

Verbesserung der Temperaturgleichmäßigkeit bei der induktiven Bolzenerwärmung durch ein integriertes Prozessmodell

3. Aachener Ofenbau- und Thermoprozesskolloquium
7. bis 8. Oktober 2021 in Aachen

Dipl.-Ing.

Simon Künne

Geschäftsführer

Prosik GmbH

simon.kuenne@prosik.de

Tel.: +49 151 507 07 147

www.prosik.de



PROSIK

WIR REGELN DAS

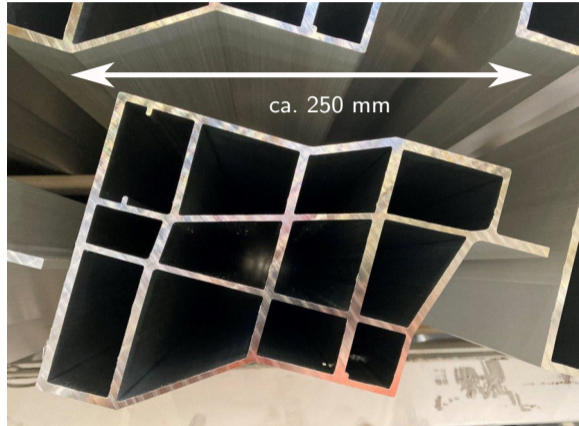
Anlage und Prozess

Schwachstellen der herkömmlichen Fahrweise

Ein integriertes Prozessmodell als Lösung

Praxiserfahrungen

- Aluminiumbolzen werden zu Profilen verpresst
- Möglichst konstante Temperatur beim Verpressen um Risse zu vermeiden
- Produkte / Kunden:
 - Automobilindustrie: Schweller und andere Bauteile
 - Fensterprofile
 - Kohlendioxid-Kartuschen für Wassersprudler



Eckdaten

$$l_{B,max} = 1500 \text{ mm}$$

$$d_B = 254 \text{ mm}$$

$$m_{max} \approx 220 \text{ kg}$$

$$T_{B,max} = 560 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_{max} = 900 \text{ kW/m}^2$$

