

HOCHDRUCKTESTS VON WASSERSTOFF-KRAFTSTOFFINJEKTOREN IN EINER DREISEKTOR-FETT-MAGER-BRENNKAMMER FÜR DAS ROLLS-ROYCE PEARL 15 WASSERSTOFF-DEMONSTRATOR-TRIEBWERKSPROGRAMM

Vortragender: S. Eisenring

Publikationsautoren: S. Eisenring¹, T. Behrendt¹, J. Berger¹, P. Tiessen¹, B. Janus¹, C. Clemen²

Publikations-ID: DLRK2024-630101

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Institut für Antriebstechnik, Linder Höhe, 51147 Köln

² Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG, Eschenweg 11, 15827 Blankenfelde-Mahlow

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen:
20M2104A (RRD) und 20M2104B (DLR)



- Übersicht Versuchskampagne
- Experimentelles Setup
 - Messaufbau
 - Bildbearbeitung und -darstellung
- Resultate
 - Unterschiede im NO_x -Verhalten
 - Flammenbild bei nominellem Idle-Lastpunkt
 - Flammenbild bei Injektor AFR Variation
- Zusammenfassung

ÜBERBLICK VERSUCHSKAMPAGNE

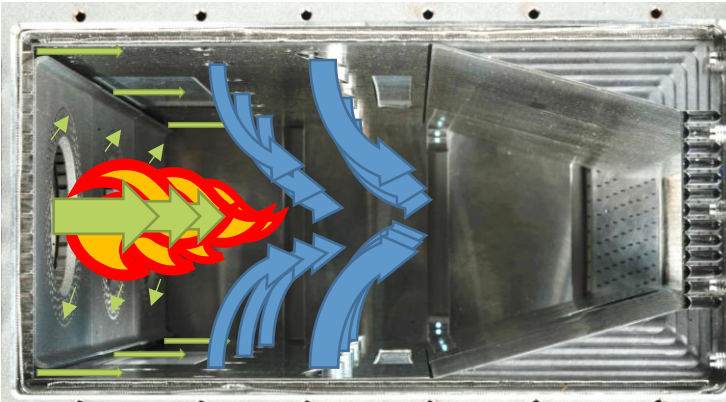
Ziele der Testkampagne

1. Validierung der bisherigen Beobachtungen bei atmosphärischen Bedingungen für zwei H_2 -Injektoren von RRD bei mittleren Drücken in der **H**igh-**O**ptical Access **T**riple-**S**ector Messstrecke (HOTS)
2. Untersuchung der Flammenstabilisierung und des NO_x -Verhaltens bei Änderung der Stöchiometrie anhand der OH^* -Chemilumineszenz und Wasserdampfstrahlung

EXPERIMENTELLES SETUP

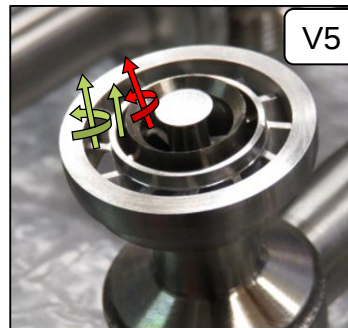
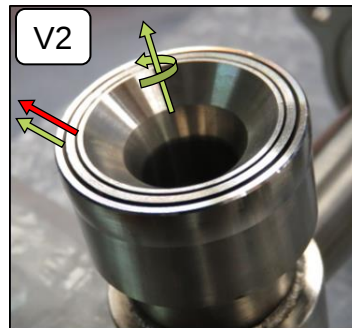
HOTS – Messstrecke

Drei-Sektor Brennkammer
Optischer Zugang
Rich-Quench-Lean Technologie



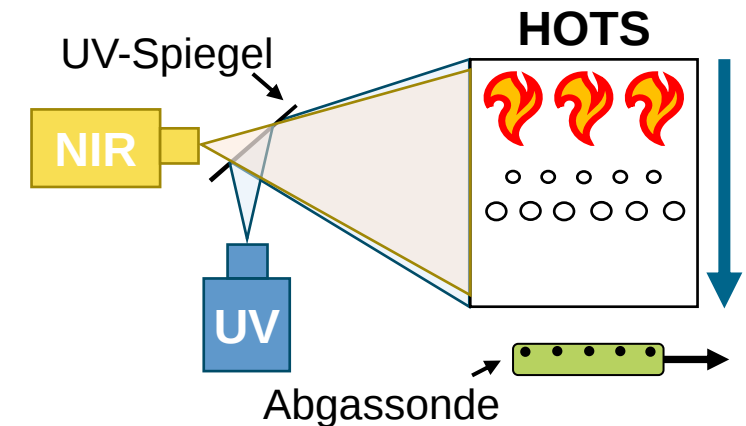
RRD – Injektoren

V2: exzentrische Kraftstoffführung
V5: zentrale Kraftstoffführung
Kleinere Luftauslassfläche für V2,
d. h. weniger Kraftstoff bei gleichem Inj. AFR



