

15. Deutsches LS-DYNA Forum, Bamberg, 2018

Freiformbiegen mit rollierendem Biegekopf, Simulation des struk- turmechanischen Prozesses

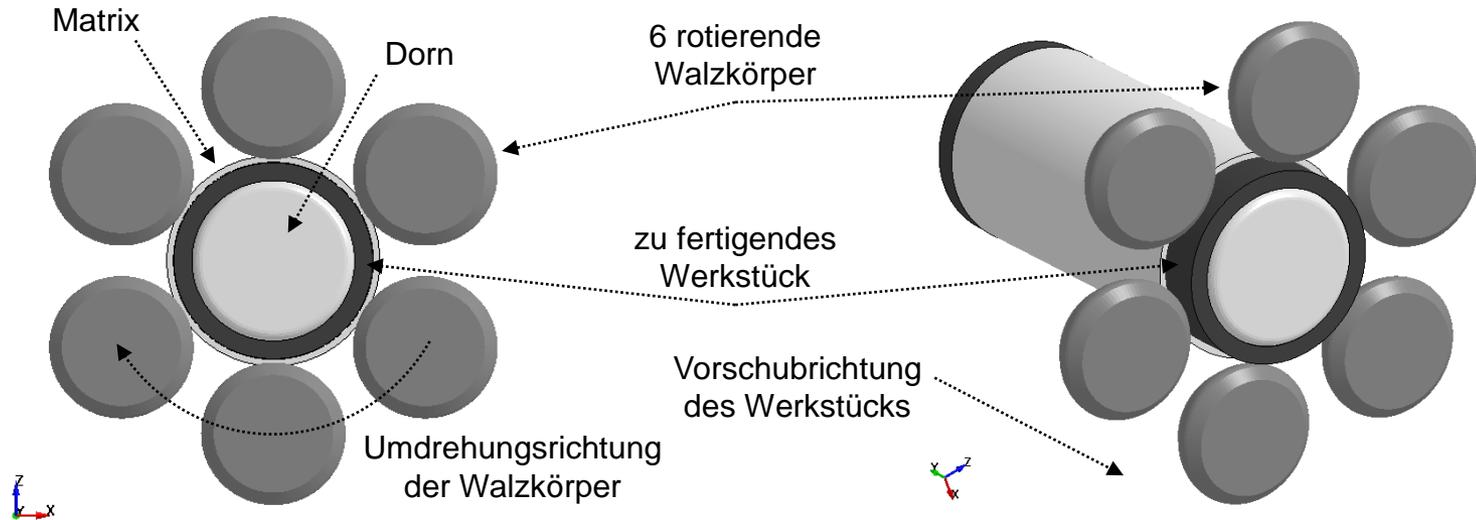
Markus Gitterle¹, Christian Fritzsche², Peter Schüle³

¹ Hochschule für angewandte Wissenschaften München

² Technische Universität München

³ Maschinen- und Auspuffbau, Pfalzgrafenweiler

Freiformbiegemaschine

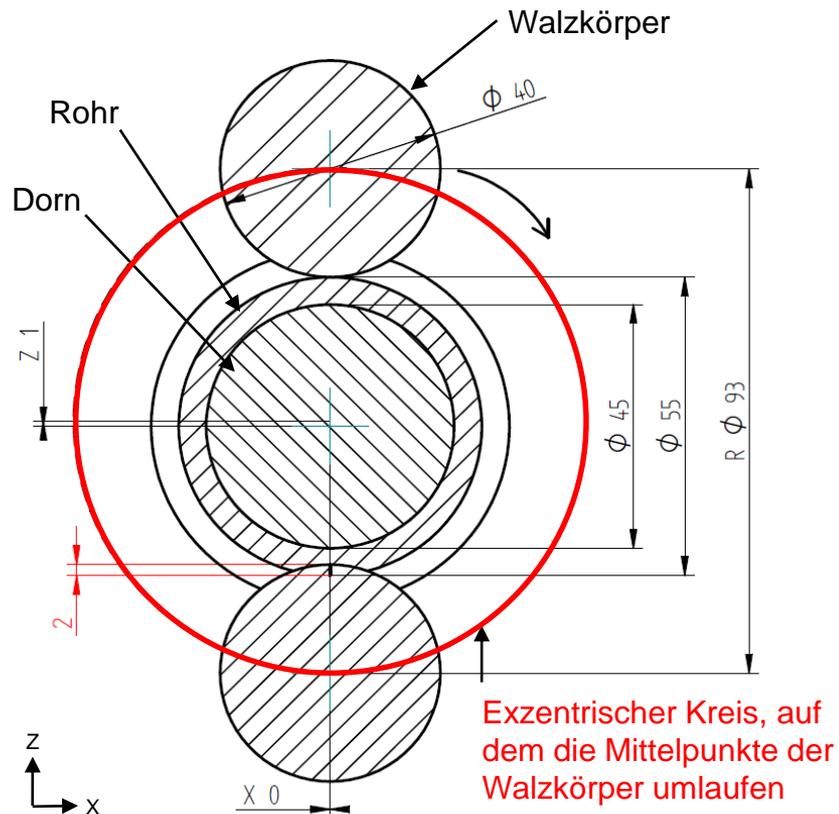


Vorderansicht (links) und räumliche Darstellung (rechts), schematische Darstellung

Funktionsweise:

- Biegung von Rohren durch Druckumformung mit rotierenden Walzkörpern.
- Kontinuierlich veränderliche Zustellung (CNC-gesteuert) über den Umfang.
- Erlaubt variable und sich verändernde Biegeradien bei glattgewalzter Oberfläche.

