



Herzlich Willkommen!

Messen und Steuern von Non-CO₂-Effekten im Luftverkehr

18. April 2024

Hessische Landesvertretung in Berlin

CENA Hessen

Kompetenzzentrum für Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr



Agenda

Entstehung und Wirkung von Non-CO₂-Effekten

Prof. Dr. Christiane Voigt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Messung und Überwachung von Non-CO₂-Effekten

Wolf-Dietrich Kindt, Bundesverband der deutschen Luftverkehrswirtschaft

Mitigation von Non-CO₂-Effekten durch Optimierung der Routenführung

Dr. Ralph Leemüller, Deutsche Flugsicherung

Die Kraftstoffzusammensetzung als Mitigationsoption für Non-CO₂-Effekte

Dr. Sandra Richter, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Politikinstrumente zur Mitigation von Non-CO₂-Effekten

Dr. Olaf Hölzer-Schopohl, Umweltbundesamt

Panel: Handlungsoptionen und Empfehlungen für Politikinstrumente zur Mitigation von Non-CO₂-Effekten

BMWK, DFS, BDL, Germanwatch, UBA

Wrap Up: Wie sehen praktikable Mitigationsstrategien aus?

Regine Barth, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum

Entstehung und Wirkung von Non-CO₂-Effekten

Prof. Dr. Christiane Voigt

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



Entstehung und Wirkung von Non-CO₂-Effekten

Messung und Überwachung von Non-CO₂-Effekten

Mitigation von Non-CO₂-Effekten durch Optimierung der Routenführung

Die Kraftstoffzusammensetzung als Mitigationsoption für Non-CO₂-Effekte

Politikinstrumente zur Mitigation von Non-CO₂-Effekten

Panel

Wrap-Up

ENTSTEHUNG UND WIRKUNG VON NICHT-CO2 EFFEKTEN

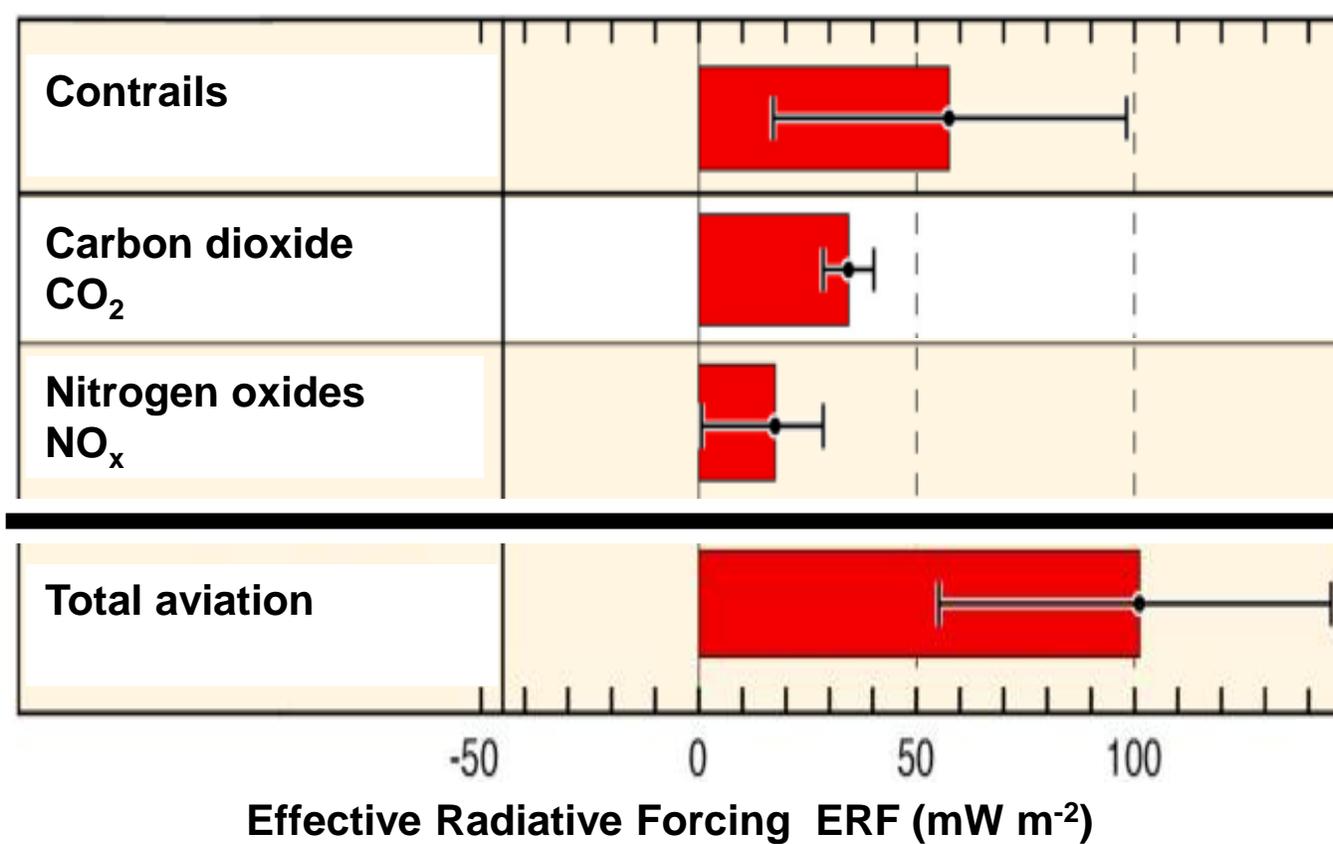
Prof. Dr. Christiane Voigt

DLR Institut für Physik der Atmosphäre



Klimawirkung des Luftverkehrs

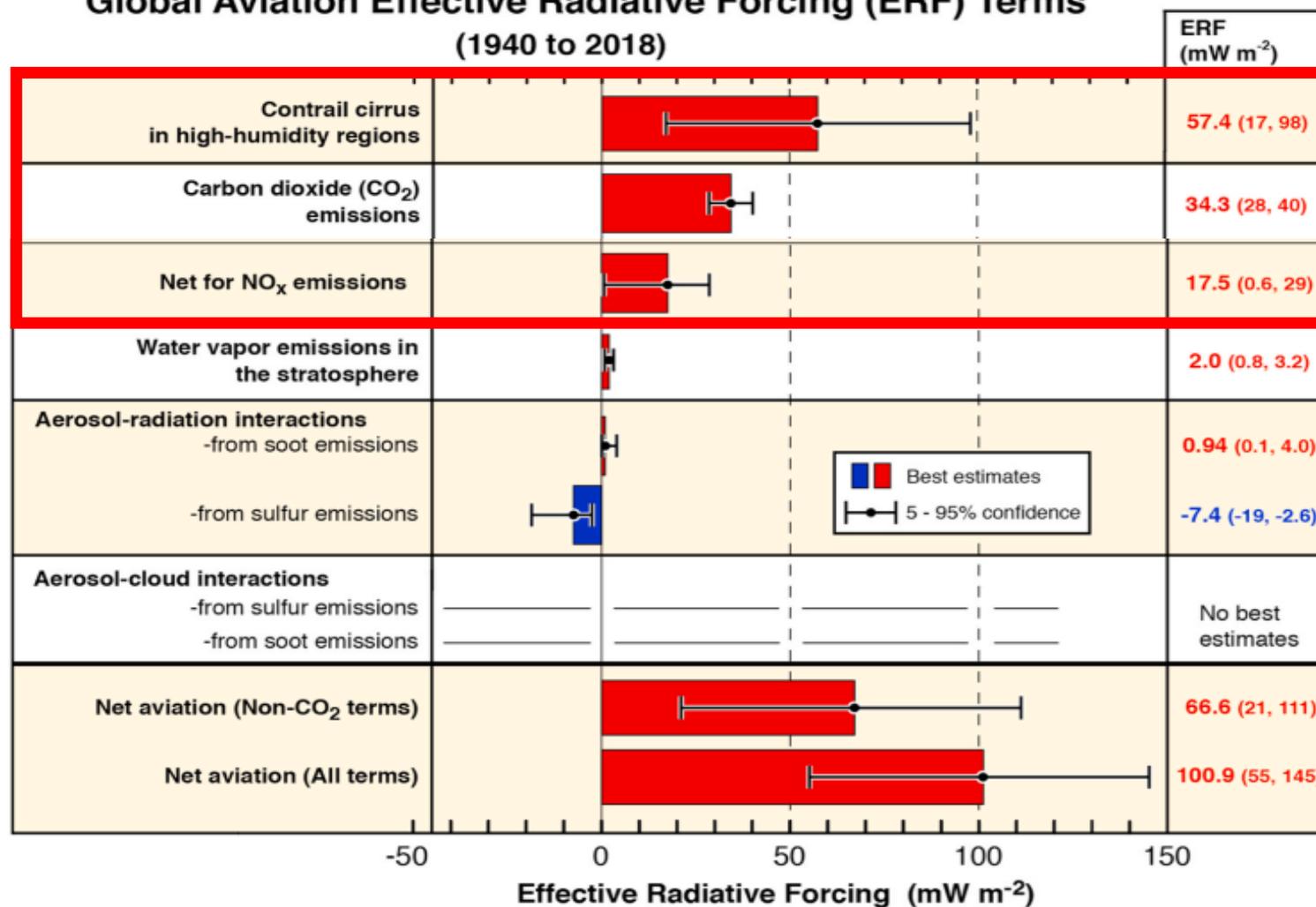
Effektiver Strahlungsantrieb des Luftverkehrs seit 1940



Klimaverträglicher Luftverkehr ist mehr als Dekarbonisierung.

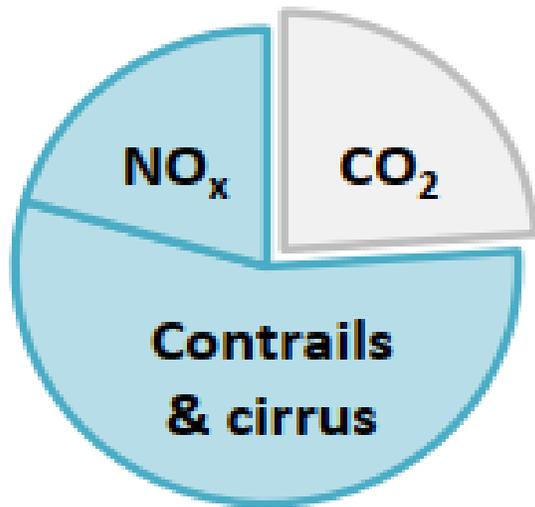
Klimawirkung des Luftverkehrs

Global Aviation Effective Radiative Forcing (ERF) Terms
(1940 to 2018)

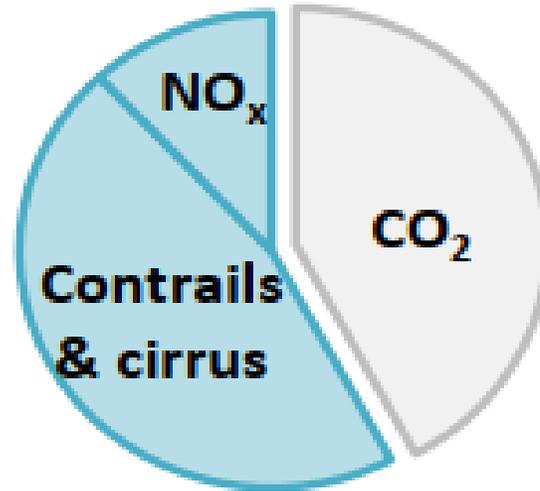


Globales Erwärmungspotenzial des Luftverkehrs

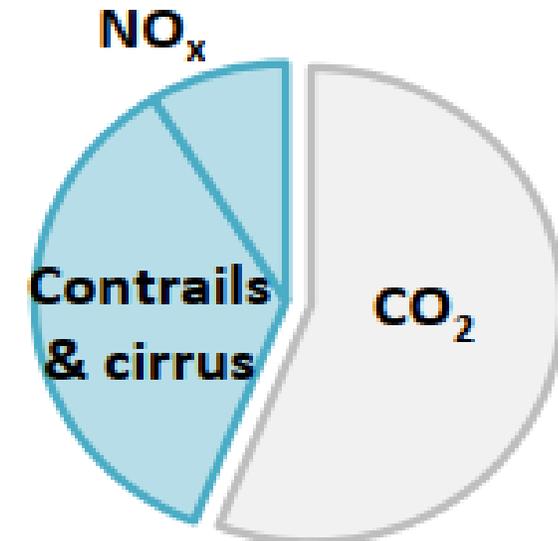
GWP_{20years}



GWP_{50years}

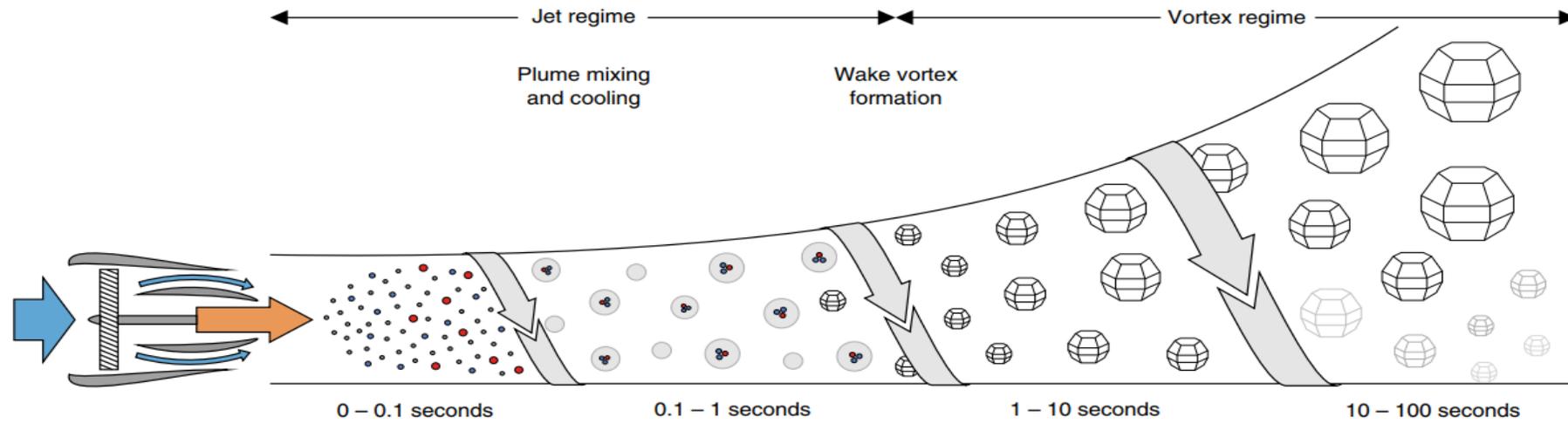


GWP_{100years}



Mitigation der CO₂ und Nicht-CO₂ Effekte nötig.

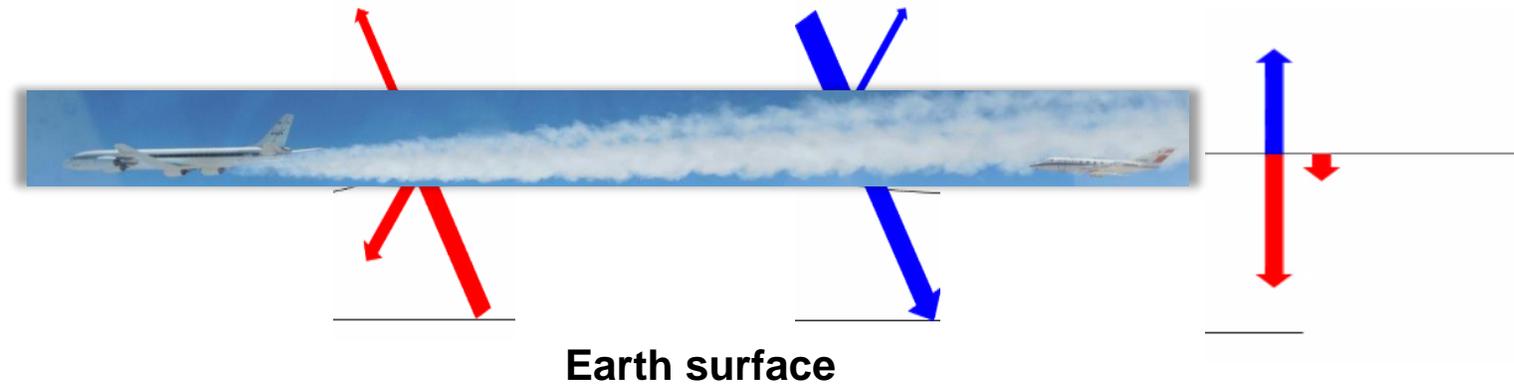
Bildung und Strahlungsantrieb von Kondensstreifen



Trapping of energy from terrestrial LW radiation (greenhouse effect)

Reflection of solar SW radiation (cooling)

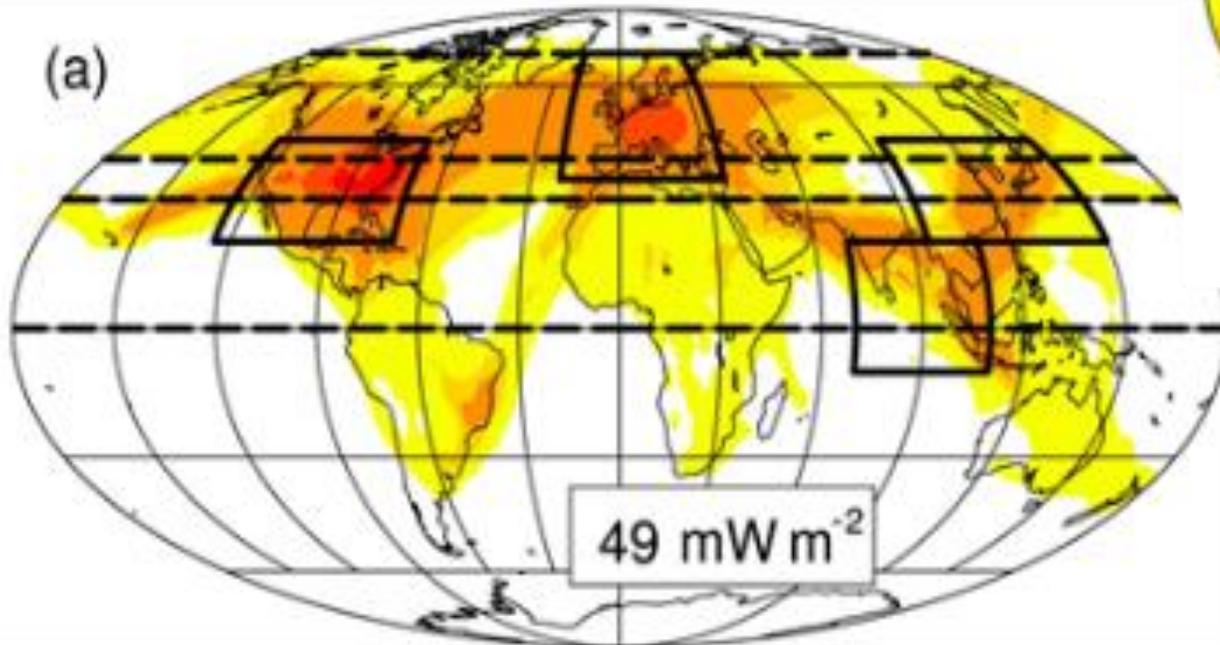
Net Global Mean Warming contrails



Klimaeffekte von Kondensstreifen: heute und in der Zukunft

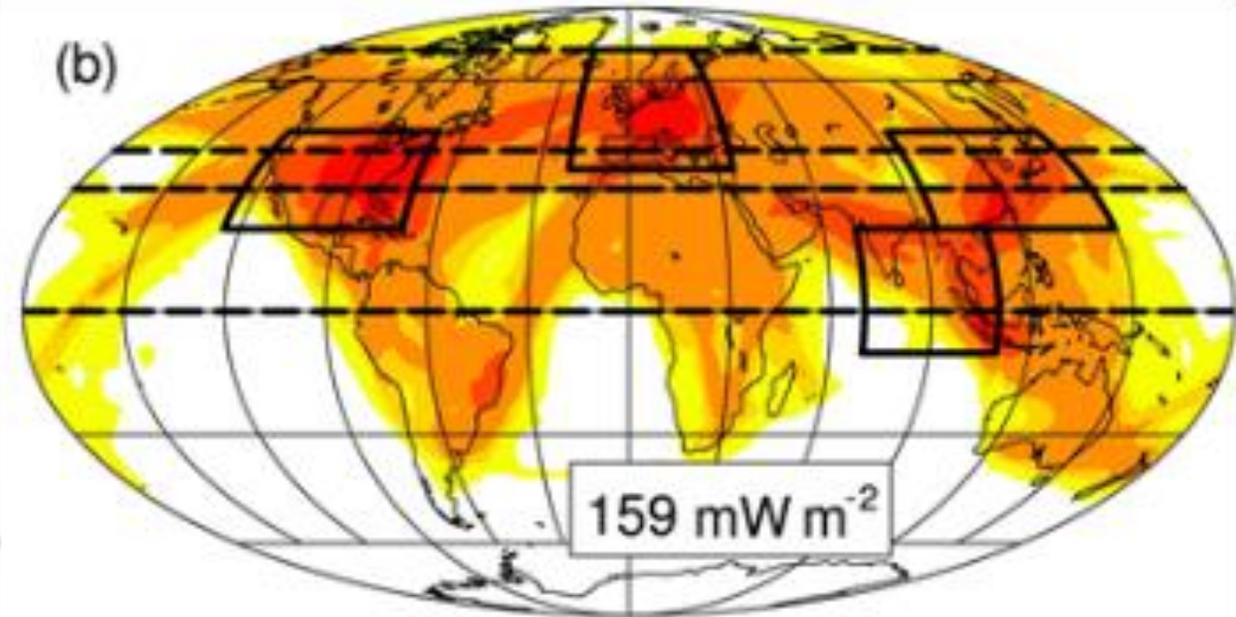
2006

(a)

