

ATMOSPHERISCHE UNTERSUCHUNG VON WASSERSTOFF-KRAFTSTOFFINJEKTOREN FÜR FETT-MAGER-VERBRENNUNG IM ROLLS- ROYCE PEARL 15 WASSERSTOFF- DEMONSTRATORTRIEBWERKSPROGRAMM

J. Berger, T. Behrendt, S. Eisenring, B. Janus

DLR, Institut für Antriebstechnik

C. Clemen

Rolls-Royce Deutschland

Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2024, Hamburg

Gefördert durch:



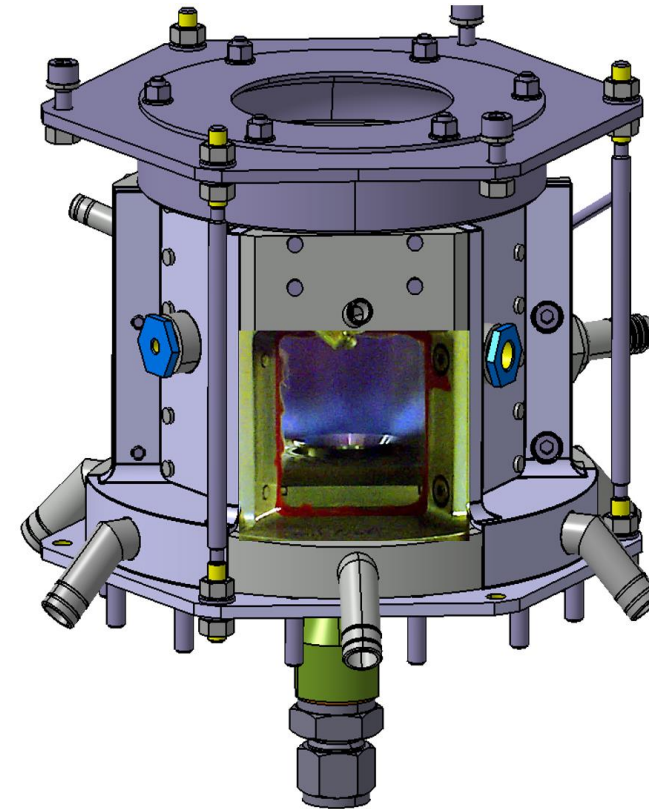
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Inhalt

- Einleitung
- Verwendete Brenner
- Atmosphärische Einzelsektorbrennkammer
- Optische Messtechnik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

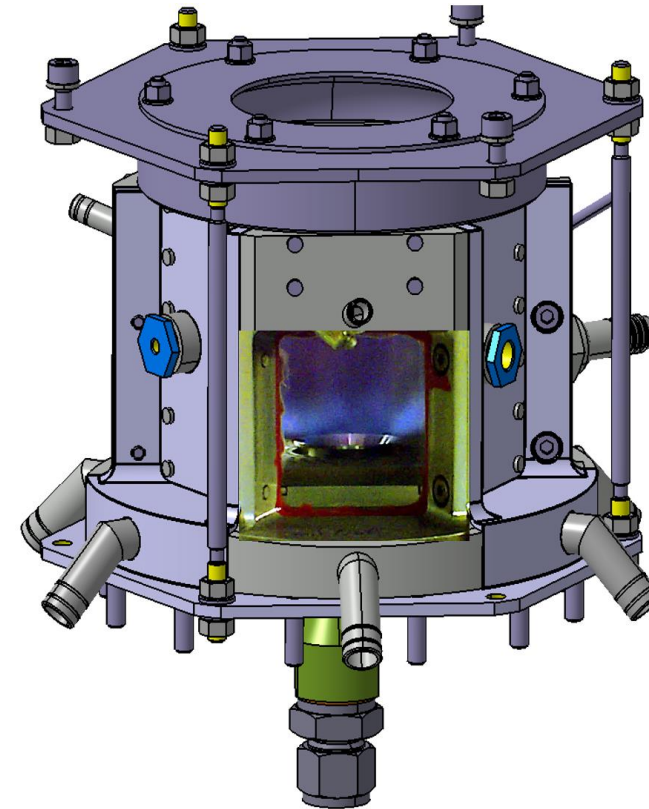


Atmosphärische Untersuchung von Wasserstoff-Kraftstoffinjektoren für Fett-Mager-Verbrennung im Rolls-Royce Pearl 15 Wasserstoff-Demonstratortriebwerksprogramm

Inhalt



- **Einleitung**
- Verwendete Brenner
- Atmosphärische Einzelsektorbrennkammer
- Optische Messtechnik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung



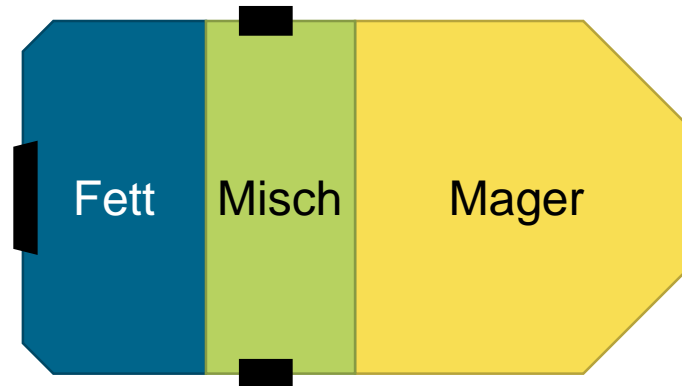
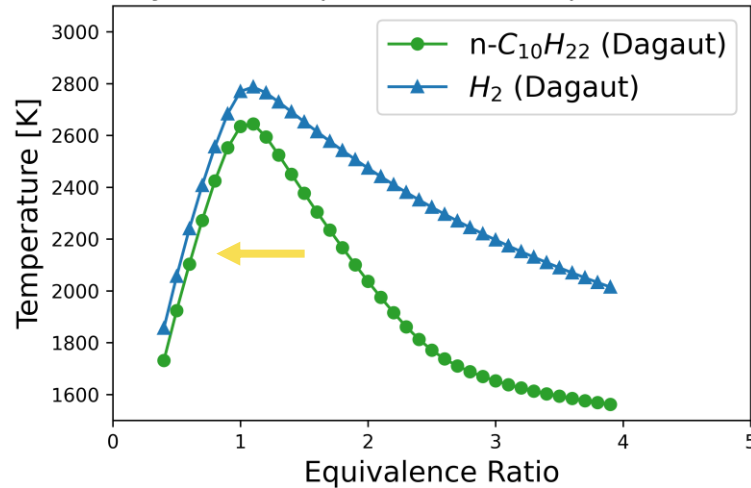
Atmosphärische Untersuchung von Wasserstoff-Kraftstoffinjektoren für Fett-Mager-Verbrennung im Rolls-Royce Pearl 15 Wasserstoff-Demonstratortriebwerksprogramm

