

3. LS-DYNA Forum 2004

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

Bernd Hochholdinger, DYNAmore GmbH

14. Oktober 2004, Bamberg



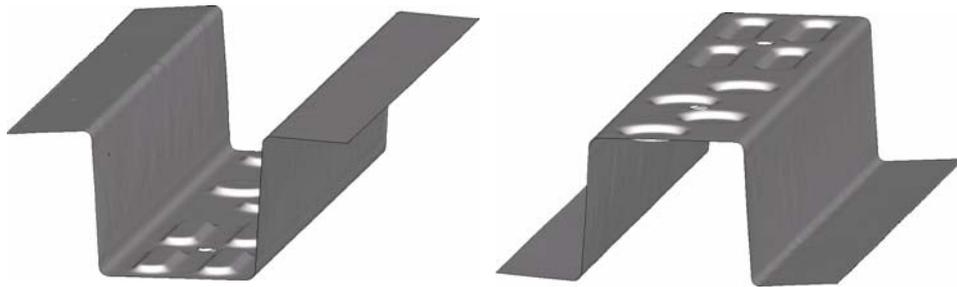
Agenda

- 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 μ s

LS-DYNA Ausgangsmodell



Ausgangsmodell zur Simulation des Umformprozesses

- Materialmodell:
 - LS-DYNA: *MAT_3-PARAMETER_BARLAT (BARLAT-LIAN'89)
 - Fließbedingung:

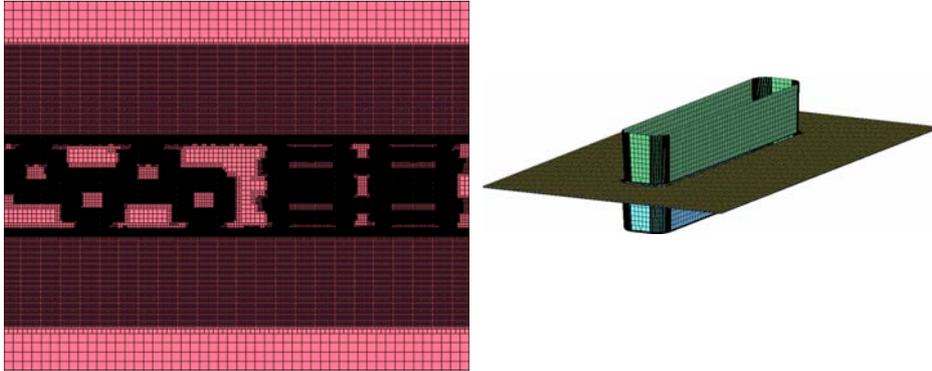
$$\Phi = a|K_1 + K_2|^m + a|K_1 - K_2|^m + c|2K_2|^m = 2\sigma_Y^m$$
 - für m=2 → HILL48
- Kontakt:
 - Penalty-Kontakt:
 - *CONTACT_FORMING_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE
 - 20% Kontaktdämpfung

