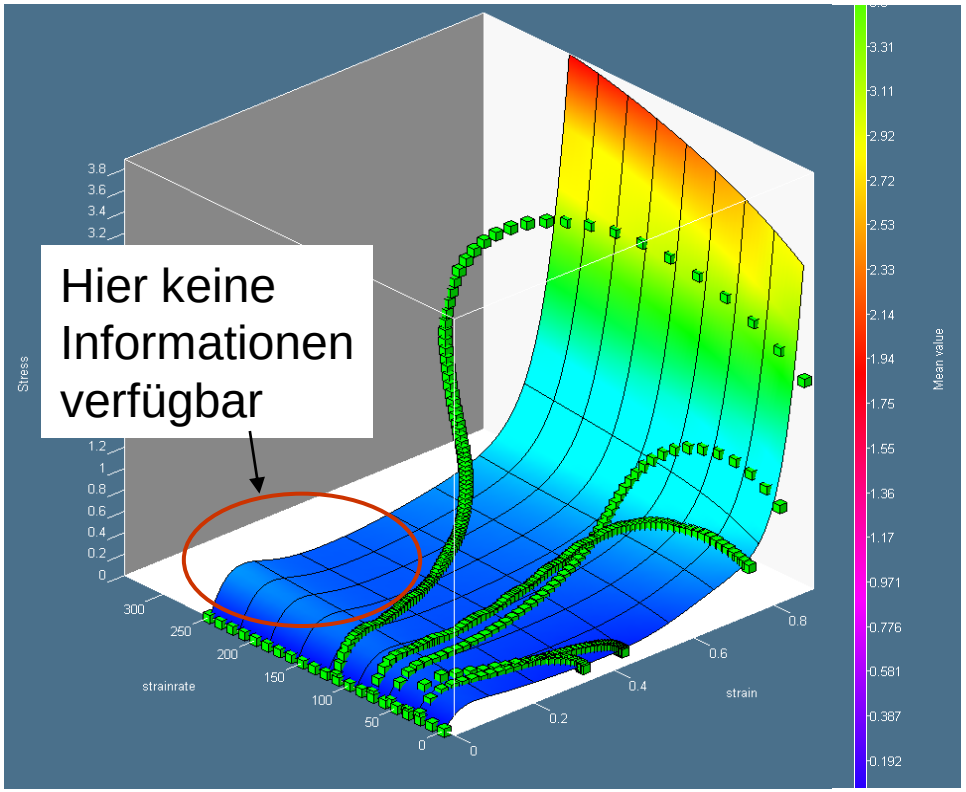
- Im Versuch können Spannungs-Dehnungs-Kurven gemessen werden, allerdings nicht zu konstanten Dehnraten
- Man erhält daraus aber Zusammenhänge zwischen Spannung, Dehnung und Dehnrate (mehrere Versuche mit unterschiedlichen Massen und Fallhöhen, um verschiedene Bereiche abzudecken)

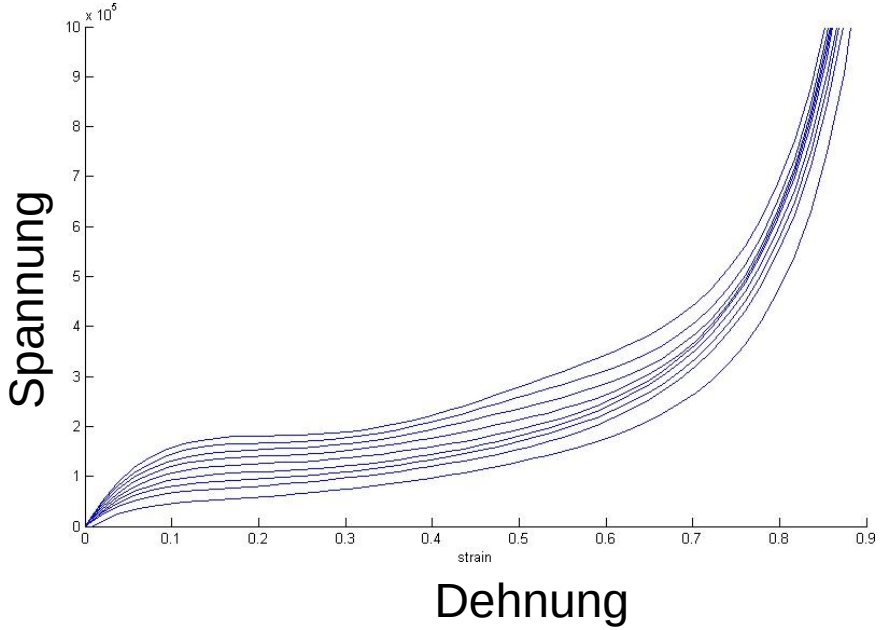


- Idee: Datenpunkte aus Versuchen werden mit neuronalen Netzen in LS-OPT approximiert → kontinuierlicher Zusammenhang