Einleitung

Die Fett - Mager - Brennkammer



Steady State Temperatures over Equivalence Ratio



- Verbrennungstemperatur
- Flammgeschwindigkeit
- Mischung ohne Verdampfung
- Zündgrenzen

T = 800 K, p = 30 bar

Calculated using

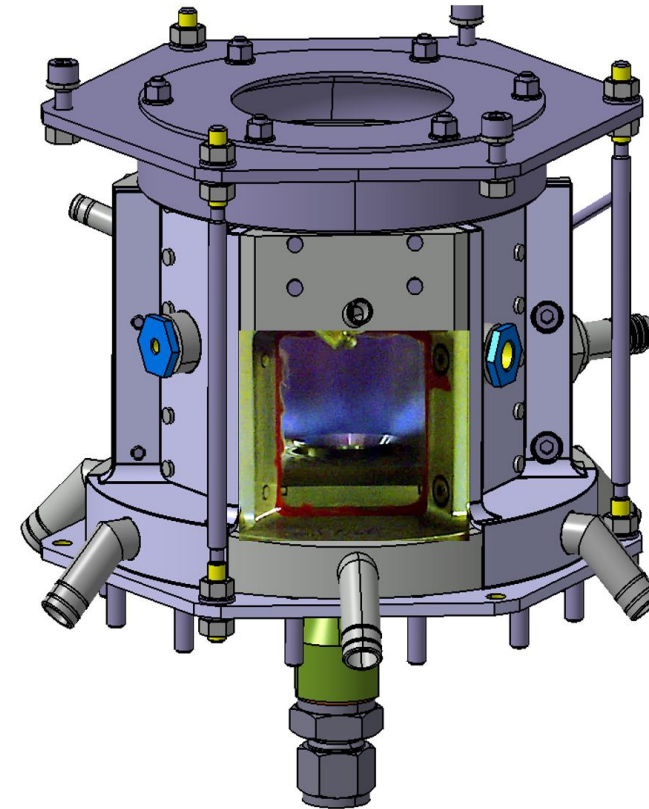
Cantera: Goodwin et al., doi.org/10.5281/zenodo.8137090

Dagaut mechanism: Dagaut et al., doi.org/10.1016/j.pecs.2005.10.003

- **Anwendbarkeit von Wasserstoff im Fett-Mager Kontext**
 - Flammenstabilität
 - Low TRL Umgebung mit günstigem, schnellen turnaround
- **Geringe Hardware-Anpassungen**
 - Tausch der Injektoren
 - Nutzung von drallstabilisierten nicht-vorgemischten Injektoren

Inhalt

- Einleitung
- **Verwendete Brenner**
- Atmosphärische Einzelsektorbrennkammer
- Optische Messtechnik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung



Atmosphärische Untersuchung von Wasserstoff-Kraftstoffinjektoren für Fett-Mager-Verbrennung im Rolls-Royce Pearl 15 Wasserstoff-Demonstratortriebwerksprogramm

Verwendete Brenner von Rolls-Royce Deutschland



Konzept: Schnelle Mischung

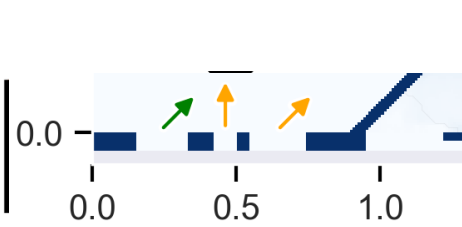
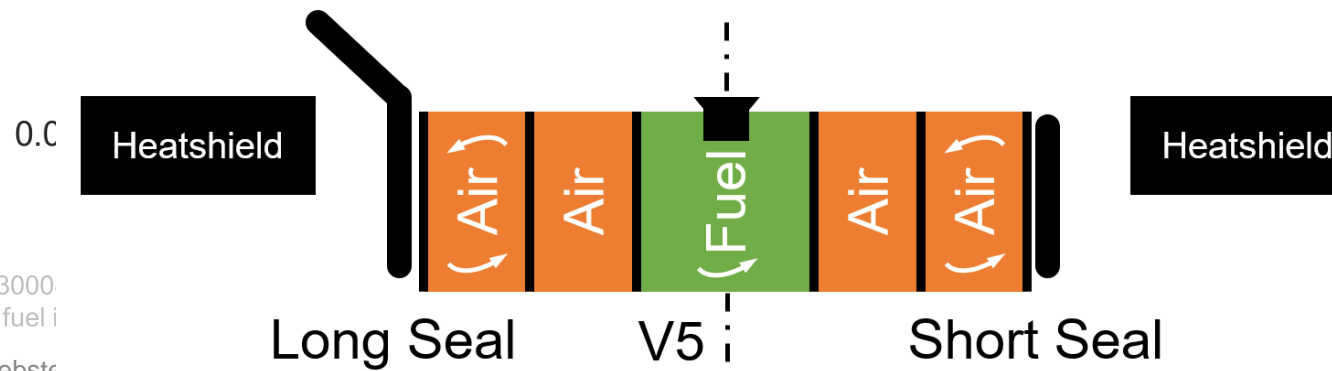
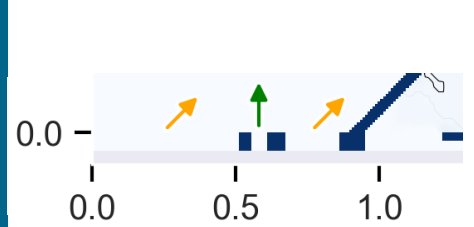
Konzept: Lokal Fette Bereiche

Variante 1

Variante 2

Variante 3

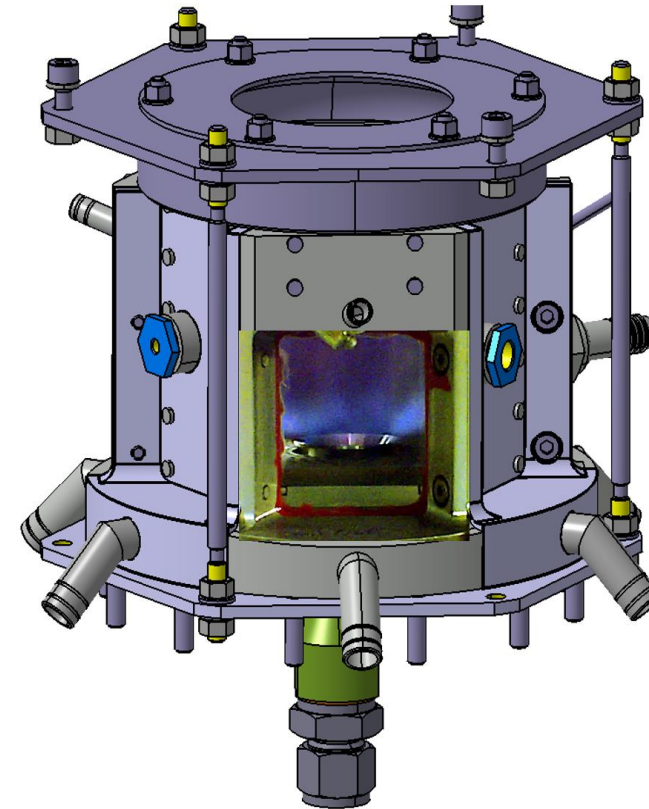
Variante 4 und Variante 5



Bilder: Clemen et al. DLRK2024-63000
High-pressure testing of hydrogen fuel i
Johannes Berger, Institut für Antriebste

