



9. ProKI InfoPoint

Regelung von Umformprozessen

Wie lässt sich KI zur prädiktiven Regelung von Umformbauteilen nutzen?

Darmstadt, 11.08.2023

Agenda des heutigen Termins

AGENDA

- I. Ankündigungen und Einleitung
- II. Impulsvortrag Dirk A. Molitor, M.Sc. M. Sc.
KI-gestützte Regelung von Umformprozessen und Umformmaschinen
- III. Impulsvortrag Christopher Kuhnhen, Dr.-Ing.
High-Speed Richten
- IV. Diskussions- und Fragerunde



M. Sc. Viktor Arne
Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen



M. Sc. M. Sc. Dirk Alexander Molitor
Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen



Dr.-Ing. Christopher Kuhnhen
Institut für Produktionstechnik
Lehrstuhl für Umformtechnik

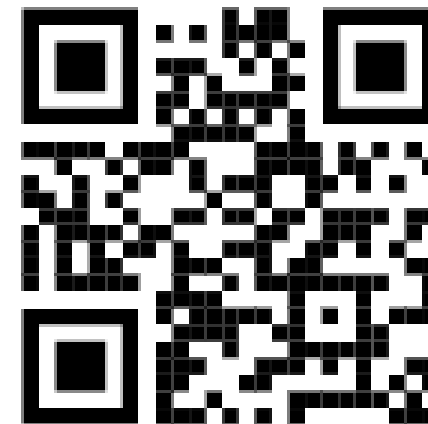


Messeauftritt und kommende Workshops

- Halle 9 | Future of Connectivity Area
- KI-Demonstrator 5kN-Servospindelpresse
- Prozessregelung durch prädiktive Vorhersage von Bauteileigenschaften auf Basis von signal- und bildbasierten Messgrößen



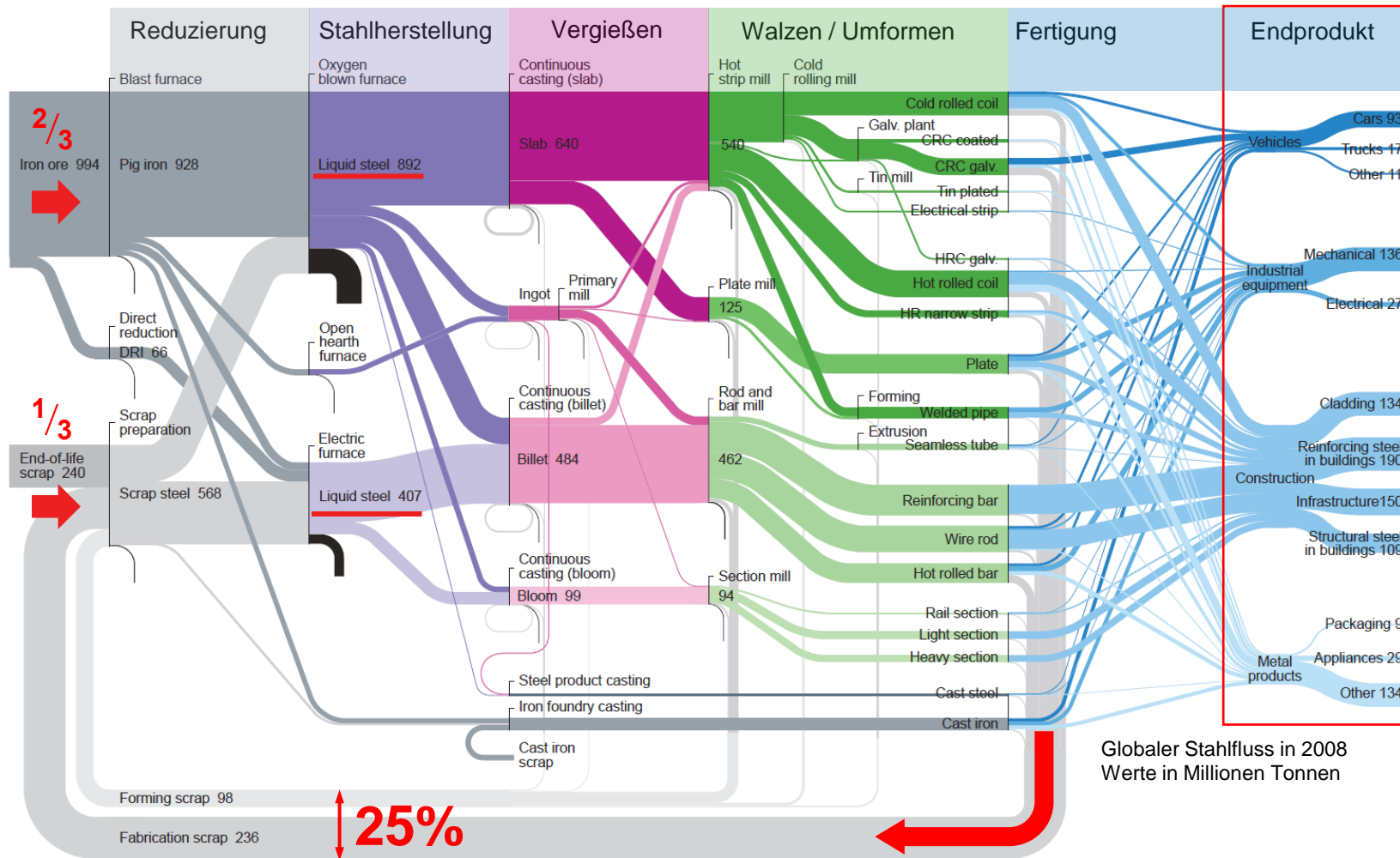
- Nächster Workshops:
 - Grundlagen von KI in der Produktion – Predictive Quality in der Umformtechnik (30.08.2023)
- Ab Q4 neue Themenschwerpunkte für Unternehmen:
 - Stanztechnik
 - Rollformen
 - Anlagenbau



<https://proki-darmstadt.de/>



Globaler Stahlfluss



- Zwei Hauptquellen für Stahl
- Globaler Bedarf: **1,04 Mrd.T**
 - Fahrzeugbau
 - Industriekomponenten
 - Infrastruktur u. Gebäudebau
 - Produkte
- 25% des flüssigen Stahls erreicht niemals einen Produktlebenszyklus

➔ Woher kommt der hohe produktionsbedingte Rücklauf und wie kann dieser reduziert werden?

Allwood, J. M., Cullen, J. M., Carruth, M. A., Cooper, D. R., McBrien, M., Milford, R. L., ... & Patel, A. C. (2012). Sustainable materials: with both eyes open (Vol. 2012). Cambridge, UK: UIT Cambridge Limited.

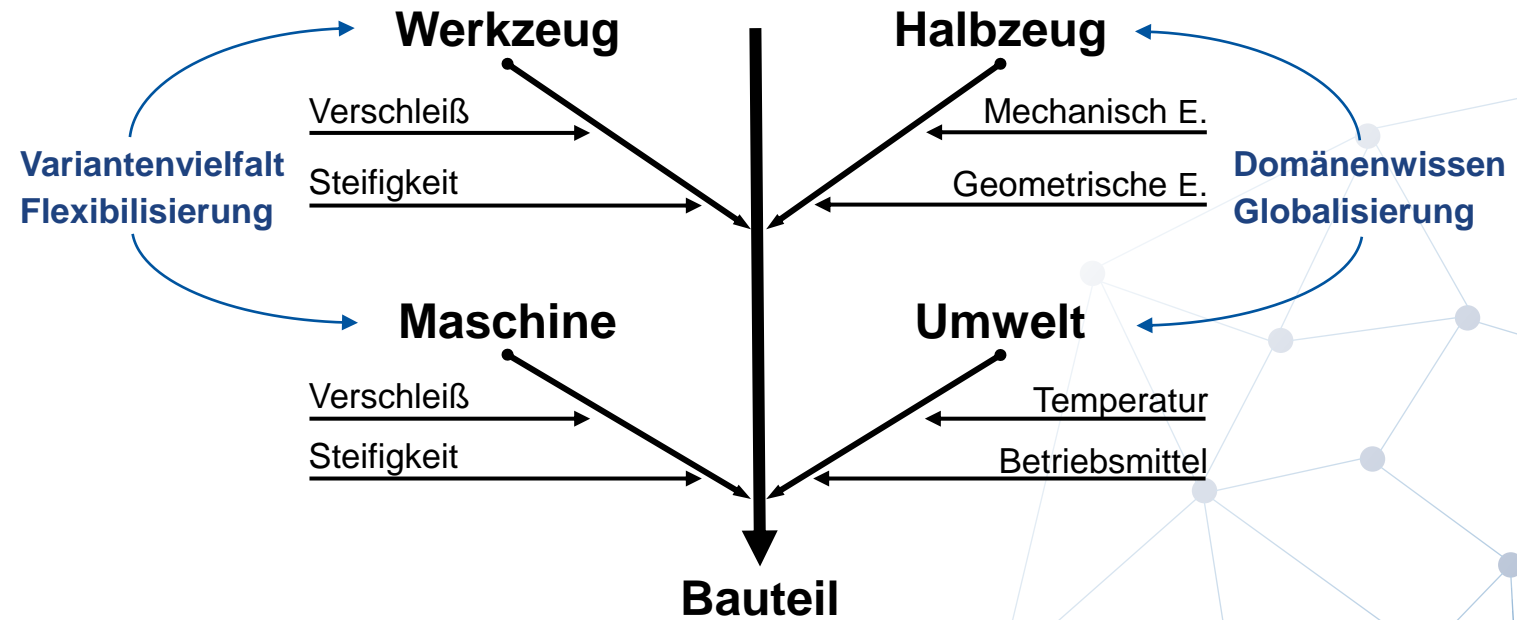
Materialrücklauf aus Umformprozessen

- Bauteilbedingter Schrott



Bildquelle: Stäubli International AG

- Qualitätsbedingter Ausschuss



➔ Wie können durch KI und Regelung von Umformprozessen Unsicherheiten beherrscht und Ausschuss reduziert werden?

