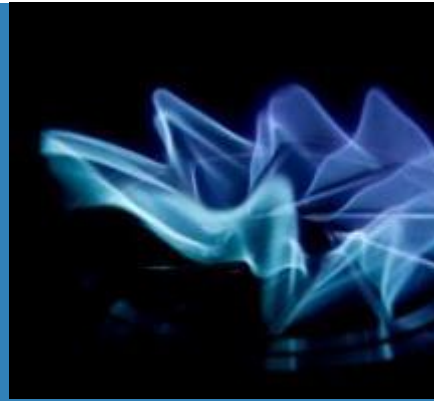


# WASSERSTOFF IN DER THERMOPROCESSTECHNIK – DAS LEITTECHNOLOGIE PROJEKT TTGOESH2



Hartmut Krause, TU Bergakademie Freiberg  
Professur Gas- und Wärmetechnische Anlagen

Energy Saxony Summit 2023, 22. Juni 2023, Freiberg

- Motivation – Why hydrogen as energy carrier for thermoprocess industry?
- The Project TTgoesH2 – Aims, Structure, Research Institutes
- Current status of research on implementing hydrogen
  - Combustion and burner technology
  - Combustion control
  - Effect on high temperature design materials
- Outlook on further developments

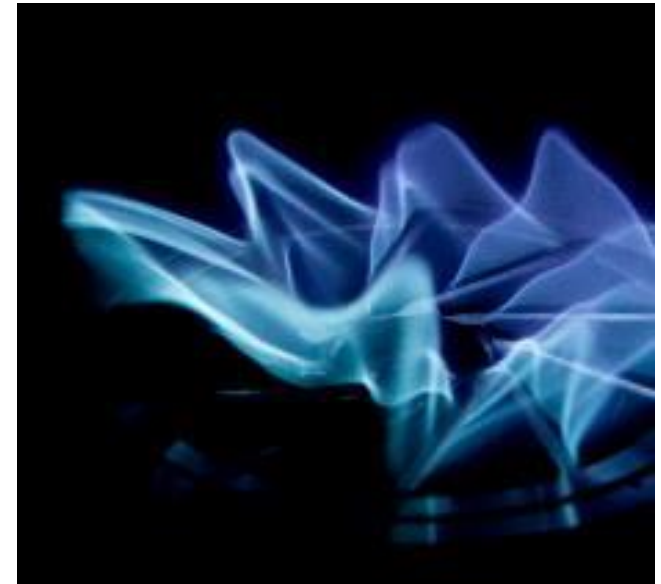
## Warum Wasserstoff als Energieträger für die Thermoprozesstechnik?

- Die Thermoprozessindustrie muss ihren Carbon Footprint durch die Substitution fossiler Brennstoffe verringern. Erdgas mit seiner stabilen Qualität und seiner hohen Verfügbarkeit ist die dominierende Energiequelle für Industrieöfen.
- Die Europäische Union und die meisten ihrer Mitgliedstaaten haben Wasserstoff als den Energieträger der Zukunft identifiziert, um die globale Erwärmung und die Energiewende zu bewältigen.
- Beim Vergleich des grundlegenden Austauschparameters für die Nutzung Wasserstoff - dem Wobbe-Index - liegen beide nahe beieinander.
- Die meisten Erdgasinfrastrukturen - Pipelines, Speicher - sind in der Lage, Wasserstoff zu transportieren, und Gasversorger und Netzbetreiber entwickeln Strategien und Projekte zur Einführung von Wasserstoff.
- **Wasserstoff kann also den Carbon Footprint auf kosteneffiziente Weise verringern.**



## Herausforderungen und Ziele auf dem Weg der Wasserstoff-Integration

- **Verbrennungssysteme** müssen bestehende Anforderungen erfüllen wenn Wasserstoff oder Erdgas-Wasserstoff-Gemische eingesetzt werden:
  - Emissionsgrenzen, insbesondere NO<sub>x</sub> oder Unverbrannte
  - Wärmeübertragung und Energieeffizienz
- **Verbrennungsregelung und Überwachung** muss für Wasserstoff weiterentwickelt werden
  - Sicherheit der Flammenüberwachung
  - Bedimmung des H<sub>2</sub>-Anteils zur Regelung der Verbrennungsluft
- **Feuerfest und Wärmedämmmaterialien** müssen geeignet sein für die veränderten Gas- und Abgasbedingungen
  - Abgas: hoher Wasserdampfanteil bei hohen Temperaturen, höhere Kondensationstemperaturen
  - Brennstoff: Wasserstoff an Brenner- und Wärmeübertragermaterialien



Integration von Wasserstoff als klimaneutraler Energieträger in die industrielle und gewerbliche Thermoprozesstechnik – TTgoesH2

TP1:

**ULoBurn**

**Ultra Low Emission  
Burners**

Entwicklung von ultra-emissionsarmen Verbrennungssystemen für Wasserstoff

TP2:

**GreCoCon**

**Green Combustion  
Control**

Industrielle Verbrennungsregelung für hohe volatile H<sub>2</sub>-Anteile auf Basis von Flammensignalen

TP3:

**ResInMa**

**Resistant Innovative  
Materials**

Innovative Werkstoffe für den Einsatz in Wasserstoff und dessen Verbrennungsprodukten

**Projekt Start: 01-01-2021**

**Dauer: 36 Monate**

Supported by:



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Climate Action

**IGF**  
Industrielle  
Gemeinschaftsforschung

**Ar**  
Forschungsnetzwerk  
Mittelstand

on the basis of a decision  
by the German Bundestag

**FOGi**

## Research partners:



TU Bergakademie Freiberg (Coordination, TP-Koord. in TP1 and TP3)  
**Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen (GWA)**



**DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg**  
(TP-Koord. in TP2, Partner in TP1)



RWTH Aachen University (Partner in TP1 and TP3)  
**Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik (IOB)**

Partner of



**Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (GWI)**  
(Partner in TP2)

Research Association of  
Industrial Furnace  
Manufactures – FOGI



Universität Duisburg-Essen (Partner in TP2)  
**IVG - Institut für Verbrennung und Gasdynamik**



**Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien**  
(Partner in TP3)



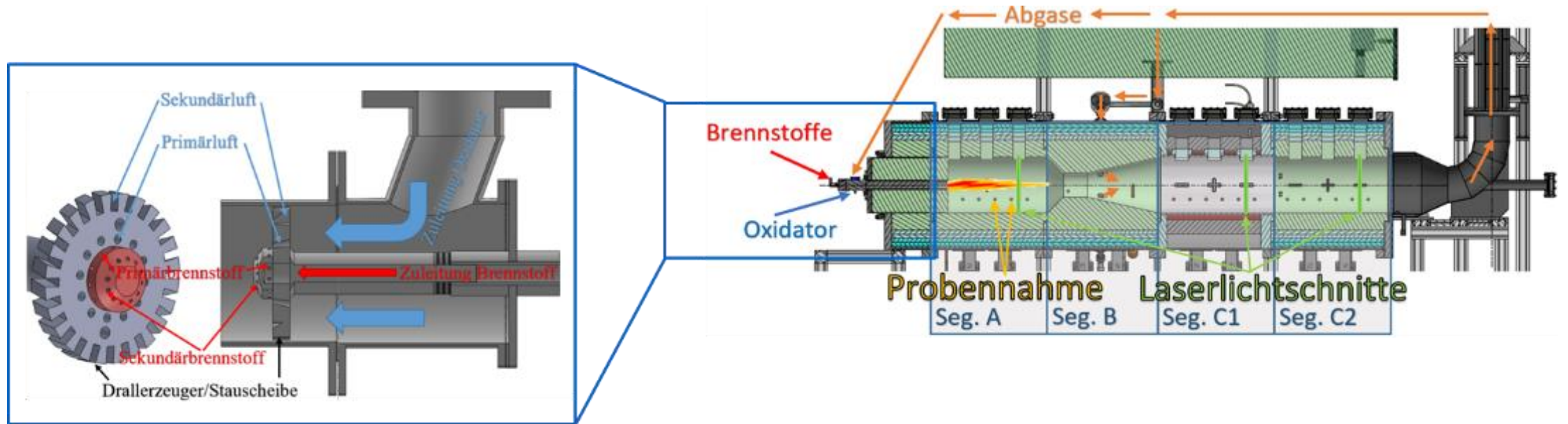
- **Aims:**

**Development of ultra-low emission combustion systems** for use with high volatile hydrogen fractions up to 100 %, incorporating **flue gas recirculation, staged combustion and improved mixing concepts**. **Preheating of all input fuel streams** is an essential element to increase energy efficiency. The **design principles are to be tested** on a demonstrator and radical, temperature and flue gas profiles are to be extensively measured in a modern combustion channel in order to prove their effectiveness.

- **Approach:**

- In-depth analysis of current developments regarding the combustion of natural gas H<sub>2</sub> mixtures with regard to safety aspects and changes in the basic parameters.
- Consideration of the resistance of safety-critical components to hydrogen, especially in high-temperature applications
- Experimental investigations of flame stabilization, shape and emission formation for external and internal recirculation, air staging and the mixing behavior of preheated material flows
- Development of design principles for scalable hydrogen burners with a wide range of applications with regard to ultra-low-emission combustion
- Construction of demonstrators for testing the novel design concepts

Teil 1: Entwurf eines Kaltgasbrenners mit externer Abgasrückführung und Luftstufung.  
 Untersuchung in einer laseroptisch zugänglichen Brennkammer. Größe: 30/50 kW



Schema des gestuften Kaltgasbrenners mit externer Abgasrezirkulation

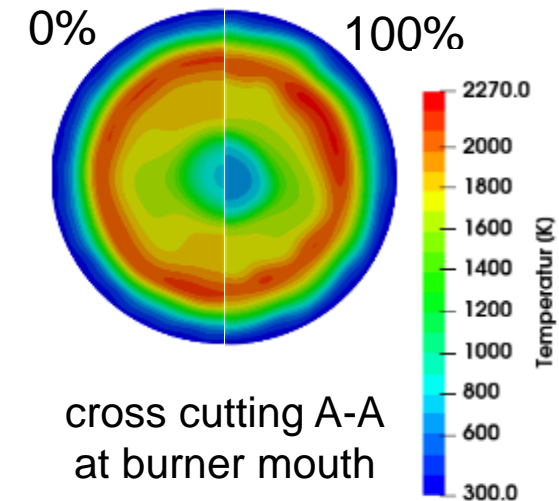
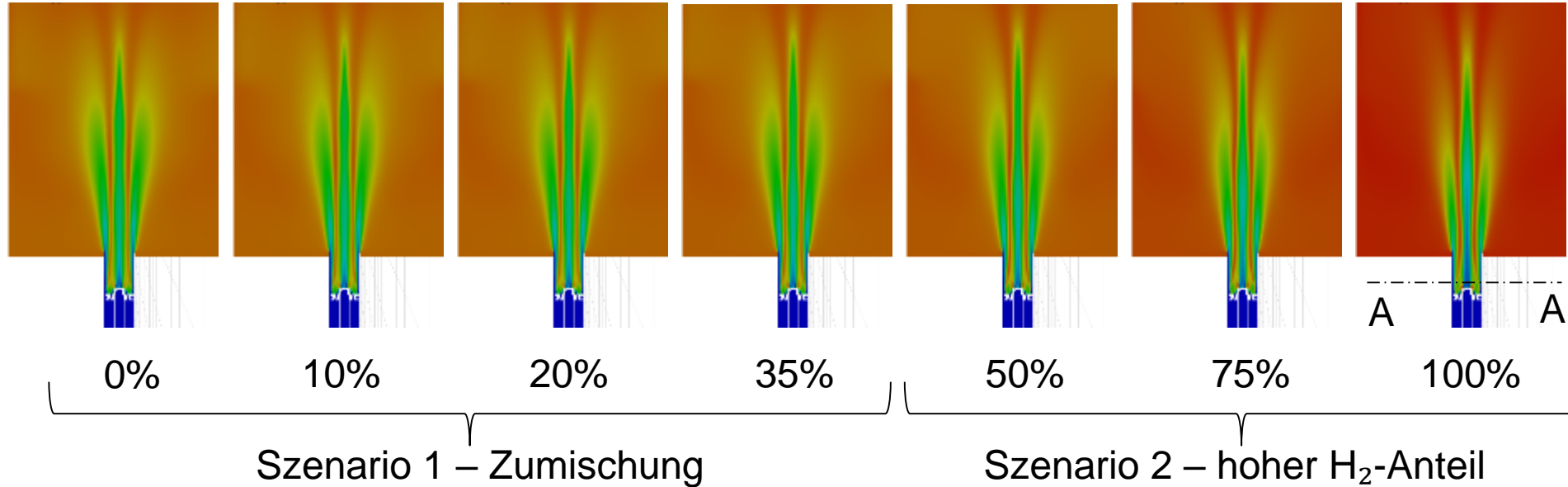
Zweistufige Brennkammer mit Abgasrezirkulation und Laser-optischen Analysesystem an der TUBAF