LS-DYNA Ausgangsmodell



Ausgangsmodell zur Simulation des Umformprozesses

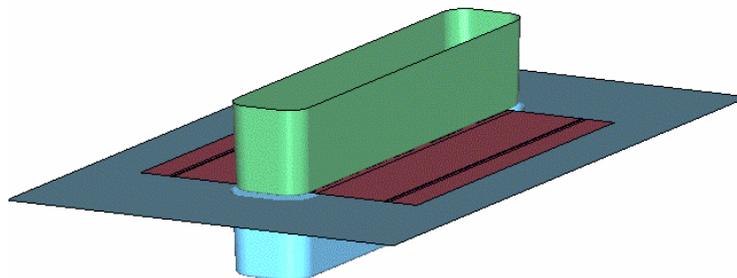
- Vorverfeinertes Platinennetz



LS-DYNA Ausgangsmodell



Ausgangsmodell zur Simulation des Umformprozesses



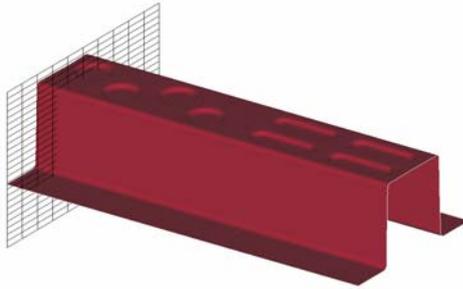
LS-DYNA Ausgangsmodell



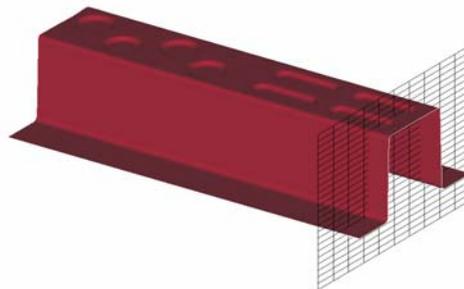
Auswertung der Umformsimulation

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

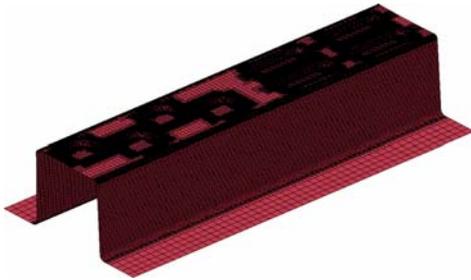
- Schnittstelle zwischen Umform- und Rückfederungssimulation: ASCII Datei „dynain“:
 - Knoten
 - Elementtopologie, Elementdicken
 - für alle Integrationspunkte: Spannungstensor, eff. plast. Dehnung, Geschichtsvariablen
 - Dehnungstensor
- Coarsening: Vergrößerung des Netzes
 - Vergrößerungskriterium: 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)



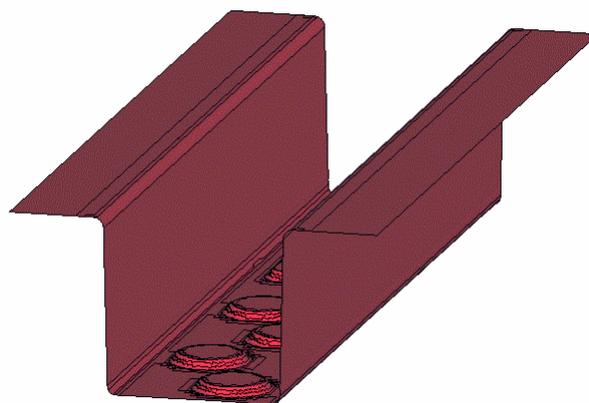
- vergrößertes Netz (54725 Elemente)



LS-DYNA Ausgangsmodell



Implizite Rückfederungssimulation



LS-DYNA Ausgangsmodell

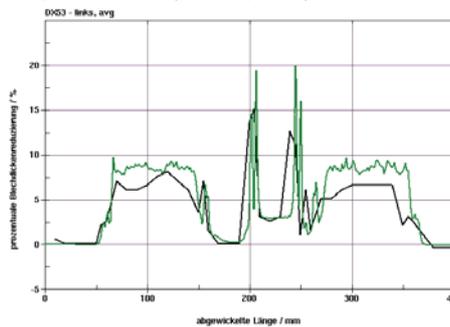


Ergebnisse des Ausgangsmodells für alle Werkstoffe

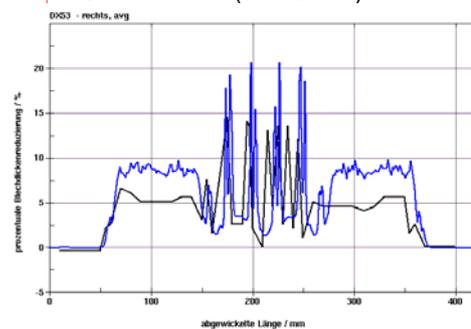


Ausgangsmodell mit Werkstoff DX53 – Umformung

Schnitt links (x=-220 mm)



Schnitt rechts (x=220 mm)



