



TUBAF

Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.



**GAS- UND
WÄRMETECHNISCHE
ANLAGEN**

EINSATZ VON WASSERSTOFF IN DER TEXTIL-, METALL- UND GLASINDUSTRIE

Arbeitskreis "Wasserstoff in Industrie und Gewerbe,"
30.11.2023

Dr. S. Eckart, A. Hasche, V. Grimm, Dr. R.R. Retamal Marín, Dr. R. Behrend, Prof. H. Krause

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

- Lehrstuhl
- Textilbranche Projekt „**WasserSTOFF**“
- Metallbranche Projekt „**CleanMag**“
- Glasindustrie Projekt „**MigWa**“



Freiberg
Sachsen



Lehrstuhl für **Gas und Wärmetechnische Anlagen**

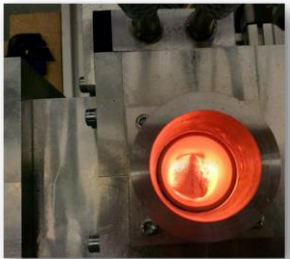
Prof. Dr.-Ing. **Hartmut Krause**

- Verbrennungstechnologie
- Gastechologie
- Energietechnologie
- Hochtemperatureanlagen

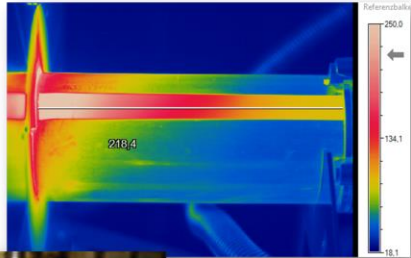


Combustion, Energy and Industrial Furnaces Technology

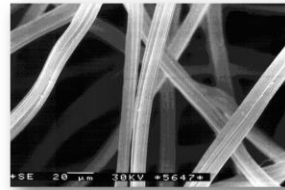
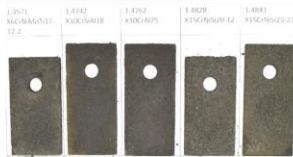
Laboratory



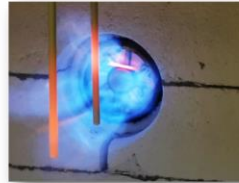
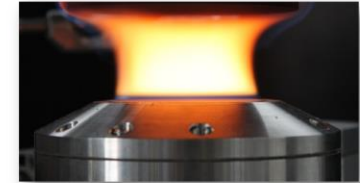
High temperature microwave applicators for glass melting,



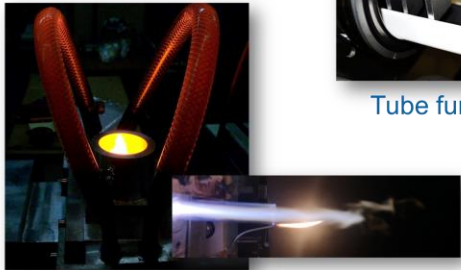
Tube furnaces with controlled atmosphere up to 1600°C for material testing



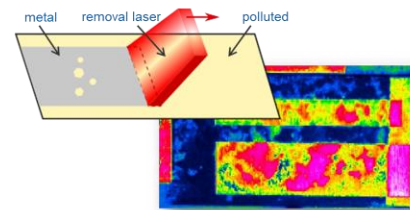
Material testing



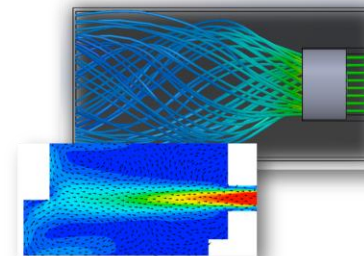
Design and measurement of burners and reformer systems for high temperatures



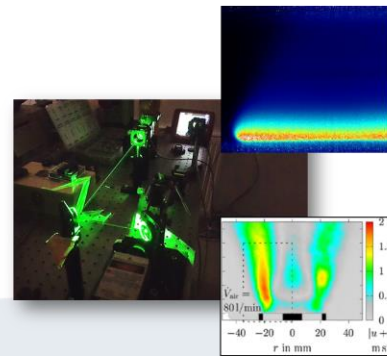
Plasma flames



Surface treatment and reactions



Numerical simulation of combustion and reactive system



Laser diagnostic

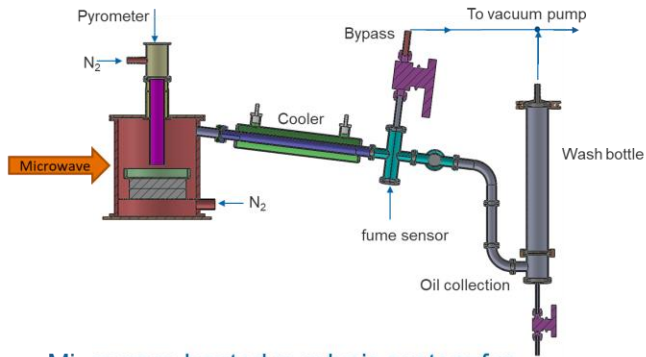
MOTIVATION



Technicum

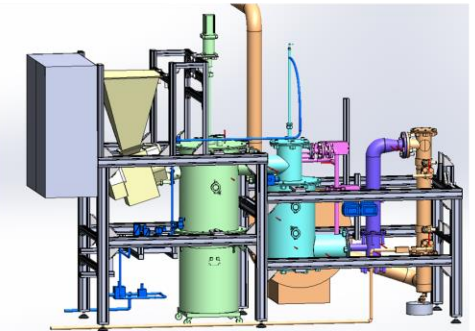


Pyrolysis Microwave



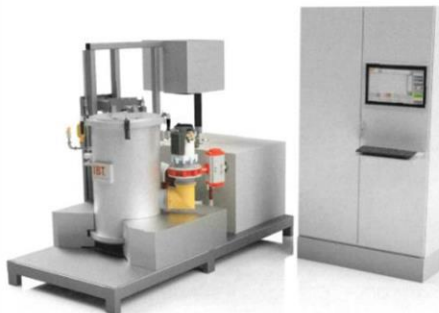
Microwave heated pyrolysis system for CFRP and other polymer based composites

Gasification Combustion



Biomass pyrolysis and gasification systems with low emission burners

Electric/Vacuum



2200°C vacuum/ protective gas/ H₂ furnace for material testing and process simulation

Hybrid/Microwave



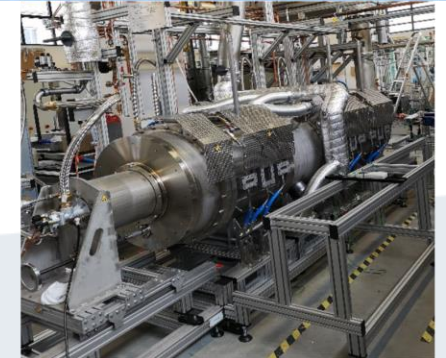
600°C combined 2.45 GHz and 5.8 GHz microwave/ hot air heated furnace with large chamber