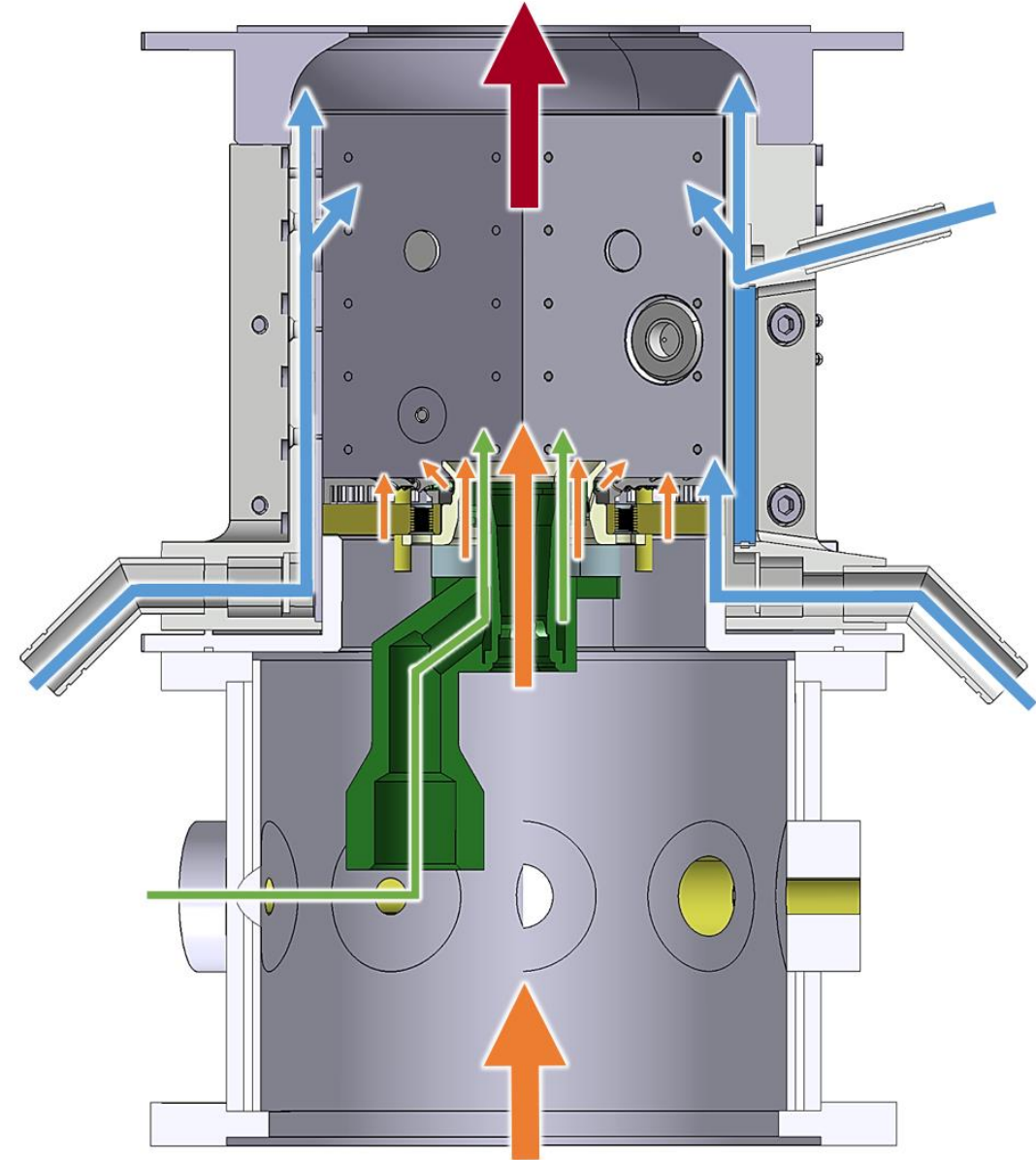
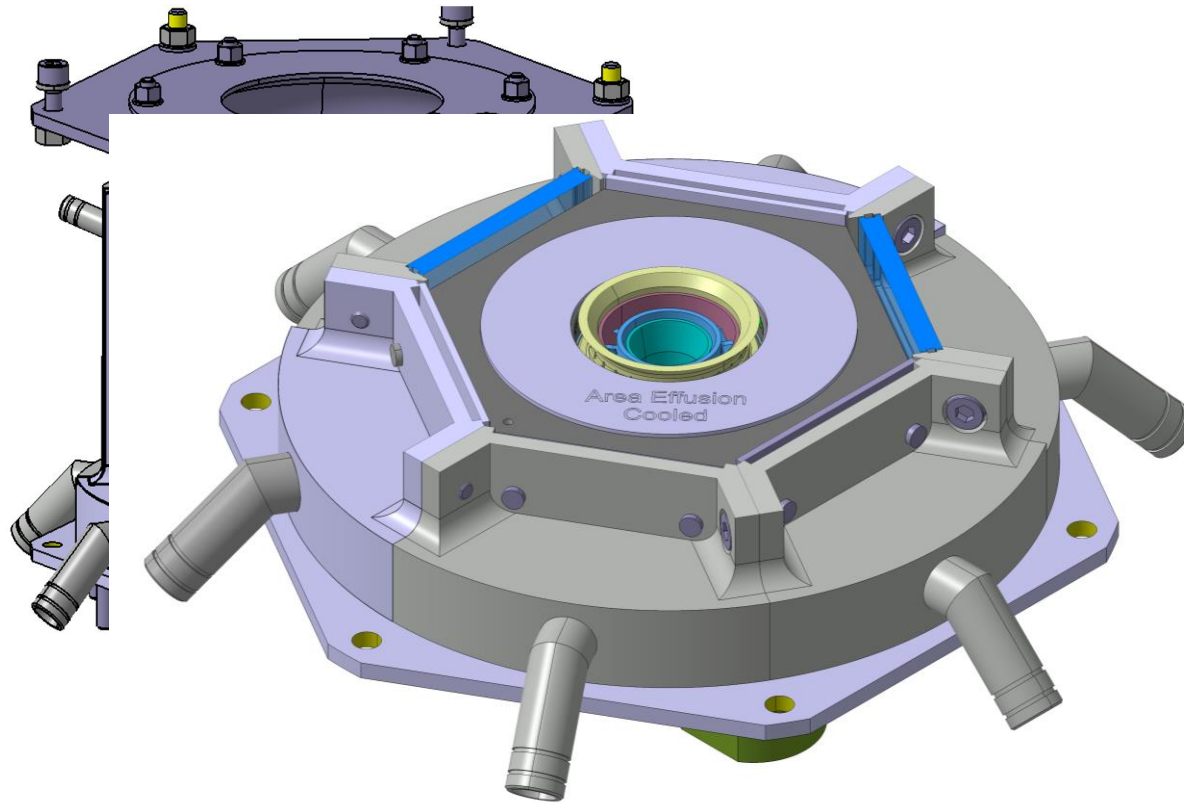
Inhalt