$$t_{heiz} \approx 150 \text{ s}$$

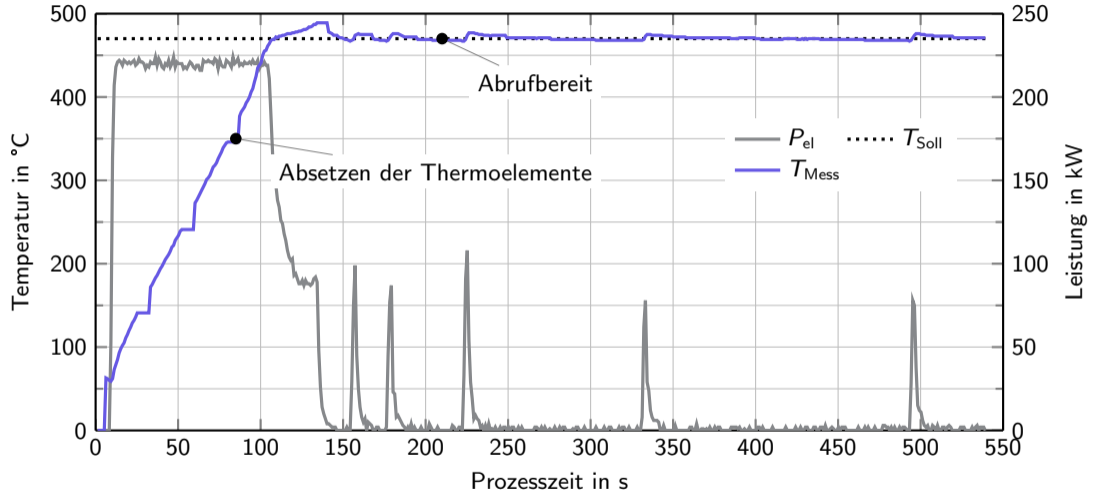
$$\Delta T_{Soll} = \pm 5 \text{ K}$$

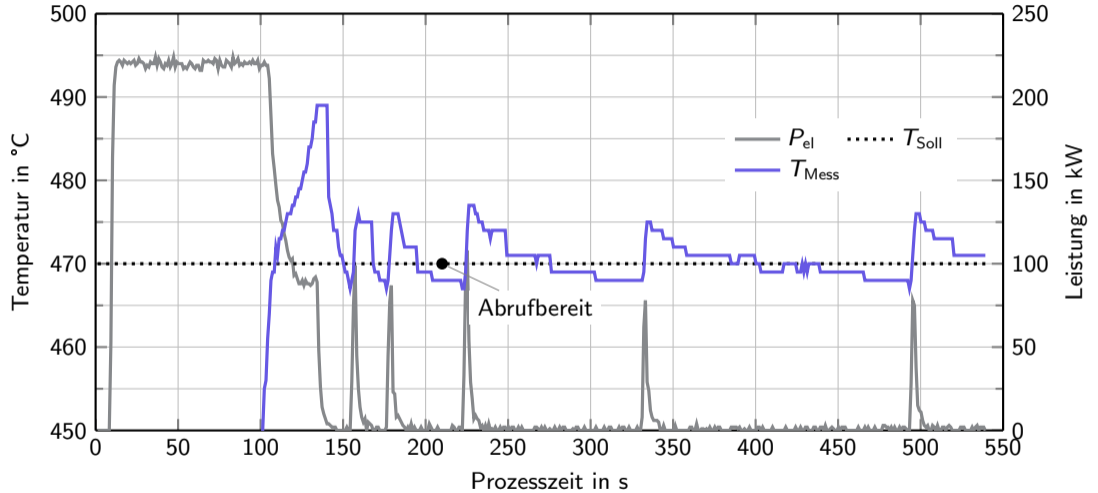


Eckdaten

- Durchmesser 8 mm
- Pneumatischer Betrieb
- Redundant ausgelegt
- Mechanische Stabilität zum Durchdringen der Gushaut







Anlage und Prozess

Schwachstellen der herkömmlichen Fahrweise

Ein integriertes Prozessmodell als Lösung

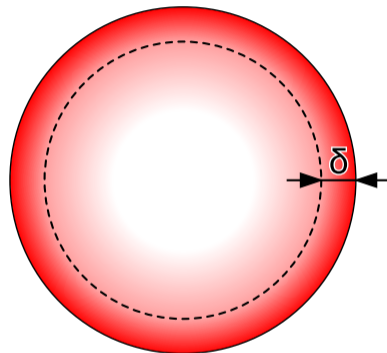
Praxiserfahrungen

Temperaturverteilung unbekannt

- Messung nur an der Oberfläche möglich
- Skin-Effekt¹: ca. 90 % der Leistung werden in den äußeren 20 mm induziert
- $T_{\text{Oberfläche}} - T_{\text{Kern}} \approx 150 \text{ K}$

Regelung ohne Kenntnis der Temperaturverteilung

- 2-Punkt-Regelung allein erzeugt Schwankung von $\pm 5 \text{ K}$
- Kriterium für *abrufbereit* nicht optimal



Skin-Effekt, Quelle: Wikipedia

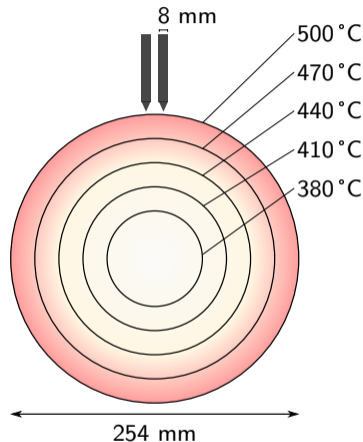
¹ Jackson, J.D.: Classical Electrodynamics. 2nd Edition, Hoboken, New Jersey, Wiley 1975

Genauigkeit moderner Thermoelemente (Klasse 1)²

- -40 °C bis 375 °C: $\pm 1,5$ K
375 °C bis 1000 °C: $\pm 0,4\%$ der Anzeige
- Messung mit Kalibrator: $\pm 0,6$ K bei 500 °C

Fehler liegt im Messverfahren, nicht in der Technik!

- Wärmeaustausch mit Umgebung und Messstelle
- Messung senkrecht zu Isothermen unbedingt vermeiden³
- Möglichst wenig Masse einbringen
- Exakte Ausrichtung im Induktionsfeld