Combustion Gas/NH₃/H₂



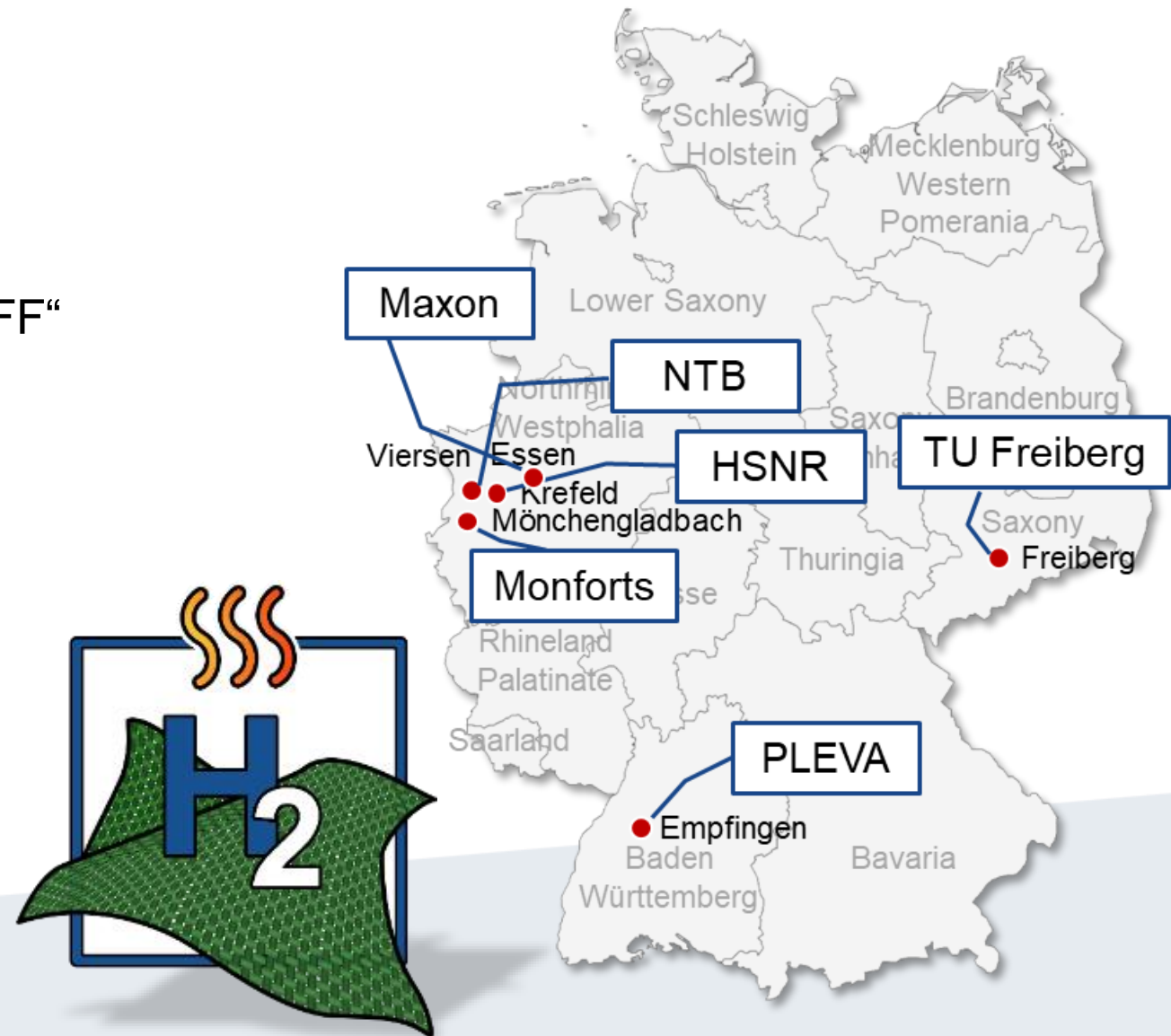
Measurement of burners and exhaust gas investigations (MS, GC, FTIR, FID, gas analyzer)

Combustion Gas/H₂



Multistage combustion chamber for fuel and air staging and recirculation (Oxyfuel possible, Hydrogen ready)

- Lehrstuhl
- Textilbranche Projekt „WasserSTOFF“
- Metallbranche Projekt „CleanMag“
- Glasindustrie Projekt „MigWa“



Motivation und Zielsetzung des Projekts

Spannrahmen der Firma Monforts



Entwicklung von
Wasserstoffbrenner
von 0-100% H₂



Sie ist eine der wichtigsten Maschinen in der gesamten Textilproduktion und gehört zu den sehr energieintensiven Anlagen.



Spannrahmen als Universal Trockner sind weltweit an der Herstellung fast aller textilen Gewebeprodukte beteiligt.



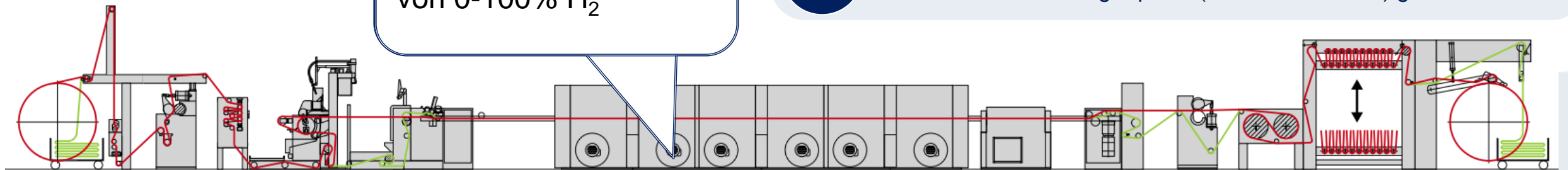
Spannrahmen werden mit fossilen Brennstoffen beheizt (ca. 60% Erdgas und 40% Thermoöl), in sehr seltenen Fällen elektrisch



Elektrisches Heizen ist schwierig zu realisieren (geringe Akzeptanz, Belastung der Stromnetze, notwendige Umrüstung).



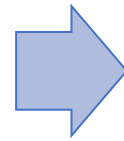
Die weltweite Textilproduktion kann nicht CO₂-neutral sein, wenn keine alternative Energiequelle (z. B. Wasserstoff) gefunden wird.



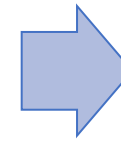


Brennerentwicklung und Flammenanalyse

Technikumsflamme

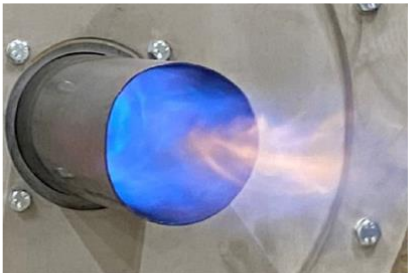


Numerische Simulation



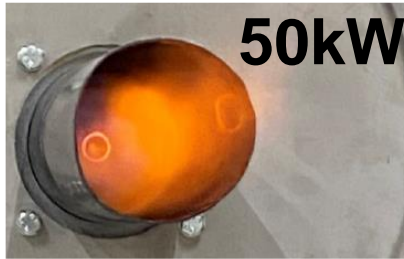
Brennerentwicklung im großen Maßstab

Erdgas

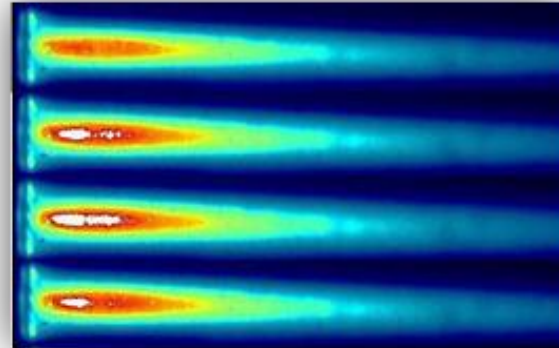


© Maxon GmbH (Honeywell)

50kW



Wasserstoff



2x300kW

© Maxon GmbH (Honeywell)

- **Bestimmung wesentlicher Verbrennungsparameter**, z.B.: Laminare Brenngeschwindigkeit, Flammenverlöschung, Zündgrenzen, Streckungsraten
- **Verbrennungseigenschaften sind wichtige Eingangsgrößen für numerische Simulationen komplexer Verbrennungsprozesse und dienen der Optimierung und Auslegung der Brennersystemen im Industriemaßstab**



- 12 Projektpartner
- 6 assoziierte Partner

- Lehrstuhl
- Textilbranche Projekt „WasserSTOFF“
- Metallbranche Projekt „CleanMag“
- Glasindustrie Projekt „MigWa“

