



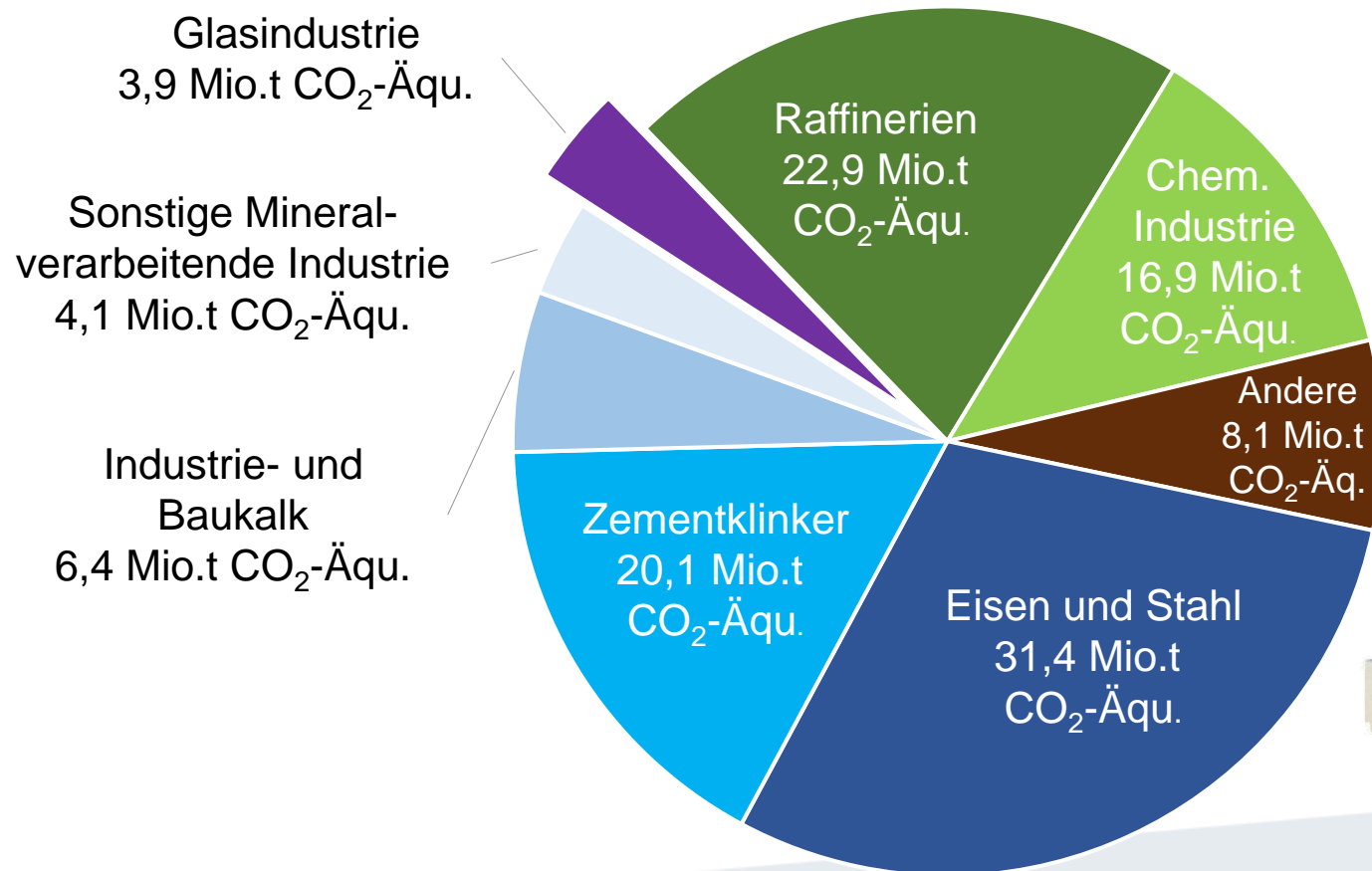
UNTERSUCHUNG DER VERBRENNUNGSCHARAKTERISTIK VERSCHIEDENER WASSERSTOFF-OXYFUEL-BRENNERSYSTEME IN DER GLASINDUSTRIE

Anna Hasche, Sven Eckart, Hartmut Krause

Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik,
TU Bergakademie Freiberg



