

3. LS-DYNA Forum 2004

# Validierung der Rückfederungssimulation für hochfeste Stähle und Aluminium mit LS-DYNA

Bernd Hochholdinger, DYNAmore GmbH

14. Oktober 2004, Bamberg



## Agenda

---

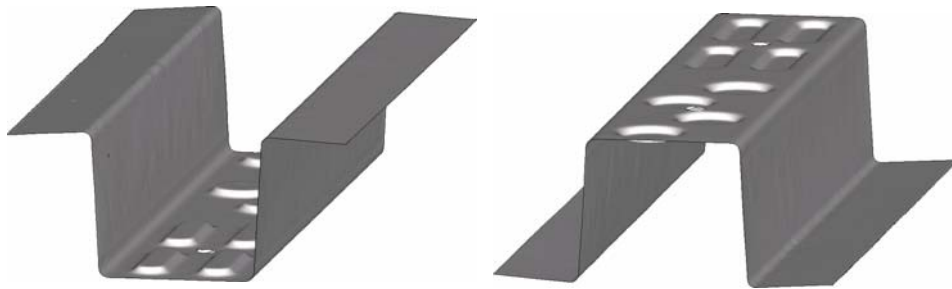
- Vorstellung des untersuchten Bauteils
  - Untersuchte Werkstoffe
  - LS-DYNA Ausgangsmodell
    - Umformsimulation
    - Rückfederungssimulation
  - Ergebnisse des Ausgangsmodells für die untersuchten Werkstoffe
  - Untersuchung des Einflusses verschiedener Simulationsparameter:
    - Anzahl der Integrationspunkte
    - Elementformulierung
    - Werkzeuggeschwindigkeit/Massenskalierung
  - Zusammenfassung
- 



---

### Untersuchtes Bauteil

Benchmark-Bauteil des  
**Arbeitskreises „Verbesserung der Rückfederungssimulation“**  
der **Volkswagen AG**  
Arbeitskreisvorsitzender: **Dr. Steffen Kulp**



---

### Untersuchte Werkstoffe

- DX53
- DP600
- TRIP700
- CP-W800
  
- AA6016



### Ausgangsmodell zur Simulation des Umformprozesses

- Werkzeugnetze:
  - max. Elementkantenlänge: 10.0 mm
  - zul. Sekantenfehler: 0.02 mm
- Reibwert: 0.16
- verschiebungskontrolliertes Werkzeug:
  - „sinus with hold“ – Geschwindigkeit über Zeit - Kurve
  - maximale Werkzeuggeschwindigkeit: 3000.0 mm/s
- Platinennetz:
  - vollintegrierte Schalenelemente
  - 9 Gauss - Integrationspunkte in Dickenrichtung
  - vorverfeinertes Platinennetz (4 Verfeinerungsstufen):
    - größte Kantenlänge: 10.0 mm
    - kleinste Kantenlänge: 0.625 mm
  - Massenskalierung - kleinster zul. Zeitschritt: 0.18  $\mu$ s

LS-DYNA Ausgangsmodell



### Ausgangsmodell zur Simulation des Umformprozesses

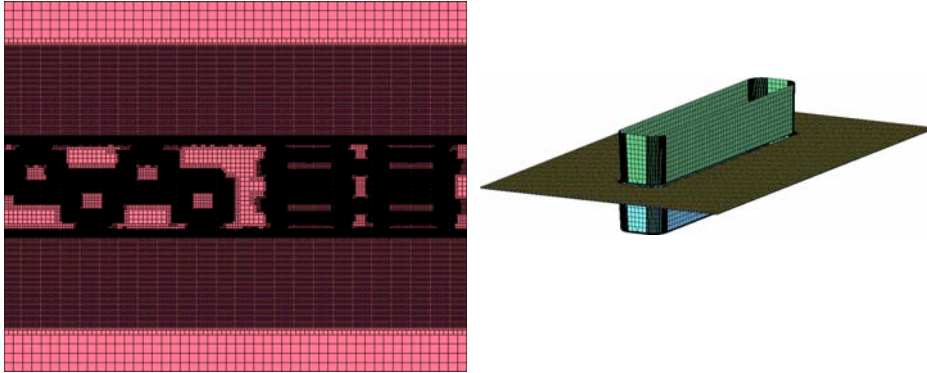
- Materialmodell:
  - LS-DYNA: \*MAT\_3-PARAMETER\_BARLAT (BARLAT-LIAN'89)
  - Fließbedingung:
 
$$\Phi = a|K_1 + K_2|^m + a|K_1 - K_2|^m + c|2K_2|^m = 2\sigma_Y^m$$
    - für m=2 → HILL48
- Kontakt:
  - Penalty-Kontakt:
    - \*CONTACT\_FORMING\_ONE\_WAY\_SURFACE\_TO\_SURFACE
  - 20% Kontaktdämpfung