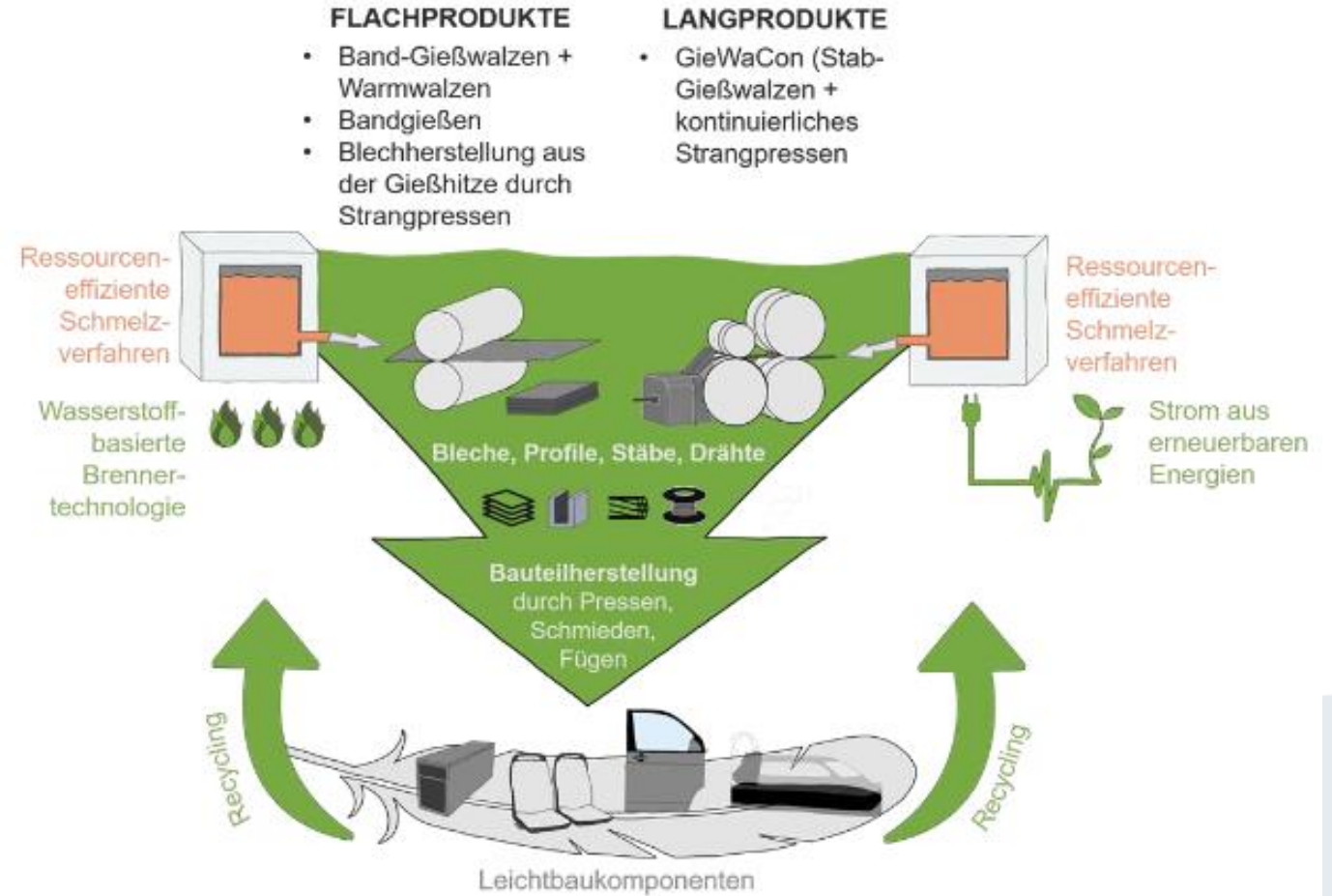


Unsere Vision

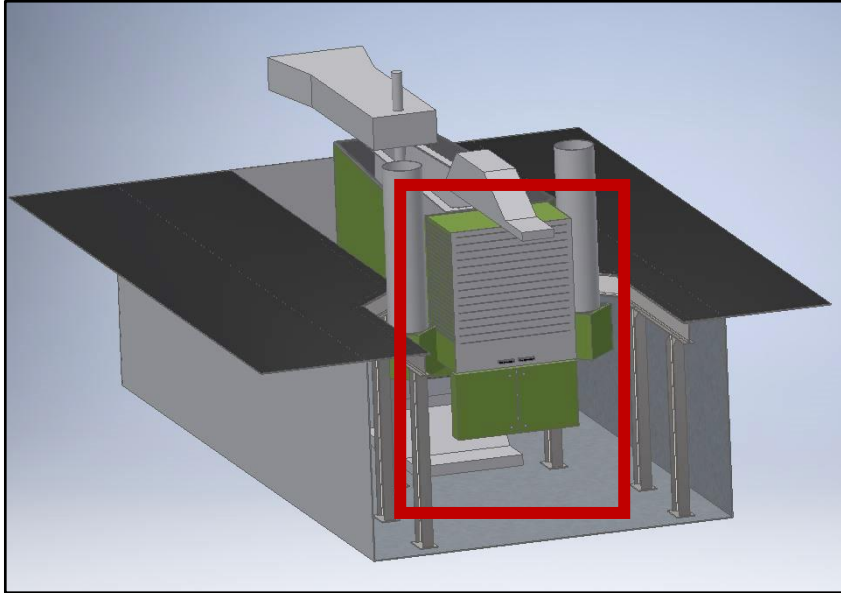
Wissenschaft und Industrie werden durch die gemeinsame Forschung eine Reduktion der Treibhausgase bei der Herstellung von metallischen Leichtbaukomponenten erreichen, um den Gedanken einer **treibhausgasfreien Kreislaufwirtschaft für federleichte Komponenten** im Transportsektor zu verfolgen.

Drei technologische Ansätze

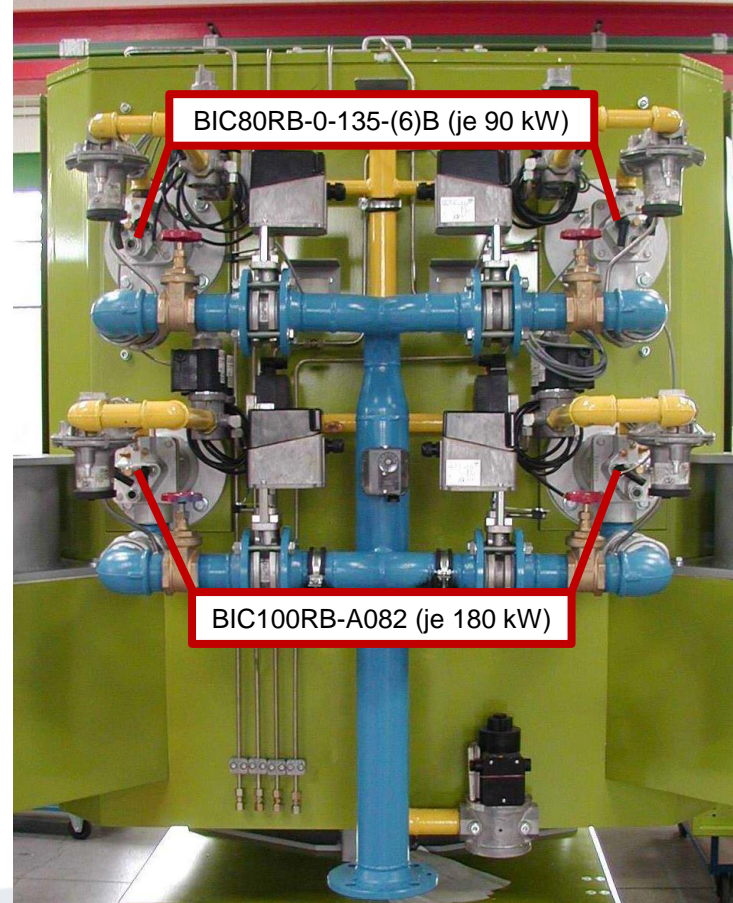
- ① **Einsatz Grüner Erwärmungstechnologien**
- ② **Maximale Ausnutzung der Schmelzhitze** durch direkte Kopplung möglichst vieler Umformschritte
- ③ **Reduktion der notwendigen Umformtemperatur** durch Verarbeitung **Mg-Legierung mit hoher Umformbarkeit**



Umrüstung des Magnesiumschmelzofens



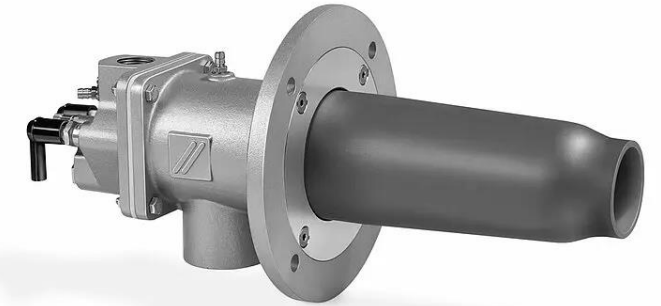
Schnittansicht der Grube mit dem Magnesiumschmelzofen am IMF



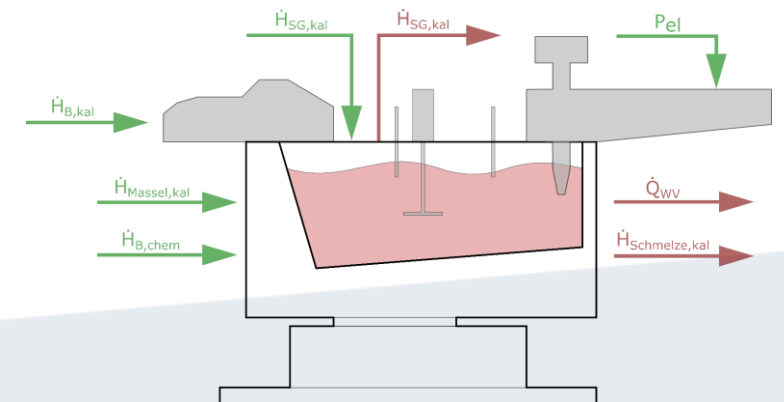
BIC80RB-0-135-(6)B (je 90 kW)

