



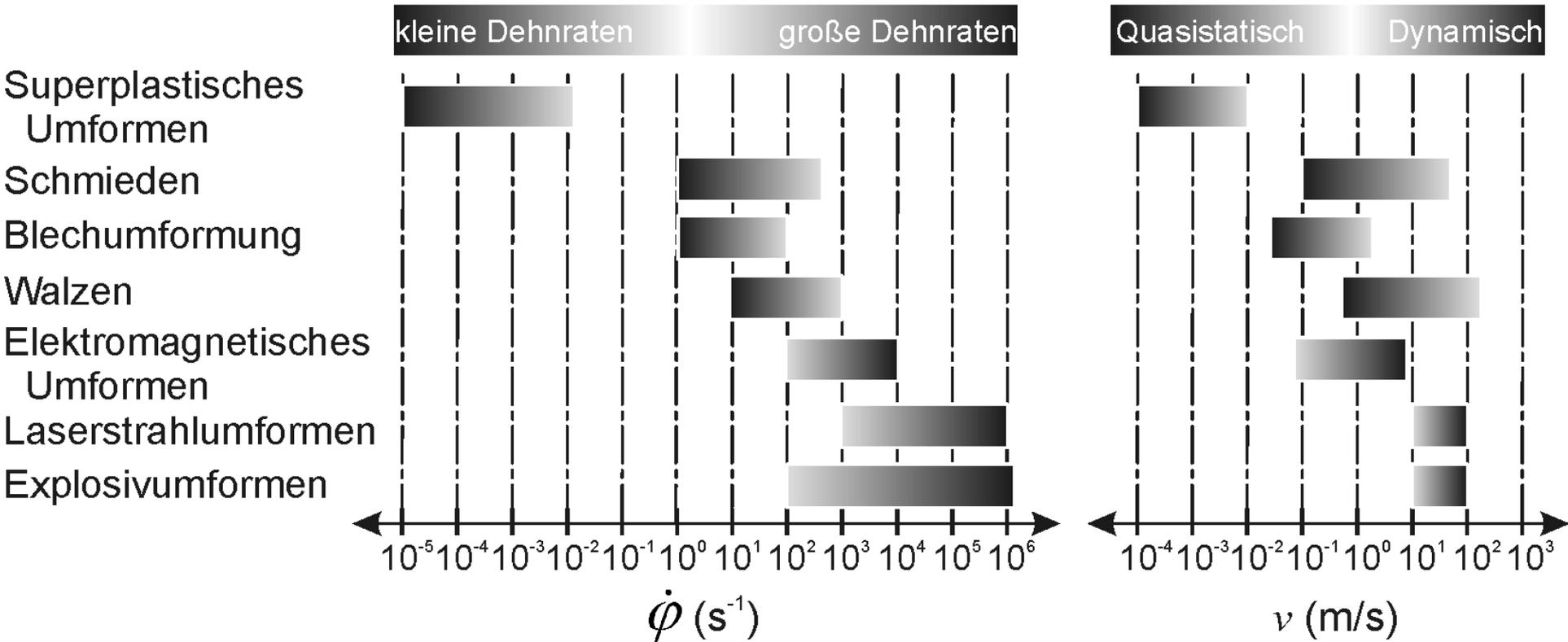
**LS-DYNA FORUM
25. September 2013**

Anwendung der expliziten FEM in der Umformtechnik



Tekkaya, A. E.; Demir, O. K.; Gies, S.; Güzel, A.; Isik, K.; Soyarslan, C.

Zeitintegrationen in FEM



Formänderungs- und Umformgeschwindigkeit ↗

Quasistatisch Dynamisch

Implizite Integration

Explizite Integration

- Einführung:
 - Implizite und explizite Berechnungen
- Anwendungsbeispiele der expliziten FEM in der Umformtechnik
 - Massivumformung
 - Fließpressen
 - Strangpressen und nachfolgende elektromagnetische Umformung
 - Blechumformung
 - Tiefziehen und elektromagnetisches Nachformen
 - Temperaturentwicklung bei Werkzeugspulen

Statisches Gleichgewicht:

$$\{F\} - \{I\} = \{0\}$$

Dynamisches Gleichgewicht:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\}$$

Implizite Zeitintegration

Explizite Zeitintegration

$$[M] \approx [C] \approx [0]$$

$$[K]\{u\}^t = \{I\}^t$$

➔ $[K]^t \Delta \{u\} = \{F\}^{t+\Delta t} - \{I\}^t$

➔ $[M]\{\ddot{u}\}^t + [C]\{\dot{u}\}^t = \{F\}^t - \{I\}^t$

Unbedingt stabil

Bedingt stabil: $\Delta t \leq \frac{L}{C_d} \approx \frac{L}{\sqrt{E/\rho}}$



Invertierung der Steifigkeitsmatrix



Keine Invertierung der Steifigkeitsmatrix



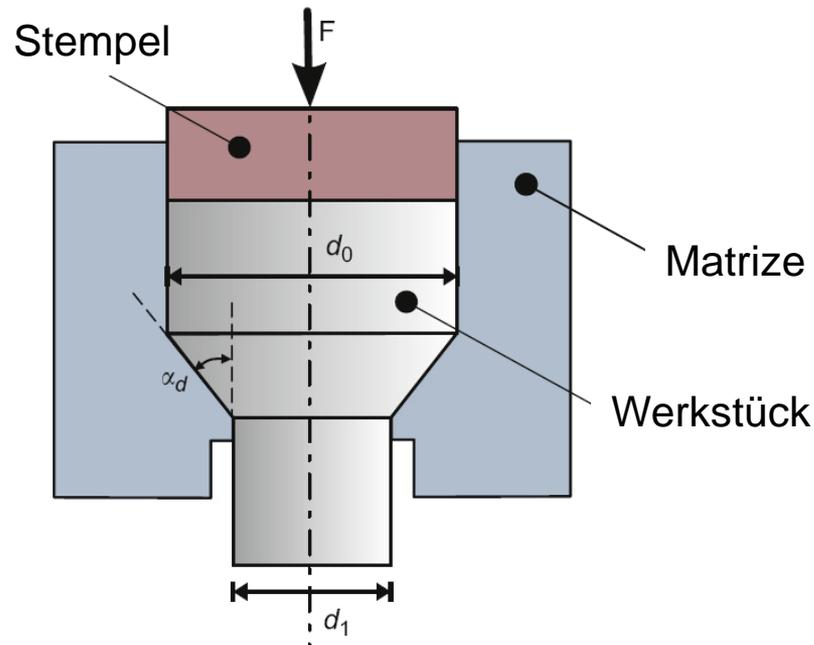
Gleichgewichtskontrolle



Keine Gleichgewichtskontrolle

- Einführung:
 - Implizite und explizite Berechnungen
- Anwendungsbeispiele der expliziten FEM in der Umformtechnik
 - Massivumformung
 - Fließpressen
 - Strangpressen und nachfolgende elektromagnetische Umformung
 - Blechumformung
 - Tiefziehen und elektromagnetisches Nachformen
 - Temperaturentwicklung bei Werkzeugspulen

- Ziel: Modellierung der zentralen Rissbildung beim Fließpressen
- Herausforderungen:
 - Implementierung des Schädigungsmodells
 - ABAQUS/Standard + UMAT
 - ABAQUS/Explicit + VUMAT
 - Modellierung der Rissbildung (Elementlöschchen)



Plastizität

Fließort

- (nicht-)quadratisch
- (an-)isotrope

Verfestigung

- (an-)isotrope

Schädigung

Bruchkriterium

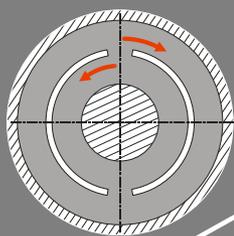
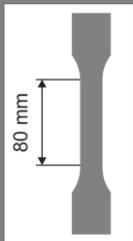
- Johnson-Cook
- CrachFEM

