SAF – Auf dem Weg zur klimaneutralen Luftfahrt

DEUTSCHER LUFT- UND RAUMFAHRTKONGRESS 2023
19.-21.09.2023, Stuttgart

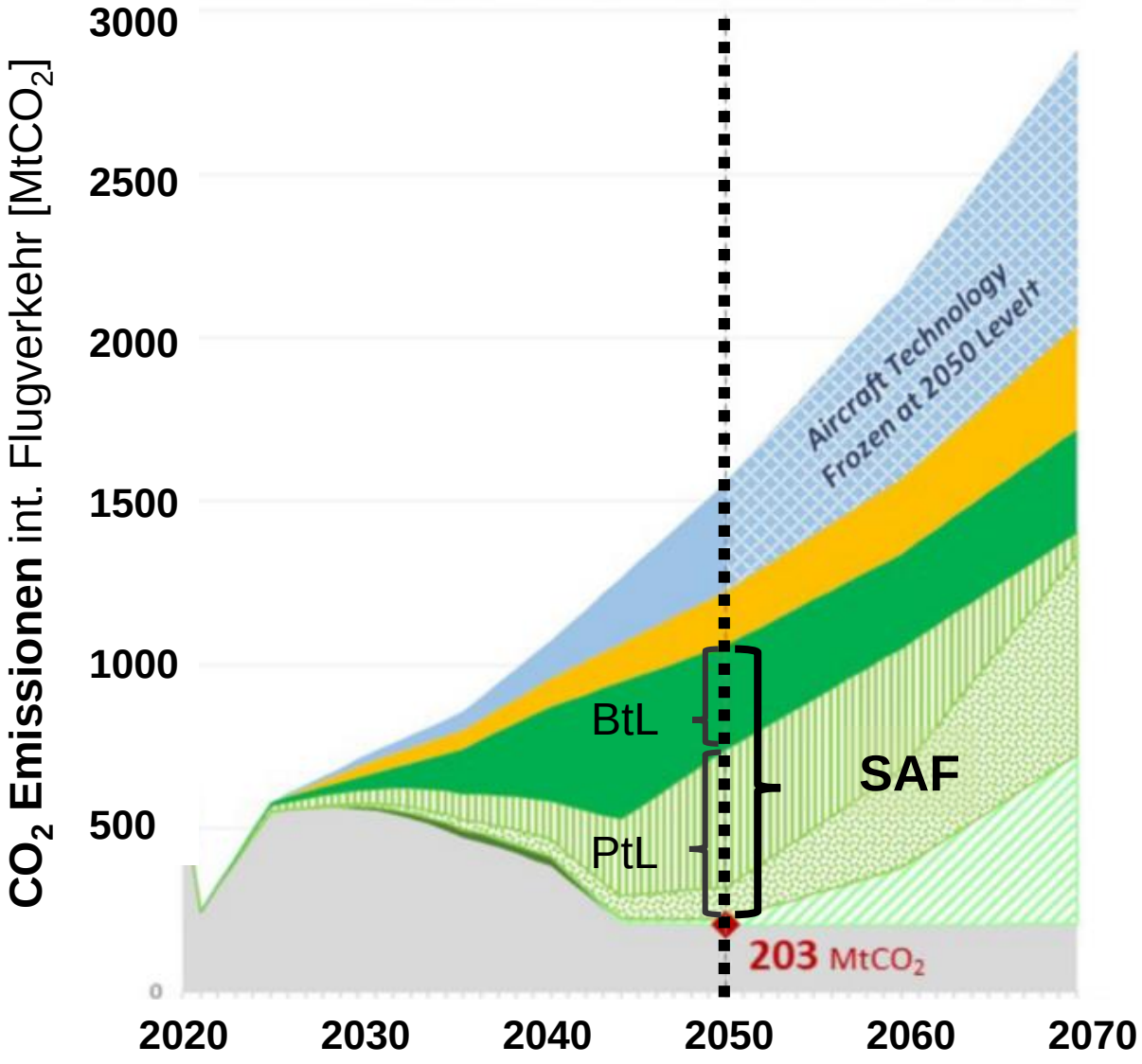
Prof. Dr. Andreas Huber

Institut für Verbrennungstechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

DLR

Auf dem Weg zur klimaneutralen Luftfahrt

ICAO Szenario – „Most progressive“



- Hohe Energieeffizienz, optimierter Betrieb, hohe Brennstoffverfügbarkeit
- Mittleres Flugverkehrsaufkommen

21% Energieeffiziente Technologien

11% Operations & Infrastruktur

55% Brennstoffe – SAF

- BtL – Biomass to Liquid ca. 35%
- PtL – Power to Liquid ca. 65%

Non drop-in fuels: u.a. kryogener Wasserstoff

Quelle: ICAO Report on the feasibility of a long-term aspirational goal (LTAG) for international civil aviation CO2 emission reductions
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Pages/LTAGreport.aspx

Auf dem Weg zur klimaneutralen Luftfahrt
Nachhaltige Energieträger und Antriebssysteme

ATAG*- Waypoint 2050, Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency. 2020 [w2050_v2021_27sept_full.pdf (aviationbenefits.org)]

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Commuter » 9-19 seats » < 60 minute flights » <1% of industry CO_2	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Regional » 50-100 seats » 30-90 minute flights » ~3% of industry CO_2	SAF	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Short haul » 100-150 seats » 45-120 minute flights » ~24% of industry CO_2	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF
Medium haul » 100-250 seats » 60-150 minute flights » ~43% of industry CO_2	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen
Long haul » 250+ seats » 150 minute + flights » ~30% of industry CO_2	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF

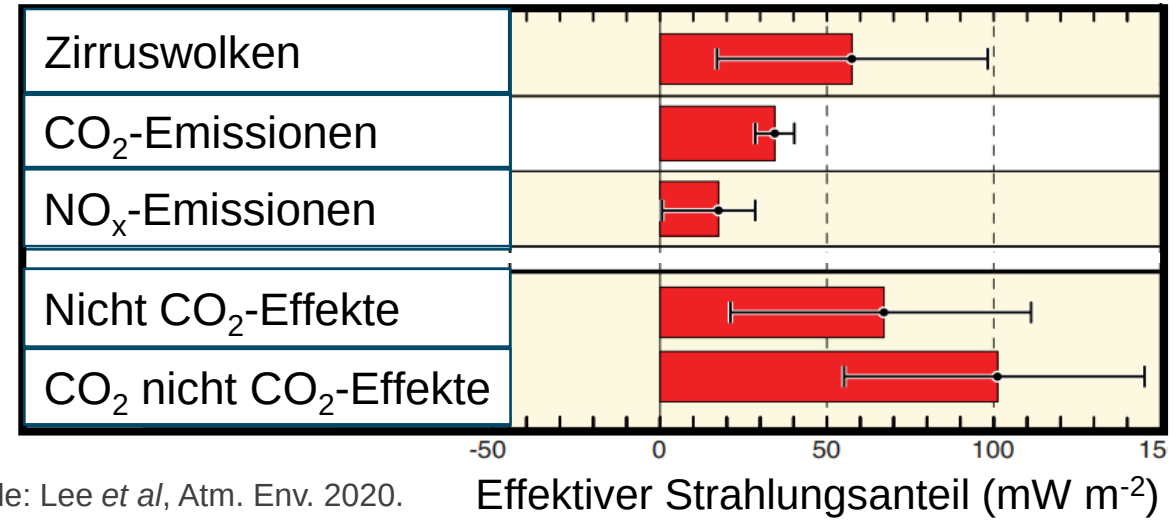
ca. 95% der CO_2-Emissionen

Auf dem Weg zur klimaneutralen Luftfahrt
Verminderung des Klimaeinflusses – CO_2 und nicht-CO_2-Effekte

