

CONNECTING ELEMENTS



Kalibrierung des Hardening- und Softening-Verhaltens von Aluminium unter Berücksichtigung der Streuung der Messwerte

Peter Heftberger

WOST 2018, 22.Juni 2018

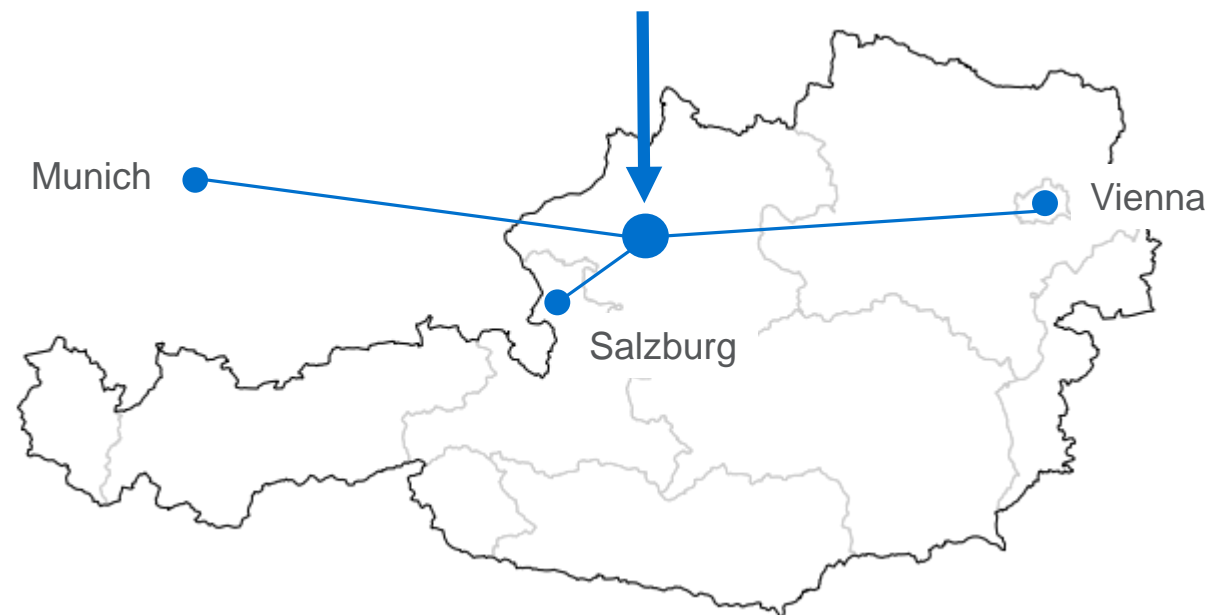


OUR COMPANY

Company Foundation	2006
Ownership	Private Ownership
Managing Directors	Markus Kreisle Helmut Wiesenberger
Employees	220

Address:

Gewerbepark 8
4861 Schörfling/Attersee
Austria



PRODUCTS OVERVIEW



INTERIORS



STRUCTURES



ENGINE

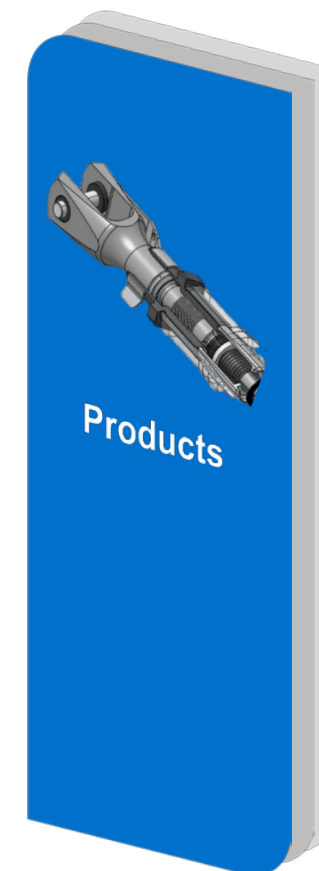
Rods

Flanges & Connector

Bracketry

Kinematics & Dampers

Shock Absorber & Thermoplastics



AEROSTRUTS® - STRUCTURE RODS

PRODUCT CATALOGUE

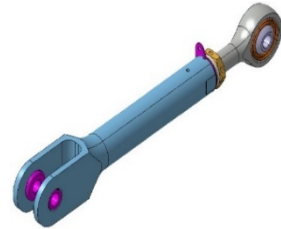
AEROSTRUTS



Characteristics

- Adjustability
- Straight Tube
 - Ø11.113 x 2.41mm
- Swaged Tubes
 - Ø15.875 x 2.11mm
 - Ø19.05 x 1.65mm
 - Ø22.22 x 1.65mm
 - Ø25.4 x 2.11mm
 - Ø28.575 x 2.77mm

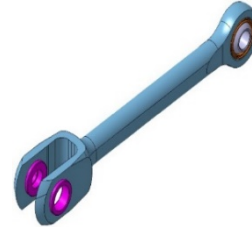
DRAG LINKS



Characteristics

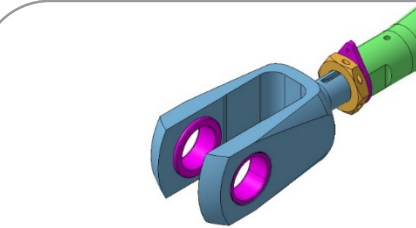
- Adjustability
- No tube
- Short length application

RIGID STRUTS

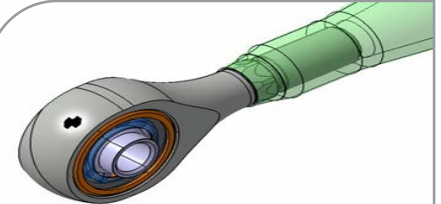


Characteristics

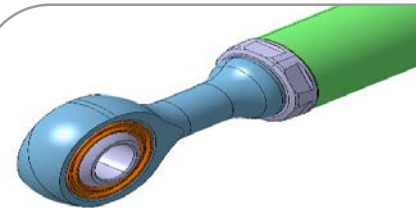
- No Adjustability
- No tube
- Short length application



