

# Optimierung von Durchsatz und Energieeffizienz eines Haubenofens durch den Einsatz eines integrierten Prozessmodells

Kupfersymposium

29. und 30. November 2023 in Jena

---

Dr.-Ing.

**Simon Künne**

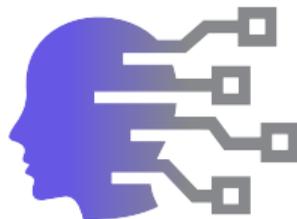
Geschäftsführer

Prosik GmbH

[simon.kuenne@prosik.de](mailto:simon.kuenne@prosik.de)

Tel.: +49 151 507 07 147

[www.prosik.de](http://www.prosik.de)

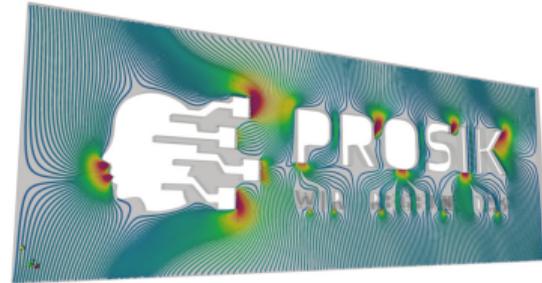


**PROSIK**

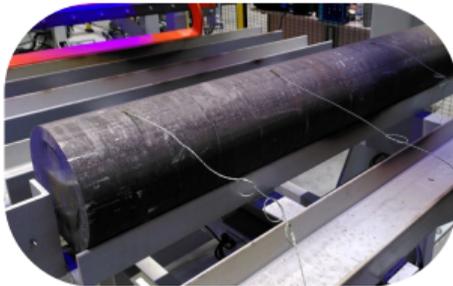
WIR REGELN DAS



Integrierte Prozessmodelle



Strömungssimulation



Prozessanalyse und -optimierung



Softwareentwicklung

## Anlage und Prozess

Integriertes Prozessmodell

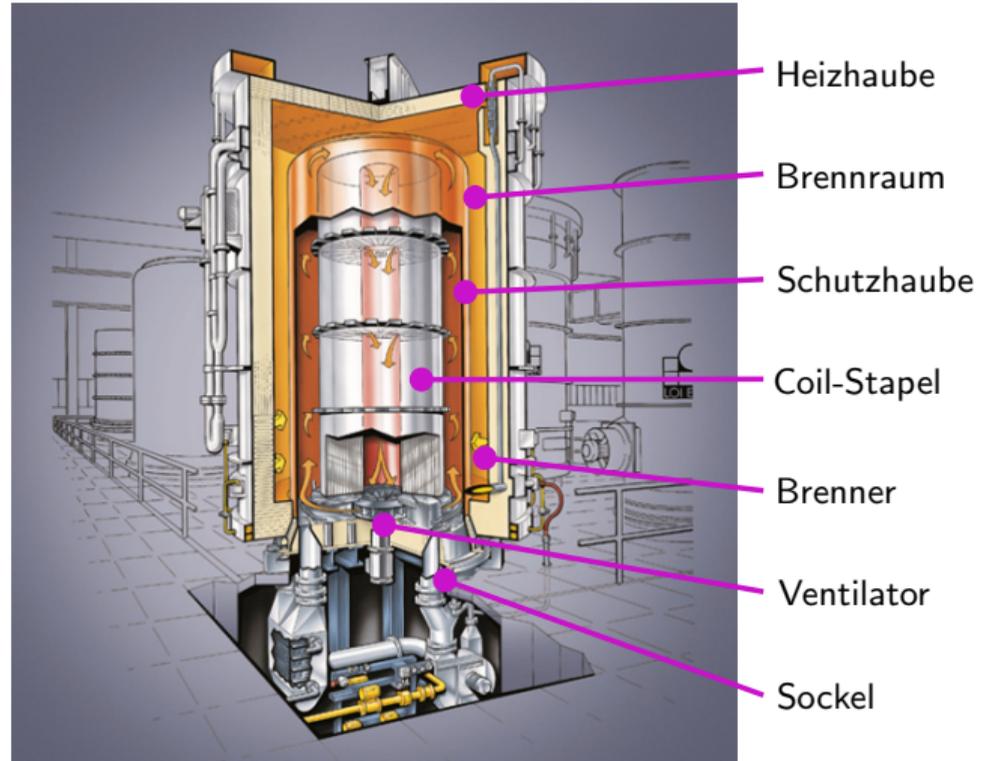
Regelung auf mittlere Materialtemperatur