- Einleitung
- Verwendete Brenner
- **Atmosphärische Einzelsektorbrennkammer**
- **Optische Messtechnik**
- Ergebnisse
- Zusammenfassung



Atmosphärische Untersuchung von Wasserstoff-Kraftstoffinjektoren für Fett-Mager-Verbrennung im Rolls-Royce Pearl 15 Wasserstoff-Demonstratortriebwerksprogramm

Atmosphärische Einzelsektorbrennkammer



Testbedingungen

- $T = 345 \text{ K}$ (average)
- $p = 1 \text{ bar}$
- $dp = 4\%$
- Je ein Punkt bei $\Phi < 1$ und $\Phi > 1$

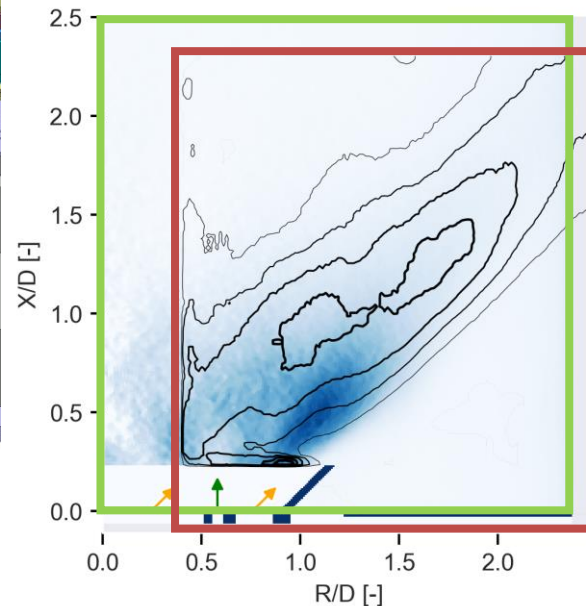
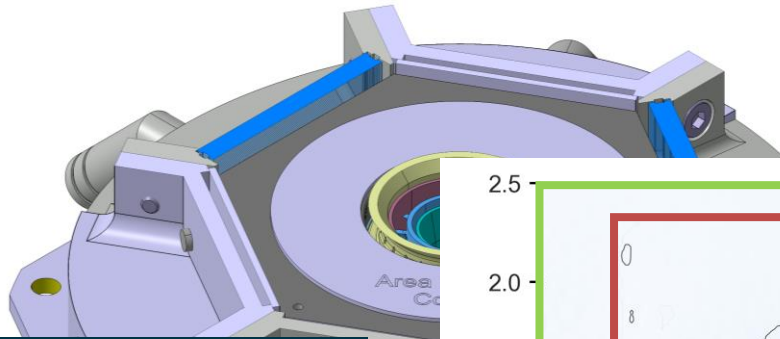
Optische Messtechnik

OH*-Chemilumineszenz im Bereich 305 – 325 nm

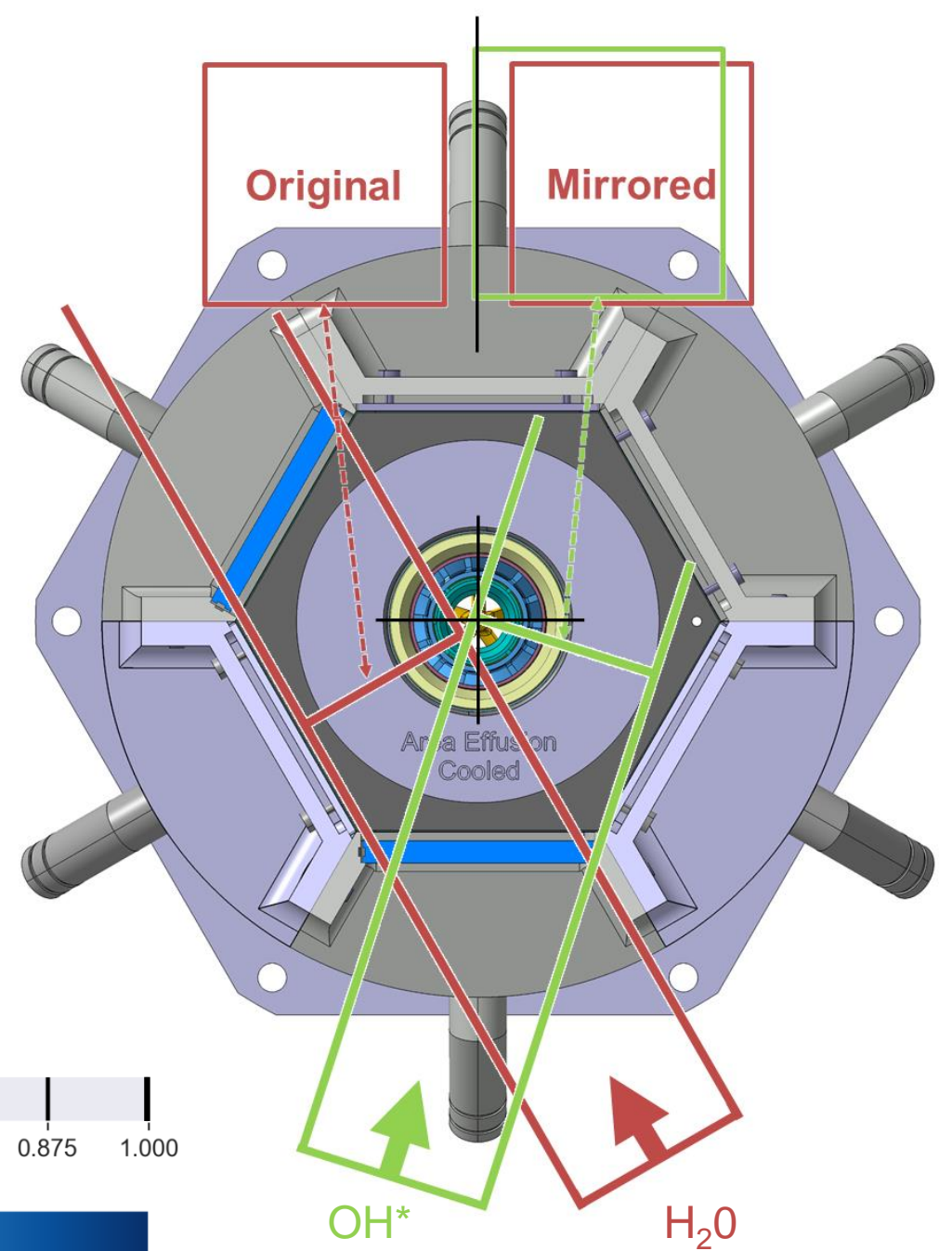
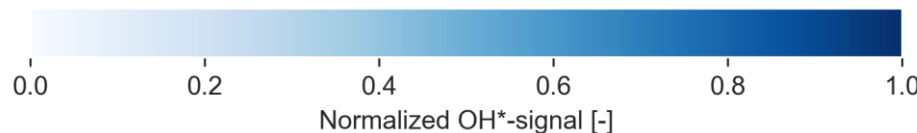
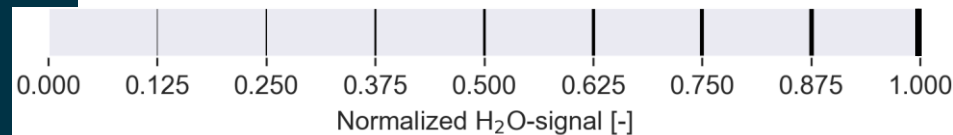
- Marken
- Wasserdampf
- Heiße

