

Eigenspannungen für Anwendungen der Zukunft: Bistabile Rohre und neuartiges Elektromotordesign

Ines Gilch, M.Sc.

Technische Universität München

TUM School of Engineering and Design

Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen

Sächsische Fachtagung Umformtechnik, 28.11.2023

Agenda

1

Motivation

2

Projektideen

3

Bistabile, metallische und vollständig geschlossene Rohrprofile

4

Magnetflussführung durch geprägte Strukturen in Elektroblechen

5

Fazit

Bistabile Rohre



Geprägte Elektrobleche

Motivation

Negativer Einfluss von Eigenspannungen auf Bauteileigenschaften

- Lebensdauer
- Einhaltung von Toleranzen
- Werkstoffeigenschaften
- Einfluss auf Prozess

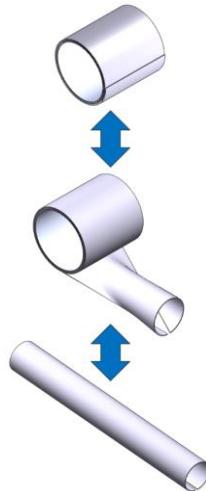


SPP 2013

Verbesserung der Bauteil- und Prozesseigenschaften durch gezielte Nutzung von Eigenspannungen

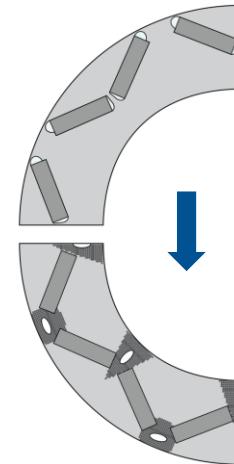
Neue Bauteileigenschaften durch gezielte Nutzung von Eigenspannungen

Projektideen



Ausrollen der Solaranlage,
NASA

Bistabile, metallische und vollständig geschlossene Rohrprofile



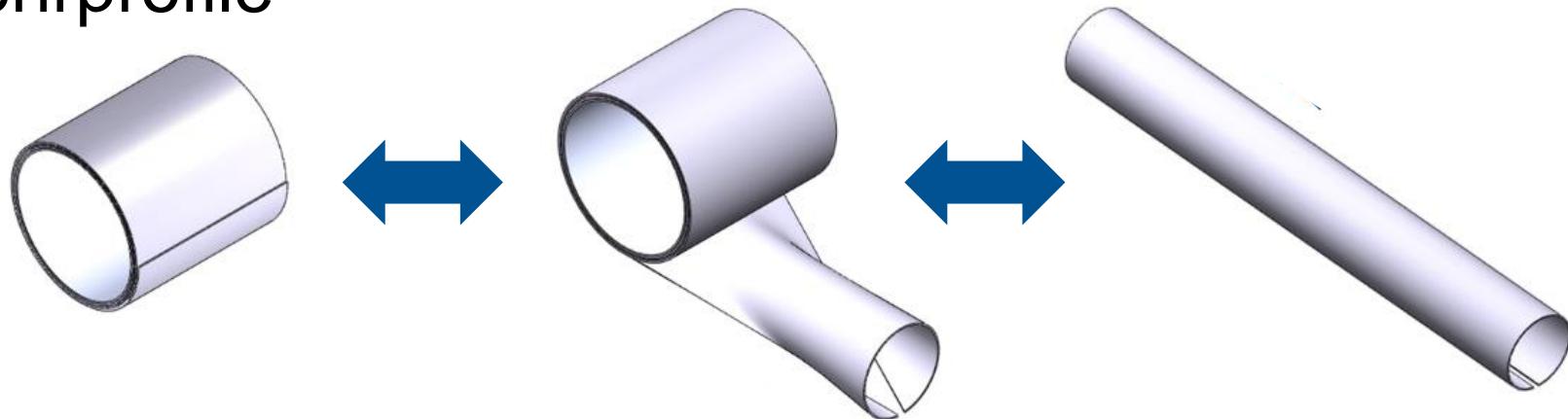
Permanentmagnet-
Synchronmaschine



Synchron-
Reluktanzmaschine

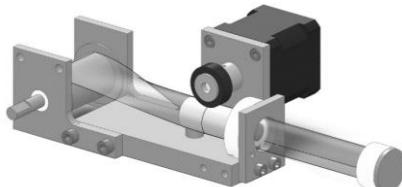
Magnetflussführung durch geprägte Strukturen in Elektroblechen

Bistabile, metallische und vollständig geschlossene Rohrprofile



Motivation und Projektidee

Monostabile Rohre



Bistabil nicht geschlossen



Bistabile Rohre durch gezielte Nutzung von
Eigenspannungen



Rohrauskleidung, *RolaTube*

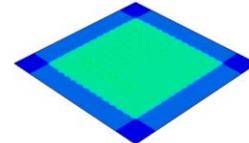
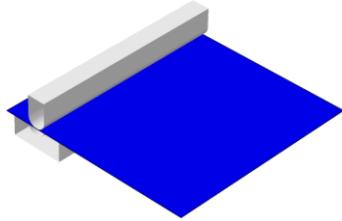