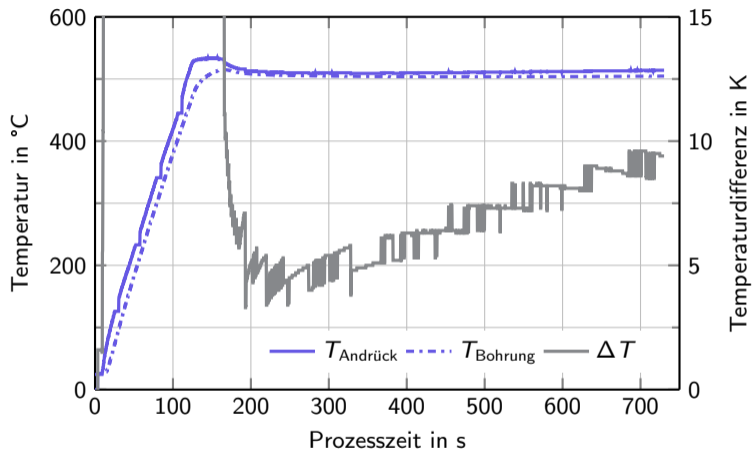


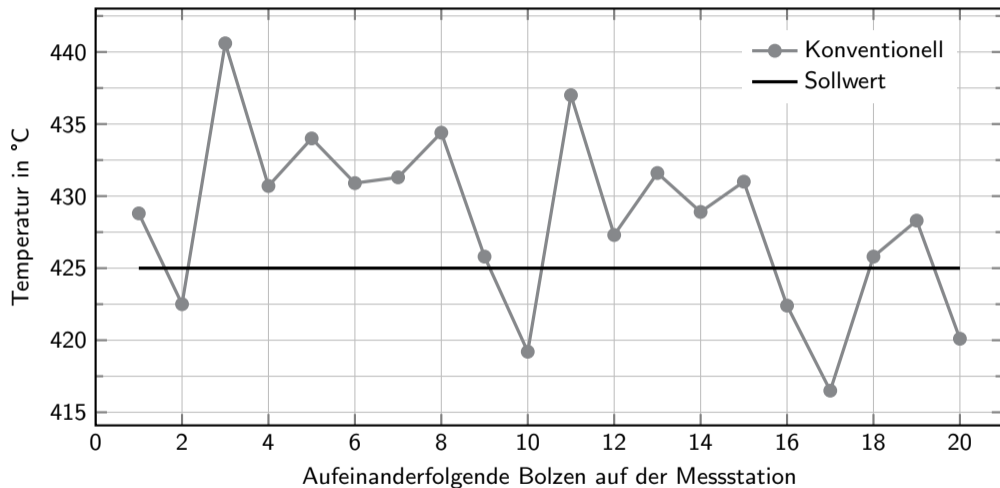
² DIN EN 60584-1:2014-07: Thermoelemente – Teil 1: Thermospannungen und Grenzabweichungen (IEC 60584-1:2013)

³ Körtvélyessy, D.; Körtvélyessy, L.: Thermoelement Praxis. 4. Auflage, Essen, Vulkan-Verlag, 2015

Temperaturabhängige Korrekturfaktoren nicht praktikabel

- Erfordern $T = \text{const}$ auf einer Seite
- Andrückelemente: $T \neq \text{const}$
- $T_{\text{soll}} - T_{\text{ist}}$ hängt von Verweildauer ab





Anlage und Prozess

Schwachstellen der herkömmlichen Fahrweise

Ein integriertes Prozessmodell als Lösung

Praxiserfahrungen

Ein integriertes Prozessmodell

- Kommuniziert mit der Anlagensteuerung
- Simulationsaufwand⁴ von $\mathcal{T} = \frac{t_{\text{swc}}}{t_{\text{real}}} \ll 1$
- Regelt den Prozess
- Virtueller Sensor