Größte Klimaeinflüsse

- Zirruswolken

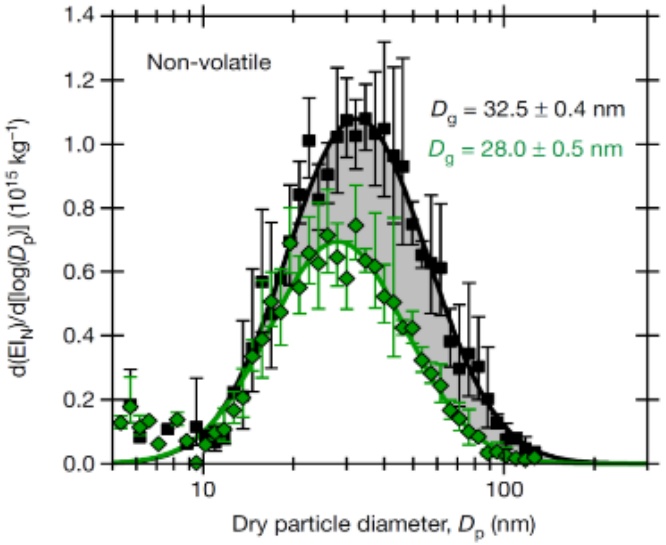
  → Schwerflüchtige Partikel → Ruß
- CO_2
- NO_x



Quelle: Lee *et al*, Atm. Env. 2020.

Auf dem Weg zur klimaneutralen Luftfahrt
Reduktion der CO_2 und nicht-CO_2-Effekte mit SAF

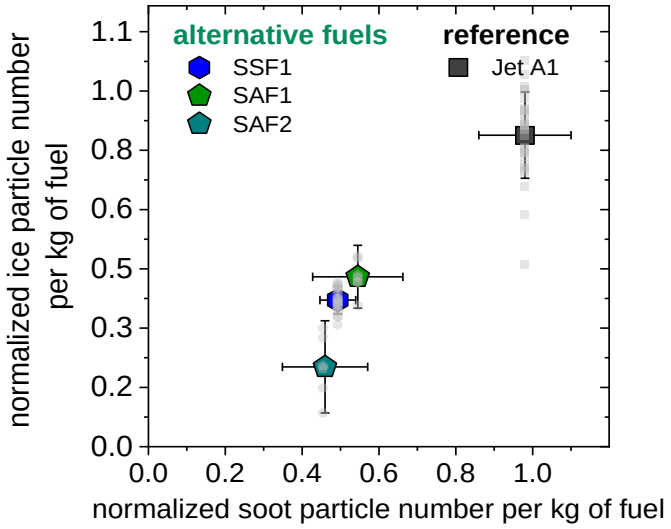
2014 ACCESS-II
NASA/DLR/NRC/FAA; Falcon/Falcon/DC8