Neuronale Netze

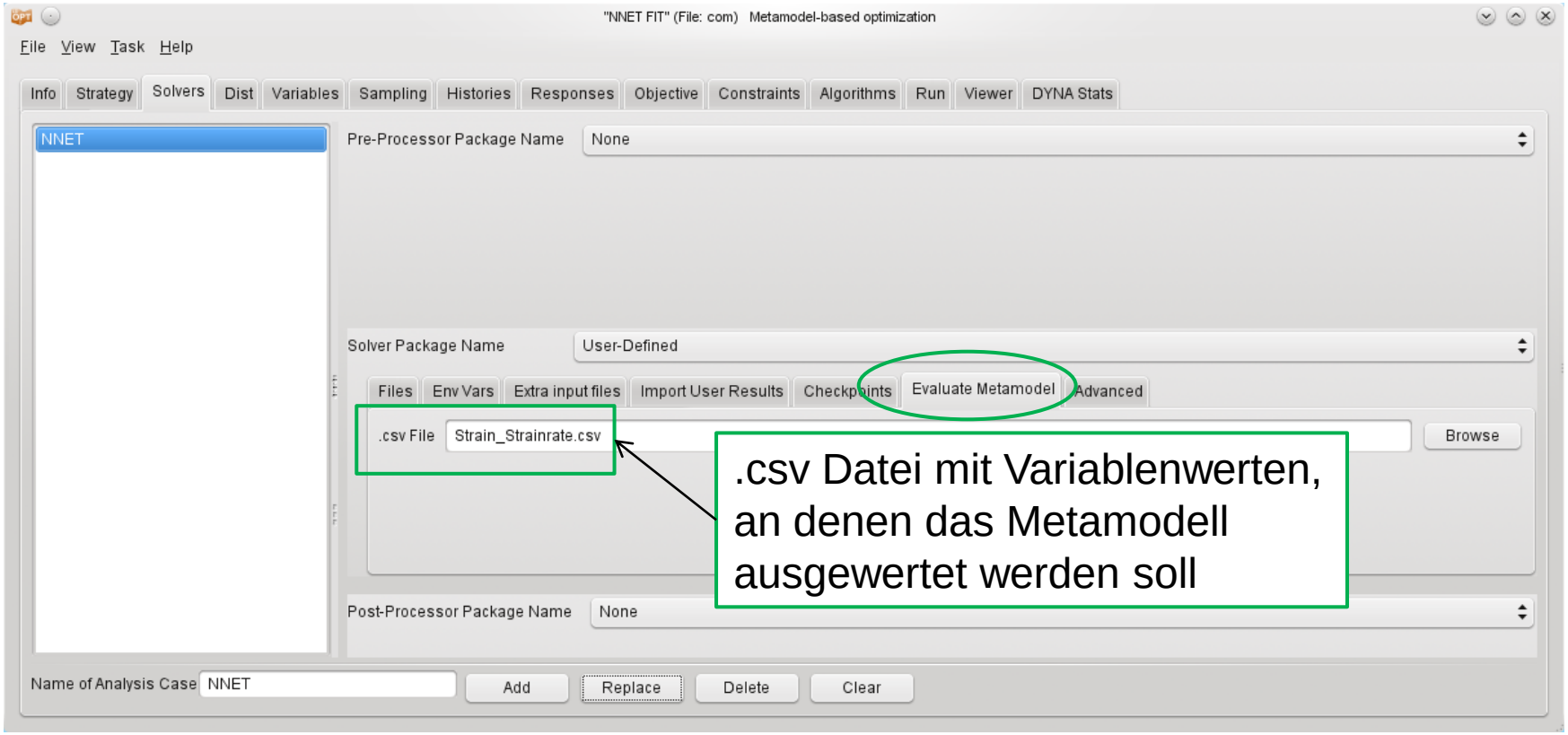
- Aus dem jetzt kontinuierlichen Zusammenhang können Spannungs-Dehnungskurven zu konstanten Dehnraten für die Materialkarte entnommen werden