Agenda

- I. Begrüßung und Vorstellung des ProKI Netzes
- II. Impulsvortrag "KI-gestützte Regelung von Umformprozessen und Umformmaschinen"**
- III. Impulsvortrag "High-Speed Richten"
- IV. Diskussions- und Fragerunde



M. Sc. M. Sc. Dirk Alexander Molitor
Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen

PtU
FORMING
EXCELLENCE



KI-gestützte Regelung von Umformprozessen und Umformmaschinen

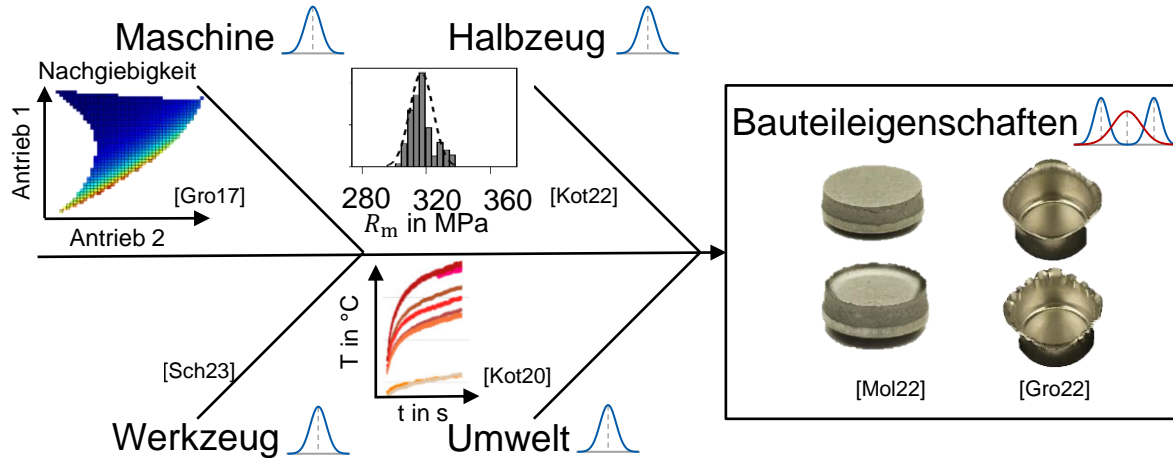
ProKI-InfoPoint Umformen 10.08.2023

Referent: Dirk Alexander Molitor

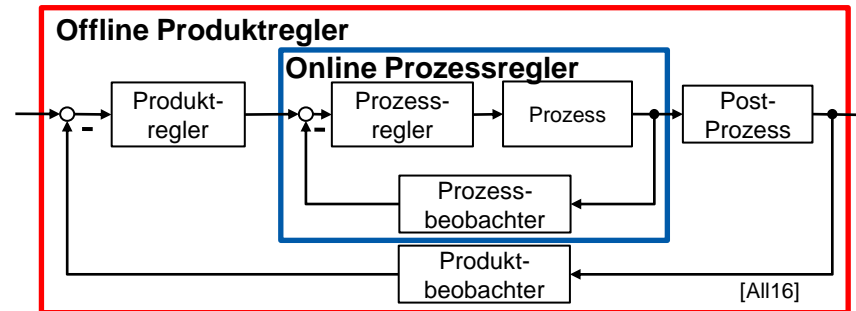
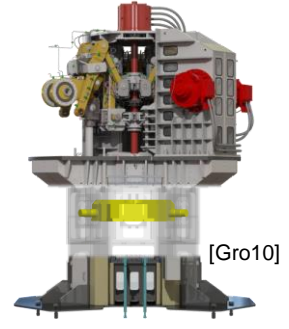


Motivation

Regelung unsicherheitsbehafteter Umformprozesse



Manipulierbarkeit Eigenschaften
durch flexible Umformmaschinen

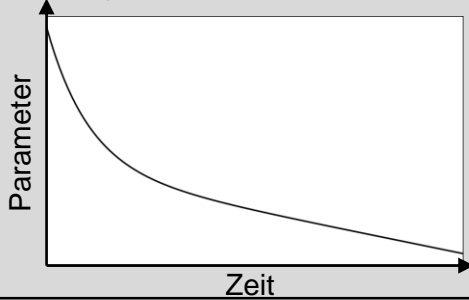


Unsicherheit

Arten und Einflüsse auf Produkteigenschaften

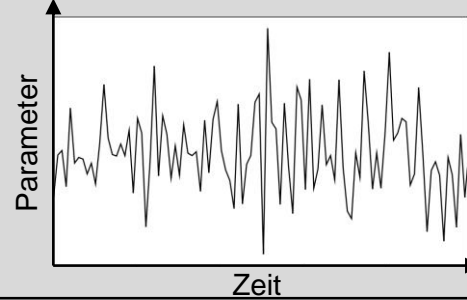
Zeitabhängige Unsicherheit

- Verschleiß und Schmierung
- Temperatur



Stochastisch schwankende Unsicherheit

- Blechdickenschwankungen
- Vibrationen



Sprungförmig einsetzende Unsicherheit

- Coilwechsel
- Ein- und Ausbau von Werkzeug

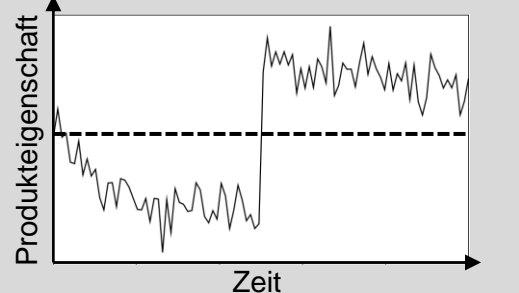


White-Box-Ansatz

Sensorische Erfassung
von jedem Parameter



Parameterspezifische
Modellentwicklung



Black-Box-Ansatz

Sensorische Erfassung
korrelierender Größen



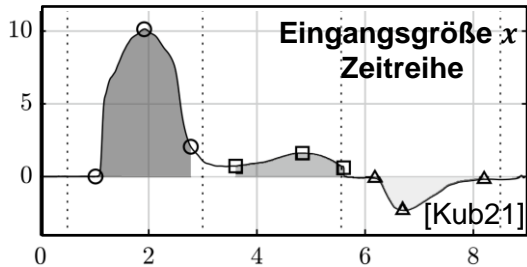
Datengetriebene Modell-
bildung und Identifikation
impliziter Korrelationen



Black-Box-Ansatz Nr. 1

Überwachte Lernalgorithmen zur Regelung von Prozessen

Voraussetzung: Vorliegen eines gelabelten Datensatzes bestehend aus Ein- und Ausgangsgrößen



Black-Box-Modell

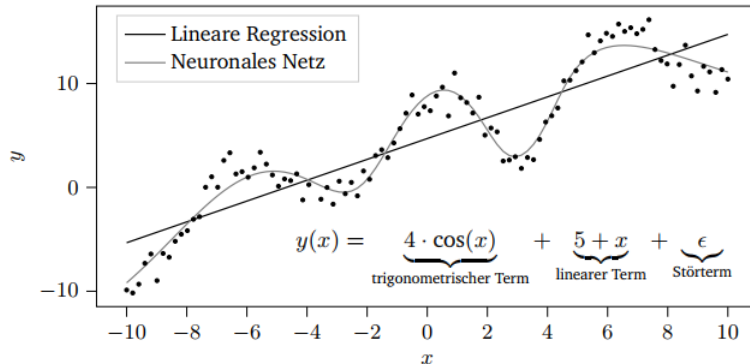
$$y = f(x)$$



Ausgangsgröße y
Produkteigenschaft

- Rückfederung
- Falten- oder Rissbildung

Datenqualität, Datenverarbeitung und Modellwahl entscheidend für Modellperformanz [Kub21]

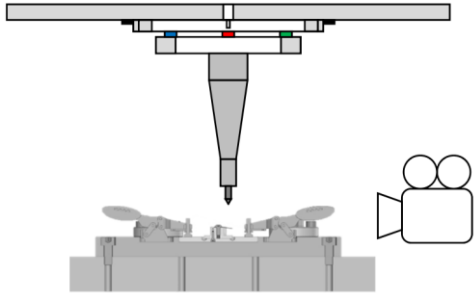


Einsatz überwachter Techniken zur
Regelung der Rückfederung beim
Freibiegen

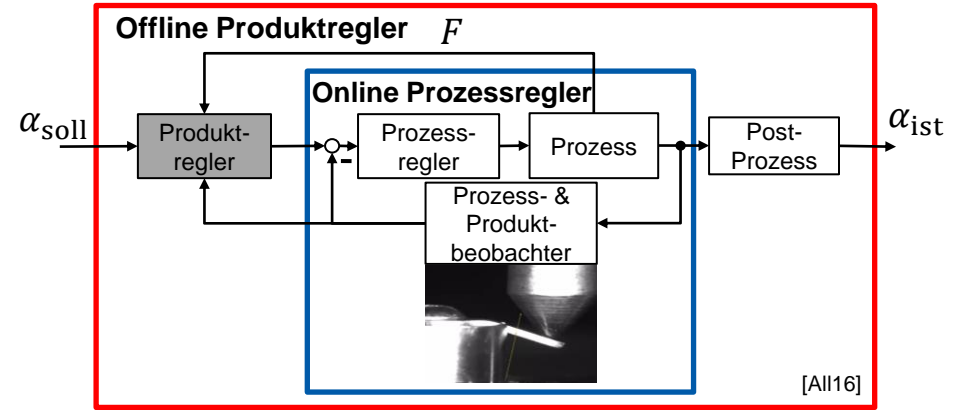
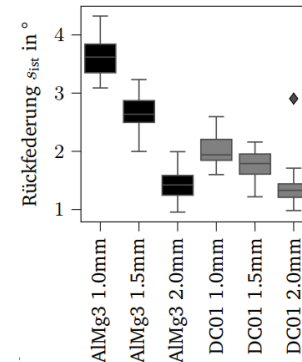
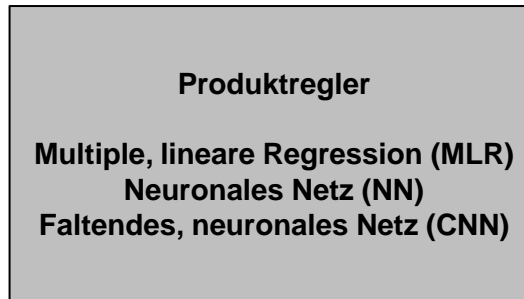
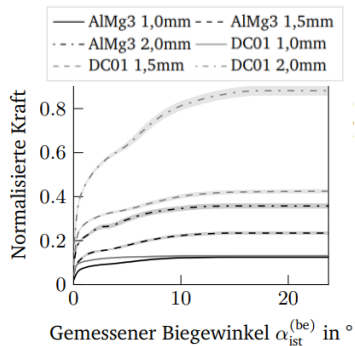
Black-Box-Ansatz Nr. 1