BIC100RB-A082 (je 180 kW)

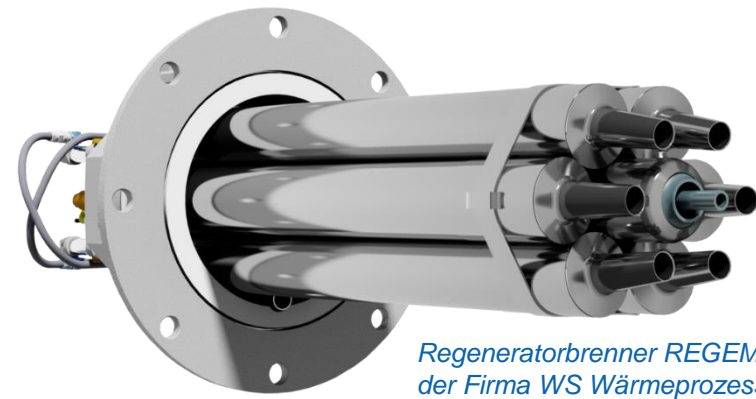
Kaltgasbrenner am Magnesiumschmelzofen des IMF



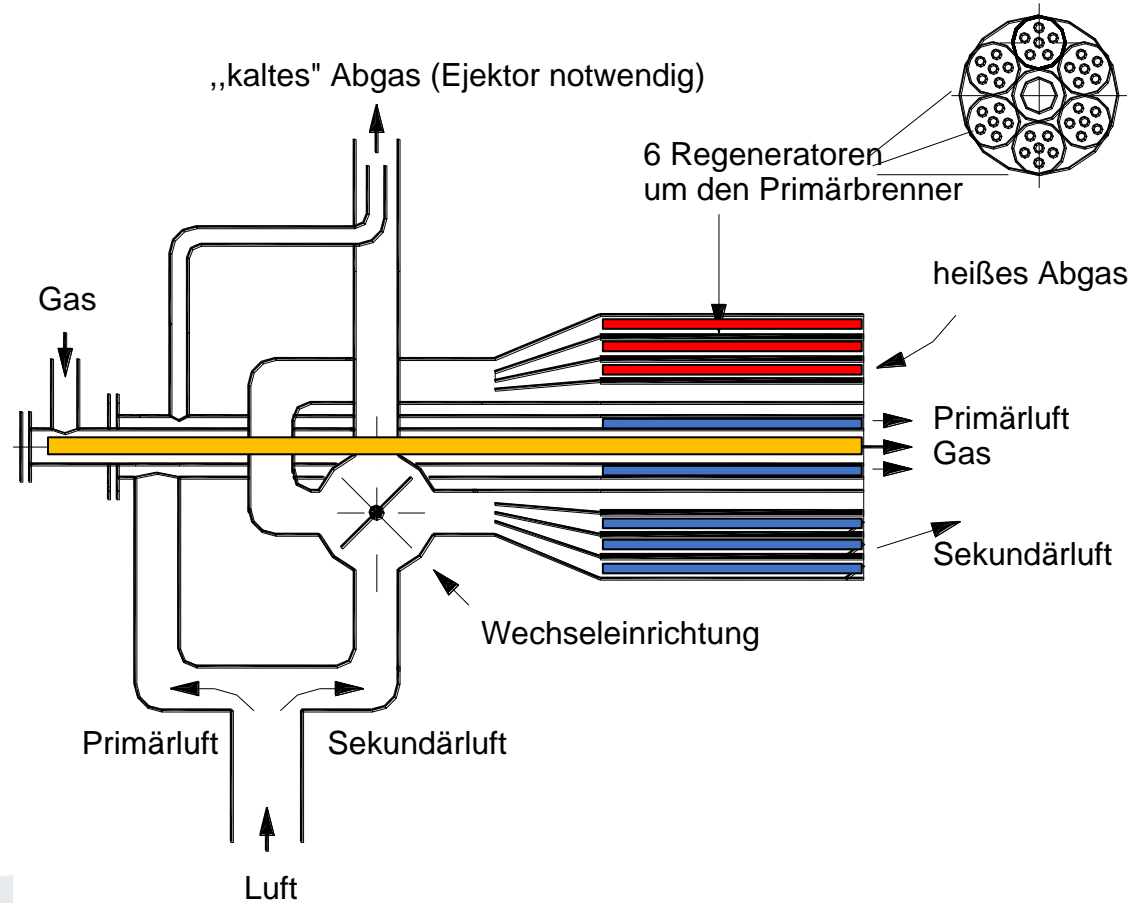
Aktuell sind 4 Kaltgasbrenner mit einer Gesamtleistung von 540kW verbaut



