

Gezielte Eigenspannungseinstellung in der inkrementellen Blechumformung

Abschlusskolloquium SPP 2013 – 29. Sächsische Fachtagung Umformtechnik

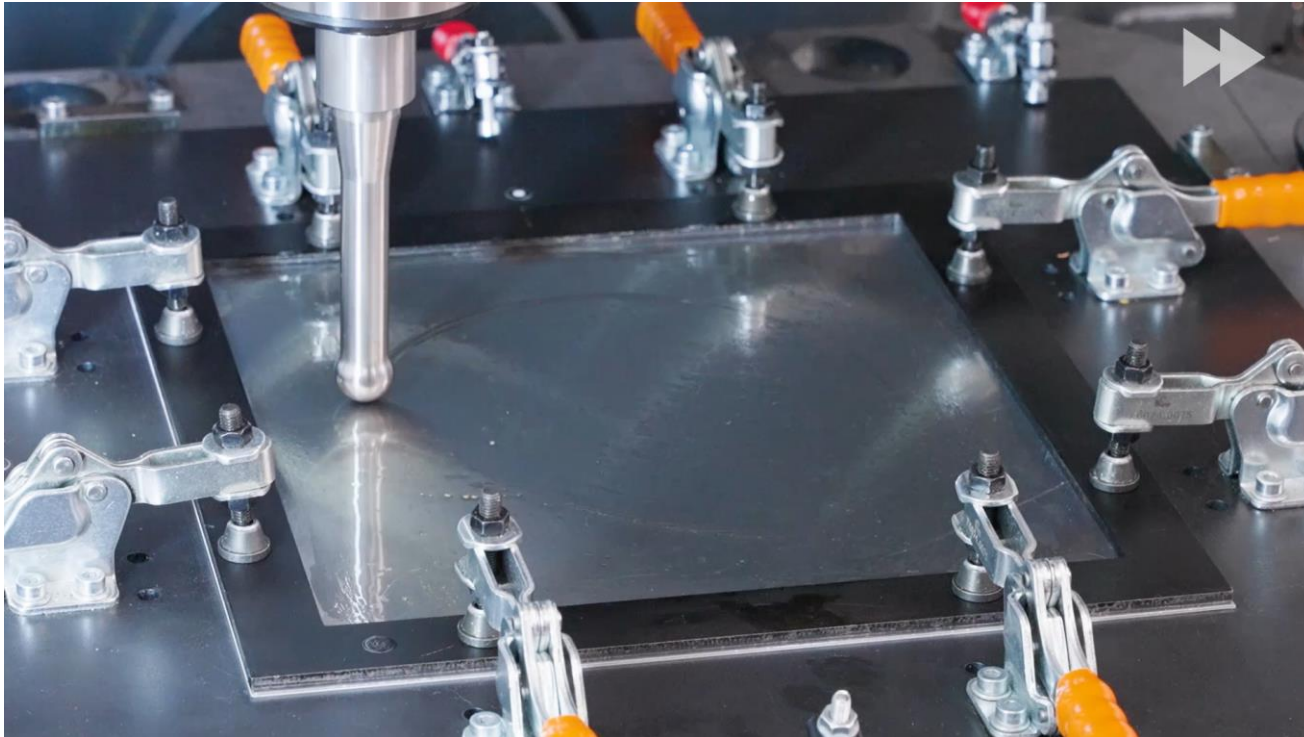
F. Maaß, M. Hahn, T. Bergelt, L. Winter, N. Baak, J. Buhl, F. Walther, T. Lampke, A. E. Tekkaya

Dresden, 28. November 2023

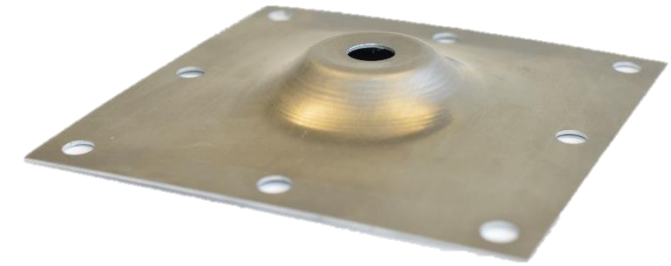
DFG Agenda

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

Inkrementelle Blechumformung

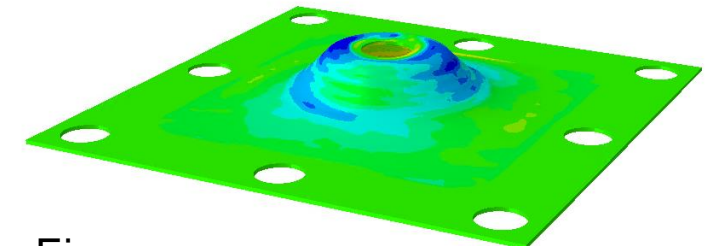


Produkt



Kegelstumpf EN AW-5083

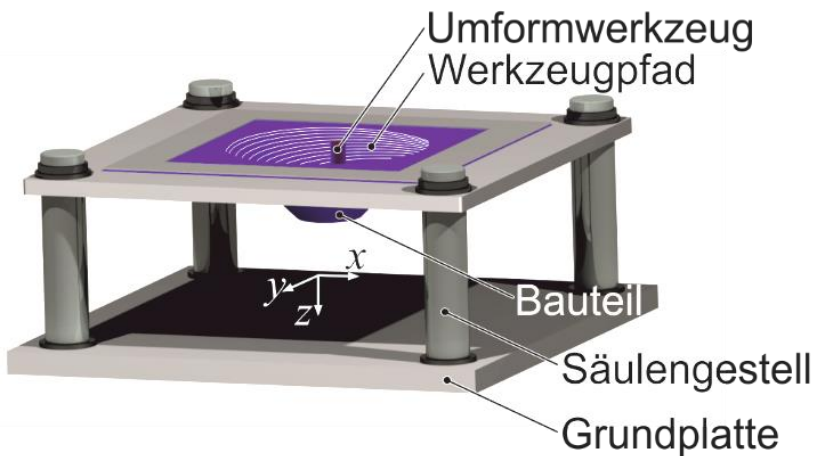
Eigenspannungszustand



Eigenspannung σ

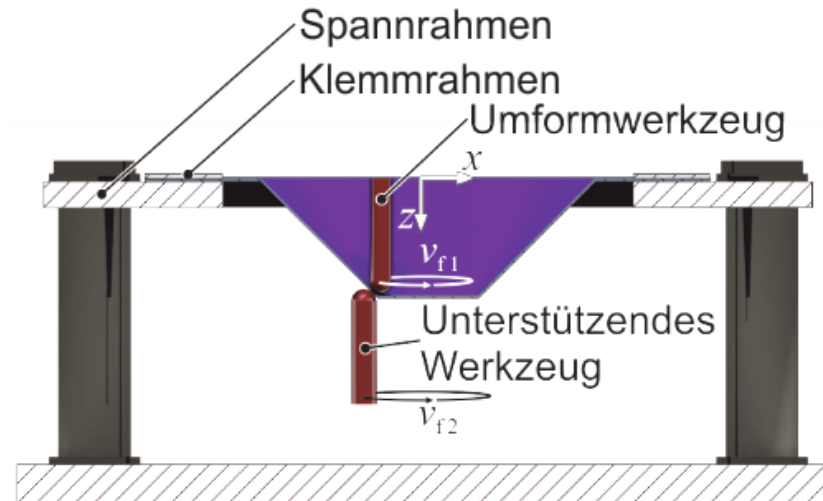


Single Point Incremental Forming (ohne Gegenwerkzeug)

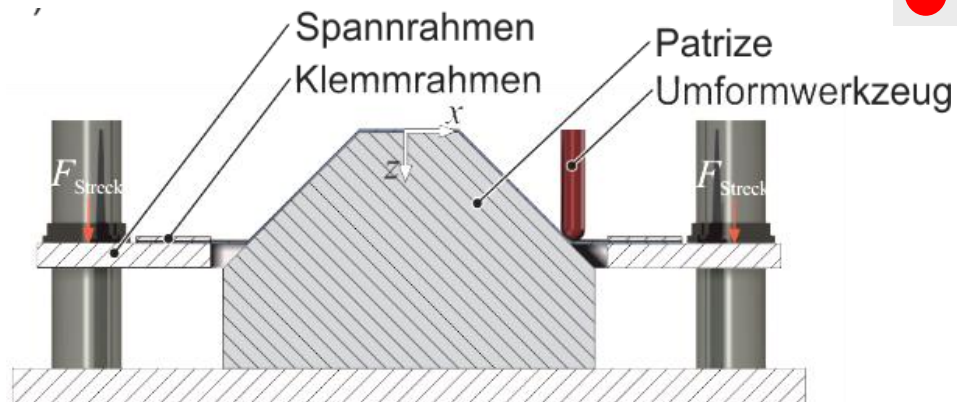


- + Hohe Flexibilität
- + Geringe Werkzeugkosten
- Geringe Geometriegenauigkeit

Two Point Incremental Forming (mit Gegenwerkzeug)

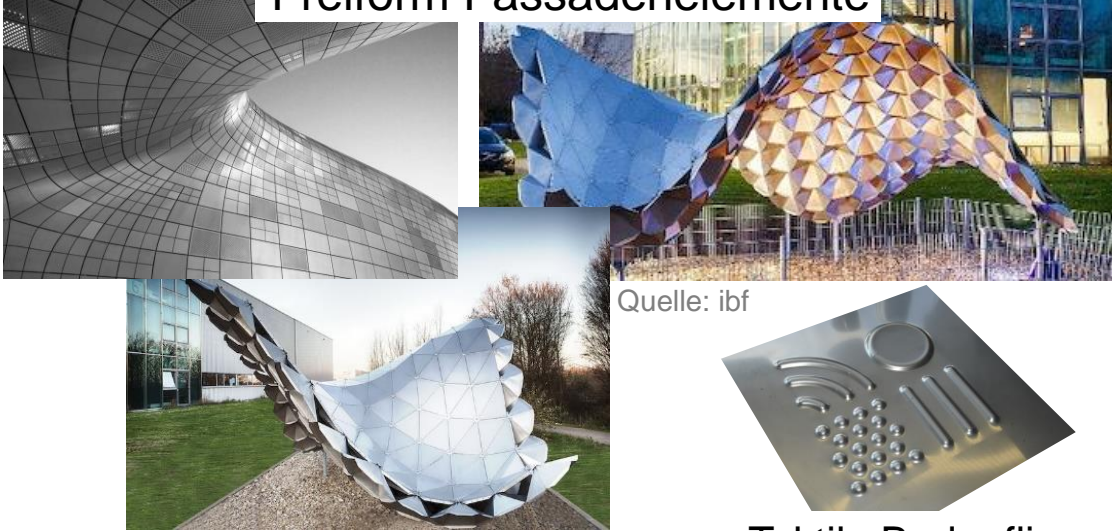


- + Hohe Geometriegenauigkeit
- Geringe Flexibilität
- Hohe Werkzeugkosten

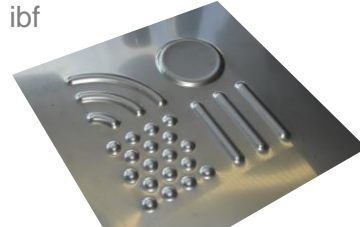


Architektur

Freiform Fassadenelemente



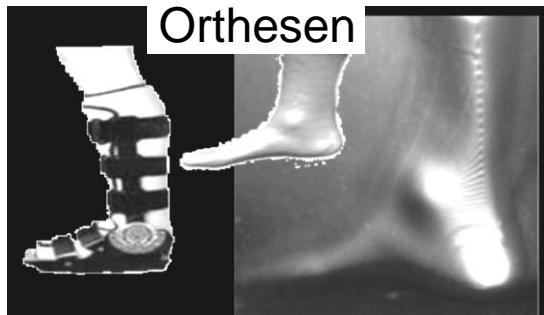
Quelle: ibf



Taktile Bodenfliese

Medizinprodukte

Orthesen



Quelle: Ambrogio et al. (2005)

Brennstoffzellen



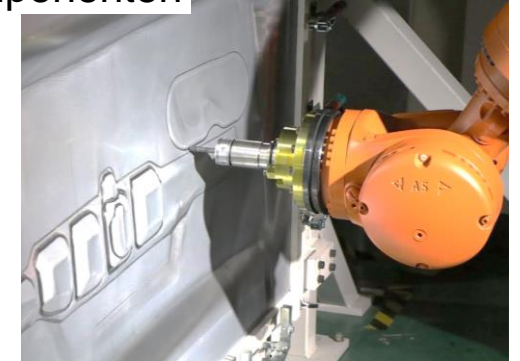
Bipolarplatte

Automobilindustrie

Fahrzeugkomponenten



Quelle: ibf



Quelle: Nissan



Sitzschiene

Quelle: VW

DFG Agenda

- 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?