Überwachte Lernalgorithmen zur Regelung des Freibiegeprozesses

Aufnahme von Kraftsignalen im Oberwerkzeug



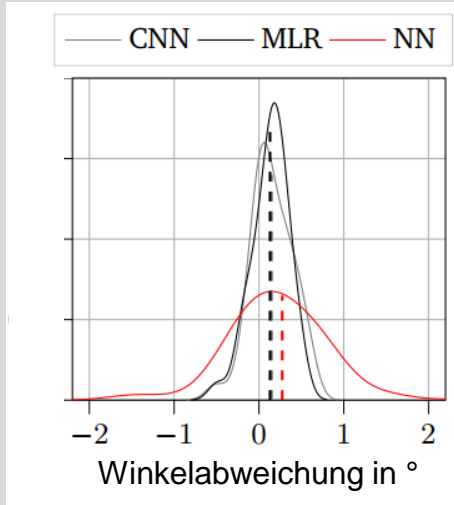
Erfassung der Biegewinkel über Kamera und Auswertung über Kantendetektion



Black-Box-Ansatz Nr. 1

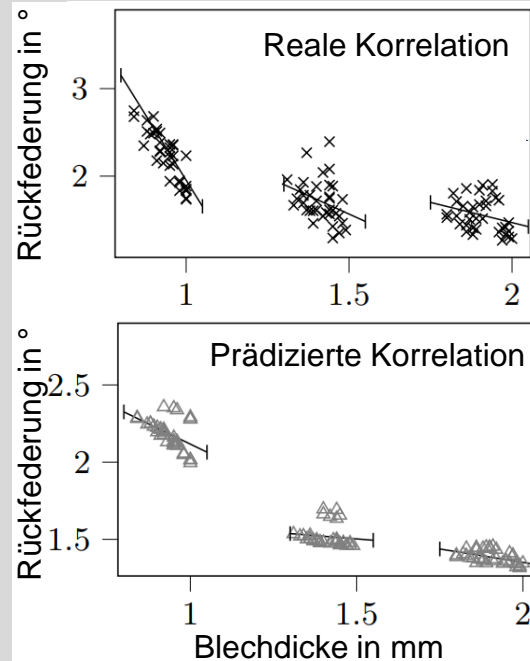
Ergebnisse im Freibiegeprozess

Vergleich der Algorithmen



Reduktion der Biegewinkelabweichungen $\Delta\alpha$ auf $\pm 0,5^\circ$

Korrelationen zwischen Blechdicke und Rückfederung



Mangelnde Modelladaptivität

Keine Reaktionsfähigkeit auf Änderungen zwischen Trainings- und Testdaten



Systemänderungen beeinflussen Regelgüte

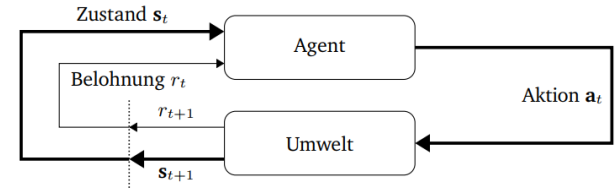
→ Degradierende Performanz bei dauerhaftem Einsatz in der Produktion zu erwarten

Black-Box-Ansatz Nr. 2

Bestärkende Lernalgorithmen zur Regelung von Prozessen

Bestärkende Lernalgorithmen zur Steigerung der Modelladaptivität

Ziel des Algorithmus: Maximierung der erhaltenen Belohnungen



Eingangsgrößen x

1. Prozess- oder Maschinenzustände
2. Belohnung zur Quantifizierung der Güte der gewählten Aktion



Black-Box-Modell (Agent)


$$a = f(s, r)$$


Ausgangsgröße a

Aktion (Stellgröße des Prozesses oder der Maschine)

Wesentlicher Nachteil: Dateneffizienz

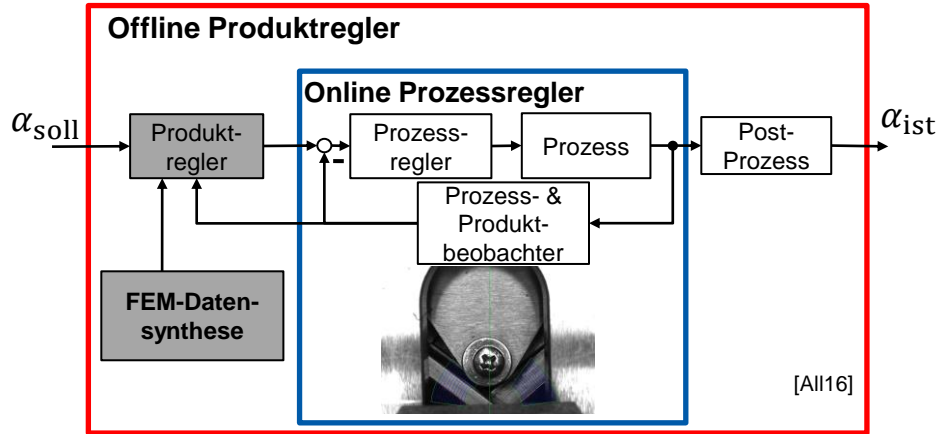
Hohe Anzahl an Interaktionen zwischen Agent und Umwelt notwendig, um performantes Modell zu erlangen



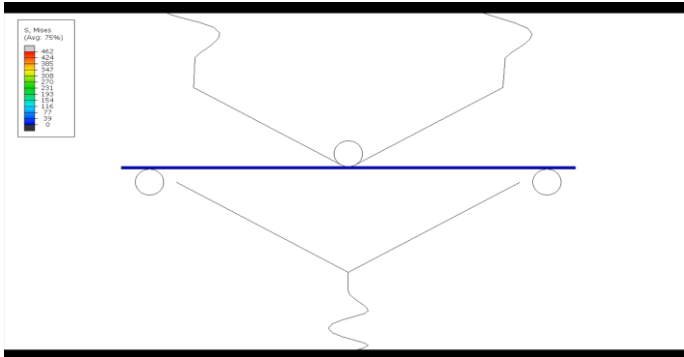
Künstliche Datensynthese über Simulationen mit anschließendem Transfer in den Prozess

Black-Box-Ansatz Nr. 2

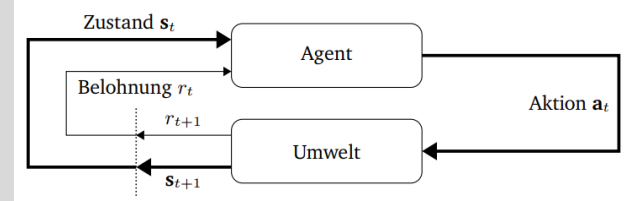
Bestärkende Lernalgorithmen zur Regelung des Gesenkbiegeprozesses



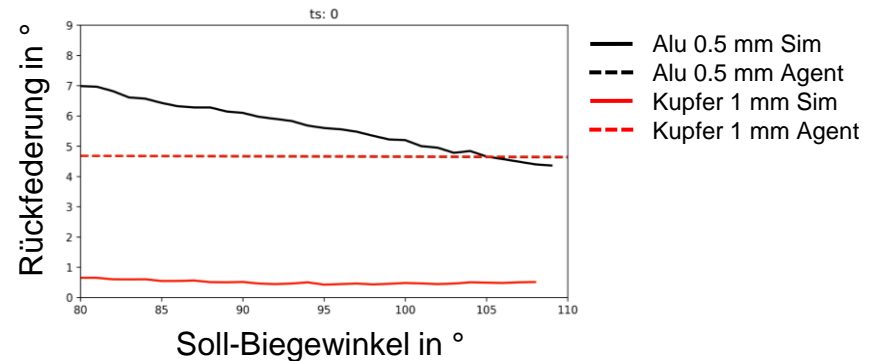
[All16]



Durchführung von 3.500 Simulationen mit unterschiedlichen Biegewinkeln, Materialien und Blechdicken



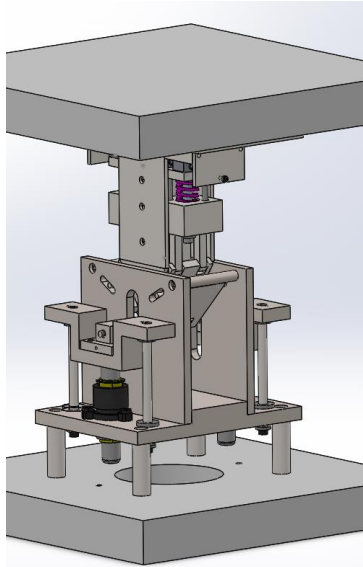
Zustände: Materialkennwerte, Soll-Biegewinkel, Blechdicke
 Belohnung: $r \sim \Delta\alpha^{-1}$
 Aktion: Biegewinkel im belasteten Zustand



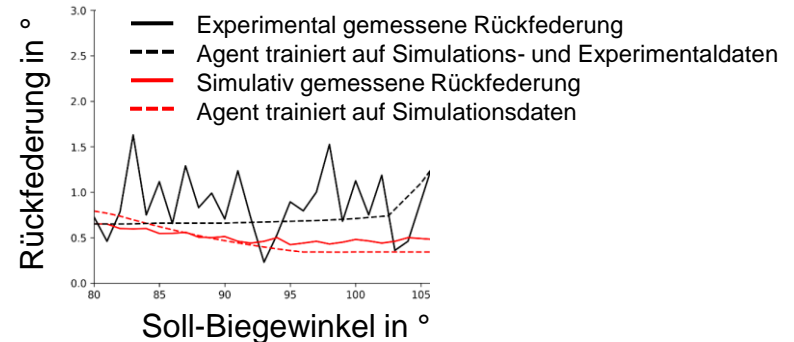
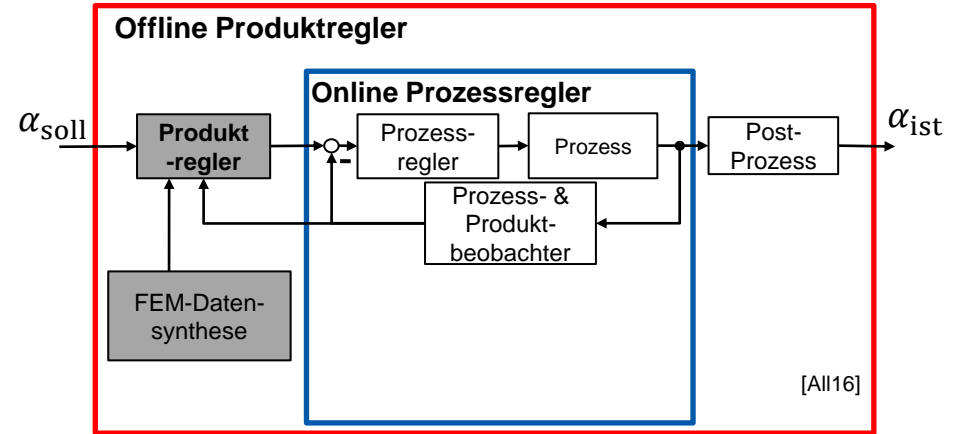
Black-Box-Ansatz Nr. 2