Messtechnik

Aufnahme von OH*-Chemilumineszenz (UV)
und Wasserdampfstrahlung (NIR)
NO_x-Messung im Abgas



- **Betriebsbedingung:** Idle-Lastpunkt
- **Messprogramm:** Injektor AFR-Variation (**fett**)

weniger Kraftstoff	Referenz AFR	mehr Kraftstoff
116%	100%	87%

Bildbearbeitung

- Mittelung über 200 (UV) bzw. 400 (IR) Einzelaufnahmen
- Median-Filter (5x5 Pixel)

Bilddarstellung

- Platzierung von strömungsrelevanten Brennkammergeometrien im Diagramm
- Platzierung der Fensterrahmen im Diagramm
- Line-of-Sight
- Entfaltung (**nur** in der Primärzone)

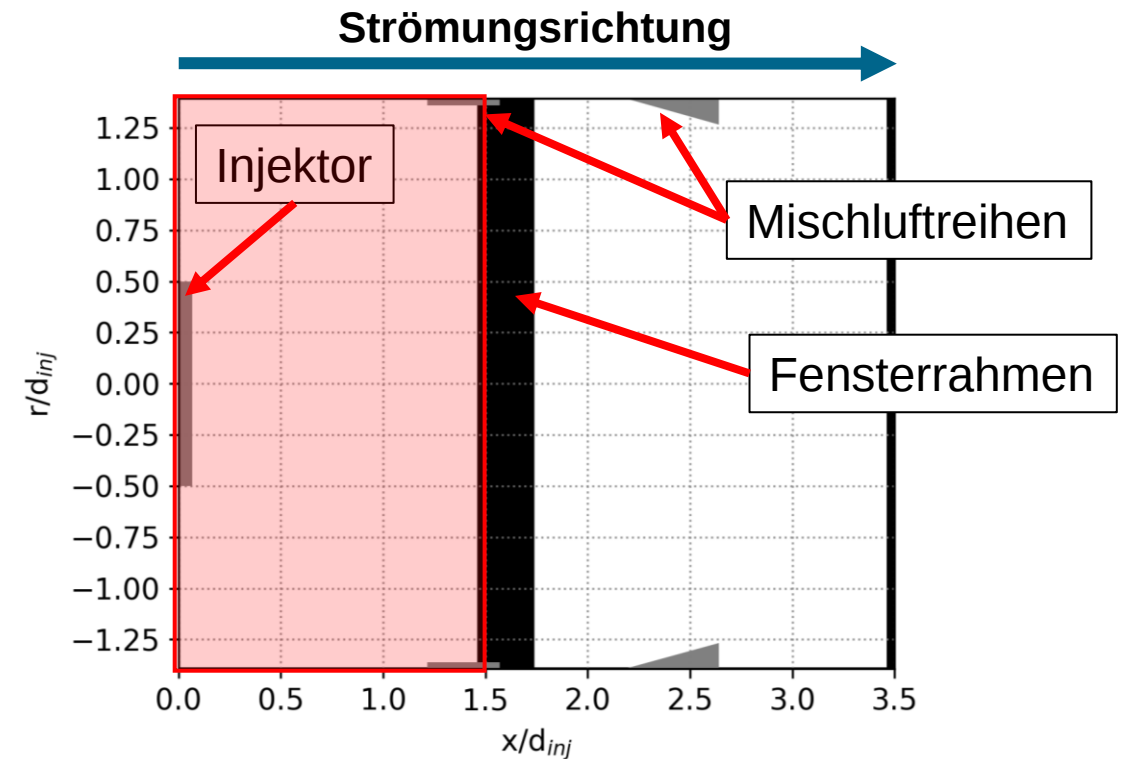


Fig. 1: Diagrammdarstellung der Kameraaufnahmen

RESULTATE

Beobachtung

1. Doppelter NO_x-EI von V2 gegenüber V5 bei fetterem Injektor AFR
2. Hohe NO_x-Sensitivität bezüglich Injektor AFR von V2 im Vergleich zu V5

Hypothesen

1. **Absolute Differenz der NO_x-EI's durch unterschiedliche zonale AFR's und Verbrennungsmodi erklärbar**
2. NO_x-Insensitivität von V5 durch Intensivierung der Wärmefreisetzung in inneren Rezirkulationszone (IRZ) mit steigendem AFR erklärbar