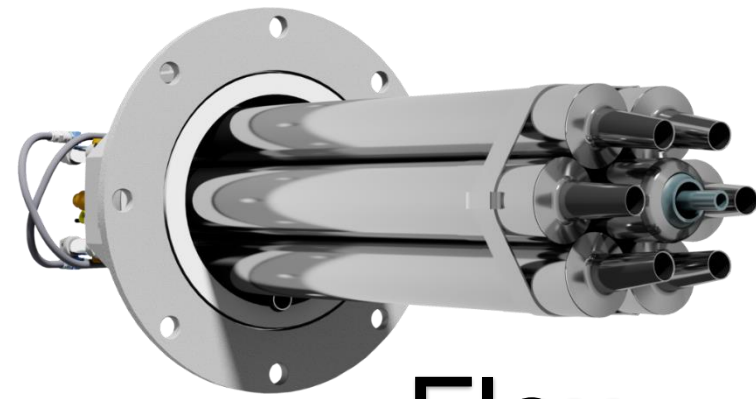
Brennervermessung am Regeneratorbrenner



Regeneratorbrenner REGEMAT 250
der Firma WS Wärmeprozessstechnik



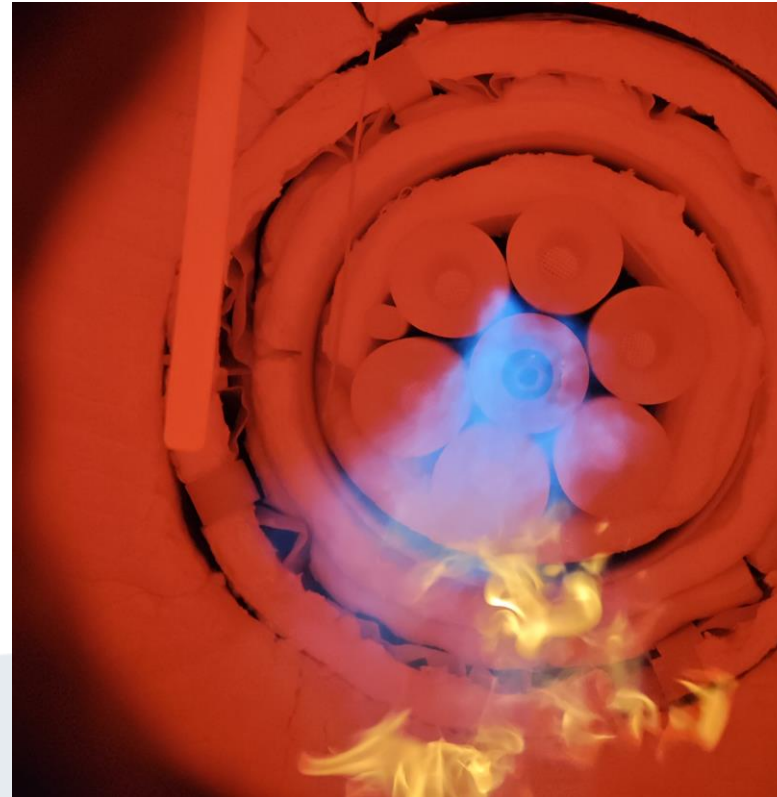
Brennervermessung am Regeneratorbrenner



Brenner

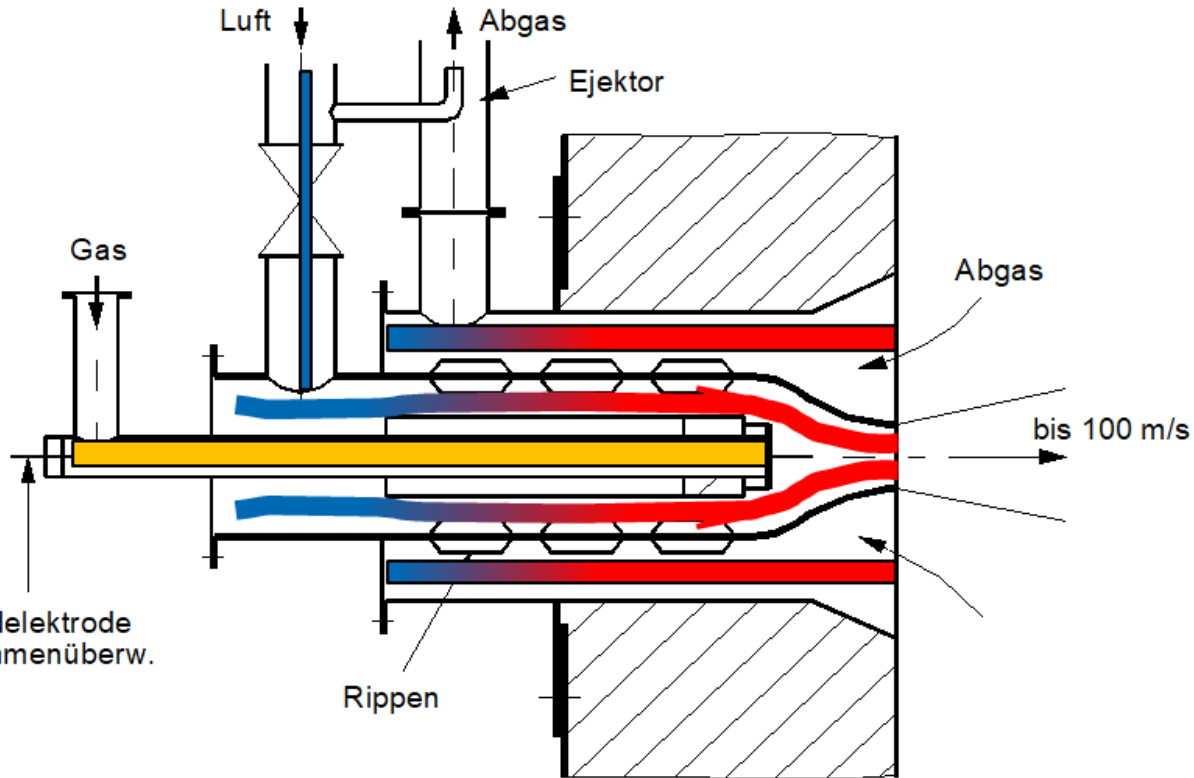
Flamme

Flox



Brennervermessung am Rekuperatorbrenner

Rekuperatorbrenner REKUMAT CS der
Firma WS Wärmeprozessstechnik



- Lehrstuhl
- Textilbranche Projekt „WasserSTOFF“
- Metallbranche Projekt „CleanMag“
- Glasindustrie Projekt „MigWa“

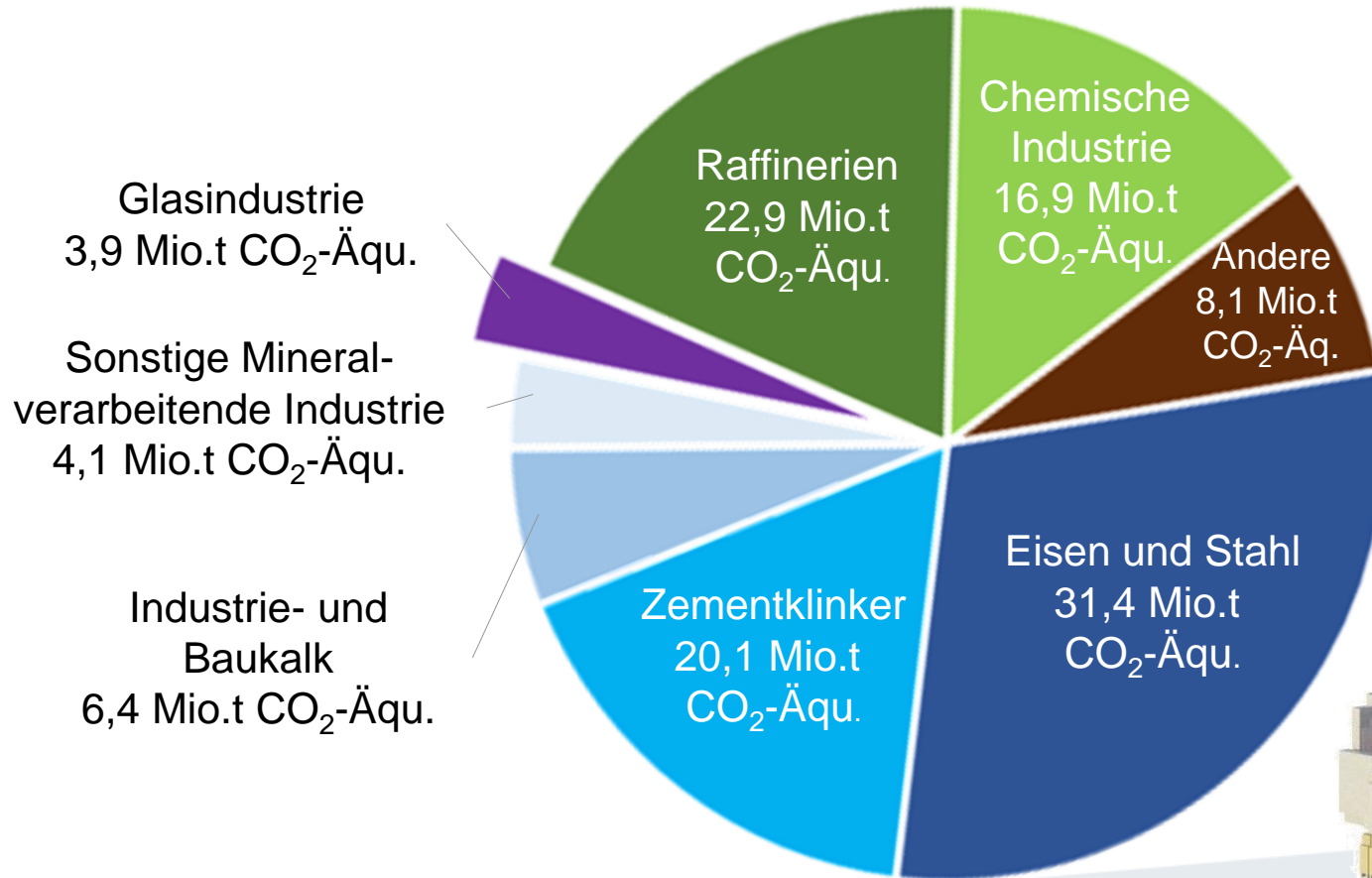


SCHOTT
glass made of ideas





Einleitung – Zielstellung in der Glasindustrie



- 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**



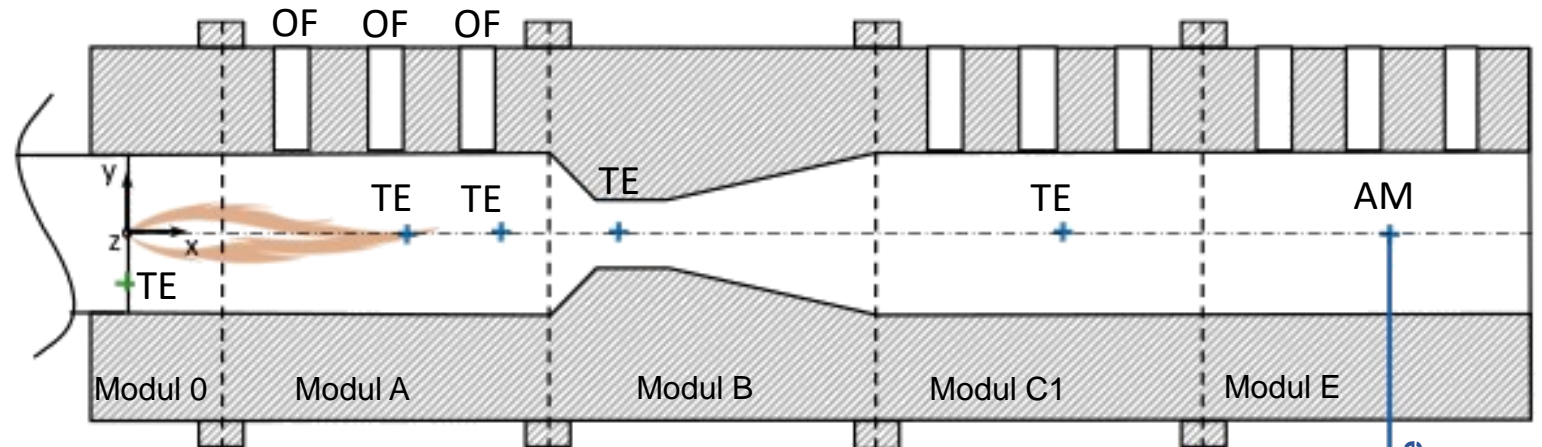
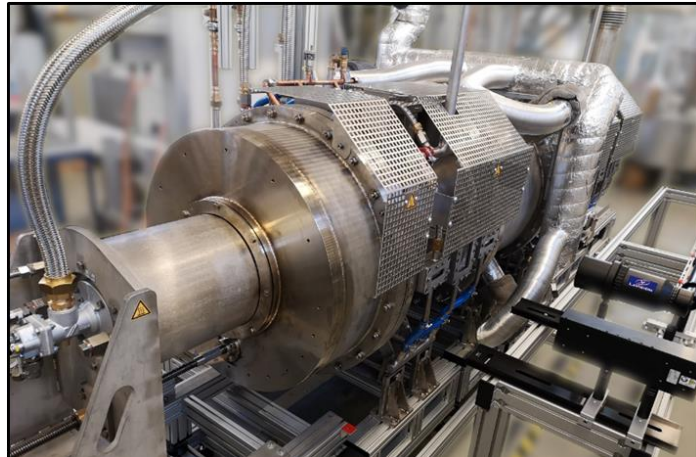


