

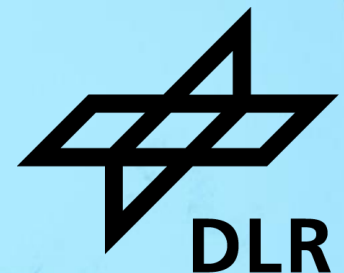
ALTERNATIVE TREIBSTOFFE

Fortbildungstag der DMG Sektion München 30.09.2022

Dr. Tobias Schripp

tobias.schripp@dlr.de

Gruppenleiter "Emissionen & Luftqualität"
Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt
Institut für Verbrennungstechnik



Motivation 1 - Gesellschaft



Flygskam / Flugscham

Substantiv

Gefühl des Schämens und schlechten Gewissens in Hinblick auf den CO₂-Ausstoß von Flugzeugen und dem Wunsch mehr für das Klima zu tun.

Denn Flugzeug fliegen und das Klima schützen, ist ein Widerspruch.

BedeutungOnline

„Bis in den Urlaub der Deutschen ist Greta noch nicht vorgedrungen.“
(Tagesthemen, 25.06.2019)



Zeit Online
17. Mai 2019

Jeder Flug wirft einen Schatten auf das ökologische Gewissen. © Yu Kato/unsplash.com

Motivation 2 - Gesamtemissionen

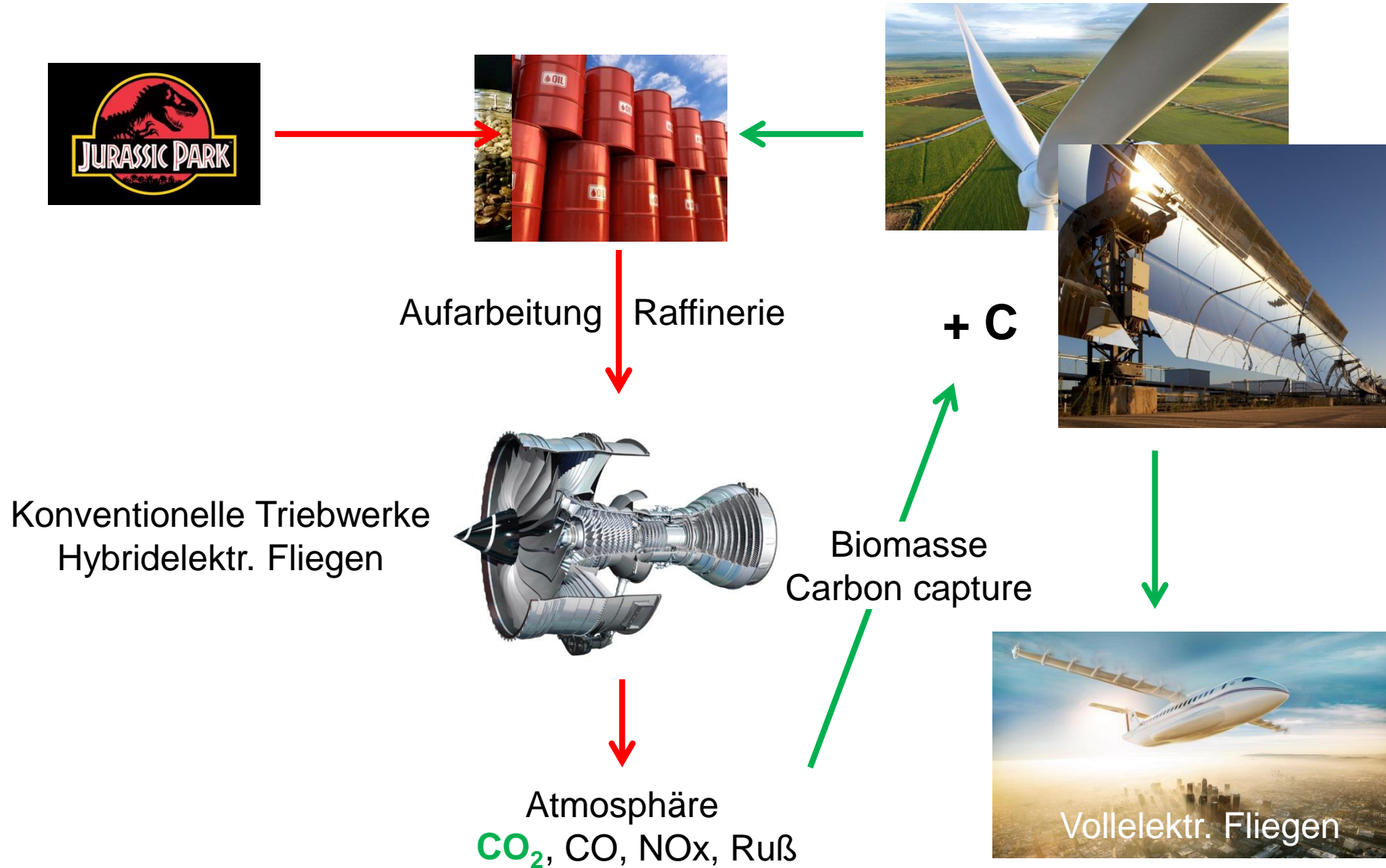
- Die Emissionen von Flugzeugtriebwerken sind abhängig vom
 - Triebwerkstyp
 - Lastzustand des Triebwerks
 - Wartungszustand des Triebwerks (nur empirische Beobachtungen)
 - Aussentemperatur (insb. Stickoxide)
 - **Zusammensetzung des eingesetzten Kerosins** (insb. Schwefel, Aromaten)



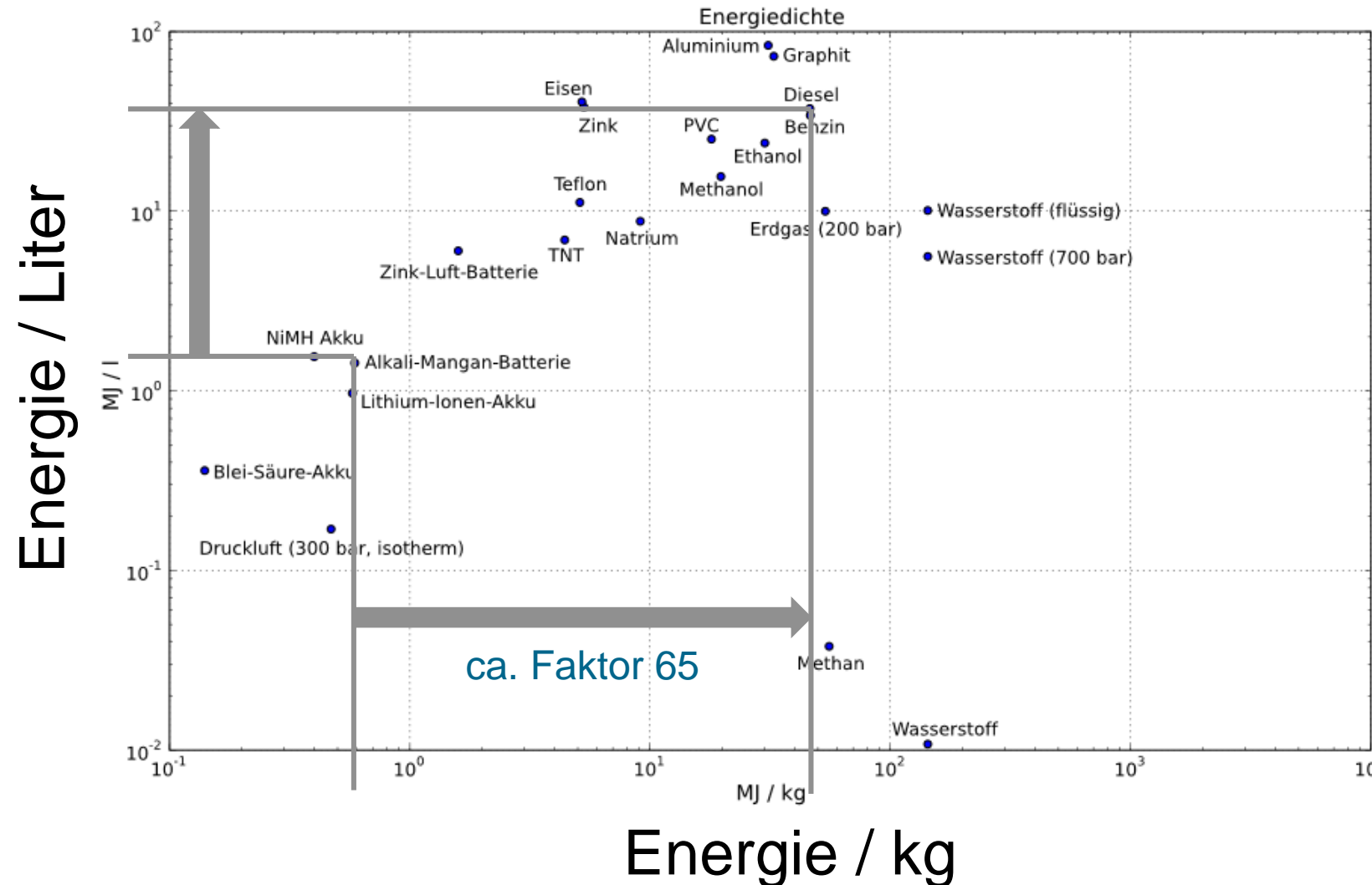
ICAO Aircraft Engine Emissions Databank
<https://www.easa.europa.eu/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>



