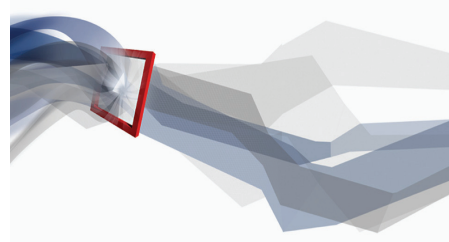


## Maßhaltigkeitsoptimierung bei der Blechumformung für hochfeste Stähle mit LS-DYNA und HyperWorks

Christof Bäuerle (Altair Engineering GmbH)  
Dr.-Ing. Steffen Kulp (Volkswagen AG)  
Gonzalo de los Ríos (Altair Engineering GmbH)



VOLKSWAGEN AG



Altair Engineering

### Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

#### Überblick

##### ▲ Motivation

- Prozessschritte
- Werkzeuge zur Kompensation

##### ▲ Einführung und Aufbau HyperMorph

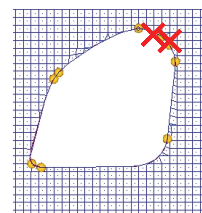
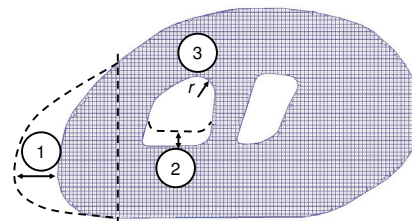
- Morphing-Konzept
- Morphing-Features

##### ▲ Rückfederungskompensation beim Tiefziehen

- Einsatz von HyperWorks zur Formoptimierung
- Definition der Parameter
- Bestimmung der Zielfunktion und der Constraints

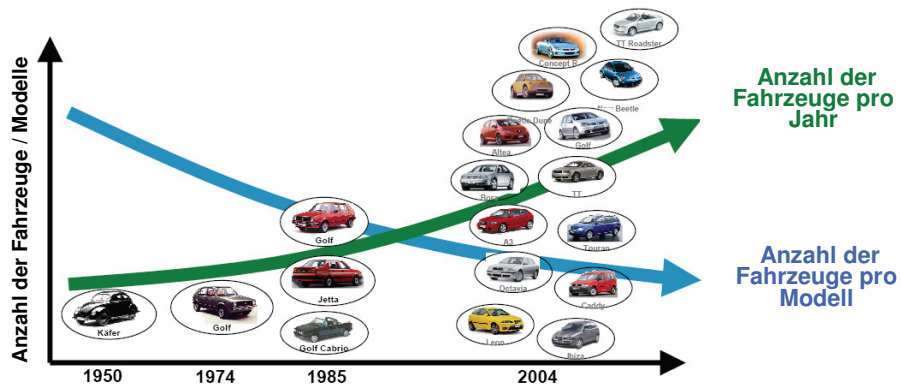
##### ▲ Erweiterungsmöglichkeiten

- Kompensation bei Bauteilen mit Ankonstruktion



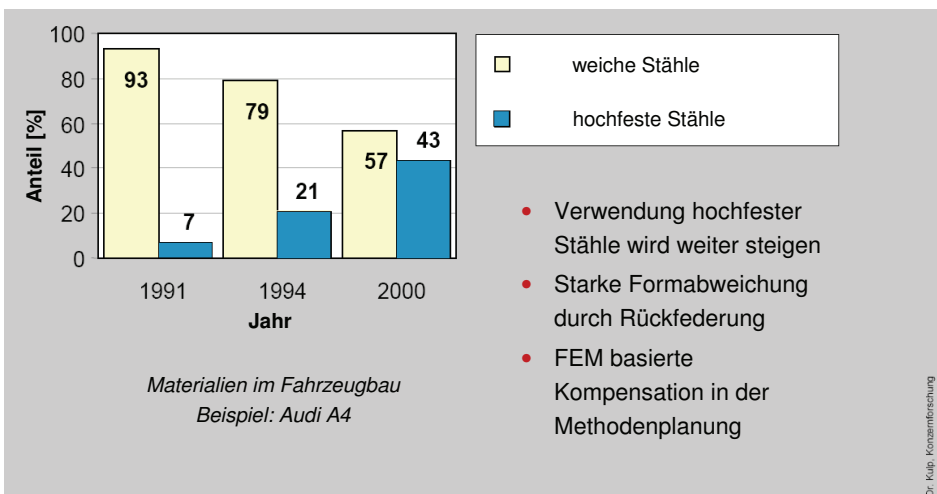
Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