Einleitung – Prozesskette Glasherstellung



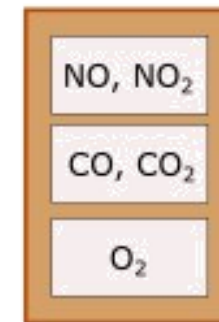


Versuchsstand – Mehrsegmenten Brennkammer



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

ABB Multianalysesystem



Kühlsystem



N₂ MFC



1,09 l/min
trockenes Abgas

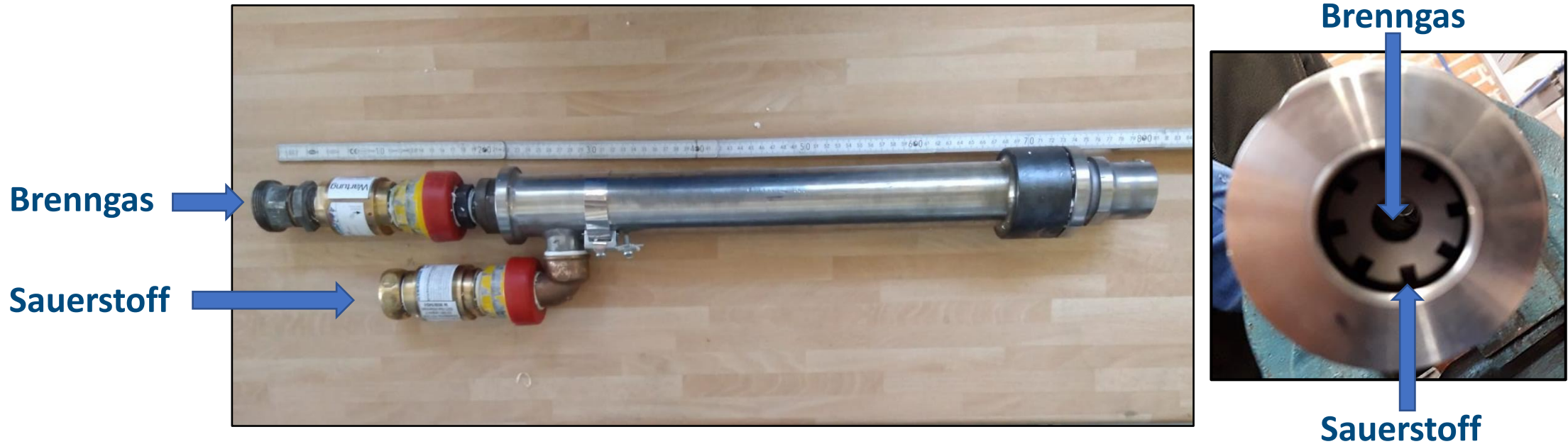
Abgasprobe

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





Brennerkonzept des Glasschmelzbrenners



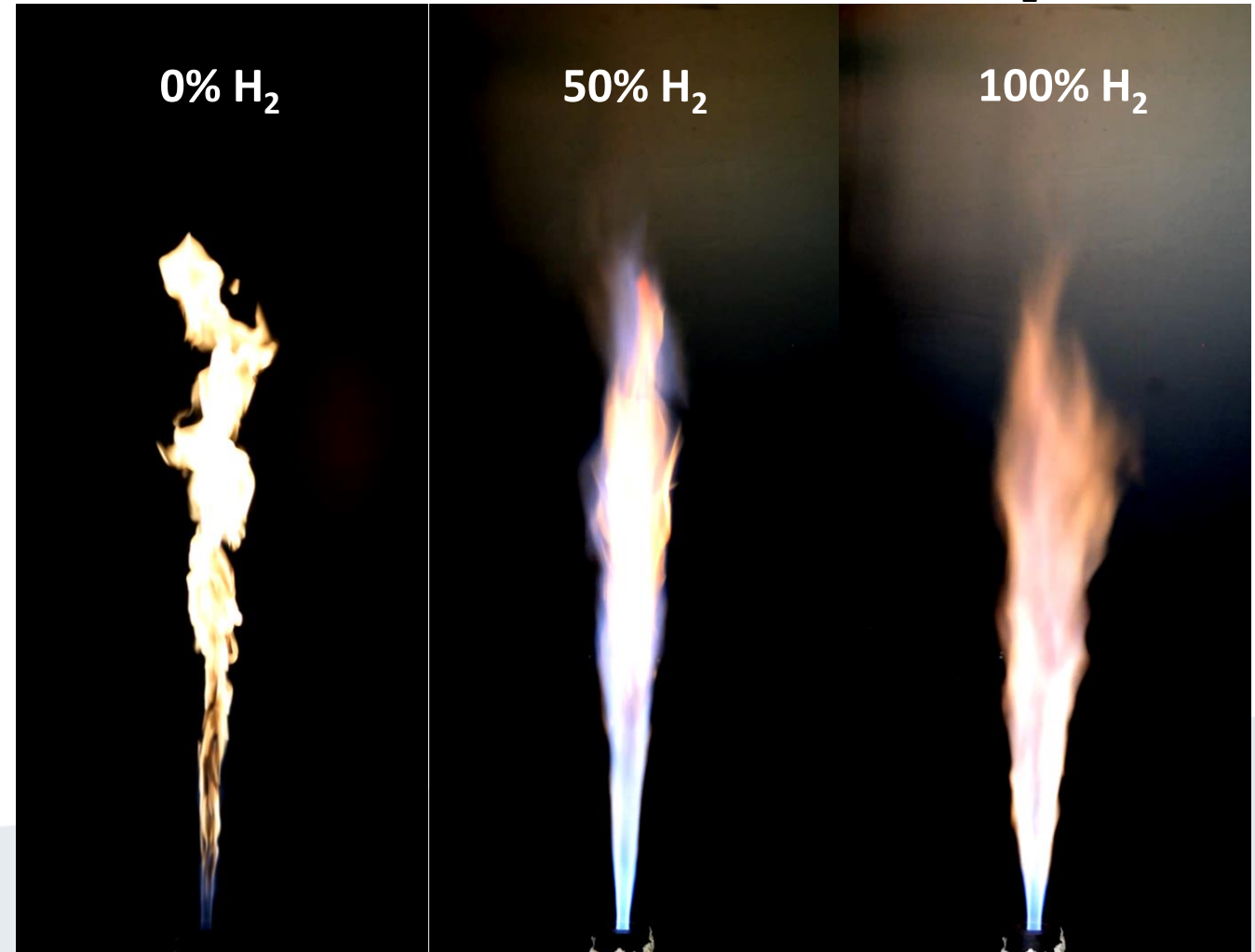
- Mündungsmischender Sauerstoff-Brenner in der Leistungsklasse bis zu 50 kW
- Brennstoffzufuhr über innere Brennerdüse
- Sauerstoffzufuhr umschließend durch Ringspalt mit Drallkanälen