Nachhaltige Luftfahrttreibstoffe (SAF)



Warum wir flüssige Kraftstoffe (noch) brauchen



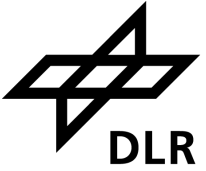
- VW e-Golf (modifiziert)**
- 330 kg Akku (55,7 kWh)
 - 350 – 430 km Reichweite
- VW Golf (Benzin)**
- ca. 26 L (ca. 20 kg) für 430 km (6 L / 100 km)

SAF sind schon Realität



Flughafen Frankfurt, 03.06.2022

Öffentliche Wahrnehmung von SAF



PLUS

Nachhaltiges Kerosin: Fliegen mit Frittierfett nimmt zu

Derzeit setzen Fluglinien auf SAF, ein nachhaltiges Kerosin. Allerdings ist die Herstellung, hierzulande aus Alt-Öl, limitiert, teuer und im Endeffekt nur eine Übergangslösung.

Letztes Update am Dienstag, 16.08.2022, 10:00

ARTIKEL DISKUSSION



Tiroler Tageszeitung

Fett aus Großküchen liefert den alternativen Kraftstoff für einen umweltfreundlicheren Luftverkehr in

FRANKREICH

Premiere: Air France fliegt mit Frittierfett nach Montréal

KOMMENTARE

Von Cornelia Trefflich mit AFP, dpa • Zuletzt aktualisiert: 19/05/2021



DEUTSCHE POST DHL WILL GRÜN WERDEN

Frittenfett für Flugzeugtanks

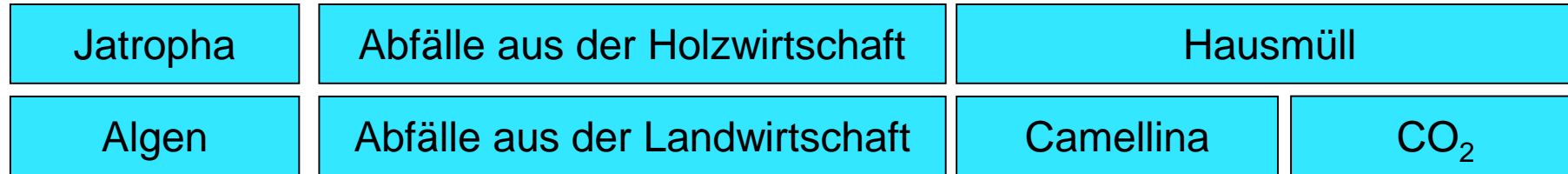
von Jacqueline Goebel und Andreas Menn

22. März 2021



WirtschaftsWoche

Vielfalt an Prozessen



- HEFA (Hydrotreated Esters and Fatty Acids)
- ATJ (Alcohol-to-Jet)
- Sun-to-Liquid (Solarthermisches Verfahren)
- Power-to-Liquid
- Hydrolyse-Prozesse (z.B. IH²) ...



Sustainable Aviation Fuels (SAF)



jetzt

“Drop-In”

- Biokraftstoffe, z. B. HEFA
 - PtL-Kraftstoffe
- Einsetzbar in derzeitiger Infrastruktur
 - Bereits zugelassen ($\leq 50\%$ Blend)
 - Geringe Energieeffizienz
 - Hohe Energiedichte
 - Reduktion der nicht-CO₂-Effekte



≈2030

“Near Drop-In”

- Optimierte SAF (Herstellung, Verbrennung)
 - Biokraftstoffe, PtL-Kraftstoffe (FT, MtJ)
- Geringfügige Infrastrukturänderung
 - Derzeit nicht zugelassen
 - Geringe Energieeffizienz
 - Hohe Energiedichte
 - Starke Reduktion der nicht-CO₂-Effekte



≈2050

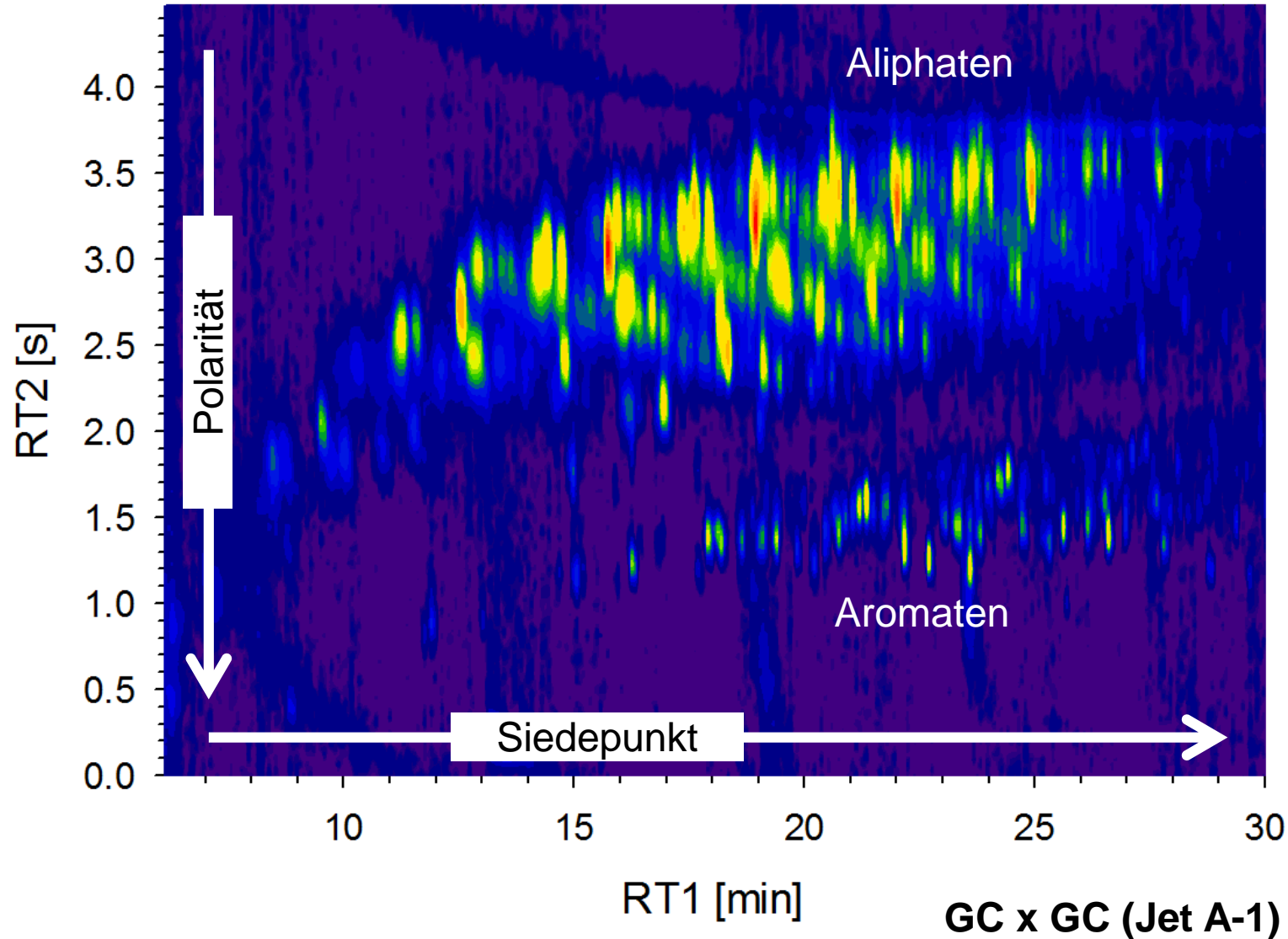
„Non Drop-In“

- Brennstoffzellenflugzeug
 - Wasserstoffverbrennung
 - Batterieelektrisches Fliegen
- Größere Infrastrukturänderungen
 - Höhere Energieeffizienz
 - Niedrige Energiedichte
 - Starke Reduktion der nicht-CO₂-Effekte