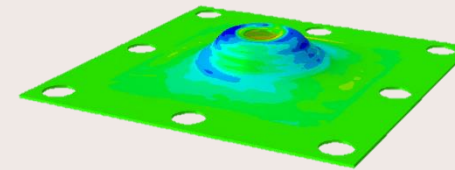
Umformmechanismen

- Biegung
 - Scherung
 - Normalanteil
- Emmens (2009)

Wie beeinflussen die Umformmechanismen die Eigenspannungsausbildung?

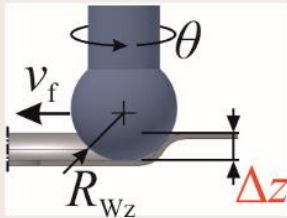


Eigenspannungen



Können definierte Eigenspannungszustände in Bauteile eingebracht werden?

Prozessparameter der IBU



Leistungsfähigkeit

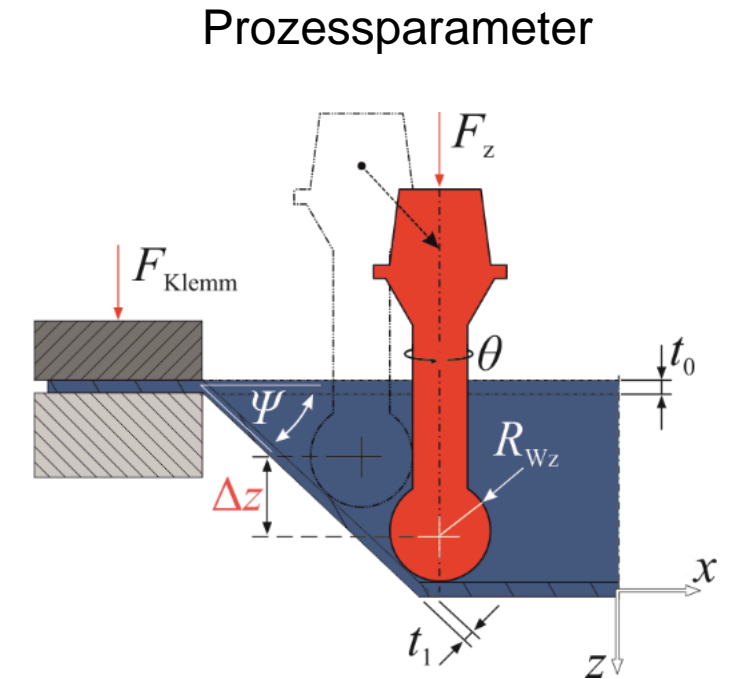
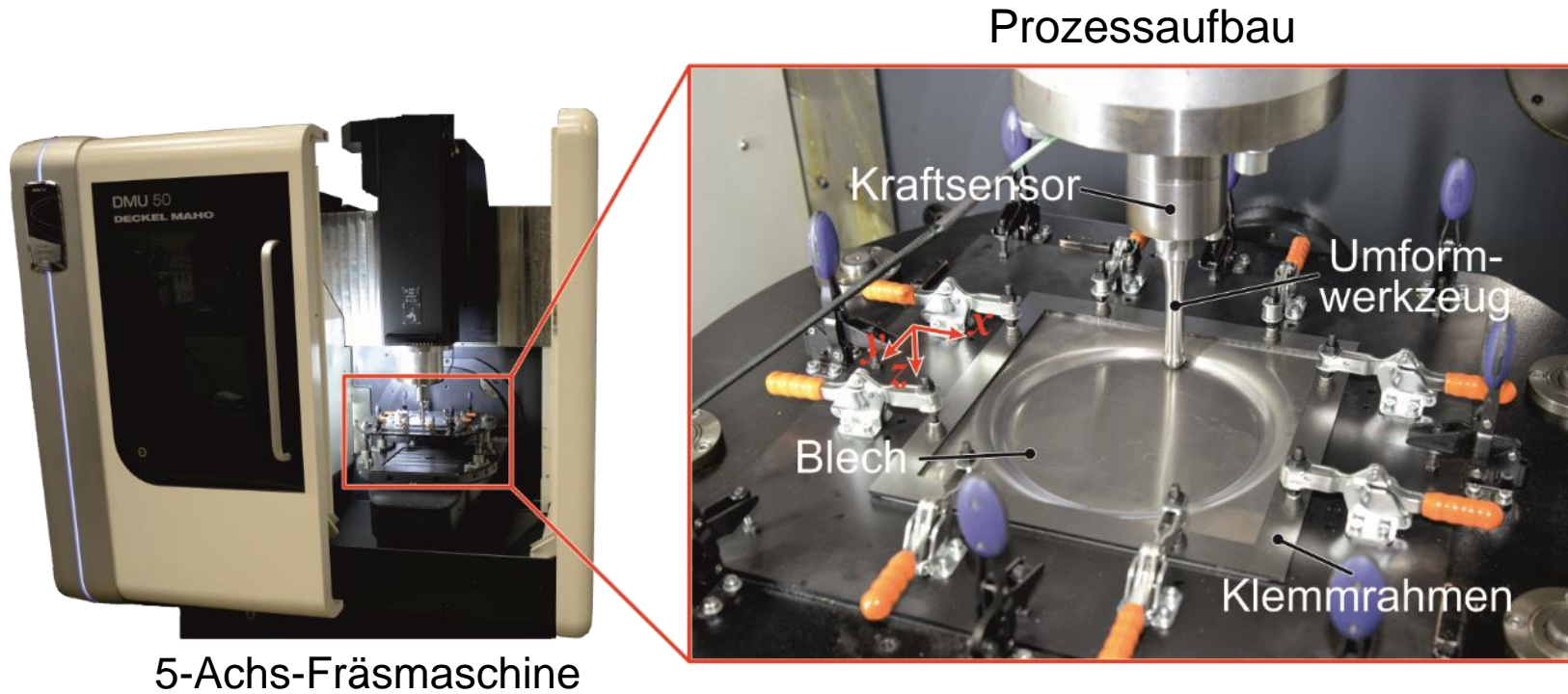


Bauteilversagen

Welche Eigenschaftsverbesserung ist quantitativ realisierbar?

DFG Agenda

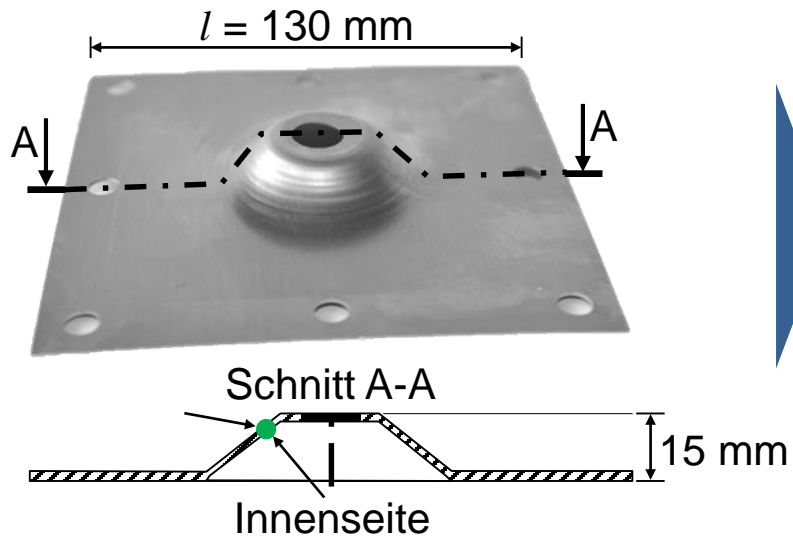
- Motivation
- Zielsetzung
- **Eigenspannungsanalyse**
 - **Single Point Incremental Forming**
 - Two-Point Incremental Forming
- Eigenschaftsverbesserung
- Zusammenfassung und Ausblick



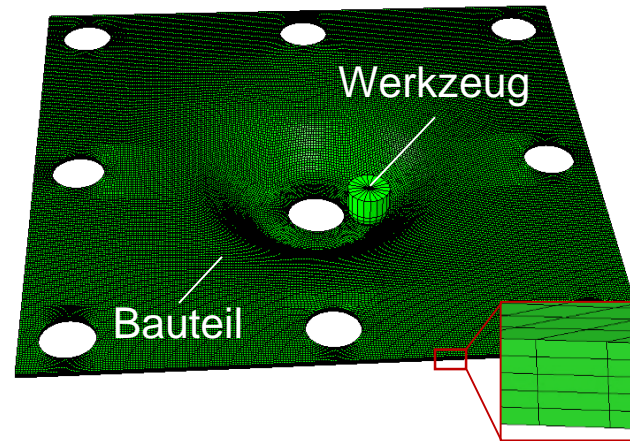
- Flexibler Umformprozess
- Kostengünstig für Kleinserien und Prototypenbau
- Erhöhte Umformbarkeit

DFG Single Point Incremental Forming – Eigenspannungsanalyse

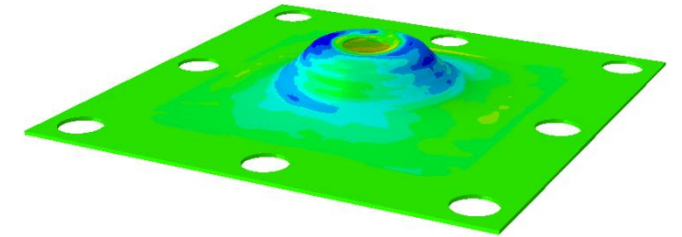
Kegelstumpfgeometrie



Numerisches Prozessmodell



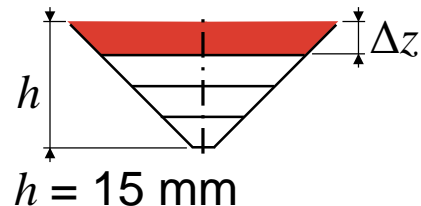
Eigenspannungsprognose



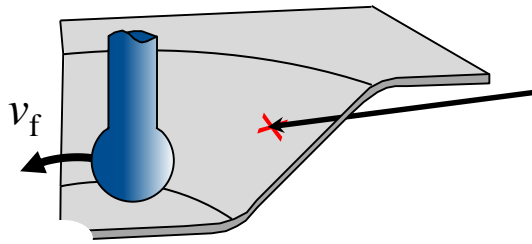
Abaqus (Volumenelemente)

