



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.



# EE-strombasierte Treibstoffe (PtL) für den Klimaschutz im Luftverkehr

Rudolf (Rolf) Dörpinghaus, IASA  
Fachkongress SolarChemieR  
Technologiezentrum Jülich  
17. und 18. Januar 2019



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Wir über uns.



**Die IASA ist ein in Deutschland beheimateter Initiativ-Verband zur Förderung der Nachhaltigkeit in der Luftfahrt.**

**Die IASA ist international, unabhängig, überparteilich, gemeinnützig und offen für alle, die das Ziel eines nachhaltigen Luftverkehrs teilen.**

**Aufbauend auf dem klassischen Prinzip der Nachhaltigkeit fördert die IASA eine ökonomisch erfolgreiche, ökologisch und sozial verantwortungsbewusste Luftfahrt, die weltweit Menschen und Wirtschaftsräume verbindet, Wachstum fördert, das Klima und natürlichen Ressourcen schont sowie Menschen und Wirtschaft nachhaltig Wohlstand und Prosperität bringt.**

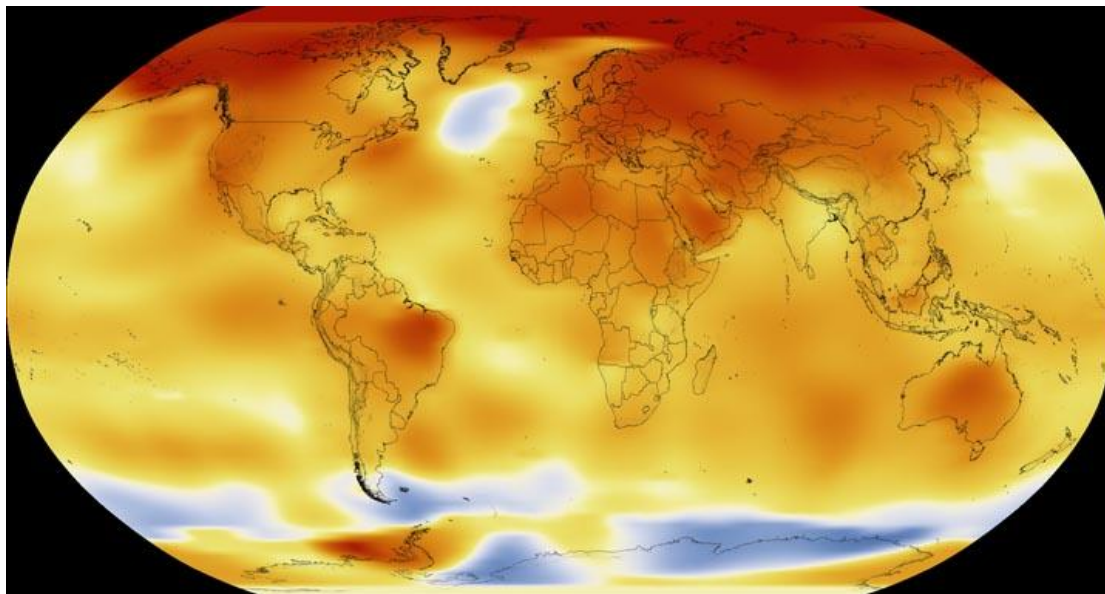
## Climate Change – the Challenge of the Century.

**“There’s one issue  
that will define  
the contours of this century  
more dramatically than any other,  
and that is the urgent and  
growing threat of a changing climate.”**

*Barak Obama  
at the U.N. Climate Summit,  
NY, NY, September 2014*



## Klimaschutz - vordringlichste Aufgabe der Gegenwart.



**Five-year average variation of global surface temperatures referring to 2016.**

**Dark blue indicates areas cooler than average.**

**Dark red indicates areas warmer than average (+4°F). Grafik: NASA**

### Immer mehr Wärmerekorde

- Immer häufiger Wärmerekorde, aber seit über sechzig Jahren kein einziger Minimumrekord mehr!
- Die 20 wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnung in 1781 entfallen laut WMO auf die letzten 22 Jahre.
- 2016 war laut WMO 1,1 °C wärmer und damit das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen vor 138 Jahren
- Bei Untätigkeit +3,5°C bis 2100
- Hauptverursacher: CO<sub>2</sub>



## COP21-Vorgaben / Paris 2015: CO<sub>2</sub> – Reduktion bis 2050 um 95%

Im Pariser Klima-Abkommen von 2015 hat die Bundesregierung ihre generellen Ziele zur Einsparung von Treibhausgasen (insbesondere CO<sub>2</sub>) bekräftigt:

- ✓ Reduktion bis 2020: 40% (?)\*
- ✓ Reduktion bis 2050: 95% (!!!)\*

Derartige Ziele sind in der Luftfahrt mit Verbesserungen am Fluggerät allein nicht erreichbar!