Regelung auf maximale Materialtemperatur

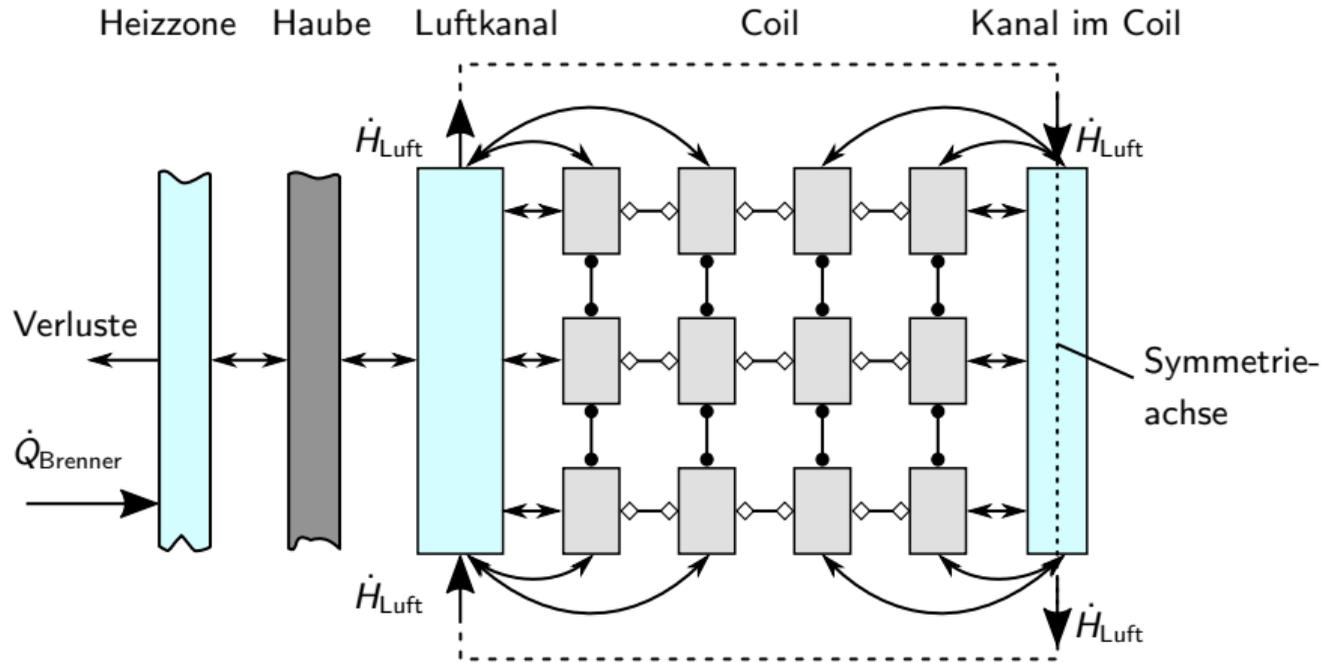


<sup>0</sup>Mit freundlicher Genehmigung der LOI Thermprocess GmbH

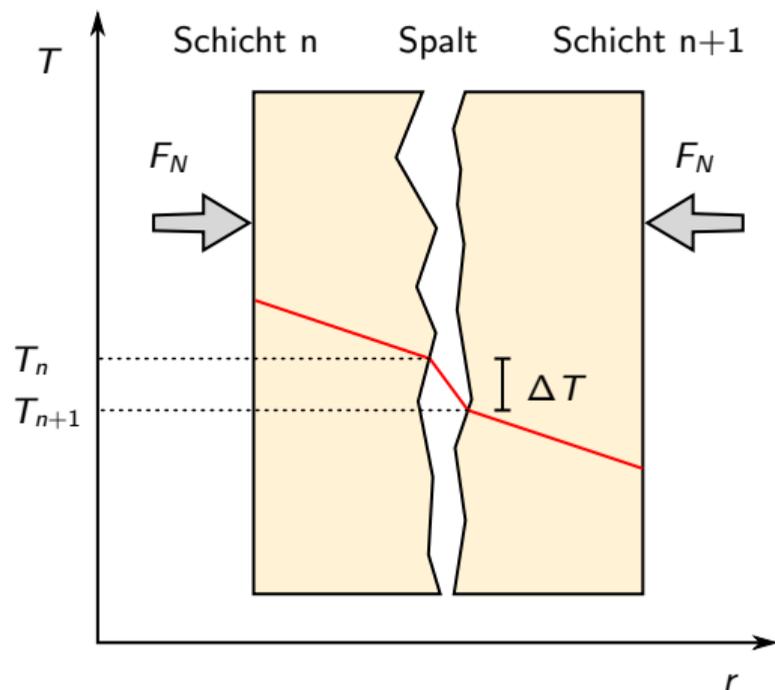
- Schematische Darstellung<sup>1</sup> eines Haubenofens
- Wärmebehandlung von Coils
- Kupfer, Aluminium, Stahl
- Temperatur hier 540 °C
- Prozessdauer ca. 13,5 h
- Schutzgasatmosphäre
- Coil-Durchmesser bis zu 1.800 mm
- Coil-Breite bis zu 700 mm



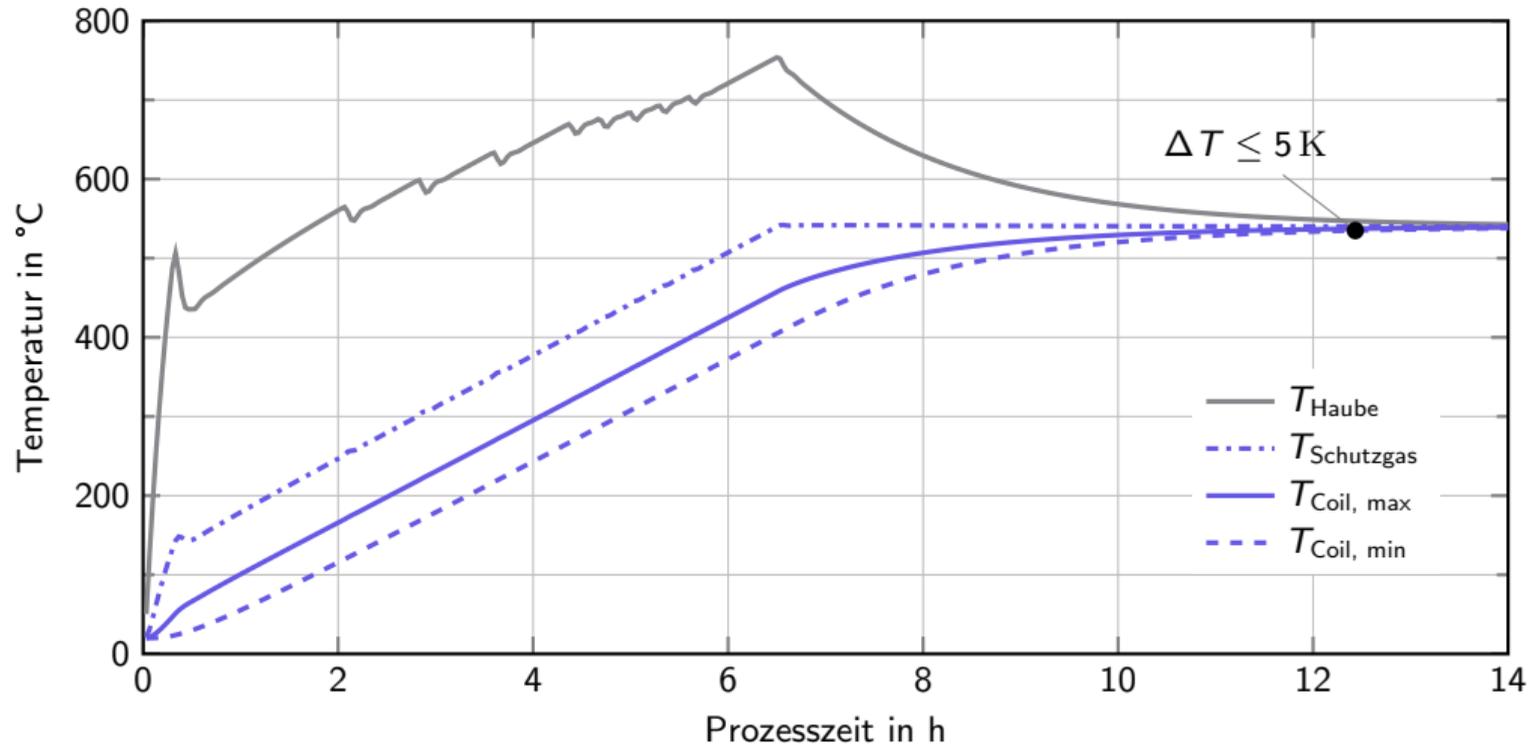
<sup>1</sup>Mit freundlicher Genehmigung der LOI Thermprocess GmbH