Freiformbiegemaschine

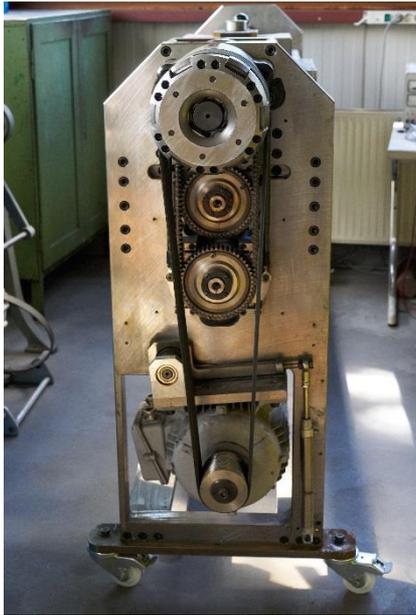


Biegekopf, Zustellung veränderlich über Umfang

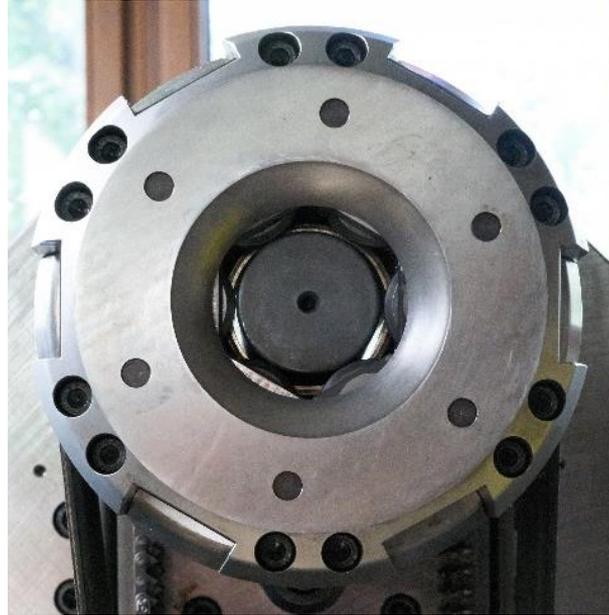
Kreis für Mittelpunkte der Walzkörper

- Festlegung **Exzentrizität** vom Mittelpunkt des Dorns, in X- und Z-Richtung.
 - Festlegung von **Radius**.
 - Betrag der maximalen Zustellung.
 - Ort der maximalen Zustellung.
 - Zustellung veränderlich über Umfang.
-
- Zeitlich veränderliche Festlegung von Exzentrizität und Radius durch CNC-gesteuerte Zustellung der Walzkörper möglich.

Freiformbiegemaschine



Maschine mit Antrieb



Biegekopf



Vorschub über Dorn

Unterstützung des Entwicklungsprozesses mit Simulationen in LS-DYNA

- um strukturmechanischen Prozess näher kennen zu lernen.
- um Effekte, die einer erfolgreichen Realisierung im Wege stehen, aufzudecken.

Freiformbiegen mit rollierendem Biegekopf, Simulation des strukturmechanischen Prozesses
Markus Gitterle, Christian Fritzsche, Peter Schüle



Agenda

Modellierung mit LS-DYNA

Modell

Erhöhte Simulationsgeschwindigkeit

Nachgiebigkeit der Walzkörper

Ergebnisse

Geometrie

Biegeradius

Materialumlagerung

Sensitivitäten hinsichtlich Material- und Prozessparameter

Zusammenfassung, Ausblick

Weitergehende Validierung

CNC-Steuerung für gewünschte Rohrgeometrien



Modell

Vorschub über vorgeschriebene Verschiebungen (Dirichlet-Randbedingungen)

Walzkörper

Bewegung der Walzkörpermittelpunkte auf exzentrischer Kreisbahn über vorgeschriebene Verschiebungen (Dirichlet-Randbedingungen)

Matrix, starr
Dorn, starr

zu bearbeitendes Material,
5 Solid-Elemente über Rohrdicke,
Stahl mit plastischem Materialmodell
`*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY`



Mortar-Kontaktformulierung an allen Kontaktpaarungen

`*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE_MORTAR`

Finite Element Modell (220k Knoten, 190k Elemente)

Freiformbiegen mit rollierendem Biegekopf, Simulation des strukturellen Prozesses