\* Gegenüber 1990





International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

# Internationaler Luftverkehr - Rückgrat der Weltwirtschaft.

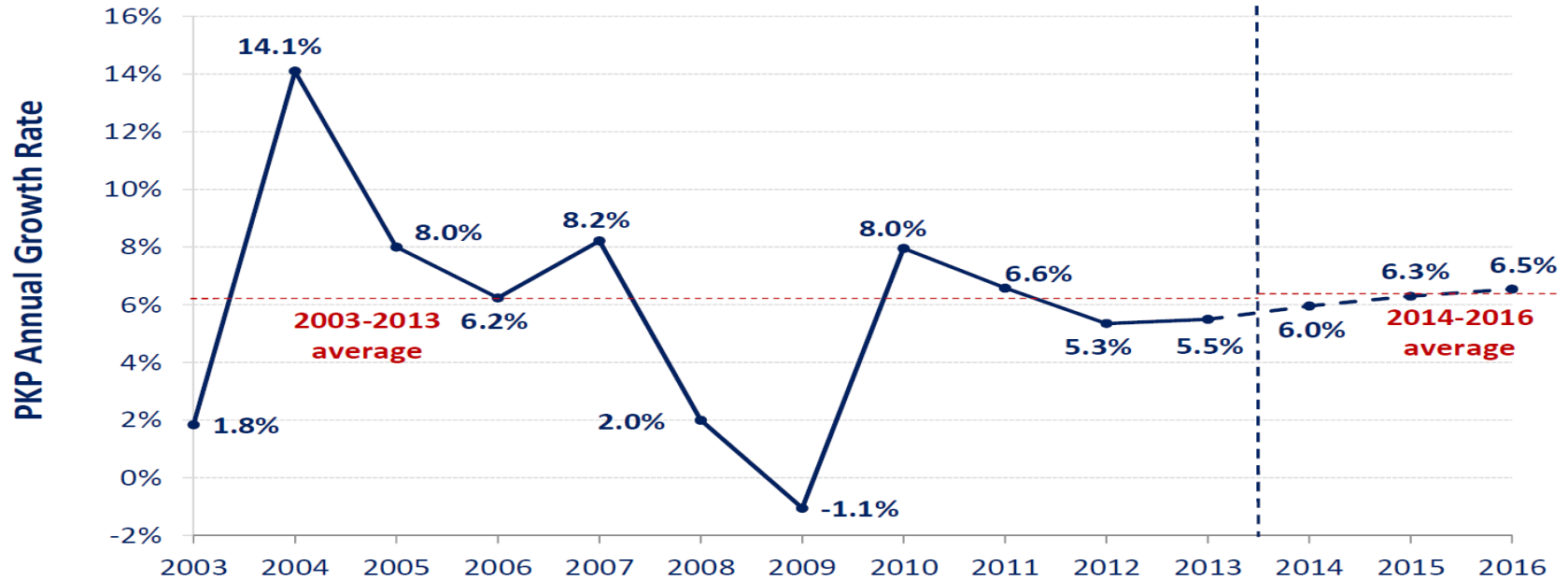


**Die zentrale Frage:  
Wie kann CO<sub>2</sub>-armer  
Luftverkehr dauerhaft ermöglicht  
werden, ohne dass das Wachstum  
des Luftverkehrs ausgebremst und  
die Weltwirtschaft behindert oder  
beschädigt wird?**



