



# Maßgeschneiderte Bauteilerwärmung für die Warmumformung durch direkte Flammenbeaufschlagung

S. Thie, C. Schwotzer, H. Pfeifer  
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik  
RWTH Aachen University

**2. Aachener Ofenbau- und  
Thermoprocess-Kolloquium  
10. und 11. Oktober 2019**

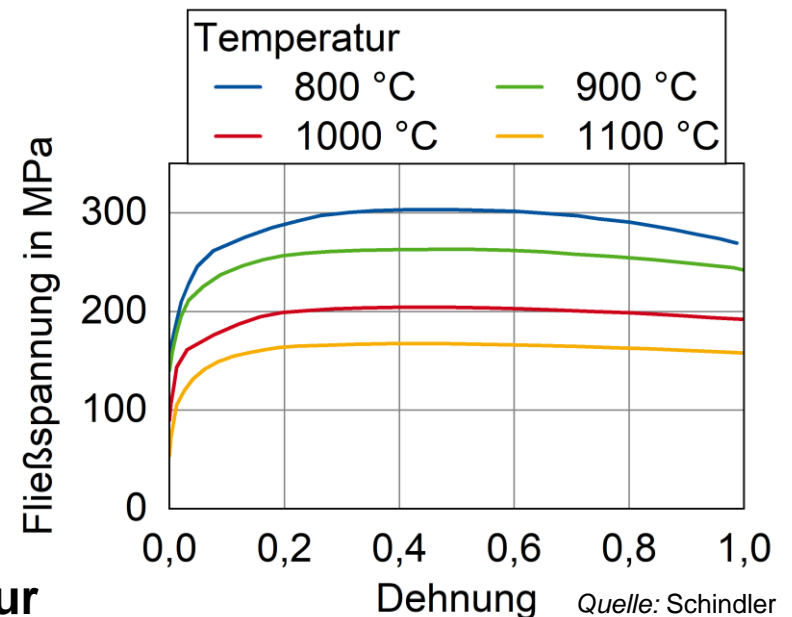


Institut für  
Industrieofenbau  
und Wärmetechnik

**RWTHAACHEN  
UNIVERSITY**

## Massivumformung

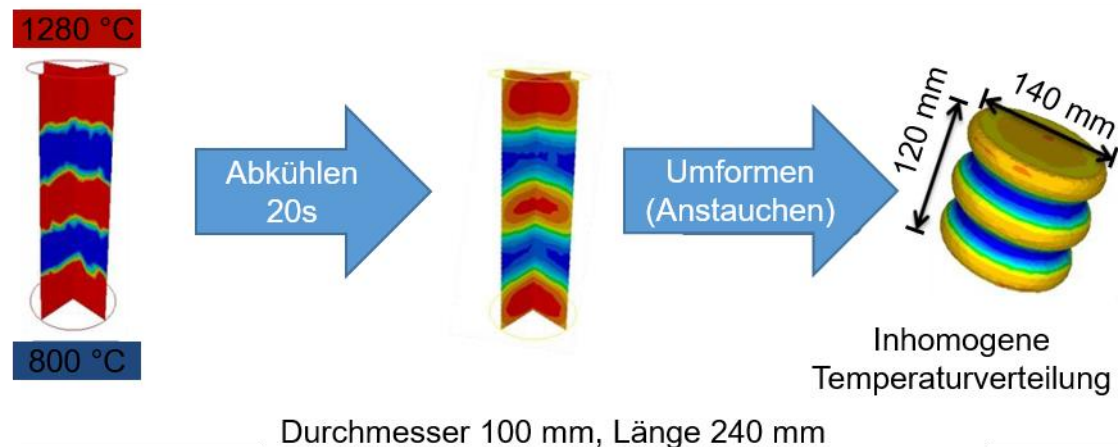
- Einfluss der Temperatur
  - Mit steigender Temperatur sinkt die Festigkeit/Fließspannung
    - Wanderung von gleitfähigen Versetzungen thermisch aktivierbar
  - Formänderungsvermögen steigt ab einer Temperaturgrenze (materialabhängig) an
    - aufgrund von Erholungs- und Rekristallisationsvorgängen
- **Warmumformung** ca. 1100 – 1300 °C
  - Geringer Kraft- und Energiebedarf für die Umformung
  - Sehr großes Umformvermögen der Werkstoffe
- **Halbwarmumformung** ca. 600 – 950 °C
  - Geringe Zunderbildung
  - Bessere Oberflächenqualität als bei Warmumformung
  - Höhere Form- und Maßgenauigkeit als bei Warmumformung
- **Kaltumformung** ca. Raumtemperatur



## Massivumformung

### Inhomogene Erwärmung der Bauteile

- gezielte zonenweise Erwärmung kann zur Erstellung von Vorformen eingesetzt werden
- Maßgeschneiderte Fließspannung für besseres Fließverhalten im Gesenk