LS-DYNA Ausgangsmodell



### Ausgangsmodell zur Simulation des Umformprozesses

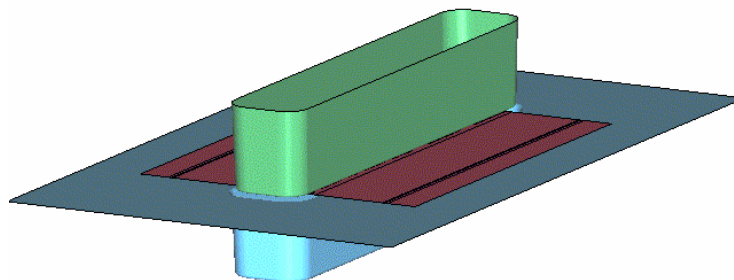
- Vorverfeinertes Platinennetz



LS-DYNA Ausgangsmodell



### Ausgangsmodell zur Simulation des Umformprozesses

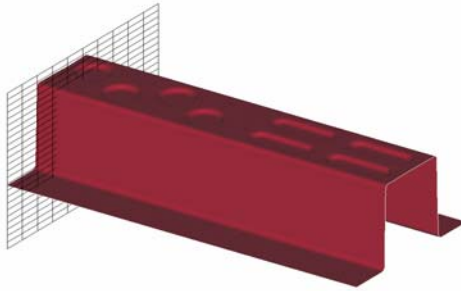
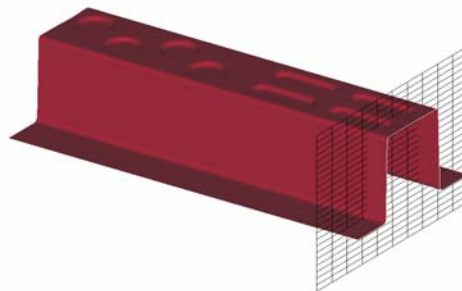


LS-DYNA Ausgangsmodell



## Auswertung der Umformsimulation

1. Flanscheinzug
2. prozentuale Blechdickenänderung in 2 Schnitten

Schnitt links ( $x=-220$  mm)Schnitt rechts ( $x=220$  mm)

LS-DYNA Ausgangsmodell



## Vorgehensweise zur Simulation der Rückfederung

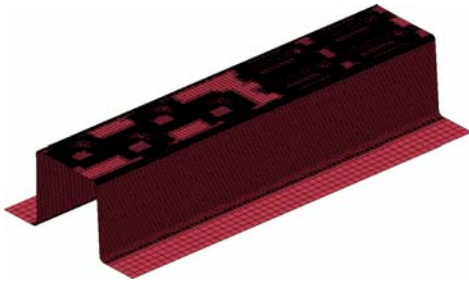
- Schnittstelle zwischen Umform- und Rückfederungssimulation: ASCII Datei „dynain“:
  - Knoten
  - Elementtopologie, Elementdicken
  - für alle Integrationspunkte: Spannungstensor, eff. plast. Dehnung, Geschichtsvariablen
  - Dehnungstensor
- Coarsening: Vergrößerung des Netzes
  - Vergrößerungskriterium: Winkel zwischen Elementnormalen
  - ➔ Reduktion der Freiheitsgrade
  - ➔ weniger Speicher, kürzere Rechenzeiten
- SPRINGBACK: statisch-implizite Berechnung
  - min. statisch bestimmte Lagerung (keine Starrkörperbewegung)
  - Konvergenzkriterien: Verschiebungs- und Energienorm
  - LS-DYNA Double-Precision Version