Post Processing:

- Zuschneiden und Mittelung der 400 Einzelbilder
- Normalisierung mithilfe der Belichtungszeit
- Entabelung¹
- Medianfilterung (UV: 3x3, IR: 5x5)
- Spiegelung und Überlagerung
- Darstellen von Seal und Heatshield



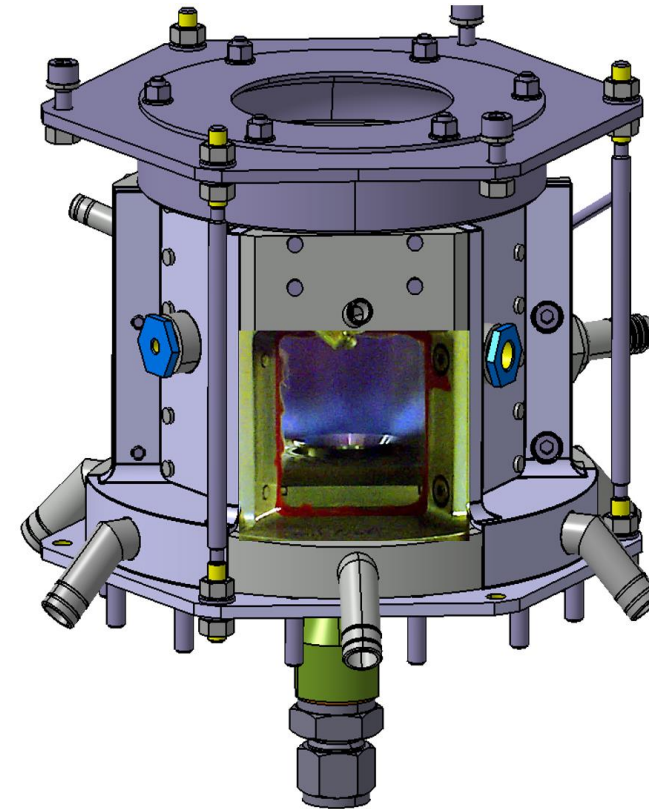
| Mode | Injector | T30 [K] | dp [%] | AFR/AFR _{ref} |
|------|----------|---------|--------|------------------------|
| Abel | V1 | 350.9 | 4.0 | 2.58 |



1) Pyabel, doi.org/10.5281/ZENODO.7438595
 Johannes Berger, Institut für Antriebstechnik, 01

Inhalt

- Einleitung
- Verwendete Brenner
- Atmosphärische Einzelsektorbrennkammer
- Optische Messtechnik
- **Ergebnisse**
- Zusammenfassung

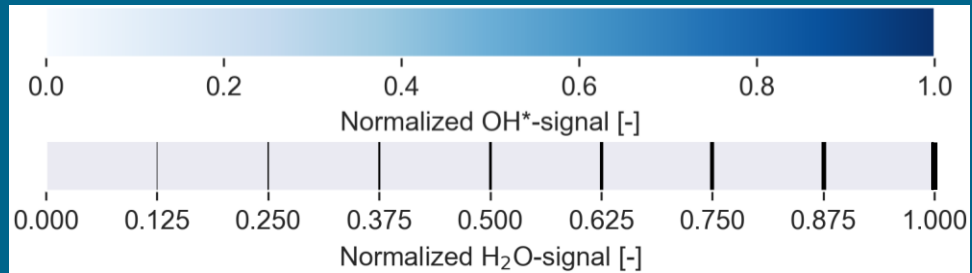


Atmosphärische Untersuchung von Wasserstoff-Kraftstoffinjektoren für Fett-Mager-Verbrennung im Rolls-Royce Pearl 15 Wasserstoff-Demonstratortriebwerksprogramm

