

Gezielte Eigenspannungseinstellung in der inkrementellen Blechumformung

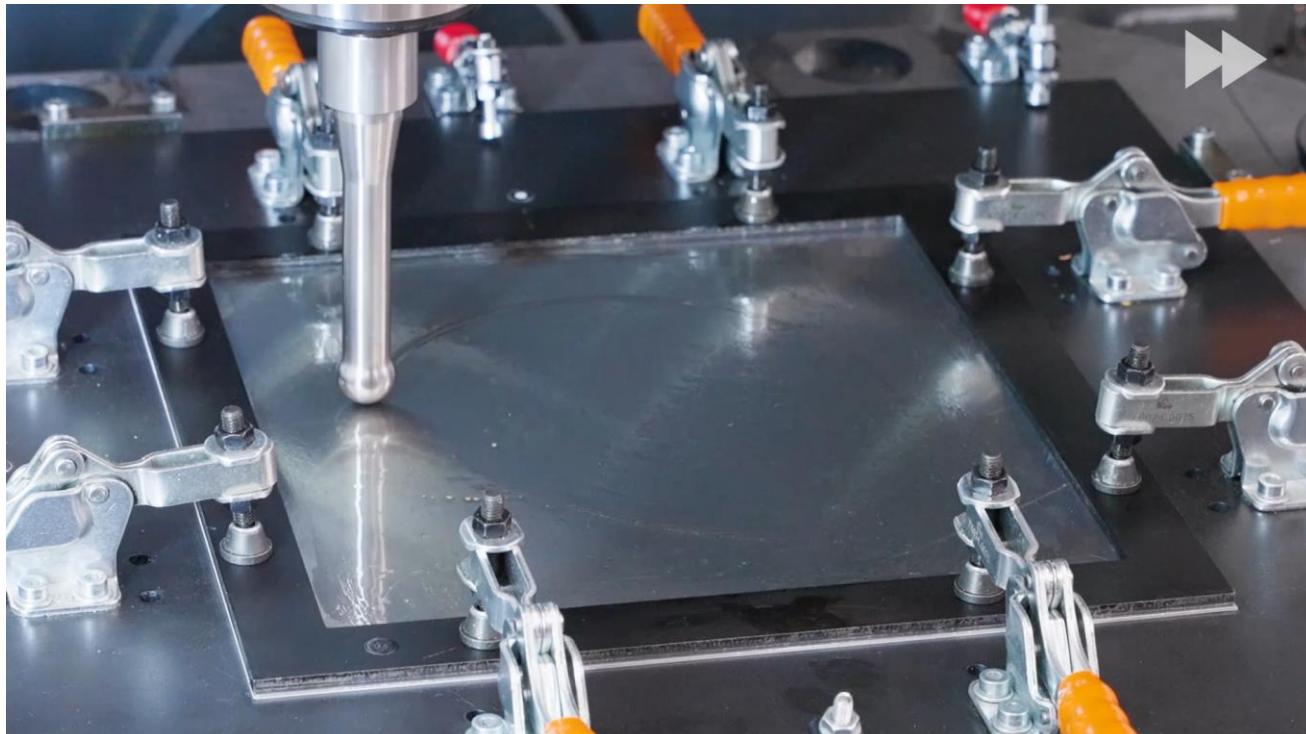
Abschlusskolloquium SPP 2013 – 29. Sächsische Fachtagung Umformtechnik

F. Maaß, M. Hahn, T. Bergelt, L. Winter, N. Baak, J. Buhl, F. Walther, T. Lampke, A. E. Tekkaya

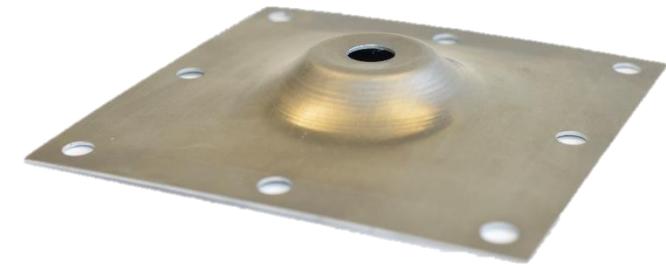
Dresden, 28. November 2023

- **Motivation**
- Zielsetzung
- Eigenspannungsanalyse
 - Single Point Incremental Forming
 - Two-Point Incremental Forming
- Eigenschaftsverbesserung
- Zusammenfassung und Ausblick

Inkrementelle Blechumformung

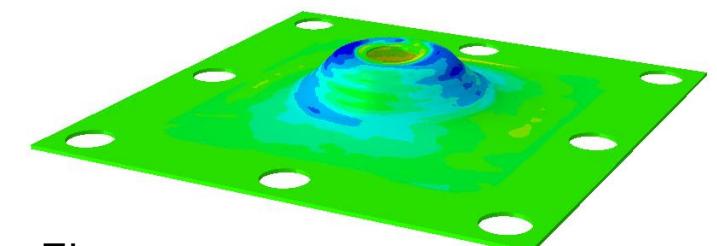


Produkt



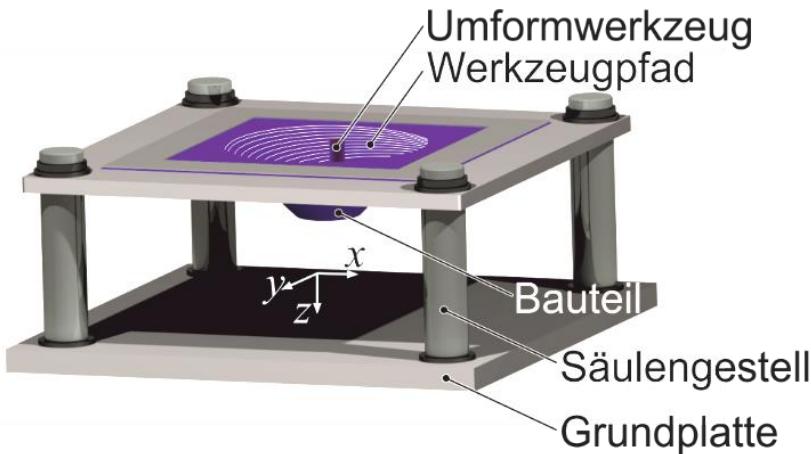
Kegelstumpf EN AW-5083

Eigenspannungszustand



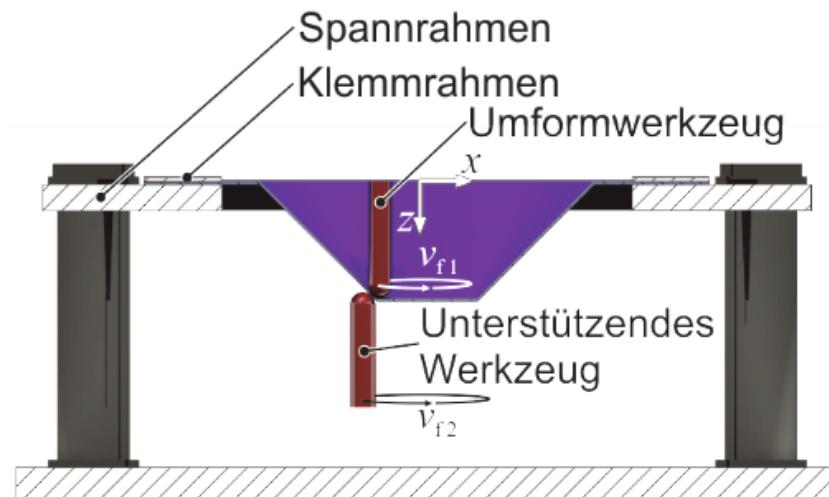
Eigenspannung σ

Single Point Incremental Forming (ohne Gegenwerkzeug)

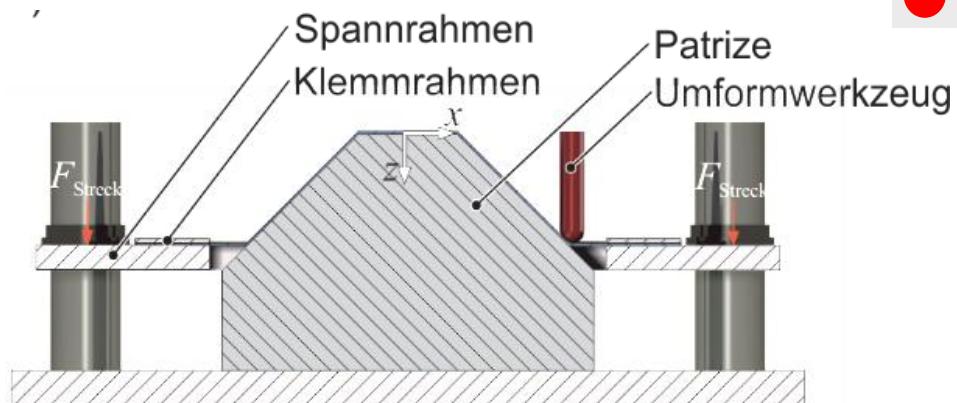


- + Hohe Flexibilität
- + Geringe Werkzeugkosten
- Geringe Geometriegenauigkeit

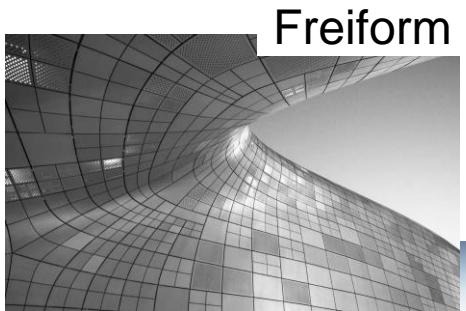
Two Point Incremental Forming (mit Gegenwerkzeug)



- + Hohe Geometriegenauigkeit
- Geringe Flexibilität
- Hohe Werkzeugkosten



Architektur

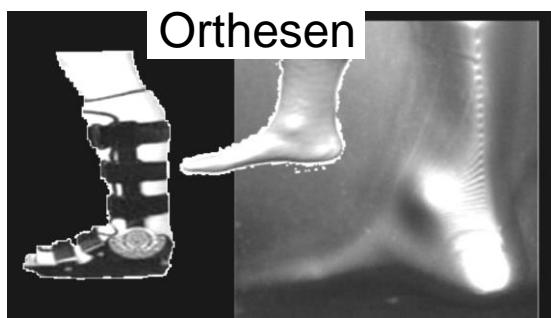


Quelle: ibf



Taktile Bodenfliese

Medizinprodukte



Quelle: Ambrogio et al. (2005)

Orthesen

Brennstoffzellen



Bipolarplatte

Automobilindustrie

Fahrzeugkomponenten



Quelle: ibf



Quelle: Nissan



Quelle: VW



Sitzschiene

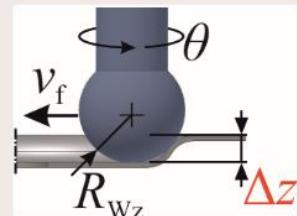
- Motivation
- Zielsetzung
- Eigenspannungsanalyse
 - Single Point Incremental Forming
 - Two-Point Incremental Forming
- Eigenschaftsverbesserung
- Zusammenfassung und Ausblick

Gezielte Eigenspannungseinstellung für die inkrementelle Blechumformung zur Verbesserung der Bauteilleistungsfähigkeit

Wie beeinflussen die Prozessparameter die Umformmechanismen?



Prozessparameter der IBU



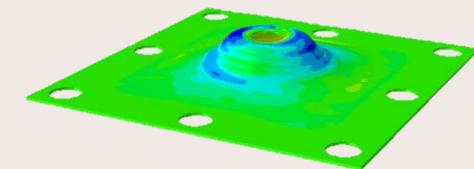
Umformmechanismen

- Biegung
 - Scherung
 - Normalanteil
- Emmens (2009)

Wie beeinflussen die Umformmechanismen die Eigenspannungsausbildung?



Eigenspannungen



Können definierte Eigenspannungszustände in Bauteile eingebracht werden?

