

Reduktion des spezifischen Energiebedarfs bei der Wärmebehandlung in einem Haubenglühofen durch modellgestützte Prozessführung

4. Aachener Ofenbau- und Thermoprozesskolloquium
17. bis 18. Oktober 2023 in Aachen

Dr.-Ing.

Simon Künne

Geschäftsführer

Prosik GmbH

simon.kuenne@prosik.de

Tel.: +49 151 507 07 147

www.prosik.de

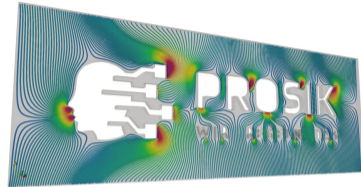


PROSIK

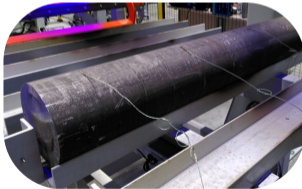
WIR REGELN DAS



Integrierte Prozessmodelle



Strömungssimulation



Prozessanalyse und -optimierung



Softwareentwicklung

Anlage und Prozess

Integriertes Prozessmodell

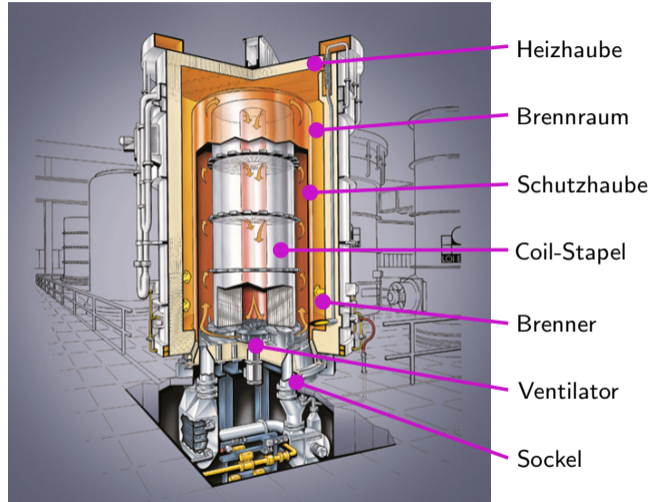
Regelung auf mittlere Materialtemperatur