Moore *et al*, Nature, 2017

50% SAF (HEFA) →
~50% Red. der Ruß-Emissionen

2018 ECLIF-2/ND-MAX
DLR/NASA/NRC/FAA; DC8/ATRA-A320



Voigt *et al*, Nature CEE, 2021

50% SAF (HEFA) →
~50% Red. der nvPM & Eispartikel

2021 ECLIF-3
RR/ Neste/ NRC/ UoM/ DLR; A350-900/Falcon

Vorläufige Ergebnisse

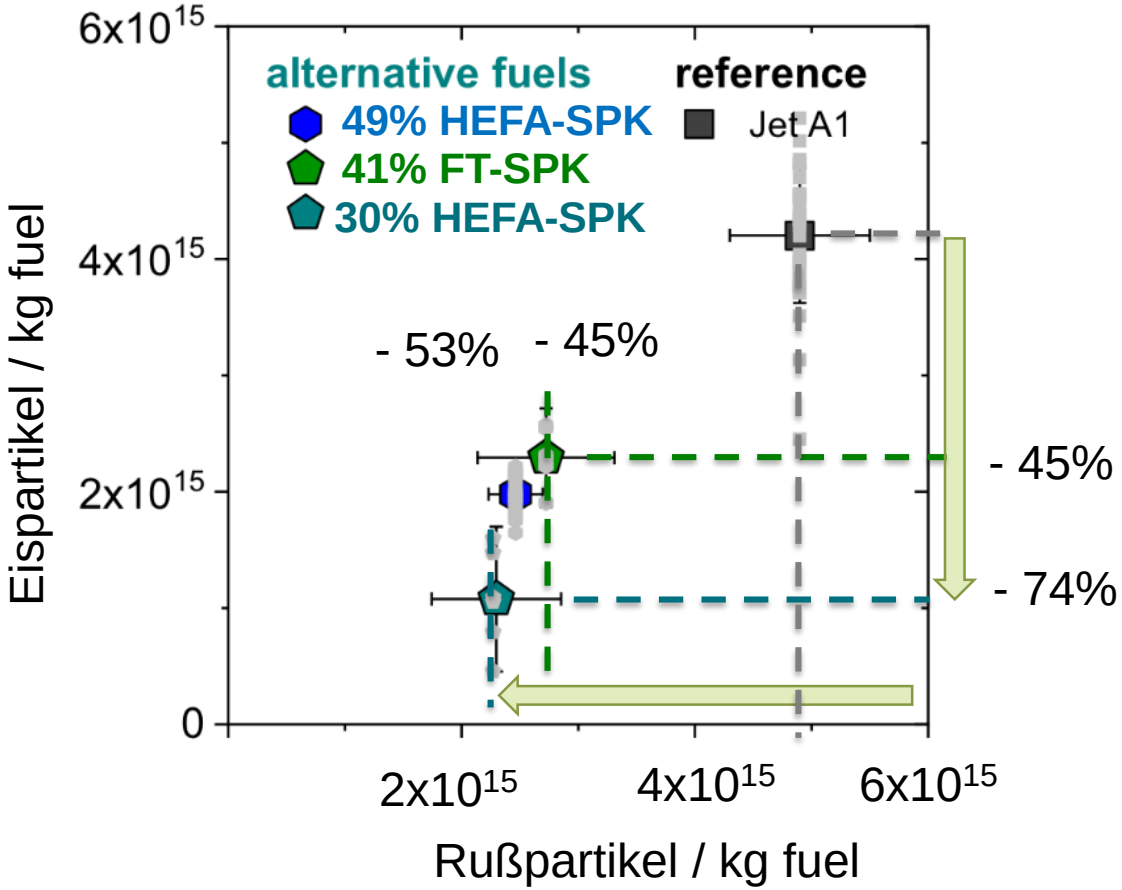
100% SAF (SPK) in RQL-Brennkammersystem

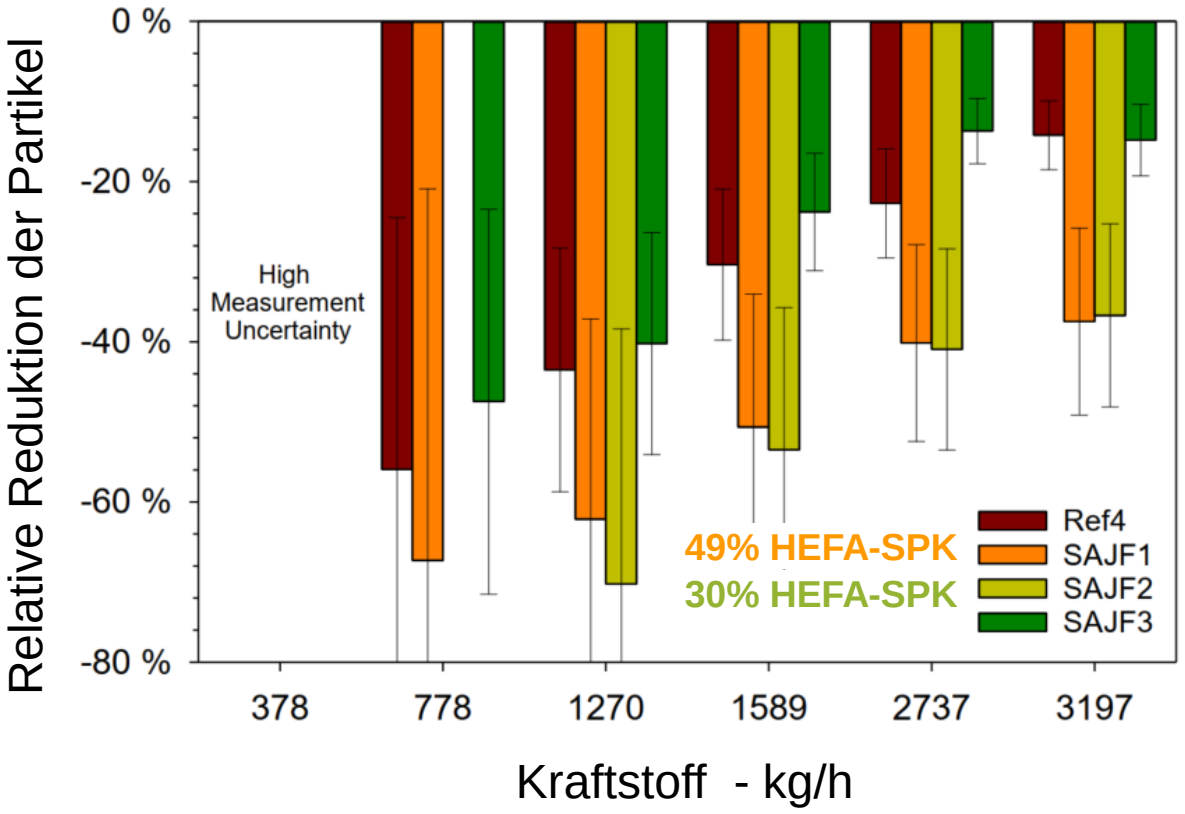
2023 VOLCAN (F)

100% SAF (SPK) in Magerbrennkammersystem

Auf dem Weg zur klimaneutralen Luftfahrt

Reduktion der CO_2 und nicht-CO_2-Effekte mit SAF





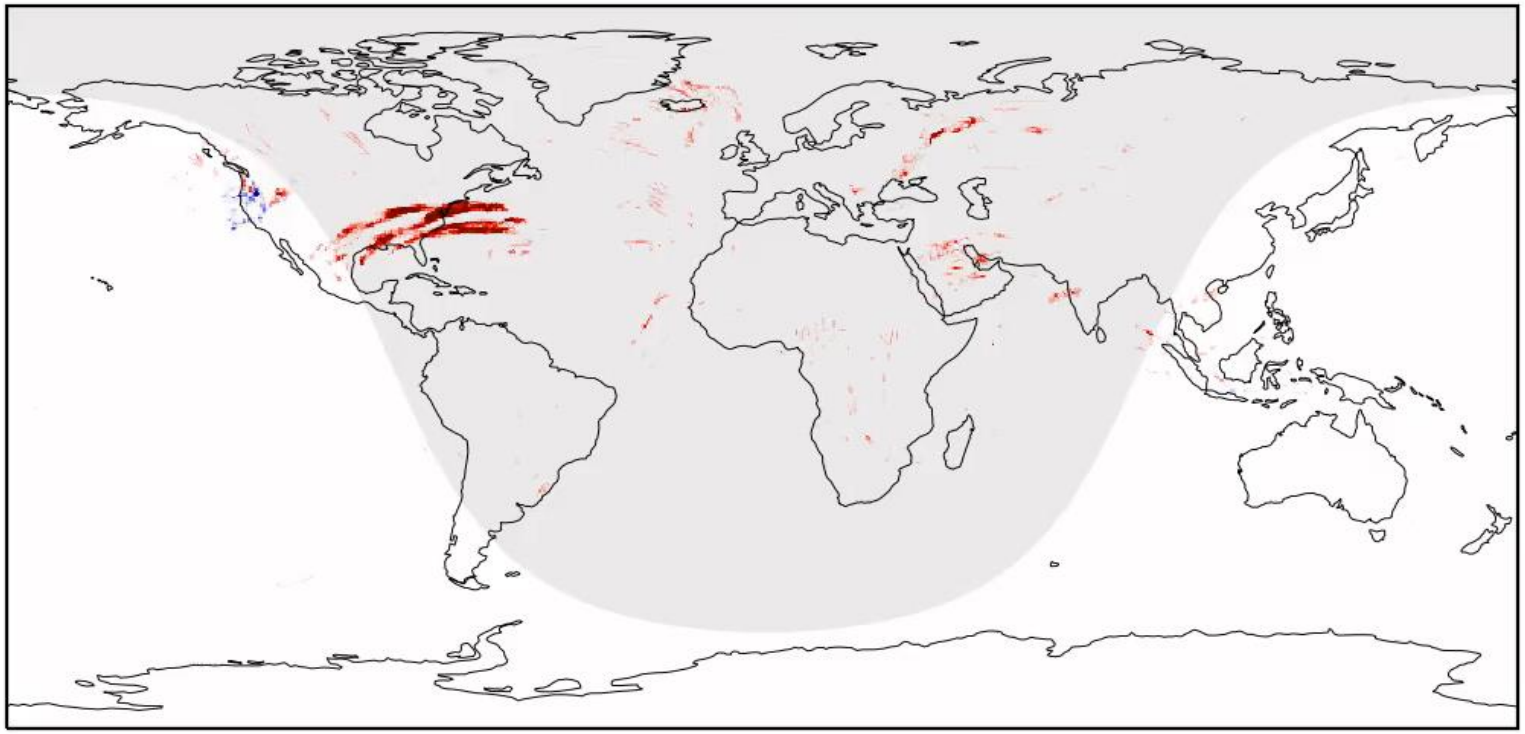
→ Reduzierung der nicht-CO_2 Effekte durch gezieltes Fuel Design

Quelle: Voigt *et al*. (2021) in Communications Earth & Environment 2 (1). DOI: 10.1038/s43247-021-00174-y., Schripp *et al.* (2022), in Fuel, Volume 325, 124764, ISSN 0016-2361, https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124764.