Ergebnisse im Gesenkbiegeprozess

Konstruktion und Inbetriebnahme des Werkzeugs

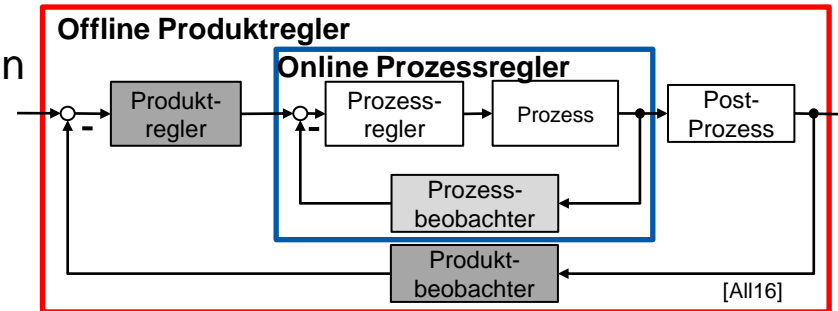
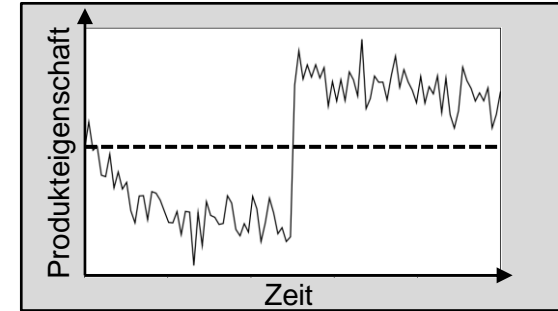


Auf FEM-Daten vor- und auf Experimentaldaten nachtrainierter Agent begrenzt Biegewinkelabweichungen im Experiment auf etwa $\pm 1^\circ$.



Zusammenfassung und Ausblick

- ⇒ Unsicherheit allgegenwärtig in Umformprozessen
- ⇒ Widerspiegelung in schwankenden Produkteigenschaften
- ⇒ Kaskadierte Regelkreise bestehend aus Produkt- und Maschinenregelung zur Beherrschung der Unsicherheit
- ⇒ Potenziale von überwachten und bestärkenden Lernansätzen
- ⇒ Synthetische FEM-Datengenerierung zur Überwindung von Datenineffizienzen



Kopplung FEM-Daten und Einspeisung Sensorsignale in bestärkende Lernalgorithmen bietet Potenzial, stochastisch schwankende Parameter zu berücksichtigen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



- [All16] J. Allwood, S. Duncan, J. Cao, P. Groche, G. Hirt, B. Kinsey, T. Kuboki, M. Liewald, A. Sterzing und A. Tekkaya. „Closed-Loop Control of Product Properties in Metal Forming“. In: CIRP Annals 65.2 (2016), S. 573–596.
- [Dat17] data M Sheet Metal Solutions GmbH 3D Rollforming Center. Online-Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=2MirCZliYVc> [zul. gep. 03.06.23]
- [Gro17] P. Groche, F. Hoppe und J. Sinz. „Stiffness of multipoint servo presses: Mechanics vs. control“. In: CIRP Annals 66.1 (2017), S. 373–376.
- [Gro22] P. Groche, A. Breunig, K. Chen, D. A. Molitor, J. Ha, B. L. Kinsey und Y. P. Korkolis. „Effectiveness of different closed-loop control strategies for deep drawing on single-acting 3D Servo Presses“. In: CIRP Annals 71.1 (2022), S. 357–360.
- [Kot20] M. Kott, C. Erz, J. Heingärtner und P. Groche. „Controllability of temperature induced friction effects during deep drawing of car body parts with high drawing depths in series production“. In: Procedia Manufacturing 47 (2020), S. 553–560.
- [Kot22] M. Kott. Methodik zur Entwicklung eines Bedienerassistenzsystems für das Presswerk. Shaker Verlag, 2022.
- [Kub21] Kubik, C., Knauer, S. M., & Groche, P. (2022). Smart sheet metal forming: importance of data acquisition, preprocessing and transformation on the performance of a multiclass support vector machine for predicting wear states during blanking. Journal of Intelligent Manufacturing, 33(1), 259-282.
- [Mol22] D. A. Molitor, C. Kubik, R. H. Hefleisch und P. Groche. „Workpiece image-based tool wear classification in blanking processes using deep convolutional neural networks“. In: Production Engineering 16 (2022), S. 481–492.
- [Sch23] C. Schlegel, L. E. Klinar, F. S. Georgi, J. Dietz, J. Voges und A. Kohlstetter. Semantisch, segmentierende Verschleißüberwachung von Stanzstempeln durch bildbasierte Anwendung von faltenden, neuronalen Netzen. Advanced Design Project. 2022.
- [Vol19] W. Volk, P. Groche, A. Brosius, A. Ghiotti, B. L. Kinsey, M. Liewald, L. Madej, J. Min und J. Yanagimoto. „Models and modelling for process limits in metal forming“. In: CIRP Annals 68.2 (2019), S. 775–798.

Agenda

- I. Begrüßung und Vorstellung des ProKI Netzes
- II. Impulsvortrag "KI-gestützte Regelung von Umformprozessen und Umformmaschinen"
- III. Impulsvortrag "High-Speed Richten"**
- IV. Diskussions- und Fragerunde

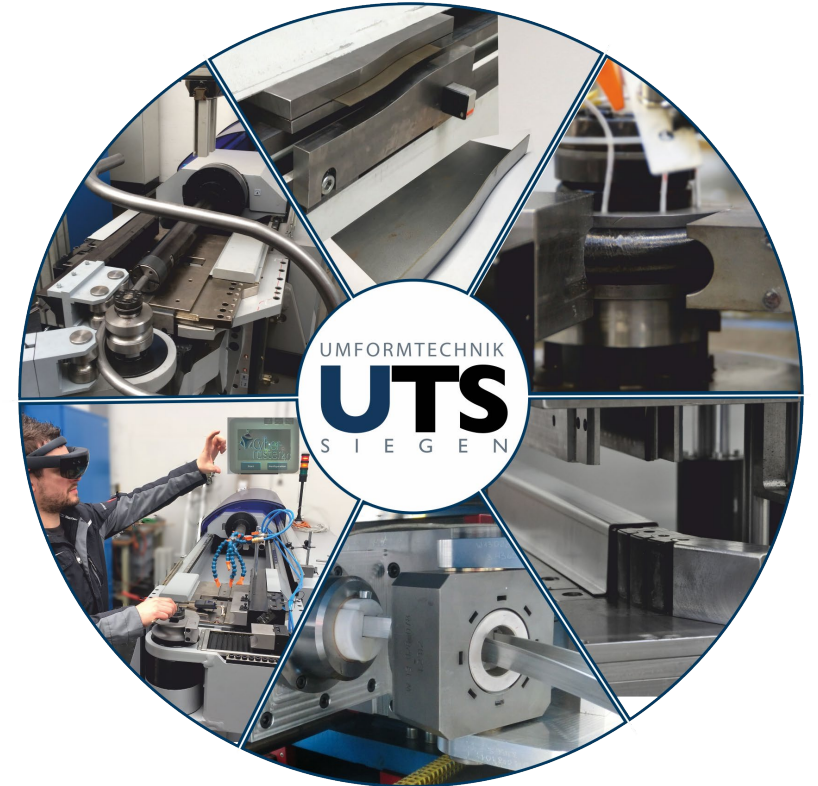


Dr.-Ing. Christopher Kuhnhen
Institut für Produktionstechnik
Lehrstuhl für Umformtechnik



High-Speed Richten

Dr. Ing. Christopher Kuhnhen
Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
22.08.2023



