



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

Teil 2: Charakterisierung von Schädigung und Versagen bei Metallen (GISSMO)

J. Effelsberg¹⁾, M. Feucht²⁾

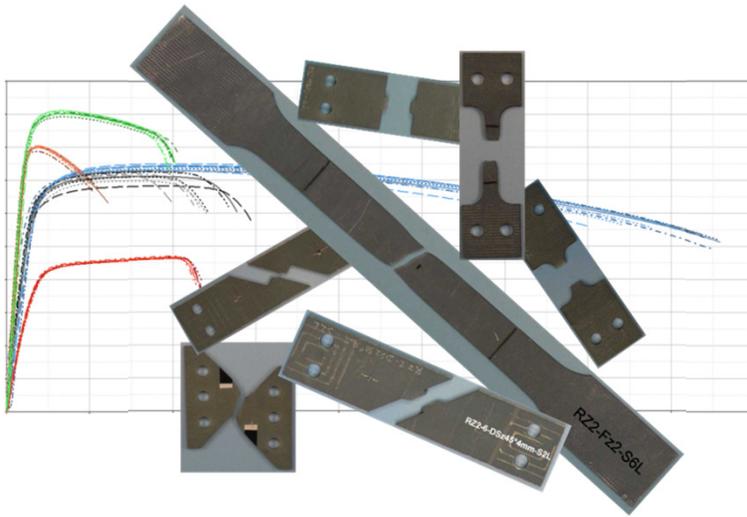
¹⁾DYNAmore GmbH, Stuttgart

²⁾Daimler AG, Sindelfingen

Infotag LS-OPT

01. Dezember 2014

Übersicht



Identifikation von
Materialparametern
mit LS-OPT

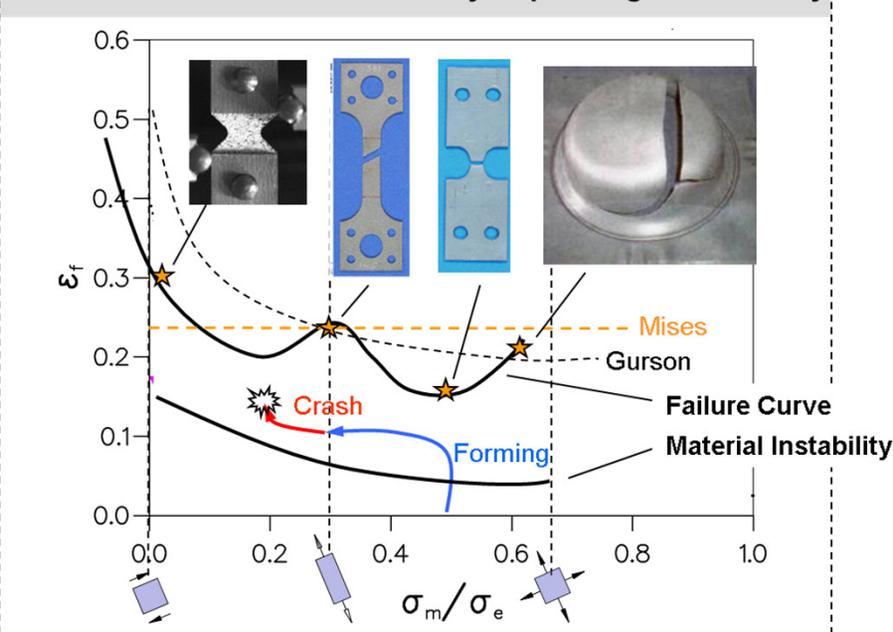


- Motivation: Schädigungsmodell GISSMO
- Versuchsdurchführung und -auswertung
- Charakterisierung einer GISSMO-Materialkarte:
Kalibrierung von Schädigung und Versagen mit LS-OPT
- Zusammenfassung

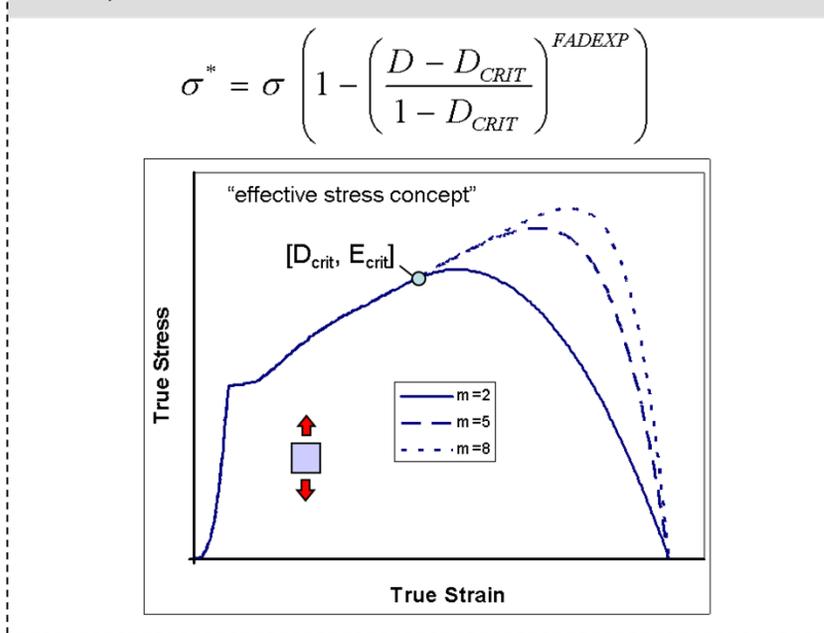
Motivation: Schädigungsmodell GISSMO

- **GISSMO** = **G**eneralized **I**ncremental **S**tress **S**tate dependent damage **M**odel
 - Trennung von Plastizitätsformulierung und Schädigungs-/Versagensprognose
 - Kombination mit beliebigem Konstitutivmodell, z. B. *MAT_024 (*von Mises*)
 - Versagensdehnung in Abhängigkeit der Triaxialität (Haupt-/Mises-Spannung)
 - Schädigungsevolution, Versagen, Instabilität (Beginn der Netzabhängigkeit)
 - Kopplung der Schädigung mit den Spannungen, postkritisches Verhalten

Failure Curve / Material Instability depending on triaxiality



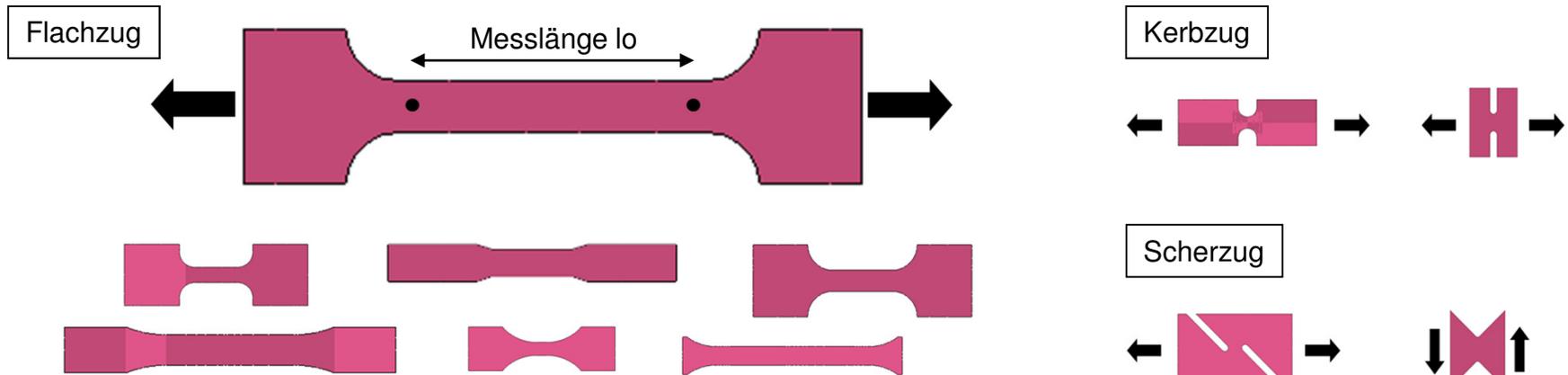
DCRIT, FADEXP: Post-critical behavior



Neukamm, Feucht & Haufe [2008-2011]