$\longleftrightarrow$  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 Simulationsaufwand<sup>2</sup> von  $\mathcal{T} = \frac{t_{\text{SWC}}}{t_{\text{real}}} \ll 1$
- regelt den Prozess
- ist virtueller Sensor

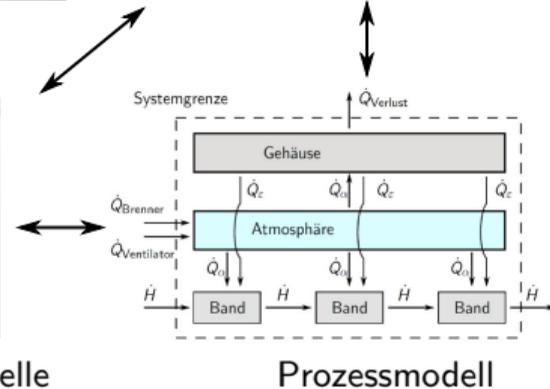
Industrieofen



SPS



Bedienerchnittstelle



Prozessmodell

<sup>2</sup>Wendelstorf, 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

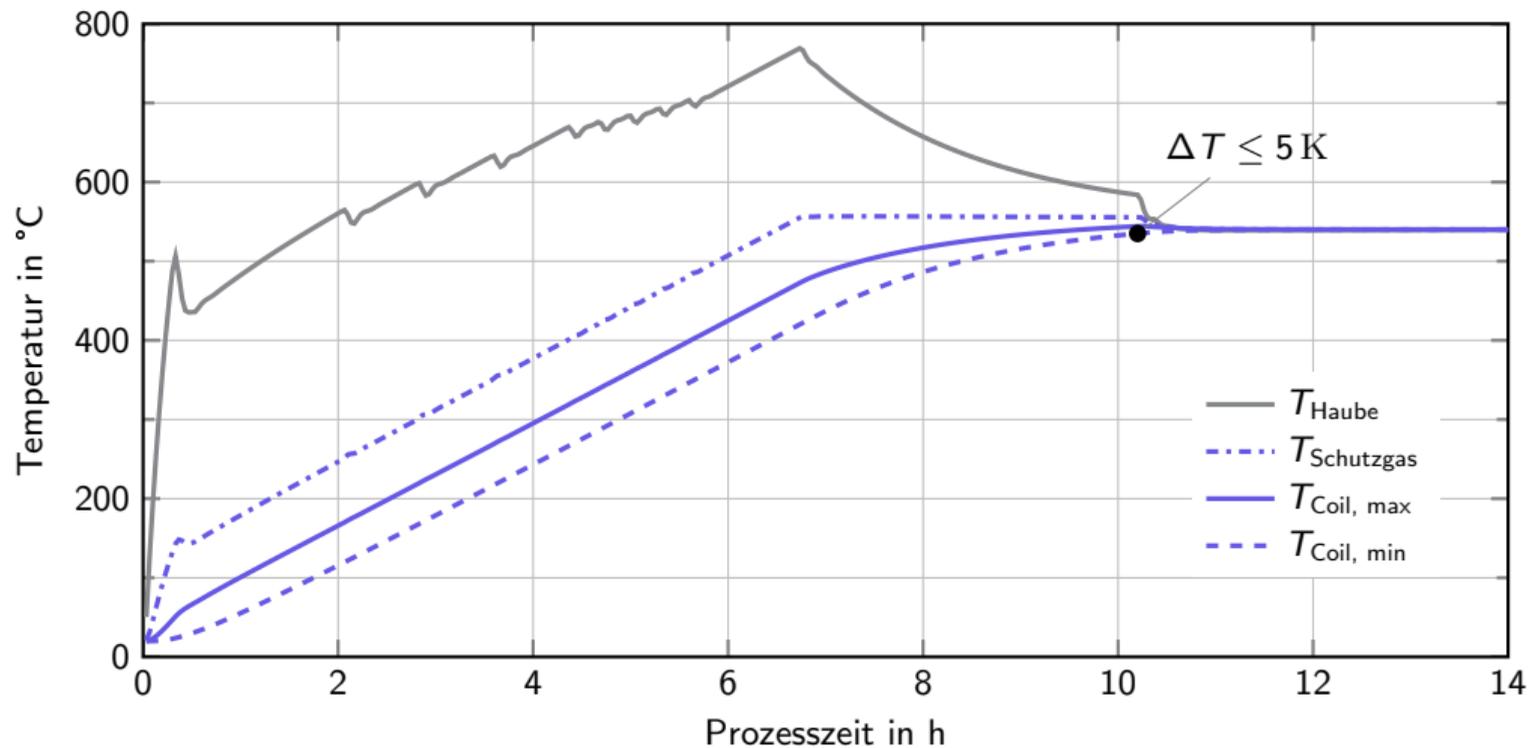