- 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

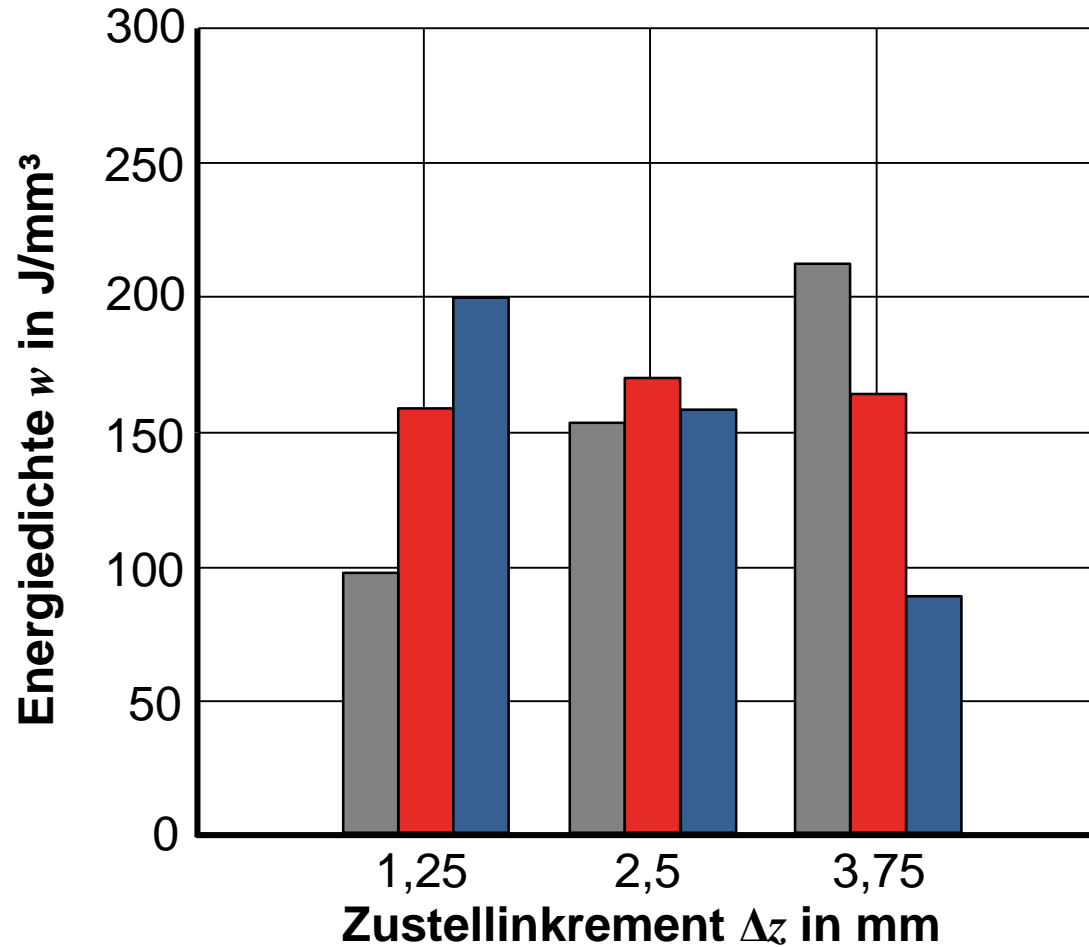


Prozessparameter

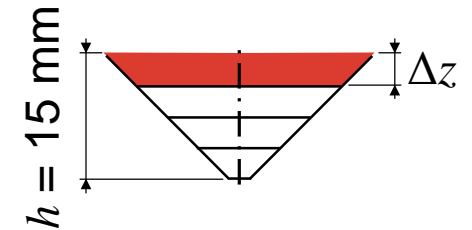
EN AW-5083

$t_0 = 1 \text{ mm}$

$R_{Wz} = 5 \text{ mm}$

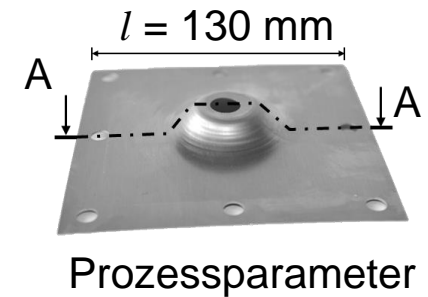
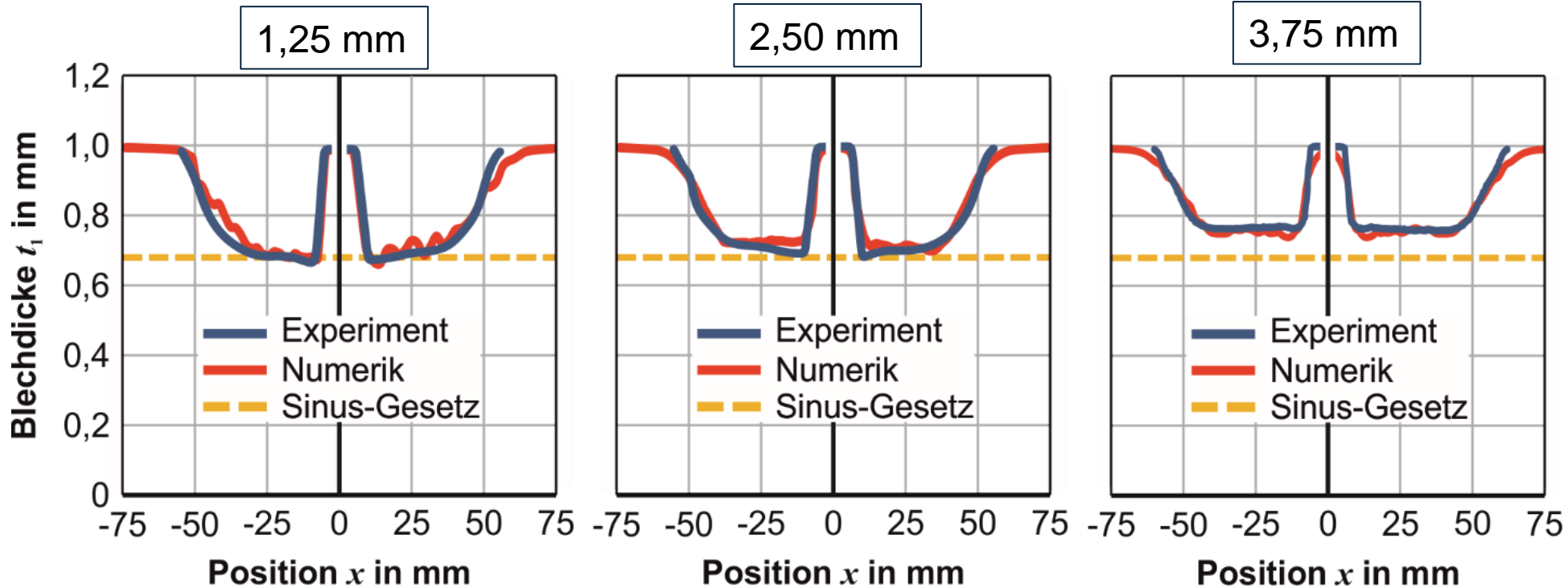


- Biegung
- Normalanteil
- Scherung



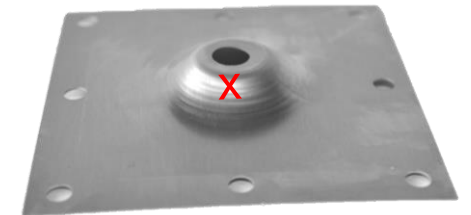
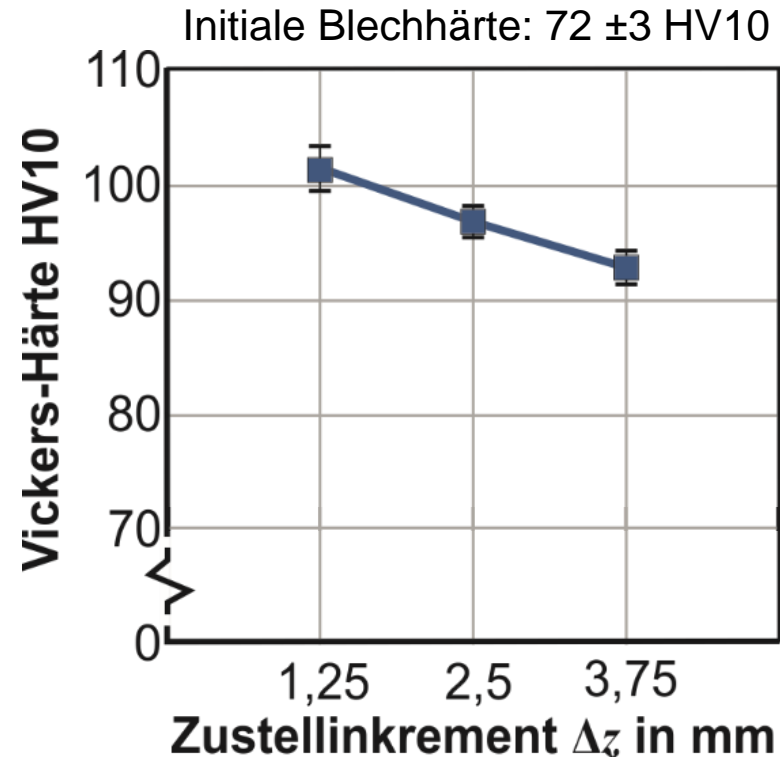
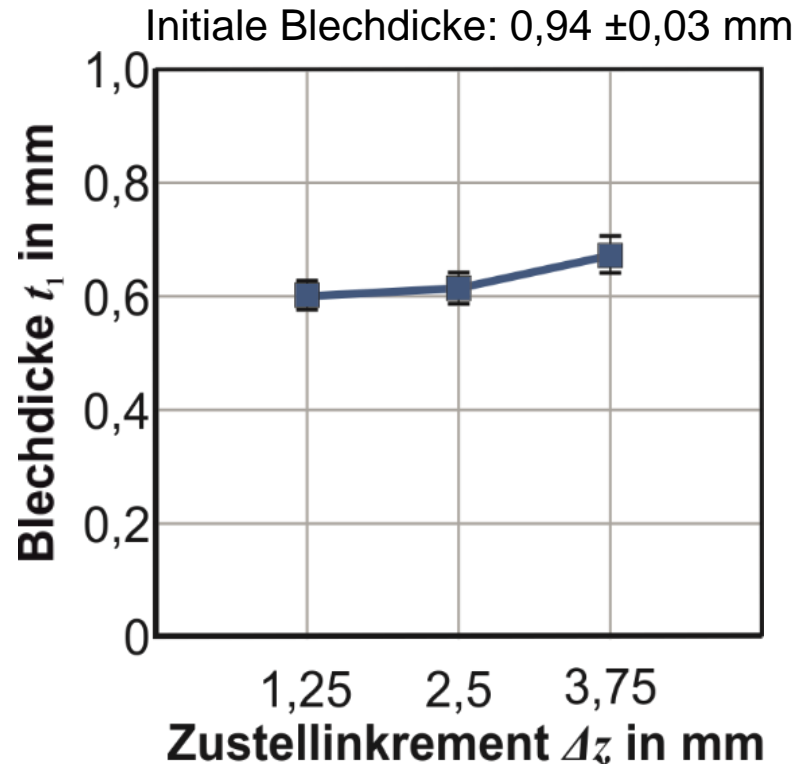
Steigende Biege- und sinkende Scheranteile für größere Zustellung

