

# Robustheitsbewertung in der Umformsimulation der BMW Group.

Kathrin Grossenbacher  
Markus Ganser

**BMW Group**



# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Übersicht.

- Vorgehensweise zur Robustheitsbewertung im umformtechnischen Umfeld
- Anwendungsbeispiel, Materialqualifikation
- Schwierigkeiten bei der Integration der Methoden

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Motivation.

## Eingangsvariation

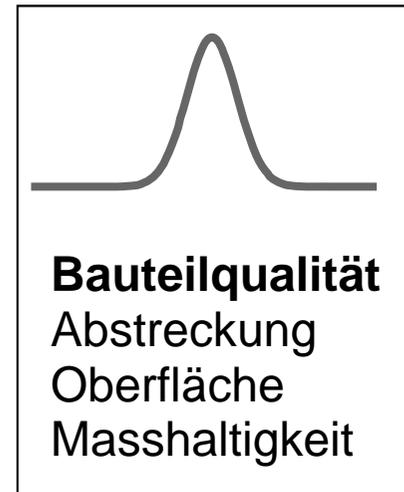
**Platine**  
Werkstoff  
Beölung  
Beschnitt  
...

**Prozess**  
Erwärmung  
Platinenlage  
Verschmutzung  
...

**Presse**  
Steifigkeit  
Führungsspiel  
Pressenkräfte  
...



## Ergebnisvariation



# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Motivation.

## Eingangsvariation

**Platine**  
Werkstoff  
Beölung  
Beschnitt  
...

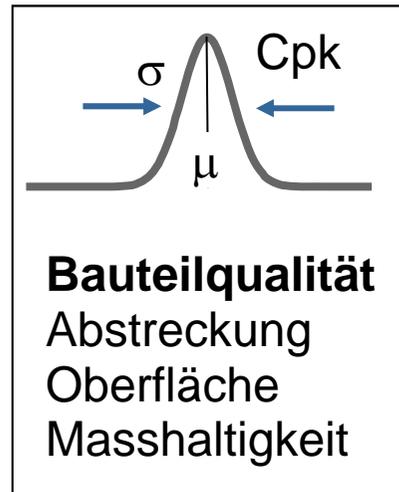
**Prozess**  
Erwärmung  
Platinenlage  
Verschmutzung  
...

**Presse**  
Steifigkeit  
Führungsspiel  
Pressenkräfte  
...

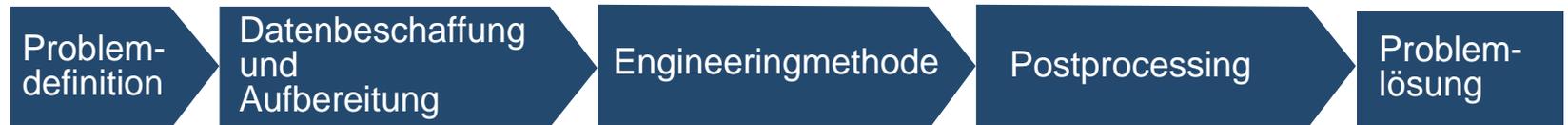
## Engineeringprozess



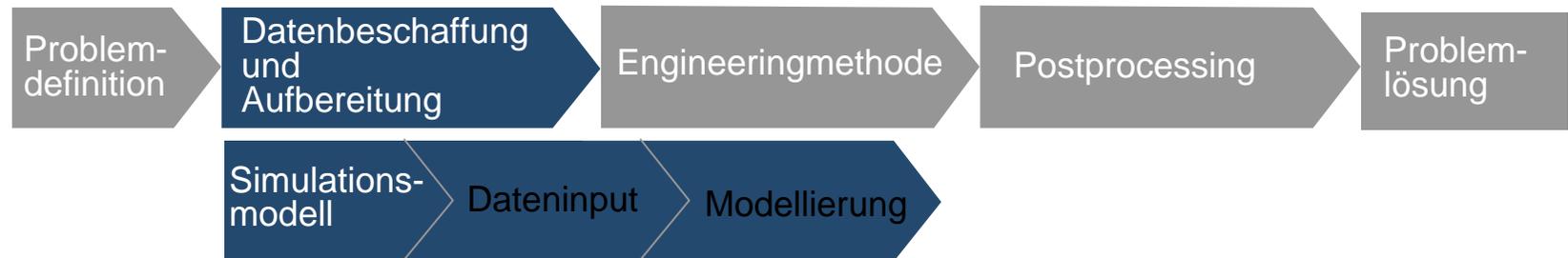
## Virtuelle Beurteilung Ergebnisvariation



# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.

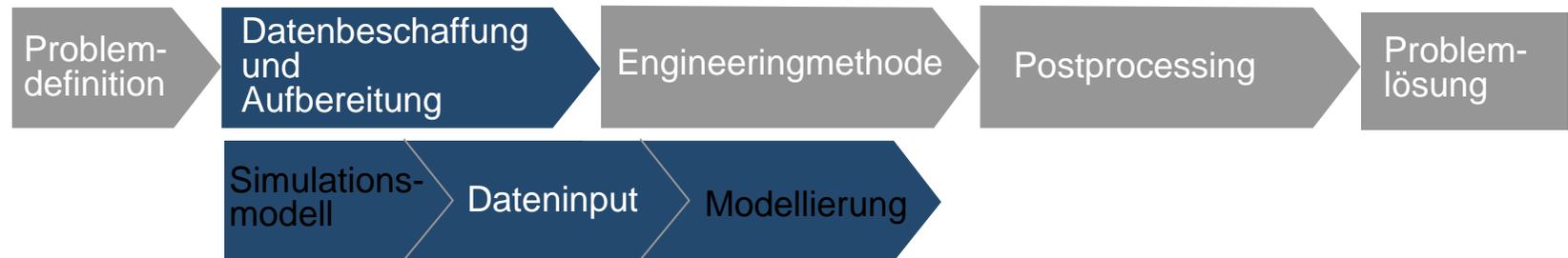


# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



- verifiziertes, validiertes und automatisch ablaufendes Simulationsmodell
- rechenzeitoptimiert:  
Bauteilsymmetrien, Isolierung kritischer Bereiche, gezielter Netzverfeinerung
- Zugriff auf Input- sowie die Outputdatei des FE-Solvers, Ascii

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



Bestimmung der variablen Simulationsparameter

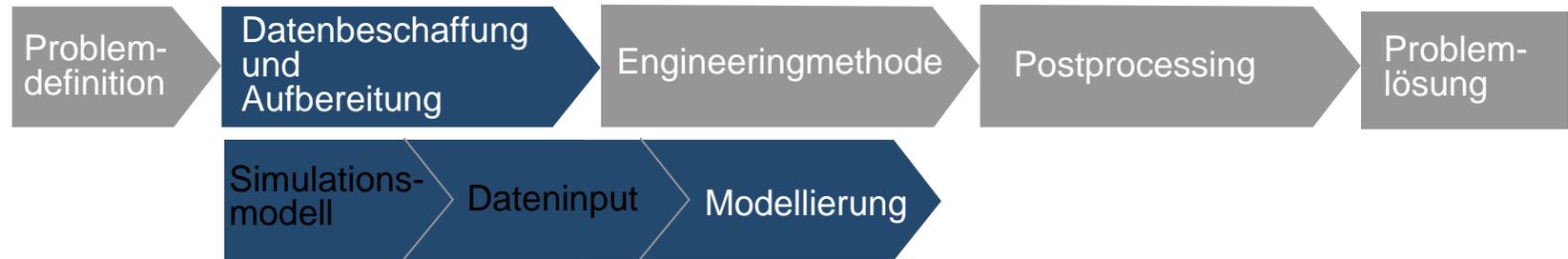
- In FE-Solvern modellierte Grössen (direkt):
  - Sicken-, Blechhalterkräfte, Reibbeiwerte, Blechdicke, ...
- Zu modellierende Grössen (indirekt)
  - Fliesskurven, Fliessorte auf Basis einzelner Werkstoffkennwerte
  - Platinengrösse, -lage, Geometrievariation

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



- Art und Genauigkeit der Modellierung ist abhängig:
  - von der gewünschten Ergebnisqualität
  - von den bereitgestellten Inputdaten (Korrelationen, Verteilungen, exakte Messwerte)
- Modellierung der „indirekten“ Inputgrößen:
  - Platinen- und Werkzeuggeometrie über parametrisch assoziative CAD-Tools (CATIA V5)
  - Werkstoffmodellierung über mathematisch abgebildete Werkstoffgesetze