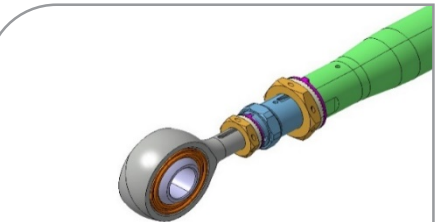
ADAPTER END B
SEMI ADJUSTABLE



ADAPTER END A
FIXED END



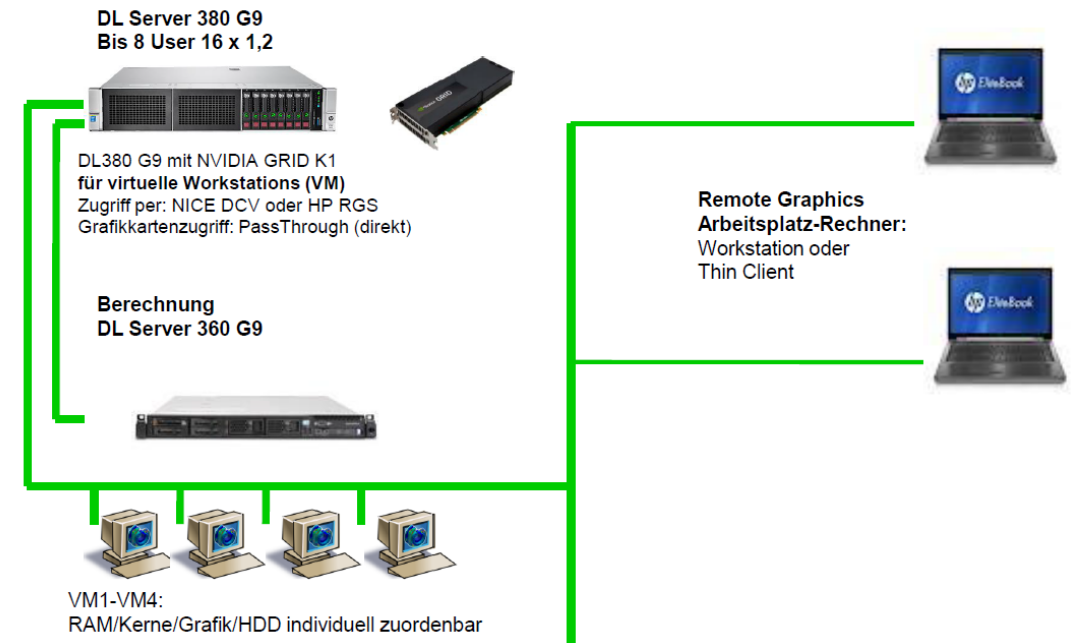
ADAPTER END D
ROTARY END



ADAPTER END C
VERNIER
ADJUSTABLE

RO-RA SIMULATION

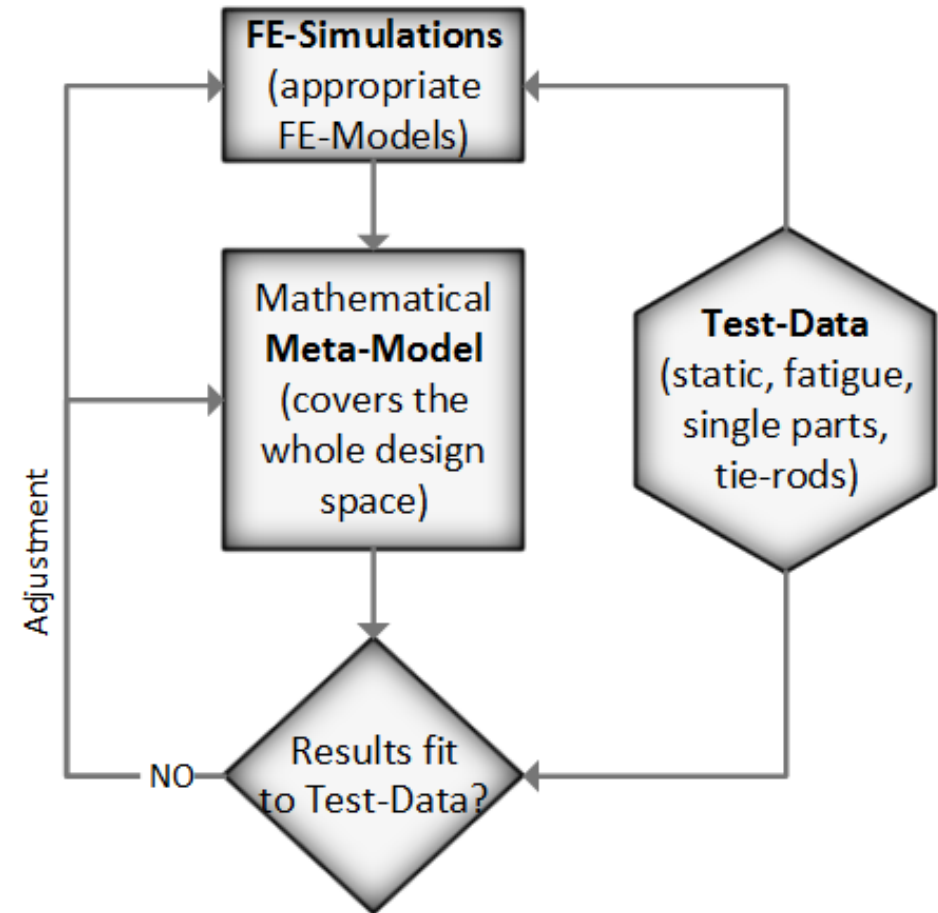
- Simulationsgruppe seit Jänner 2017
- 2 Mitarbeiter seit Dezember 2017
- Software:
 - ANSYS Mechanical Enterprise
 - ANSYS optiSLang
 - Python
- Hardware: Virtualisierungsserver
- Aufgaben:
 - Stress Reports
 - Nachweisführung
 - Optimierung
 - Standardisierung



AUTOMATISIERTE FESTIGKEITSBERECHNUNG

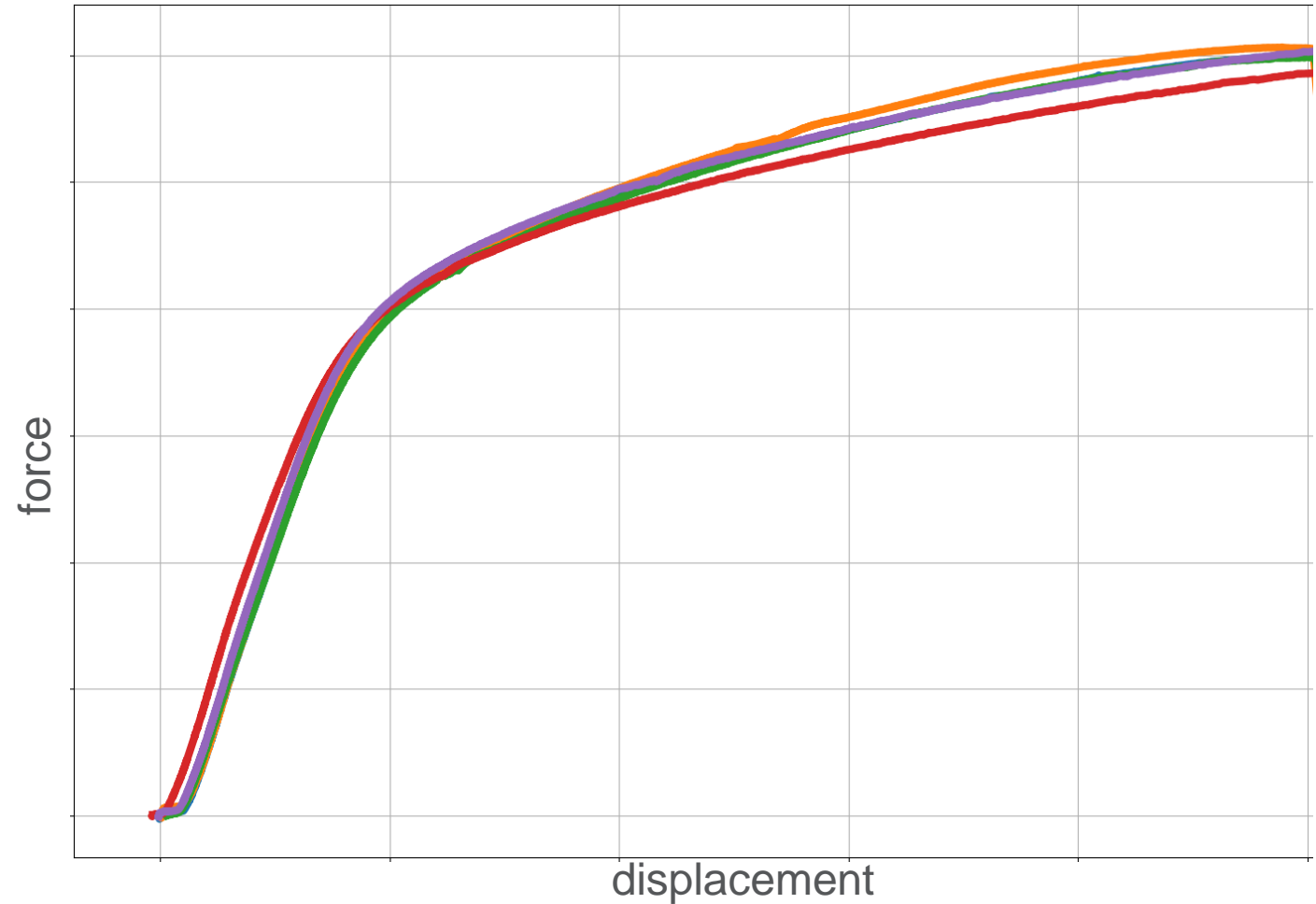
Überblick

- Testdurchführung und Aufbereitung der Testdaten
- Materialmodell Kalibrierung
- Designstudie
- Implementierung des Metamodells



TESTAUFBAU

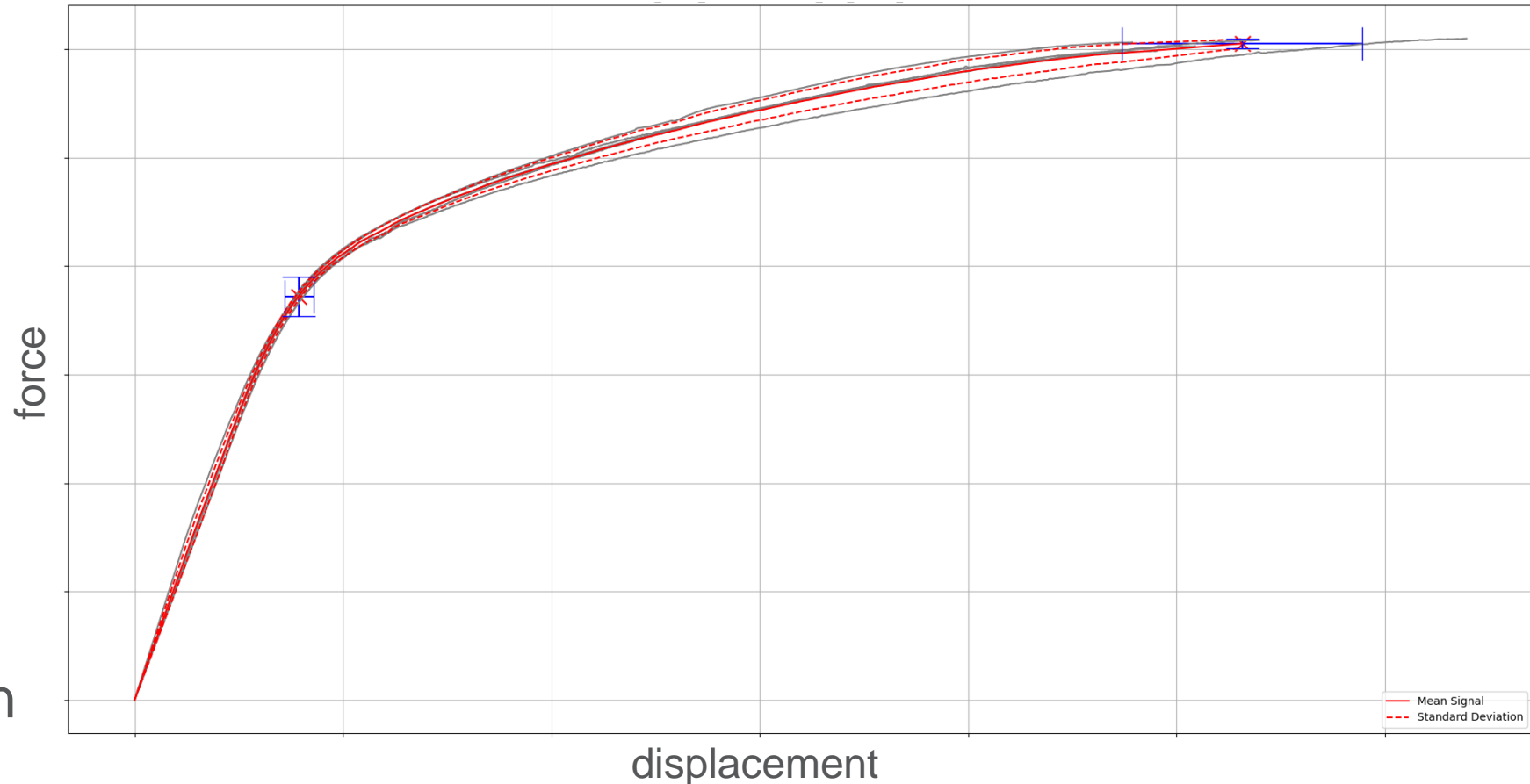
100kN Hydraulikzylinder mit Augenverbindung aus Aluminium



TESTDATEN

Aufbereitung der Kraft-Weg Signale

- Abzug Setzverhalten des Systems
- Mittelung der Signale und Statistik
- Analyse von Ergebnisgrößen wie „Limit Load“ und „Failure Load“
- Standardisierte Auswertung mit Python