Einleitung – Zielstellung in der Glasindustrie



VET-Bericht 2022

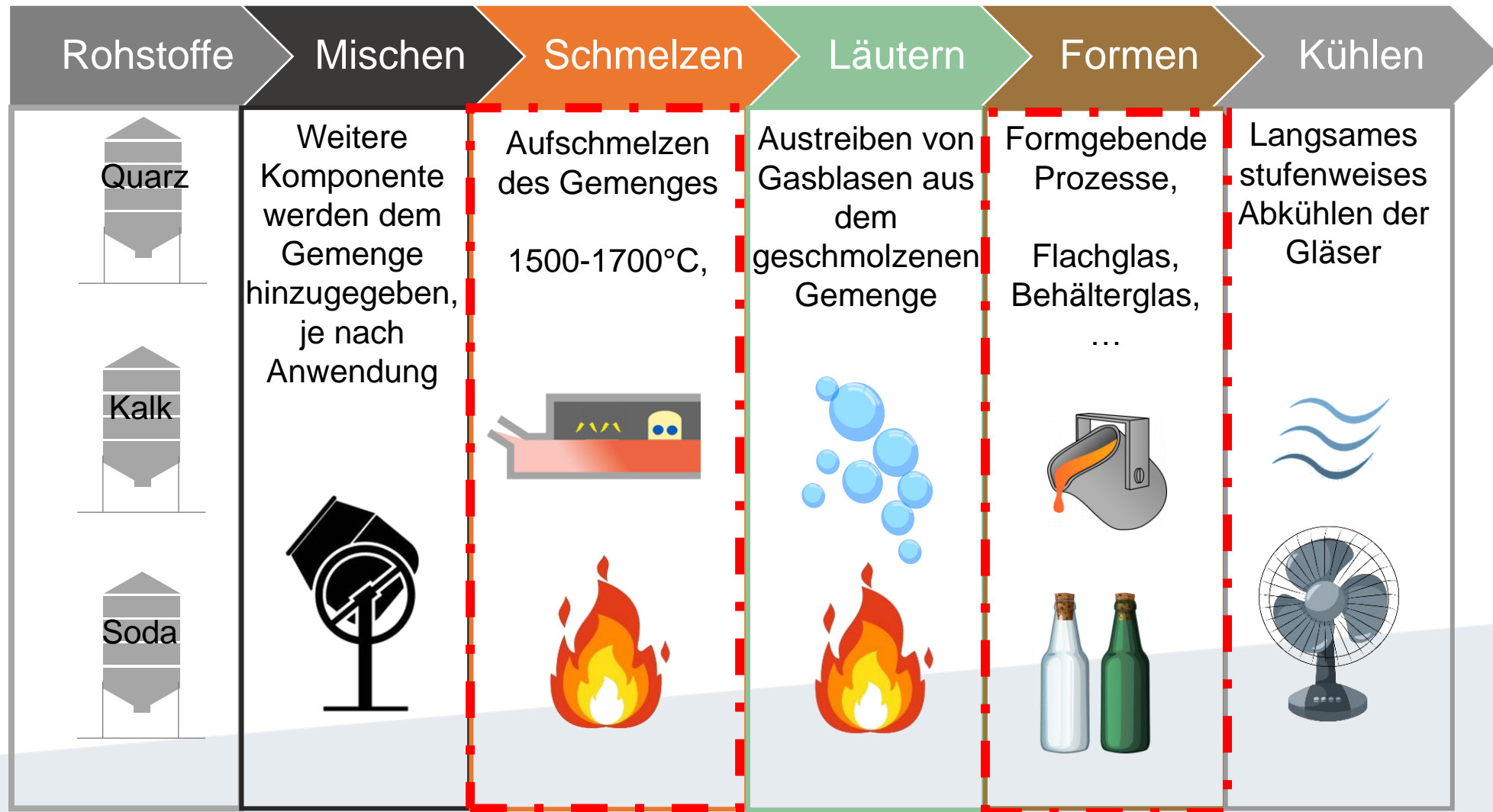
- Ziel ist die Umsetzung des **Klimaschutzplanes 2045**
- Bisher hohe Emissionen beim Glasschmelzprozess und bei Umformprozess durch Erdgasbrenner
- **Lösung für klimaschonende Beheizungs-methode** im Schmelzprozess und bei der Nachbearbeitung des Glases bei **gleichbleibender Glasqualität**



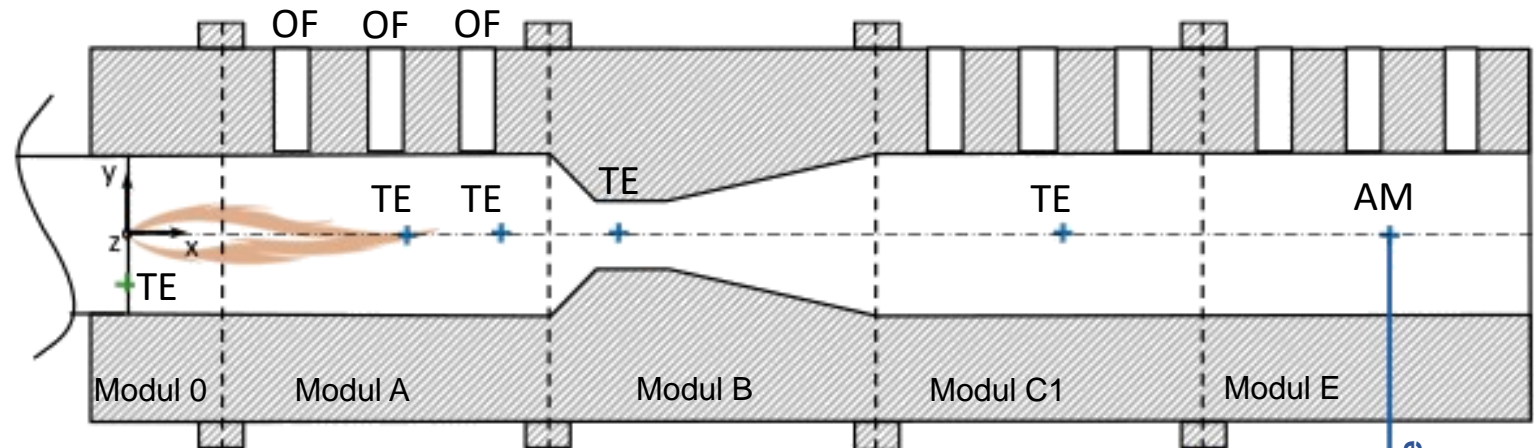
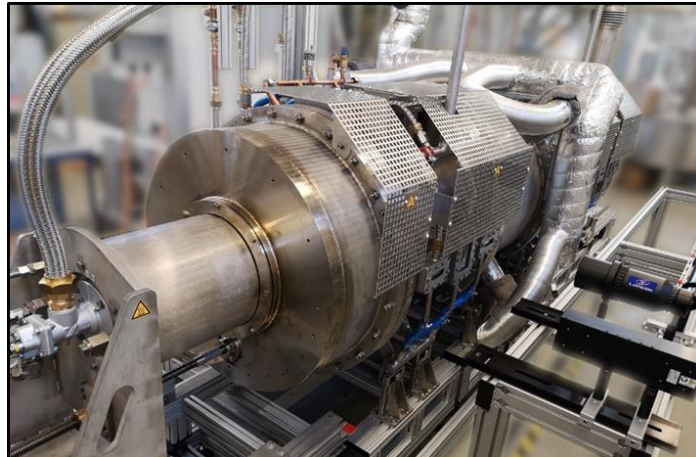
Quelle: <https://www.hornglass.com/de/produkte/schmelzwannen-und-ausruestung/oxyfuel-schmelzwannen>



Einleitung – Prozesskette Glasherstellung

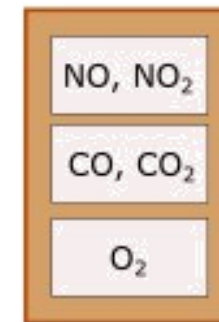


Versuchsstand – Mehrsegmentbrennkammer



- 4 austauschbare Segmente (max. Wandtemperatur: 1600°C)
- Erfassung der gesamten Flammenlänge durch beweglichen Brennerstein
- Gasmischstrecke aus folgenden Komponenten:
 - Brenngas - Erdgas, CH₄, H₂, N₂, CO₂, CO
 - Oxidator - O₂, Luft
- Max. Brennerleistung: 50 kW