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

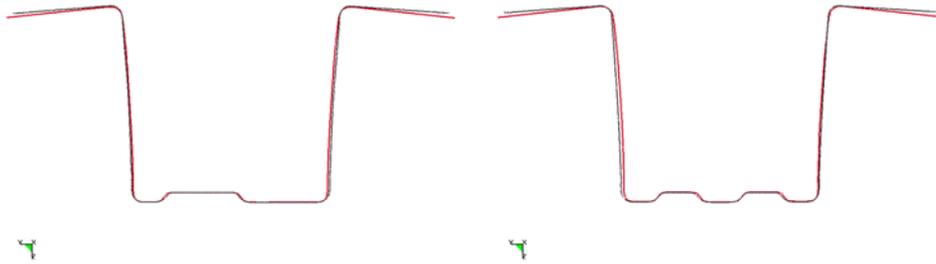
Ergebnisse des Benchmarks



Ausgangsmodell mit Werkstoff DX53 – Rückfederung

Schnitt links (x=-220 mm)

Schnitt rechts (x=220 mm)



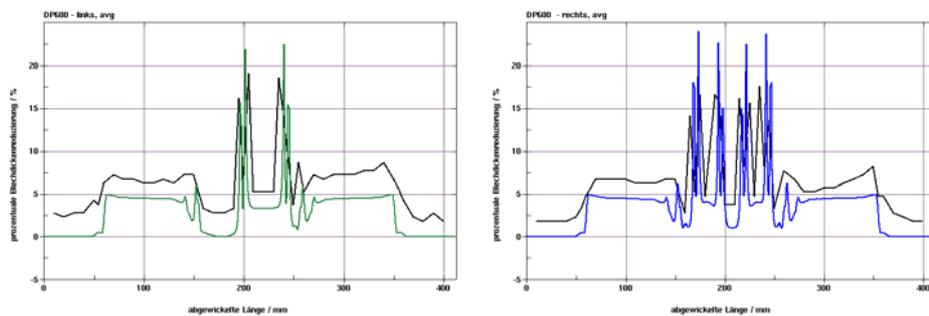
Ergebnisse des Benchmarks



Ausgangsmodell mit Werkstoff DP600 – Umformung

Schnitt rechts (x=220 mm)

Schnitt links (x=-220 mm)



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

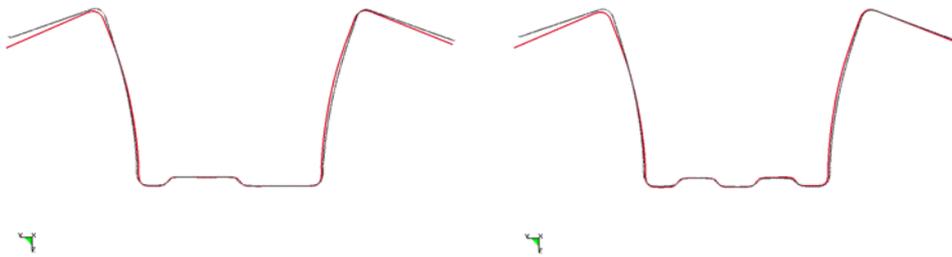
Ergebnisse des Benchmarks



Ausgangsmodell mit Werkstoff DP600 – Rückfederung

Schnitt links (x=-220 mm)

Schnitt rechts (x=220 mm)



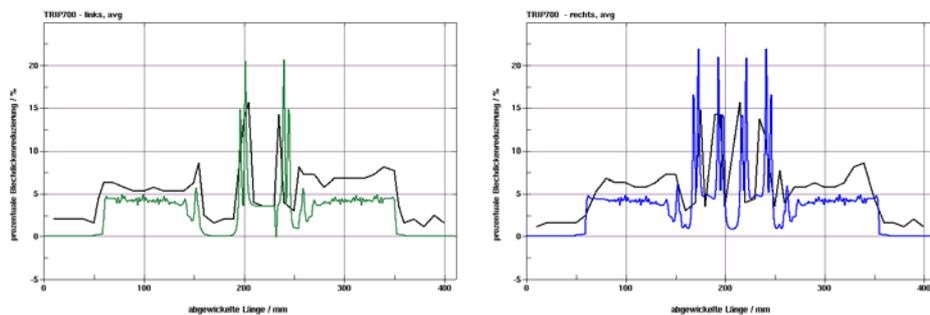
Ergebnisse des Benchmarks



Ausgangsmodell mit Werkstoff TRIP700 – Umformung

Schnitt rechts (x=220 mm)