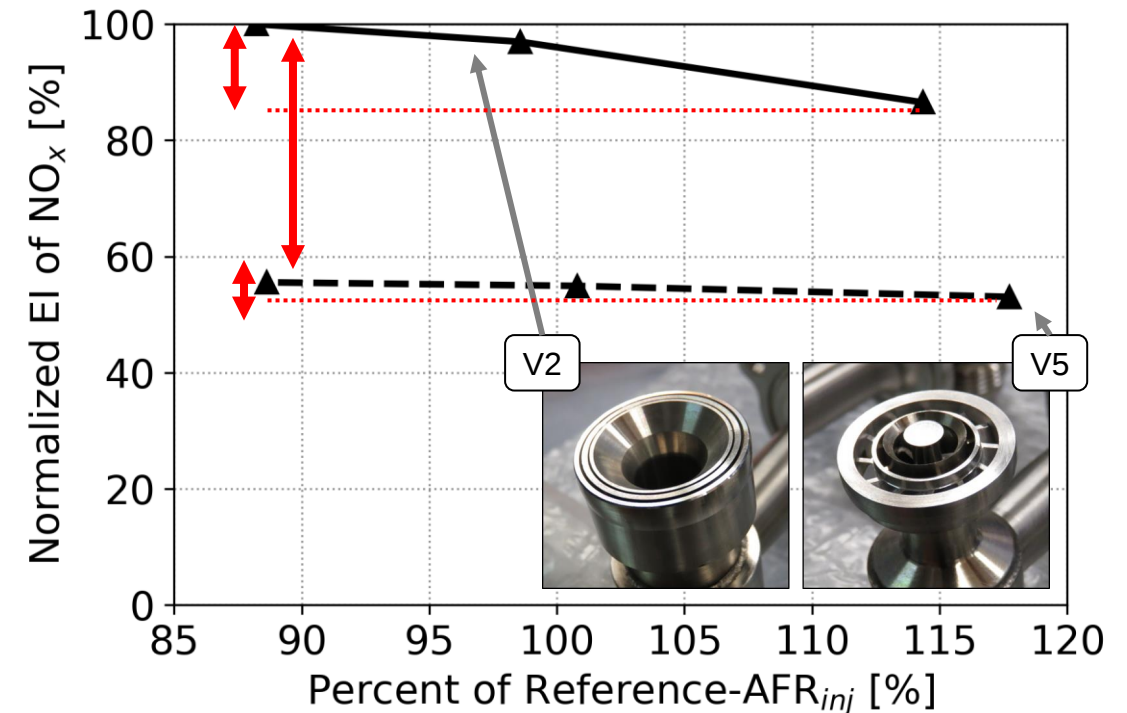


Fig. 2: NO_x-Verhalten beider Injektoren

Resultate – Flammenbild bei nominellem Idle-Lastpunkt I

Beobachtungen V2

- Verankerte Flamme
- Wärmefreisetzung nahe zur Brennkammerwand
- Heisse Abgase in äusserer und innerer Rezirkulationszonen (ORZ und IRZ)

Beobachtungen V5

- Abgehobene Flamme
- Schwache Wärmefreisetzung nahe zur Brennkammerwand
- Keine heissen Abgase in ORZ, heisse Abgase in IRZ