FE MODELL

Material und Randbedingungen

- Aluminium
- Viertelmodell
- Reibkontakt
- Lineare Feder zur Abbildung der Systemsteifigkeit
- Power Law NLISO Hardening Modell via APDL-Script

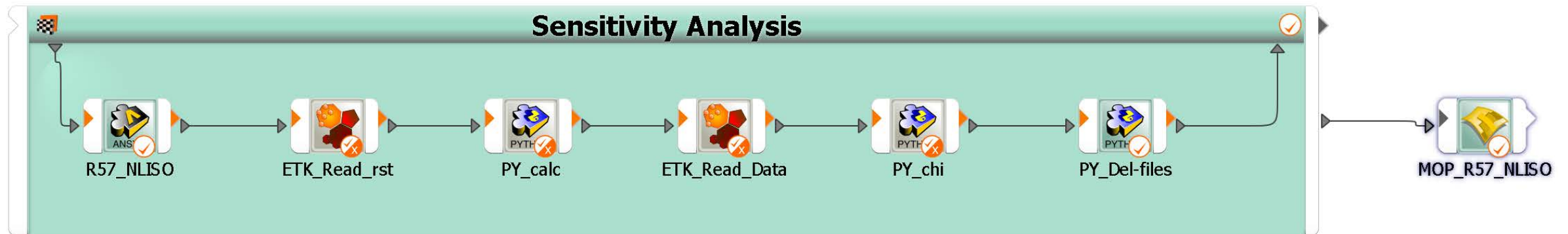


$$\frac{\sigma_Y}{\sigma_0} = \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_0} + \frac{3G}{\sigma_0} \epsilon^{pl} \right)^N$$

SENSITIVITÄTSANALYSE

Identifikation von Materialparametern

- Bestimmung der Einflussparameter
- Analyse der Kraft/Weg Signale
- Erstellung von Metamodellen für Ergebnisgrößen und **Signalen (Signal MOP)**
- Verwendung von ETK und Python zur Datenanalyse



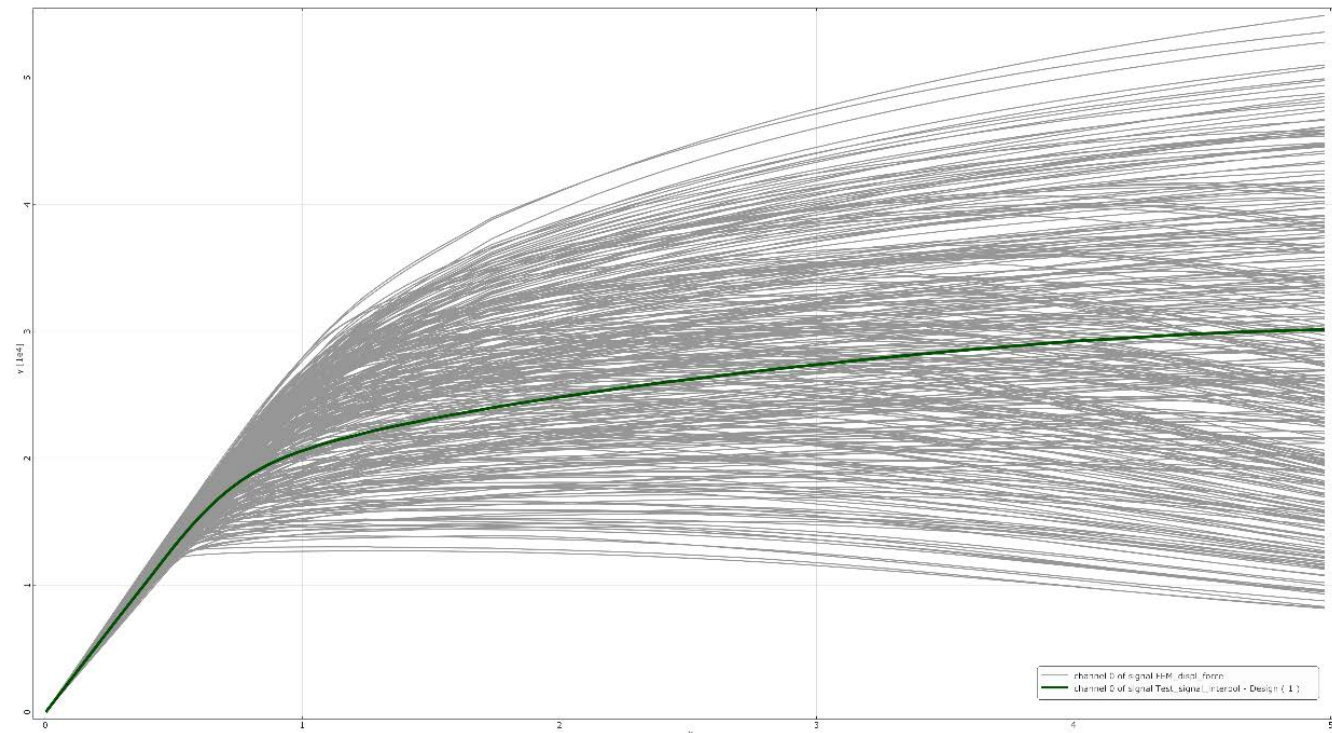
SENSITIVITÄTSANALYSE

Input Parameter und Response Größen

- 9 Input Parameter
- 6 unterschiedliche Geometrien (somit 6 Referenzkurven zu fitten)
- Mind. 3 Testergebnisse pro Geometrie

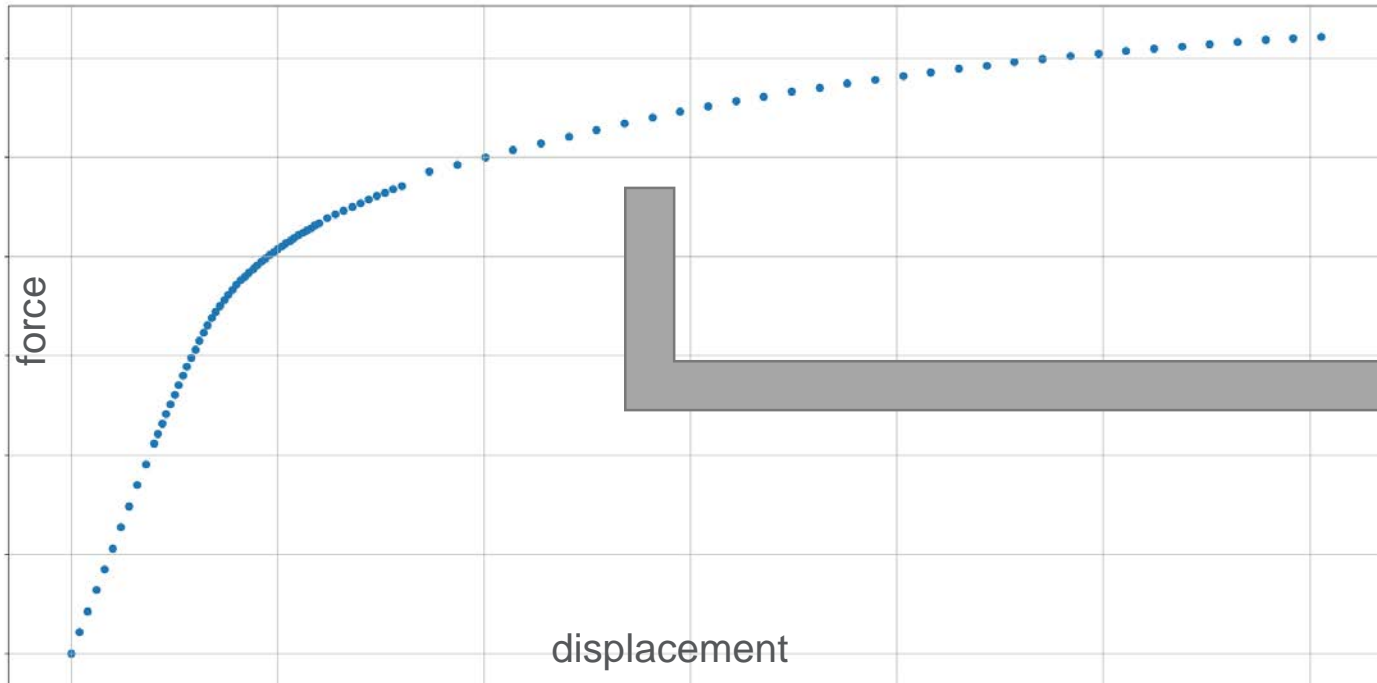
Input Parameter	
σ_0	yield stress
N	hardening behaviour
μ	friction coefficient
k_i	spring constants for 6 geometries (i=1,2,...,6)