**IATA expects air passenger numbers will  
nearly double to 7.8 billion in 2036.**

## World passenger traffic - 2003 to 2016 - annual growth rate



Quelle: ICAO

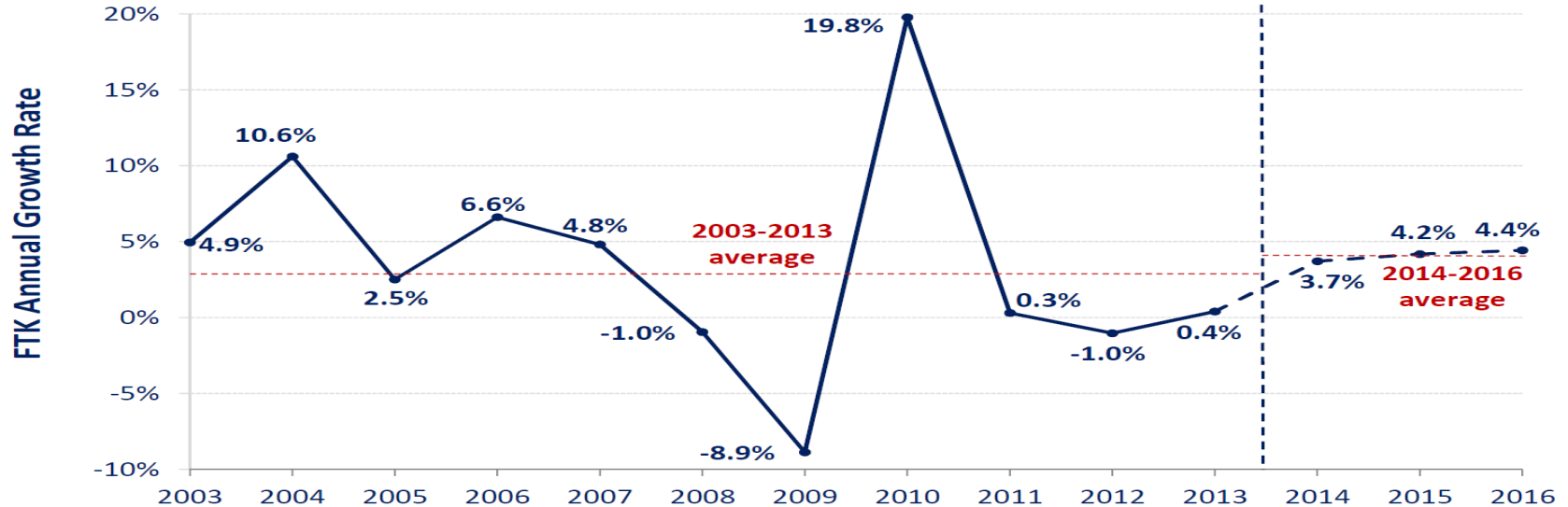


International Association for Sustainable Aviation e.V.

**Air Cargo - Crucial Enabler of the Global Economy.**  
**1% of world trade by volume, but over 35% by value.**



## World freight traffic - 2003 to 2016 - annual growth rate



Quellen: ICAO, IATA





International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

**Trotz Erfolgsgeschichte technischer Verbesserungen.  
95% CO<sub>2</sub> – Reduktion bis 2050 erfordert neue Lösungen.**



## Klimaschutz im deutschen Luftverkehr (Quelle: BDL Klimareport 2018)

Verbesserung der Energieeffizienz seit 1990 (BDL-Fluggesellschaften, Passage)

+43%

Durchschnittlicher Kerosin-Verbrauch pro Passagier und 100 km im Jahr 2017  
(BDL-Fluggesellschaften, Passage)

3,58 Liter

Geringster Verbrauch pro Passagier und 100 km: Airbus A319neo und Boeing 737Max8

≤ 2,0 Liter

Anteil des innerdeutschen Luftverkehrs an den deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2015

0,3%

Anteil des globalen Luftverkehrs an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2015

2,69%

### **Wachstum und Kerosin-Verbrauch des Luftverkehrs von 1990 bis 2016**

Wachstum des Luftverkehrs in Deutschland

+240%

Zunahme des Kerosin-Verbrauchs in Deutschland

+98%



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Klimafreundliche Lösungen für die Luftfahrt? Was kann man tun?



### Vier Aktionsfelder für den Klimaschutz in der Luftfahrt

**Sustainable  
Aviation Fuels**

**Aircraft & Propulsion  
Technologies**

**Infrastructure  
&  
Operations**

**CORSIA / Global  
Market-based  
Measures / ICAO**



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Klimaschutz durch Kompensation : CORSIA Carbon Offsetting Scheme for International Aviation



Luftverkehr erster Industrie-Sektor mit globalem Klima-Abkommen (CORSIA) durch ICAO-Beschluss (6. Oktober 2016) zur Adaption des Pariser Abkommens (COP21).

- **Die weltweite Treibstoffeffizienz soll pro Jahr um 1,5 Prozent gesteigert werden.**  
*Dies gelingt zumeist schon heute durch Innovation im Flugzeug- und Triebwerkbau, die Investition in energieeffizientere Flugzeuge sowie besser abgestimmte Betriebsabläufe am Boden und in der Luft.*
- **Ab 2020 soll das weltweite Wachstum des Luftverkehrs CO<sub>2</sub>-neutral erfolgen.**  
*Diesem Ziel dien CORSIA (Kauf von sogenannten Verschmutzungsrechten), um ab 2020 das wachstumsbedingte CO<sub>2</sub> zu kompensieren.*
- **Bis 2050 soll Netto- CO<sub>2</sub>-Emission der Luftfahrt gegenüber 2005 um 50% sinken.**  
*Dafür müssen alternative, CO<sub>2</sub>-arme, im Idealfall CO<sub>2</sub>-neutrale Kraftstoffe bzw. entsprechende alternative Antriebe entwickelt und zu marktfähigen Preisen in den erforderlichen Mengen angeboten werden!*



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## CORSIA - one of the largest carbon pricing instruments in the world.



- From 2021 until 2026, only flights between states that volunteer to participate in the pilot and/or first phase will be subject to offsetting requirements.
- **From 2027, all international flights will be subject to offsetting requirements.**
- On average (2021-2035), flights subject to CORSIA's offsetting requirements will account for over 600 million tons of CO<sub>2</sub> per year. This makes CORSIA one of the largest carbon pricing instruments in the world in terms of greenhouse gas emissions coverage.
- **It is forecast that CORSIA will mitigate around 2.5 billion tons of CO<sub>2</sub> between 2021 and 2035, which is an annual average of 164 million tons of CO<sub>2</sub>.** Source: ICAO



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSA).



