

Impulsvortrag: Herausforderungen im Flugverkehr

Valentin Batteiger

Leipziger Biokraftstoff-Fachgespräch,
DBFZ, 19.03.2025

Klimawirkung des Luftverkehrs

► Kraftstoffbedarf der zivilen Luftfahrt

- Weltweit: **ca. 300 Mt/yr** ~ 2.5-3% der Treibhausgasemissionen
- Deutschland: **ca. 10 Mt/yr** ~ 5-6% der Treibhausgasemissionen
- Anstieg des weltweiten Kraftstoffbedarfs (2009-2019): **ca. 4% pro Jahr**

► Zusätzliche Klimawirkung durch „nicht-CO₂-Emissionen“

- Nettoeffekt: Zusätzlicher wärmender Treibhauseffekt
- Größenordnung vergleichbar mit der Klimawirkung durch CO₂-Emissionen
- Hauptsächlich durch Wolkenbildung (Kondensstreifen, Cirren) und Atmosphärenchemische Effekte (NO_x-Effekte)

Der Luftverkehr bleibt auf flüssige Kraftstoffe angewiesen



LH₂ Regionalflugzeug
Verflüssigter Wasserstoff,
Brennstoffzelle/Propeller



EU-Projekt CENTRELINE:
Turbo-electric concept,
Kerosene based



CoCoRe Projekt
Hybridelektrischer 19-Sitzer,
Hohe Batterienutzung



LH₂ Großraumflugzeug
Verflüssigter Wasserstoff,
Gasturbinen-Hybrid



Batterie-elektrisches Fliegen

- Vorteil: Hocheffizienter Antriebsstrang
- Leistungsbedarf im Reiseflug

$$P_{e, \text{cruise}} = \frac{m \cdot g \cdot v}{L/D \cdot \eta_v \cdot \eta_e}$$

~ 110 W/kg

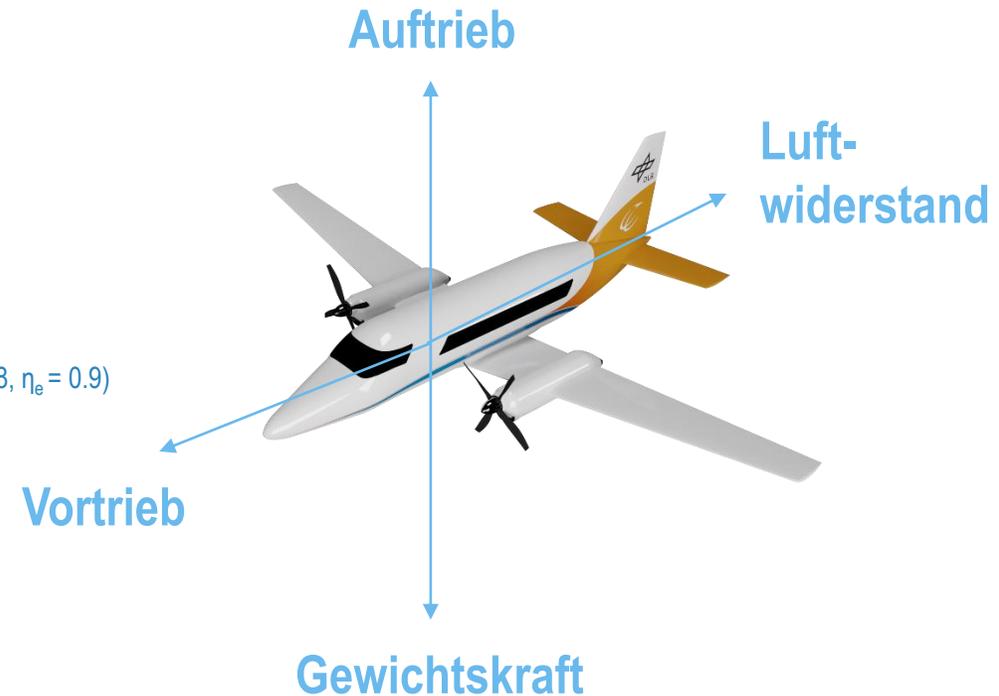
(Annahmen: $L/D = 17$, $v = 500 \text{ km/h}$, $\eta_v = 0.8$, $\eta_e = 0.9$)