LS-DYNA Ausgangsmodell

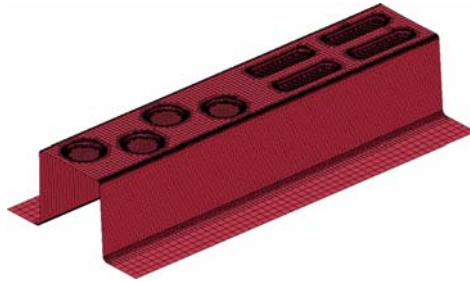


### Coarsening-Schritt

- Netz nach der Umformsimulation (168440 Elemente)



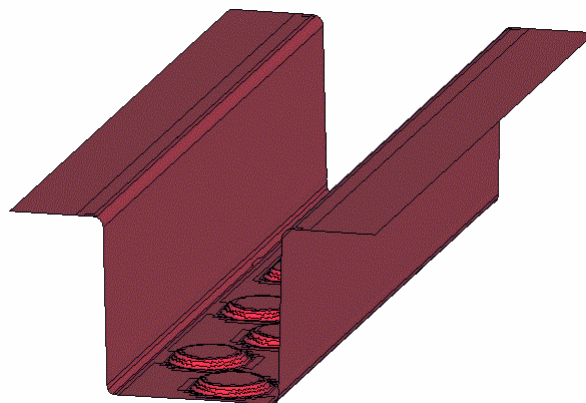
- vergrößertes Netz (54725 Elemente)



LS-DYNA Ausgangsmodell



### Implizite Rückfederungssimulation



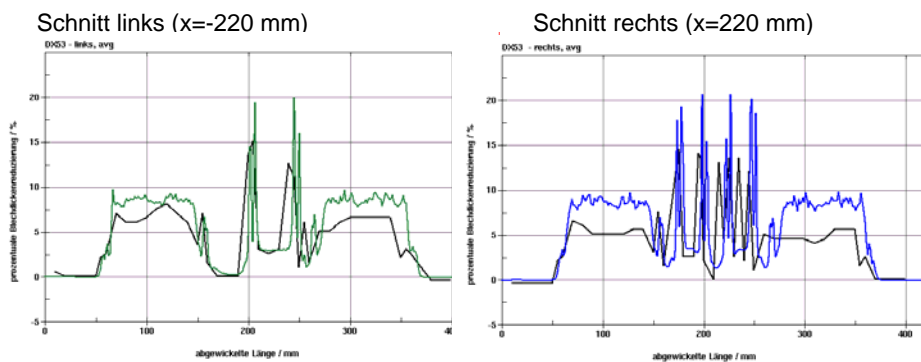
LS-DYNA Ausgangsmodell



## Ergebnisse des Ausgangsmodells für alle Werkstoffe



### Ausgangsmodell mit Werkstoff DX53 – Umformung



- erreichter Einzug: 83.9 mm (SOLL: 83.0 mm)

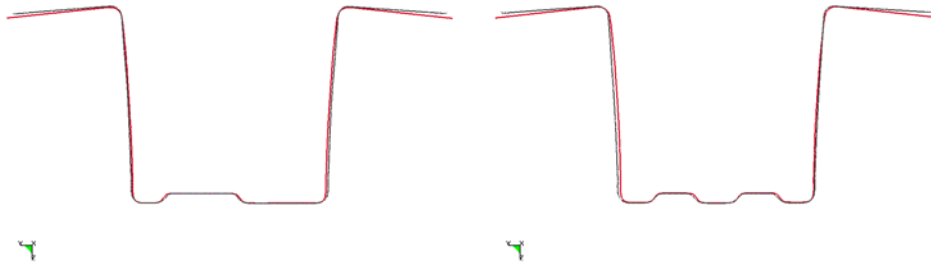
### Ergebnisse des Benchmarks



**Ausgangsmodell mit Werkstoff DX53 – Rückfederung**

Schnitt links (x=-220 mm)

Schnitt rechts (x=220 mm)