Regelung auf maximale Materialtemperatur

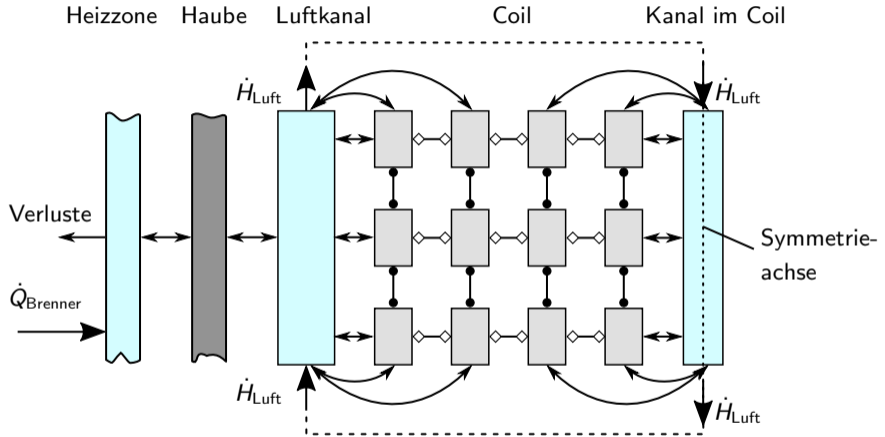


⁰Mit freundlicher Genehmigung der LOI Thermprocess GmbH

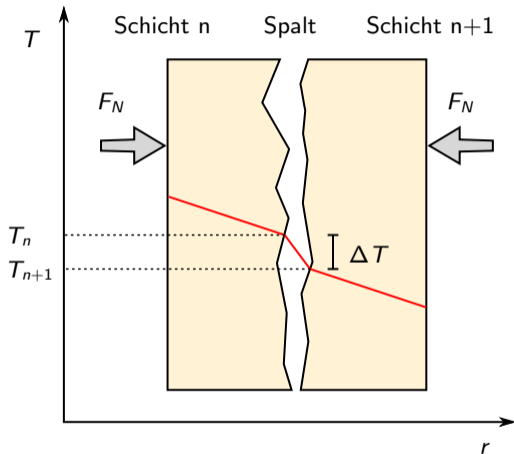
- Schematische Darstellung¹ eines Haubenofens
- Wärmebehandlung von Coils
- Kupfer, Aluminium, Stahl
- Temperatur hier 540 °C
- Prozessdauer ca. 13,5 h
- Schutzgasatmosphäre
- Coil-Durchmesser bis zu 1.800 mm
- Coil-Breite bis zu 700 mm



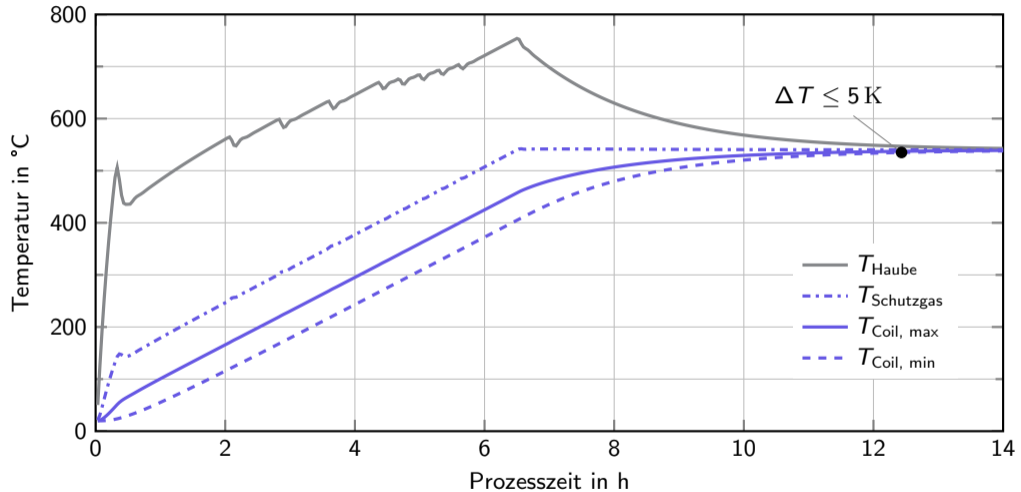
¹Mit freundlicher Genehmigung der LOI Thermprocess GmbH



\longleftrightarrow Konvektiver Wärmeübergang
 $\bullet\text{---}\bullet$ Wärmeleitung
 $\diamond\text{---}\diamond$ Reduzierte Wärmeleitung



- Äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda^* = \lambda_r / \lambda_x$
- Hier: $\lambda^* = 5\%$ bis 15%
- Einflussfaktoren:
 - Anpresskraft F_N
 - Mikrohärtigkeit im Spaltbereich
 - Oberflächenrauheit
 - Ölrückstände im Spalt



Anlage und Prozess

Integriertes Prozessmodell

Regelung auf mittlere Materialtemperatur

Regelung auf maximale Materialtemperatur

- Temperaturdifferenz zwischen Atmosphäre als treibende Kraft des Wärmetransports
- Eine höhere Überziehtemperatur führt zu:
 - höherem Wärmestrom in das Material
 - dadurch Verkürzung der Aufheizzeit
 - höherem Wärmestrom durch das Ofengehäuse
 - höhere Verluste während gegen Ende des Prozesses

- $\dot{q}'' = \alpha \cdot \Delta T$ in W/m^2K

- $\Delta T_{\ddot{U}} = T_{\text{Atm, max}} - T_{\text{Coil, Soll}}$ in K

Ein integriertes Prozessmodell...