Inhalt

1 – Aufgabenstellung

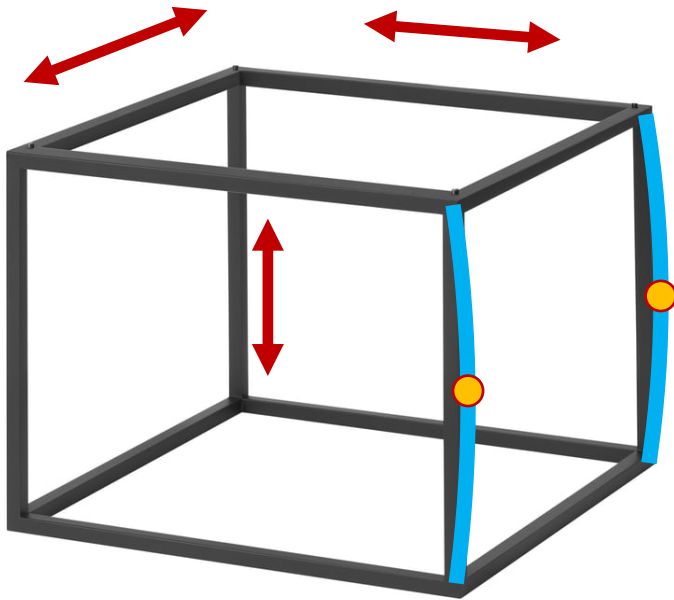
2 – Modelle

3 – Lösung

4 – Übertragung

Aufgabenstellung

Schweißverzug an Streben

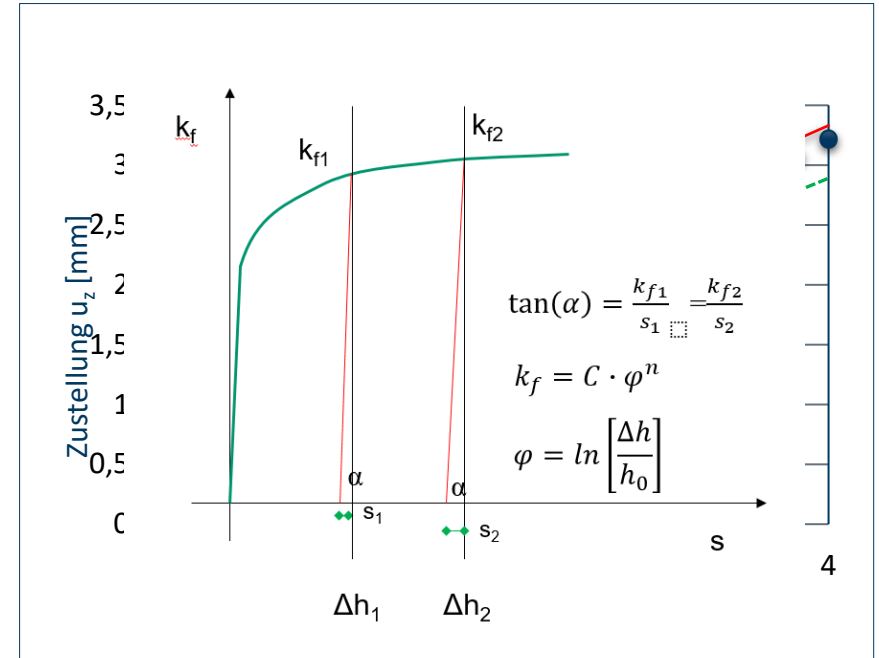


- Rahmen aus Profilen werden automatisch geschweißt
 - Rahmen skalierbar in 2cm Rasterung
 - Schweißverzug an Profil
 - Richten in Profilmitte ●
-
- Automatisierter Prozess, Zeit für eine Strebe 3s:
 - Positionieren Rahmen und Richtkulisse
 - Messen
 - Richten
 - Messen

Modelle

Lernmodell

- Passende Funktion für den Biegeweg in Abhängigkeit der vorhandenen Biegung soll durch lineare Regression angepasst werden.
- In der Größe wechselnde Rahmen (Höhe) sollen berücksichtigt werden
- Materialwechsel soll erkannt werden



Entsprechend der Verfestigung wird ein exponentieller Ansatz gewählt. Durch Substitution kann auch dabei mit linearer Regression gearbeitet werden.

Aufgrund des elastischen Bereiches gibt es einen „elastischen Hub“, bis der Strebe anfängt zu fließen. Somit erhält man als Funktion:

$$u_z(u_b) = u_0 + m \cdot u_b^b$$

Es wird angenommen, dass sich beim Durchbiegen ein Radius R einstellt. Bezieht man auf den gleichen Radius R , kann bei bekanntem u_{b2} auf $u_{b1}=u_b$ gerechnet werden.

$$R = \frac{u_{b1}}{2} + \frac{a_1^2}{u_{b1}} \cdot \frac{1}{8} = \frac{u_{b2}}{2} + \frac{a_2^2}{u_{b2}} \cdot \frac{1}{8}$$