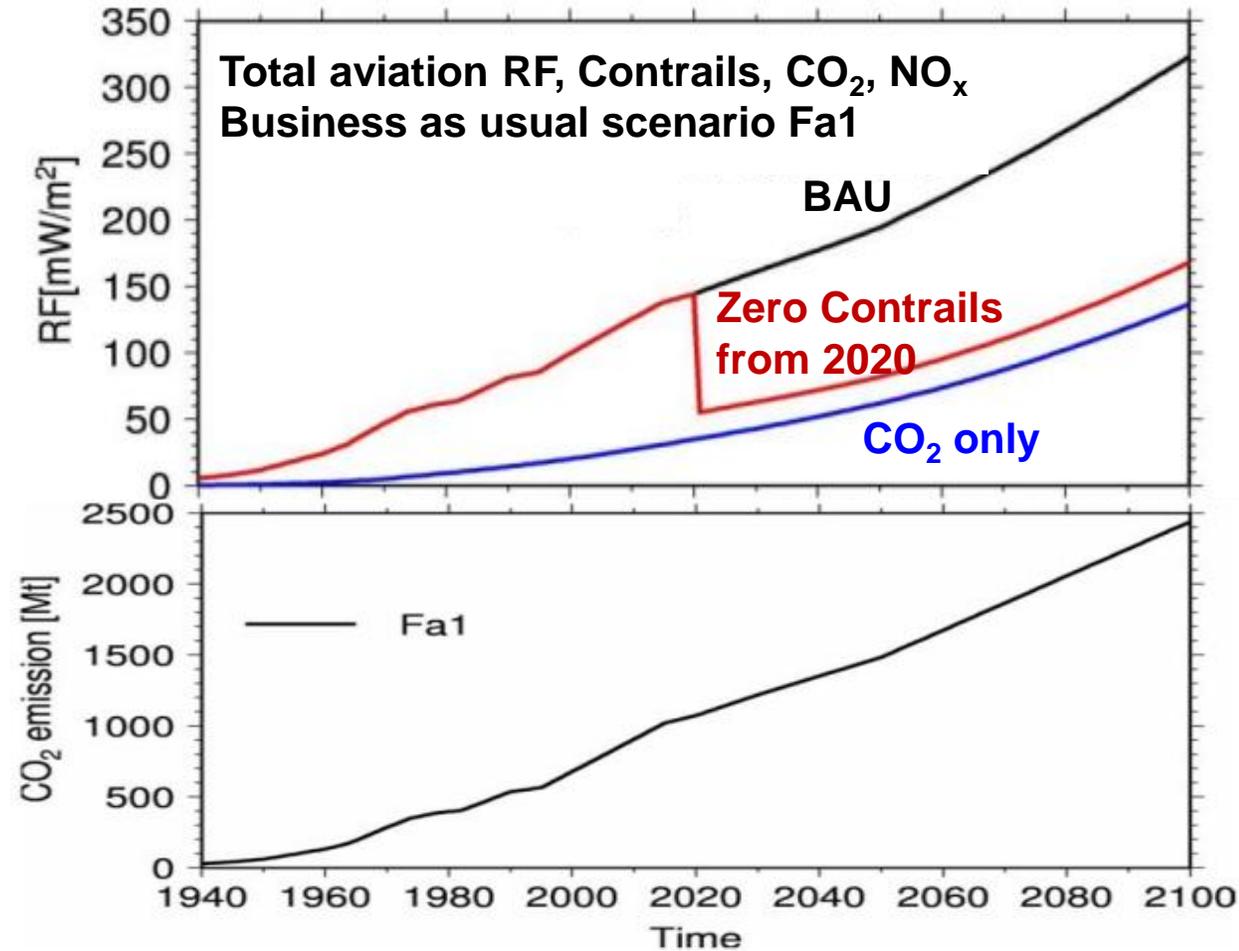


2050

(b)



Strahlungsantrieb des Luftverkehrs (1940-2100)



Die Mitigation von Kondensstreifen hat einen schnellen Einfluß auf das Klima.

Wie kann der Klimaeffekt des Luftverkehrs reduziert werden?



Fundamental research of aviation effects on climate

Assessment of mitigation options of the aviation climate impact

Operations
(climate optimized routing)

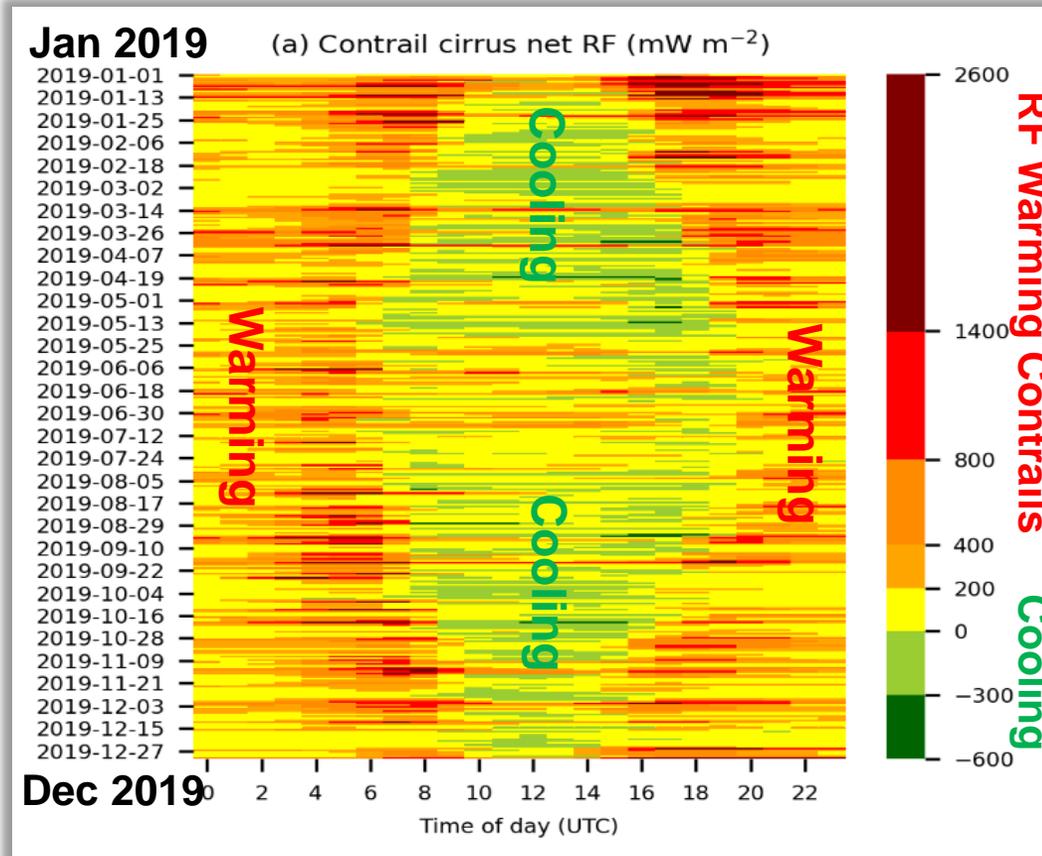
Fuels
(SAF, hydro-treatment)

Technology
(engine, H2)

Policy and regulations

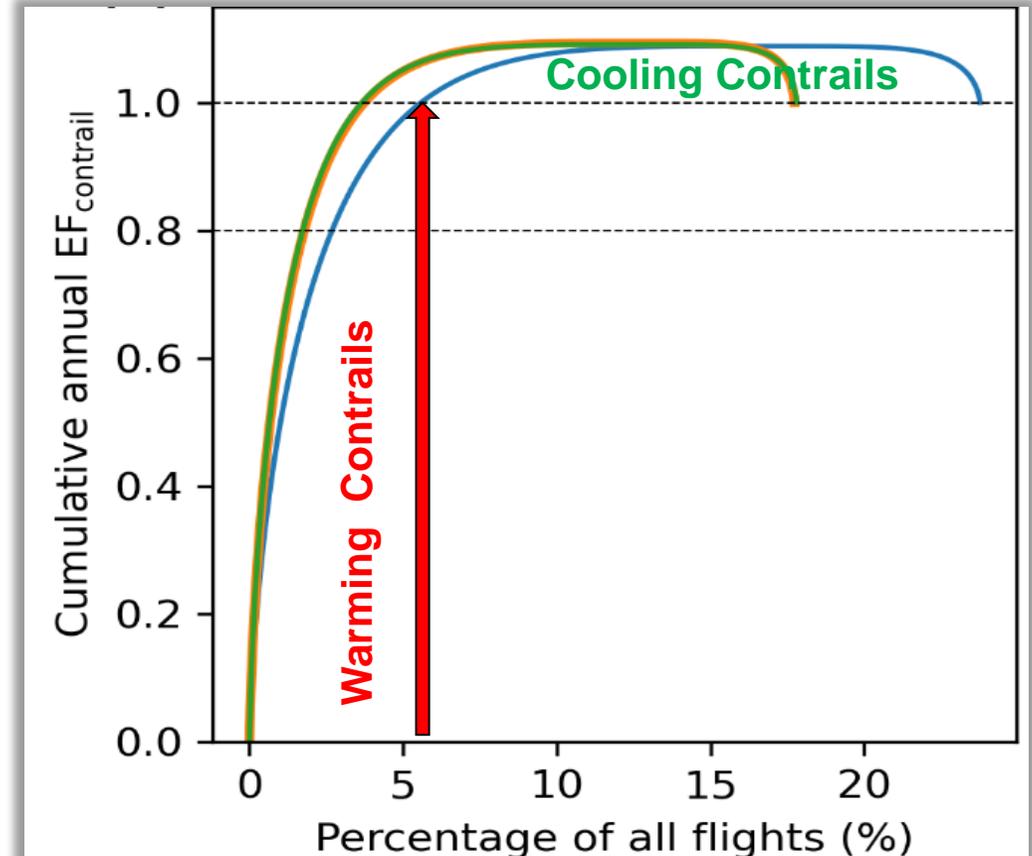
Wärmende oder kühlende Wirkung von Kondensstreifen

Strahlungsantrieb (RF) von Kondensstreifen über dem Atlantik



Teoh, Stettler, Voigt et al., ACP, 2022

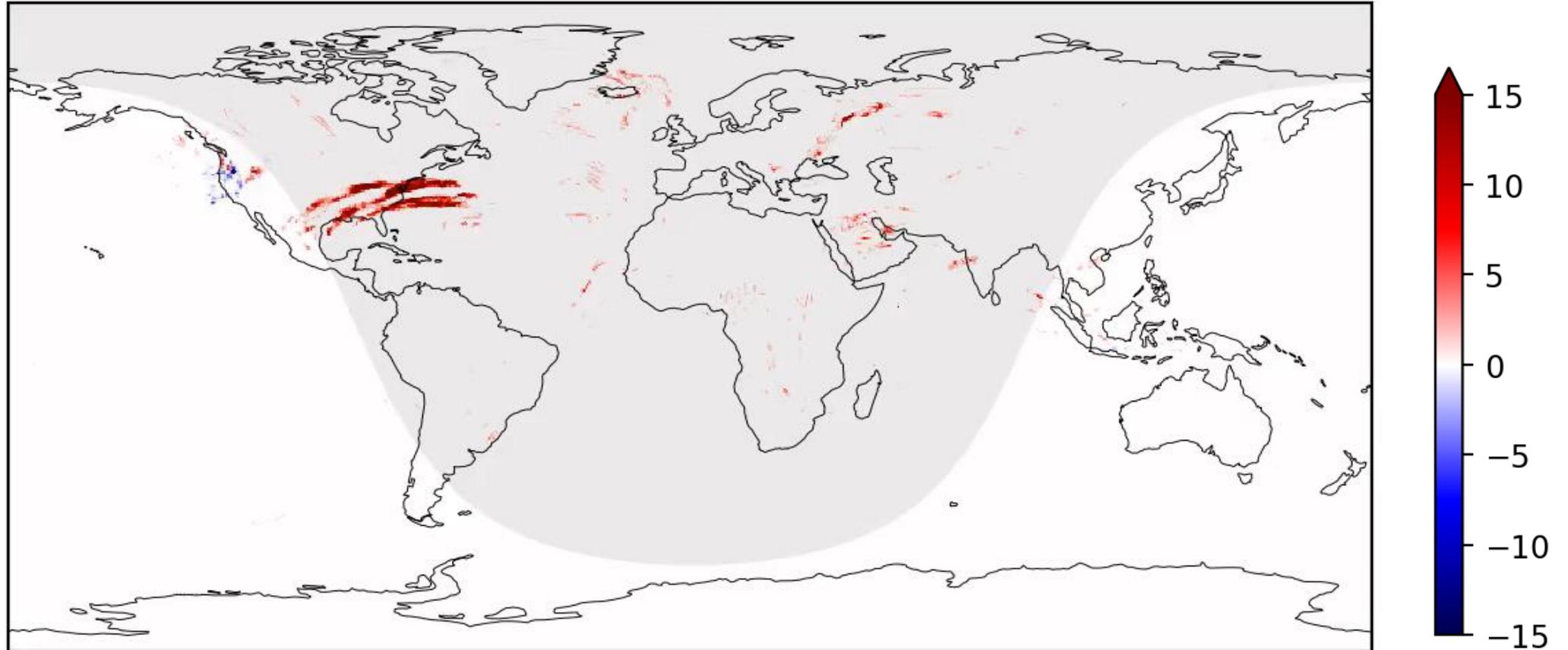
Anteil der weltweiten Flüge 2019-21 mit wärmenden / kühlenden Kondensstreifen



Teoh, Engberg, Voigt et al ACP, 2024

Strahlungsantrieb von Kondensstreifen

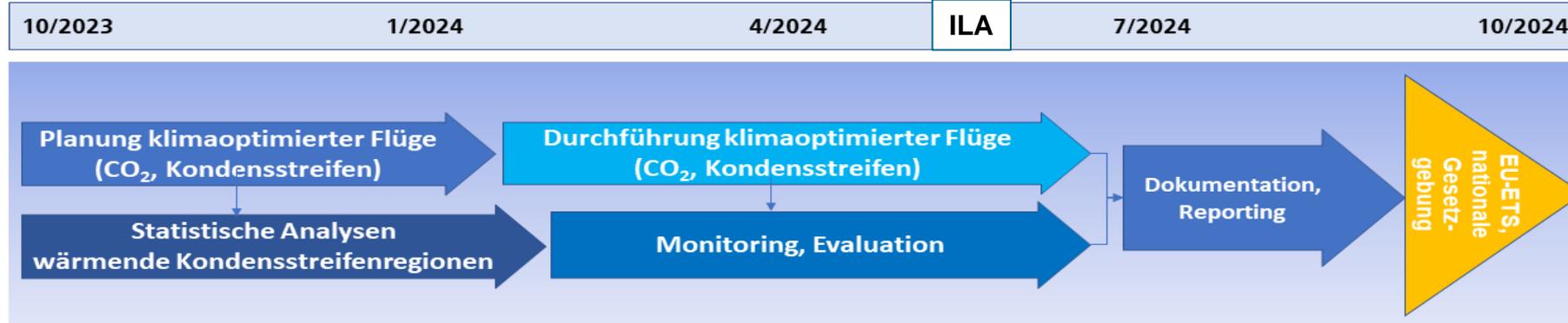
Contrail cirrus net RF (W m^{-2}): 2019-01-02 00:00:00 (UTC)



Arbeitskreis Klimaneutrale Luftfahrt – 100 Flüge Trial – D-KULT

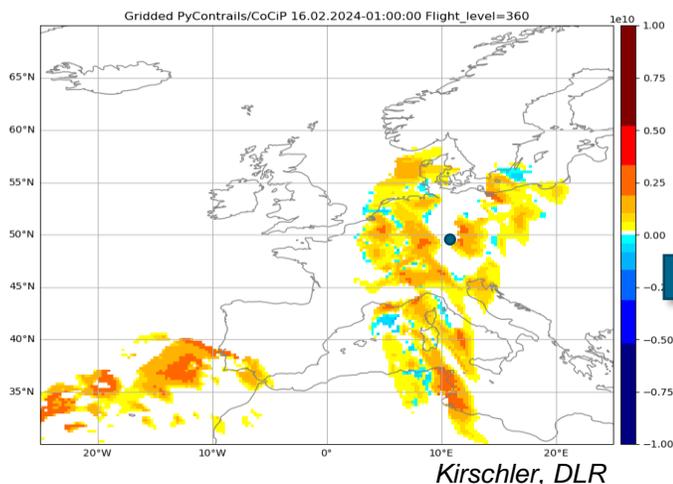


Roadmap 100 Flüge Trial

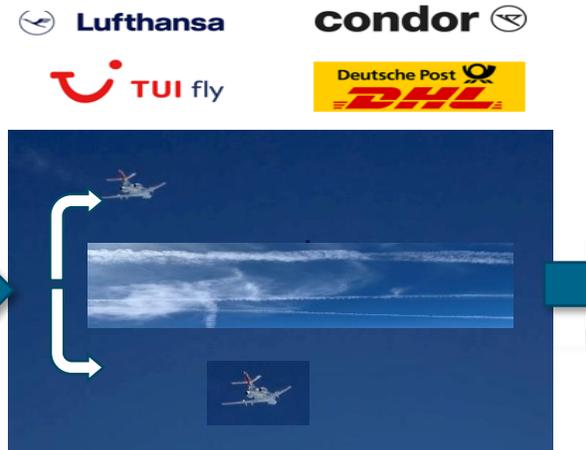


Vorhersage von Regionen mit wärmenden Kondensstreifen

16.2.2024, FL360, stündliche Vorhersage



Durchführung von 100 klimaoptimierten Flügen



Berechnung ΔCO_2 & Δ Contrail CO_{2eq} Evaluierung mit Satellitendaten

Statistics	Units	Cost optimal	Contrail optimal	Δ (%)
Number of flights	—	84 839	84 839	0
Flights w persistent contrails	—	23.7%	17 474	-12.9%
Flights w net warming contrails	—	13.7%	8562	-26.3%
Flights w cooling contrails	—	10.0%	8912	5.5%
Total flight time	10 ³ hr	209.6	209.6	0.00%
Total fuel burn	10 ⁹ kg (Mt)	0.660	0.661	0.11%
Total cost	10 ⁶ \$	1285	1286	0.08%
Total CO2 emissions	10 ⁹ kg (Mt)	2.086	2.089	0.11%
Contrail warming, in CO2e,20	10 ⁹ kg (Mt)	0.906	0.245	-72.95%
Total warming, in CO2e,20	10 ⁹ kg (Mt)	2.992	2.334	-22.00%