Motivation zur Kompensation der Rückfederung



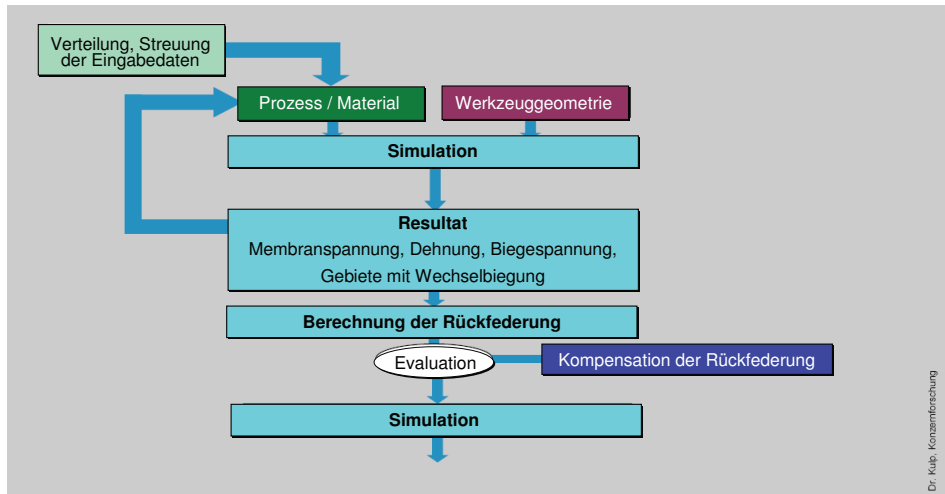
Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

Einsatz hochfester Stähle



Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

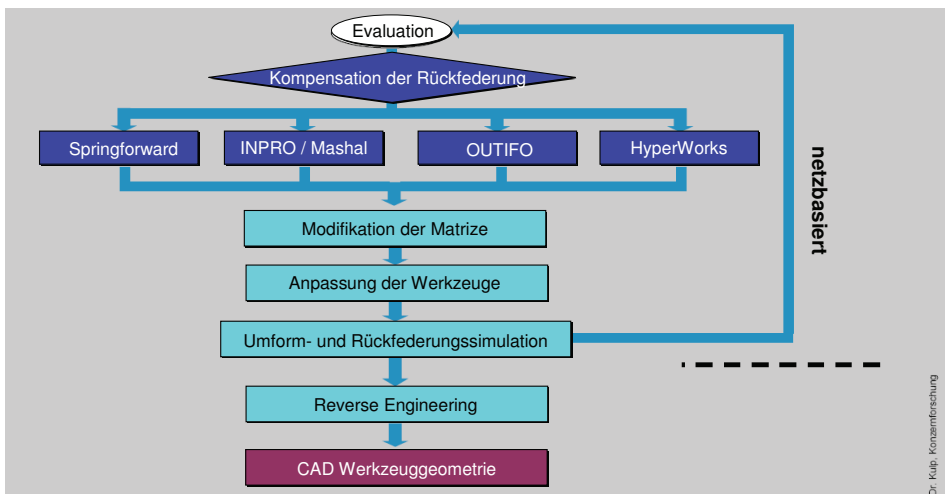
Prozessschritte zur Kompensation der Rückfederung