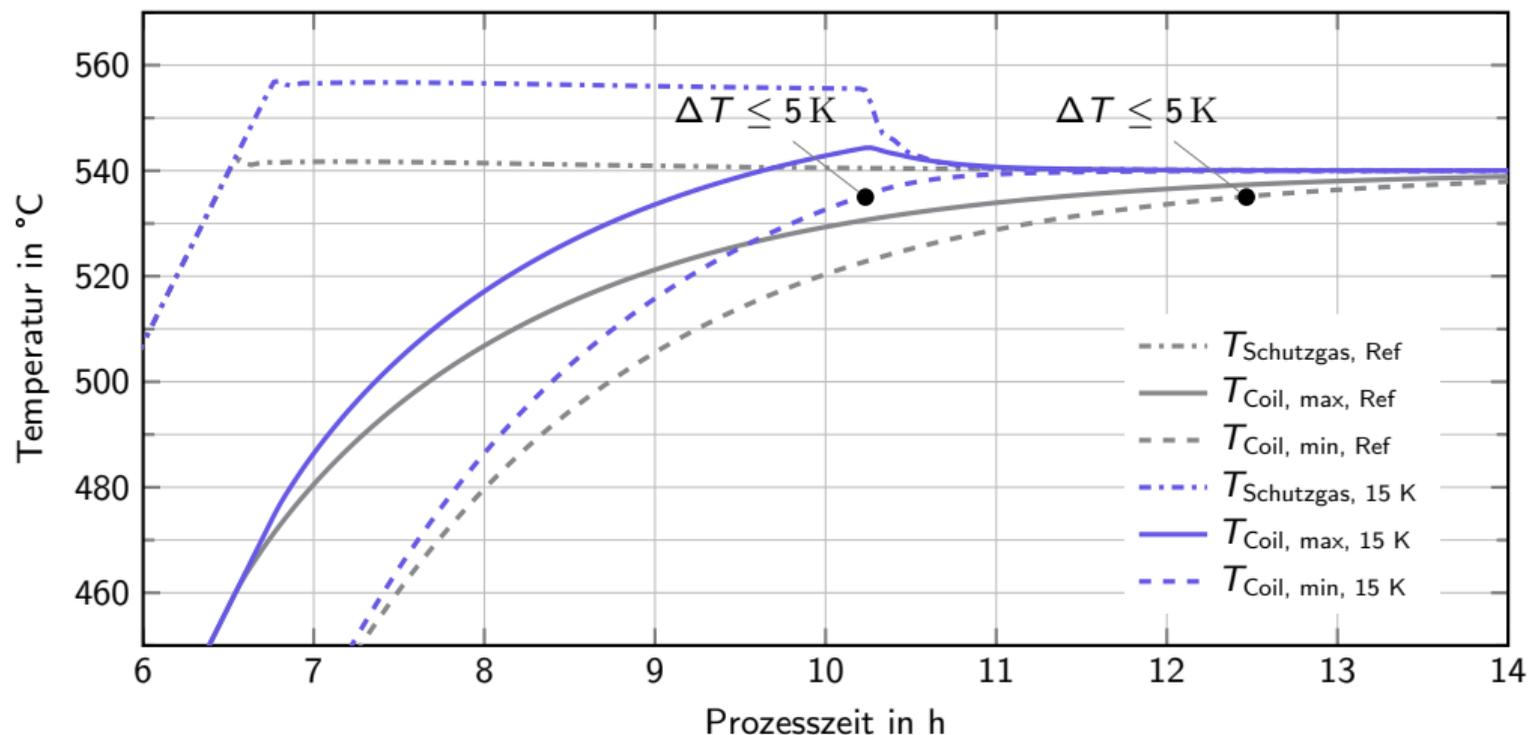
Anlage und Prozess

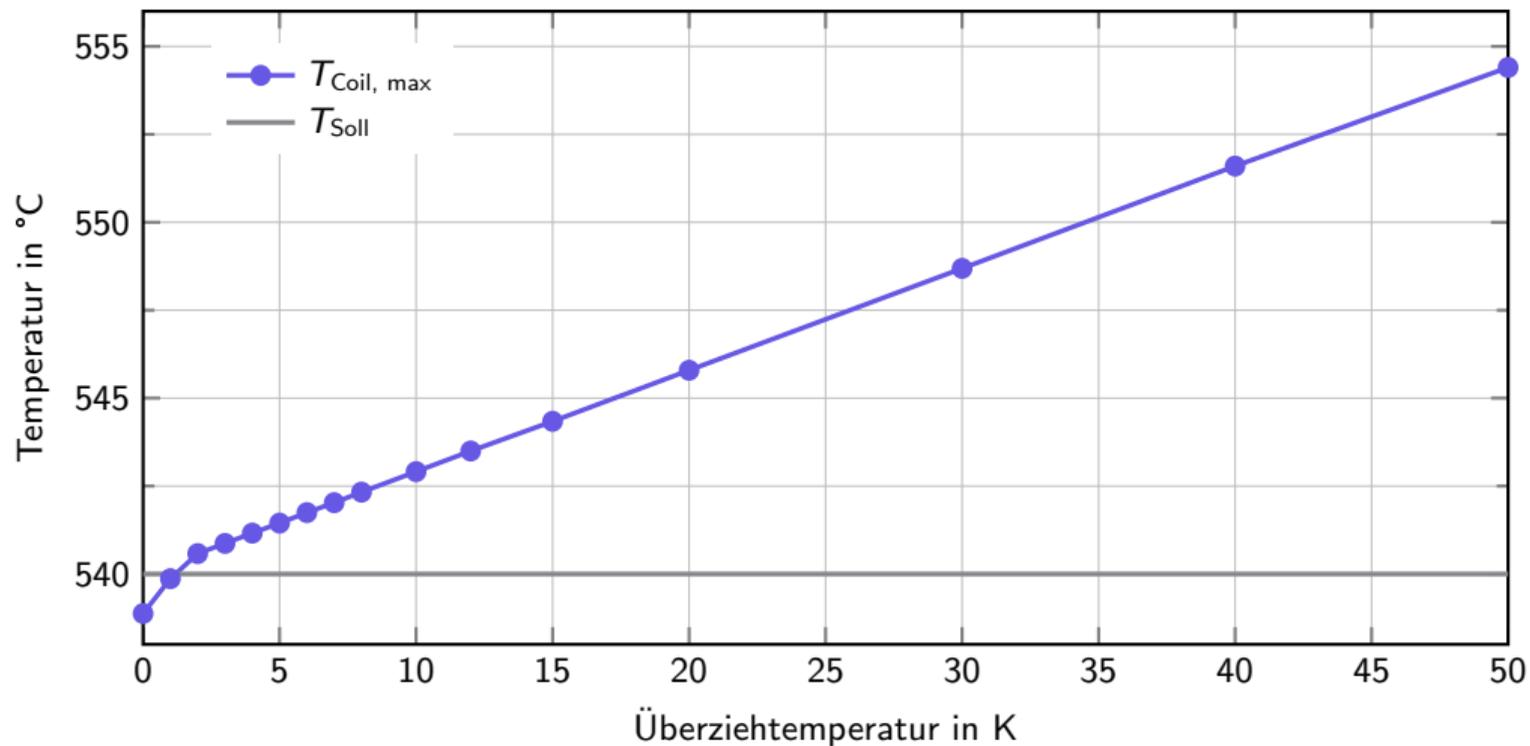
Integriertes Prozessmodell

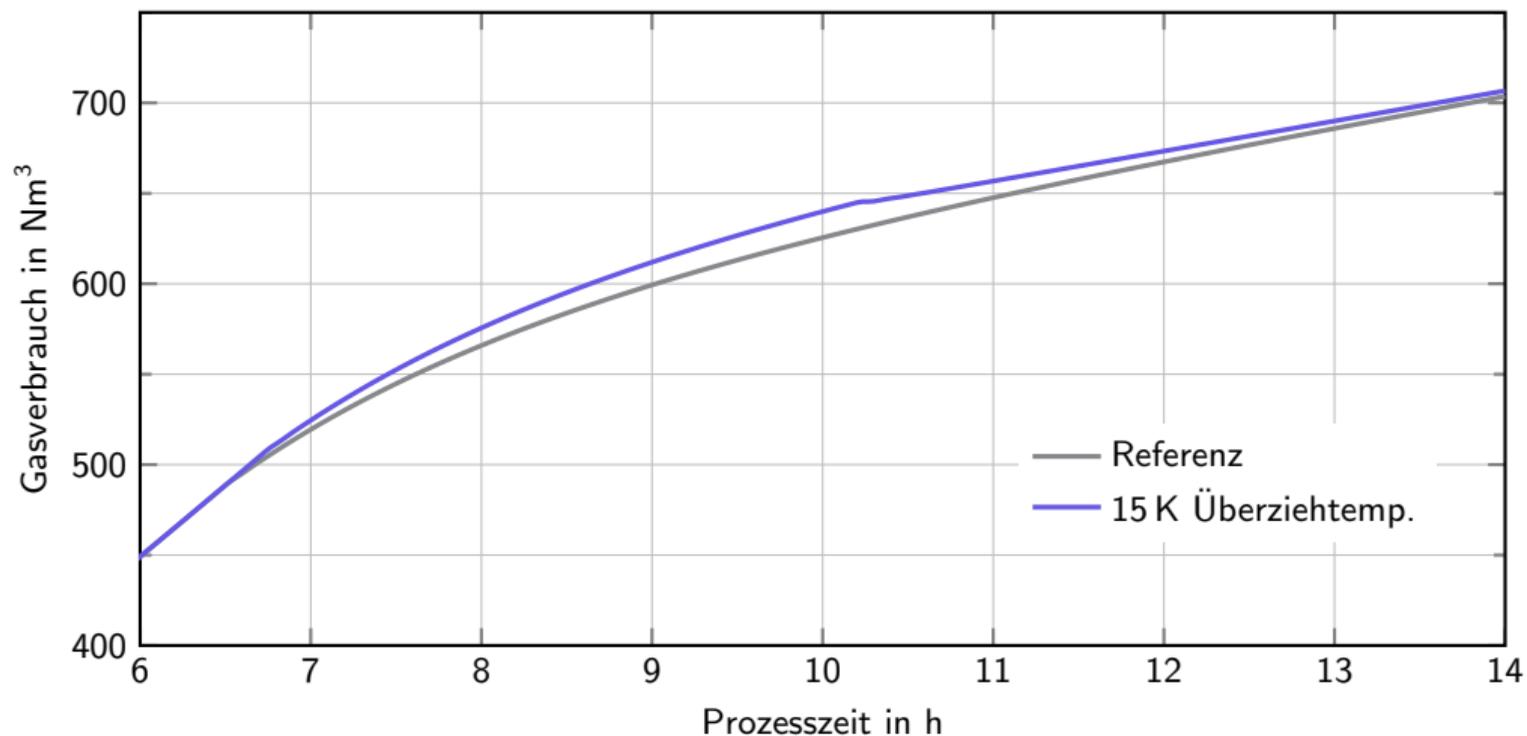
**Regelung auf mittlere Materialtemperatur**