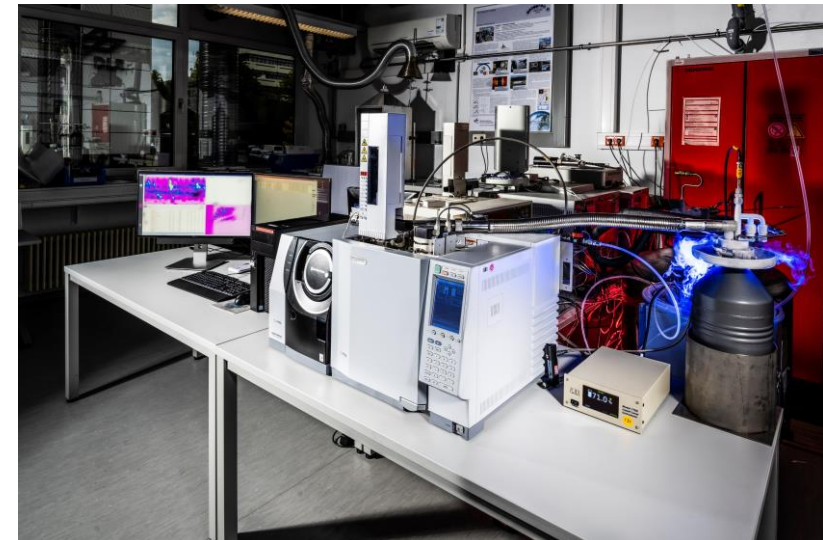
SAF: Sustainable Aviation Fuel; PtL: Power-to-Liquid; FT: Fischer-Tropsch; MtJ: Methanol-to-Jet; HEFA: Hydroprocessed Esters and Fatty Acids

Quellen: BDLI, DLR: Zero Emission Aviation – Emissionsfreie Luftfahrt: White Paper der deutschen Luftfahrt, [white-paper-dlr-bdli-zero-2020.pdf](https://www.dlr.de/fo/fo-White-Paper-DLR-BDLI-Zero-2020.pdf). ; Pavlenko N., Searle S., Christensen A. (2019): [The cost of supporting alternative jet fuels in the European Union](#). International Council on Clean Transportation (ICCT). Wilmington. ; Voigt, C., Kleine J., Sauer D. et al. (2021): Cleaner burning aviation fuels can reduce contrail cloudiness. Commun Earth Environ 2, 114, <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00174-y>. ; Agora Verkehrswende, Agora Energiewende and Frontier Economics (2018): The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels. [The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels \(agora-energiewende.de\)](#). ; Rao, A. G.; Bhat, A.: Hybrid Combustion System for Future Aero Engines. 2nd National Propulsion Conference NPC-2015, February 23-24, 2015, IIT Bombay, Powai, Mumbai, NPC2015-92.

Konventionelles Kerosin (CAF)



- Bis zu 2000 verschiedene chemische Verbindungen (Kohlenwasserstoffe + Additive)
- Schwefelhaltige Verbindungen

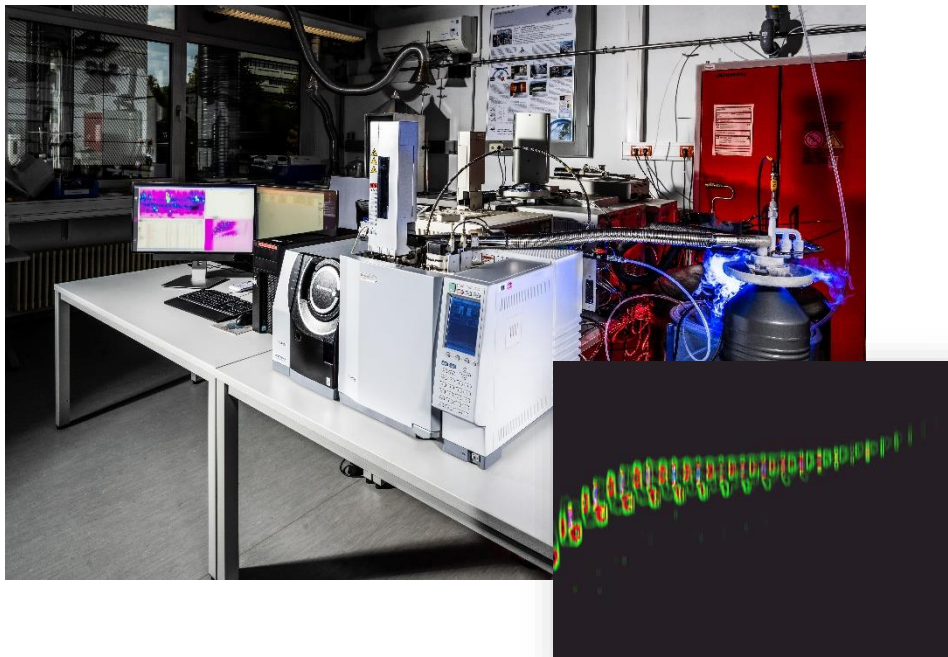


Entwicklung von alternativen Treibstoffen

- Anforderungen an moderne Treibstoffe
 - **Sicher** (Zulassung)
 - CO₂-neutral
 - Minimale Schadstoffemissionen
 - Verfügbar

