

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 Röhre



Geprägte Elektrobleche

Motivation

Negativer Einfluss von
Eigenspannungen auf
Bauteileigenschaften

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

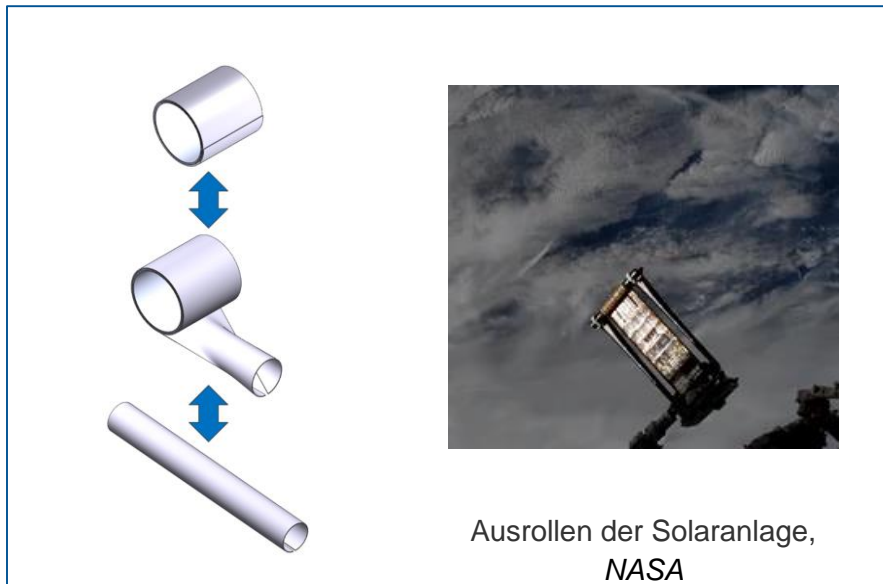


SPP 2013

Verbesserung der Bauteil- und
Prozesseigenschaften durch
gezielte Nutzung von
Eigenspannungen

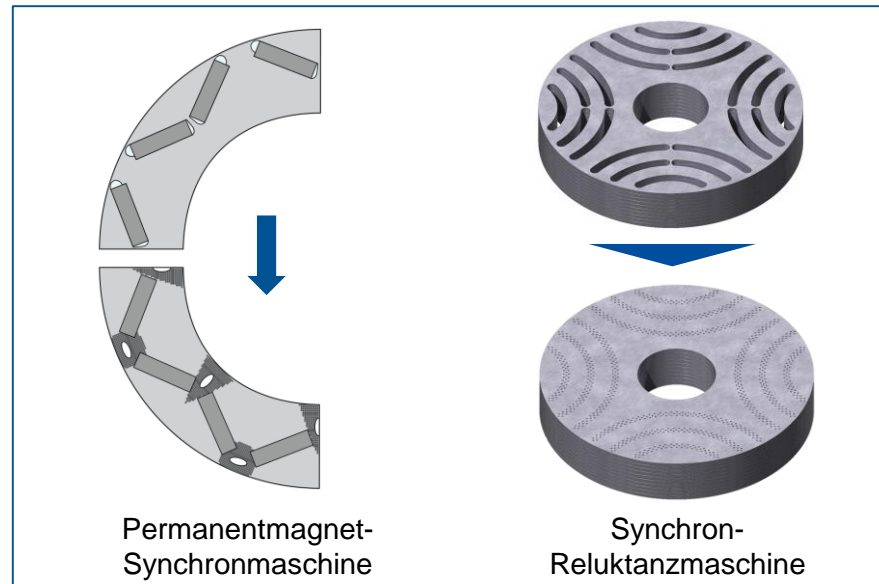
**Neue Bauteileigenschaften
durch gezielte Nutzung von
Eigenspannungen**

Projektideen



Ausrollen der Solaranlage,
NASA

Bistabile, metallische und vollständig geschlossene Rohrprofile

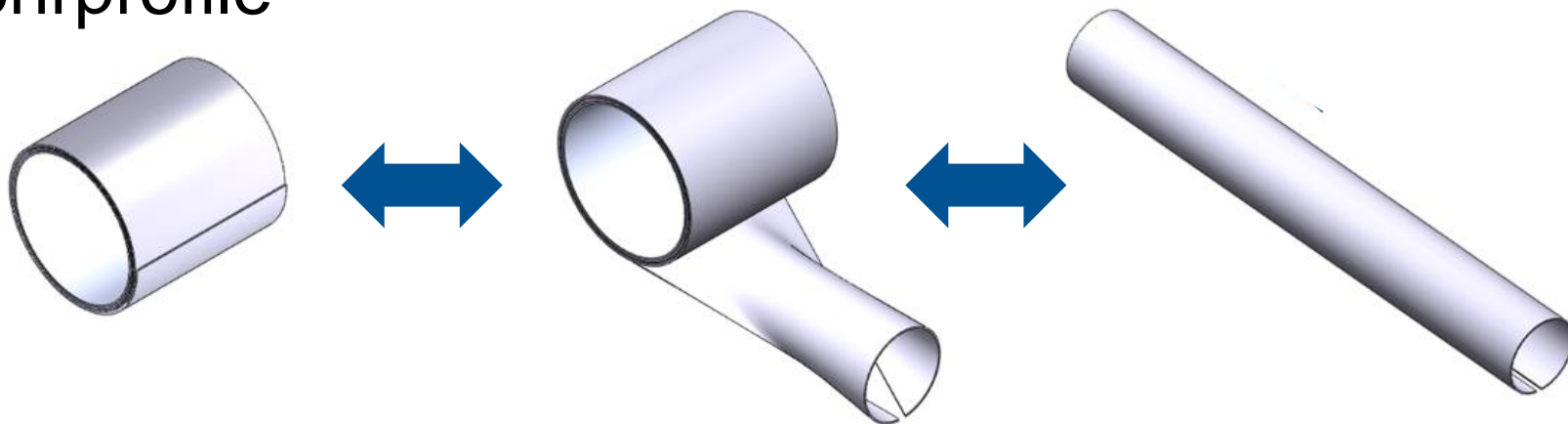


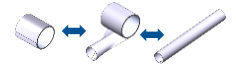
Permanentmagnet-
Synchronmaschine

Synchron-
Reluktanzmaschine

Magnetflussführung durch geprägte Strukturen in Elektroblechen

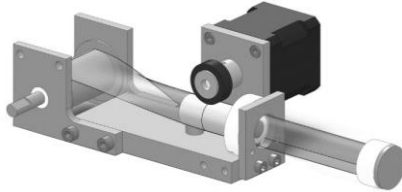
Bistabile, metallische und vollständig geschlossene Rohrprofile