Welche Eigenschaftsverbesserung ist quantitativ realisierbar?

Leistungsfähigkeit

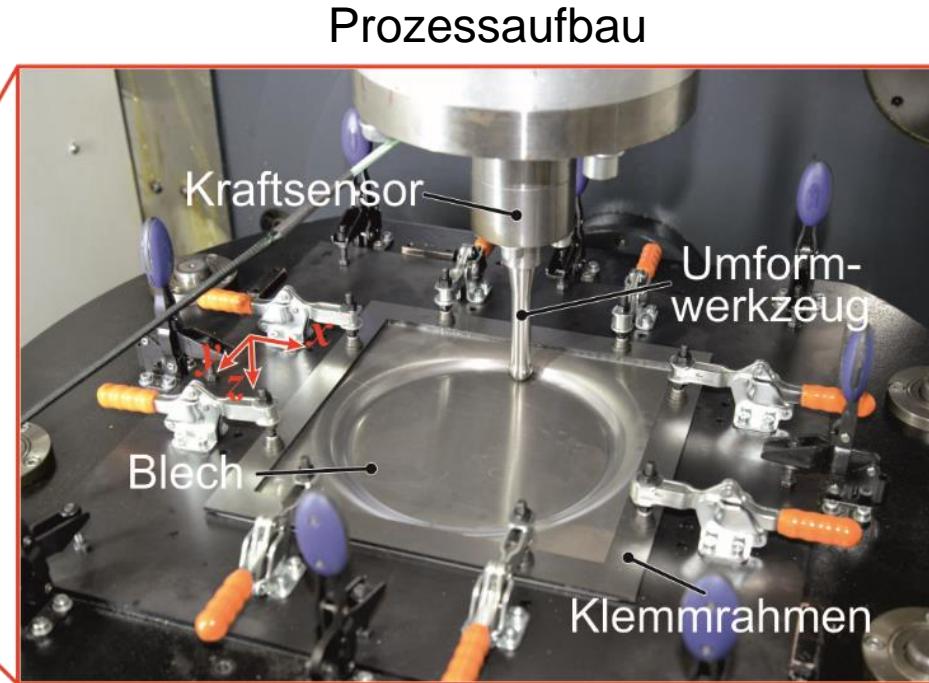


Bauteilversagen

- Motivation
- Zielsetzung
- **Eigenspannungsanalyse**
 - **Single Point Incremental Forming**
 - Two-Point Incremental Forming
- Eigenschaftsverbesserung
- Zusammenfassung und Ausblick

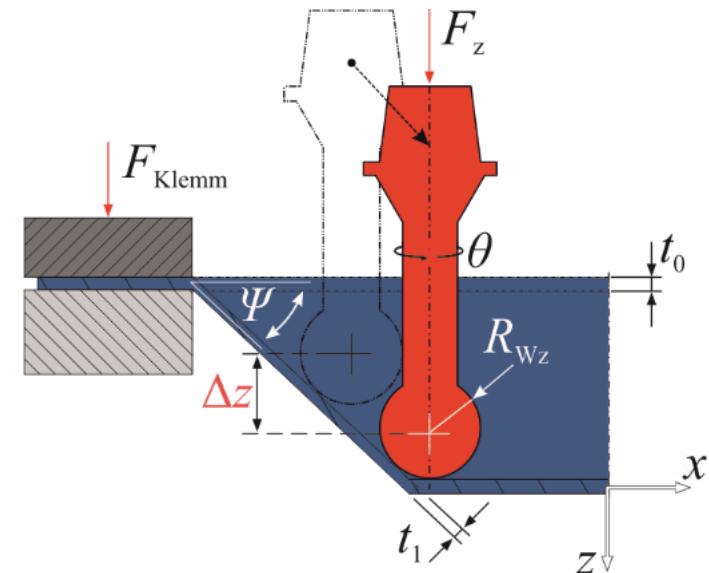


5-Achs-Fräsmaschine



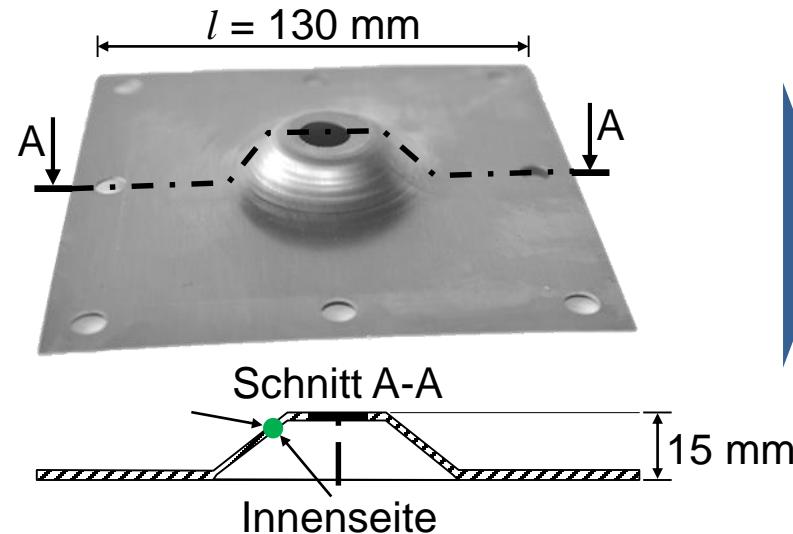
Prozessaufbau

Prozessparameter

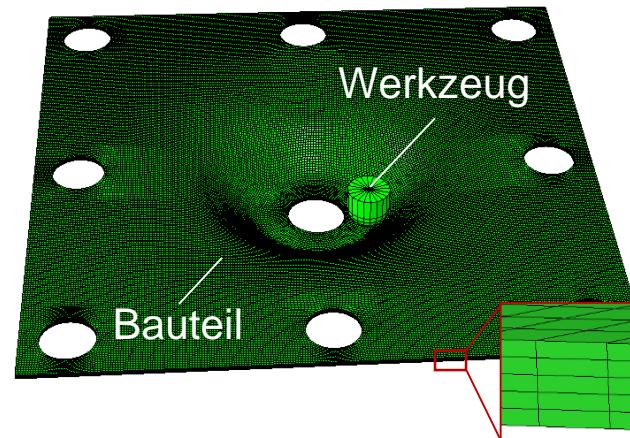


- + Flexible Umformprozess
- + Kostengünstig für Kleinserien und Prototypenbau
- + Erhöhte Umformbarkeit

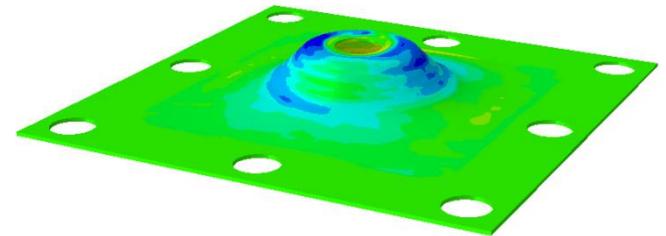
Kegelstumpfgeometrie



Numerisches Prozessmodell

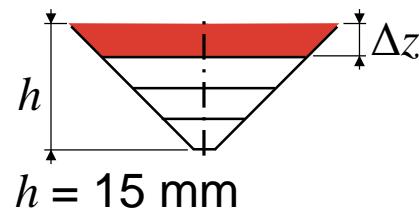


Eigenspannungsprognose

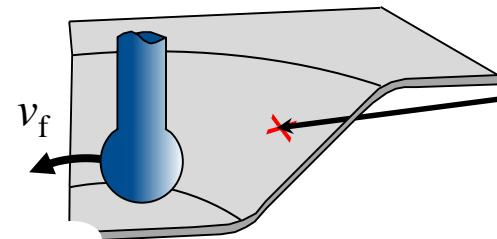
**Abaqus (Volumenelemente)**

- Schritt 1: Prozessmodell (explizit)
- Schritt 2: Eigenspannungsanalyse (implizit)

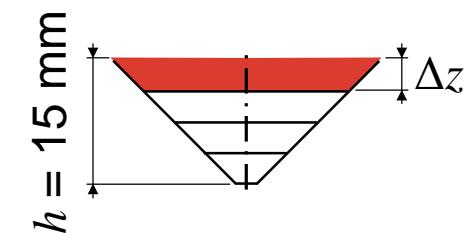
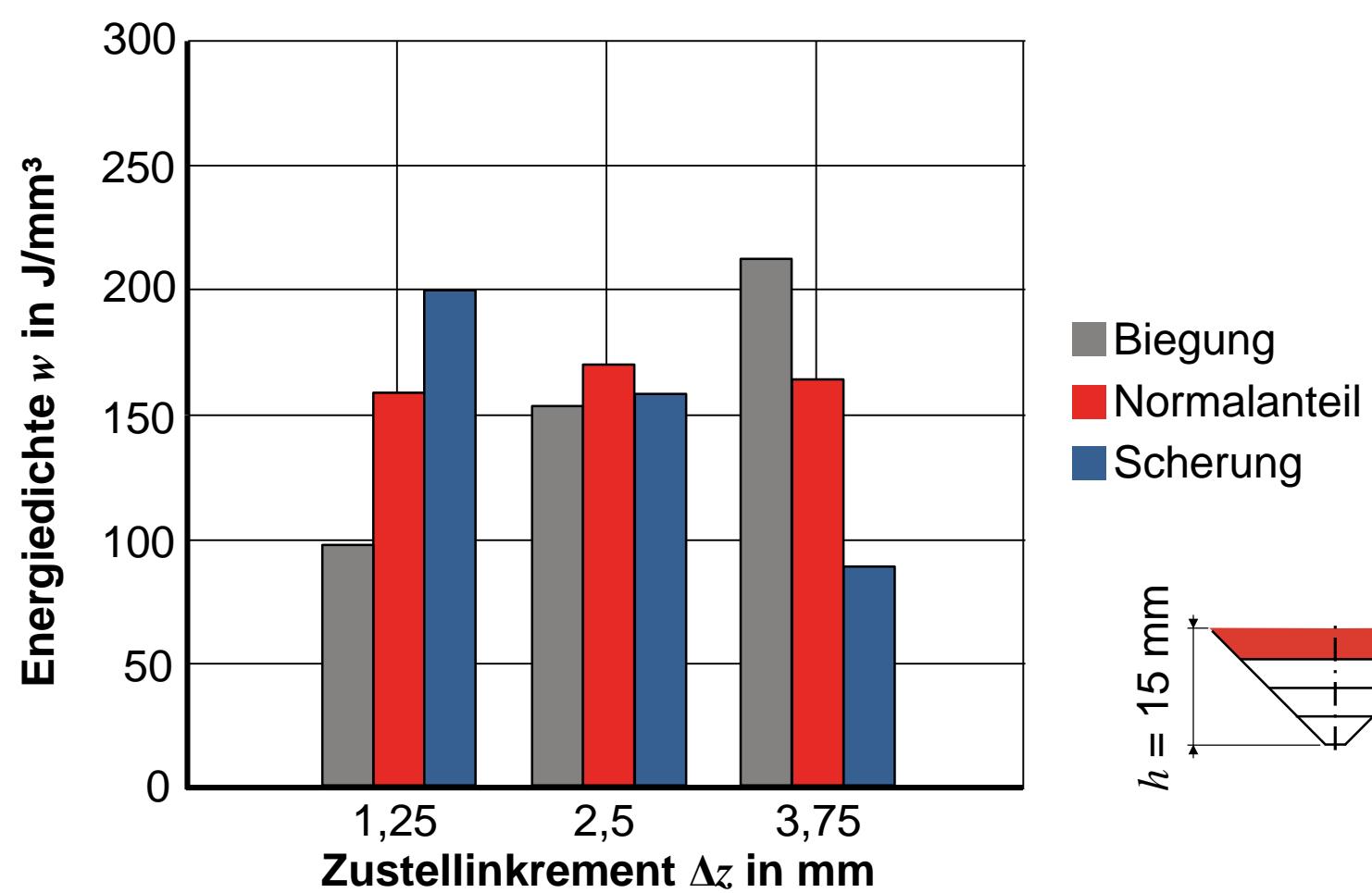
Prozessparameter