- CORSIA has been adopted as an Annex to the Chicago Convention, which all of ICAO's 192 member states must apply from January 1, 2019.
- CORSIA can help to achieve climate targets in the short and medium term by complementing emissions reduction initiatives within the sector.
- **Nevertheless, the aviation sector is further on committed to advances in technology, operations and infrastructure to reduce the sector's carbon emissions. Offsetting is not intended to replace these efforts!**



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## CORSIA's Estimated Impact on Operational Costs in Air Transport.

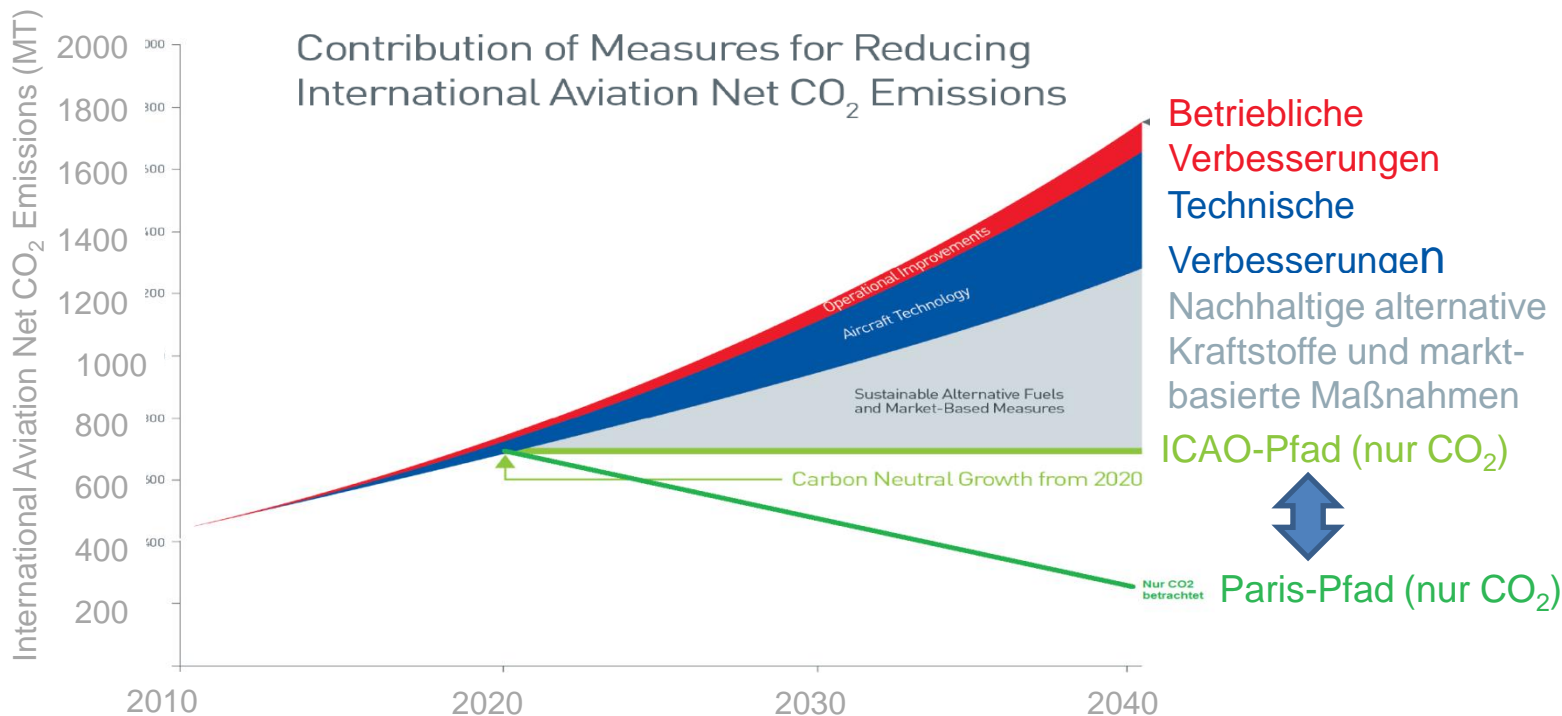


- **IATA estimates that CORSIA may cost air carriers \$2.2–\$6.2 billion U.S. in 2025, \$4.3–\$12.4 billion in 2030, and \$8.9–\$23.9 billion in 2035.**
- This corresponds to a total of \$59.3–\$165.3 billion from 2021 to 2035, assuming carbon costs ranging from \$15 to \$35 in 2025 and \$20 to \$40 in 2035. These assumed carbon prices are based on projections of carbon costs under future emissions trading systems, not offsetting, and are relatively high compared to the current costs of offsets and emissions credits under existing emissions trading systems.
- An alternative analysis, using current (2016) EU ETS carbon prices as a guideline, suggests that **CORSIA would cost airlines about \$23 billion over the first 15 years.**  
Source: POLICY UPDATE/ INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION /February 2017



# Das Klimaproblem des Luftverkehrs

Quelle: ICAO / Ergänzungen Dr. Lehmann (UBA)