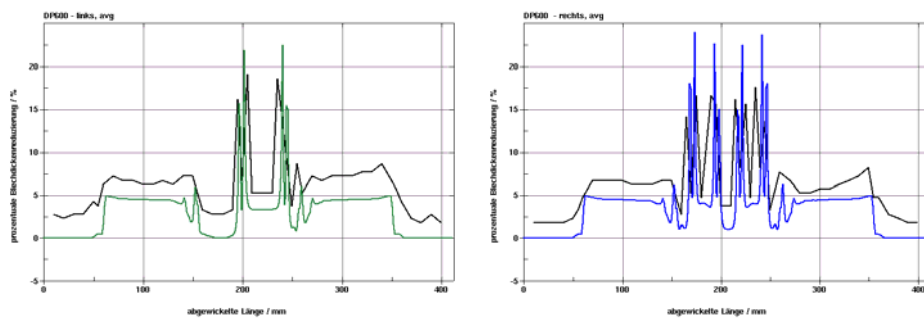
Ergebnisse des Benchmarks



**Ausgangsmodell mit Werkstoff DP600 – Umformung**

Schnitt rechts (x=220 mm)

Schnitt links (x=-220 mm)



➤ erreichter Einzug: 88.6 mm (SOLL: 86.5 mm)

Ergebnisse des Benchmarks

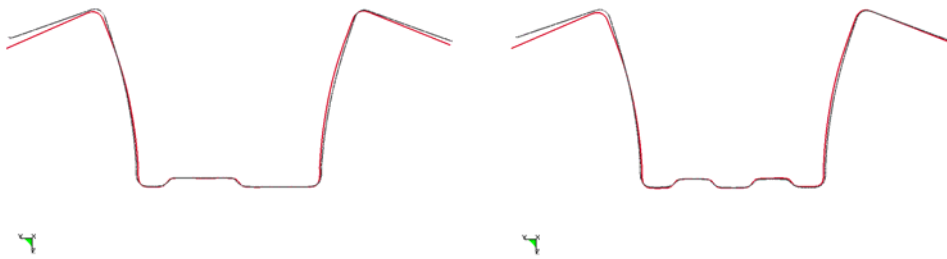




**Ausgangsmodell mit Werkstoff DP600 – Rückfederung**

Schnitt links (x=-220 mm)

Schnitt rechts (x=220 mm)



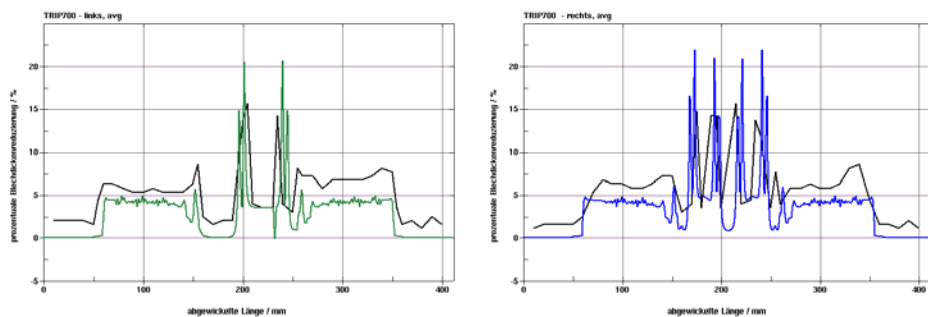
Ergebnisse des Benchmarks



**Ausgangsmodell mit Werkstoff TRIP700 – Umformung**

Schnitt rechts (x=220 mm)

Schnitt links (x=-220 mm)



➤ erreichter Einzug: 89.1 mm (SOLL: 86.0 mm)

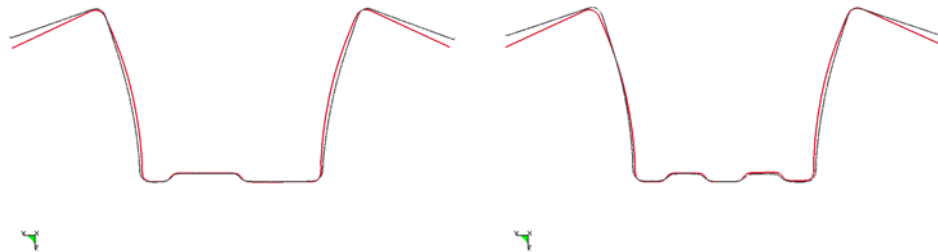
Ergebnisse des Benchmarks



**Ausgangsmodell mit Werkstoff TRIP700 – Rückfederung**

Schnitt links (x=-220 mm)

Schnitt rechts (x=220 mm)