Quelle: IMU-Studie 42

## Experimentelle Untersuchungen

- Bauteilerwärmung mittels

- Induktion
- Konduktion
- Direct Flame Impingement (DFI)

- Werkstoffe

- 1.7225 (42CrMo4)
- 1.0503 (C45)
- 1.4301

- Bauteilgeometrien

- Rundstab      – Durchmesser:      20 mm,      50 mm,      80 mm,      100 mm
- Vierkant      – Kantenlänge:                     80 mm,      100 mm

Beispiel: Rundstab mit fünf Temperaturbereichen

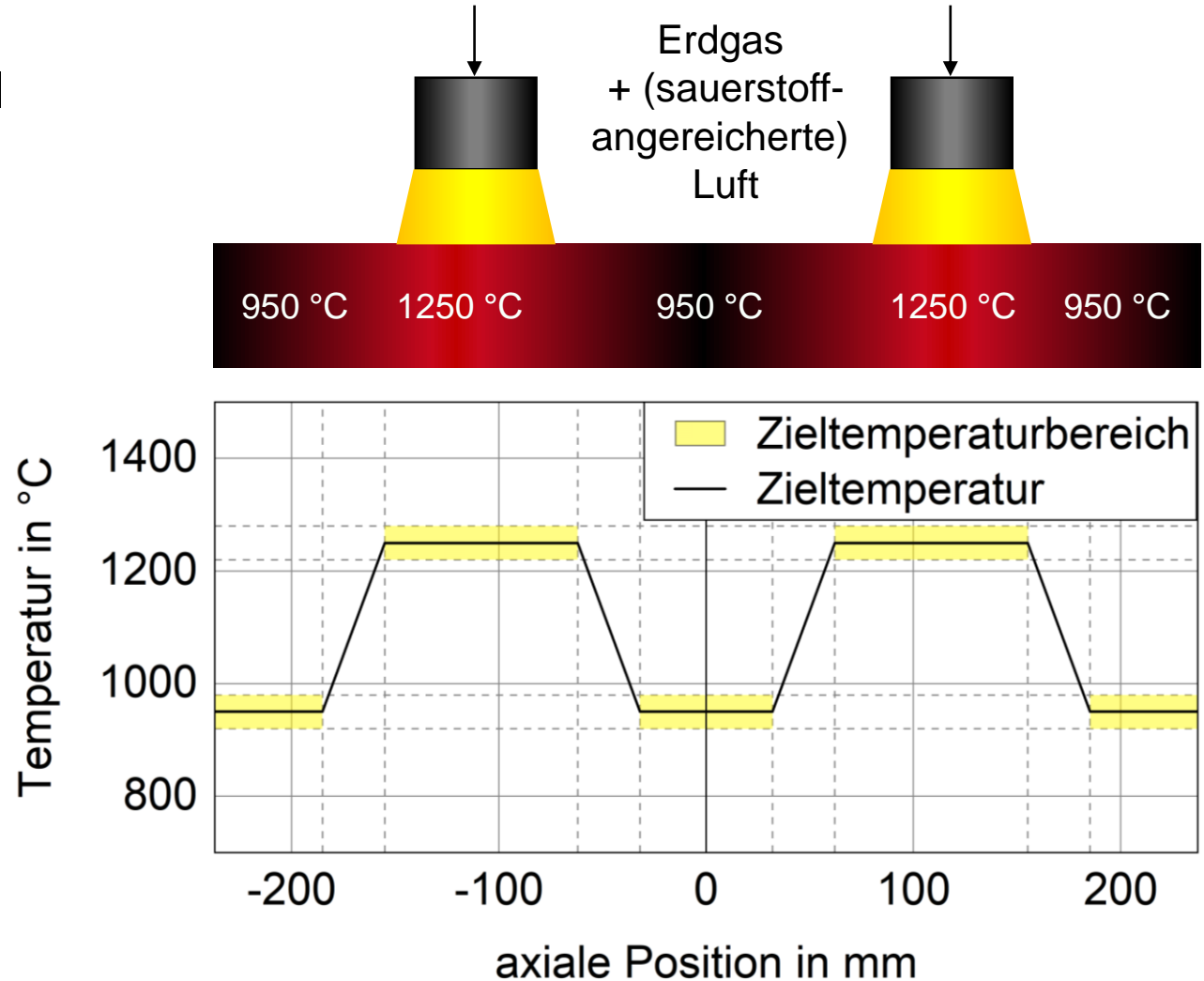


## Numerische Untersuchungen

- Zieltemperaturprofil mit drei Zonen im Bereich der **Halbwarmumformung** (SHF) bei 950 °C und zwei Zonen im Bereich der **Warmumformung** (HF) bei 1250 °C
  - Maximale **Temperaturgradienten** zwischen den Temperaturzonen in axiale Richtung
  - **Kerndurchwärmung** der Probe
- Optimierung des Erwärmungsverfahrens
  - **Überhitzung** an der Probenoberfläche vermeiden
  - **Förderzeit** berücksichtigen
- Ermittlung der zeitlichen und lokalen Verteilung der **Fließspannung** auf Basis des erzielten Temperaturprofils
- Auswirkungen der Variation von **Erwärmungsparametern**