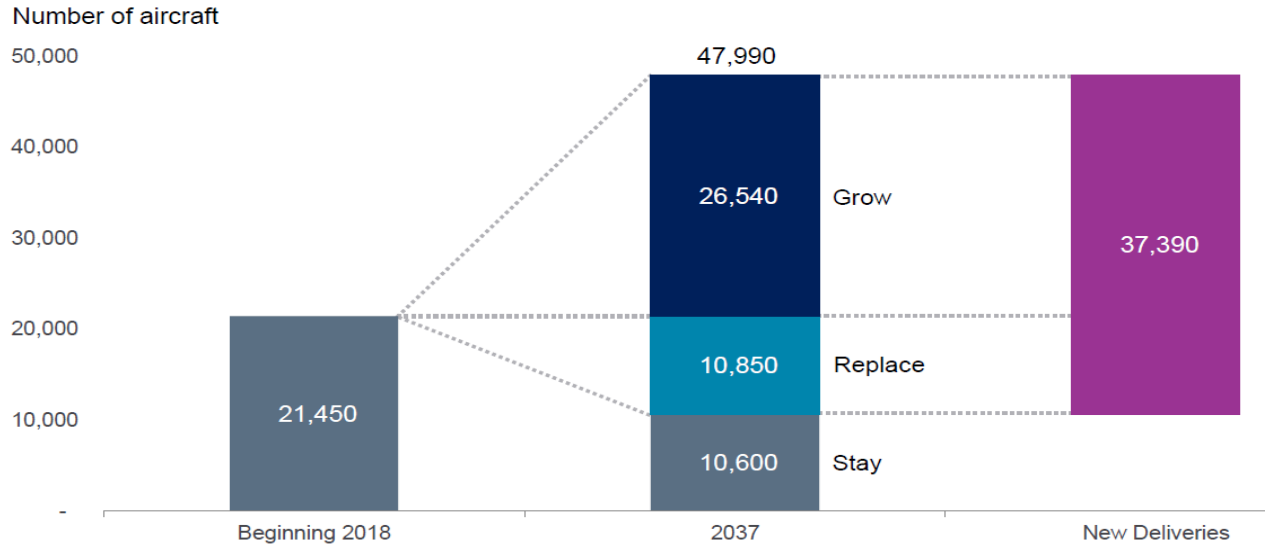


**Begrenzung des Klimawandel auf 2°C (möglichst 1,5°C) erfordert nahezu vollständige Umstellung auf regenerative Kraftstoffe!!**

# Airbus Prognose: Weltweite Flottenentwicklung für Flugzeuge mit mehr als 100 Sitzem / Stand 2018



The world fleet will more than double over the next 20 years



Bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 25 Jahren steht etwa die Hälfte der 2019 gelieferten Flugzeuge noch 2045 in Dienst! Bei allem technischen Fortschritt, eine signifikante Reduktion der **CO<sub>2</sub>**-Emissionen lässt sich daher nur über **CO<sub>2</sub>**-arme Treibstoffe erzielen!

Notes: Passenger aircraft (> 100 seats) | Jet freight aircraft (>10 tonnes), Rounded figures to the nearest 10  
 \* Assuming same rules as today  
 Source: Airbus GMF 2018



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

**Leading aircraft families to stay due to market requirements and long-term production schedules.**



## Growing air travel demand drives production

- **Airbus and Boeing reporting all time production records**
- **Airbus' and Boeing's current production rates have reached 800 aircraft with more than 100 seats**
- **Boeing's order backlog for current aircraft models about 7 years**
- **Aircraft already ordered today and to be delivered in 2026 will be still in service in 2050 and later**
- **In 2018 Boeing received 900 net orders valued more than \$140 billion**

## All-new disruptive technologies not in sight





International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Wir brauchen zeitnahe Lösungen, die die bestehenden Flotten mit einbeziehen!



- **Kompensation kann nur ein erster Schritt sein bis reale Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen verfügbar ist.**
- **Zeit ist der zentrale Faktor, wenn wir die Erderwärmung auf ,nur' 1,5°C begrenzen wollen!**
- **Für die Luftfahrt heißt dies, dass wir nicht auf neuartige ,voll-grüne' Flugzeuge warten können, von denen niemand weiß, ob und wann sie am Markt in ausreichenden Stückzahlen und zu welchen Kosten verfügbar sind.**





International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Umstellung auf regenerative Kraftstoffe und neuartige Antriebe alternativlos.