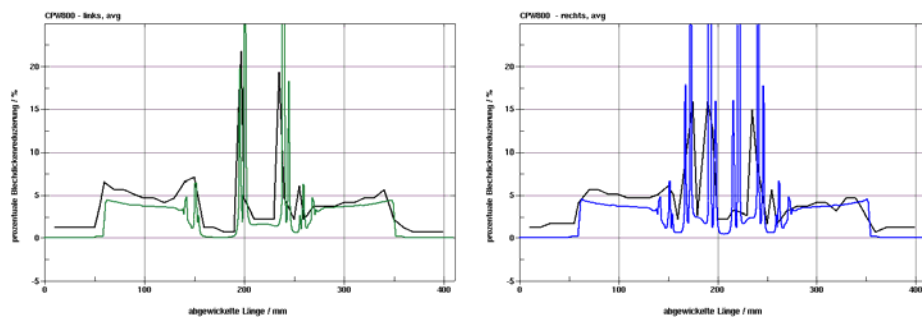
Ergebnisse des Benchmarks



**Ausgangsmodell mit Werkstoff CPW800 – Umformung**

Schnitt rechts (x=220 mm)

Schnitt links (x=-220 mm)



➤ erreichter Einzug: 89.5 mm (SOLL: 87.5 mm)

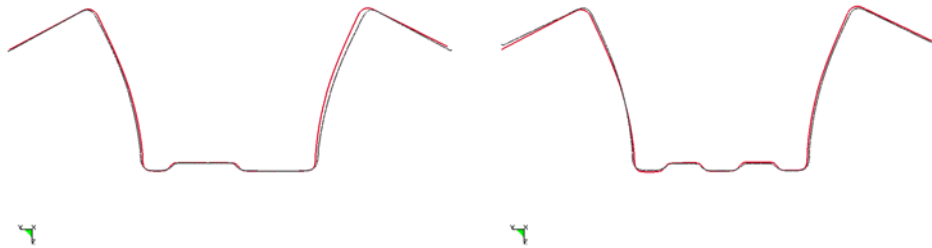
Ergebnisse des Benchmarks



**Ausgangsmodell mit Werkstoff CPW800 – Rückfederung**

Schnitt links (x=-220 mm)

Schnitt rechts (x=220 mm)



Ergebnisse des Benchmarks

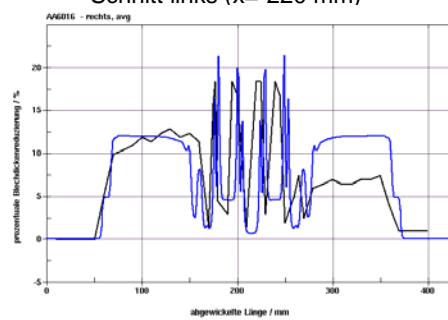
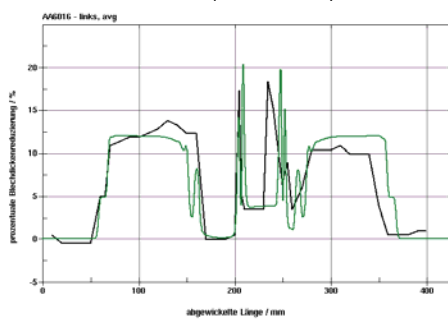


**Ausgangsmodell mit Werkstoff AA6016 - Umformung**

➤ Reibwert  $\mu=0.125$ , Exponent in Barlat - Fließbedingung **m= 8.0**

Schnitt rechts (x=220 mm)

Schnitt links (x=-220 mm)



➤ erreichter Einzug: 81.4 mm (SOLL: 81.0 mm)

Ergebnisse des Benchmarks



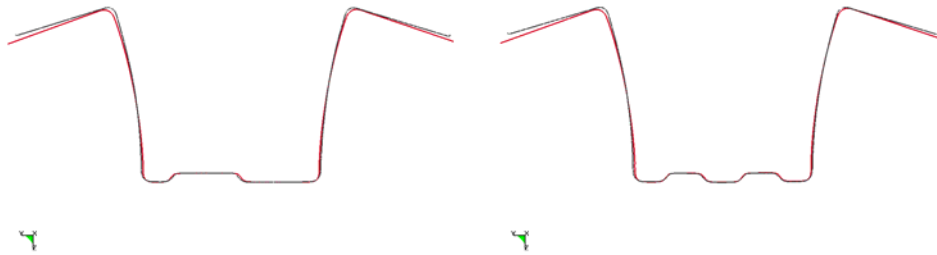
---

**Ausgangsmodell mit Werkstoff AA6016 – Rückfederung**

---

Schnitt links (x=-220 mm)