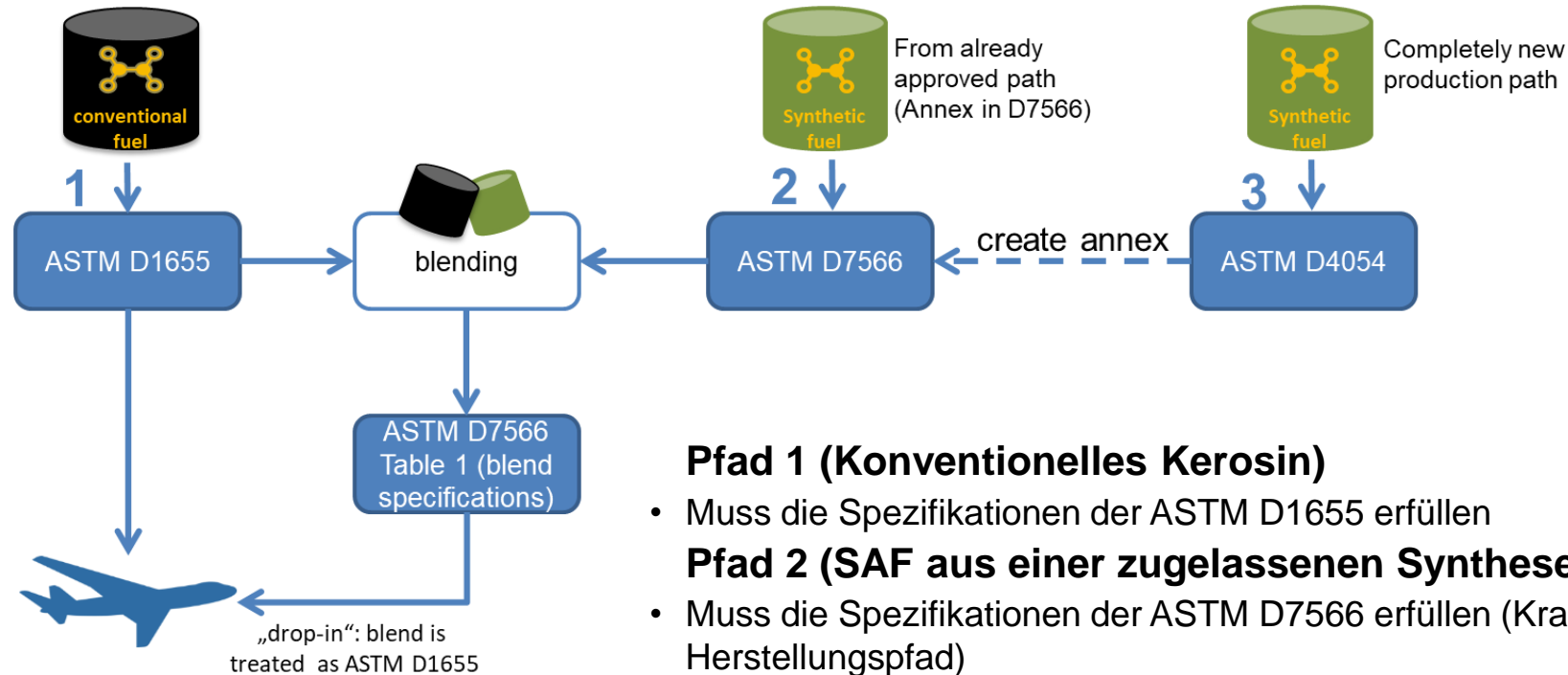


- Optimierung der Zusammensetzung
 - Chemische Analytik ↔ Herstellung
 - Bestimmung der Emissionen



Treibstoff





Pfad 1 (Konventionelles Kerosin)

- Muss die Spezifikationen der ASTM D1655 erfüllen

Pfad 2 (SAF aus einer zugelassenen Syntheseroute)

- Muss die Spezifikationen der ASTM D7566 erfüllen (Kraftstoff & Herstellungspfad)

Pfad 3 (SAF – Neuer Herstellungspfad)

- A) Durchlaufen des Zulassungsprozesses gemäß ASTM D4054
- B) Durchlaufen des Fast track Zulassungsprozess gemäß ASTM D4054

Pfad 4 (SAF– Co-Processing)

- Co-processing von SAF und fossilem Kerosin in einer herkömmlichen Raffinerie (ASTM D1655)

Was sind potentielle Vorteile alternativer Treibstoffe?

Im Vergleich zu konventionellen Treibstoffen

- **Klimawirkung/Lokale Luftqualität**

- Reduktionspotential für
 - CO₂-Emissionen
 - **Ruß**-Emissionen
 - Schwefel, volatile Partikel

- **Politisches Potential**

- Reduktion der Importabhängigkeit

- **Ökonomisches Potential**

- Verbesserung der Preisstabilität
- Reduktion der Wartungskosten für Triebwerke etc.
- Gezielte Verbesserung der Performance (Energiedichte)

Lokale Luftqualität (Arbeitsplatz, Passagiere)
Emissionsquelle für das Umland



Quelle: FraPort AG



Kondensstreifen
Sekundäre Klimaeffekte

**Fossiles
Kerosin
(Jet A-1)**

Mischung

**Nachhaltiger Kraftstoff
(Alcohol-to-Jet)**



Erprobung in Deutschland

- Beispielprojekt: Forschungs- und Demonstrationsvorhaben zum Einsatz von erneuerbarem Kerosin am Flughafen Leipzig/Halle (DEMO-SPK)
 - Beschaffung, Transport und Anwendung des Treibstoffs (inkl. LCA, Nachhaltigkeitsanalyse, etc.) auf einem deutschen Flughafen (Leipzig/Halle)
 - Emissionsmessungen mit dem Multiblend an einem Flugzeugtriebwerk



DEMO-SPK: Treibstoffe

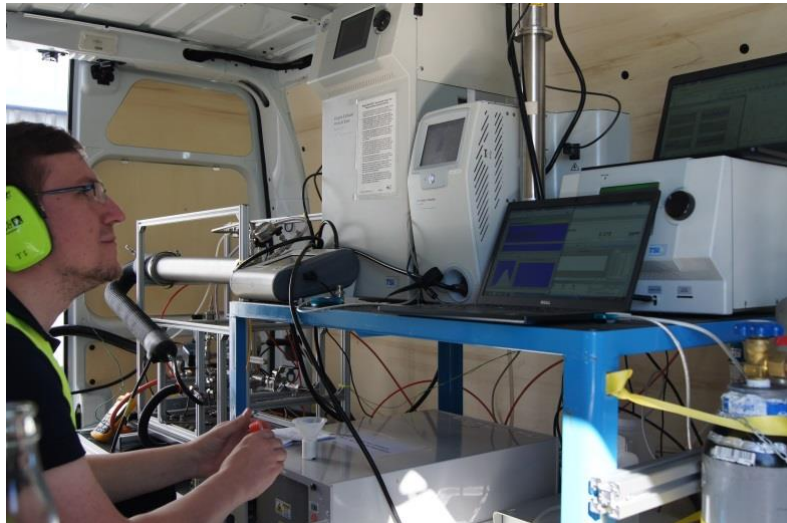
- Referenztreibstoff (Jet A-1) aus der Raffinerie Lingen sowie ein blend aus HEFA und ATJ (Multiblend Jet A-1)
- Ein zusätzlicher blend aus HEFA, ATJ und SIP wurde im Labor untersucht
- Der Multiblend liegt innerhalb der Spezifikationen von ASTM D7566

	Jet A-1	Multiblend Jet A-1
Aromaten [v%]	14.85	9.3
Schwefel, gesamt [m%]	0.0022	0.0015
Dichte (15°C) [kg/m ³]	807.0	786.0
Gefrierpunkt [°C]	-81.9	<-60
Heizwert [MJ/kg]	43.210	43.550
Wasserstoffgehalt [m%]*	13.788 ± 0.012	14.319 ± 0.008