- **Bio-Treibstoffe** scheiden aufgrund der benötigten Mengen und des permanenten Teller-Tank-Konfliktes als weltweit tragfähige Lösung aus und verkomplizieren das Treibstoffmanagement aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung je nach verwendetem Ausgangsrohstoff. Sie können damit allenfalls eine Nischen- bzw. Brückenfunktion übernehmen.
- **Elektroantriebe** auf Basis von H<sub>2</sub>-Brennstoffzellen oder Batterien dürften aufgrund der erheblich geringeren Energiedichte allenfalls für kleinere Flugzeuge und im Kurzstreckenverkehr eine hinreichende Alternative zu Verbrennungsmotoren sein.
- **PtL – Fliegen mit ‚flüssigem Strom‘**: Mit nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren produzierten, EE-strombasierten Treibstoffen (PtL) steht schon heute eine technologisch machbare, wirtschaftlich darstellbare, international zugelassene <sup>(1)</sup> und zeitnah realisierbare Alternative zu fossilen Luftfahrttreibstoffen zur Verfügung.
- **EE-strombasierte, CO<sub>2</sub>-neutrale und drop-in-fähige Treibstoffe sind daher der zeitnahe wie zukunfts-sichere Königsweg für eine wirklich klimafreundliche Luftfahrt, existierende Flotten und künftige, elektro-hybride Lösungen eingeschlossen .**

(1) ASTM-Zulassung für ein 50-prozentiges Blend, D7566-14c Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Strombasierte Kraftstoffe (PtL) vorantreiben und fördern.



### Auszug aus dem Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD für die aktuelle, 19. Legislaturperiode

...Wir befürworten den Beschluss zur weltweiten Einführung des Klimaschutz-Instruments CORSIA durch die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) ab 2020. Innovative Luftverkehrstechnologien werden wir fördern.

Wir werden uns national, europäisch und international dafür einsetzen, dass die Emissionen des Luft- und insbesondere Seeverkehrs gesenkt werden und beide Sektoren zu den internationalen Klimazielen beitragen.

Den Umwelt- und Nachhaltigkeitsbezug des Luftfahrtforschungsprogramms (LUFO) wollen wir weiter ausbauen und mehr finanzielle Mittel zur Verbesserung der Erforschung und Erprobung alternativer Treibstoffe im Luftverkehr bereitstellen, dazu gehört auch die Ausstattung von Flughäfen mit Landstrom...

**Für den Luftverkehr wollen wir die Forschung und Entwicklung zur Herstellung und Nutzung von alternativen, strombasierten Kraftstoffen vorantreiben und fördern...**

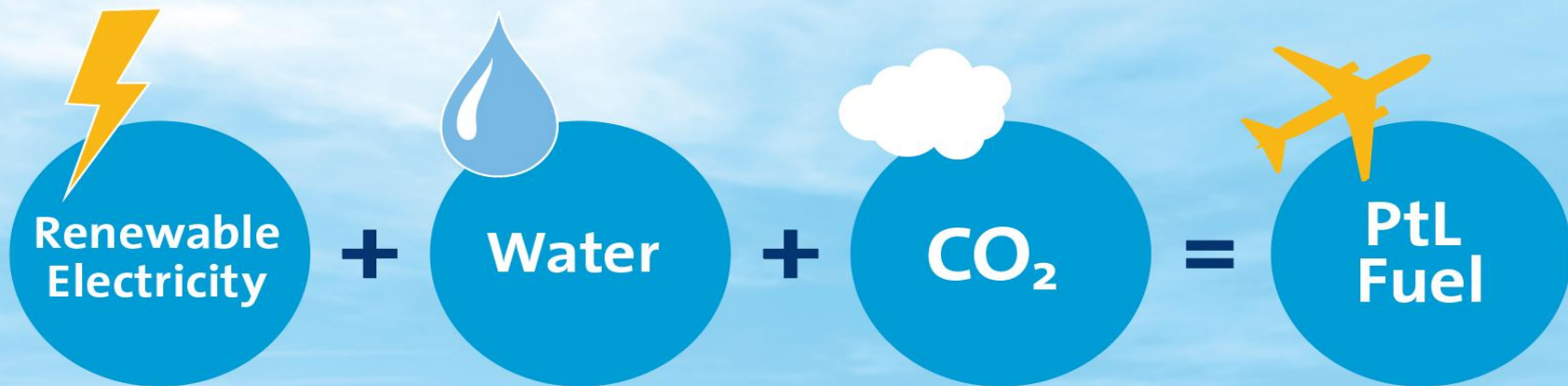


**PtL-JetFuels: Einstieg in den CO<sub>2</sub> -Kreislauf in der Luftfahrt.**



**Synthetische Treibstoffe für die Luftfahrt**

# Fischer-Tropsch-Synthese schon heute für Luftfahrttreibstoffe zugelassen.



Die Verfügbarkeit von Ökostrom und neuerlich verbesserte Verfahrenstechnik ermöglichen *neue Ansätze* für die PtL-basierte Produktion von Luftfahrttreibstoffen.



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

# Strombasierte Treibstoffe mittels Fischer-Tropsch Synthese .



## Zukunftsweisender Lösungsansatz: INERATEC-Synthese-Reaktor für strombasierte Flugtreibstoffe mittels Fischer-Tropsch-Synthese

Die Reaktoren zeichnen sich aus durch:

- Kompakte Bauweise durch Mikrostrukturtechnik
- Hohe Synthesegasumsätze und laut Hersteller weltweit einmalige Reaktor-Produktivitäten
- Herausragende Temperaturkontrolle
- Kurze An- und Abfahrzeiten sowie hohe Lastflexibilität
- Geringere Kosten
- Dezentraler Einsatz

Quelle: INERATEC





International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## FT-PtL-Kerosin: Drop-in-Fähigkeit und Zulassung zur 50prozentigen Beimischung.