Entwicklung: Adaption eines existierenden Konzeptes eines Drallbrenners für die volle H<sub>2</sub>-Zumischung



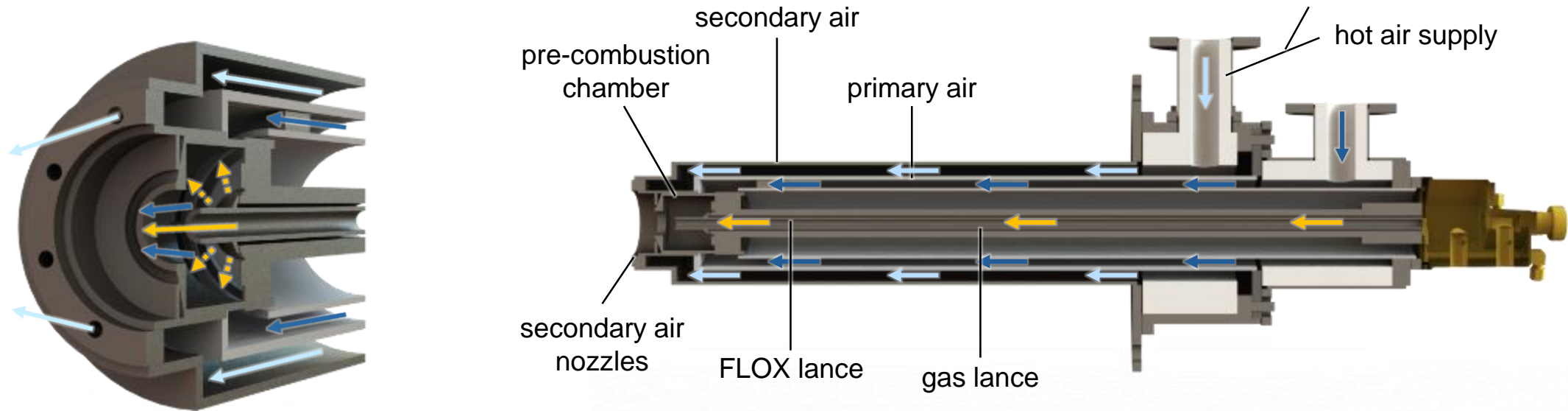
Part 1: Numerische Simulation des Kaltgasbrenners für verschiedene Brennstoffgemische (Temperatur, Geschwindigkeit, NO<sub>x</sub>-Bildung), bei 30 kW,  $\lambda=1$  (Methode: realizable k- $\epsilon$ -EDM, reduzierte Reaktionsmechanismen)

Variation des H<sub>2</sub> Anteils im Erdgas bei gleicher Leistung



Entwicklung: Modelverifizierung anhand von experimentellen Ergebnissen und Simulation von Scalierungskonzepten

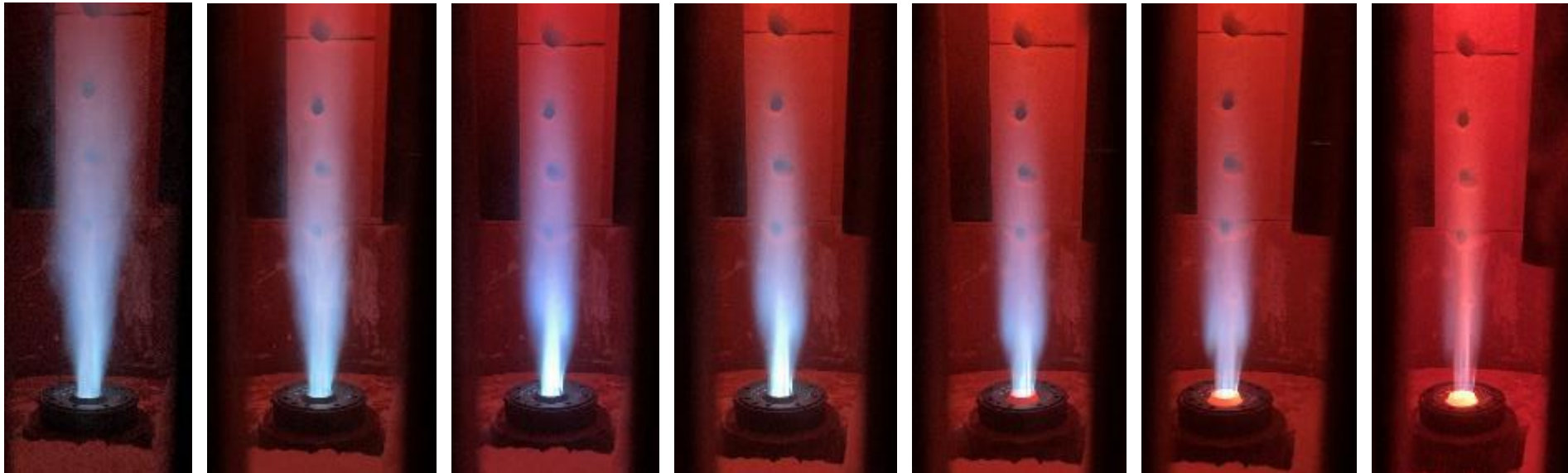
## Teil 2: Generischer Brenner - Conceptual Design eines Heißgasbrenners im flammenlosen Betrieb (30 KW)



Entwicklung: Weiterentwicklung eines bestehenden Brennerprinzips mit Wärmerückgewinnung

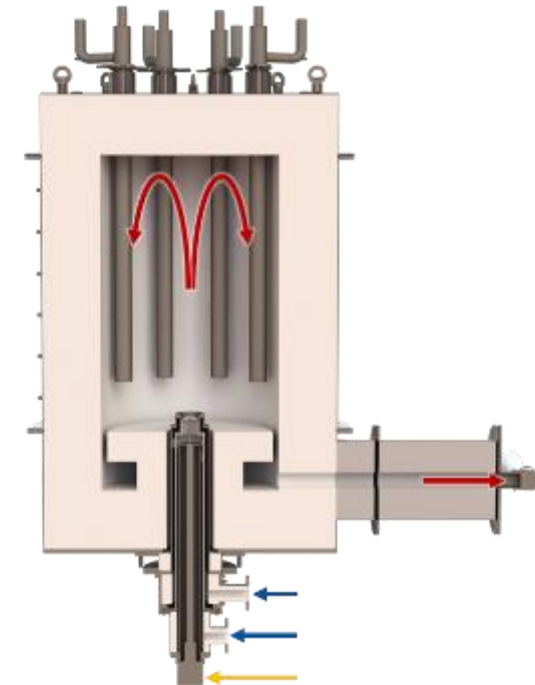
## Teil 2: Generischer Brenner - Conceptual Design eines Heißgasbrenners im flammenlosen Betrieb (30 KW)