- Reichweitenformel (Batterie-elektrisch)

$$R = \frac{L/D \cdot \eta_v \cdot \eta_e \cdot \rho_e}{g} \cdot \frac{m_e}{m}$$

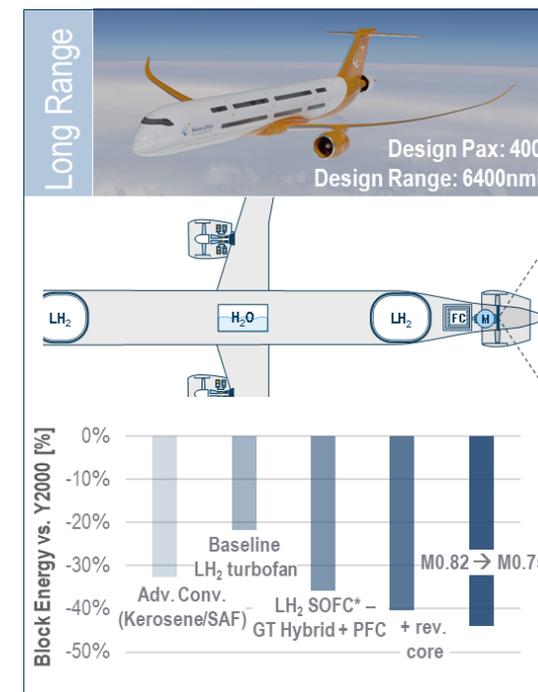
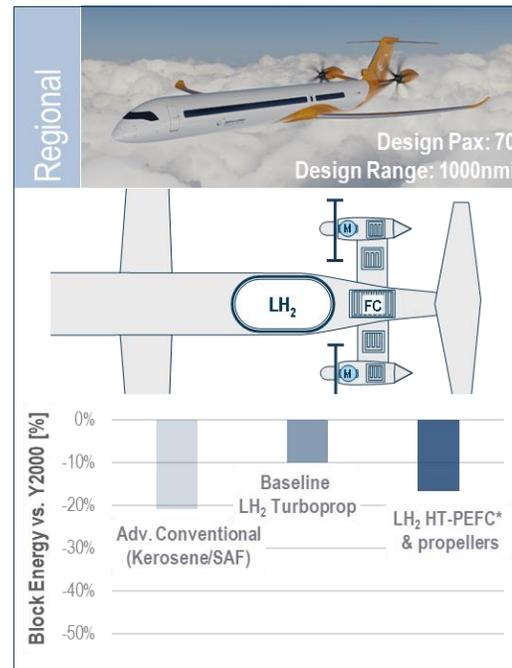
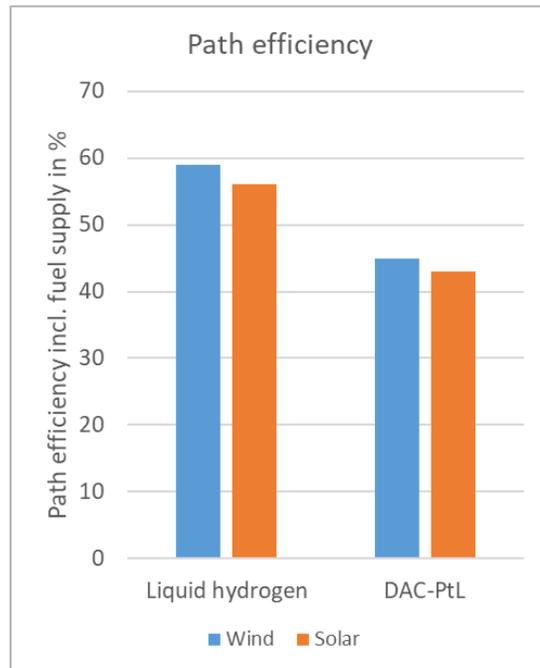
~ 540 km