Motivation und Projektidee

Monostabile Rohre



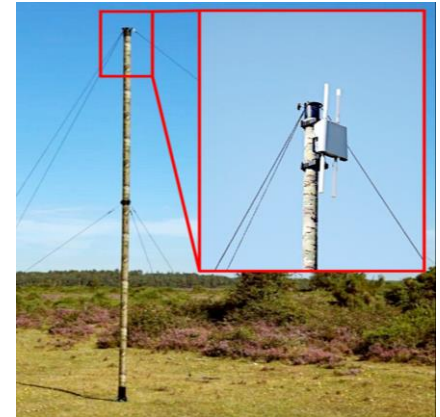
Bistabil nicht geschlossen



Bistabile Rohre durch gezielte Nutzung von Eigenspannungen



Rohrauskleidung, *RolaTube*

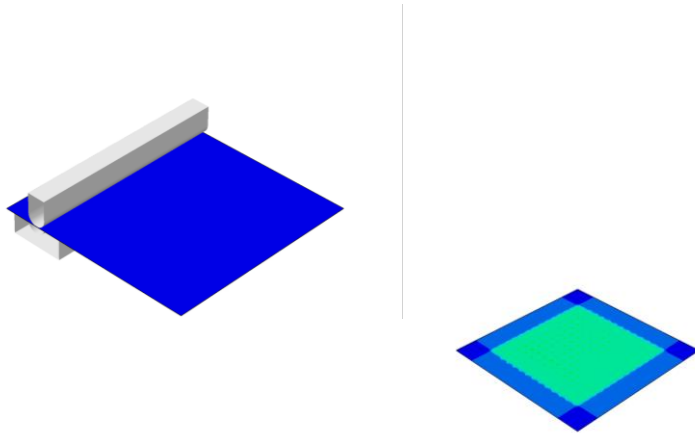


Integrierter Antennenmast

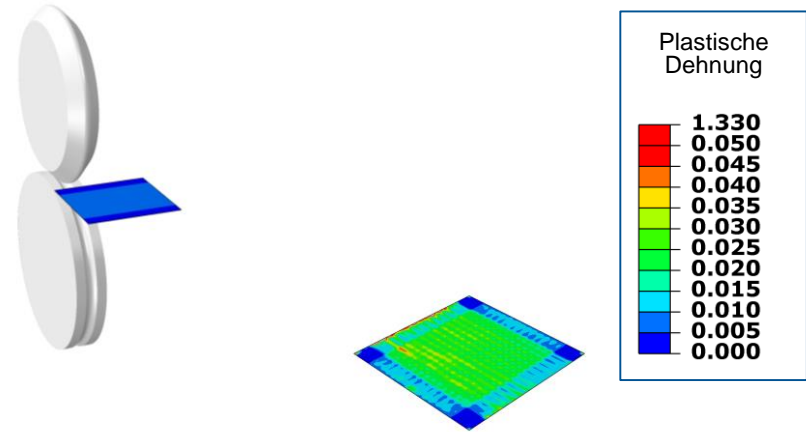
Bistabile Rohre

Prozessbeschreibung

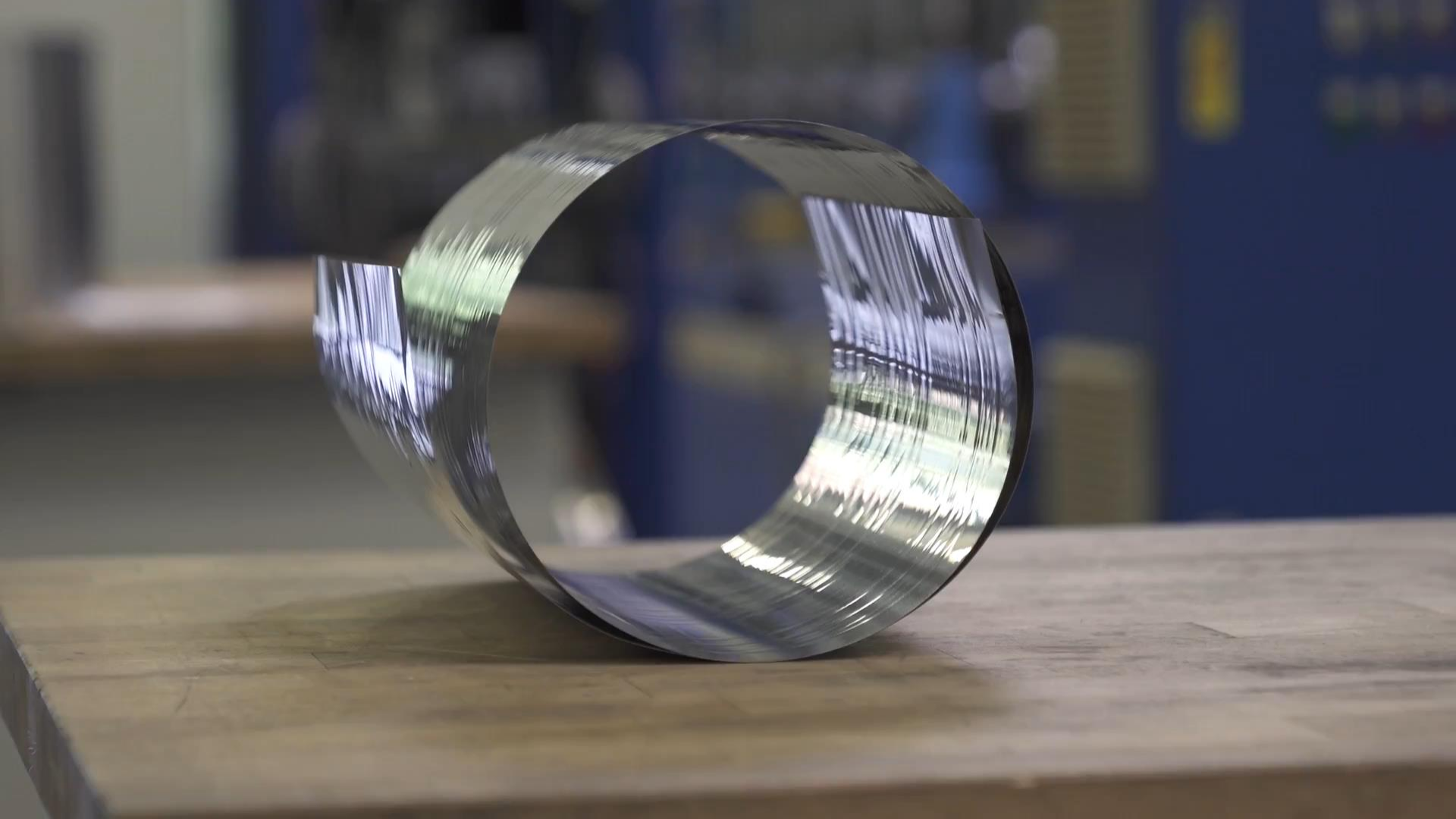
Zweistufiges inkrementelles Biegen



Inkrementelles Biegen und Walzprofilieren



Erreichung der Bistabilität



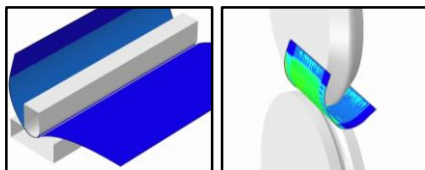
Modellierung der Bistabilität

Prozessfolge:

- Inkrementelles Biegen
- Walzprofilieren

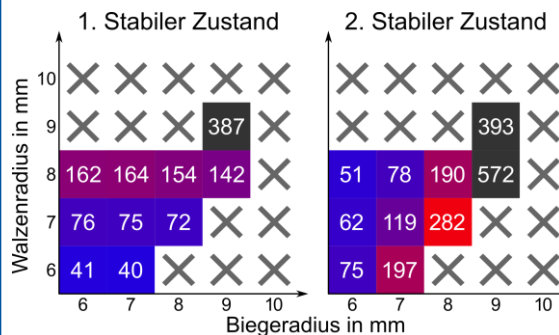
Biegeradius

Walzenradius

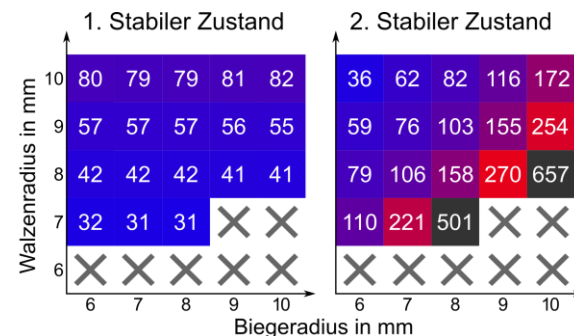


Stahl	E, GPa	k_{r0} , MPa
1.1274	196	1820
1.4310	191	918

Rohrradien für Stahl 1.1274



Rohrradien für Stahl 1.4310

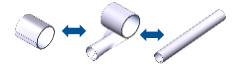


X Bistabilität wird nicht erreicht

648 Radius in mm

0 mm Radius stabiler Geometrie 300 mm

Materialeinfluss auf Bistabilität



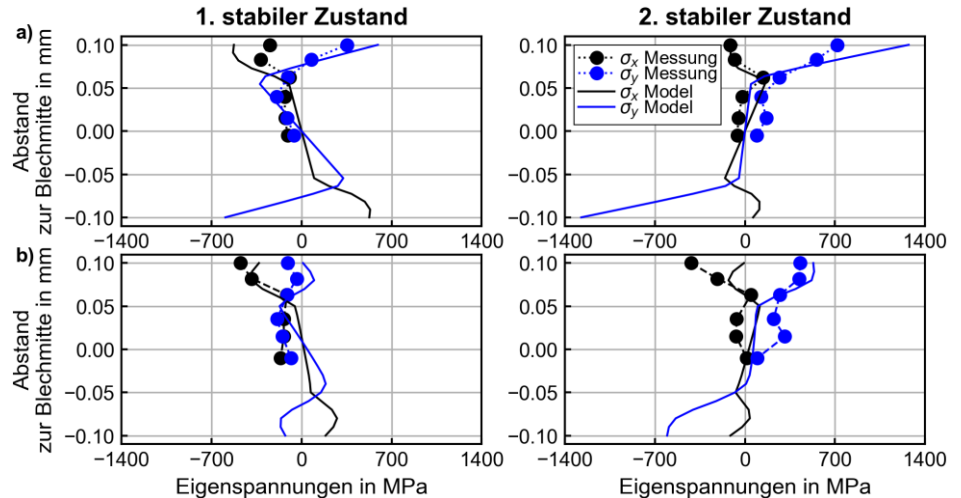
Eigen Spannungsmessung

Röntgendiffraktometrie:

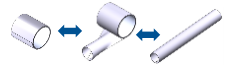
Messung von Oberfläche bis Blechmitte durch chemischen Abtrag à 0,02 mm in 6 Schritten

2-stufiges inkrementelles Biegen

Inkrementelles Biegen + Walzprofilieren



Qualitativ gute Übereinstimmung der Eigenstressungsverteilung zwischen Modell und Experiment



Übertragung auf industriellen Maßstab

Kontinuierliche Prozessfolge für unbegrenzt lange Werkstücke

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

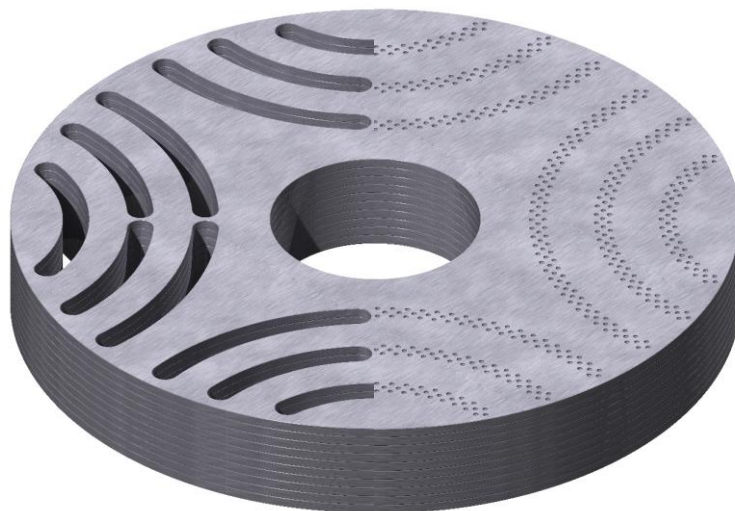


Manuelles Walzprofilieren



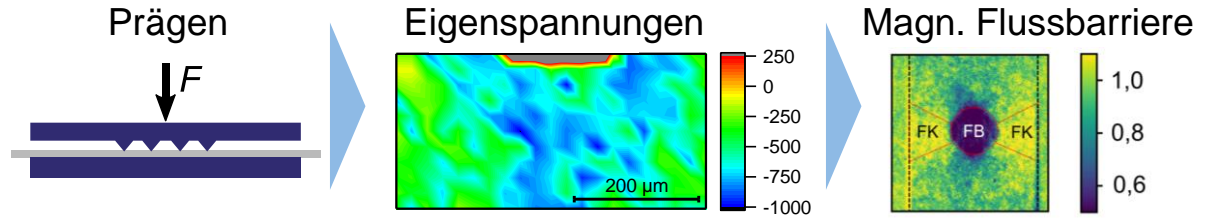
Produktion langer bistabiler, vollständig geschlossener Rohre

Magnetflussführung durch geprägte Strukturen in Elektroblechen



Motivation und Projektidee

Elektromobilität



- ◀◀ Analyse magn. Eigenschaften und der Eigenspannungen ▶▶
- ◀◀ Kopplung Eigenspannungen – magn. Eigenschaften ▶▶
- ◀◀ Untersuchung elektro-magn. nutzbarer Prägegeometrien ▶▶

Gesteigerte mechanische Festigkeit

Effizienzsteigerung

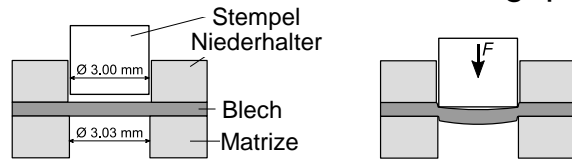
Neue Designmöglichkeiten für Elektromotoren

Magnetflussführung durch geprägte Strukturen in Elektroblechen

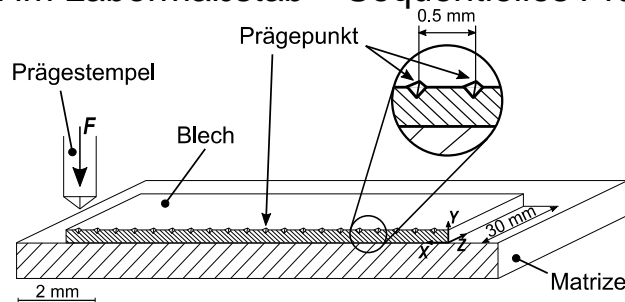
Huynh, T. A., & Hsieh, M. F. (2018). Performance analysis of permanent magnet motors for electric vehicles (EV) traction considering driving cycles. *Energies*, 11(6), 1385.

Prägeprozess

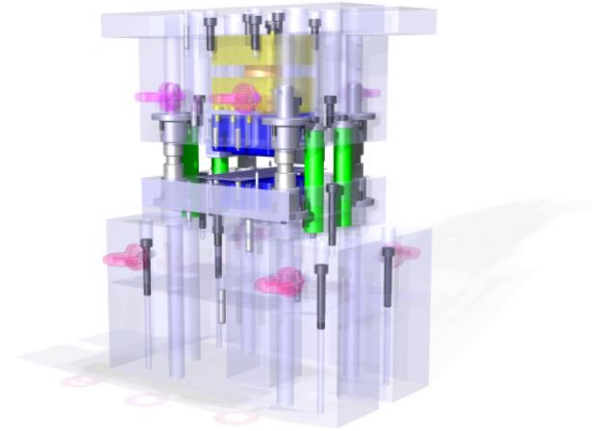
Prägen im Labormaßstab – Große Prägepunkte



Prägen im Labormaßstab – Sequentielles Prägen

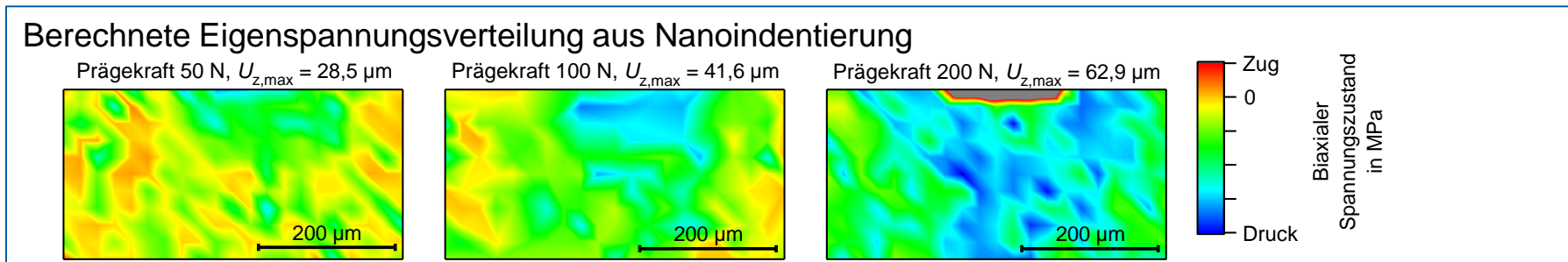
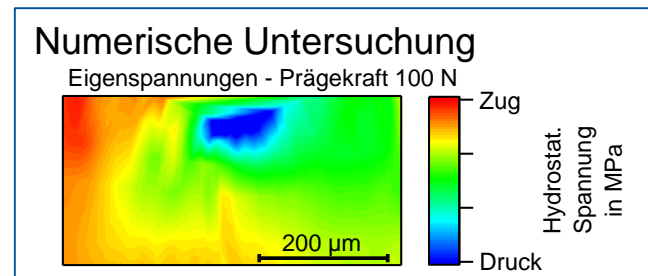
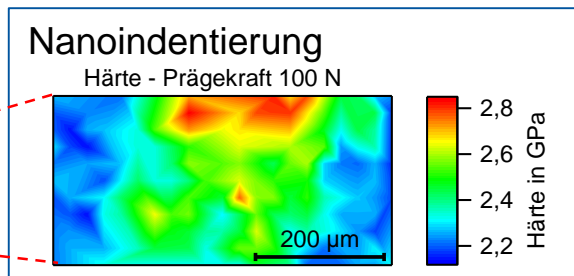
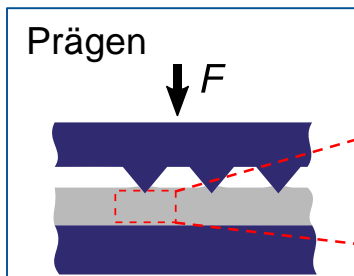


Prägeprozess angelehnt an industrielle Fertigung



Untersuchung von Labormaßstab bis industrielle Fertigung

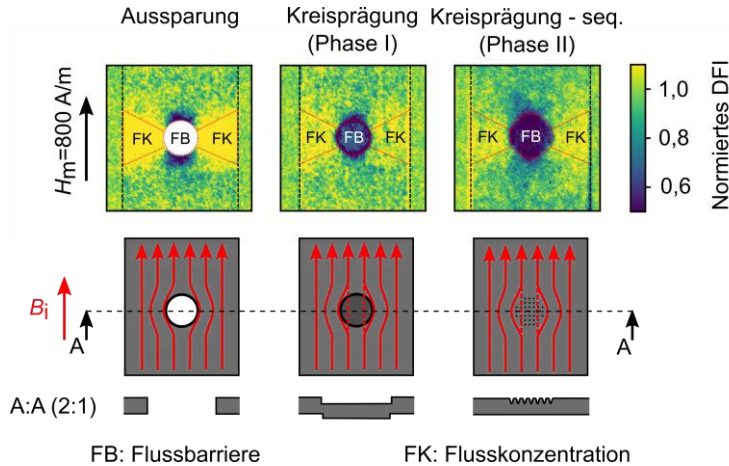
Prägen – umformtechnisch induzierte Eigenspannungen



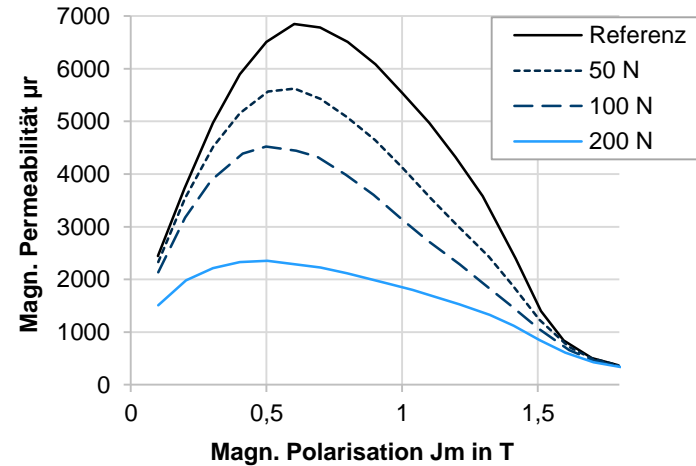
Eigenspannungen durch lokale Umformung

Änderung magn. Eigenschaften durch Eigenspannungen

Magnetische Flussführung durch geprägte Strukturen



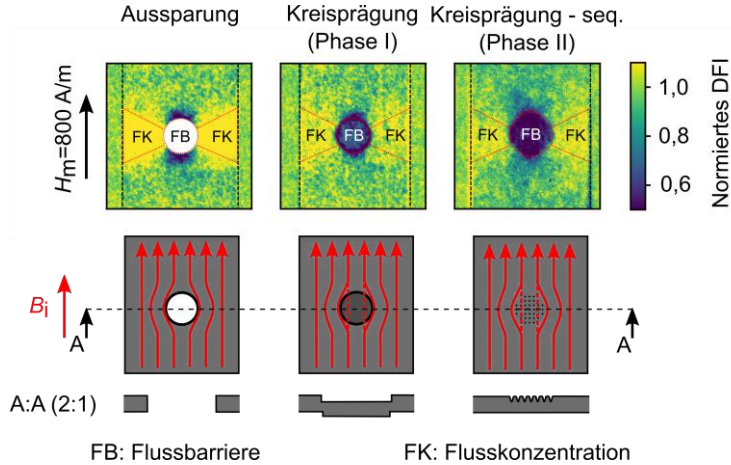
Steuerung magnetischer Eigenschaften



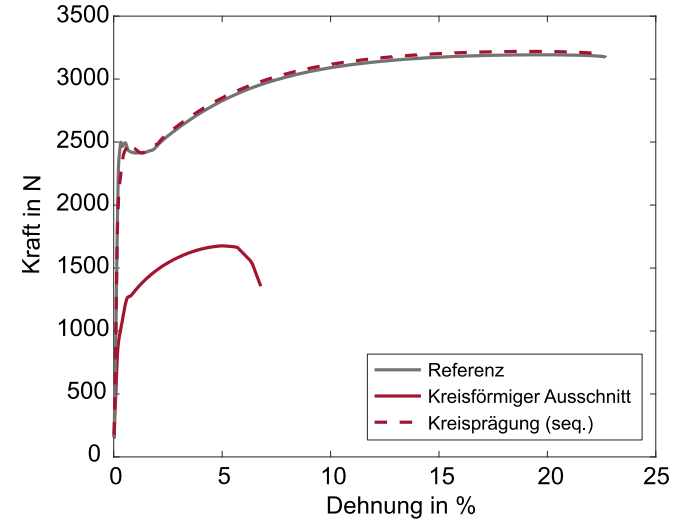
Magnetische Flussführung durch umformtechnisch induzierte Eigenspannungen möglich

Mechanische Festigkeit geprägter Flussbarrieren

Magnetische Flussführung durch geprägte Strukturen



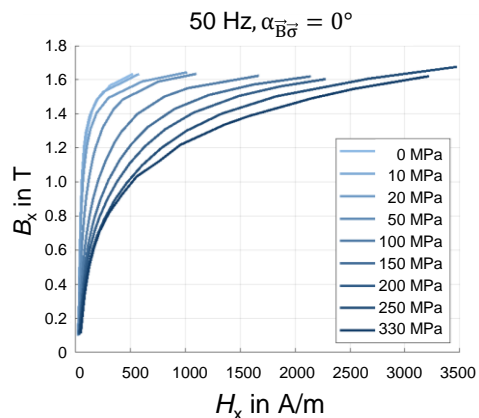
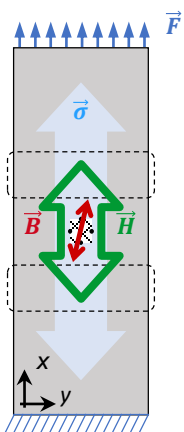
Gesteigerte mechanische Festigkeit



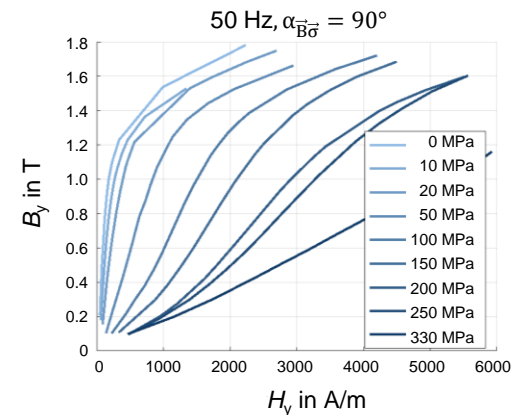
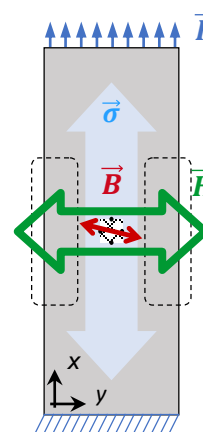
Mechanische Festigkeit wie unbearbeitetes Material bei geprägter Flussbarriere

Magneto-mechanische Kopplung

Last parallel zur Magnetisierung



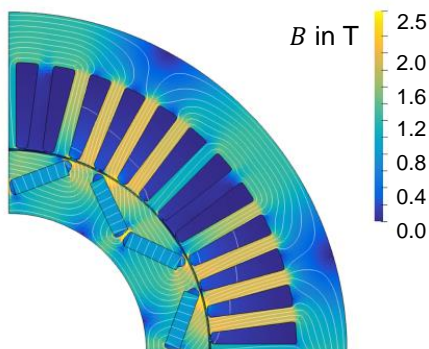
Last senkrecht zu Magnetisierung



Zusammenhang zwischen unidirektionalen Spannungen und magnetischen Kenngrößen

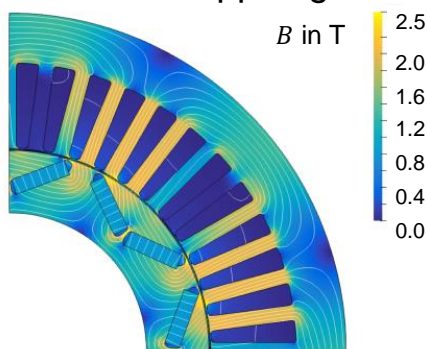
Magneto-mechanische Simulation bei 5000 rpm

Konventionelles
Materialmodell



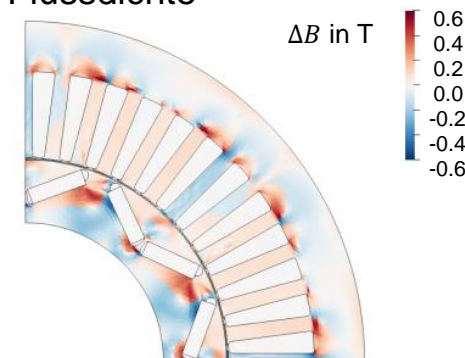
Höchste magnetische
Flussdichte in Stegen zwischen
benachbarten PMs