ABB Multianalysesystem



Kühlsystem



N₂ MFC



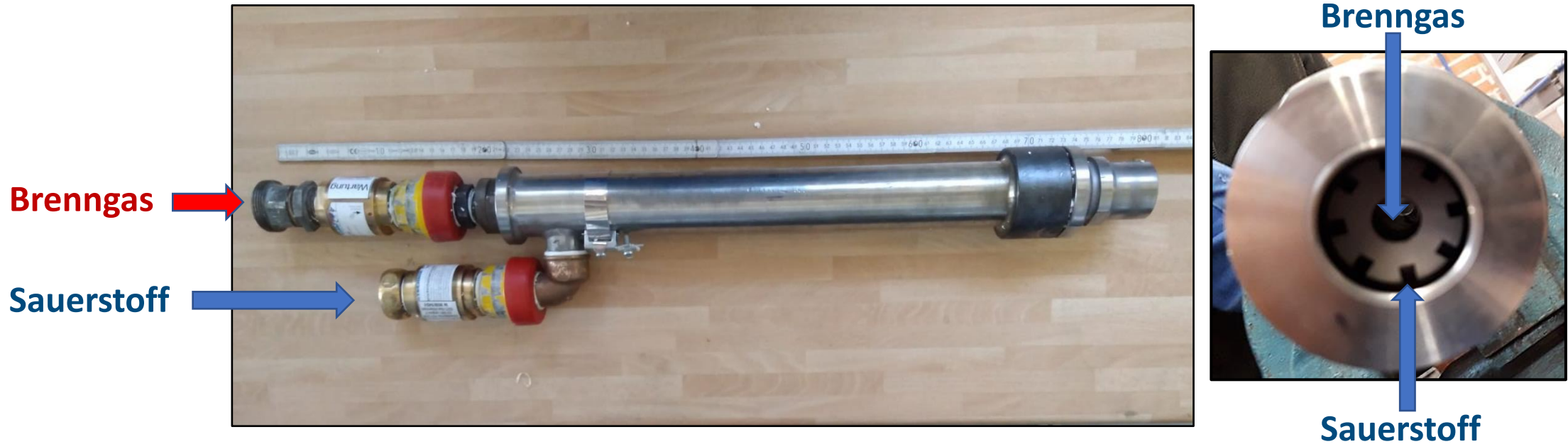
1,09 l/min
trockenes Abgas

Abgasprobe

TE ... Thermoelement
OF ... optisches Fenster
AM ... Abgasmessung



Brennerkonzept des Glasschmelzbrenners

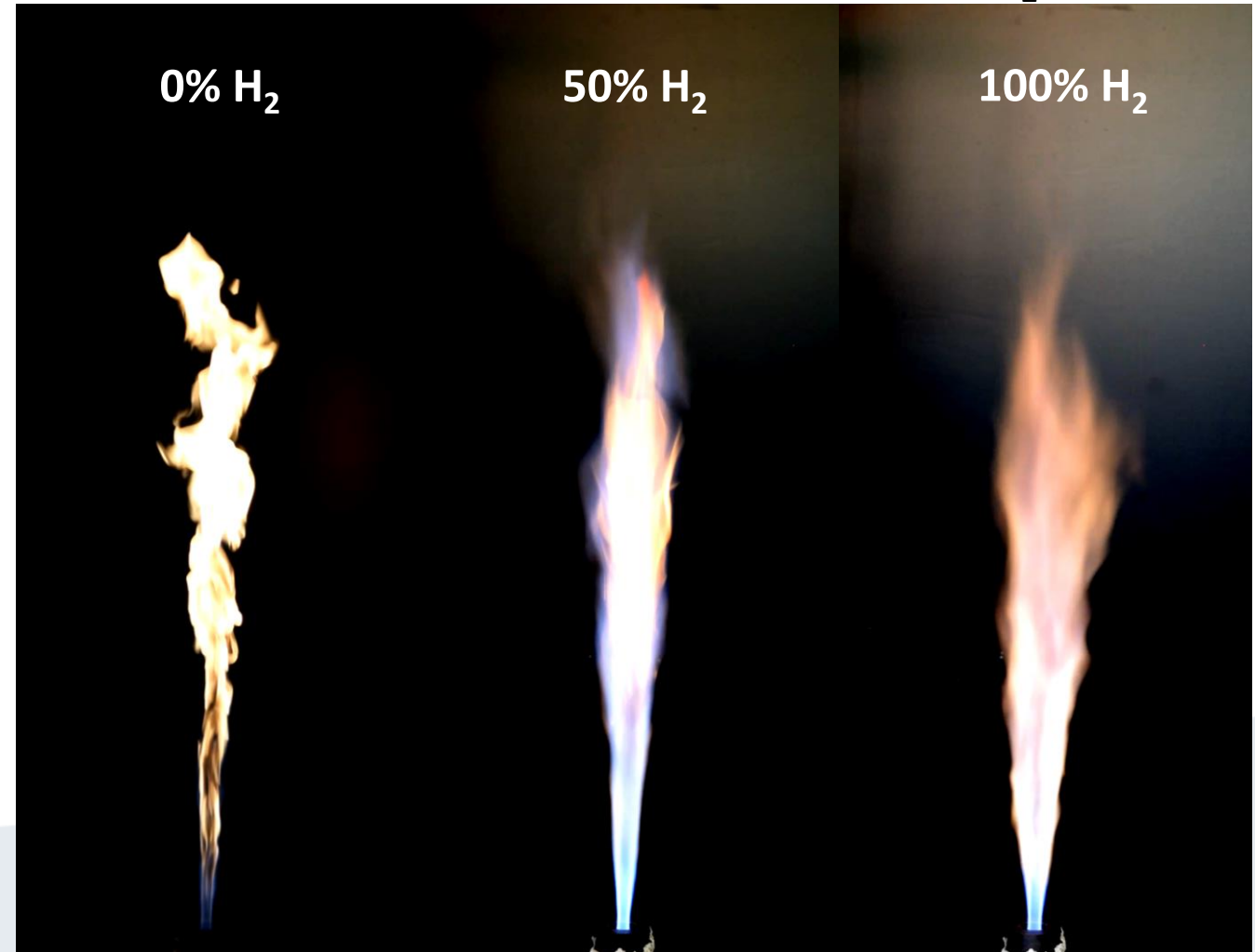


- Mündungsmischender Sauerstoff-Brenner in der Leistungsklasse bis zu 50 kW
- Brennstoffzufuhr über innere Brennerdüse
- Sauerstoffzufuhr umschließend durch Ringspalt mit Drallkanälen

