

# Entwicklung von strukturierten Rohren zur verbesserten Wärmeübertragung in Rohrbündelrekuperatoren

E. Trampe<sup>1)</sup>, A. Neumann<sup>2)</sup>, D. Brykarczyk<sup>1)</sup>, D. Büschgens<sup>1)</sup>, H. Pfeifer<sup>1)</sup>

1) Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik, RWTH Aachen University

2) Fachgebiet Hybride Fertigung, Brandenburgische Technische Universität

**4. Aachener Ofenbau- und  
Thermoprozess-Kolloquium**  
17. und 18. Oktober 2023



Institut für  
Industrieofenbau  
und Wärmetechnik

**RWTHAACHEN  
UNIVERSITY**

# Forschungsvorhaben - Rahmendaten

---

- Förderung: Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand
- Projektlaufzeit: 01.02.2021 bis 30.09.2023
- Projektpartner: Hülsenbusch Apparatebau GmbH und Co. KG, Kempen  
TPC GmbH, Haiger  
Fachgebiet Hybride Fertigung, BTU Cottbus Senftenberg  
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik, RWTH Aachen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Steigerung der Energieeffizienz von Industrieöfen mit Rekuperatoren

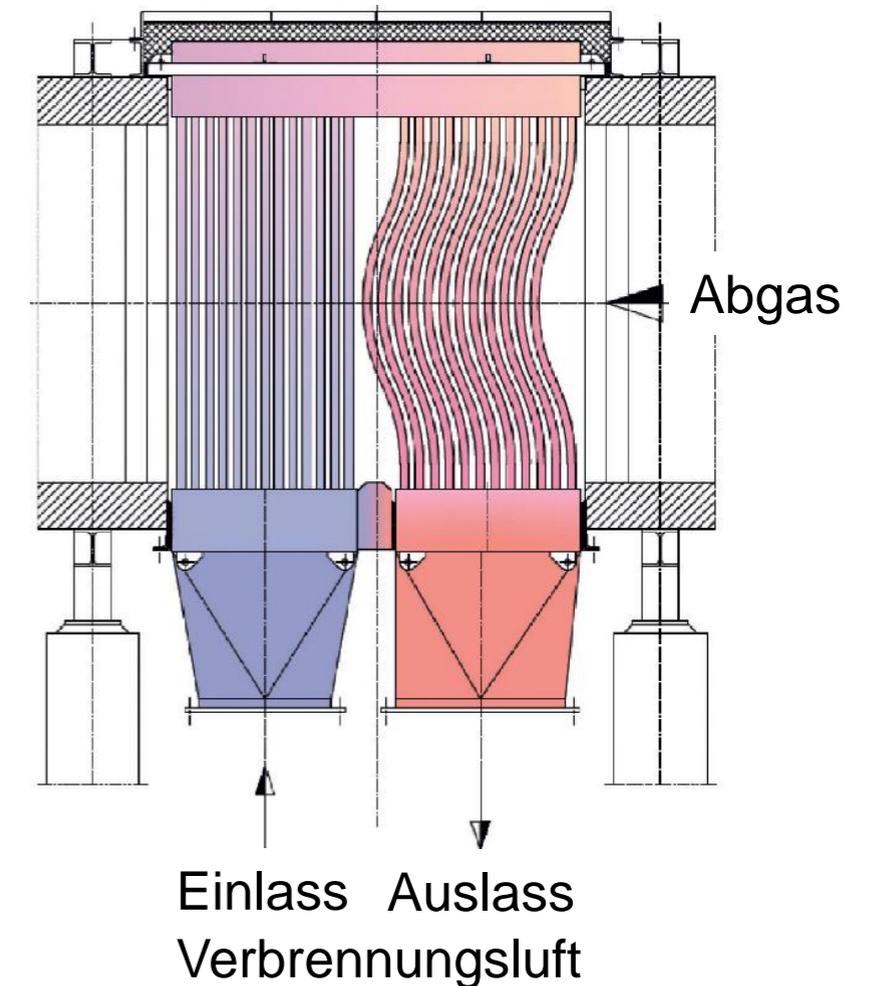
Verbesserung des Wirkungsgrads von Rekuperatoren durch strukturierte Rohre

Lösungsansätze

- Vergrößerte Rohroberfläche
- Erhöhung des Turbulenzgrades der Rohrströmung

Technische Umsetzung

- Entwicklung eines Umformwerkzeuges
- Bestimmung von Umformlimitationen
- Untersuchung der Wärmeübergangsphänomene