Mit vektorieller magneto-
mechanischen Kopplung



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

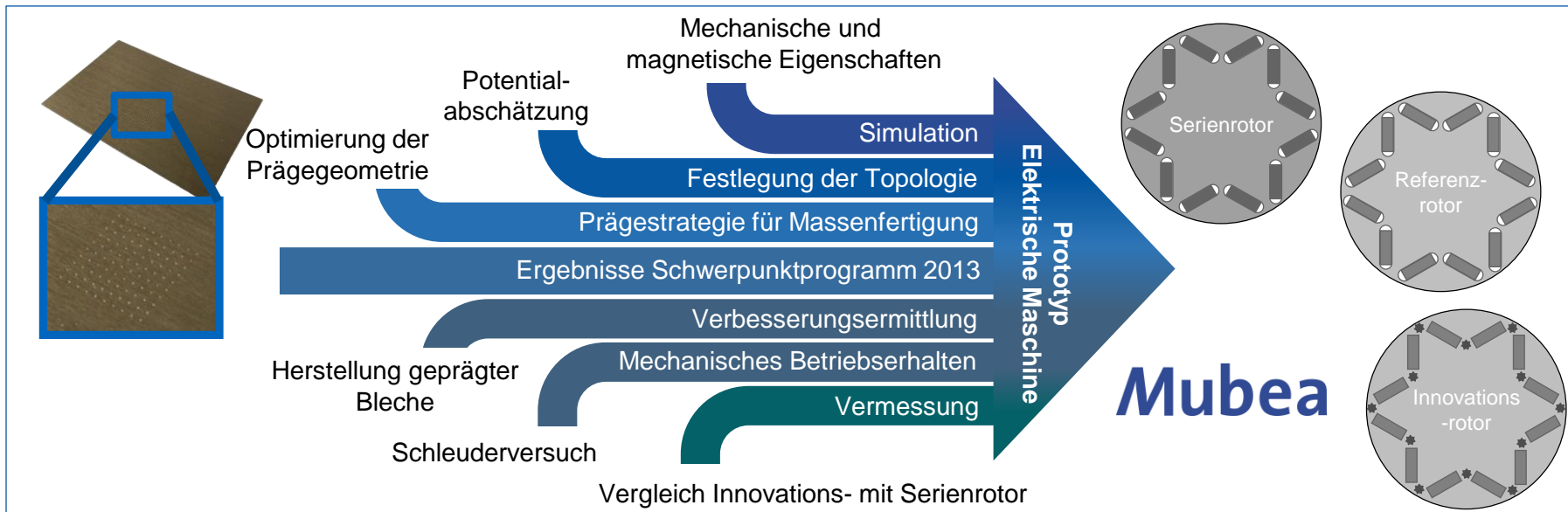
Differenz der magnetischen
Flussdichte



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

Einfluss mechanischer Spannungen auf die magnetischen Eigenschaften in der Motorsimulation

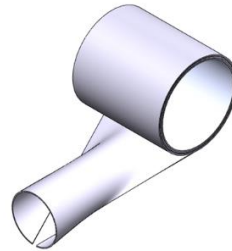
Erkenntnistransfer auf Serienmotor



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



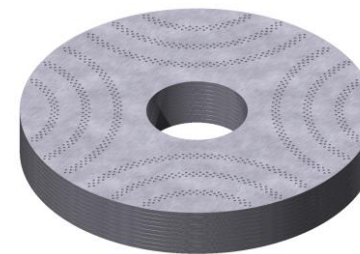
Ausrollbares
Solarmodul



Sonnensegel-
Membran



Effizientere
Elektromotoren für
eine erhöhte
Reichweite in der
Elektromobilität



Neues
Elektromotordesign

Neue Potentiale



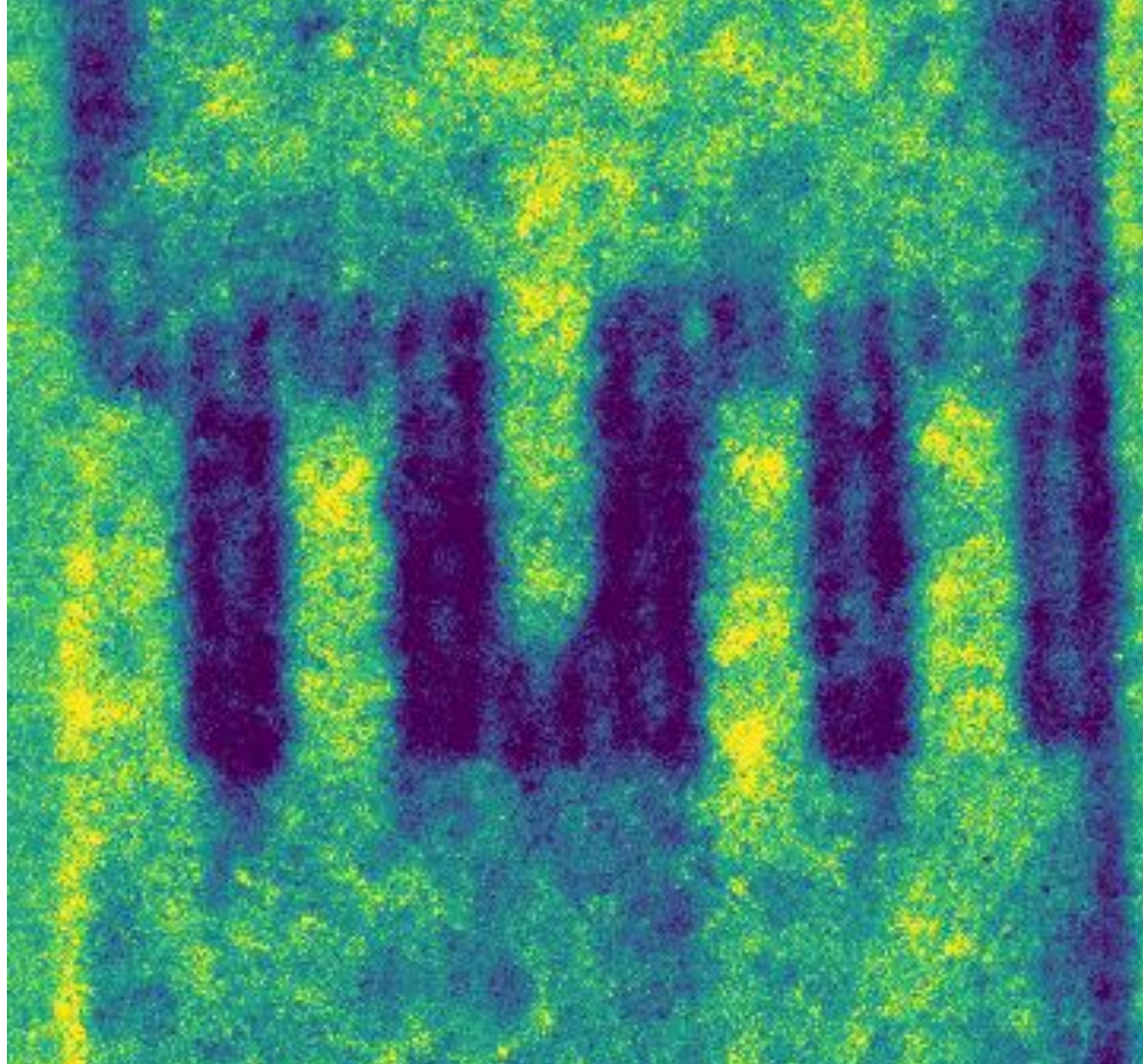
Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Technische Universität München
School of Engineering and Design