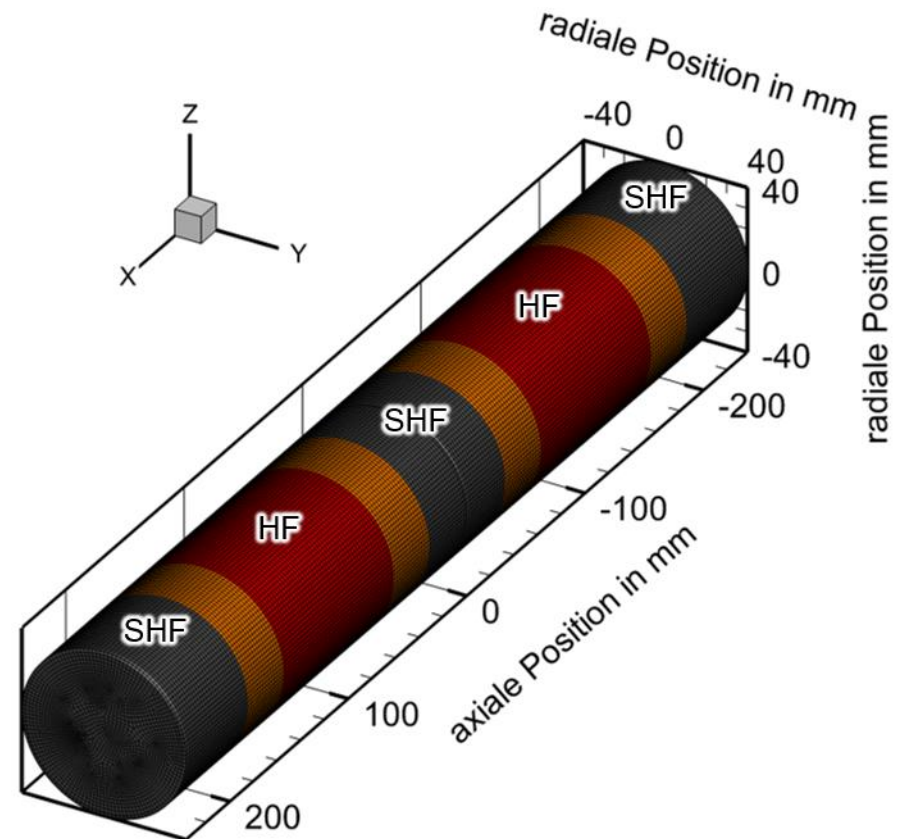
## Zieltemperaturprofil

- Direct Flame Impingement (DFI)
- Zieltemperatur  $\pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$  (86 °F)
- Zwei Zonen im Bereich der Warmumformung (HF)
- Drei Zonen im Bereich der Halb-Warmumformung (SHF)



## Randbedingungen

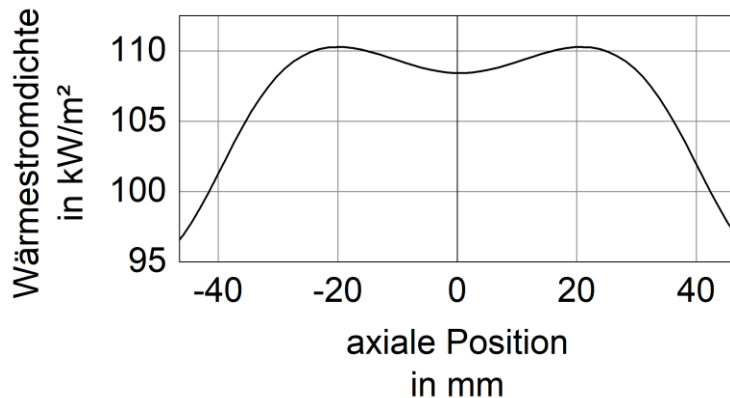
- Geometrie
  - Durchmesser: 80 mm
  - Länge: 474 mm
- Netz
  - Symmetrie
  - 300,000 Zellen
  - Gitterweite: 2 mm
  - orthogonale Qualität: 0,37
- Wärmestromdichte
  - Brenner erwärmen „HF“-Zone (Wärmeeintrag)
  - Randbedingungen an „SHF“-Zonen variabel (Wärmeverluste)