Dr. Kulp, Konzernforschung

Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

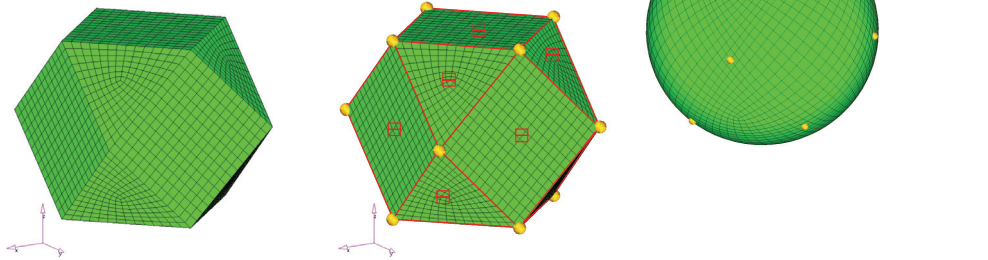
Kompensationswerkzeuge



Dr. Kulp, Konzernforschung

## Morphing-Konzept

- ▲ (automatische) Parametrisierung des Modells
  - ▲ FE-Netz wird in *Domains* aufgeteilt
  - ▲ *Handles* kontrollieren Form der *Domains*
  - ▲ Bewegung der *Handles* beeinflusst über die *Domains* die Knotenposition
  - ▲ Knoten nahe an *Handles* bewegen sich stärker als weiter entfernte Knoten

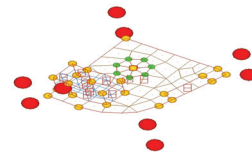


Volkswagen AG - Altair Engineering GmbH

7

## Einsatzmöglichkeiten

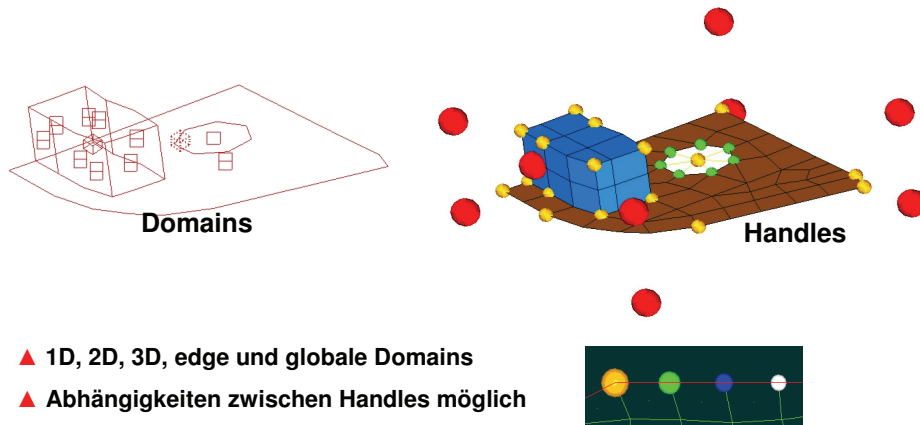
- ▲ Anpassung des FE-Netzes an einen neuen Designstand
  - ▲ automatische Parametrisierung des FE-Netzes
  - ▲ interaktive Modifikationen von Radien, Winkeln, Wandstärken etc.
  - ▲ keine Veränderungen der Geometriedaten im CAD-System
  - ▲ keine zeitaufwändige Neuvernetzung
  - ▲ Flächenrückführung des veränderten Netzes
- ▲ Variantenerstellung für spätere Formoptimierung mit Altair OptiStruct und HyperStudy
  - ▲ komfortable Erzeugung von Designvariablen zur Formoptimierung
  - ▲ simultane Verwaltung mehrerer Formveränderungen
- ▲ nahtlose Integration in HyperMesh und HyperForm



Volkswagen AG - Altair Engineering GmbH

8

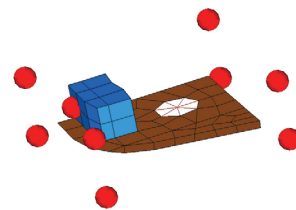
## Aufteilung des Modells - Domains und Handles



## Domains und Handles

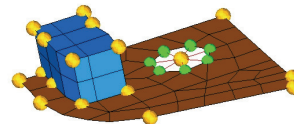
### ▲ globale Domains und Handles

- ▲ jeder Knoten gehört automatisch zu dem globalen Domain
- ▲ globale Handles beeinflussen deswegen jeden Knoten im Modell
- ▲ die globalen Handles werden benutzt, wenn weitflächige (large scale) Formänderungen erzeugt werden sollen