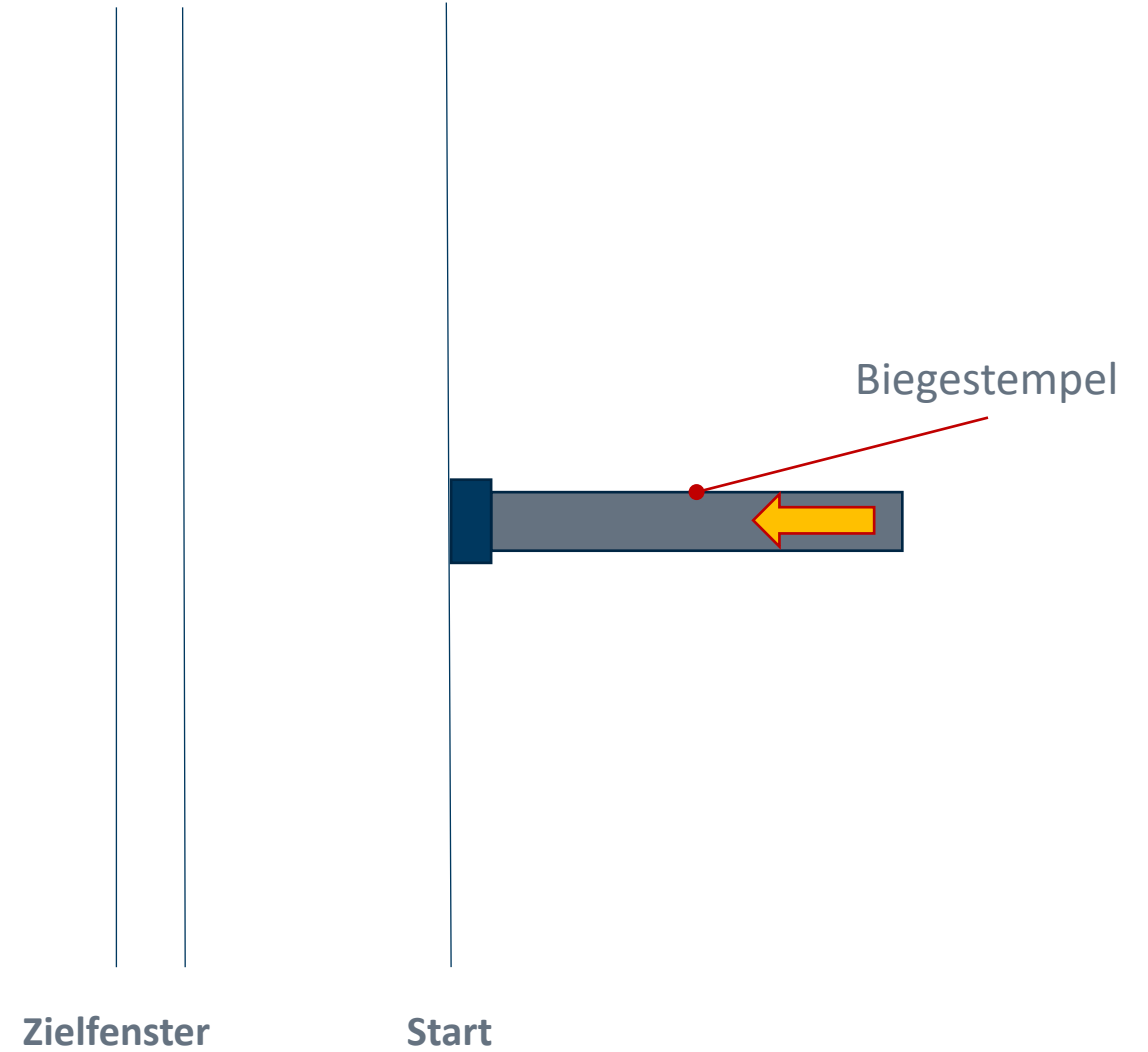
Lösung

Ablauf Richtprozess

Positionieren



Kontakt



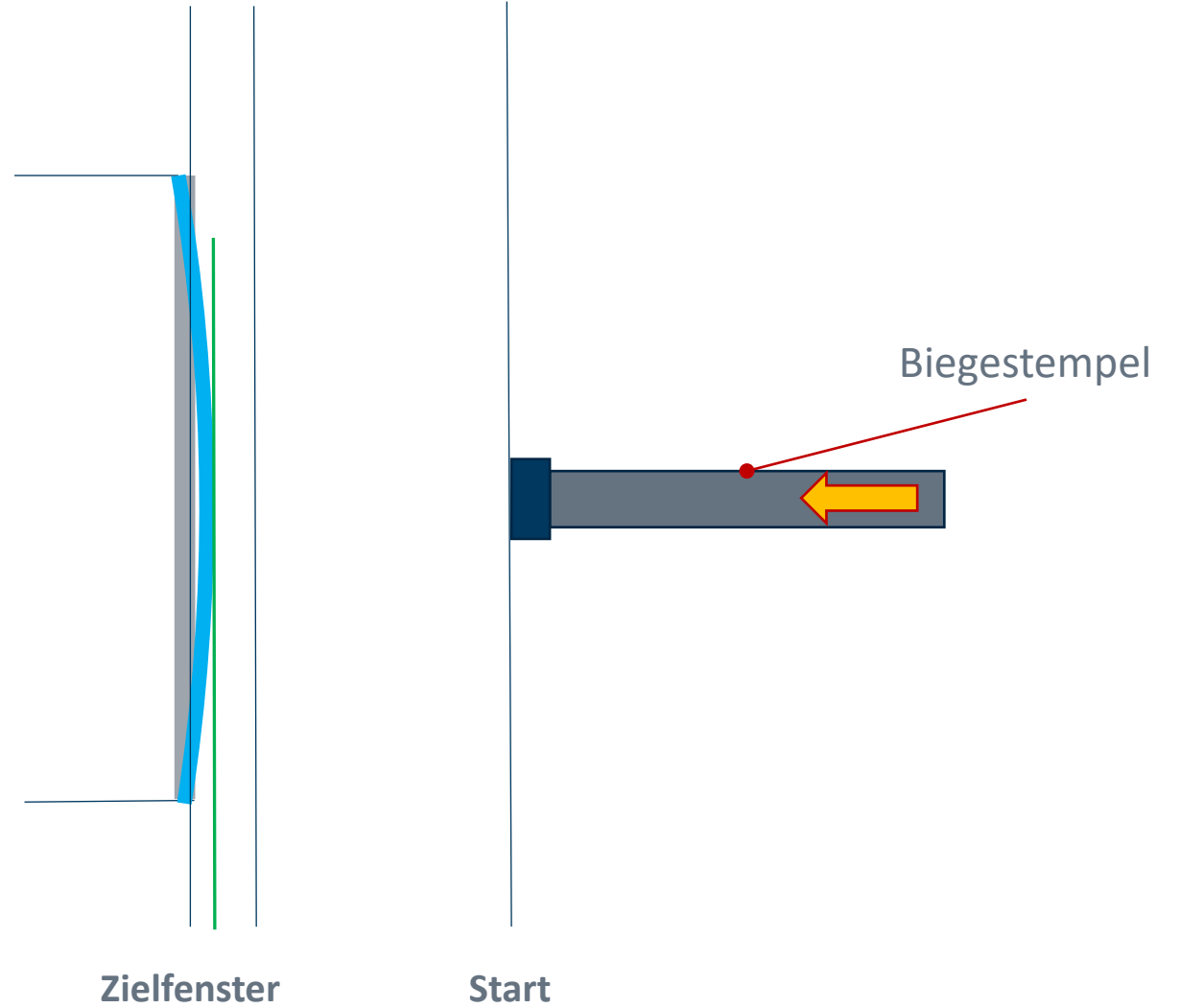
Lösung

Ablauf Richtprozess

Positionieren

1,5

Kontakt



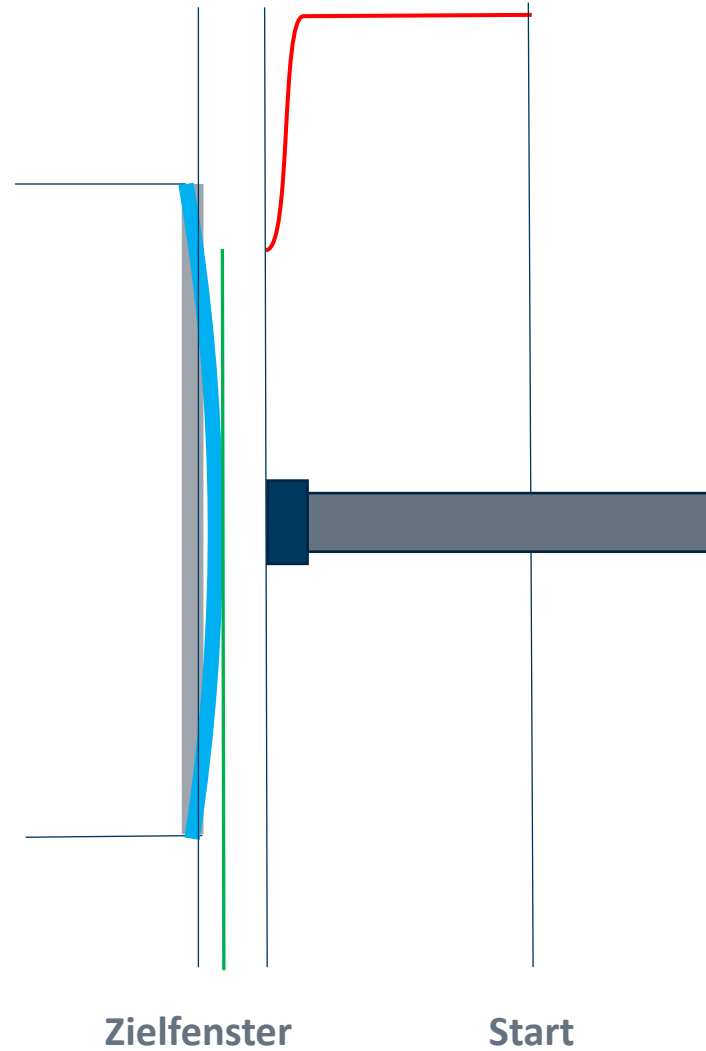
Lösung

Ablauf Richtprozess

Anfahren und Messen

2

Kontakt



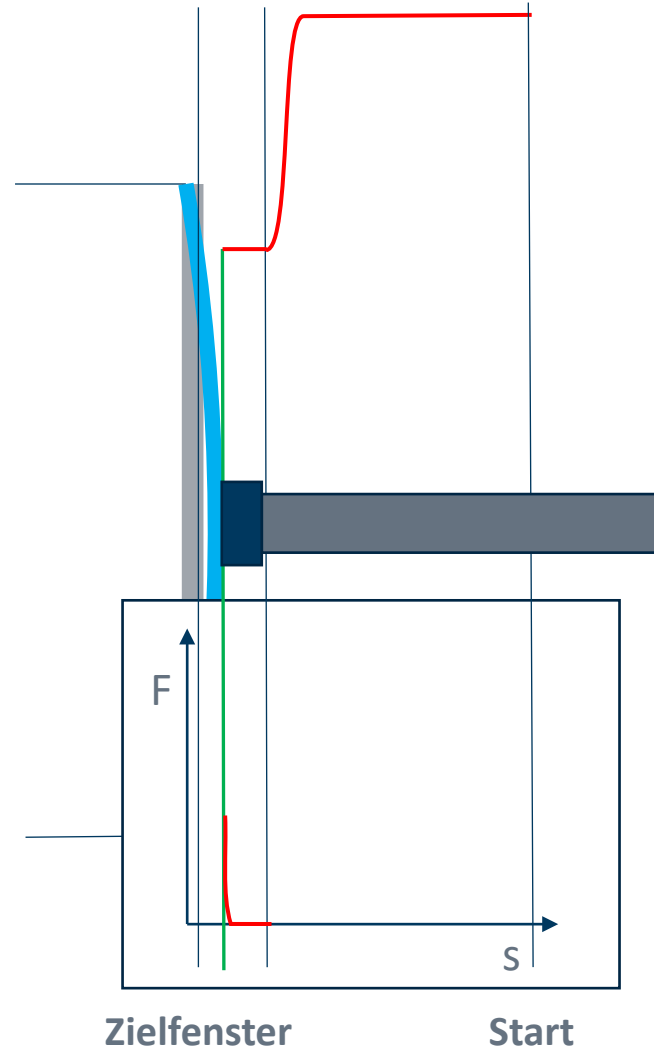
Lösung

Ablauf Richtprozess

Anfahren und Messen

2,5

Kontakt



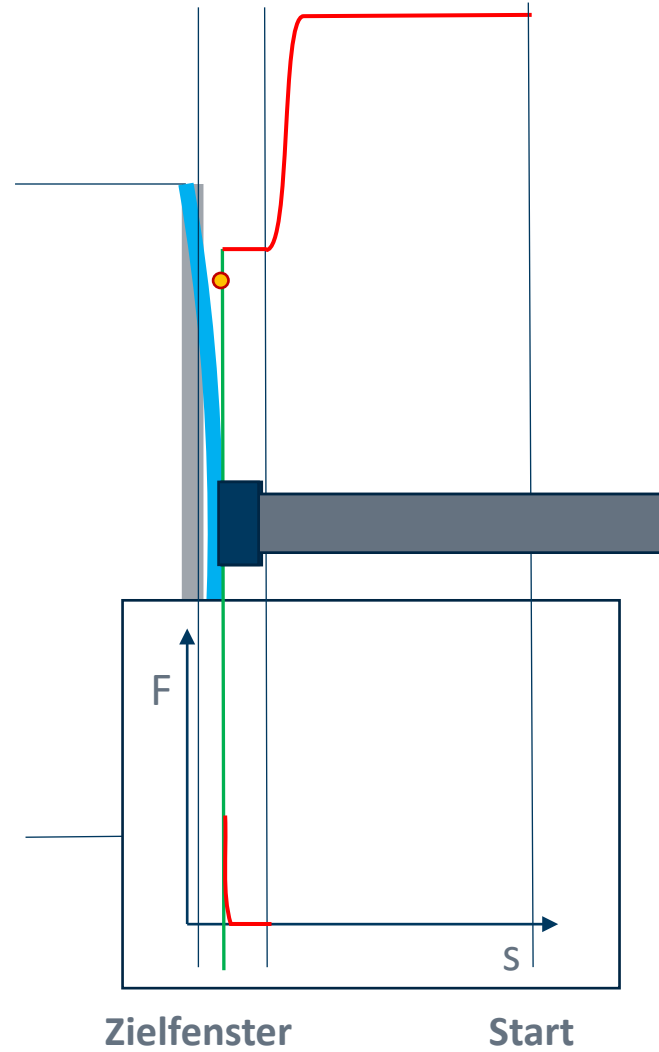
Lösung

Ablauf Richtprozess

Anfahren und Messen

2,5

Kontakt



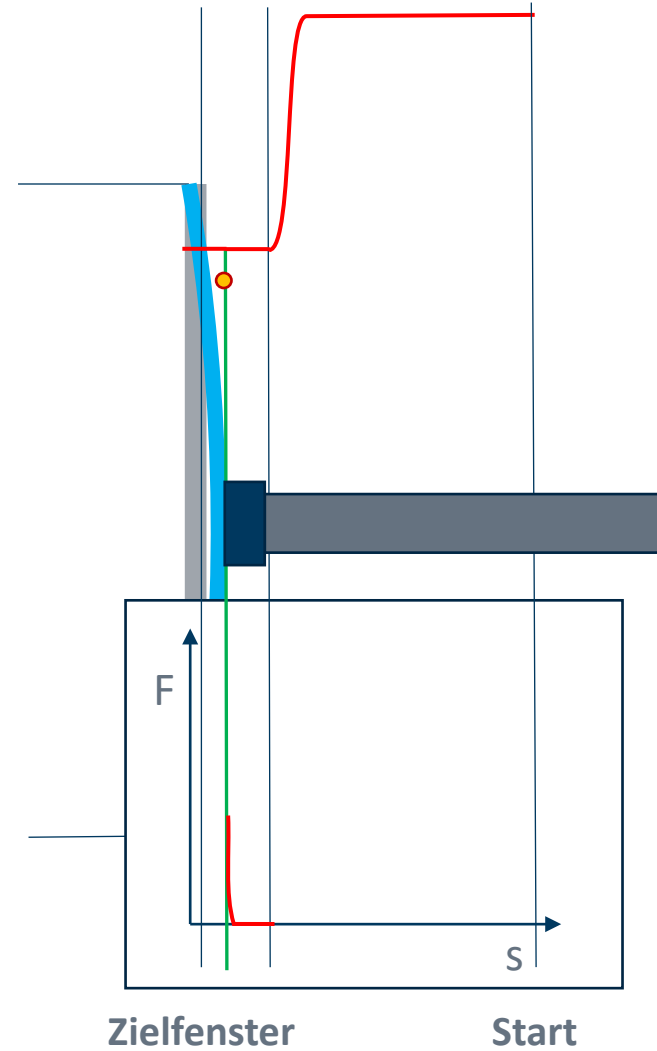
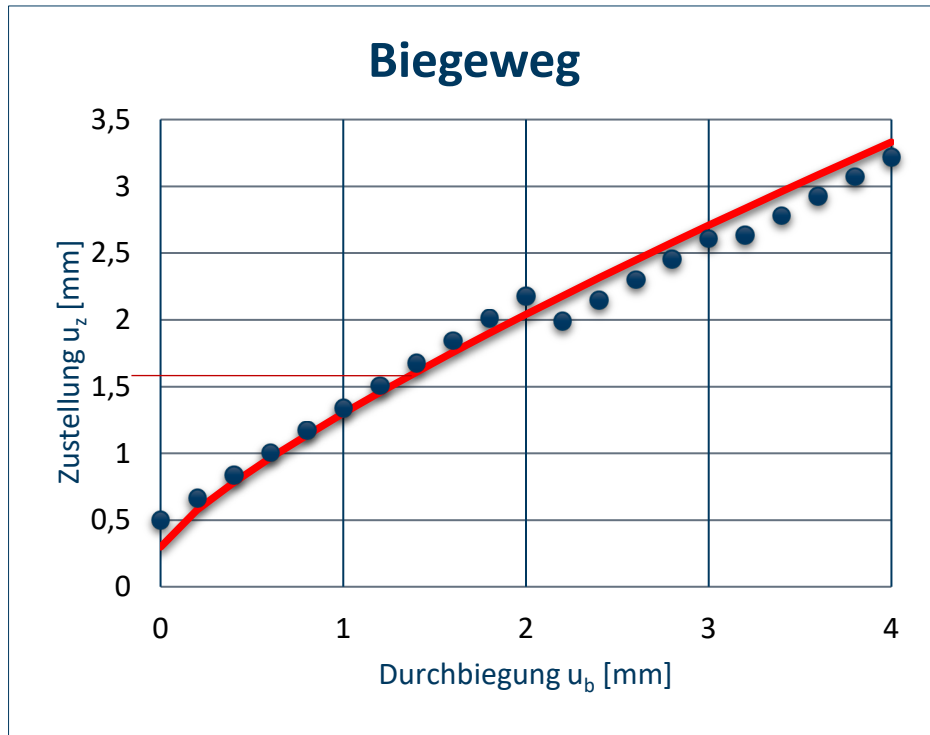
Lösung