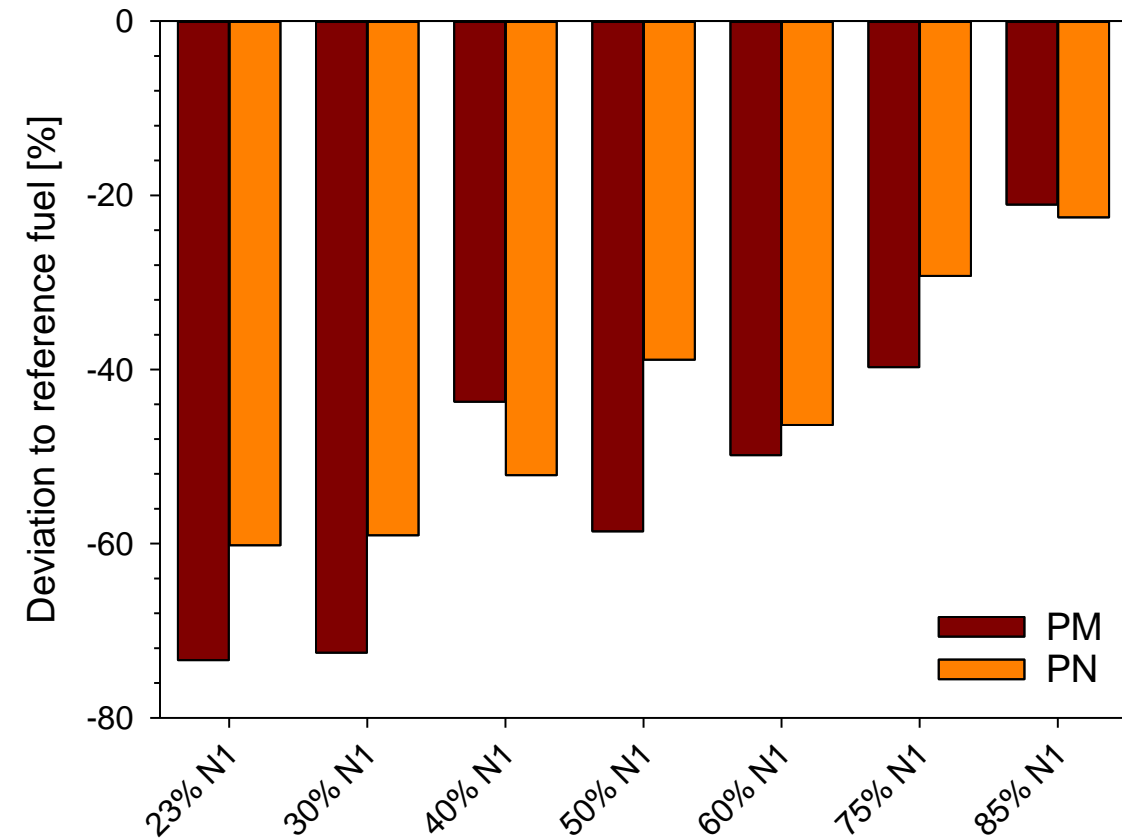
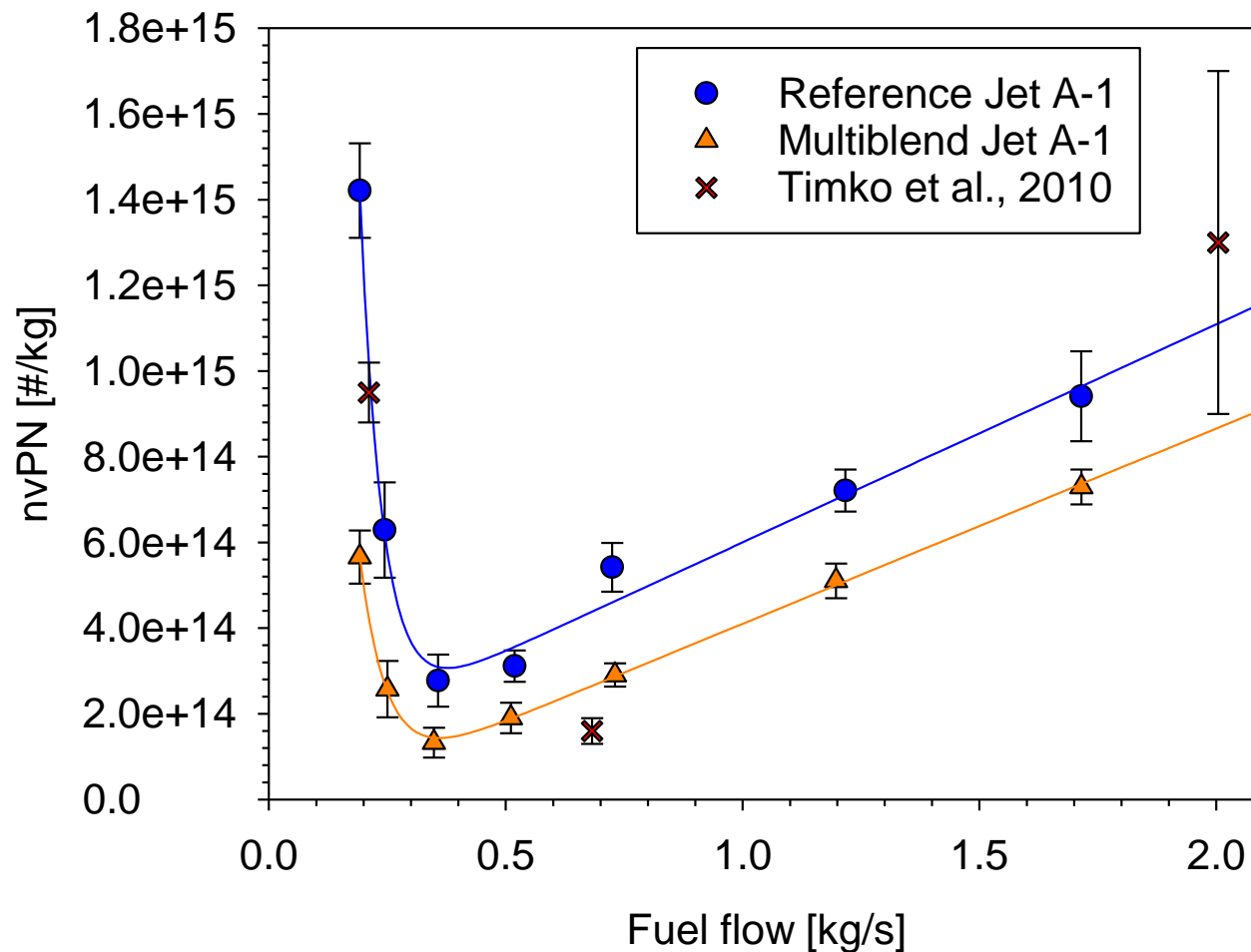
* Der Wasserstoffgehalt wurde in Anlehnung an ASTM D7171 bestimmt

DEMO-SPK: Emissionsmessung



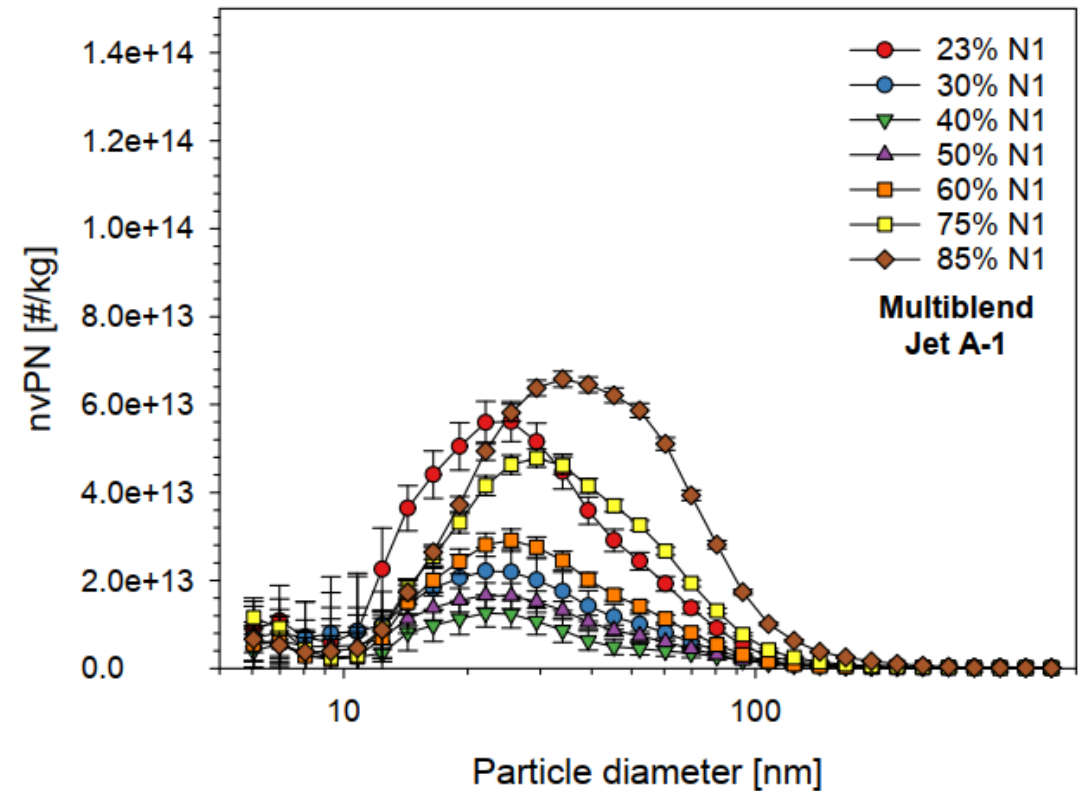
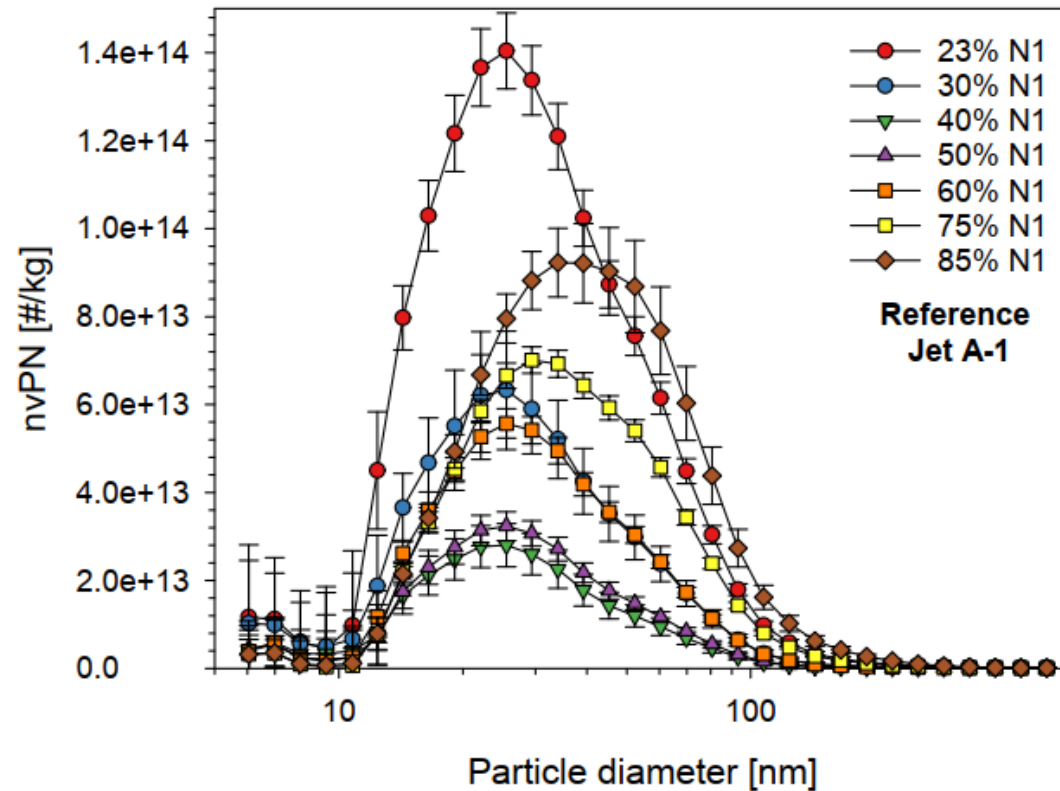
DEMO-SPK: Partikelemissionen