### ▲ lokale Domains und Handels

- ▲ es gibt vier lokale Domaintypen: 1D, 2D, 3D und edge Domains
- ▲ jedes lokale Domain kann beliebig viele lokale Handles beinhalten
- ▲ lokale Handles werden für kleine (small scale) Formänderungen verwendet



Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

**Morphing-Features: Handle - Biasing**

▲ nichtlineares Morphing durch Biasing-Faktoren für einzelne Handles

**Tool: HyperMorph - Morph - set biasing**

Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

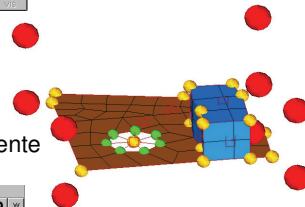
**Erzeugung von lokalen Domains**

▲ **Autogenerare** - automatische Aufteilung des Modells in lokale Domains

**Tool: HyperMorph - Domains - create**

▲ **Manuelle Erzeugung** - durch Selektion einzelner FE-Elemente

**Tool: HyperMorph - Domains - create**



## Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

**Morphing-Features: Bewegen von Handles**

- ▲ *on domains:* Handles werden auf Domains verschoben
- ▲ *along xyz/vector:* Vorgabe einer Richtung durch  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ /Vektor
- ▲ *along line/plane/surface:* Vorgabe einer Linie/Ebene/Fläche
- ▲ *interaktiv:* Freie Bewegung, kontrolliert mit der Maus
- ▲ *translate/rotate:* Vorgabe einer Distanz / eines Winkels
- ▲ *move to XYZ/node:* Vorgabe von x-, y-, z-Koordinaten / Knoten



Tool: HyperMorph - Morph - move handles

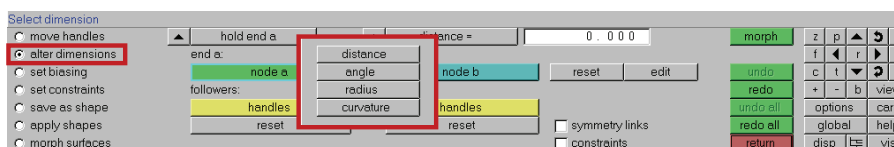
Volkswagen AG - Altair Engineering GmbH

13

## Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

**Morphing-Features: Parametrisches Morphen**

- ▲ kontrolliertes Morphen durch Angabe eines Morphing Parameters
- ▲ kontrolliert geändert werden können:
  - ▲ Abstände
  - ▲ Winkel
  - ▲ Radien
  - ▲ Krümmungen



Tool: HyperMorph - Morph - alter dimensions

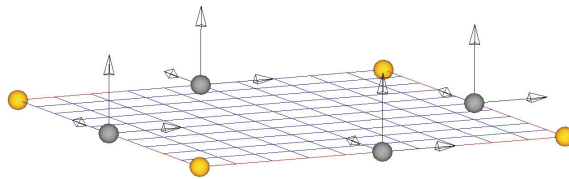
Volkswagen AG - Altair Engineering GmbH

14

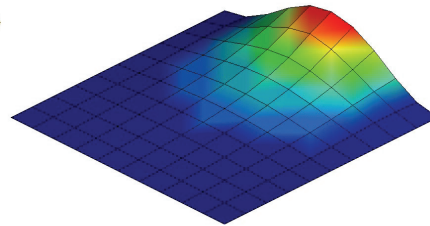
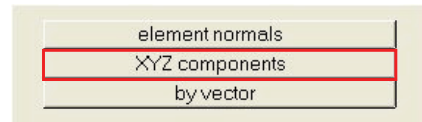
## Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

**Morphing-Features: Autoshape**

- ▲ automatische Erzeugung von Shapes.
- ▲ es wird eine Shape pro Handle und pro Richtung angelegt (z.B. Handle1-x, Handle1-y, Handle2-x, ...)



