
Numerische Simulation in der mechanischen Fügetechnik

**Interaktion von parametrisierten Simulationsmodellen und
Statistik für Sensitivitätsanalysen und Optimierungen in der
mechanischen Fügetechnik**



Fraunhofer
IWU

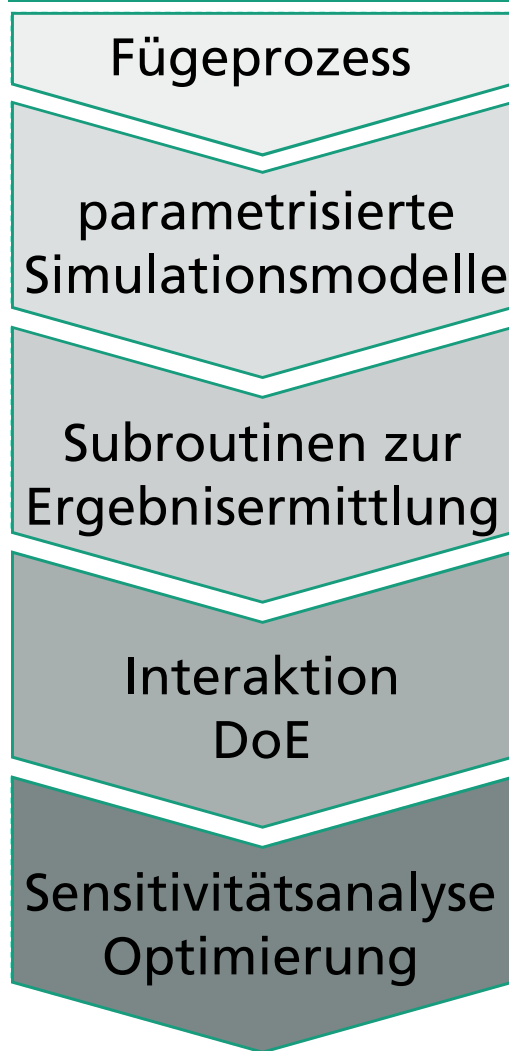
AGENDA

- Wieso das Ganze?
- Parametrisierung der Simulationsmodelle
- Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten
- Interaktion Simulation / Statistik
- Beispiele Sensitivitätsanalyse und Optimierung
- Zusammenfassung und Ausblick

AGENDA

- Wieso das Ganze?
- Parametrisierung der Simulationsmodelle
- Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten
- Interaktion Simulation / Statistik
- Beispiele Sensitivitätsanalyse und Optimierung
- Zusammenfassung und Ausblick

Wieso das Ganze?



Welcher Prozess soll betrachtet werden?

Welchen Einfluss haben einzelne Parameter auf verschiedene Ergebnisgrößen?

Wie sind optimale Ergebnisse zu erreichen?

Welche Eingabeparameter sind von Interesse?
Geometrien, Blechvariationen, Prozessparameter, ...

Welche Ergebnisse sind relevant?
geometrische Größen, Verformung, Schädigung, ...

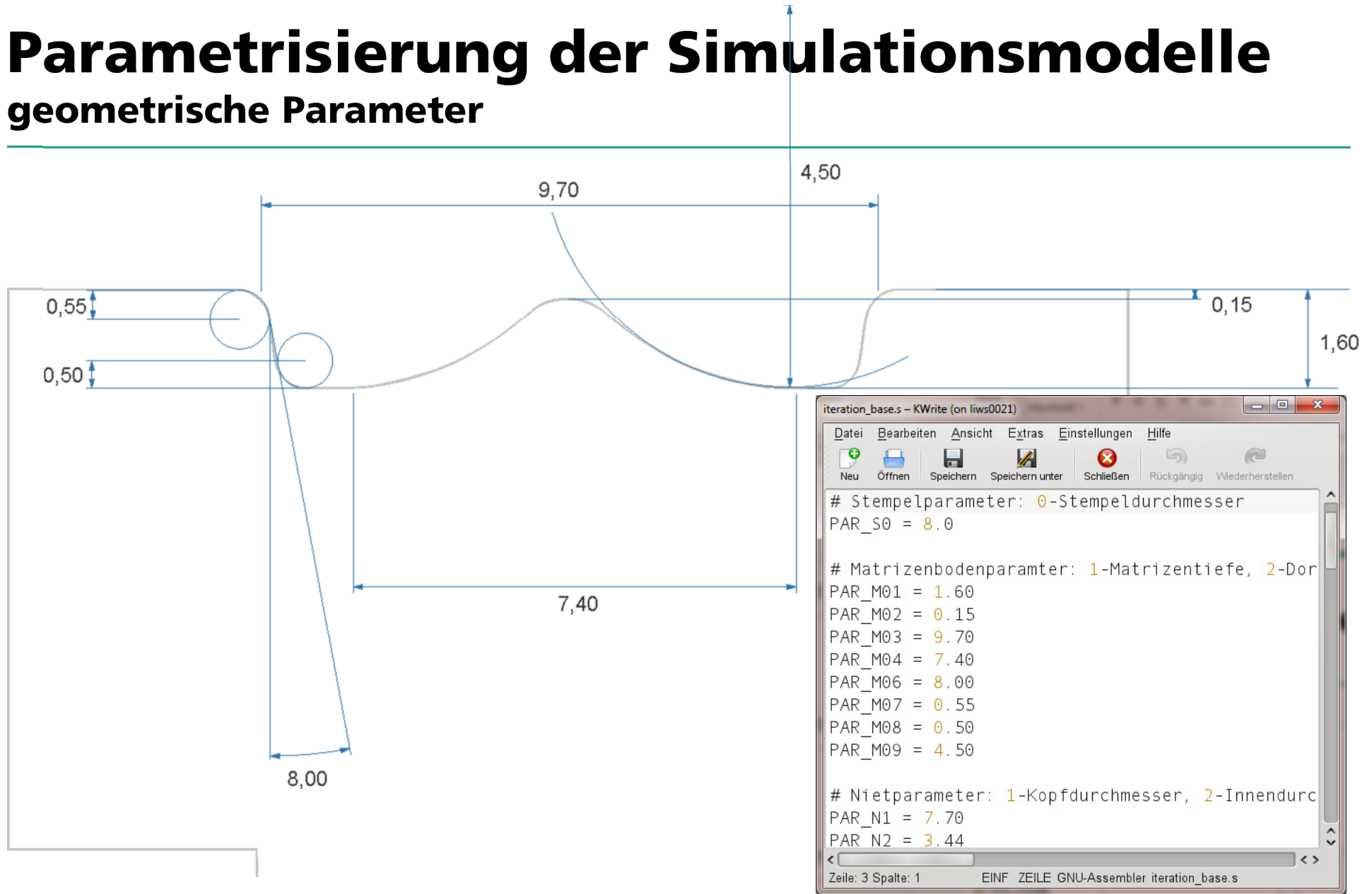
Wie sehen die zu berechnenden Designs aus?

AGENDA

- Wieso das Ganze?
- Parametrisierung der Simulationsmodelle
- Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten
- Interaktion Simulation / Statistik
- Beispiele Sensitivitätsanalyse und Optimierung
- Zusammenfassung und Ausblick

Parametrisierung der Simulationsmodelle

geometrische Parameter



Parametrisierung der Simulationsmodelle

geometrische Parameter

iteration_base.s – KWrite (on liws0021)

```
# Stempelparameter: 0-Stempeldurchmesser
PAR_S0 = 8.0

# Matrizenbodenparameter: 1-Matrizentiefe, 2-Dor
PAR_M01 = 1.60
PAR_M02 = 0.15
```

zt_compute.txt – KWrite (on liws0021)

```
MZ7X = sin(WINKEL) * PAR_M07 + MZ8X
MZ7Y = MZ6Y

MZ1R = -PAR_M07 - 10
MZ1W = 90 - PAR_M06
```

38B2_H4_Niet_ENAW_6016_T4_t20_02160+ENAW_6016_T4_t20_01564.KEY – KWrite (on liws0021)