Visuelle Untersuchungen der Wasserstoffbeimischung

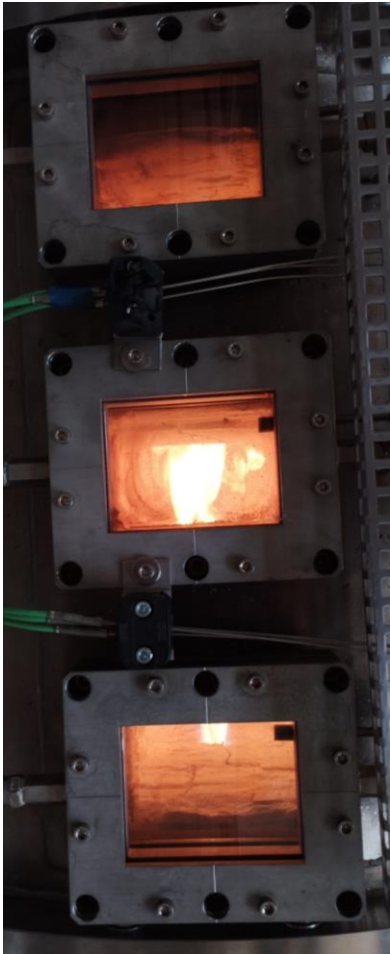
20 kW Brennerleistung; $\lambda=1,0$; 100% O₂

- Flammenüberwachung mittels UV-Sonde bis 100% H₂ möglich
- Flamme stabilisiert sich bei alle unterschiedlichen Brenngasgemischen (0-100% H₂)
- Deutliche Veränderung der Flammenfarbe und Flammenform
- Deutliche Änderung in der Breite der Flammenwurzel
- Flammenhöhe verändert sich gering bei H₂-Beimischung





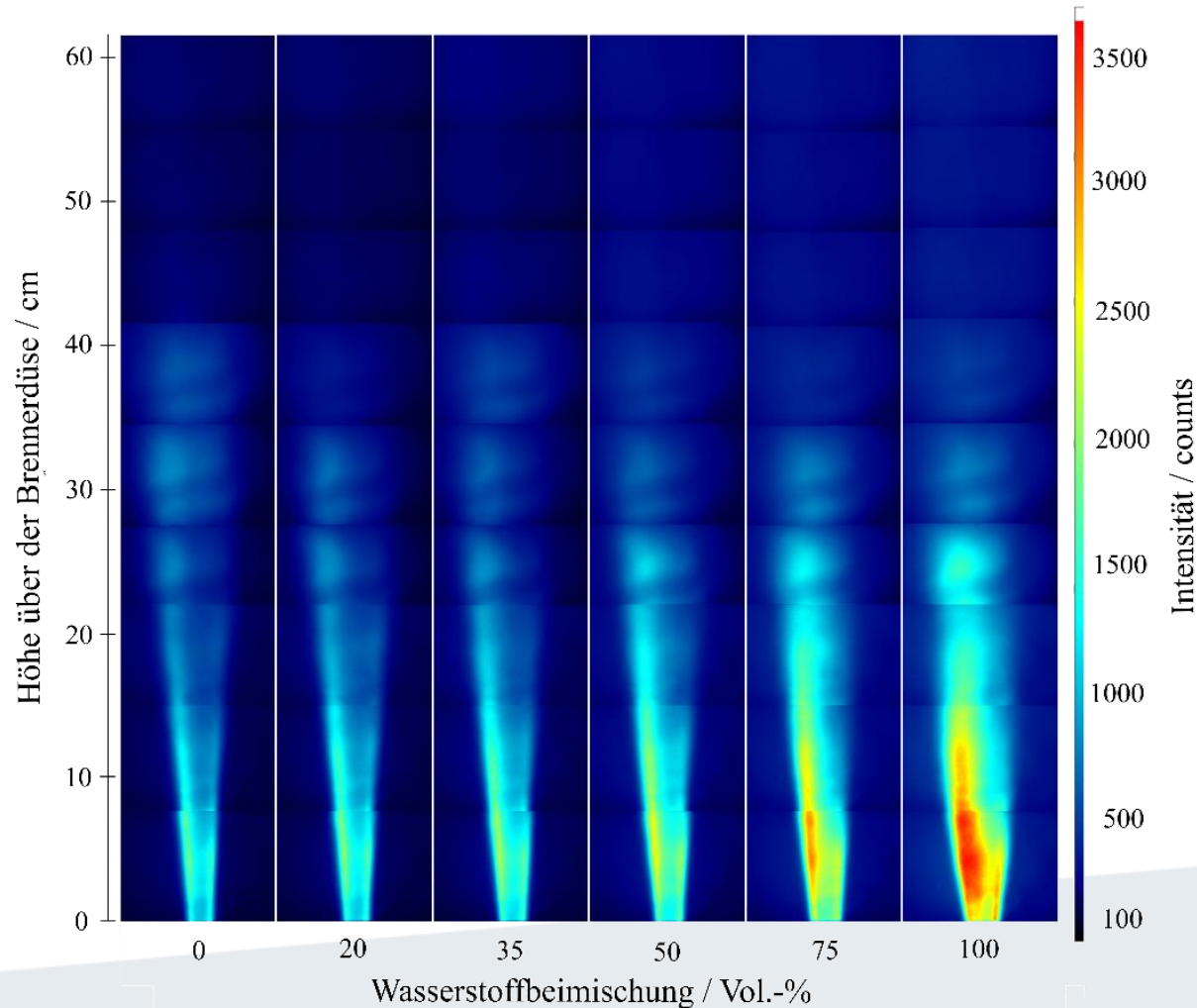
Visuelle Untersuchungen im Brennkanal



- Visuelle Aufnahme der Flamme erfolgt durch optischen Zugängen an Oberseite des Brennkanals
 - Aufnahme der gesamten Flammenlänge nicht direkt mit einem Bild möglich
 - 9 Positionen des Brennerstein erforderlich um gesamtes Flammenvolumen zu erfassen
-
- Auch hier deutlich Unterschiede in Flammenform und in Flammenfarbe zu erkennen