Visuelle Untersuchungen der Wasserstoffbeimischung

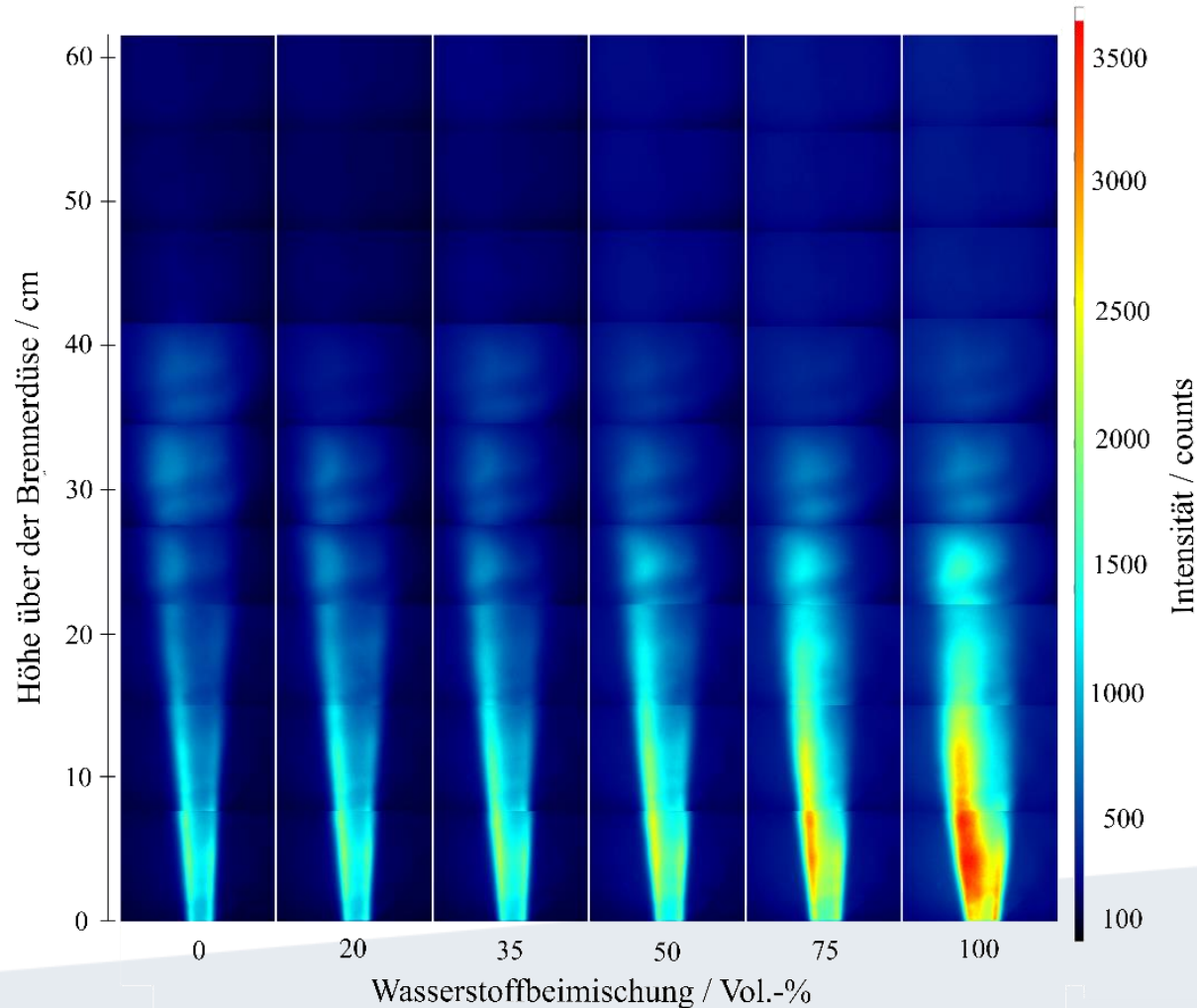
20 kW Brennerleistung; $\lambda=1,0$; 100% O₂

- 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





OH*-Untersuchungen im Brennkanal



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





Zusammenfassung

- Auswirkung der Wasserstoffbeimischung an einem mündungsmischenden Sauerstoff-Brenner:
 - Flammenstabilisation
 - OH*-Konzentration
 - Temperaturprofil
 - **Keine konstruktiven Anpassung** des Brenners bei dem Wechsel auf Wasserstoff notwendig
 - Flammenlänge reduziert sich nur geringfügig im Wasserstoffbetrieb
 - Höherer Volumenstrom führt zu **Verbreiterung der Flammenwurzel**
 - OH*-Konzentrationen nehmen deutlich zu mit steigendem Wasserstoffanteil
 - **Geringer Anstieg der Flammentemperatur** (~350 K)
 - **Geringere Wärmestrahlung** der Wasserstoff-Flamme somit radial nur geringer Temperaturanstieg
- **Brenner in der Leistungsklasse 50 kW für einen Retrofit bereit!**



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Teammitglieder der Verbrennungsgruppe



LinkedIn

Dr. Sven Eckart

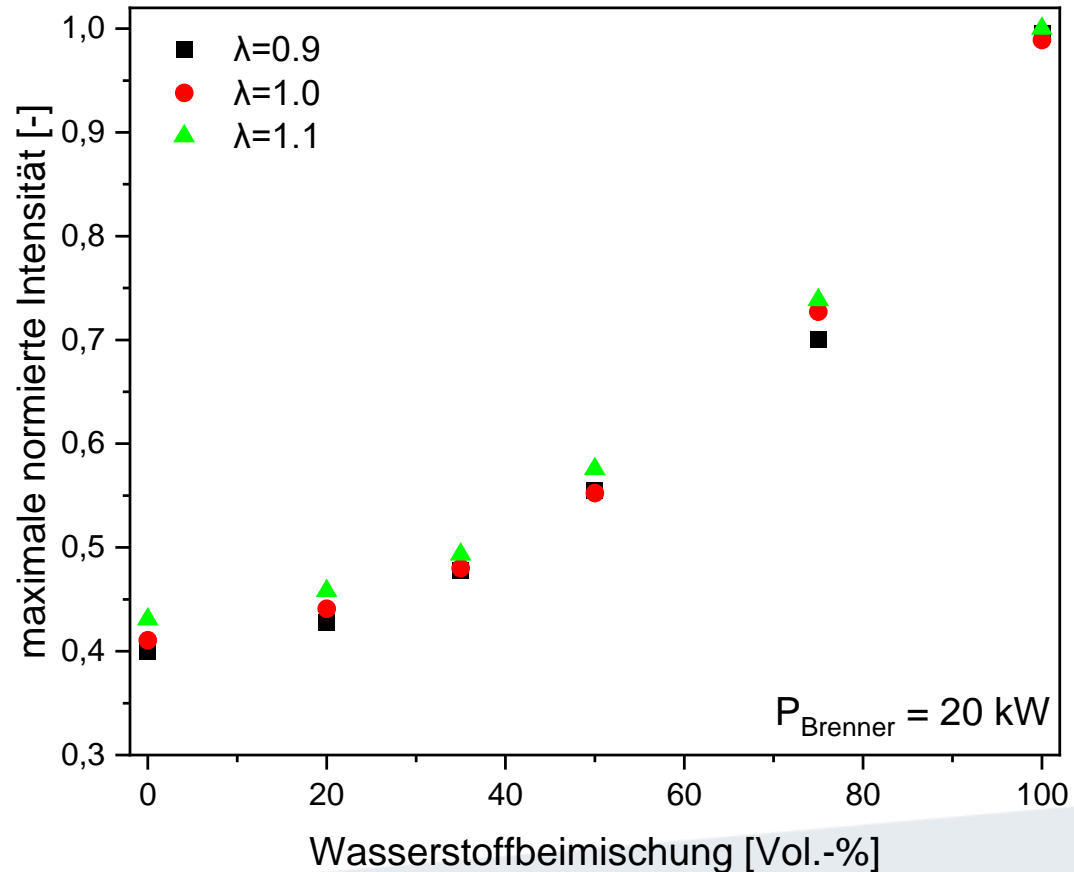
TU Bergakademie Freiberg
Gustav-Zeuner-Straße 7
09599 Freiberg

Sven.Eckart@iwtt.tu-freiberg.de
03731 – 39 2721





Ergebnisse der OH*-Aufnahmen



- Maximalen Intensitäten auf 100 Vol.-% H₂ normiert
- mit **steigenden Wasserstoffanteil** nimmt die **OH*-Intensität** deutlich zu
- **Unterschiedliche Luftzahlen** haben nur einen **geringen Einfluss** auf die OH*-Konzentration (geringste bei $\lambda=0,9$)