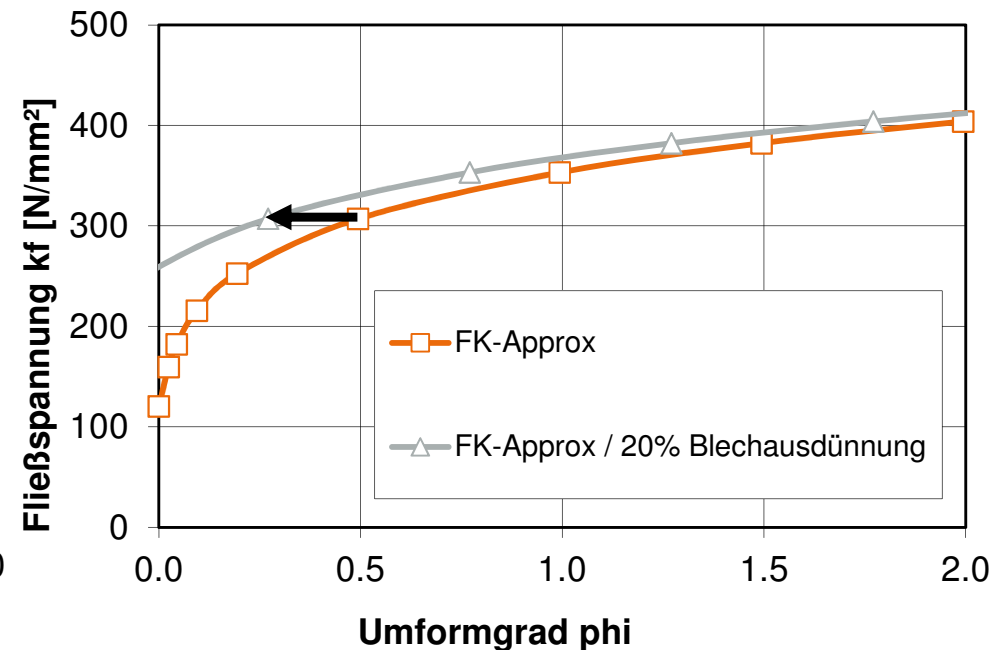
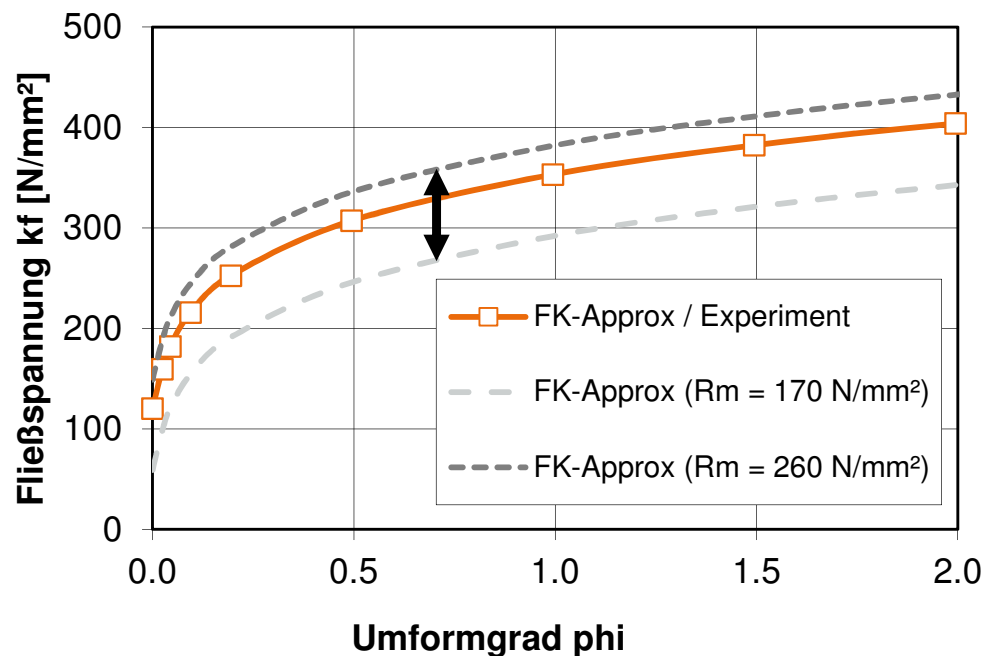
CNTRAX	4	-1.8945300000E-15	3.0000000640E+01	0.0000000000E+00			
OBJUPD	4	0					
DIEGEO	4	2	12				
1	1	0.0000000000E+00	-1.4999935954E-01	0.0000000000E+00	-2.5499999360E+01	0.0000000000E+00	
2	1	0.0000000000E+00	-2.5499999360E+01	5.0000000000E+00	-2.5499999360E+01	0.0000000000E+00	
3	1	5.0000000000E+00	-2.5499999360E+01	5.0000000000E+00	-8.9999993595E+00	0.0000000000E+00	
4	1	5.0000000000E+00	-8.9999993595E+00	9.0000000000E+00	-8.9999993595E+00	0.0000000000E+00	
5	1	9.0000000000E+00	-8.9999993595E+00	9.0000000000E+00	6.4045864079E-07	0.0000000000E+00	
6	1	9.0000000000E+00	6.4045864079E-07	5.3281076000E+00	6.4045864079E-07	0.0000000000E+00	
7	2	5.3281076000E+00	6.4045864079E-07	5.3281076000E+00	-5.4999935954E-01	8.2000000000E+01	
8	1	4.7834602000E+00	-4.7345435954E-01	4.6855292000E+00	-1.1702693595E+00	0.0000000000E+00	
9	2	4.6855292000E+00	-1.1702693595E+00	4.1903952000E+00	-1.0999993595E+00	-8.2000000000E+01	
10	1	4.1903952000E+00	-1.5999993595E+00	3.7000000000E+00	-1.5999993595E+00	0.0000000000E+00	
11	2	3.7000000000E+00	-1.5999993595E+00	3.7000000000E+00	2.9000006405E+00	-4.2799620000E+01	
12	2	6.4253600000E-01	-4.0180435954E-01	0.0000000000E+00	-1.0956893595E+00	4.2799620000E+01	

Zeile: 11,642 Spalte: 32 EINF ZEILE 38B2_H4_Niet_ENAW_6016_T4_t20_02160+ENAW_6016_T4_t20_01564.KEY

Parametrisierung der Simulationsmodelle

Parameter zur Blechvariation

- Schwankung der Blechdicke (z.B. nach DIN) → geometrischer Parameter
- Änderung der Zugfestigkeiten → Fließkurvenparameter
- Variation der Vorverformung → Fließkurven- & geometrischer Parameter



Parametrisierung der Simulationsmodelle

Parameter zur Blechvariation

ENAW6016_1_5mm.txt - KWrite (on liws0021)

```

NAME = ENAW6016_1_5mm
TEMPERATURE = 2.0000000E+01
SPEED = 1.0000000E+02
0.0000000E+00 = 1.2000000E+02
2.4000000E-02 = 1.6000000E+02
4.4000000E-02 = 1.8200000E+02
9.4000000E-02 = 2.1600000E+02
1.9400000E-01 = 2.5300000E+02
4.9400000E-01 = 3.0700000E+02
9.9400000E-01 = 3.5300000E+02
1.4940000E+00 = 3.8200000E+02
1.9940000E+00 = 4.0400000E+02
2.4940000E+00 = 4.2100000E+02

```

iteration_base.s - KWrite (on liws0021)

```

#PAR_NH2 = 1175

# Upper_Blank_Parameter: 1-Elementanzahl, 2-Hers
ELT1 = "2500"
HERSTELLUNGSBLECHDICKE1 = 1.50
VORVERFORMUNG1 = 0.00
R_M1(EXP) = 225.0
R_M1(IST) = 180.0
FX_MATFILELIST_U = {ENAW6016_1_5mm} called MAT1

# Bottom_Blank_Parameter: 1-Elementanzahl, 2-Hers
ELT2 = "2500"

```

38B2_H4_Niet_ENAW6016_1_5mm_01500+ENAW_6016_T4_t20_01564.KEY

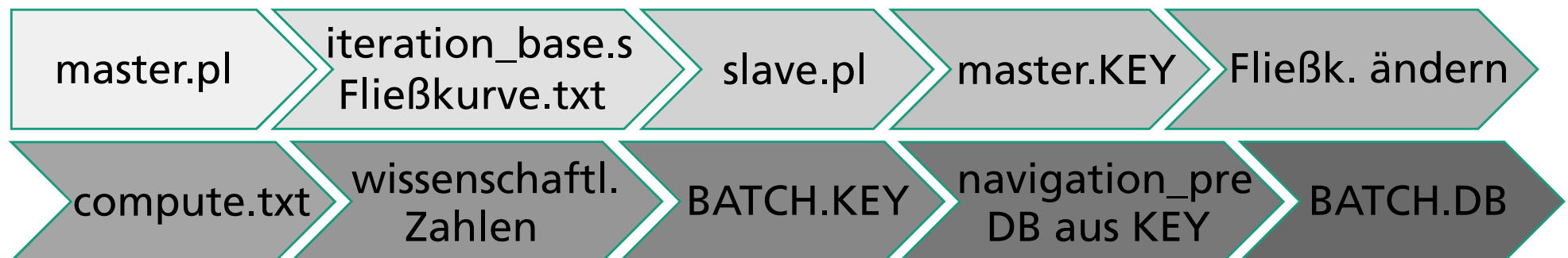
```

0.0000000000E+00 2.4000000000E-02 4.4000000000E-02 9.4000000000E-02 1.9400000000E-01 4.9400000000E-01 9.9400000000E-01
1.0000000000E+02
2.0000000000E+01
7.5000000000E+01 1.1500000000E+02 1.3700000000E+02 1.7100000000E+02 2.0800000000E+02 2.6200000000E+02 3.0800000000E+02
YOUNG 1 0 6.8900000000E+01