Verbesserte Feuchtevorhersage durch Sensoren und AI

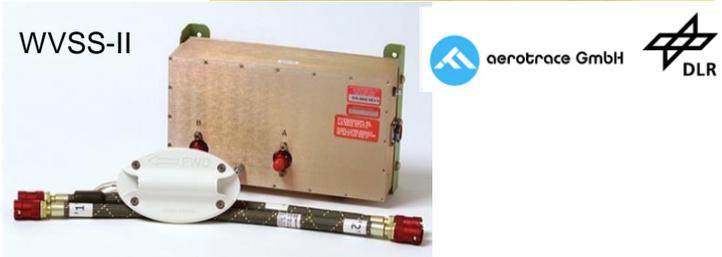
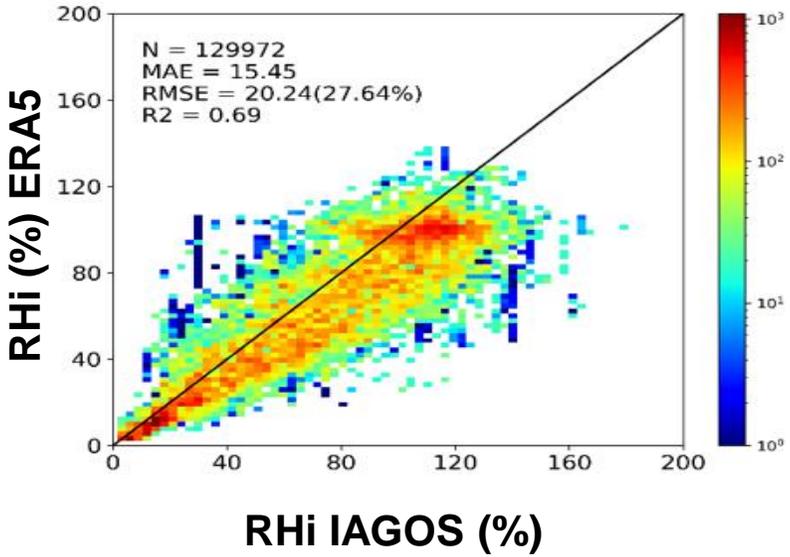


Unsicherheiten in
Wettermodellen

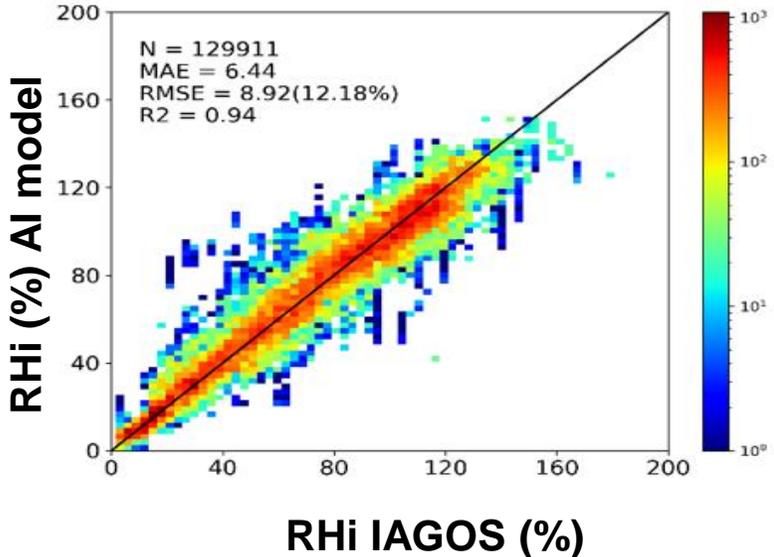
Bedarf an genauen H₂O
Messungen

AI zur Verbesserung der
Wettervorhersage

Cloudy upper troposphere



Cloudy upper troposphere



Wie kann der Klimaeffekt des Luftverkehrs reduziert werden?



Fundamental research of aviation effects on climate

Assessment of mitigation options of the aviation climate impact

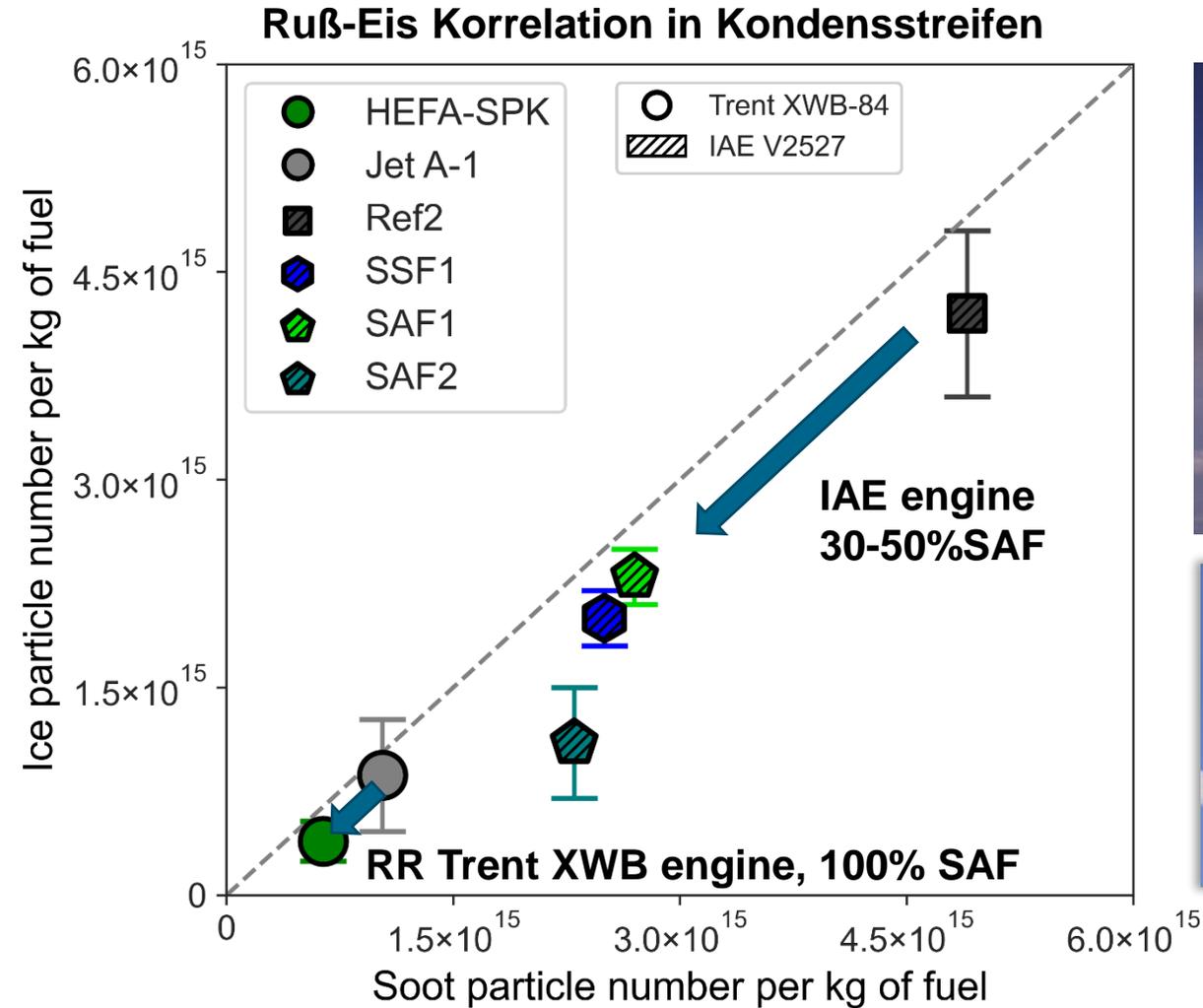
Operations
(climate optimized routing)

Fuels
(SAF, hydro-treatment)

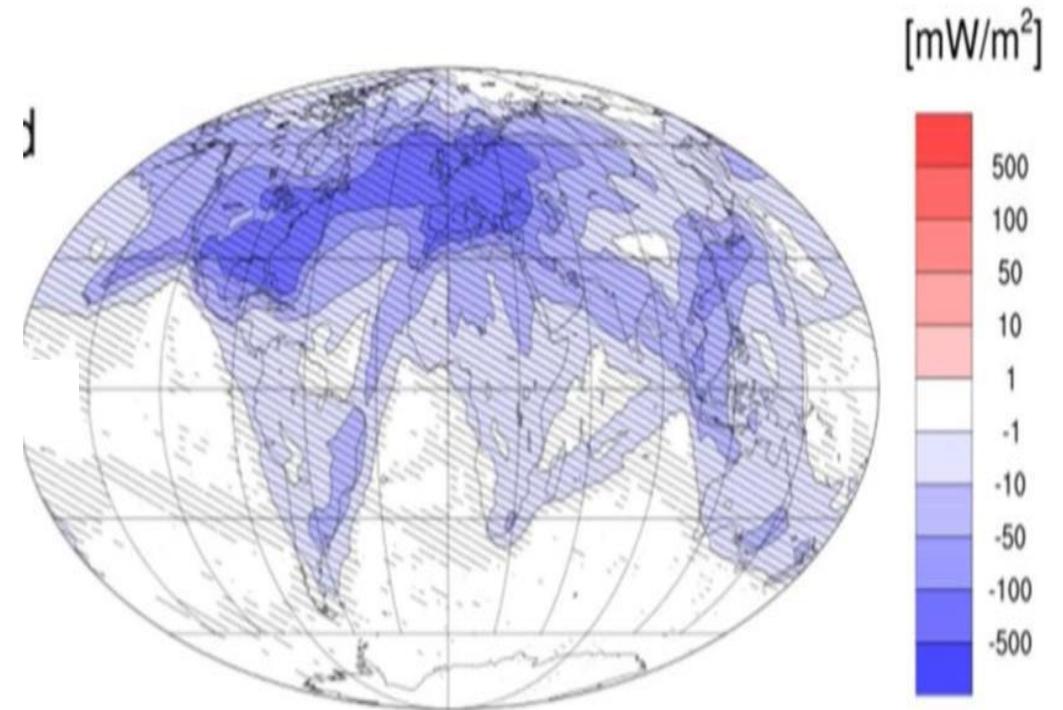
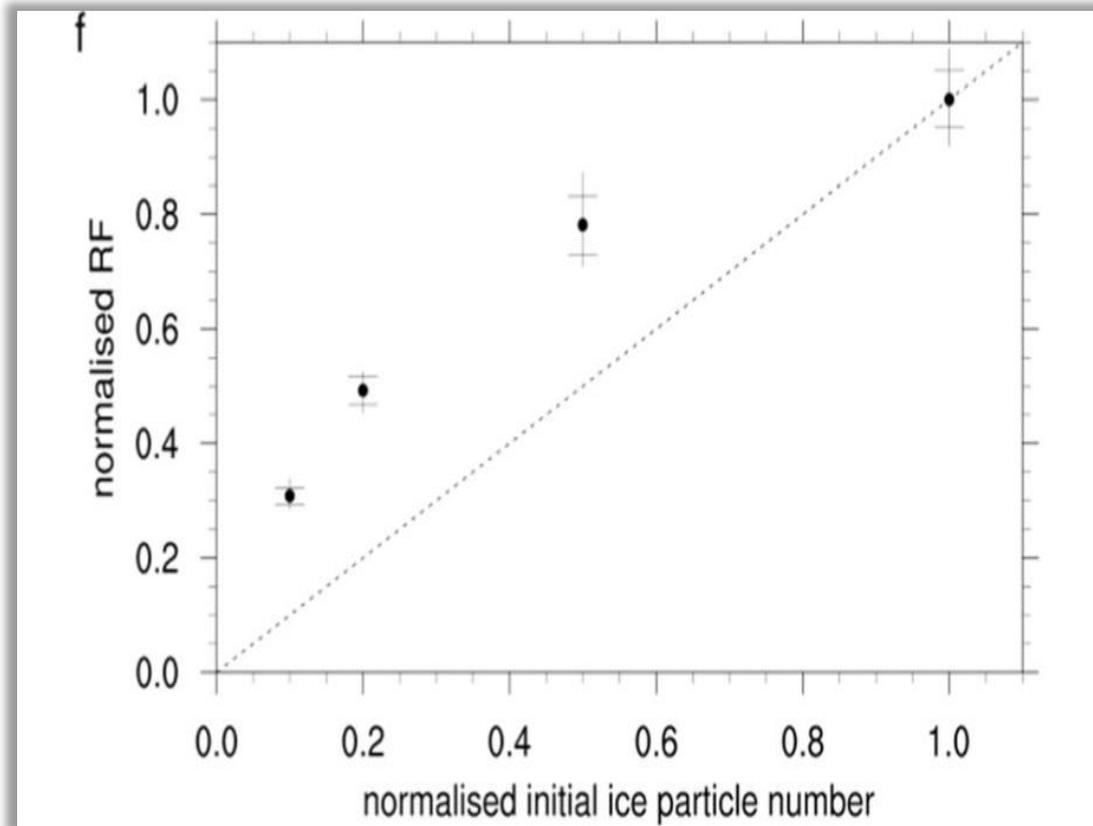
Technology
(engine, H2)

Policy and regulations

Reduktion von Partikeln durch SAF und neuere Triebwerke



Einfluss der Eisanzahl auf die Klimawirkung von Kondensstreifen



Wasserstoff als CO₂ freier Antrieb – Und die Frage nach den Kondensstreifen

UpNext

BLUE CONDOR

Measurement of
non-CO₂ emissions

BLUE
CONDOR
H₂ Demonstrator



Rear pilot seating replaced
by 2 gaseous hydrogen tanks to provide fuel



Chaser equipped with DLR instruments
for contrail measurements



Source: <https://www.airbus.com>

AIRBUS

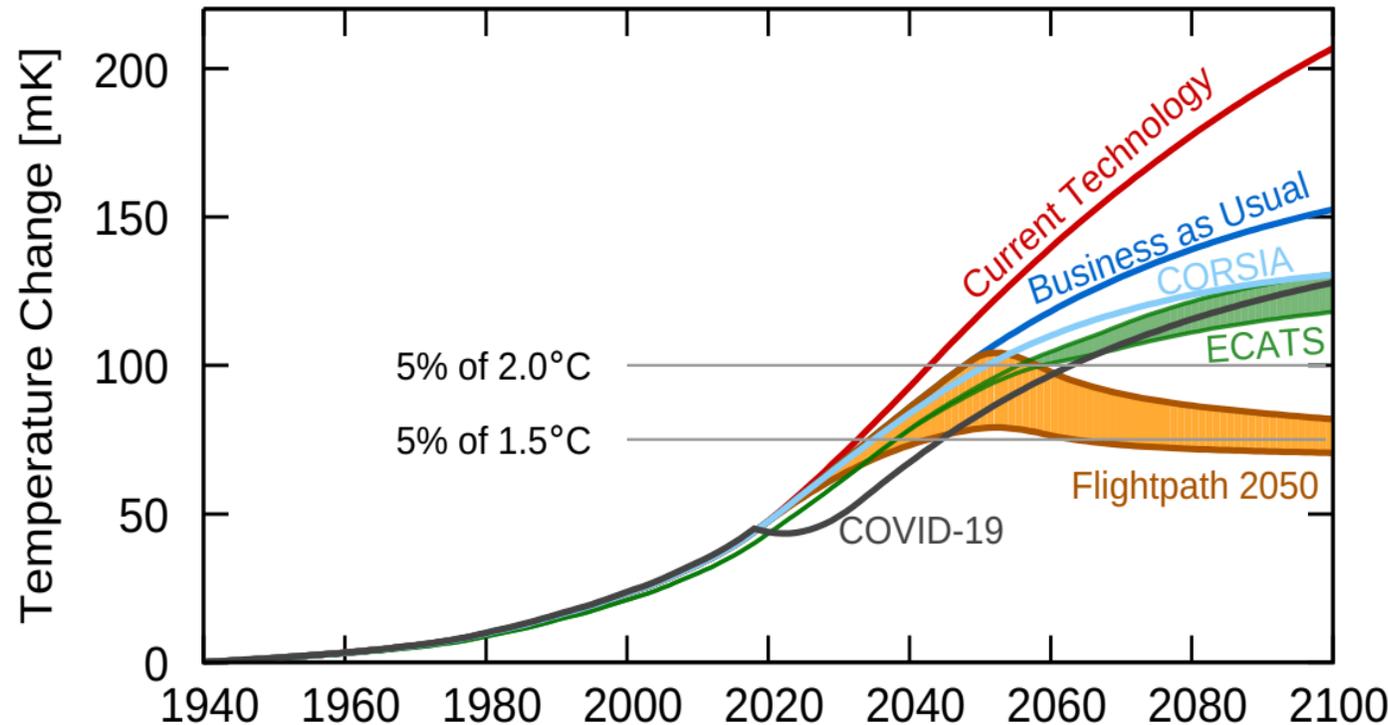
LuFo UPLIFT – Plattform für flugzeuggetragene Untersuchung von H₂ Technologien



Bewertung der Klimaeffekte des Luftverkehrs - Zukunft



Relating top-level aviation targets (CORSA, Flightpath2050) to the Paris Agreement



BAU / CORSA

- Keine Stabilisierung
- > 5% der 1.5°C and 2.0°C

Flightpath 2050

- Stabilisierung der Temperatur auf 5% der 1.5 and 2.0°C

- Ohne Maßnahmen und Regelungen wird der Luftverkehrsbeitrag zur Erwärmung weiter steigen
- **Nicht-CO₂ Effekte müssen berücksichtigt werden.**