Primärzone
magerer

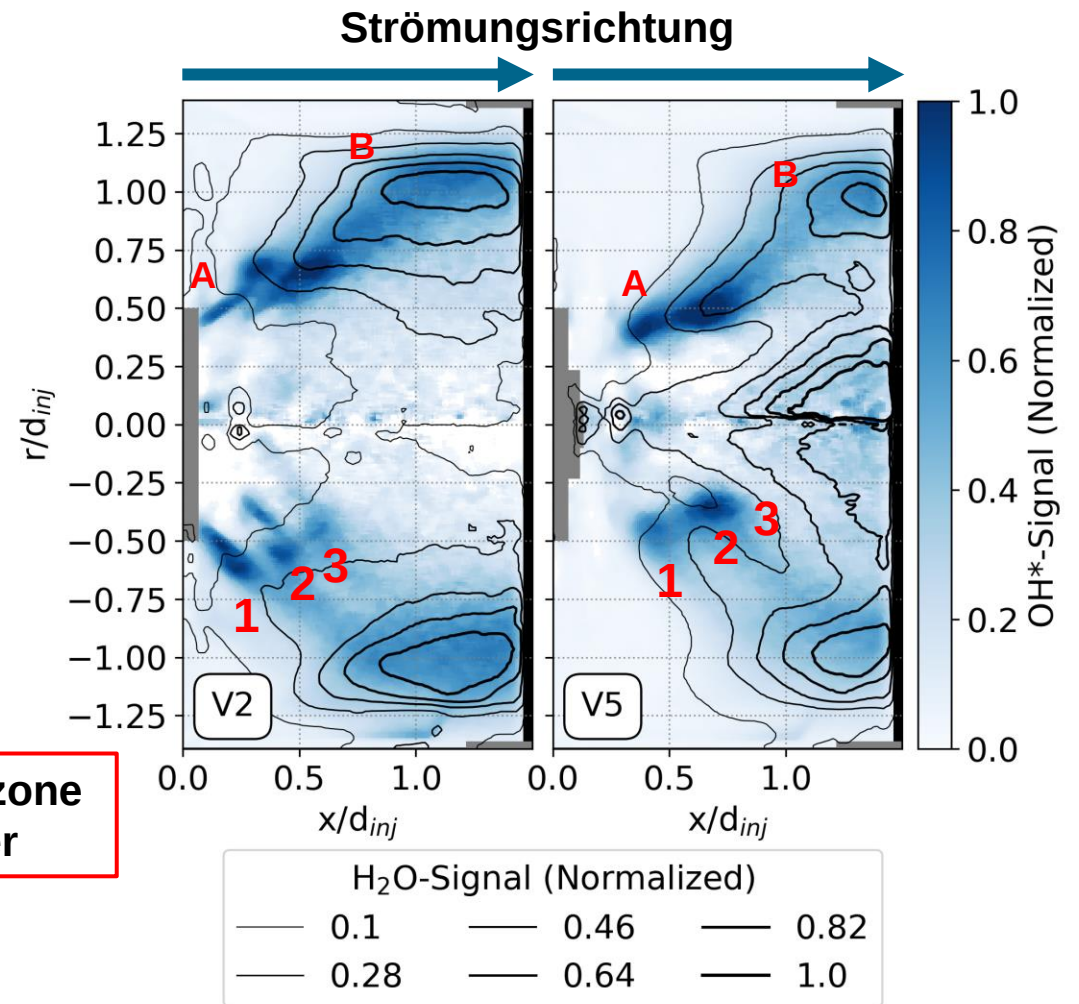


Fig. 3: Entfaltete OH*- und Wasserdampfaufnahmen beim Referenz Injektor AFR

Resultate – Flammenbild bei nominellem Idle-Lastpunkt II

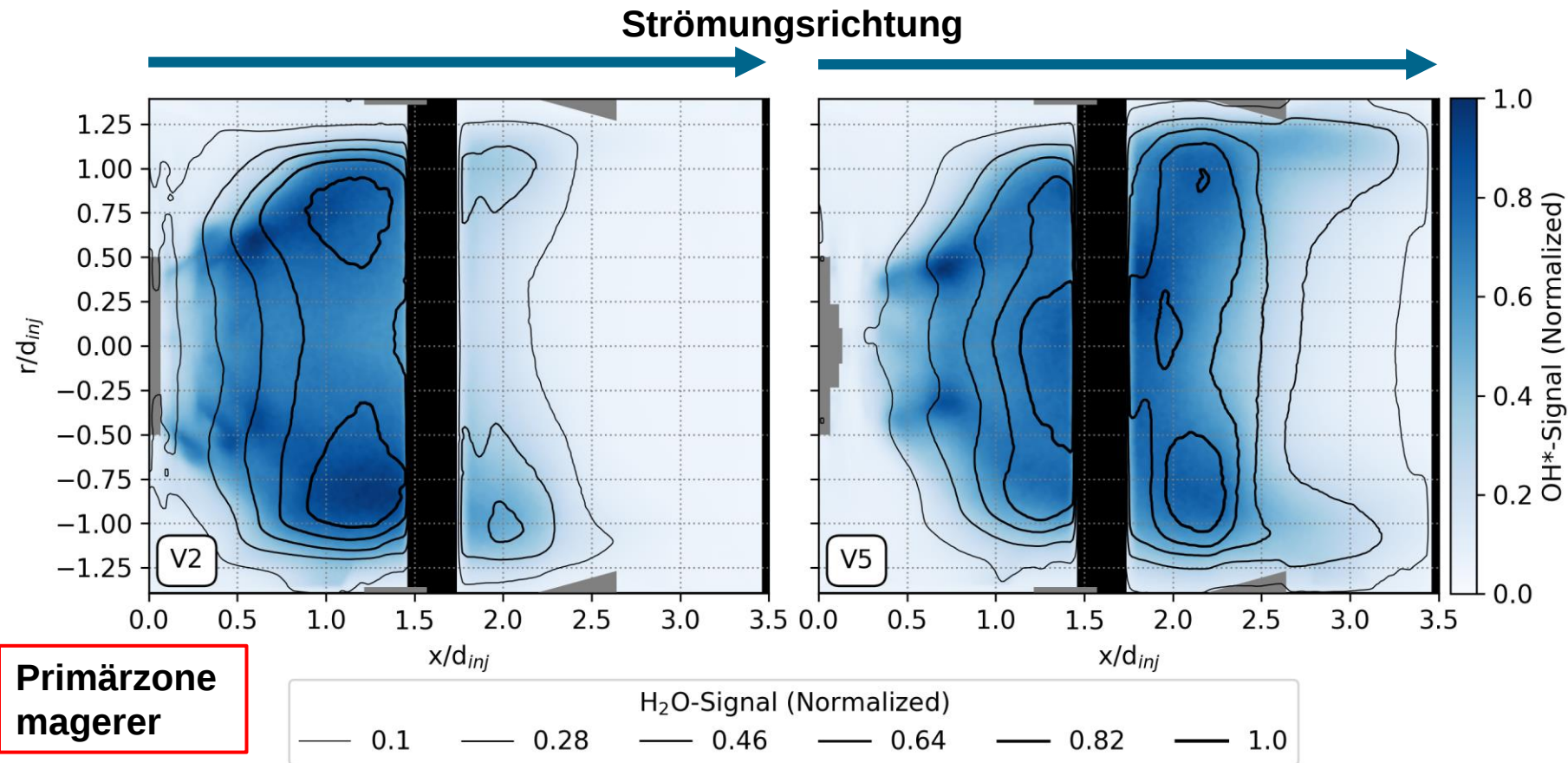


Fig. 4: Line-of-sight OH* und Wasserdampfaufnahmen beim Referenz Injektor AFR

- Wärmefreisetzung bei V2 in Primärzone abgeschlossen, wegen hohem globalem AFR und Interaktion zwischen Kraftstoff und Wandkühlluft
- Wärmefreisetzung bei V5 bis ans Ende der Mischzone, wegen Kraftstoffplatzierung und niedrigerem globalem AFR

Resultate – Unterschiede im NO_x -Verhalten (Recap)

Beobachtung

1. Doppelter NO_x -EI von V2 gegenüber V5 bei fetterem Injektor-AFR