# Entwicklung eines Umformwerkzeuges

## Projektstart

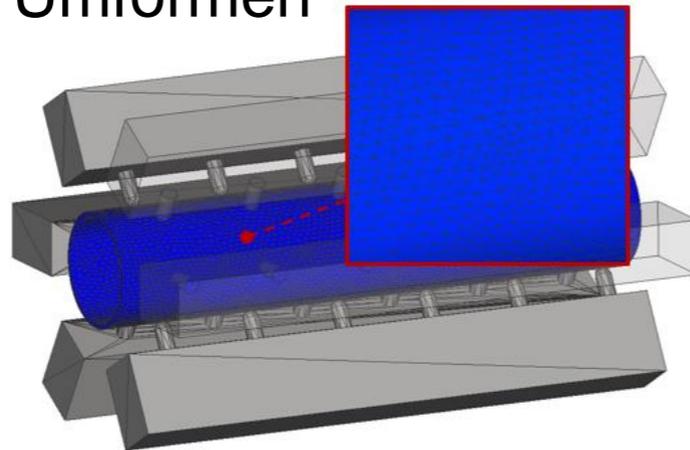
### Herausforderungen

- Wirtschaftliches Einbringen einer Strukturierung
- Beibehaltung der strukturellen Integrität
- Wanddickenabnahme von maximal 50 %

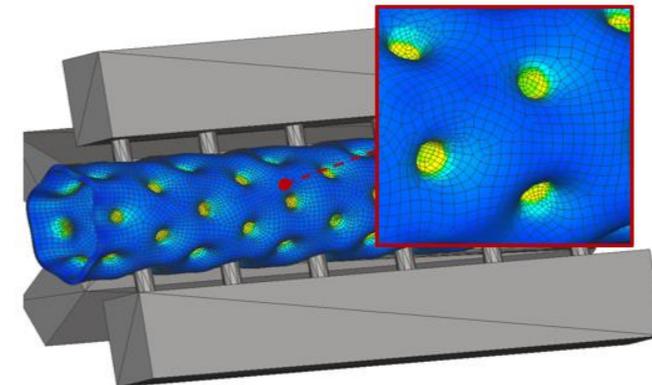
### Ausgangssituation

- Rohrgeometrie:  $d = 42,4 \text{ mm}$   
 $s = 2,0 \text{ mm}$
- Werkstoff 1.4841