Einrichtung eines EU-weiten Monitoring Reporting and Verification Systems MRV

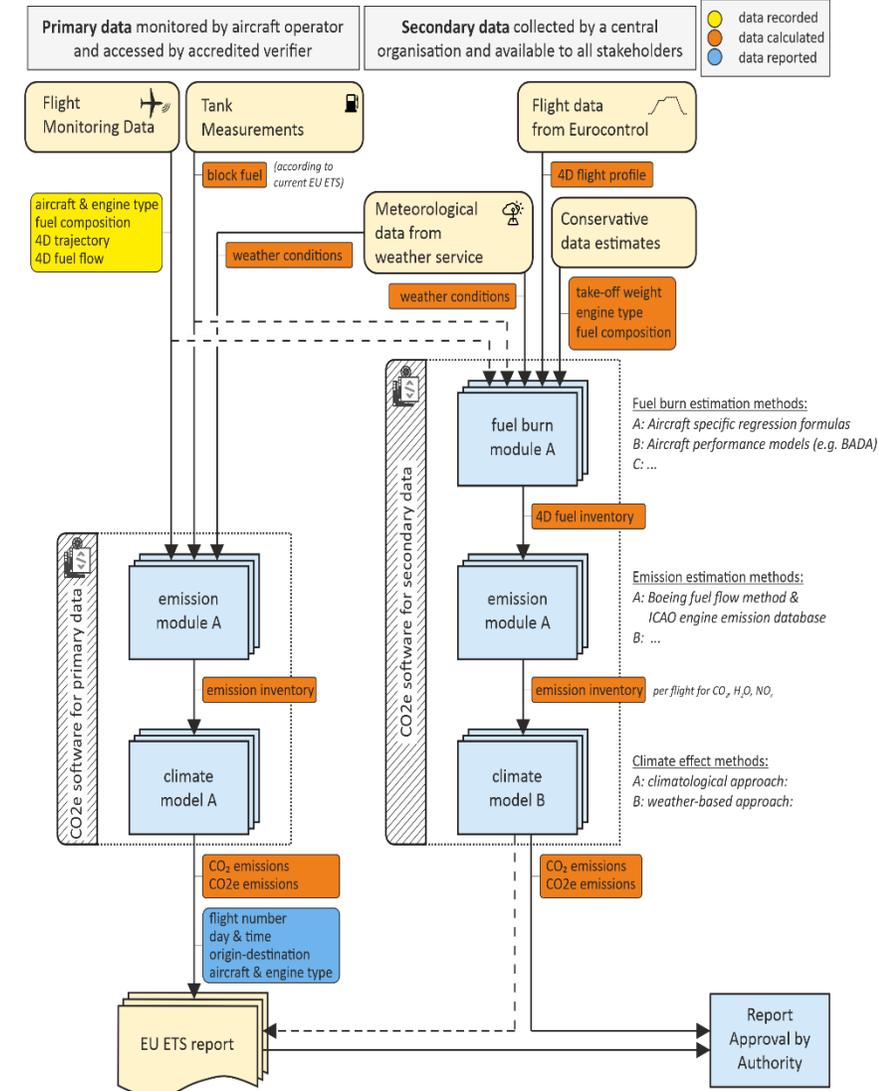


Zeitplan für das MRV

- **Mai 2023:** Revision des EU ETS gefordert durch das europäische Parlament → Einrichtung eines MRV für Nicht-CO₂-Effekte
- **Ab Jan 2025:** Jede Fluggesellschaft muss Nicht-CO₂-Effekte dokumentieren und berichten
- **Bis Dez 2027:** EU Kommission wird gesetzgebenden Entwurf einreichen, evtl. zur Mitigation der non-CO₂-Effekte durch Erweiterung der EU ETS ab Jan 2028

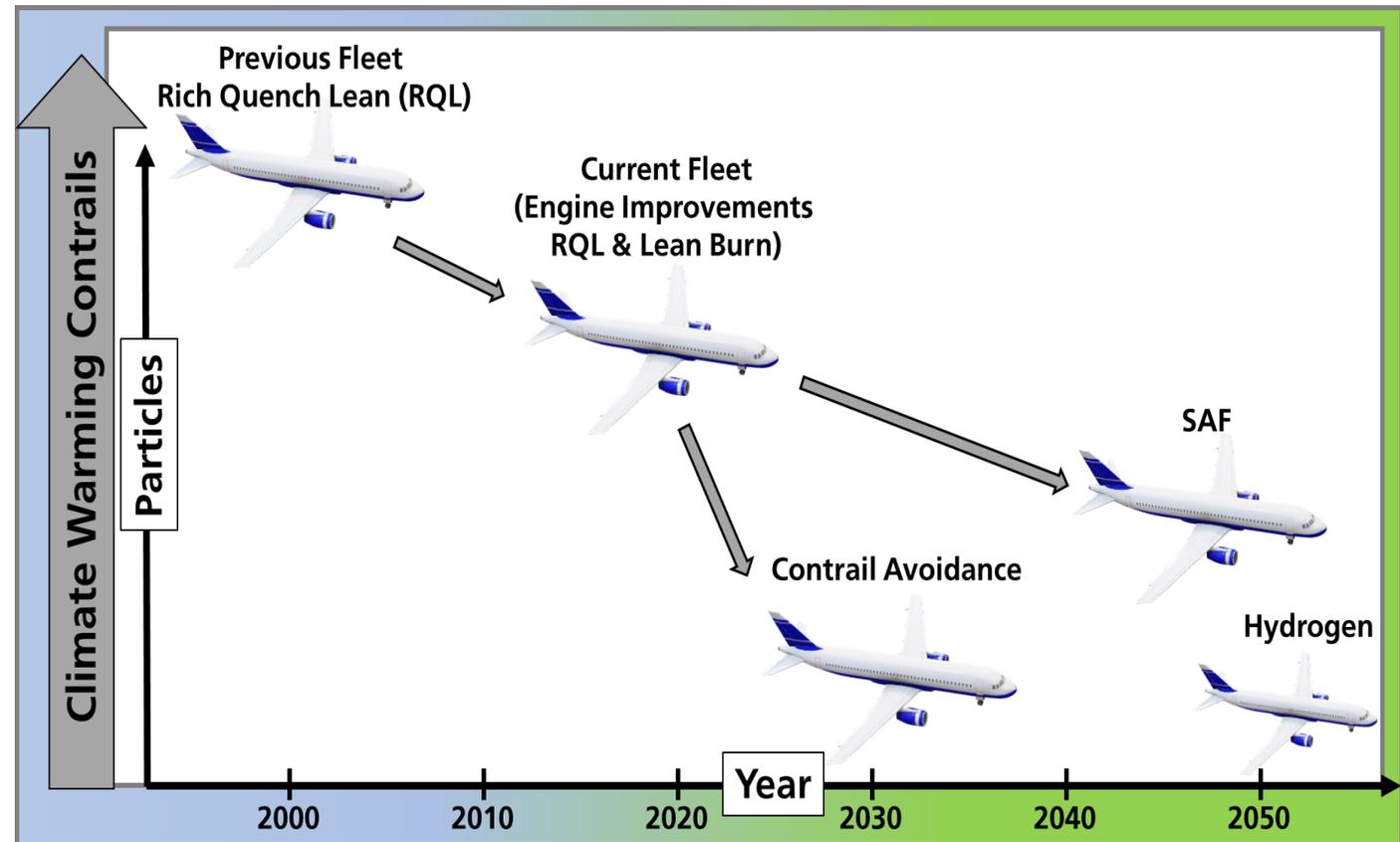
Generelle Information MRV

- Kompromiss zwischen Genauigkeit/Potential und Aufwand
- System mit Primär- und Sekundärdaten zu entwickeln (Abbildung)
- MRV muss für neue Erkenntnisse und Entwicklungen offen sein
- Unsicherheits- und Risikoanalyse noch zu erstellen.



Ausblick

- Der **Luftverkehr der Zukunft** erfordert **Reduzierung** von **CO₂ & Nicht-CO₂**
- Hierfür ist **jede Technologie / Maßnahme wichtig** und deren **Erforschung** und **Umsetzung**.
- Die Erreichen der **Pariser Klimaziele** erfordert **Regelungen zur Mitigation der Nicht-CO₂ Effekte** und die schnelle **Umsetzung**



Danke



Christiane.Voigt@dlr.de

From emissions to climate impact the Pycontrails COCIP model

Input:

Aircraft technical/performance data
(BADA)
Engine model: DLR FF,T2T4, MEEM

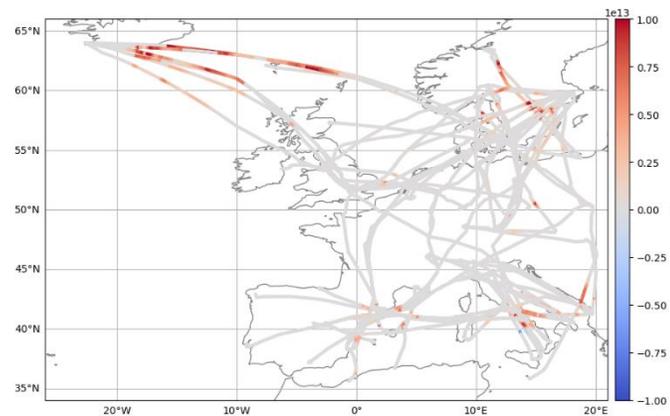


Flight trajectories
Num. weather predictions (ECMWF)



Output – Single Flight

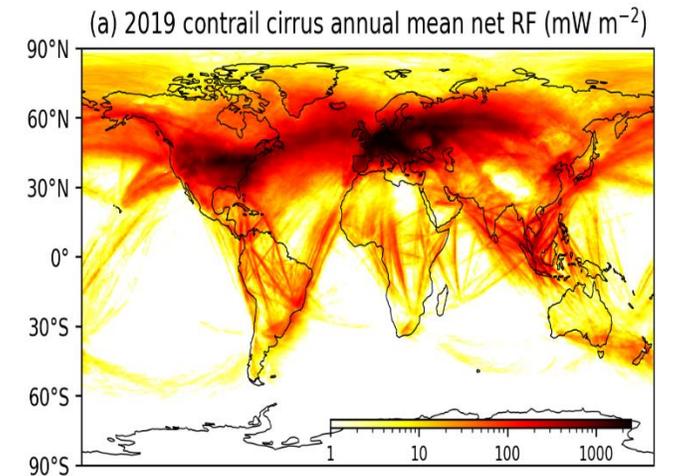
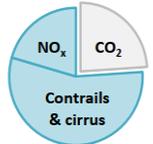
EI CO₂, EI soot, EI H₂O, EI NO_x,
Contrails
Climate impact of CO₂ and contrails



$$EF = \int_{lifetime} RF_{nets}(t', s) W(t', s) dt'$$

Output – Fleet

Contrails, CO₂
RF, EF, GWP to
compare CO₂ and non-CO₂



$$CFP \sim m_F \{ CFP_{CO_2} + EI_{soot}^{1/3} CFP_{COCIP} + \dots \}$$

Messung und Überwachung von Non-CO₂-Effekten

Wolf-Dietrich Kindt

Bundesverband der deutschen Luftverkehrswirtschaft



Entstehung und Wirkung von Non-CO₂-Effekten

Messung und Überwachung von Non-CO₂-Effekten

Mitigation von Non-CO₂-Effekten durch Optimierung der Routenführung

Die Kraftstoffzusammensetzung als Mitigationsoption für Non-CO₂-Effekte

Politikinstrumente zur Mitigation von Non-CO₂-Effekten

Panel

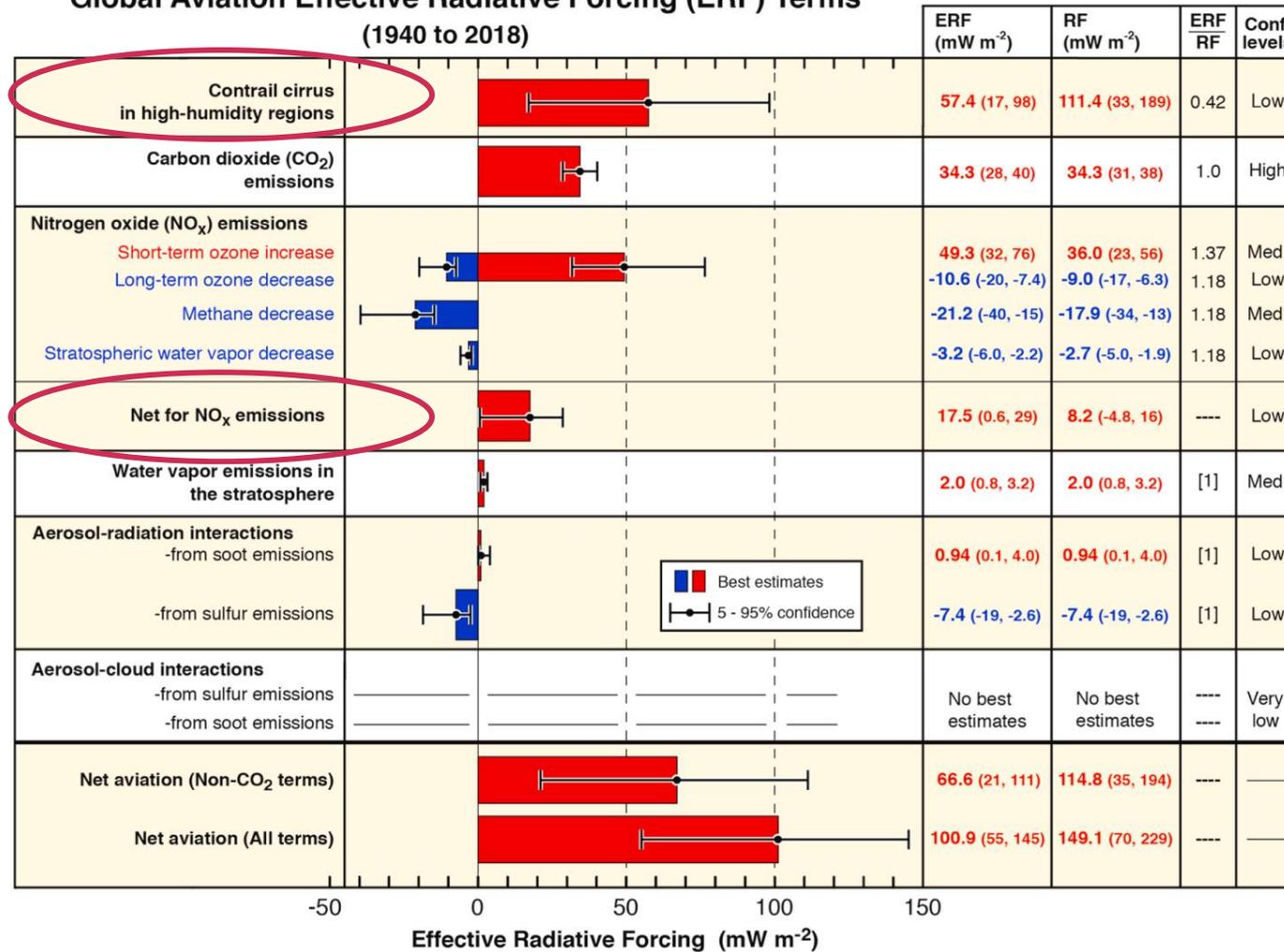
Wrap-Up

Messung und Überwachung von Non-CO₂- Effekten

Berlin, 18. April 2024

Was sind die wesentlichen Non-CO₂-Effekte

Global Aviation Effective Radiative Forcing (ERF) Terms
(1940 to 2018)



- **keine Messung am Flugzeug**
- **keine Daten für Reiseflug im Rahmen der Triebwerkszulassung**

- **Keine konstante Klimawirkung → Abhängigkeit von atmosphärischen Bedingungen**

→ **Modellierung**

- Aufbau von Ozon (wärmend)
- Abbau von Methan (kühlend)
- Netto-Wirkung (wärmend)

- **Was ist zu messen?**

- Dicke? Länge? Lebensdauer?
- Keine Aussage über Klimawirkung

- **Modellierung Klimawirksamkeit**

- Atmosphärische Bedingungen (Eisübersättigung, Temperatur, Wind, Sonneneinstrahlung,...)
- Kraftstoffzusammensetzung

- **Zuverlässigkeit von Modellen?**

- Entsteht ein Kondensstreifen?
- Wie lange und wo besteht der Kondensstreifen?
- Formiert sich der Kondensstreifen zu einer Zirre?
- Wie klimawirksam ist der Kondensstreifen?

▪ **Monitoring, Reporting, Verification (MRV)**

- verfügbare dreidimensionalen Flugbahndaten des Luftfahrzeugs ✓
- Umgebungsfeuchtigkeit ✗
- Umgebungstemperatur ✓

→ Berechnung eines CO₂-Äquivalent pro Flug ?

→ Verschiedene Metriken

→ ATR 25 50 100

→ GWP 25 50 100



Modellierung

- Kraftstoffverbrauch
- Triebwerksemissionen

Monitoring

- Fluginformationen
- Flugweg, mindestens definiert als der letzte Flugplan;
- Erweiterte Wetterdaten;
- Informationen über die Eigenschaften des Flugzeugs
- Flugleistungsdaten (fakultativ)
- Kraftstoffeigenschaften.

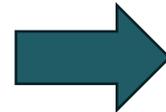
Für jeden Flug zu erheben:

- Luftdruck,
- Umgebungstemperatur,
- spezifische Luftfeuchtigkeit,
- relative Luftfeuchtigkeit über Eis,
- Ost- und Nordwind,
- vertikale Windgeschwindigkeit,
- spezifischer Wolken-Eis-Wassergehalt,
- Geopotential (m^2/s^2),
- ausgehende langwellige Strahlung,
- reflektierte Sonnenstrahlung,
- direkte Sonnenstrahlung

Wetterbasierter Ansatz soll berechnen

- (a) Composition changes;
- (b) Temporal evolution of radiative forcing caused by composition changes; and
- (c) Near surface temperature changes caused by flight trajectory-dependent aircraft emissions.

→ **NON-CO2 AVIATION EFFECTS TRACKING SYSTEM** „NEATS“ (oder zugelassenes alternatives Tool)



Efficacy → CO₂eq: GWP
20, 50, 100

- **Regulierung muss auf solider wissenschaftlicher Basis stehen**
- **Berichtspflichten müssen erfüllbar sein**
- **Bericht nur sinnvoll, wenn berichtete Daten solide sind**
- **Bericht nur sinnvoll, wenn Daten zielführend genutzt werden können**
- **Transparente Methoden**
- **Bürokratischer Aufwand vs. Nutzen?**
- **Wissenschaftliche Überwachung statt Berichtspflicht auf Unternehmensebene?**

- **Regulierung ab 2028**
 - Zeithorizont realistisch?
 - Vermeidung vs. Bepreisung?

Kontakt



Wolf-Dietrich Kindt

Leiter Klima- und Umweltschutz

wolf.kindt@bdl.aero

+49 (0)30 520 077 - 140

Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft e. V.

Haus der Luftfahrt | Friedrichstraße 79 | 10117 Berlin

www.bdl.aero

Mitigation von Non-CO₂-Effekten durch Optimierung der Routenführung

Dr. Ralph Leemüller
Deutsche Flugsicherung



Entstehung und Wirkung von Non-CO₂-Effekten

Messung und Überwachung von Non-CO₂-Effekten

Mitigation von Non-CO₂-Effekten durch Optimierung der Routenführung

Die Kraftstoffzusammensetzung als Mitigationsoption für Non-CO₂-Effekte

Politikinstrumente zur Mitigation von Non-CO₂-Effekten

Panel

Wrap-Up

Mitigation von Non-CO₂-Effekten durch Optimierung der Routenführung (Projekt D-KULT)

Dr. Ralph Leemüller, DFS

CENA Hessen – Hessische Landesvertretung
Berlin, 18.04.2024

D-KULT (Demonstrator Klima- und Umweltfreundlicher Lufttransport)

Luftfahrtforschungsprogramm der Bundesregierung (LuFo VI-2)

Mit dem Forschungsprojekt D-KULT soll untersucht werden, ob die Entstehung und Ausbreitung langlebiger Kondensstreifen-Zirren im täglichen Flugbetrieb vermieden werden können:

- Indem der Fluglotse die Flugzeuge entweder kurzfristig umlenkt oder die Flugrouten bereits mit der Flugplanung, also vor dem Beginn des Fluges, optimiert werden.
- Integration des Probebetriebs „100 Testflüge (TF-100)“ des Arbeitskreises Klimaneutrale Luftfahrt (AKKL) in D-KULT.
- Implementierung von klimafreundlichen (ökoeffizienten) Flugtrajektorien in Flugplanungssysteme bei Lufthansa Systems (Lido) & PACE (FPO). Simulationen sollen Aufschluss geben, ob und unter welchen Bedingungen eine Optimierung auf Basis von Klimafunktionen, sogenannten aCCF (algorithmic Climate Change Function), möglich ist.