Markus Gitterle, Christian Fritzsche, Peter Schüle

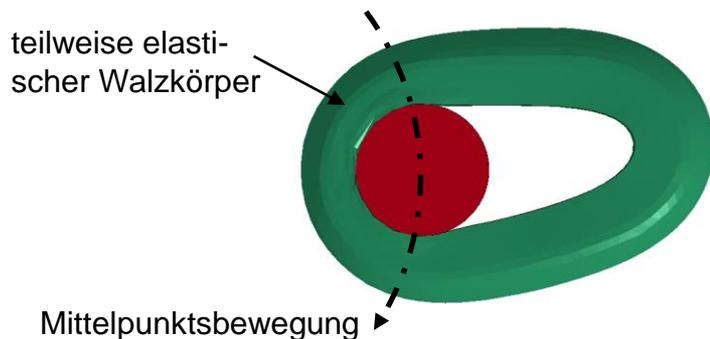


Erhöhte Simulationsgeschwindigkeit

Netz/kritischer Zeitschritt für explizite Simulation

- Minimale Elementkantenlänge von ca. 1mm im Bereich des Rohres führt zu sehr kleinem kritischem Zeitschritt (ca. $0,167 \cdot 10^{-6}$ s)
- Prozesszeit von 0,7s erfordert Beschleunigung der Simulation.
- Simulation mit erhöhter Geschwindigkeit, Faktor 100.

Resultierender dynamischer Effekt



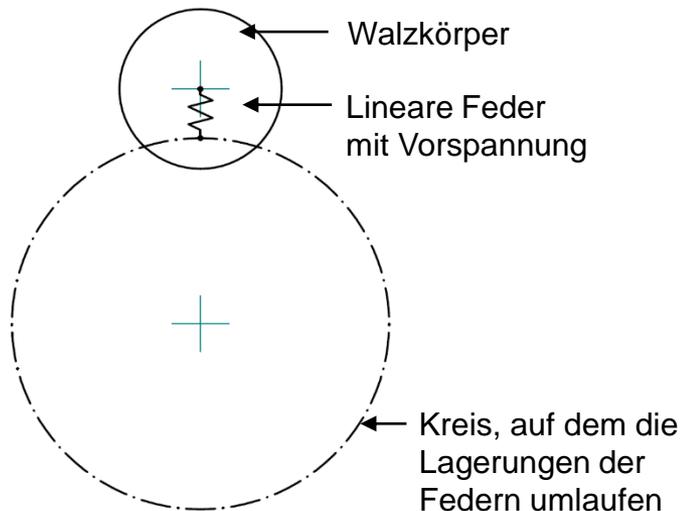
Verformung eines teilweise elastischen Walzkörpers bei 100fach erhöhter Simulationsgeschwindigkeit

- Walzkörper bewegen sich 4000 mal pro Minute um das Rohr (Prozessgeschwindigkeit).
- Erhöhung dieser Geschwindigkeit mit Faktor 100 führt zu unerwünschtem dynamischen Effekten.
- Maßnahmen erforderlich.

Nachgiebigkeit der Walzkörper

Modellierung der Walzkörper

- als starre Körper.
- Nachgiebigkeit über federnde Lagerung (lineare Feder, **Federkonstante k**) der Walzkörpermittelpunkte.
- **Vorspannung** in der Feder, um Zentrifugalkräfte zu kompensieren.



Federnde Lagerung der Walzkörper

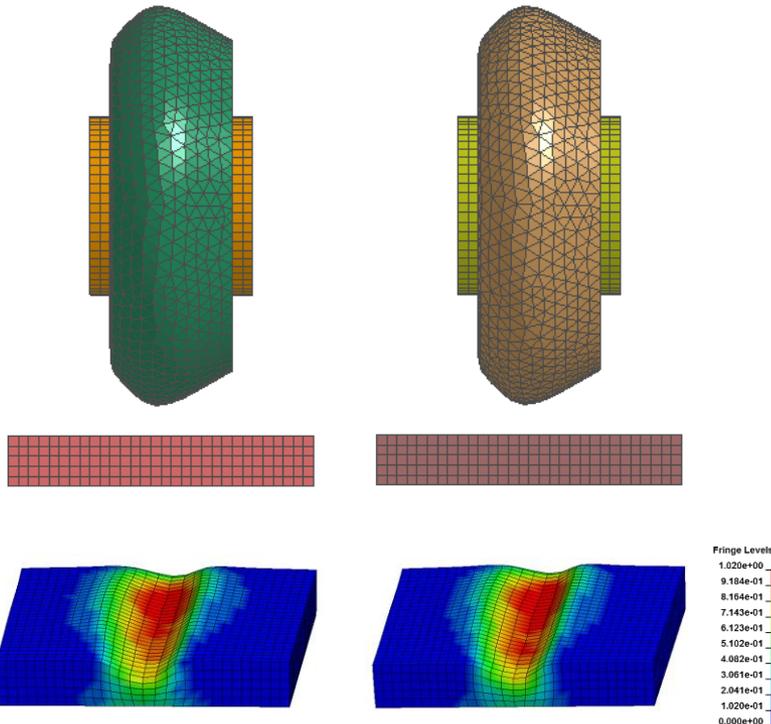
Ermittlung Vorspannung der federnden Lagerung

- Geschwindigkeitsfaktor 100 führt zu 10.000-fach erhöhter Trägheitskräften.
- Vorspannung in Feder vom Betrag der Trägheitskraft.
- Durch Rotation kompensiert die Trägheits- die Vorspannkraft, es wirkt die gewünschte Belastung.