Integrierter Antennenmast

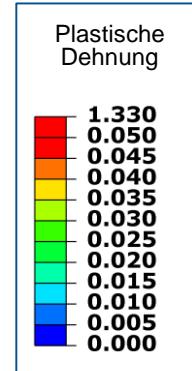
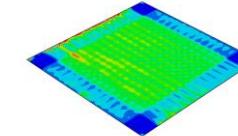
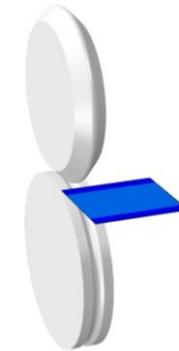
Bistabile Rohre

Prozessbeschreibung

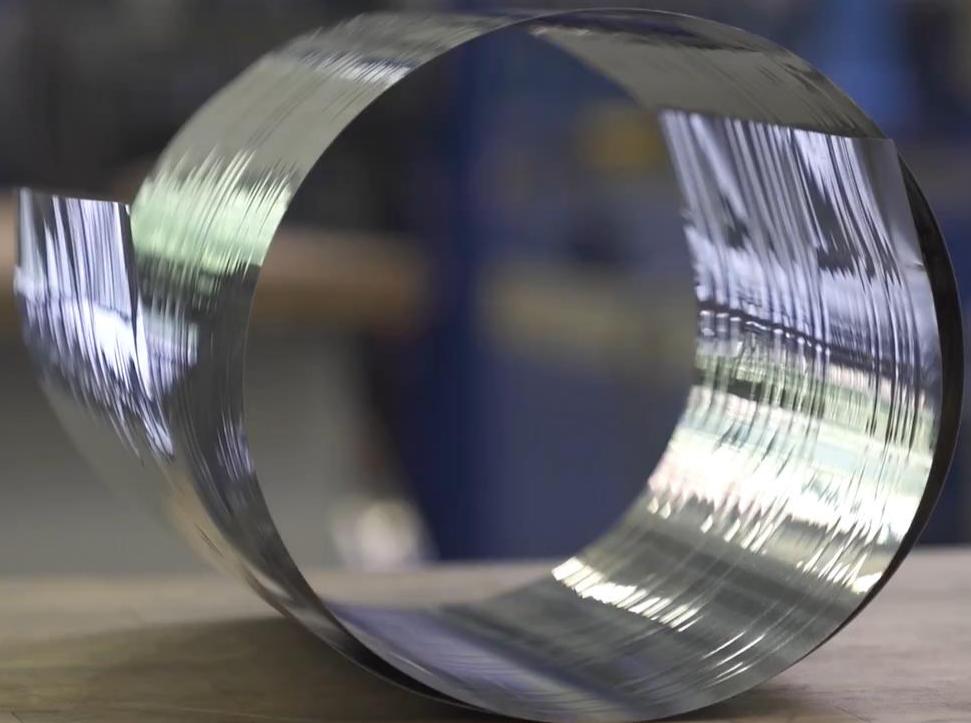
Zweistufiges inkrementelles Biegen



Inkrementelles Biegen und Walzprofilieren



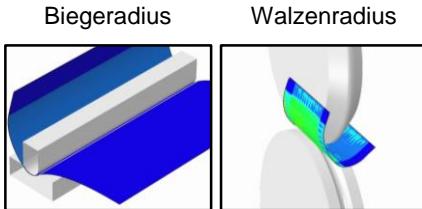
Erreichung der Bistabilität



Modellierung der Bistabilität

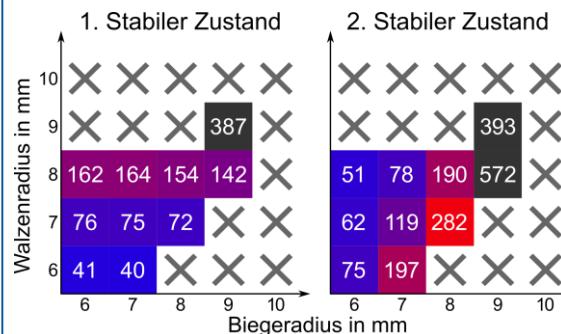
Prozessfolge:

- Inkrementelles Biegen
- Walzprofilieren

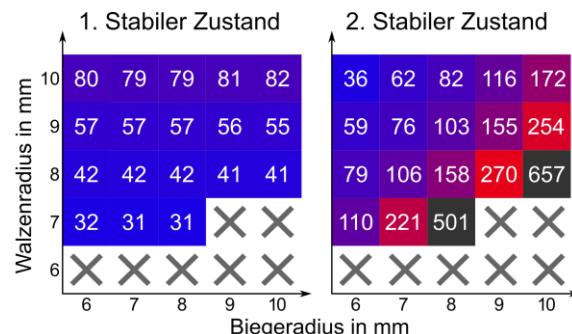


Stahl	E, GPa	k_{f0} , MPa
1.1274	196	1820
1.4310	191	918

Rohrradien für Stahl 1.1274



Rohrradien für Stahl 1.4310



✗ Bistabilität
wird nicht erreicht
648 Radius in mm

Materialeinfluss auf Bistabilität

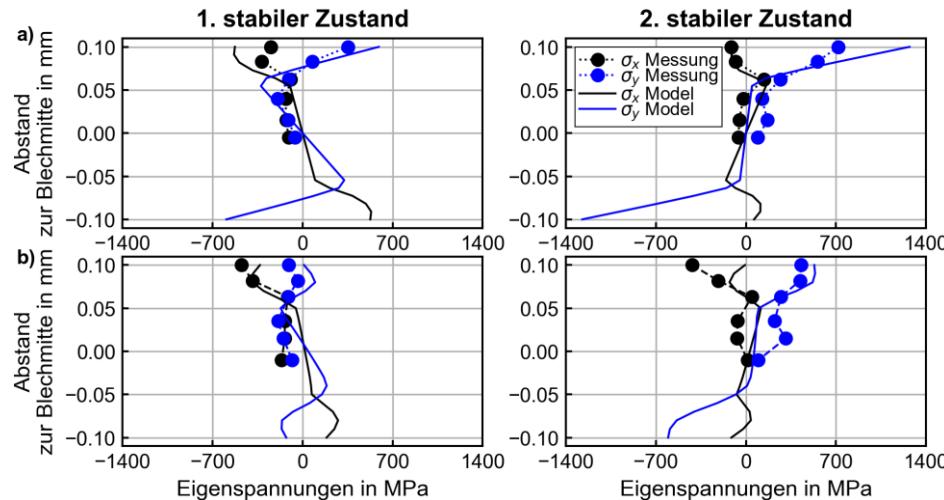
Eigenspannungsmessung

Röntgendiffraktometrie:

Messung von Oberfläche
bis Blechmitte durch
chemischen Abtrag à
0,02 mm in 6 Schritten

2-stufiges
inkrementelles
Biegen

Inkrementelles
Biegen +
Walzprofilieren



Qualitativ gute Übereinstimmung der Eigenspannungsverteilung zwischen Modell und Experiment

Übertragung auf industriellen Maßstab

Kontinuierliche Prozessfolge für unbegrenzt lange Werkstücke

- Prozessauslegung für die 12-gerüstige Profilierstraße
- Fertigung langer bistabiler, vollständig geschlossener Rohre



Manuelles Walzprofilieren



Produktion langer bistabiler, vollständig geschlossener Rohre

Magnetflussführung durch geprägte Strukturen in Elektroblechen

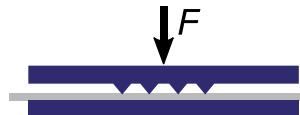


Motivation und Projektidee

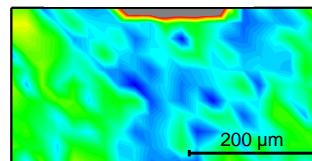
Elektromobilität



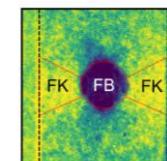
Prägen



Eigenspannungen



Magn. Flussbarriere



>Analyse magn. Eigenschaften und der Eigenspannungen

Kopplung Eigenspannungen – magn. Eigenschaften

Untersuchung elektro-magn. nutzbarer Prägegeometrien

Gesteigerte mechanische
Festigkeit

Effizienzsteigerung

Neue Designmöglichkeiten
für Elektromotoren

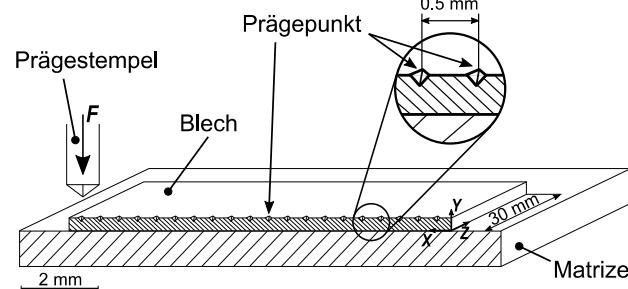
Magnetflussführung durch geprägte Strukturen in Elektroblechen

Prägeprozess

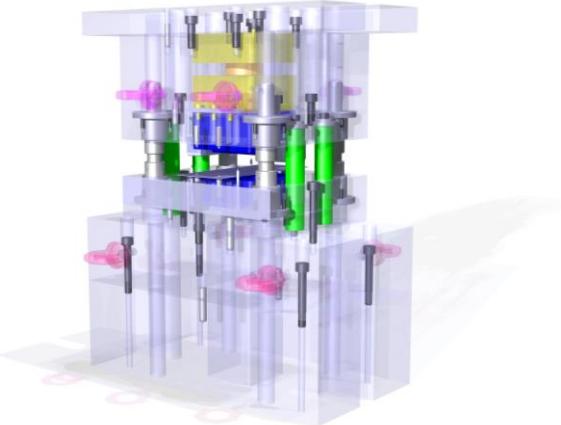
Prägen im Labormaßstab – Große Prägepunkte



Prägen im Labormaßstab – Sequentielles Prägen



Prägeprozess angelehnt an industrielle Fertigung

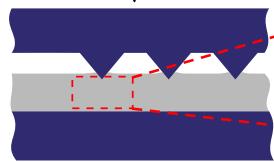


Untersuchung von Labormaßstab bis industrielle Fertigung

Prägen – umformtechnisch induzierte Eigenspannungen

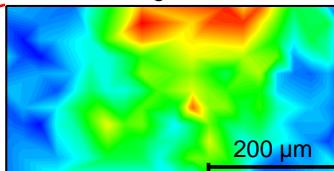
Prägen

$\downarrow F$



Nanoindentierung

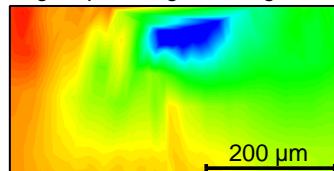
Härte - Prägekraft 100 N



Härte in GPa

Numerische Untersuchung

Eigenspannungen - Prägekraft 100 N

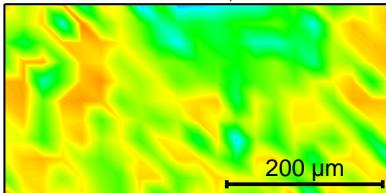


Hydrostat.
Spannung
in MPa

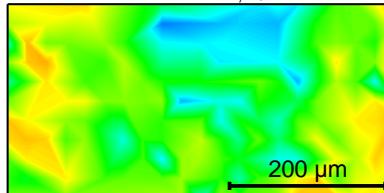
Zug
Druck

Berechnete Eigenspannungsverteilung aus Nanoindentierung

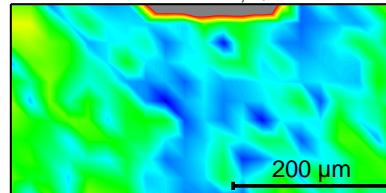
Prägekraft 50 N, $U_{z,\max} = 28,5 \mu\text{m}$



Prägekraft 100 N, $U_{z,\max} = 41,6 \mu\text{m}$



Prägekraft 200 N, $U_{z,\max} = 62,9 \mu\text{m}$



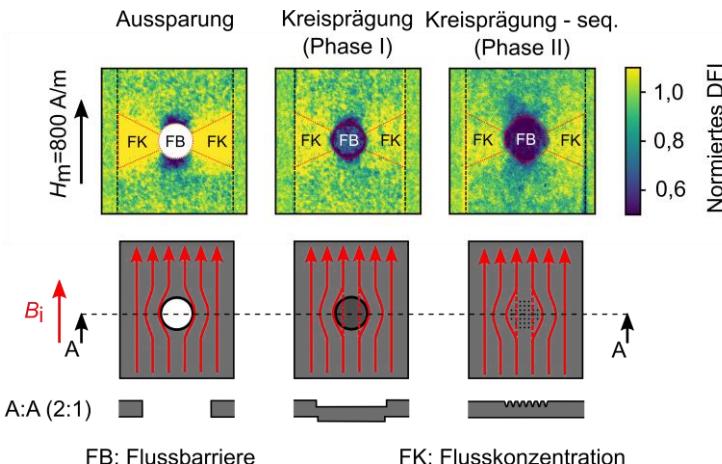
Zug
0
Druck

Biaxialer
Spannungszustand
in MPa

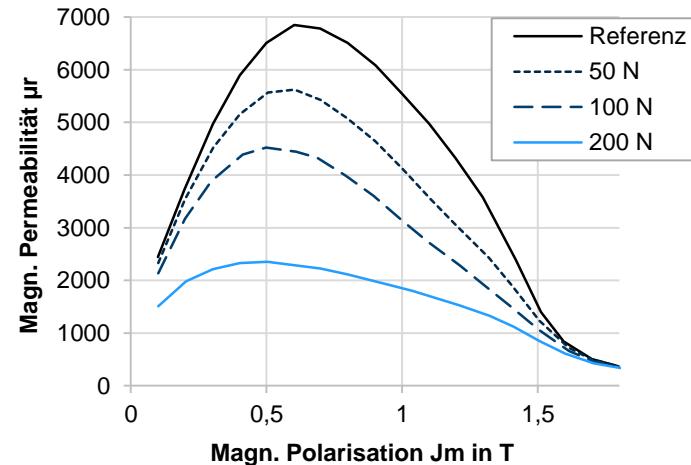
Eigenspannungen durch lokale Umformung

Änderung magn. Eigenschaften durch Eigenspannungen

Magnetische Flussführung durch geprägte Strukturen



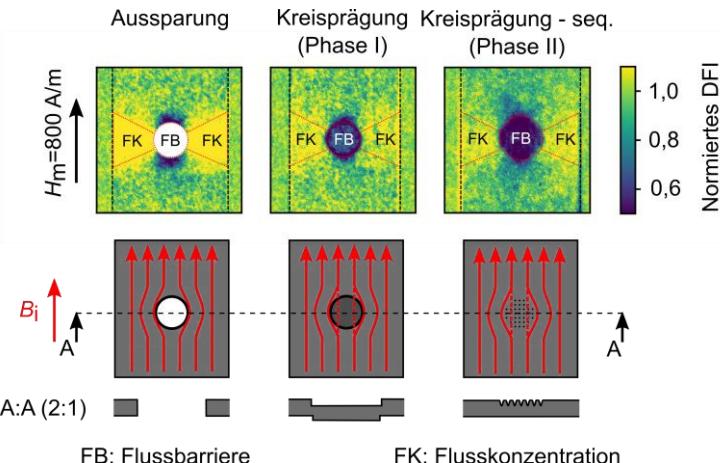
Steuerung magnetischer Eigenschaften



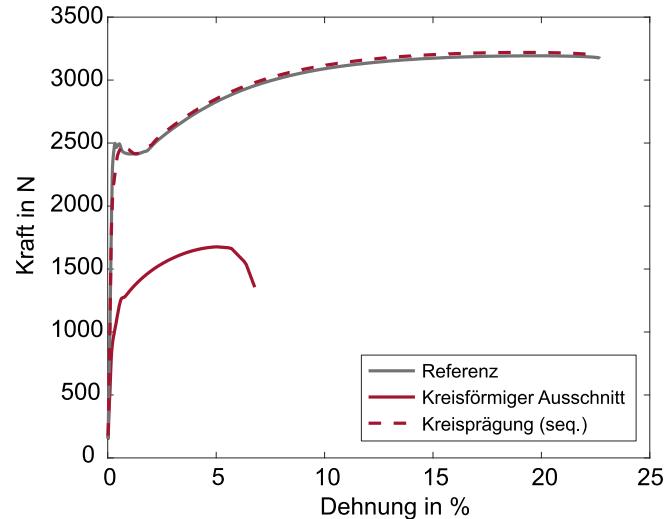
Magnetische Flussführung durch umformtechnisch induzierte Eigenspannungen möglich

Mechanische Festigkeit geprägter Flussbarrieren

Magnetische Flussführung durch geprägte Strukturen



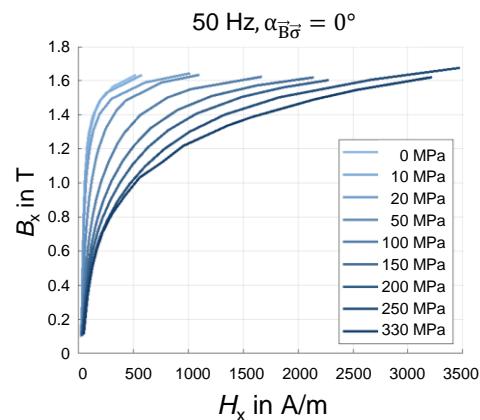
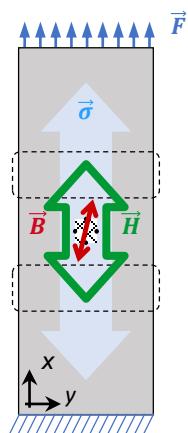
Gesteigerte mechanische Festigkeit



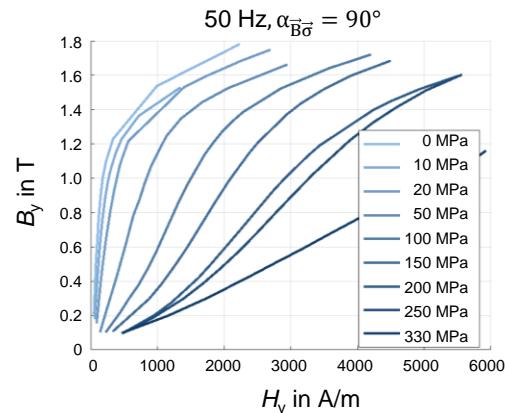
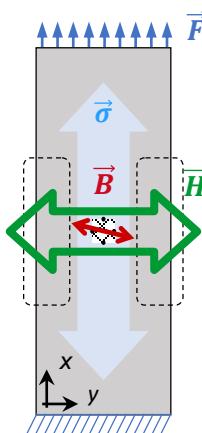
Mechanische Festigkeit wie unbearbeitetes Material bei geprägter Flussbarriere

Magneto-mechanische Kopplung

Last parallel zur Magnetisierung



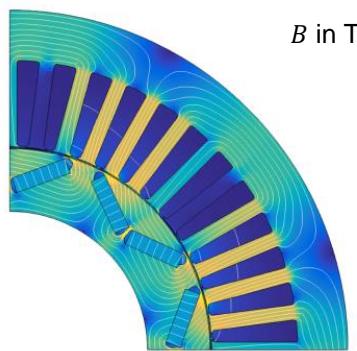
Last senkrecht zu Magnetisierung



Zusammenhang zwischen unidirekionalen Spannungen und magnetischen Kenngrößen

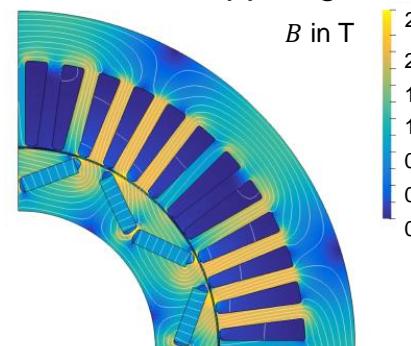
Magneto-mechanische Simulation bei 5000 rpm

Konventionelles Materialmodell



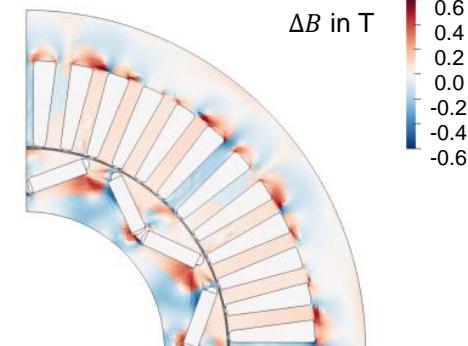
Höchste magnetische Flussdichte in Stegen zwischen benachbarten PMs

Mit vektorieller magneto-mechanischen Kopplung



Verringerte Flussdichte an Außenkontur des Stators aufgrund hoher lokaler mech. Druckspannungen

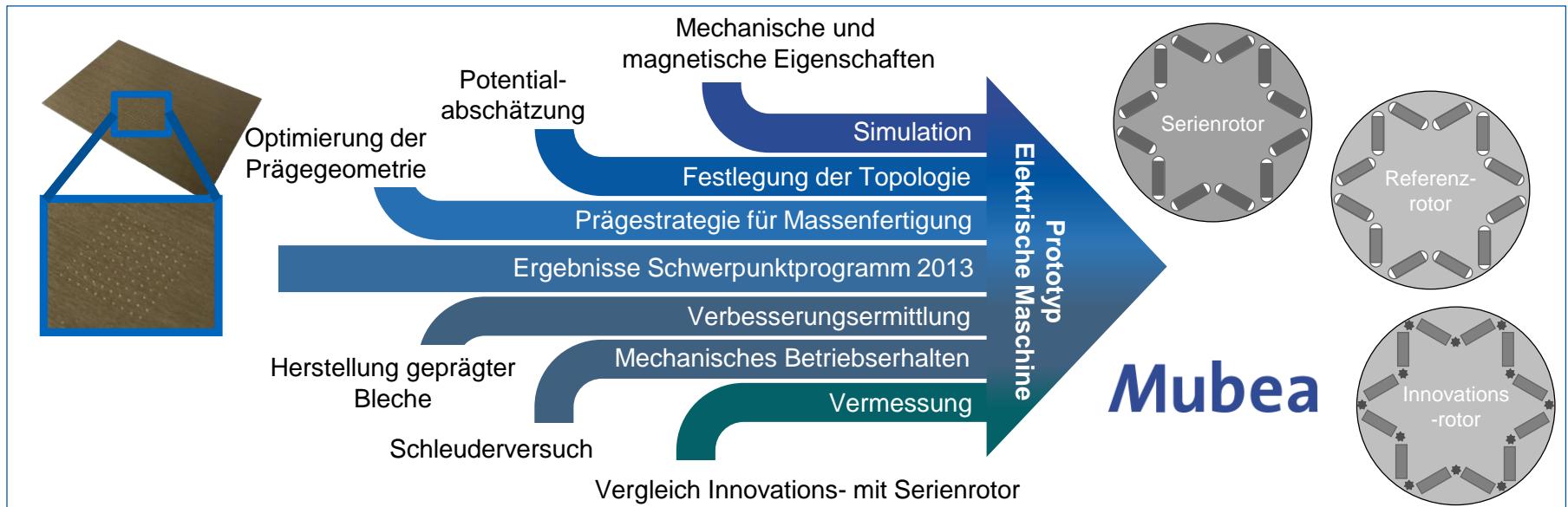
Differenz der magnetischen Flussdichte



$\Delta B_{\max} = +0,59 \text{ T}$
 $\Delta B_{\min} = -0,61 \text{ T}$

Einfluss mechanischer Spannungen auf die magnetischen Eigenschaften in der Motorsimulation

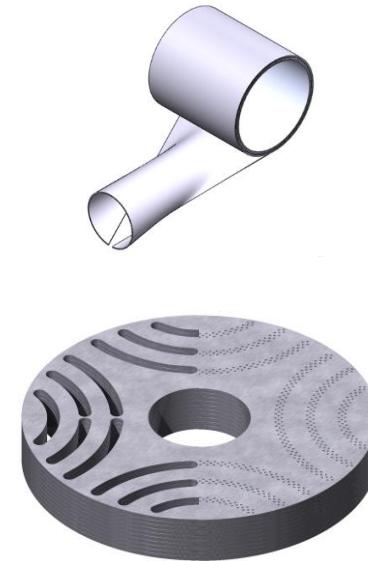
Erkenntnistransfer auf Serienmotor



DFG Erkenntnistransferprojekt

Fazit

- Fundamentale Erkenntnisse zur gezielten Einstellung und Nutzung von Eigenspannungen in Biege-, Walz- und Prägeprozess erarbeitet
- Einfluss der Eigenspannungen auf die spezifischen Materialeigenschaften charakterisiert



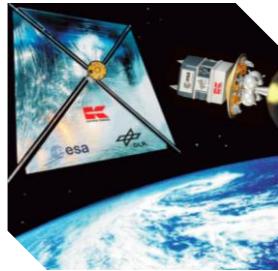
Gezielte Einstellung von Druck- und Zugeigenspannungen über die Blechdicke zum Erreichen der Bistabilität

Lokal hohe Eigenspannungen als magnetische Flussbarrieren in Elektroblechen

Ausblick – Anwendungen neu gedacht



Ausrollbares
Solarmodul



Sonnensegel-
Membran



Effizientere
Elektromotoren für
eine erhöhte
Reichweite in der
Elektromobilität



Neues
Elektromotordesign

Neue Potentiale

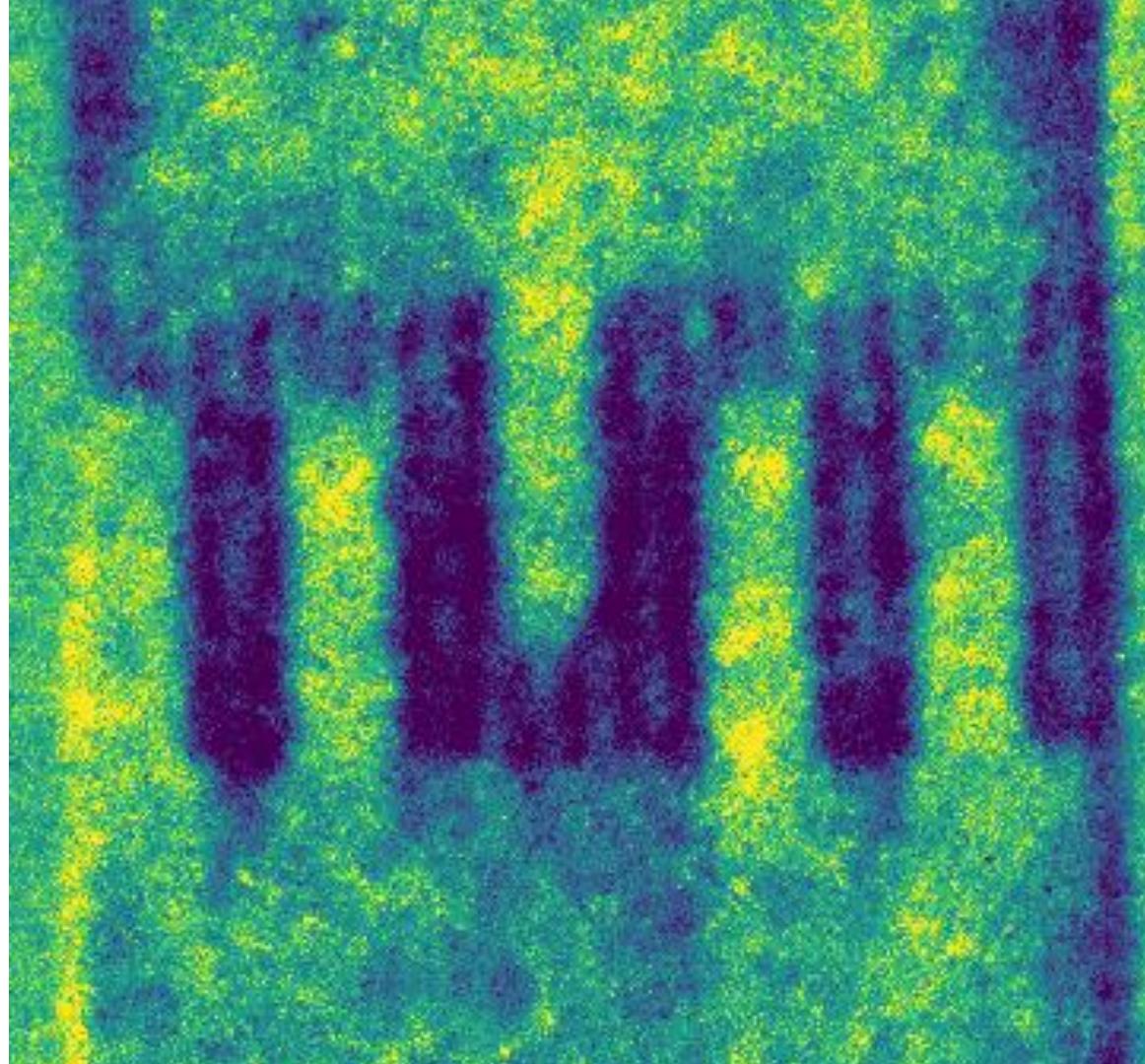
SPP 2013

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Technische Universität München
School of Engineering and Design

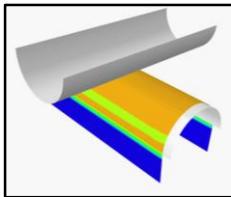
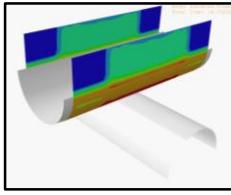
**Lehrstuhl für Umformtechnik und
Gießereiwesen**
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk
Walther-Meißner-Straße 4
85748 Garching, Germany

Ines Gilch, M.Sc.
ines.gilch@utg.de



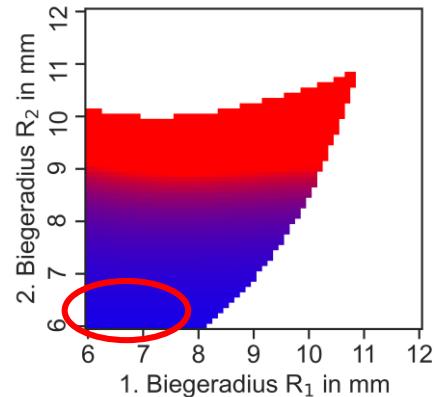
Anhang

Semianalytische Modellierung

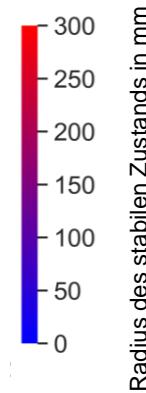
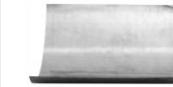
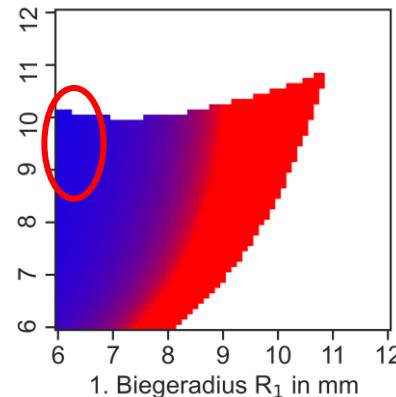
1. Biegung, R_1 2. Biegung, R_2 

Rohrradien für Stahl 1.1274

1. stabiler Zustand



2. stabiler Zustand

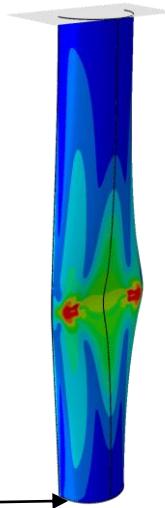


Minimal Radien nur bei einem stabilen Zustand erreichbar

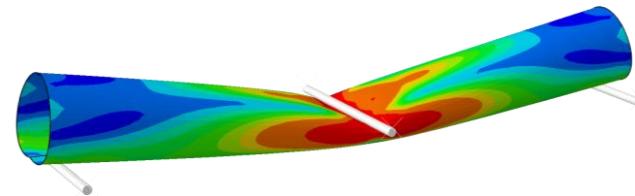


Leistungsfähigkeit bistabiler Rohre

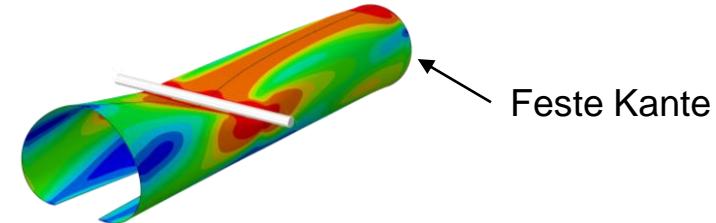
Knicksteifigkeit



3-Punkt-Biegung



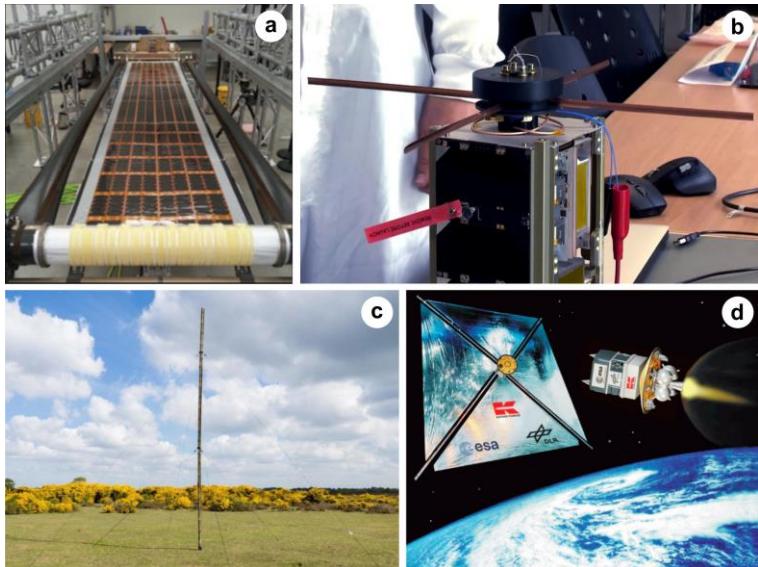
Biegen mit einer festen Kante



Feste Kante

Feste Kante

Ausblick



Zielsetzung

- Endlose Bänder mit stabiler rohrförmiger Struktur im abgewickelten Zustand
- Miniaturisierung der stabilen Strukturen
- Entwicklung eines industriell relevanten Prozesses zur Herstellung von bistabilen Strukturen
- → Prozesskette aus Rollformen und Ziehen über Dorn → Ersetzen des inkrementellen Biegens

- a) Ausrollbares Solarmodul
- b) Nanosatellit SONATE der Universität Würzburg
- c) Tragbarer und integrierter Antennenmast
- d) Sonnensegel-Membran

Übertragung der Erkenntnisse auf industrielle Anwendungen