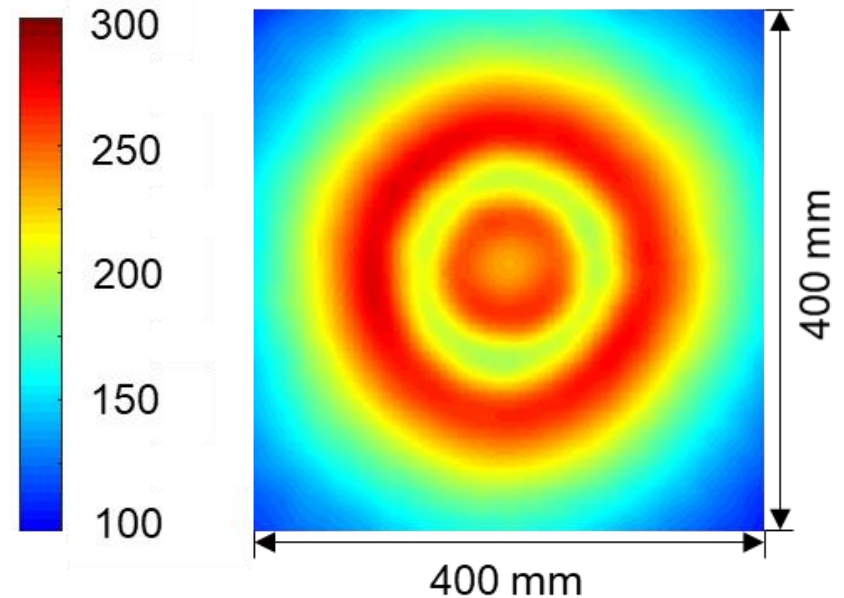
## Abschätzung der Wärmestromdichte

Erste Annäherung für Hochgeschwindigkeitsbrenner über das Wärmeübergangprofil einer Kaltluftdüse auf eine ebene Platte

- $h_{\text{Abstand}} = 50 \text{ mm}$
- $d_{\text{Düse}} = 30 \text{ mm}$
- $v_{\text{Luft}} = 90 \text{ m/s}$

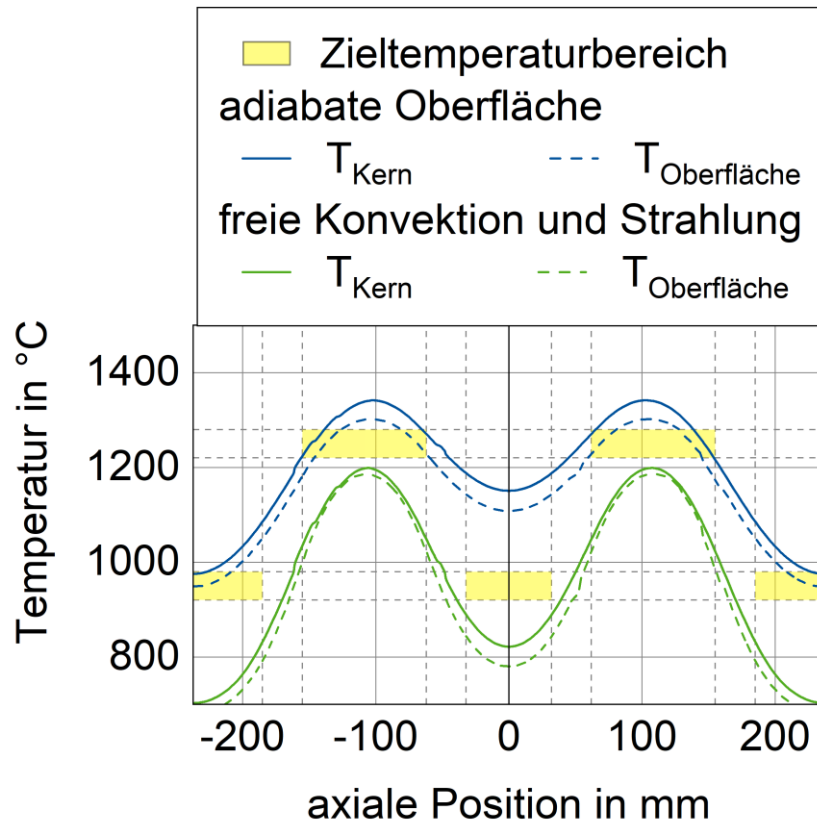


Wärmeübergangskoeffizient in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$





## Variation der Wärmeverluste



Rundstab

Werkstoff

C45 (1.0503)