Variation des H<sub>2</sub> Anteils, erste Ergebnisse



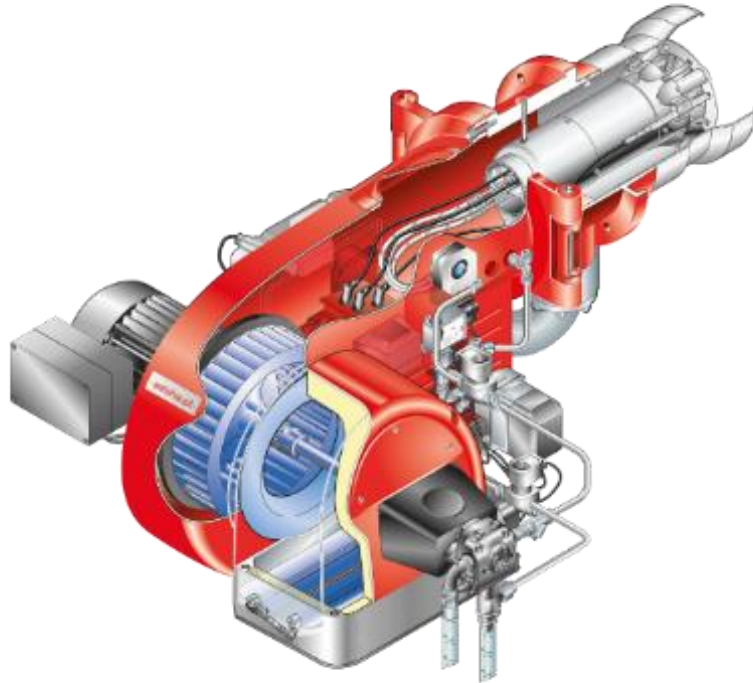
0 Vol.-% H<sub>2</sub>    20 Vol.-% H<sub>2</sub>    35 Vol.-% H<sub>2</sub>    50 Vol.-% H<sub>2</sub>    80 Vol.-% H<sub>2</sub>    90 Vol.-% H<sub>2</sub>    100 Vol.-% H<sub>2</sub>

Entwicklung: Optimierung für den vollständigen H<sub>2</sub> Bereich bis 100 Vol.-%