Schnitt links (x=-220 mm)



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

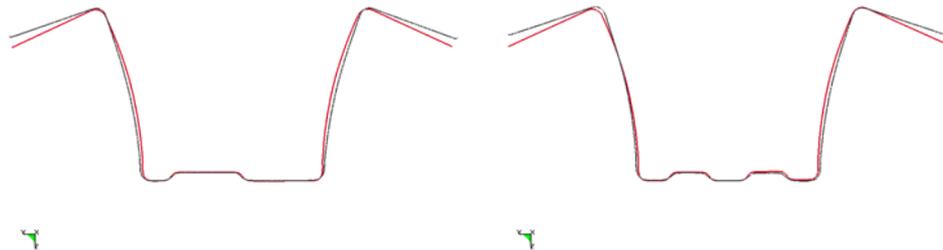
Ergebnisse des Benchmarks



Ausgangsmodell mit Werkstoff TRIP700 – Rückfederung

Schnitt links (x=-220 mm)

Schnitt rechts (x=220 mm)



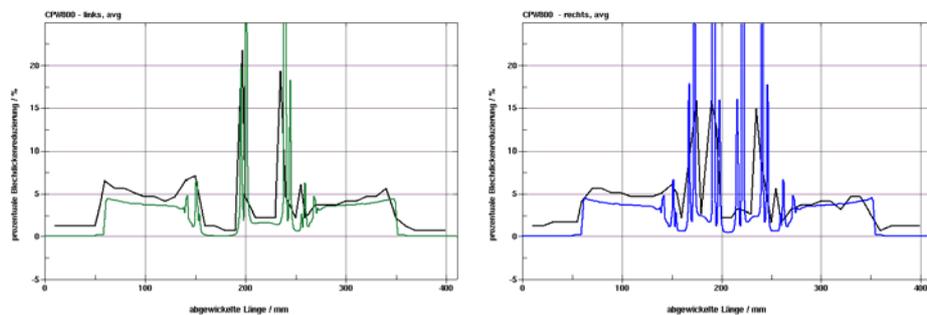
Ergebnisse des Benchmarks



Ausgangsmodell mit Werkstoff CPW800 – Umformung

Schnitt rechts (x=220 mm)

Schnitt links (x=-220 mm)



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

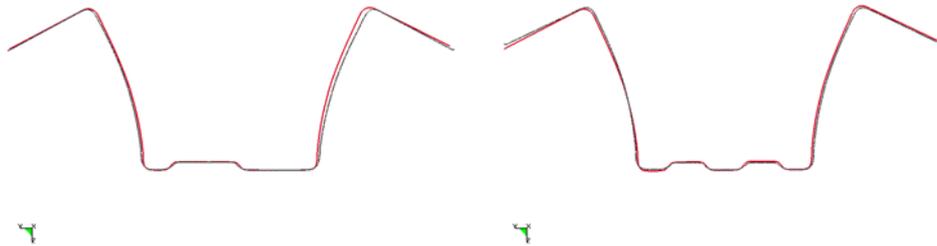
Ergebnisse des Benchmarks



Ausgangsmodell mit Werkstoff CPW800 – Rückfederung

Schnitt links (x=-220 mm)

Schnitt rechts (x=220 mm)



Ergebnisse des Benchmarks

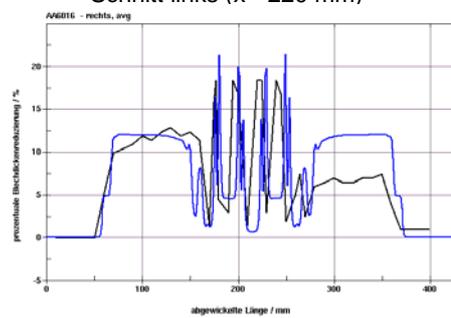
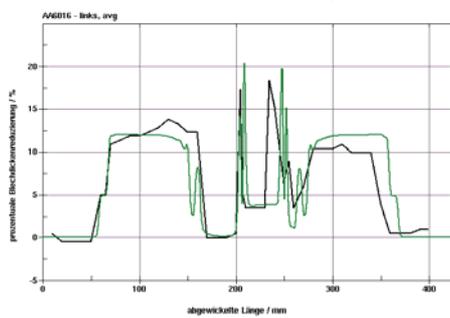