Durchmesser

80 mm

Brenneranzahl

3

Brenndauer

30 min

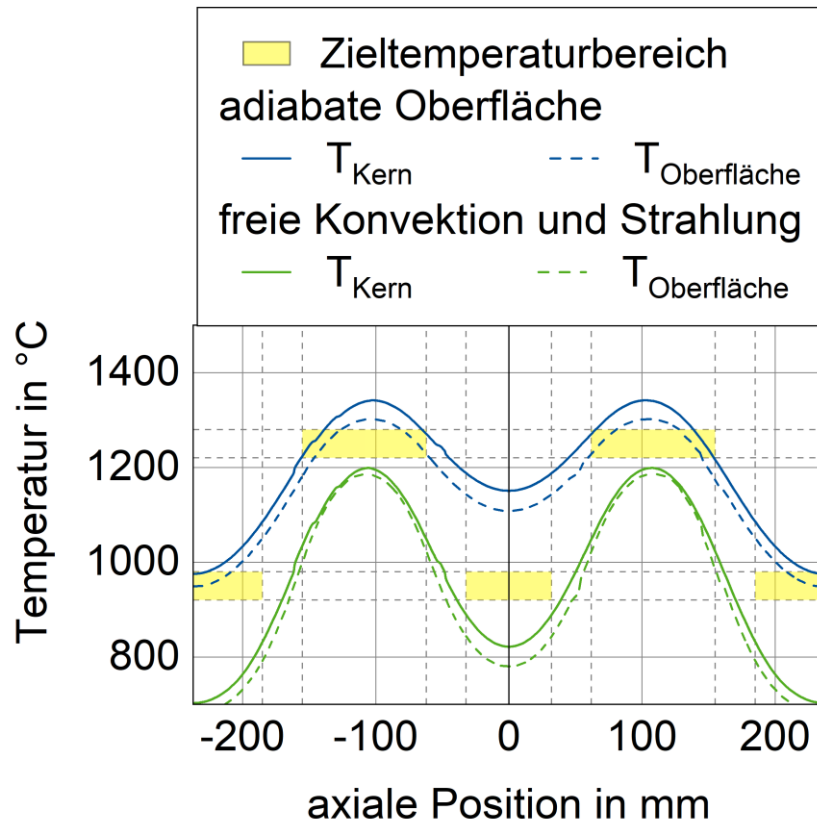
Brennerleistung

60 kW

$T_{\text{start}}$

27 °C

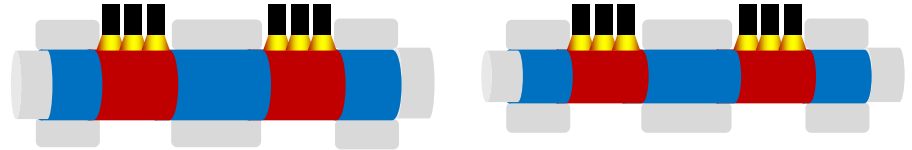
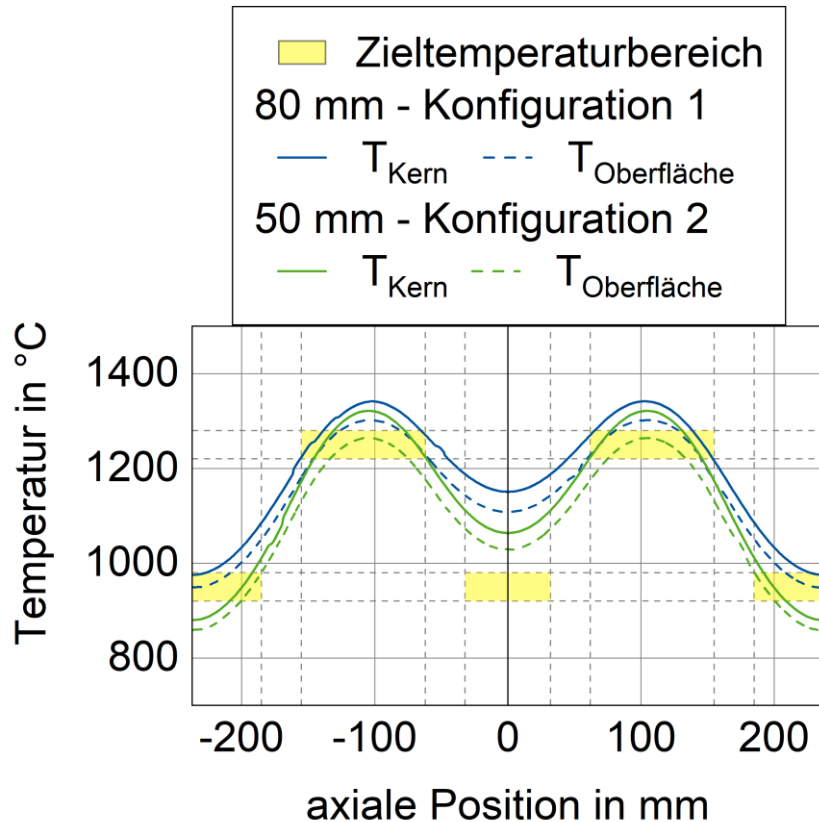
## Variation der Wärmeverluste