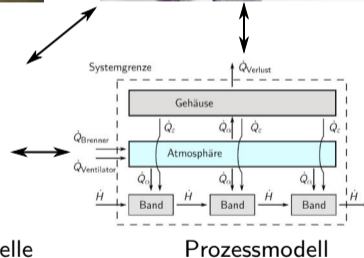
Industrieofen



SPS



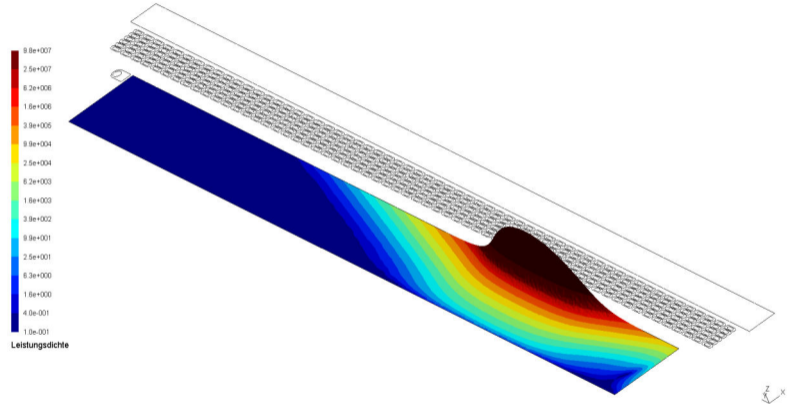
Bedienerschnittstelle

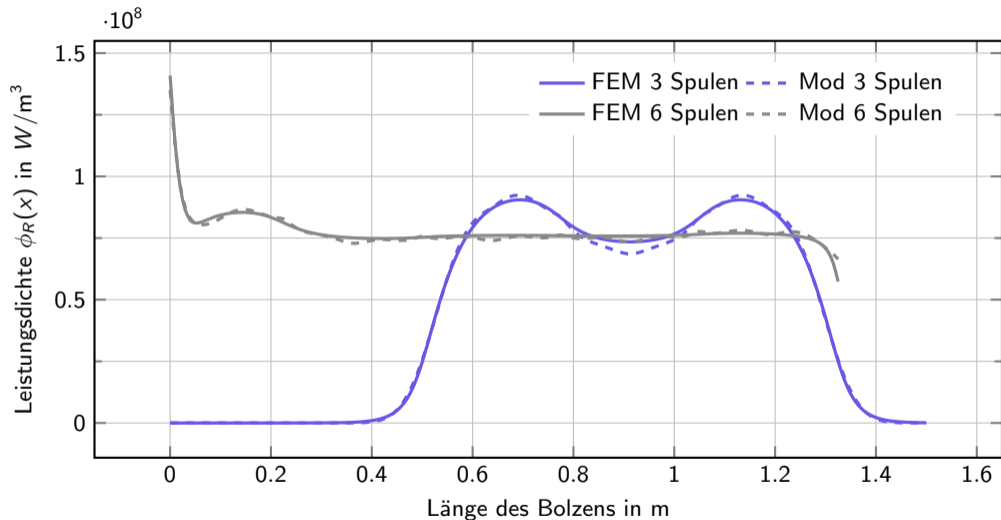


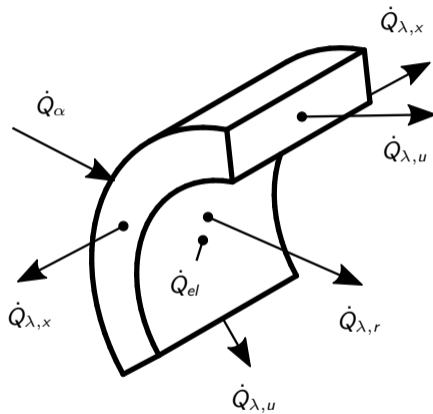
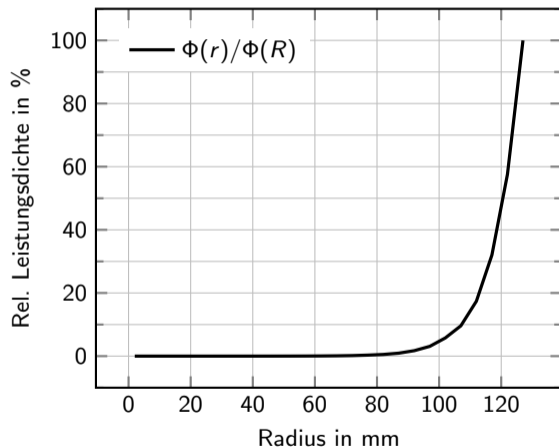
Prozessmodell

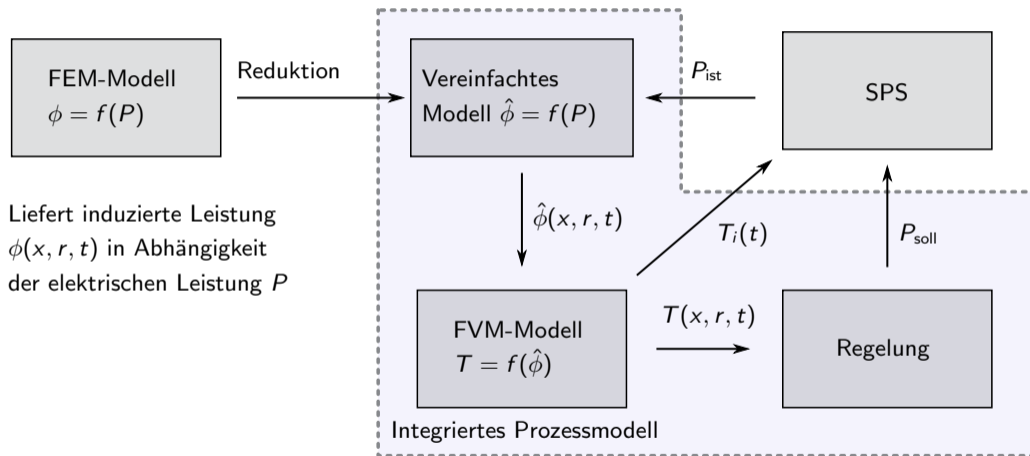
⁴Wendelstorf, J.: Prozessmodellierung in der Hochtemperaturverfahrenstechnik. Habilitationsschrift, Fakultät für Natur- und Materialwissenschaften, Technische Universität Clausthal, 2015