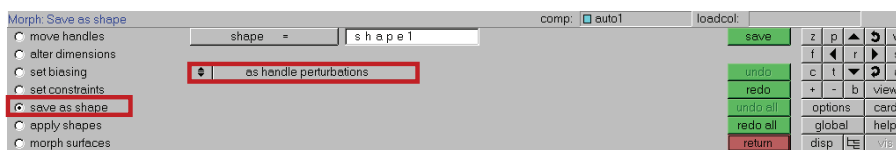
Beispiel: Autoshape für 4 Handles  
und jeweils 3 Raumrichtungen  
(ergibt 12 Shapes)



## Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

**Morphing-Features: Save / Apply Shapes**

- ▲ Unterschied zwischen Basis-Netz und dem gemorphten Netz als *Shape* speicherbar
- ▲ Shapes können als Formfunktionen für die Optimierung oder für parametrische Studien verwendet werden
- ▲ Speicherung der Shapes als *Handle Pertubations* oder *Node Pertubations*



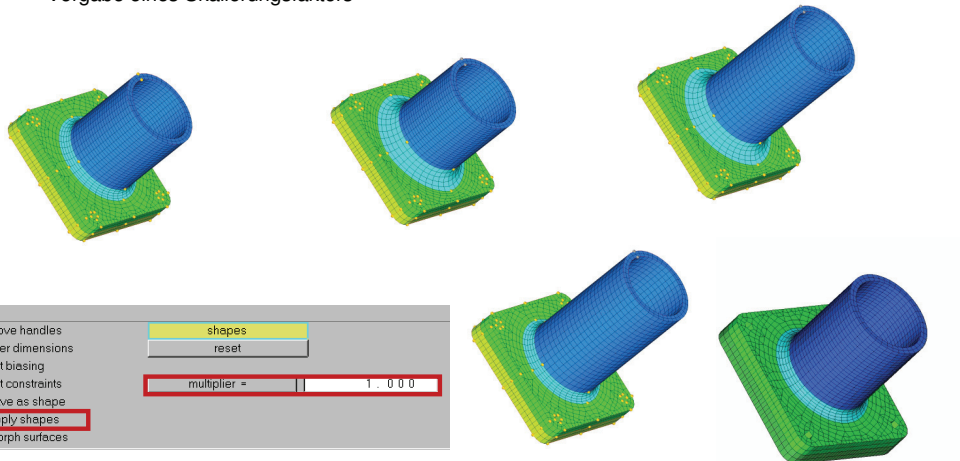
Tool: HyperMorph - Morph - save as shape



## Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

**Morphing-Features: Save / Apply Shapes**

- ▲ Wiederaufbringen von gespeicherten Shapes auf das Modell
- ▲ Vorgabe eines Skalierungsfaktors



Tool: HyperMorph - Morph - apply shape

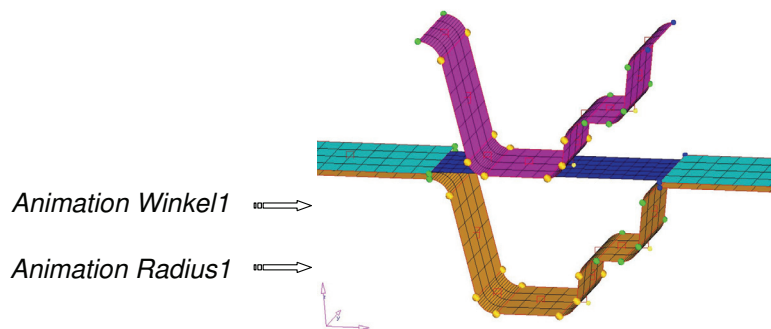
Volkswagen AG - Altair Engineering GmbH

17

## Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

**Maßhaltigkeitsoptimierung - HyperMorph**

- ▲ Parametrisierung (Morphing) und Definition der Formfunktionen (Shapes)
  - Radius am Boden R1 : Nominalwert 10 mm → min 5mm
  - Flankenwinkel  $\theta_1$  : Nominalwert  $10^\circ$  → min  $1^\circ$