(Annahmen $L/D = 17$, $\eta_v = 0.8$, $\eta_e = 0.9$, $\rho_e = 300 \text{ Wh/kg}$, $m_e/m = 0.4$)



Wasserstoff als Luftfahrtkraftstoff

- Vorteil: Effiziente Kraftstoffbereitstellung im Vergleich zu PtL-Kerosin
- Herausforderungen: Flugzeugentwurf, Einflottung mit Blick auf 2050



Quellen: Batteiger, V. „Green hydrogen for synthetic fuels production and hydrogen aviation“, Bauhaus Luftfahrt Symposium, 13.03.2024, Berlin
 Seitz, A. "Rapid Aircraft-Level Evaluation of Revolutionary Propulsion Concepts", 13th EASN International Conference, Salerno, Italy, 5-8 September, 2023.

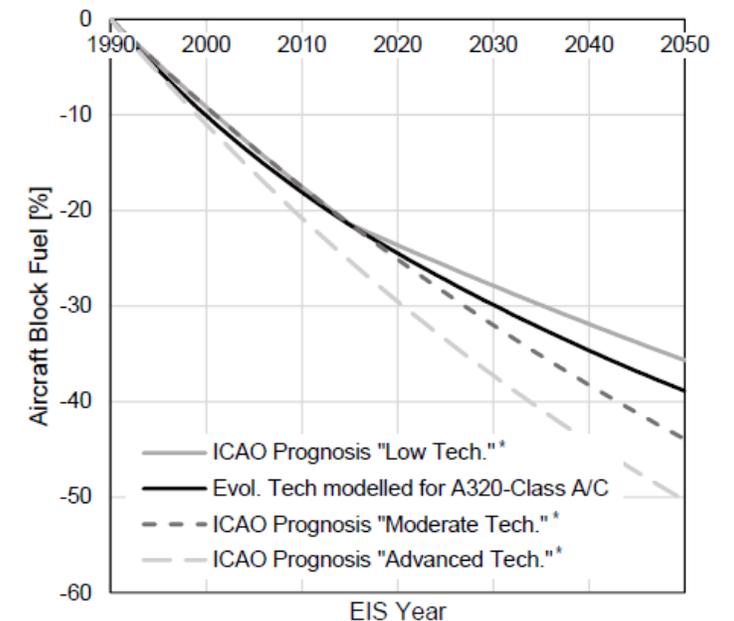
Emissionseinsparungen durch Effizienzsteigerungen

➤ **Spezifischer Kraftstoffbedarf sinkt durch technische & operationelle Verbesserungen um etwa 1% pro Jahr**

➤ **Ansätze:**

- Gewicht reduzieren, verbesserte Aerodynamik wie schlankere Flügel mit größerer Spannweite
- Innovative Antriebstechnologien
- Optimierte Flugrouten, verbesserte Auslastung (z.B. Airline-übergreifendes Kapazitätsmanagement)