Gekoppelt

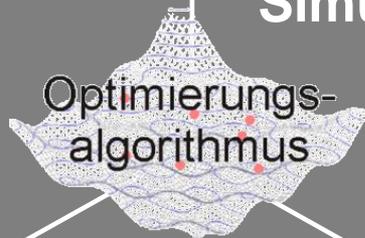
- Mod. Gurson
- Mod. Lemaitre

Werkstoffcharakterisierung

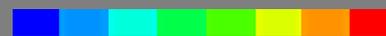
Experiment



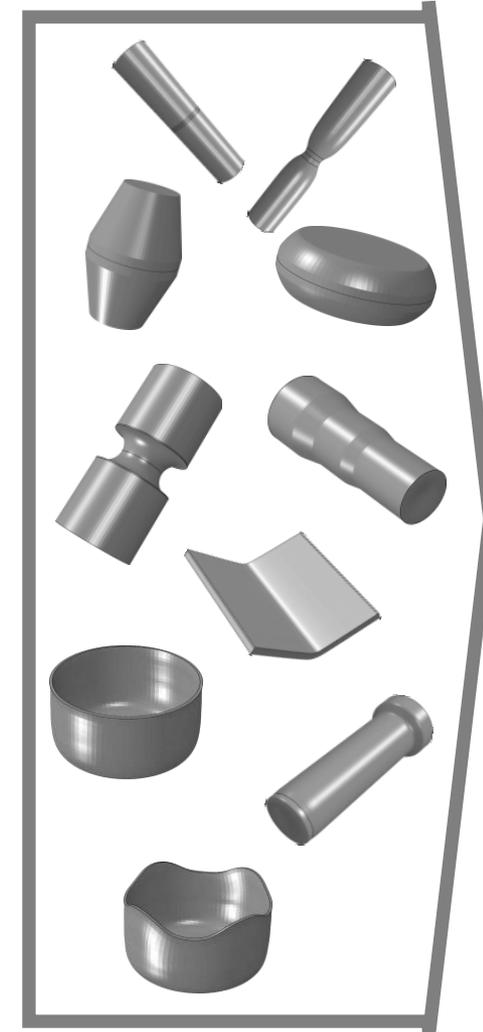
Simulation



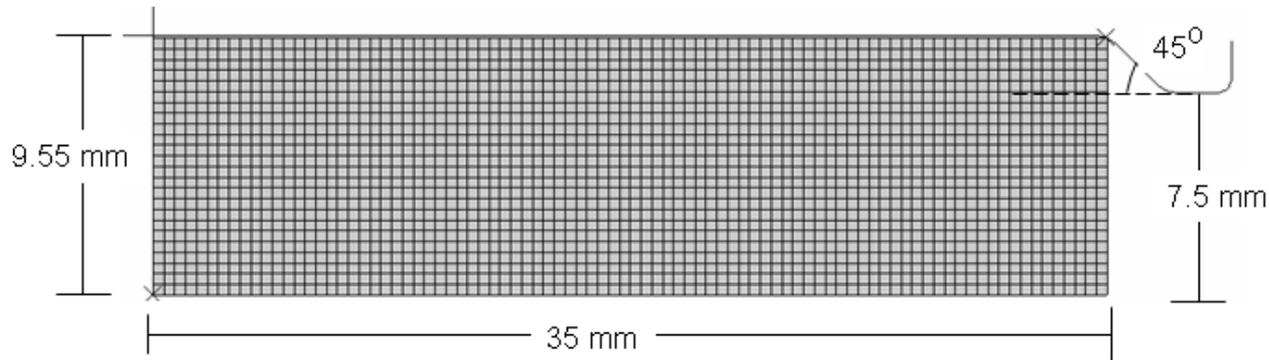
Inverse Identifikation



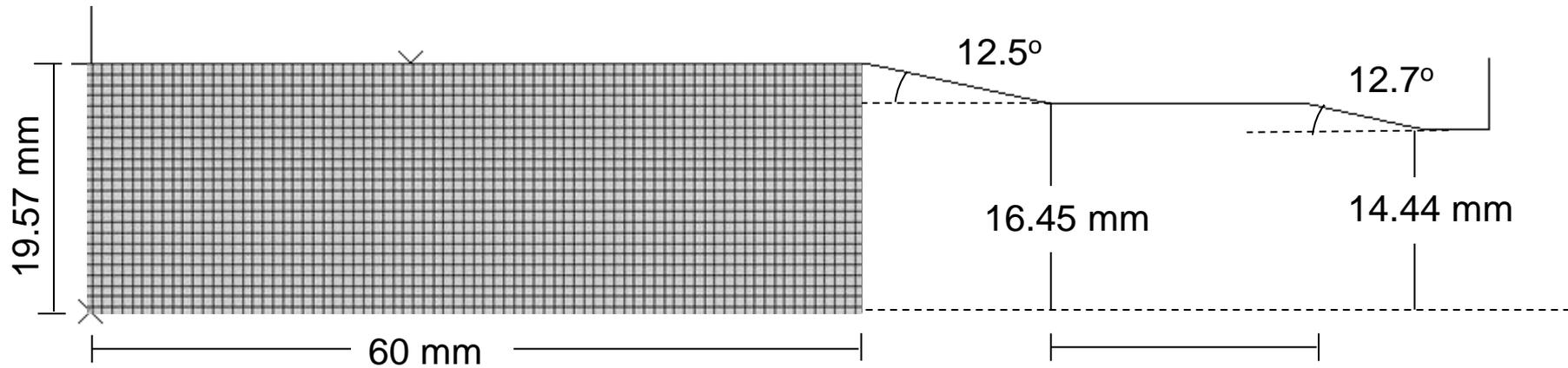
Umformgrad

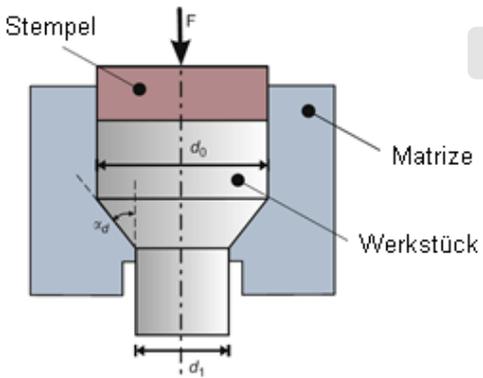


Einstufige Matrize:

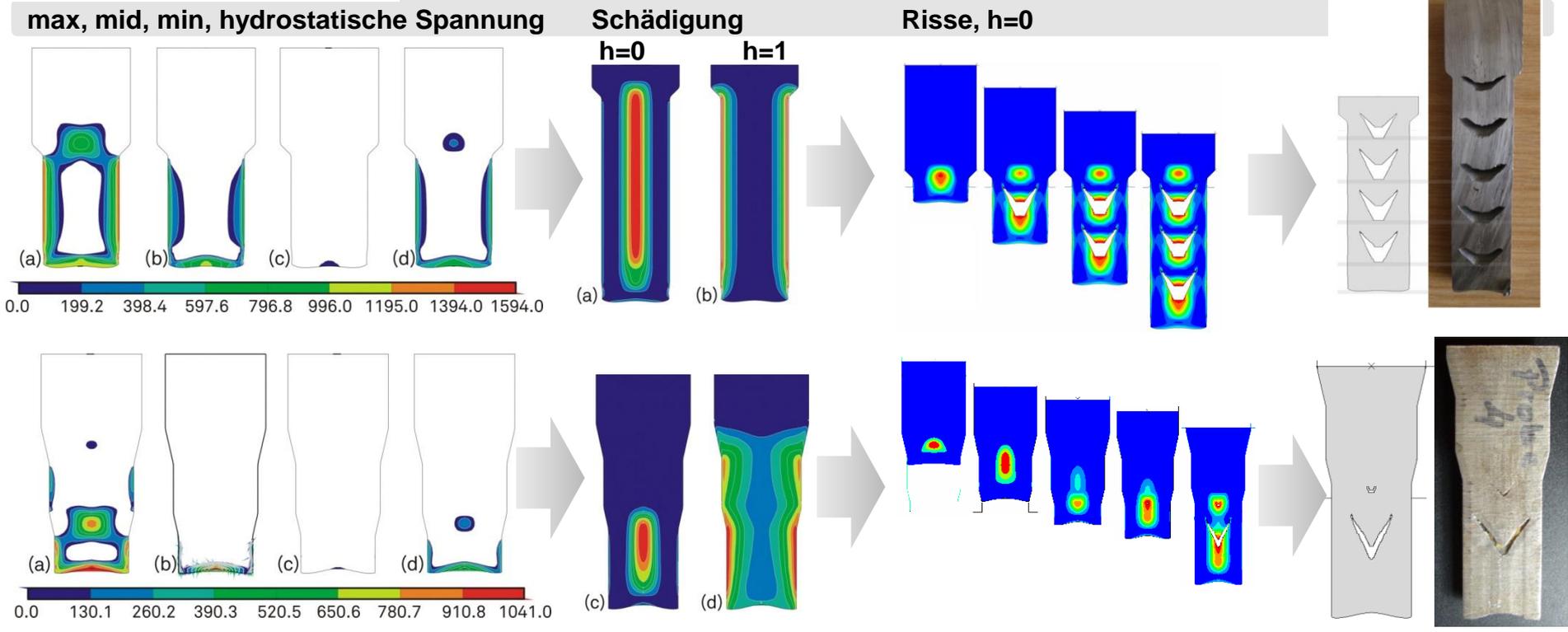


Zweistufige Matrize:

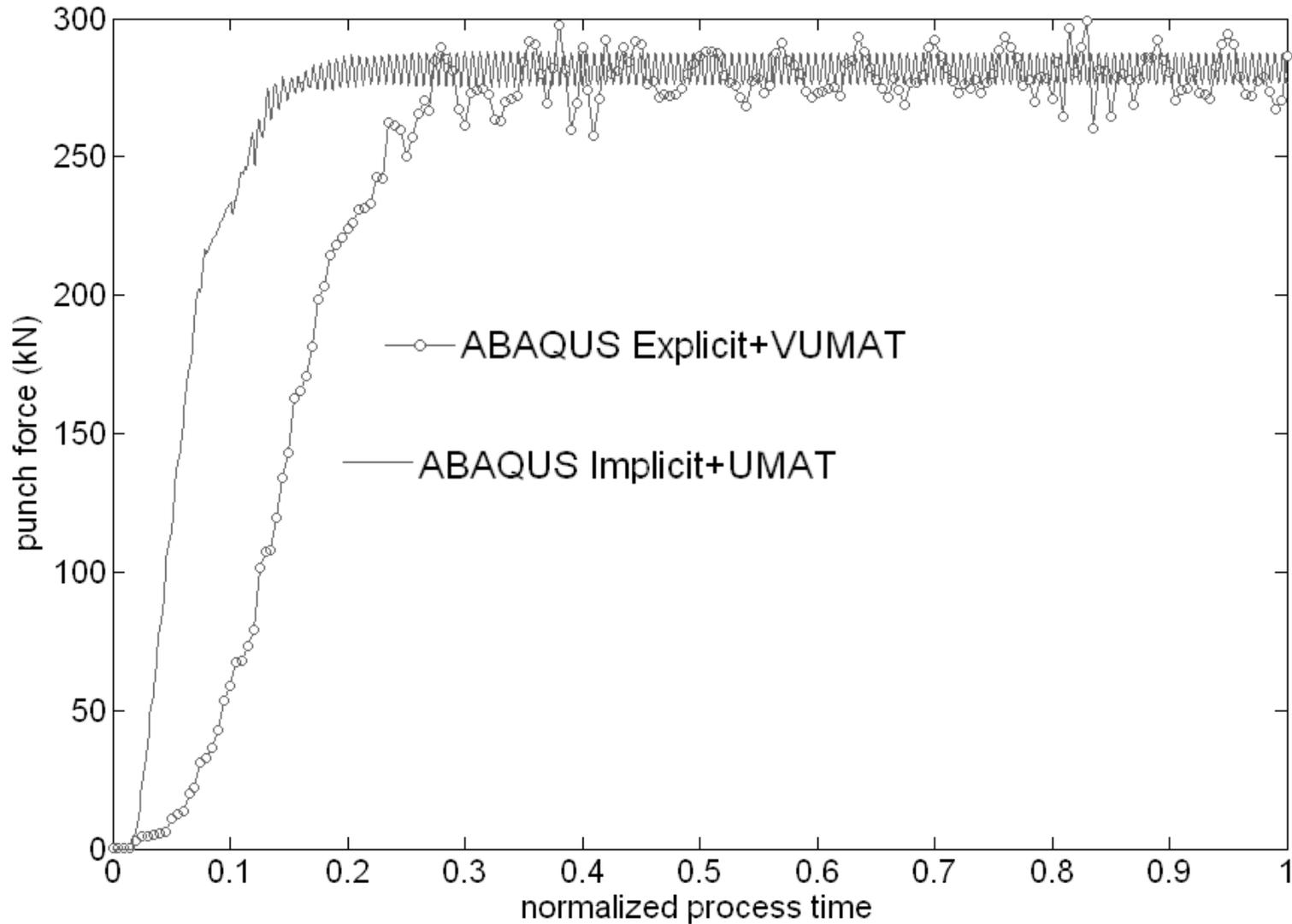




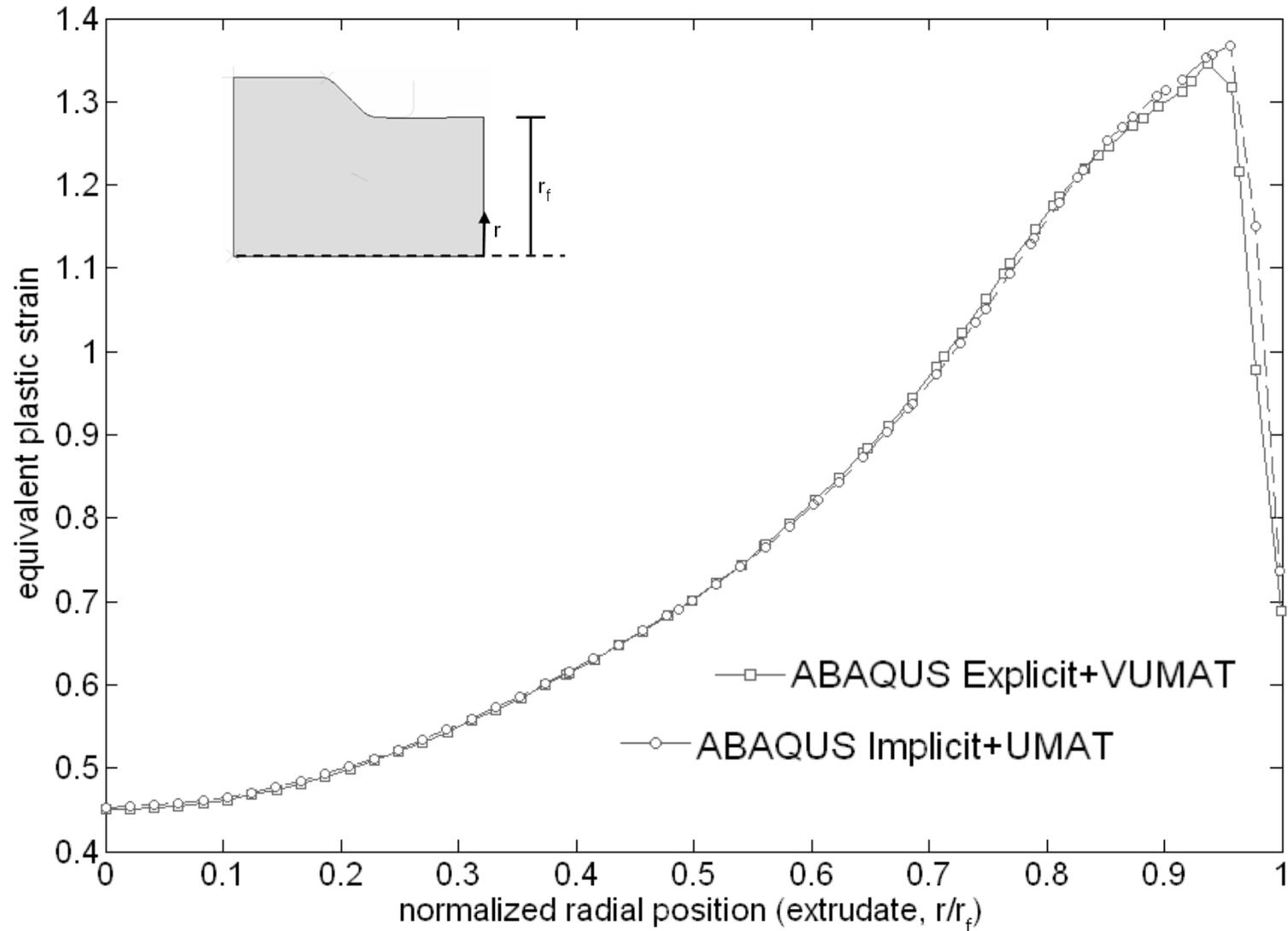
Parameter	Zentrale Aufreißer	Oberflächenrisse
Matrizenwinkel (α)	100Cr6	Avitzur
Pressverhältnis (d_0/d_1)		
Reibwert		
Materialmodell	Cf53	



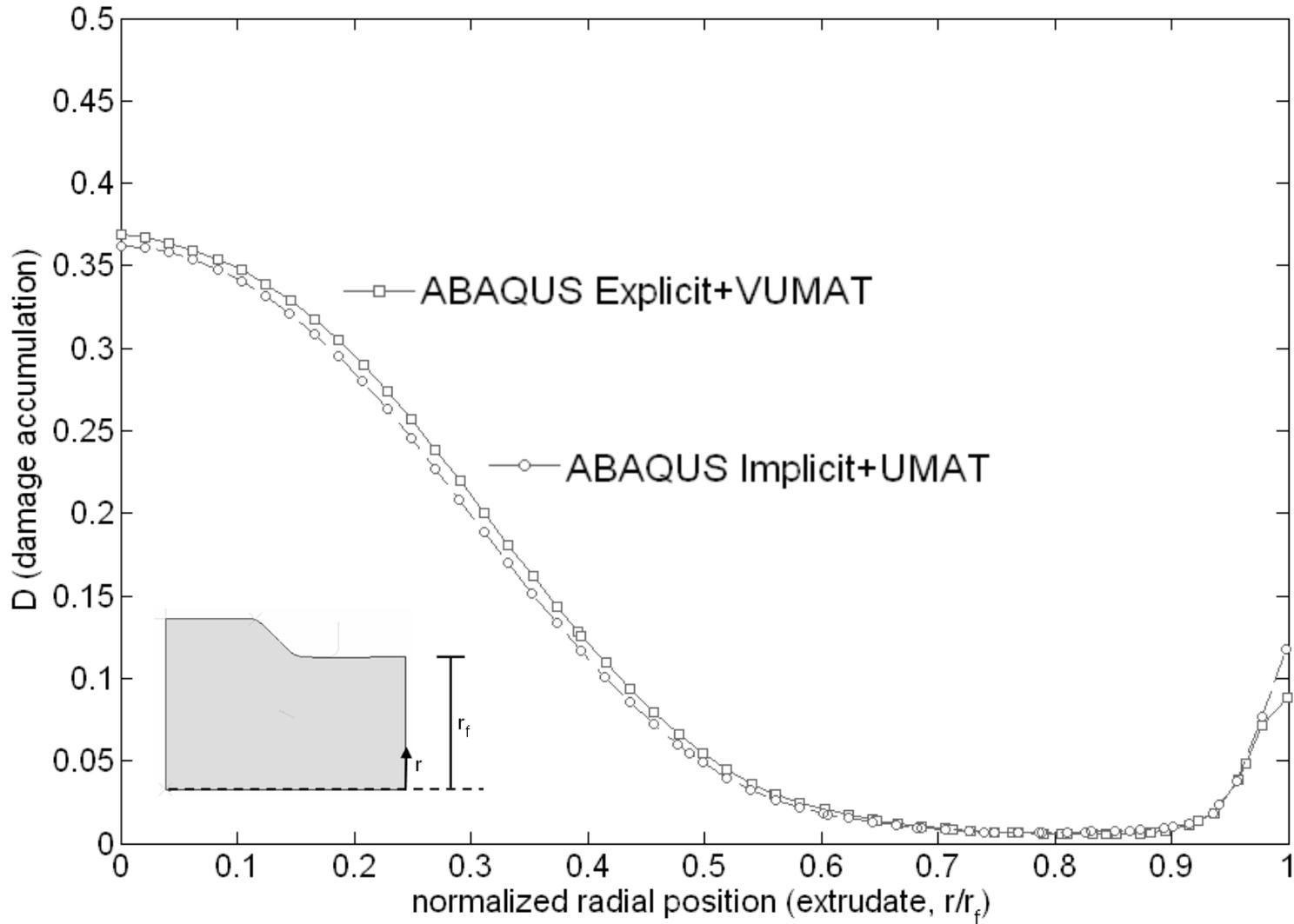
Vergleich zwischen impliziten und expliziten Simulationen: Stempelkraft