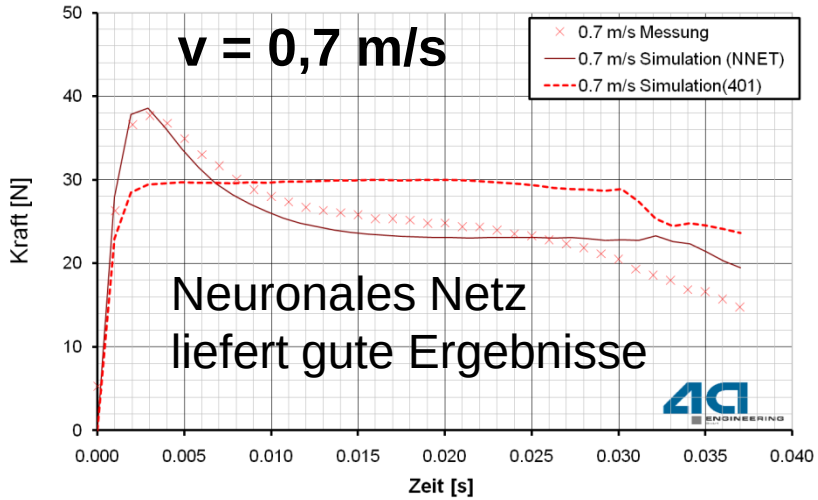
Neuronale Netze

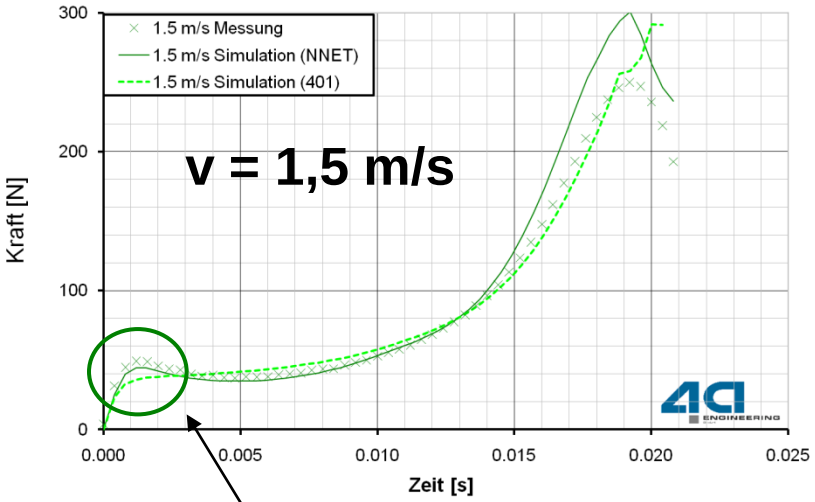
- Extraktion von 2D Kurven aus dem Metamodell

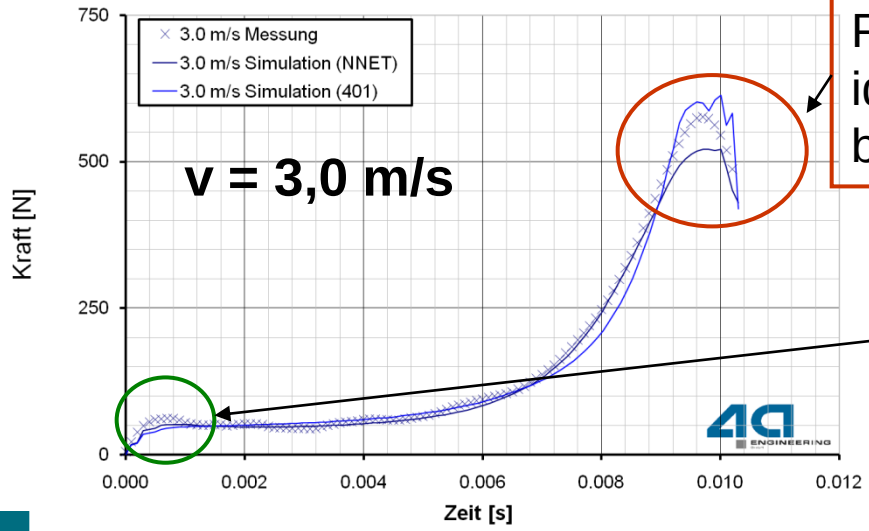


- Metamodellwerte werden in .csv Datei geschrieben

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 Simulationskurven an Versuchskurven über Mean Squared Error oder Curve Mapping*
  - *Verwendung von Neuronalen Netzen um kontinuierliche Zusammenhänge zwischen Datenpunkten zu erhalten*