Ausgangsmodell mit Werkstoff AA6016 - Umformung

- 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)

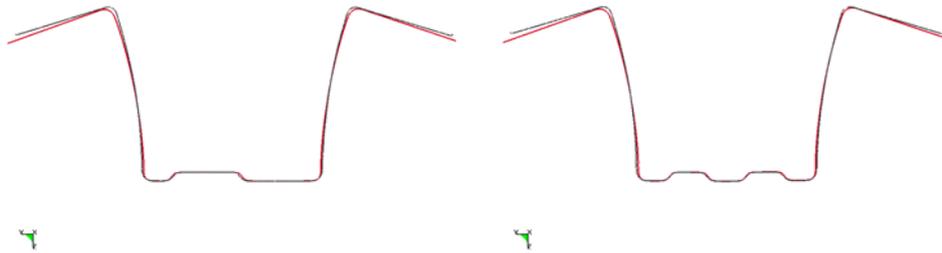
Ergebnisse des Benchmarks



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



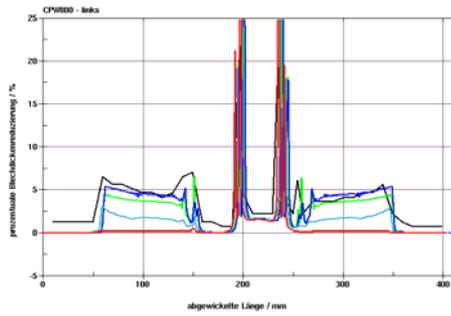
Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher
Simulationsparameter für den
Werkstoff CP-W800



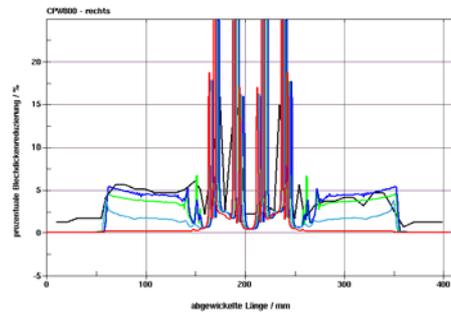
Variation der Anzahl der Integrationspunkte - Umformung

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

Schnitt links (x=-220 mm)



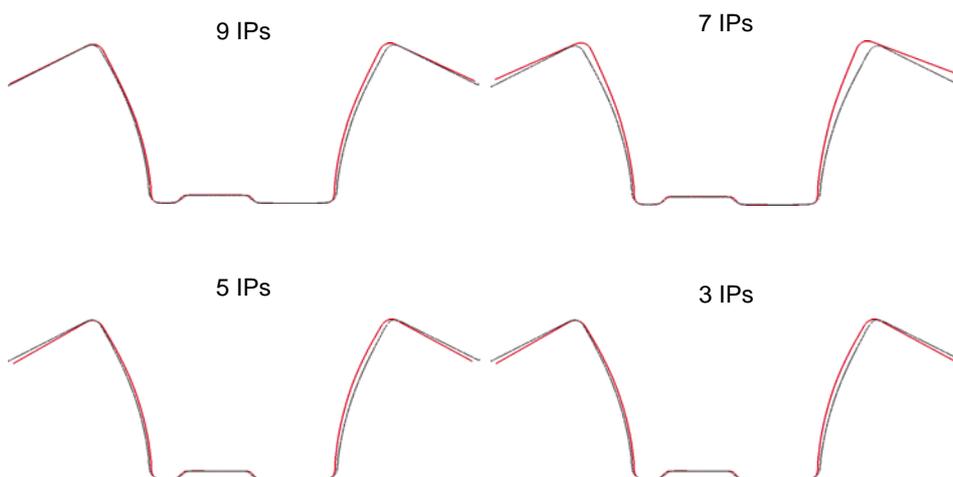
Schnitt rechts (x=220 mm)