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



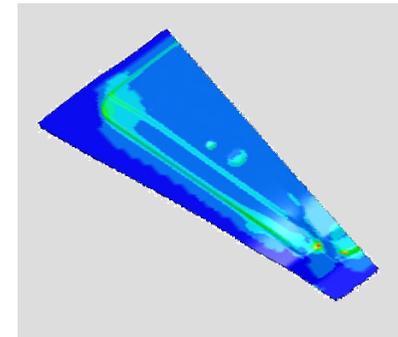
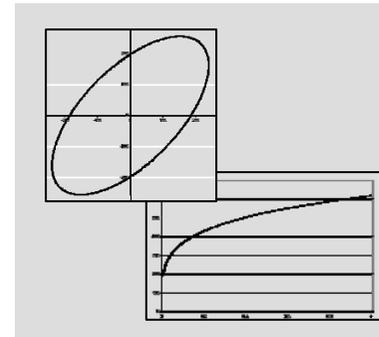
**Werkstoffmodellierung**

Reale  
Werkstoffdaten

Modellierung durch  
einen repräsentativen  
Parametersatz

Input für  
Umformsimulation

**deterministische  
Simulations-  
verfahren**



Experimentelle  
Werkstoffuntersuchung

Generierung einer  
Materialkarte

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



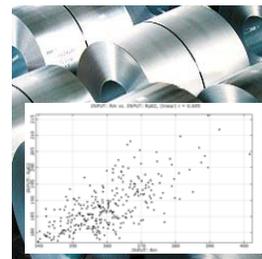
## Werkstoffmodellierung

## stochastische Simulationsverfahren

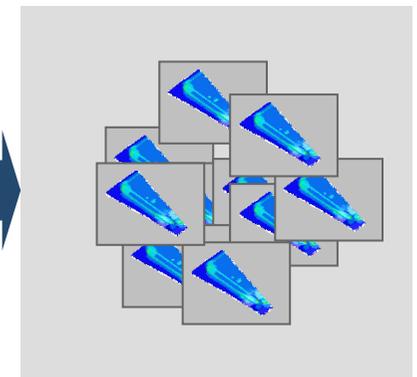
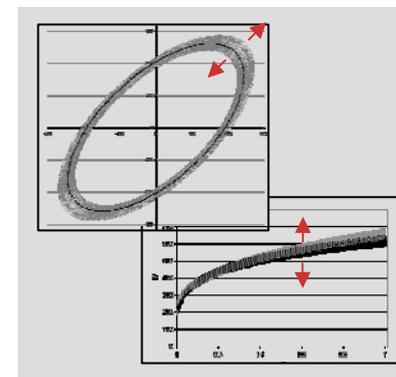
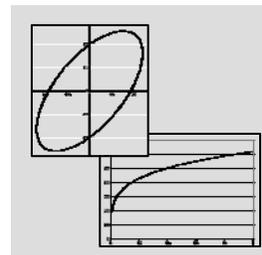
Reale Werkstoffdaten + Schwankungen

Variation Fließort und Fließkurve

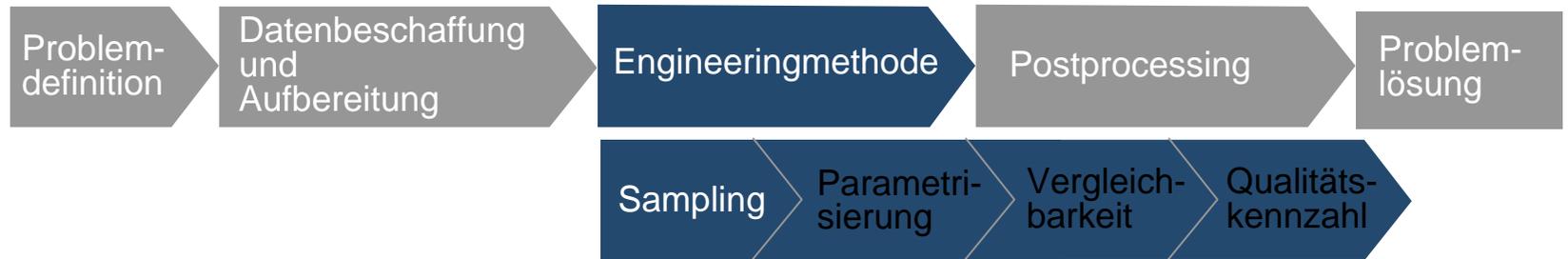
Input für stochastische Simulation



Parametrisierbares Materialmodell



# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



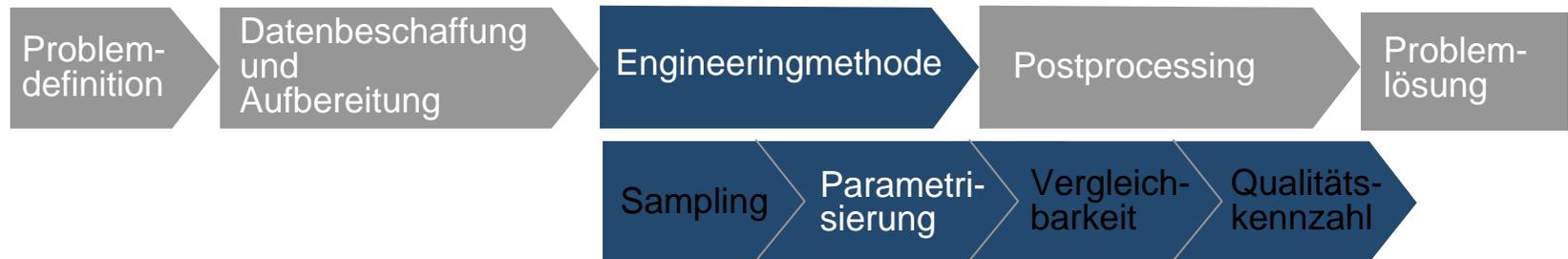
$$\text{Untersuchungszeit} = \frac{\text{Anzahl Durchrechnungen} \times \text{Simulationszeit}}{\text{Anzahl paralleler CPU}}$$

~ Statistische Aussagekraft (points to Anzahl Durchrechnungen)

~ numerische Aussagekraft (points to Simulationszeit)

Limitierte Ressourcen (points to Untersuchungszeit)

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.

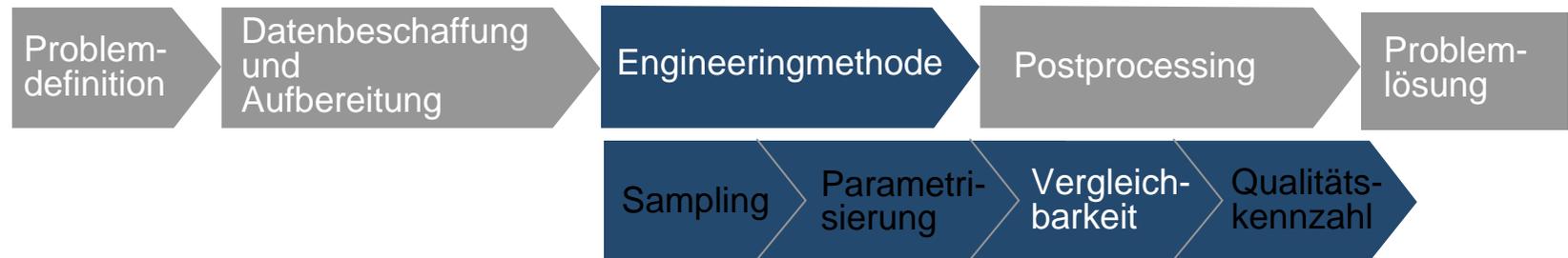


## Parametrisierung Simulationsinput

- Austauschen der Inputgrößen durch Optimierungs- und Workflowtools
  - direkte Größen im Simulationsinputdeck
  - indirekte Größen in der vorgängigen skriptbasierten preprocessing-Schritten (Catia-Skript, Matlab, ...)