**In der Luftfahrt gelten höchste Sicherheitsstandards. Das gilt auch für Treibstoffe.**

- Strombasierte Luftfahrttreibstoffe (PtL) müssen nicht nur zertifiziert sein, sondern auch in Mischungsfähiger Drop-in-Qualität vorliegen. Als Grundlagen für die Zertifizierungen gelten für Luftfahrt-Treibstoffe auf fossiler Basis die Standards ASTM D16553 bzw. DEF STAN 91-914.
- Für synthetische Flugtreibstoffe wurden der ergänzende Zertifizierungsstandard ASTM D75665 entwickelt. Bereits 2009 konnte die Zulässigkeit der Beimischungen von auf FT-Basis erzeugten PtL-Treibstoffen (Fischer-Tropsch Hydroprocessed Synthesized Paraffinic Kerosene, FT-SPK) bis zu einem Mischungsverhältnis von 50% nachgewiesen werden. Für via Methanol erzeugte PtL-Treibstoffe steht die Zulassung noch aus.

**Sofern verfügbar können daher schon heute auf FT-Basis erzeugte PtL-Treibstoffe bis zu 50% fossilen Treibstoffen beigemischt werden.**

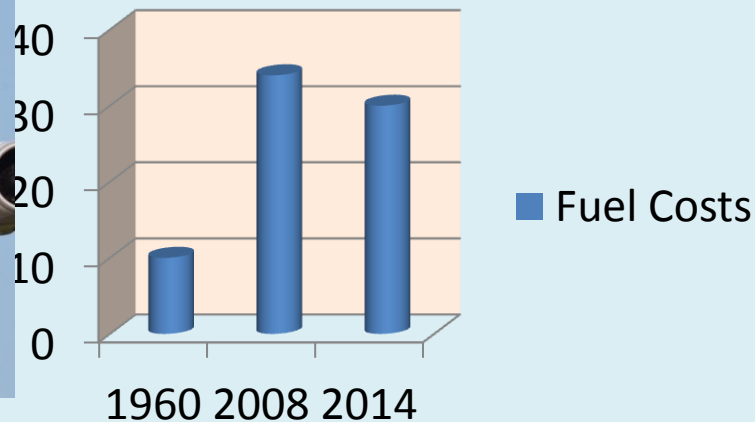


International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## 'Kostenkeule' kein Argument. Gegen Einführung von PtL-Kerosin.



### Typical Average Fuel Costs (%) in Relation to Total Operational Costs





International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Vorläufige Kostenschätzung für zeitnahe Anlaufphase einer PtL-Fuels Produktion.



### Erzeugungskosten für PtL-Treibstoffe auf Basis von EE-Strom gemäß Analysepapier der Ludwig-Bölkow-Stiftung

EE-Strom, z. B. aus PV-Anlage, Windkraft, Wasserkraft oder Biogasanlage

Elektrolyseur zur Gewinnung von Wasserstoff

Bereitstellung von CO<sub>2</sub>, idealtypisch aus der Atmosphäre oder 'industriellem Abfall'

FT-Synthese, etwa auf Basis eines FT-Mikroreaktors von INERATEC

Destillation bzw. Crude-Oil-Aufbereitung, Blending, Vertankung

Systemintegration und Management

**Herstellungskosten pro Liter PtL JetFuel**

**€ 1,45**





International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Kosten-Optimierung wird Schlüssel für schnellen PtL-Erfolg.



### Prognos-Studie: Kosten für PtL-Fuels können künftig deutlich sinken

Um flüssige Energieträger klimafreundlicher zu machen, können diese mit Hilfe von erneuerbaren Energien gewonnen werden. Die Kosten von treibhausgasneutralen flüssigen Energieträgern („E-fuels“) sind heute noch wesentlich höher als die von fossilen Energieträgern, lassen sich aber zukünftig deutlich senken.

Da PtL-Energieträger speicher- und transportierbar sind, können sie in den sonnen- und windreichen Regionen der Welt - günstiger als in Deutschland - erzeugt werden.

**Für synthetisches Rohöl, das mit PtL-Technologie im Ausland gewonnen wird, erwarten die Autoren (Prognos) im Jahr 2050 inflationsbereinigt Herstellungskosten pro Liter PtL JetFuel**

**€ 0,70 bis €1,30**



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Sustainable fuels too expensive? Price of oil - always wrong?



### Comparatively High Oils Prices

- Economy slows down
- Less high yield business travelers and air cargo
- Increasing cost pressure
- Strong demand for more fuel efficient equipment
- Comparatively less or very limited financial capabilities to invest in new technologies and new fleets
- **Limited capabilities to pay higher prices for sustainable fuels**

### Comparatively Low Oils Prices

- Economy starts to flourish
- More high yield business travelers and air cargo
- Reduced cost pressure
- Less demand for more fuel efficient equipment
- Comparatively reduced incentives to invest in new technologies and new fleets
- **Limited incentives to pay higher prices for sustainable fuels**



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Potenzieller Markteinstieg in Business & Corporate Aviation.