Vor dem Umformen

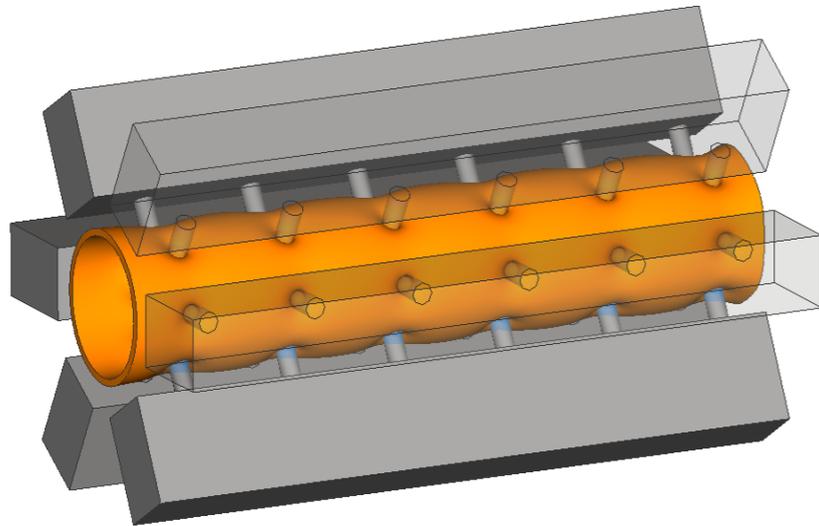


Nach dem Umformen

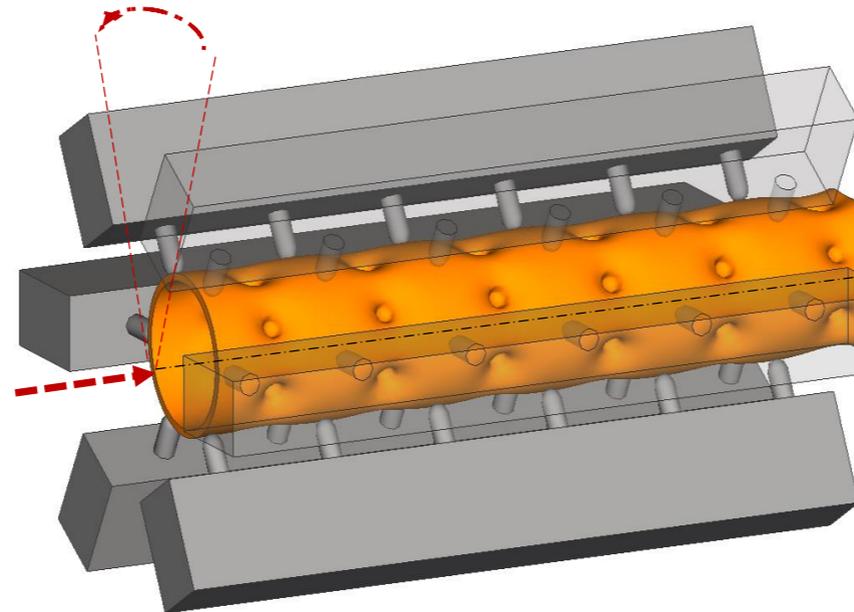


## Zweistufiger Umformprozess

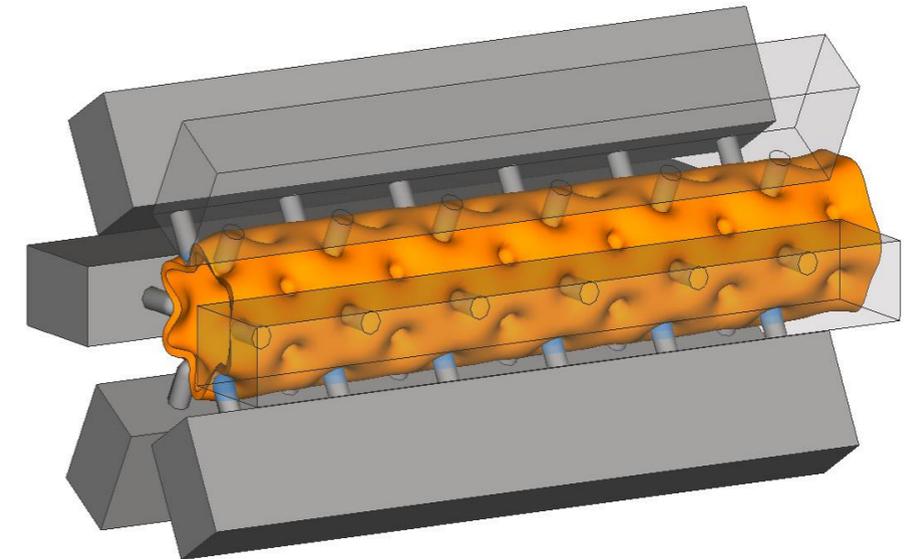
Schritt 1:  
Strukturierung



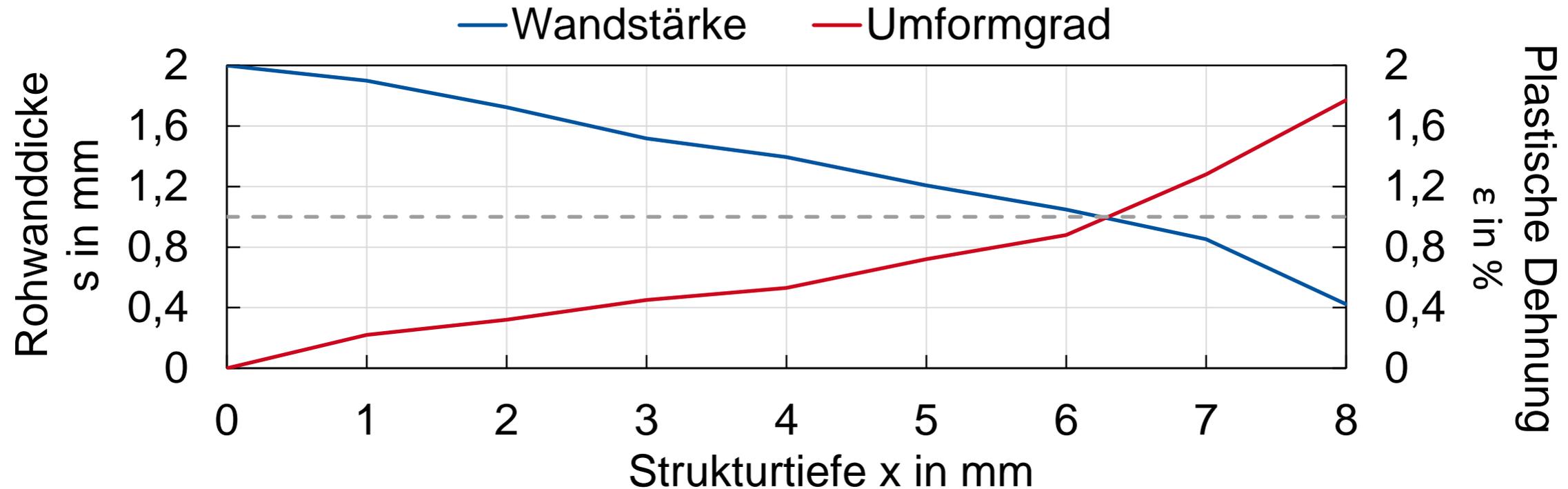
Schritt 2:  
Rotation, Vorschub



Wiederholung Schritt 1+2



## Numerische Bestimmung der Umformtiefe mit Simufact Forming



- Rohrwanddicke nimmt mit zunehmender Verformung ab
- Plastische Dehnung steigt mit zunehmender Verformung
- Maximal zulässige Umformung  $x = 6$  mm