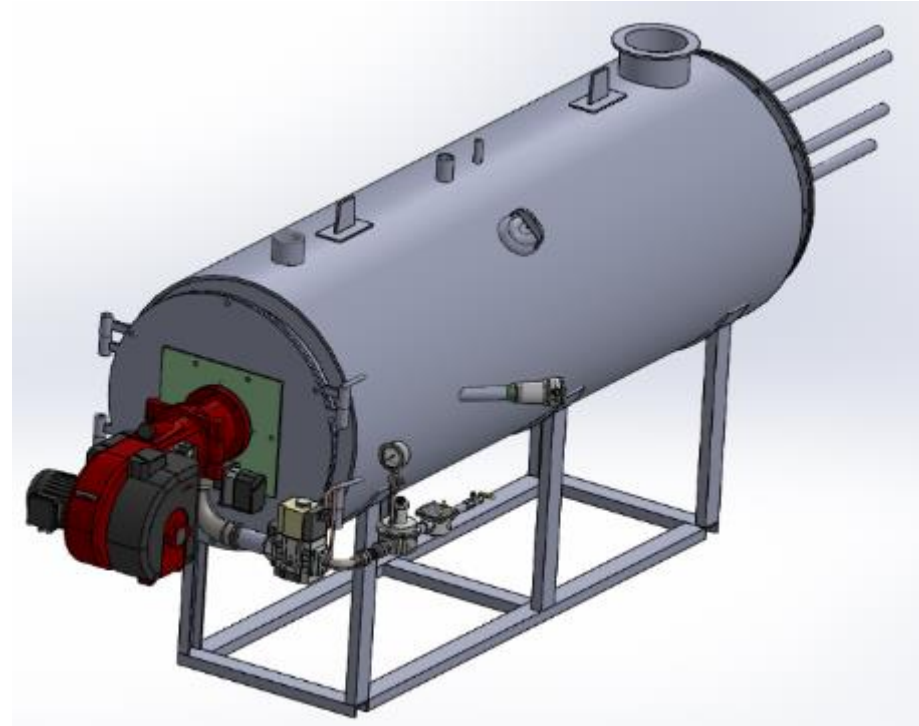


temperature controlled combustion chamber

## Teil 3: Gebläsebrennersystem (100 - 300 kW)



Basic burner design for H<sub>2</sub> implementation



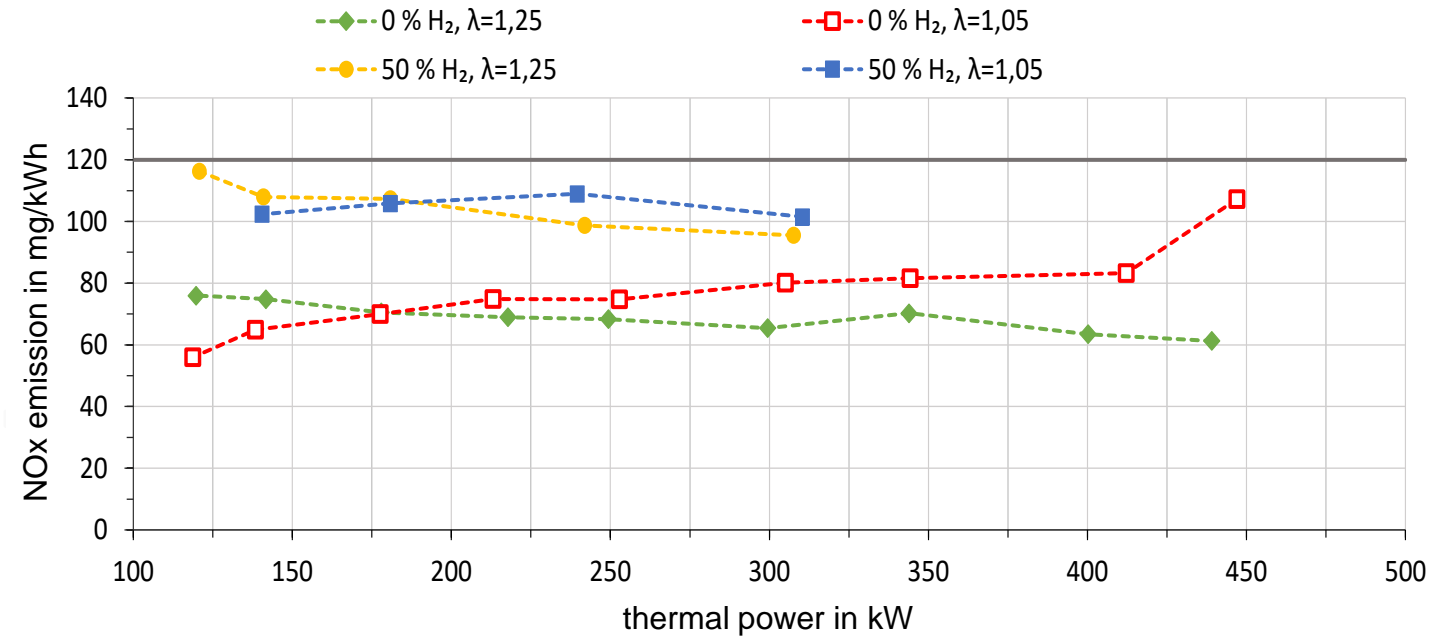
Cold wall burner test stand at DBI

Entwicklung: Optimierung für den vollständigen H<sub>2</sub> Bereich bis 100 Vol.-%

## Teil 3: Erste Ergebnisse Flammendimensionen und NOx Bildung bis 50 Vol.-% H<sub>2</sub>

$\lambda=1,05$	140 kW			300 kW		
	CO in ppm	NO in ppm	T(PrimMit) in °C	CO in ppm	NO in ppm	T(PrimMit) in °C
0 % H <sub>2</sub>	15	46	315	9	43	225
50 % H <sub>2</sub>	42	56	438	9	56	228

Comparison of flame dimension



NOx formation

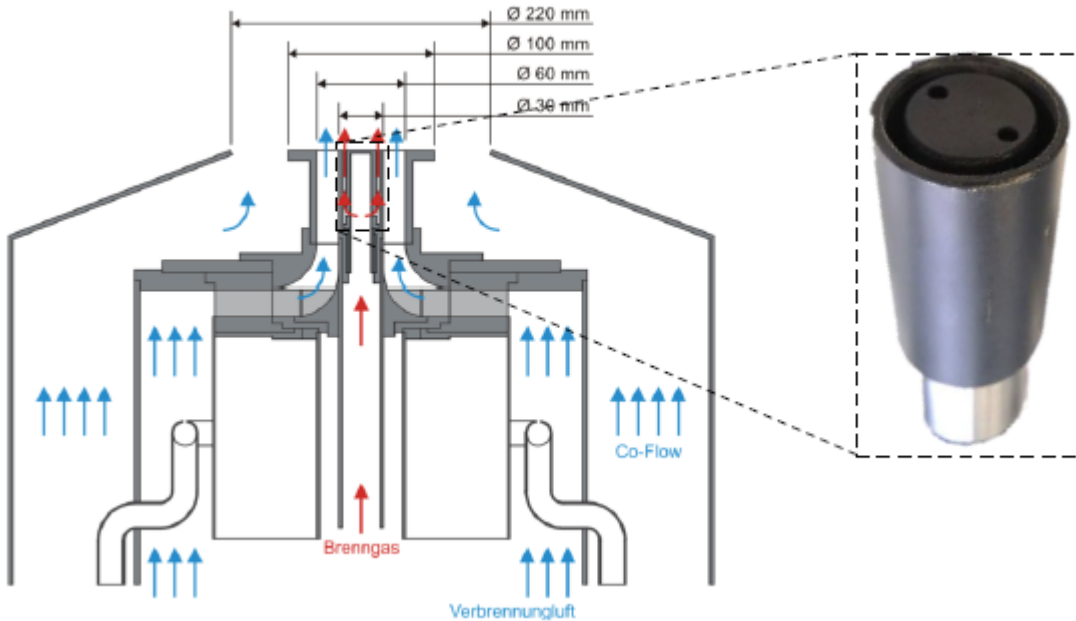
- **Aims:**

Development of an industrial **combustion control based on the flame signal** in firing processes of heat treatment plants **with high volatile hydrogen contents up to 100 %**