Erwartetes Ergebnis: Handlungsempfehlungen für die Luftfahrtbranche, Wissenschaft und Politik

Laufzeit: Juni 2022 – Mai 2025



Gefördert durch:

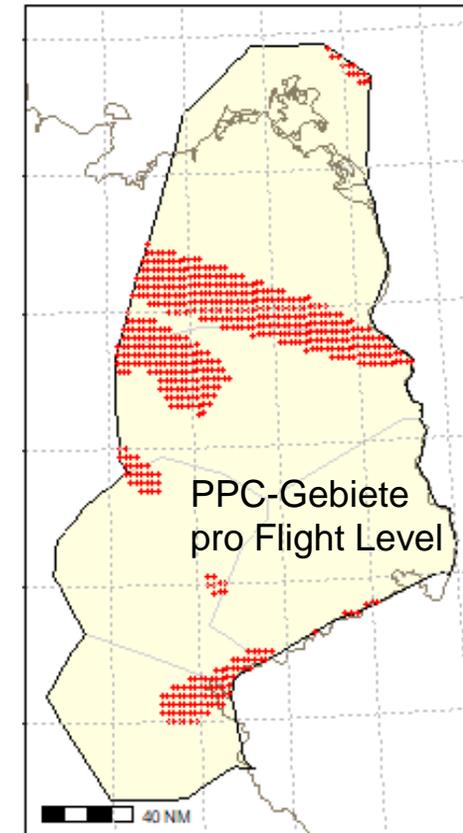


aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

D-KULT: Aktueller Stand

Bisherige Ergebnisse

- Tool zur Darstellung der „Potential Persistent Contrails“ (PPC)-Gebiete bei der DFS. Grafische Darstellung der Wetterdaten bis zum Vermeidungsgebiet für Lotsen.
- Definition und Ausgabe neuer WAWFOR-Klimapakete durch den DWD.
- Neues Modell zur Eisübersättigung beim DWD wurde umgesetzt.
- Entwurf eines Betriebskonzepts mit dem Betriebsbüro des Oberen Luftraums Karlsruhe der DFS.
- Durchführung einer Realzeitsimulation (RTS) bei aktiver Vermeidung von PPC-Gebieten durch die DFS (taktische Anweisungen Lotsen).
- Im Auftrag des AKKL: Durchführung von 100 realen Testflügen mit ökoeffizienten Flugrouten (verschiedene Airlines).



D-KULT: Überraschungen

Erkenntnisse über den Stand der Grundlagen

- In der Forschung sind mehrere Parameter zur Bestimmung der PPC-Gebiete nicht einheitlich festgelegt worden:
 - durchschnittlicher Effizienzwert der Triebwerke ($\eta = 0,365$, für das Schmitt-Appleman-Kriterium - thermodynamisches Gleichgewicht beim Ausstoß des Wasserdampfes eines Triebwerks),
 - Fehlergröße der Unterschätzung der relativen Luftfeuchte bei den DWD-Modellierungsdaten (Abweichung -7% \rightarrow ISS-Threshold= 93%)
 - \rightarrow Auswirkungen auf Größe & vertikale Dicke der PPC-Gebiete.
- Festlegung wesentlicher Parameter zur Bestimmung der PPC-Gebiete.
- Die natürliche Bewölkungssituationen wurde bei bisherigen Versuchsbedingungen nicht berücksichtigt.
- Zeitliche Vorläufe der Bereitstellung der Daten durch den DWD und weitere Berechnungen durch die Systeme beeinflussen den Prognosehorizont mit wachsenden Ungenauigkeiten.

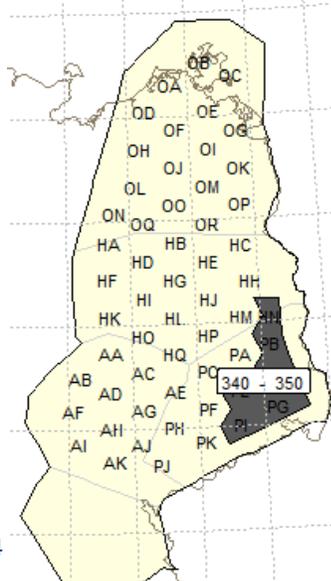
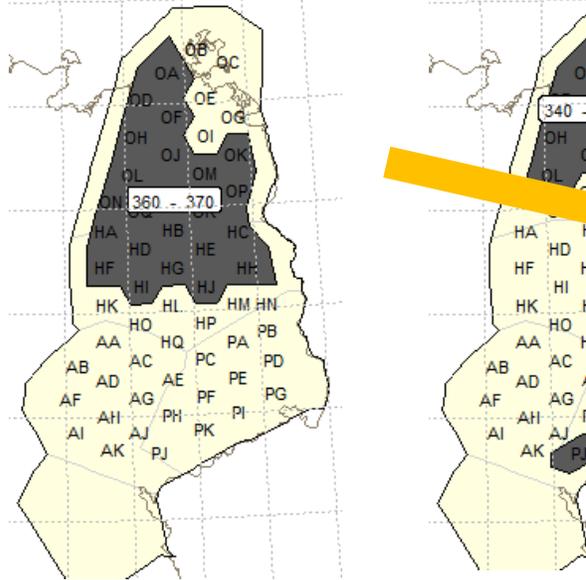
Realzeitsimulation bei der DFS

Durchführung der Echtzeitsimulation (KASIM) im Center Karlsruhe - **Simulationsziele**

- Machbarkeit der Vermeidung von PPC-Gebieten
- Überprüfung eines Betriebskonzepts
- Darstellung der PPC-Gebiete auf dem Lotsenarbeitsplatz
- Umfangreiche Variationen:
 - Sektor-Konfigurationen
 - Verkehrsbeispiele
 - PPC-Gebiete (Größe, Lage, Dicke, zeitliches Verhalten)



Realzeitsimulation bei der Darstellung PPC-Gebiete



Lotsenarbeitsplatz - Radarschirm

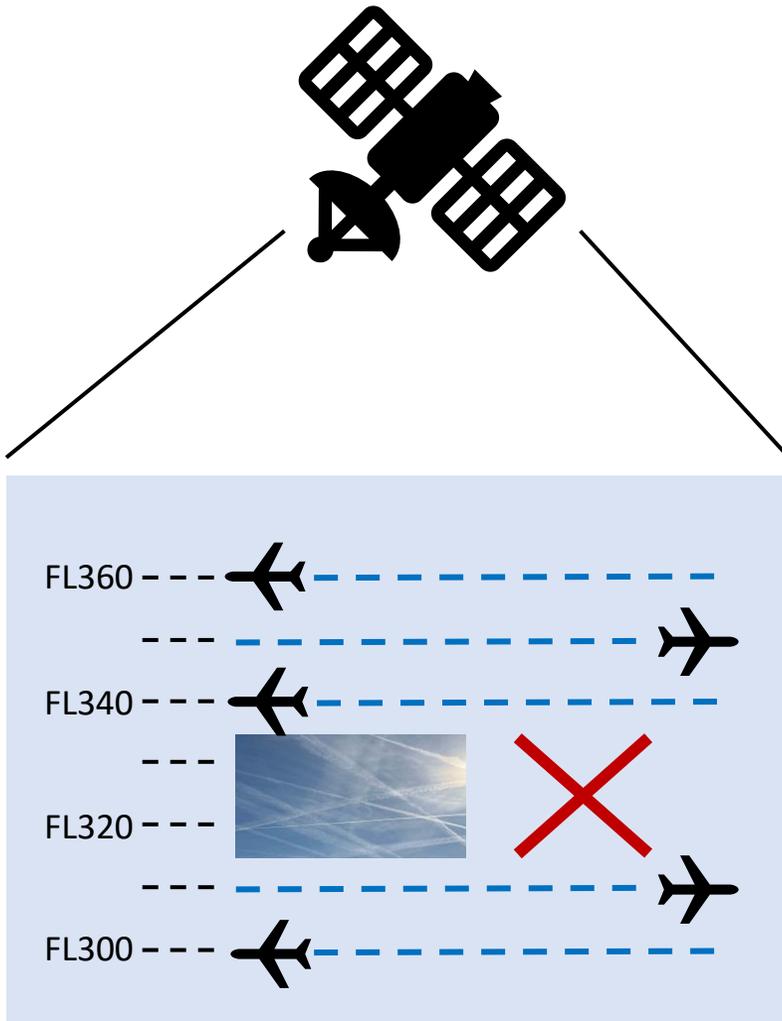
Realzeitsimulation bei der DFS

Vorläufige Erkenntnisse

- Das Vermeiden der PPC-Gebiete ist grundsätzlich durchführbar.
- Das Betriebskonzept wurde während der Durchführung mehrmals justiert.
- Die Lotsen berichteten von übermäßiger Arbeitslast, welche hohe Kapazitätseinschränkungen nach sich ziehen wird.
- Die Lage der PPC-Gebiete im Sektor (z.B. Flugrouten) haben Einfluss auf die Kapazität und Arbeitsbelastung.
- Es wurden sicherheitsrelevante Punkte erfasst, die erst noch bewertet werden müssen.
-> Eine Lösung dieser Punkte ist für eine betriebliche Umsetzung zwingend notwendig.
- Die Darstellung der PPC-Gebiete auf dem Lotsen-Arbeitsplatz ist zu überarbeiten.

Ziele des Probebetriebs (100 Testflüge)

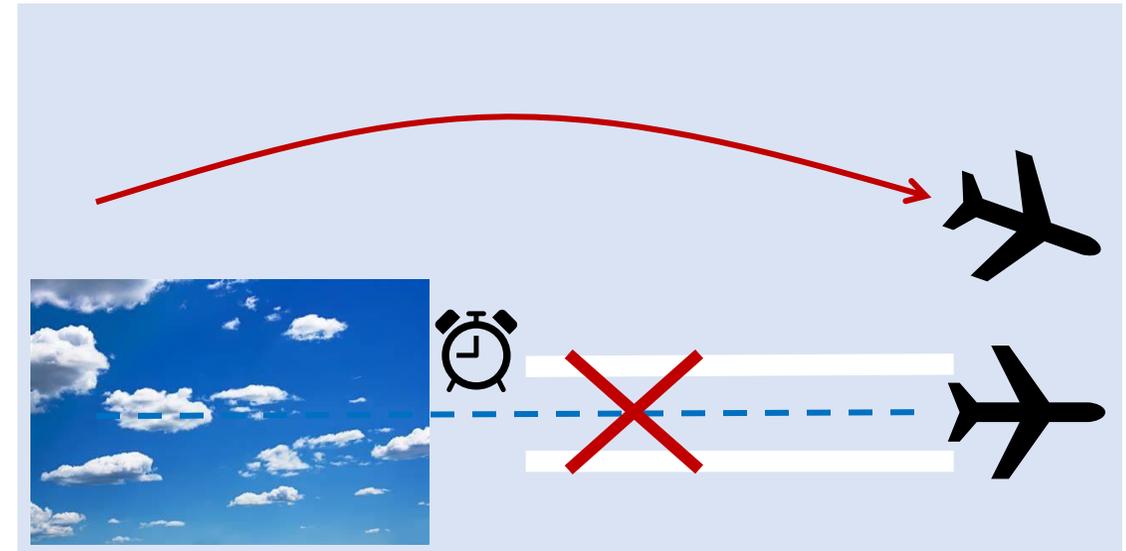
Schematischer Versuchsaufbau



TF-100: strategische Flugplanung seitens

→ DFS (Flugsicherungen): „fly as filed“

→ Flug soll durch Lotsen nicht verändert werden



Es wird durch den Versuch festgestellt, dass bei Einhaltung der Versuchsbedingungen keine persistenten Kondensstreifen entstehen.

Zusammenfassung

- Die Vermeidung von PPC-Gebieten ist komplex
- Unsicherheiten in der Datengenauigkeit sind groß
- Eine Umsetzung im Flugsicherungsbetrieb wird Einschränkungen der Kapazität nach sich ziehen
- Die Auswertung durch den Satelliten (MSG) lässt in der Regel keinen Rückschluss auf einen Einzelflug zu → aufwändige Auswertung
- Fehlende Kenntnisse zur Bewertung von Einzelereignissen (sogenannte „Big Hits“) in der Vorhersage
- Ergebnisse aus dem Probebetrieb (TF-100) liegen noch nicht vor
- Eine betriebliche Umsetzung der Reduktion von Non-CO₂-Klimawirkungen muss international abgestimmt werden

Fragen?



DFS Deutsche Flugsicherung

Lunch & Networking Break



Die Kraftstoffzusammensetzung als Mitigationsoption für Non-CO₂-Effekte

Dr. Sandra Richter

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Entstehung und Wirkung von Non-CO₂-Effekten

Messung und Überwachung von Non-CO₂-Effekten

Mitigation von Non-CO₂-Effekten durch Optimierung der Routenführung

Die Kraftstoffzusammensetzung als Mitigationsoption für Non-CO₂-Effekte

Politikinstrumente zur Mitigation von Non-CO₂-Effekten

Panel

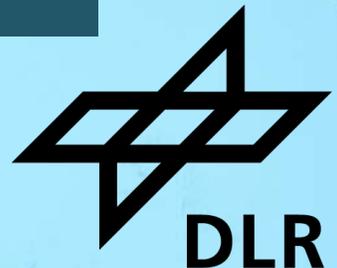
Wrap-Up

Die Kraftstoffzusammensetzung als Mitigationsoption für Non-CO₂- Effekte

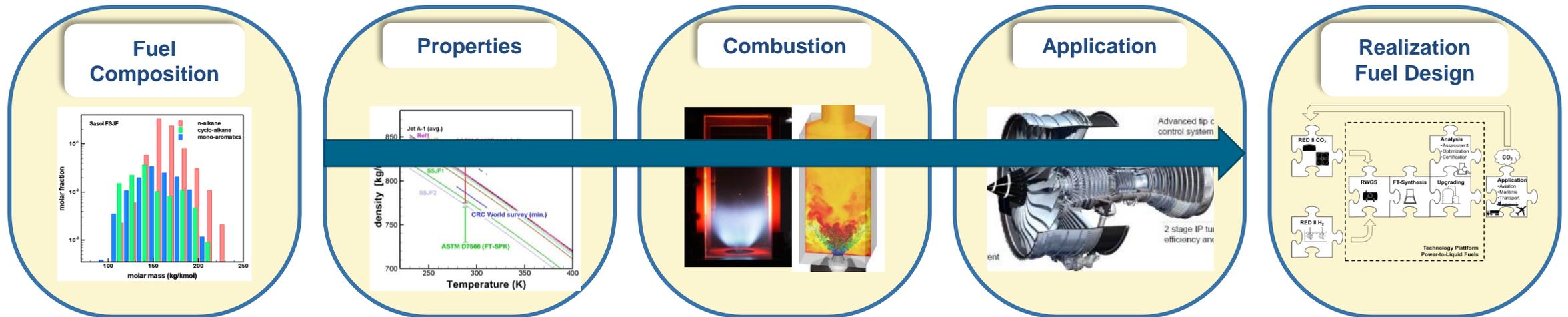
Sandra Richter, Patrick Le Clercq, Georg Eckel

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Verbrennungstechnik

18.04.2024



Impact of Fuel Composition on Environment and Climate





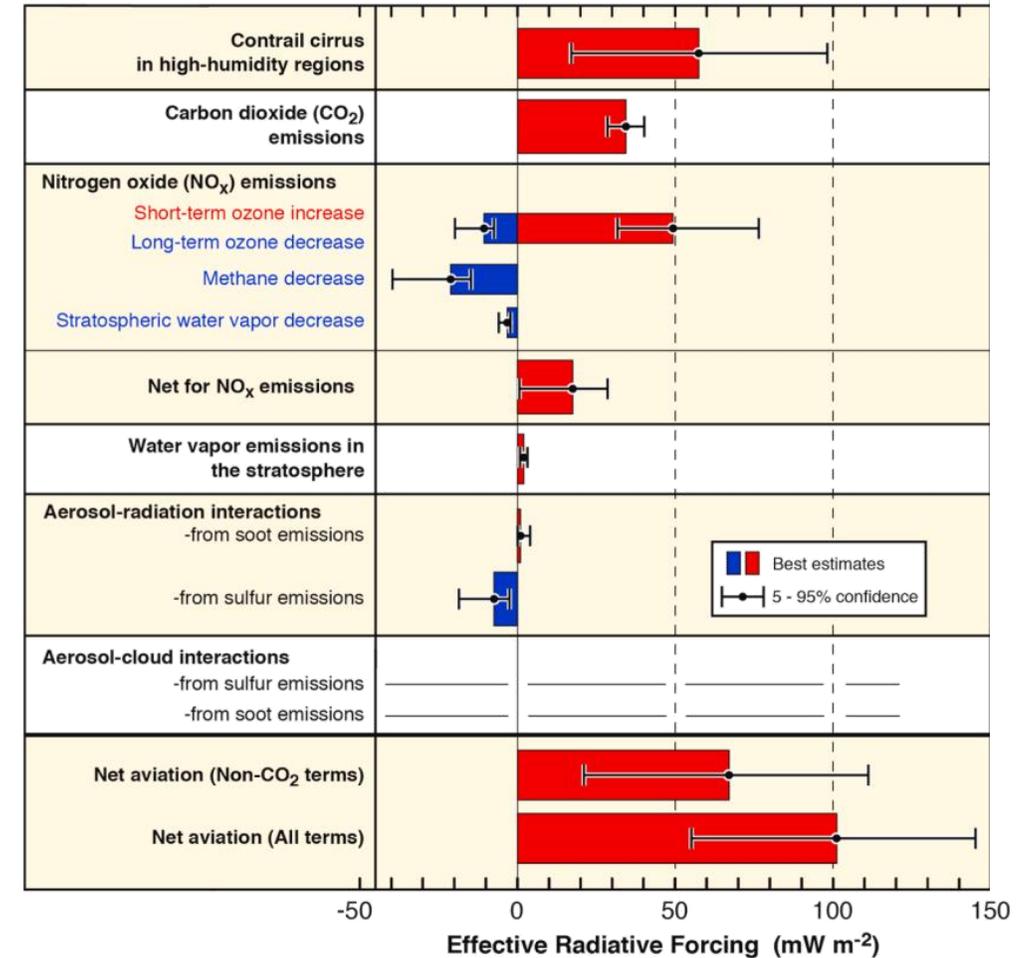
Reducing Environmental and Climate Impact of Aviation

Reducing Environmental and Climate Impact of Aviation

Reducing CO₂ Emissions **AND** non-CO₂ Effects



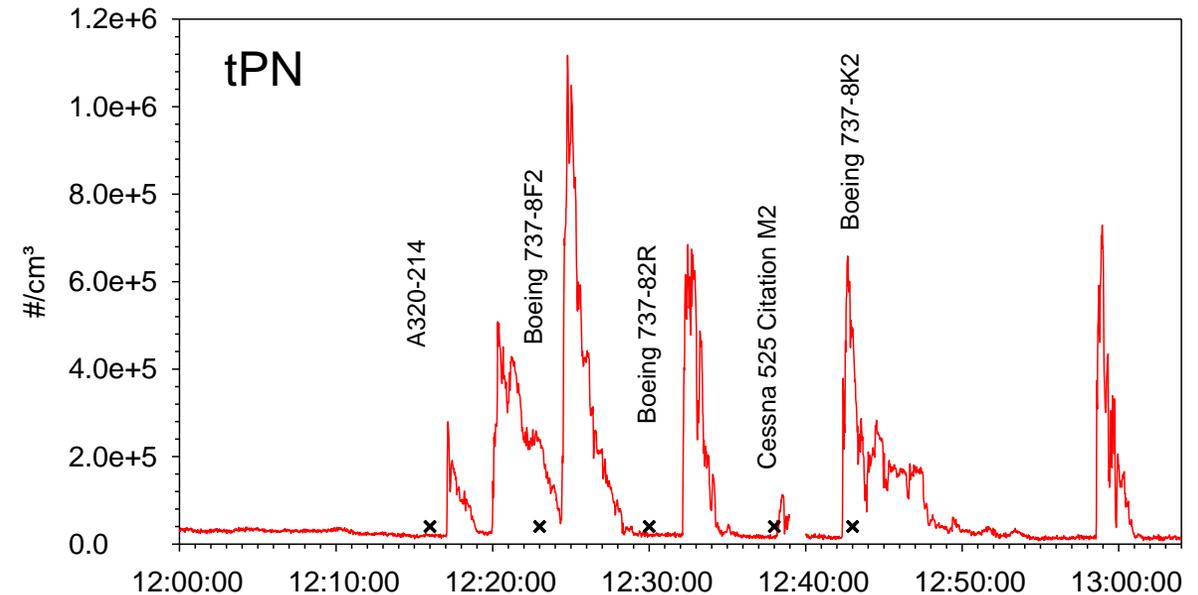
Global Aviation Effective Radiative Forcing (ERF) Terms (1940 to 2018)



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

Reducing Environmental and Climate Impact of Aviation

Reducing the Environmental Impact of Pollutants Emissions



- Monitoring of particle number concentration and particle size distribution
- Volatile and non-volatile particle measurements
- Local air quality assessment

Long-term exposure to ambient levels of fine particulate matter (PM) has been clearly associated with adverse respiratory effects and increased mortality from cardiovascular diseases.



