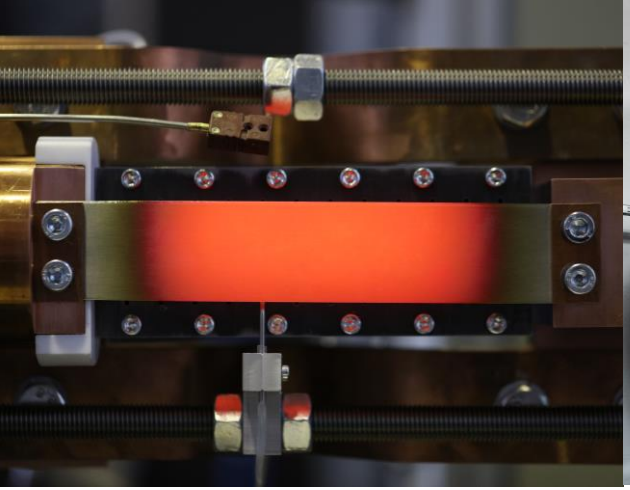
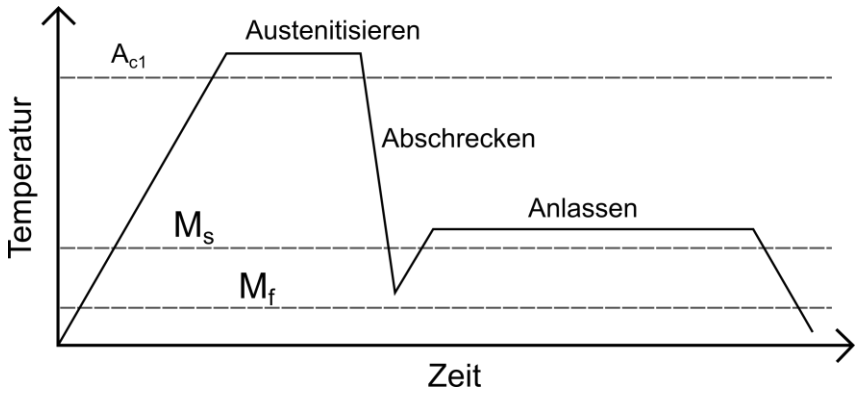


Herausforderungen bei der Kühlung hochfester metallischer Bänder

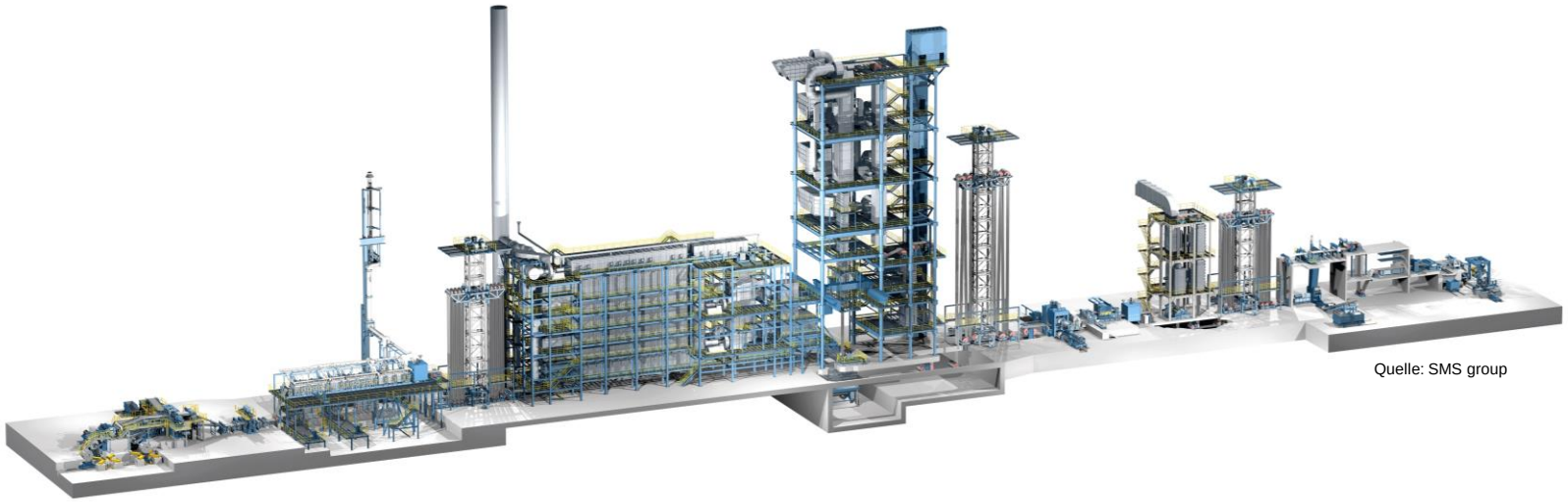
J. Hof, M. Schleupen, H. Pfeifer

11. Oktober 2019

Kontinuierliche Wärmebehandlung
Beispiel Stahlbänder

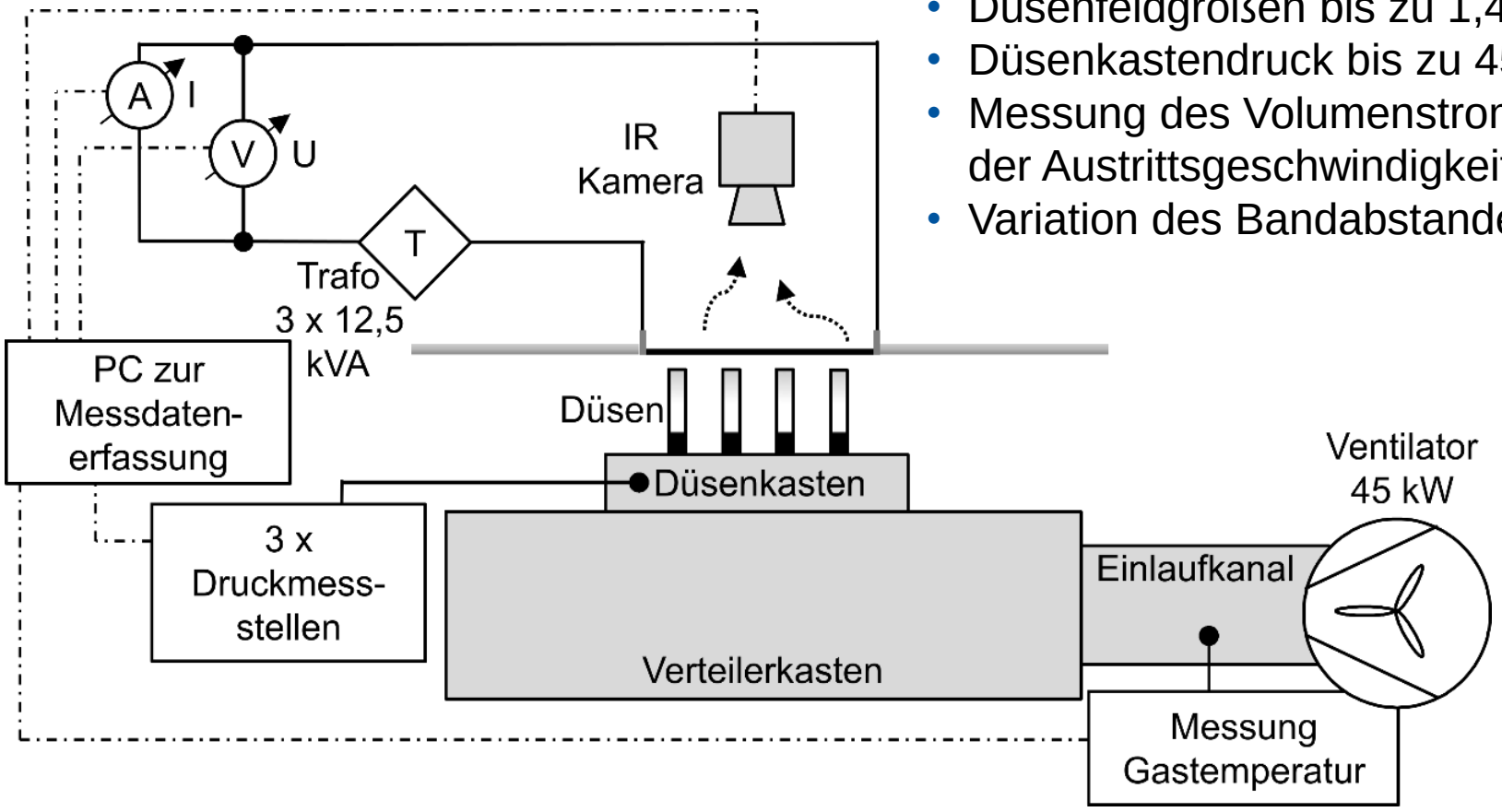


- Herausforderungen:
  - Wärmeübergangskoeffizienten
  - Bandschwingungen
  - Atmosphäreneinstellung
- Experimentelle Untersuchungen erweitern Prozessverständnis
- Auslegung von Anlagen



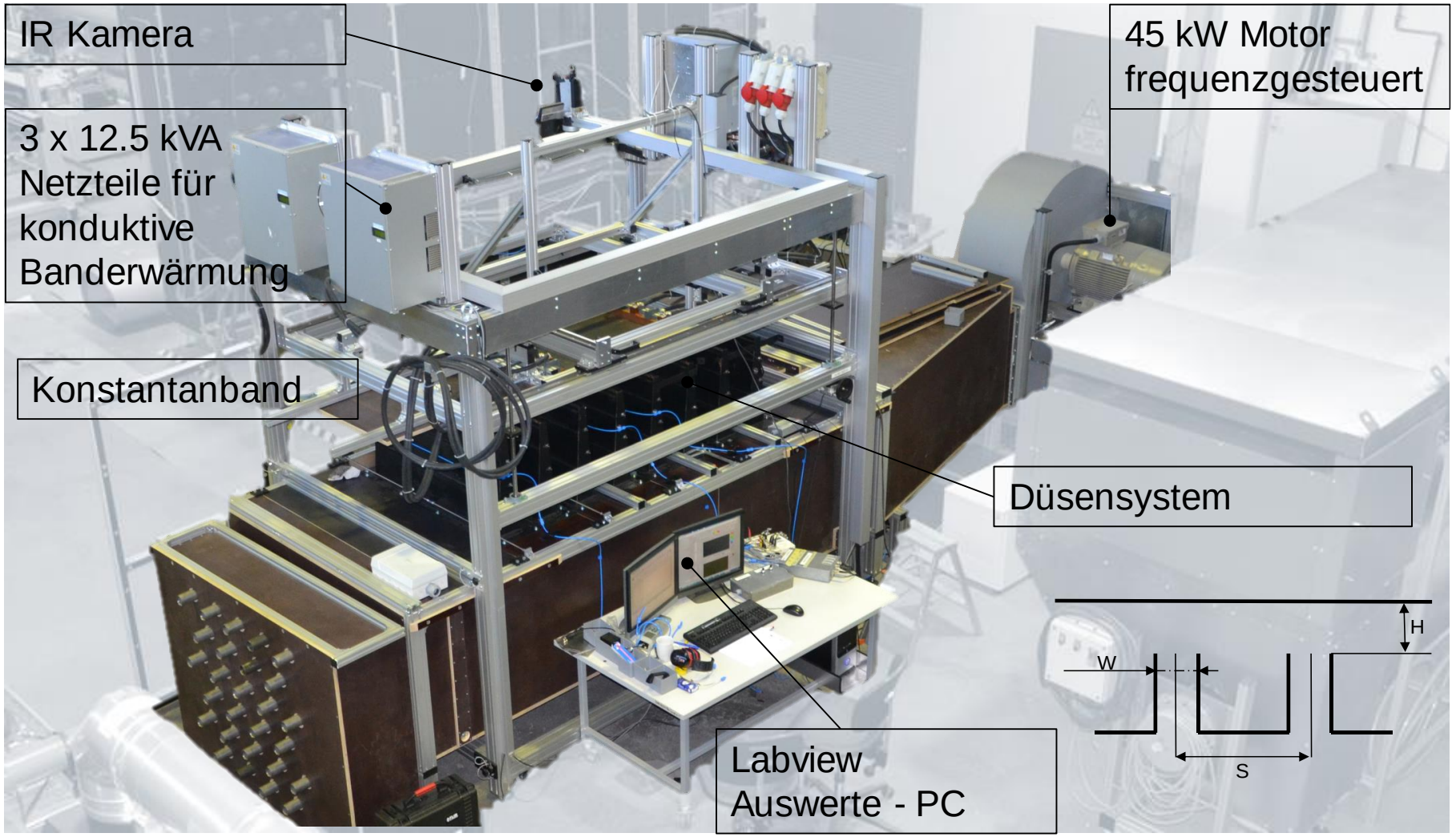
Quelle: SMS group

Versuchsstand
Charakterisierung des Wärmeübergangskoeffizienten

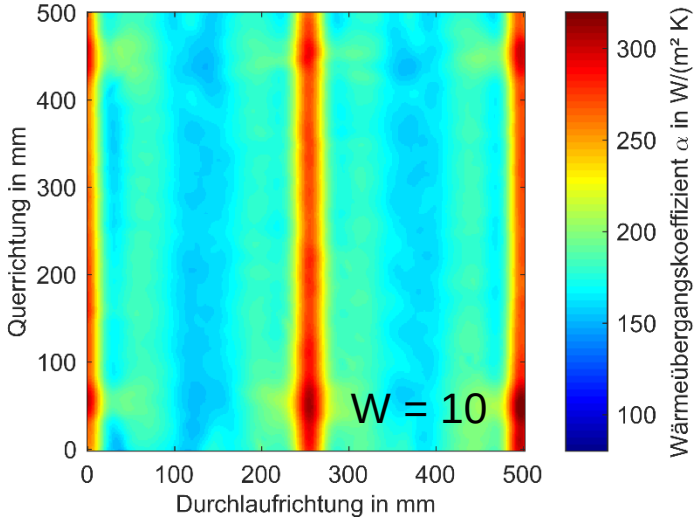


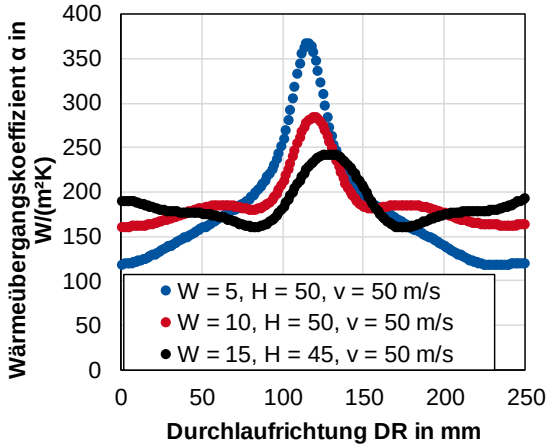
- Lokale und integrale Wärmeübergangskoeffizienten
- Düsenfeldgrößen bis zu 1,4 x 2 m²
- Düsenkastendruck bis zu 4500 Pa
- Messung des Volumenstroms und der Austrittsgeschwindigkeiten
- Variation des Bandabstandes

Versuchsstand
Charakterisierung des Wärmeübergangskoeffizienten

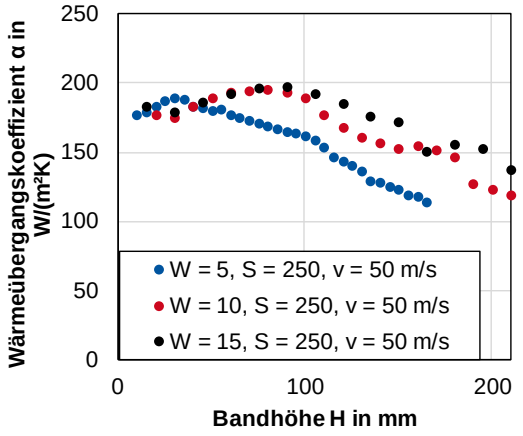


Einfluss der Schlitzbreite auf maximalen Wärmeübergangskoeffizienten



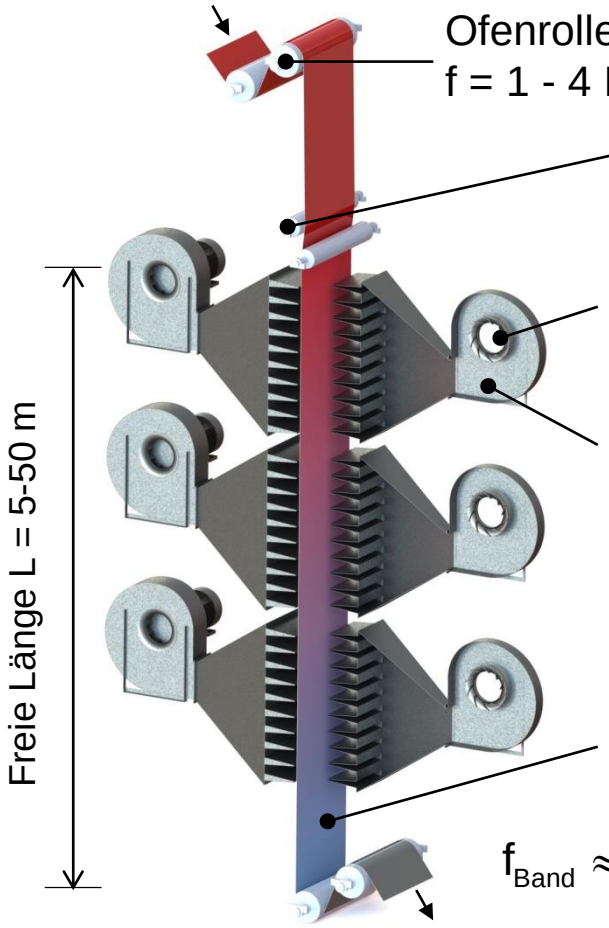


- Lokale Verteilungen zeigen den Einfluss der Stellschrauben
- Die maximalen Wärmeübergangskoeffizienten einer Schlitzdüse nehmen mit abnehmender Düsenbreite zu



Prozesslimitation: Bandschwingung

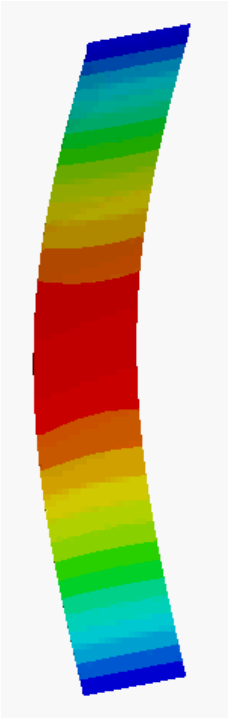
v_{Band} = 120-180 m/min



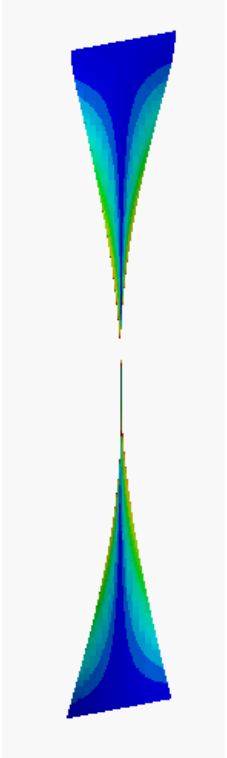
Schwingungssystem Band:
Eigenfrequenz für Biege- bzw. Torsionsschwingung

$$f_{Band} \approx \frac{n \cdot \pi}{\text{freie Länge}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{Zug}}{\rho_{Band}}} \approx 1 - 20\,\text{Hz}$$

1. Biege-schwingung

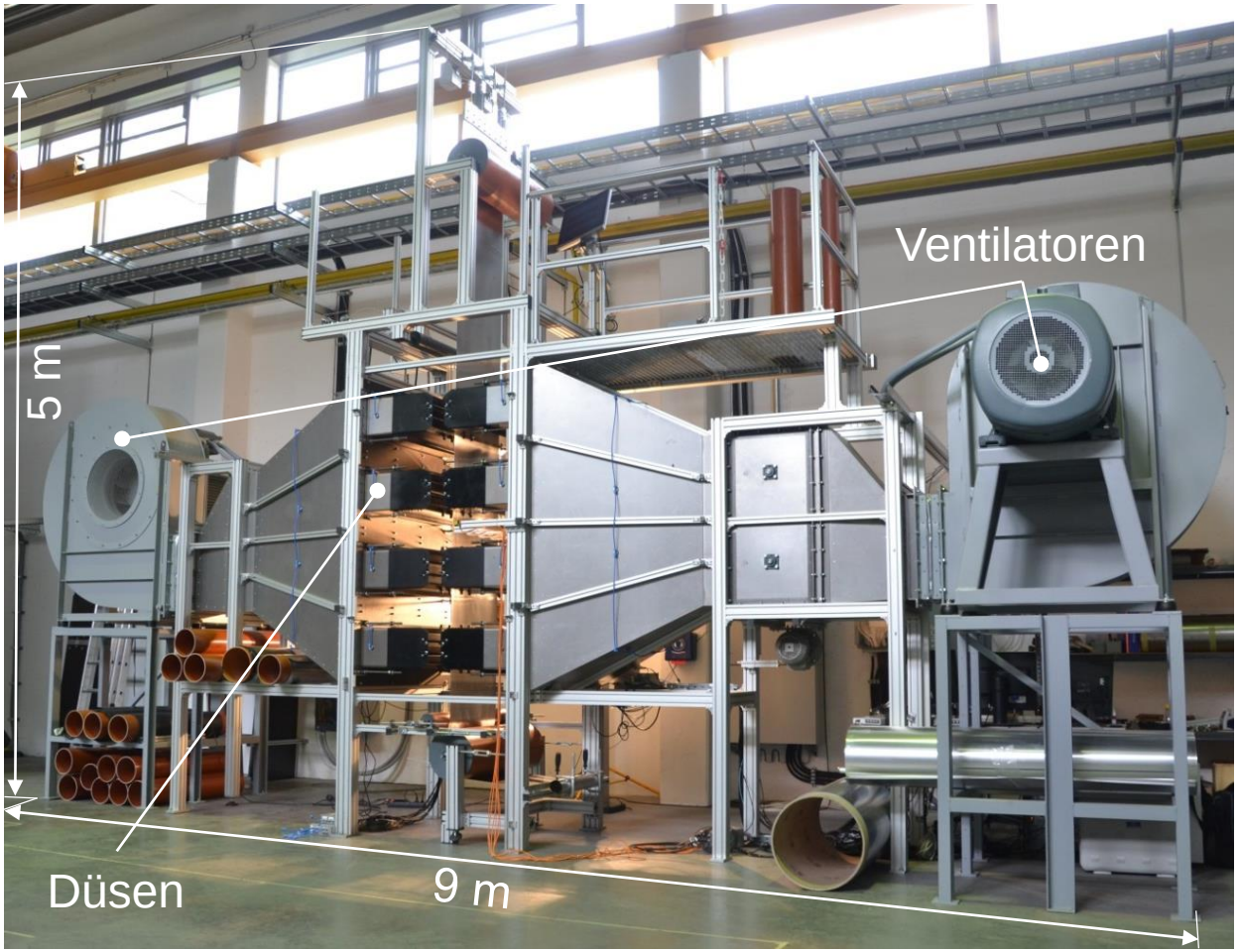


1. Torsions-schwingung



Quelle: von der Heide, C.; 2018

Versuchsstand
Bestimmung der Bandstabilität



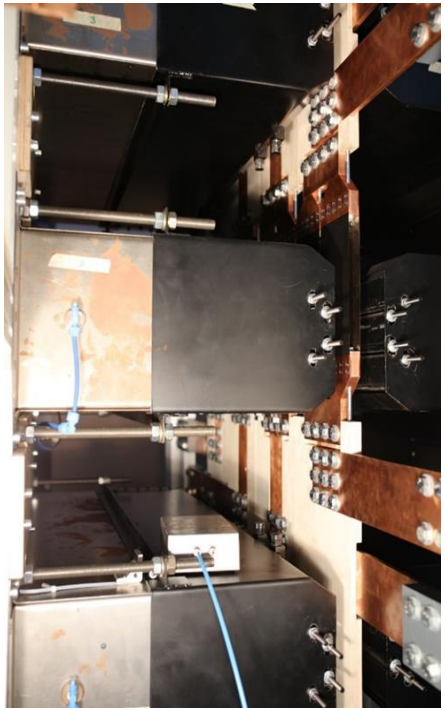
Messvorrichtungen

Quelle: von der Heide, C.; 2018

Band
- Bandstabilität
- IGF-Vorhaben 17988 N/1

Quelle: von der Heide, C.; 2018

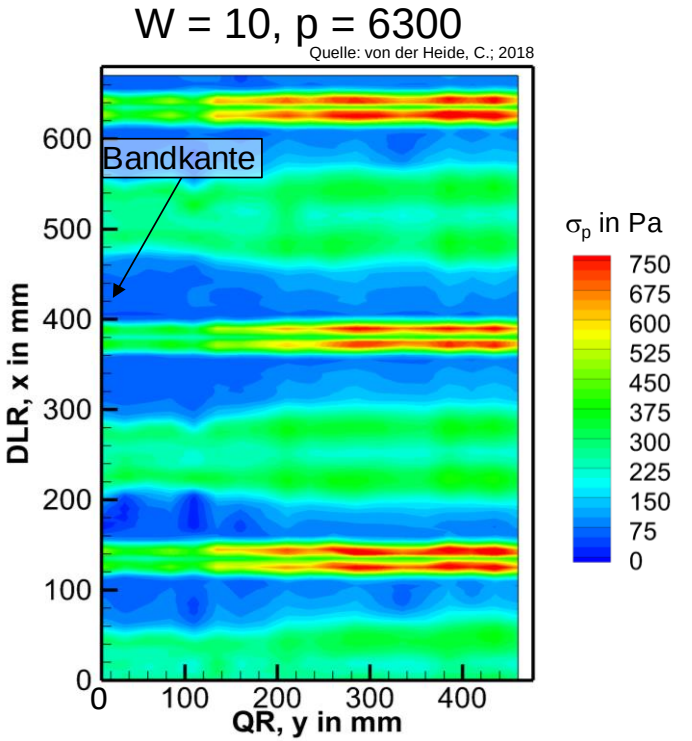
Druckmessplatte
- Drücke am Band
- Druckschwankungen
- IGF-Vorhaben 17988 N/1

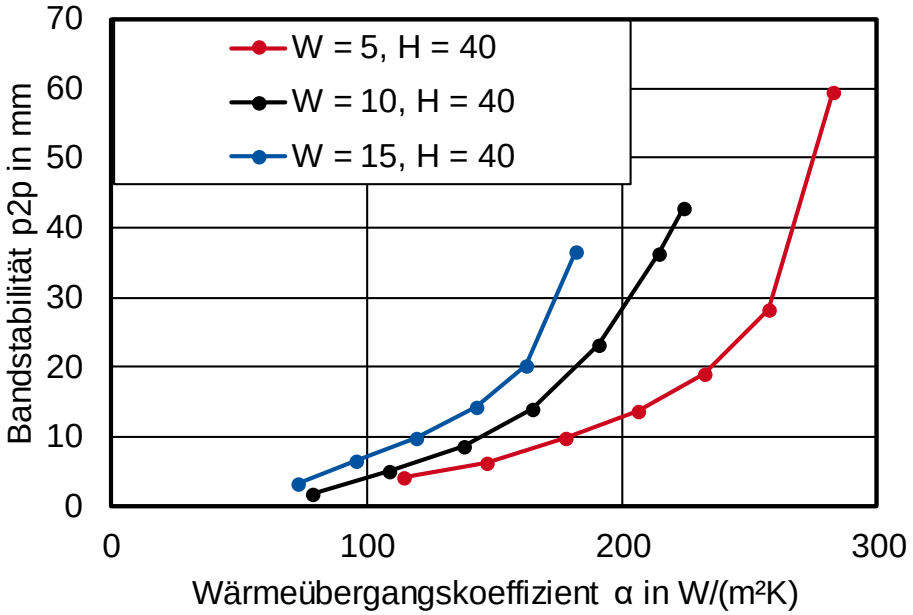


Beheizte Temperaturmessplatte
- WÜK
- IGF-Vorhaben 19094 N/1

Einflussfaktoren auf die Bandstabilität

p2p-Wert: Die Summe der maximalen Bandauslenkung in positiver und negativer Bandnormalenrichtung während eines 30 Sekunden Intervalls

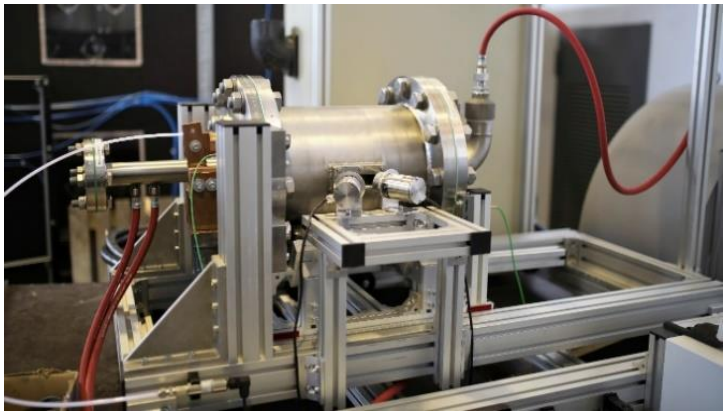


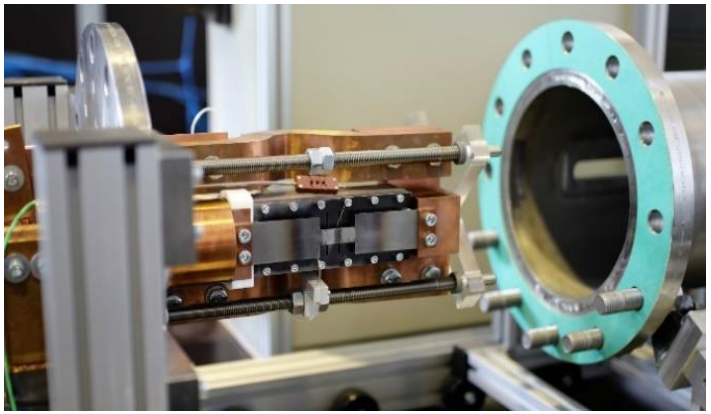


- Lokale Druckprofile und Druckschwankungen können visualisiert werden
- Je geringer die Schlitzbreite desto höhere Wärmeübergangskoeffizienten können erreicht werden

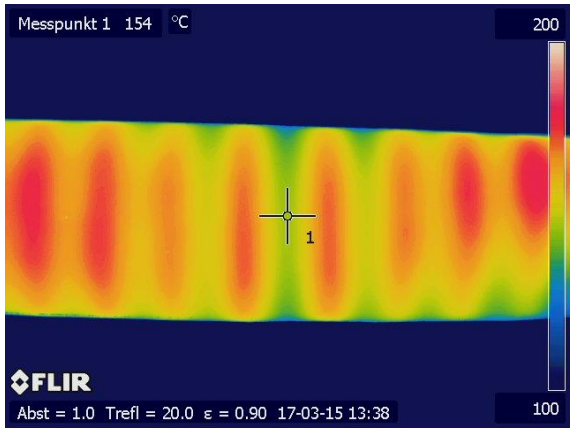
Versuchstand
Glühsimulator – Wärmebehandlung von Flachzugproben

Versuchsaufbau

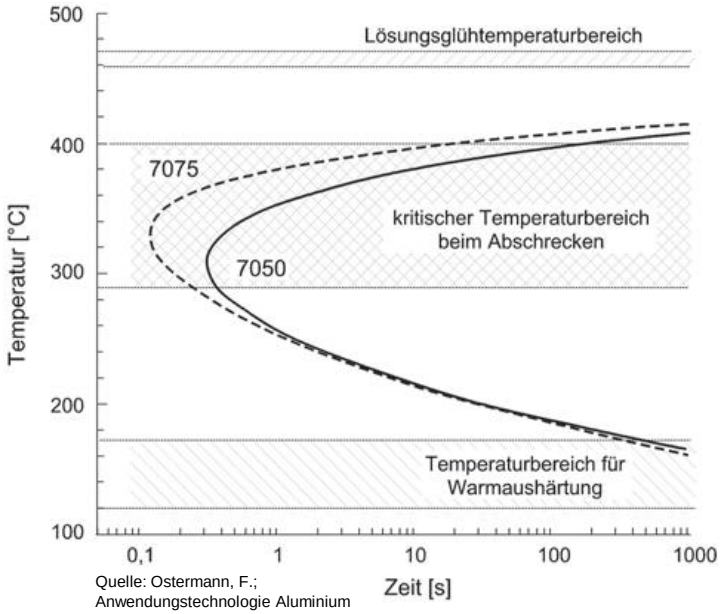




- Direkt Widerstandsbeheizte Flachzugproben
- Variable Atmosphären nicht brennbarer Gase
- Wärmeübergangsmessungen
- Glühversuche
- Emissionsgradmessungen

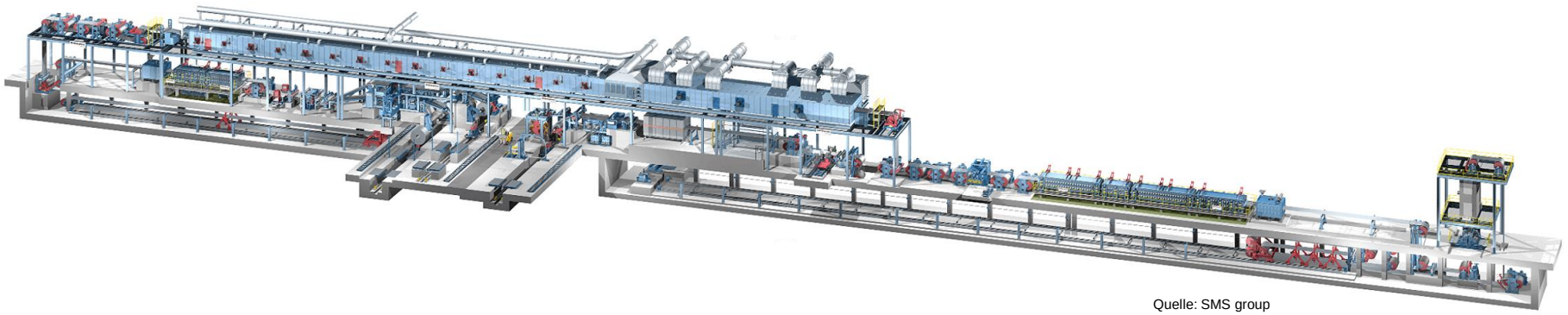


Kontinuierliche Wärmebehandlung
Beispiel Aluminiumbänder



Quelle: Ostermann, F.;
Anwendungstechnologie Aluminium

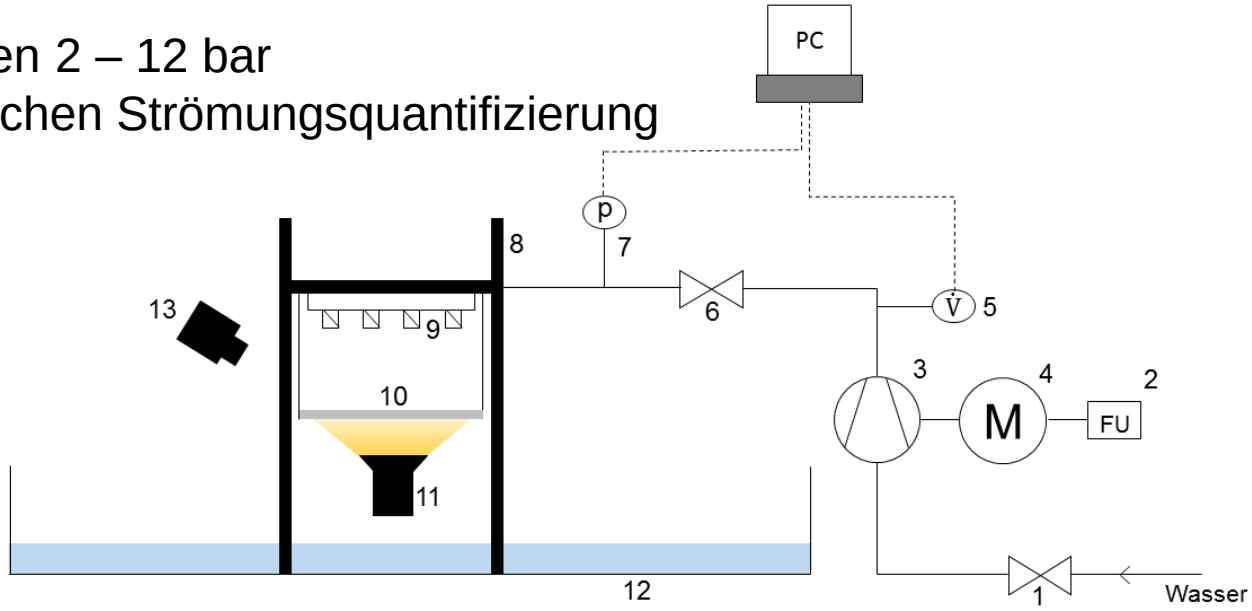
- Wasserkühlung erforderlich für hohe Abkühlraten
- Herausforderungen:
  - Einstellung der lokalen und integralen Abkühlraten
  - Temperaturhomogenität
  - Bandverformung
  - Strömungsführung



Quelle: SMS group

Versuchsstand
Strömung auf horizontalen Oberflächen

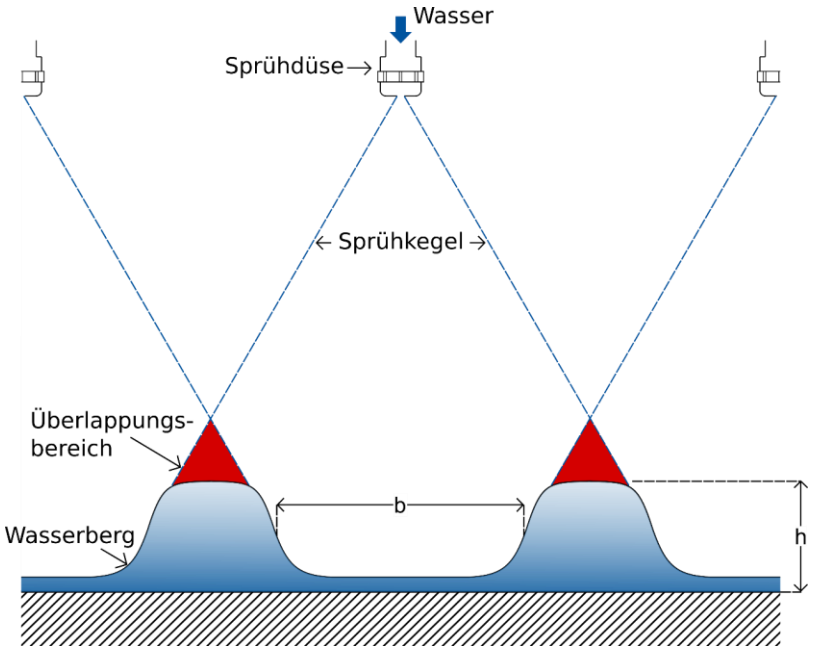
- Versuchsstand mit 4x4- bzw. 3x3-Sprühdüsenfeld
  - Anströmung von oben
  - Variable Abstände zwischen den Düsen
  - Variabler Abstand zwischen Oberfläche und Düsen
- Plexiglasplatte
- Düsenvordruck zwischen 2 – 12 bar
- Vorrichtungen zur optischen Strömungsquantifizierung



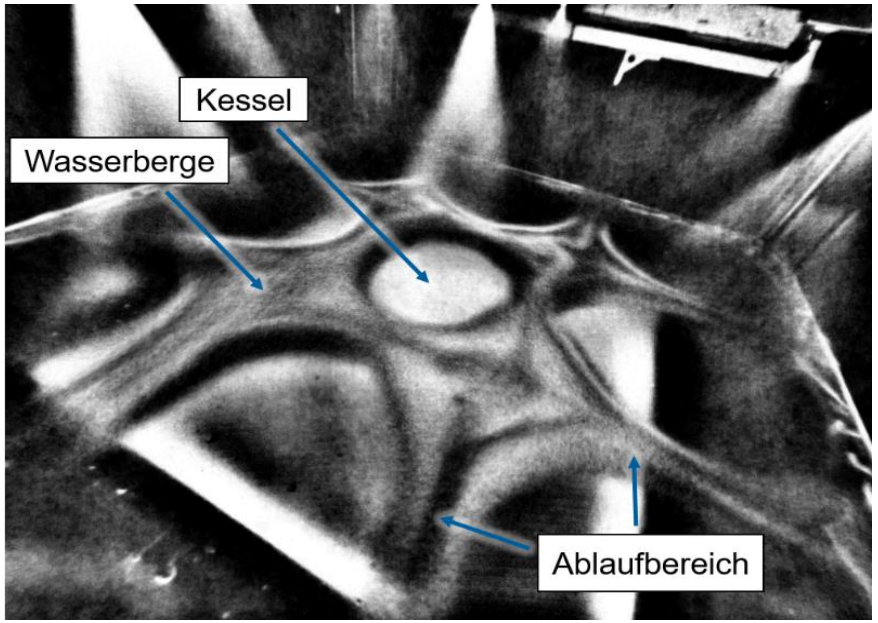
1: Ventil
2: Frequenzumrichter
3: Pumpe
4: Motor
5: Volumenstrommessung
6: Ventil
7: Druckmesssonde
8: Gestell
9: Düsenfeld
10: Plexiglasplatte
11: Lichtquelle
12: Wanne
13: Kamera

Versuchsstand
Strömung auf horizontalen Oberflächen

- Quantifizierung der Charakteristika auf der Bandoberfläche zur Strömungsbestimmung:
  - Staupunkte, „Wasserberge“
  - Auftreffregion, „Kessel“
  - Ablaufwasser, Ablaufkanäle



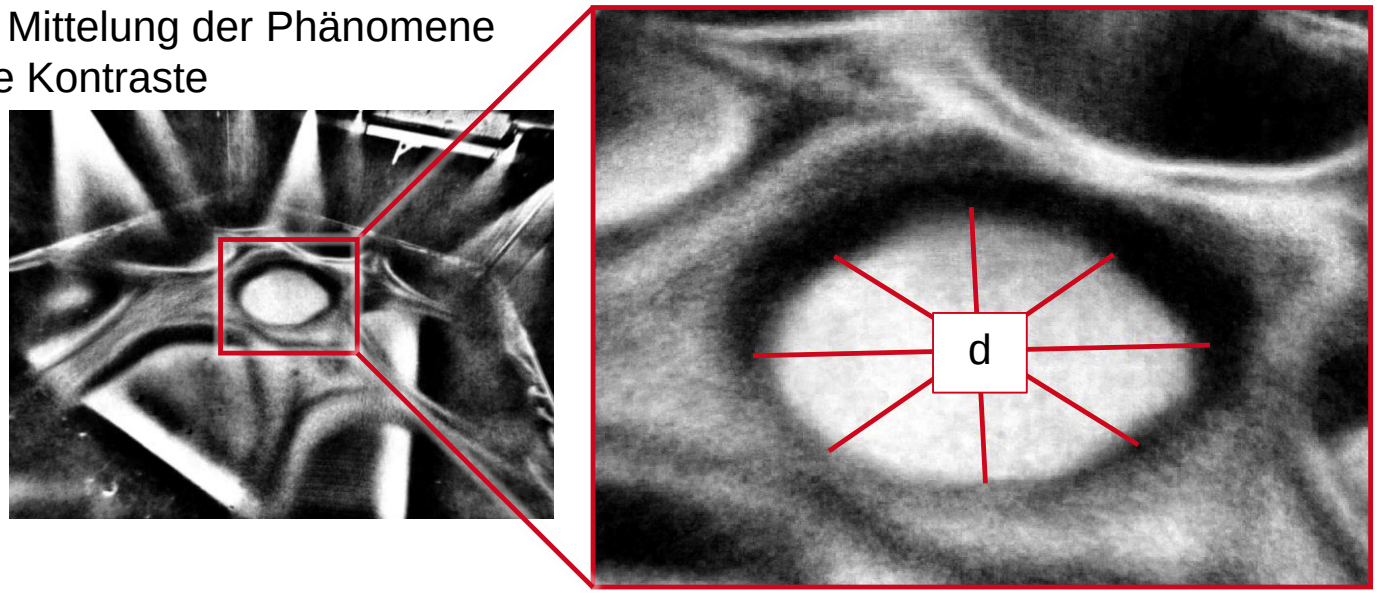
- Entscheidender Einfluss auf die lokale Abkühlrate und die Temperaturhomogenität
- Bestimmung von Einflussfaktoren
  - Düsenvordruck
  - Düsenabstand
  - etc.



Auswertungsmethodik

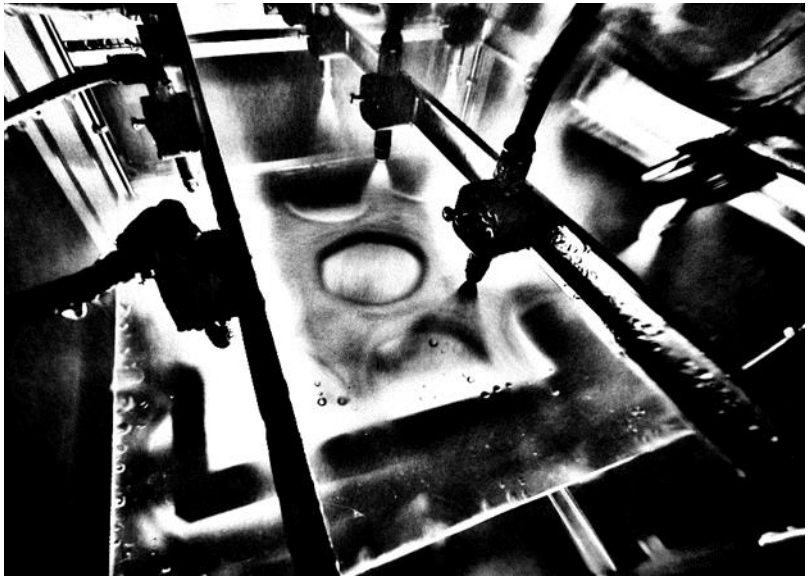
- Aufnahmen mit Kameras
  - Videos mit 30 FPS
  - Zerlegung in einzelne Bilder
- Kalibrierung der Kamera und Entzerrung der Bilder
  - Kalibrierung auf Plattenabstand
  - MATLAB-Toolbox
- Überlagerung der Bilder
  - Zeitliche Mittelung der Phänomene
  - Deutliche Kontraste

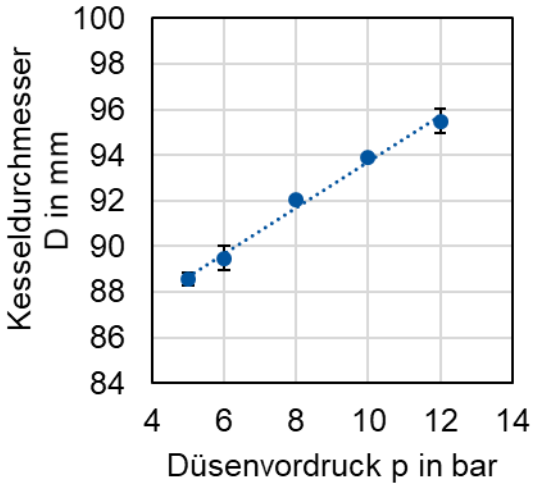
- Auswertung
  - Bestimmung der Durchmesser
  - Mittelung der Kamerapositionen
  - Vergleich mit Patternatormessungen

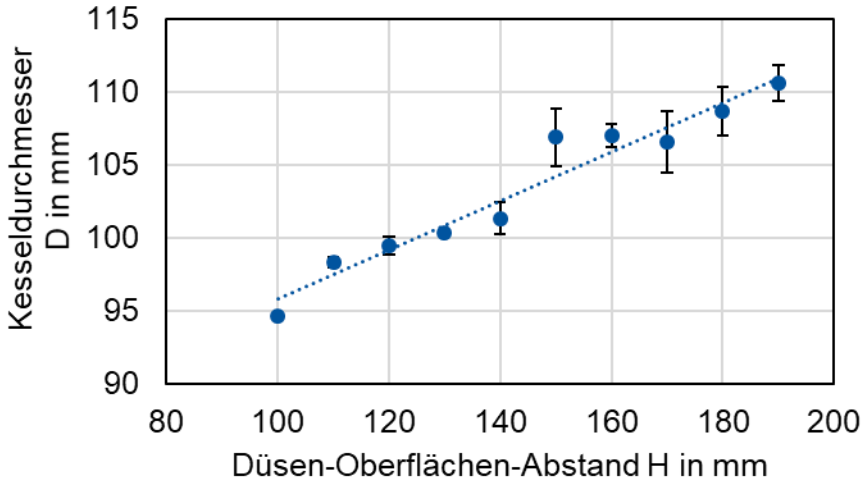


Einflussfaktoren auf die Strömungsausbildung

- Quantifizierung der Strömung
  - Durchmesser bzw. Fläche der Kessel
- Untersuchung von Abhängigkeiten
  - Düsenvordruck
  - Düsen-Platten-Abstand
  - Düsenanordnung







Zusammenfassung

Experimentelle Untersuchungen zur Verbesserung der Kühlstreckenauslegung:

- Wärmeübergangskoeffizienten (p, H, D, W, P)
- Druckprofile (p, H, D, W, P)
- Bandschwingung (p, H, D, W, d_B, b_B, σ_B, P)
- Wasserströmung (p, n, H, P)
- Testglühungen (p, H, D, W, c_G, P)

p: Düsendruck
H: Düsen – Bandabstand
D: Düsendurchmesser
P: Abstand Düse - Düse
W: Schlitzbreite
d_B: Banddicke
b_B: Bandbreite
σ_B: Bandzug
c_G: Gaszusammensetzung
n: Düsenanzahl

Fragestellungen:

- Design von effizienten und effektiven Düsen unter Berücksichtigung von Prozesslimitationen
- Wärmebehandlung hochfester Stahlgüten unter Wasserstoffatmosphäre
- Strömung auf der Bandoberfläche bei der Wassersprühkühlung

Thinking the Future
Zukunft denken

Vielen Dank
Für Ihre Aufmerksamkeit

Jan Hof, M.Sc.

Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik
RWTH Aachen University
Kopernikusstr. 10, 52074 Aachen
Email: hof@iob.rwth-aachen.de
Tel.: +49 241 80 26069
www.iob.rwth-aachen.de