# Entwicklung eines Umformwerkzeuges

## Experimentelle Validierung der Umformtiefe

### Fertigung eines Werkzeugaufbaus

- 6 Stempelwerkzeuge
- Stempelkraft von bis zu  $F = 50 \text{ kN}$

### Zweistufige Umformung

- Schritt 1: Strukturierung
- Schritt 2: Rotation, Vorschub

### Ergebnis

- Maximale Strukturtiefe von  $x = 5,3 - 5,6 \text{ mm}$
- Abweichung zur Simulation durch abrasiven Verschleiß
- Beibehaltung der Bauteilintegrität



# Untersuchung des Wärmeübergangs

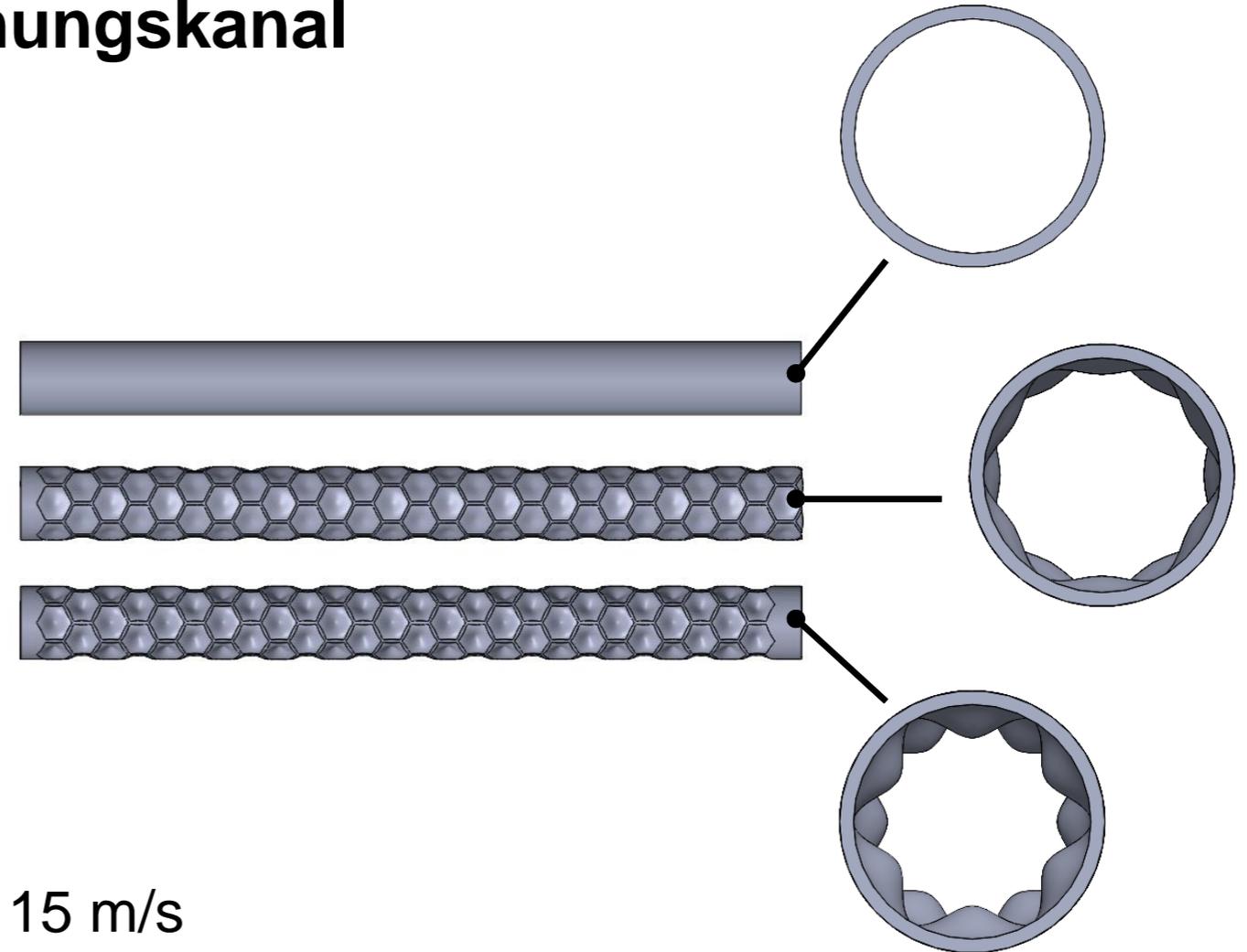
## Untersuchungsbedingungen im Strömungskanal