Ablauf Richtprozess

Anfahren und Messen

2,5

Kontakt



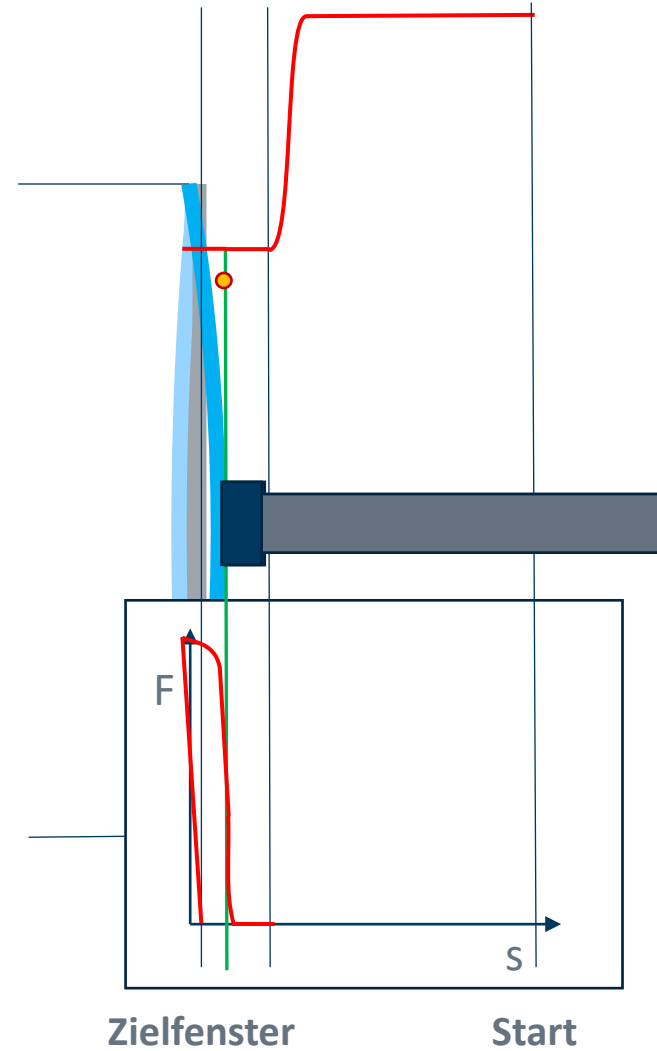
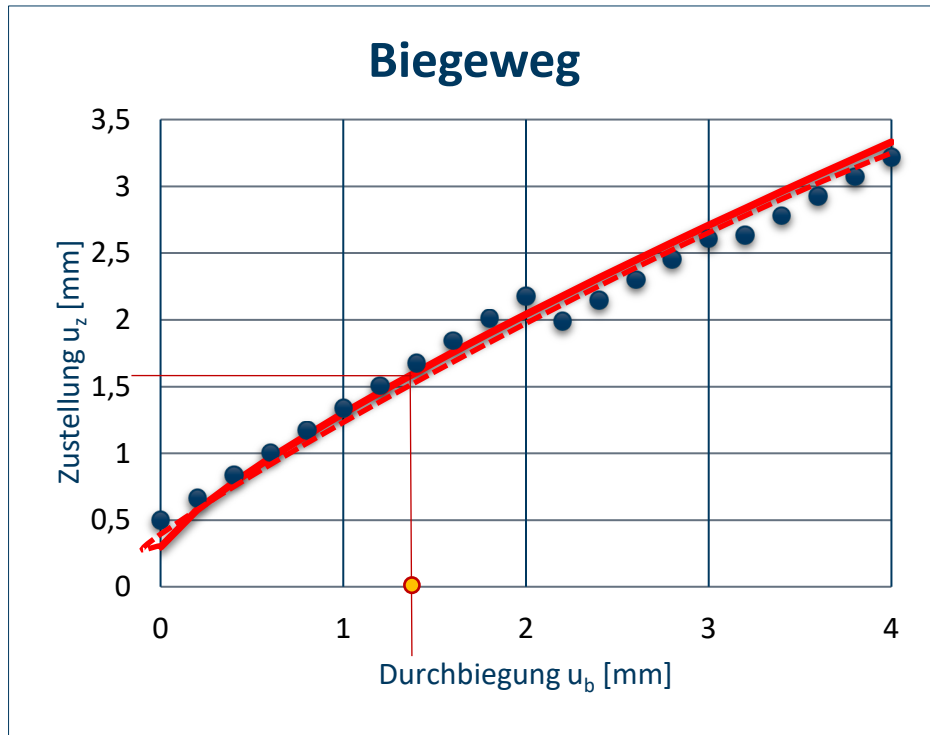
Lösung

Ablauf Richtprozess

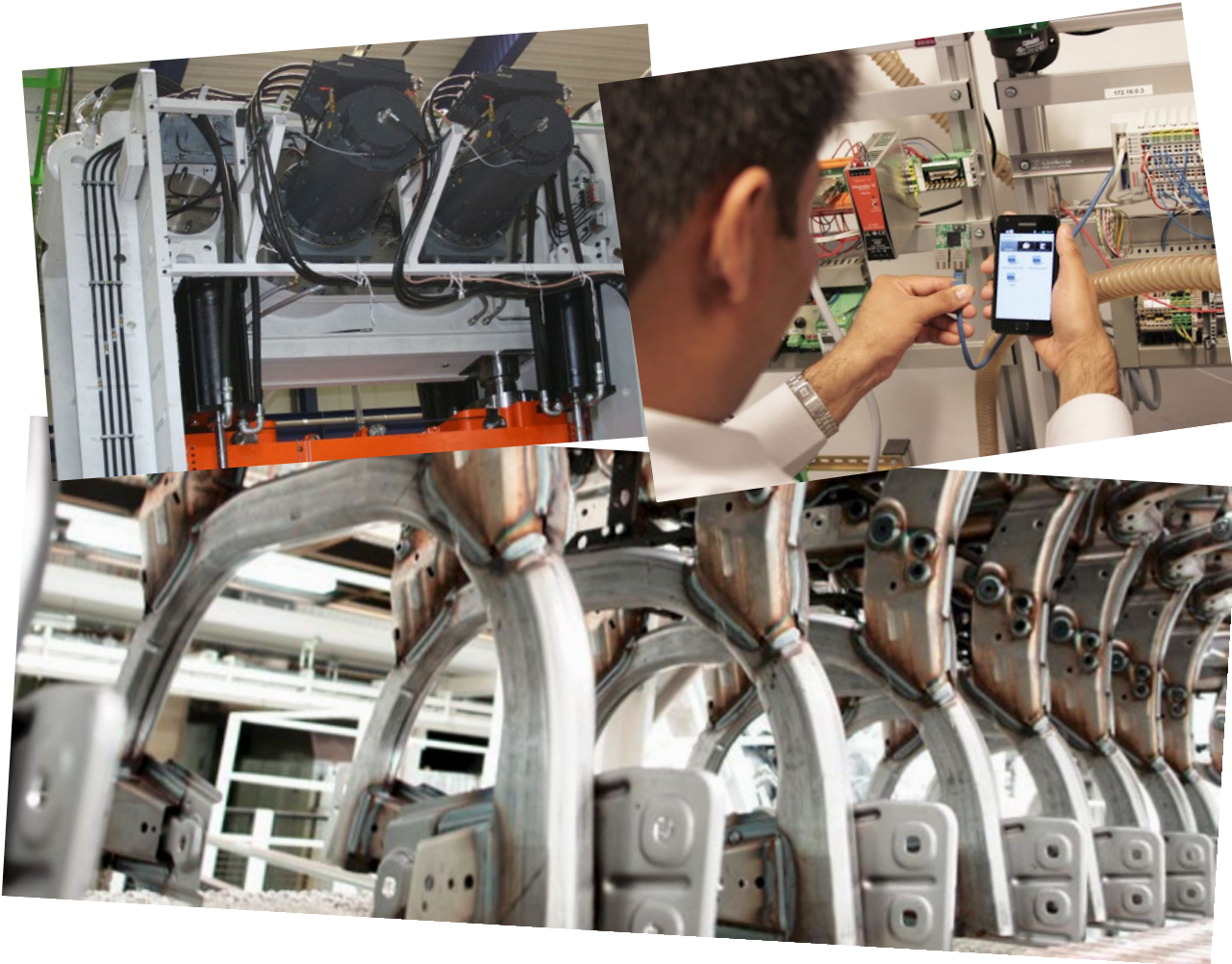
Überbiegen

3

Kontakt



Übertragung - Prozessebene benötigt globales Verständnis



- Individualisierung der Produkte (Losgröße 1)
- Hoch flexibilisierte Großserienfertigung
- Selbstoptimierung, Selbstdiagnose, Kognition
- Integration von Kunden- und Geschäftspartner