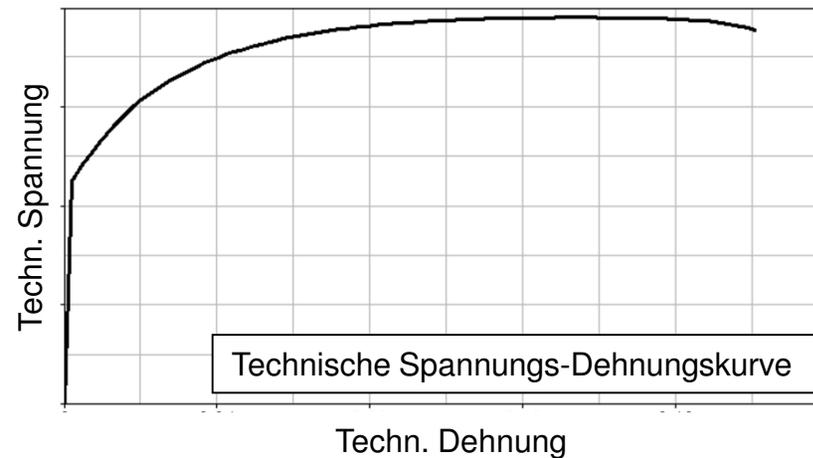
Versuchsdurchführung und -auswertung

▪ Probengeometrien



▪ Versuchskurven

$$\sigma_{eng} = \frac{F}{A_0}$$
$$\varepsilon_{eng} = \frac{\Delta l}{l_0}$$



www.zwick.de

Charakterisierung einer GISSMO-Materialkarte

- Fließkurvenanpassung
 - Konstitutivmodell (Plastizität):
von *Mises* in *MAT_024
 - qs. / dyn. Zugversuche
 - **LS-OPT**: Vgl. Teil 1 des Vortrags

```
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
$ MID RO E PR SIGY ETAN FAIL TDEL
$ 10
$ C P LCSS LCSR VP
...
```

- Kalibrierung von Schädigung / Versagen (GISSMO)

- *MAT_ADD_EROSION
- qs. Flachzug-, Scherzug-, Kerbzugversuche
- Identifikation des fading exponent FADEXP und der beiden LoadCurves LCSDG (Versagen) und ECRIT (Instabilität)
- „reverse engineering“
- **LS-OPT**

```
*MAT_ADD_EROSION
$ MID EXCL MXPRES MNEPS EFFEPS VOLEPS NUMFIP NCS
$ 10
$ MNPRES SIGP1 SIGVM MXEPS EPSSH SIGTH IMPULSE FAILTM
$ IDAM DMGTYP LCSDG ECRIT DMGEXP DCRIT FADEXP LCREGD
$ 1 1 100 -200 2 -300 400
$ SIZFLG REFSZ NAHSV LCSRSHRFBTAXF
$ 14
```

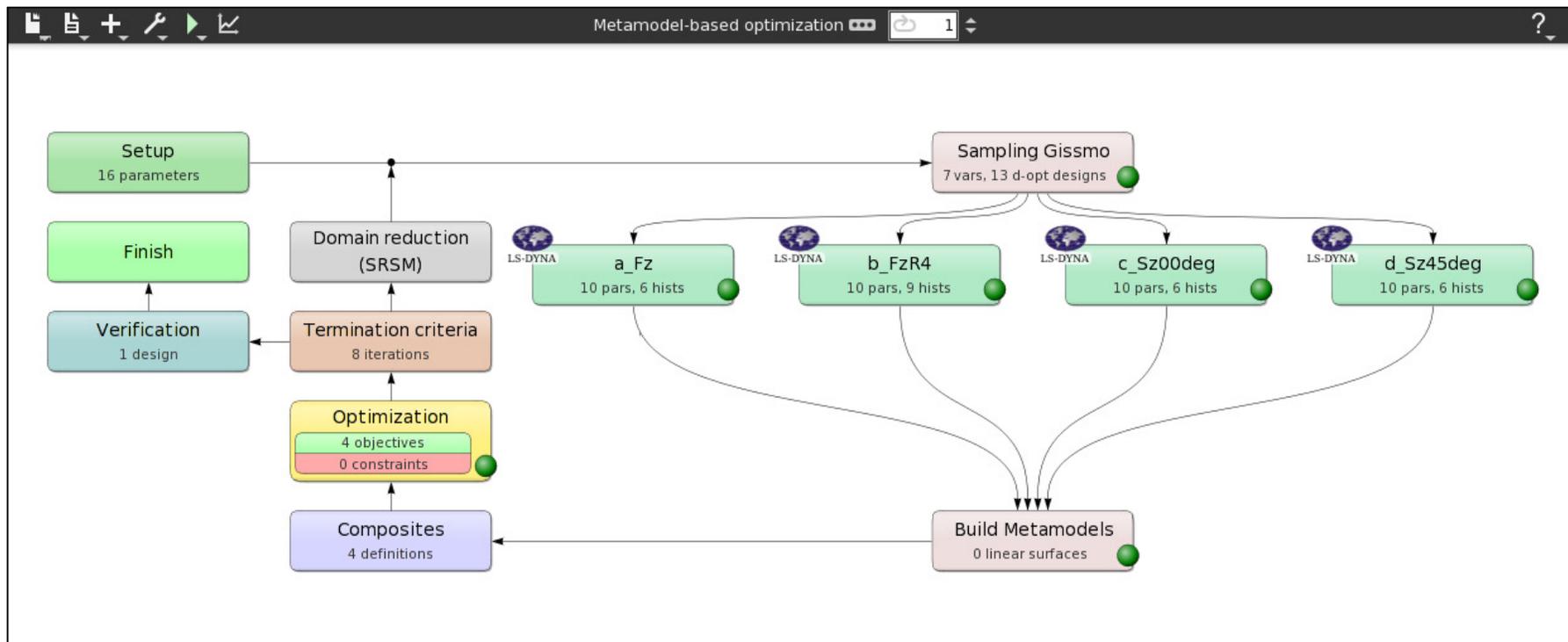
Coupling
Damage exponent
Regularization

Failure curve
Critical damage

Critical plastic strain
(curve definition)
Fadeout exponent
(curve definition)

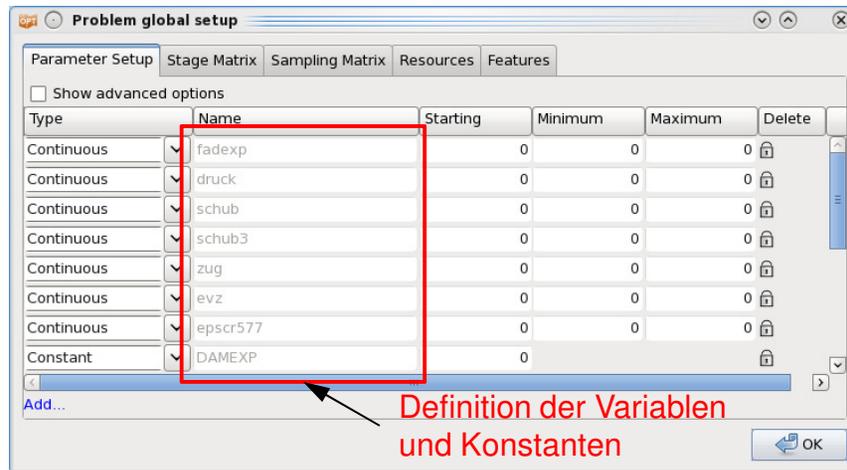
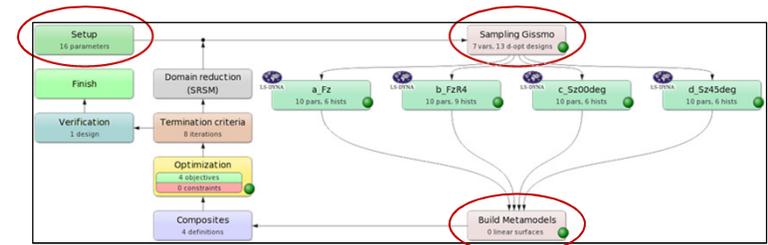
Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

- Beispiel für Parameteridentifikation – Was wird benötigt?
 - Wahl der zu optimierenden Parameter/Punkte auf LoadCurves
 - Anzahl an Lastfällen „stages“ (~Geometrien/Elementarproben)
 - Je stage ein LS-DYNA-Eingabedeck (Parameter/Variablen) u. eine Versuchskurve
 - Evtl. userspezifische Skripte