### Rohrgeometrien

- Unstrukturiert
- Strukturiert konkav 3 mm
- Strukturiert konkav 6 mm

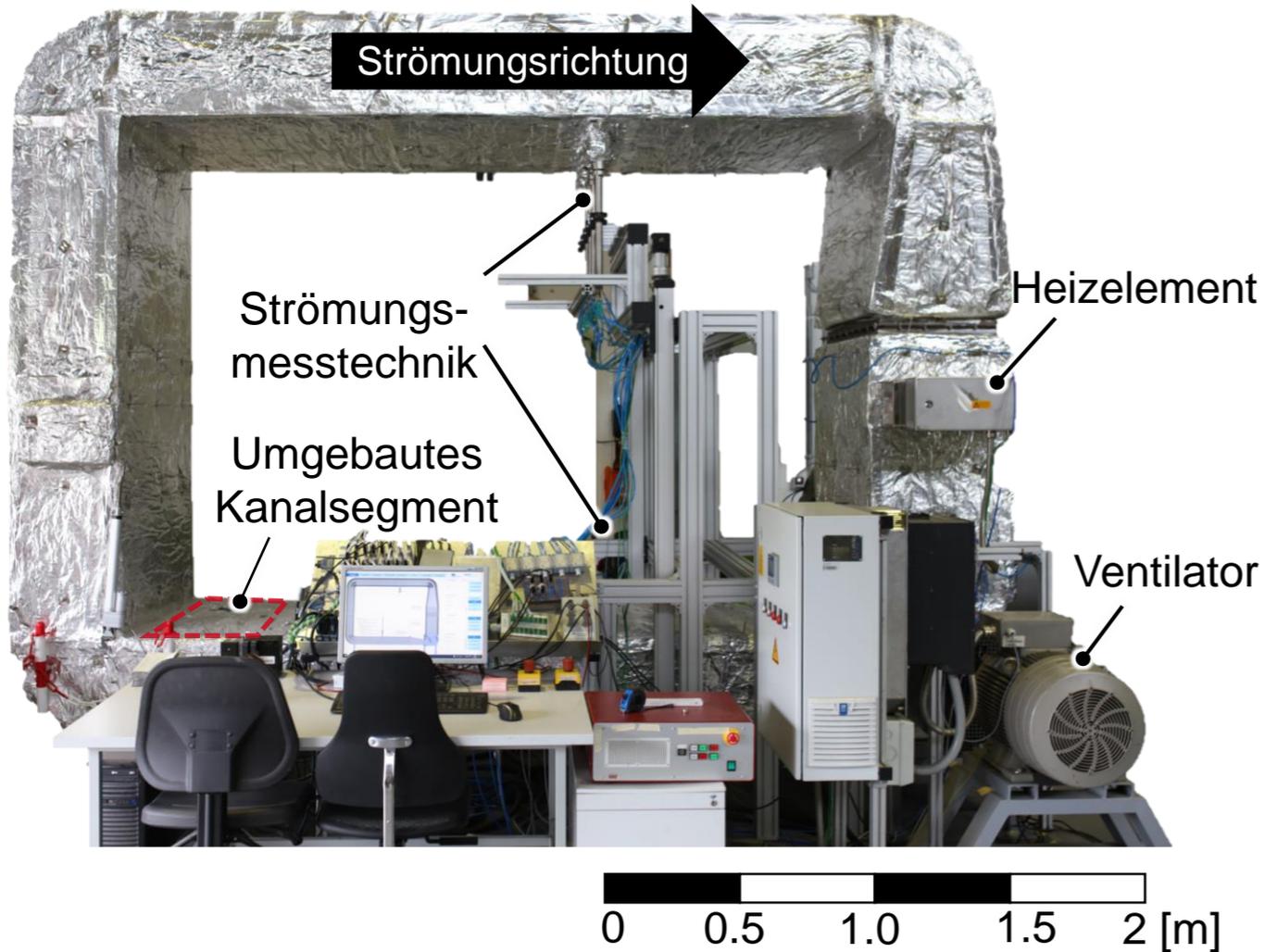
### Randbedingungen

- Abgastemperatur  $T_{\text{Abgas}} = 400 \text{ °C}$
- Abgasgeschwindigkeit  $u_{\text{Abgas}} = 5 \text{ m/s}$
- Verbrennungslufttemperatur  $T_{\text{Luft}} = 25 \text{ °C}$
- Verbrennungsluftgeschwindigkeit  $u_{\text{Luft}} = 5 \text{ bis } 15 \text{ m/s}$

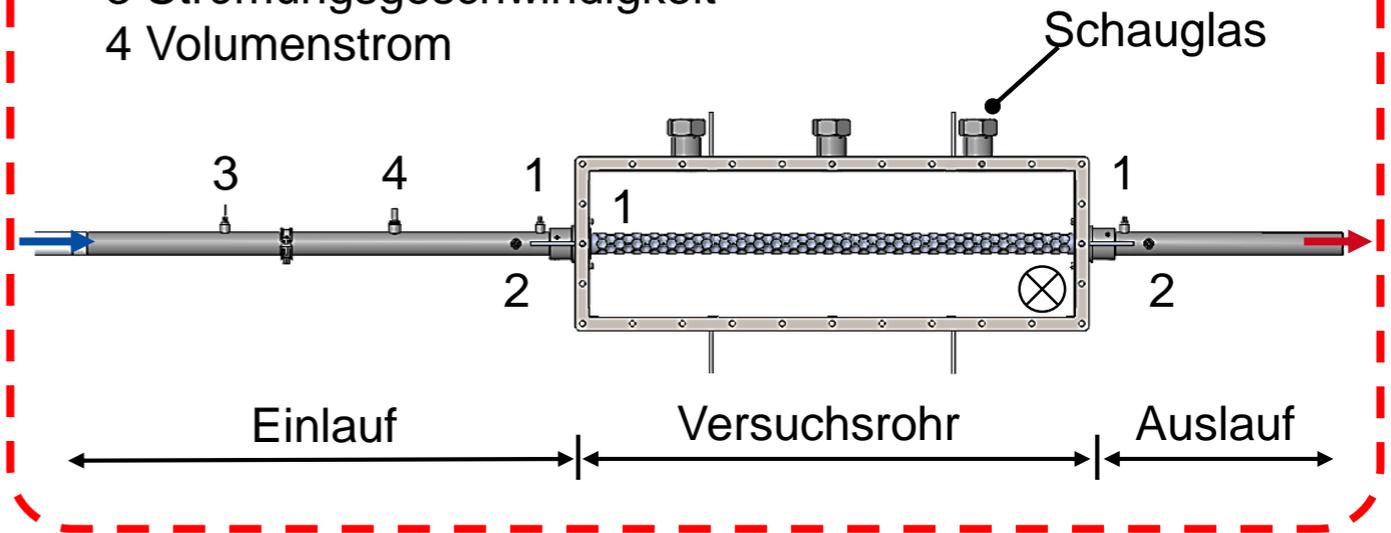


# Untersuchung des Wärmeübergangs

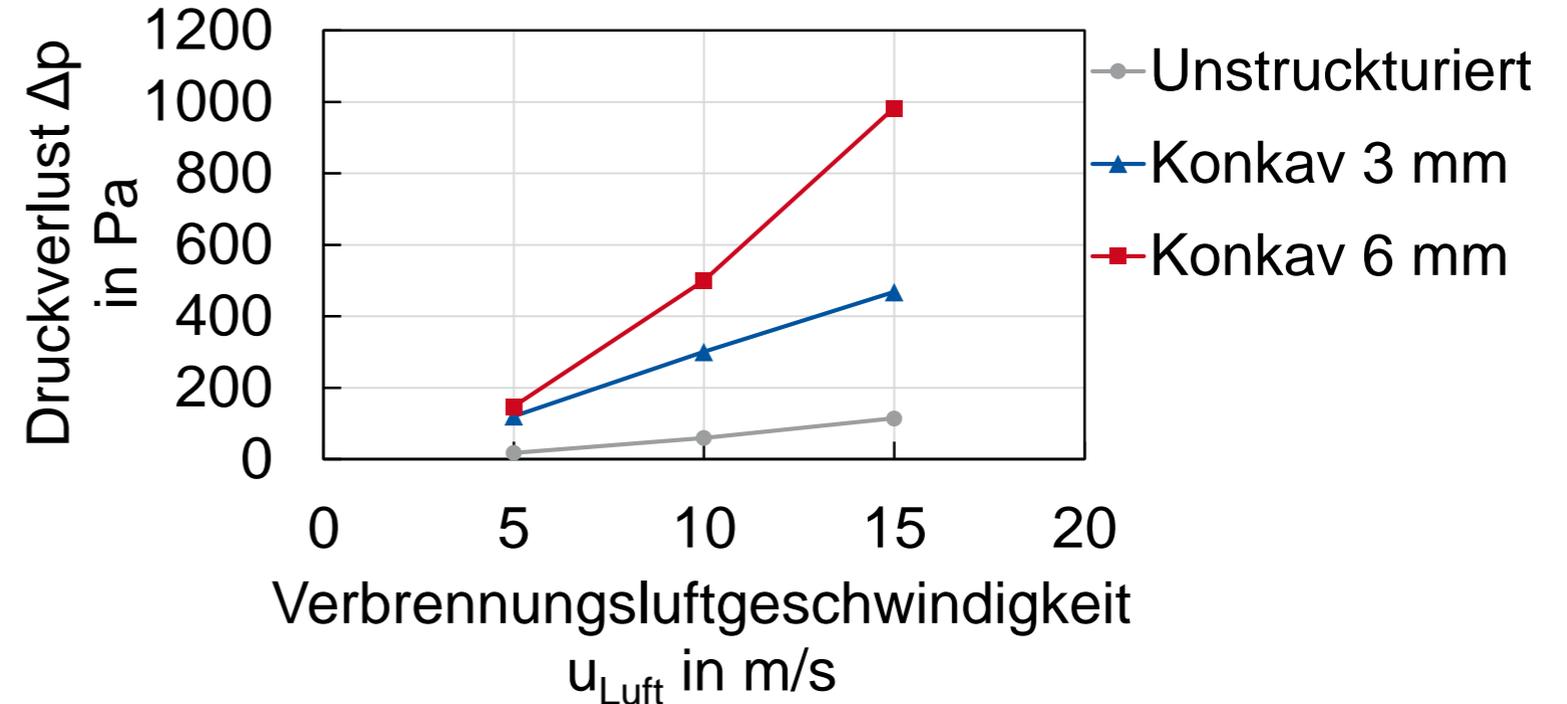
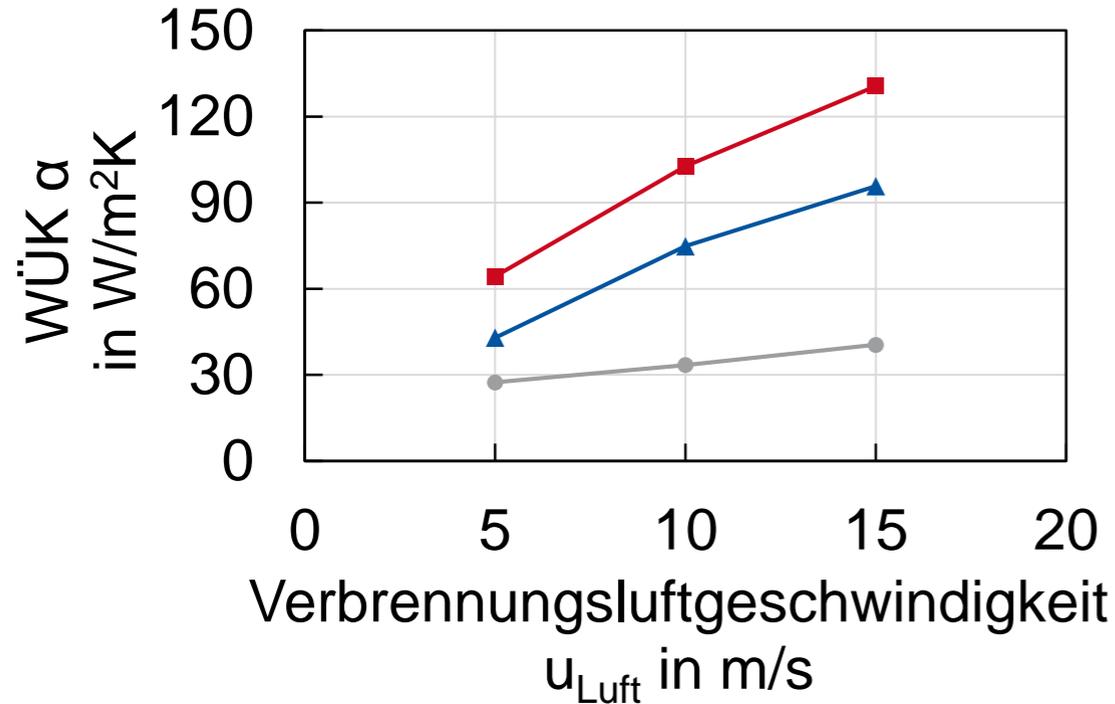
## Prüfstand



Messstellen für  
1 Temperatur  
2 Statischer Druck  
3 Strömungsgeschwindigkeit  
4 Volumenstrom



## Experimentelle Untersuchung



- WÜK steigt mit zunehmender Verbrennungsluftgeschwindigkeit  $u_{\text{Luft}}$  und Strukturtiefe
- Druckverlust steigt mit zunehmender Verbrennungsluftgeschwindigkeit  $u_{\text{Luft}}$  und Strukturtiefe

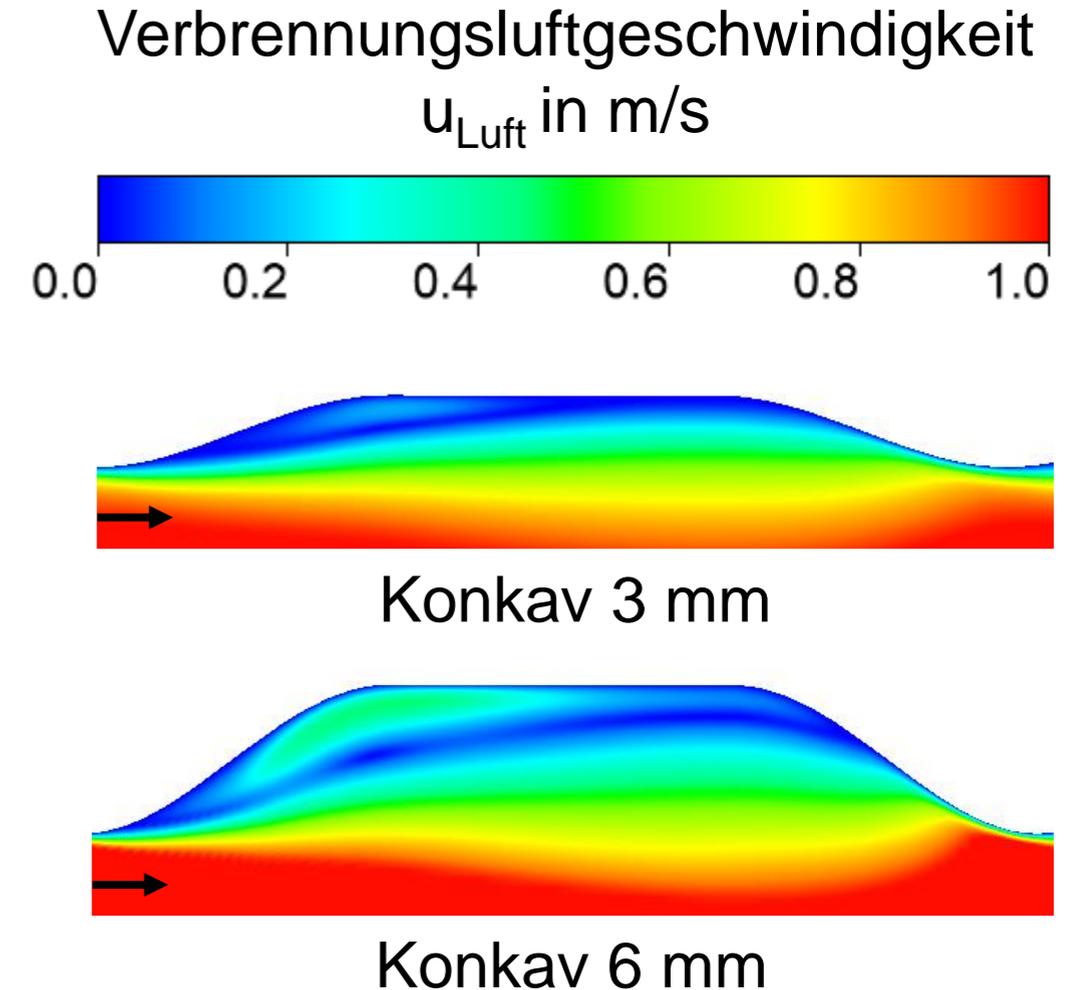
## Numerische Strömungssimulation mit ANSYS Fluent

### Beobachtungen

- Strömungsveränderungen zwischen den Strukturelementen im Rohr
- Rückströmungen und Rezirkulation mit geringerer Fluidgeschwindigkeit
- Starker Einfluss der Strukturtiefe

### Einfluss der Strömungsphänomene

- Gebiete mit niedriger Fluidgeschwindigkeit führen zur
  - Bildung von Wärmepolstern
  - erhöhten Verweildauer einzelner Partikel
  - verbesserten Wärmeübertragung



## Erfolgreiche Entwicklung von strukturierten Rohren

- Entwicklung eines geeigneten Umformwerkzeugs
- Strukturierung serieller Rohre unter Beibehaltung der Rohrintegrität
- Aufbau eines Prüfstandes zur wärmetechnischen Untersuchung von Rekuperatorrohren
- Verbesserter Wärmeübergang durch konkave Strukturierung erzielt



Abb.: Konvektiver Rohrbündelrekuperator der Firma Hülsenbusch Apparatebau GmbH & Co. KG

Thinking the Future  
Zukunft denken

**Eileen Trampe, M.Sc.**

IOB - Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik  
*RWTH Aachen University*  
*Kopernikusstr. 10*  
*52074 Aachen*

Tel.: +49 (0) 241 80-26051

E-Mail: [trampe@iob.rwth-aachen.de](mailto:trampe@iob.rwth-aachen.de)



Fachgebiet Hybride Fertigung  
Prof. Dr.-Ing. Sebastian Härtel