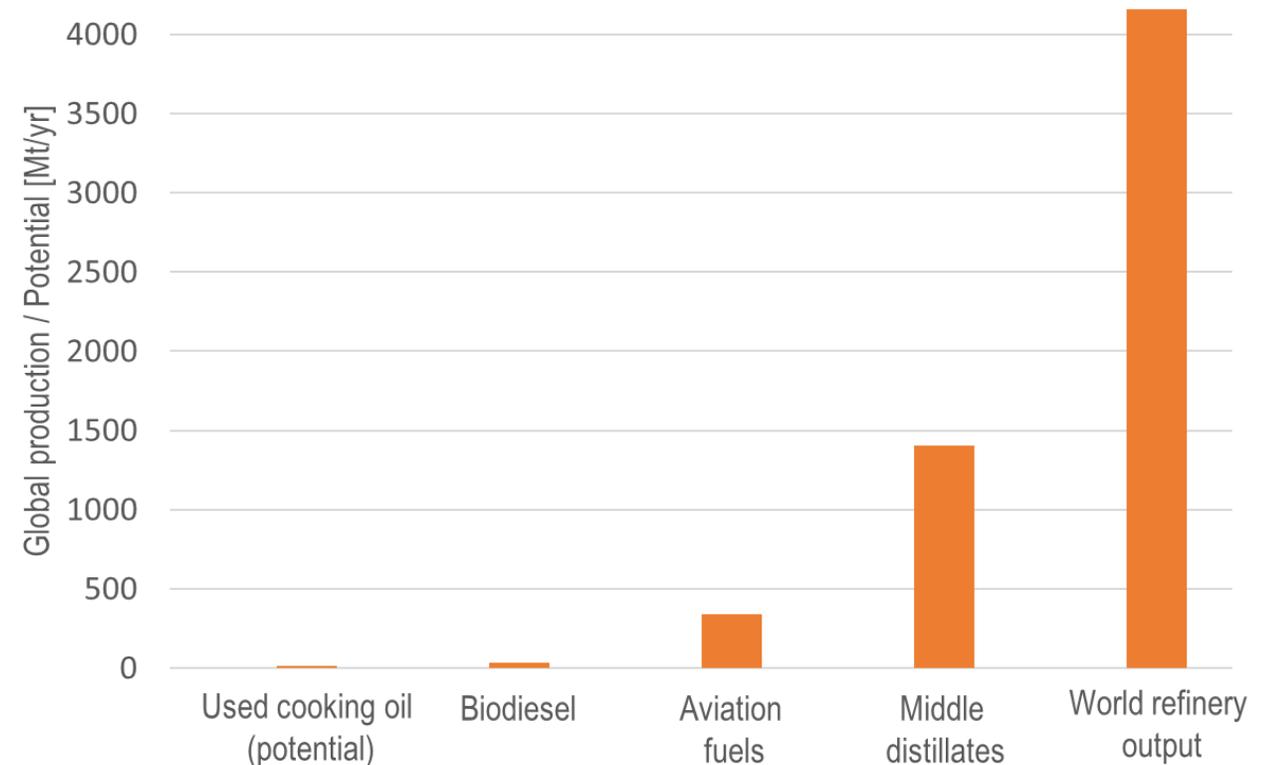
➤ **Prognose: Weiter ansteigender Kraftstoffbedarf, da Einsparungen das Verkehrswachstum nicht kompensieren**



* Ref.: Fleming & Lépinay, "Environmental Trends in Aviation to 2050", ICAO Aviation and Environmental Outlook, Chapter One, ICAO, 2019, pp 17-23.

Kraftstoffmärkte: Rohstoffkonkurrenz & Skalierbarkeit

- ▶ **Kerosin: Etwa 8% der globalen Raffinerieproduktion**
- ▶ **Erhebliche Rohstoffkonkurrenz im Bereich der Mitteldestillate**
 - Vor allem in Bezug auf Altöle & Fette (Diesel, Schifffahrt & Luftfahrt)
- ▶ **Weitere große Rohstoffpotentiale:**
 - Fortgeschrittene Biokraftstoffe
 - Synthetische Kraftstoffe (H₂O & CO₂)