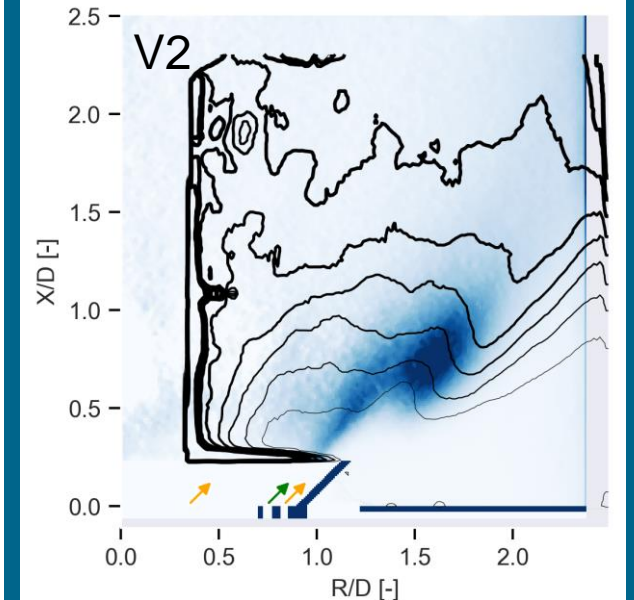
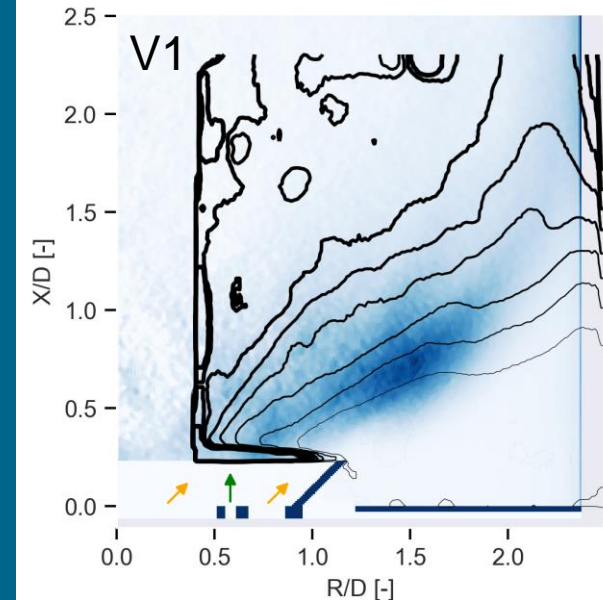
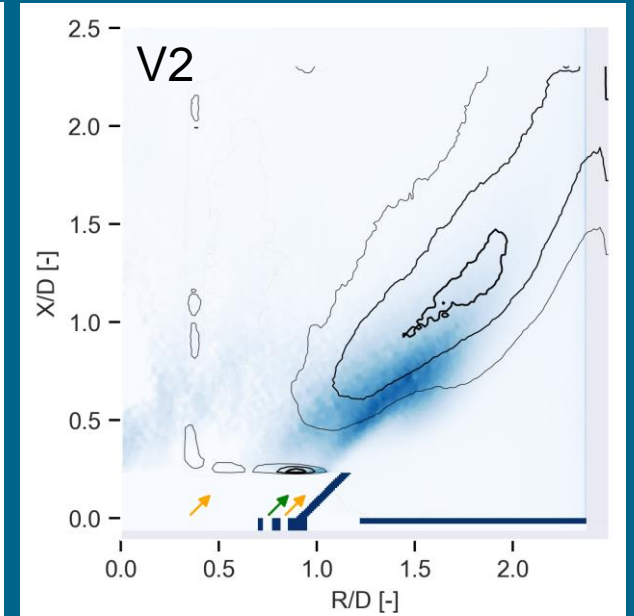
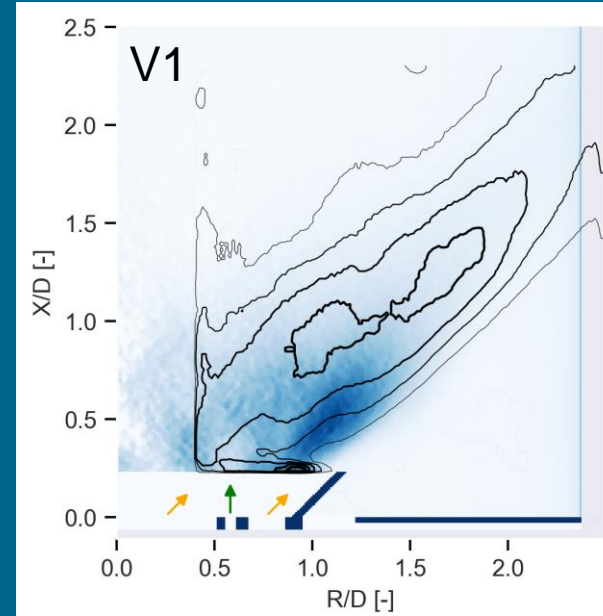
Ergebnisse