- Stand der Technik
- 7825 Elemente
- Prozess lässt sich gut abbilden
- Jedoch: $\mathcal{T} \gg 1$







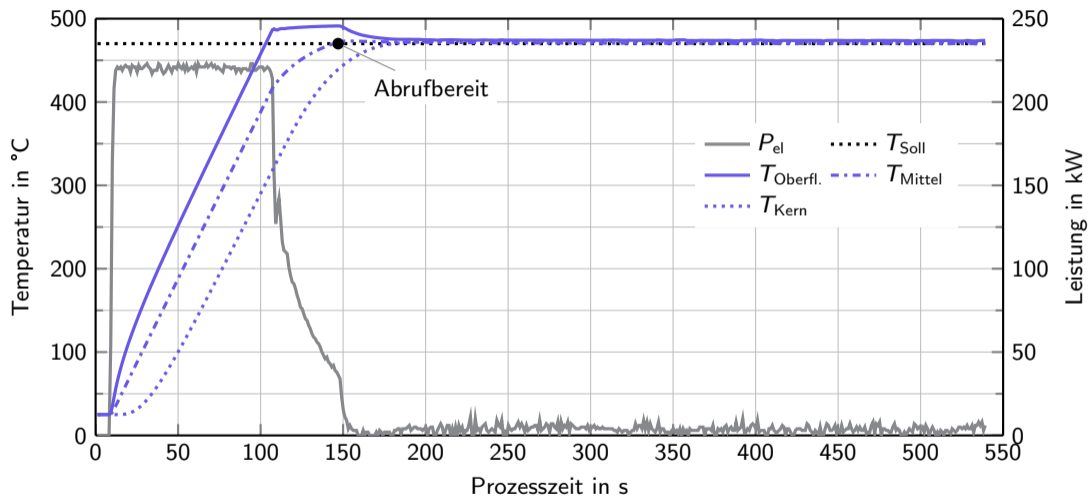


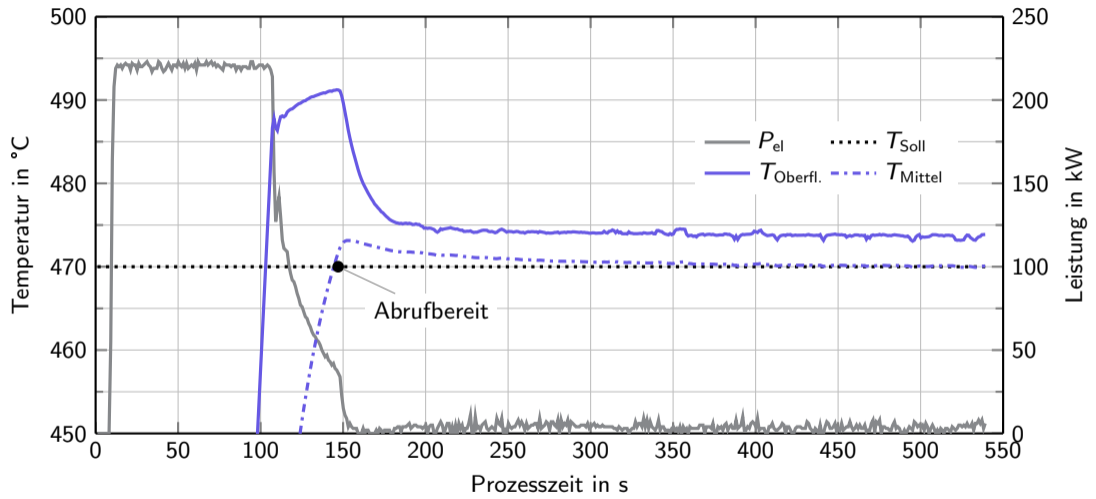
Anlage und Prozess

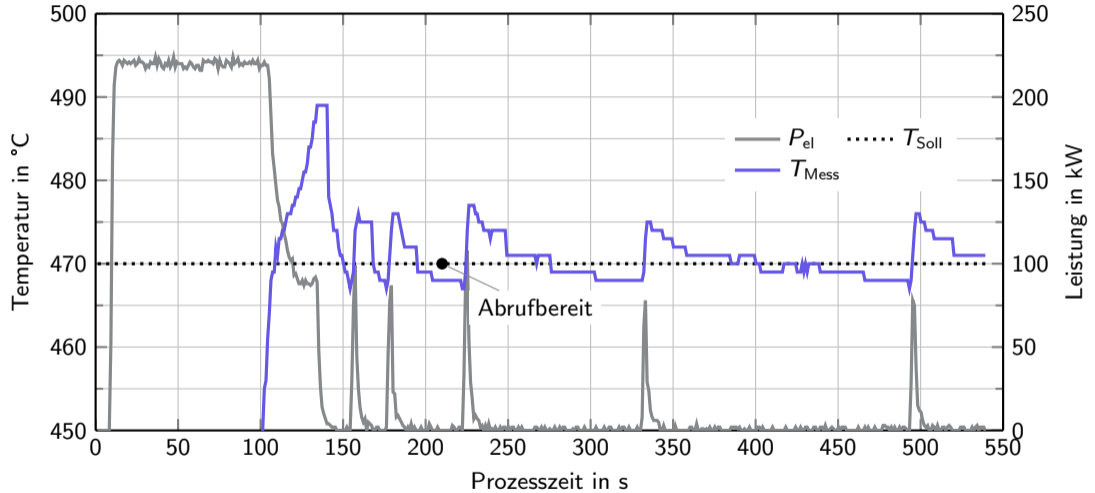
Schwachstellen der herkömmlichen Fahrweise

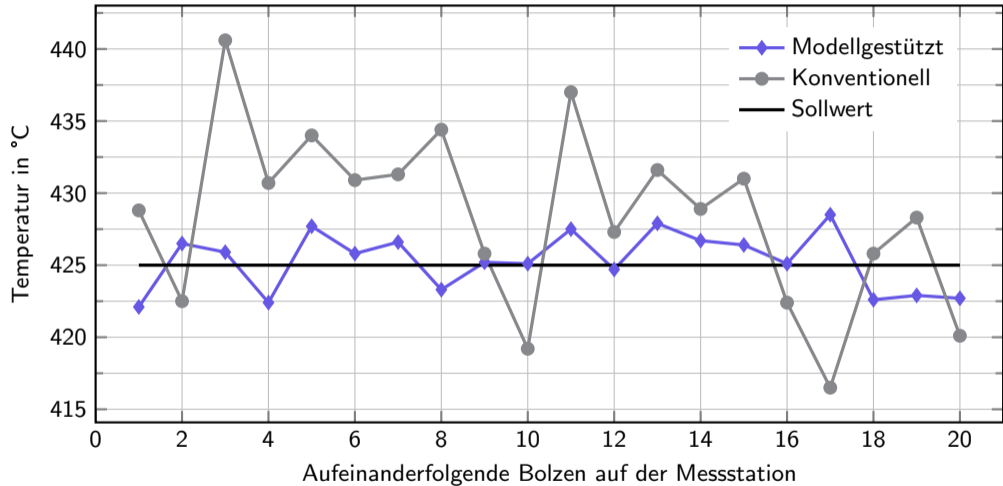
Ein integriertes Prozessmodell als Lösung

Praxiserfahrungen









- Es wurde ein Prozessmodell entwickelt, das den Prozess deutlich schneller berechnen kann als er real abläuft
- Durch die Modellierung ist das Temperaturprofil des Bolzens bekannt und kann zur Regelung des Prozesses genutzt werden
- Mit Hilfe einer modernen Regelstrategie kann die Überziehtemperatur optimal ausgenutzt und der Bolzen schnellstmöglich erwärmt werden
- Dieser Ansatz liefert eine bessere Temperaturgleichmäßigkeit als die Steuerung des Prozesses anhand von Andrückthermoelementen

- Erfolgreiche Inbetriebnahme bei Constellium Singen Anfang 2020
- Abnahme bei einem weiteren Kunden erwartet für Ende Oktober 2021