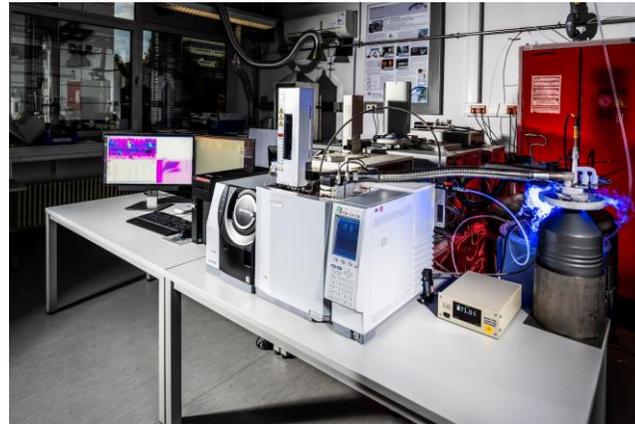
Chemical Composition

Qualitative and Quantitative Fuel Composition Analysis

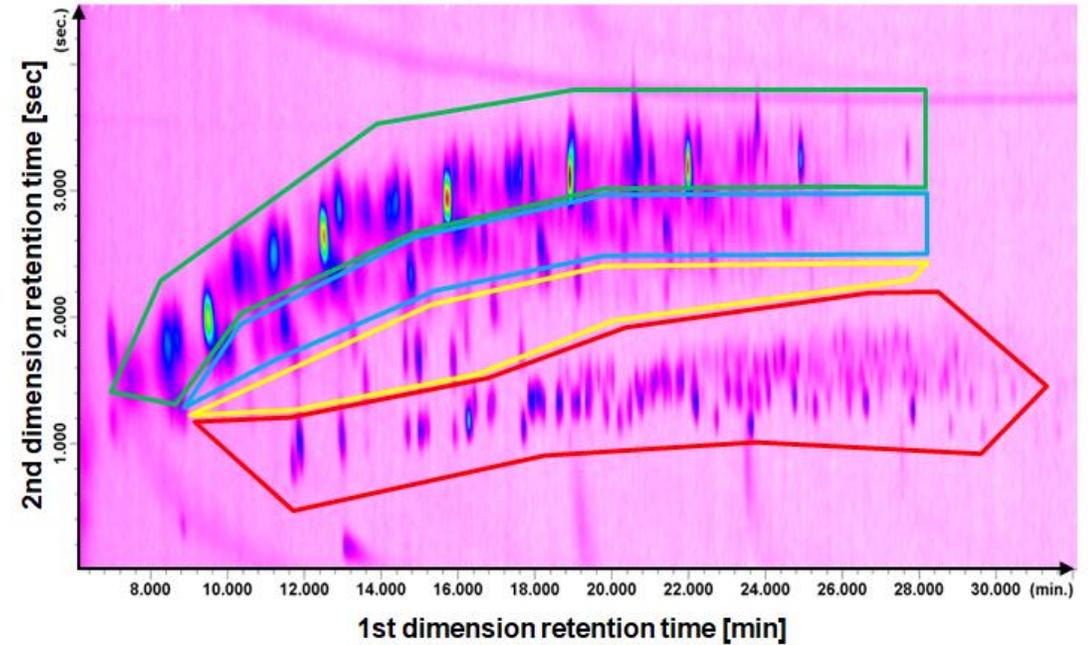
Fuel Sample



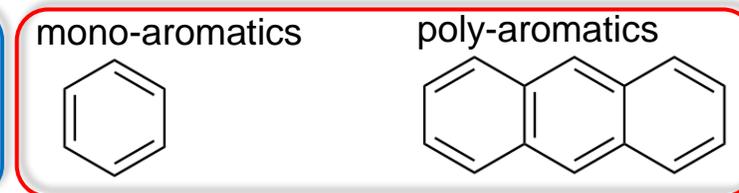
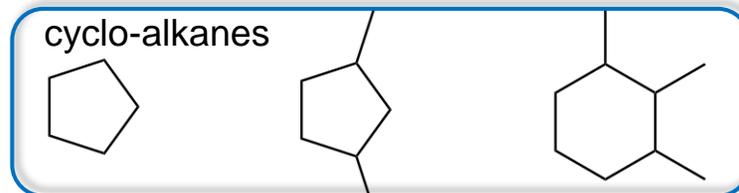
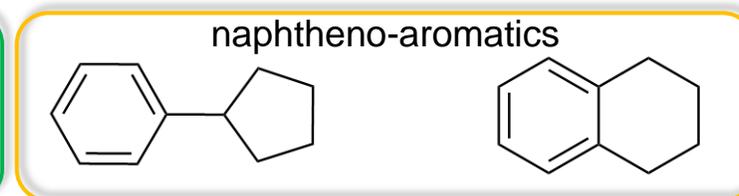
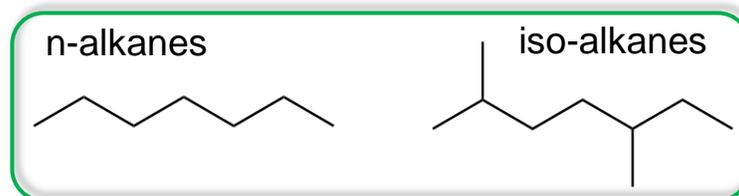
GC x GC



Analysis: Jet A-1 Chromatogramm



➔ Fuel Composition:
(chemical classes)

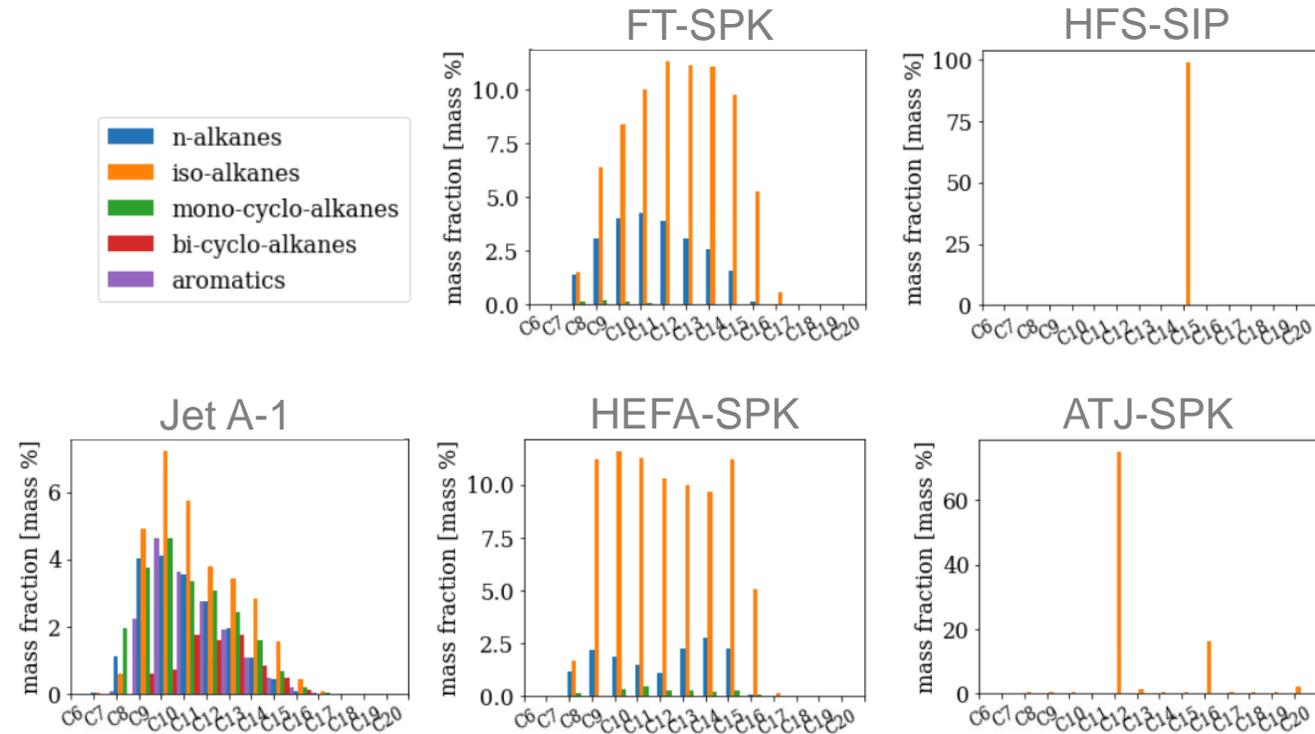


SAF Approval

From Challenges to Feasibility

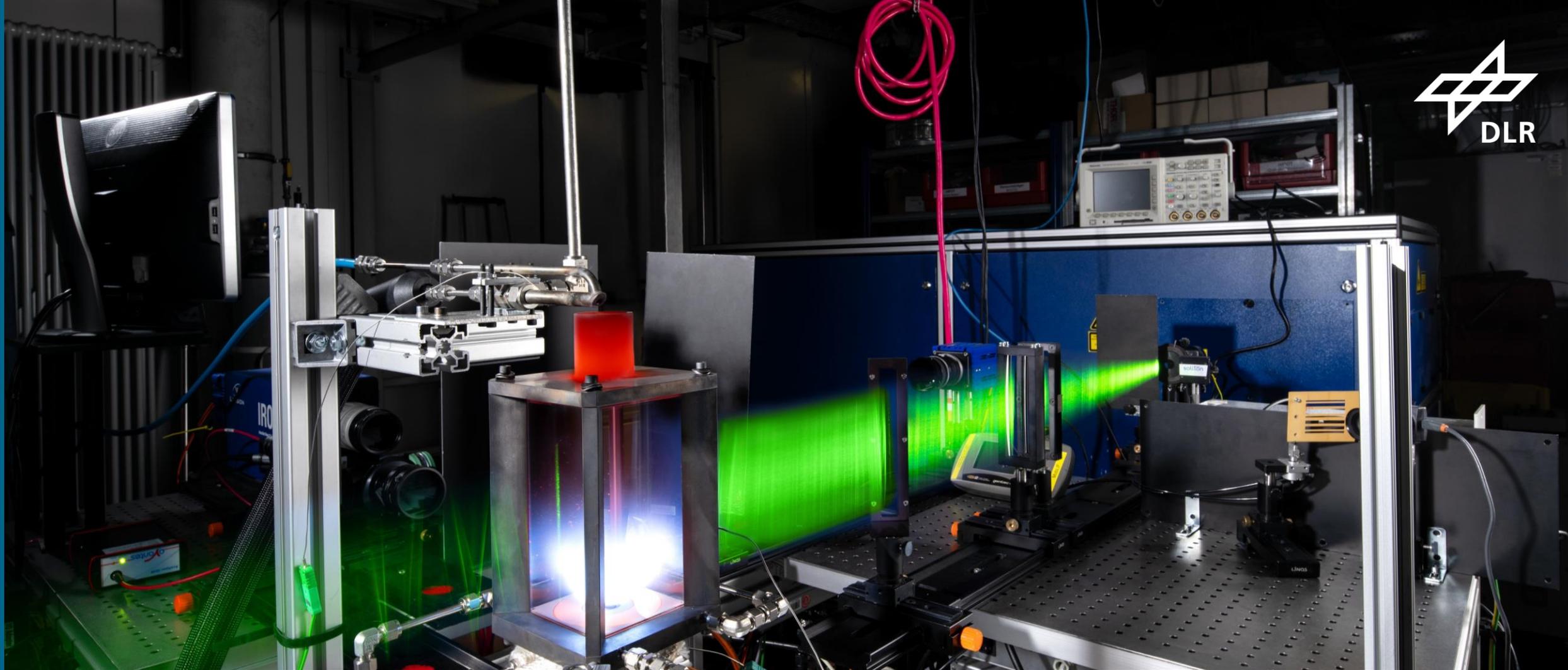
8 pathways included in the ASTM D7566 specifications for aviation fuel containing synthesized hydrocarbons:

- FT-SPK (2009)
- HEFA-SPK (2011)
- HFS-SIP (2014)
- FT-SPK/A (2015)
- ATJ-SPK (2016)
- CHJ (2020)
- HHC-SPK (2020)
- ATJ-SKA (2023)



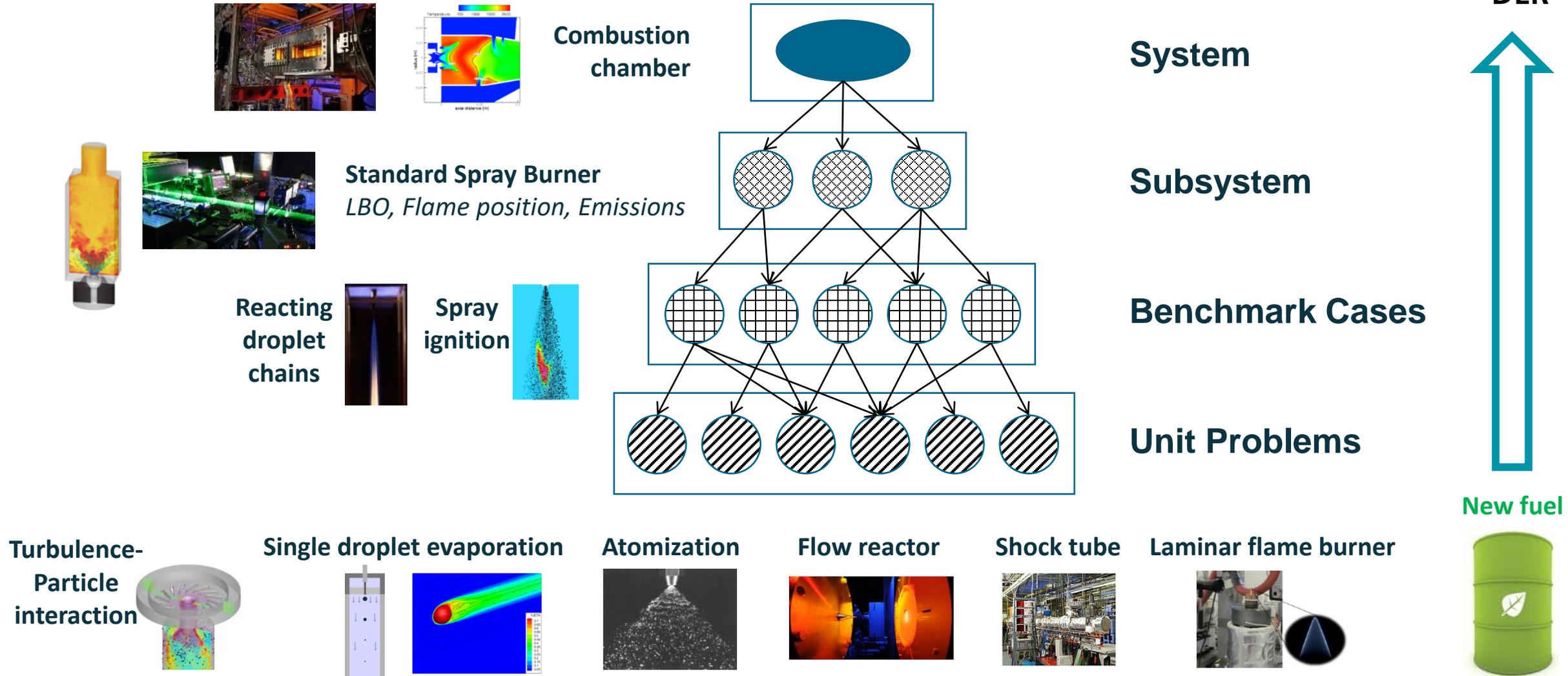
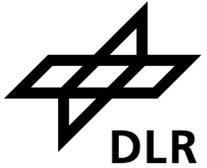
Many more pathways are currently in the ASTM D4054 approval process.

Task forces to develop standard(s) for a) 100% Drop-in SAF (March 2021),
b) 100% SAF without aromatics (Mid 2022)



Combustion System Sub-Processes

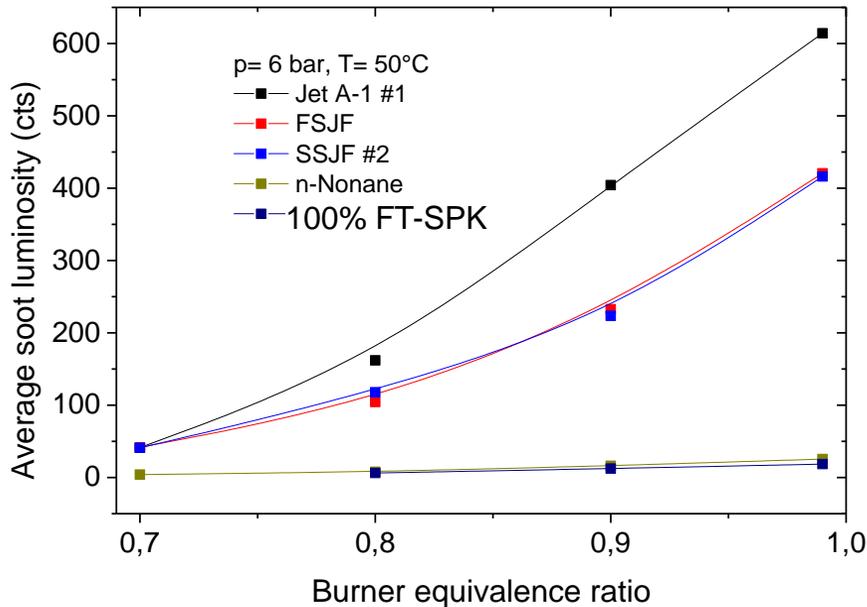
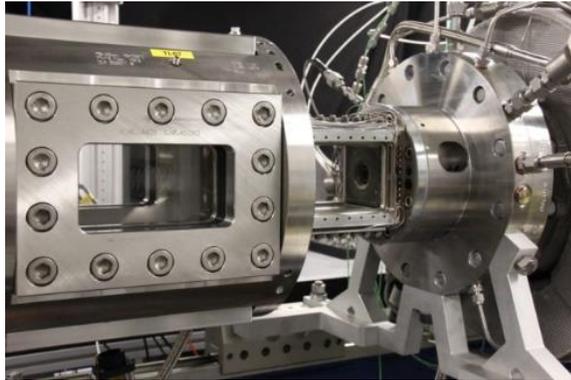
Validation Strategy for Fuel Sensitive Models



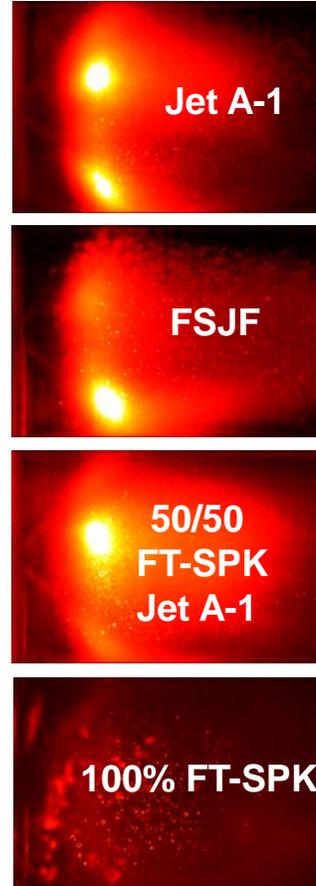
Fuels Impact on Lab-Combustor Soot Emissions



High Pressure single sector rig



Soot luminosity
 $p=6 \text{ bar}$, $T_{\text{air}}=323 \text{ K}$, $\Phi=0.99$



Rig Test 2016

Source: T. Mosbach, DLR, 2016.