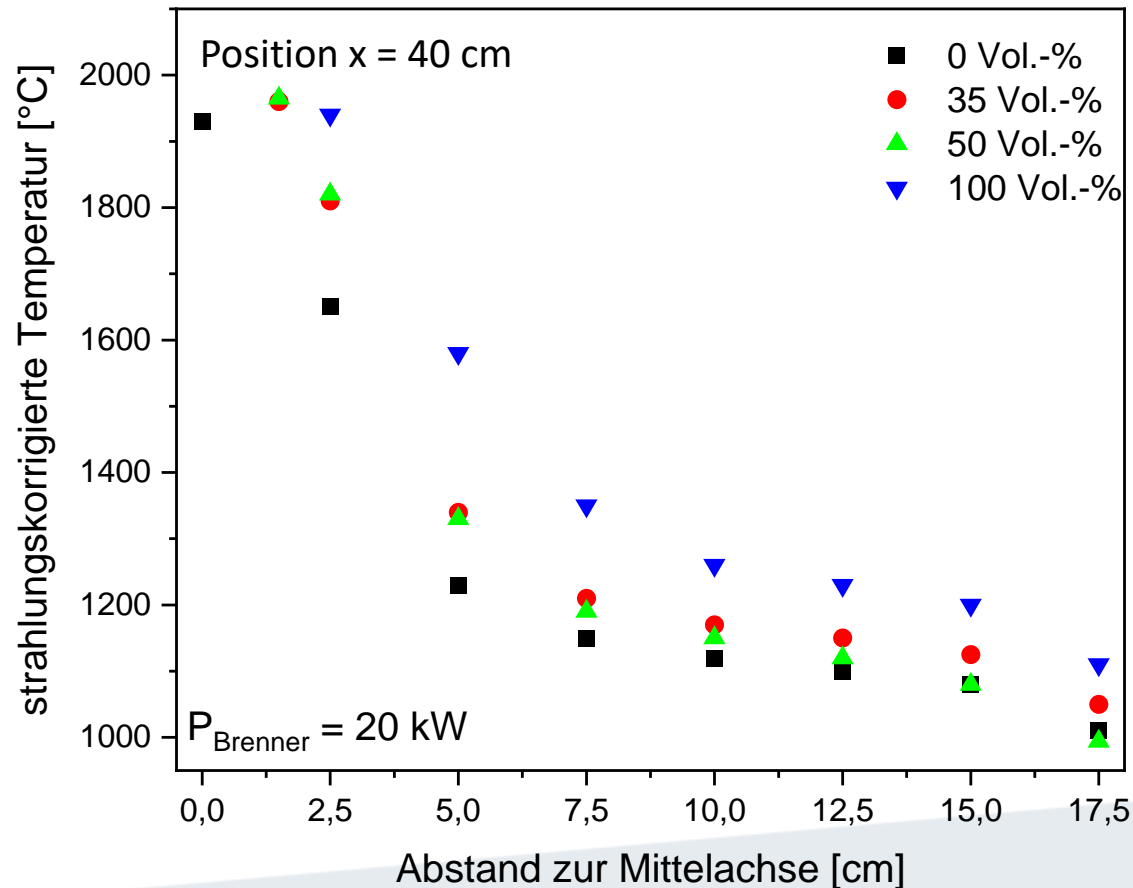
OH*-Untersuchungen im Brennkanal



- Turbulente, mündungsmischende Flamme
- Flammenaufnahme ist ein Mittelwert aus 100 Einzelbildern im UV-Bereich (308nm)
- Kürzere Flamme als im Freibrand aufgrund der fehlenden Auftriebskräfte
- Mit **steigendem Wasserstoffgehalt nimmt OH*-Intensität** deutlich zu
- **Flammenlänge** mit steigenden Wasserstoffanteil annähernd **konstant**, aber breiter
- Keine kritischen Änderung der Flamme mit zunehmender Wasserstoffbeimischung
- Keine konstruktive Anpassung der Brennerdüse erforderlich



Ergebnisse der radiale Temperaturuntersuchungen



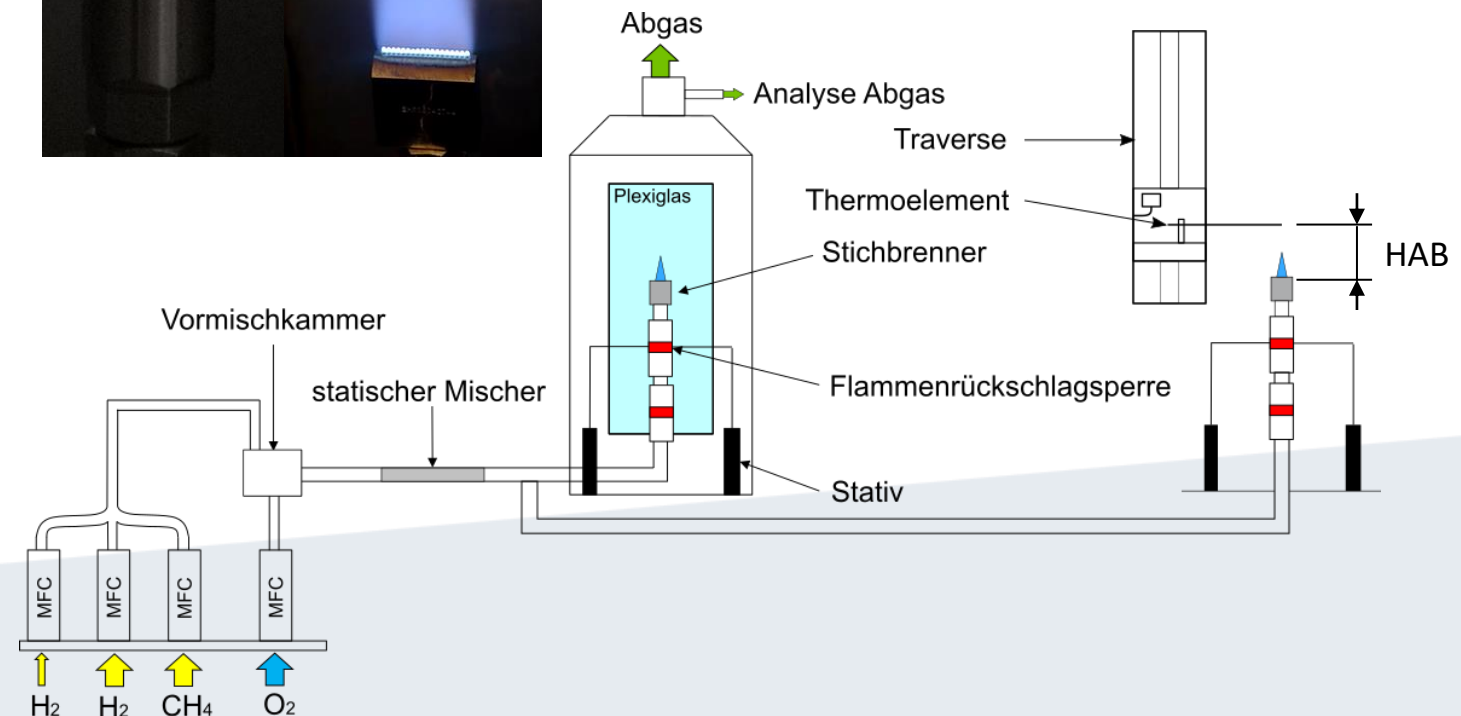
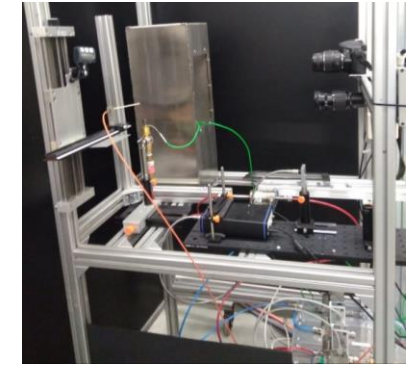
- Radiale Temperaturmessung mittels Thermo-element Typ S, auf Betriebsgrenzen des TE beschränkt
- Mit **steigendem Wasserstoffbeimischung nimmt Temperatur zu** (~350 K)
- Mit zunehmenden radialen Abstand zur Mittelachse nimmt **Temperaturdifferenz zwischen den H₂-Beimischung ab**