Schnitt rechts (x=220 mm)



Rechenzeit auf Intel XEON 2.8 GHz: 1 h 19 min 11 sec

Ergebnisse des Benchmarks



---

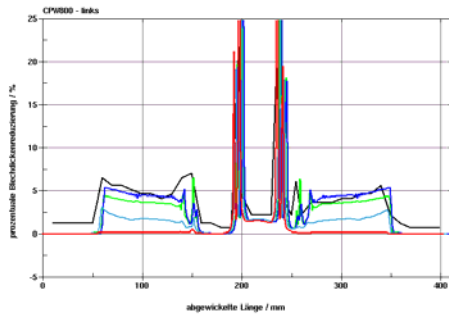
Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher  
Simulationsparameter für den  
Werkstoff CP-W800



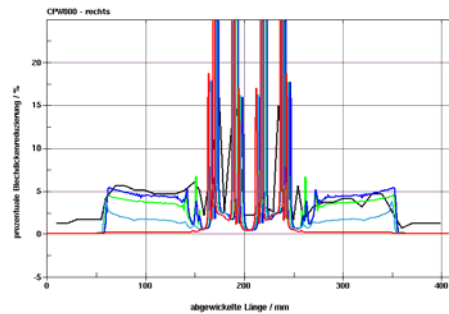
**Variation der Anzahl der Integrationspunkte - Umformung**

- Ausgangsmodell: 9 Gauss Integrationspunkte in Dickenrichtung
- 7 Integrationspunkte in Dickenrichtung
- 5 Integrationspunkte in Dickenrichtung
- 3 Integrationspunkte in Dickenrichtung

Schnitt links (x=-220 mm)



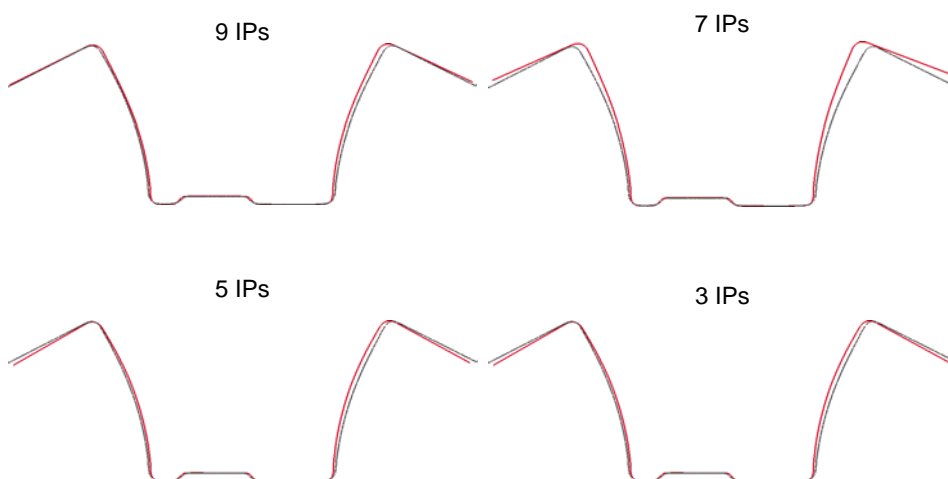
Schnitt rechts (x=220 mm)