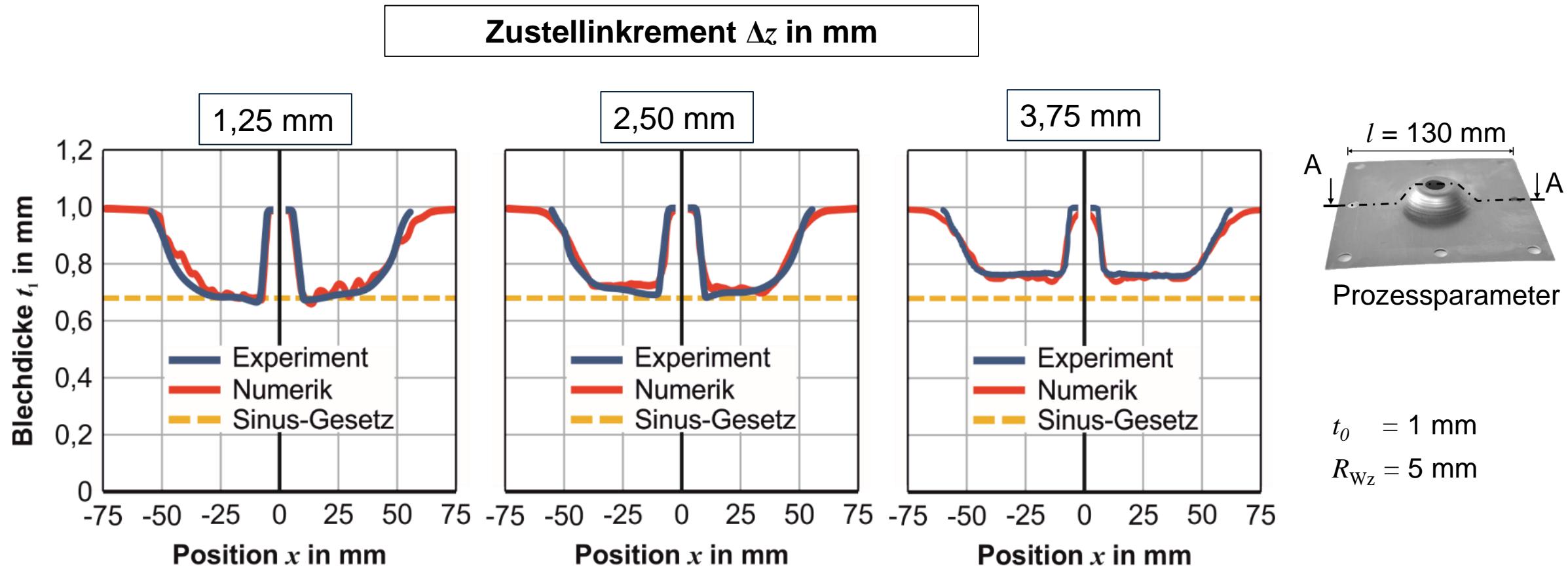


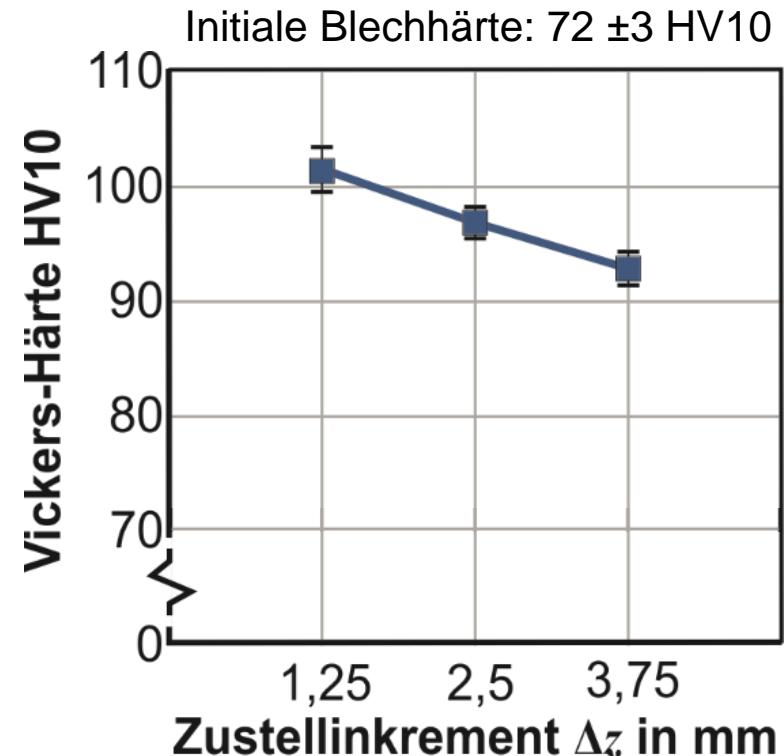
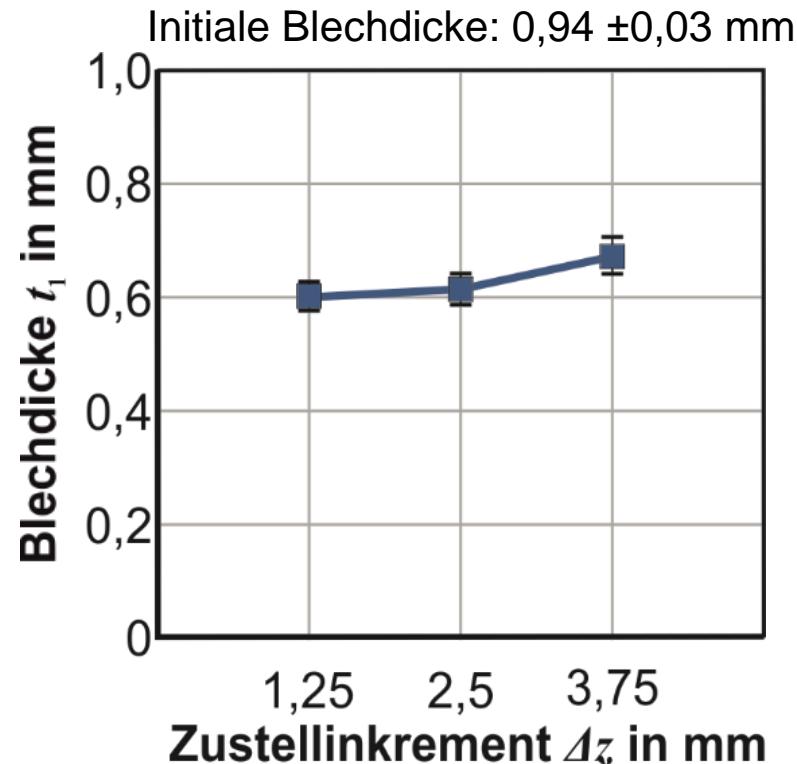
Analyse von drei Zustellinkrementen $\Delta z = 1,25 \text{ mm}, 2,5 \text{ mm}$ und $3,75 \text{ mm}$
bei identischer Kegelstumpfkontur

**Prozessparameter**

EN AW-5083

 $t_0 = 1 \text{ mm}$ $R_{Wz} = 5 \text{ mm}$ **Steigende Biege- und sinkende Scheranteile für größere Zustellung**



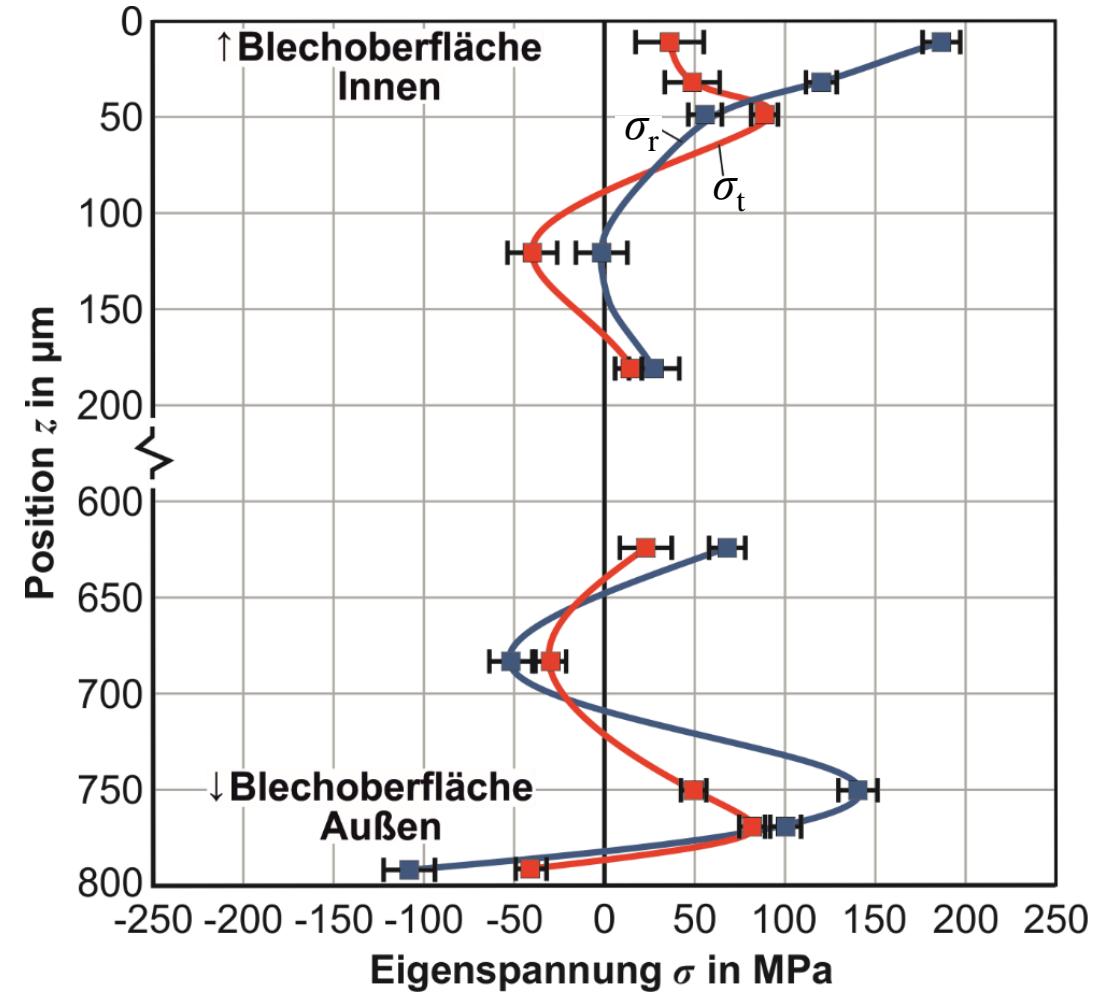
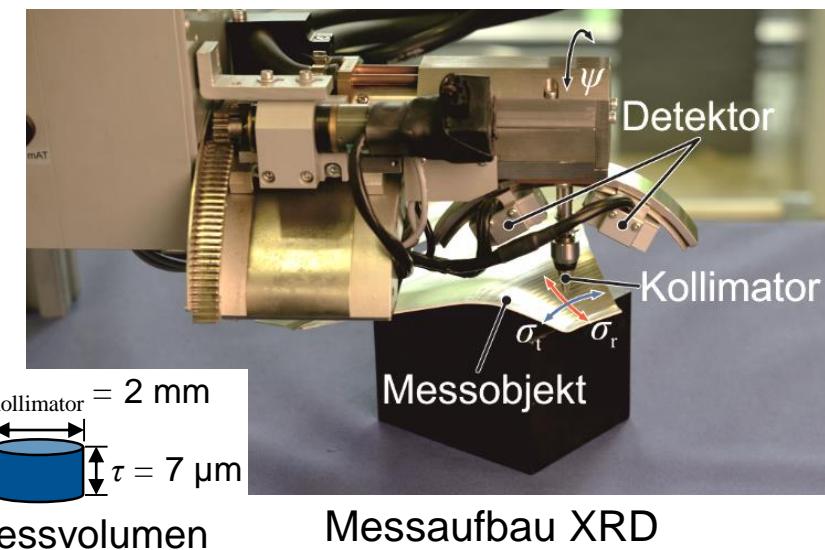
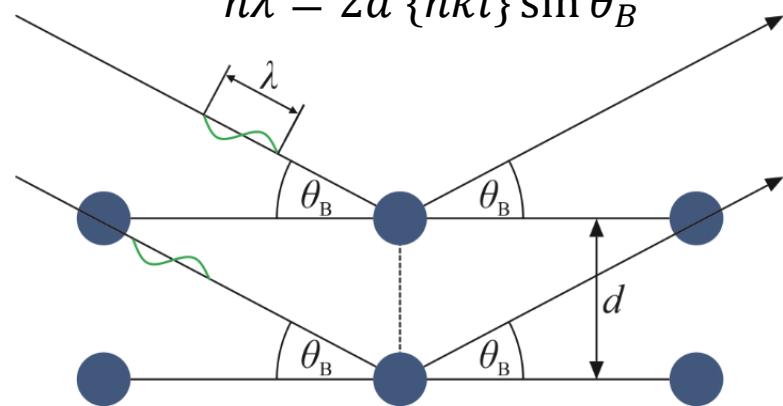