```

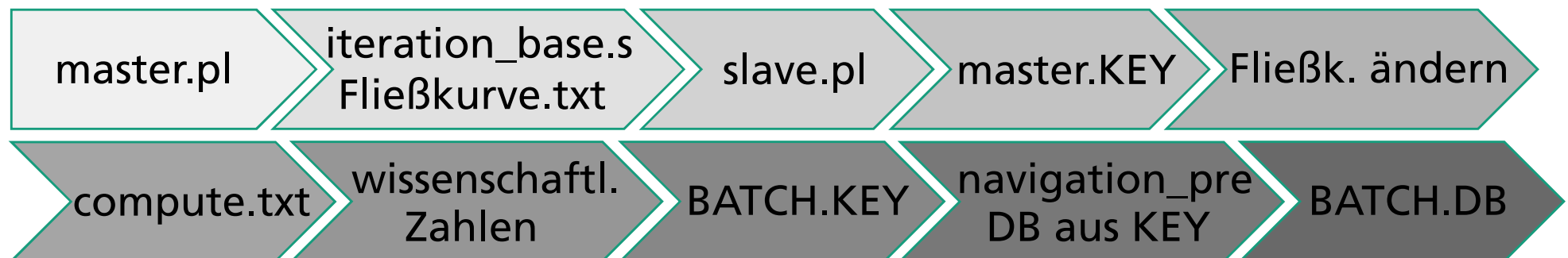
Parametrisierung der Simulationsmodelle

- In Kommandozeile wird Perl-Skript master.pl ausgeführt
- Daten aus iteration_base.s und der Fließkurven werden als „key“ und „value“ gespeichert
- Perl-Skript slave.pl wird ausgeführt
- Das Masterkeyfile, in neben den bereits bekannten auch die „neuen“ Daten gespeichert werden müssen, wird eingelesen
- Die Fließkurven werden „verschoben“



Parametrisierung der Simulationsmodelle

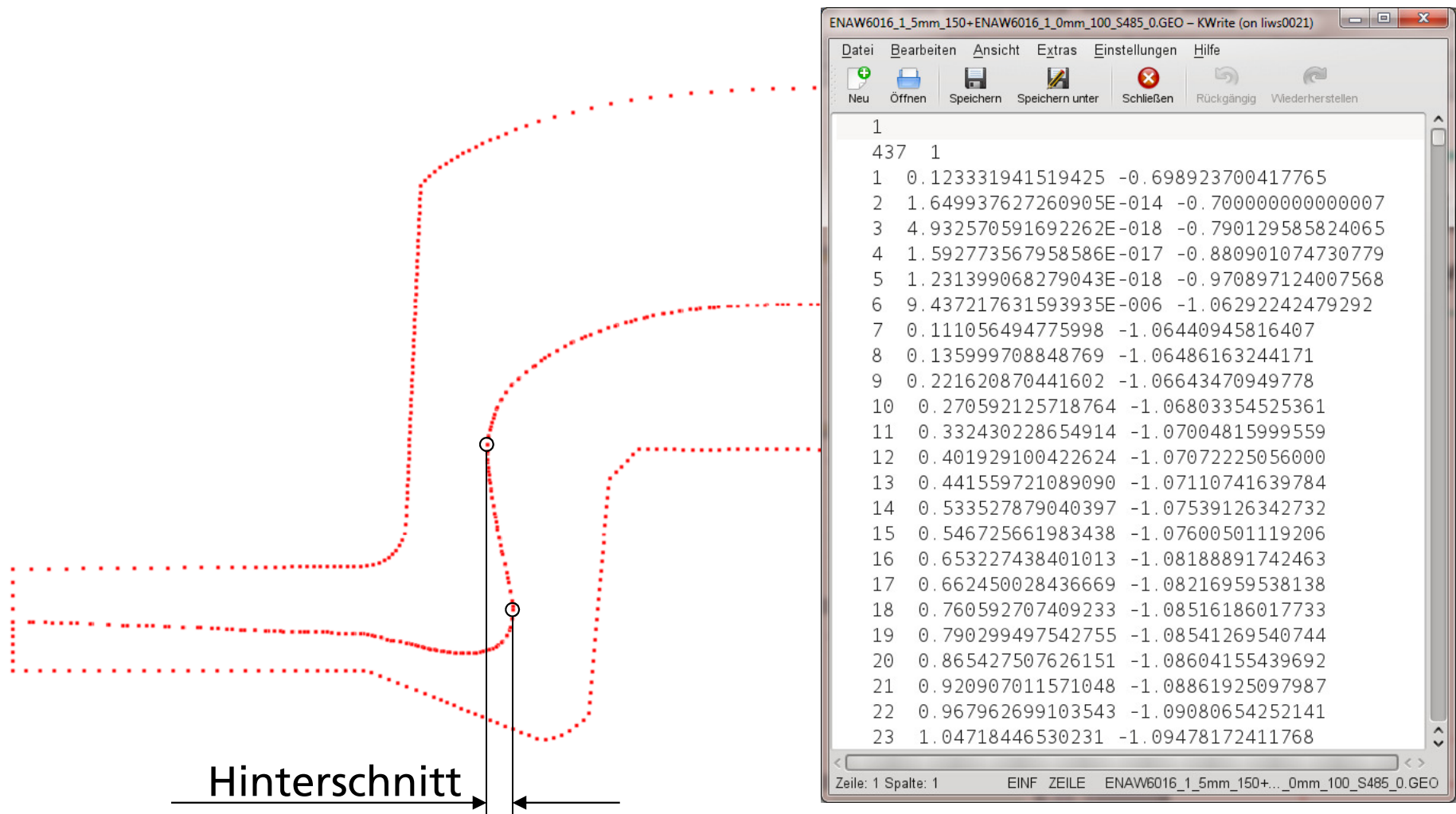
- Mit Hilfe von compute.txt werden Parameter umgerechnet
- Zahlen werden in wissenschaftliche Zahlen umgewandelt
273 → 2.7300000+E02
- Die „neuen“ Daten werden im Masterkeyfile ergänzt und in BATCH.KEY gespeichert ##VARIABLE##
- Durch Aufruf von navigation_pre.txt wird im kommandozeilenbasierten Preprocessor aus BATCH.KEY die Datenbasis BATCH.DB generiert
- Die Simulation BATCH.DB wird kommandozeilenbasiert gestartet



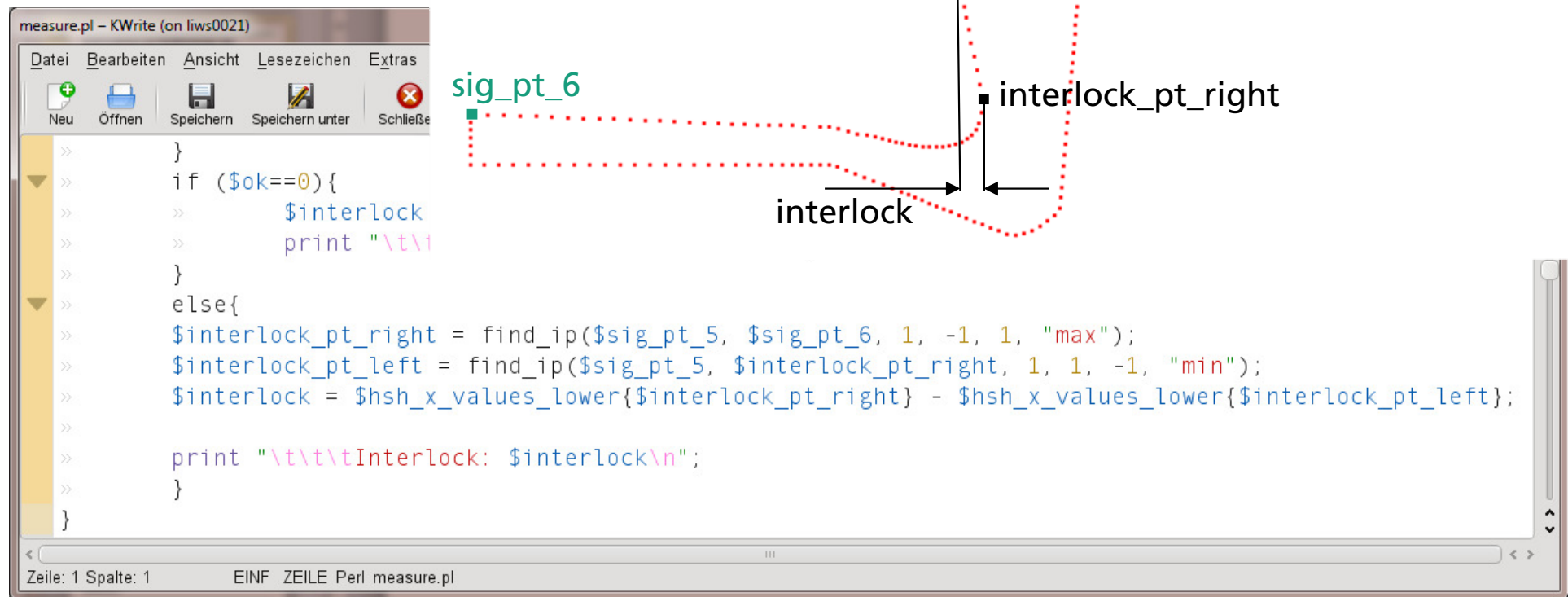
AGENDA

- Wieso das Ganze?
- Parametrisierung der Simulationsmodelle
- Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten
- Interaktion Simulation / Statistik
- Beispiele Sensitivitätsanalyse und Optimierung
- Zusammenfassung und Ausblick