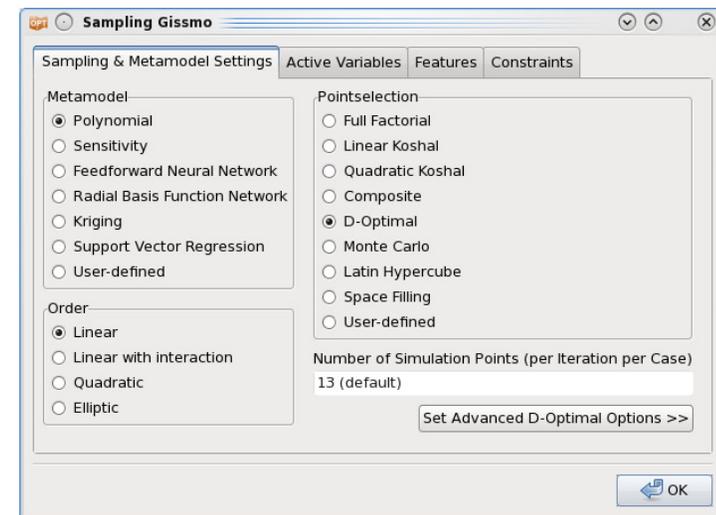


Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

- Setup
 - Automatische Auflistung aller Parameter aus den Eingabedecks
 - Definition von Minimum-/Maximum- und Startwert



- Sampling & Metamodel Settings



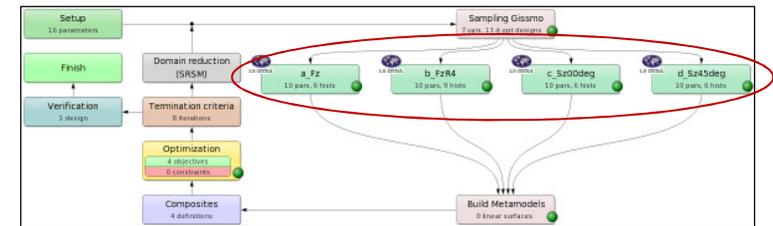
Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

■ Stage Setup

Skript zum Starten der LS-DYNA-Rechnungen

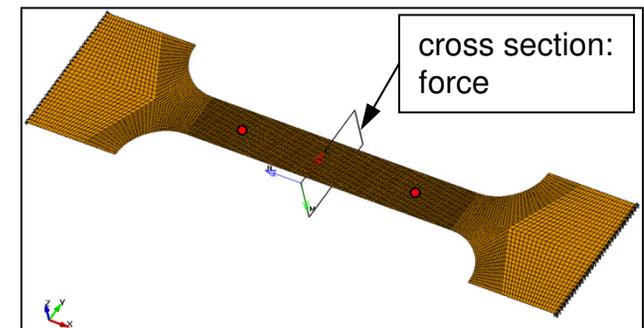
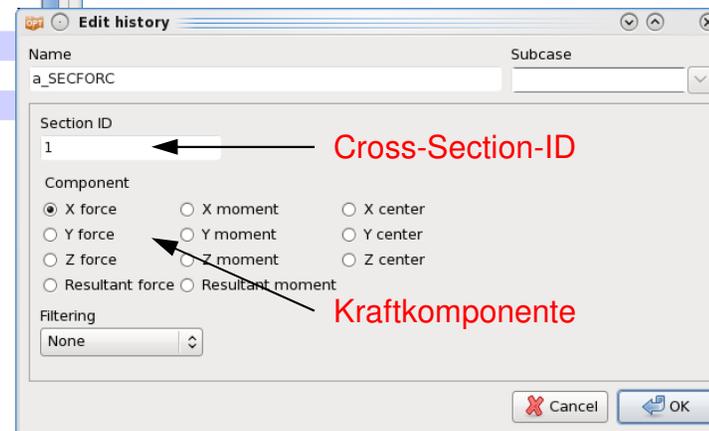
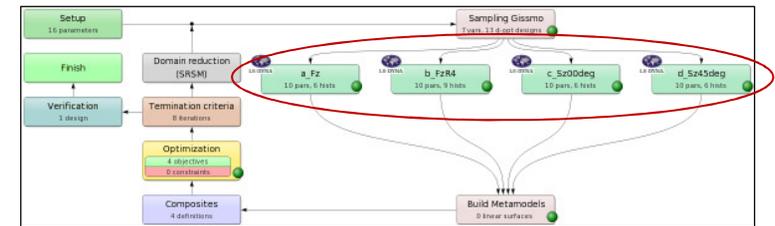
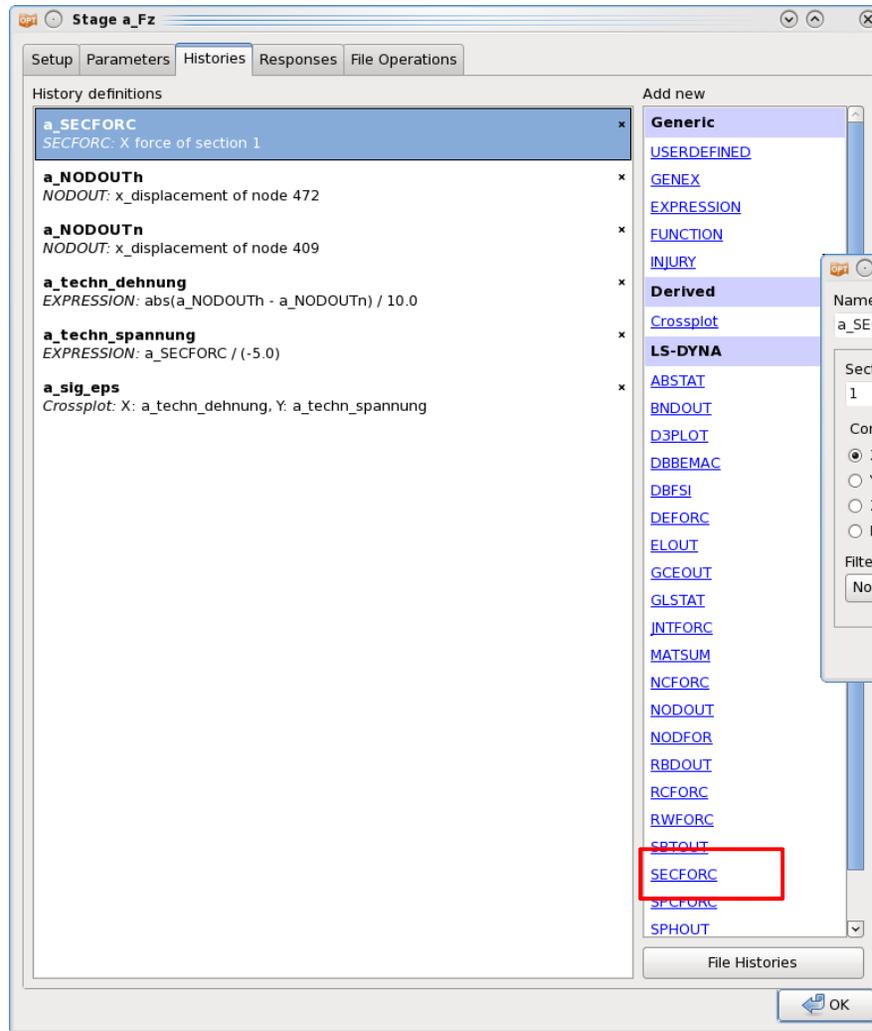
LS-DYNA-Eingabedeck

Anzahl von parallelen Rechnungen



Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

Stage Histories: secforc



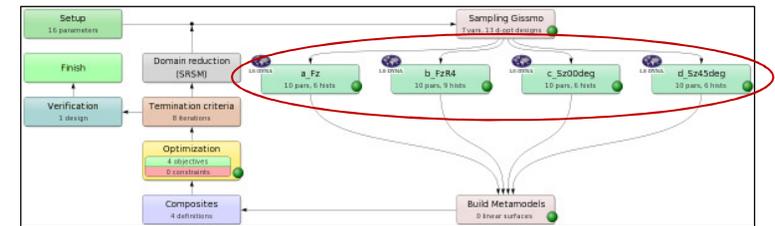
Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

Stage Histories: nodout

The screenshot shows the 'Stage a_Fz' interface with the 'Histories' tab selected. The 'History definitions' list includes:

- a_SECFORC**: SECFORC: X force of section 1
- a_NODOUTH**: NODOUT: x_displacement of node 472
- a_NODOUTn**: NODOUT: x_displacement of node 409
- a_techn_dehnung**: EXPRESSION: abs(a_NODOUTH - a_NODOUTn) / 10.0
- a_techn_spannung**: EXPRESSION: a_SECFORC / (-5.0)
- a_sig_eps**: Crossplot: X: a_techn_dehnung, Y: a_techn_spannung

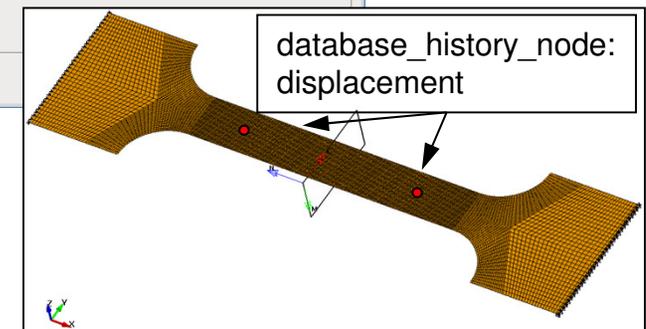
The 'Add new' section on the right lists various history types, with **NODOUT** highlighted in a red box.