- **Approach:**

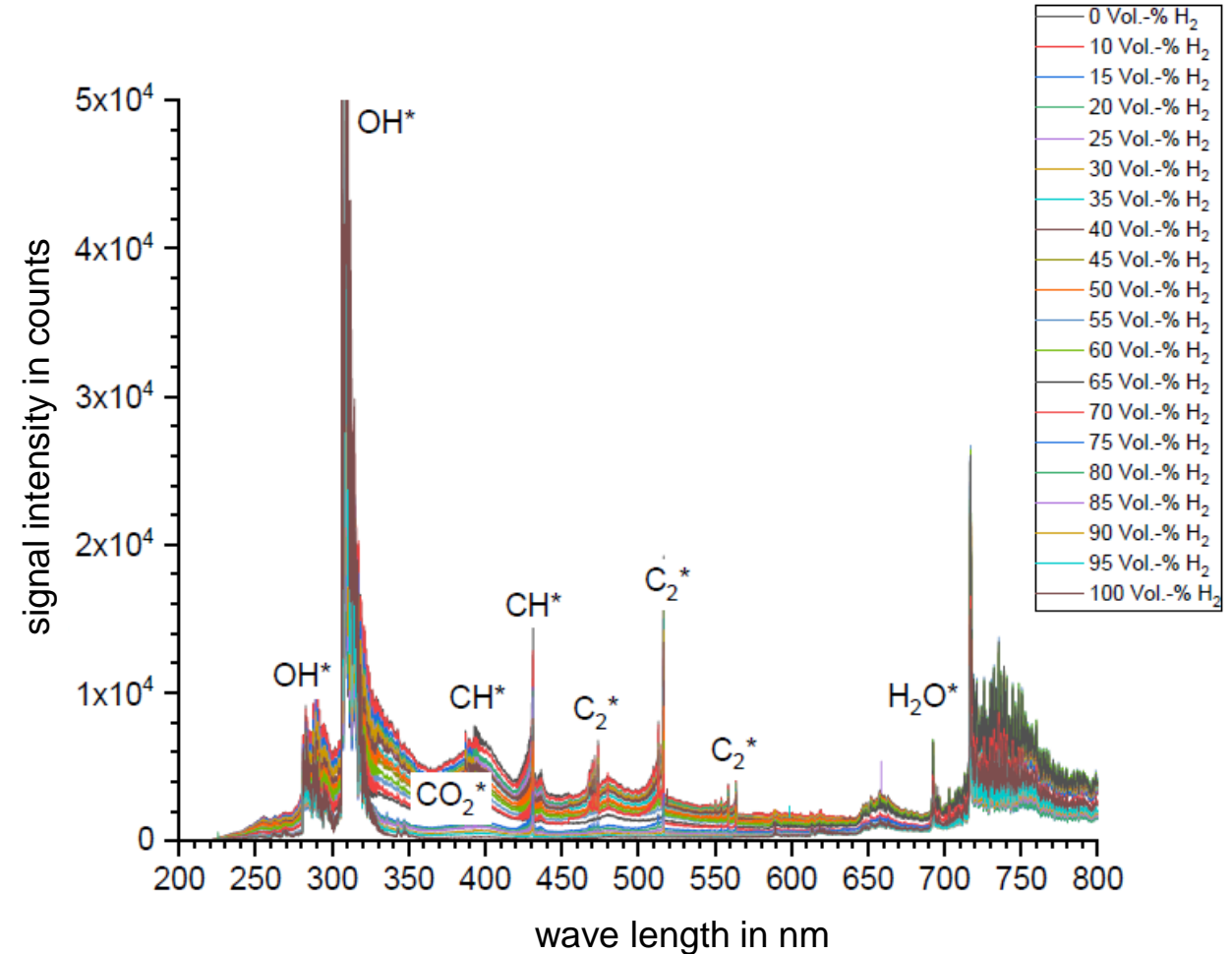
- Investigation on flame geometry with increasing H<sub>2</sub> content in the fuel gas with regard to the position of ionization electrodes or UV probes
- Investigation on probe signals with fluctuating or very high H<sub>2</sub> contents
- Determination of the radiation behavior of flame in complete spectral range to identify H<sub>2</sub> dependent wavelength
- Compilation of constructive installation concepts of flame monitoring systems depending on the H<sub>2</sub> content and the operating range of the burner, comparison of signal size and stability, evaluation of applicability
- Development of a model for adaptive control of gas-air-mixture based on flame signal and further flame information to compensate for fuel gas and oxidiser composition
- Design of a demonstrator for testing and evaluation of combustion control

## Part 1: Investigation of optical spectral flame signals under variation of H<sub>2</sub> content and air ratio



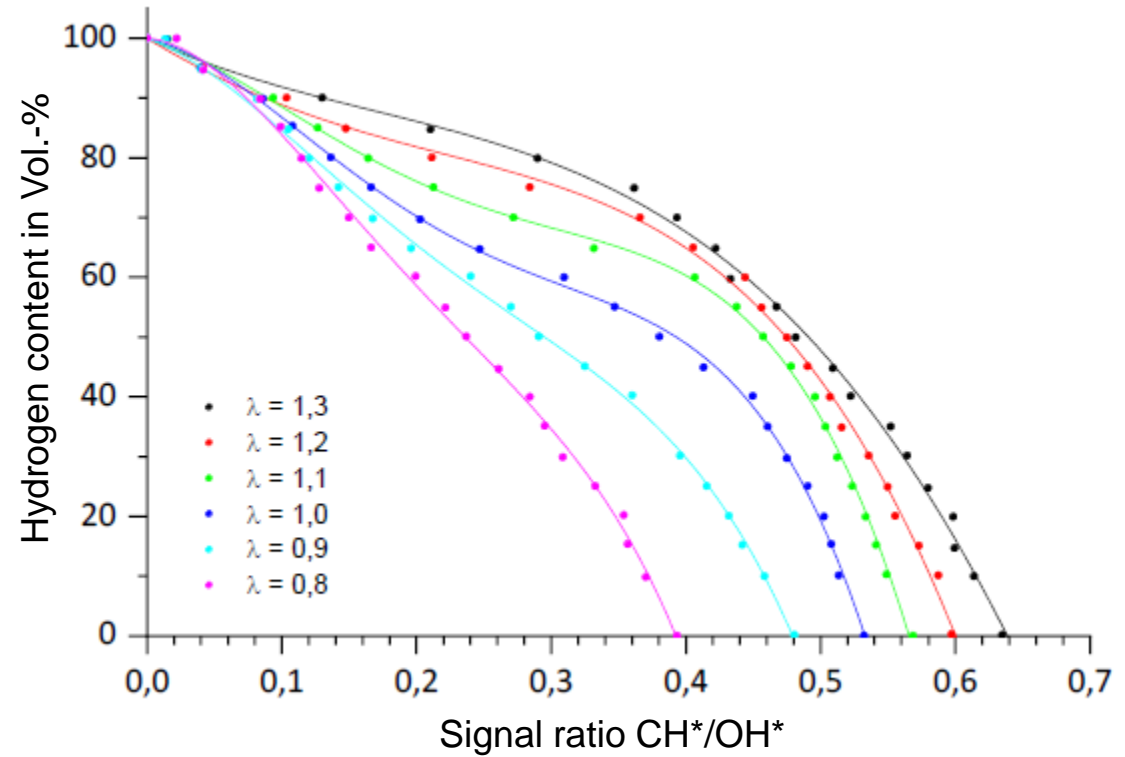
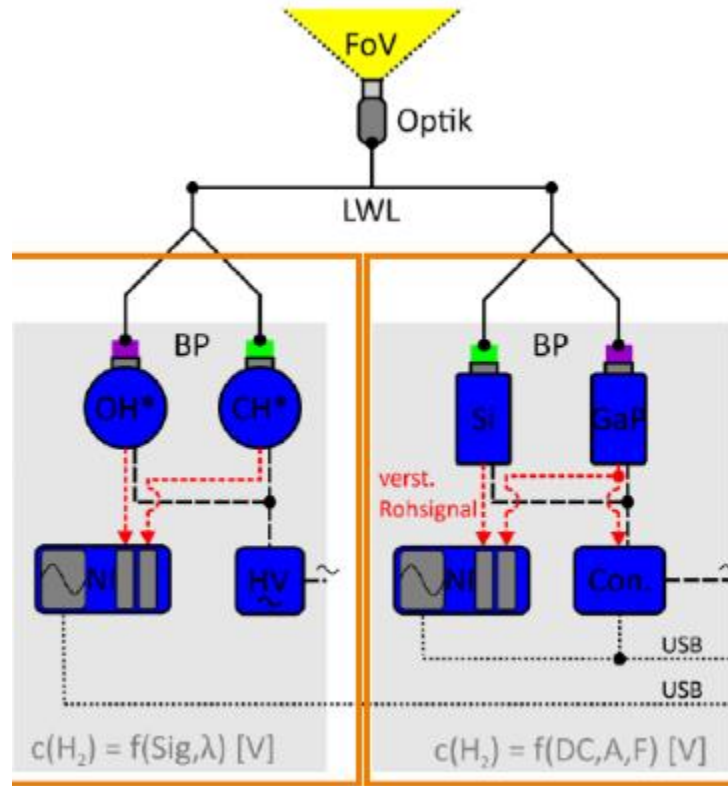
Test facility: TECFLAM burner (30 kW)