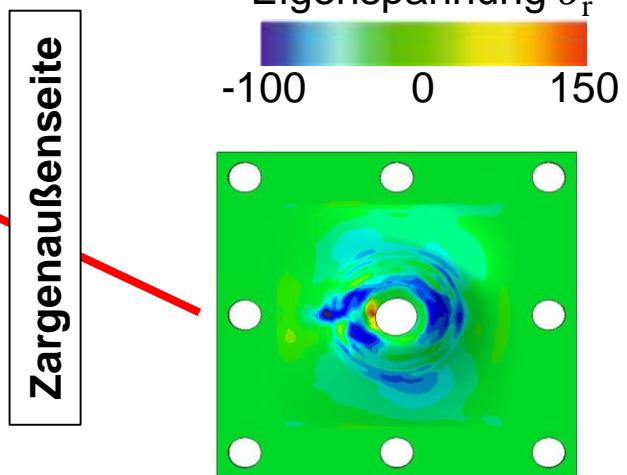
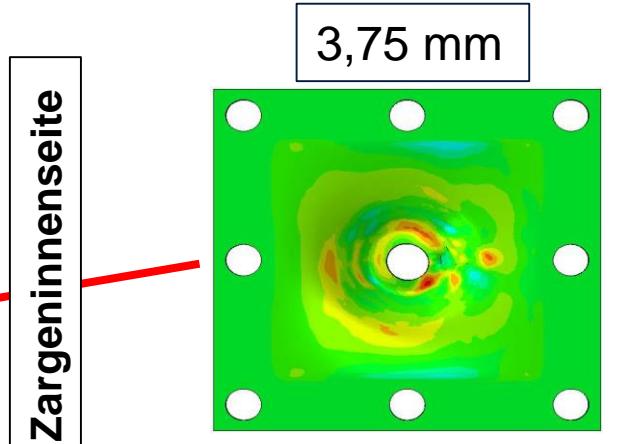
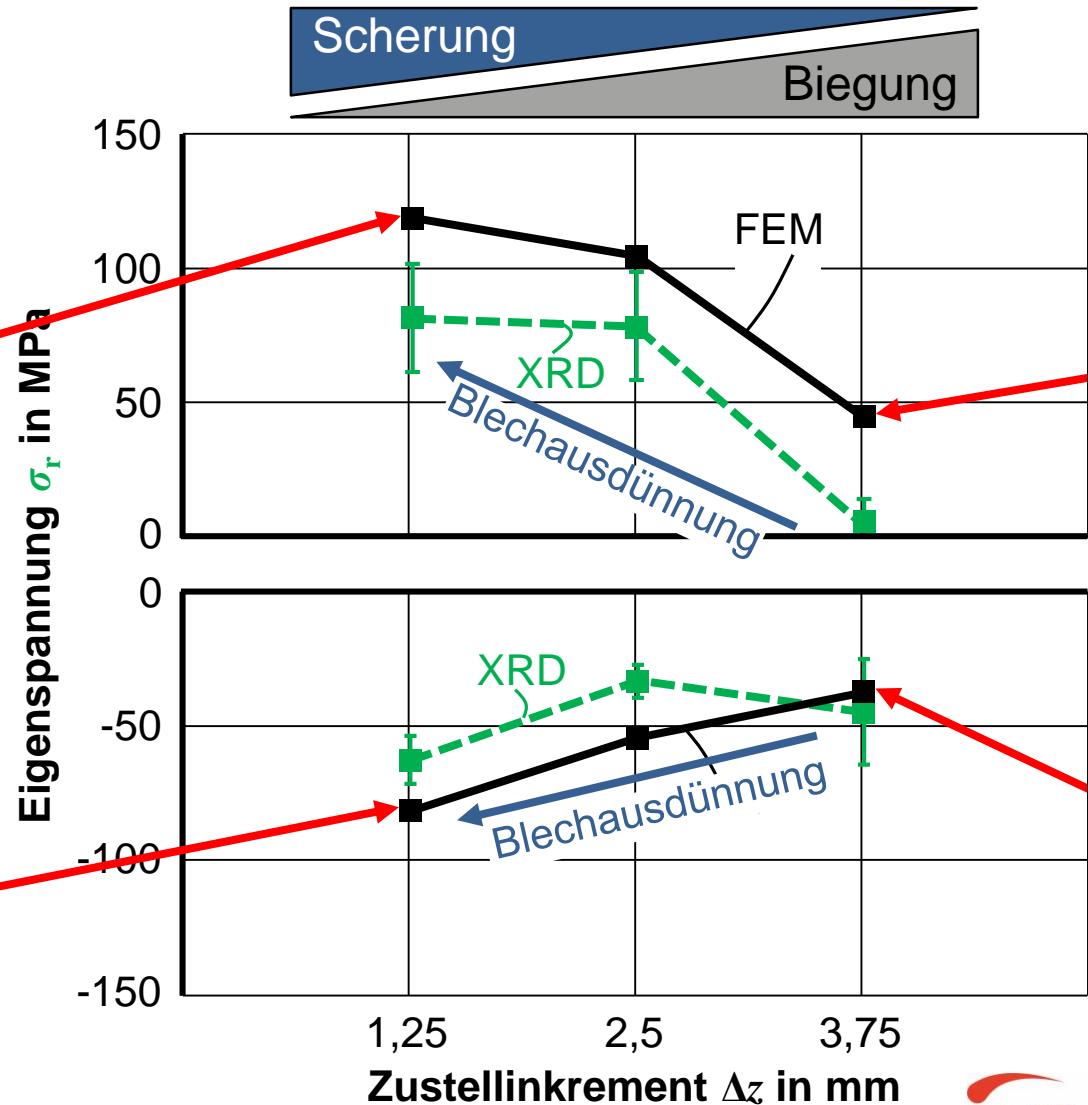
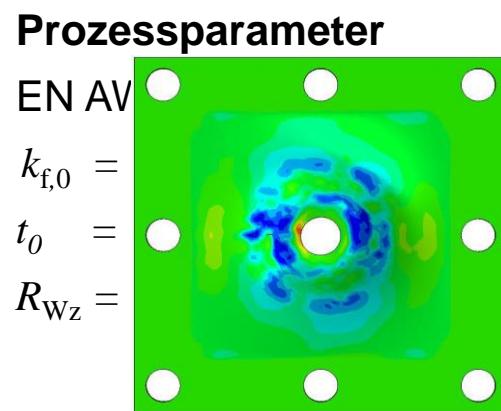
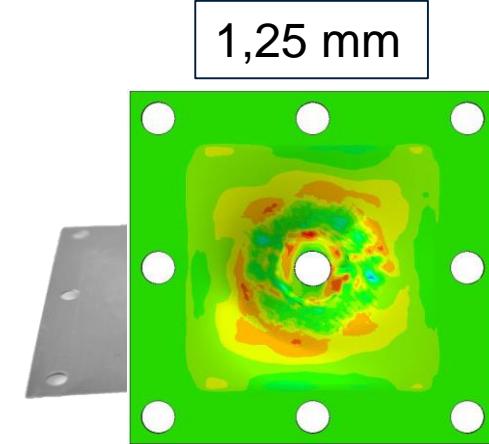
Messort

Prozessparameter
EN AW-5083
 $\psi = 45^\circ$
 $R_{Wz} = 5$ mm

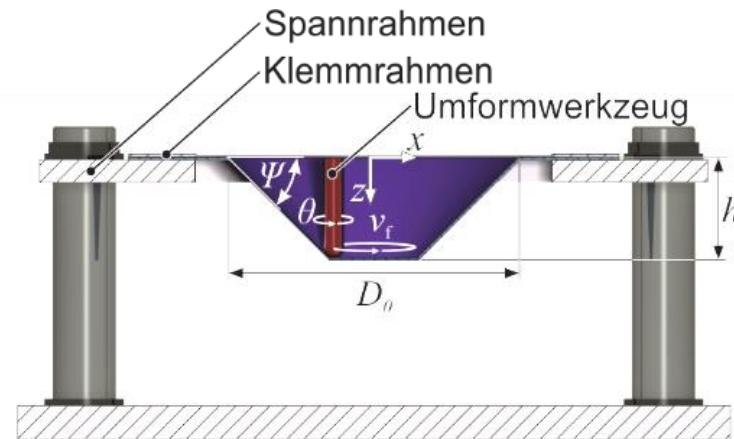
Bragg'schen Gesetz:

$$n\lambda = 2d \{hkl\} \sin \theta_B$$

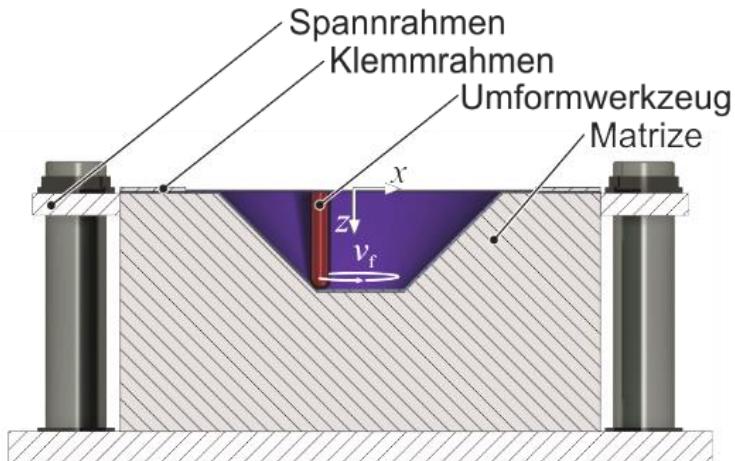




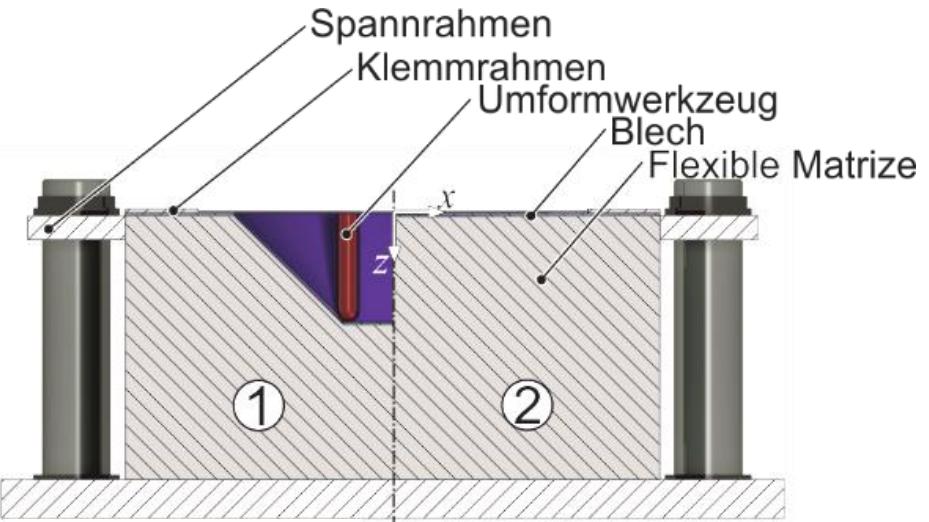
- Motivation
- Zielsetzung
- **Eigenspannungsanalyse**
 - Single Point Incremental Forming
 - **Two-Point Incremental Forming**
- Eigenschaftsverbesserung
- Zusammenfassung und Ausblick