SAF – Smart use of SAF
Vermeidung von Kondensstreifen

- Nur ein kleiner Anteil der Flüge weltweit verursachen **wärmende Kondensstreifen**
  → Optimierung der Flugrouten

Contrail cirrus net RF (W m^{-2}): 2019-01-02 00:00:00 (UTC)

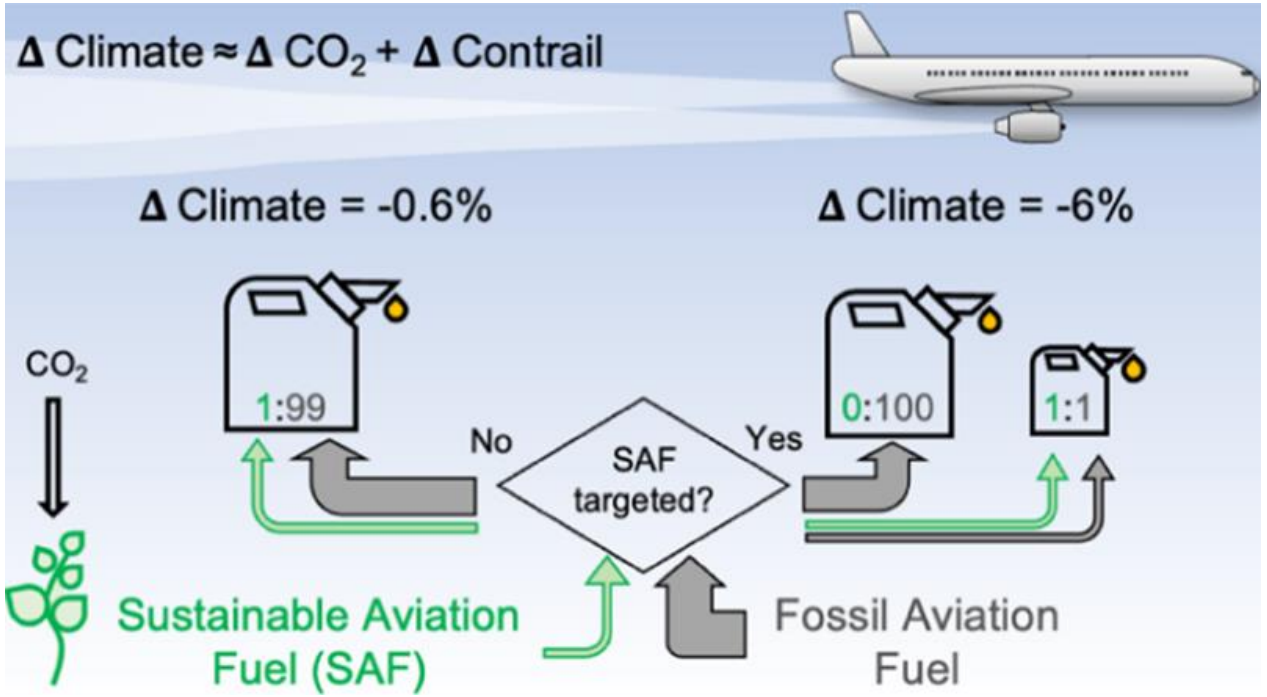


Quelle: Teoh et al., ACP, 2022, Teoh, Stettler, Imperial College, Schumann, Voigt, DLR, Shapiro, ORCAS

SAF – Smart use of SAF
Vermeidung von Kondensstreifen und CO_2

- Hoher Anteil von SAF auf Flugrouten mit hohem Potential „wärmender Kondensstreifen“

- Vergleich:
  - 50% SAF Anteil für 2% der Flüge
    → Reduktion um ca. 6%
  - 1% SAF Anteil für alle Flüge
    → Reduktion um ca. 0,6%

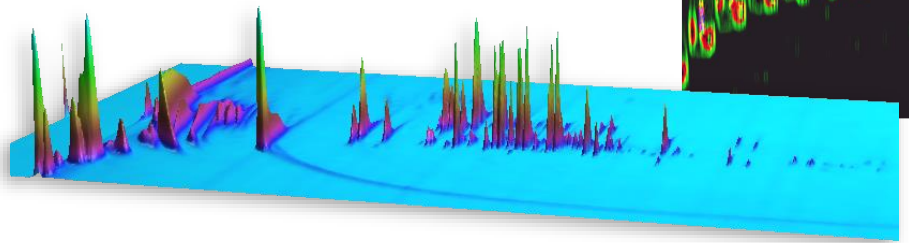


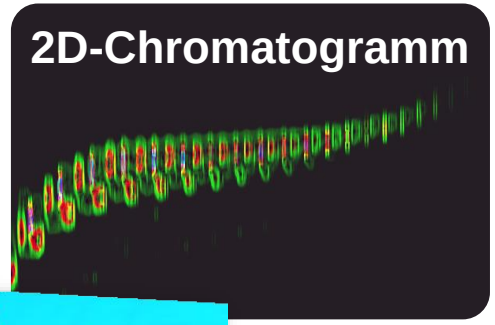
→ Gezielter Einsatz von SAF → zusätzliche Reduktion der Klimawirkung

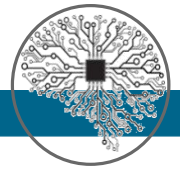
Quelle: Teoh et al., Targeted Use of Sustainable Aviation Fuel to Maximize Climate Benefits, *Environmental Science & Technology* 2022 *56* (23), 17246-17255, DOI: 10.1021/acs.est.2c05781