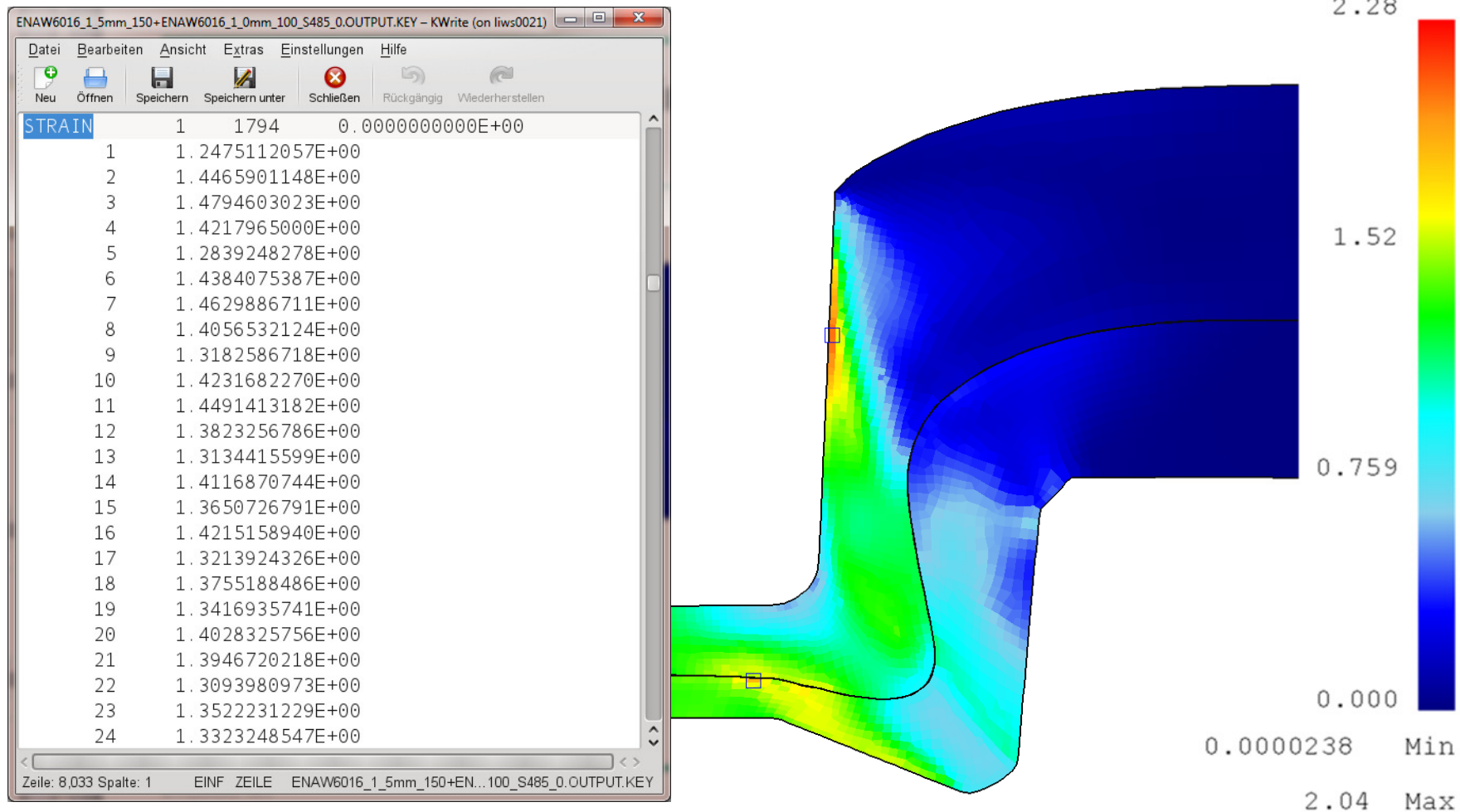
Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten



Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten

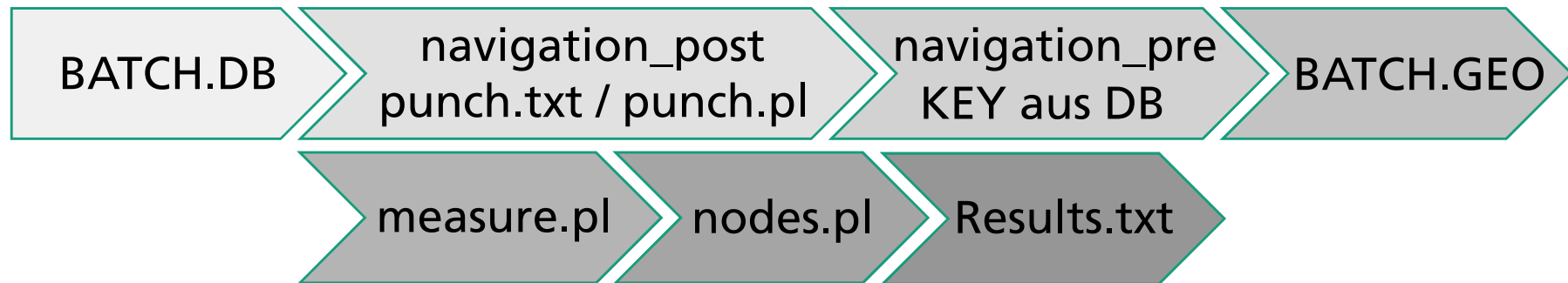


Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten



Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten

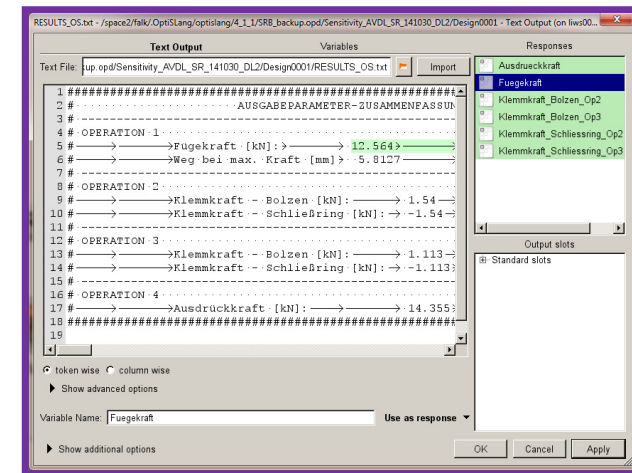
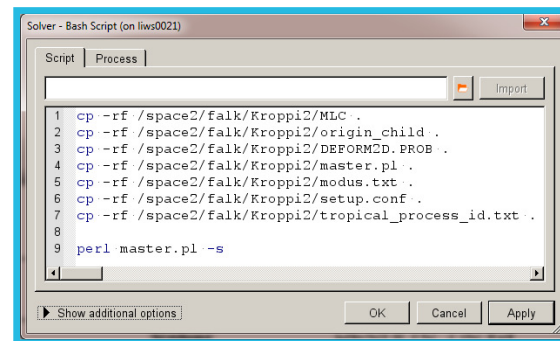
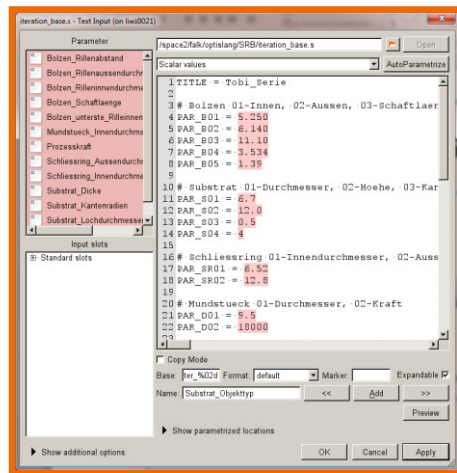
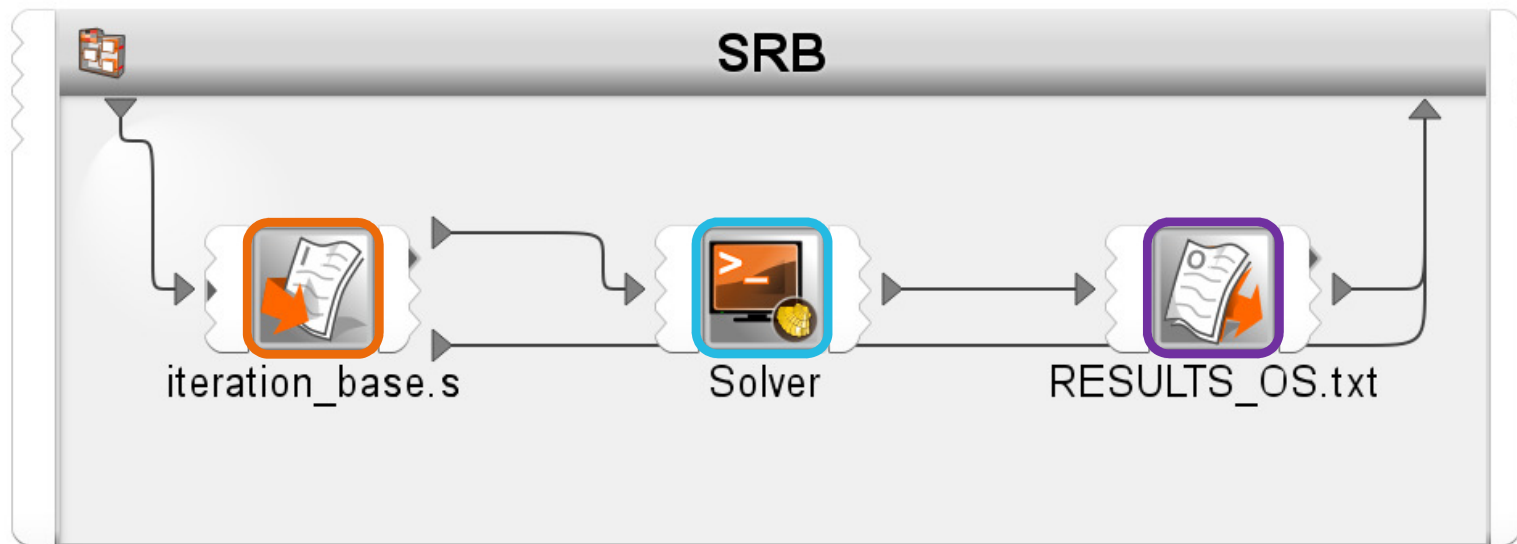
- Ende Simulation BATCH.DB
- Aufruf von navigation_post.txt im kommandozeilenbasierter Postprocessor liefert punch.txt um mit punch.pl die maximale Fügekraft zu ermitteln
- BATCH_OUTPUT.KEY aus BATCH.DB über kommandozeilenbas. Preprocessor
- Geofile BATCH.GEO direkt oder über Keyfile extrahieren
- Geometrische Ergebnisgrößen werden mittels measure.pl berechnet
- nodes.pl erstellt Ergebnisgrößen zu Deformationen
- Alle Ergebnisse werden in Results.txt geschrieben und gespeichert