- Die Produktionskosten belaufen sich bei der beschriebenen Konfiguration nach Stand 2018 auf etwa 1,45€ pro Liter.
- Der Preisabstand zu Jet A1 mit 2,06 €/l und AVGAS mit 2,45 €/l (versteuert / Stand Mai 2018) ist damit groß genug, um schon heute trotz weiterer Kosten für Lagerung, Vertankung usw. einen wirtschaftlich konkurrenzfähigen und Endpreis gegenüber den fossilen Treibstoffen erreichen zu können.
- Dezentrale Produktion eröffnet neue Wertschöpfungsketten (Mittelstand).
- Sobald die ‚Economy of Scale‘ greift, dürfte PtL-JetFuel auch für den kommerziellen Luftverkehr zunehmend interessant werden.

**Reduktion des CO<sub>2</sub>-Footprint von Nutzern und Betreibern hilfreich bei PtL-Markteinführung in Private, Business & Corporate Aviation.**



## - Conclusion -

### Vorteile von PtL-Treibstoffen für die Luftfahrt (1)



- Schnellste Reduktion von CO<sub>2</sub>-Treibhausgasen im Luftverkehr
- Weiternutzung und Werterhalt des aktuellen Flottenbestands



## Vorteile von PtL-Treibstoffen für die Luftfahrt (2)




- Standardisierte, weltweit dezentralisierbare FT-Produktionsverfahren
- Drop-in-fähig und schon heute bis zu einer Beimischung von 50% zugelassen
- Kompatibel zu allen aktuellen Trends und Technologien im Flugzeugbau

## Vorteile von PtL-Treibstoffen für die Luftfahrt (3)



- Sauberere Verbrennung. Weniger Kondensationskerne und Kondensstreifen.
- Keine Änderungen an Fluggerät oder bestehender Infrastruktur erforderlich.
- Schrittweise höhere Beimischung bis hin zum CO<sub>2</sub>-neutralen Fliegen möglich.





**Vorteile von PtL-Treibstoffen für die Luftfahrt (4): PtL-JetFuels auch für Hybridantriebe geeignet**

**Projektbeispiel**

Projektpartner:

Hybrid-Antrieb:

Max. Sitzzahl:

Lärm / Sideline:

Batterie-Masse:

Gepl. Reichweite:

Max. V-Reise 340mph

Betriebskosten:

**Emission (ohne PtL):**

**Regional Jet von Zunum Aero**

Boeing, jetBlue, U.S. DoC

E-Motoren / Range Extender

2+12 bis 2+50 (Economy )

65 EPNdB

weniger als 20% MTOW

1100+ km

(550 km/h)

80% projektierte Kostenersparnis

**0.0 to 0.3 lbs CO<sub>2</sub>/ Av. Seat Mile**



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Wertschöpfung: Von CORSIA, PtL und dem Klimaschutz in der Luftfahrt profitieren.



- Die IASA wirbt für die zeitnahe Herstellung und Nutzung von EE-strombasierten Treibstoffen für die Luftfahrt seit rund 5 Jahren. Das zunehmende Interesse an diesen Treibstoffen ist für uns eine Bestätigung unserer Arbeit.
- Die größten Hürden für die Einführung von EE-strombasierten Treibstoffen liegen aus Sicht der IASA weniger im Bereich der Technologie als vielmehr in der noch fehlenden Bereitschaft zum ersten Schritt (ökonomisch ökologische Motivation).
- Regenerative, CO<sub>2</sub>-arme, gegebenenfalls dezentral produzierte Treibstoffe für die Luftfahrt eröffnen jedoch attraktive Chancen für chemische Industrie und Energiewirtschaft mit neuen, auch regionalen Wertschöpfungsketten.



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.



**‘It always seems  
impossible  
until it's done.’**

*Nelson Mandela*



International  
Association for  
Sustainable  
Aviation e.V.

## Introduction into the production of renewable Jetfuels using the so-called Power-to-Liquids Technology.



The 2015 Paris Agreement requires massive greenhouse gas emission reductions in all sectors by mid-century. Renewable fuels are a major building block to achieve substantial absolute emission reductions in aviation.

**This study gives an introduction into the novel concept of producing renewable jet fuel using renewable electricity, so-called Power-to-Liquids (PtL).**

The PtL production pathways and the drop-in capability of the resulting jet fuel are explained and their comparative performances are discussed in terms of greenhouse gas emissions, energy efficiencies, costs, water demand and land requirements.

*The study was conducted by the Ludwig-Bölkow-Systemtechnik and Bauhaus Luftfahrt e. V. on behalf of the German Environment Agency (UBA).*



BACKGROUND // SEPTEMBER 2016

**Power-to-Liquids**  
Potentials and Perspectives  
for the Future Supply of  
Renewable Aviation Fuel

**Zum Nachlesen**

German Environment Agency

Umwelt  
Bundesamt