Erkenntnisse:

- Geringfügige Prozessänderungen nötig
- Gegebenenfalls Reduktion der Brennerleistung

Versuchsstand Oxyfuelbrenner - Heißformgebung

- Kleinbrennerversuchsstand:
Brennkammer oder im Freibrand
- Sicherer Betrieb mittels zweier
Flammenrückschlagsperren
- Brennerleistung bis 5kW
- Vormischbetrieb mit Gasmischstrecke
aus folgenden Komponenten:
 H_2 , CH_4 , O_2
- Messungen der OH^* -Intensitäten
mittels Chemilumineszenz
- Messung des Temperaturprofils



Betriebsgrenzen der Oxyfuelbrenner und VIS-Untersuchung

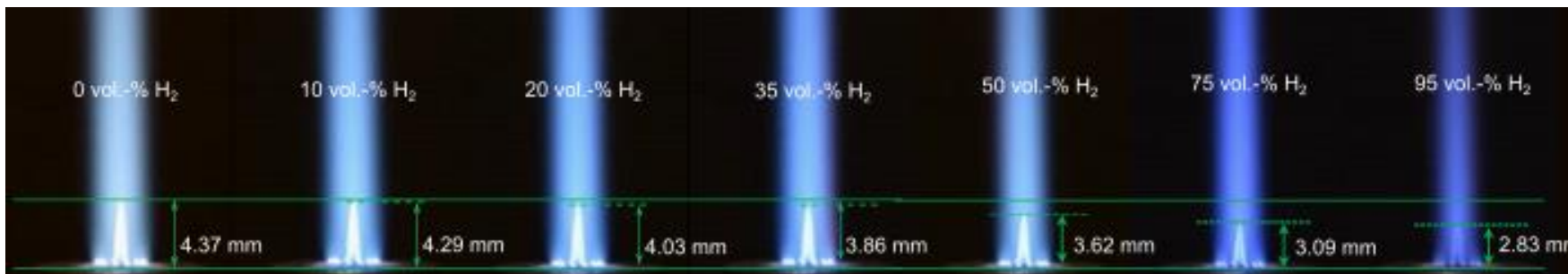
Einlochbrenner (ELB):
P=0,3 kW; 0,4 kW; 0,5 kW

3 verschiedene
Brennerleistungen

Linienbrenner (LB):
P=0,8 kW; 1,8 kW; 2,7 kW

Äquivalenzverhältnis [-]	Wasserstoffbeimischung [Vol.-%]						
	0	10	20	35	50	75	100
0,8	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	× (×) ✓
0,9	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	× (×) ✓
1,0	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	× (×) ✓
1,1	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	× (×) ✓
1,2	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	× (×) ✓

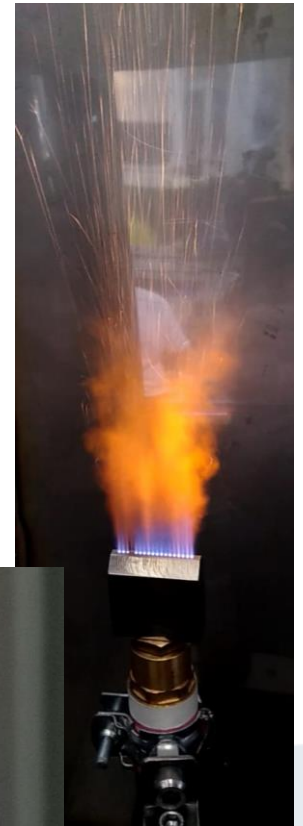
Äquivalenzverhältnis [-]	Wasserstoffbeimischung [Vol.-%]						
	0	10	20	35	50	75	100
0,8	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	× ✓✓✓	× ✓✓✓
0,9	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	× ✓✓✓	× ✓✓✓
1,0	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	× ✓✓✓	× ✓✓✓
1,1	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	× ✓✓✓	× ✓✓✓
1,2	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	× ✓✓✓	× ✓✓✓