SPIF

- + Hohe Flexibilität
- + Geringe Werkzeugkosten
- Geringe Geometriegenauigkeit

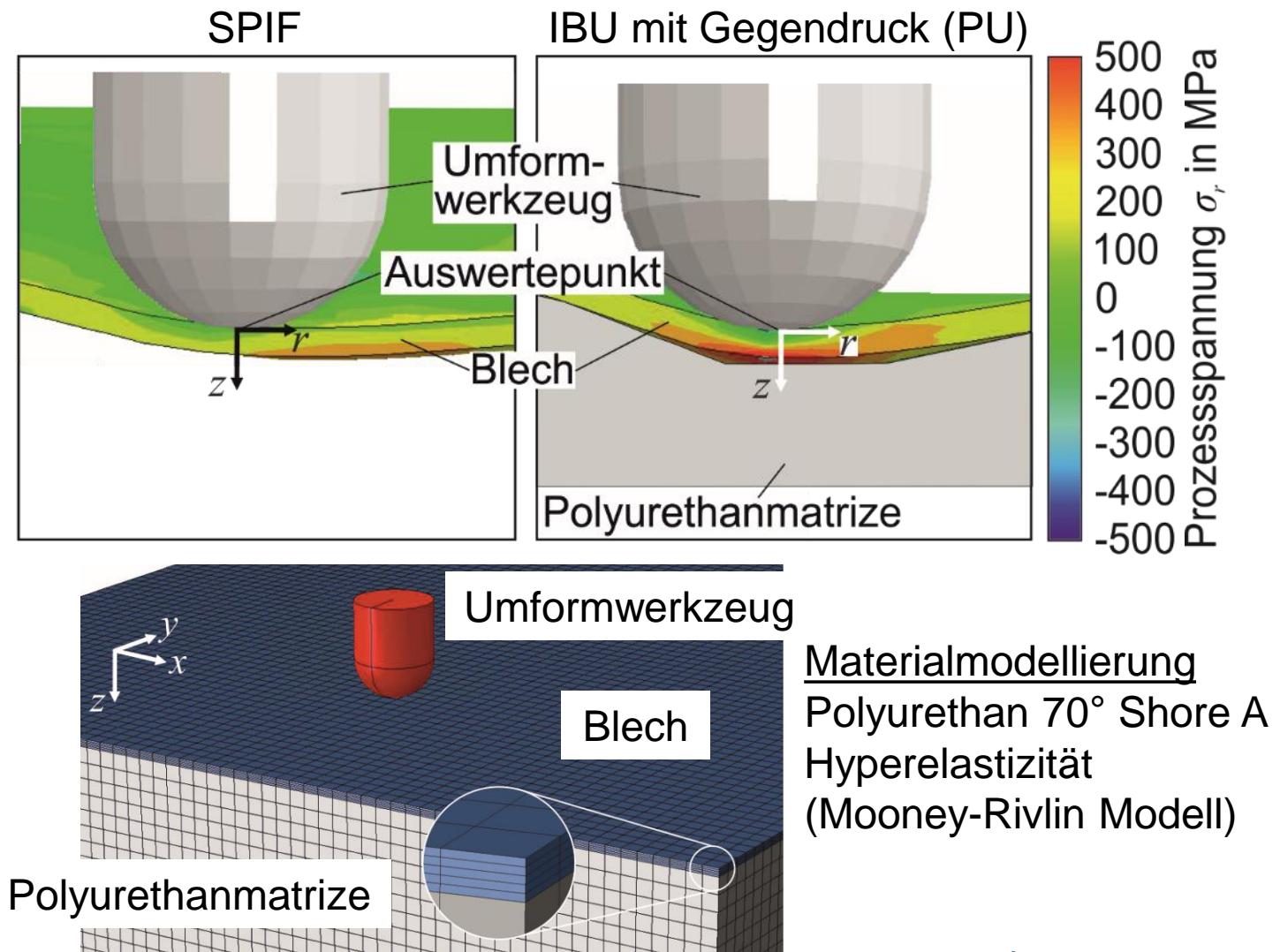
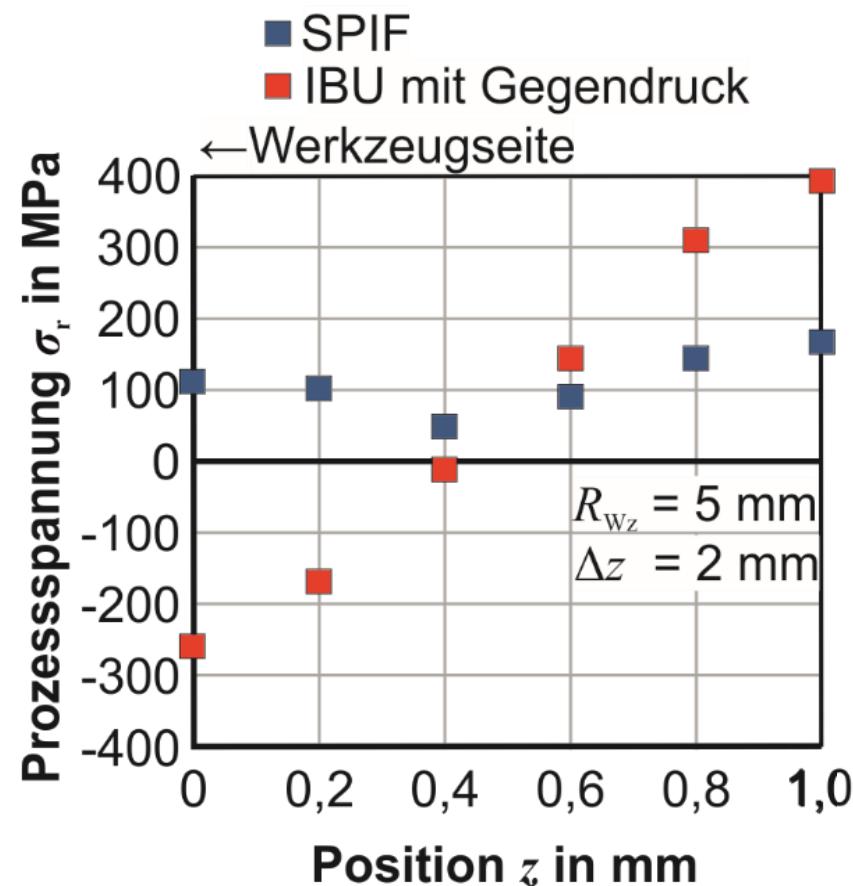
TPIF

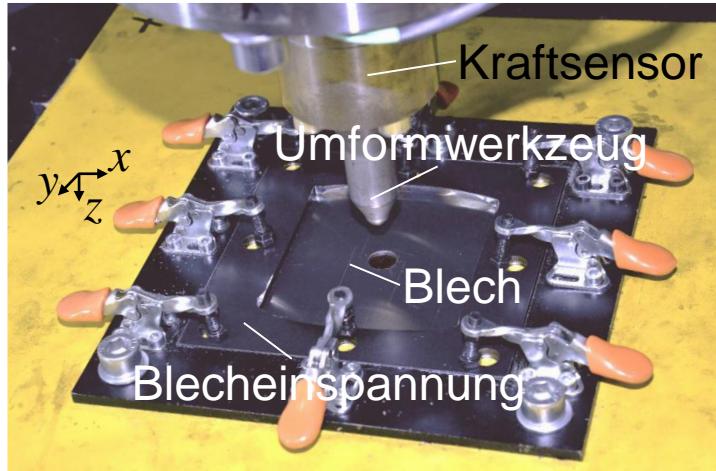
- + Hohe Geometriegenauigkeit
- Hohe Werkzeugkosten

TPIF mit flexibler Polyurethanmatrize

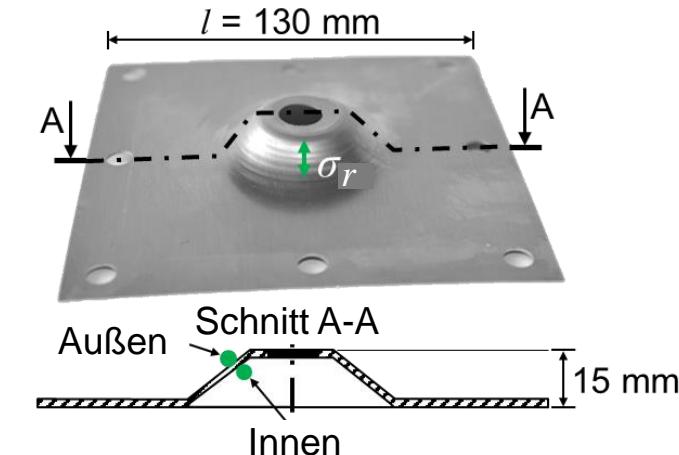
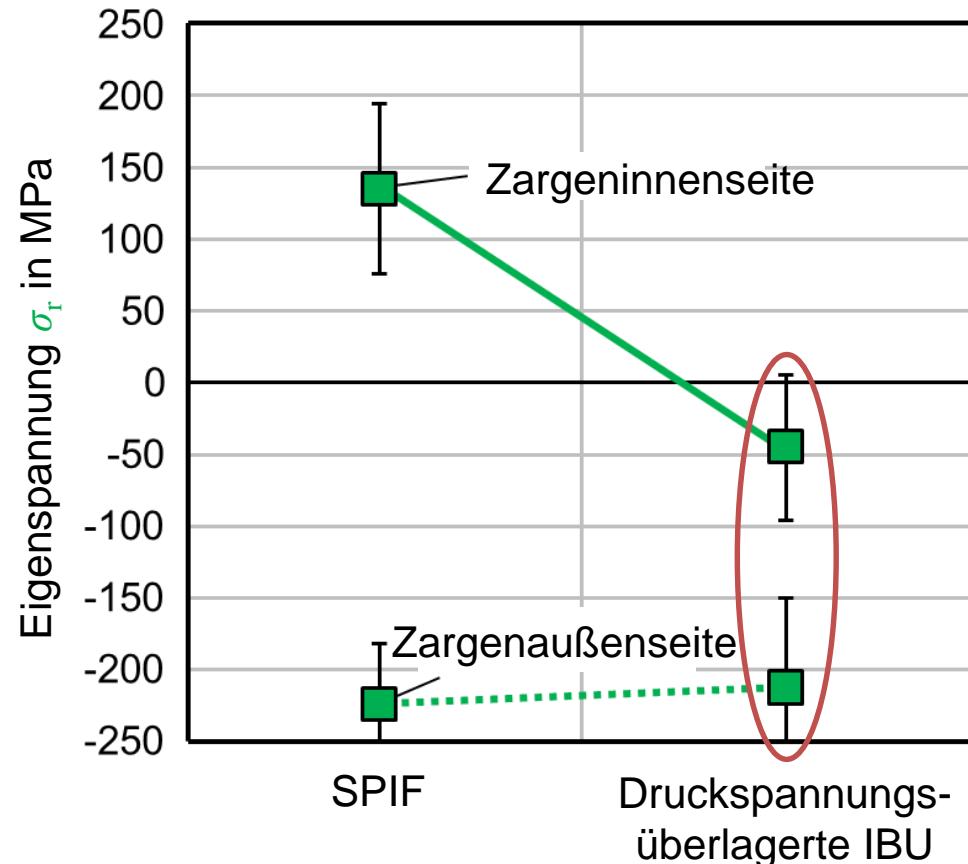
Nach der Umformung Vor der Umformung