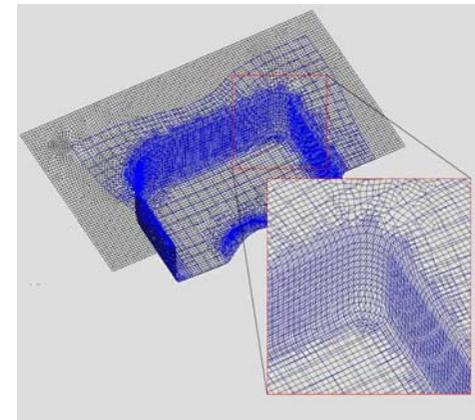
Start FE-Simulationen

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.

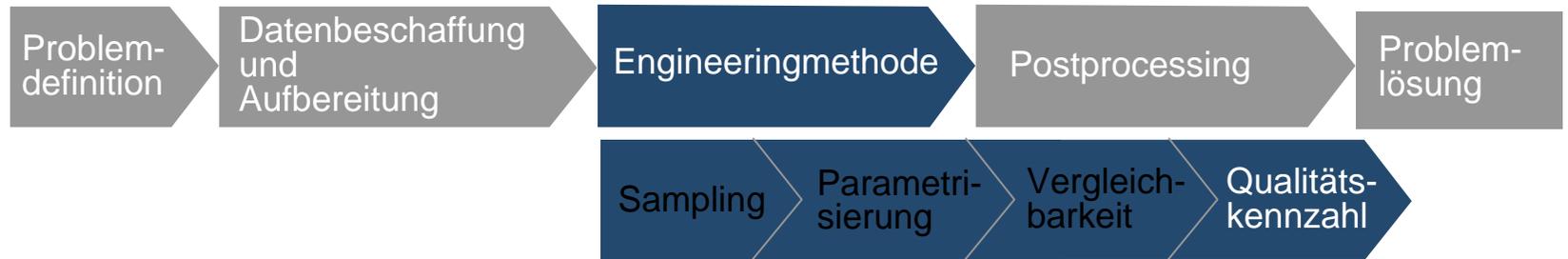


## Vergleichbarkeit der Ergebnisdaten aus der Umformsimulation

- Berechnung standardmäßig mit adaptiv verfeinernden Netzen
  - Mapping auf einheitliches Netz (Referenzsimulation, Matrizenetz)  
(für Elementweise statistische Auswertung)
- unterschiedliche FE-Solver
  - Transformation in einheitliches Ascii-Ausgabeformat  
(Einheitliche Schnittstelle zur Berechnung Qualitätskennzahl)

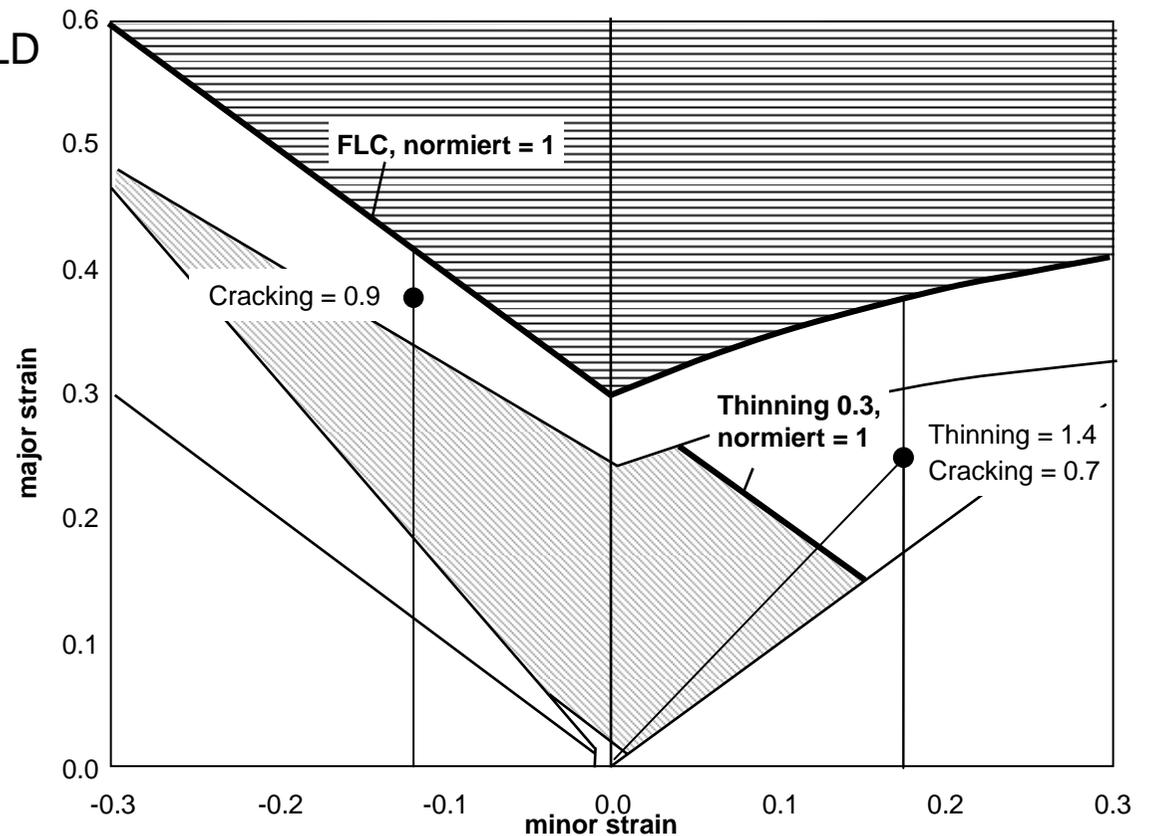


# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.

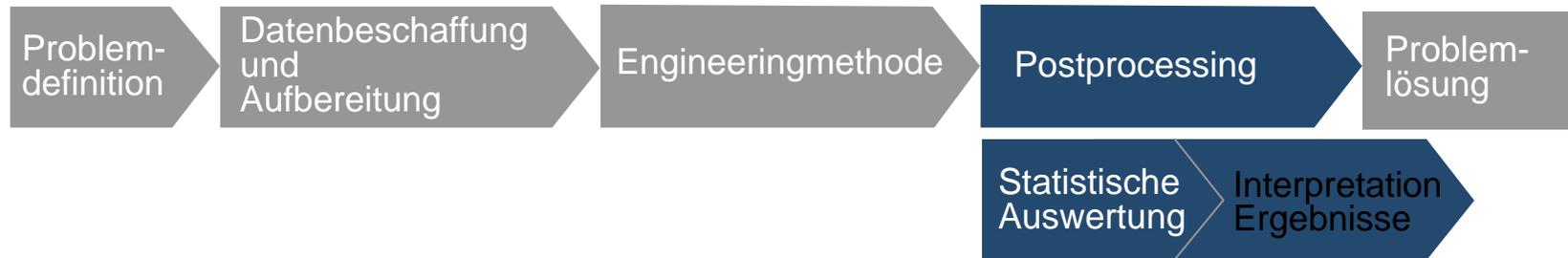


Definition verwendeter FLD basierter Qualitätskennzahlen:

z.B.:  
Cracking und Thinning



# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.