- Minderung in Partikelanzahl und –masse durch Einsatz des Treibstoffs
- Höchste Minderung bei niedrigen Betriebszuständen



DEMO-SPK: Partikelgröße

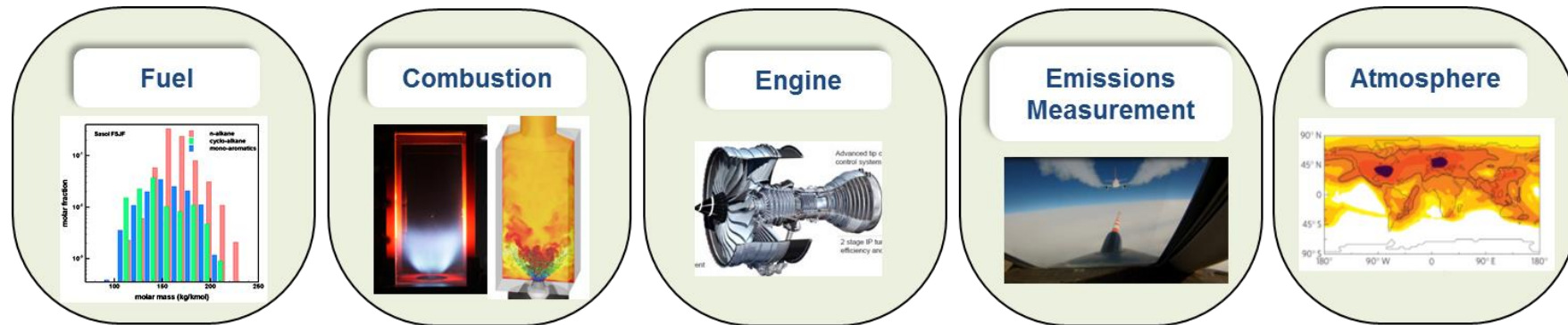
- Die Größenverteilung der Partikel ändert sich unwesentlich durch den Einsatz von SAF
- Auch bei anderen Emissionen (CO, NO_x) ist keine Änderung feststellbar



ECLIF: Emission and CLimate Impact of alternative Fuels

- Untersuchung der gesamten Kette von der Treibstoffzusammensetzung bis zur Klimawirkung

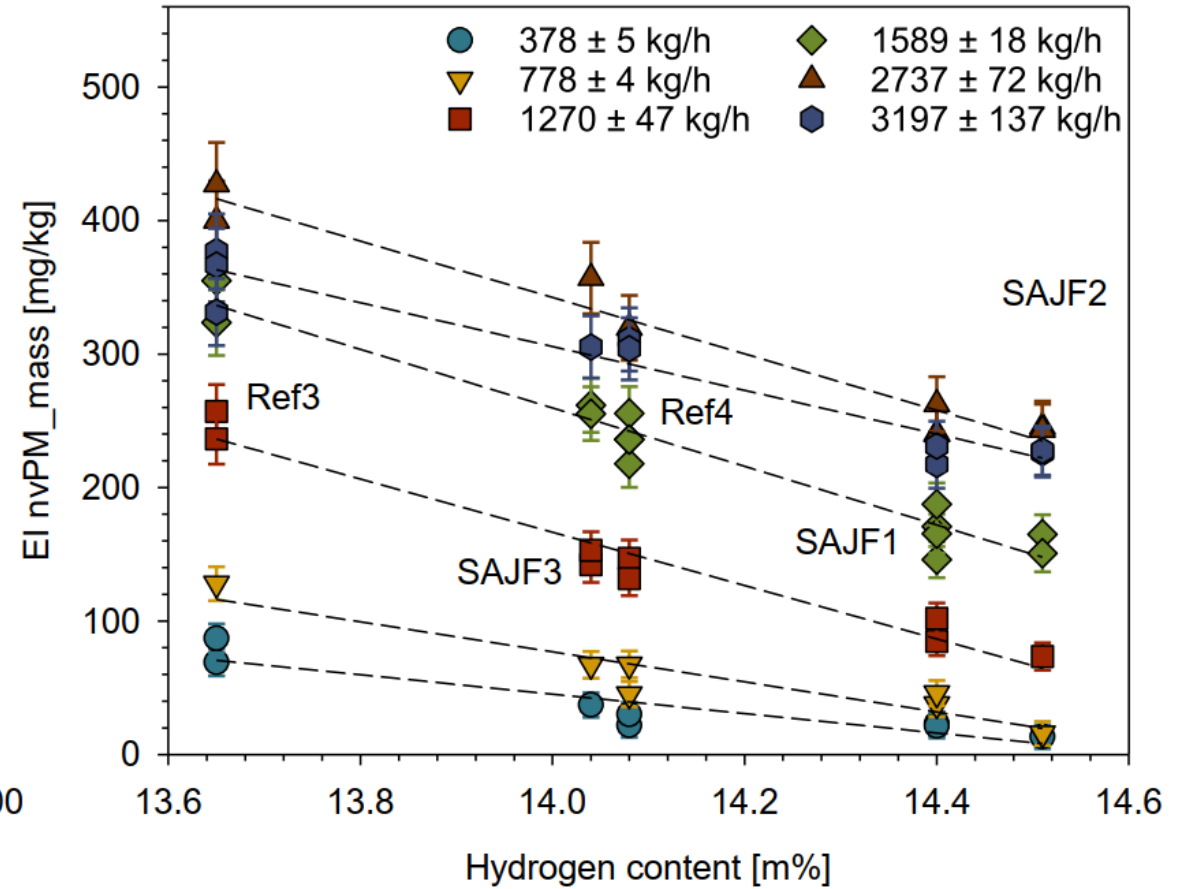
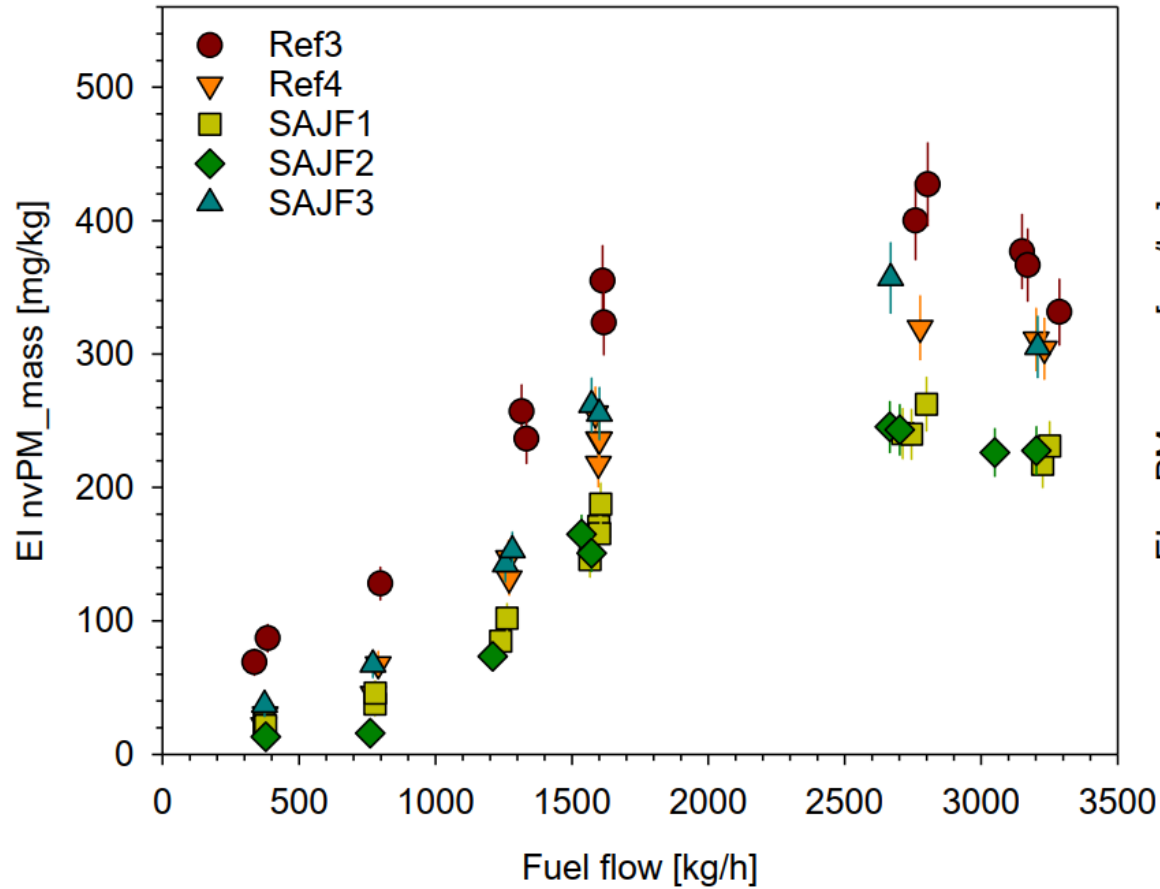
Einfluss alternativer Treibstoffe auf Emissionen & Klima