- + Hohe Geometriegenauigkeit
- + Hohe Flexibilität
- + Geringe Werkzeugkosten



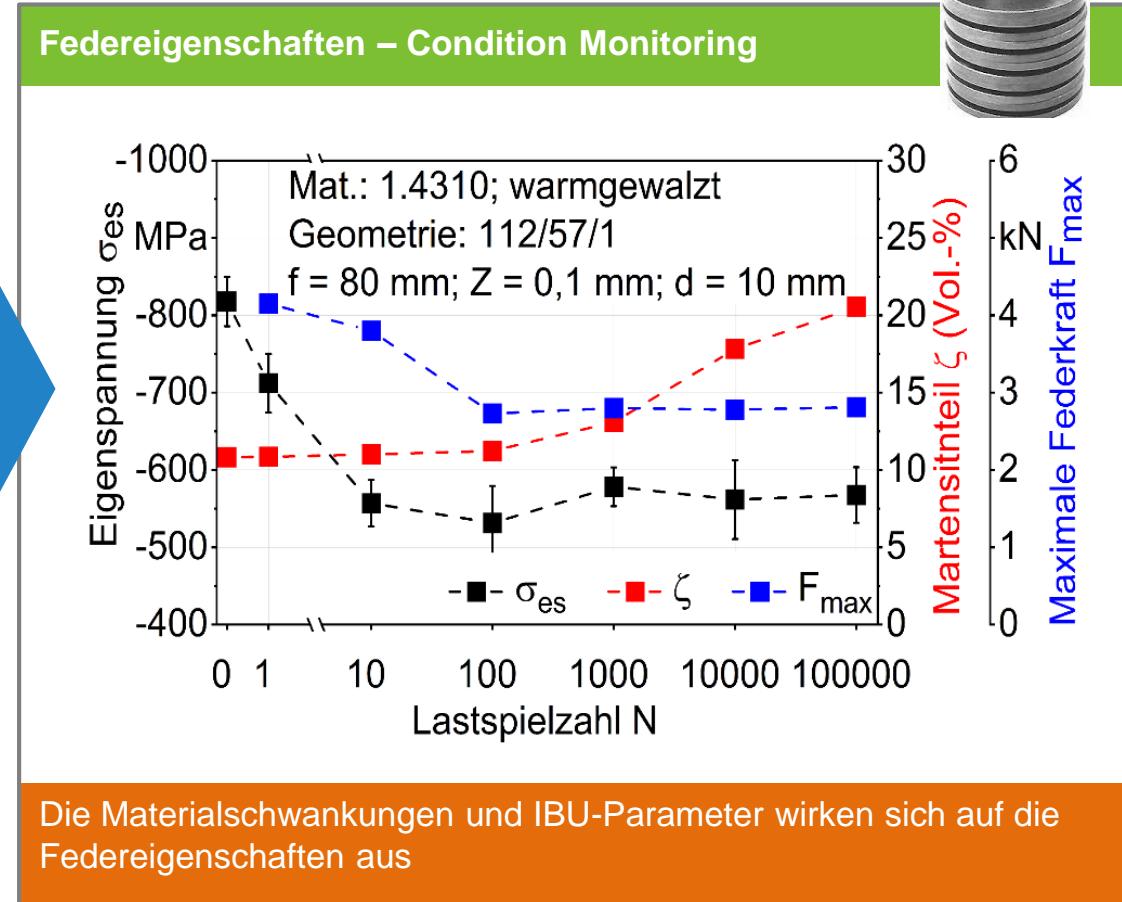
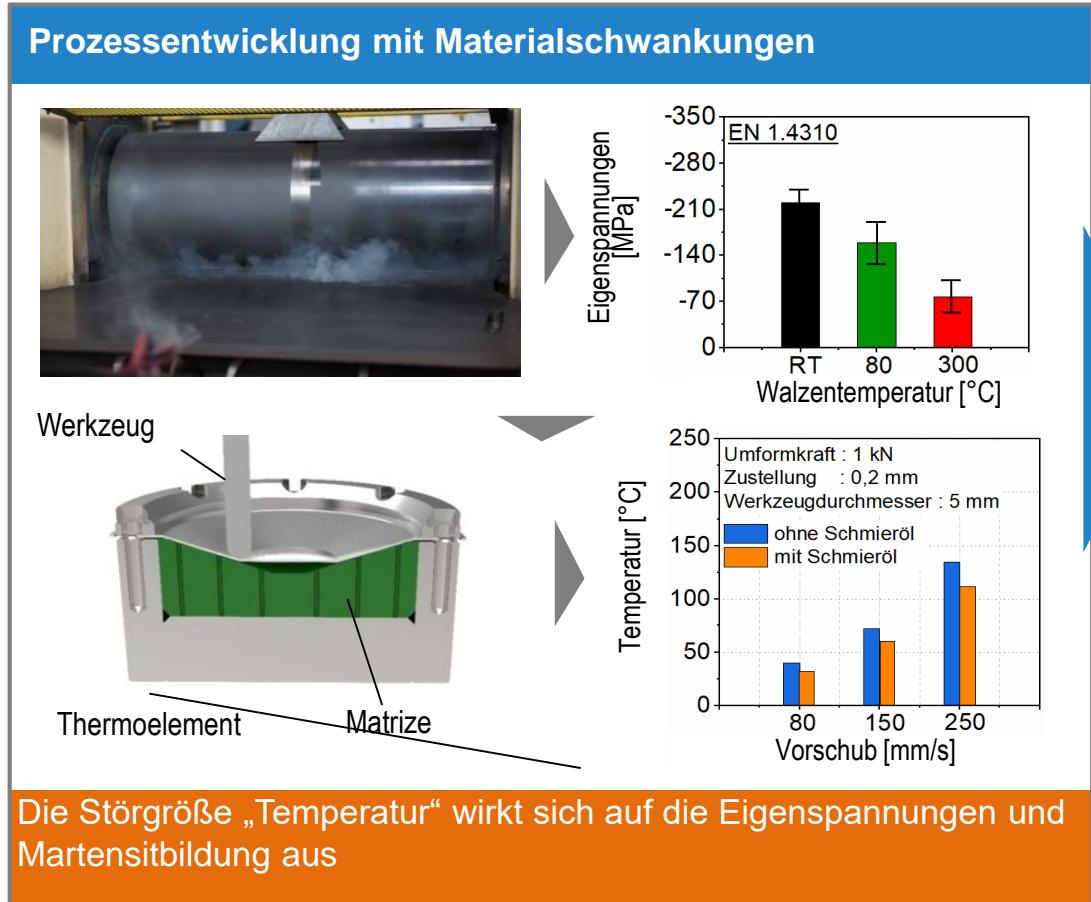


Druckspannungsüberlagerung IBU
(Polyurethanmatrize)



Prozessparameter
EN AW-5083
PU Matrize: 70° Shore A
 $k_{f,0} = 160$ MPa
 $t_0 = 1$ mm
 $R_{Wz} = 5$ mm
 $\Delta z = 2,5$ mm

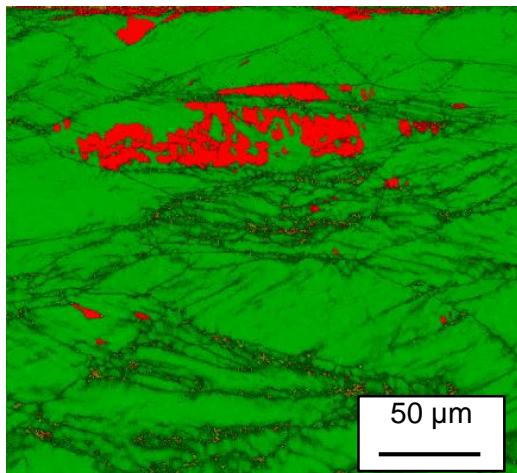
Druckeigenspannungen auf beiden Zargenseiten (Innen-/Außen) durch Druckspannungsüberlagerung



Two-Point Incremental Forming – Numerische Materialmodellierung

Magnetische ES-Messung und Materialcharakterisierung

EBSD-Aufnahmen



Phasenanteil [%]

Austenit

92,8

α' -Martensit

6

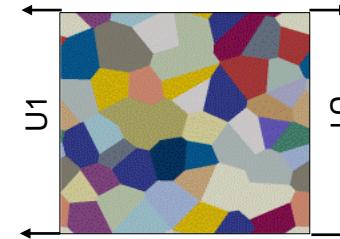
ϵ -Martensit

1,1

ES und Martensitgehalt sind abhängig von Materialschwankungen / Prozessparametern

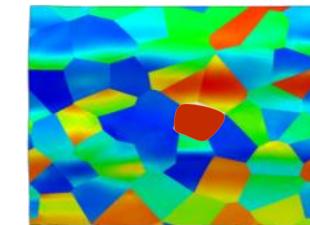
Modellbildung und Simulation

Mikromechanische CP-FEM

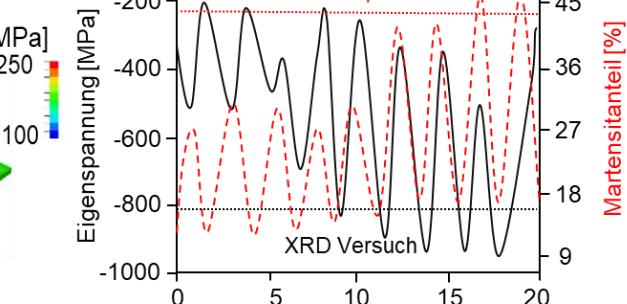
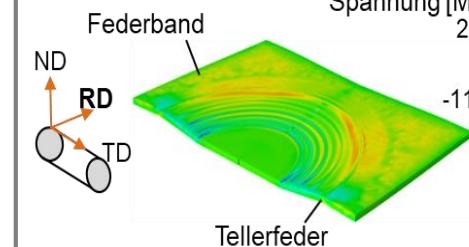


Martensitanteil [%]