The 'Edit history' dialog for 'a_NODOUTH' shows the following configuration:

- Component:** Displacement (selected)
- Direction:** X Component (selected)
- IdentifierType:** ID
- ID:** 472
- Filtering:** None

Red annotations point to the 'X Component' radio button with the text 'Richtung der Knotenkomponente' and to the 'ID' field with 'Knoten-ID'.



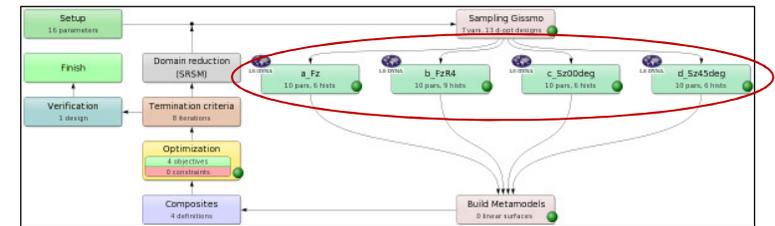
Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

Stage Histories: expression

The screenshot shows the 'Stage a_Fz' window with the 'Histories' tab selected. The 'History definitions' list includes:

- a_SECFORC**: SECFORC: X force of section 1
- a_NODOUTh**: NODOUT: x_displacement of node 472
- a_NODOUTn**: NODOUT: x_displacement of node 409
- a_tech_n_dehnung**: EXPRESSION: $\text{abs}(a_NODOUTn - a_NODOUTn) / 10.0$
- a_tech_n_spannung**: EXPRESSION: $a_SECFORC / (-5.0)$
- a_sig_eps**: Crossplot: X: a_tech_n_dehnung, Y: a_tech_n_spannung

The 'Add new' list on the right includes 'EXPRESSION' (highlighted with a red box). The 'Edit history' dialog box is open, showing the name 'a_tech_n_dehnung' and the expression $\text{abs}(a_NODOUTn - a_NODOUTn) / 10.0$.



Technische Dehnung
(Messlänge $l_0=10\text{mm}$)

Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

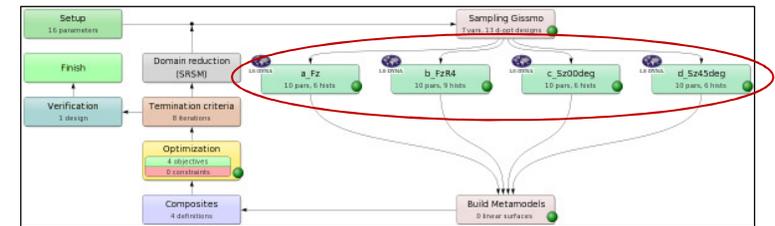
Stage Histories: expression

The screenshot shows the LS-OPT interface for 'Stage a_Fz'. The 'History definitions' list includes:

- a_SECFORC**: SECFORC: X force of section 1
- a_NODOUTH**: NODOUT: x_displacement of node 472
- a_NODOUTn**: NODOUT: x_displacement of node 409
- a_tech_n_dehnung**: EXPRESSION: $\text{abs}(a_NODOUTH - a_NODOUTn) / 10.0$
- a_tech_spannung**: EXPRESSION: $a_SECFORC / (-5.0)$
- a_sig_eps**: Crossplot: X: a_tech_n_dehnung, Y: a_tech_spannung

The 'Add new' list on the right includes 'EXPRESSION' (highlighted with a red box). The 'Edit history' dialog box shows:

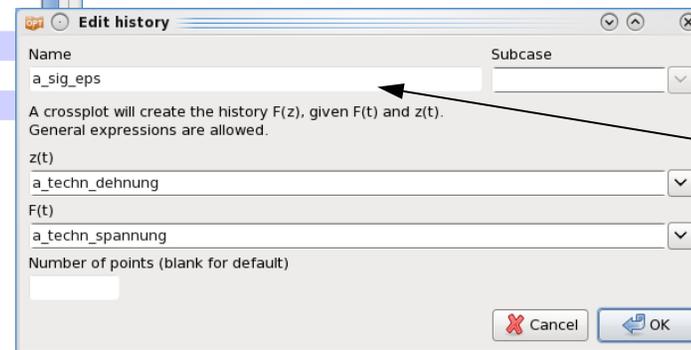
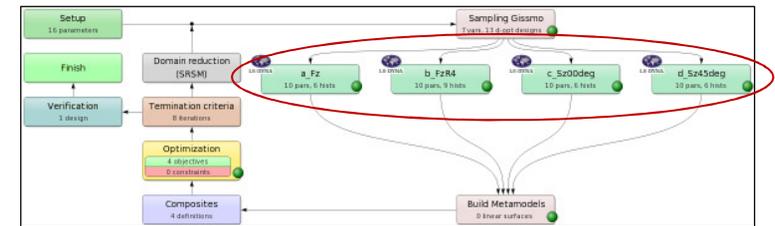
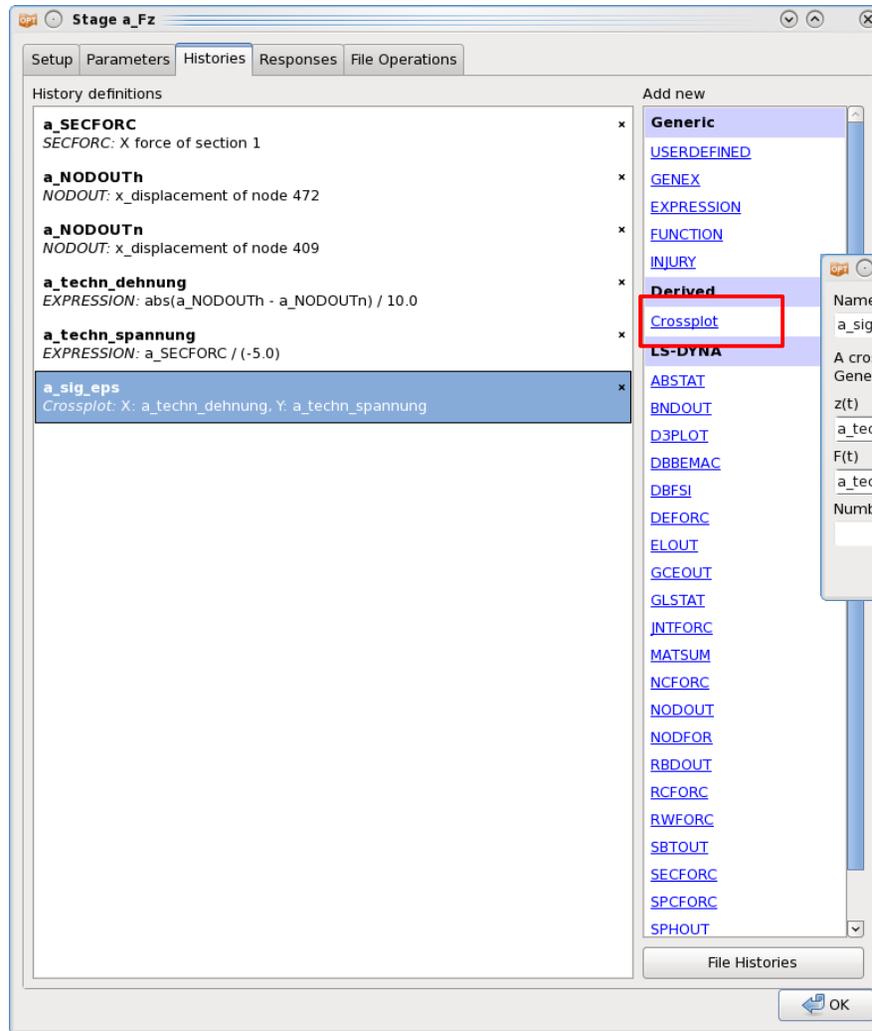
- Name: a_tech_spannung
- Subcase: [dropdown]
- Expression: $a_SECFORC / (-5.0)$



Technische Spannung
(Ausgangsquerschnitt $A_0=5\text{mm}^2$)

Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

Stage Histories: crossplot



Technische
Spannungs-
Dehnungskurve

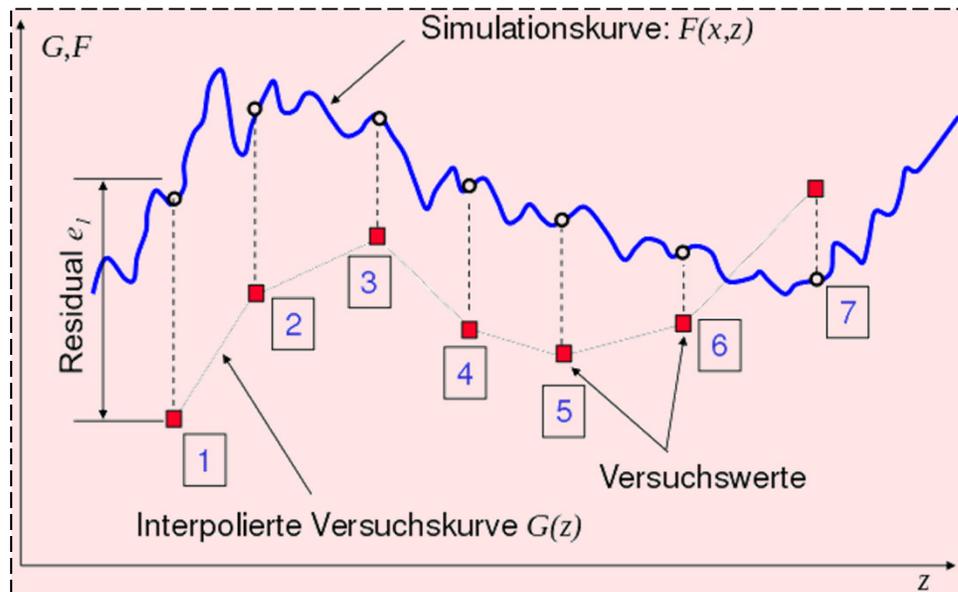
Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

- Composites

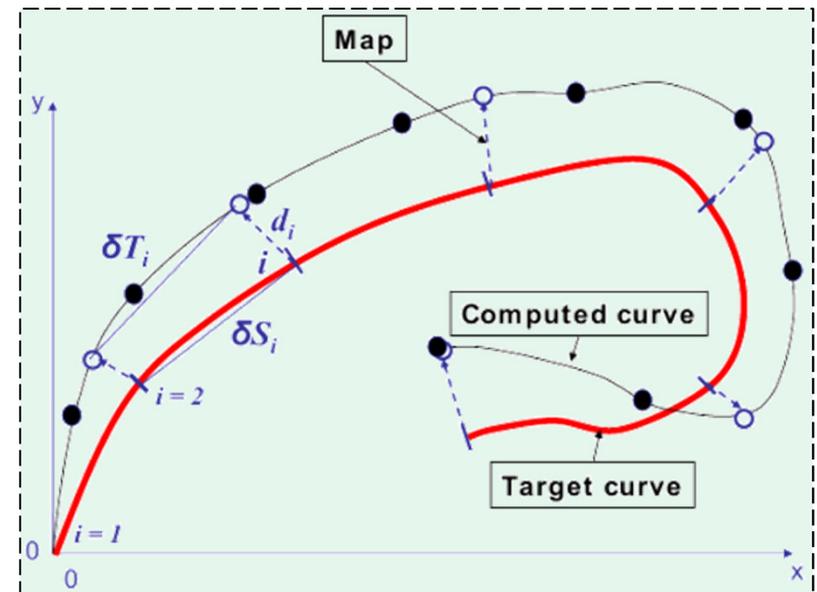
Zielfunktion:

Fehlerberechnung zwischen Versuchs- und Simulationskurven → Minimum

Mean Square Error



Curve Mapping



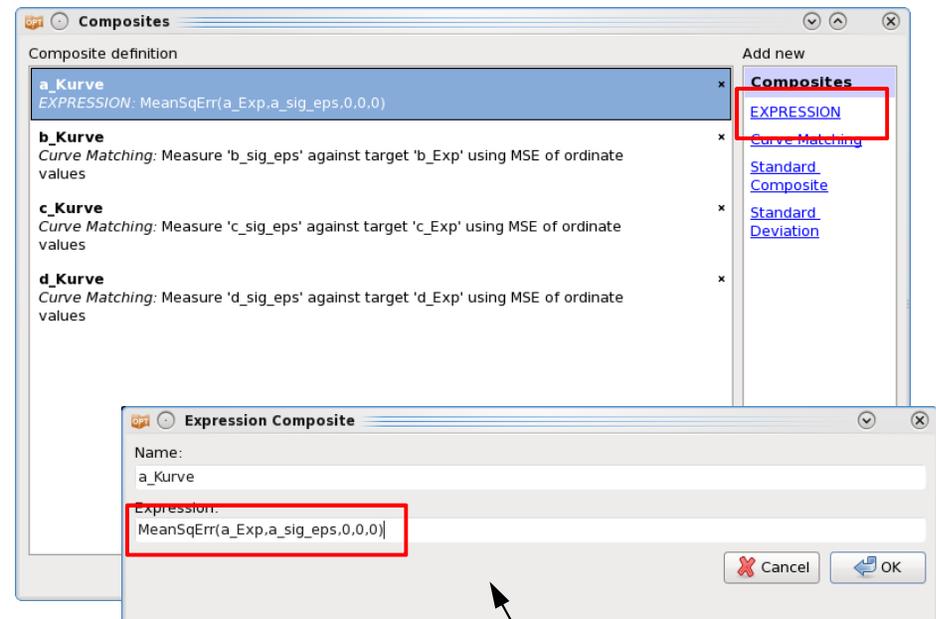
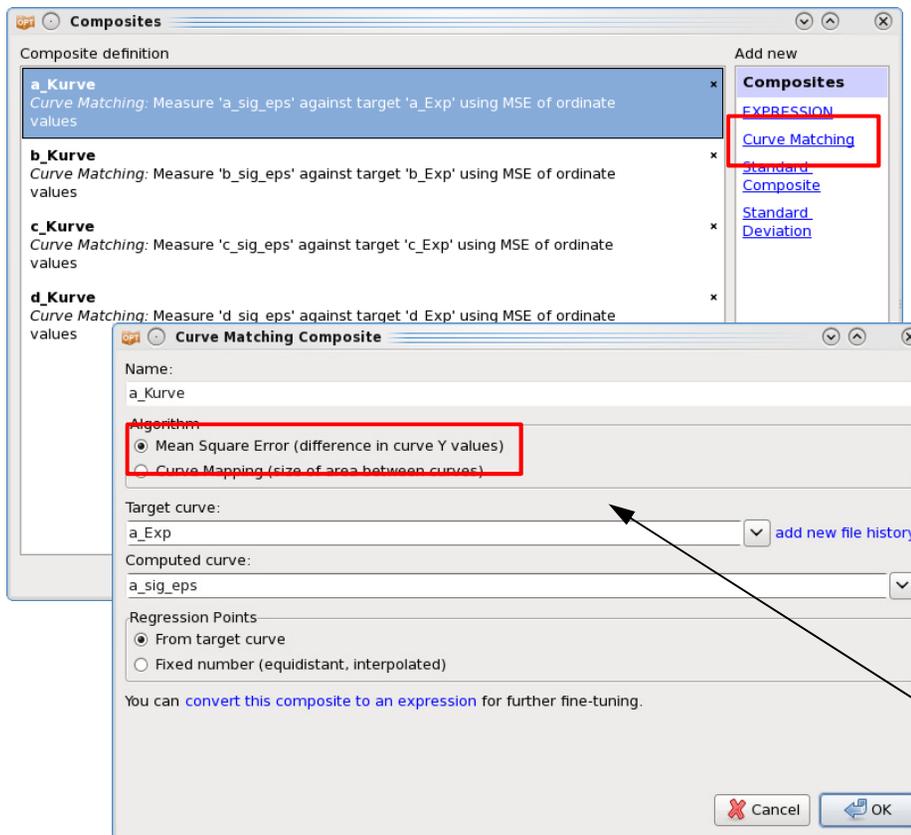
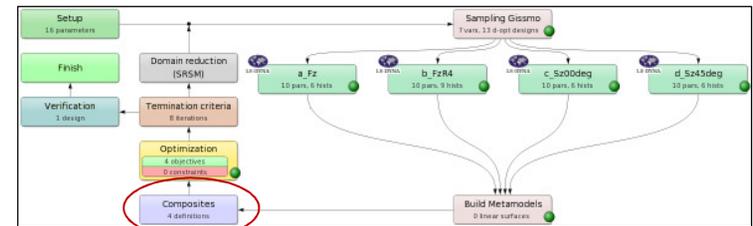
Witowski [2013]

Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

Composites

Fehlerberechnung zwischen
Versuchs- und Simulationskurven:

Mean Square Error



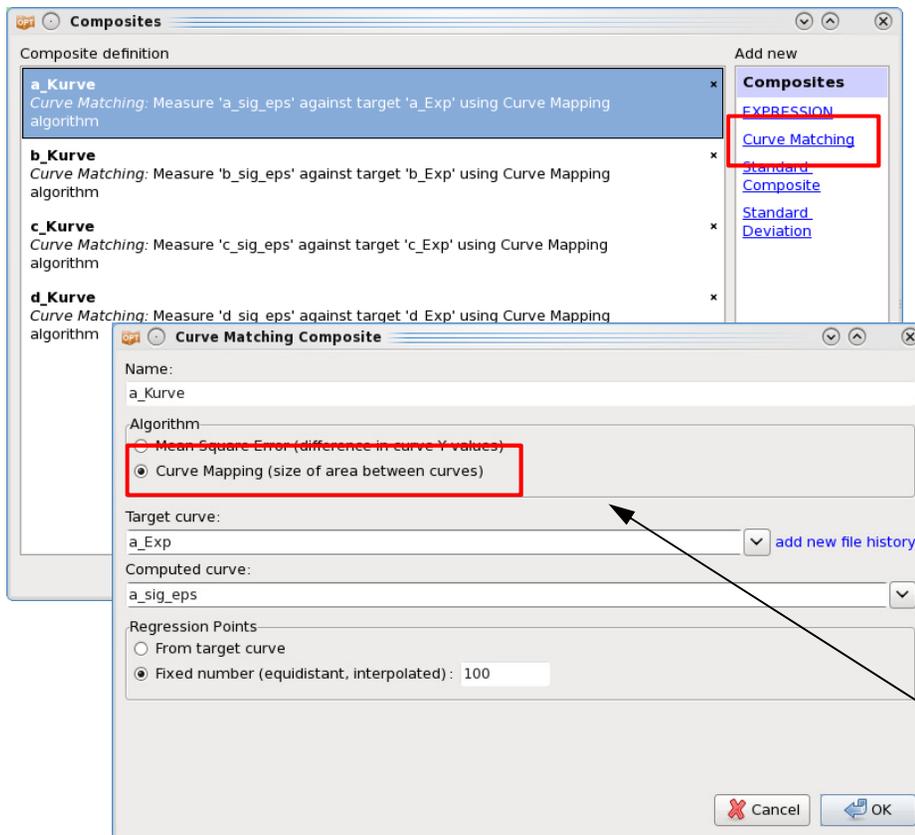
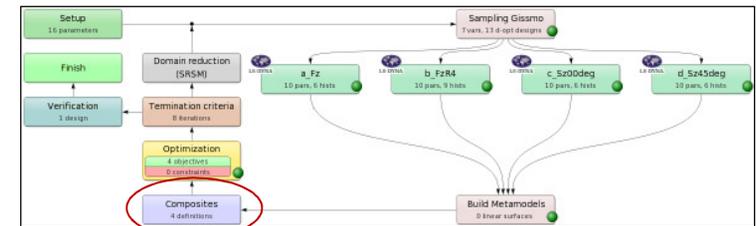
„Curve Matching“ oder „Expression“

Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

Composites

Fehlerberechnung zwischen
Versuchs- und Simulationskurven:

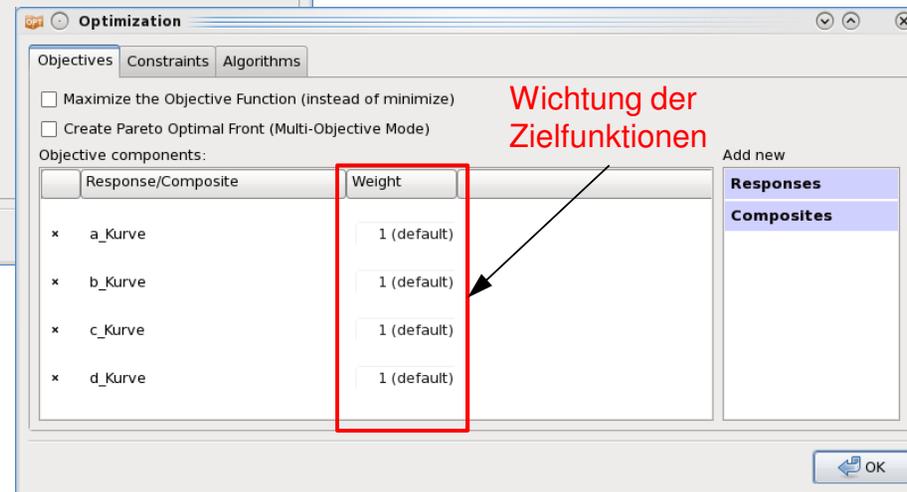
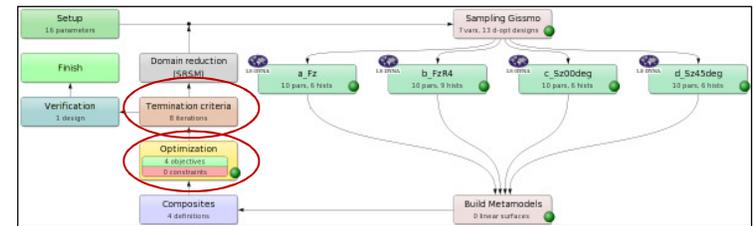
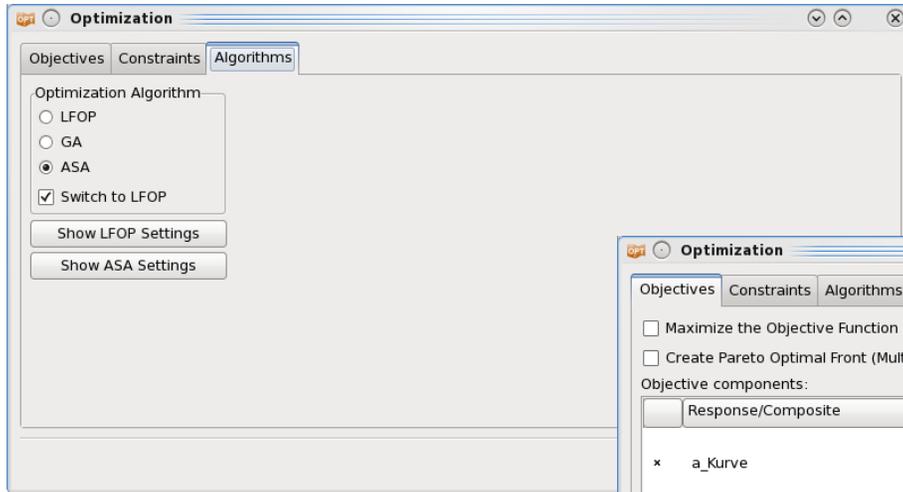
Curve Mapping