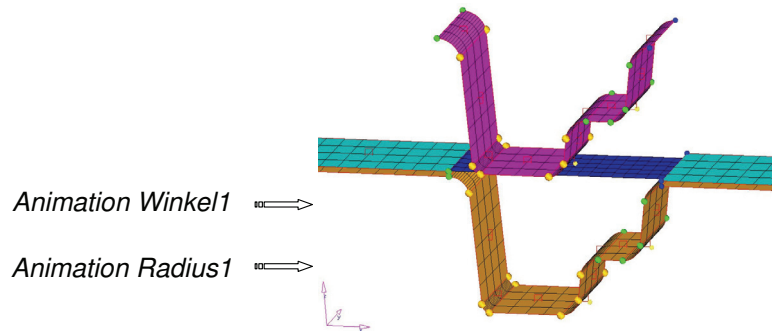
Volkswagen AG - Altair Engineering GmbH

18

## Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

Maßhaltigkeitsoptimierung - *HyperMorph*

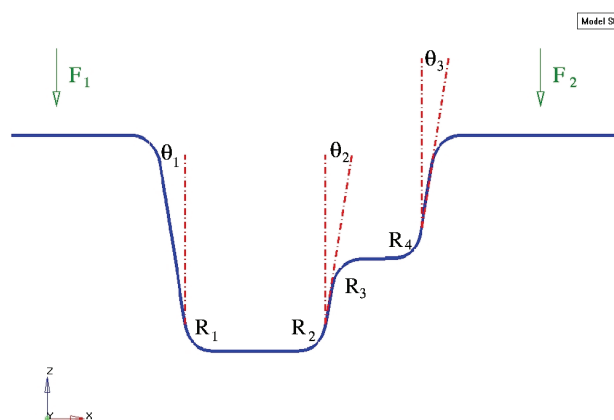
- ▲ Parametrisierung (Morphing) und Definition der Formfunktionen (Shapes)
  - Radius am Boden R1 : Nominalwert 10 mm → min 5mm
  - Flankenwinkel  $\theta_1$  : Nominalwert  $10^\circ$  → min  $1^\circ$



## Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

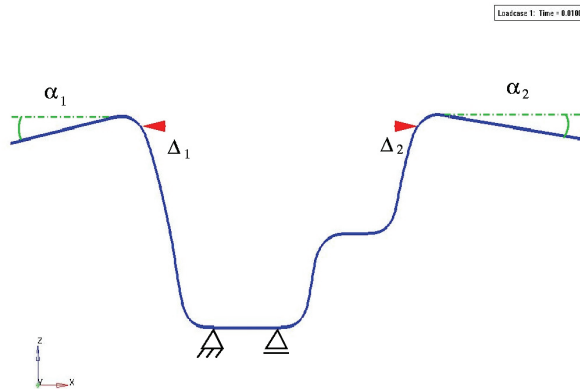
## Parameter und Designraum

- ▲ Radien  
[5 mm, 10 mm]  
Start: 10 mm
- ▲ Winkel  
[ $1^\circ$ ,  $10^\circ$ ]  
Start:  $10^\circ$
- ▲ Kräfte  
[5000 N, 50000 N]  
Start: 40000 N