- kommuniziert mit der Anlagensteuerung
- hat Simulationsaufwand² von $\mathcal{T} = \frac{t_{\text{SWC}}}{t_{\text{real}}} \ll 1$
- regelt den Prozess
- ist virtueller Sensor

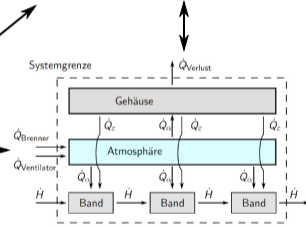
Industrieofen



SPS



Bedienerchnittstelle



Prozessmodell

²Wendelstorf, J.: Prozessmodellierung in der Hochtemperaturverfahrenstechnik. Habilitationsschrift, Fakultät für Natur- und Materialwissenschaften, Technische Universität Clausthal, 2015

- Temperaturverteilung im Material steht in Echtzeit zur Verfügung
- Das ermöglicht eine individuell optimierte Behandlung der Charge je nach Beladung und Anforderungen
- Durch sichere Prozessführung auch mit Überziehtemperatur kann der Erwärmungsprozess verkürzt werden
- Dies führt zu einer Erhöhung des Durchsatzes und gleichzeitig zu einer Senkung des spezifischen Gasverbrauchs

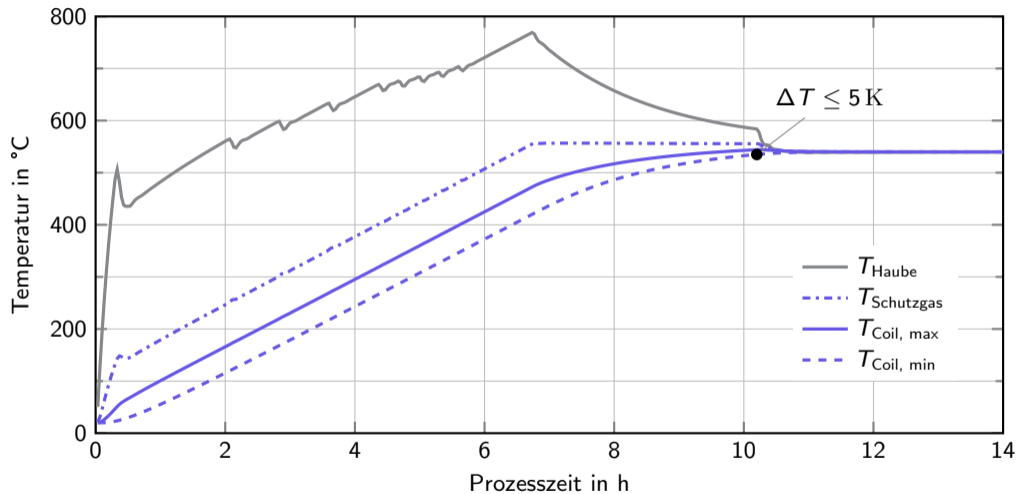


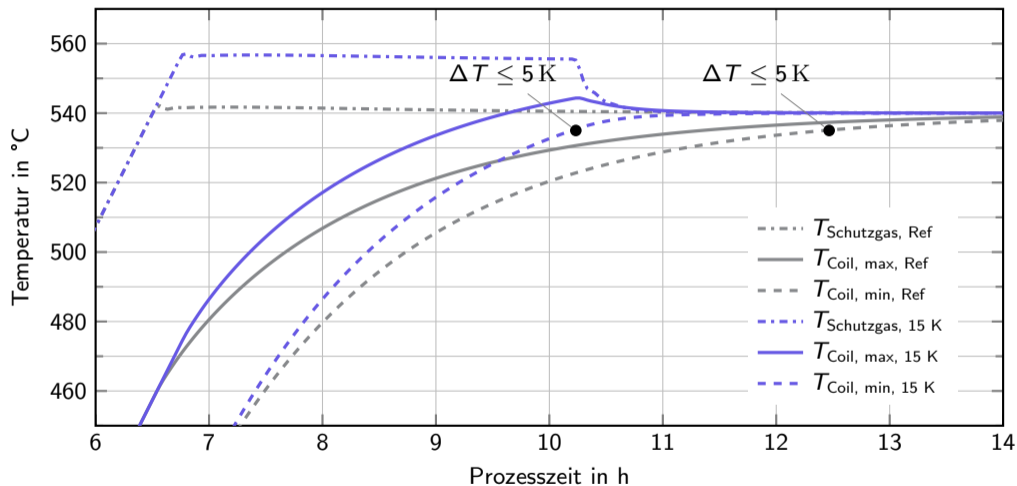
Anlage und Prozess

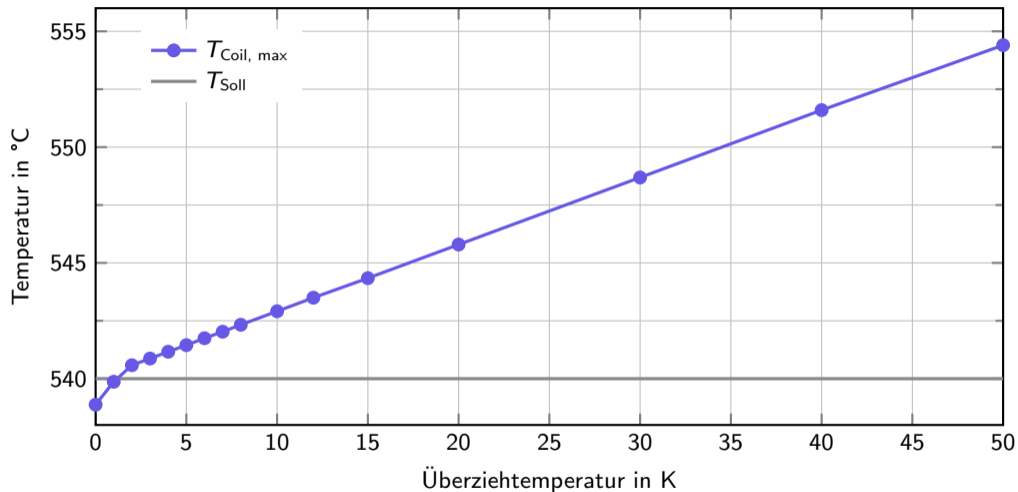
Integriertes Prozessmodell

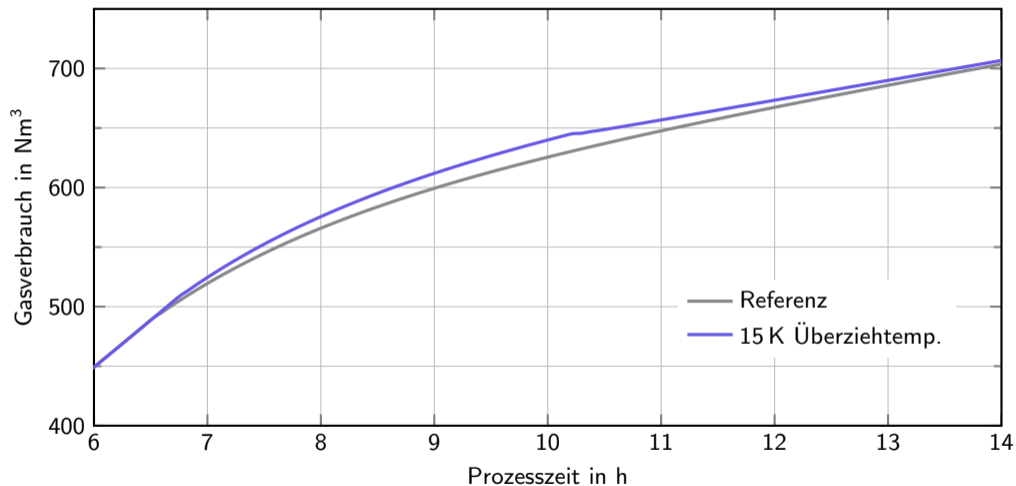
Regelung auf mittlere Materialtemperatur

