



Vorstellung einer modularen Versuchsanlage zur gekoppelten Untersuchung von prozess- und werkstofftechnischen Fragestellungen bei der Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe

J. Hof, M. Schleupen, L. Sankowski, H. Pfeifer

7. Oktober 2021

**3. Aachener Ofenbau- und
Thermoprozess-Kolloquium**
7. und 8. Oktober 2021

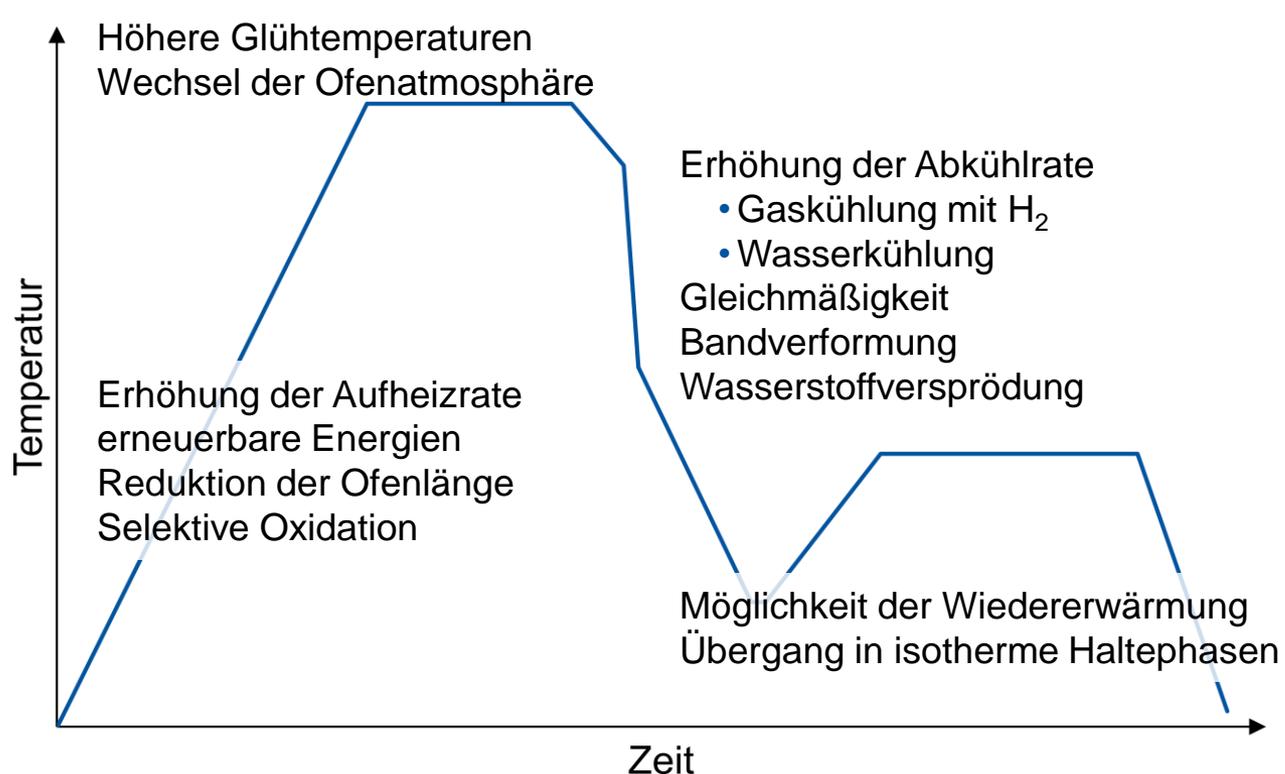


Institut für
Industrieofenbau
und Wärmetechnik

**RWTHAACHEN
UNIVERSITY**

Motivation

Hochfeste Strukturwerkstoffe mit schlanken Legierungskonzepten stellen hohe Anforderungen an die Wärmebehandlung



- AHSS, 6xxx & 7xxx Legierungen
- grundlegendes Prozessverständnis erweitern
- Effizienzsteigerung
- Erhöhung der Qualität und Ausbringung

Entwicklung metallischer Hochleistungswerkstoffe

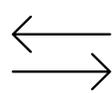
Werkstoffentwicklung

- Aufheiz- / Abkühlkurven
- Atmosphären
- Nachbehandlung



Laboruntersuchungen

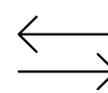
- Keine Wechselwirkung zwischen Anlagentechnik und Werkstoffeigenschaften