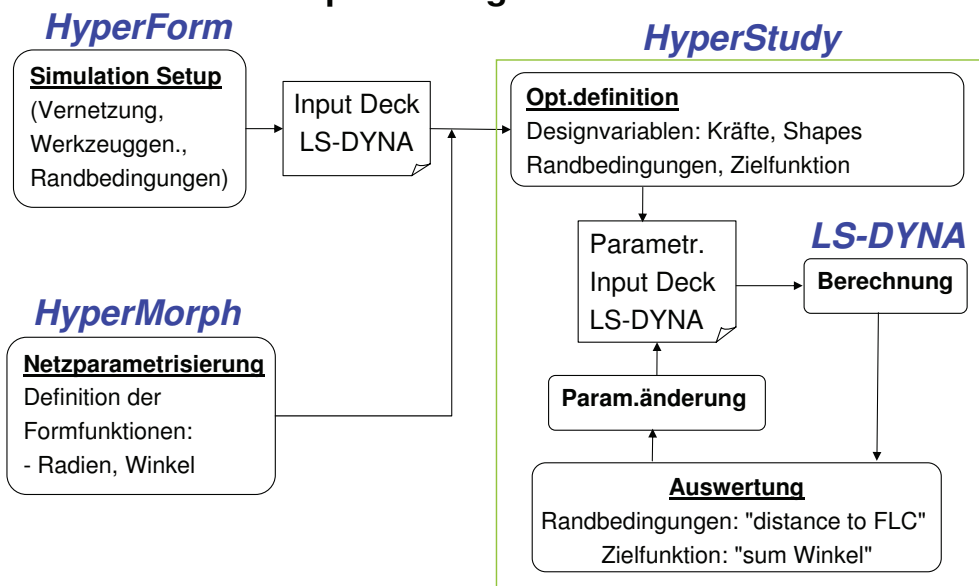


### Definition der Zielfunktion

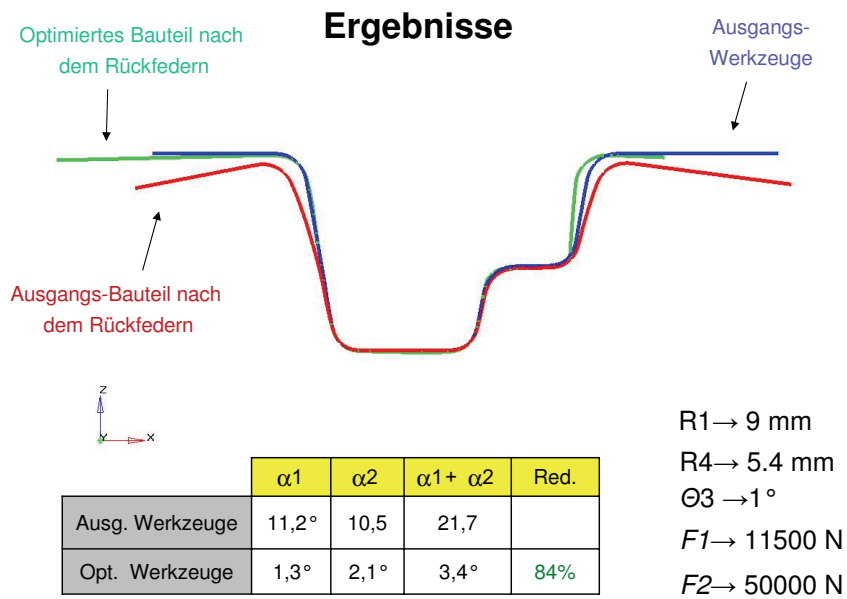
- ▲ Zielfunktion
  - Abstände zu Referenzpunkten
  - Summe der Winkel
  
- ▲ Störung
  - Einfluss der Diskretisierung
  - Einfluss der Randbedingung



### Formoptimierung - Prozessverlauf

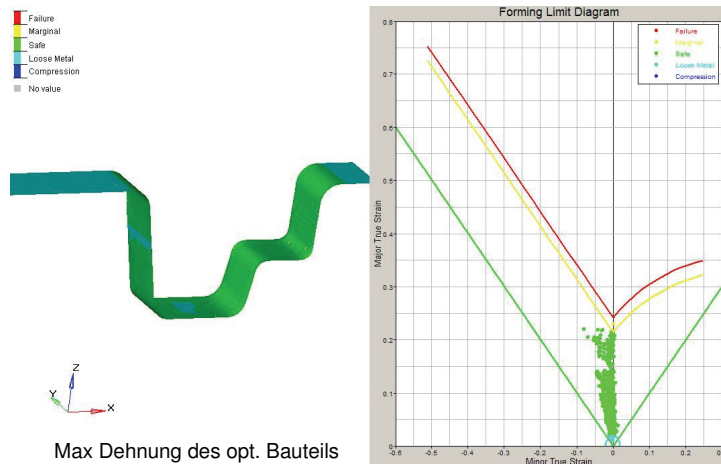


Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle



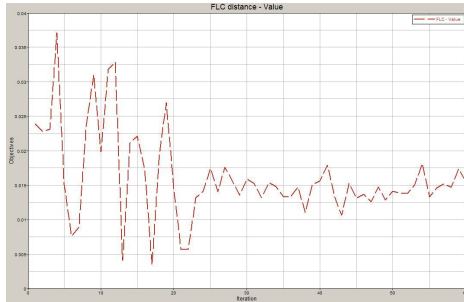
Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