2. Hohe NO_x -Sensitivität bezüglich Injektor-AFR von V2 im Vergleich zu V5

Hypothesen

1. Absolute Differenz der NO_x -EI's durch unterschiedliche zonale AFR's und Verbrennungsmodi erklärbar
2. **NO_x -Insensitivität von V5 durch Intensivierung der Wärmefreisetzung in inneren Rezirkulationszone (IRZ) mit steigendem AFR erklärbar**

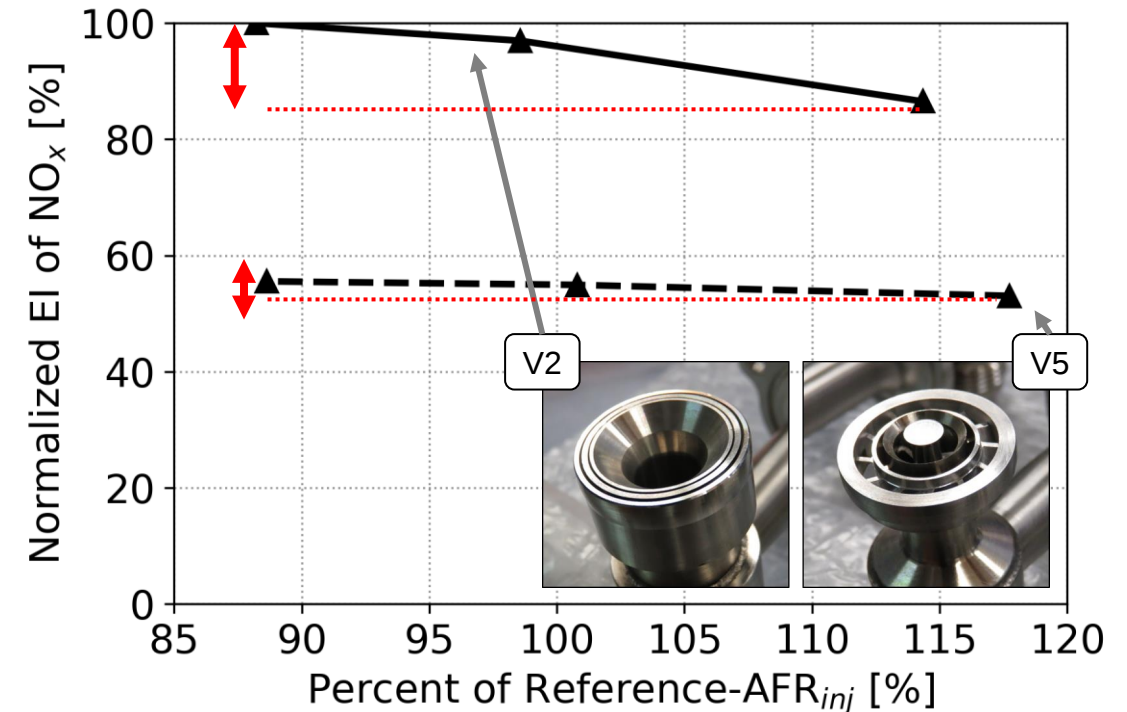


Fig. 3: NO_x -Verhalten beider Injektoren

Resultate – Flammenbild bei Injektor AFR Variation I

Beobachtungen V2

- Wärmefreisetzung sinkt mit steigendem Injektor AFR
- Peak der Wärmefreisetzung verschiebt sich Richtung Injektor mit steigendem Injektor AFR
- H₂O-Signal sinkt mit steigendem Injektor AFR