Qualitatively

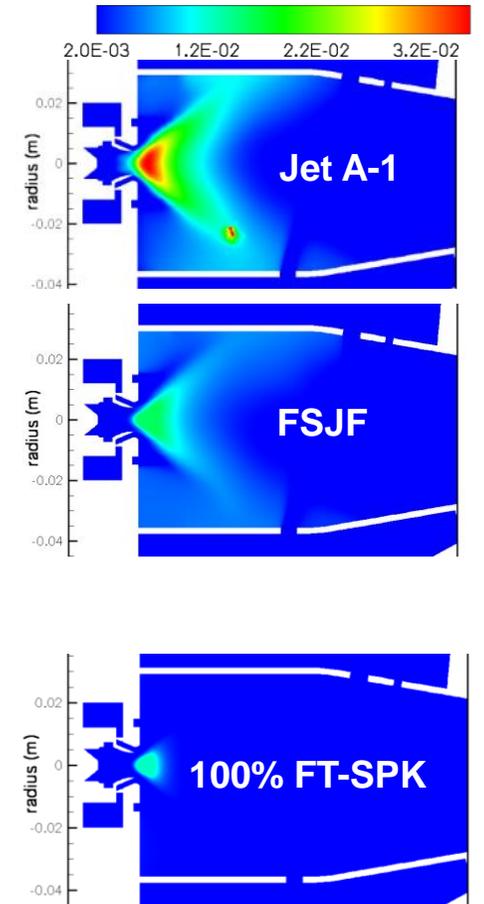
← Experiment:

The lower the aromatics content the lower the average soot luminosity.

Simulation: →

The lower the aromatics content the lower the soot precursor (e.g. benzene) concentration.

Benzene concentration
 $p=6 \text{ bar}$, $T_{\text{air}}=700 \text{ K}$, $\Phi=0.99$



Prediction 2010

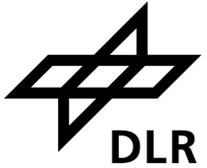
Source: P. Le Clercq *et al*, DLR, AIAA, 2010.



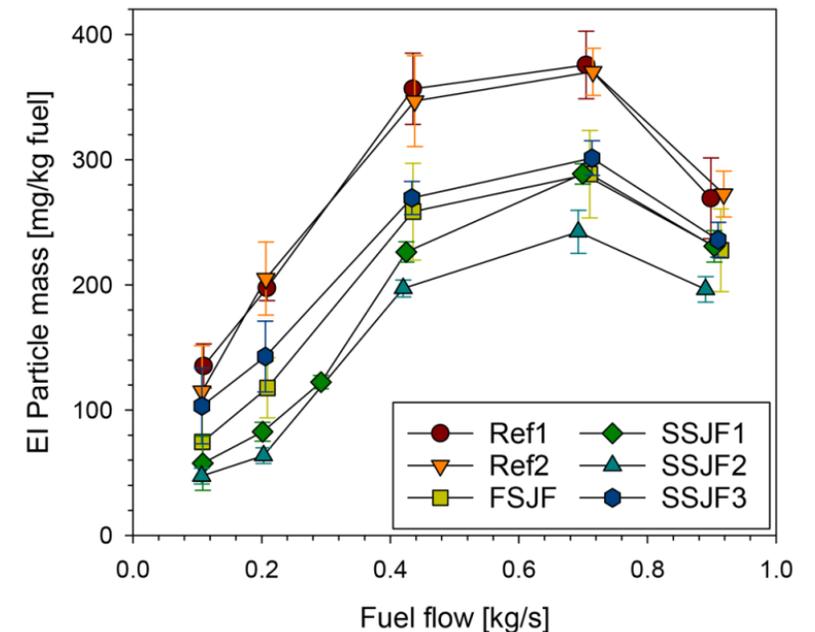
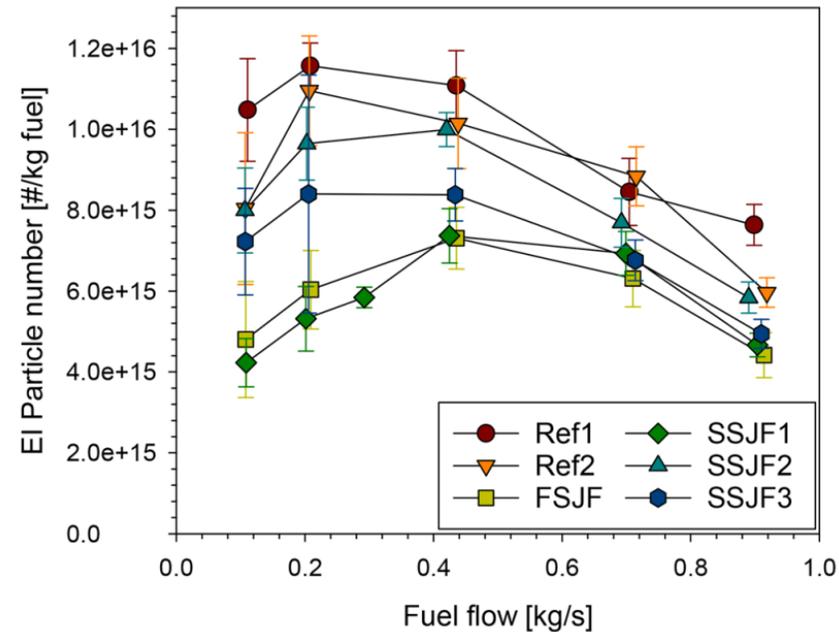
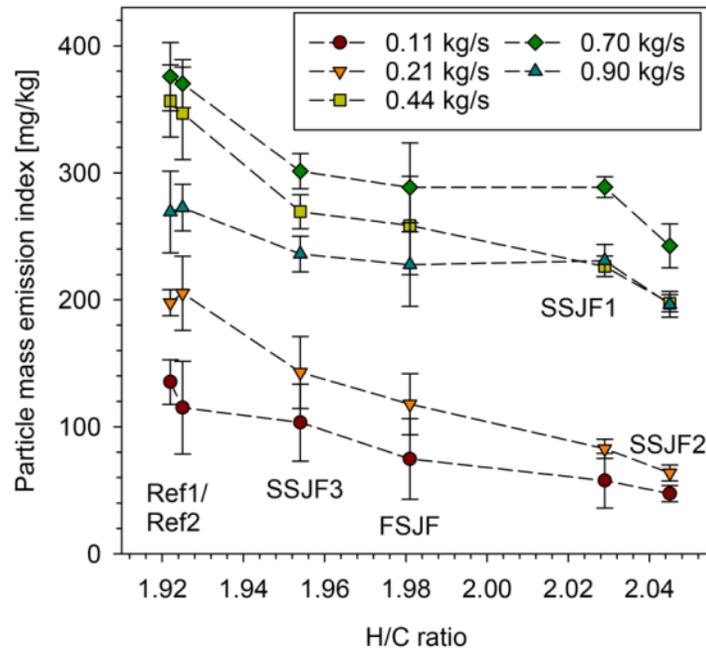
From Lab to Application

Ground Emissions Measurement: ECLIF Campaigns

ECLIF: Emission and Climate Impact of alternative Fuels

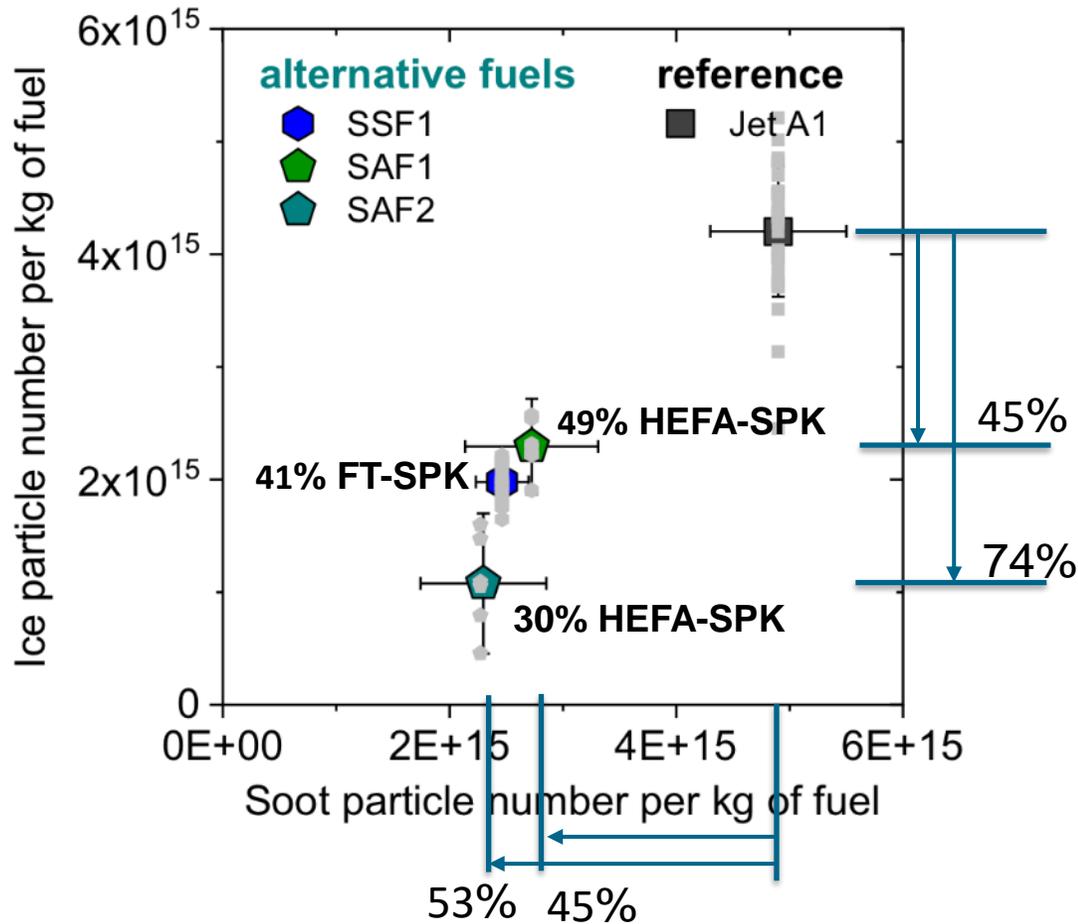


Results from ECLIF I



Schripp, et al., Impact of Alternative Jet Fuels on Engine Exhaust Composition During the 2015 ECLIF Ground-Based Measurements Campaign. ES&T 2018, 52 (8), 4969

ECLIF I&II: Successful Fuel Design Application



Fuel design to reduce CO₂ emissions & non-CO₂ effects:
 30% HEFA-SPK (SAF2), which is currently more realistic from a production capacity and economic perspective leads to greater reductions in soot emissions and ice crystal concentrations than the 49% HEFA-SPK (SAF1) blend.
 → Due to blending with different Jet A-1 fuels

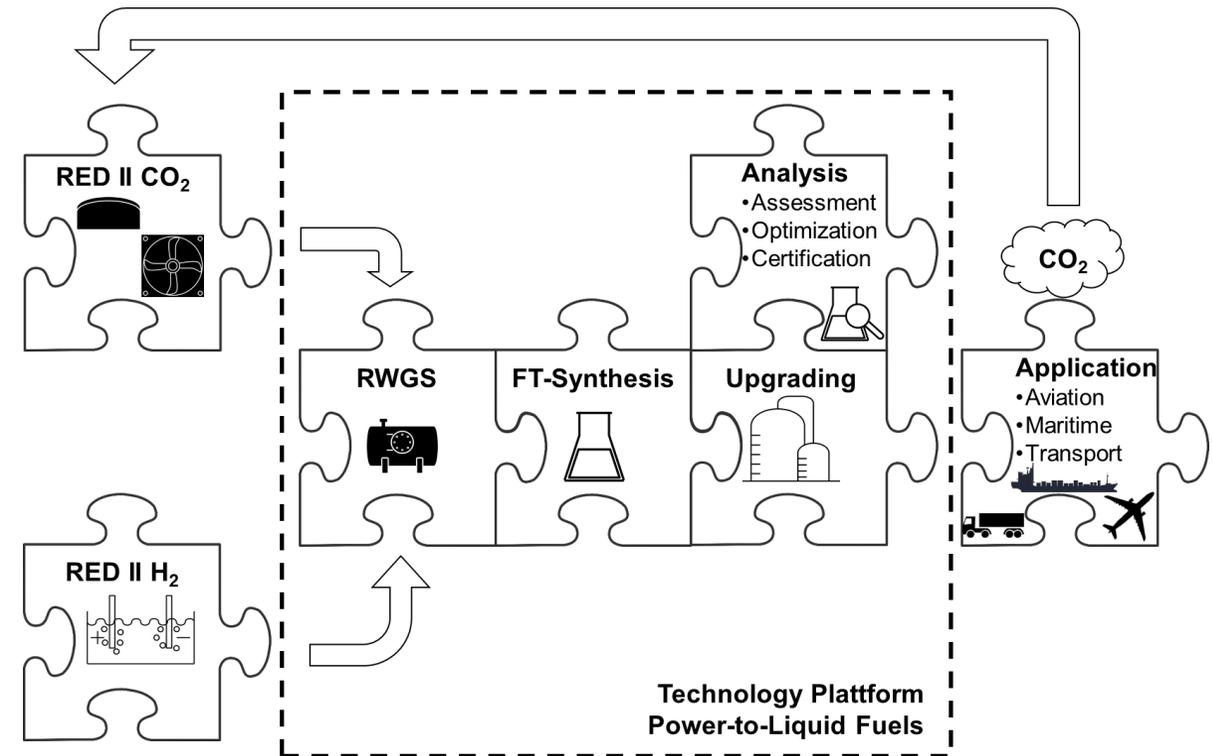
Voigt *et al.* (2021)
 In Commun Earth Environ 2 (1). DOI: 10.1038/s43247-021-00174-y.



Realization Fuel Design

Technology Platform Power-to-Liquid Fuels (TPP)

- Demonstration of PtL-production on a semi-industrial scale (2000-3000 t/a)
- Support for industry regarding technology-development and -scaling
- Optimization of single process steps as well as whole process chain
 - Improvement of (energy) efficiency
 - Reduction of production costs
 - Utilization of off-gases and by-products
- Optimization of PtL-fuels → Fuel Design
 - Reduction of environmental and climate impact by adjustment of composition and properties
 - Optimization of the fuel properties for commercial applications in aviation, shipping and for selected ground-based applications

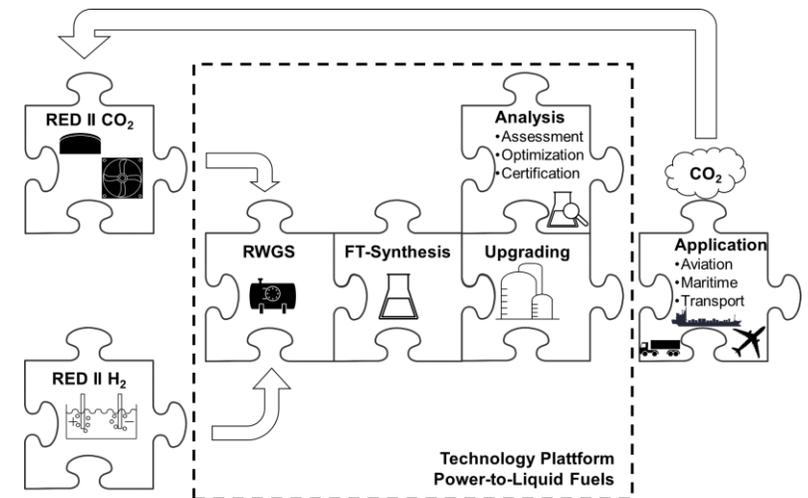


Conclusion and Outlook

- Substantial investigations for understanding the complex relationship
fuel composition ↔ jet engine performance and emissions ↔ environmental and climate impact of aviation

Main mitigation option: SAF

- SAF is **technically feasible**.
 - Flying with SAFs can **reduce the CO₂ footprint by up to 80%** compared to fossil Jet A-1 potentially more with PtL in neat form (100%, no blending).
 - SAFs can **improve air quality** and **reduce contrail cirrus impact on climate**.
- SAFs **deployment/production**
- Optimizing SAF composition** is a major enabler for going towards **“zero-emission aviation”**



Kontakt



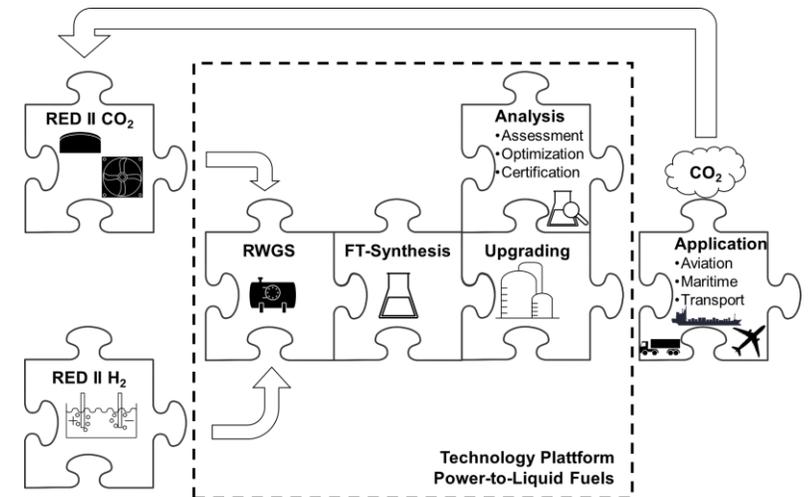
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)