Parameteruntersuchung für CP-W800



Variation der Anzahl der Integrationspunkte - Rückfederung



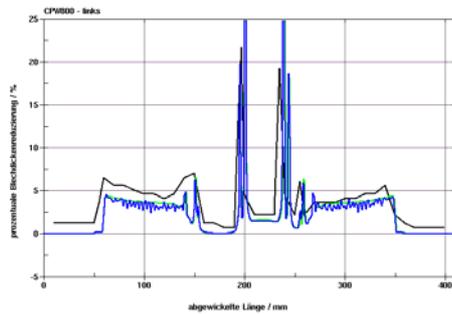
Parameteruntersuchung für CP-W800



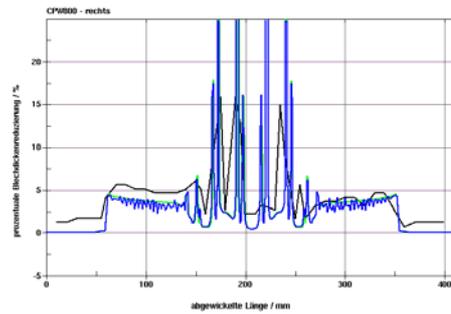
Variation der Elementformulierung - Umformung

- 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)



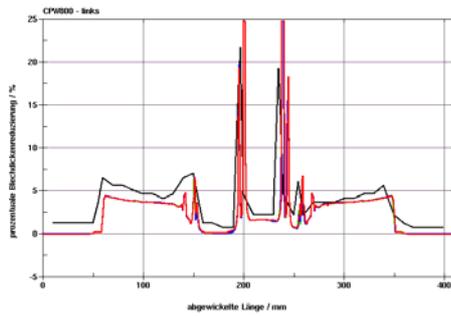
Parameteruntersuchung für CP-W800



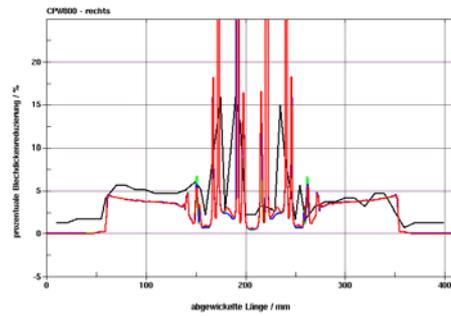
Variation der Werkzeuggeschwindigkeit - Umformung

- 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)



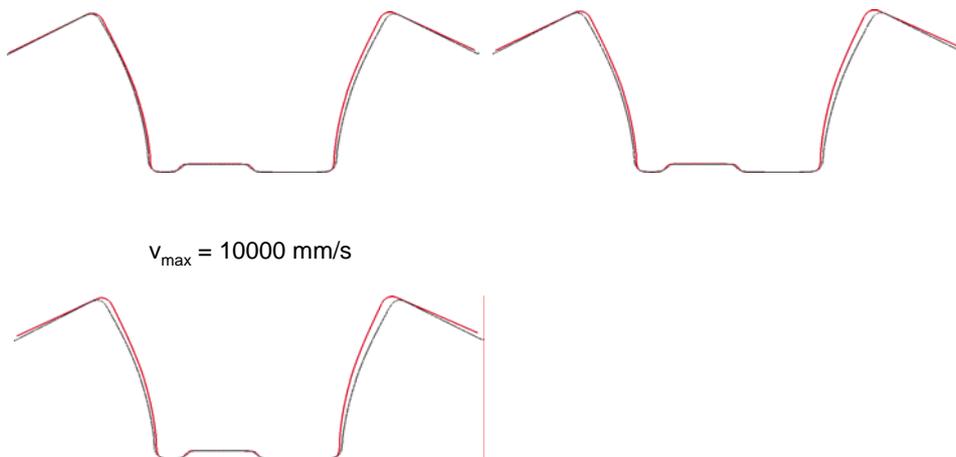
Parameteruntersuchung für CP-W800



Variation der Werkzeuggeschwindigkeit - Rückfederung

$v_{max} = 3000$ mm/s

$v_{max} = 5000$ mm/s



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