VIS-Aufnahmen des Einlochbrenners, P=0,4 kW, $\phi=1,0$



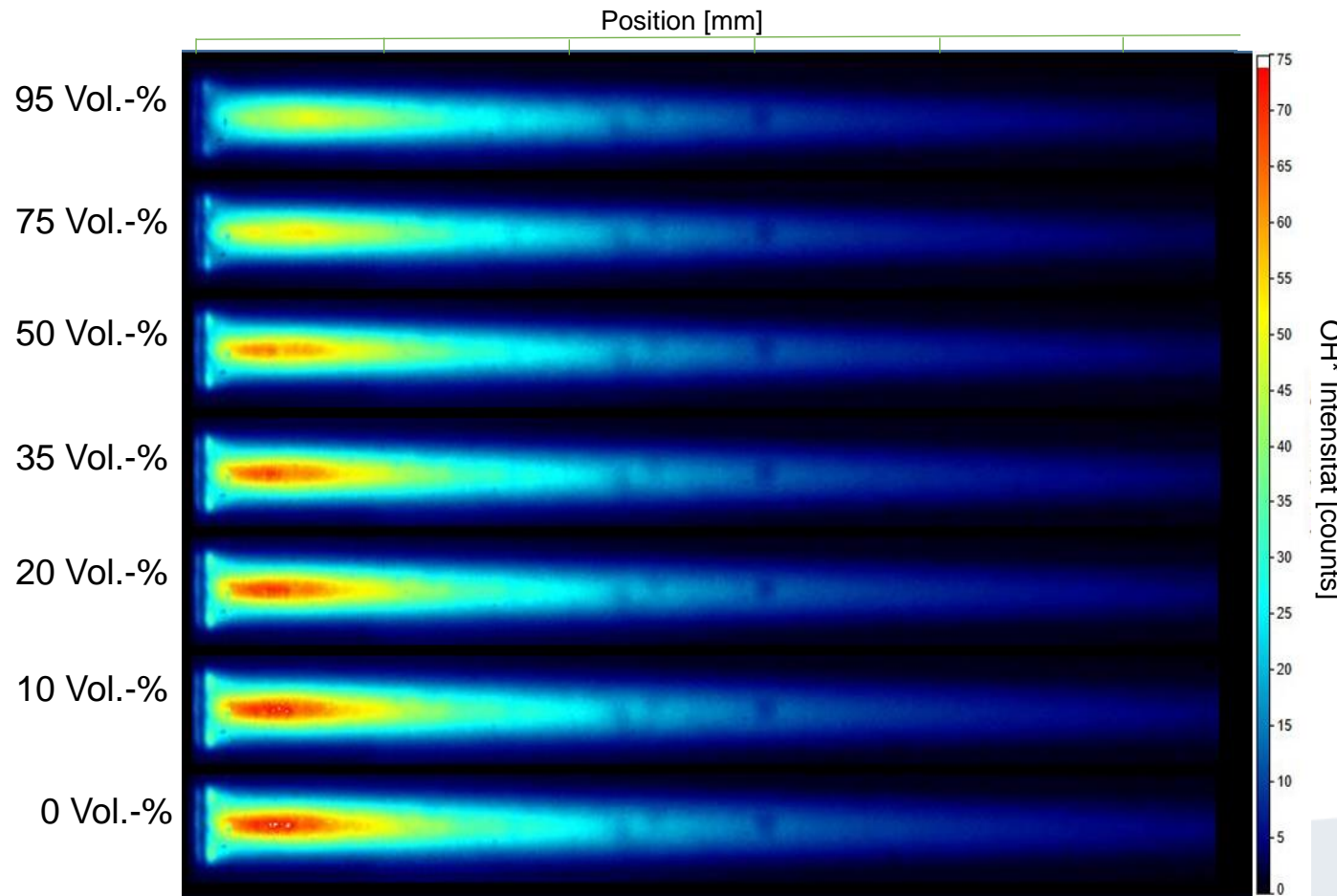
Glühen der Brennerdüse bei 100 Vol.-% H₂



Flammenrückschlag bei 75 Vol.-% H₂



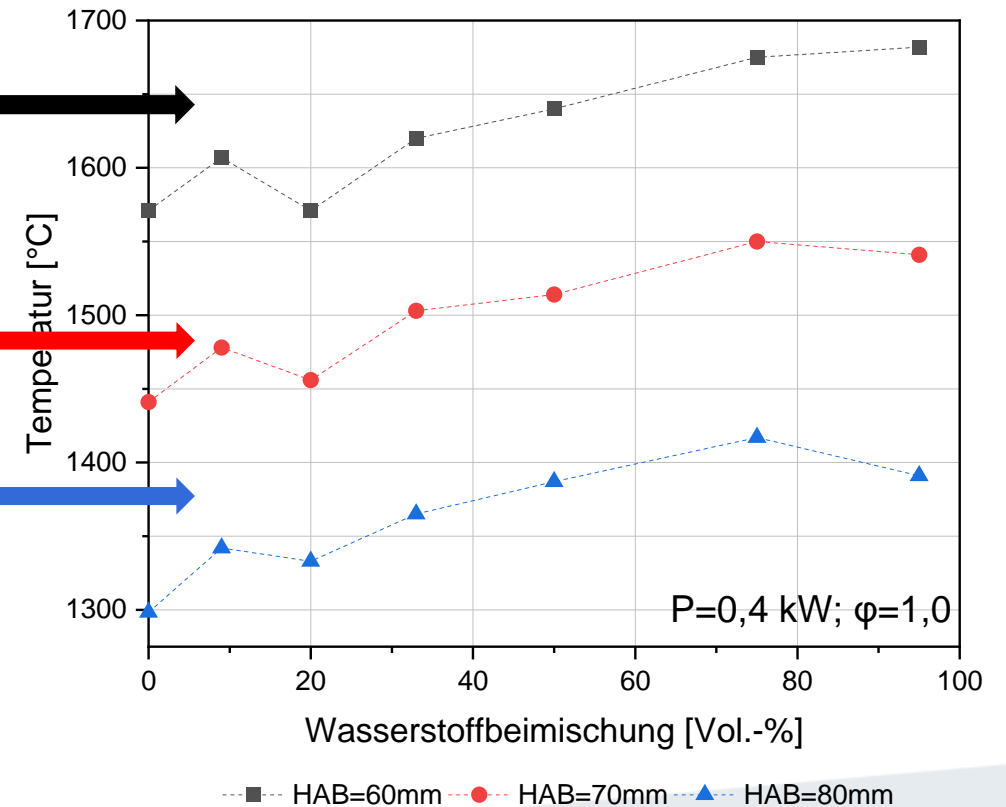
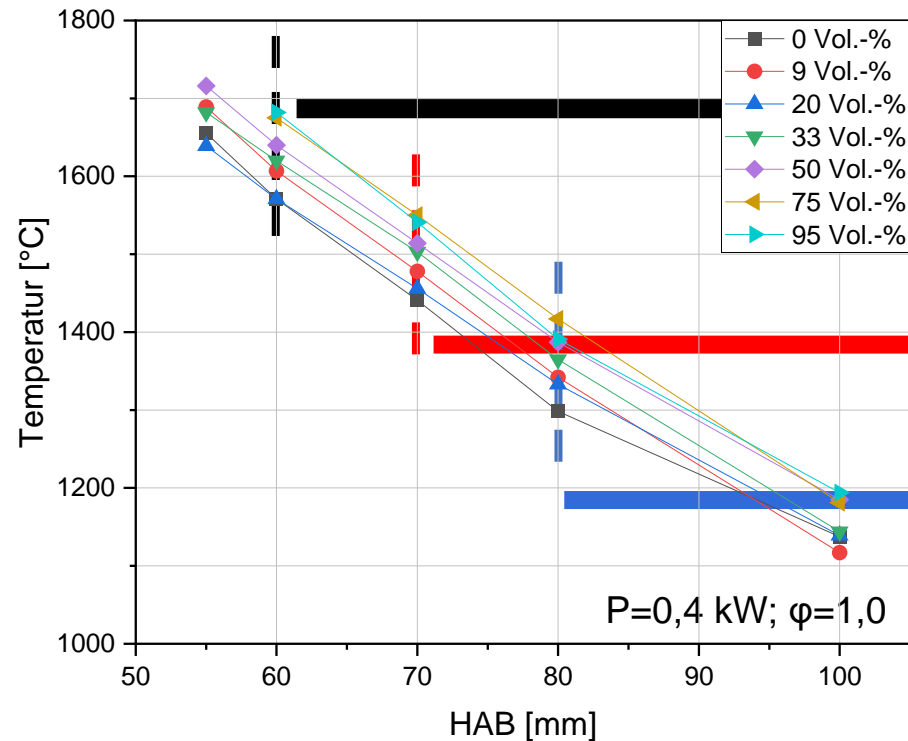
VIS- Aufnahmen an ELB