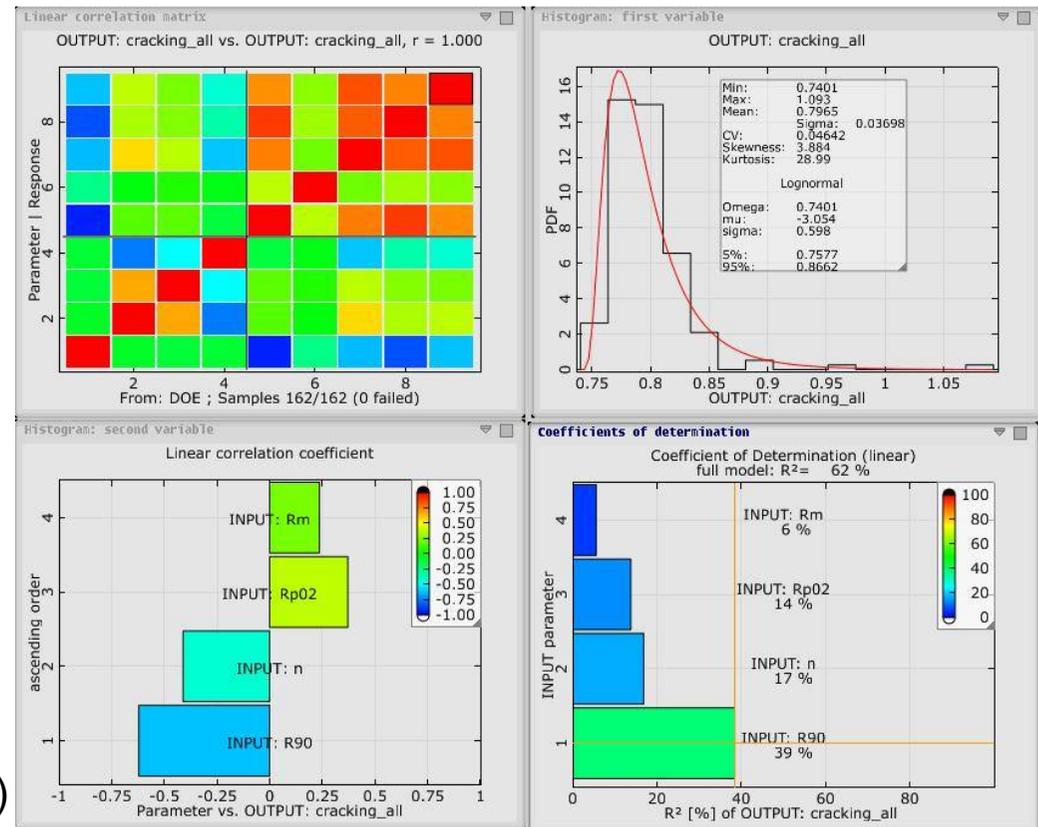


Statistische Auswertung  
ermittelter globaler  
Qualitätskennzahlen

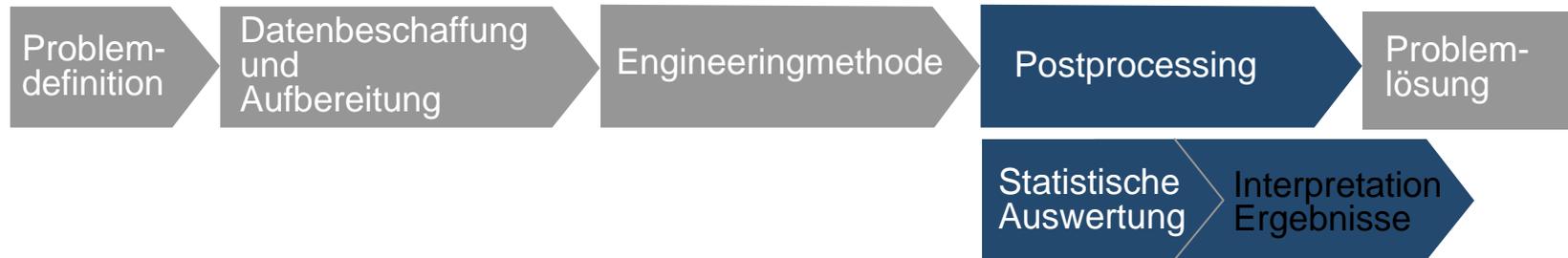
→ Bsp. maximaler  
Crackingwert im  
interessierenden  
Bauteilbereich

- Korrelationsmatrix
- Verteilungsdarstellung aus Histogramm
- Korrelations- und Bestimmtheitsmasse

(Optislang)



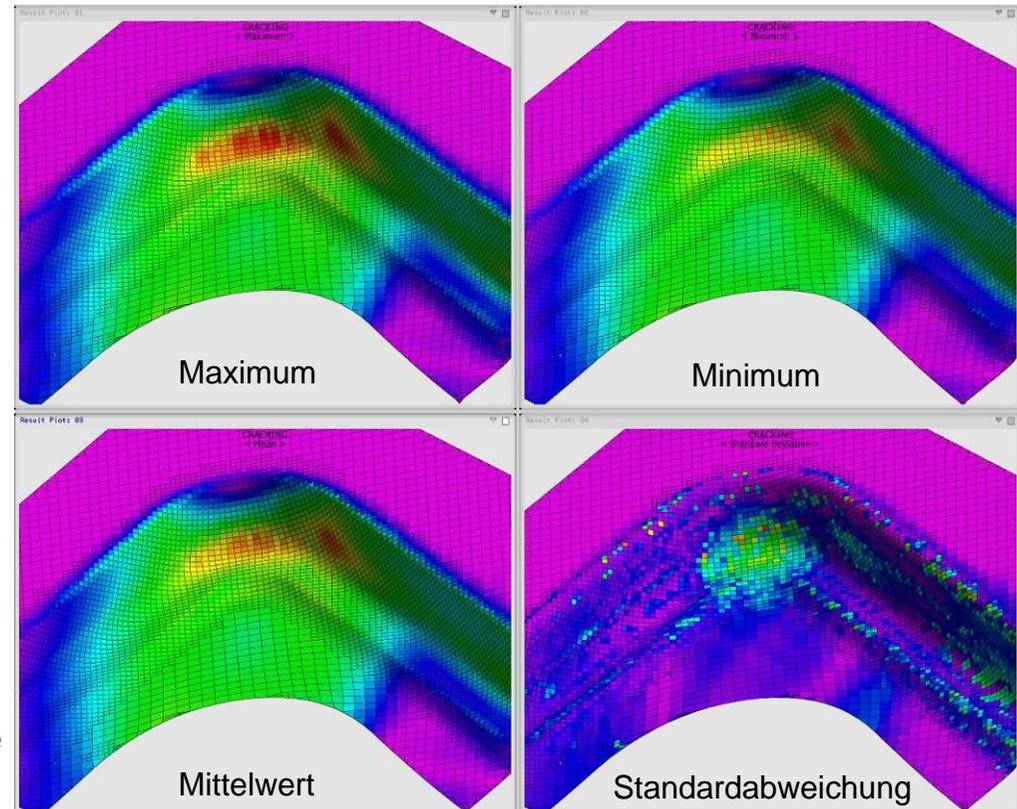
# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



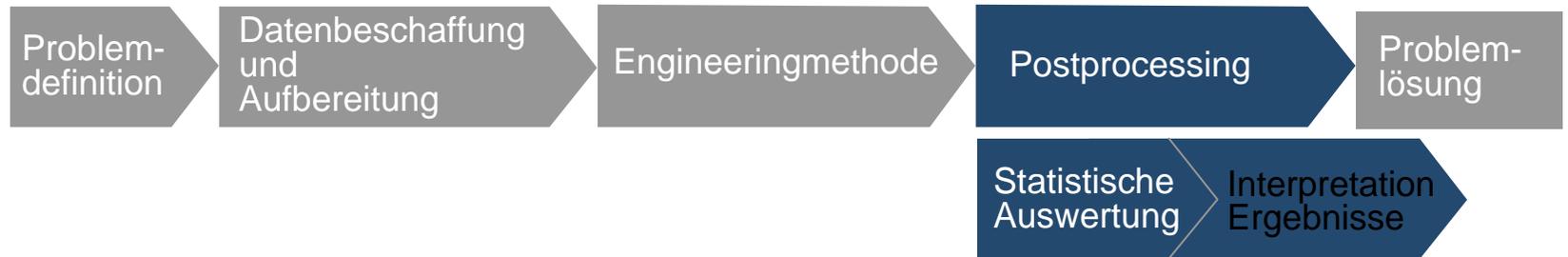
Elementweise Darstellung statistischer Größen (hier Cracking)