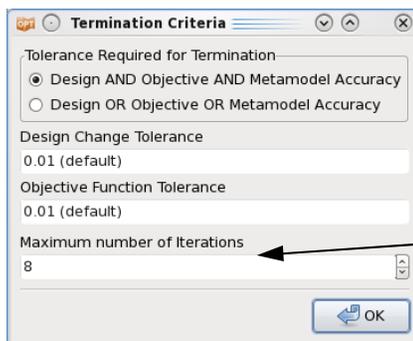
„Curve Matching“

Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

Optimization

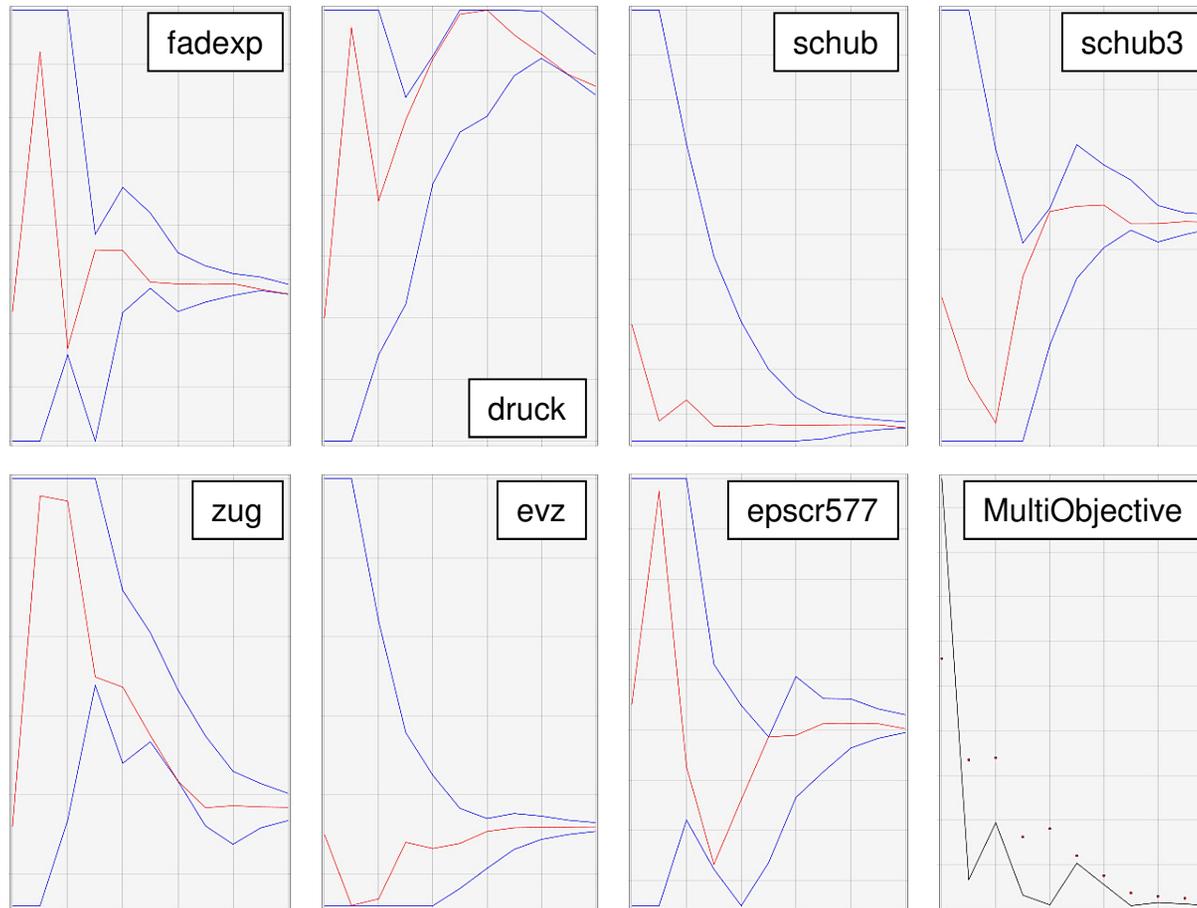


Termination criteria



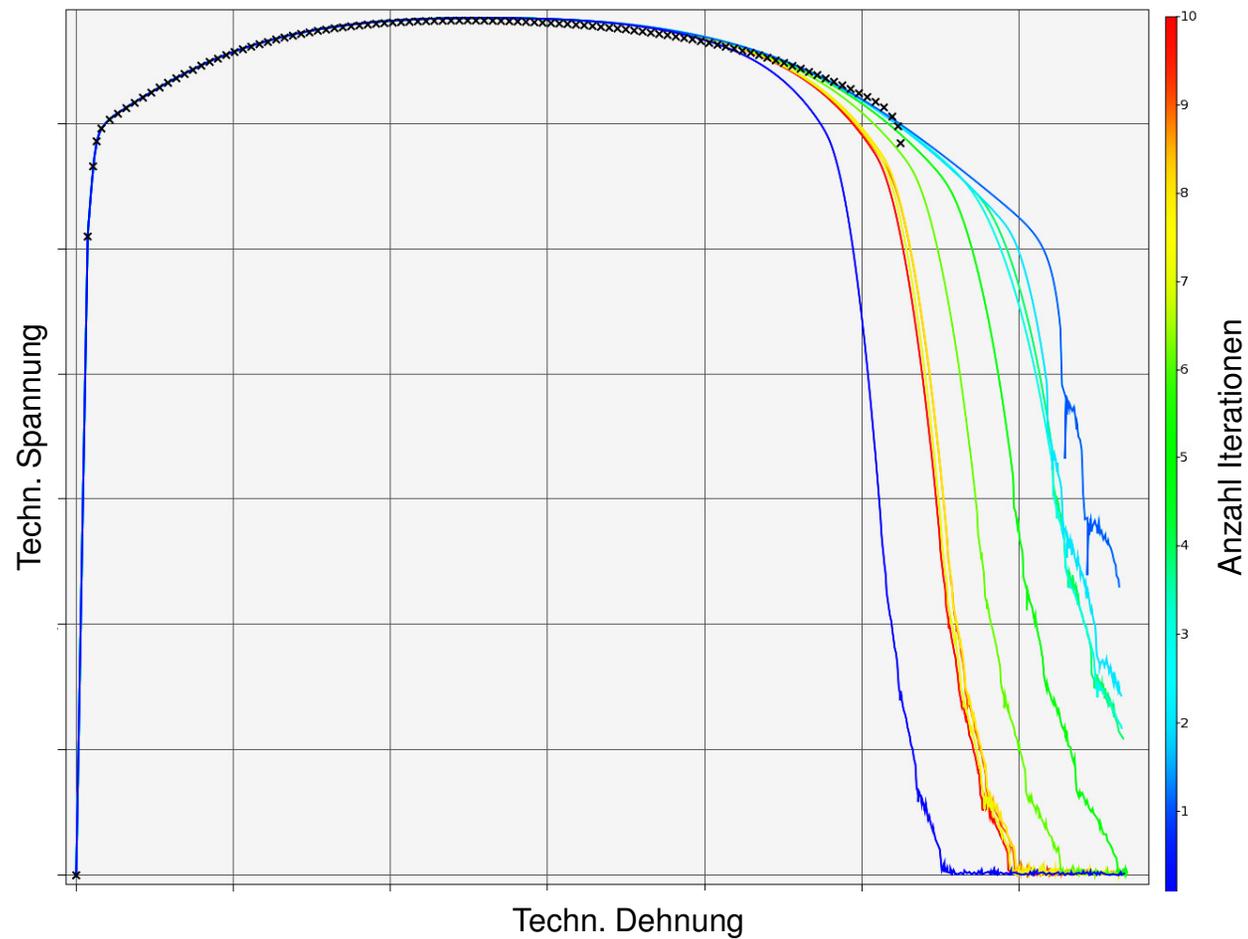
Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

- Viewer



Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

- Viewer

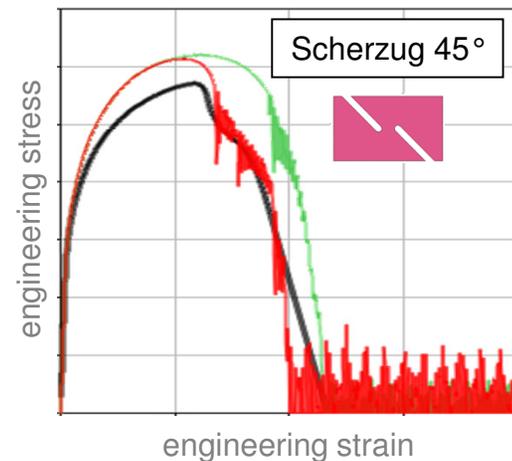
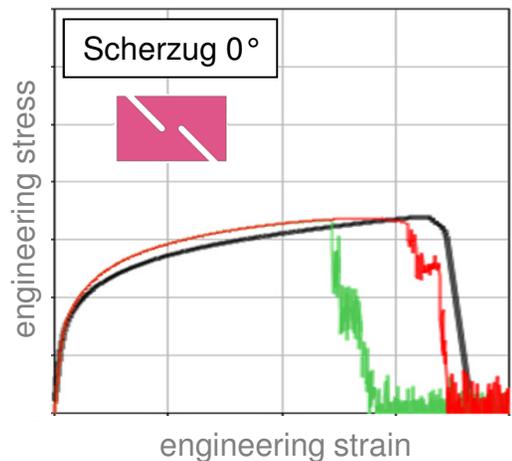
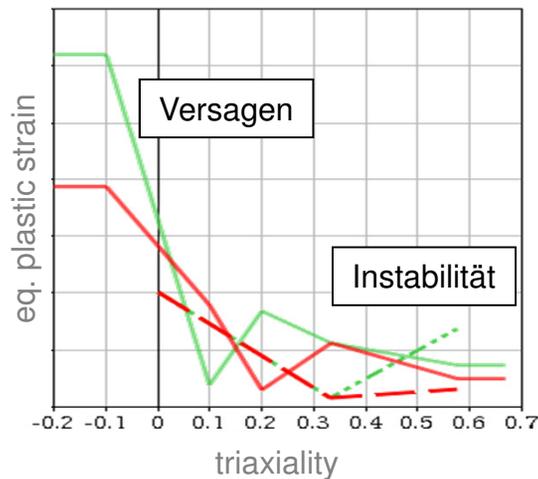
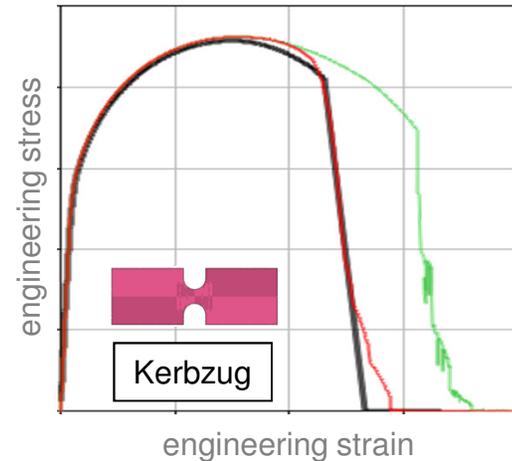
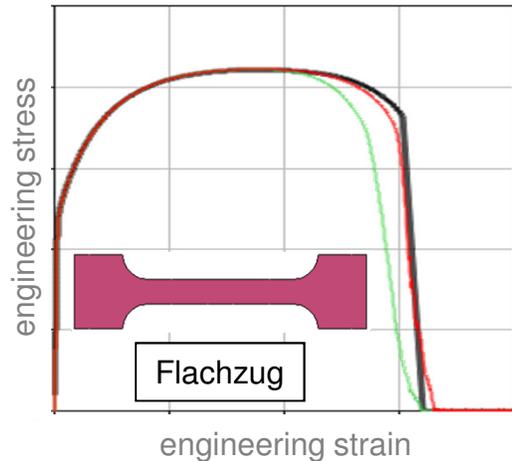


Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

- Ergebnis

Materialcharakterisierung
mit 4 Elementarproben

Versuchskurve
MSE – Mean Square Error
CM – Curve Mapping



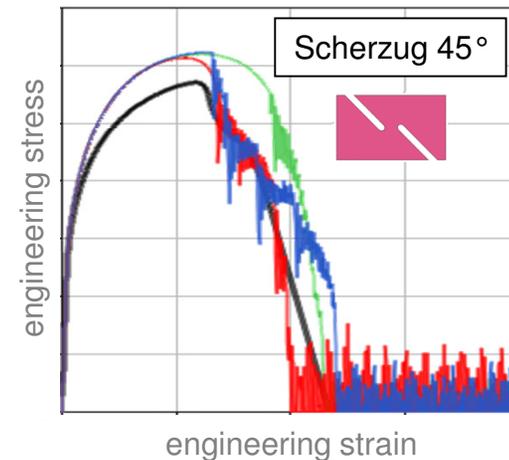
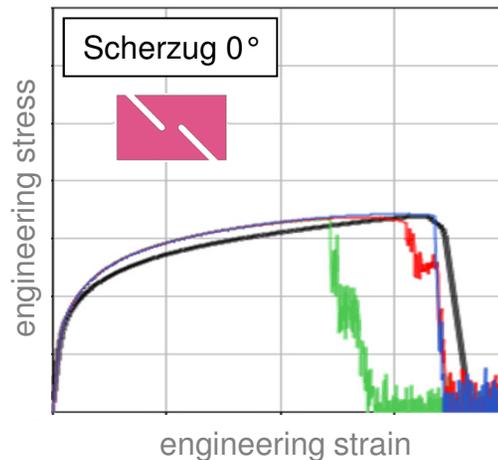
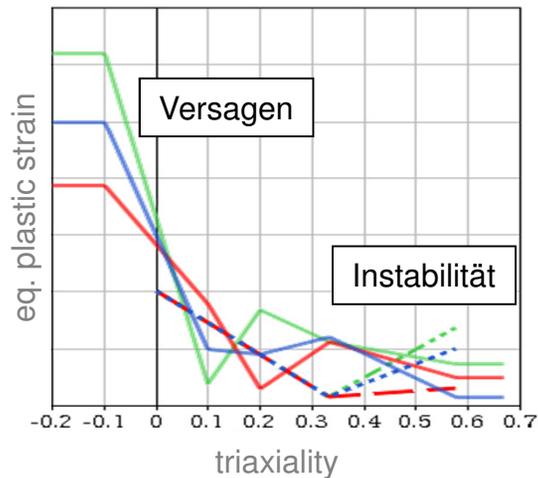
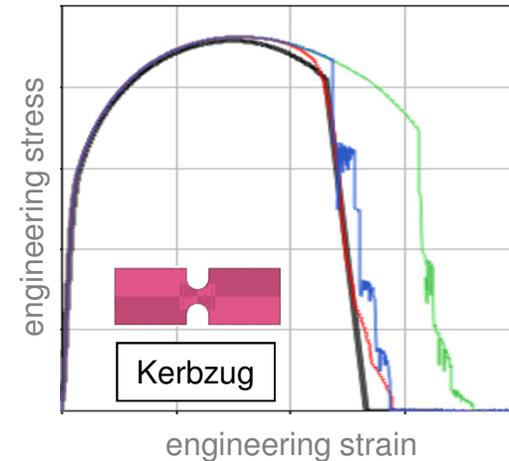
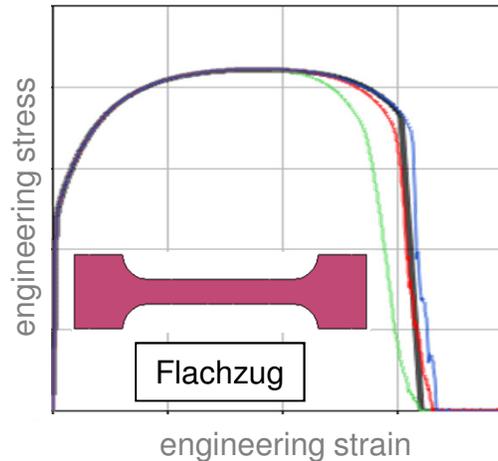
Regularisierung: Elementgrößenabh. Anpassung von Schädigungs-/Versagensparam.

Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

- Ergebnis

Materialcharakterisierung
mit 4 Elementarproben

Versuchskurve
MSE – Mean Square Error
CM – Curve Mapping
 weitere Variante



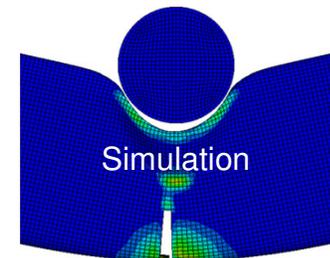
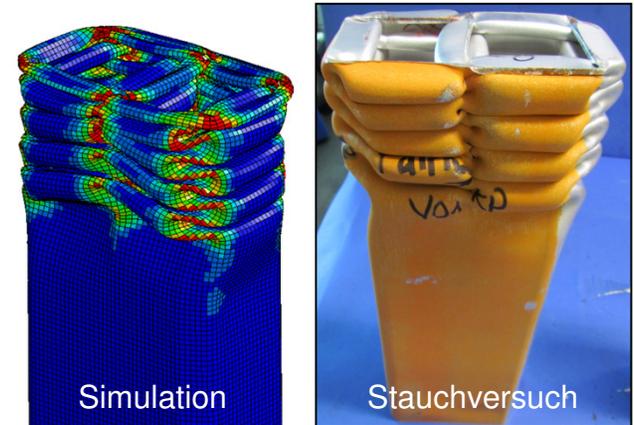
Regularisierung: Elementgrößenabh. Anpassung von Schädigungs-/Versagensparam.

Kalibrierung von Schädigung / Versagen mit LS-OPT

- Einflussfaktoren auf das Ergebnis
 - Anzahl und Triaxialität der Lastfälle „stages“ (~Geometrien/Elementarproben)
 - Wahl der Parameter auf den LoadCurves
LCSDG (Versagen) und ECRIT (Instabilität)
 - Definition von Minimum-/Maximum- und Startwert der Parameter
 - Algorithmus zur Fehlerminimierung
 - Wichtung der Zielfunktionen
 - Beschreibung der Plastizität/Fließkurve
 - Vernetzung der Proben, Elementkantenlänge

Zusammenfassung

- Anwendung von LS-OPT für die Charakterisierung von Schädigung und Versagen bei Metallen ist sinnvoll und hilfreich
- Bestimmung der Fließkurve(n) vorab
- Basis zu einer GISSMO-Materialkartenerstellung bilden Versuchskurven zu unterschiedlichen Geometrien (→ Triaxialität), je ein Lastfall/stage bei LS-OPT
- Identifikation der Materialparameter mit LS-OPT:
 - Einfache Handhabung
 - Gute Ergebnisse
 - „Viele Wege führen zum Ziel.“





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!