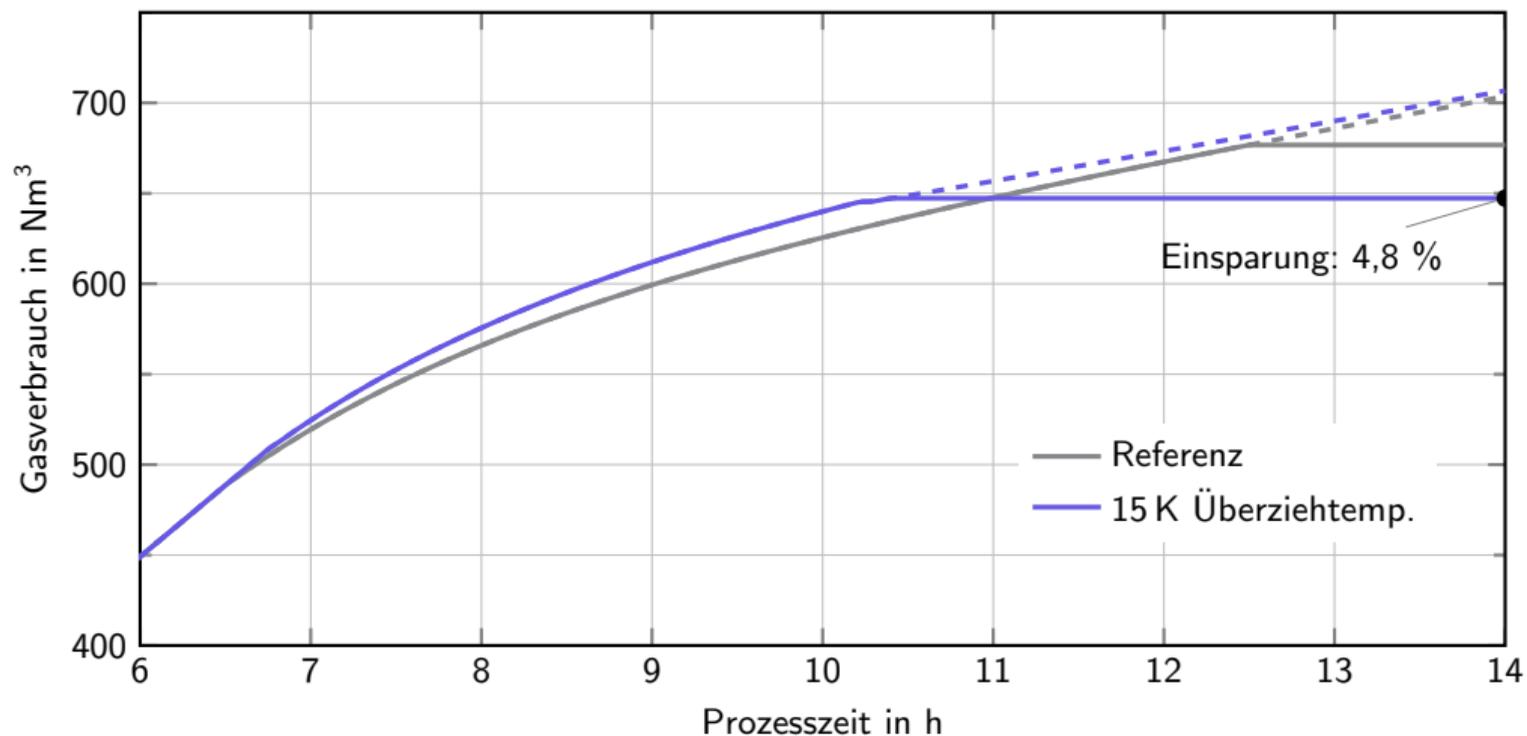
Regelung auf maximale Materialtemperatur