SAF – Fuel Design
Technical fuel assessment

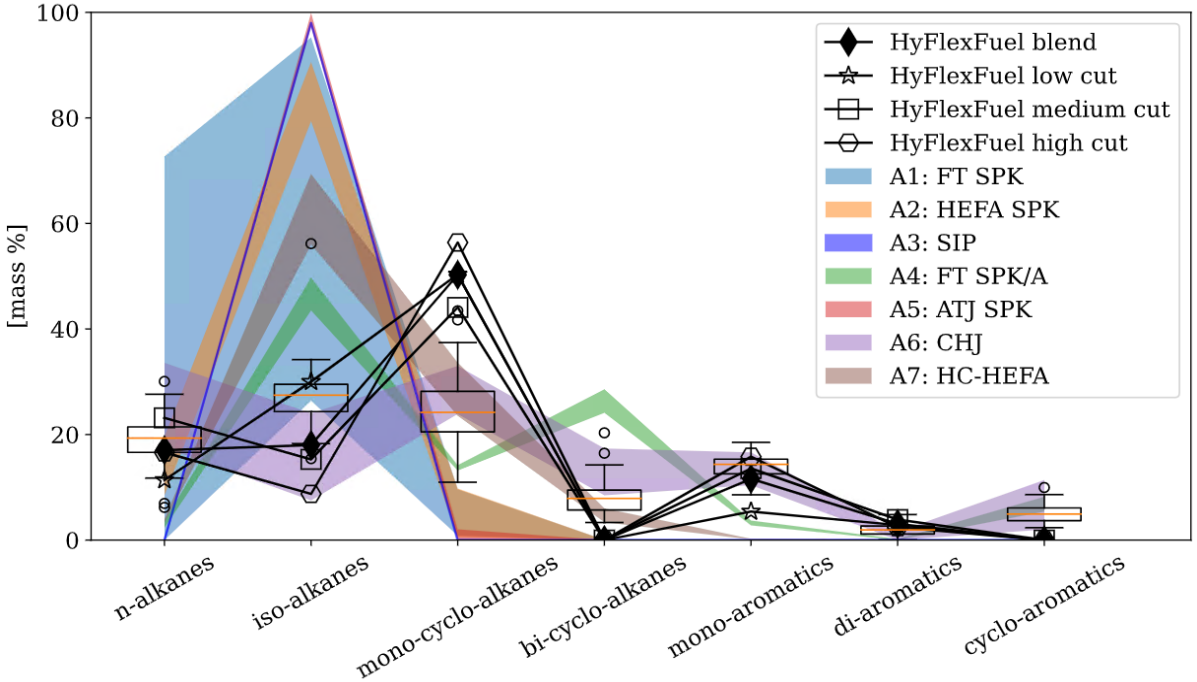
GCxGCMS/FID





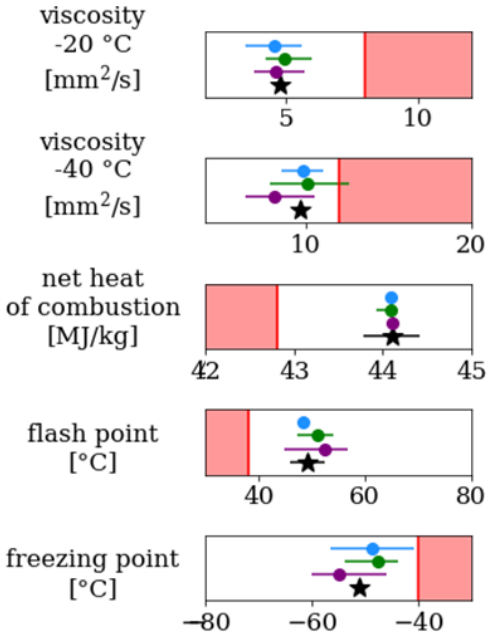


KI-unterstützte Klassifizierung



SimFuel

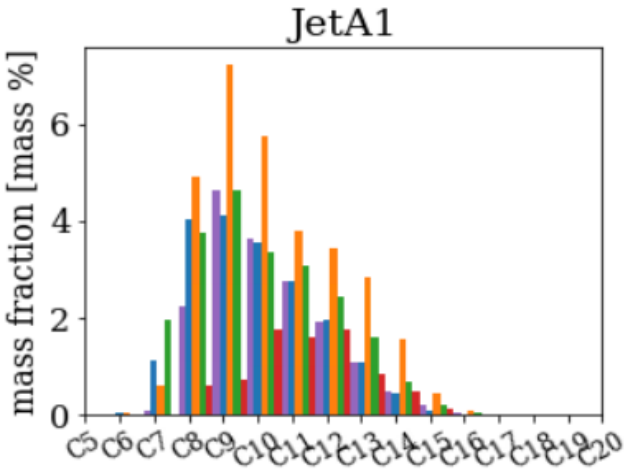
Prognostizierte Eigenschaften



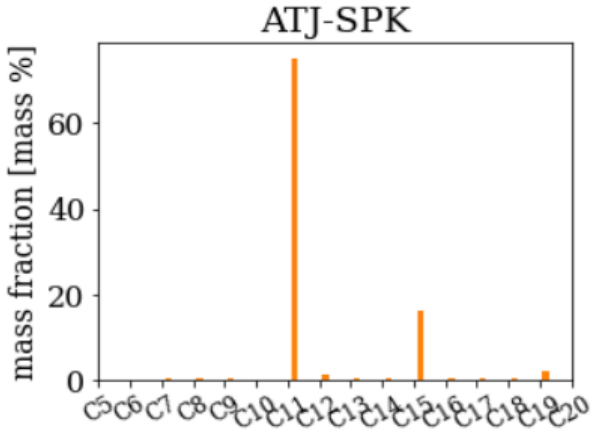
Physikalische / ML-Modelle

Quelle: Heyne, J. et al., Fuel, Volume 290, 2021, 120004, ISSN 0016-2361

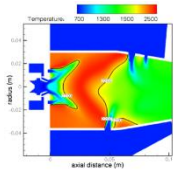
SAF – Fuel Design
Analyse Treibstoffeinflusses auf Betrieb & Emissionen



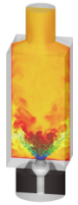
Δ Fuel



Brennkammer

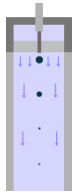


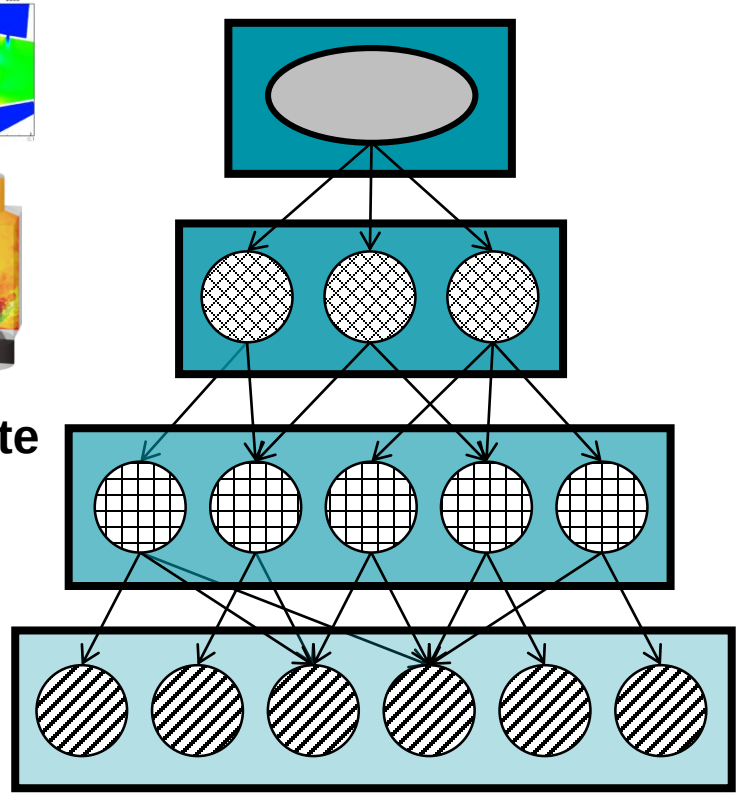
Standard Spray Brenner
LBO, Flammenposition, Emissionen