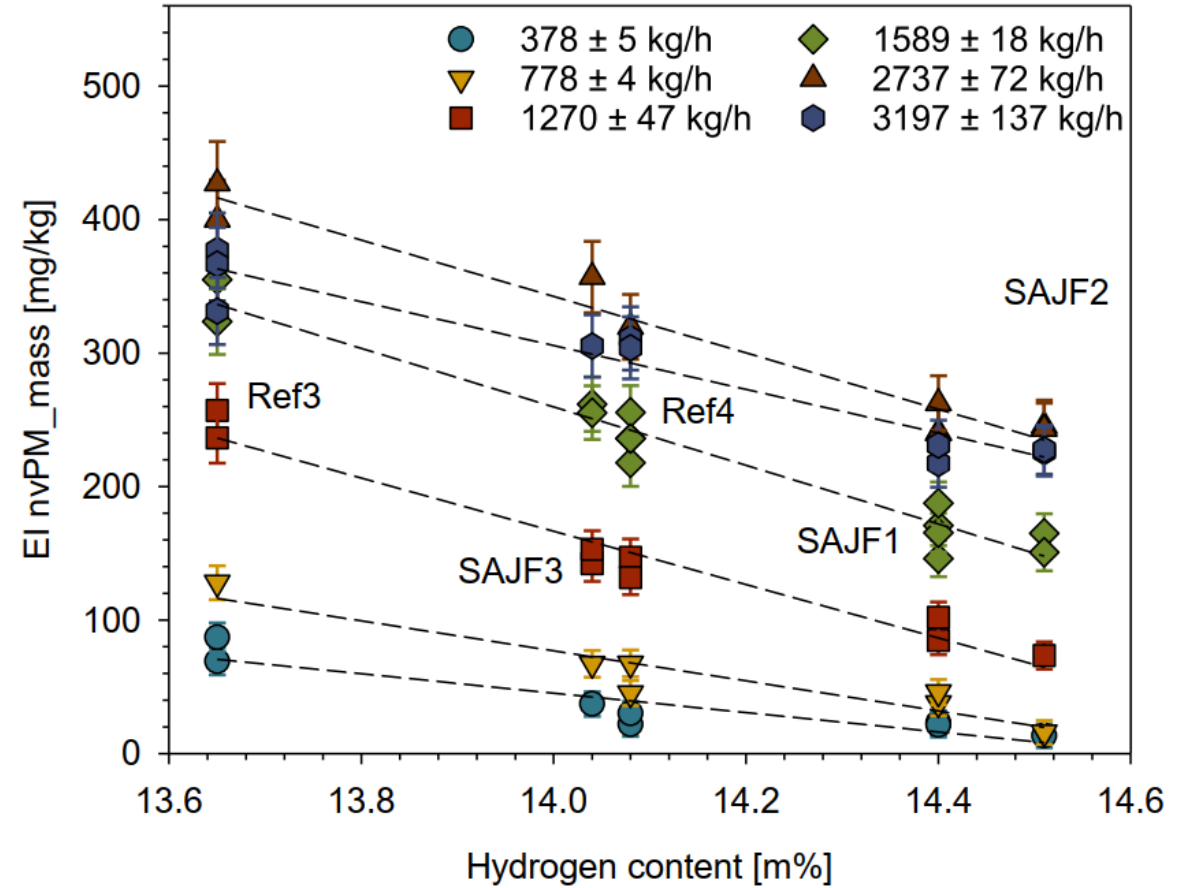
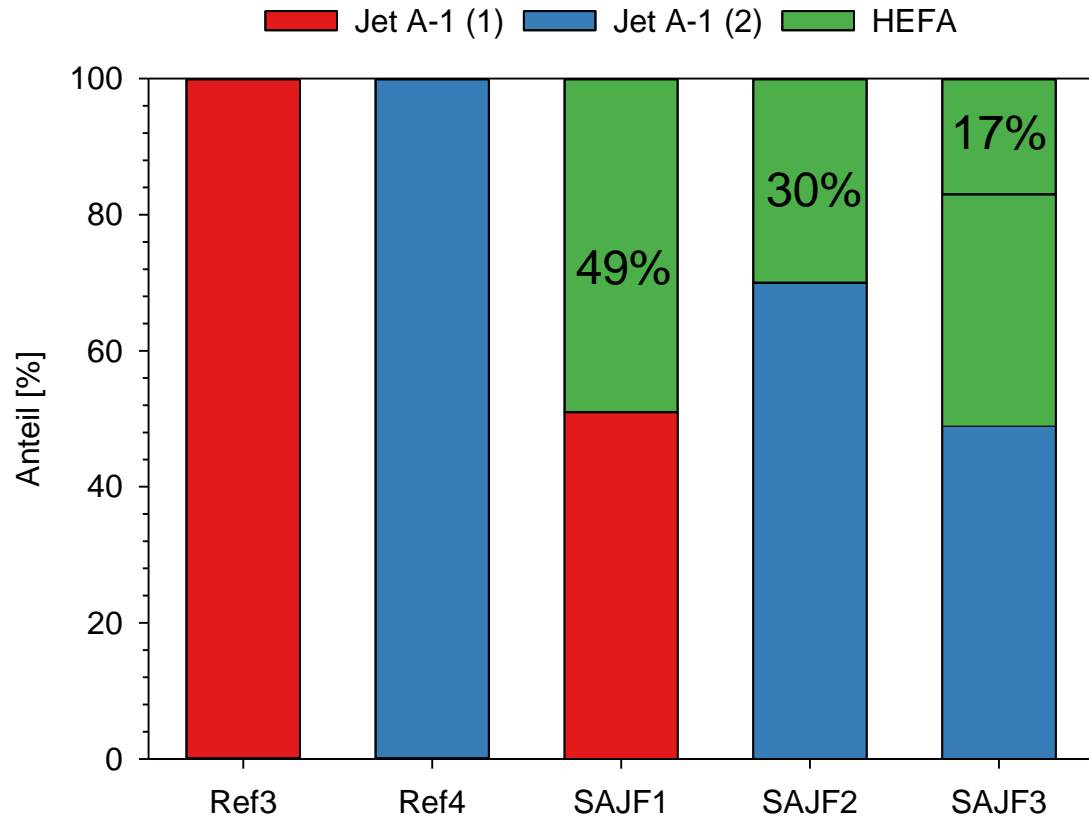
- Untersuchungen zum Verbrennungsverhalten von Treibstoffmischungen
- Zwei große Messkampagnen (2015/2018) mit kombinierten Boden- und Flugmessungen
- Diverse Treibstoffkombinationen



Emissionsminderung



Beimischung und Wirkung



Aromaten und Schwefel in Kerosin

- Im fossilen Kerosin ist die Verteilung von Aromaten und Schwefel sehr breit (Raffinerien, Ölquellen)
- Kein Zusammenhang zwischen Aromaten- und Schwefelgehalt

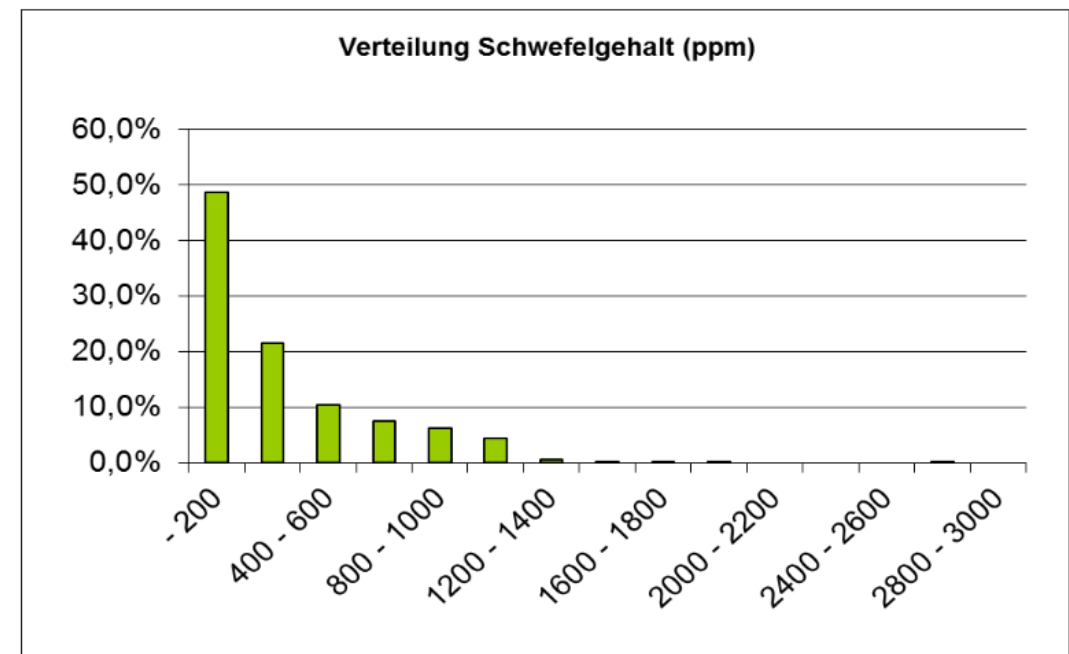
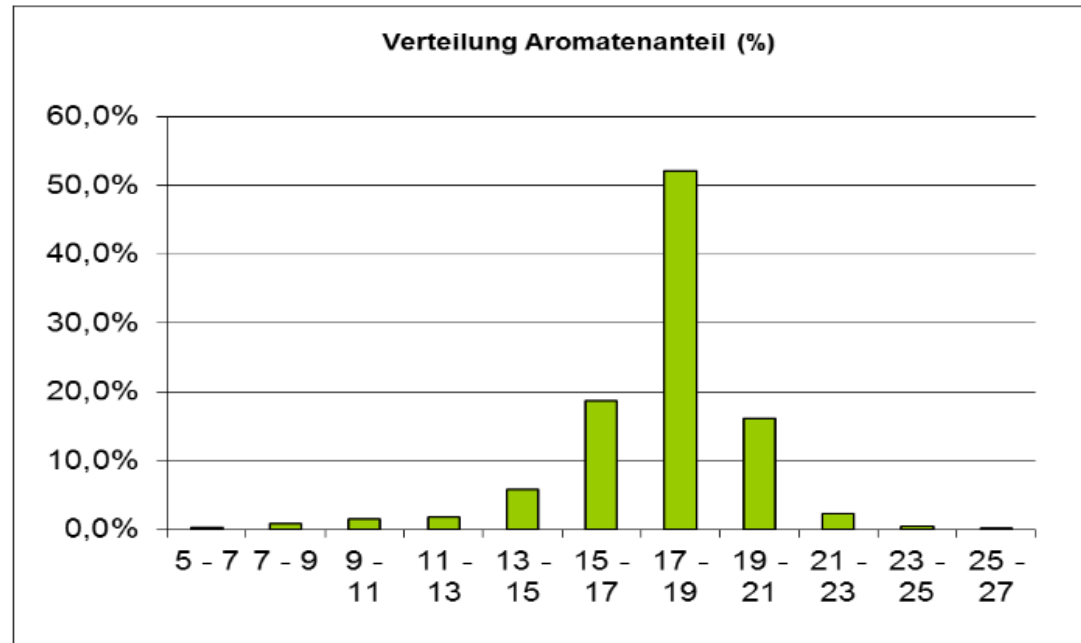
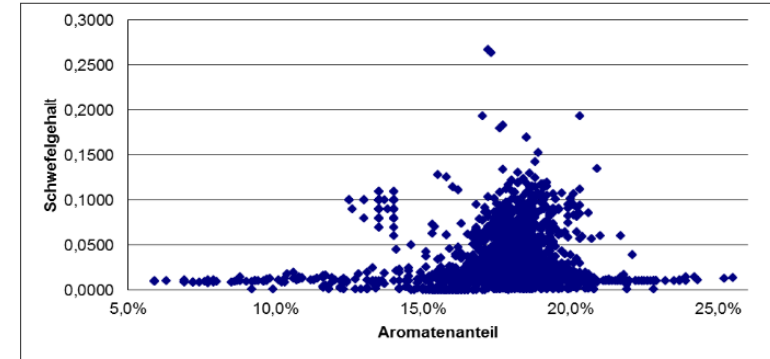


Abbildung 4.18: Häufigkeitsverteilung des Aromatenanteils in den untersuchten Raffineriezertifikaten

Abbildung 4.17: Häufigkeitsverteilung des Schwefelgehaltes in den untersuchten Raffineriezertifikaten

Quelle: Projekt BurnFAIR, 2400 Zertifikate

Die Forschung an SAF geht weiter...



Manching (2015)



Ramstein (2018)



Toulouse (2021)

Hamburg (2016)



DEMO-SPK, Leipzig (2018)



Flughafen-
umgebung



- Der Einsatz von nachhaltigen Flugtreibstoffen (SAF) nimmt stetig zu; derzeit ist eine Beimischung bis 50% möglich („drop-in“)
- SAF haben dieselben positiven Eigenschaften von Kerosin und können schwefel- und aromatenarm hergestellt/eingesetzt werden
- Neben der CO₂-Neutralität kann auch die Freisetzung von Ruß und Schwefelverbindungen durch den Einsatz reduziert werden (Klimawirkung und lokale Luftqualität)
- Die Eigenschaften der fossilen Komponente spielen eine wichtige Rolle für die Erreichung niedriger Emissionswerte
- Zukünftige Entwicklungen umfassen auch Änderungen am Triebwerk und der Flughafeninfrastruktur („near drop-in“, „non drop-in“)



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

**Vielen Dank außerdem an
DLR-FX, DLR-PA, DLR-VT
sowie die ECLIF- und DEMO-SPK-Beteiligten**