### Ergebnisse:

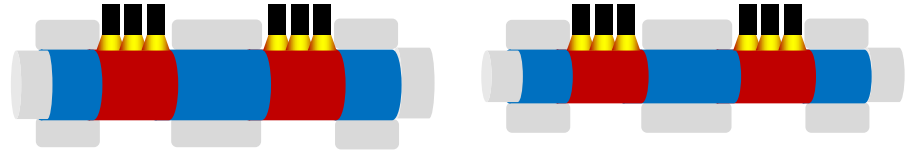
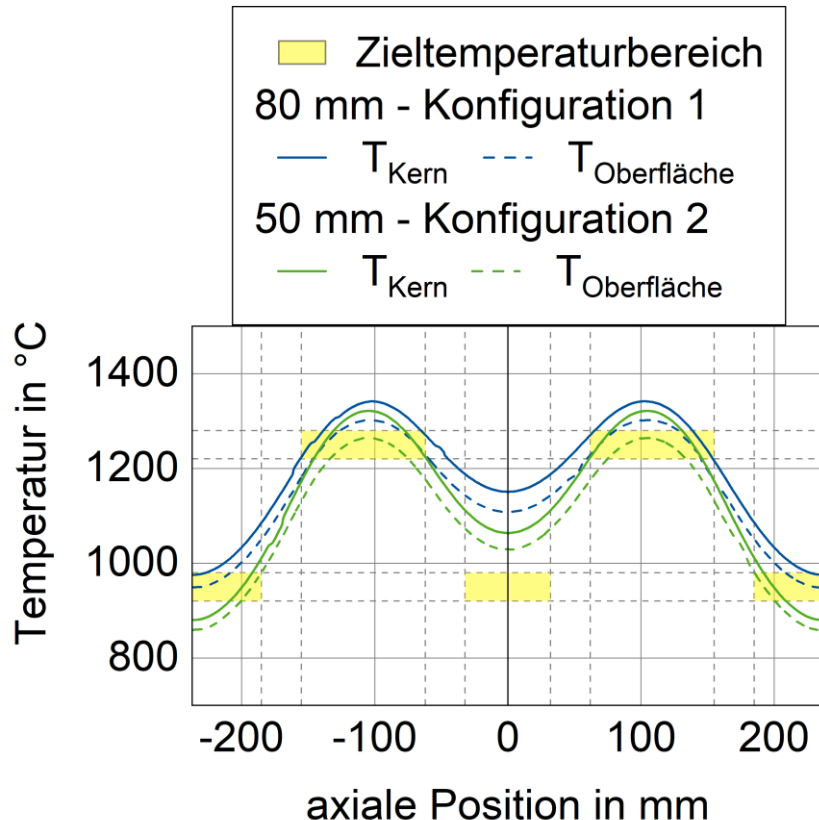
- Adiabate Randbedingung:
  - Zu hohe Temperatur im Bereich der Stabmitte
  - Zieltemperatur im äußeren Bereich (teilweise) erreicht
- Freie Konvektion und Strahlung
  - Die Temperaturen in der gesamten Probe sind zu niedrig
  - Die Brenndauer muss erhöht werden
  - Geringe Temperaturunterschiede zwischen Rand und Kern der Probe

## Durchmesser des Rundstabes



Rundstab		
Werkstoff	C45 (1.0503)	
Durchmesser	80 mm	50 mm
Brenneranzahl	3	2
Brenndauer	30 min	25 min
Brennerleistung	60 kW	
$T_{\text{start}}$	27 °C	