Response: Kraft-Weg Signale



METAMODELL

MOPs für einzelne Stützpunkte

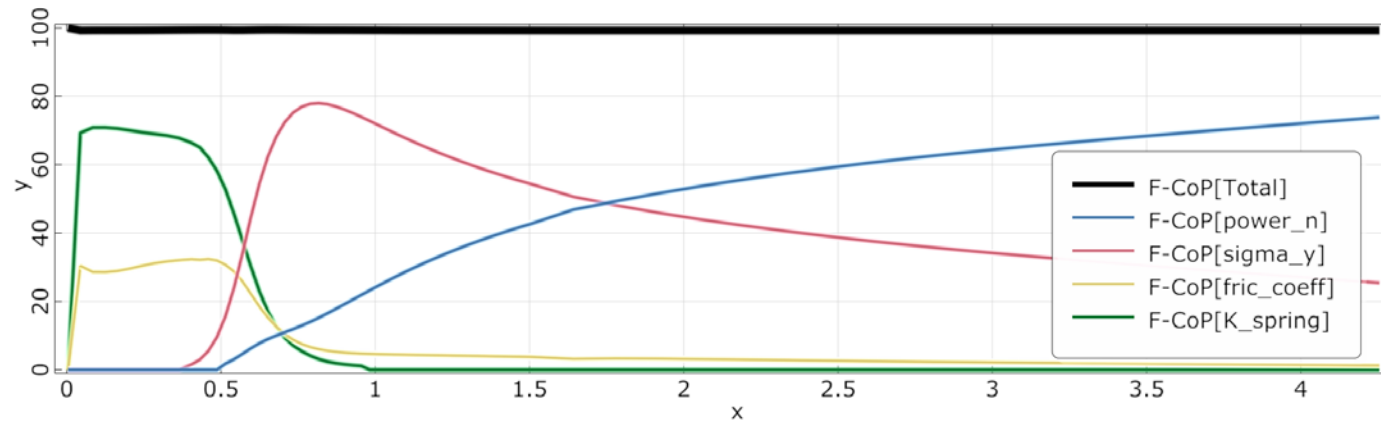


Mogels	K_spring	sigma_y	power_n Parameter	fric_coeff	Total
FEM_displ_force_list[85]		29.9 %	69.7 %	1.2 %	99.8 %
FEM_displ_force_list[82]		34.5 %	66.0 %	1.0 %	99.8 %
FEM_displ_force_list[79]		38.6 %	62.0 %	1.3 %	99.8 %
FEM_displ_force_list[73]		51.9 %	49.1 %	1.0 %	99.9 %
FEM_displ_force_list[67]		60.7 %	37.3 %	1.5 %	99.9 %
FEM_displ_force_list[61]	0.0 %	73.4 %	24.5 %	1.8 %	100.0 %
FEM_displ_force_list[55]	0.1 %	82.7 %	16.9 %	1.8 %	100.0 %
FEM_displ_force_list[49]	0.5 %	85.8 %	14.0 %	2.2 %	100.0 %
FEM_displ_force_list[37]	1.8 %	88.4 %	10.9 %	3.3 %	99.9 %
FEM_displ_force_list[31]	4.1 %	84.9 %	10.6 %	5.8 %	99.8 %
FEM_displ_force_list[25]	10.0 %	79.4 %	9.5 %	11.7 %	99.9 %
FEM_displ_force_list[16]	40.4 %	24.2 %	2.6 %	38.0 %	99.7 %
FEM_displ_force_list[10]	53.6 %	1.6 %	0.0 %	45.9 %	99.9 %
FEM_displ_force_list[4]	54.2 %			44.6 %	100.0 %
FEM_displ_force_list[0]					100.0 %

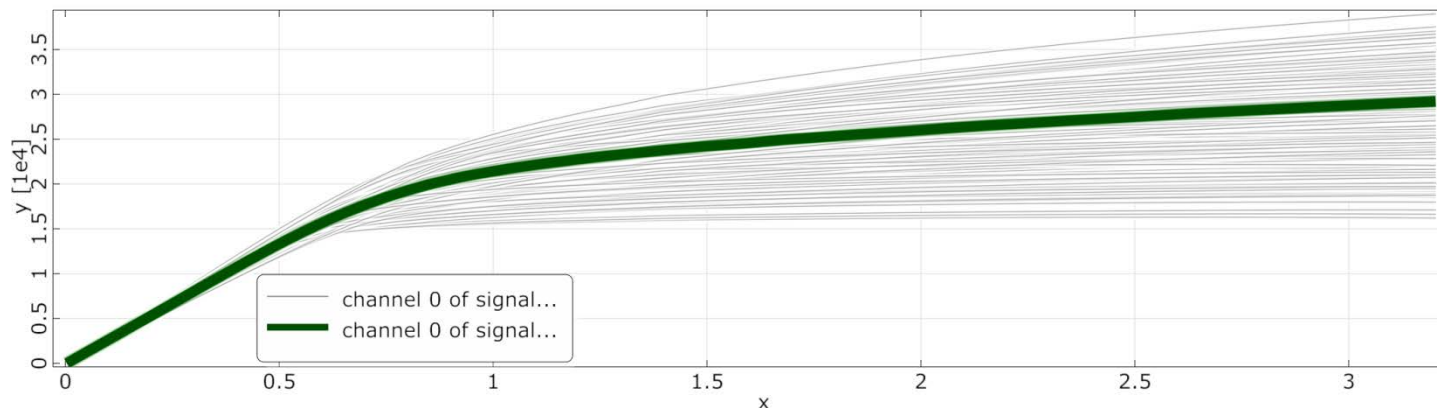
SIGNAL MOP

Ergebnis für eine der Sensitivitätsanalyse

FEM_signal_SoS - FEM_signal-SoS_chan_0 - F-CoP (%)



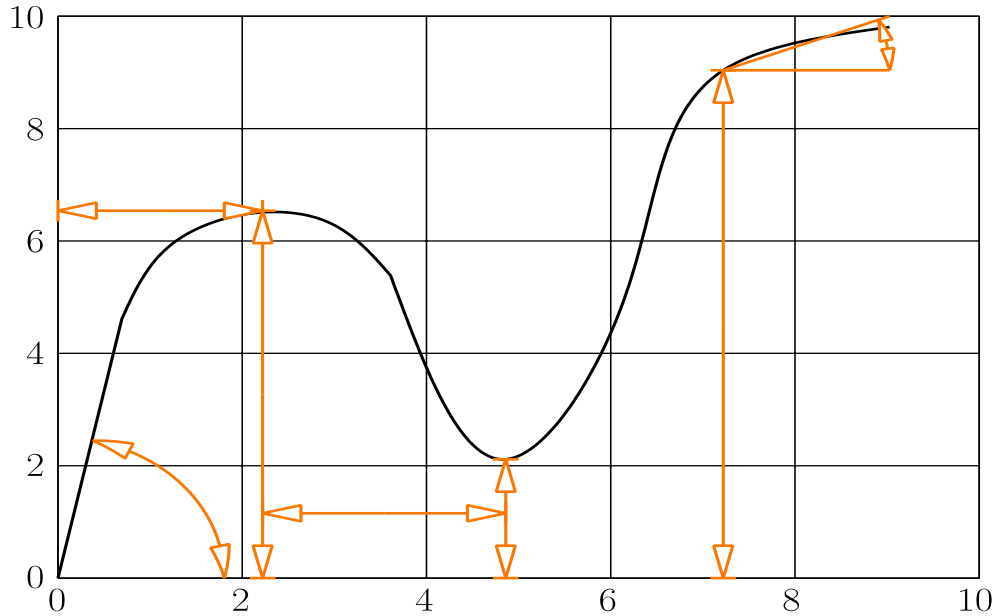
channel 0 of signal FEM_signal



- Komplettes Signal wird approximiert statt nur n Abszissen-Stellen
- Qualitativ gleiches Verhalten bei den restlichen 5 Sensitivitätsanalysen
- Vorteil Signal-MOP
 - keine manuelle Parametrisierung der Signale nötig

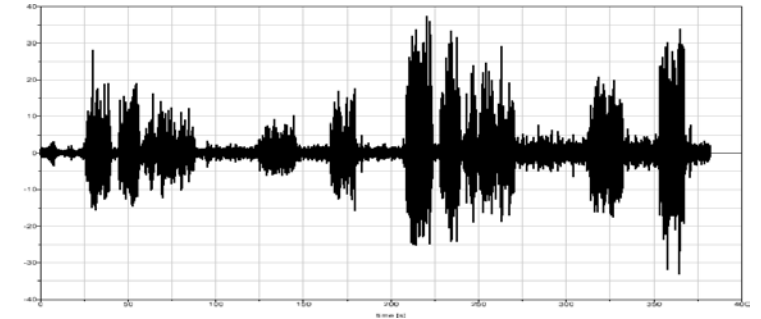
SIGNAL MOP

Bisherige Signal-Parametrisierung

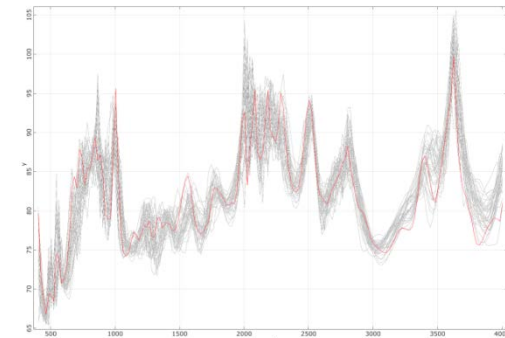


Pro	Contra
Parameter leicht zu verstehen	Zeitaufwendiges manuelles Vorgehen
Einfache Statistik	Werte oft mehrdeutig
Einfache Nutzung in CAE (DoE)	Keine Information außerhalb dieser Parameter

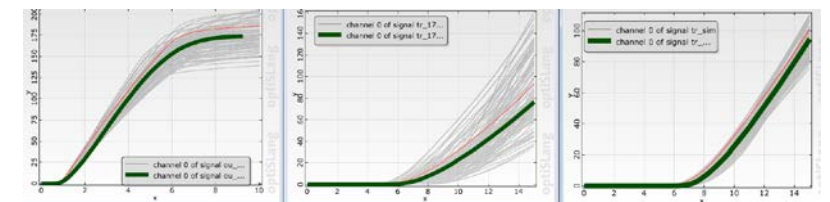
- Nicht effizient für lange Signale



- Nicht effizient für verrauschte Signale



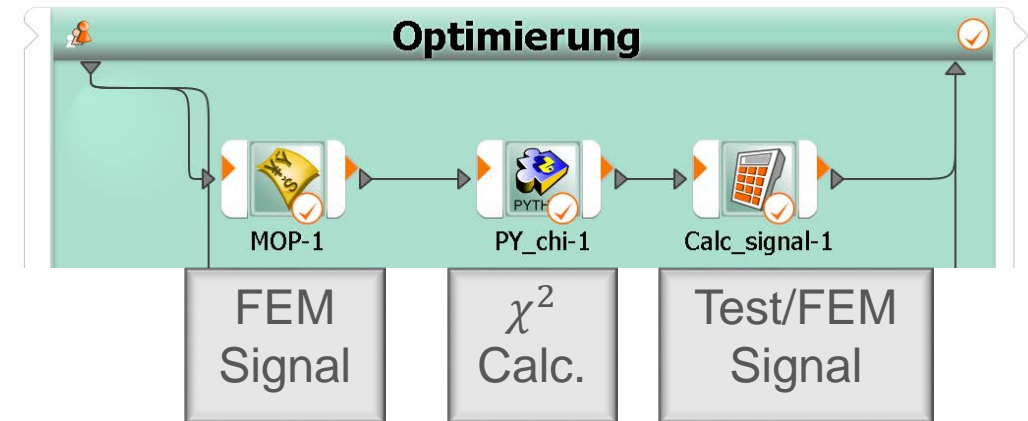
- Nicht effizient für viele Signale



OPTIMIERUNG

Kalibrierung der Material Parameter

- Optimierung auf den Metamodellen der Stützpunkte
- Evolutionary Algorithm
- Berücksichtigung der Streuung der experimentellen Daten für die Kalibrierung durch σ_i
- Reduziertes Chi Quadrat (χ^2) als Optimierungsziel



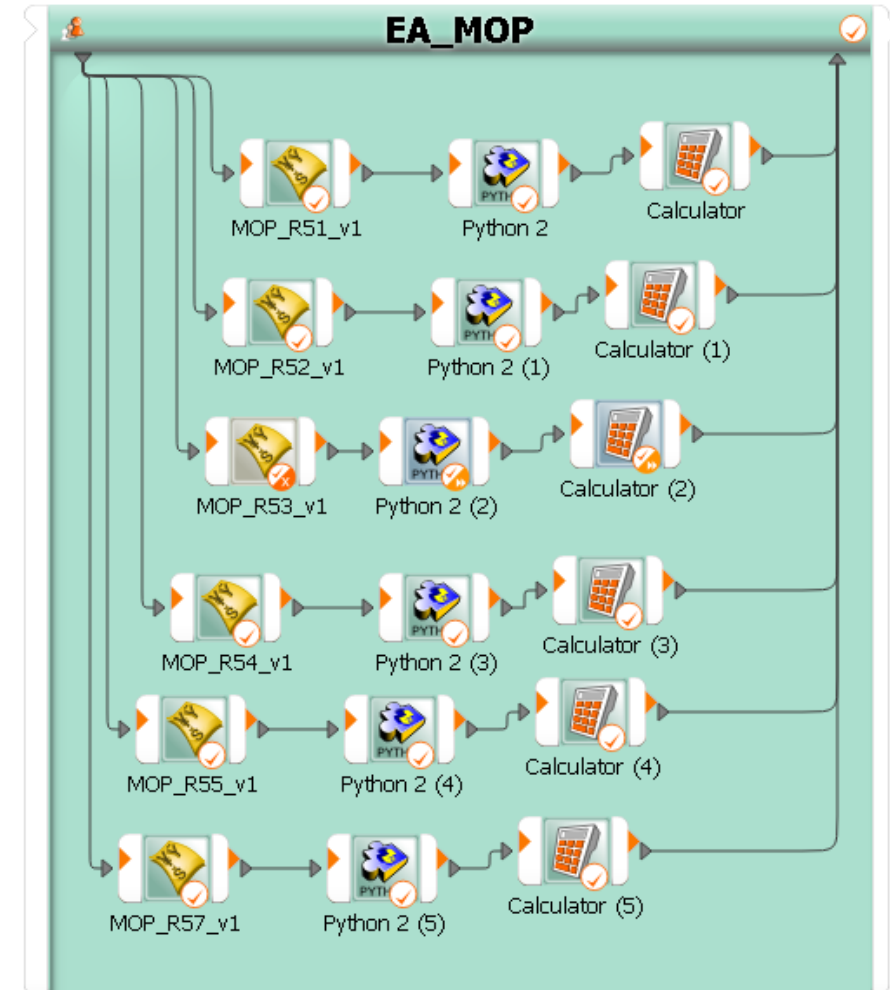
$$\chi^2 = \frac{1}{n} \frac{1}{\max(Y_i)} \sum \frac{(Y_i - E_i)^2}{\sigma_i^2}$$

OPTIMIERUNG

MOP basierte Optimierung mit EA

- Problem der lokalen Minima
- Evolutionärer Algorithmus für Voroptimierung
- Gewichtung des Optimierungsziels ($\max(Y_i)$)
- Gradientenbasierter Algorithmus für Optimierung im Zielbereich

$$\chi^2 = \frac{1}{n} \frac{1}{\max(Y_i)} \sum \frac{(Y_i - E_i)^2}{\sigma_i^2}$$



OPTIMIERUNG

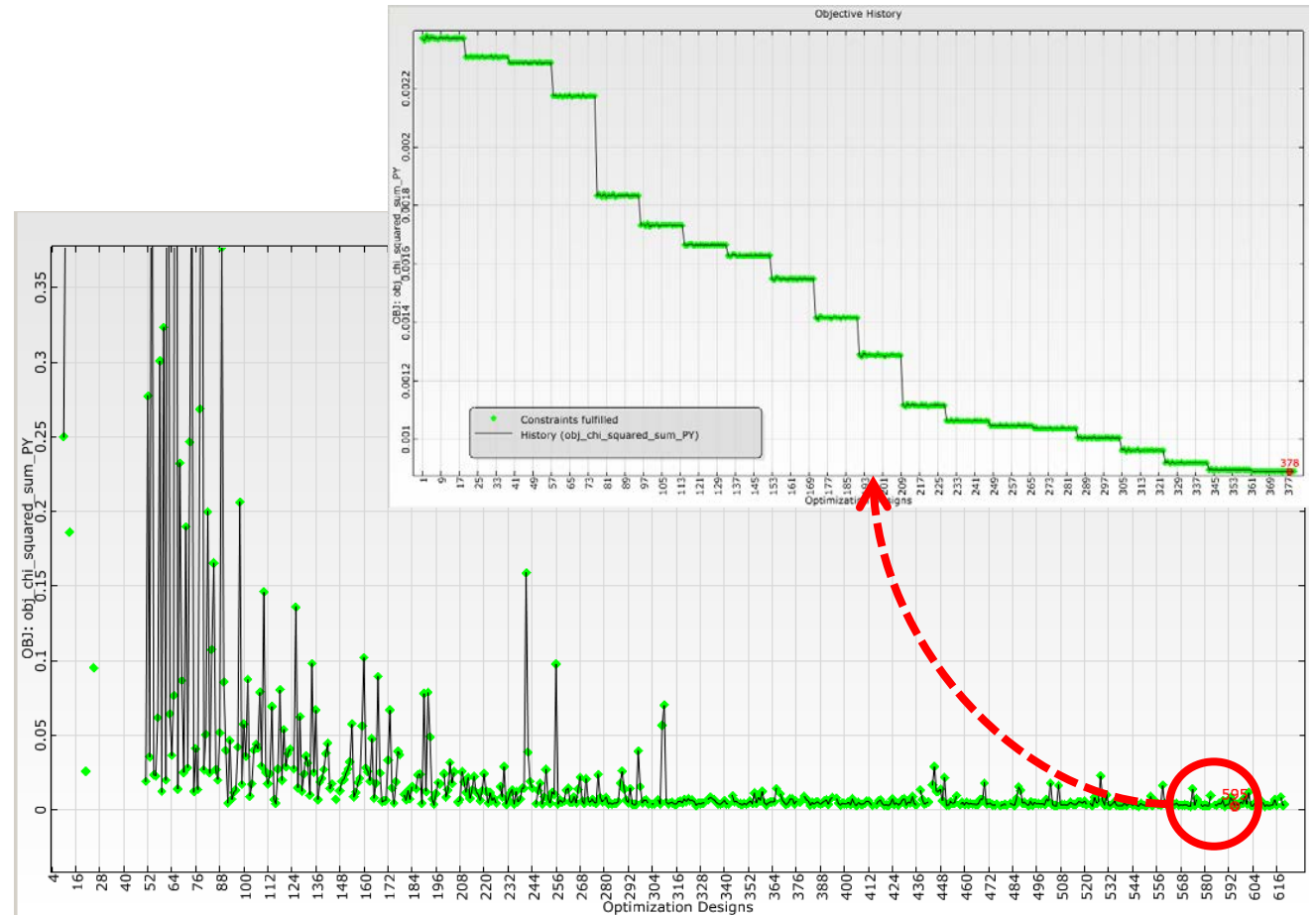
MOP basierte Optimierung mit NLPQL

- Optimierung im Zielbereich
- Schnelle Konvergenz
- Verbesserung des Optimierungsziels:

– $\chi_{EA}^2 = 2.372 * 10^{-3}$

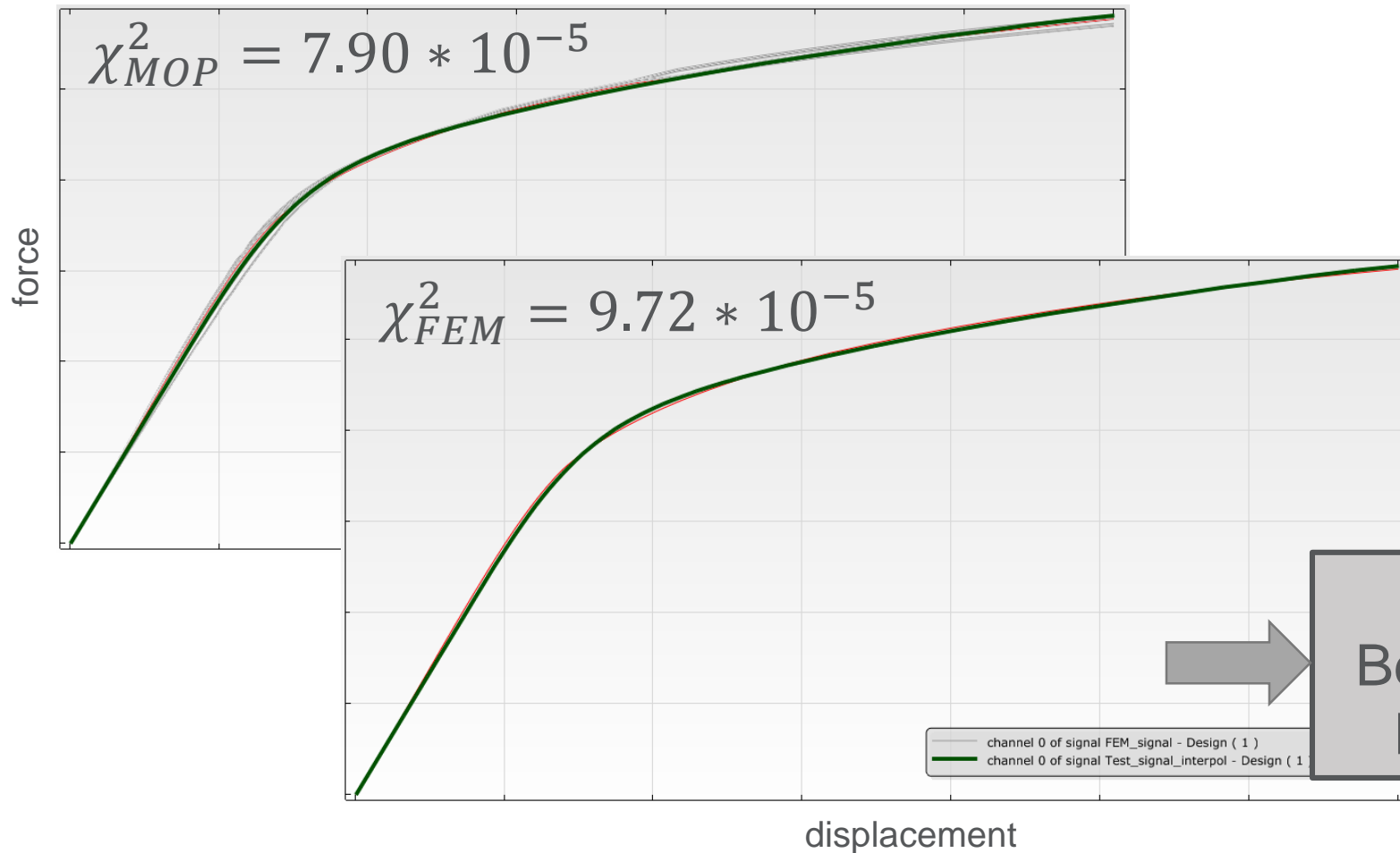
– $\chi_{NLPQL}^2 = 8.896 * 10^{-4}$

- Validierung des besten designs



VALIDIERUNG MOP OPTIMIERUNG

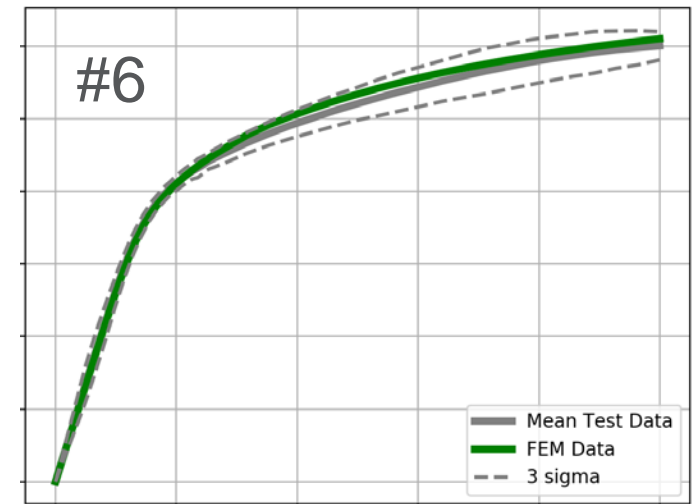
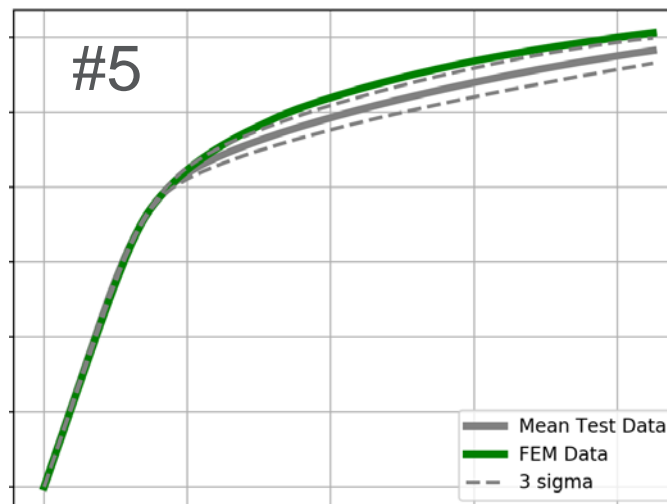
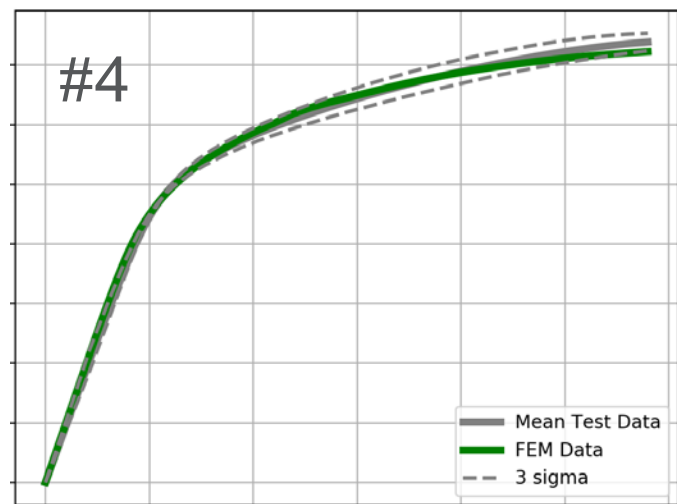
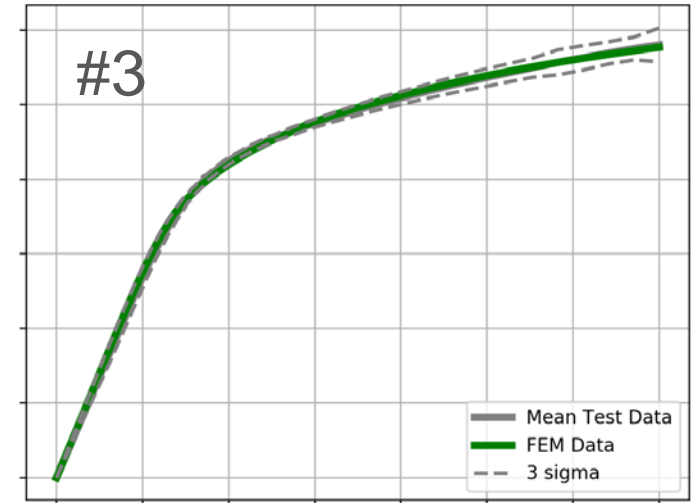
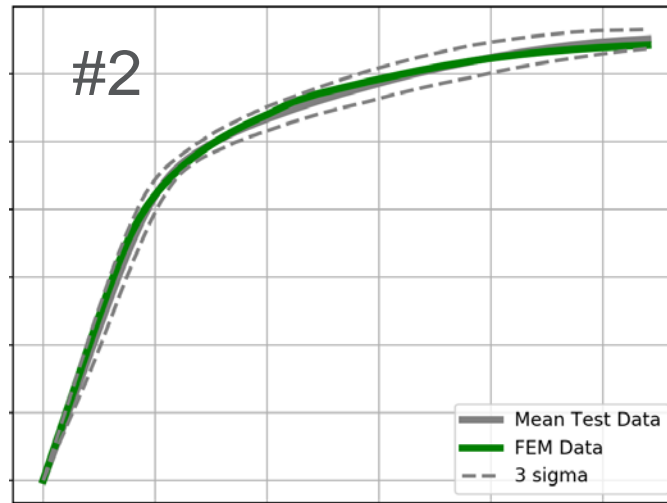
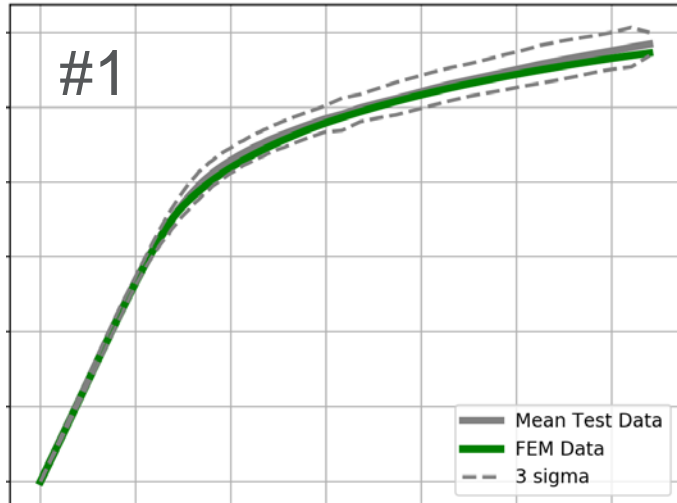
χ^2 Vergleich MOP vs. FEM



Geom.	χ^2_{MOP}	χ^2_{FEM}
#1	4.84e-5	4.58e-5
#2	8.41e-5	8.10e-5
#3	7.90e-5	9.72e-5
#4	2.49e-4	2.40e-4
#5	3.90e-4	3.98e-4
#6	3.93e-5	3.50e-5

Verkürzung der
Berechnungsdauer
bei Optimierung

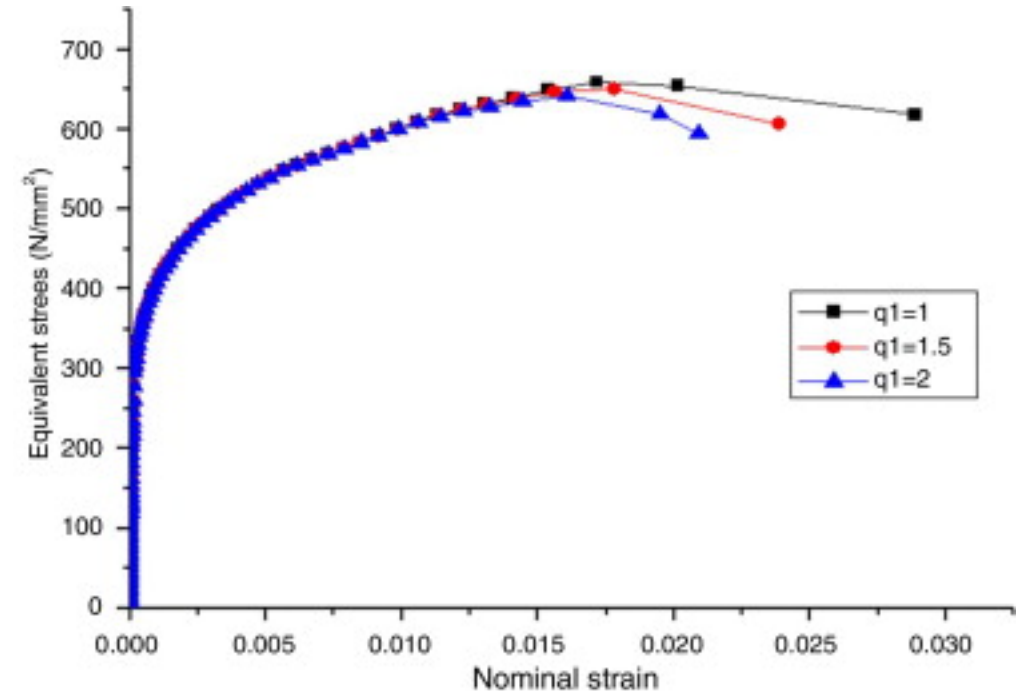
ERGEBNISSE DER MOP OPTIMIERUNG



ENTFESTIGUNGSVERHALTEN

Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN) Kriterium

- GTN Kriterium zur Beschreibung des Entfestigungsverhaltens
- Kombination aus 2 Materialmodellen: Verfestigung (NLISO) und Entfestigung (GTN)
- 3 GTN Parameter für Entfestigung: q_1, q_2, q_3

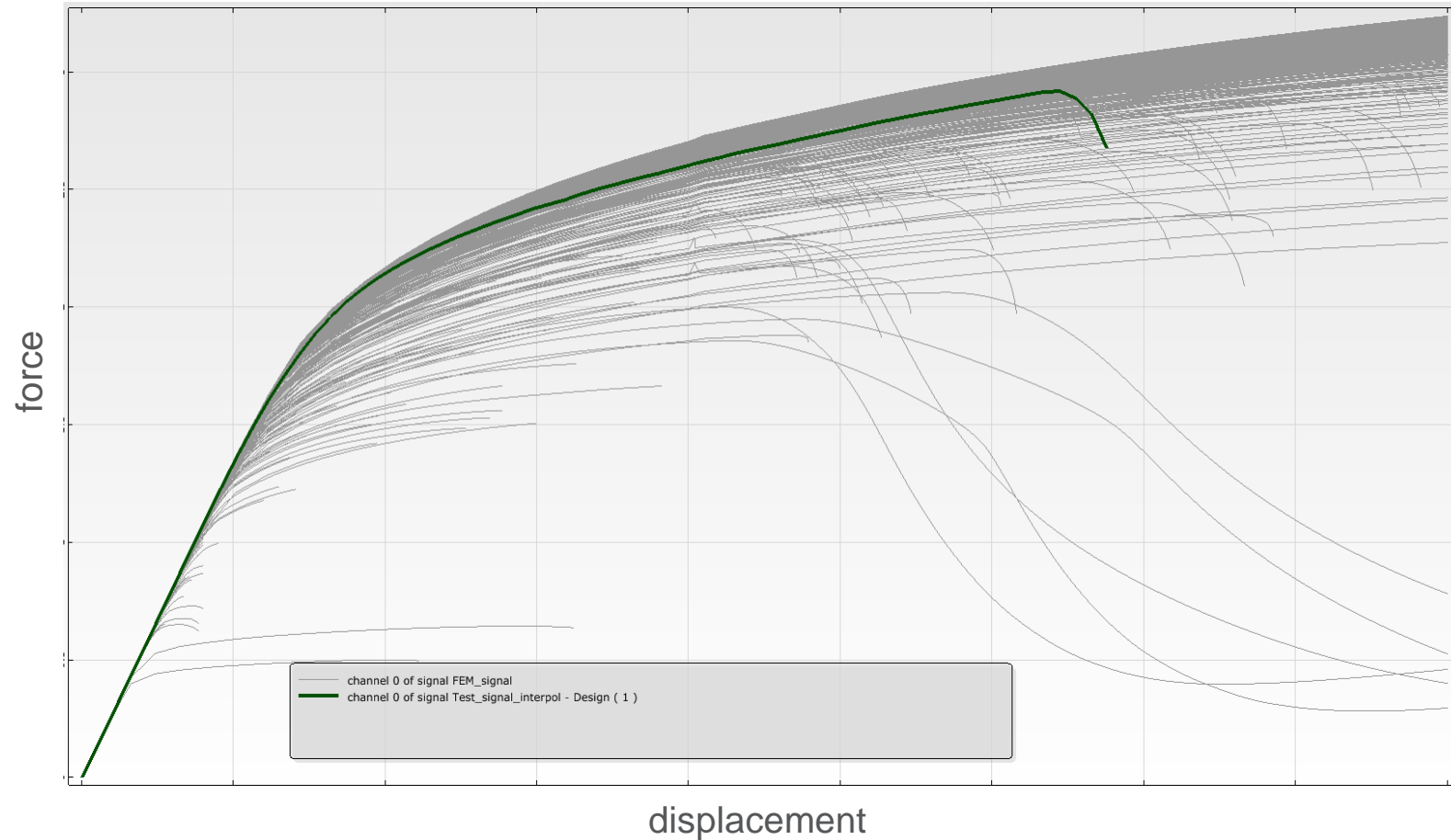


$$\Phi(\Sigma, \bar{\sigma}, f) = \frac{\Sigma_{eq}^2}{\bar{\sigma}^2} + 2q_1 f \cdot \cosh\left(\frac{3}{2}q_2 \frac{\Sigma_m}{\bar{\sigma}}\right) - 1 - q_3 f^2 = 0$$

ENTFESTIGUNGSVERHALTEN

Sensitivitätsanalyse

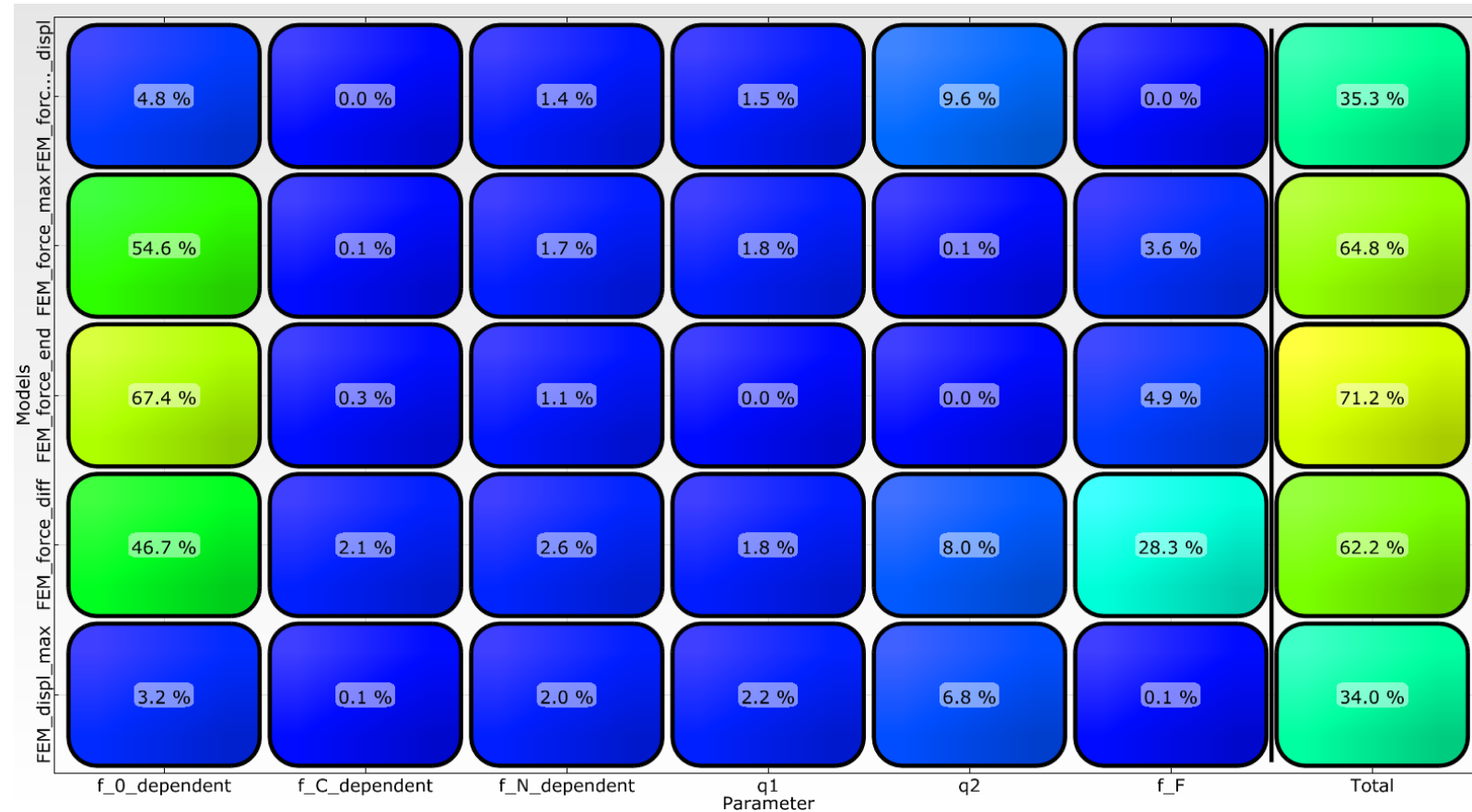
- Identifizierung der Einflussparameter auf Entfestigung
- >700 Designs für Berechnung
- ~12% der Designs zeigen Entfestigungsverhalten
- 6 Input Parameter:
 $q_1, q_2, f_0, f_C, f_N, f_F$