Konzept: Schnelle Mischung

$\Phi < 1$



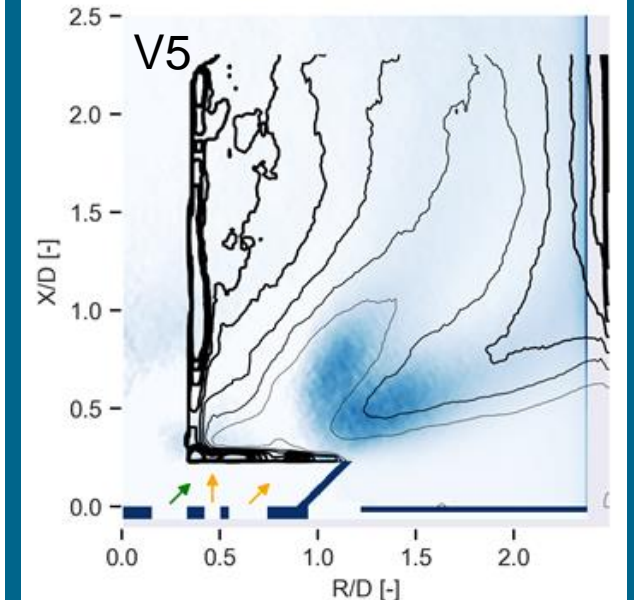
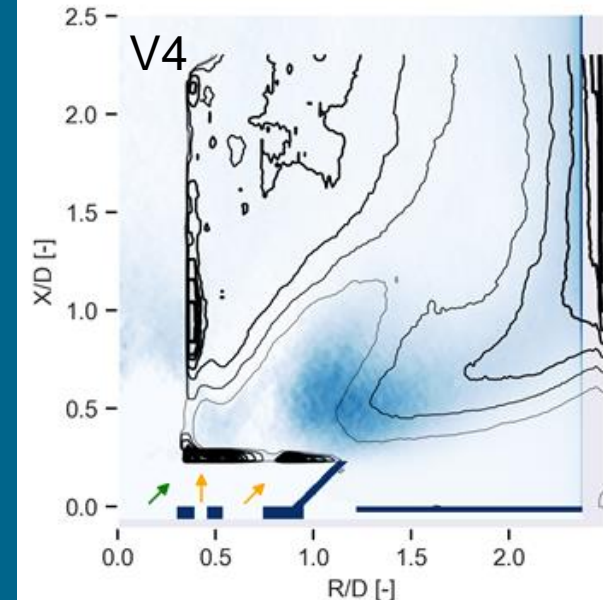
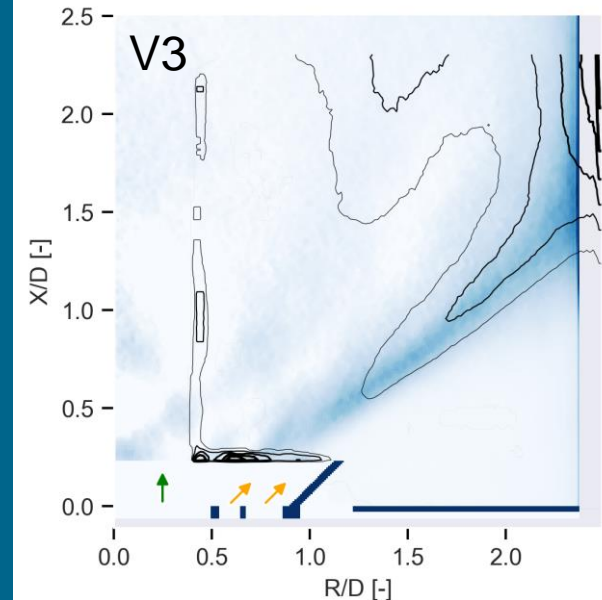
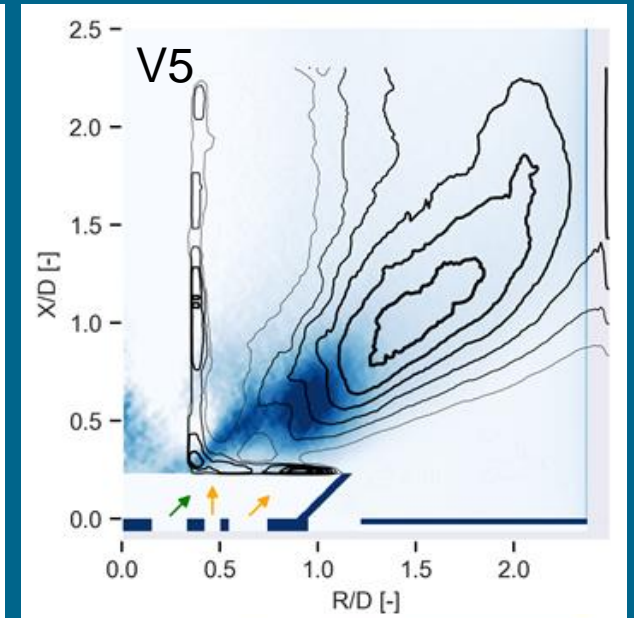
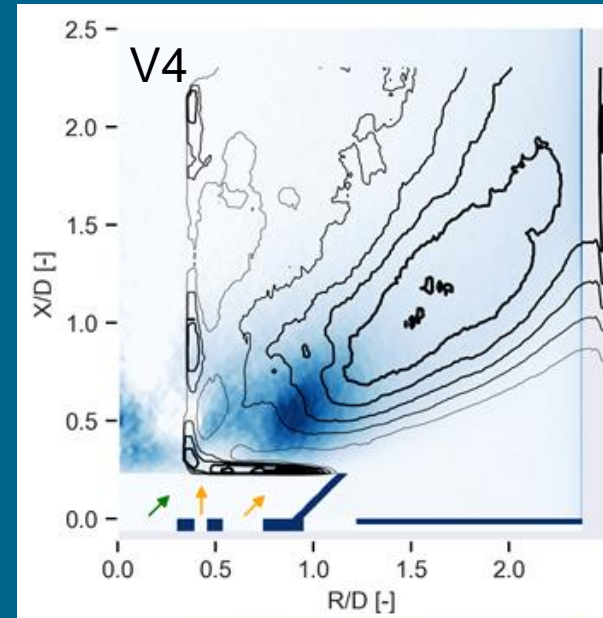
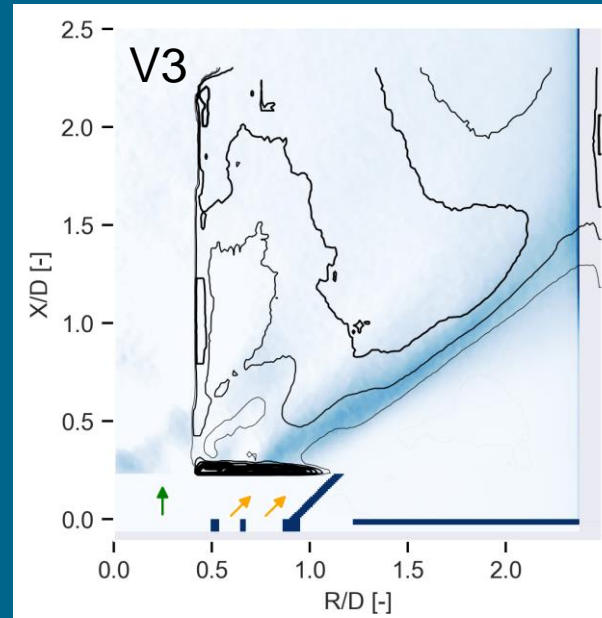
$\Phi > 1$



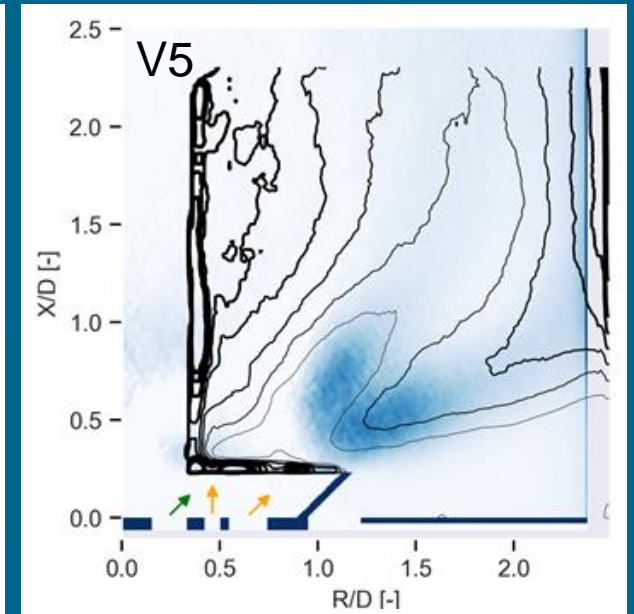
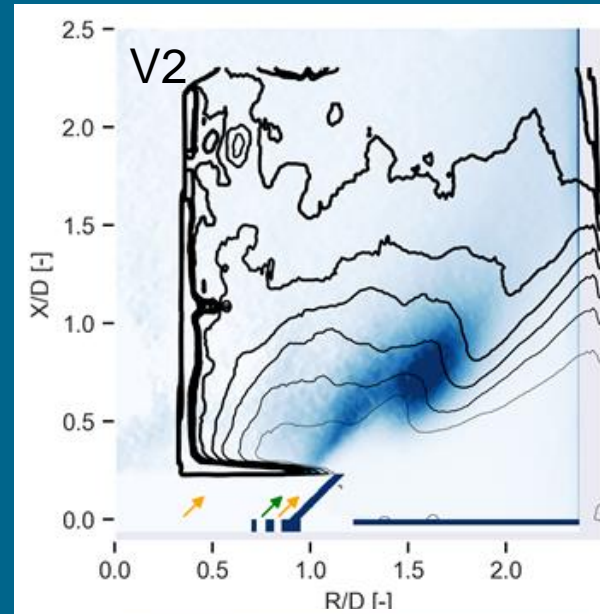
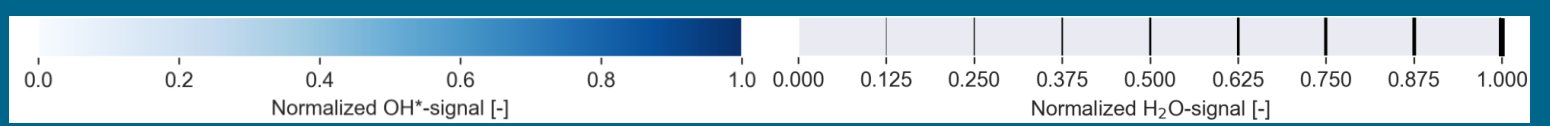
Ergebnisse Konzept: Lokal Fette Bereiche