Nachgiebigkeit der Walzkörper

Ermittlung Federsteifigkeit der federnden Lagerung

über Analysen am Vergleichsmodell mit elastischem Walzkörper.



Plastische Dehnung

Links:

Elastischer Walzkörper, Verschiebungsrandbedingungen am Mittelpunkt.

Rechts:

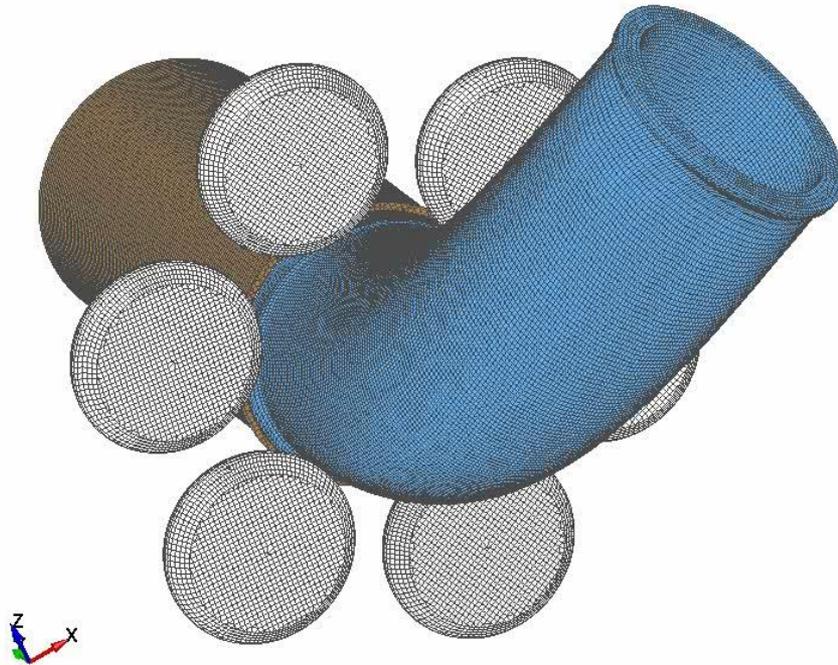
Starrer Walzkörper federnd gelagert, gleiche Randbedingungen wie links, aber an Feder.

Modellierung mit starrem Walzkörper federnd gelagert führt zu gleichen plastischen Dehnungen (Abw. < 2,7%).