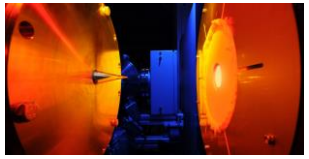
Reagierende Tropfenkette

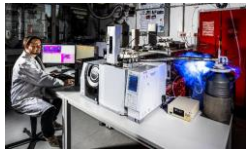
Einzeltropfen-Verdunstung





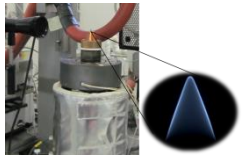
Strömungsreaktor





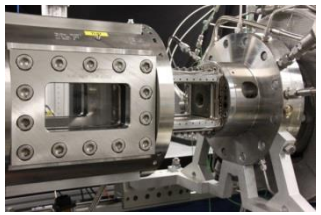
Chemische Analytik

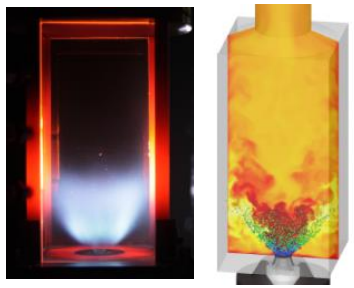
Laminare Flamme



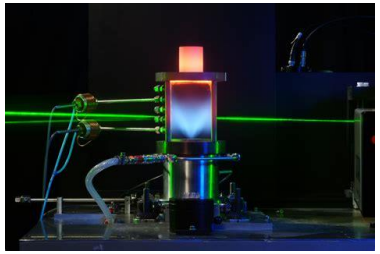
SAF – Fuel Design

Hochdruckversuche

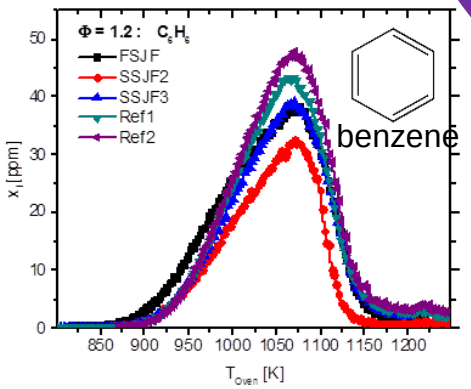


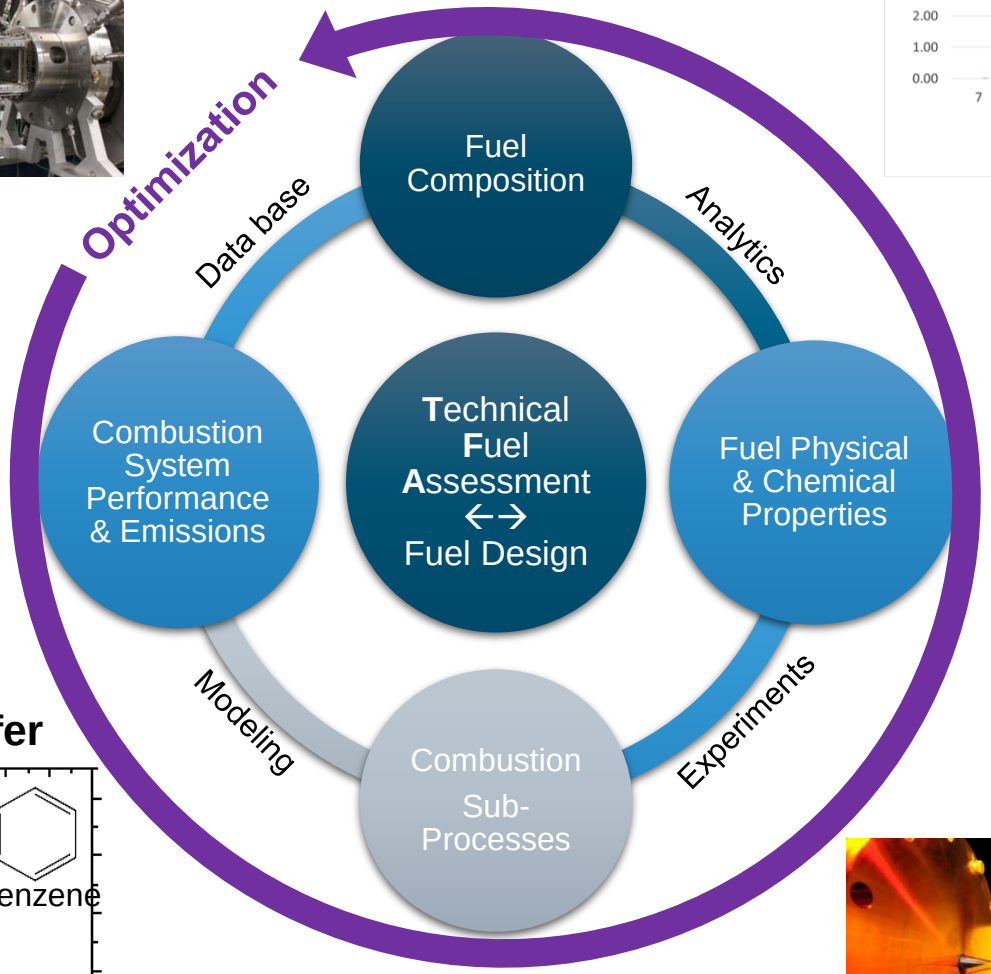