Institut für Verbrennungstechnik | Pfaffenwaldring 38-40 | 70569 Stuttgart

Dr.-Ing. **Sandra Richter**

Telefon 0711 6862-8202 | Sandra.Richter@dlr.de

DLR.de



Politikinstrumente zur Mitigation von Non-CO₂-Effekten

Dr. Olaf Hölzer-Schopohl

Umweltbundesamt

Entstehung und Wirkung von Non-CO₂-Effekten

Messung und Überwachung von Non-CO₂-Effekten

Mitigation von Non-CO₂-Effekten durch Optimierung der Routenführung

Die Kraftstoffzusammensetzung als Mitigationsoption für Non-CO₂-Effekte

Politikinstrumente zur Mitigation von Non-CO₂-Effekten

Panel

Wrap-Up

Messen und Steuern von Non-CO₂-Effekten im Luftverkehr



Politikinstrumente zur Mitigation von Nicht-CO₂-Effekten

Dr. Olaf Hölzer-Schopohl

Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt)
Fachgebietsleitung V 3.6 – Luftverkehr
18.04.2024, Berlin

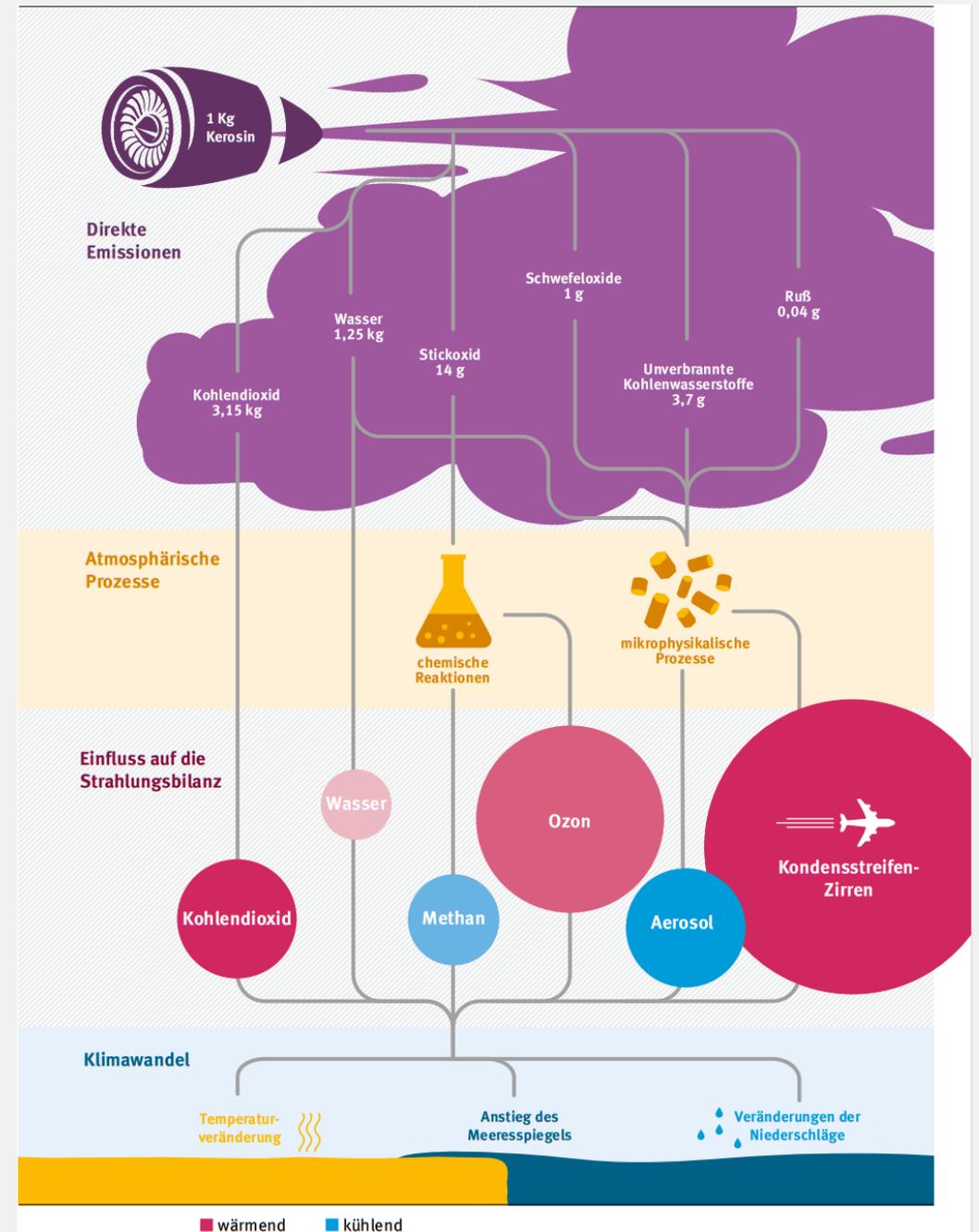


Handlungsbedarf

- Zwei große Kreise:
 - Kondensstreifen/-zirren
 - Ozon → NO_x-Emissionen
- Fokus auf diese beiden legen!



Quelle: Jag_cz - Fotolia



Quelle: DLR, UBA (Hrsg.)

Minderungsoptionen für Nicht-CO₂-Effekte

Je nach konkretem Effekt gibt es unterschiedliche Vermeidungs- und Minderungs-Optionen

A) Kondensstreifen vermeiden

- Rerouting (**Vortrag DFS**)
 - Vermeiden eisübersättigter Gebiete
- PtL/Aromaten- /Schwefelreduktion (**Vortrag DLR**)
 - Weniger Kristallisationskeime (nvPM)
- Flugzeugdesign
 - Ausrichtung auf niedrigeres und damit langsames Fliegen
- Nachteile: - Verursacht höhere Kosten
- Erhöht oft CO₂-Ausstoß

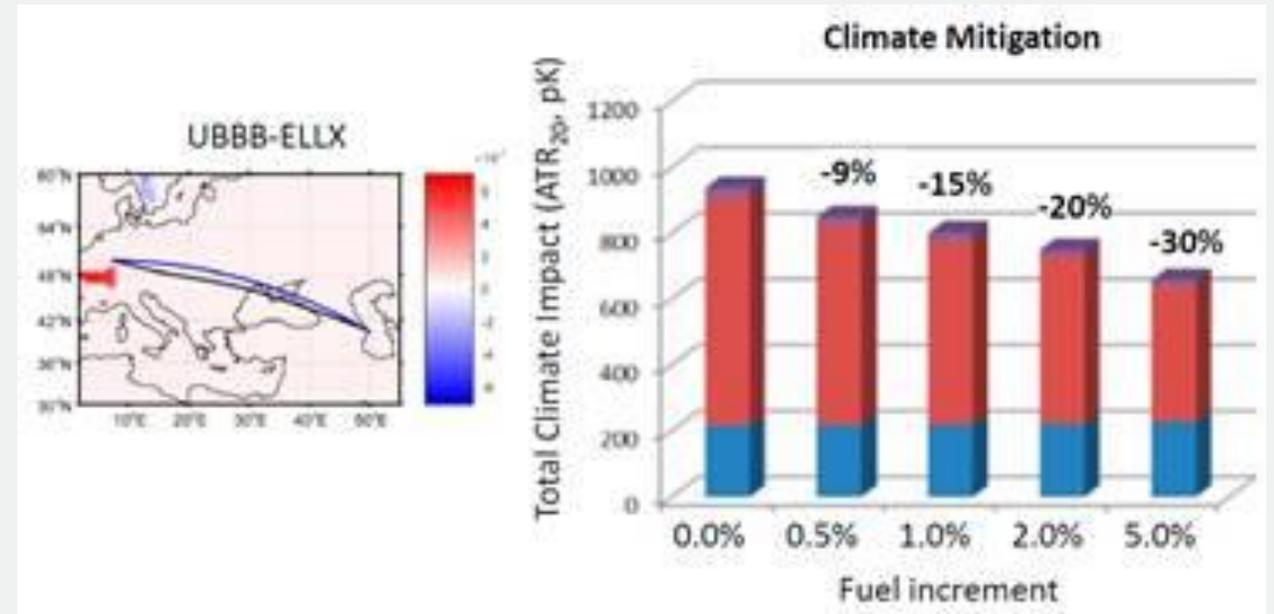


Minderungsoptionen für Nicht-CO₂-Effekte

Je nach konkretem Effekt gibt es unterschiedliche Vermeidungs- und Minderungs-Optionen

B) Stickoxide verringern

- Triebwerksanpassungen
 - Druck-/Temperaturverringering
 - Magerverbrennung
 - WET (Water-Enhanced Turbofan)
- Rerouting
 - Klimaaoptimierte Trajektorie
- Nachteile:
 - Verursacht höhere Kosten
 - Erhöht oft CO₂-Ausstoß



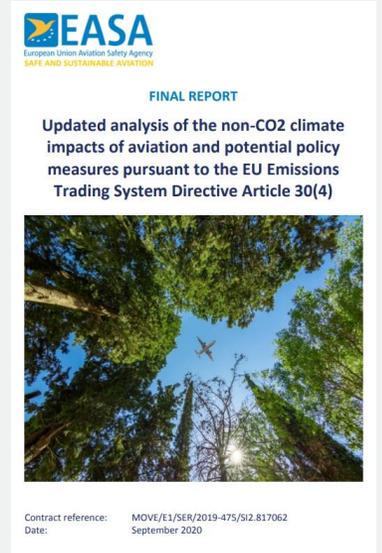
■ = CO₂ ■ = Kondensstreifen ■ = NOx ■ = H₂O

Quelle: Matthes et al., 2021; Climate-Optimized Trajectories and Robust Mitigation Potential: Flying ATM4E

Politikinstrumente zur Minderung von Nicht-CO₂-Effekten I

EASA hat 2020 aus einer Vielzahl verschiedener Instrumente sechs Instrumente (aus sechs verschiedenen übergeordneten Maßnahmen) ausgewählt und bewertet

- **Marktbasiert/finanziell:**
 - NO_x-Abgabe
 - Einbezug NO_x in EU-ETS
- **Kraftstoff-bezogen:**
 - Aromaten-Reduktion durch Standard-Setzung
 - SAF-Verpflichtung
- **ATM-bezogen:**
 - Vermeidung eisübersättigter Gebiete
 - Klima-Abgabe (Einzelflug-spezifisch, alle Effekte umfassend)
- **Flugzeug- oder Triebwerks-bezogen**
 - *Keine direkten Instrumente ausgewählt*



Note that the other non-CO₂ climate impacts are very small in comparison to NO_x and contrails / cirrus, and are therefore not considered in isolation.

The following policy types are considered:

1. Standards:
 - a. Aircraft technology standard;
 - b. Engine technology standard; or
 - c. Fuel quality standard.
2. Market-based measures:
 - a. Emissions trading; or
 - b. Taxes and charges.
3. Changes in air traffic management procedures.

An initial matrix was developed of possible aims and the types of policy measures to achieve these aims (see Table 1).

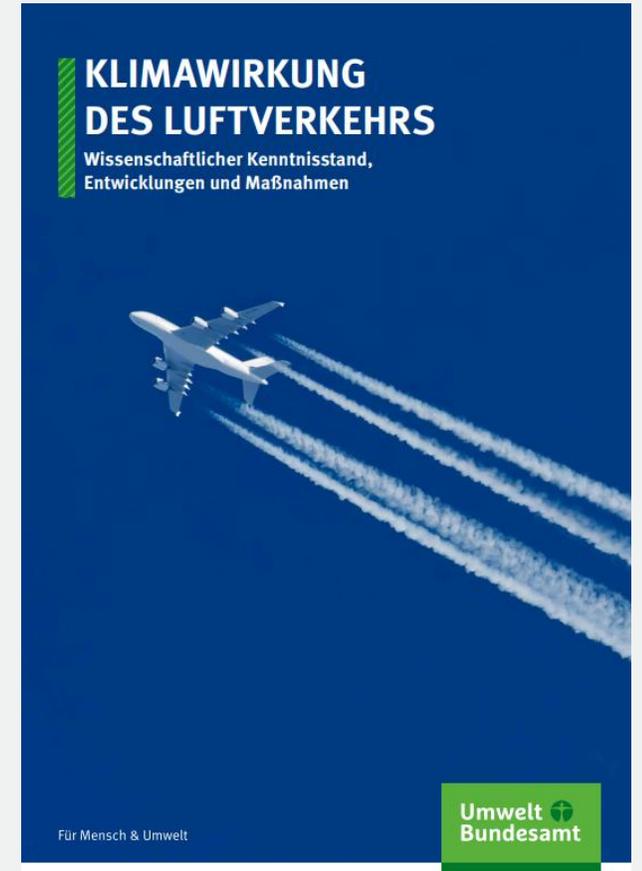
Policy Aim	Policy Measure					
	Standards			Market-based measures		Operations
	Aircraft standard	Engine standard	Fuel standard	Emissions trading	Taxes and charges	ATM procedures

Quelle: EASA

Politikinstrumente zur Minderung von Nicht-CO₂-Effekten II

UBA hat 2023 in seiner Broschüre ebenfalls Politikinstrumente behandelt

- Flugverbotszonen
 - Verhindern Durchfliegen von (potenziell) klimasensiblen Gebieten
- Überfluggebühren
 - Negativ-Anreize zum Durchfliegen von (potenziell) klimasensiblen Gebieten
- Standards für neue Triebwerke/Flugzeuge
 - Verringern nvPM-/NO_x-Emissionen
- SAF-Quoten
 - Verwendungszwang trotz Zusatzkosten
 - Vs. Subventionierung der Preisdifferenz



Quelle: DLR, UBA (Hrsg.)

Emissionshandel als besonders geeignetes Politikinstrument

- Durch die Abgabepflicht von Emissionsberechtigungen für CO₂-Äq werden Anreize gesetzt, die Emission von CO₂, NO_x und Verursachung von langlebigen Kondensstreifen soweit zu reduzieren, wie es kostengünstiger ist, als die Preise für die Emissionsberechtigungen zu zahlen.

Vorteile:

- ✓ Regt alle möglichen Minderungsoptionen simultan an
- ✓ Erlaubt Flexibilität
- ✓ Füllt systematische Lücke
- ✓ Polluter-pays-Principle
- ✓ Einnahmen können als Innovationsförderung zurückfließen

Risiko: Schlechte Umsetzung setzt Fehlanreize



Quelle: ©jorisvo / Fotolia.com

Gutes MRV als Schlüssel zum Erfolg

- MRV (Monitoring, Reporting and Verification) muss die genannten Minderungsoptionen auch abdecken und Mitigation darstellen können
 - Kondensstreifen: Wetterdaten mit einfließen lassen
 - NO_x: Triebwerks-Kennzahlen
- Grundlagen werden derzeit gelegt
 - Monitoring-Verordnung im Erarbeitungs- und Kommentierungsprozess
 - Frist: bis 31.08.2024 zu beschließen
 - KOM-Software zur Vereinfachung des MRV-Prozesses

→ Einfachheit und Standardwerte nicht immer die beste Lösung...

DE
Reihe L
18.10.2023

2023/2122

DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2023/2122 DER KOMMISSION
vom 12. Oktober 2023
zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) 2018/2066 in Bezug auf die Aktualisierung der Überwachung von und der Berichterstattung über Treibhausgasemissionen gemäß der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates

(Text von Bedeutung für den EWR)

DIE EUROPÄISCHE KOMMISSION —

gestützt auf den Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union,

gestützt auf die Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates (*), insbesondere auf Artikel 14 Absatz 1 und Artikel 30f Absatz 5,

in Erwägung nachstehender Gründe:

- (1) Nachdem die Richtlinie 2003/87/EG durch die Richtlinien (EU) 2023/958 (*) und (EU) 2023/959 (*) des Europäischen Parlaments und des Rates geändert wurde, bedarf die Durchführungsverordnung (EU) 2018/2066 der Kommission (*) der Überarbeitung, um Vorschriften für Anlagen für die Verbrennung von Siedlungsabfällen aufzunehmen sowie Vorschriften über Biomasse und Biogas und über die Überwachung der Prozessemissionen von Karbonaten und nicht karbonatischen Materialien festzulegen. Die Bestimmungen über den Luftverkehr sollten überarbeitet werden. Mit der Änderung wird auch ein separates, jedoch paralleles Emissionshandelssystem eingeführt, das auf Brennstoffe angewandt wird, die im Gebäude- und im Straßenverkehrssektor sowie in weiteren, nicht unter Anhang I der Richtlinie 2003/87/EG fallenden industriellen Sektoren („Gebäude- und Straßenverkehrssektor sowie andere Sektoren“) verwendet werden. Es sollten neue Bestimmungen und Anhänge über die Emissionsüberwachung und -berichterstattung in den betreffenden Sektoren hinzugefügt werden. Die bestehenden Vorschriften und Bestimmungen über die Emissionsüberwachung und -berichterstattung sollten entsprechend angepasst werden.
- (2) Es sollten neue Begriffsbestimmungen hinzugefügt werden, um den Änderungen der Richtlinie 2003/87/EG, einschließlich der Ausweitung der Überwachungs- und Berichterstattungsrichtlinien auf neue Sektoren, Rechnung zu tragen.
- (3) Durch die Aktualisierung des festen Referenzpreises in Artikel 18 wird der geschätzte Wert des Nutzens besser auf den aktuellen CO₂-Preis abgestimmt. Die Beibehaltung eines Fixpreises sollte darauf abzielen, für Rechtssicherheit zu sorgen und den durch häufige Änderungen des Monitoringkonzepts verursachten Verwaltungsaufwand zu verringern.

Quelle: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302122

**Umwelt
Bundesamt**

DEHSt
Deutsche
Emissionshandelsstelle

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Olaf Hölzer-Schopohl

E-Mail: emissionshandel@dehst.de

Internet: www.dehst.de

Diese Präsentation basiert auf einem Vortrag der DEHSt und ist nicht zur Veröffentlichung freigegeben. Es gilt das gesprochene Wort. Verweise und Zitate aus Präsentationen müssen von der DEHSt in allen Fällen schriftlich freigegeben werden.



Panel

Dr. Nicole Grunewald	I BMWK
Dr. Olaf Hölzer-Schopohl	I UBA
Wolf-Dietrich Kindt	I BDL
Jacob Rohm	I Germanwatch
Gregor Thamm	I DFS

Entstehung und Wirkung von Non-CO2-Effekten

Messung und Überwachung von Non-CO2-Effekten

Mitigation von Non-CO2-Effekten durch Optimierung der Routenführung

Die Kraftstoffzusammensetzung als Mitigationsoption für Non-CO2-Effekte

Politikinstrumente zur Mitigation von Non-CO2-Effekten



Panel

Wrap-Up



Handlungsoptionen und Empfehlungen
für Politikinstrumente zur Mitigation von
Non-CO₂-Effekten im Luftverkehr



Wrap-Up

Wie sehen praktikable Mitigationsstrategien aus?

Regine Barth

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr,
Wohnen und ländlichen Raum

Entstehung und Wirkung von Non-CO2-Effekten

Messung und Überwachung von Non-CO2-Effekten

Mitigation von Non-CO2-Effekten durch Optimierung der Routenführung

Die Kraftstoffzusammensetzung als Mitigationsoption für Non-CO2-Effekte

Politikinstrumente zur Mitigation von Non-CO2-Effekten

Panel



Wrap-Up



WORKSHOP

Lösungsansätze für den Markthochlauf
von Sustainable Aviation Fuels

19. Juni 2024 

9:30 - 15:00 Uhr 

KIT - Karlsruher Institut für Technologie
Campus Nord 

**INNOFUELS**
INNOVATIONSPLATTFORM

 ELBAFONOL
ERNEUERBARE
KRAFTSTOFFE

Gefördert durch:  Bundeministerium
für Digitales
und Verkehr

Koordiniert durch:  NOW
NORW. GMBH & CO.

Projekträger:  VDI | VDE | IT

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Jetzt anmelden!

Ausblick

Präsentationen im Anschluss auf



www.cena-hessen.de



CENA Hessen

Bleiben wir in Kontakt.



info@cena-hessen.de

www.cena-hessen.de

[LinkedIn/company/cena-hessen](https://www.linkedin.com/company/cena-hessen)