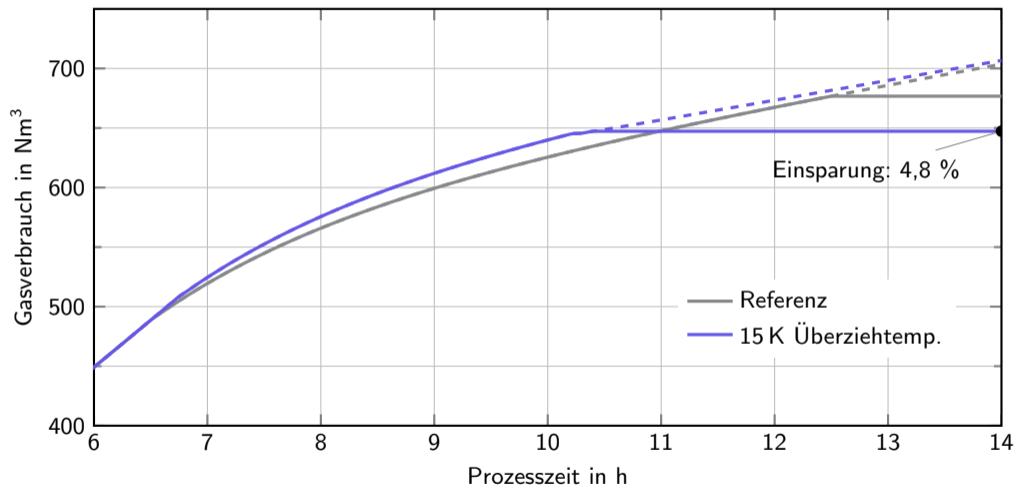
Regelung auf maximale Materialtemperatur