- Profil starr von Zyklus zu Zyklus
- Einstellung nach Zyklus
- Entkopplung Umformbauteil - Prozess - Umformmaschine

**Sie haben Fragen?
Kontaktieren Sie uns gerne**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt

Lehrstuhl für Umformtechnik

Breite Straße 11

57076 Siegen

Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

Telefon: +49 (0)271 / 740 – 4404

bernd.engel@uni-siegen.de

Dr.-Ing. Christopher Kuhnhen

Telefon: +49 (0)271 / 740 – 2756

christopher.kuhnhen@uni-siegen.de



www.biegeninsiegen.de

Agenda

- I. Begrüßung und Vorstellung des ProKI Netzes
- II. Impulsvortrag "KI-gestützte Regelung von Umformprozessen und Umformmaschinen"
- III. Impulsvortrag "High-Speed Richten"
- IV. Diskussions- und Fragerunde**



Besuchen Sie www.menti.com und benutzen Sie den Code 7493 9805

Diskussion und Feedback

ProKI-InfoPoint

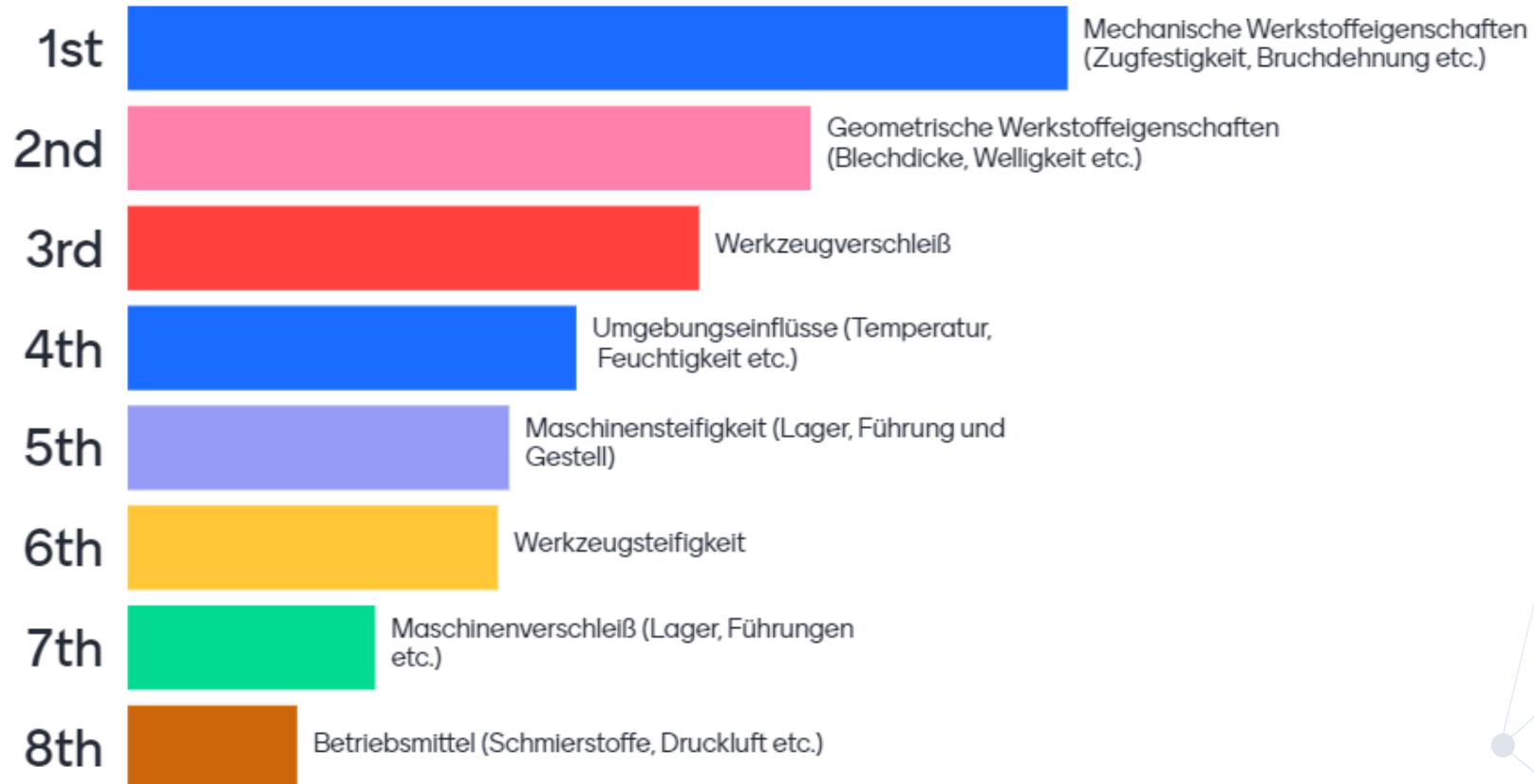
Regelung von Umformprozesse

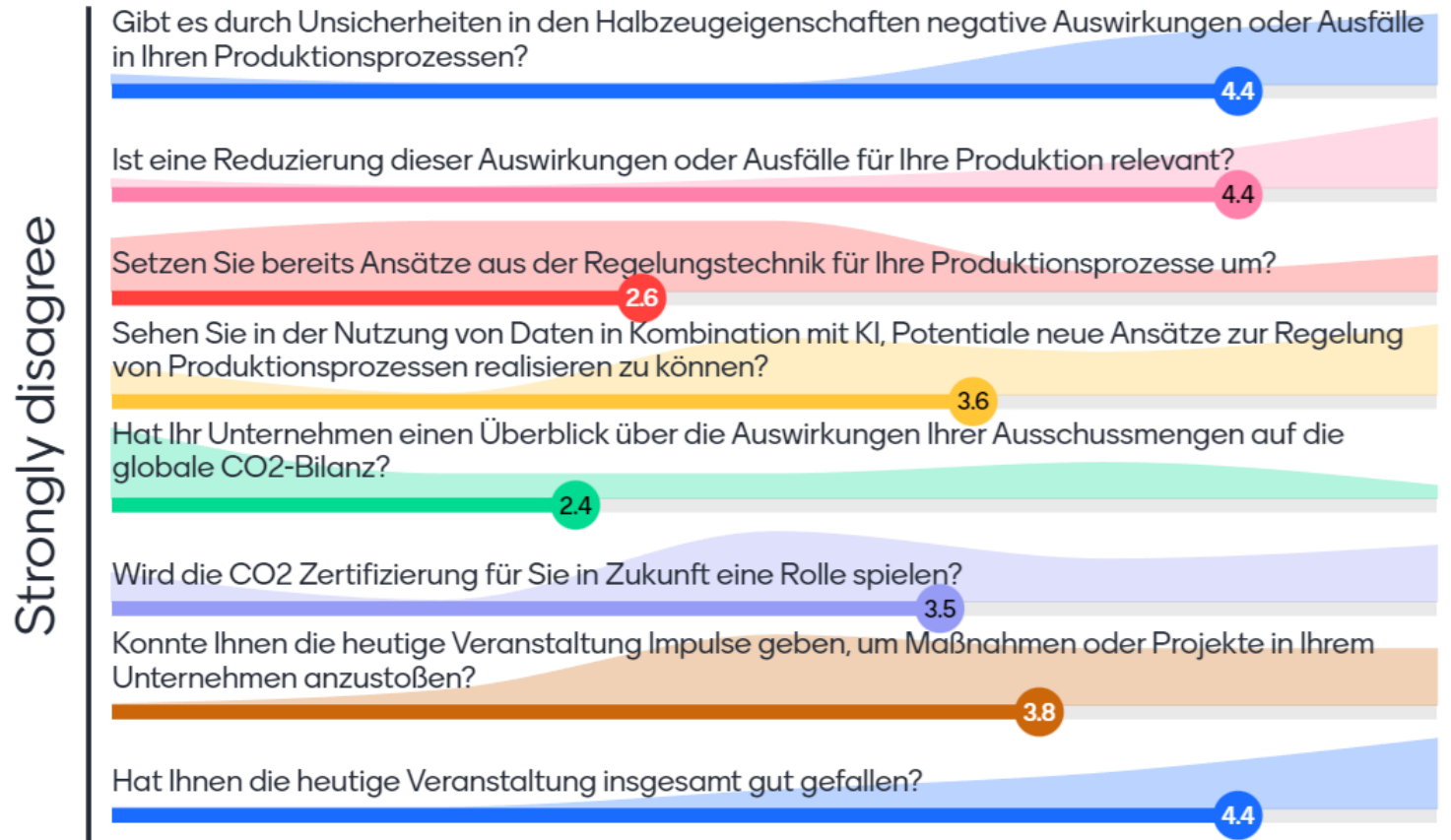
10.08.2023

Achtung
1 = strongly disagree
5 = strongly agree



Welche der folgenden Faktoren haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Stabilität Ihrer Produktionsprozesse?



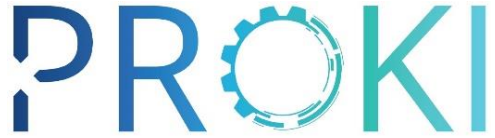


Strongly agree



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Nächster ProKI-InfoPoint



Anmeldung zum nächsten
ProKI-InfoPoint



<https://tu-dresden.de/ing/proki>

THEMA

Wie lässt sich mit KI-überwachter Produktqualität die Ausschussquote kontinuierlicher Umformprozesse reduzieren?

TERMIN

14.09.2023 16:00 Uhr

Weiterführende Informationen zu ProKI Netz und unserem Angebot finden Sie auf unseren Homepages



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

<https://proki-darmstadt.de/>



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

<https://tu-dresden.de/ing/proki>