## Durchmesser des Rundstabes

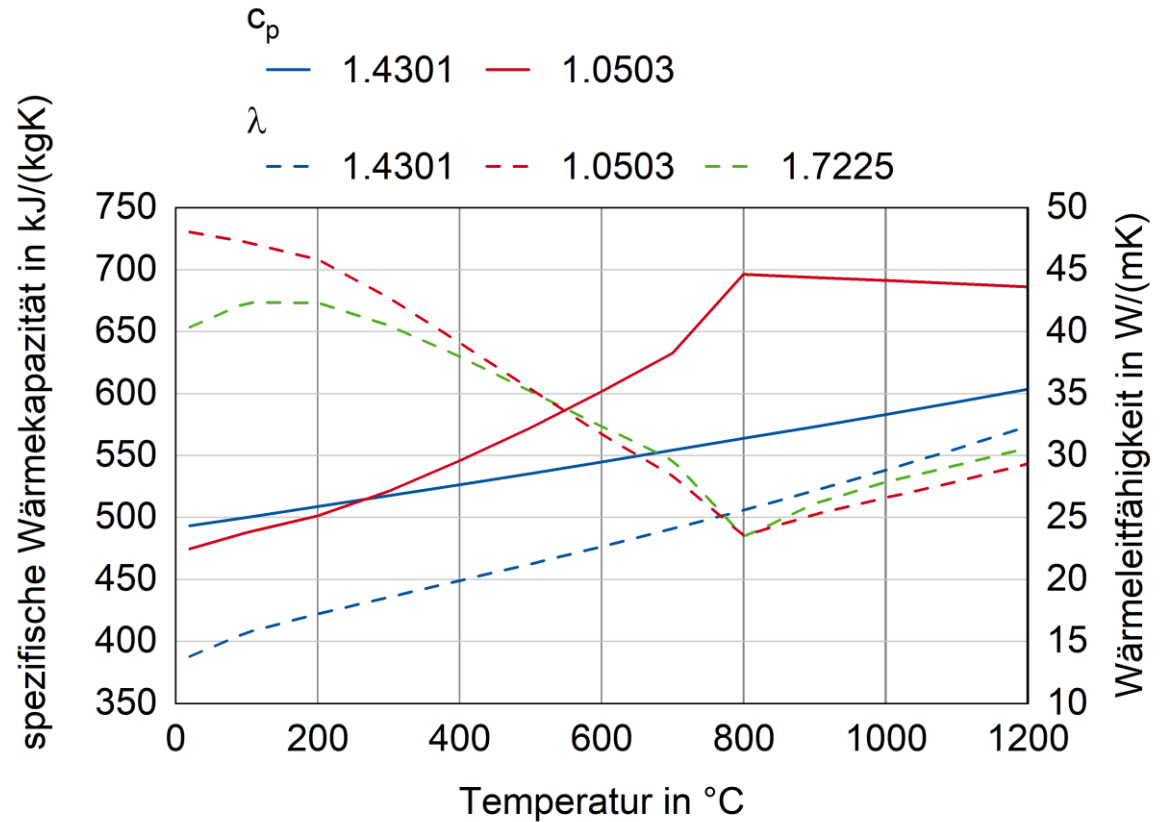


### Ergebnisse:

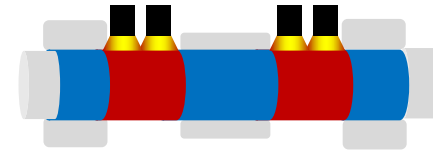
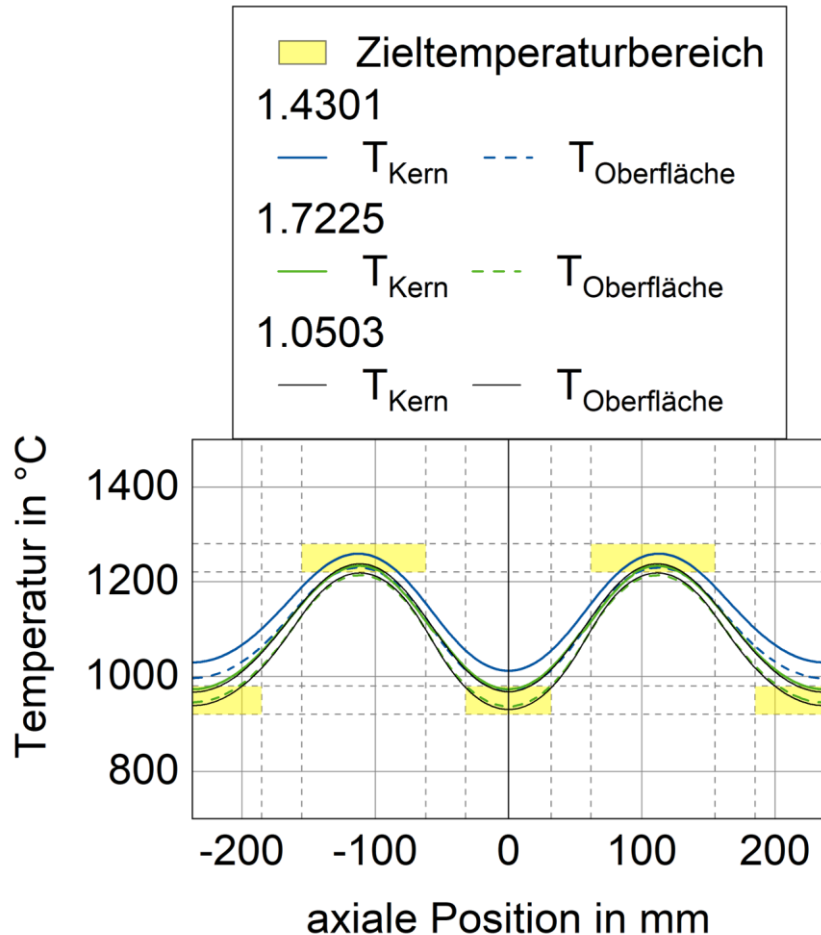
- Temperatur in der Stabmitte zu hoch
- 50 mm
  - Es werden höhere Temperaturgradienten erreicht
  - Kleinere Temperaturunterschiede zwischen Kern und Oberfläche für SHF
- 80 mm
  - Gleichmäßige Temperaturunterschiede zwischen Kern und Oberfläche über die Stablänge