- Maximum
- Minimum
- Mittelwert
- Standardabweichung

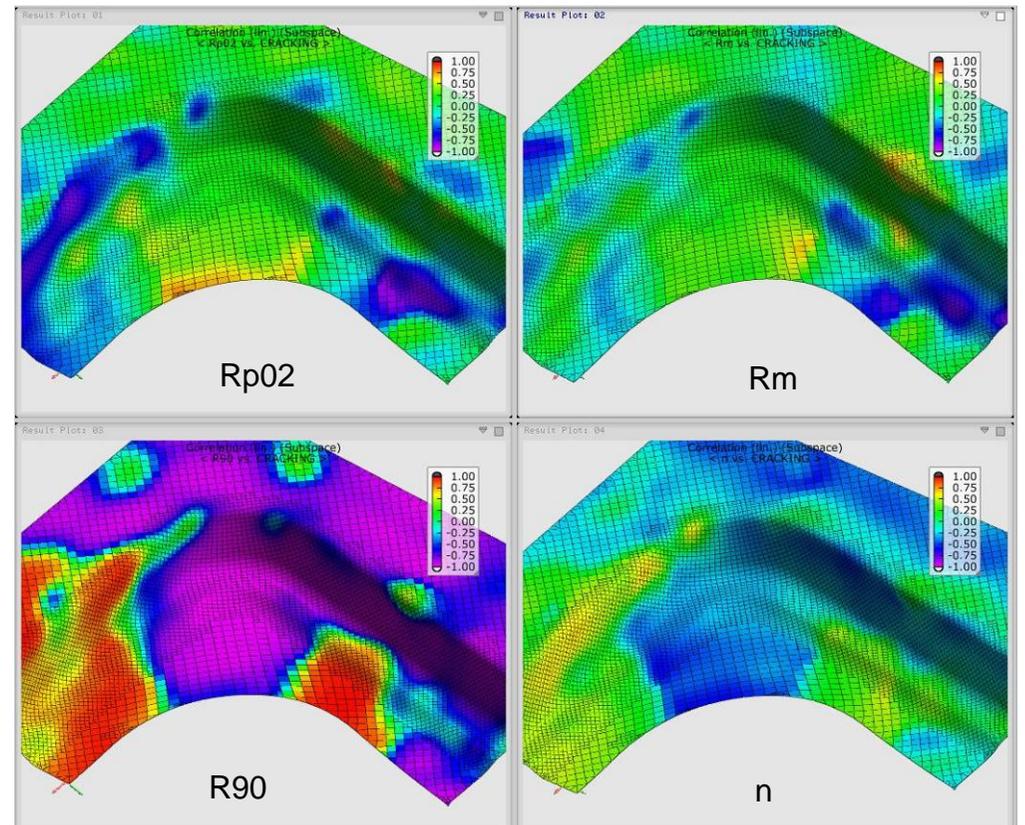
sos, statistics on structure (Dynardo)



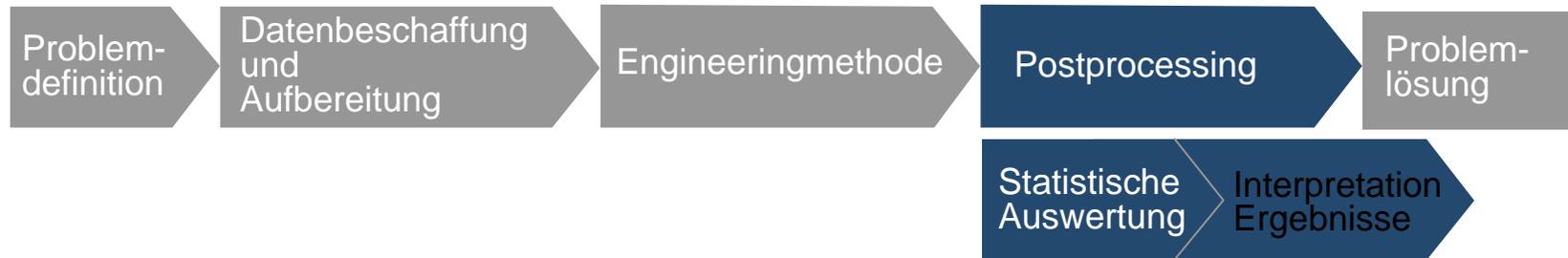
# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



Elementweise Darstellung  
Korrelationswerte je Inputgröße  
auf Qualitätskennzahl  
(hier Cracking)



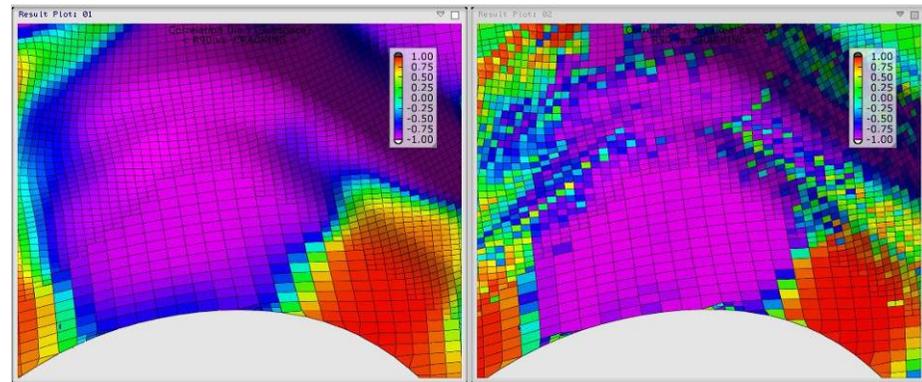
# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



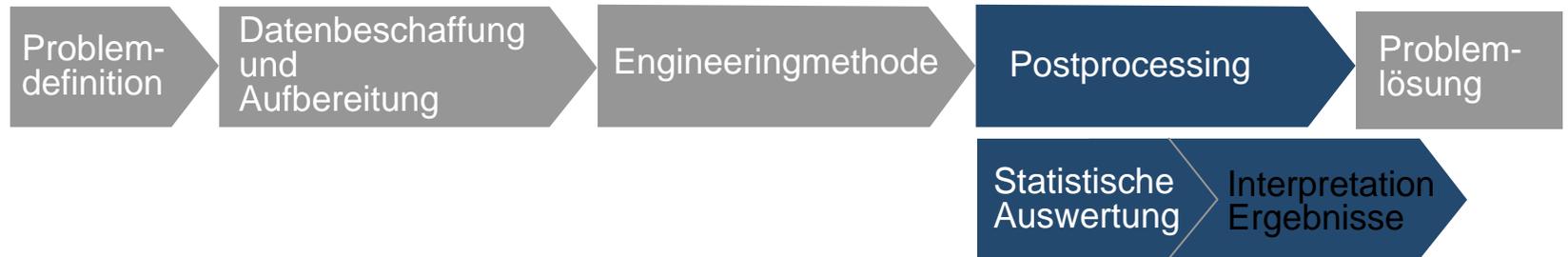
Reduzierung statistisches Rauschen  
(zu geringe Anzahl Durchrechnungen)

Projektion der Korrelationswerte auf stochastische Felder

→ Erkennen der tatsächlichen Effekte



# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



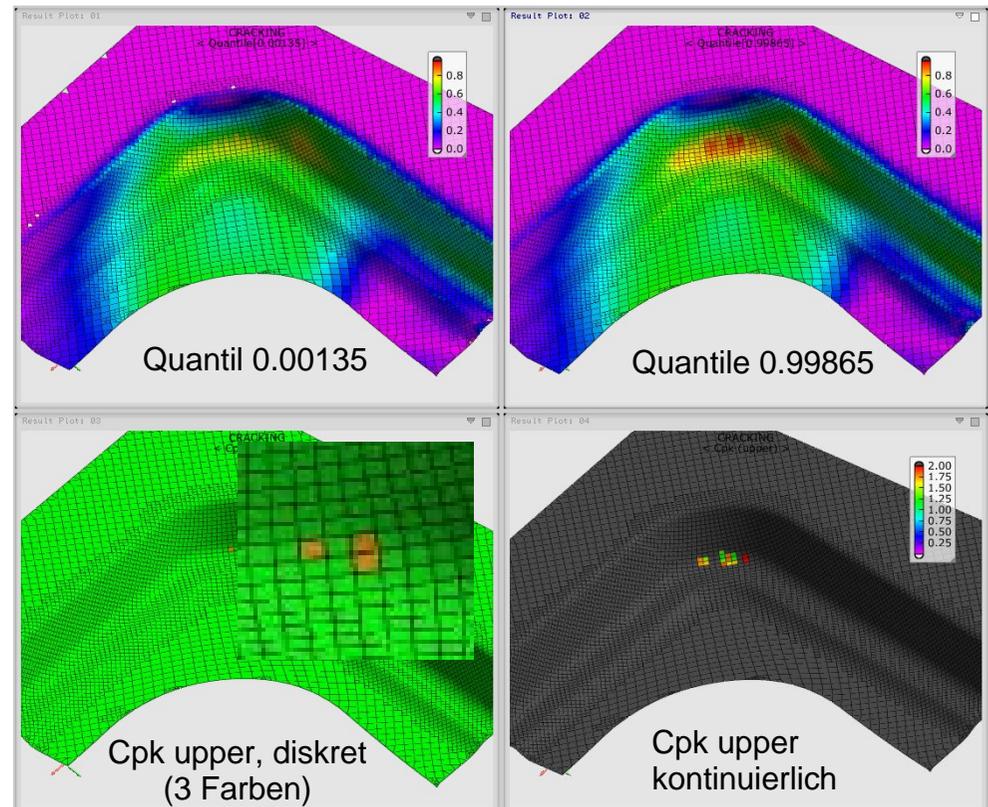
Beurteilung der Robustheit:

Darstellung von Quantilwerten

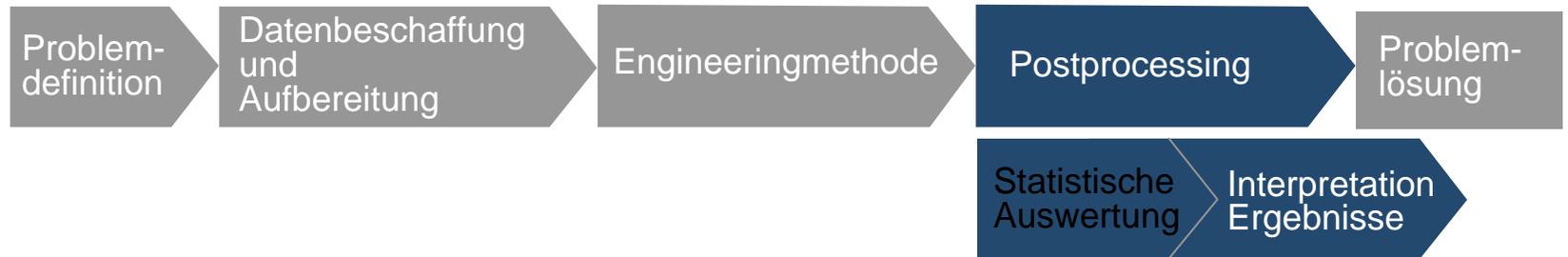
0.00135 ( $\mu - 3\sigma$ )

0.99865 ( $\mu + 3\sigma$ )

Cpk-Werte



# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Prozessmodell.



## Interpretation und Lösungsfindung

**Prozess**      Sicken- und Blechhalterkräfte  
Reibung (Schmierung)

**Material**      Materialkennwerte  
Blechdicke

**Geometrie**      Werkzeuggeometrie  
Platinengröße, -geometrie  
Sickenlage

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Beispiel - Seitenrahmen.



BMW 7er

## Ausgangslage:

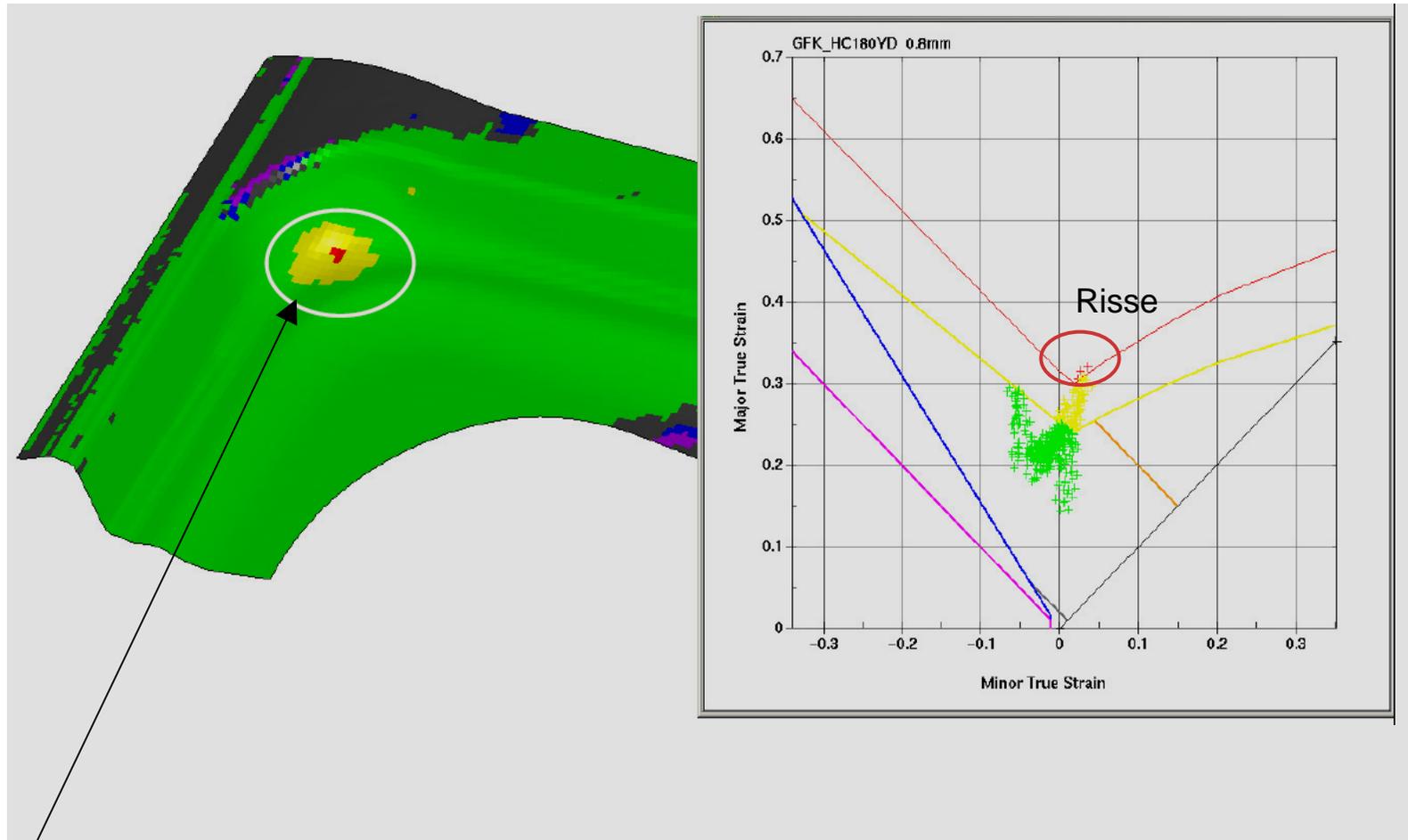
Ausschuss im Serienprozess,  
Prozessstabilisierung nach Chargenwechsel (selbe Werkstoffgüte)

## Fragestellung:

Hätten die Auswirkungen des Chargenwechsels vorhergesehen werden können?