Versuchsanlage im Technikumsmaßstab

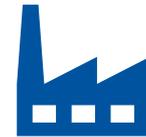


Modulare Wärmebehandlungsanlage am IOB



Anlagentechnik

- Heiz- / Kühlprozesse
- Gasmanagement



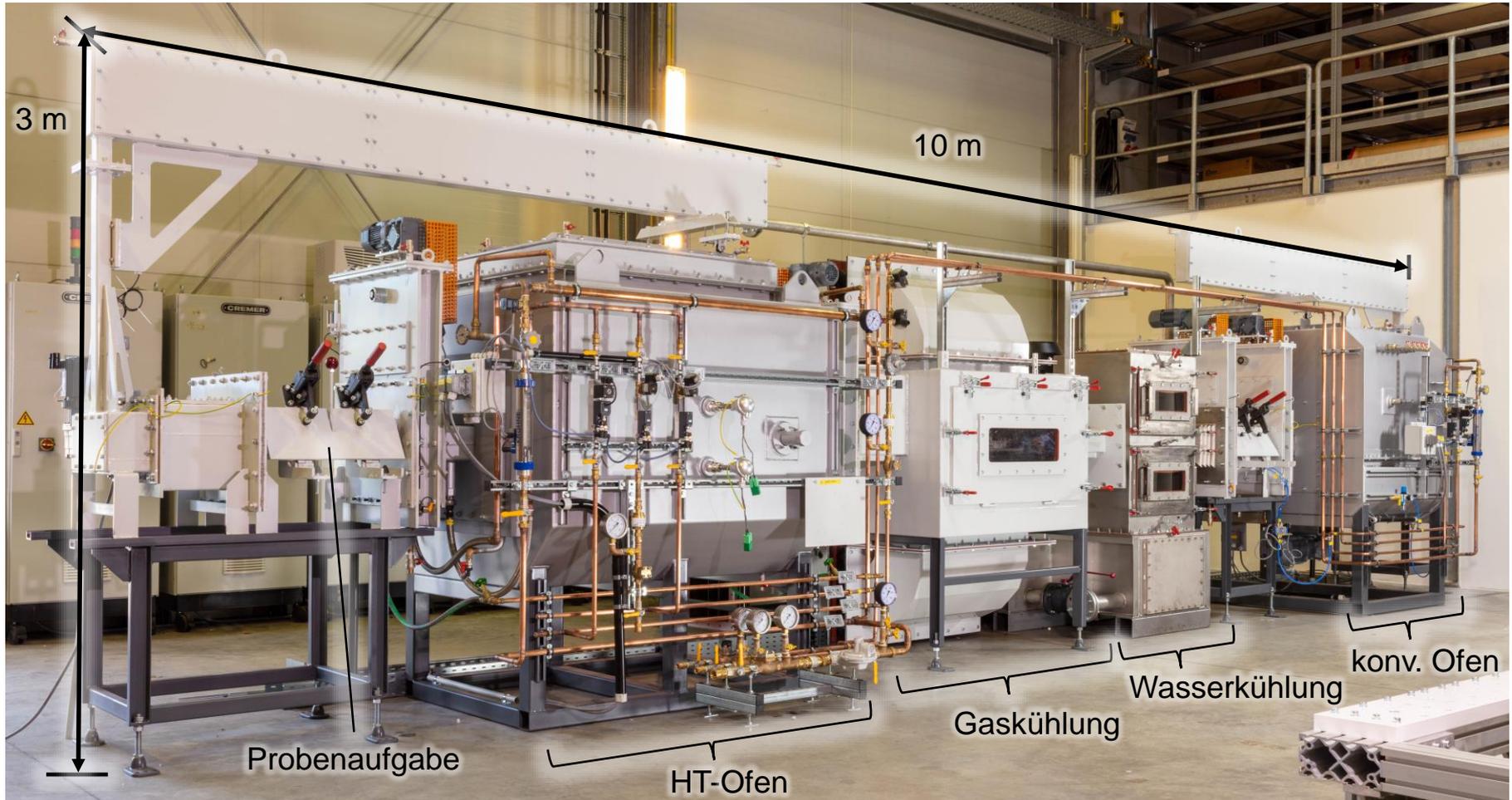
Industrieanlage

- Flexible und kostengünstige Werkstoffentwicklung nicht möglich

Vorteile/Möglichkeiten:

- Untersuchungen von prozessnahen Anlagenteilen (Heiz- / Kühlkonzepte, Gasmanagement, ...)
- Aussagen über Umsetzbarkeit neu entwickelter Werkstoffkonzepte
- Werkstoffentwicklung in prozessähnlicher Umgebung
- Validierung von Kaltversuchen (bspw. Aufnahme von Abkühlkurven oder Wärmeübergänge)

Modulare Wärmebehandlungsanlage

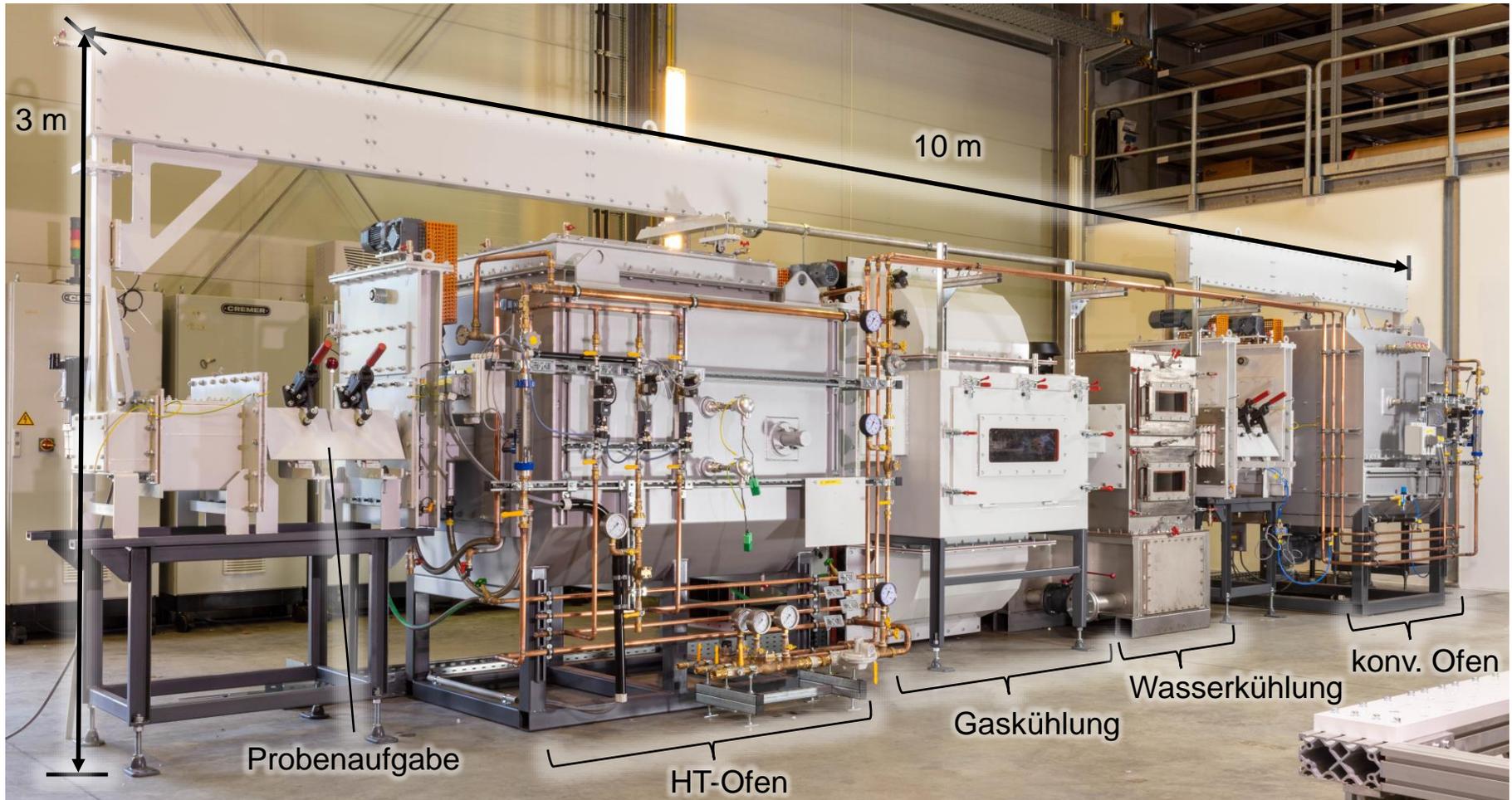


Probenaufgabe & Proben

- Probenaufgabe an zwei Punkten entlang der Anlage (je nach Prozessablauf)
- Probenträger zum Transport mit Schubkette
 - Max. Probengröße ~ 350 x 350 mm²
 - Max. Probendicke ~ 30 mm
 - Anpassung des Probenträgers an jeweilige Probengeometrie möglich



Modulare Wärmebehandlungsanlage

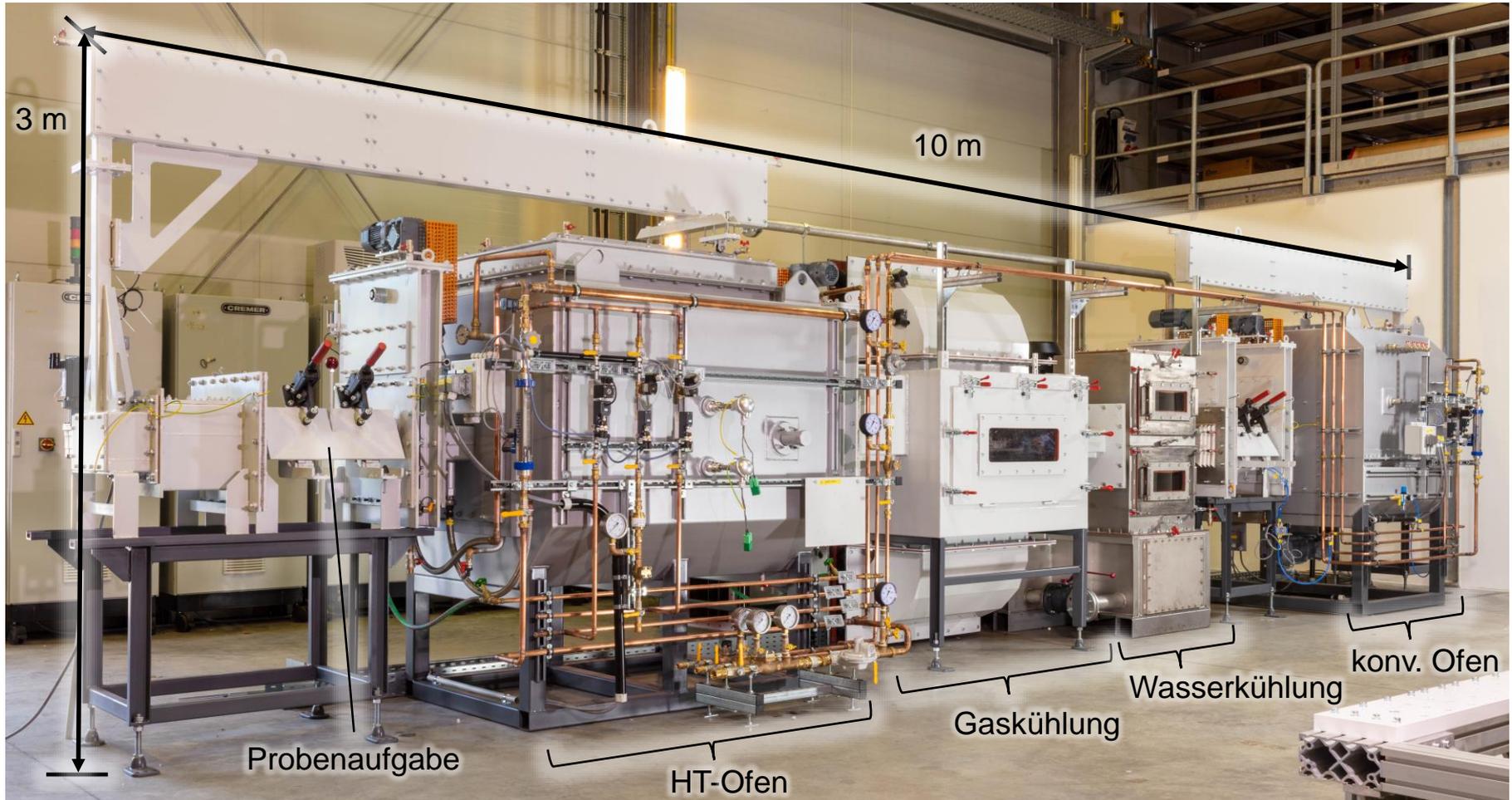


Hochtemperaturofen

- Muffelofen
 - Indirekte Beheizung mit elektr. Widerstandsheizelementen
 - Temperatur zw. 500 - 1100 °C flexibel regelbar
- Nicht brennbare Atmosphärenzusammensetzung
 - Gase: Luft, N₂, H₂, CO₂, CO und O₂
 - Abbildung von industriellen Ofenatmosphären
- Messtechnik
 - 9 Temperaturmessstellen innerhalb der Muffel über die Länge und Breite
 - Messstelle für Atmosphärenzusammensetzung (O₂-Gehalt, Taupunkt)



Modulare Wärmebehandlungsanlage

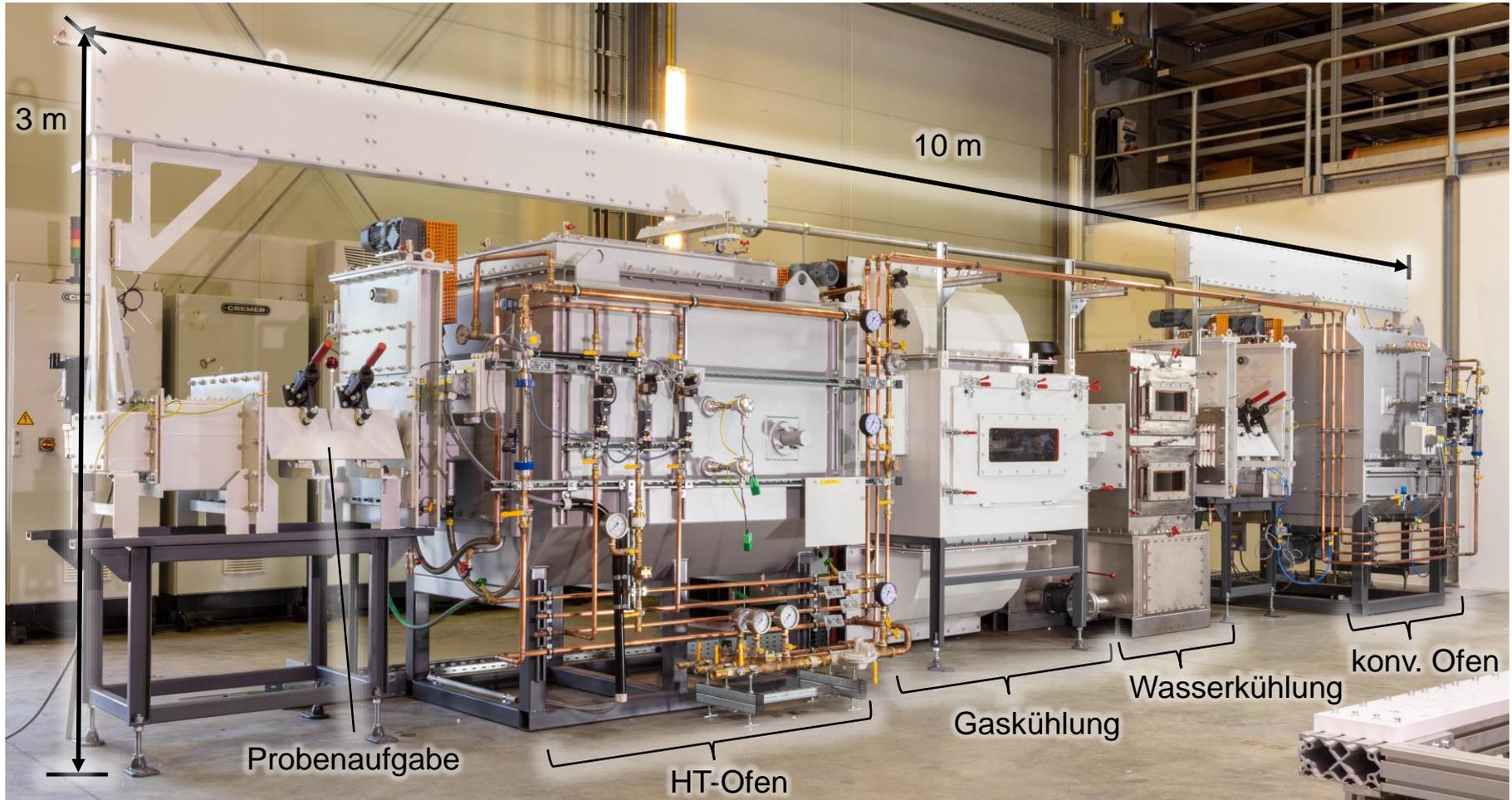


Gasschnellkühlung

- Ventilator mit ~ 55 kW
 - $v_{\max} \sim 100 \text{ m/s}$
 - $p_{\max} \sim 10.000 \text{ Pa}$
- Stufenlose und getrennte Drosselung beider Düsenfelder möglich
- Einbau beliebig gestalteter Düsenfelder



Modulare Wärmebehandlungsanlage

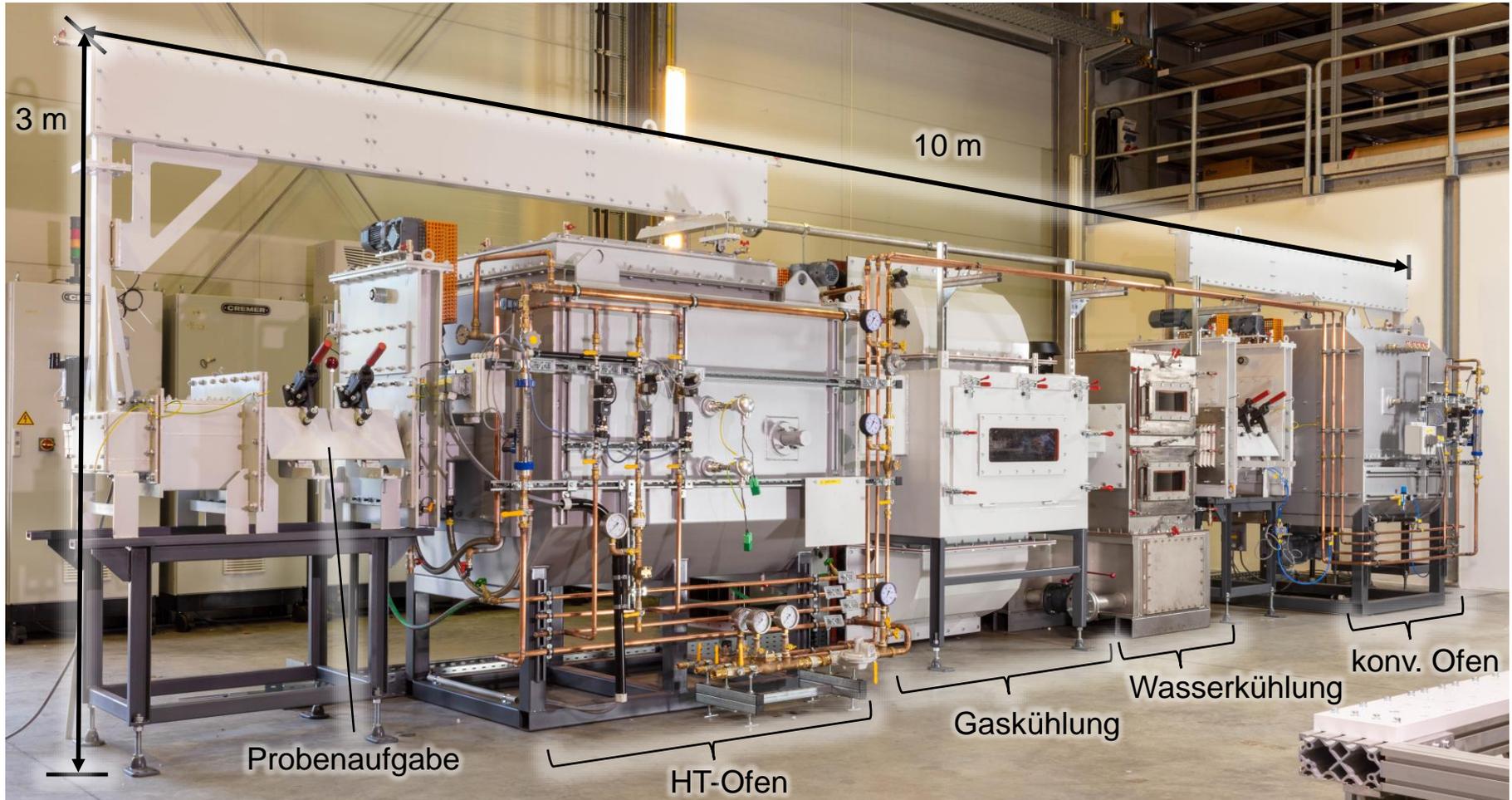


Wasserkühlung

- Zweiseitige Kühlung (Ober- und Unterseite)
- Variable Anordnung der Düsen
- 16 bar max. Düsenvordruck
- 70 m³/h Gesamtförderleistung
- Düsen selektiv an-/abschaltbar
 - Einstellung beliebiger Sprühbilder



Modulare Wärmebehandlungsanlage



Konvektiver Ofen

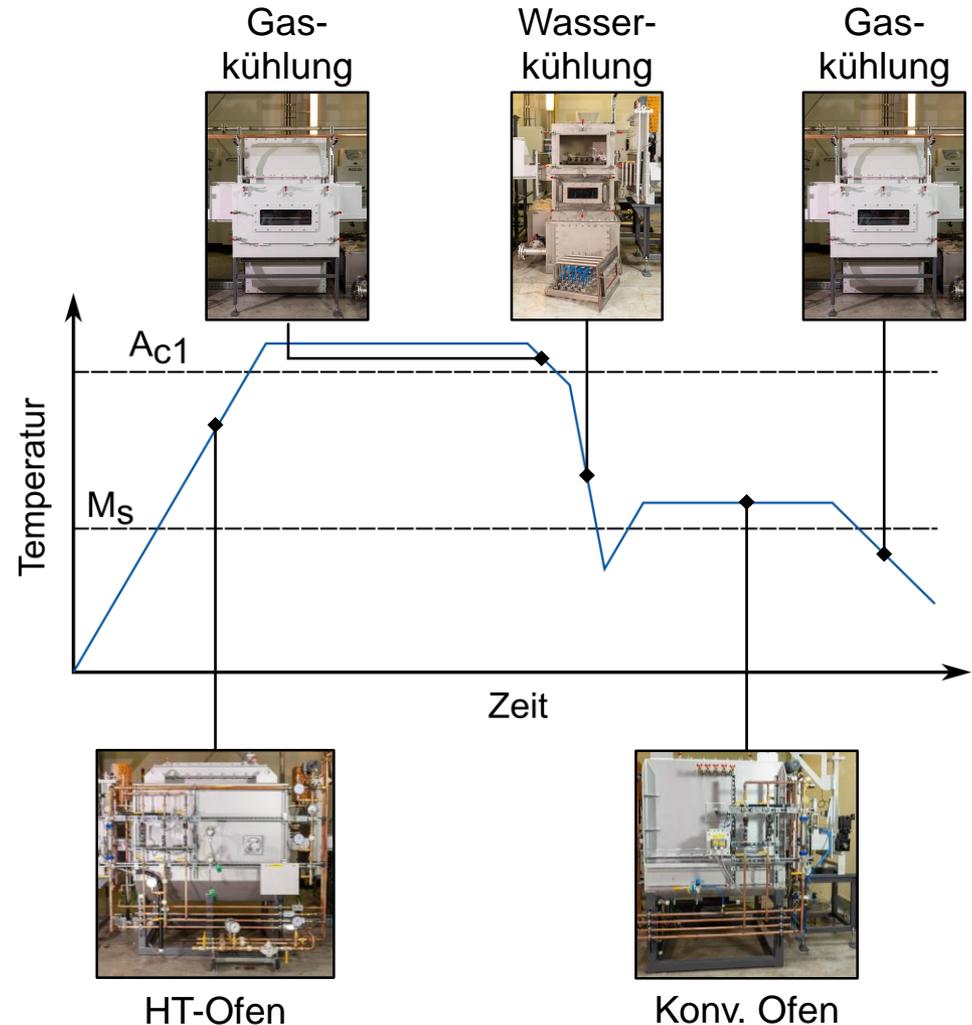
- Gasdichter Muffelofen mit Schlitzdüsen & Ventilator für konvektive Erwärmung
 - $T_{\max} = 600 \text{ °C}$
- Schutzgasatmosphären
 - N_2 , Argon
- Messtechnik
 - 5 Temperaturmessstellen innerhalb der Muffel über die Länge und Breite



Prozessablauf

Prozessablauf am Beispiel Stahl:

- HT-Ofen
 - Atmosphären:
Luft, N₂, H₂, CO₂, CO
 - T_{max} = 1100 °C
 - strahlungsdominiert
- Kühlung
 - Wasser (~ 450 K/s mm)
 - Luft (~ 15 - 75 K/s mm)
- Konv. Ofen
 - Atmosphären:
Luft, N₂, Argon
 - T_{max} = 600 °C
 - konvektionsdominiert



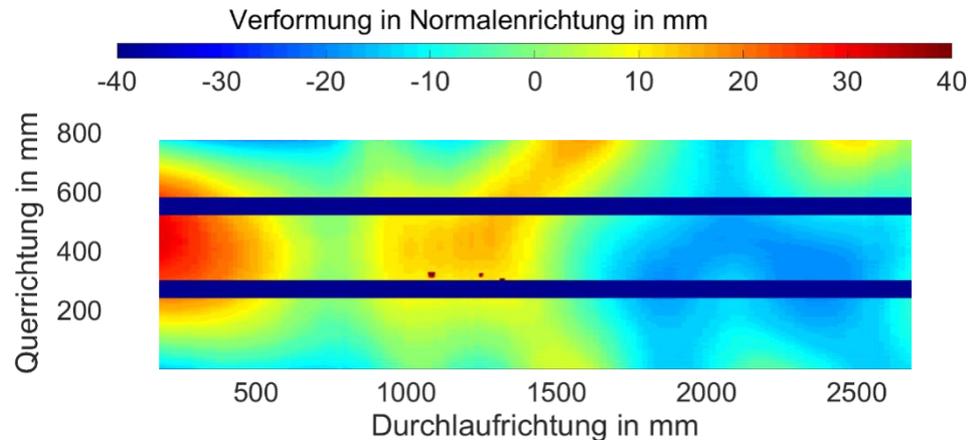
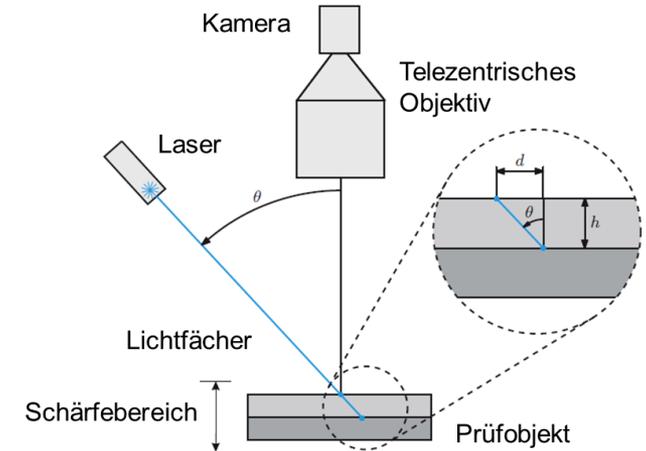
Zusätzliche Untersuchungsmöglichkeiten I

- Direkte Messung der Abkühlraten an unterschiedlichen Düsensystemen bei Gas- und Wasserkühlung
 - Positionierung der Kamera ober- und unterhalb der Proben in der Anlage möglich
- Hochleistungsinfrarotthermokamera
 - Auflösung von 640 x 512 Pixel
 - Wellenlängenbereich zwischen 2 – 5,5 μm
 - Bildwiederholungsrate bei Vollbild von 622 Hz (Viertelbild: 1615 Hz)
- Bestimmung von Wärmeübergangskoeffizienten über Messung der Temperaturverteilung während der Abkühlung



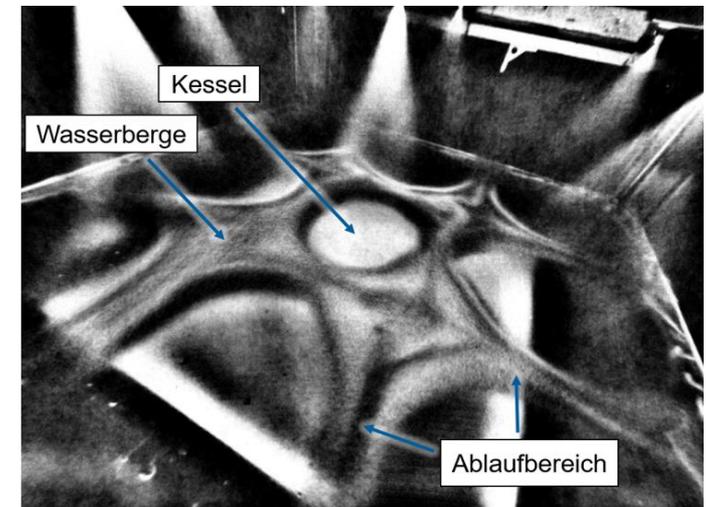
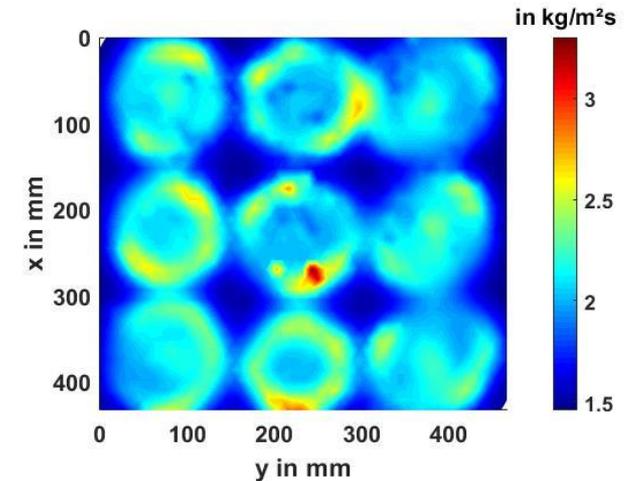
Zusätzliche Untersuchungsmöglichkeiten II

- Bestimmung der Verformung über Lasersystem im Anschluss an die Versuche
 - Bestimmung über Triangulation
 - 2D-Linienlaser mit entsprechender Traverse sorgen für 3D-Probenprofil
 - Örtlich und zeitlich hochauflösend
 - Einsatz auch an heißen Proben möglich
- Korrelation der Probenverformung mit der Abkühlrate oder den Düsenfeldeinstellungen



Zusätzliche Untersuchungsmöglichkeiten III

- Bestimmung der Beaufschlagungsdichte und Strömung des Düsenfelds der Wasserkühlung
 - Beaufschlagungsdichte über Patternatormessung
 - Bestimmung der Strömung mit optischen Methoden
 - Identisches Düsenfeld und sonstige Randbedingungen
- Korrelation mit der Abkühlrate, dem Wärmeübergang oder der Verformung der Proben

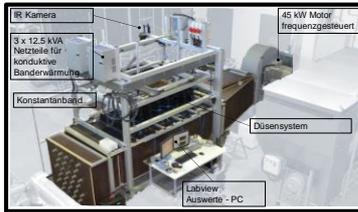


Erweiterung der Untersuchungsmethodik

Vorhandene Versuchsstände

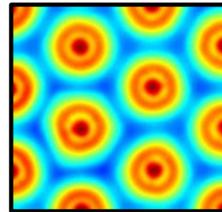
1. Messwert

Temperaturmessung



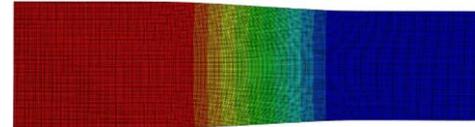
2. Auswertung

Bestimmung des WÜK



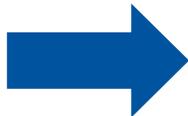
3. Simulation

FEM, FDM, CFD



4. Zielgrößen

$$\left\{ \begin{array}{l} T_x \\ \sigma \\ I - Units \\ E \end{array} \right.$$



Zunehmende Ungenauigkeit durch Annahmen etc.



MWBA



- Direkte Messung der Zielgrößen
- Gekoppelte Betrachtung aller Einflussfaktoren

Zusammenfassung

- Modulare Wärmebehandlungsanlage am IOB
 - Flexibel auf unterschiedliche Wärmebehandlungen und Werkstoffe einstellbar
 - Durch modularen Aufbau auch für zukünftige Fragestellungen geeignet
 - Verschiedenste Probengeometrien möglich
- Ergänzung der Untersuchungen an der Anlage durch vorhandene Messtechnik und Versuchsaufbauten
 - Verformung, Wärmübergangskoeffizienten, Strömung, Temperaturmesstechnik, Gasanalytik
- Untersuchung von gekoppelten prozess- und werkstofftechnischen Fragestellungen an einem Versuchsstand
 - Einfluss der Ofenatmosphäre und des Kühlkonzepts auf die Wärmebehandlung
 - Ermittlung von Wärmebehandlungszyklen für die Werkstoffentwicklung

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