Ergebnisse - Geometrie

Time = 7



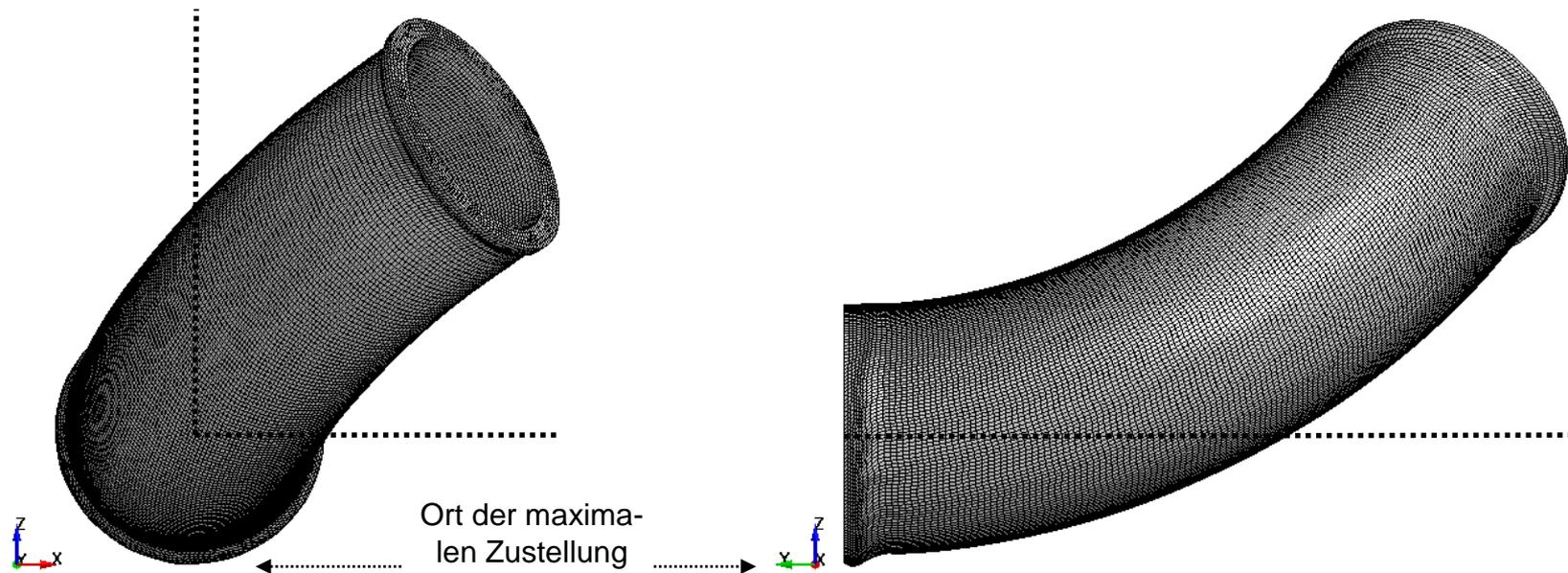
Biegeergebnis

Freiformbiegen mit rollierendem Biegekopf, Simulation des strukturmechanischen Prozesses
Markus Gitterle, Christian Fritzsche, Peter Schüle



Ergebnisse - Geometrie

- Biegung um die X-Achse.
- Verdrehung des Querschnitts um die Y-Achse führt schließlich zu Biegung um die Z-Achse mit Verschiebungen in X-Richtung.



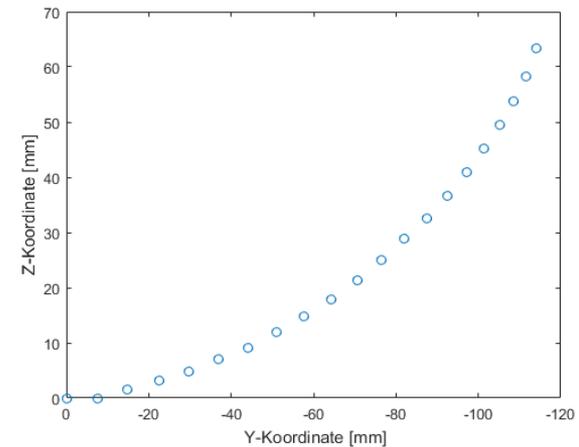
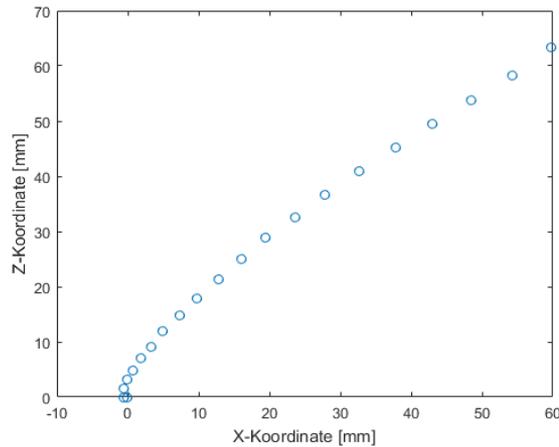
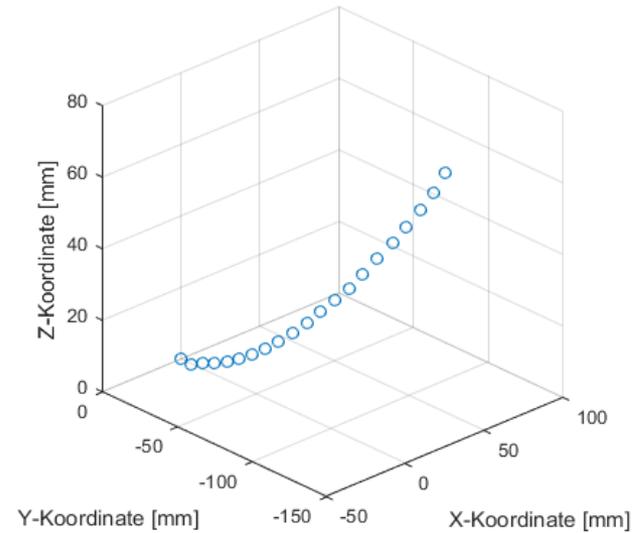
Vorderansicht (links) und Seitenansicht (rechts) des entstehenden gebogenen Rohres