Generischer Spraybrenner

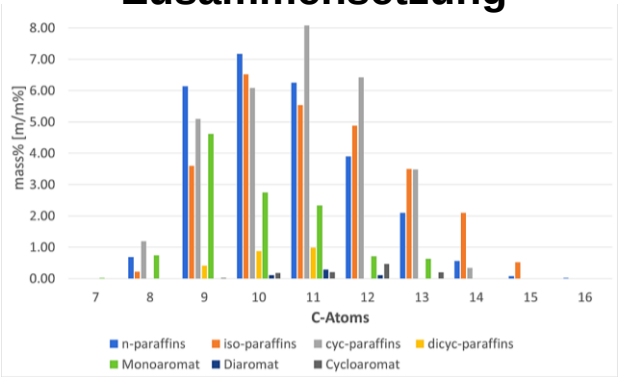


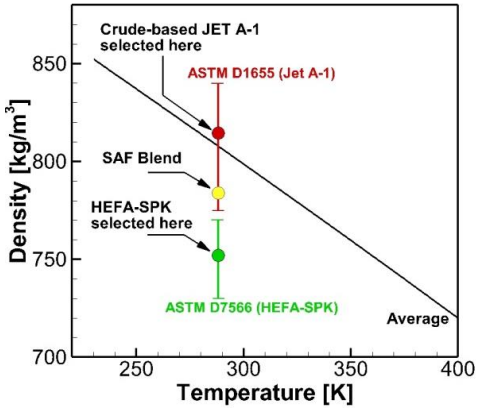
Rußvorläufer

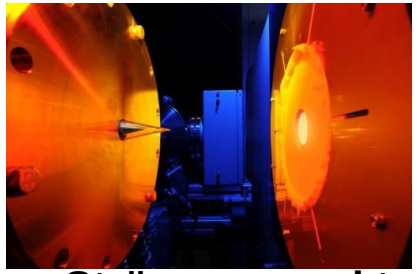




Zusammensetzung





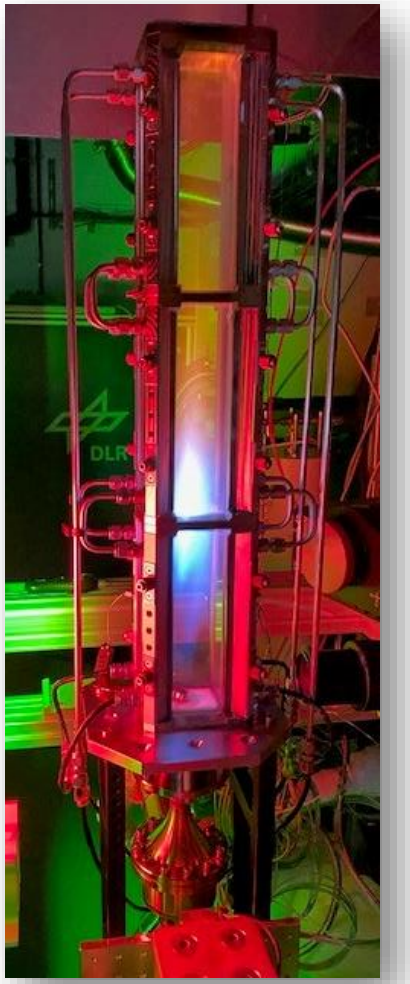


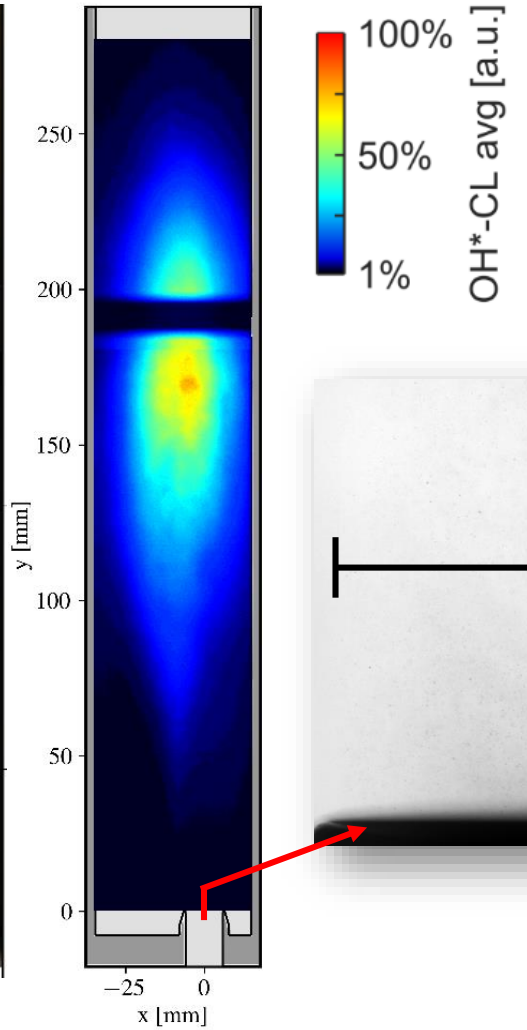
Strömungsreaktor

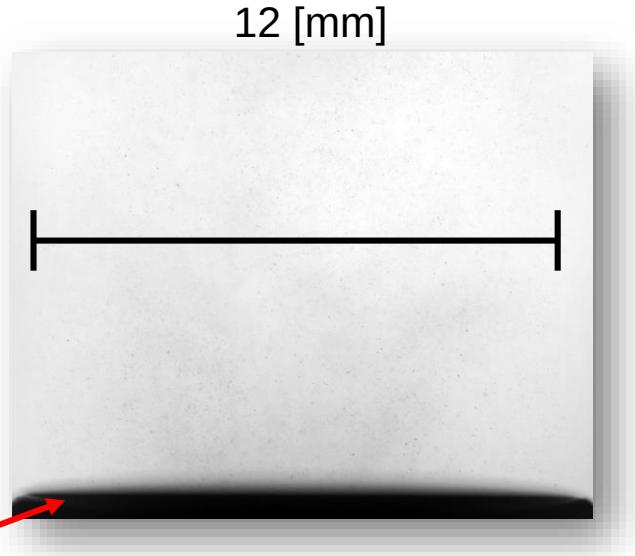
SAF – Optimierung Brennerdesign

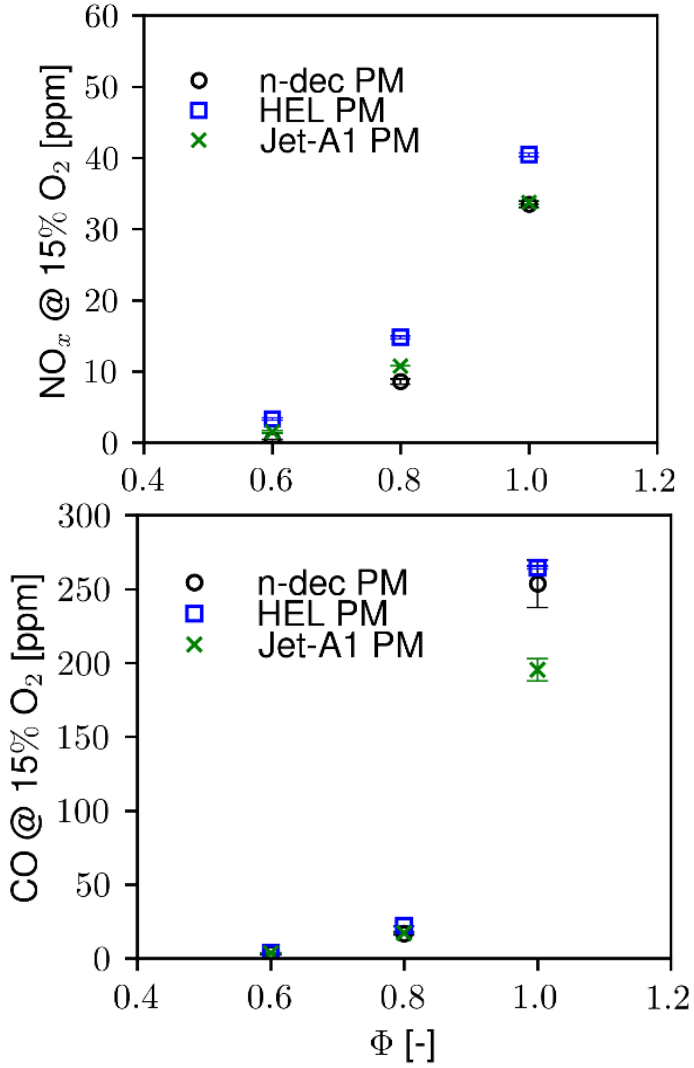
Jet-stabilisierte Brennerkonzepte - DLR Airblast Injektor