AGENDA

- Wieso das Ganze?
- Parametrisierung der Simulationsmodelle
- Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten
- **Interaktion Simulation / Statistik**
- Beispiele Sensitivitätsanalyse und Optimierung
- Zusammenfassung und Ausblick






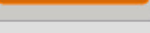

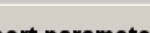
Interaktion Simulation / Statistik



Interaktion Simulation / Statistik

Sensitivity Wizard (on liws0021)

Parametrize Inputs
Parametrize the inputs

	Name	Parameter type	Reference value	Constant	Value type	Resolution	Range	Range plot
1	Bolzen_Rillenabstand	Deterministic	1.39	<input type="checkbox"/>	REAL	Continuous	1.3 1.45	
2	Bolzen_Rillenaussendurchmesser	Deterministic	6.14	<input checked="" type="checkbox"/>	REAL	Continuous	-1 1	
3	Bolzen_Rillennendurchmesser	Deterministic	5.25	<input checked="" type="checkbox"/>	REAL	Continuous	5.21 5.27	
4	Bolzen_Schaftlaenge	Deterministic	11.1	<input type="checkbox"/>	REAL	Continuous	10.5 11.5	
5	Bolzen_unterste_Rilleinnendurchmesser	Deterministic	3.534	<input checked="" type="checkbox"/>	REAL	Continuous	-1 1	
6	Mundstueck_Innendurchmesser	Deterministic	9.5	<input type="checkbox"/>	REAL	Continuous	9.45 9.55	
7	Prozesskraft	Deterministic	18000	<input type="checkbox"/>	REAL	Continuous	10000 14000	
8	Schliessring_Aussendurchmesser	Deterministic	12.8	<input checked="" type="checkbox"/>	REAL	Continuous	-1 1	

Import parameter ▼

Interaktion Simulation / Statistik

Sensitivity Wizard (on liws0021)

Criteria
Specify the algorithm criteria

Variables

Name	Expression	Value
new		

Parameter

Name	Value
Bolzen_Rill...	1.39
Bolzen_Rill...	6.14
Bolzen_Rill...	5.25
Bolzen_Sc...	11.1

Responses

Name	Value
Ausdrueckk...	6.732
Fuegekraft	14.548
Klemmkraft...	1.89
Klemmkraft...	1.41

Objectives

Name	Criterion	Expression	Value
Zielfunktion	MAX	Ausdrueckkraft	6.732

Constraints

Name	Left side expression	Criterion	Right side express	Value
Bedingung_1	Fuegekraft	≥	12	14.548 ≥ 12
Bedingung_2	Klemmkraft_Bolzen...	≥	1	1.41 ≥ 1

Import criteria ▼

< Back Next > Cancel Help

Interaktion Simulation / Statistik

Sensitivity Wizard (on liws0021)

Algorithm settings
Specify the algorithm settings

Sampling

Sampling

Sampling Type: Advanced Latin Hypercube Sampling (ALHS)

Number of samples: 100

< Back Next > Finish Cancel Help

Interaktion Simulation / Statistik

The image displays two side-by-side screenshots of the 'Optimization Wizard' dialog box, titled 'Optimization Wizard (on liws0021)'.

Left Screenshot: Optimization method
Specify the optimization method

- Optimization method
- Gradient based
 - ☐ Non-Linear Programming by Quadratic Lagrangian (NLPQL)
- Gradient free
 - ☒ Adaptive Response Surface Method (ARSM)
 - ☐ Downhill Simplex Method
- Natural inspired
 - ☐ Evolutionary Algorithm (EA) - local
 - ☐ Evolutionary Algorithm (EA) - global
 - ☐ Particle Swarm Optimization (PSO) - local
 - ☐ Particle Swarm Optimization (PSO) - global
- Additional options
 - ☐ Use Previous Data As Starting Point(s)

< Back

Right Screenshot: Algorithm settings
Specify the algorithm settings

ARSM

Approximation

- Order: linear
- DOE method: D-optimal linear
- Start range: 0.5

Computational aspects

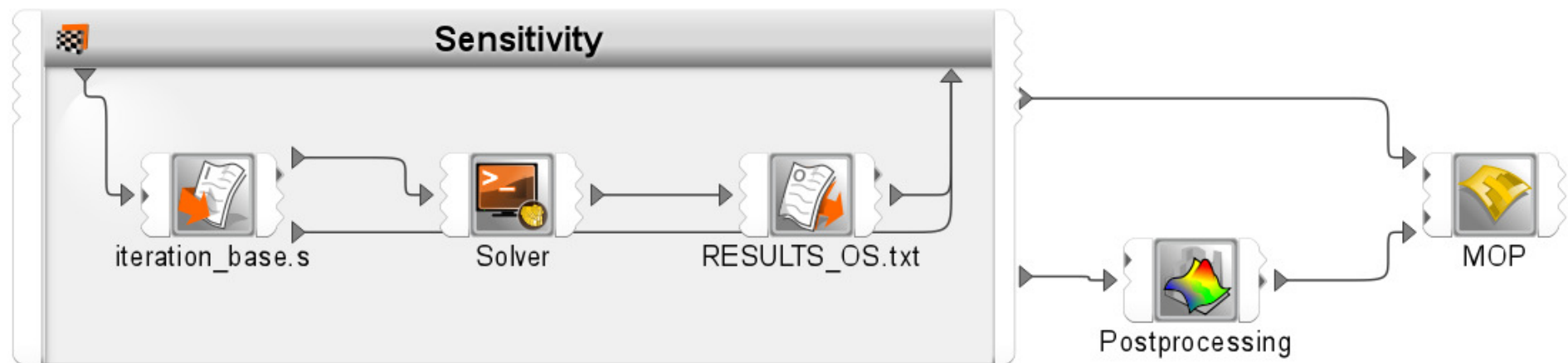
- Minimum iterations: 5
- Maximum iterations: 20
- Minimum range: 1e-06

Convergence test

- Objective: ☒ approx 0.001
- Parameter: ☒ real space ☒ approx 0.001
- Stop at first non violated: ☐