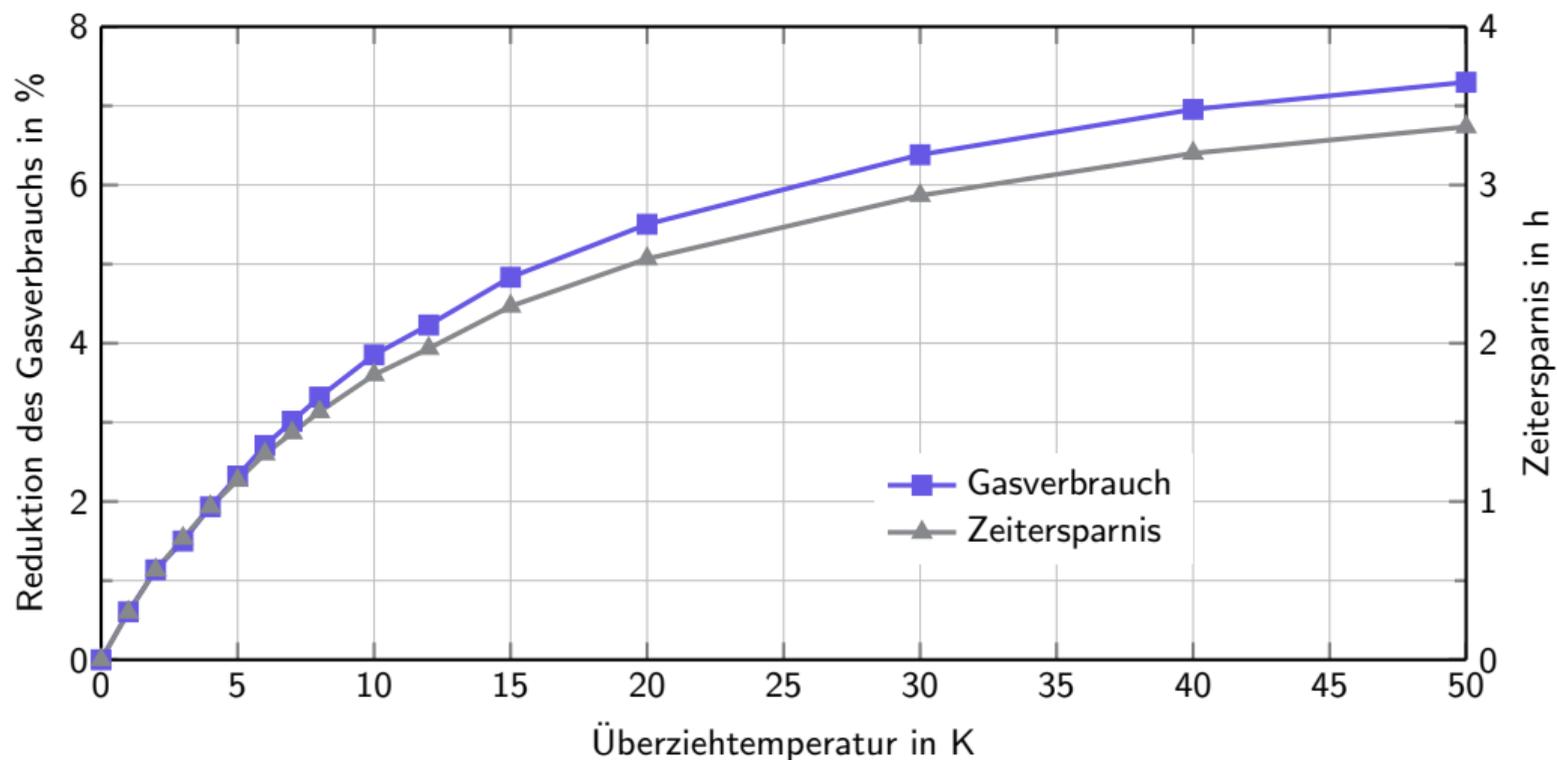










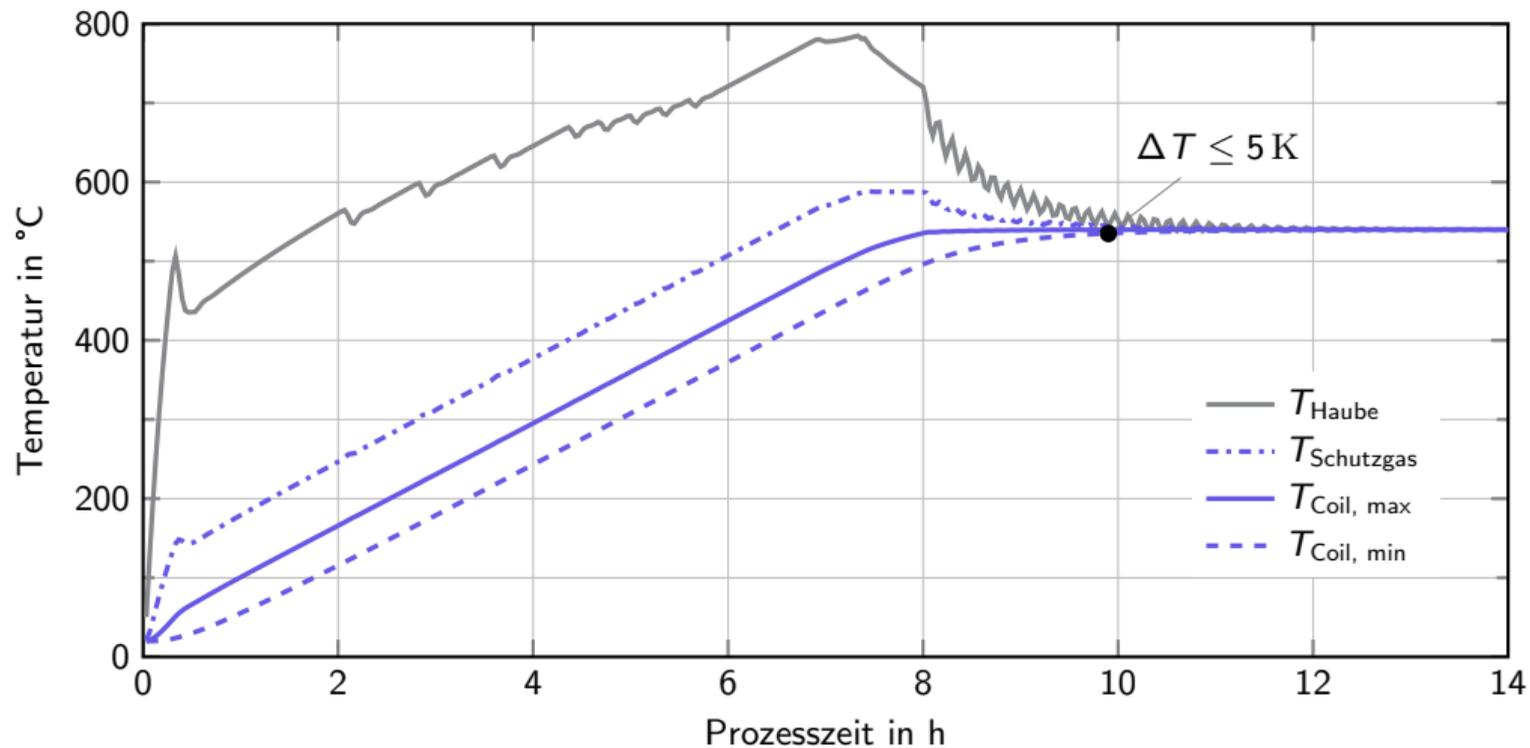


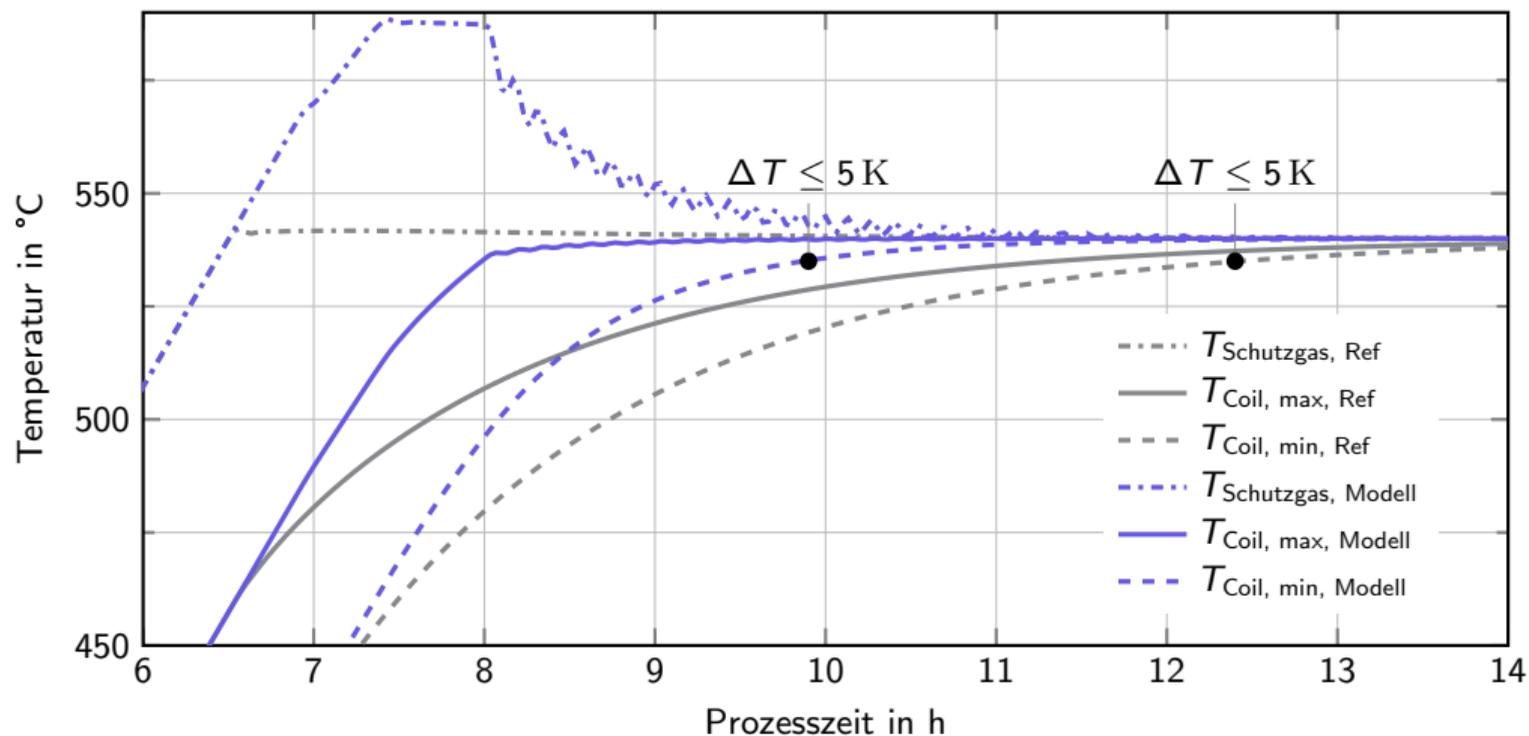