Parameteruntersuchung für CP-W800



**Variation der Anzahl der Integrationspunkte - Rückfederung**



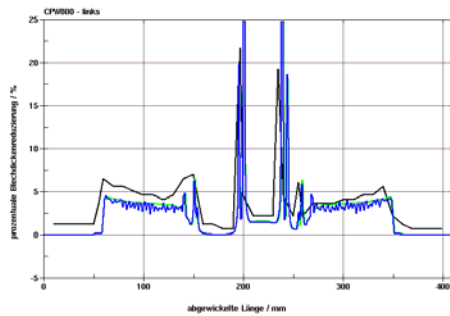
Parameteruntersuchung für CP-W800



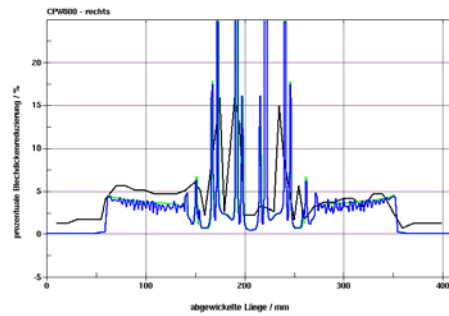
Variation der Elementformulierung - Umformung

- Ausgangsmodell: vollintegrierte Schale (ETYP 16)
- Belytschko-Tsay Schale (ETYP 2)

Schnitt links (x=-220 mm)



Schnitt rechts (x=220 mm)



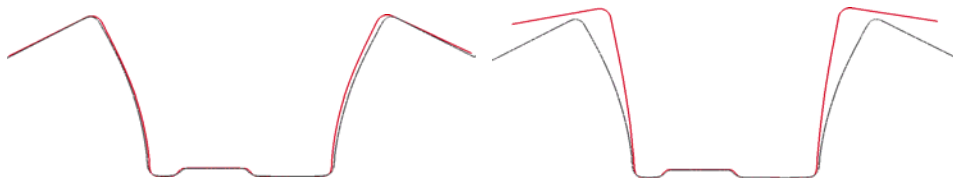
Parameteruntersuchung für CP-W800



Variation der Elementformulierung - Rückfederung

vollintegrierte Schale (ETYP 16)

Belytschko-Tsay (ETYP 2)



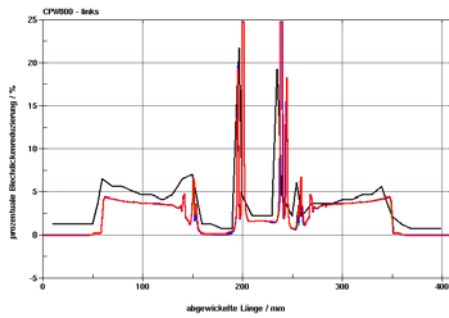
Parameteruntersuchung für CP-W800



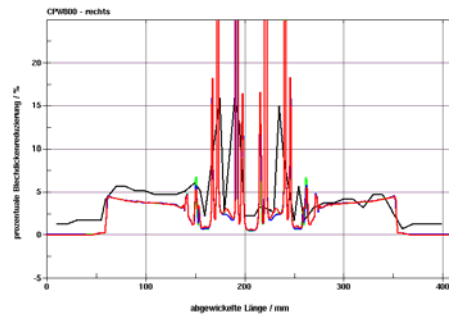
Variation der Werkzeuggeschwindigkeit - Umformung

- Ausgangsmodell:  $v_{max} = 3000$  mm/s
- $v_{max} = 5000$  mm/s
- $v_{max} = 10000$  mm/s

Schnitt links (x=-220 mm)



Schnitt rechts (x=220 mm)



Parameteruntersuchung für CP-W800



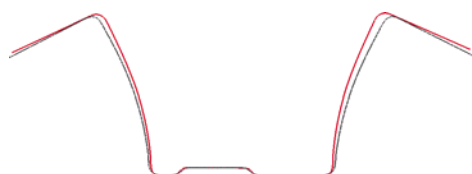
Variation der Werkzeuggeschwindigkeit - Rückfederung

$v_{max} = 3000$  mm/s

$v_{max} = 5000$  mm/s



$v_{max} = 10000$  mm/s



Parameteruntersuchung für CP-W800



---

### Zusammenfassung

---

Parameter mit wesentlichem Einfluss auf die Ausdünnung:

- Anzahl Integrationspunkte in Schalendickenrichtung
- Einstellungen für die Adaptivität → rechtzeitige/frühzeitige Netzverfeinerung ermöglichen

Parameter mit wesentlichem Einfluss auf die Rückfederung:

- Elementformulierung

Relativ geringer Einfluss auf Rückfederung bei **diesem Bauteil**:

- Anzahl Integrationspunkte in Schalendickenrichtung
- Massenskalierung/Werkzeuggeschwindigkeiten