Zustellinkrement Δz in mm



$$t_0 = 1 \text{ mm}$$

$$R_{Wz} = 5 \text{ mm}$$

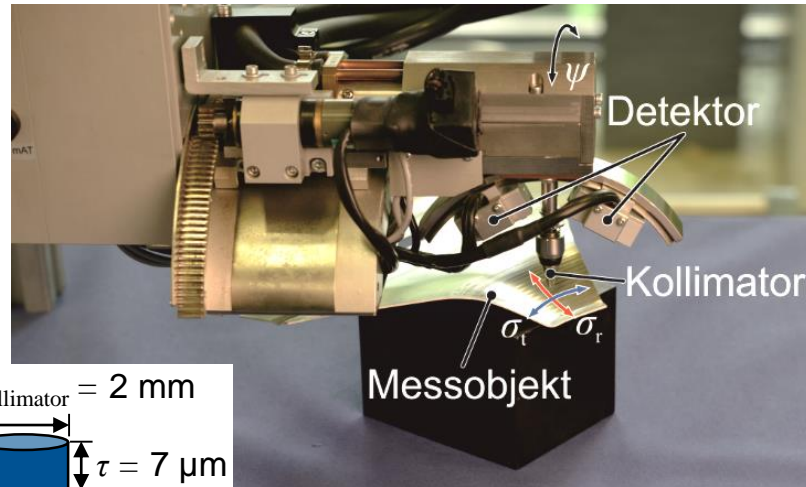
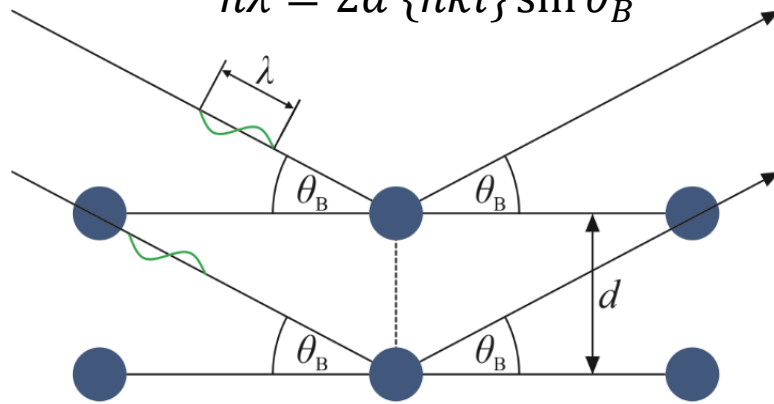


Messort

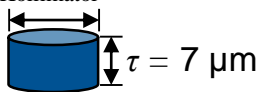
Prozessparameter
 EN AW-5083
 $\psi = 45^\circ$
 $R_{Wz} = 5$ mm

Bragg'schen Gesetz:

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

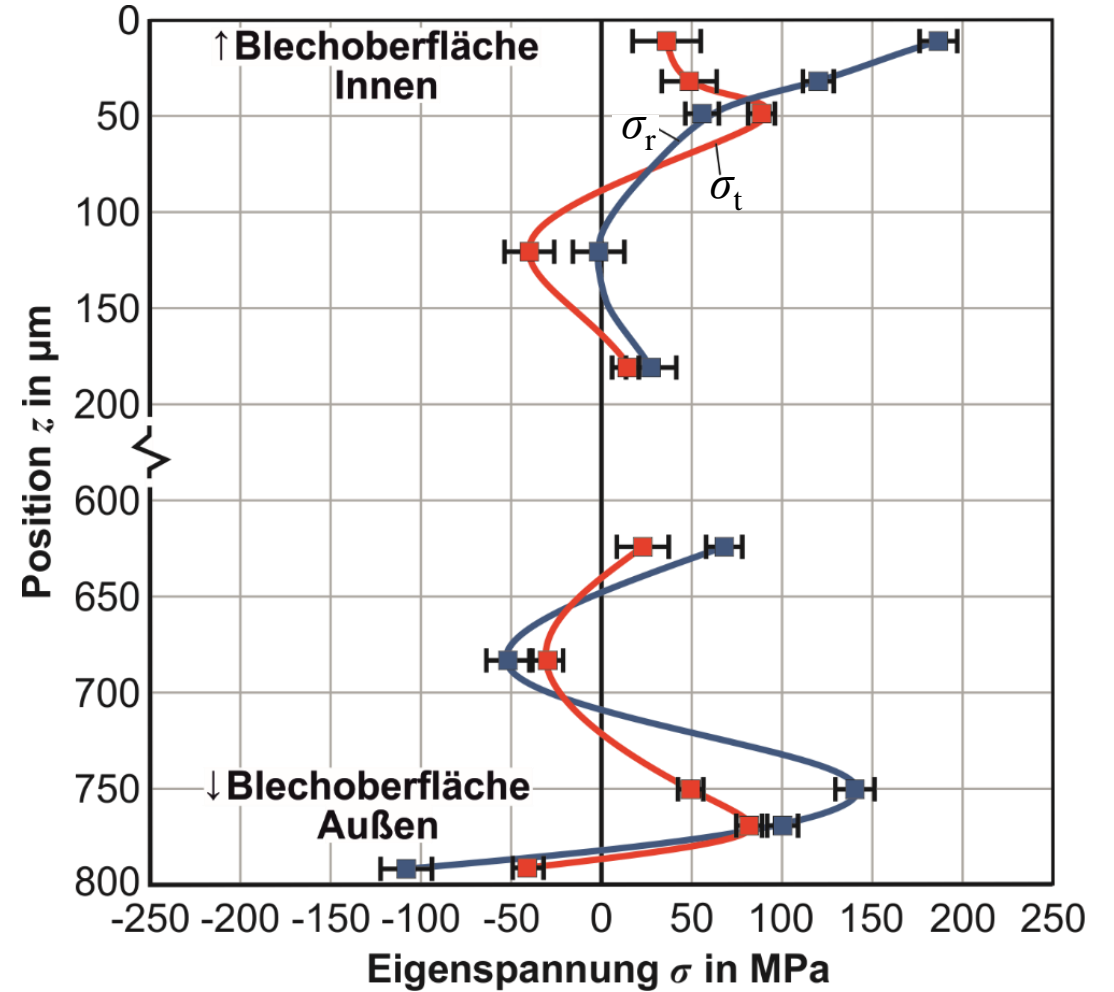


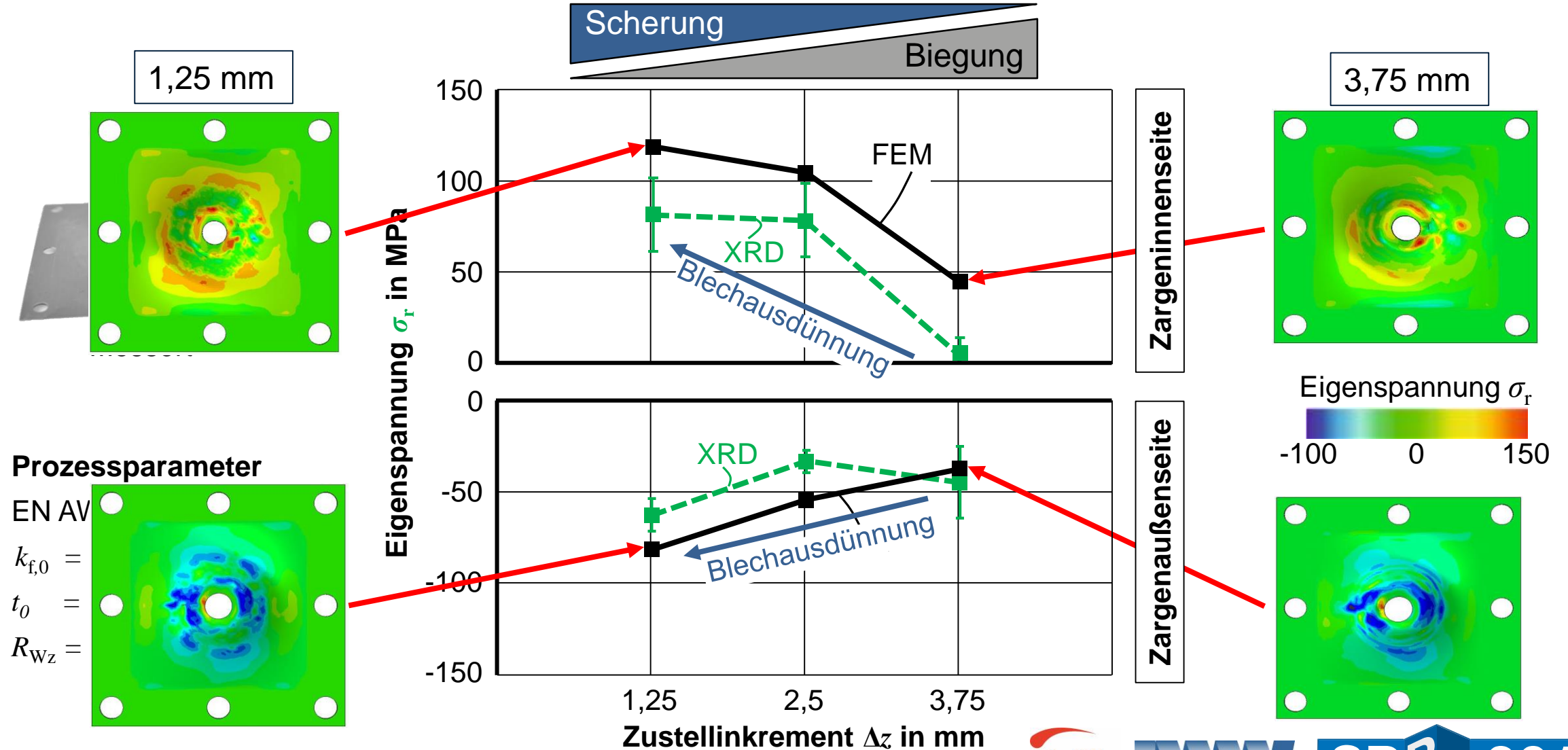
$D_{\text{Kollimator}} = 2 \text{ mm}$



Messvolumen

Messaufbau XRD



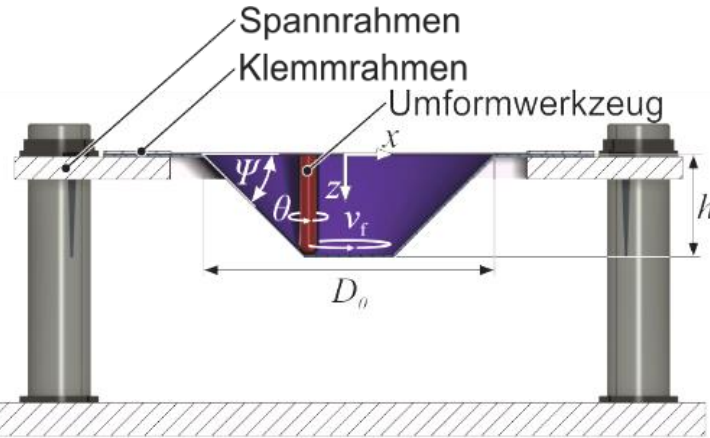


DFG Agenda

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

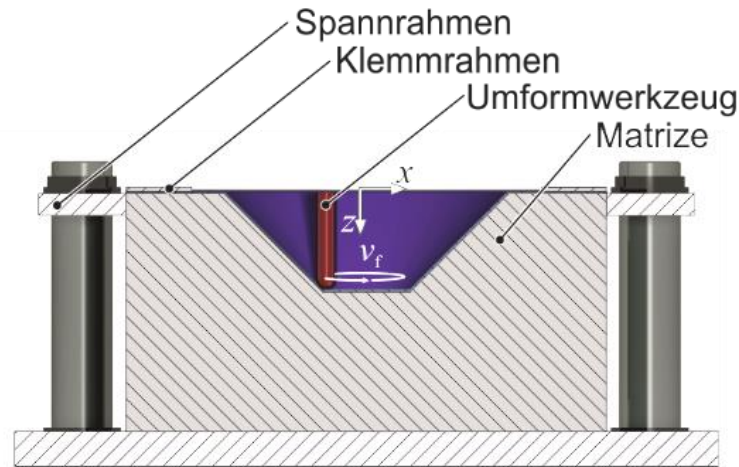
DFG Two-Point Incremental Forming

SPIF



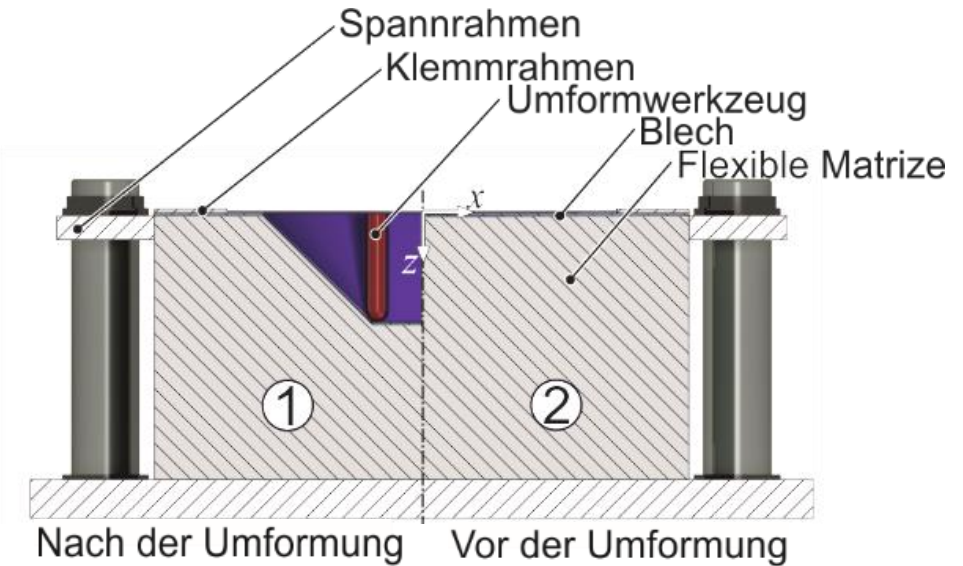
- + Hohe Flexibilität
- + Geringe Werkzeugkosten
- Geringe Geometriegenauigkeit

TPIF

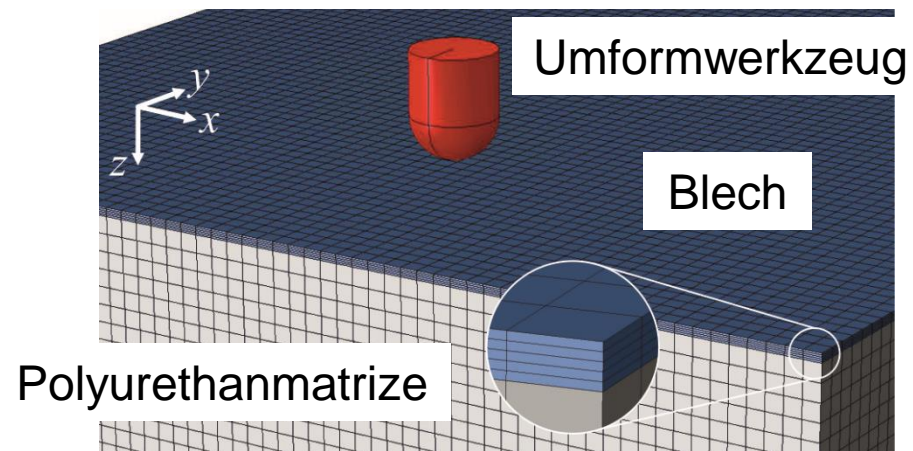
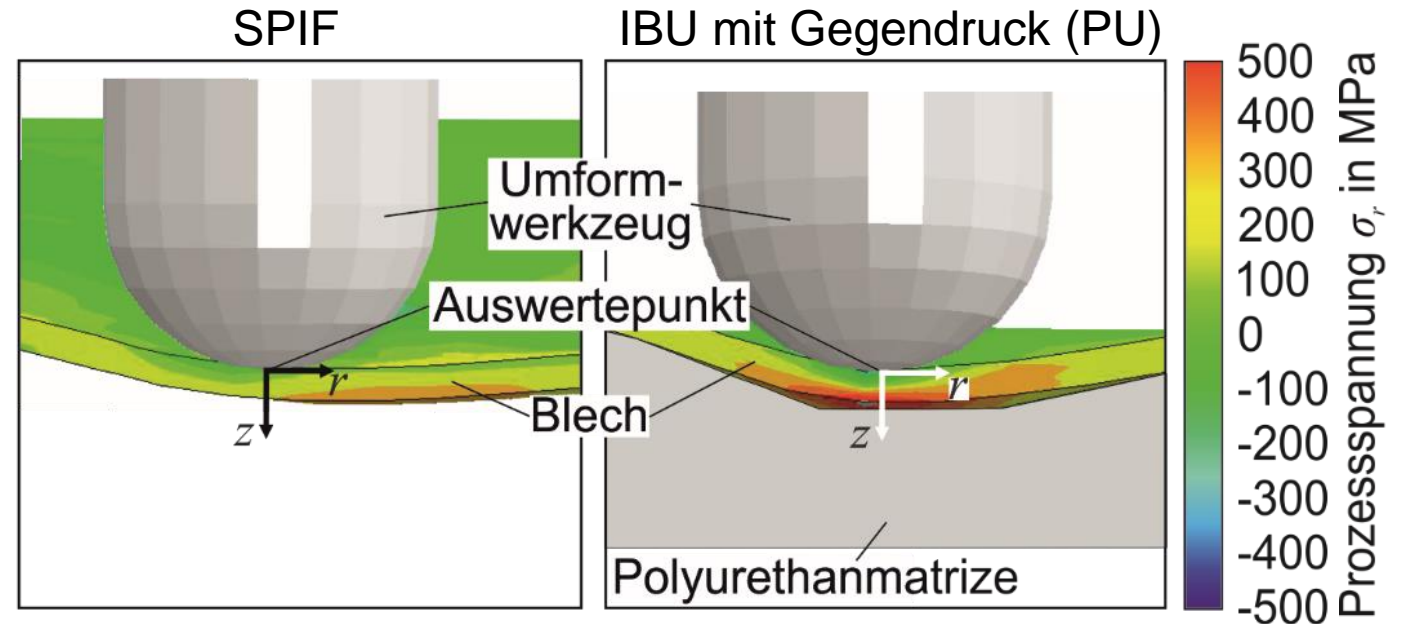
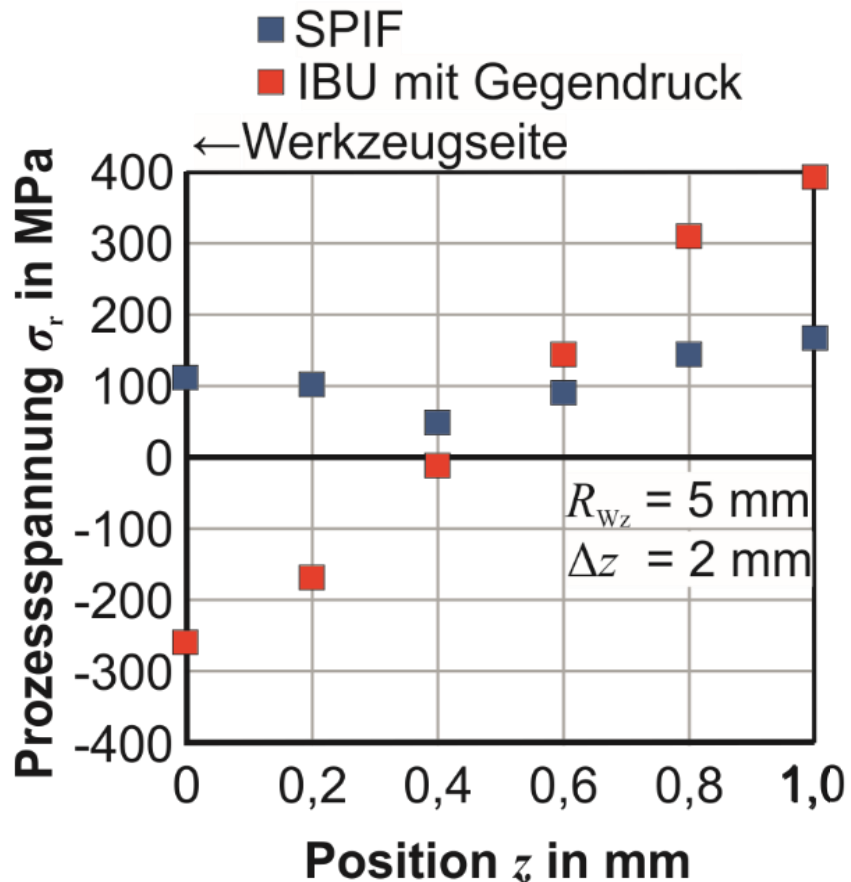


- + Hohe Geometriegenauigkeit
- Hohe Werkzeugkosten

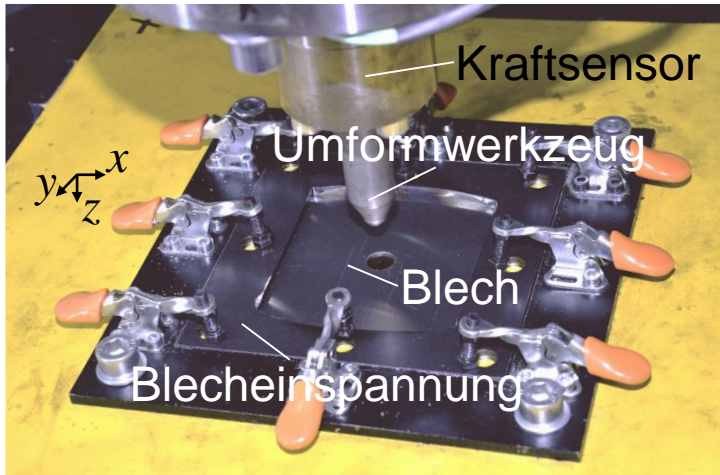
TPIF mit flexibler Polyurethanmatrize



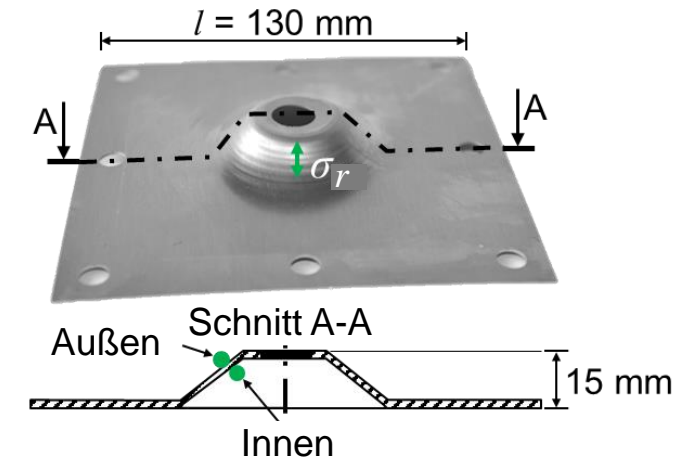
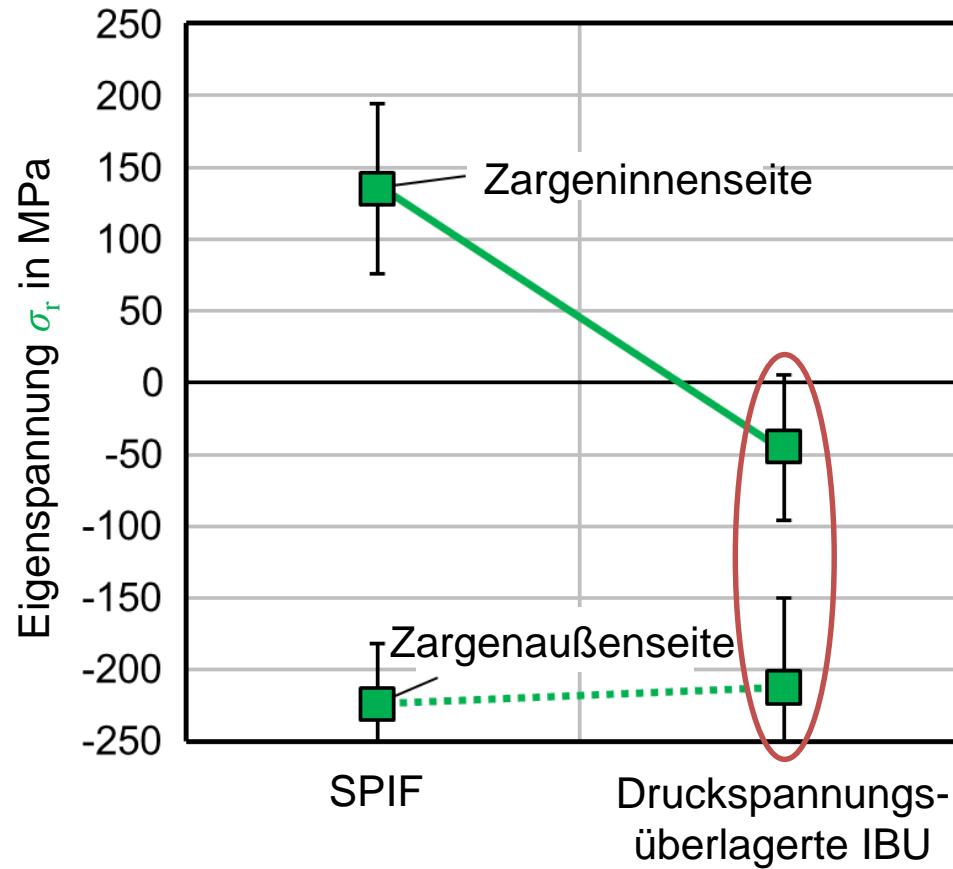
- + Hohe Geometriegenauigkeit
- + Hohe Flexibilität
- + Geringe Werkzeugkosten



Materialmodellierung
 Polyurethan 70° Shore A
 Hyperelastizität
 (Mooney-Rivlin Modell)



Druckspannungsüberlagerung IBU (Polyurethanmatrize)



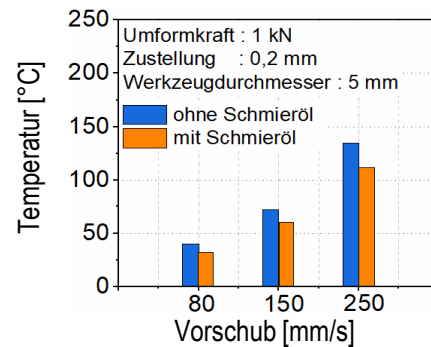
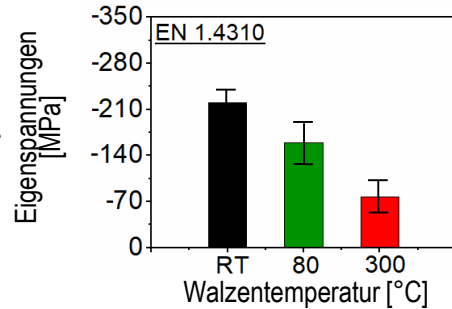
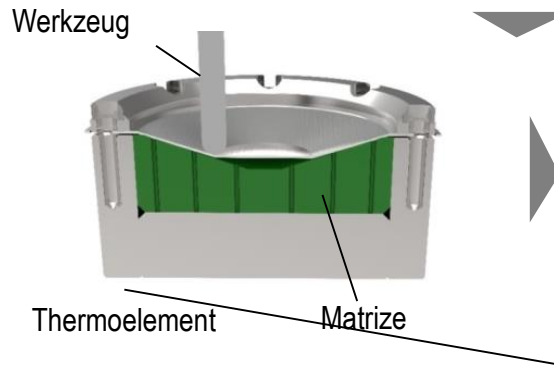
Prozessparameter
 EN AW-5083
 PU Matrize: 70° Shore A
 $k_{f,0} = 160 \text{ MPa}$
 $t_0 = 1 \text{ mm}$
 $R_{Wz} = 5 \text{ mm}$
 $\Delta z = 2,5 \text{ mm}$

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

Tellerfedern

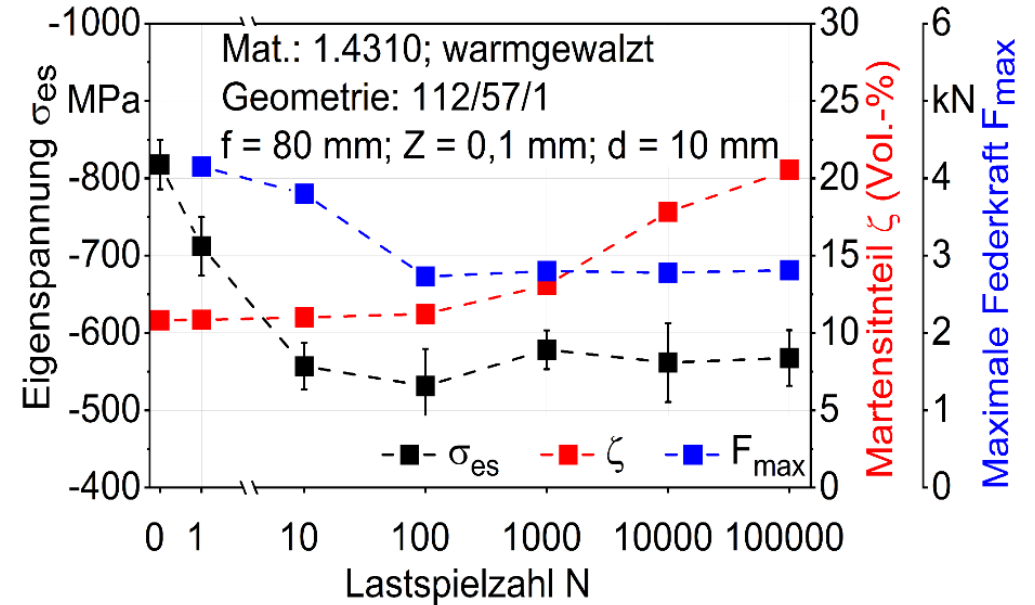


Prozessentwicklung mit Materialschwankungen



Die Störgröße „Temperatur“ wirkt sich auf die Eigenspannungen und Martensitbildung aus

Federeigenschaften – Condition Monitoring

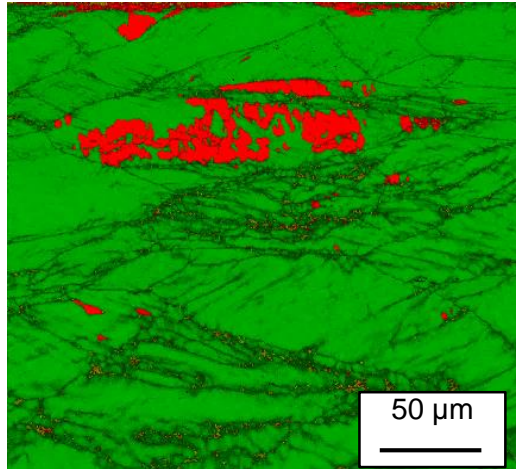


Die Materialschwankungen und IBU-Parameter wirken sich auf die Federeigenschaften aus

Two-Point Incremental Forming – Numerische Materialmodellierung

Magnetische ES-Messung und Materialcharakterisierung

EBSD-Aufnahmen



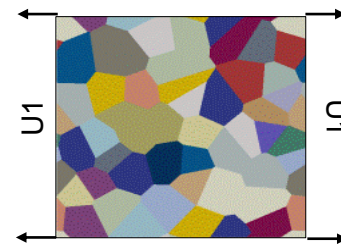
Phasenanteil [%]

Austenit	92,8
α'-Martensit	6
ε-Martensit	1,1

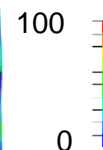
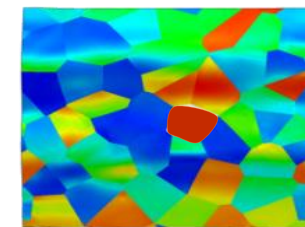
ES und Martensitgehalt sind abhängig von
Materialschwankungen / Prozessparametern

Modellbildung und Simulation

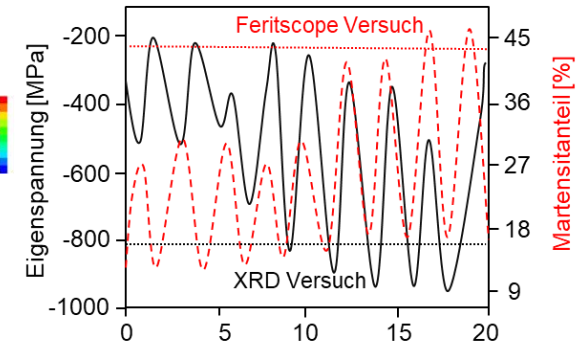
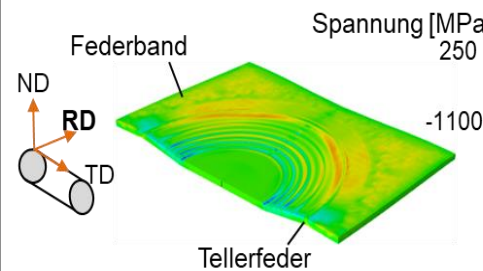
Mikromechanische CP-FEM



Martensitanteil [%]



Makromechanische FEM



Quantitative Validierung der Simulation anhand ES- und
Martensitbildung

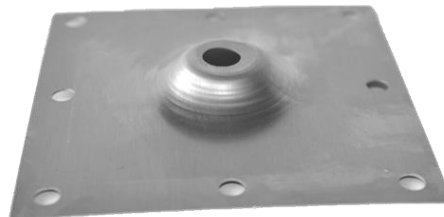
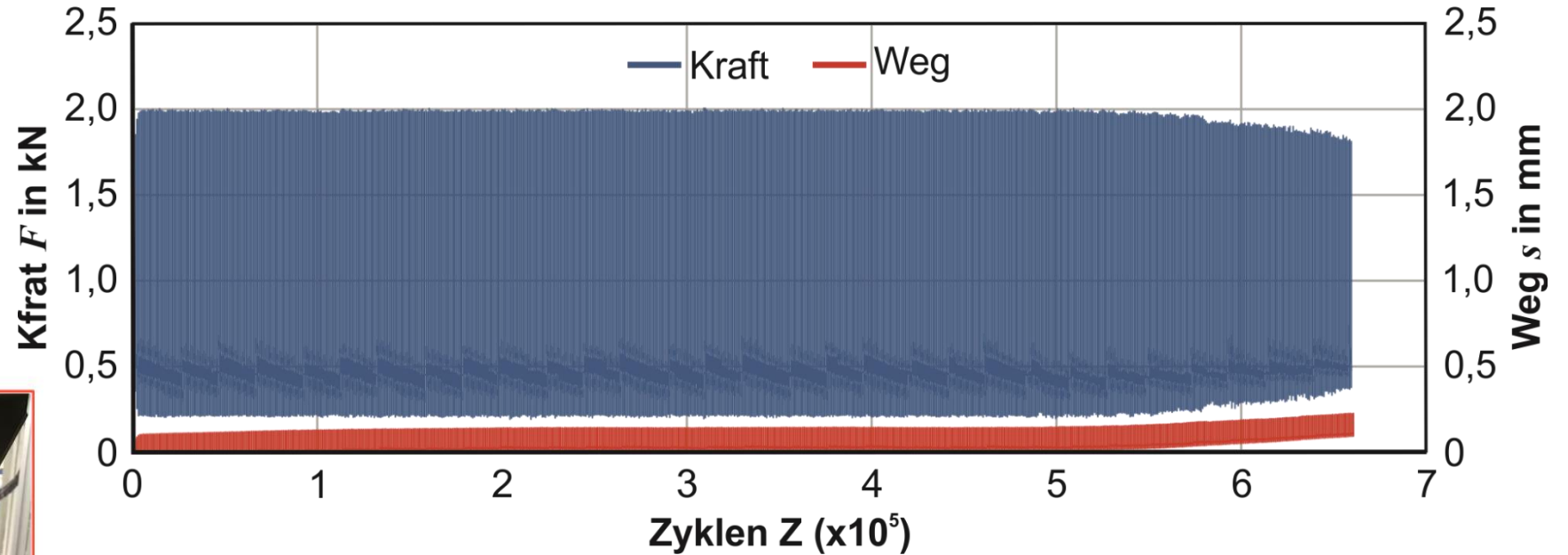
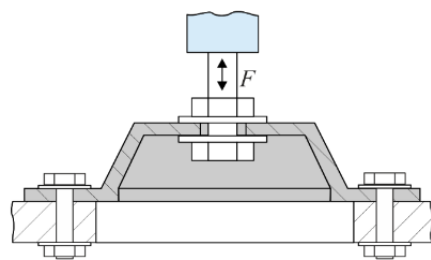
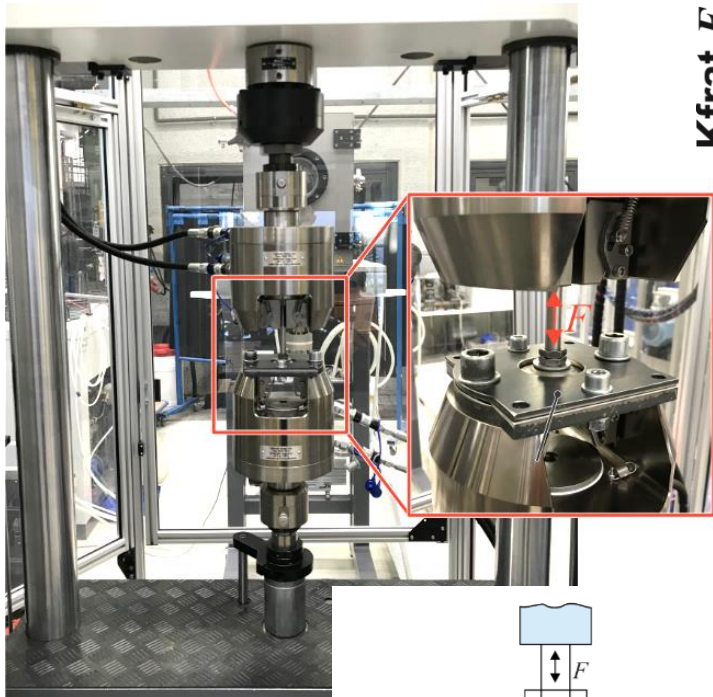
DFG Agenda

- 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



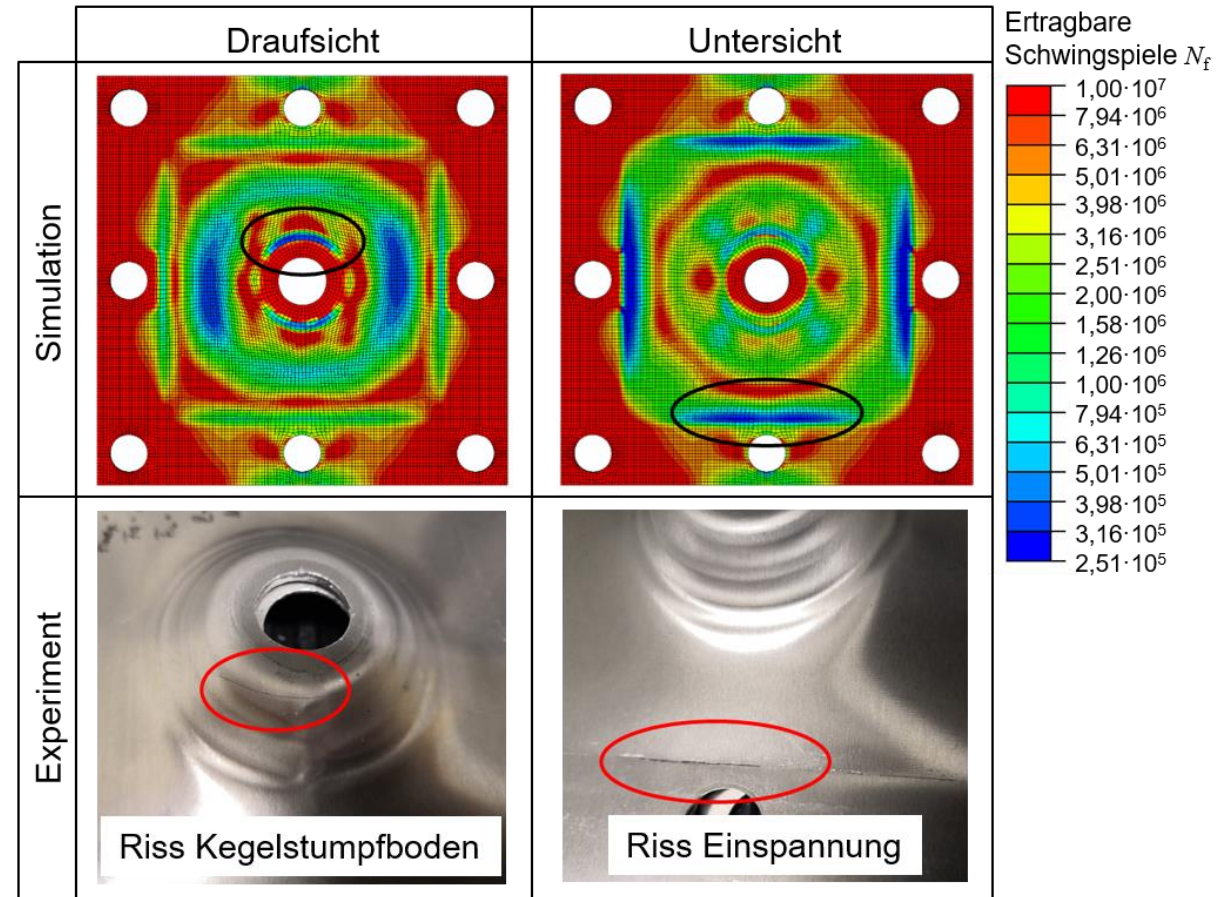
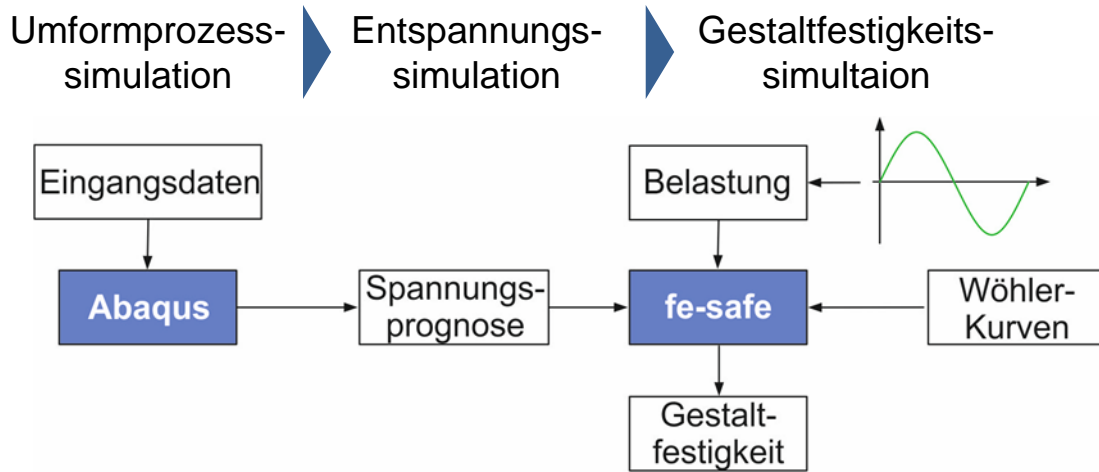
Kegelstumpfgeometrie



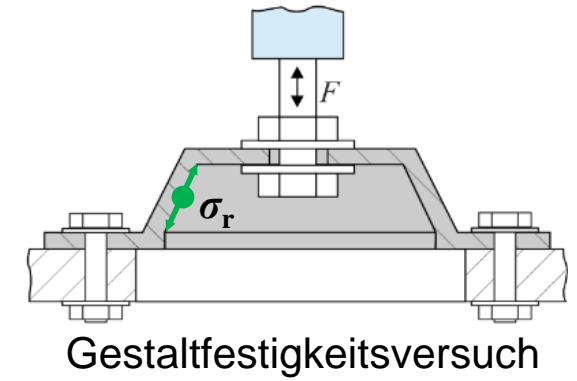
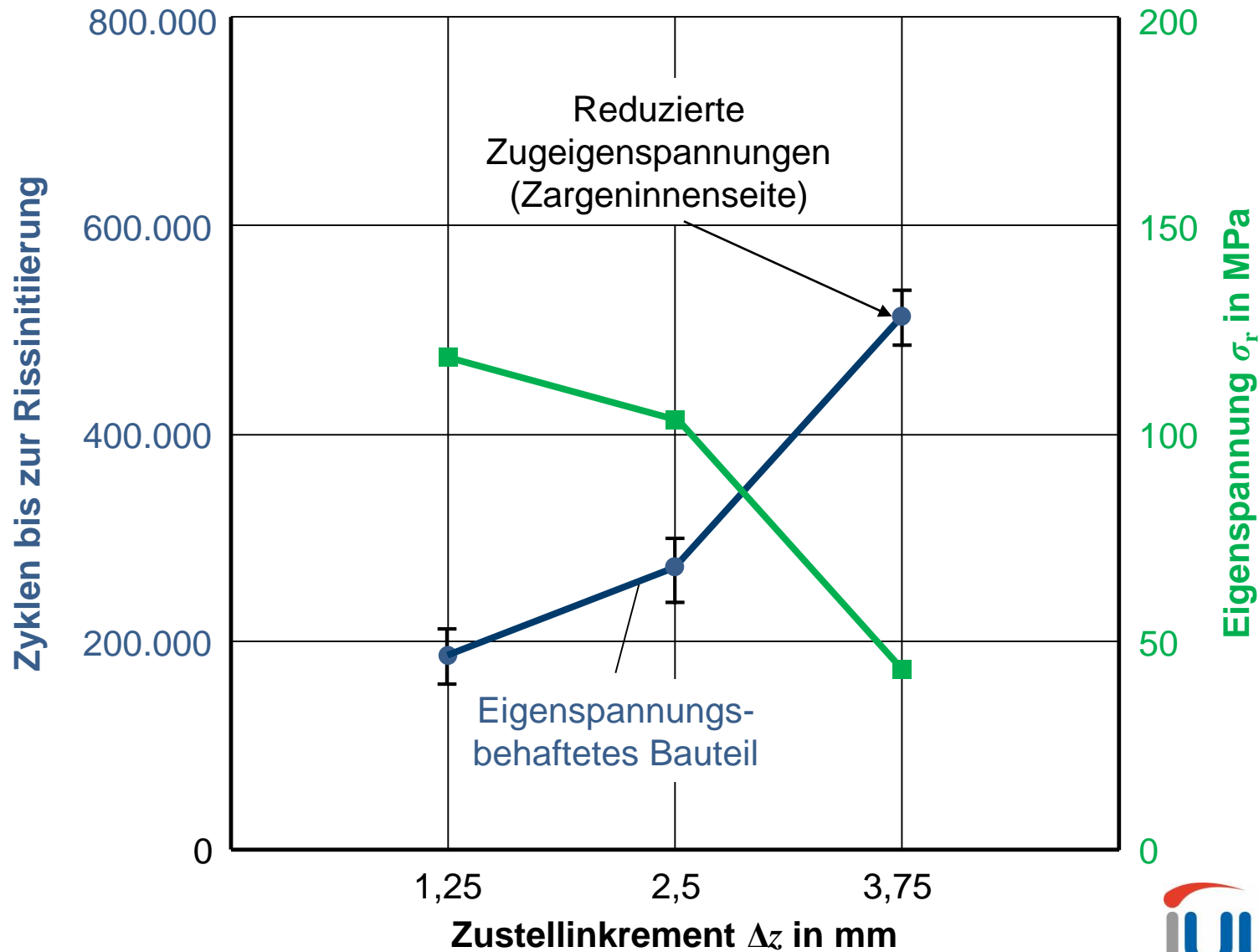
Versagensfall

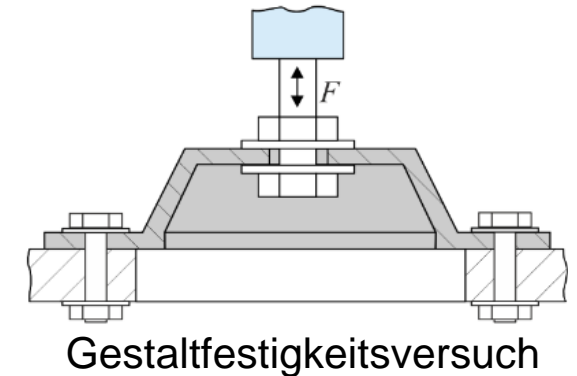
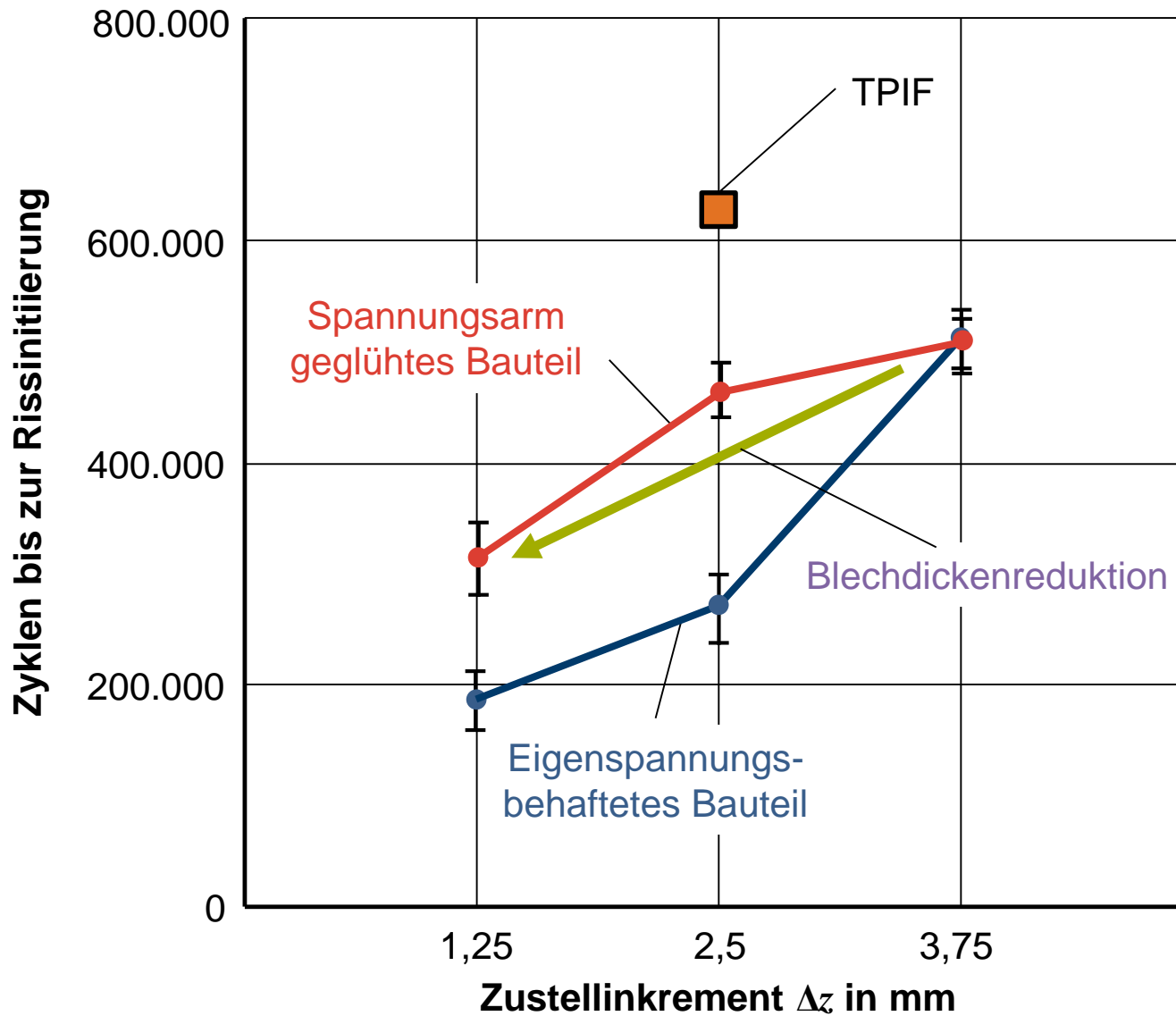
Eigenschaftsverbesserung – Numerische Analyse des Gestaltfestigkeitsversuchs

Modellierung des Gestaltfestigkeitsversuchs



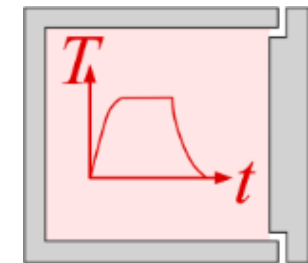
Qualitative und quantitative numerische Prognose des Anrissortes in Abhängigkeit des Eigenspannungszustands





Wärmebehandlung

Spannungsbarmglühen ohne Änderung der Materialhäre und Mikrostruktur



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

DFG Agenda

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

Einstellen der Umformmechanismen durch Prozessparameter



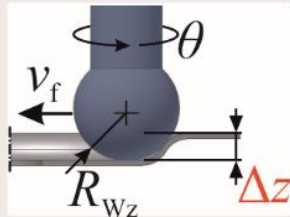
Umformmechanismen

- Biegung
 - Scherung
 - Normalanteil
- Emmens (2009)

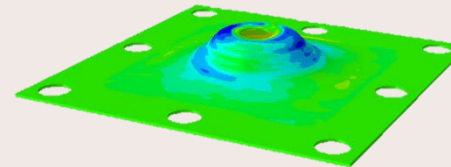
Eingestellte Umformmechanismen beeinflussen die Eigenspannungsentstehung



Prozessparameter der IBU



Eigenspannungen



Leistungsfähigkeit



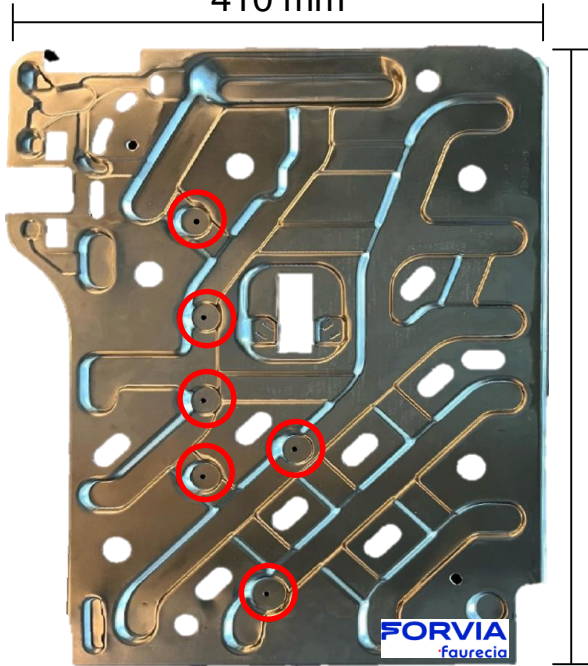
Bauteilversagen

Gezielt umformtechnisch induzierte Eigenspannungen steuern Bauteilleistungsfähigkeit



Transferprojekt ‚Eigenspannungskontrollierte inkrementelle Umformung hochfester Blechbauteile‘ – Projektstart 2024

Rücksitzrahmen mit Befestigungspunkten
410 mm



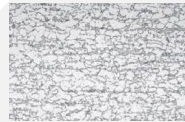
580 mm



Anwendungsfall
Rücksitzlehne
vorklappbar (40:60)

Quelle: VW

Fragestellungen der industriellen Anwendung



Neuer Werkstoff

Mehrphasige Werkstoffe
DP 1000 & DP 1200



Vorform

- Mehrstufige Prozesse
- Komplexe Geometrie



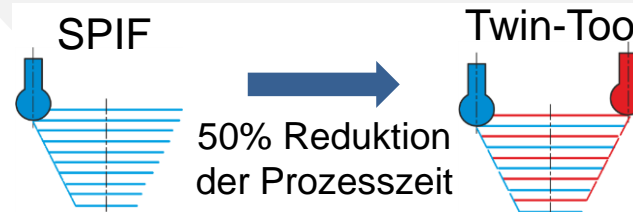
Prozessgeschwindigkeit

Reduktion der IBU-Prozesszeit



Hohe Sicherheitsanforderungen

- Definierte Eigenspannungseinstellung
- Signifikante Eigenschaftsverbesserung



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