Beobachtungen V5

- Wärmefreisetzung in PZ konstant über Injektor AFR, sinkt stromab der 1. Mischluftreihe
- Peak der Wärmefreisetzung in der Mischzone
- H₂O-Signal steigt in PZ und sinkt stromab der 1. Mischluftreihe mit steigendem Injektor AFR

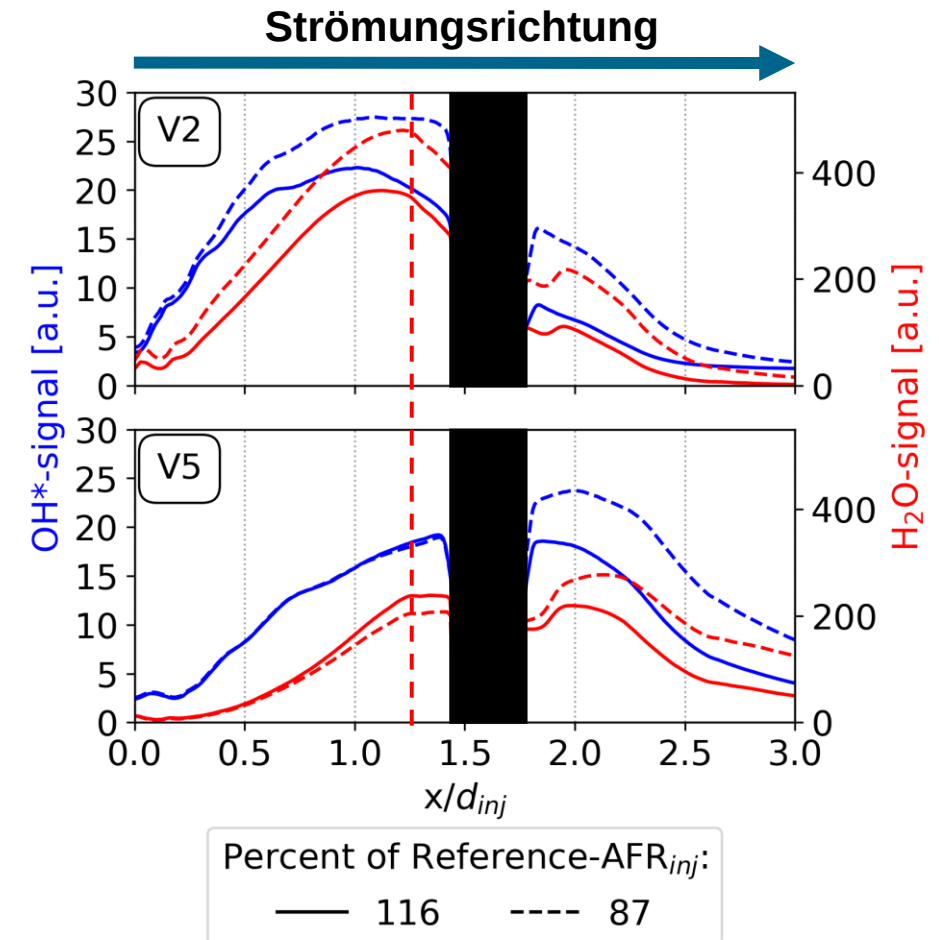


Fig. 5: Profil des radial-gemittelten OH*- und Wasserdampfsignals über die Brennkammerlänge

Resultate – Flammenbild bei Injektor AFR Variation II

Beobachtungen V2

- Schwache Wärmefreisetzung in der IRZ
- Wärmefreisetzung und H_2O -signal in der IRZ sinkt mit steigendem Injektor AFR

Beobachtungen V5

- Signifikante Wärmefreisetzung in IRZ, steigt mit steigendem Injektor AFR
- Erhöhung des H_2O -Signals in der IRZ durch steigendes Injektor AFR