100
0



Makromechanische FEM



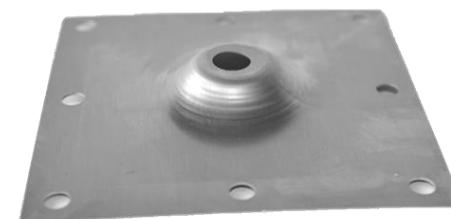
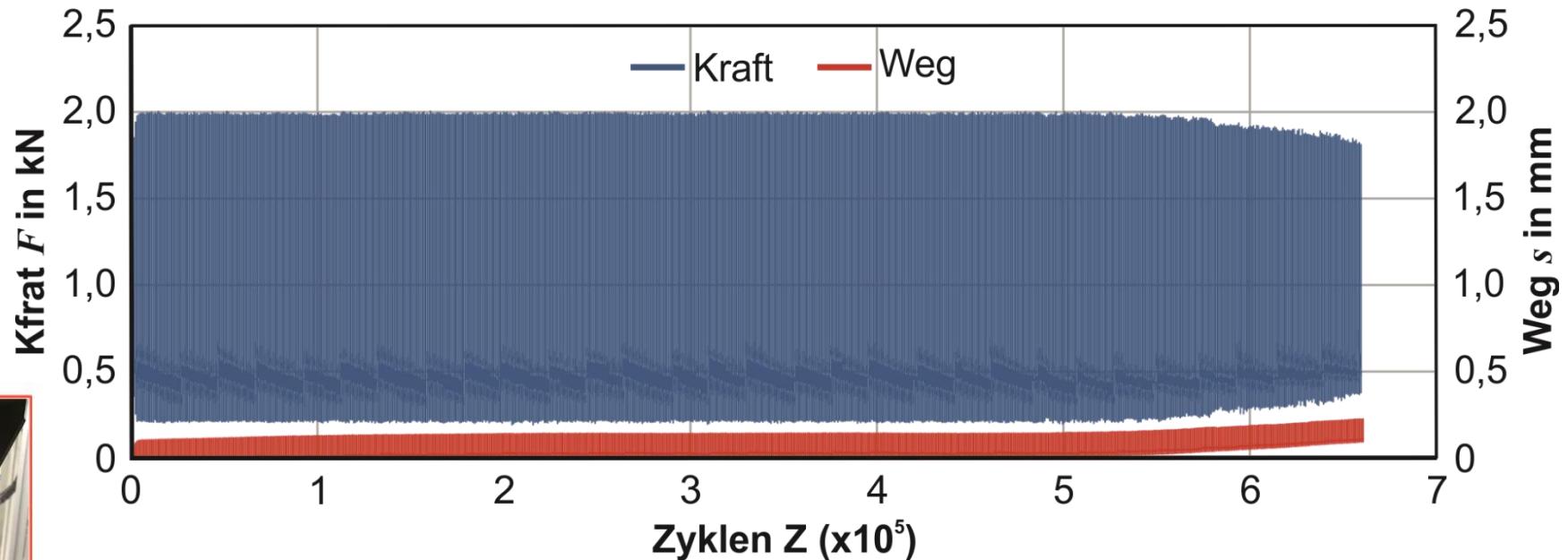
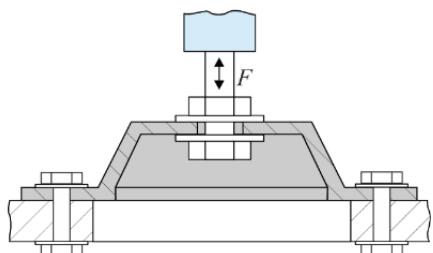
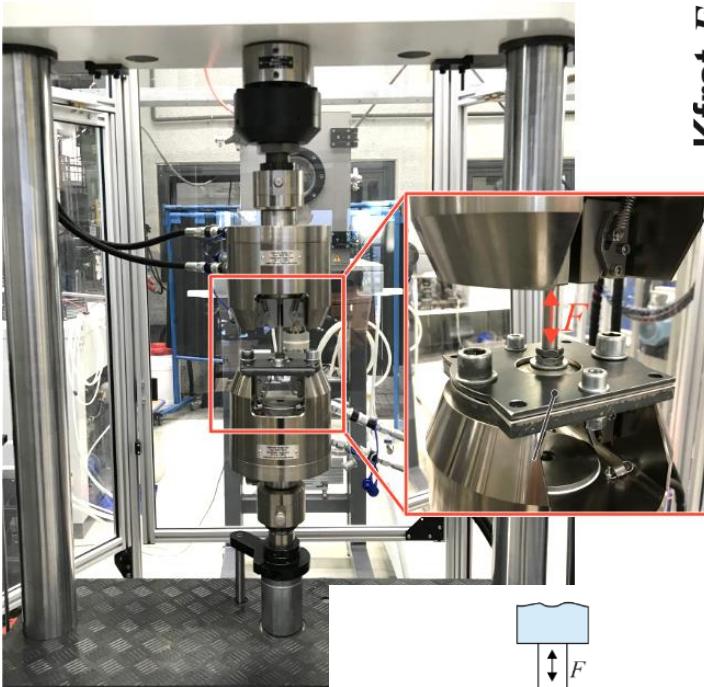
Quantitative Validierung der Simulation anhand ES- und Martensitbildung

- Motivation
- Zielsetzung
- Eigenspannungsanalyse
 - Single Point Incremental Forming
 - Two-Point Incremental Forming
- **Eigenschaftsverbesserung**
- Zusammenfassung und Ausblick

High cycle fatigue (HCF)-Test

Amplitude: 2 kN

Frequenz: 55 Hz

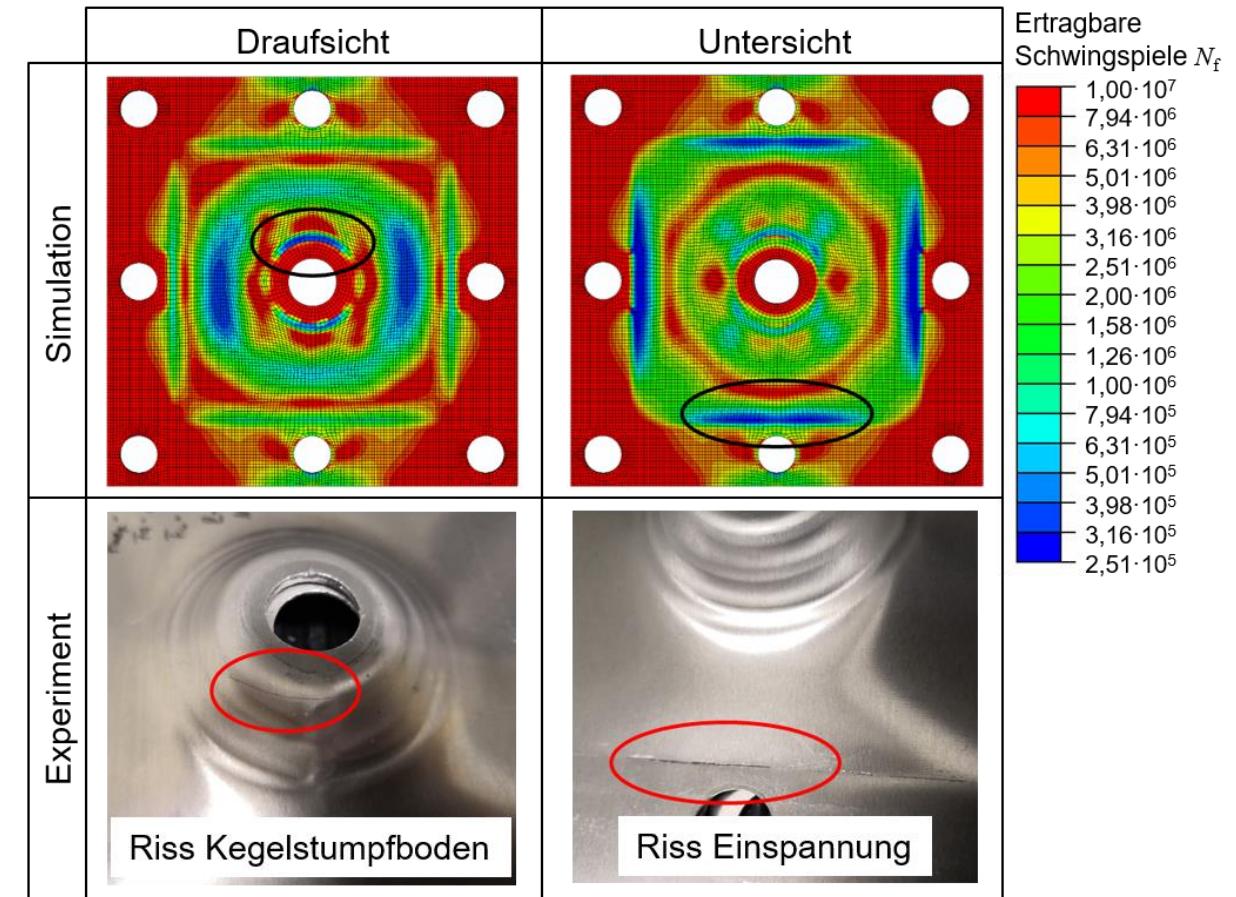
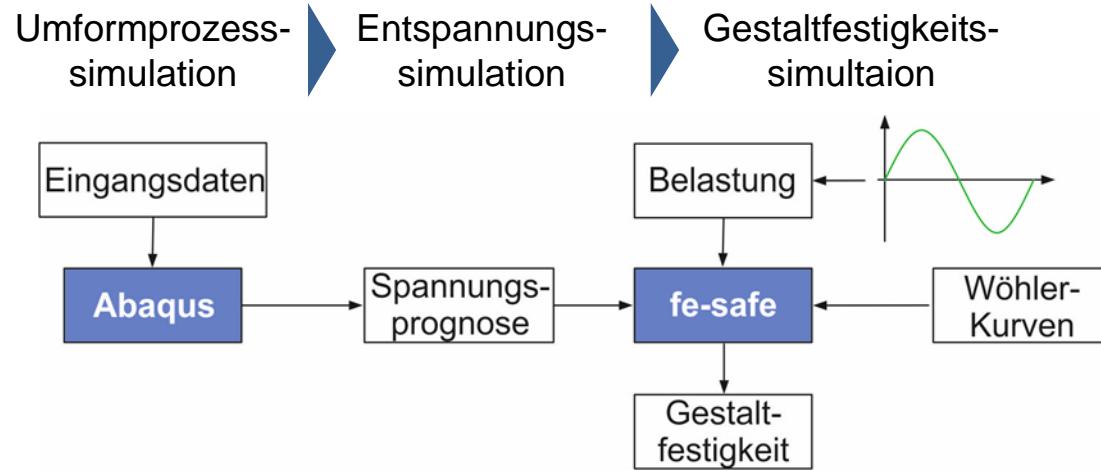


Kegelstumpfgeometrie

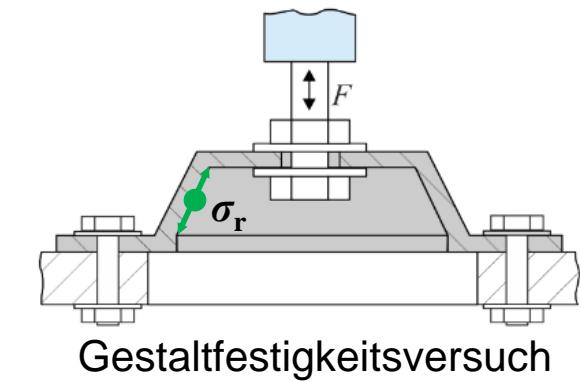
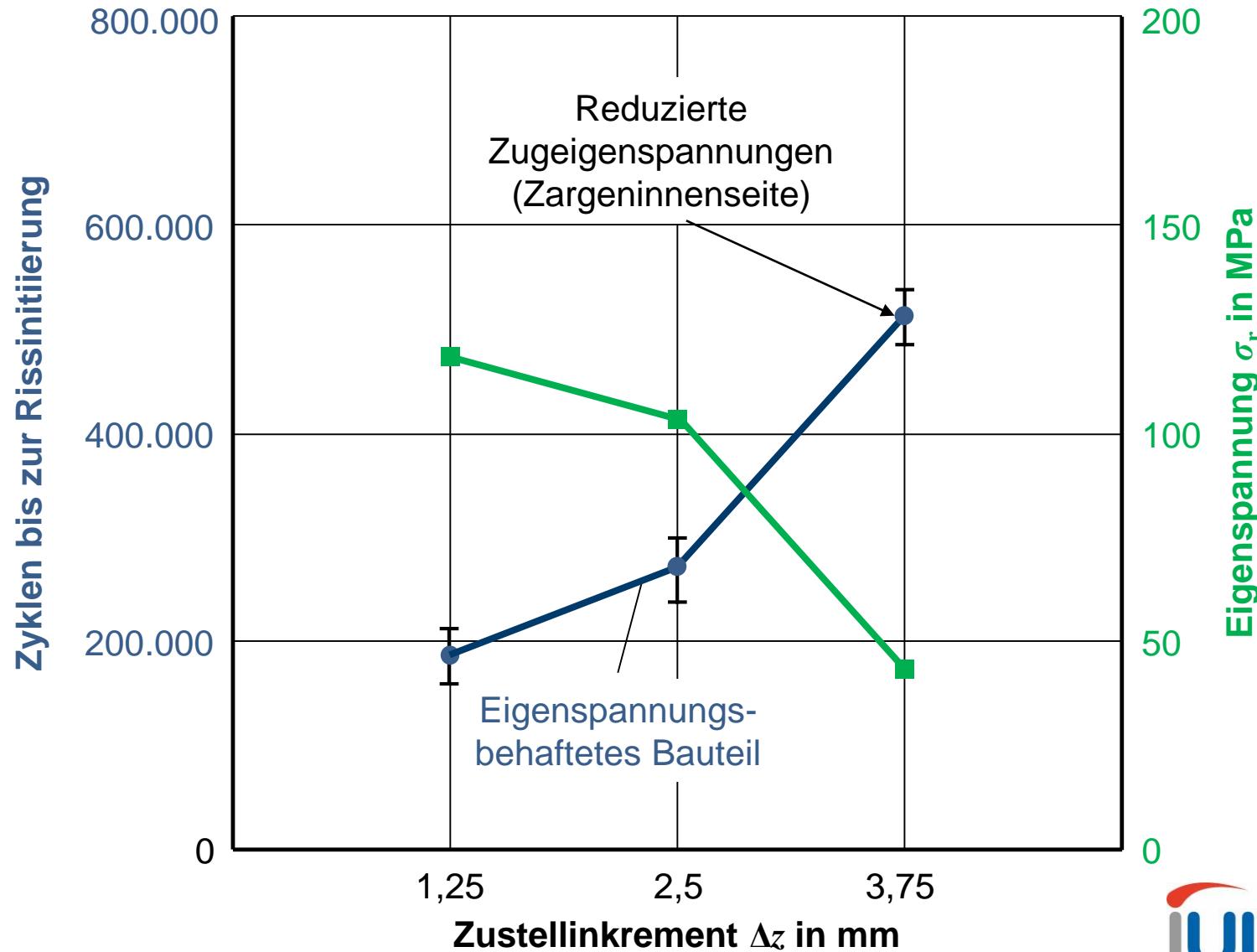