< Back Next > Finish Cancel Help

Interaktion Simulation / Statistik

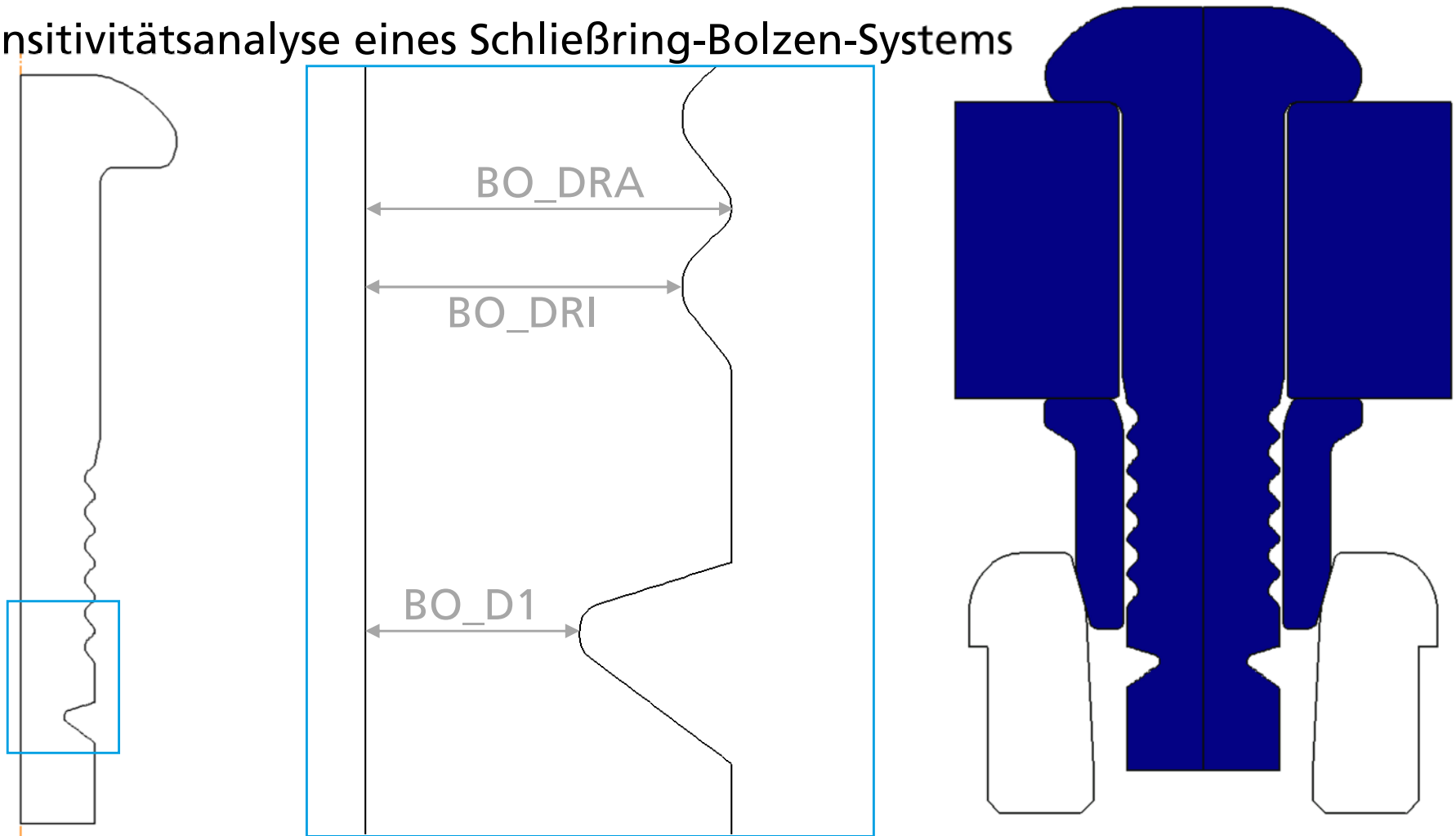


-
- Wieso das Ganze?
 - Parametrisierung der Simulationsmodelle
 - Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten
 - Interaktion Simulation / Statistik
 - **Beispiele Sensitivitätsanalyse und Optimierung**
 - Zusammenfassung und Ausblick

Beispiel Sensitivitätsanalyse

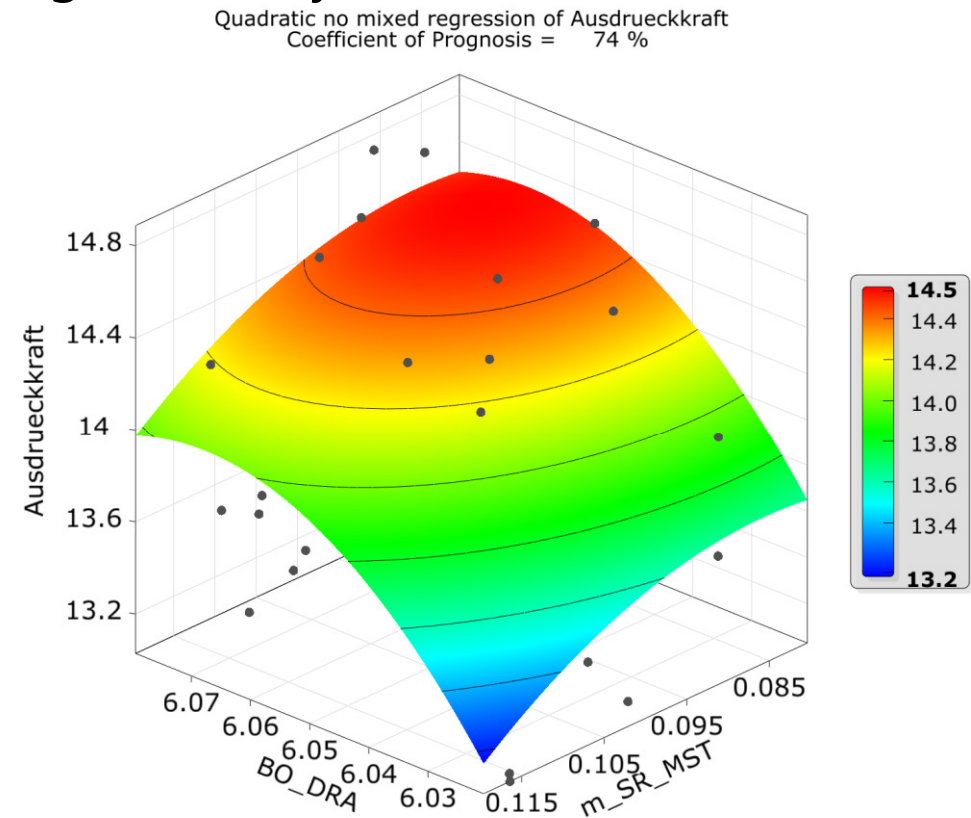
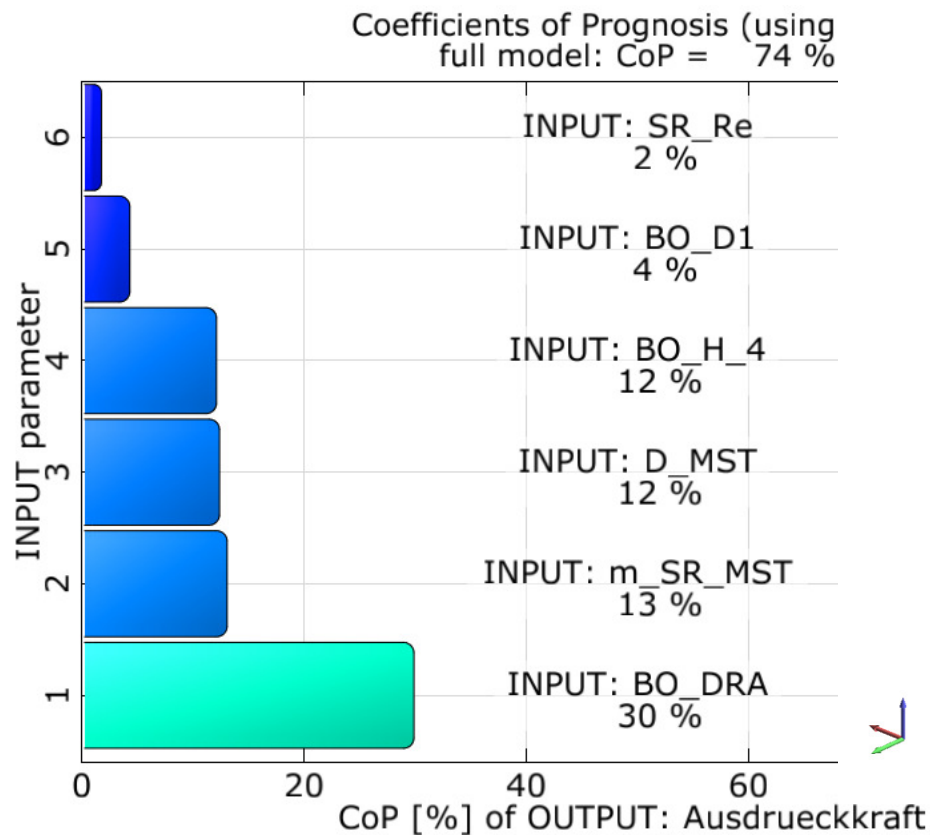
Numerische und experimentelle Untersuchung von Setzprozessunregelmäßigkeiten bei Schließringbolzensystemen, AiF 17703 BR