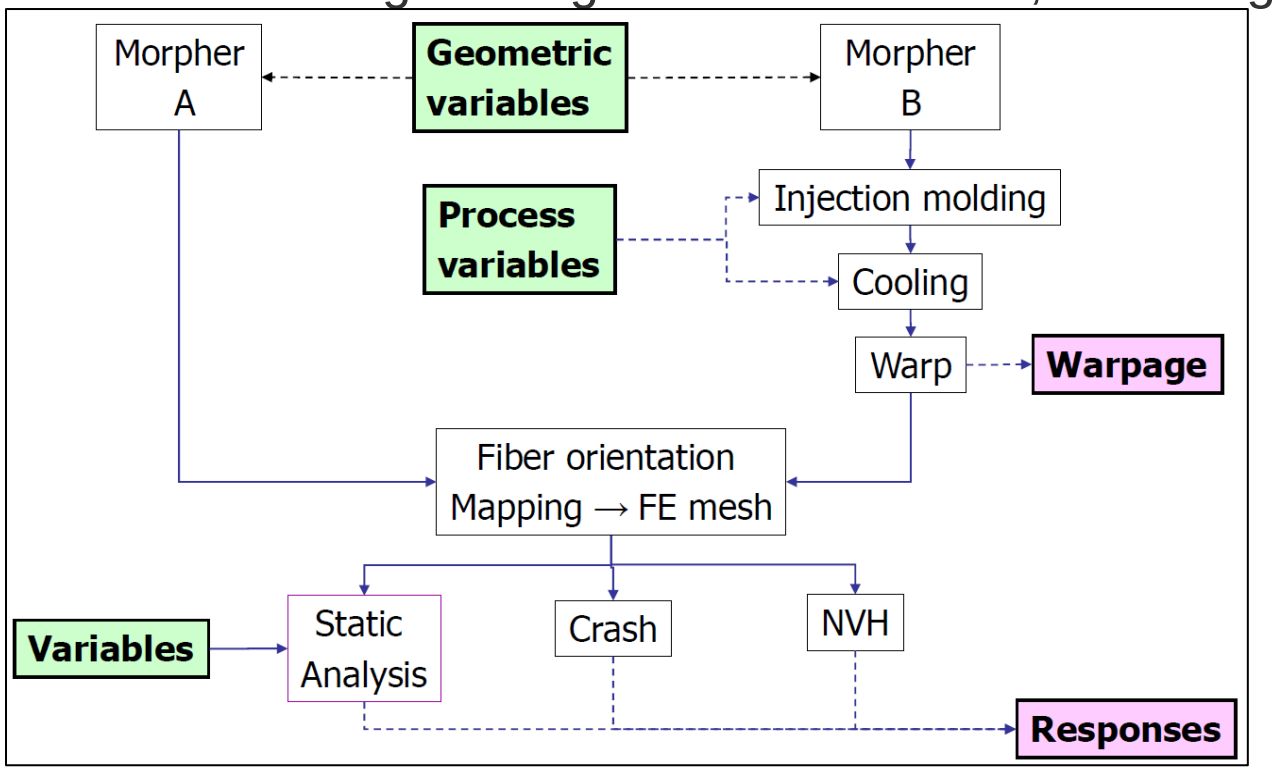
Ausblick auf LS-OPT 5.0

Ausblick auf LS-OPT 5.0

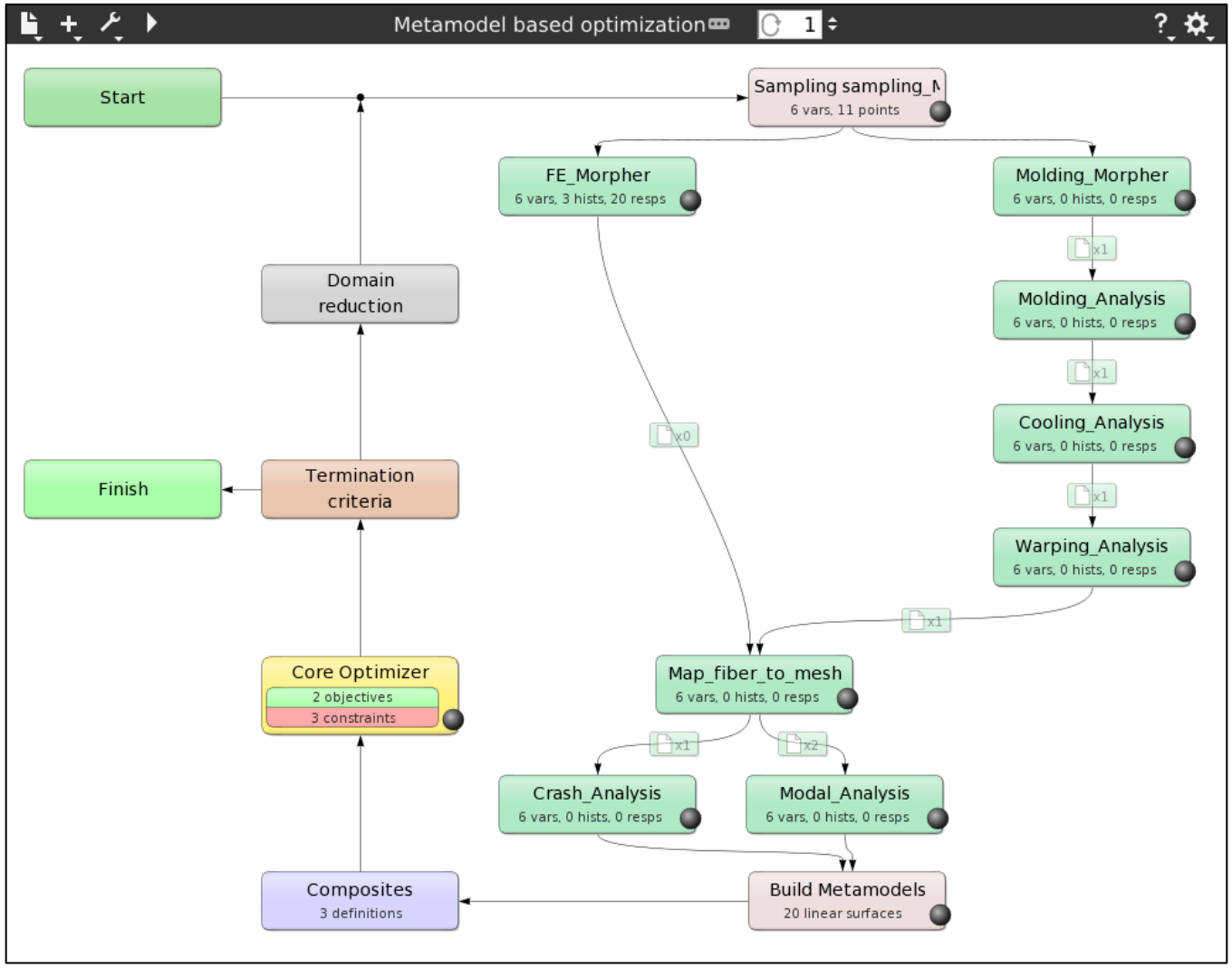
- Bisher mögliche Prozessketten innerhalb Optimierung mit LS-OPT:

Preprozessor → Solver → Postprozessor

- Neue Anforderungen: längere Prozessketten, Verzweigungen



Ausblick auf LS-OPT 5.0 - Ziele

- Prozesssimulation & Optimierung
  - *Prozess-Ablauf mit Verzweigungen und Zusammenführen*
  - *Ausgabe-Dateien: kopieren, löschen, verschieben, …*
- Schrittweise Ausführung möglich
  - *z.B. nur Sampling*
  - *oder einzelner Teilschritt der Prozesskette*
- Status der Berechnungen bzw. Optimierung wird dargestellt

Ausblick auf LS-OPT 5.0 – neue graphische Oberfläche (Entwicklungsstand)