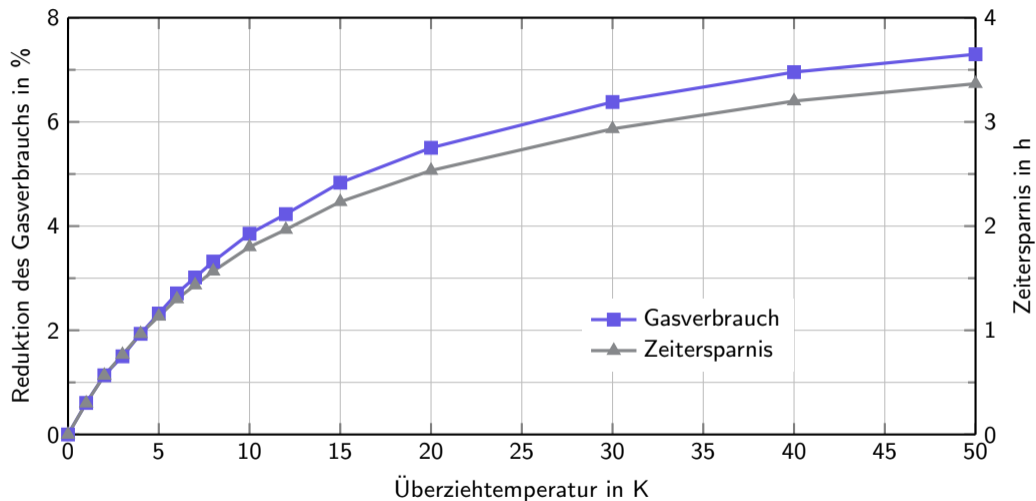










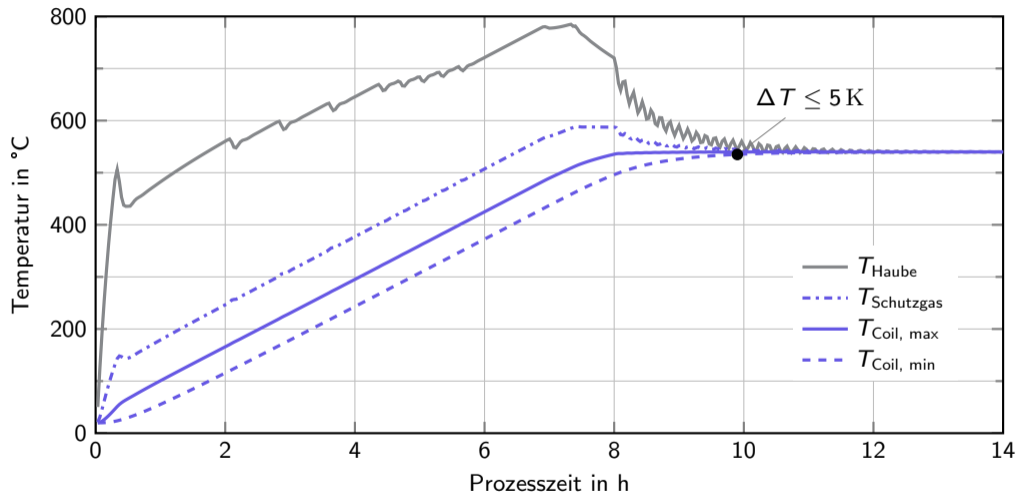


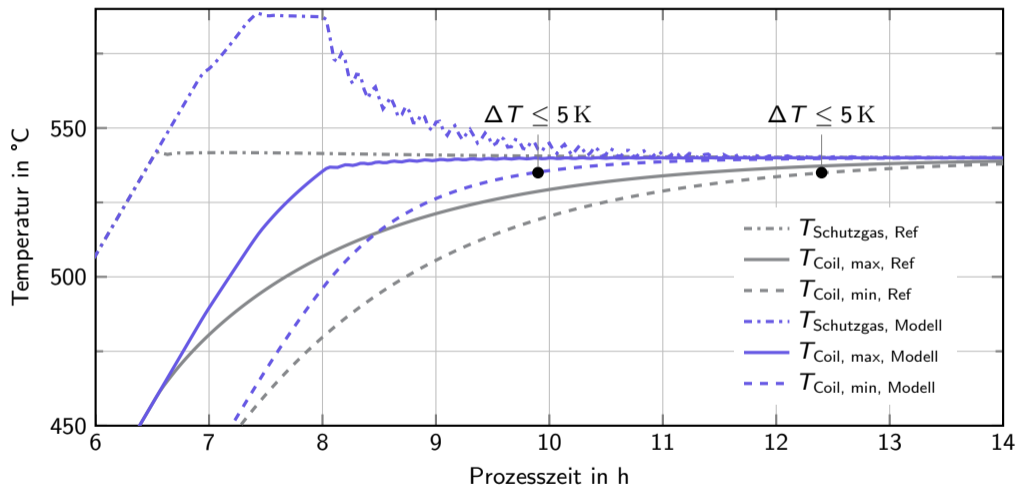
Anlage und Prozess

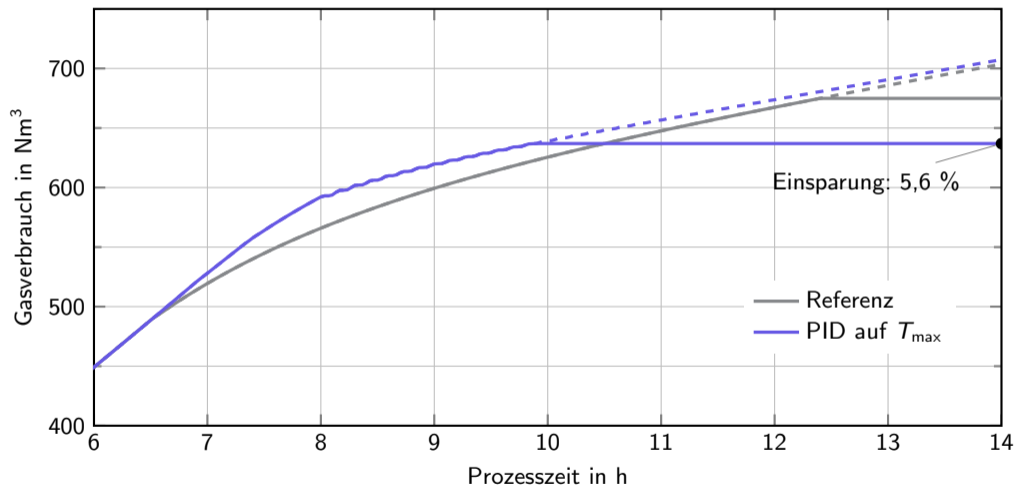
Integriertes Prozessmodell

Regelung auf mittlere Materialtemperatur

Regelung auf maximale Materialtemperatur







- Je höher die Überziehtemperatur, desto schneller wird das Material erwärmt
- Mit steigender Überziehtemperatur steigt die maximale Materialtemperatur während des Prozesses
- Trotz größerer Verluste durch die höhere Temperatur ist der Gasverbrauch insgesamt geringer, da der Prozess schneller abläuft
- Mit Hilfe eines integrierten Prozessmodell kann die optimale Überziehtemperatur für jede Charge ermittelt werden
- So kann durch wenig Aufwand eine relevante Energieeinsparung erreicht werden, in diesem Fall etwa 5,6 %