Development: Identifying H<sub>2</sub>-dependent spectral emission bands (CH\*, OH\*, C\*)



Part 2: Identifying optical sensors and measurement of significant parameters to derive characteristically diagrams/maps (concept 1)

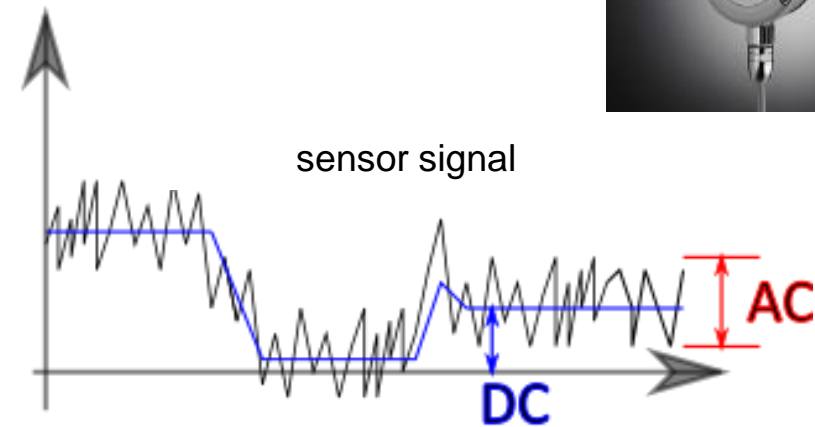
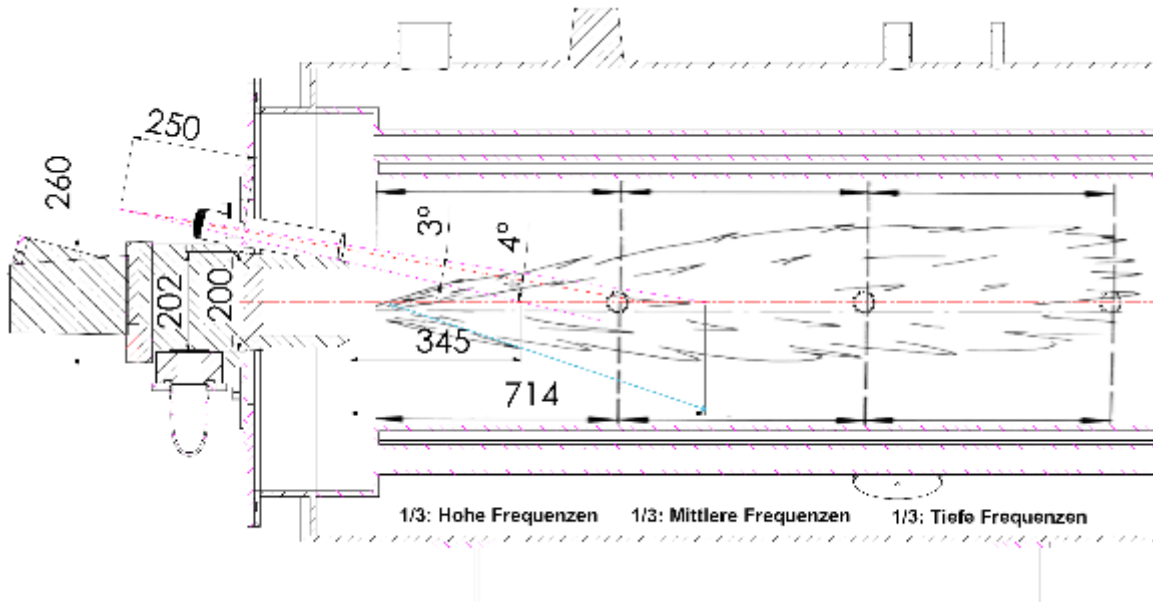
Test facility: adapted measurement set up



Development: Using different sensors (small and broad band) as well as signal ratio and fluctuating frequency



## Part 3: Adaption of process control to a real burner setup using a single sensor concept (2)



Adapted combustion chamber for sensor tests:

- Signal analysis
- Finding an appropriate position and view axis

Adapted signal analysis concept, using:

- Signal mean level
- Amplitude of fluctuations
- Frequency of fluctuation

- **Aims:**

Development of new and investigation of existing material concepts with regard to their usability in hydrogen and hydrogen combustion atmospheres, in particular for burners and heat exchangers, transport and charging systems as well as refractory materials with high resistance to moisture at the highest temperatures and condensing water in start-up and shut-down operation or at outer wall positions of the thermoprocessing plant.