■ Sensitivitätsanalyse eines Schließring-Bolzen-Systems



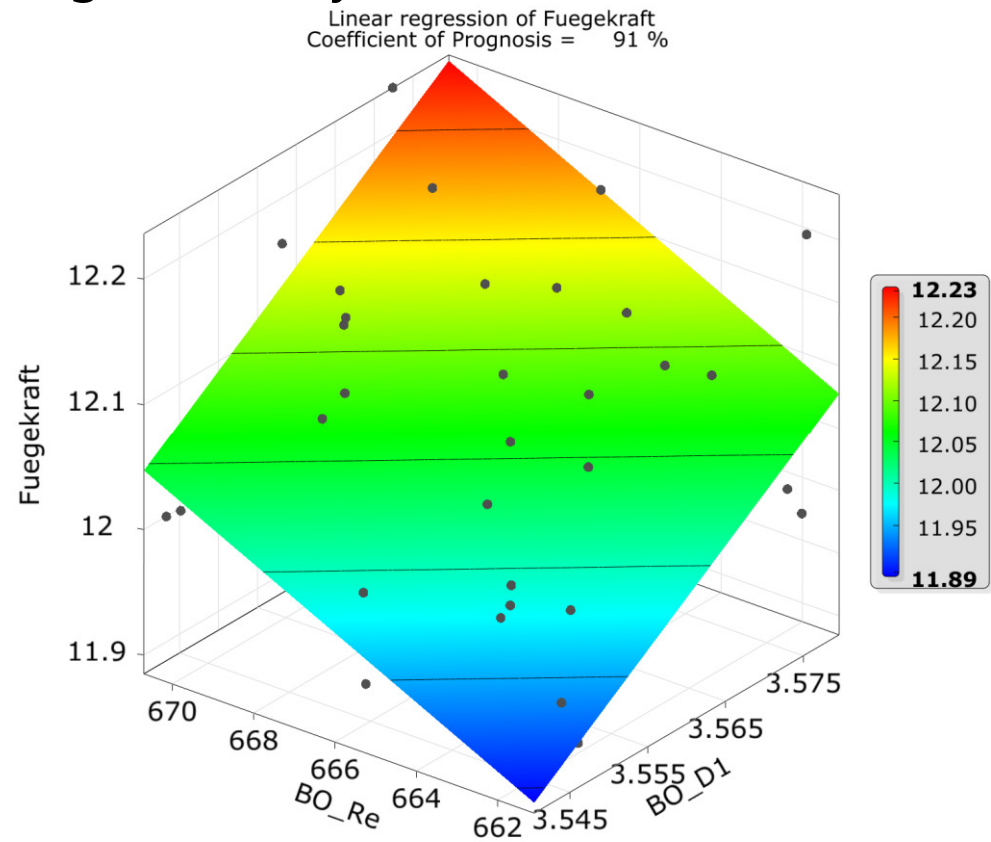
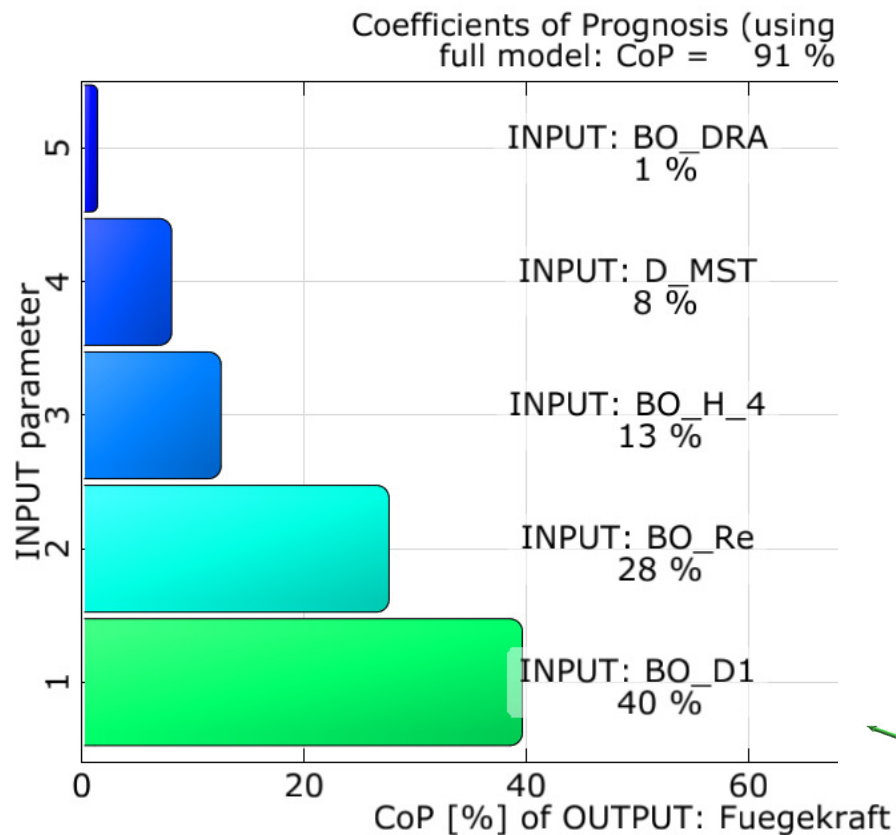
Beispiel Sensitivitätsanalyse

■ Sensitivitätsanalyse eines Schließring-Bolzen-Systems



Beispiel Sensitivitätsanalyse

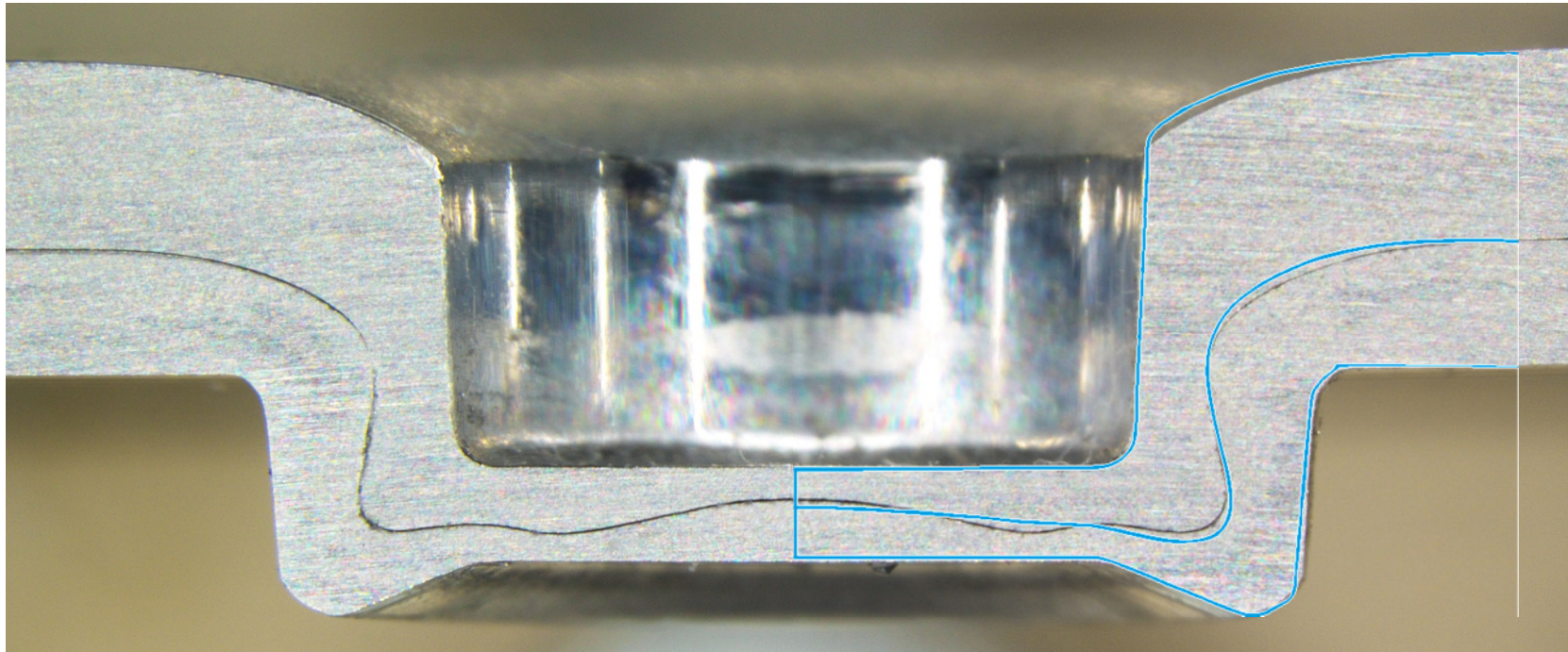
■ Sensitivitätsanalyse eines Schließring-Bolzen-Systems



Beispiel Optimierung

Sensitivitätsanalyse und Robustheitsbewertung beim mechanischen Fügen,
AiF 16502 BR

- Optimierung einer Clinchverbindung (EN-AW 6016 1,5 mm in EN-AW 6016 1,0 mm)



Zielfunktion:

Halsdicke \rightarrow max!

Nebenbedingungen:

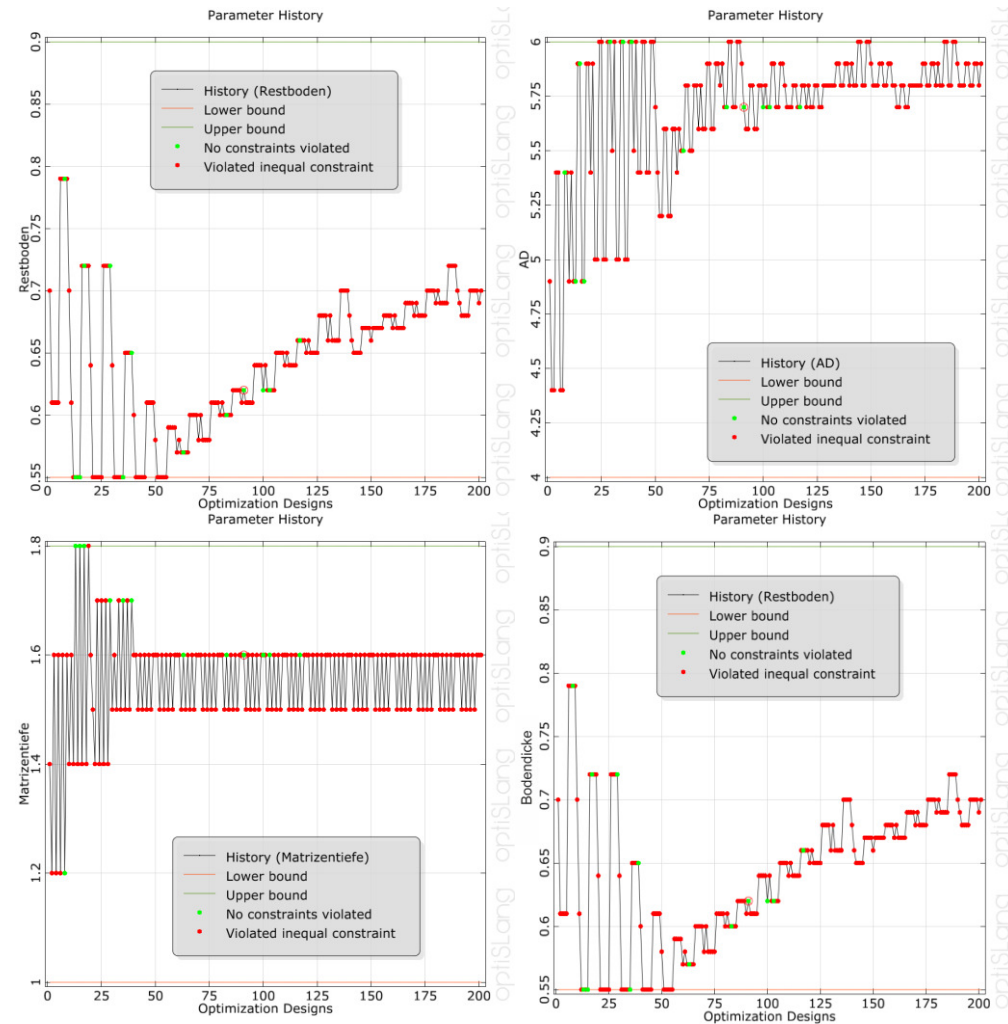
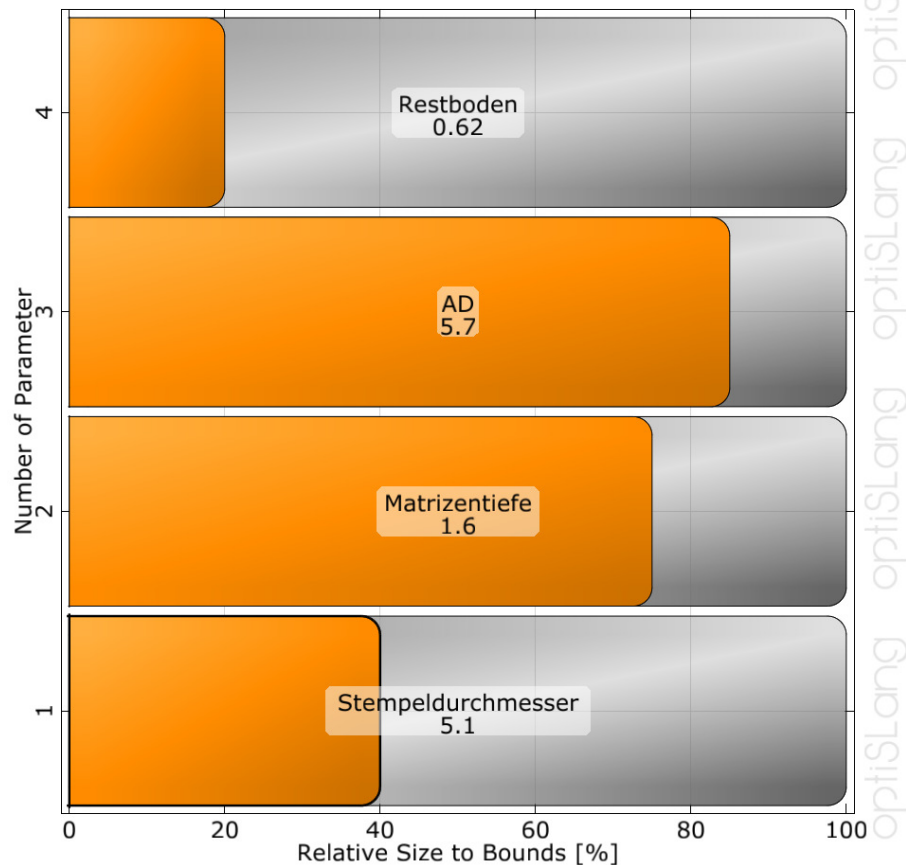
Hinterschnitt $\geq \frac{1}{2}$ Halsdicke

Fügekraft ≤ 30 kN

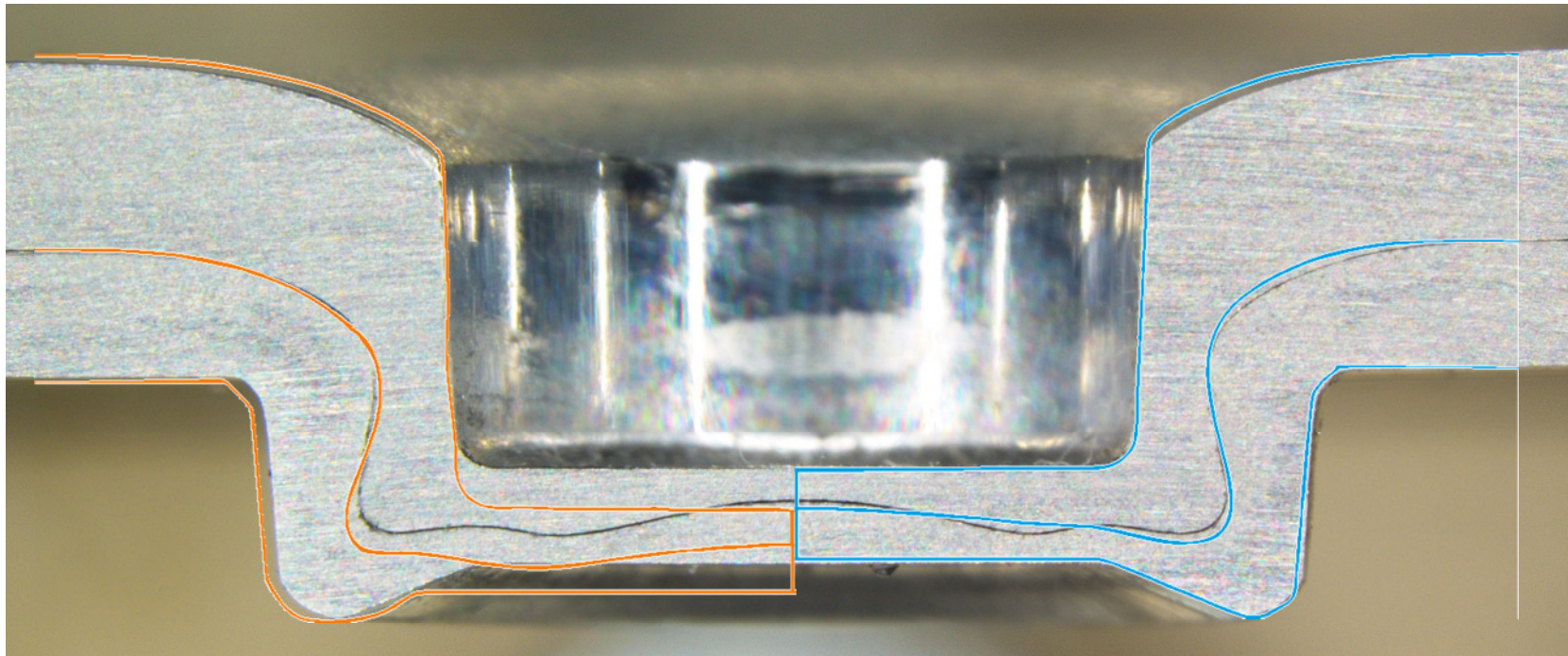
Beispiel Optimierung

Adaptive Response Surface Method

Best Design #91



Beispiel Optimierung



Halsdicke in mm	Hinterschnitt in mm	Fügekraft in kN	Bodendicke in mm
0,55	0,16	31,9	0,73
0,52	0,26	28,9	0,62

AGENDA

- Wieso das Ganze?
- Parametrisierung der Simulationsmodelle
- Subroutinen zur Bestimmung von Ausgabewerten
- Interaktion Simulation / Statistik
- Beispiele Sensitivitätsanalyse und Optimierung
- Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick

- Notwendige Parametrisierung der Simulationsmodelle in der mechanischen Fügetechnik gut umsetzbar
 - Auswertung über Subroutinen realisierbar
 - Interaktion von Simulations- und Statistiksoftware über Eingabeaufforderung umgesetzt
 - Sensitivitätsanalysen, Robustheitsbewertungen und Optimierungen sind geeignete Hilfsmittel in der mechanischen Fügetechnik
-
- Berechnung optimaler Werkzeuge beim HHSN zum Fügen verschiedener Blechkombinationen ohne Werkzeugwechsel
 - Antrag „Methodische Flexibilitätssteigerung beim HHSN“
 - Anwendung der Systematik auf das Clinchen dicker Bleche
 - Projekt „Mechanisch gefügte Stahlstrukturen in Fahrzeugbau und Bauwesen “
-