## Werkstoff des Rundstabes

- Edelstahl:  
1.4301
- Vergütungsstähle:  
1.0503 (C45)  
1.7225 (42CrMo4)

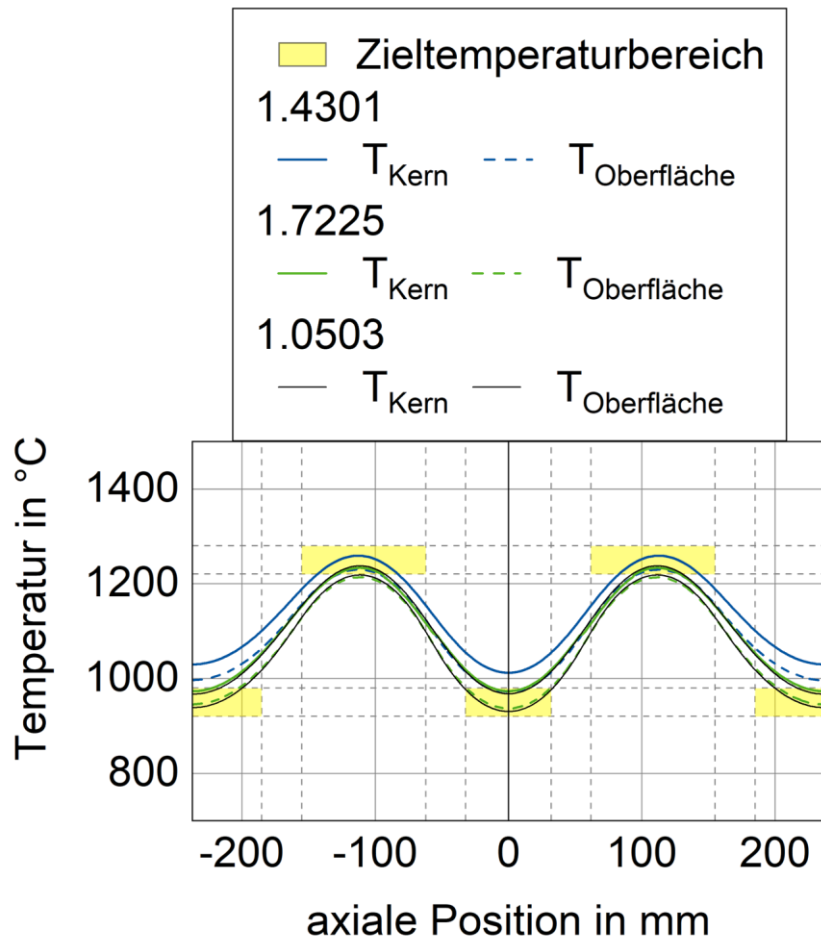


## Werkstoff des Rundstabes



Rundstab	
Werkstoff	diverse
Durchmesser	80 mm
Brenneranzahl	2
Brenndauer	50 min
Brennerleistung	60 kW
$T_{\text{start}}$	27 °C

## Werkstoff des Rundstabes



Ergebnisse:

- Vergütungsstähle zeigen ein ähnliches Temperaturprofil
- Die Temperatur im Edelstahl liegt ein wenig über den Temperaturen der Vergütungsstähle

→ Erwärmungsparameter für 1.7225 auf 1.0503 übertragbar; 1.4301 muss getrennt untersucht werden.

# Zusammenfassung

---

- Numerische Untersuchungen der gezielten Bauteilerwärmung eines Rundstabs mit direkter Flammenbeaufschlagung
- Bis zu drei Brenner werden pro Zone im Warmumformbereich benötigt, um das Zieltemperaturprofil in einem Rundstab mit 80 mm Durchmesser zu erreichen
- Die Wärmeverluste an den Oberflächen müssen gezielt kontrolliert werden, um das Zieltemperaturprofil in allen Bereichen zu erreichen
- Die Temperaturunterschiede zwischen Kern und Oberfläche der Proben liegen innerhalb der Toleranzgrenzen
- 1.7225 and 1.0503 mit gleichen Einstellungen wird das gleiche Temperaturprofil im Bauteil erreicht → experimentell zu validieren
- 1.4301 weist keine großen Unterschiede auf, sollte aber separat betrachtet werden
- Bisherige Simulationen unterschätzen den Wärmeeintrag durch die Brenner



# Vielen Dank Für Ihre Aufmerksamkeit

Stephanie Thie, M.Sc.

Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik  
RWTH Aachen University  
Kopernikusstr. 10, 52074 Aachen  
Email: [thie@iob.rwth-aachen.de](mailto:thie@iob.rwth-aachen.de)  
Tel.: +49 241 80 25939  
[www.iob.rwth-aachen.de](http://www.iob.rwth-aachen.de)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages