



FAKULTÄT FÜR
MASCHINENBAU



Werkstoffliche Grundlagenuntersuchungen für den Einsatz von regenerativem Wasserstoff bei der Herstellung von Sekundäraluminium „H2-Alu“

Förderkennzeichen: 01LJ2106 A – C

Laufzeit: 01.10.2022 – 30.06.2024 (31.12.2023)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



DLR Projektträger

Otto-von-Guericke Universität
Institut für Werkstoffe,
Technologien und Mechanik
Universitätsplatz 2
39112 Magdeburg

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.
Industrie- und Feuerungstechnik
Hafenstr. 101
45356 Essen

Gas- und Wärme-
Institut Essen e.V.



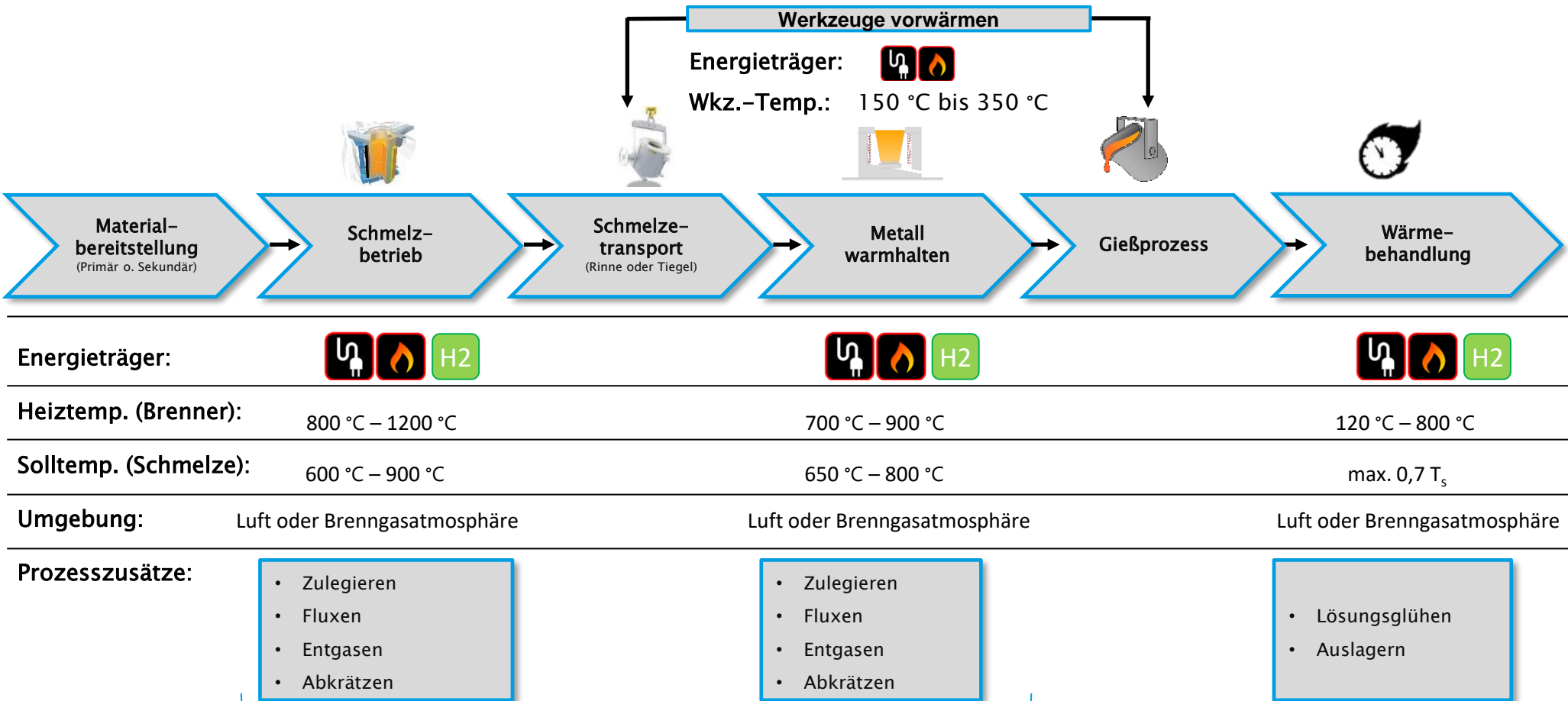
HMT Höfer Metall Technik GmbH & Co KG
Gewerbering 32
06333 Hettstedt

HMT HÖFER
METALL TECHNIK



AP 1 - Möglichkeiten der Wasserstoffzumischung

AP 1.1 Potentiale H₂- und O₂-Nutzung entlang der Prozesskette

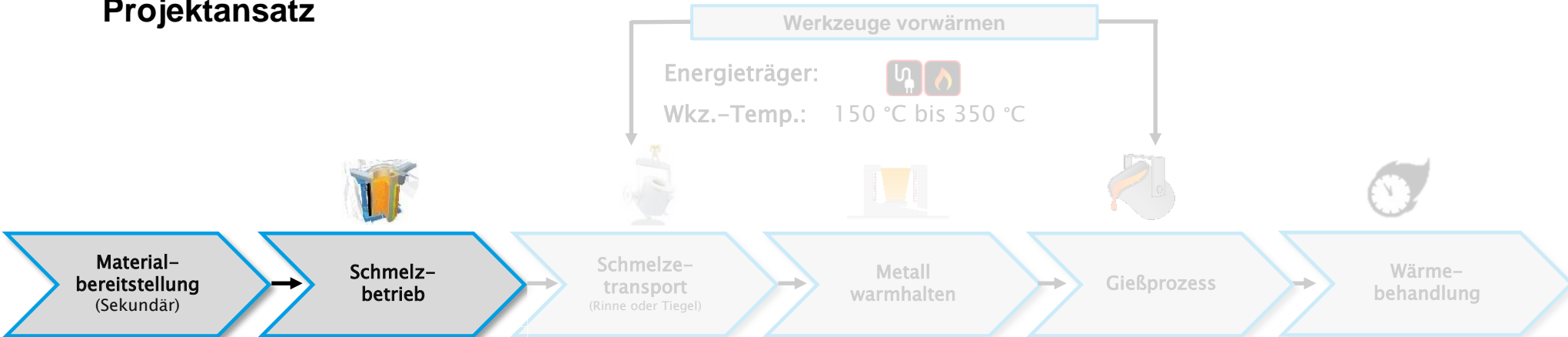


Energiebedarf: **80 %**

Typische Fertigungskette in Al-Gießereien

Typische Fertigungskette in Al-Gießereien

Projektansatz



Energieträger:



Heiztemp. (Brenner): 800 °C – 1200 °C

Solltemp. (Schmelze): 600 °C – 900 °C

Umgebung: Luft oder Brenngasatmosphäre

Prozesszusätze:

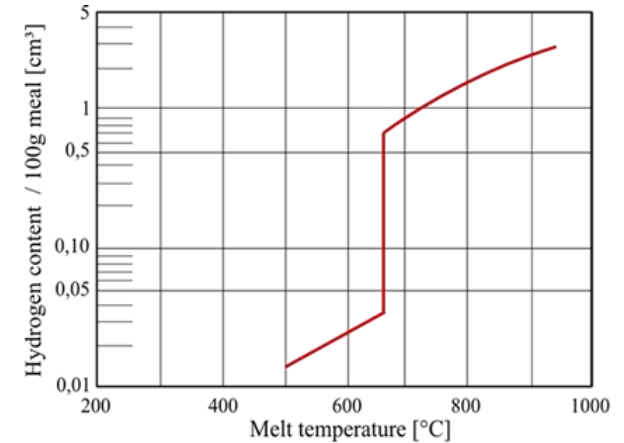
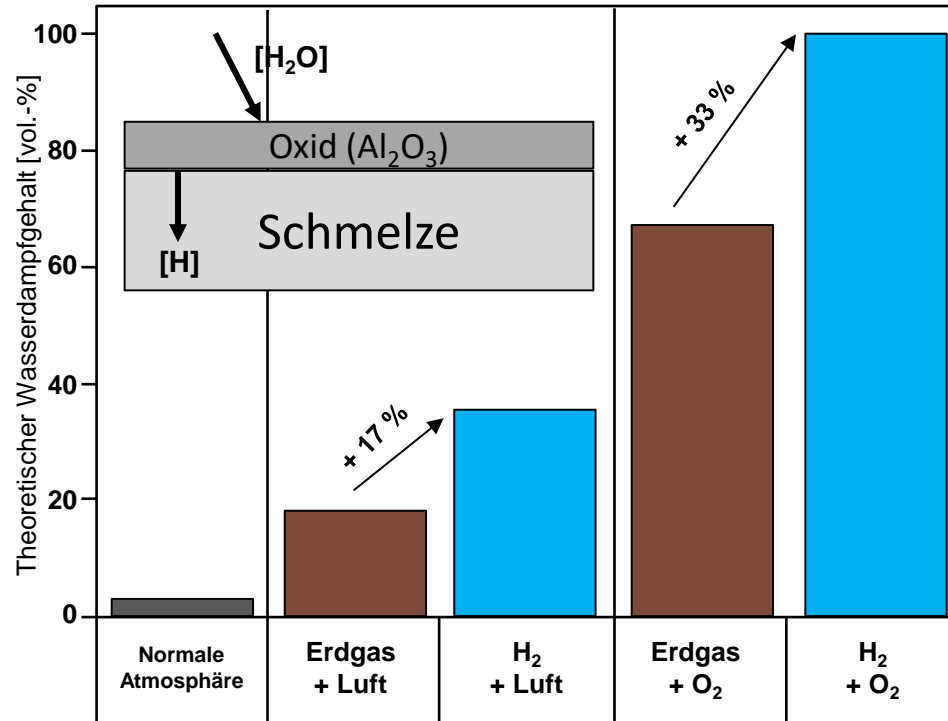
- Zulegieren
- Fluxen
- Entgasen
- Abkrätzen

H₂-Einfluss auf Schmelzprozess:

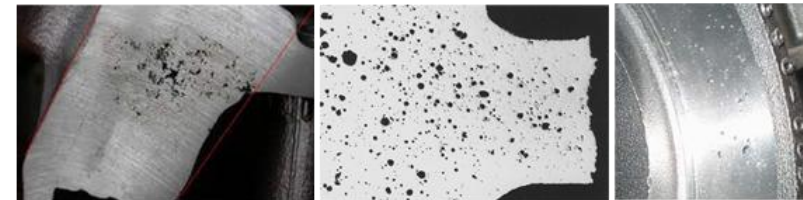
- Höhere Flammen-/Verbrennungstemperatur
 - Leistungsanstieg des Brenners bei gleichen Prozessparametern!
- Erhöhung relativer Wasserdampfgehalt in der Ofenraumatmosferaere
 - Reaktion mit Schmelzgut?
 - Erhöhte Schlackebildung?
 - Verringerter Metallausbringungsgrad?
 - Abbrand von Legierungselementen?
 - Reaktion mit Feuerfestmaterial?

AP 1 - Reaktionen bei der Wasserstoffzumischung

AP 1.1 H₂- und O₂-Nutzung entlang der Prozesskette



Löslichkeitssprung von in der Schmelze enthaltenem Wasserstoff während der Erstarrung von Aluminium

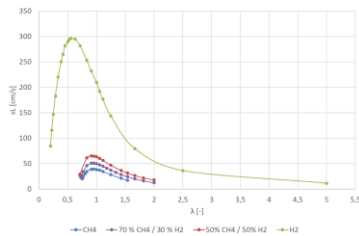
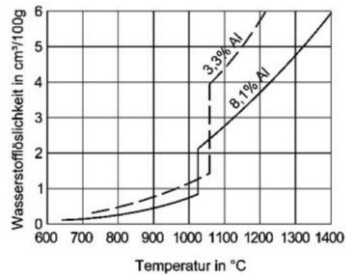


Festgestellte Wasserstoffporosität als Qualitätsmängel an und in Aluminiumussteilen

Auf Basis bisheriger Recherche gibt es derzeit noch keine verbindlichen Aussagen über die Auswirkungen von Wasserstoffangereicherten Brennstoffen bei Verwendung zum Einschmelzen von Aluminium.

Lösungsweg

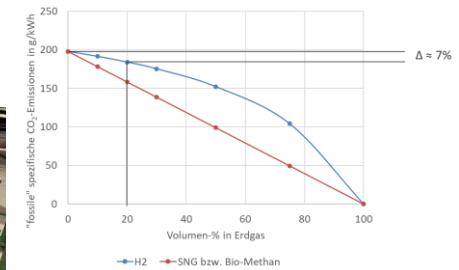
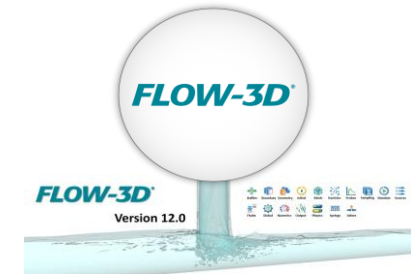
Recherche zum
aktuellen Stand und
Reaktionskinetik



Versuche im
Labormaßstab



Entwicklung eines
Simulationstools und
CO₂-Einsparung

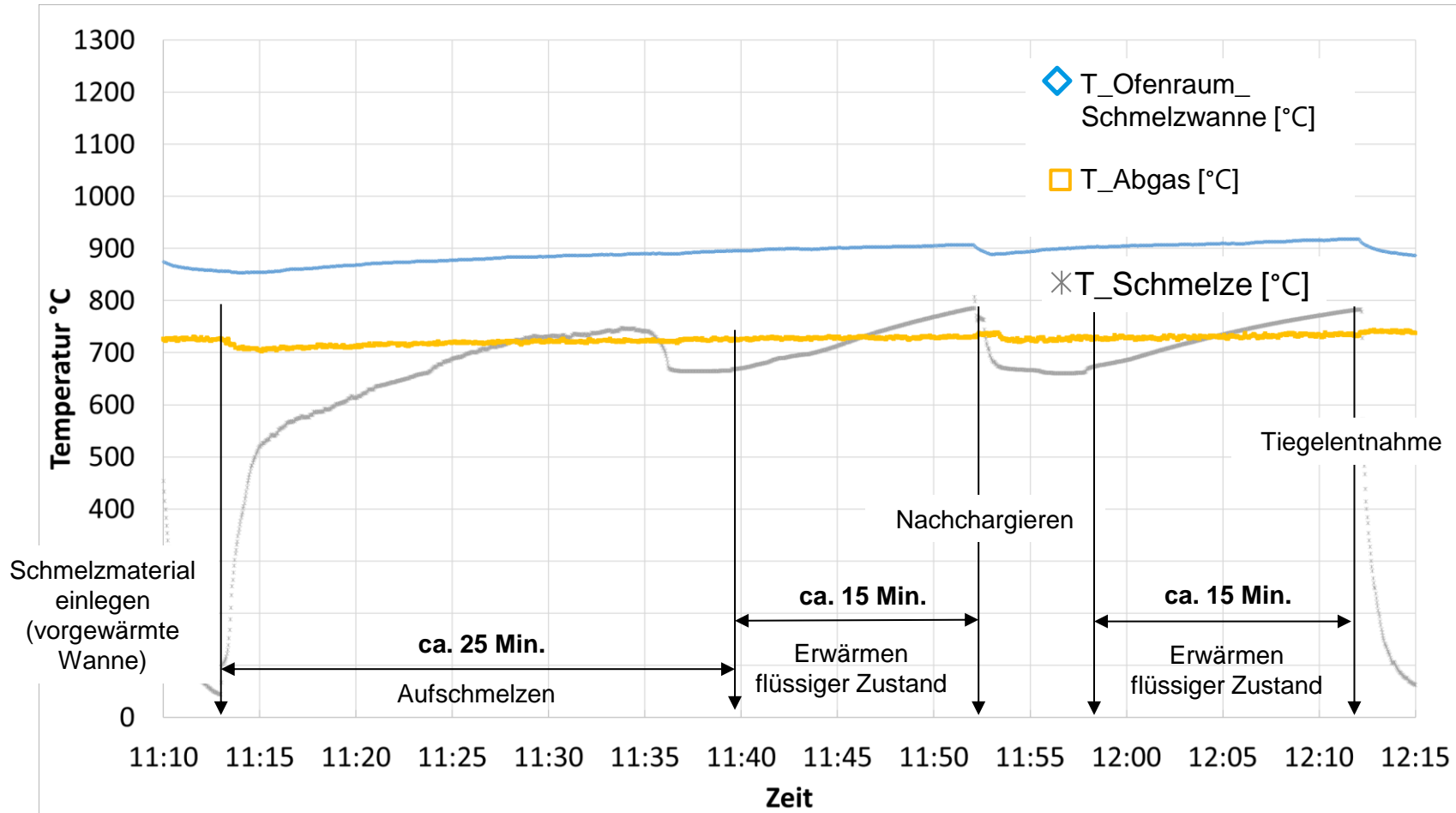


Experimenteller Aufbau

- Brenngaszusammensetzung
 - Erdgas + 0 bis zu 100%-H₂
 - Luftzahl (λ): 1.1 / 1.0 / 0.95 (60 kW Brenner)
- Schmelzen
 - Laborofen bis zu 1100°C Flammentemperatur
 - Haltezeiten Schmelzflüssiger Zustand bis zu 50 Minuten
 - **keine Badbewegung**
- Wasserstoffmessung Schmelze
 - Dichteindex / Hycal
- Material
 - EN-AW6060 Bolzenabschnitte
- Materialanalyse
 - Porositätsmessungen (Schliff + CT)
 - Ermittlung mechanische Eigenschaften
 - chemische Analyse



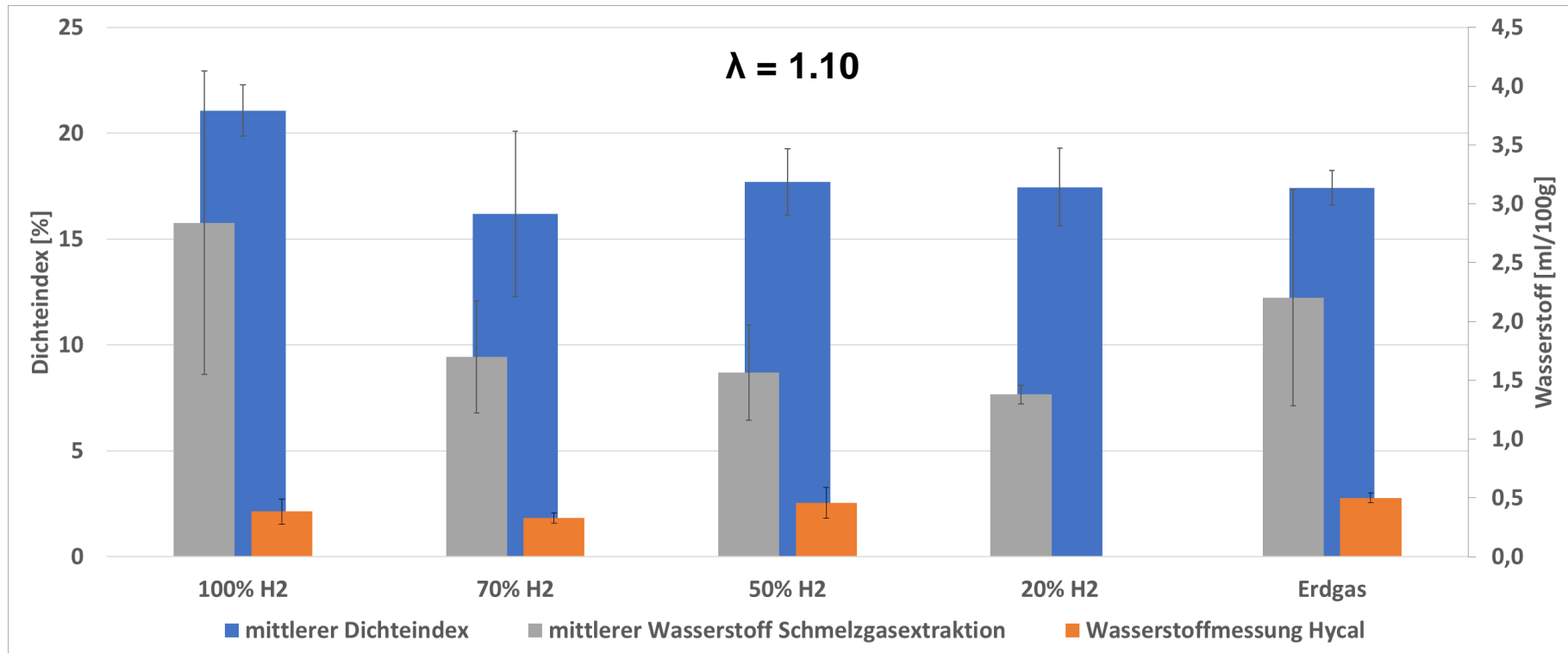
Schmelzverlauf



Schmelzprozess (Wanne) [$\lambda = 1,1$] Erdgas 80% , H₂ 20%

Kontaktzeit mit Verbrennungsgasatmosphäre in schmelzflüssigen Zustand ca. 50 Min.

Wasserstoffnachweis: A6060



Dichteindex-Werte der Versuchsreihe A6060

Annahme: mit zunehmender H₂-Zumischung steigt der Wasserstoffeintrag in die Schmelze?

→ direkte Wasserstoffmessung (Hycal) unabhängig vom H₂-Anteil im Verbrennungsgas

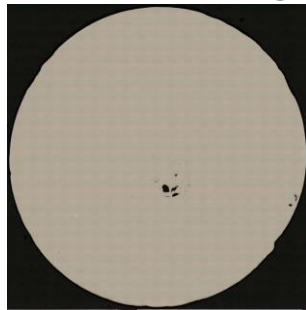
→ Dichteindex/Heißgasextraktion zeigen erhöhten Wasserstoffeintrag bei 100 Vol.-% H₂

→ aber alle untersuchten Brenngasmischungen zeigen einen hohen H₂-Eintrag in die Al-Schmelze

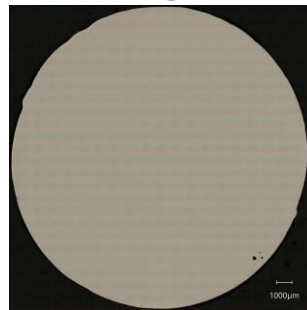
Erste Ergebnisse

Luftzahl (λ) = 1,10

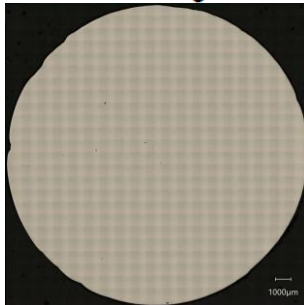
100% Erdgas



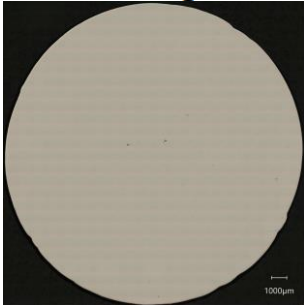
80% Erdgas + 20% H2



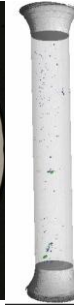
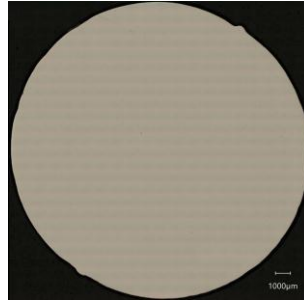
50% Erdgas + 50% H2



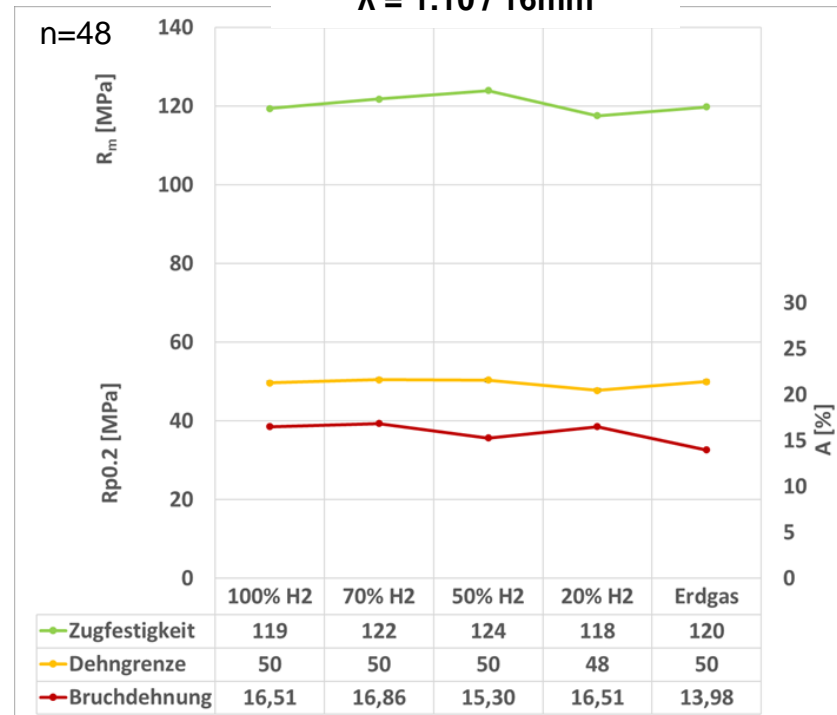
30% Erdgas + 70% H2



100% H2



$\lambda = 1.10 / 16\text{mm}$

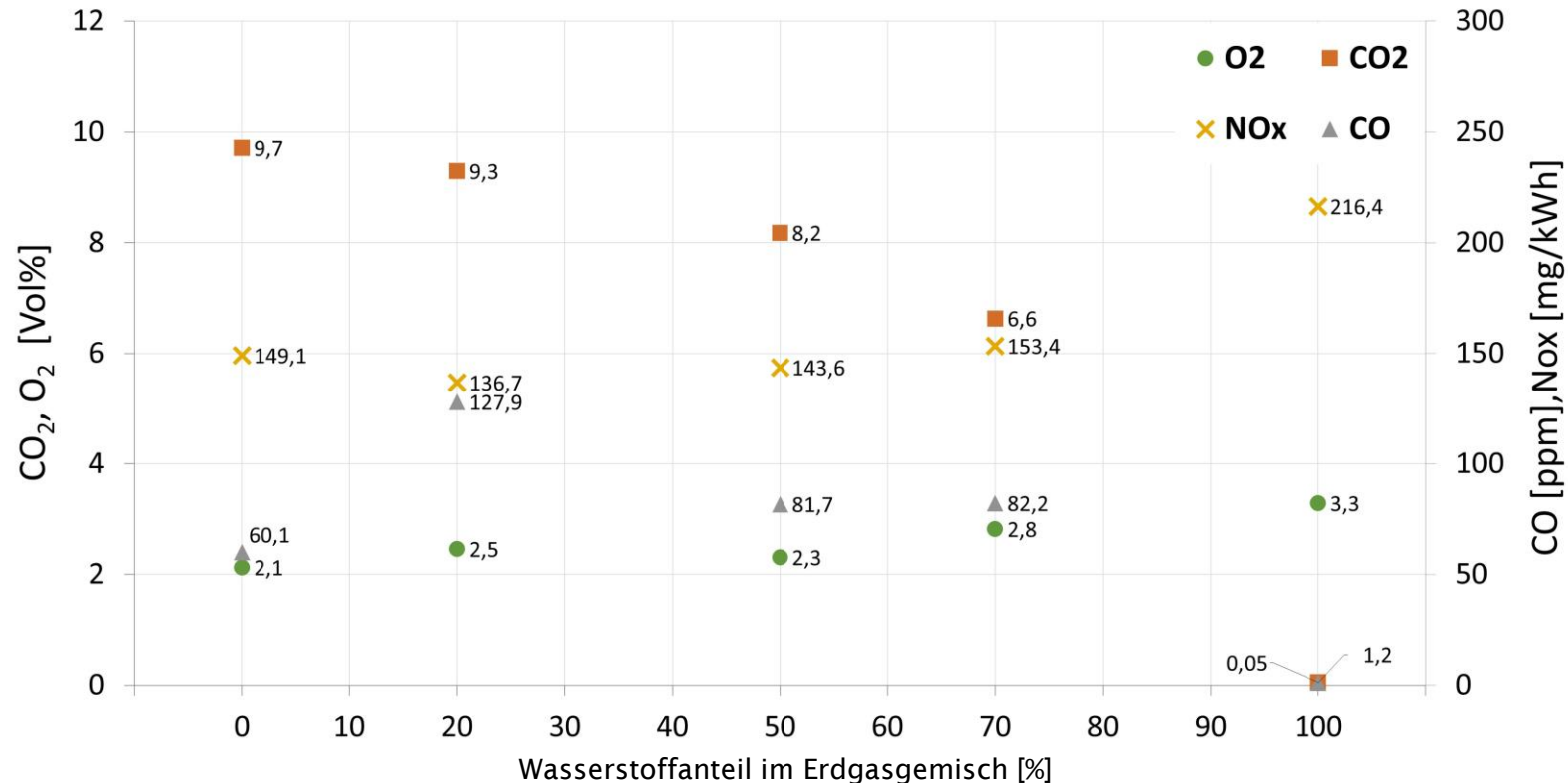


- Einfluss der H₂-Beimischung auf Porosität und mechanische Eigenschaften nicht signifikant

Erkenntnisse Schmelzexperimente (Wanne):

- Beim Schmelzen ist das Schmelzgut unter Brenngasatmosphäre und mit direkten Flammenkontakt
- Kontaktzeit (ca. 50 Min bis 790°C T_{Schmelze}) eventuell zu gering, trotz nachchargieren

Verbrennungsprodukte



Abgaszusammensetzung der Versuchsreihe A6060 bei $\lambda = 1,1$

Annahme: Abnahme CO₂ und Zunahme NO_x mit zunehmender H₂-Zumischung im Verbrennungsgas?

→ Signifikante Reduzierung des CO₂-Anteils im Abgas bei vollständigen Umstieg auf 100%-H₂

→ Anstieg des NO_x Gehaltes im Abgas bei 100%-H₂ Verbrennung, aufgrund Bildung thermisches NO_x

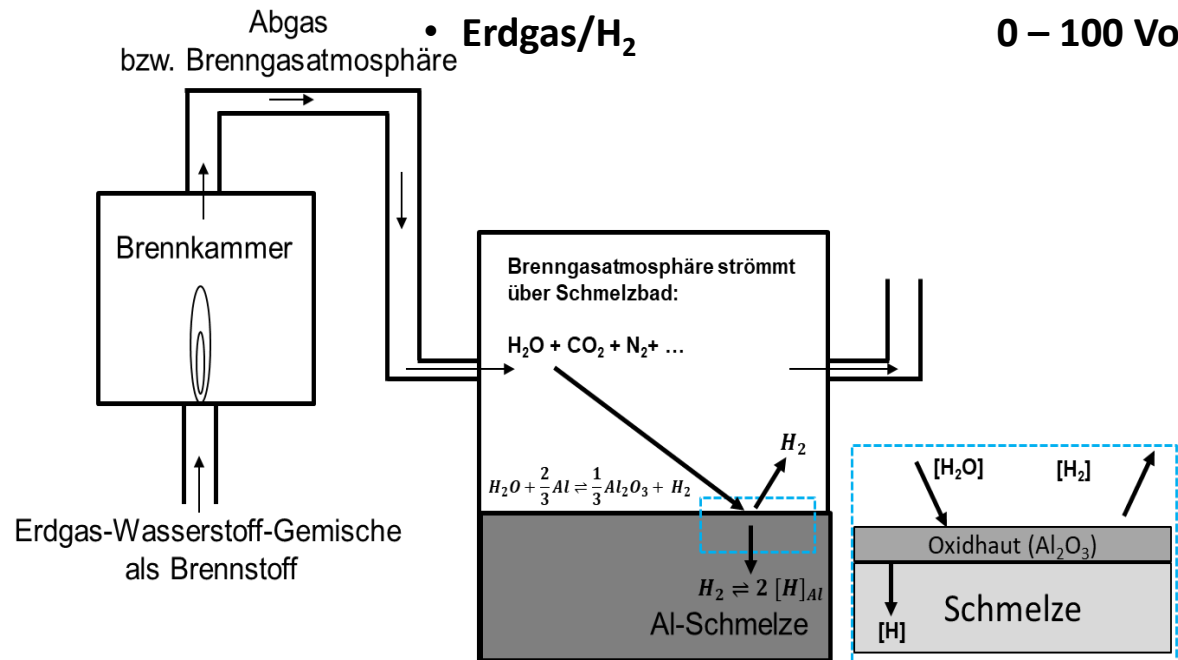
(keine Anpassung der Brennerparameter bzw. des Brennerdesigns)

Versuchsstand Langzeitmessungen

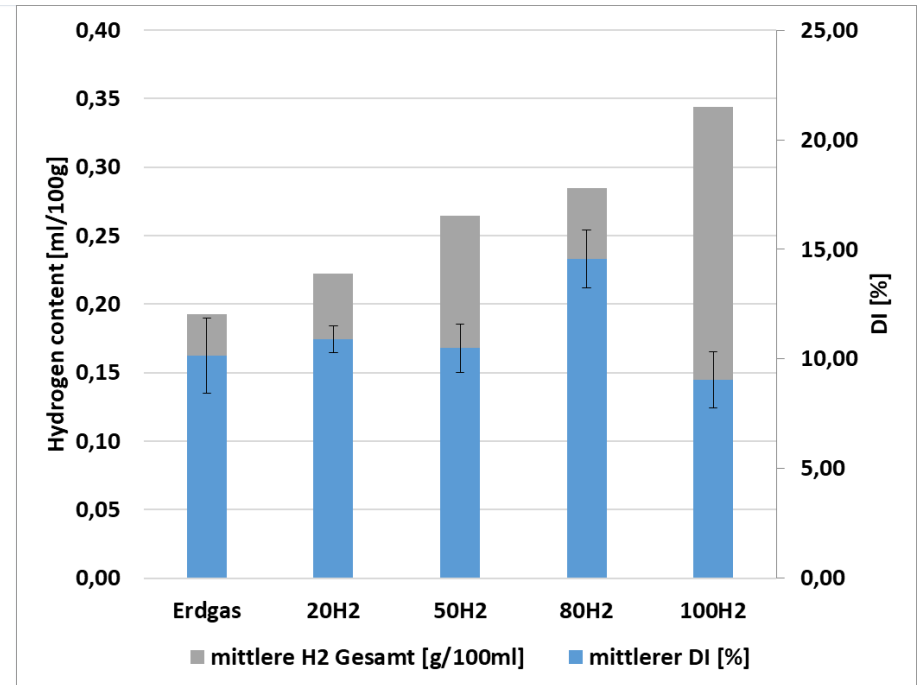
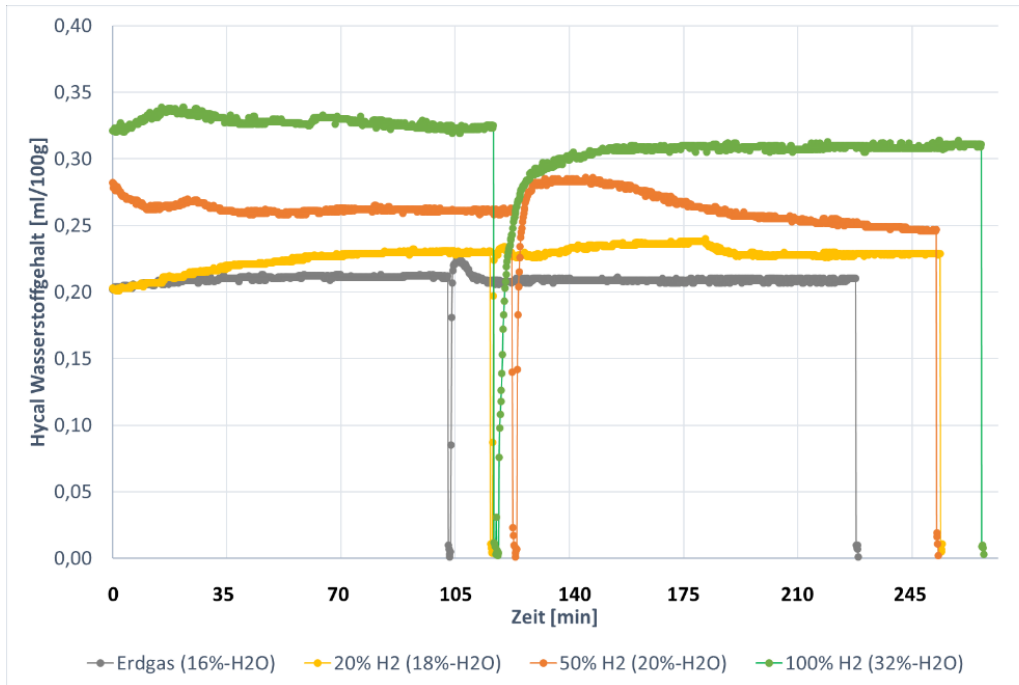


Versuchsbedingungen:

- Leistung Q_{th} : 8 - 10kW
- Brennkammertemperatur: 900 °C
- Schmelze: 720 °C
- Luftzahl: 1,1
- Erdgas/H₂: 0 – 100 Vol.-%



Wasserstoffeintrag in Al-Schmelze (Langzeitmessungen)



Annahme: mit zunehmender H₂-Zumischung steigt der Wasserstoffeintrag in die Schmelze?

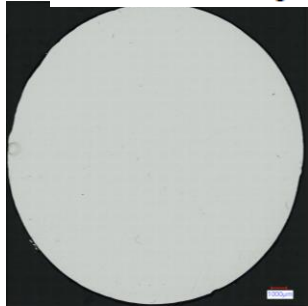
→ direkte Wasserstoffmessung (Hycal) Ausgangs-H₂-Anteil nach Schmelzen steigt

→ keine Wasserstoffaufnahme/-diffusion in die Schmelze während Temperaurhaltezeiten

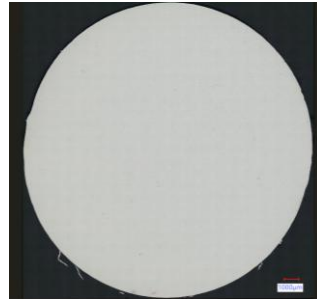
Langzeitmessungen unter H₂-Atmosphäre

Luftzahl (λ) = 1,00

100% Erdgas



80% Erdgas + 20% H₂



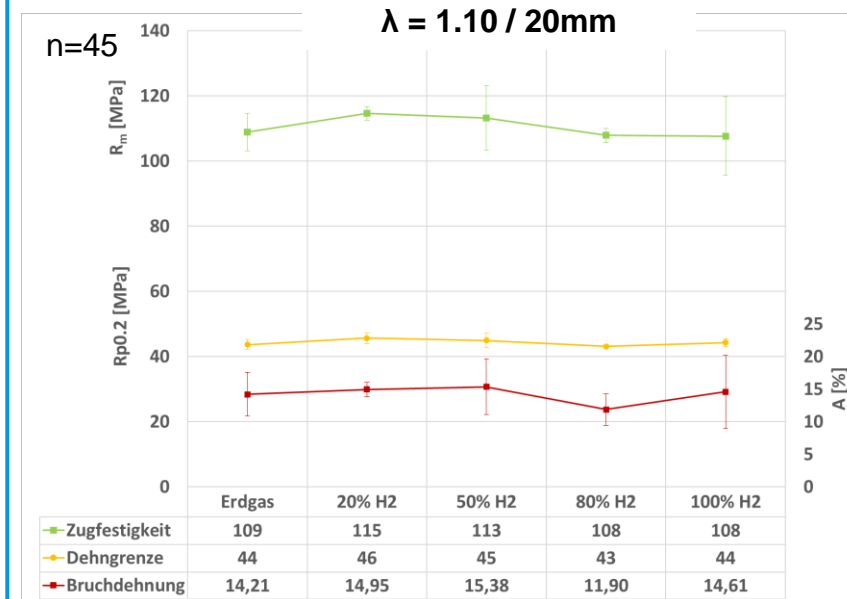
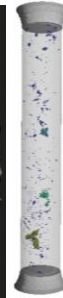
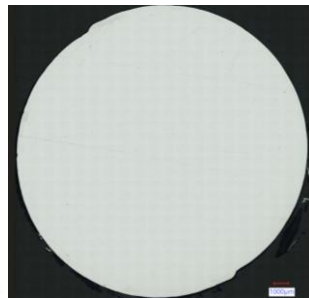
50% Erdgas + 50% H₂



30% Erdgas + 70% H₂



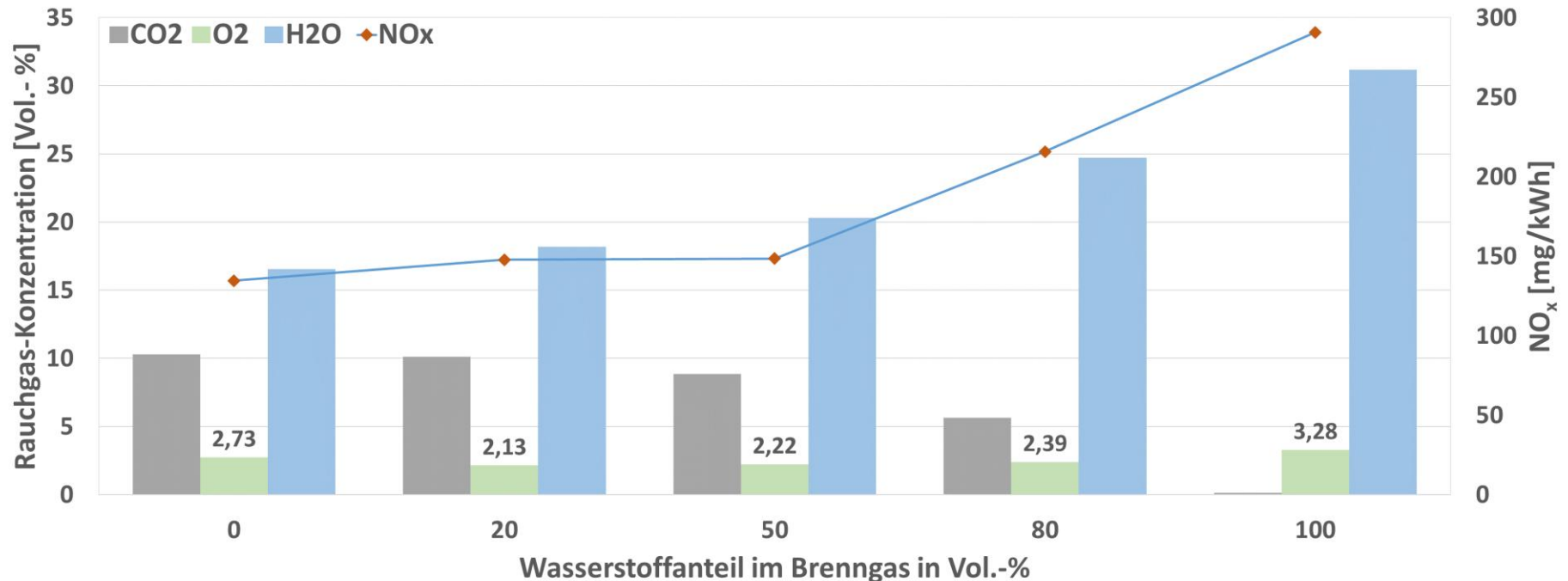
100% H₂



- Einfluss der H₂-Beimischung auf Porosität und mechanische Eigenschaften nicht signifikant
- geeignete Gegenmaßnahmen zur Verringerung des Wasserstoffgehaltes innerhalb der Schmelze
 - Stand der Technik: Entgasung der Schmelze mittels inerten Gasen
 - Anpassung der Prozesszeiten des Entgasungsprozesses

Verbrennungsprodukte Langzeitmessungen

$$P_{th} = 10 \text{ kw}, \lambda \approx 1,1$$



Abgaszusammensetzung der Versuchsreihe A6060 bei $\lambda = 1,1$

Annahme: Abnahme CO_2 und Zunahme NO_x mit zunehmender H_2 -Zumischung im Verbrennungsgas?

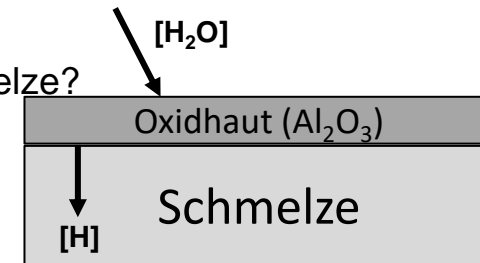
→ Signifikante Reduzierung des CO_2 -Anteils im Abgas bei vollständigen Umstieg auf 100%- H_2

→ Anstieg des NO_x Gehaltes im Abgas bei 100%- H_2 Verbrennung

Zusammenfassung „H₂-Alu“

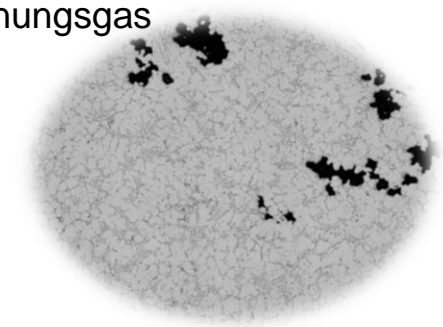
Annahme: mit zunehmender H₂-Zumischung steigt der Wasserstoffeintrag in die Schmelze?

- Änderung des Wasserstoffeintrages beim Schmelzen mit Wasserstoff
- Während Haltezeit kein Anstieg des H₂ Eintrags
 - Oxidhaut auf der Schmelzbadoberfläche dient wahrscheinlich als Diffusionsblockade



Annahme: Abnahme CO₂ und Zunahme NO_x mit zunehmender H₂-Zumischung im Verbrennungsgas?

- Reduzierung des CO₂-Anteils im Abgas mit Zunahme der H₂-Zumischung ins Verbrennungsgas
- Signifikanter Sprung des NO_x Gehaltes im Abgas bei 100%-H₂ Verbrennung



Annahme: mit zunehmender H₂-Zumischung steigt die Flächen- bzw. Volumenporosität?

- Keine signifikanten Porositätssprünge durch Zumischung von H₂ nachweisbar

Annahme: mit zunehmender H₂-Zumischung sinken die mechanischen Eigenschaften (R_m/R_{p0.2}/A)?

- Keine signifikante Änderung der mechanischen Eigenschaften durch Zumischung von H₂

H₂ ready!?



FAKULTÄT FÜR
MASCHINENBAU



Reduzierung der CO₂-Emissionen durch den Einsatz von regenerativem Wasserstoff bei der Herstellung von Aluminium-Rundbolzen zur Profilherstellung (HyAlu) Teilvorhaben: Analyse der H₂-Zumischung auf das Aluminium (HyAlu)

Förderkennzeichen: 03EN2080 A - D

Laufzeit: 01.01.2024 – 31.12.2026

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Otto-von-Guericke Universität
Institut für Werkstoffe,
Technologien und Mechanik
Universitätsplatz 2
39112 Magdeburg

BLOOM ENGINEERING
(EUROPA) GMBH
Büttgenbachstr. 14
40549 Düsseldorf



Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.
Industrie- und Feuerungstechnik
Hafenstr. 101
45356 Essen

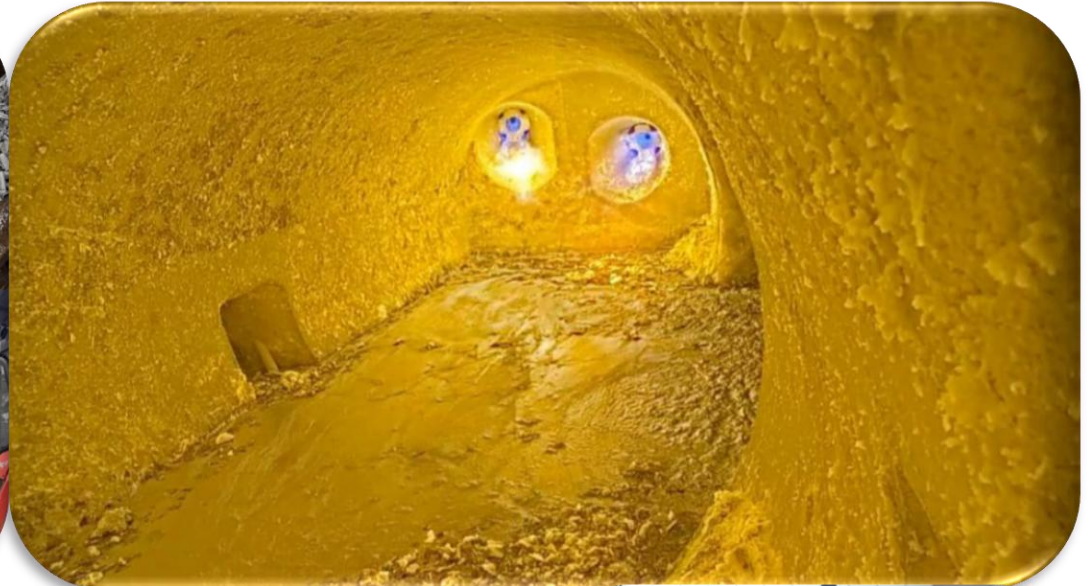
Gas- und Wärme-
Institut Essen e.V.



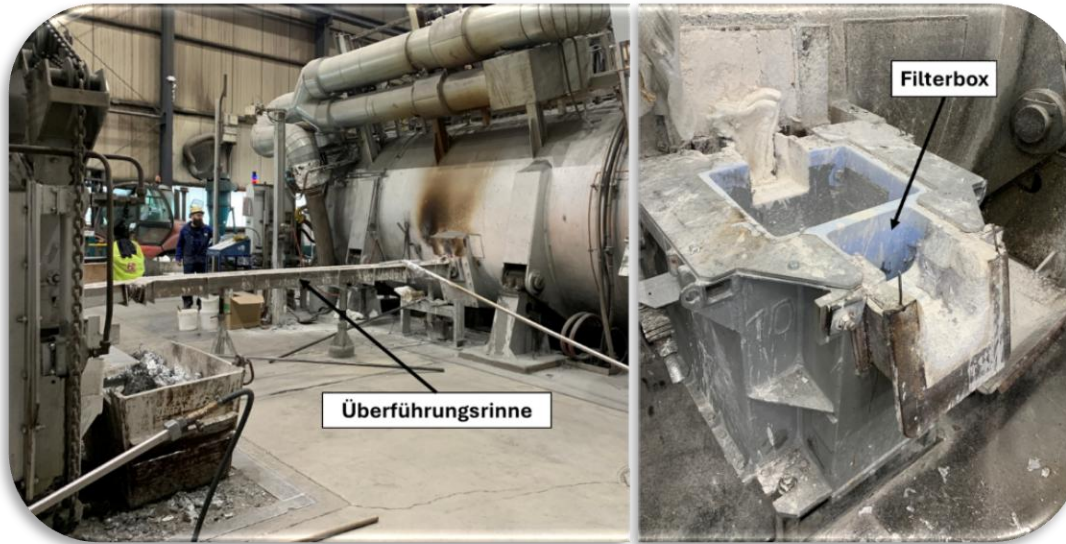
HMT Höfer Metall Technik
GmbH & Co KG
Gewerbering 32
06333 Hettstedt



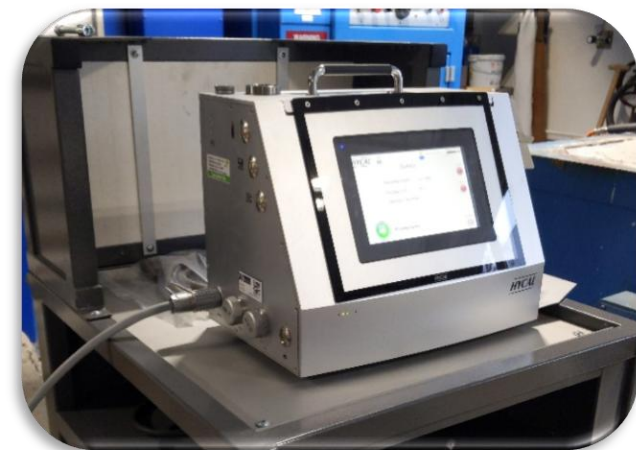
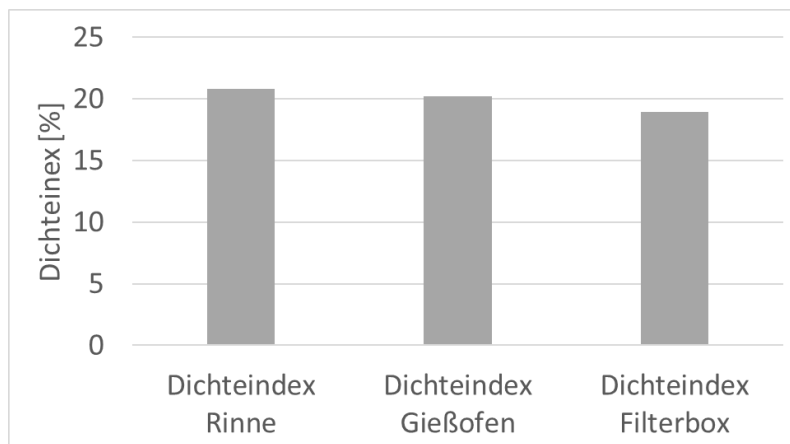
Ermittlung des industriellen IST-Zustandes bei HMT



Ermittlung des industriellen IST-Zustandes bei HMT

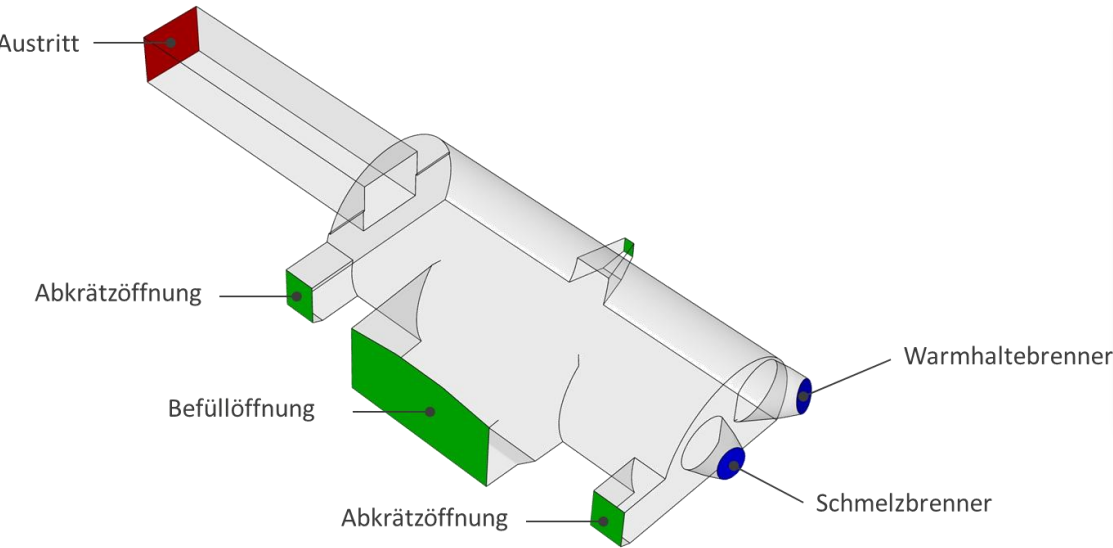


Dichteindex Messgerät



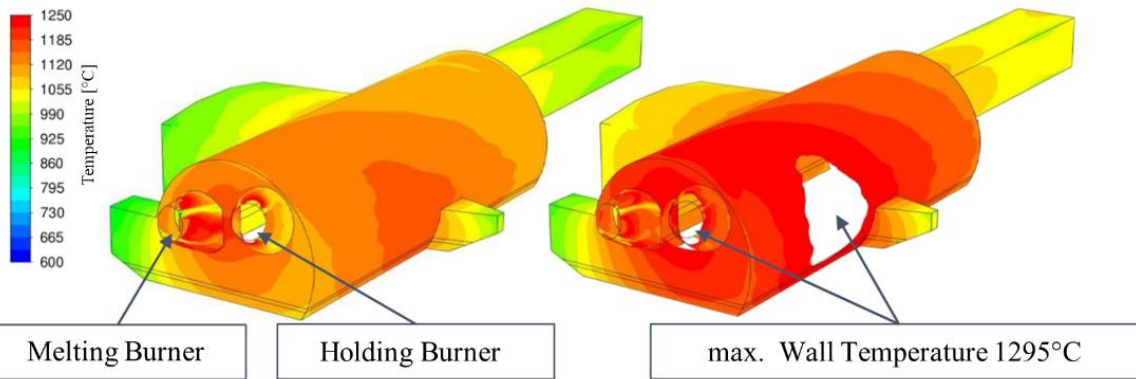
In-Situ Wasserstoffmessgerät „Hycal“

Simulation des Ofenraumes und Neuzustellung für H₂-Betrieb



NG - 2500 kW

H₂ - 2500 kW



Erdgas

H₂