Ergebnisse

Koordinaten der Querschnittsmittelpunkte am entstehenden gebogenen Rohr

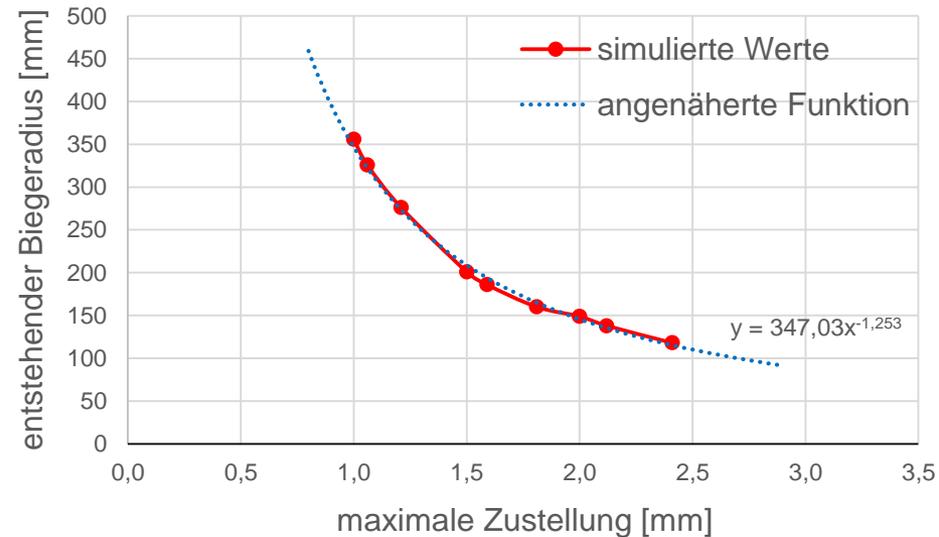
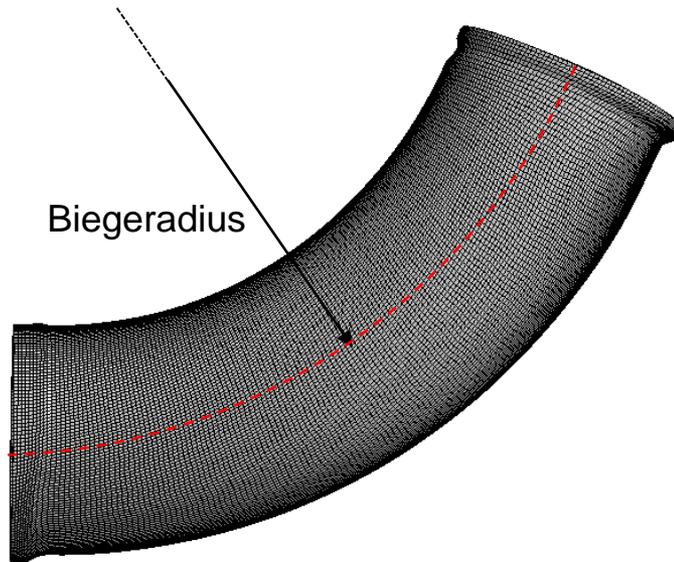
- Verformungen in X- und Z-Richtung

Räumliche Darstellung (rechts), Vorderansicht (unten links) und Seitenansicht (unten rechts)



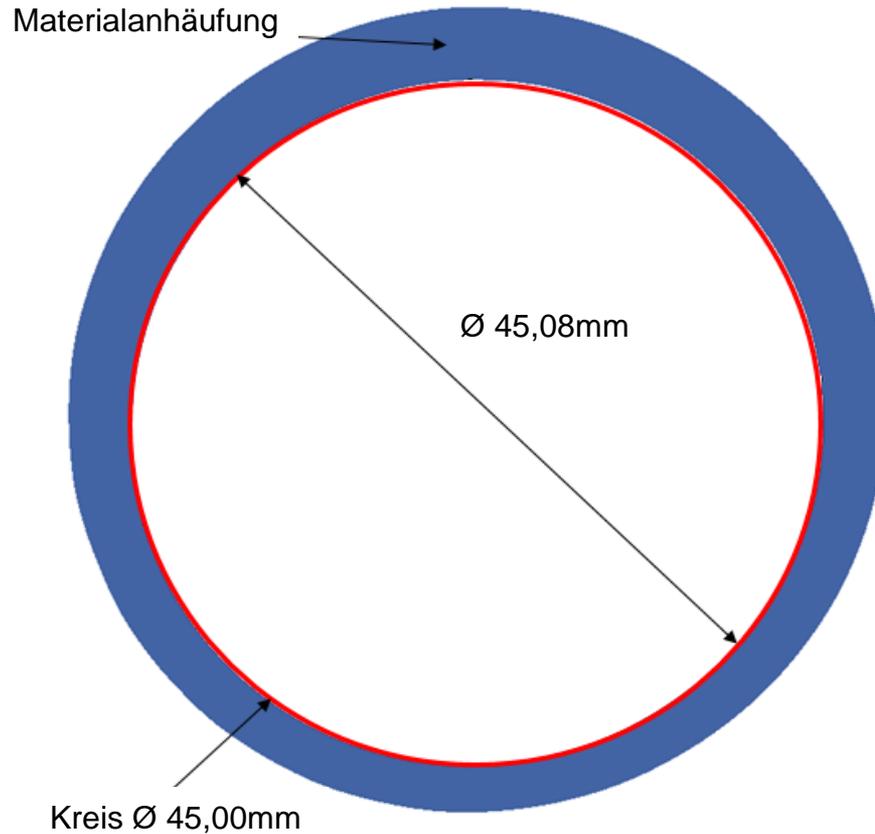
Ergebnisse - Biegeradius

- Biegeradius aus drei Querschnittsmittelpunkten.
- Biegeradius nimmt mit zunehmender maximaler Zustellung ab.
- Annäherung dieser Simulationsergebnisse mit analytischer Funktion.