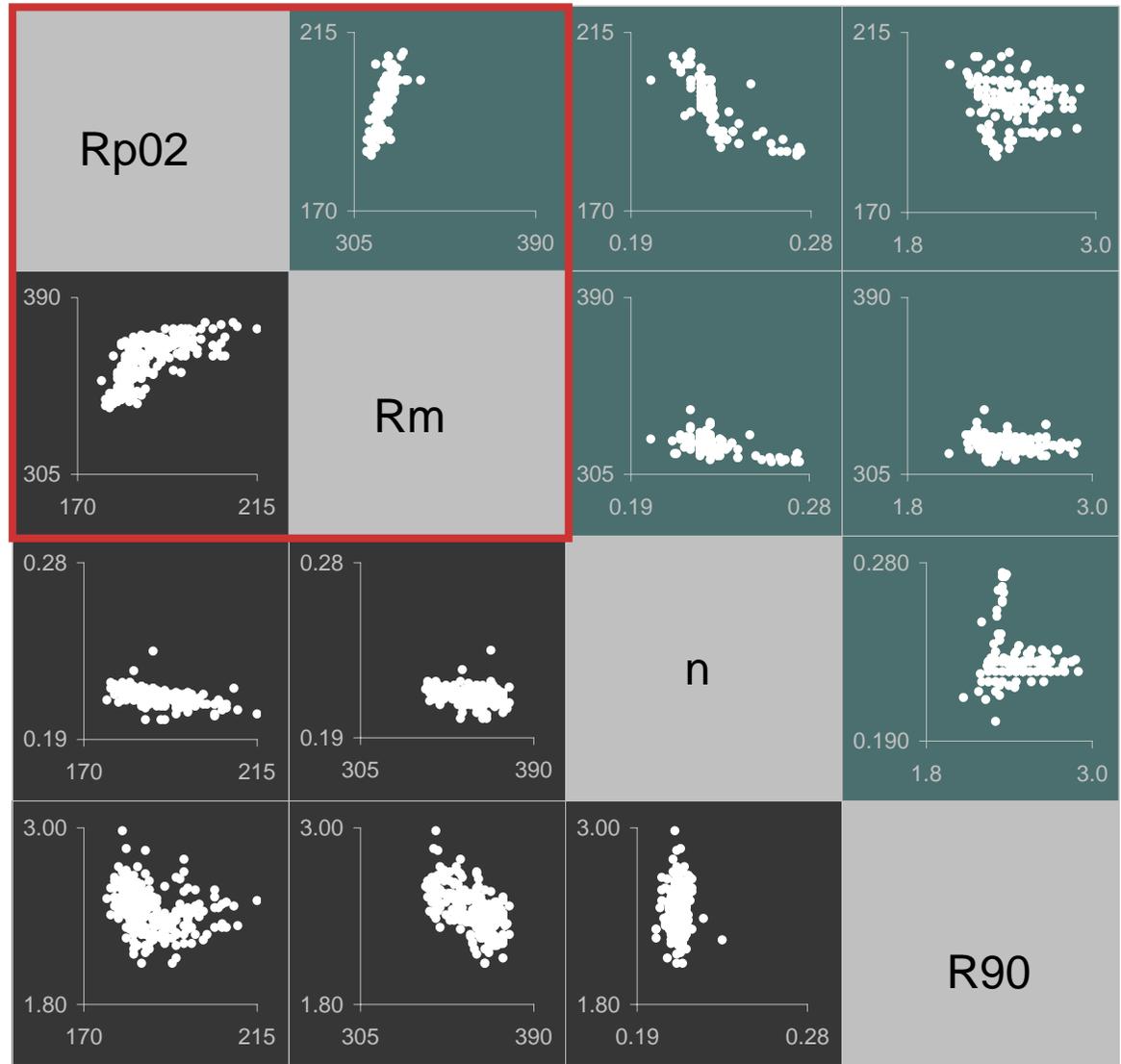
Wie wirkt sich die Werkstoffmodellierung auf Robustheits- und Sensitivitätsaussagen aus?

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Beispiel - Seitenrahmen.



betrachteter Bauteilbereich

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Beispiel - Seitenrahmen.



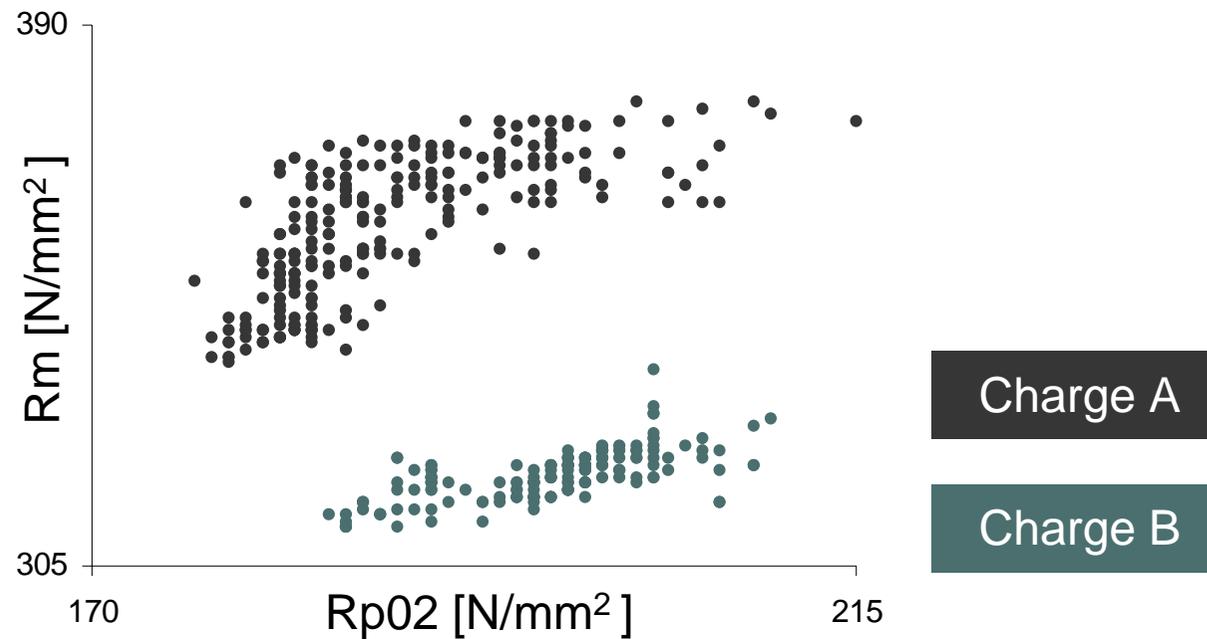
Charge A

Charge B

gemessene  
Werkstoffdaten

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Beispiel - Seitenrahmen.

Streuungen der Streckgrenzen ( $R_{p02}$ ) und Zugfestigkeiten ( $R_m$ ) der beiden untersuchten Chargen. Innerhalb Liefertoleranzen.



# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Beispiel - Seitenrahmen.

## Vorgehensweise:

Modellierung der **Fliesskurven** der beiden Chargen mit Extrapolationsansatz nach Swift und Ludwik

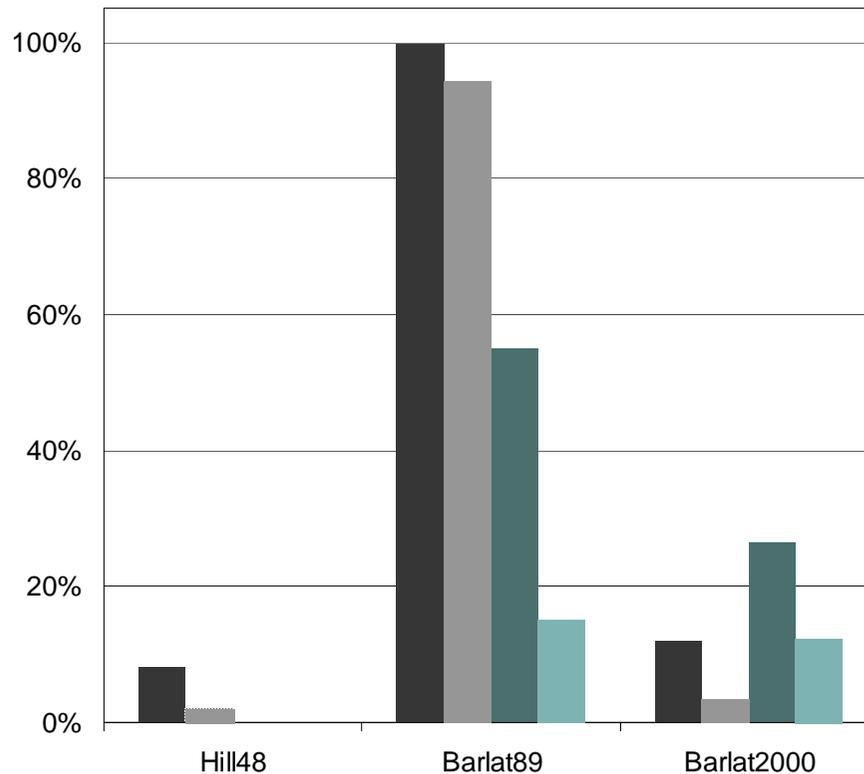
Modellierung der **Fliessorte** der beiden Chargen nach

- Hill48 (Barlat89  $m=2$ )
- Barlat89,  $m=4$
- Barlat2000

Vergleich der berechneten **Ausschusszahlen und Sensitivitäten**

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Beispiel - Seitenrahmen.