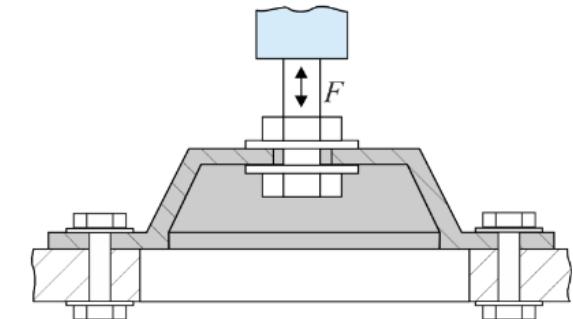
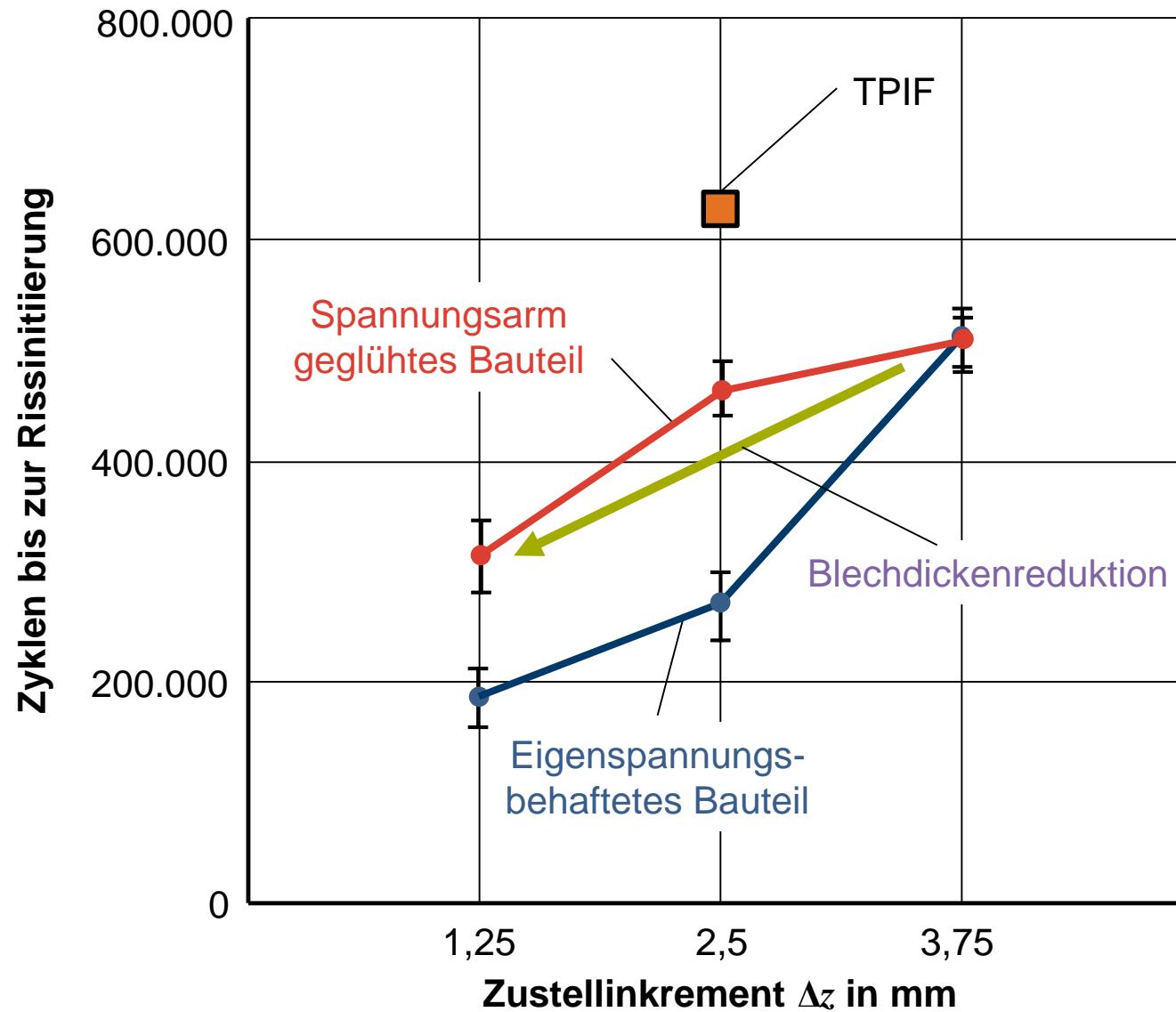
Versagensfall

Modellierung des Gestaltfestigkeitsversuchs



Qualitative und quantitative numerische Prognose des Anrissortes in Abhängigkeit des Eigenspannungszustands

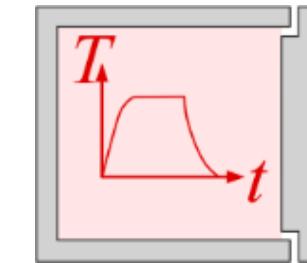




Gestaltfestigkeitsversuch

Wärmebehandlung

Spannungarmglühen ohne
Änderung der Materialhäre und
Mikrostruktur



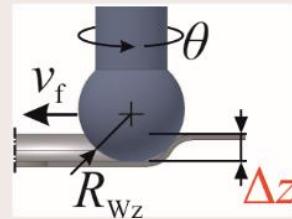
$T = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_h = 1,5 \text{ min}$

- Motivation
- Zielsetzung
- Eigenspannungsanalyse
 - Single Point Incremental Forming
 - Two-Point Incremental Forming
- Eigenschaftsverbesserung
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Einstellen der Umformmechanismen durch Prozessparameter



Prozessparameter der IBU



Umformmechanismen

- Biegung
 - Scherung
 - Normalanteil
- Emmens (2009)

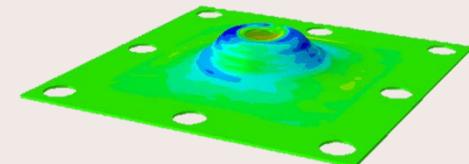
Leistungsfähigkeit



Bauteilversagen

Eingestellte Umformmechanismen beeinflussen die Eigenspannungsentstehung

Eigenspannungen

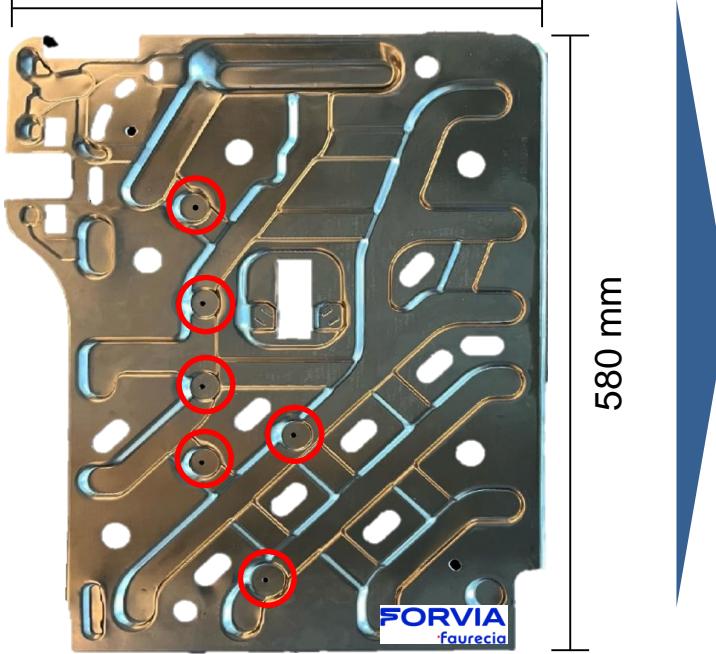


Gezielt umformtechnisch induzierte Eigenspannungen steuern Bauteilleistungsfähigkeit

Transferprojekt ‚Eigenspannungskontrollierte inkrementelle Umformung hochfester Blechbauteile‘ – Projektstart 2024

Rücksitzrahmen mit
Befestigungspunkten

410 mm



Anwendungsfall
Rücksitzlehne
vorklappbar (40:60)

Quelle: VW

Fragestellungen der industriellen Anwendung



Neuer Werkstoff

Mehrphasige Werkstoffe
DP 1000 & DP 1200



Vorform

- Mehrstufige Prozesse
- Komplexe Geometrie



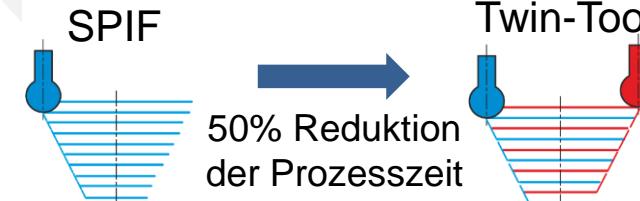
Prozessgeschwindigkeit

Reduktion der IBU-Prozesszeit



Hohe Sicherheitsanforderungen

- Definierte
Eigenspannungseinstellung
- Signifikante
Eigenschaftsverbesserung



FORVIA
Faurecia

iUL

IMW **SPP** **2013**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Projekt 1 – Projektnummer 372823079

**Gezielte Erzeugung und Stabilisierung von
Eigenspannungen in austenitischen Tellerfedern
durch inkrementelle Umformung und integrierte
Randzonenbeeinflussung**

Prof. Dr.-Ing. Frank Walther

Lehrstuhl für Werkstoffprüftechnik, TU Dortmund

Prof. Dr.-Ing. Johannes Buhl

Institut für Metallurgie, TU Clausthal

Projekt 11 – Projektnummer 372803376

**Verbesserung des Einsatzverhaltens inkrementell
umgeformter Bauteile durch gezielte
Eigenspannungsinduktion**

Prof. Dr.-Ing. A. Erman Tekkaya

Institut für Umformtechnik und Leichtbau, TU Dortmund

Prof. Dr.-Ing. Thomas Lampke

Institut für Werkstoffwissenschaft
und Werkstofftechnik, TU Chemnitz