Vergleich zwischen impliziten und expliziten Simulationen: Umformgrad



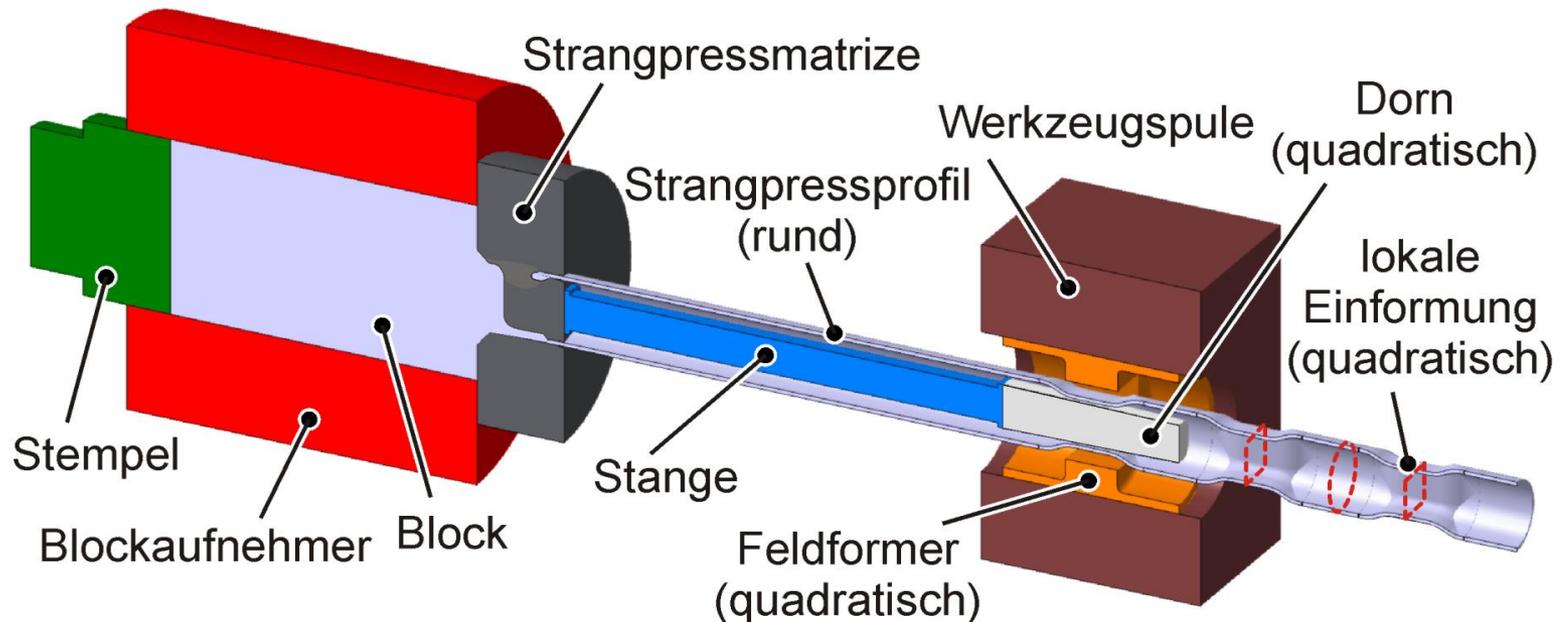
Vergleich zwischen impliziten und expliziten Simulationen: Schädigung

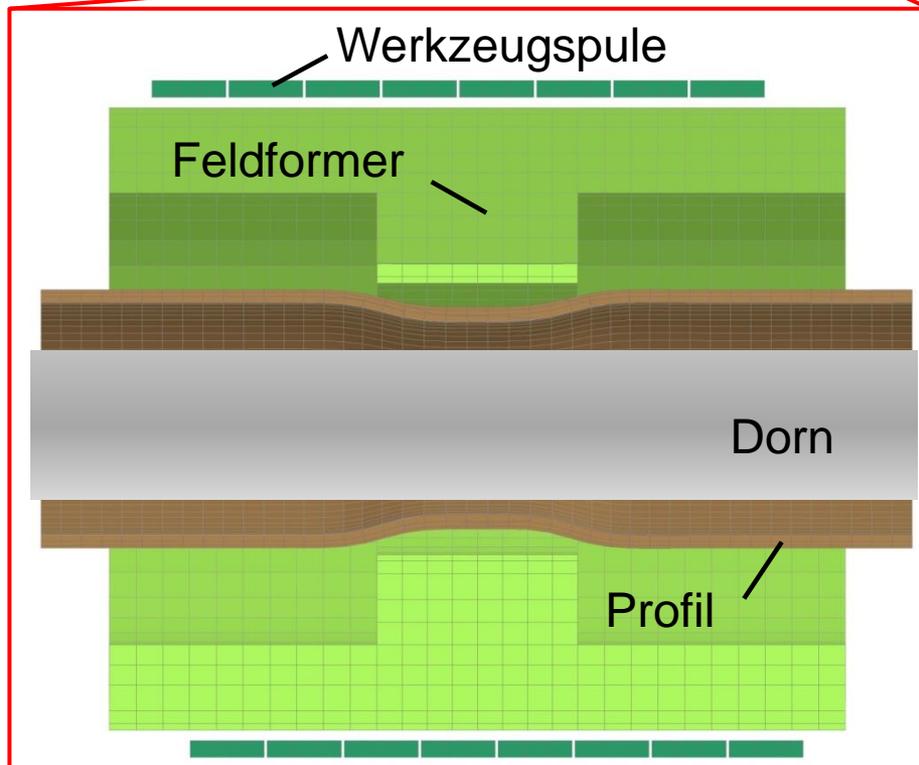
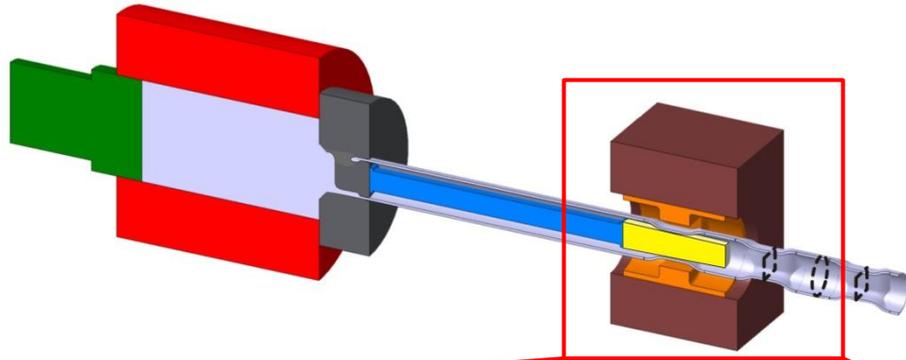


- Einführung:
 - Implizite und explizite Berechnungen
- Anwendungsbeispiele der expliziten FEM in der Umformtechnik
 - Massivumformung
 - Fließpressen
 - Strangpressen und nachfolgende elektromagnetische Umformung
 - Blechumformung
 - Tiefziehen und elektromagnetisches Nachformen
 - Temperaturentwicklung bei Werkzeugspulen

Strangpressen und nachfolgende elektromagnetische Umformung

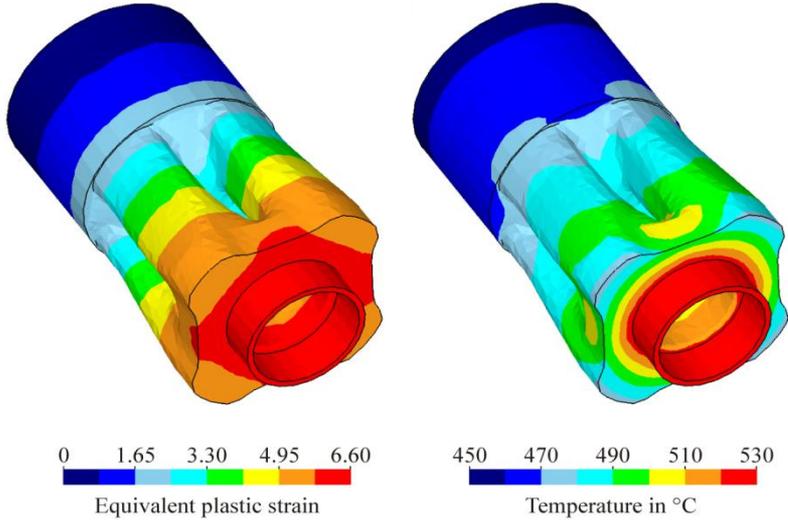
- Fertigung von stranggepressten funktionsangepassten Strukturbauteilen
- Integration der elektromagnetischen Umformung als nachfolgender Weiterverarbeitungsprozess



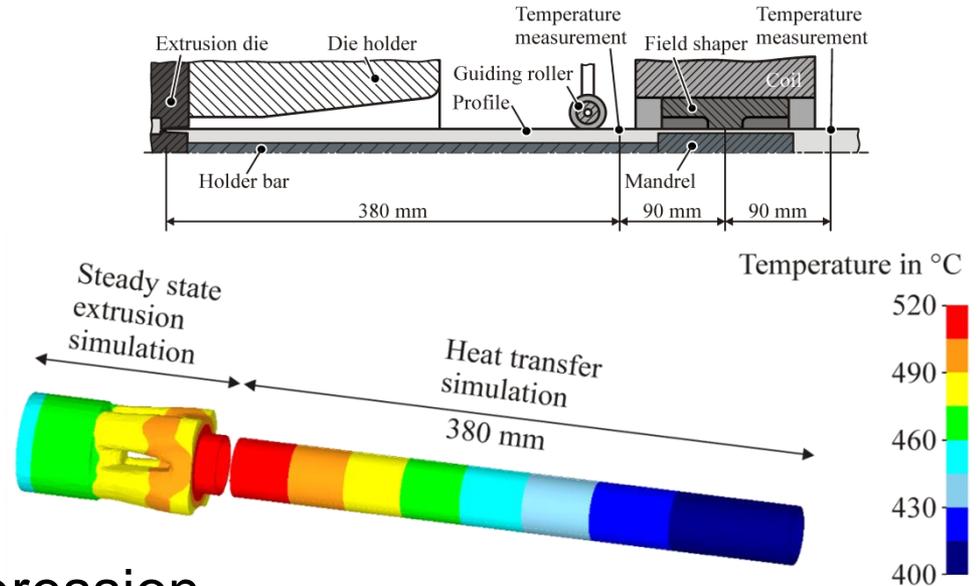


- Bei der EMU:
 - Sehr hohe Umformgeschwindigkeit (10^3 - 10^4 s⁻¹)
 - Hohe Temperaturen (ca. 450 °C)
 - Mäßige Umformgrade (bis zu 0,6)
- Kopplung von thermischen, mechanischen und elektromagnetischen Effekten
- Feststellung des Zusammenhangs zwischen Mikrostrukturentwicklung und thermomechanischen Effekten bei hohen Dehnraten

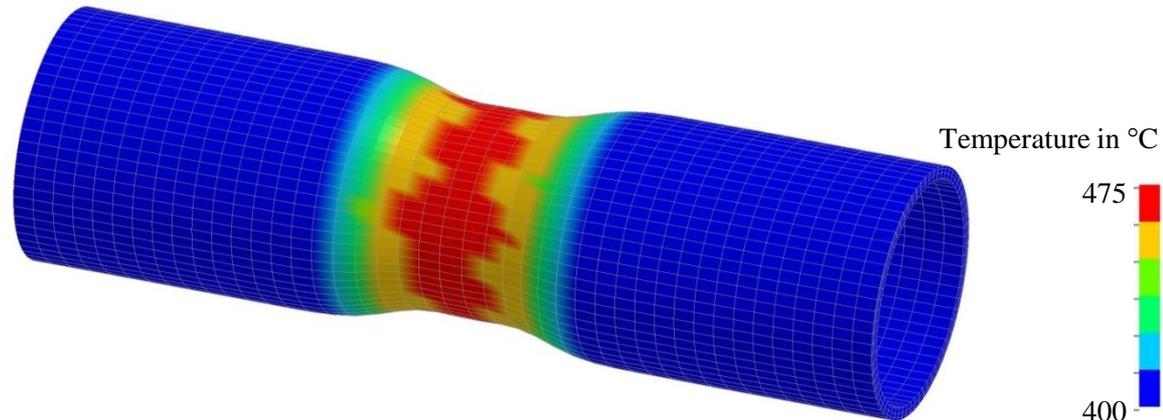
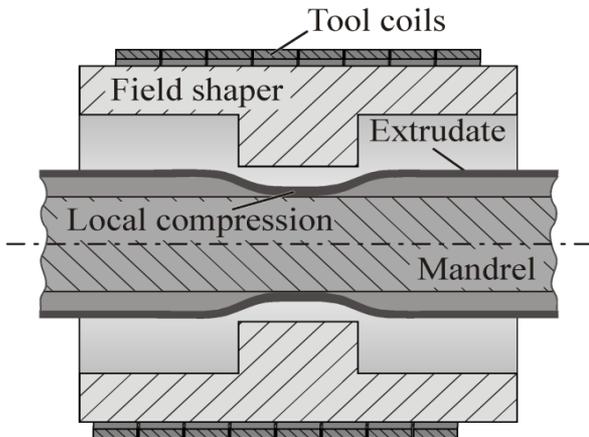
● Strangpressen



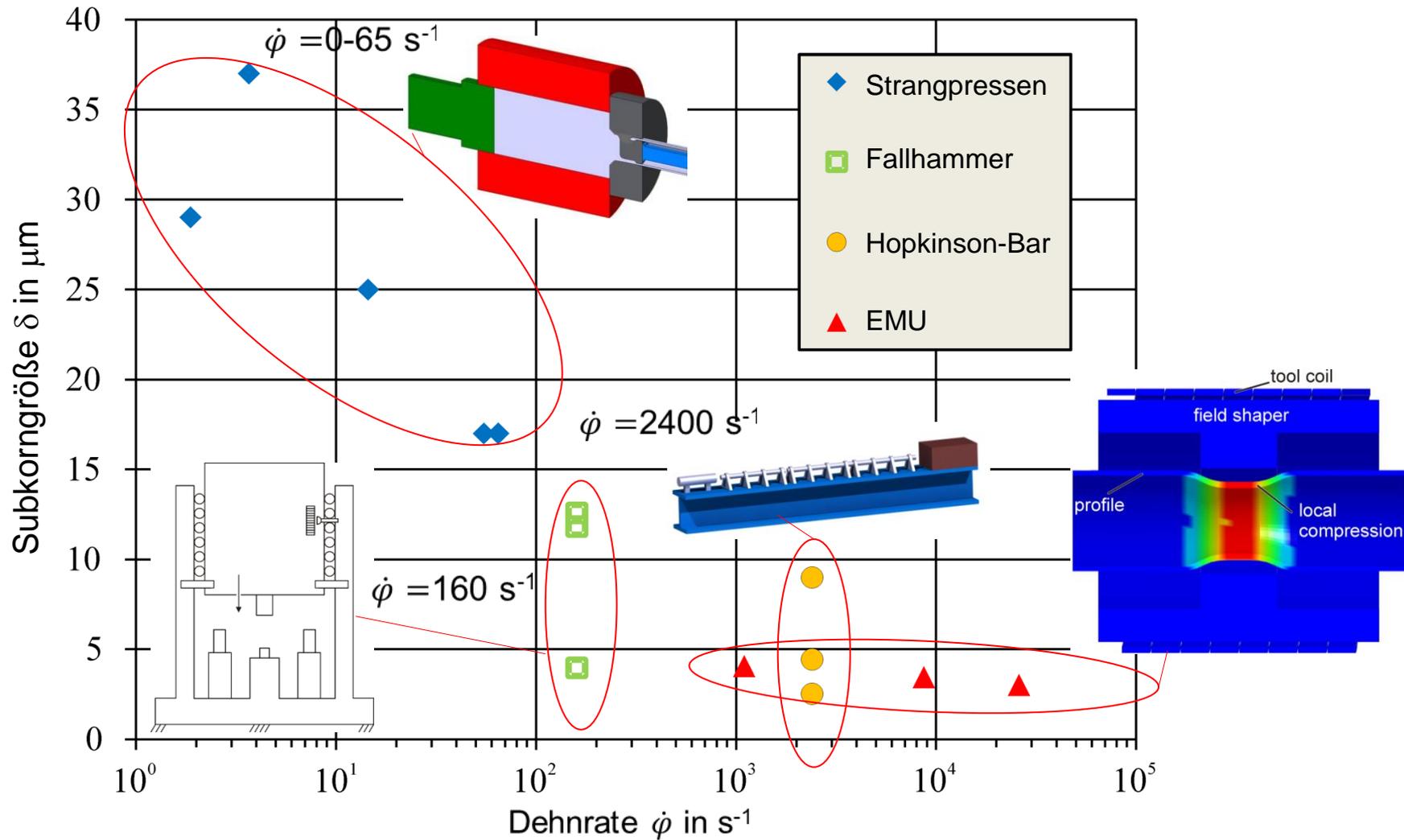
● Thermische Simulation



● Elektromagnetische Rohrkompression

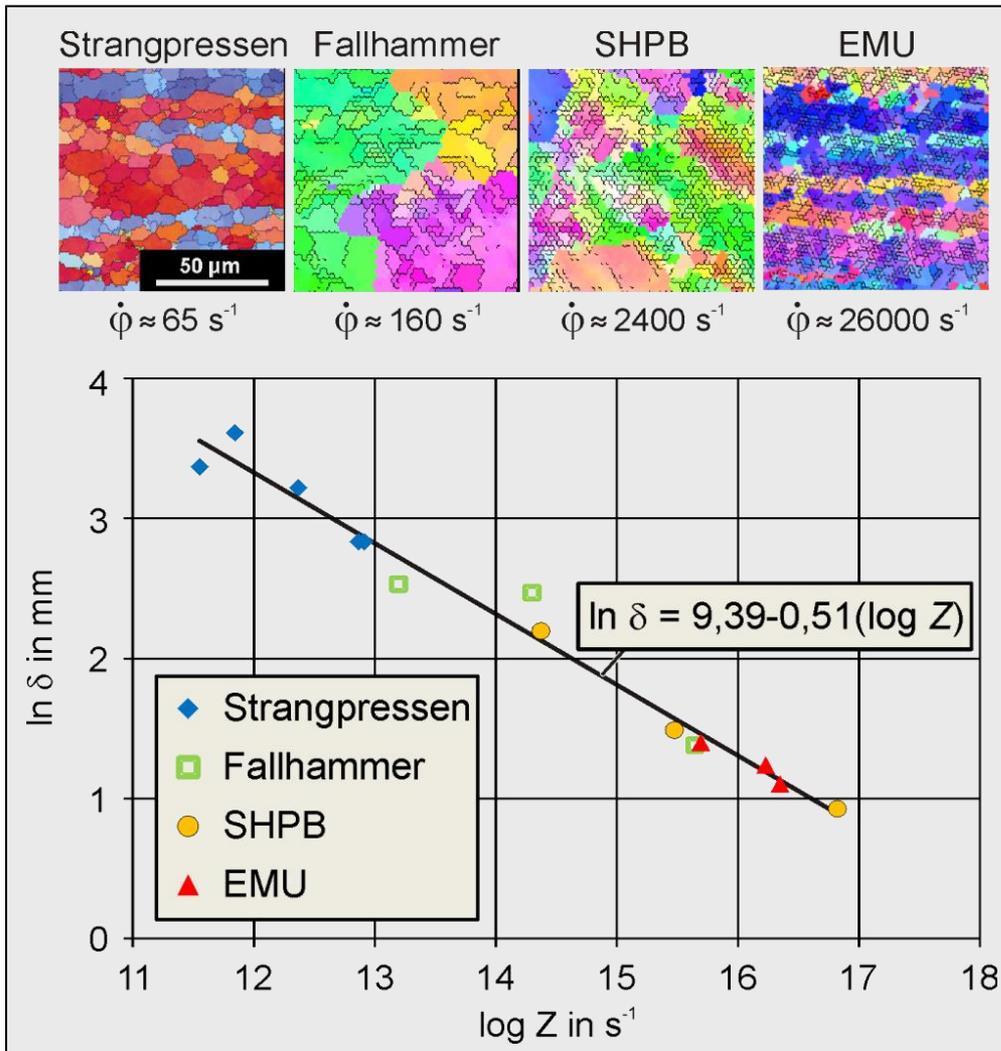


Entwicklung der Subkorngröße: Dehnratenabhängigkeit

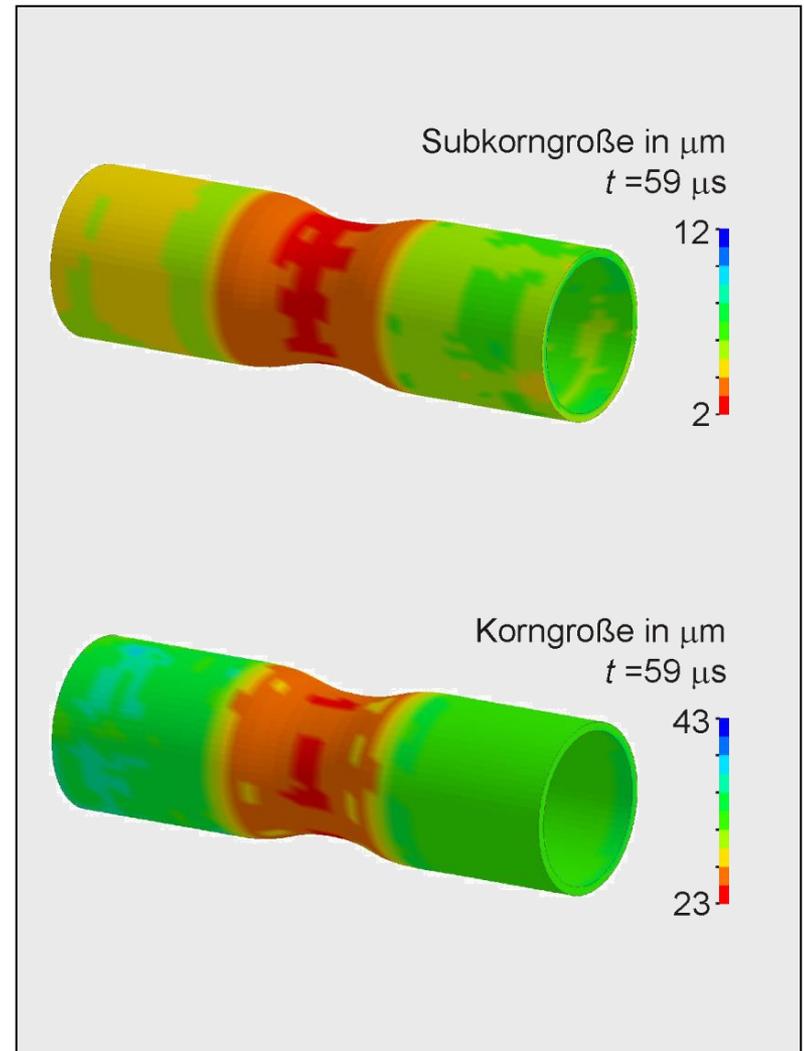


Modellierung und Simulation der Gefügeentwicklung:

● Modellierung der Subkorngröße



● Mikrostruktursimulation



- Einführung:
 - Implizite und explizite Berechnungen
- Anwendungsbeispiele der expliziten FEM in der Umformtechnik
 - Massivumformung
 - Fließpressen
 - Strangpressen und nachfolgende elektromagnetische Umformung
 - **Blechumformung**
 - Tiefziehen und elektromagnetisches Nachformen
 - Temperaturentwicklung bei Werkzeugspulen

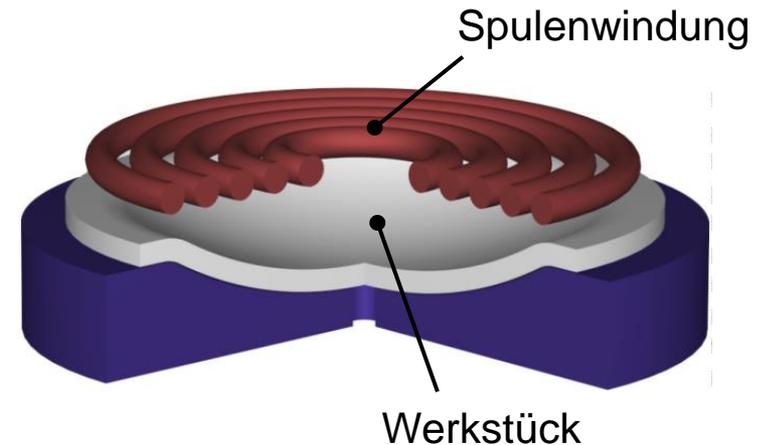
Tiefziehen und elektromagnetisches Nachformen

Ziel: Entwicklung eines elektromagnetisch unterstützten Tiefziehprozesses

Herausforderungen:

- Erweiterung der Prozessgrenzen
- Modellierung der Prozesskette mit Tiefziehen und elektromagnetischem Nachformen

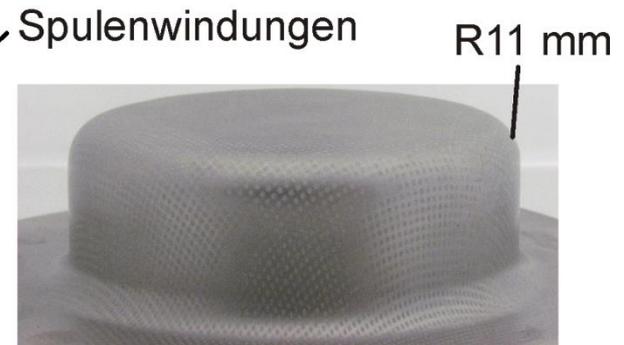
Elektromagnetische Umformung



Bauteil nach Tiefziehen

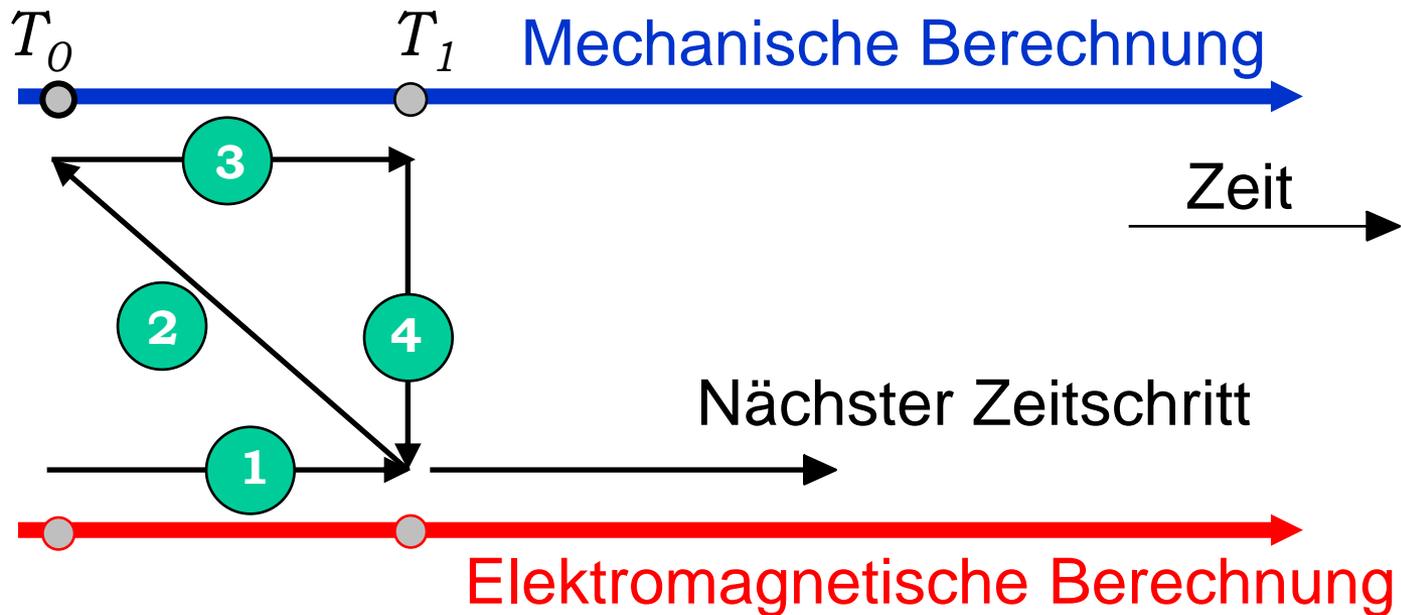


Stempelkopf für EMU



Bauteil nach EMU

Kopplung:



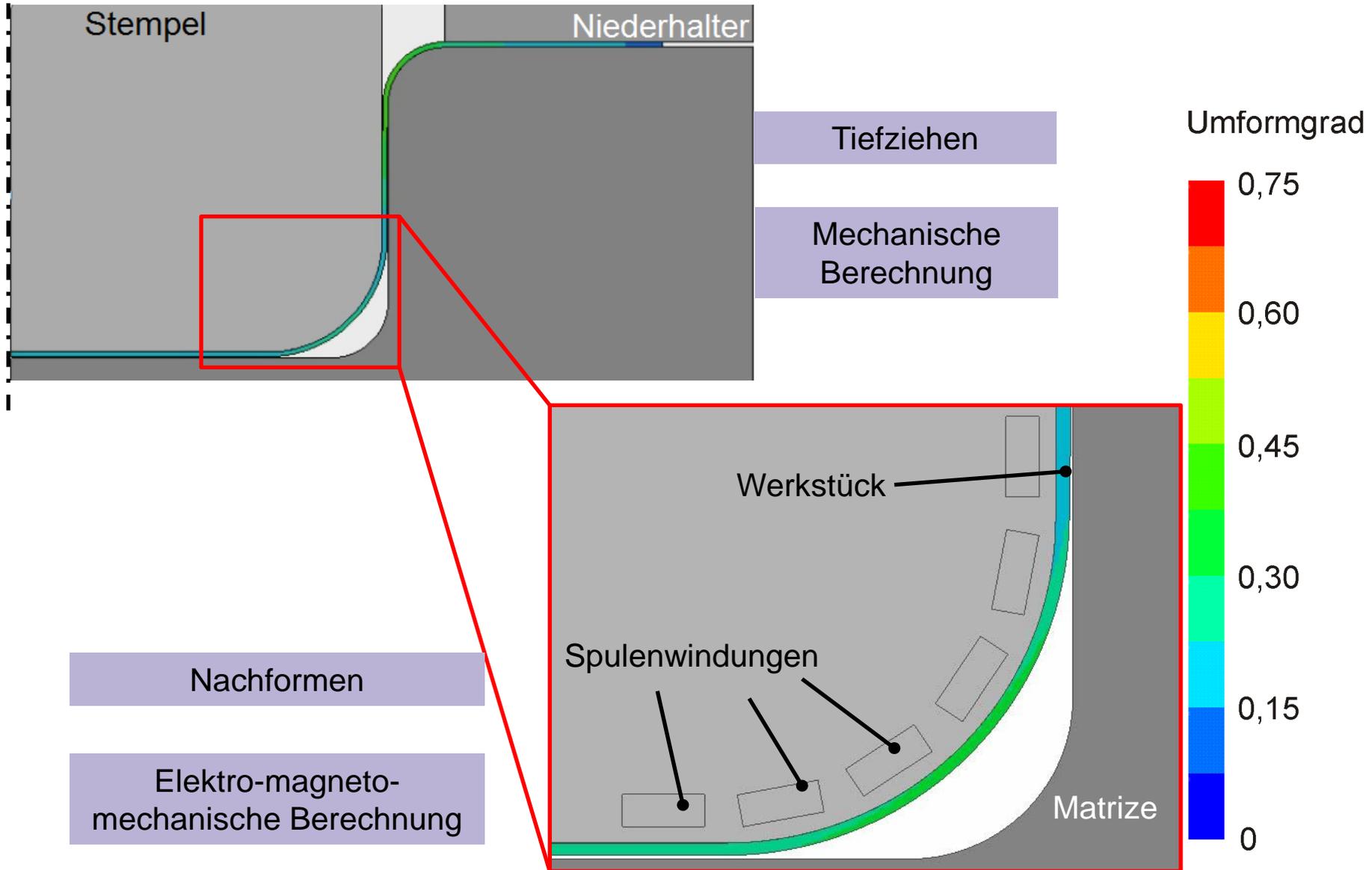
1 Berechnung elektromagnetischer Kräfte

2 Übertragung elektromagnetischer Kräfte

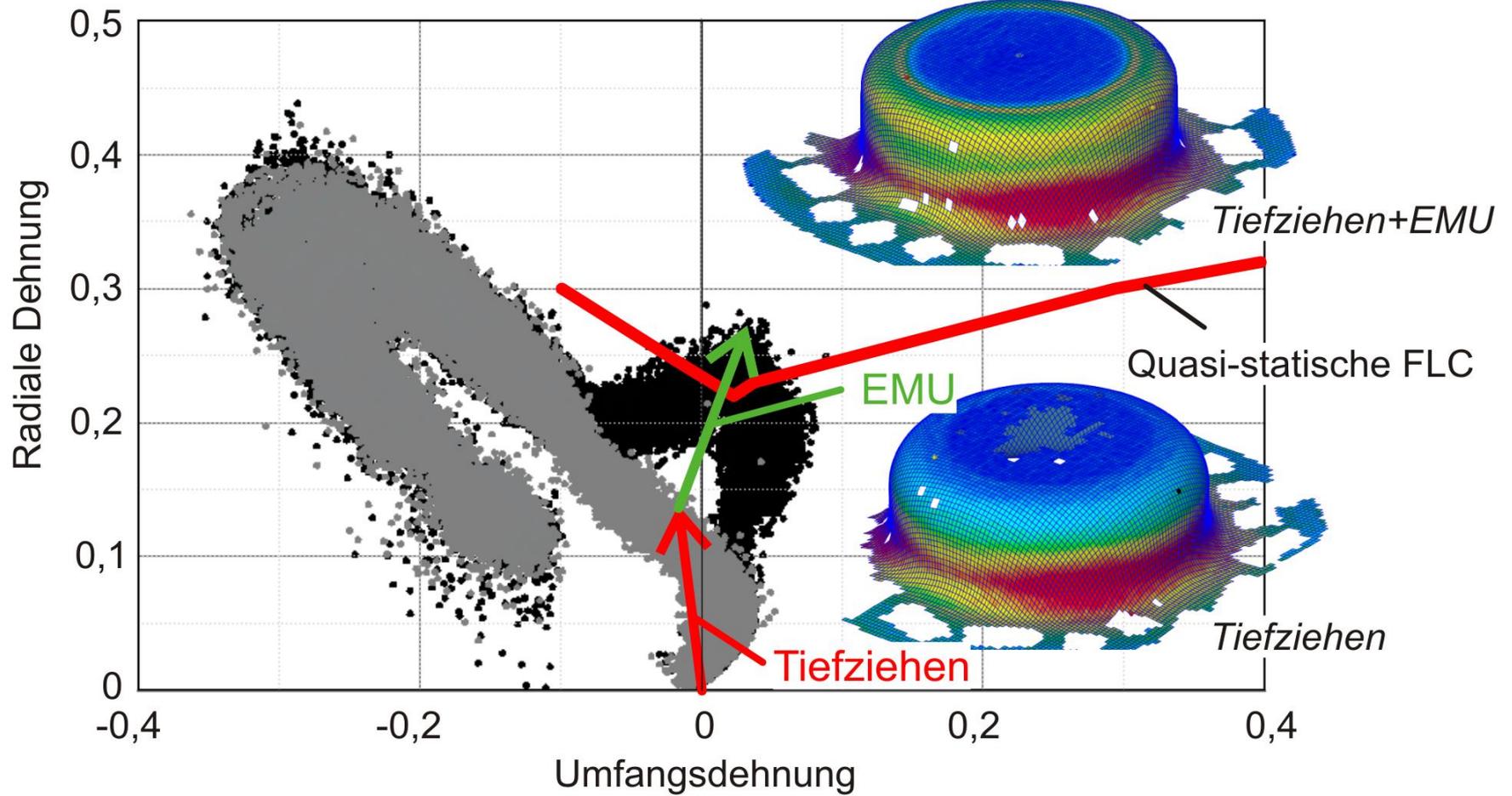
3 Berechnung des Geschwindigkeitsfelds

4 Aktualisierung der Geometrie

Tiefziehen und elektromagnetisches Nachformen

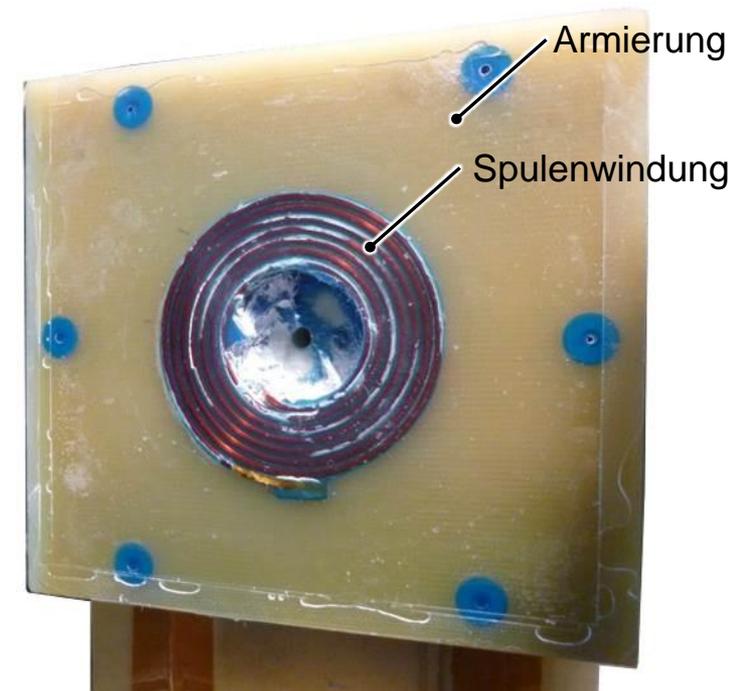


Tiefziehen und elektromagnetisches Nachformen



- Einführung:
 - Implizite und explizite Berechnungen
- Anwendungsbeispiele der expliziten FEM in der Umformtechnik
 - Massivumformung
 - Fließpressen
 - Strangpressen und nachfolgende elektromagnetische Umformung
 - Blechumformung
 - Tiefziehen und elektromagnetisches Nachformen
 - Temperaturentwicklung bei Werkzeugspulen

- Ziel: Untersuchung der thermischen Spulenbelastung bei der elektromagnetischen Blechumformung
- Herausforderungen:
 - Kopplung von elektromagnetischem, thermischem und strukturmechanischem Solver
 - Simulation eines Dauerversuches mit bis zu 100 Entladungen in Reihe
 - Jede Entladung wird mit einer separaten, im Experiment gemessenen Stromkurve simuliert



Spule für die elektromagnetische Flachumformung

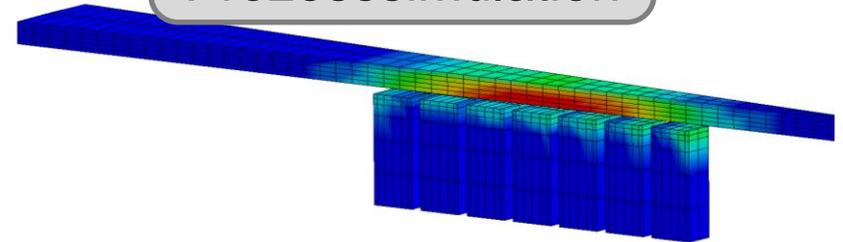
Ermittlung der thermischen Spulenbelastung



Experimentelle
Untersuchungen

- Ermittlung des Einflusses von:
 - Ladeenergie E_C
 - Taktrate t_T
 - Werkstückwerkstoff
 - Umformung
 - Deckschichtdicke s_{Dec}

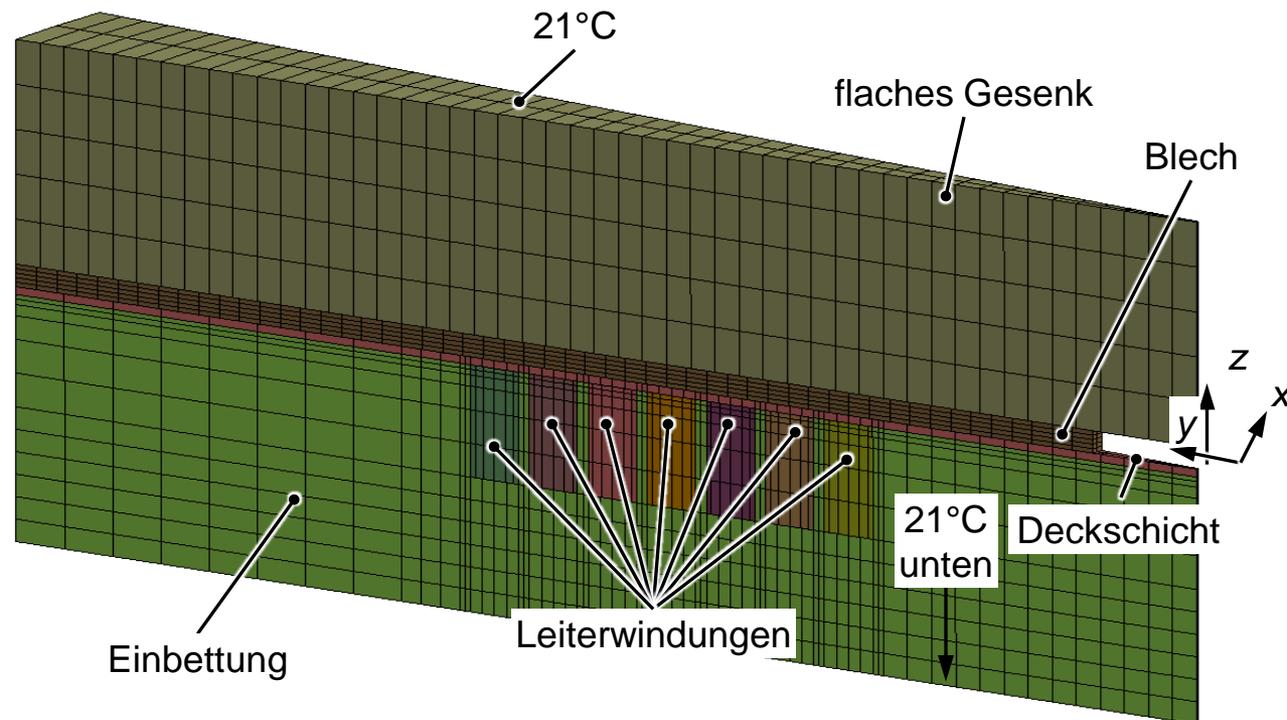
Numerische
Prozesssimulation



- Temperaturverteilung über die Leitertiefe
- Untersuchung der Wärmeströme
- Erprobung neuer Konzepte

- Modellaufbau / Methodik:

- Strukturmechanischer Solver: Explizit
- Elektromagnetischer / Thermischer Solver: Implizit
- Rotationssymmetrie: 1/64 Zylinderausschnitt
- konisches und flaches Gesenk
- $\sigma_{el}, \lambda, c_p = f(T)$
- Spulenstrom
 $I = I_{mess}$
- Matlab Routine zur mehrfachen Durchführung



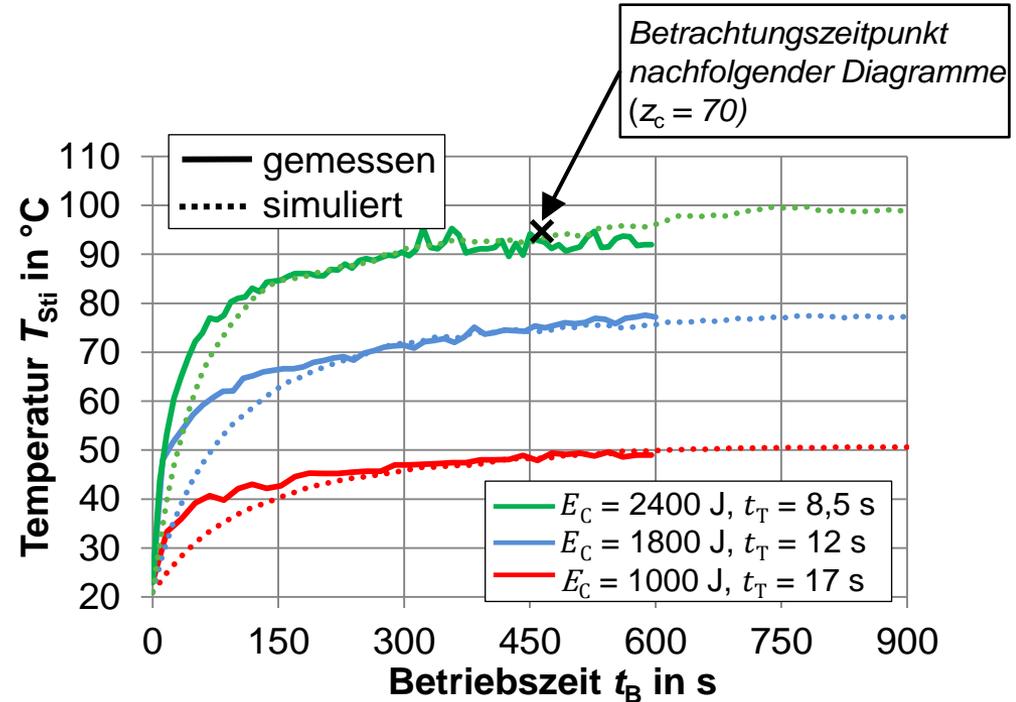
● Verifikation der Simulation

Werkstück: EN AW-5083
 $s = 1 \text{ mm}$
(keine Umformung)

Ladeenergie E_C : 1,0 / 1,8 / 2,4 kJ

Taktzeit t_T : 17 / 12 / 8,5 s

Deckschicht s_{Dec} : 0,35 mm



- Gute Übereinstimmung der Grenztemperaturen aus Simulation und Experiment
- Abweichungen in der Aufheizphase
 - Vorgewärmte Spule im Experiment
 - Abweichungen der tatsächlichen Spulenkonstruktion

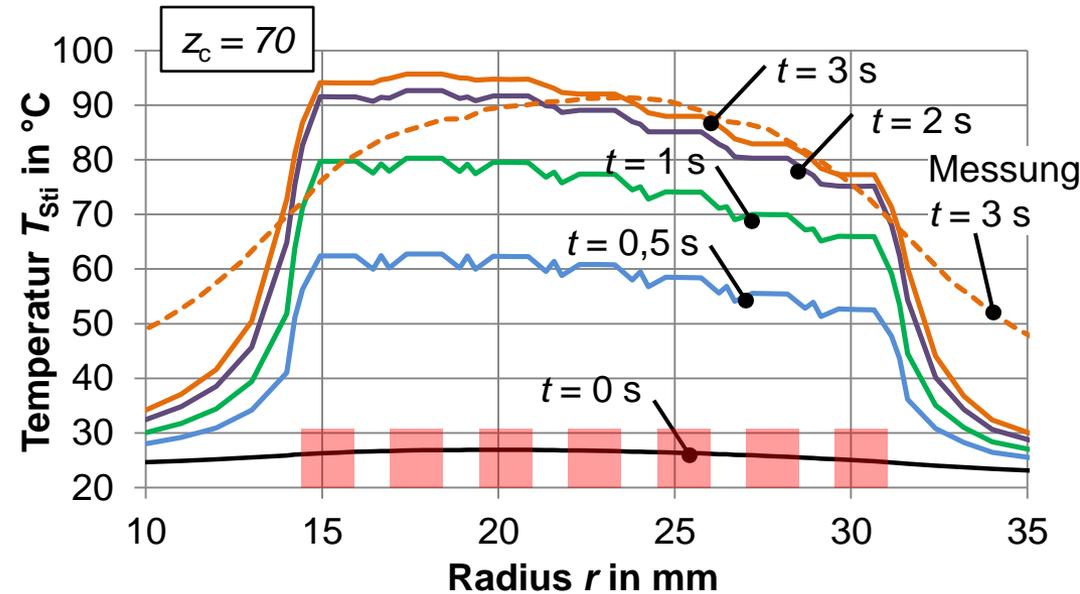
- Zeitlicher Verlauf der Stirnflächentemperatur ($z_c = 70$)

Werkstück: EN AW-5083
 $s = 1$ mm
(keine Umformung)

Ladeenergie E_C : 2,4 kJ

Taktzeit t_T : 8,5 s

Deckschicht s_{Dec} : 0,35 mm



- Stark zyklischer Temperaturverlauf
 - Konvektion und Strahlung gering im Vergleich zur Wärmeleitung durch das Werkstück
- Abweichung insbesondere an der innersten Windung
 - Simulation: konzentrische (nicht leitfähig verbundene) Ringabschnitte
 - Experiment: Windungsauslauf als Wärmebrücke



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