Biegeradius (links) in Abhängigkeit der maximalen Zustellung (rechts)

Ergebnisse - Materialumlagerung

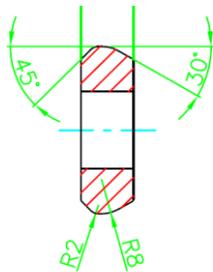


Querschnitt durch gebogenes Rohr

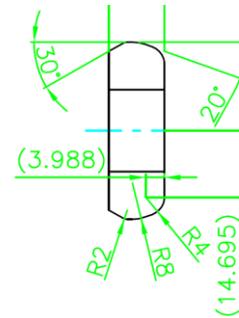
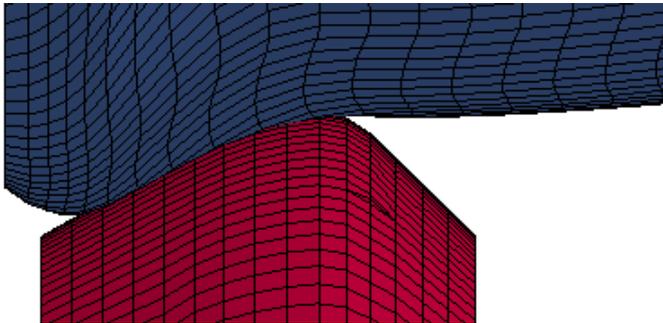
- Materialumlagerung in Umfangsrichtung, steht nicht zur Rohrlängung zur Verfügung.
- Innendurchmesser bleibt weitgehend erhalten, kleine Abweichung.
- Leicht ovale Form.

Sensitivität - Walzkörpergeometrie

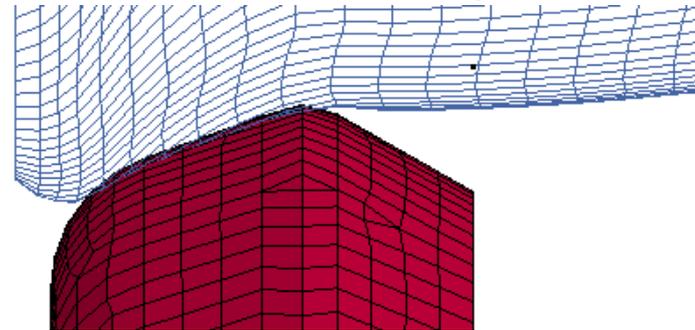
- Untersuchung unterschiedlicher Walzkörpergeometrien mit unterschiedlichen Fertigungswinkeln.
- Beurteilung der Materialanhäufung („Wulst“).