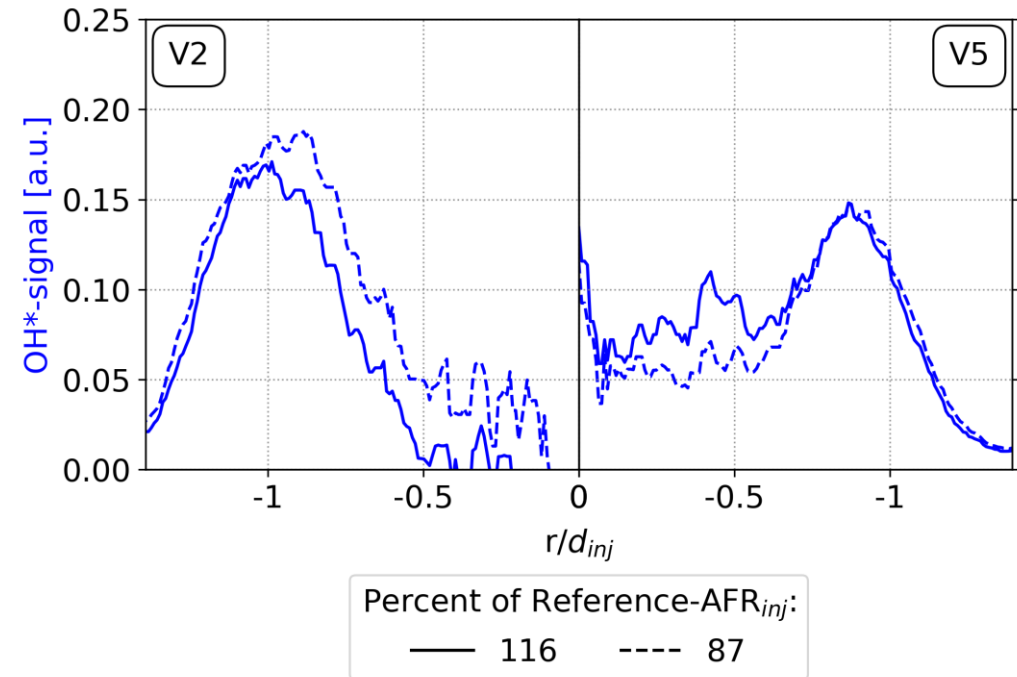


Fig. 6: Radiales Profil des entfaltenen OH*- und Wasserdampfsignals an axialer Position der 1. Mischluftreihe

ZUSAMMENFASSUNG

Ziele der Testkampagne

- ✓ Validierung der Beobachtungen der atmosphärischen Voruntersuchung von RRD bei mittleren Drücken
- ✓ Untersuchung der Flammenstabilisierung und des NO_x -Verhaltens bei Änderung der Stoichiometrie

Zusammenfassung

- **Verankerte V2-Flamme** führt aufgrund der unvorgemischten Verbrennung zu **lokal höheren Temperaturen** am Injektoraustritt
- Ungleiche Luftverteilung in **V2-Primärzone** und Interaktion mit Wandkühlung führt zur **nah-stoichiometrischen Verbrennung in der Primärzone**
- **Wärmefreisetzung in der IRZ von V5** intensiviert sich mit steigendem Injektor AFR
- Dadurch kommt es zu höheren Temperaturen und **höheren lokalen NO_x -Bildungsraten mit steigendem Injektor AFR in IRZ**