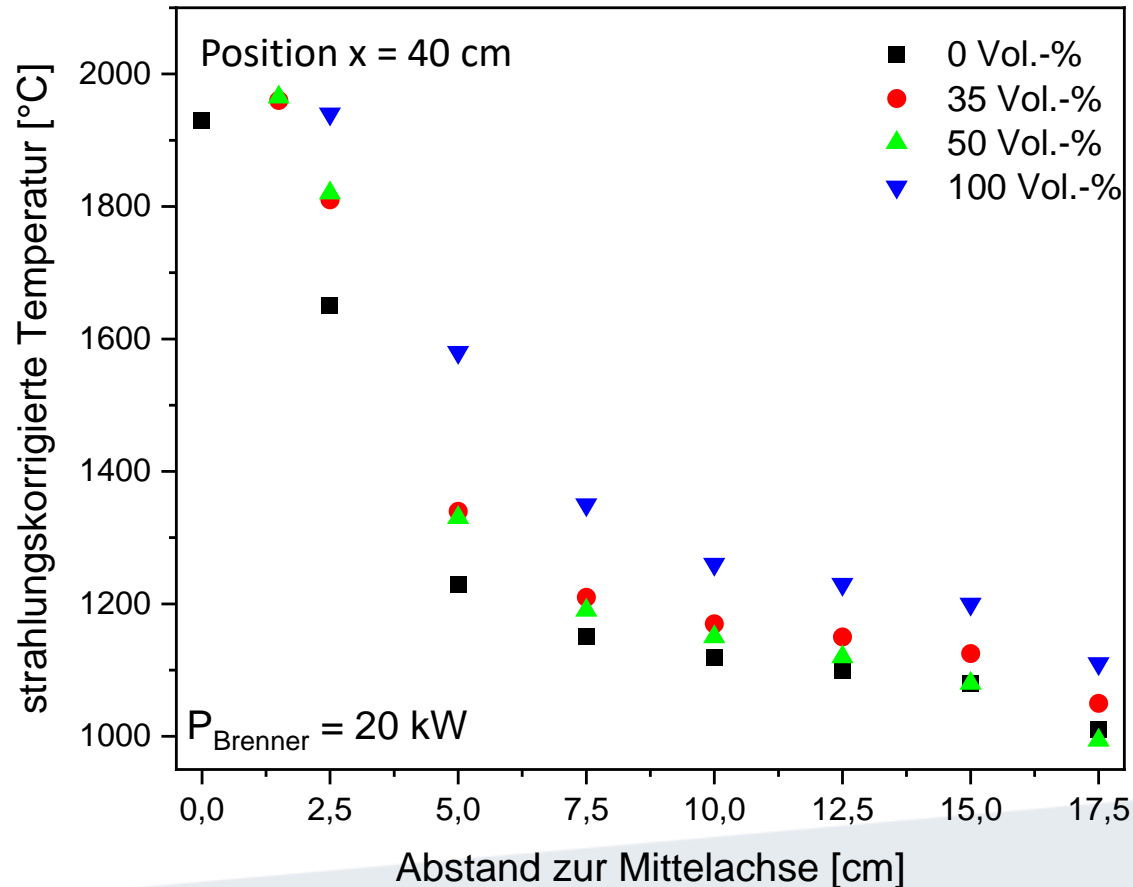
Erkenntnisse:

- Auswirkungen auf die Qualität und die Chemie der Glasschmelze durch die erhöhte Bildung von OH*-Radikalen werden noch untersucht





Ergebnisse der radiale Temperaturuntersuchungen



- Radiale Temperaturmessung mittels Thermoelement 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**

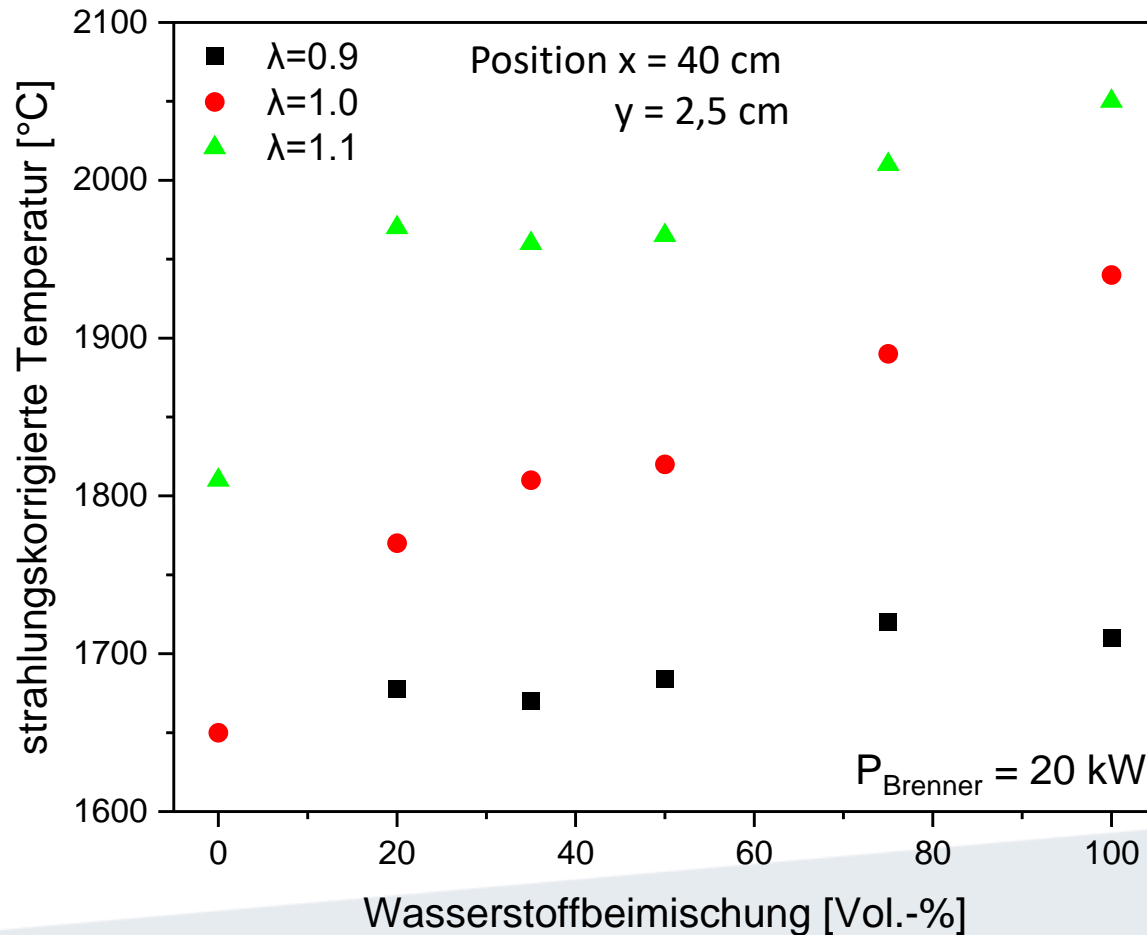
Erkenntnisse:

- Geringfügige Prozessänderungen nötig
- Gegebenenfalls Reduktion der Brennerleistung





Temperaturergebnisse bei verschiedenen Wasserstoffbeimischungen



- Wasserstoffbeimischung führt zur **Steigerung der gemessenen Temperatur**
- Geringerer Temperaturanstieg der Oxyfuel-Verbrennung bei der Wasserstoffbeimischung
- Es stellen sich **höhere Temperaturen** bei einer **größeren Luftzahl** ein

Erkenntnisse:

- Gesteigerte Temperaturen können zu Anpassungen im Glasschmelzprozess führen
- Auswirkungen auf die Glaschemie muss noch überprüft werden

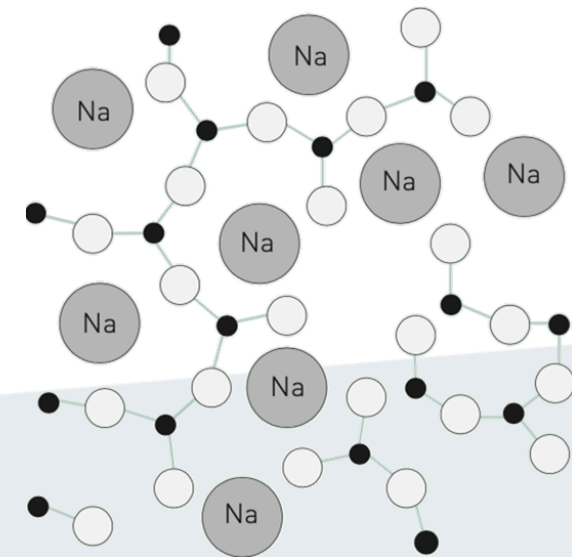




Ausblick

- 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



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