- **Approach:**

- Identification of the boundary conditions to be expected for the use of the materials
- Simulation of reactions and chemical damage mechanisms caused by the changed gas compositions according to application classes and material combinations
- Experimental investigation (ageing tests) of the damage mechanisms on selected materials and material combinations and investigation of the aged materials with regard to their essential material characteristics (microscopic material changes, strength, creep strength)
- Practical experimental investigation under the special boundary conditions for burner components
- Evaluation of the suitability for use of the materials and combinations for the classified load cases

## Teil 1: Aufbau der Tesanlagen für den Alterungstest von Hochtemperaturmaterialien



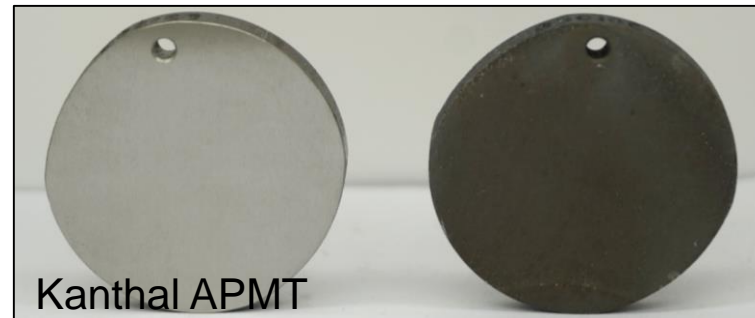
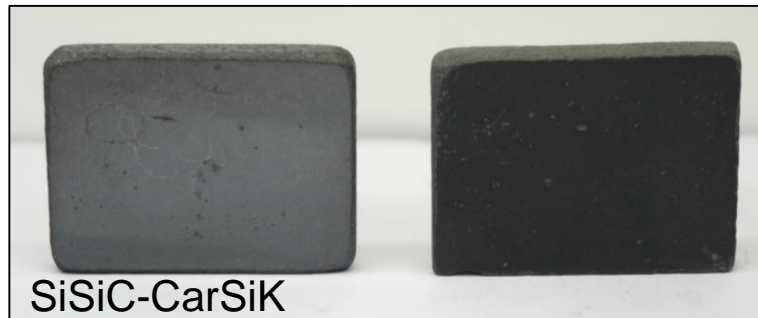
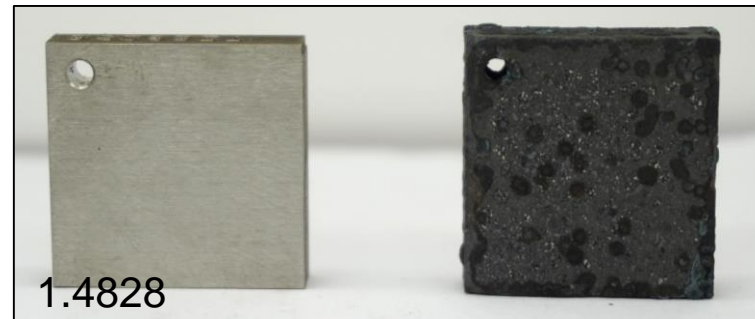
### Adapted tube furnace and specimen mount (TUBAF):

- Temperature range: 1000 – 1500 °C
- Materials: ceramics, steel
- Atmosphere: hydrogen off gas

### Adapted chamber furnace (IWT):

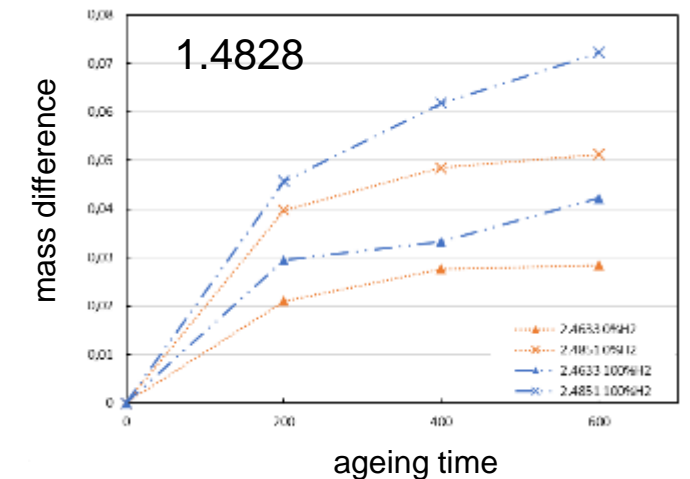
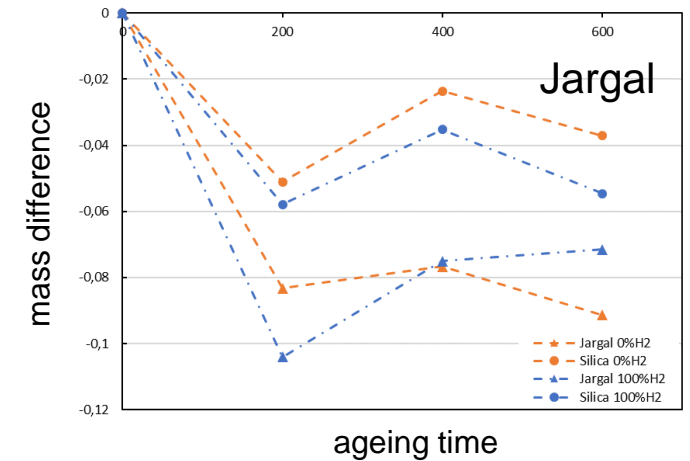
- Temperature: 1250 °C
- Materials: steel
- Atmosphere: hydrogen

## Teil 2: Erste Ergebnisse der Alterungstests, Vergleich Erdgas und H<sub>2</sub>-Abgas



Ageing status at 200 h and 1000°C

- right natural gas reference atmosphere
- left hydrogen off gas atmosphere



## Weitere Entwicklungen und Untersuchungen im Project TTgoesH2

- **Verbrennungssysteme:**
  - Abschluss der Messungen an den neuen Brennern
  - Ableitung von Design-Prinzipien für unterschiedliche Brennertypen bei hohen H<sub>2</sub>-Anteilen
  - Gemeinsame Demonstrationsversuche mit der Brennerregelung
- **Brennerregelungssysteme:**
  - Abschluss der Entwicklungen zur Kennfeldbestimmung optischer Sensoren zur H<sub>2</sub>-Bestimmung
  - Ableitung von mathematischen Zusammenhängen zw. Sensorsignalen und H<sub>2</sub>-Anteil im Brennstoff
  - Entwicklung von Kalibrierungsmethoden
- **Hochtemperaturmaterialien:**
  - Abschluss der Alterungsuntersuchungen und Probenanalyse (Masse, Zusammensetzung, Struktur)
  - Ableitung von Empfehlungen für Brenner- und Hochtemperaturanlagenhersteller

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Krause

Tel.: +49 3731 39-3941

email: [hartmut.krause@iwtt.tu-freiberg.de](mailto:hartmut.krause@iwtt.tu-freiberg.de)

Chair of Gas and Heat Technology  
Institute of Thermal Engineering

Fax +49 3731 39 3942

web: [www.gwa.tu-freiberg.de](http://www.gwa.tu-freiberg.de)

Address: Lampadiusbau, Gustav-Zeuner-Straße 7