**Viel NO_x
für V2**

**Konstanter
 NO_x für V5**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



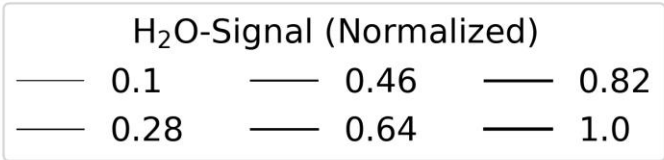
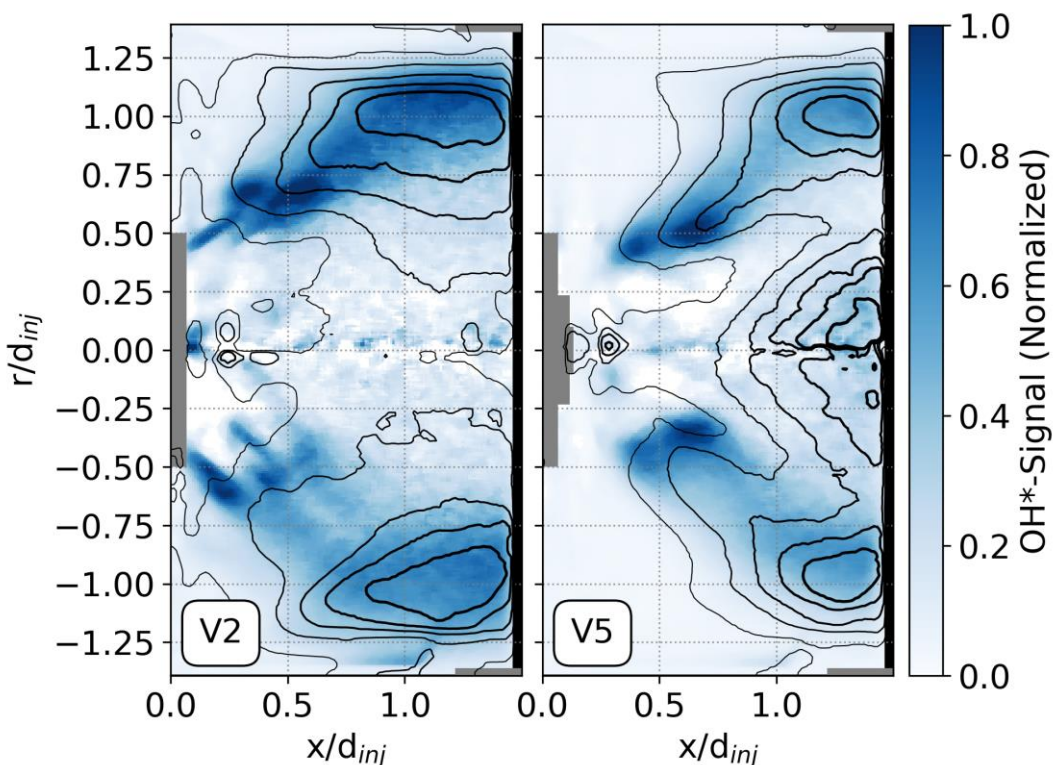
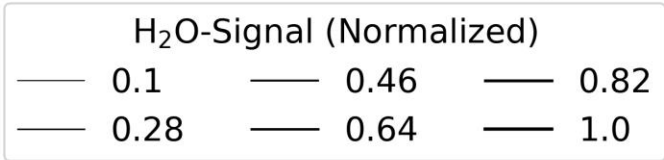
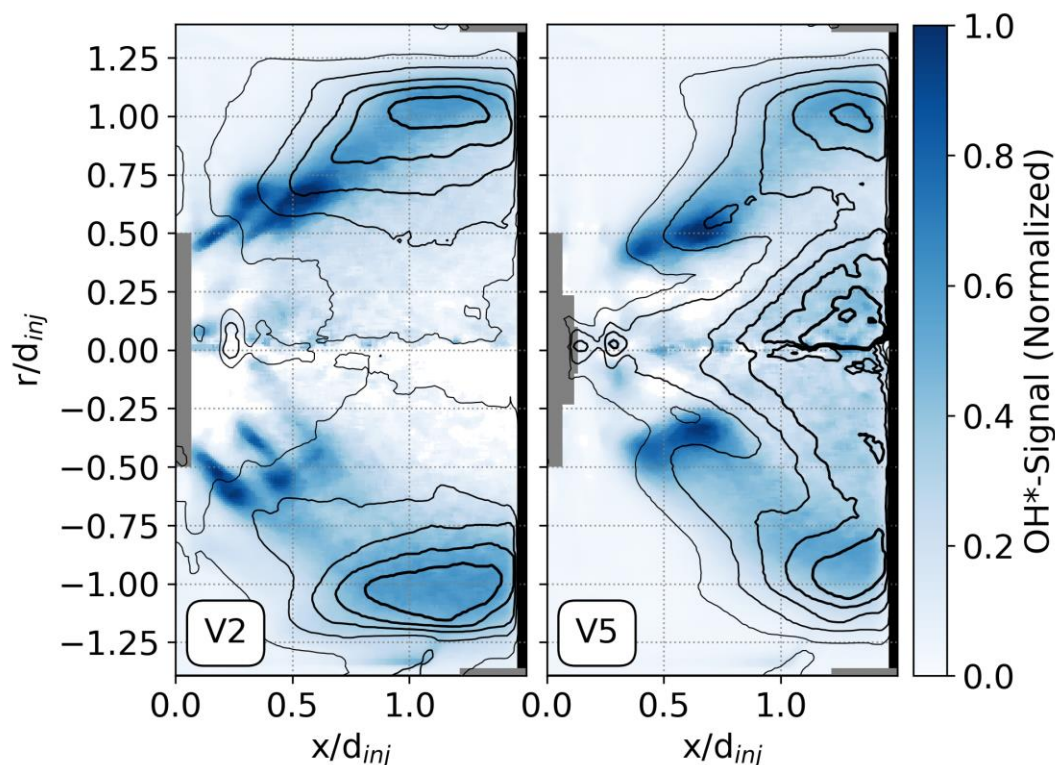
DANKE FÜR DIE AUFMERKSAMKEIT! FRAGEN?

Extra – Entfaltete Darstellung bei fetterem und magererem AFR



116% Ref. AFR

87% Ref. AFR



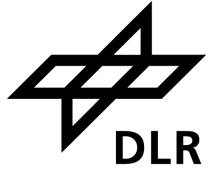
Förderkennzeichen:
20M2104B (DLR)
20M2104A (RRD)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Thema: **Hochdrucktests von Wasserstoff-Kraftstoffinjektoren in einer Dreisektor-Fett-Mager-Brennkammer für das Rolls-Royce Pearl 15 Wasserstoff-Demonstrator-Triebwerksprogramm**
Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2024, Hamburg

Datum: 2024-10-01

Autor: Sebastián Eisenring

Institut: Institut für Antriebstechnik

Bildcredits: Alle Abbildungen „DLR (CC BY-NC-ND 3.0)“,
sofern nicht anders angegeben