Anlage und Prozess

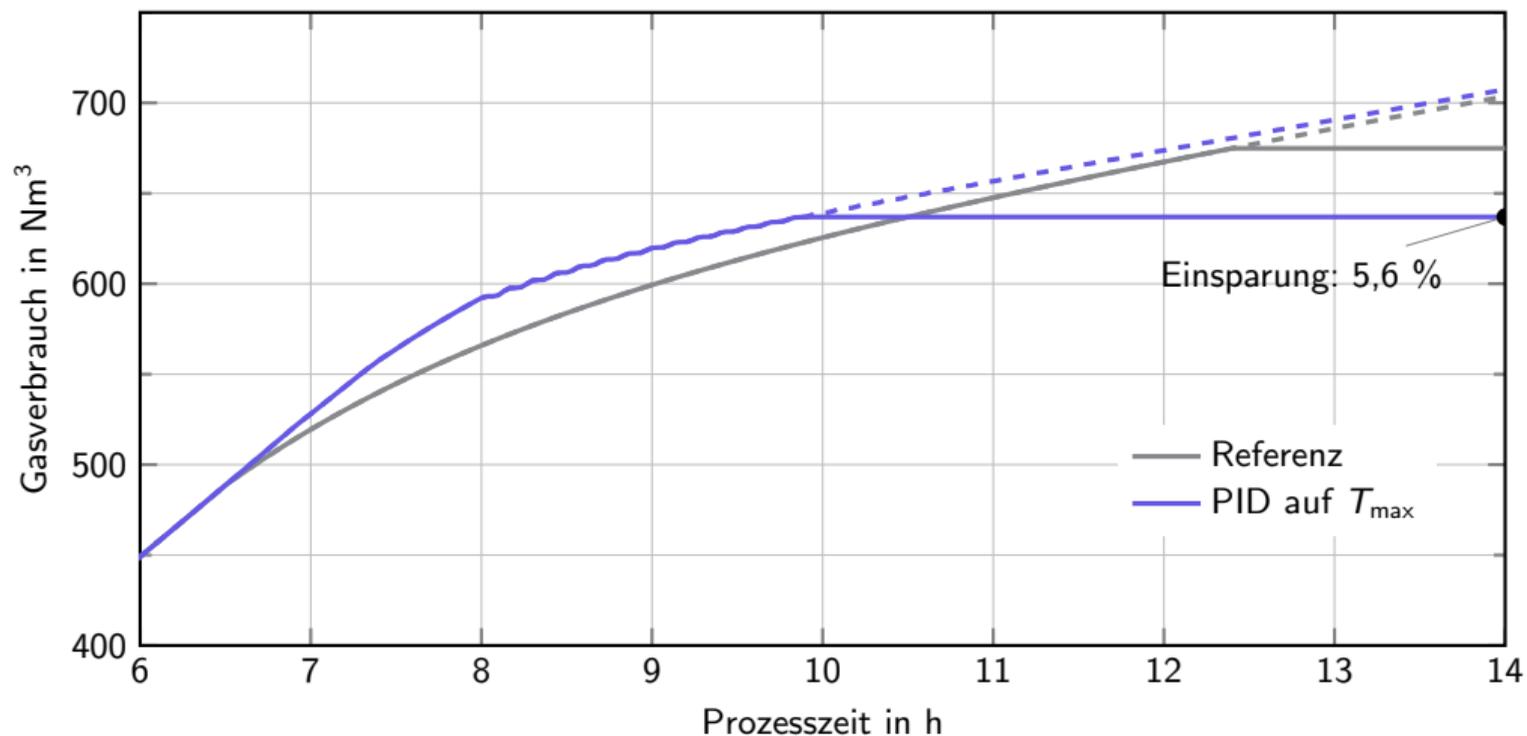
Integriertes Prozessmodell

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 %