### FLC Constraint

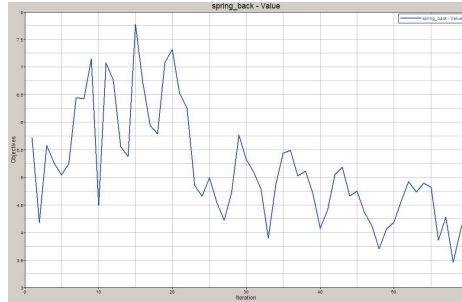


## Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

## Konvergenz der Methode (DoE, Opt)



Verlauf des FLC Constraints

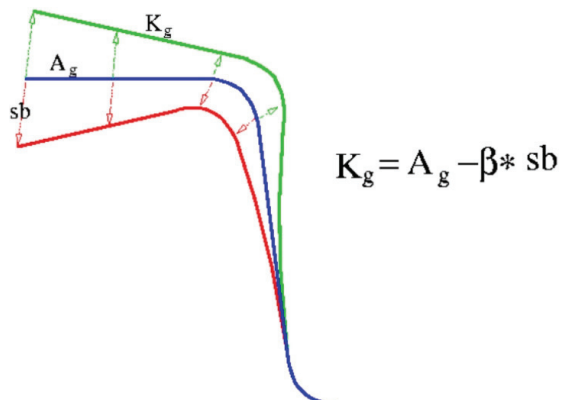


Verlauf der Zielfunktion

## Maßhaltigkeitsoptimierung für hochfeste Stähle

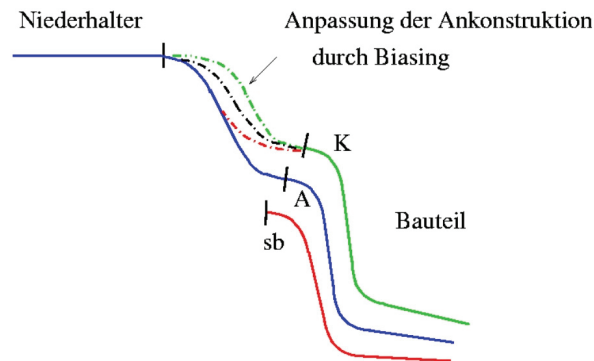
## Lokale Kompensation

- ▲ Schwierigkeit
  - Vermeidung von Hinterschnitt
  - Niederhalterfläche darf nicht verändert werden
- ▲ Vorteil
  - Reduktion der Dimension des Parameterraumes
  - Anwendbar bei hoher Rechenzeit



## Erweiterung der Methode

- ▲ Anpassung der Werkzeuggeometrie durch globale Handle
- ▲ Rückfederung bestimmt die Verschiebung der Handle
- ▲ Variable und glatte Modifikation der Ankonstruktion durch Biasing



## Zusammenfassung, Diskussion, weiteres Vorgehen

- ▲ **Durchgängige und automatisierte Simulations- und Optimierungsschleife mit Altair HyperWorks**
  - Für LS-DYNA bereits realisiert
  - Machbarkeit konnte am Demo-Bauteil aufgezeigt werden
- ▲ **Morphing Technologie**
  - Einfaches Parametrisieren des Werkzeuges
  - Automatisierte geometrische Variation auf FE Basis
  - Berücksichtigung von geometrischen Abhängigkeiten (Stempel <-> Matrize)
- ▲ **Form- und Parameteroptimierung**
  - Berücksichtigung von Herstellbarkeit (Blechhalterkraft, FLC) sowie Rückfederung (Maßhaltigkeit, FLC) in der Optimierungsschleife
- ▲ **Tcl/TK Schnittstelle**
  - Hohes Potenzial der Methode korreliert mit Komplexität
  - Applikation durch Customizing