$\phi < 1$

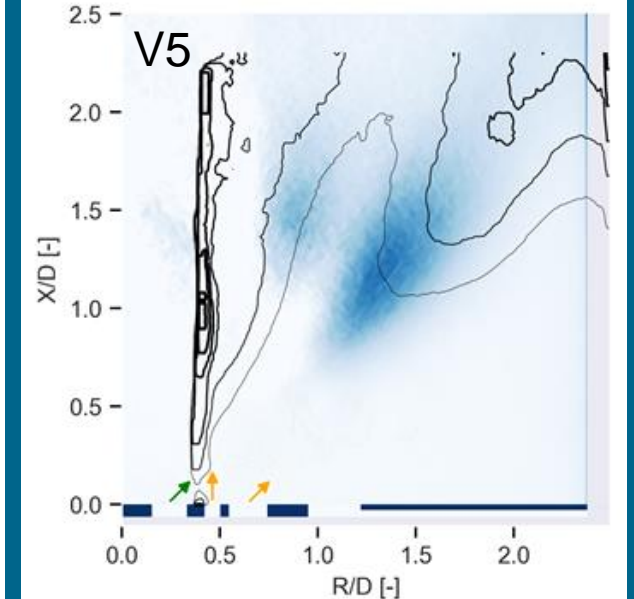
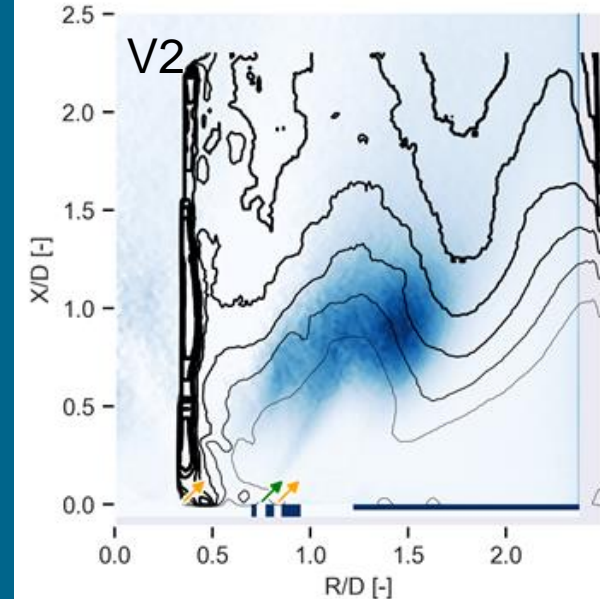
$\phi > 1$



Ergebnisse Langes und Kurzes Seal



$\Phi > 1$

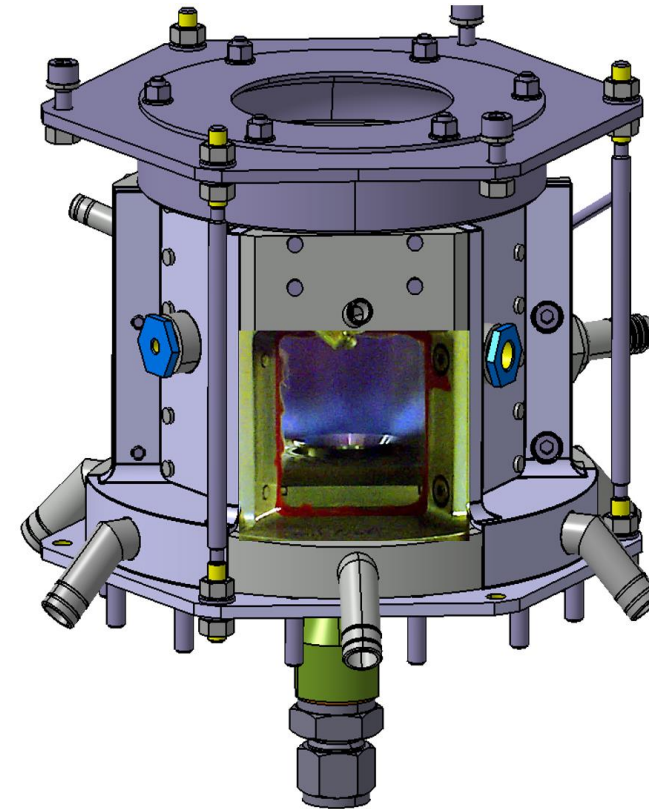


Schnelle Mischung

Lokal Fette Bereiche

Inhalt

- Einleitung
- Verwendete Brenner
- Atmosphärische Einzelsektorbrennkammer
- Optische Messtechnik
- Ergebnisse
- **Zusammenfassung**



Atmosphärische Untersuchung von Wasserstoff-Kraftstoffinjektoren für Fett-Mager-Verbrennung im Rolls-Royce Pearl 15 Wasserstoff-Demonstratortriebwerksprogramm



- Insgesamt **fünf drallstabilisierte Wasserstoff-Injektoren** wurden mit zwei Seals getestet und Aufnahme im des OH*-Radikale und des Eigenleuchten von Wasserdampf erzeugt
 - Zwei Kerosin-abgeleitete Brenner zur schnellen Mischung
 - Drei Brenner, die lokal fette Bereiche erzeugen
- Alle Injektoren **stabilisierten sich an allen Betriebspunkte** und Flammenstabilisierung zeigt sich in den Scherschichten der inneren und äußeren Rezirkulation
- Flammenankerung am Seal konnte durch den Einsatz eines **kurzen Seals** reduziert werden, aber schmälert das Strömungsfeld signifikant
- Die APZ hat sich als **einfache und günstige Möglichkeit** zur Erprobung von Brennerstabilisierung in der Primärzone bestätigt
 - Ergebnisse aus Hochdruckversuche zeigen ähnliches Flammenbild

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Impressum

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

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Thema: **Atmosphärische Untersuchung von Wasserstoff-Kraftstoffinjektoren für Fett-Mager-Verbrennung im Rolls-Royce Pearl 15 Wasserstoff-Demonstratortriebwerksprogramm**
Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2024, Hamburg

Datum: 2024-10-01

Autor: Johannes Berger

Institut: Institut für Antriebstechnik

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