ENTFESTIGUNGSVERHALTEN

Identifikation der Einflussgrößen auf Basis einer Sensitivitätsanalyse

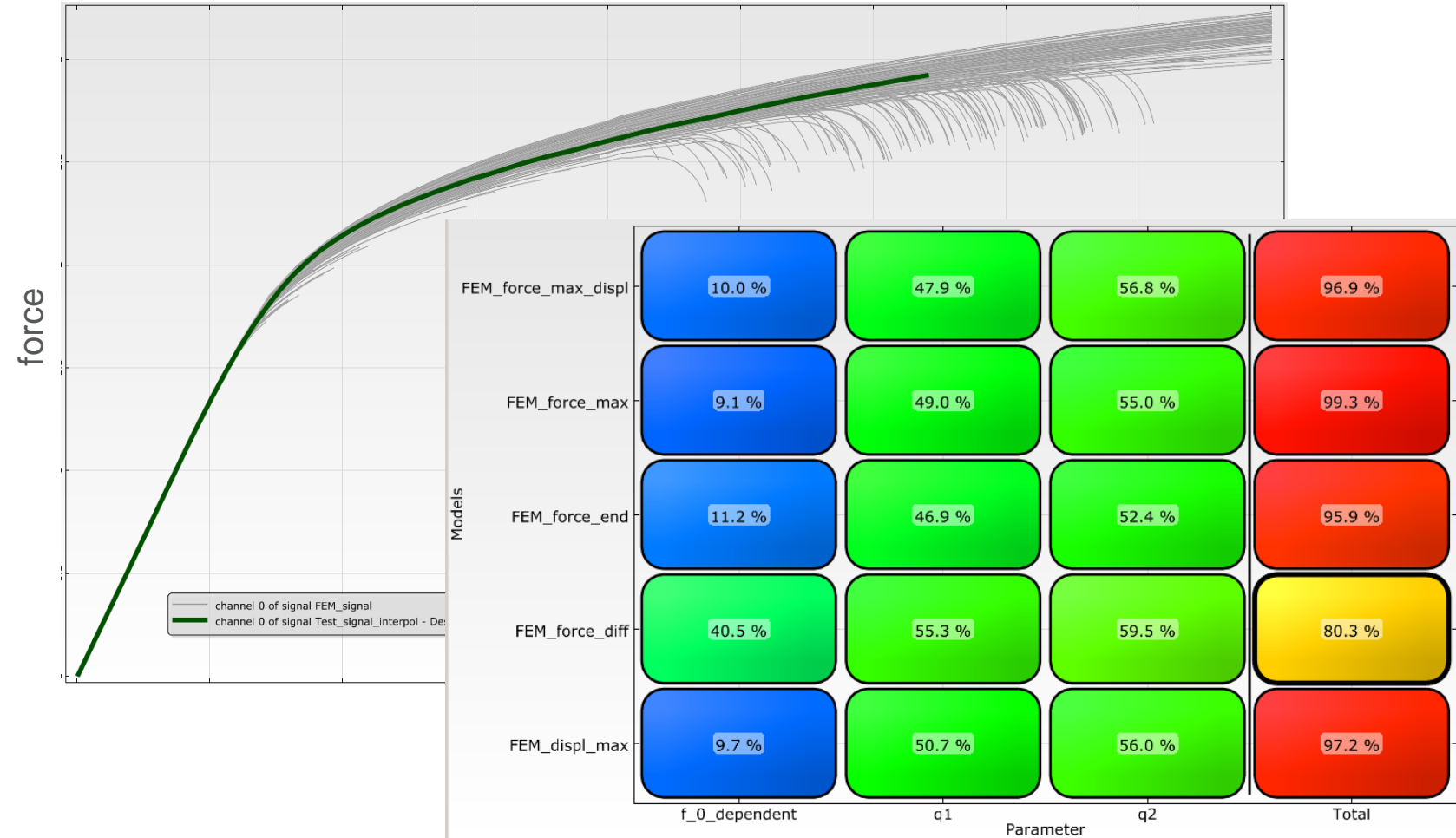
- Metamodell für Entfestigung nicht gut definierbar und nur mit geringem COP beschreibbar
- Identifikation der Einflussgrößen nur bedingt möglich



ENTFESTIGUNGSVERHALTEN

Identifikation der Einflussgrößen auf Basis einer Optimierung

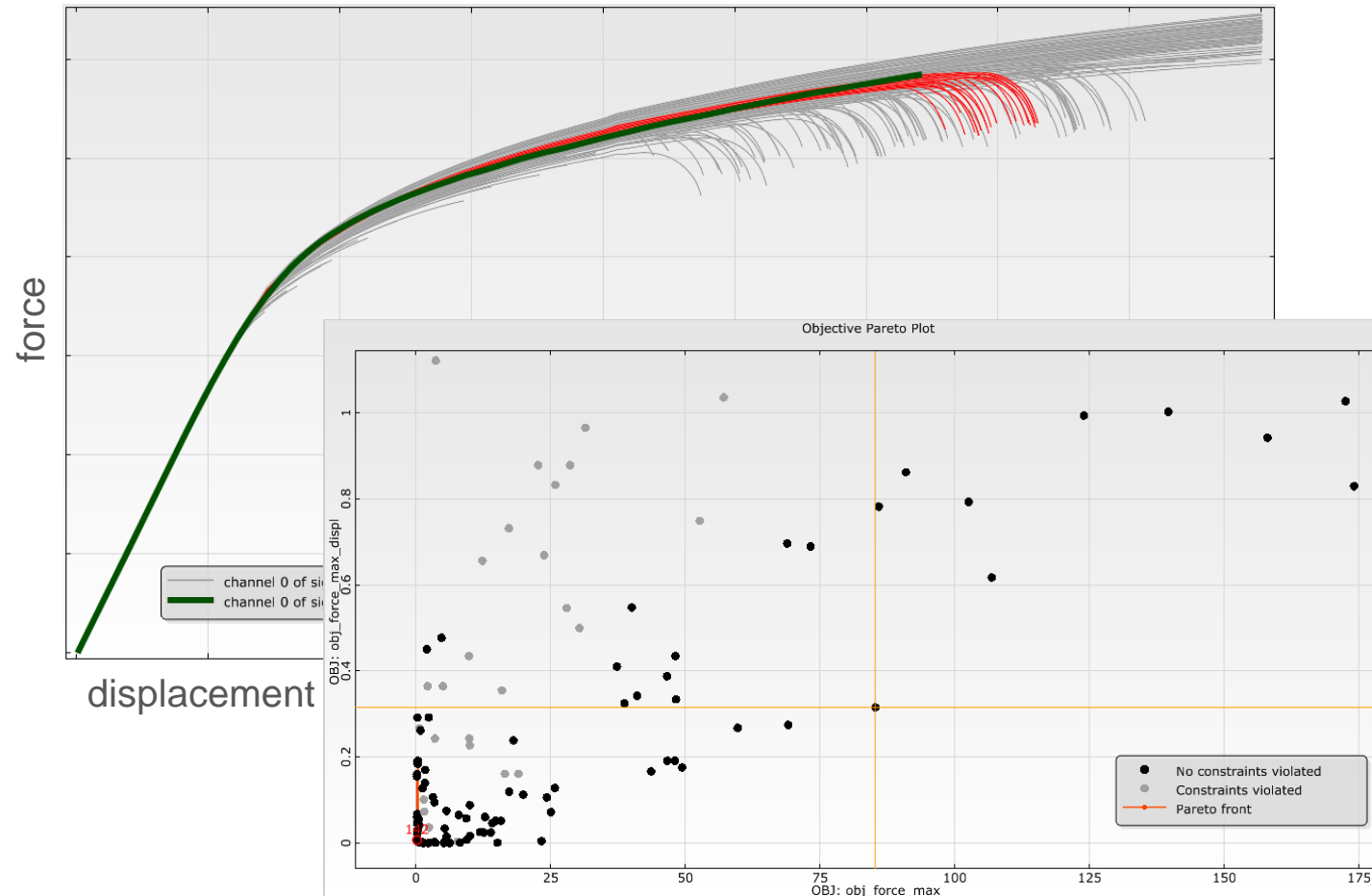
- >300 Designs für Berechnung
- ~45% der Designs zeigen Entfestigungsverhalten
- Unterschied der Einflussgrößen: Sensi vs. Optimierung



ENTFESTIGUNGSVERHALTEN

Direkte Optimierung auf FEM

- Optimierungsziele:
 - χ^2 des FEM und Testsignals
 - $(F_{max}^{test} - F_{max}^{FEM})^2 / (\sigma_{Fmax}^{test})^2$
 - $(U_{Fmax}^{test} - U_{Fmax}^{FEM})^2 / (\sigma_{UFmax}^{test})^2$
- Reduktion der Input Parameter und direkte Optimierung auf FEM: q_1, q_2, f_0
- Optimierungsalgorithmus: EA
- Optimierung nach ca 300 Designs erfolgreich



ZUSAMMENFASSUNG

- Durchführung von Zugversuchen (6 Geometrien → 6 Referenzkurven)
- Berücksichtigung der Streuung der Referenzkurven
- Sensitivitätsanalyse für Materialmodelle (Hardening und Softening)
- Signal MOP erfordert keine manuelle Parametrisierung der Signale
- Kalibrierung der Material Parameter (und Reibwerte) durch Optimierung auf dem MOP (Stützpunkte)
- Validierung der MOP basierten Optimierung -> sehr gute Übereinstimmung
- Bestimmung der Materialparameter für Softening Verhalten basierend auf direkter FEM Optimierung

KONTAKT

Peter Heftberger

RO-RA Aviation Systems GmbH

Gewerbepark 8

4861 Schörfling am Attersee, Austria

phone: +43 7662 57 888-842

fax +43 7662 57 888 99

email: p.heftberger@ro-ra.com **web:** www.ro-ra.com