- vorgemischte, laminare Flamme
- Auswertung der Intensitäten an Mittellinien
- Mit zunehmender Wasserstoffzumischung sinken die gemessenen Intensitäten
- Kein linearer Zusammenhang zwischen Intensität und Wasserstoffzumischung erkennbar
- Mit ansteigendem Wasserstoffgehalt nimmt die Flammenlänge ab



Temperaturprofil des Einlochbrenner



- Temperaturmessung mittels Thermoelement Typ S
- Temperaturzunahme mit steigenden Wasserstoffgehalt, ab 95 Vol.-% H_2 leichte Abnahme → Änderung der Flammenlänge



Zusammenfassung

- Auswirkung der Wasserstoffbeimischung an mündungsmischenden und vorgemischten Sauerstoff-Brennern:
 - Flammenstabilisation
 - OH*-Konzentration
 - Temperaturprofil
- **Keine konstruktiven Anpassung** der Brenner bei dem Wechsel auf Wasserstoff notwendig
- Flammenlänge reduziert sich nur geringfügig im Wasserstoffbetrieb
- Höherer Volumenstrom führt zu **Verbreiterung der Flammenwurzel**
- OH*-Konzentrationen verändern sich mit steigendem Wasserstoffanteil
- **Geringer Anstieg der Flammentemperatur**
- **Geringere Wärmestrahlung** der Wasserstoff-Flamme somit radial nur geringer Temperaturanstieg
- **Brenner in den Leistungsklassen 5 kW und 50 kW für einen Retrofit bereit!**





Ausblick

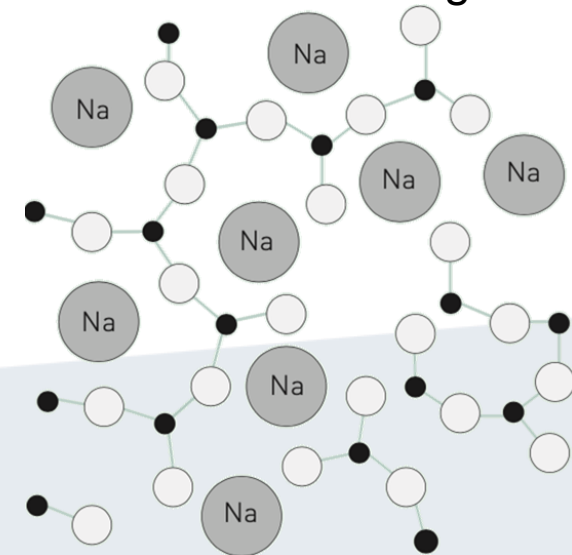
Schmelzbrenner:

- Testen der Abgasmessstrecke des trockenen Abgases mit zusätzlicher Stickstoff-Verdünnung
- Messungen der Komponenten des Abgases bei verschiedenen Wasserstoffbeimischungen
- Untersuchung zum Einfluss des Falschlufteintrags auf die Abgaswerte

- Auswirkung der Wasserstoffbeimischung auf die Glaschemie muss noch abschließend geklärt werden
 - Auswirkung der gesteigerten OH^{*}-Konzentration
 - Auswirkung der veränderten Flammentemperatur

Heißformgebungsbrenner:

- Testen neuer Brennergeometrie



Quelle: <https://www.glastroesch.com/ch/de/service/fachwissen/glas-und-praxis/der-baustoff-glas/physikalische-und-chemische-eigenschaften-von-flachglas>

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Danksagung:

KlimPro-Projekt MiGWa: CO₂-Reduktion in der Glasproduktion durch innovative und klimafreundliche Erwärmung; TP2: Kombiniertes Glasschmelzen mit Mikrowellen und H₂-Sauerstoff-Verbrennung

Projektpartner: Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. und Schott AG

Finanzielle Unterstützung: Europäischen Union, DLR und BMBF



Anna Hasche

TU Bergakademie Freiberg
Gustav-Zeuner-Straße 7
09599 Freiberg

Anna.Hasche@iwtt.tu-freiberg.de
03731 – 39 3956