**Lehrstuhl für Umformtechnik und
Gießereiwesen**

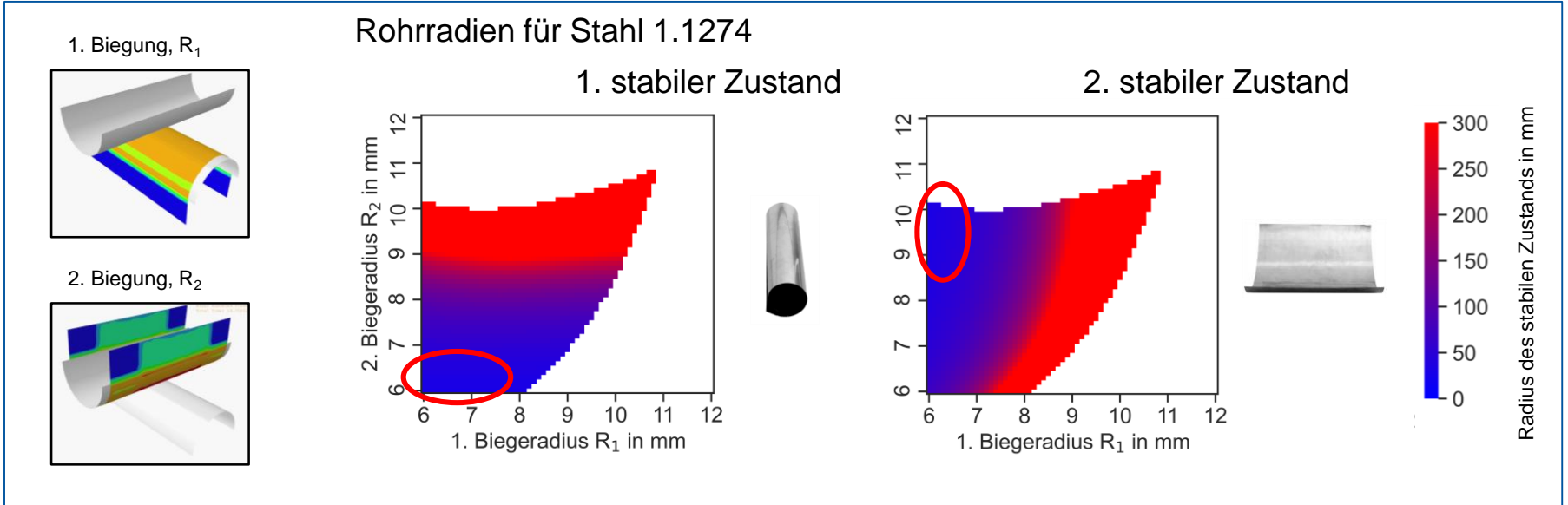
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk
Walther-Meißner-Straße 4
85748 Garching, Germany

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



Anhang

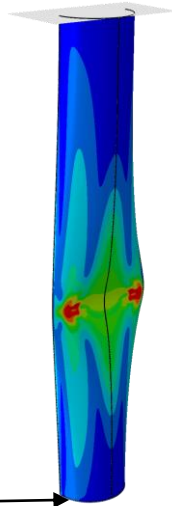
Semianalytische Modellierung



Minimal Radien nur bei einem stabilen Zustand erreichbar

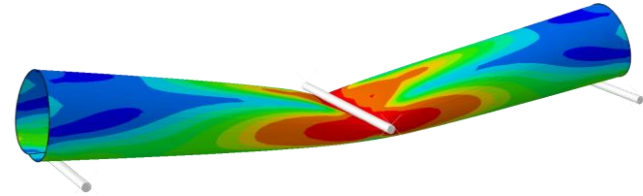
Leistungsfähigkeit bistabiler Rohre

Knicksteifigkeit

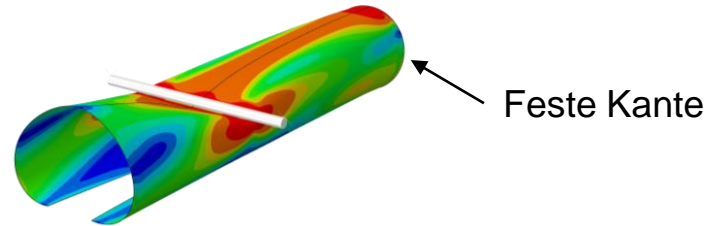


Feste Kante

3-Punkt-Biegung

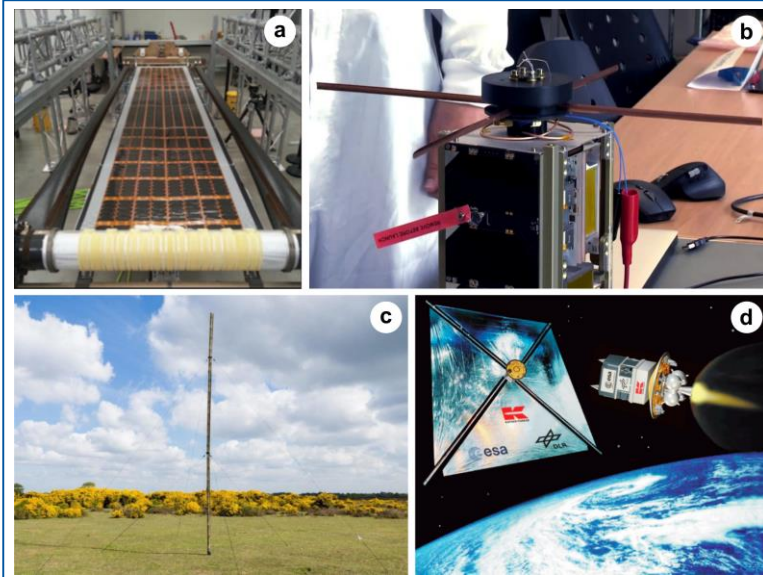


Biegen mit einer festen Kante



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