→ Magere, vorgemischte und vorverdampfte Verbrennung

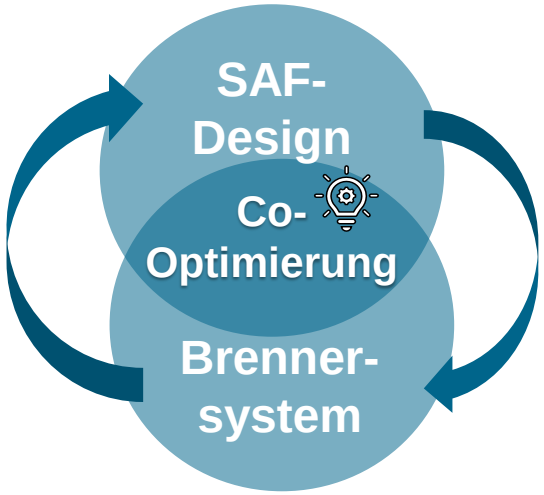








SAF – Co-Optimierung von SAF und Brennerdesign

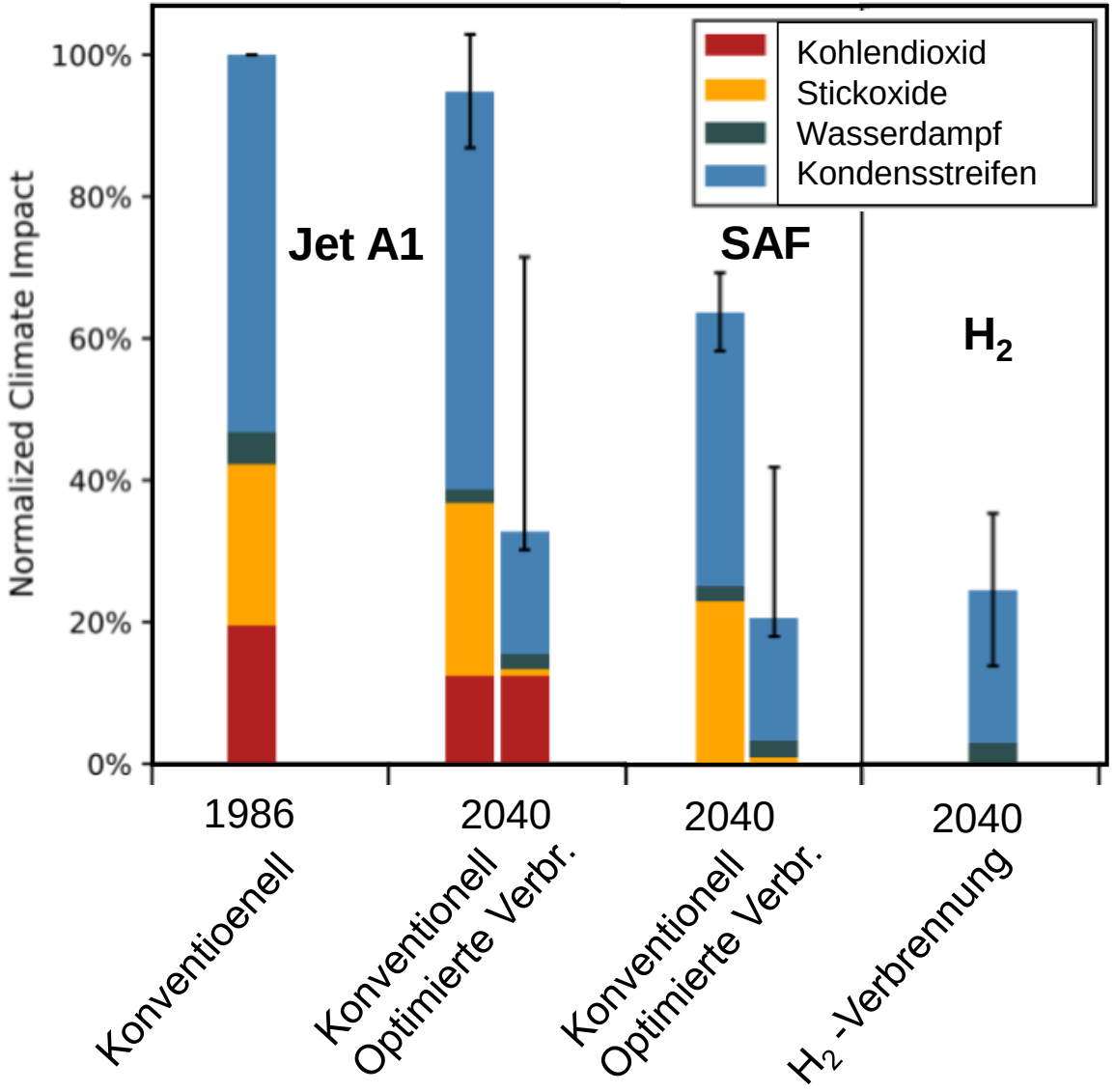


Designiterationen zur

- Maximierung der Performance
- Minimierung der Schadstoffe

➢ Kraftstoffdesign als neuer "Freiheitsgrad"

→ Ziel "Zero Emissions"



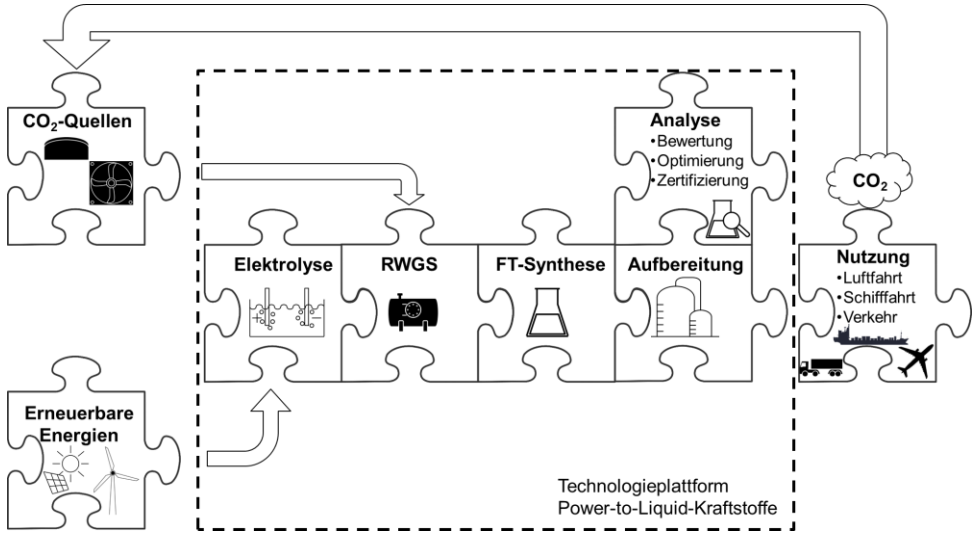
Quelle: Silberhorn, D. et.al. Climate Impact Reduction Potentials of Synthetic Kerosene and Green Hydrogen Powered Mid-Range Aircraft Concepts. Appl. Sci. **2022**, 12, 5950.

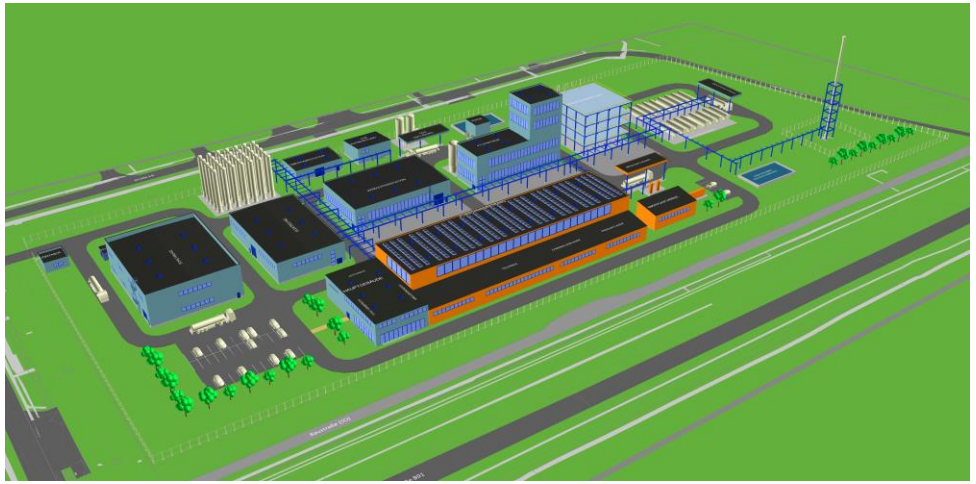
SAF – Herstellung
Technologieplattform Power-to-Liquid Kraftstoffe (TPP)

Ziele und Aufgaben

- Demonstration der Produktion im semi-industriellen Maßstab (10.000 t/a)
- Entwicklung innovativer Prozesse im Technikums-Maßstab (100 t/a)
- Forschung zur Optimierung von Herstellung und Einsatz von PtL-Kraftstoffen
  - Optimierung der Technologieintegration
  - Betriebsoptimierung und Kostenreduktion
  - Designer-Fuel, Zertifizierung, Nutzung
- Unterstützung der Industrie bei der Technologie-Entwicklung und -Skalierung
- Unterstützung des Markteintritts von PtL-Kraftstoffen

→ Großes Interesse von Industrie, Anwendern und Forschung





SAF – Auf dem Weg zur klimaneutralen Luftfahrt
Zusammenfassung

- SAF kann jetzt (zu 50%) und in Zukunft (zu 100%) in der gesamten Luftfahrt eingesetzt werden
- SAF reduziert CO_2 und nicht-CO_2-Effekte
- Gezieltes Design von SAF und Brennkammerdesign ermöglicht nahezu emissionsfreies Fliegen
- Beschleunigter Produktionshochlauf und smarter Einsatz von SAF sind essentiell für eine schnelle Reduktion der Klimawirkung

→ SAF ist wesentlicher Treiber auf dem Weg zur klimaneutralen Luftfahrt

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!