Prognostizierte  
Ausschusswerte in %



entspricht Erfahrung Realität

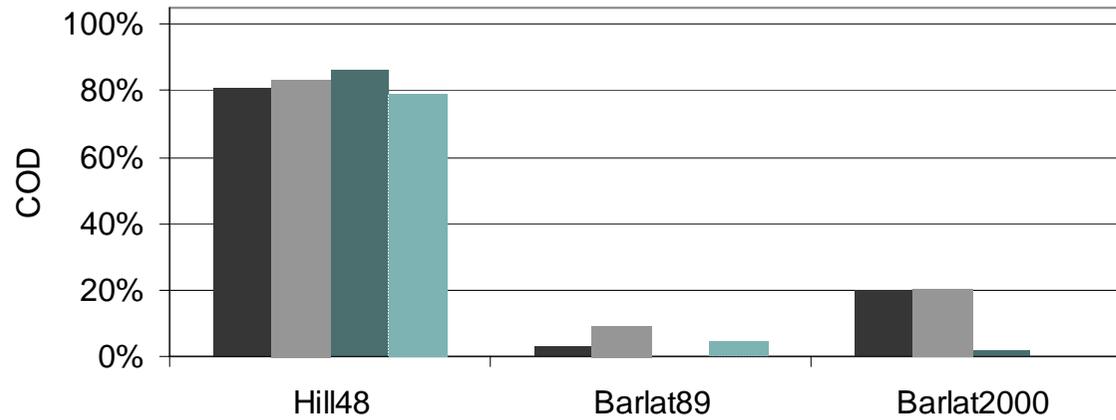
nach Hill48 und Barlat89  
→ Charge **B** besser als **A**

nach Barlat2000  
→ Charge **A** besser als **B**

- Charge A, Swift
- Charge A, Ludwik
- Charge B, Swift
- Charge B, Ludwik

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Beispiel - Seitenrahmen.

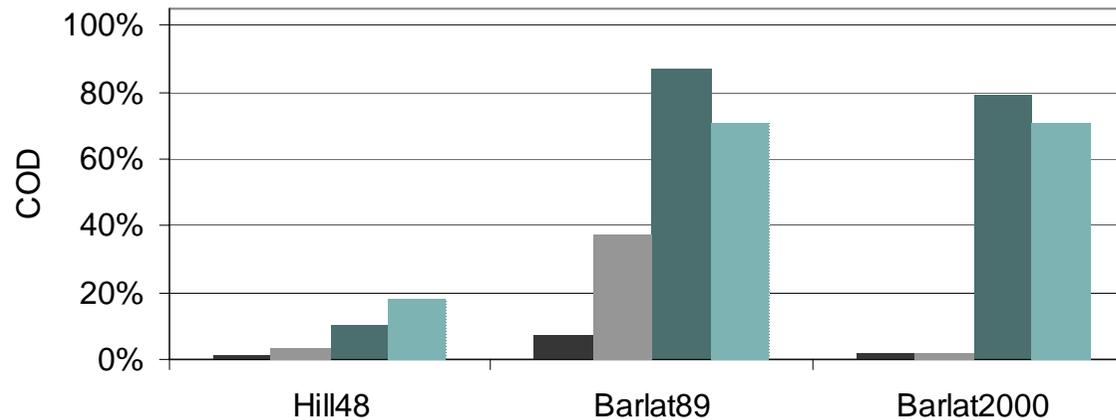
### R90



nach Hill 48:  
R90 maßgebend

nach Barlat89/2000:  
n-Wert maßgebend

### n



- Charge A, Swift
- Charge A, Ludwik
- Charge B, Swift
- Charge B, Ludwik

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Schlussfolgerungen- Materialmodellierung.

Je nach Werkstoffmodellierung können Sensitivitäts- und Robustheitsaussagen unterschiedlich ausfallen und sich sogar widersprechen

Die Wahl der Werkstoffmodellierung muss zusätzlich experimentell unterstützt werden.

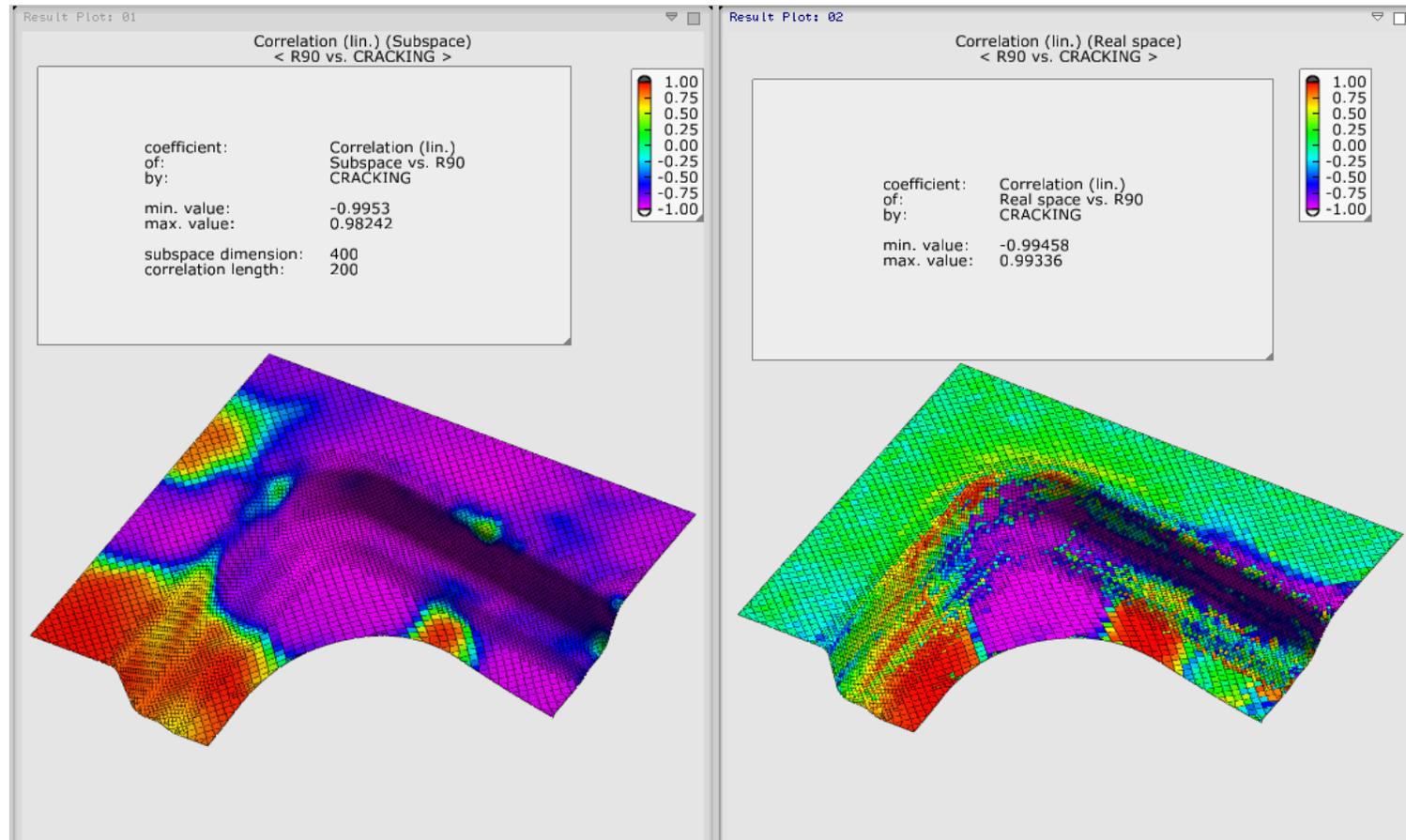
→ Hinzuziehen weiterer Messwerte

Durch den Einsatz stochastischer Simulationsverfahren konnte die Wichtigkeit der Werkstoffmodellierung aufgezeigt werden.

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Schwierigkeiten beim Einsatz der Methoden.

- Lange Rechenzeiten der Simulationsmodelle,  
Reduzierung nicht immer sinnvoll möglich
- Unsicherheiten in der Modellierung der Werkstoffkennwerte
- SOS Einsatz:
  - Speicherprobleme, nur für Modelle mit max ca. 12'000  
Elementen durchführbar (Praxis bis zu 500'000)
    - Mapping auf gröberes Netz nicht immer sinnvoll
    - Betrachtung von Bauteilausschnitten, Vorteil der globalen  
Betrachtung geht verloren
  - Projektionsdarstellung nicht immer zufriedenstellend

# Prozessrobustheit in der Blechumformung. Schwierigkeiten beim Einsatz der Methoden.



„Überschwinger“ in Randbereichen. Verfälschende Visualisierung  
Einsatz und Interpretation ohne tiefere Analyse in der Breite noch nicht  
möglich

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.**