Walzkörper 30G

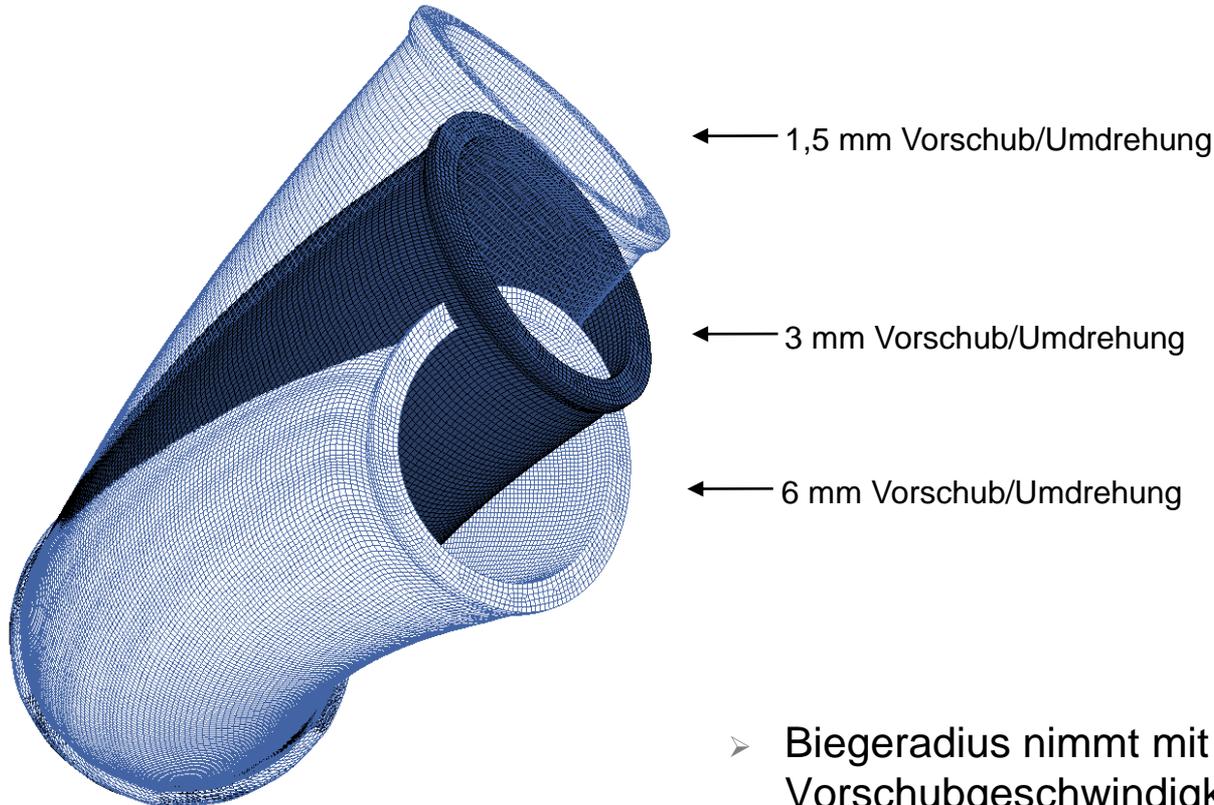


Walzkörper 20G R4



Umformung mit Walzkörper 30G (links) und 20G R4 (rechts)

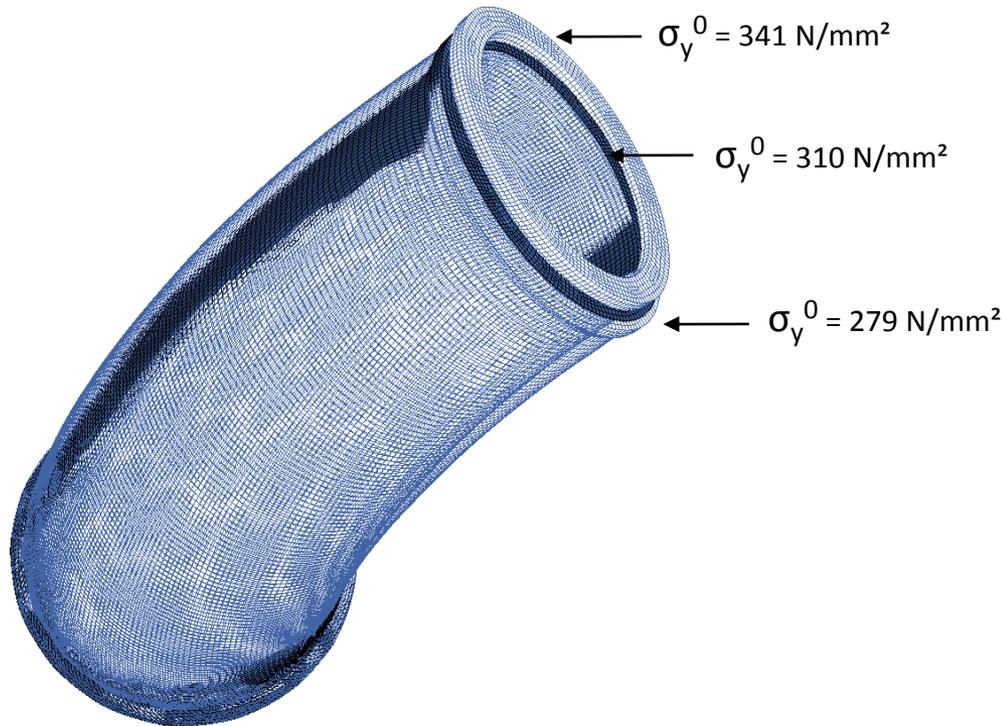
Sensitivität - Vorschubgeschwindigkeit



Biegeergebnisse mit unterschiedlichen Vorschubgeschwindigkeiten

- Biegeradius nimmt mit zunehmender Vorschubgeschwindigkeit zu.
- Oberflächenqualität nimmt mit zunehmender Vorschubgeschwindigkeit ab.

Sensitivität - Streckgrenzen



Biegeergebnisse mit unterschiedlichen Streckgrenzen

- Variation der Streckgrenze ändert das Biegeergebnis kaum.

Zusammenfassung, Ausblick

Zusammenfassung

- Strukturmechanischer Prozess konnte mit LS-DYNA erfolgreich abgebildet werden.
- Stattfindende physikalische Vorgänge konnten besser verstanden werden.
- Es wurden keine Effekte aufgedeckt, die einer erfolgreichen Realisierung der Freiformbiegemaschine im Wege stehen würden.

Ausblick

- Weitergehende **Validierung** notwendig.
- Weitere Reduzierung Analysezeit, z.B. Abbildung des Rohres mit Schalenelementen.
- Konzipierung CNC-Steuerung, um gewünschte Rohrgeometrien zu erhalten.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit! Fragen?

Danksagung

Das Projekt wurde mit einem Innovationsgutschein vom Land Baden-Württemberg gefördert.

Freiformbiegen mit rollierendem Biegekopf, Simulation des strukturmechanischen Prozesses

Markus Gitterle, Christian Fritzsche, Peter Schüle