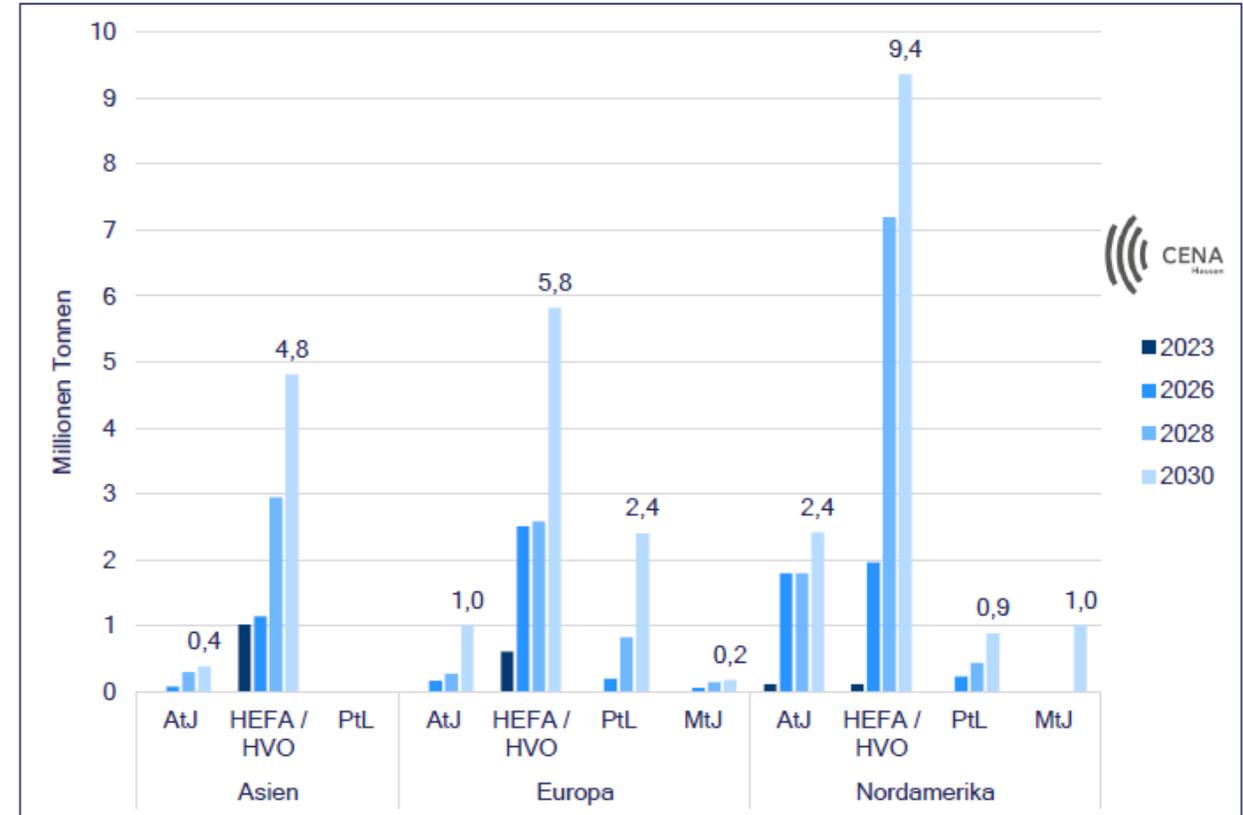
Ausbau und Bestand von Produktionskapazitäten

▶ Zeitnahe Verfügbarkeit:

- Fast ausschließlich HEFA (und co-processing lipidhaltiger Rohstoffe)
- Auch AtJ ist technologisch ausgereift

▶ Erwartung ReFuelEU aviation:

- Frühe Quoten werden überwiegend durch HEFA erfüllt (2% ab 2025)
- PtL-Subquote (1.2% ab 2030)
- Dann: Zunehmender Bedarf an skalierbaren Optionen (20% ab 2035)



Quelle: CENA Hessen

Zusammenfassung

- **Interessante Technologieentwicklungen im Bereich des elektrischen Fliegens und der Wasserstoffluftfahrt**
- **Der spezifische Kerosinbedarf wird durch effizientere Flugzeuge & operationelle Maßnahmen weiter sinken**
- **Durch Luftverkehrswachstum wird der Kraftstoffbedarf weiter ansteigen**
- **Für den Großteil der anvisierten Emissionsreduktion bis Mitte des Jahrhunderts werden erneuerbare Kerosine benötigt**
- **ReFuelEU Aviation Quoten werden zunächst durch HEFA-Kraftstoffe bedient**
- **Mit Blick auf die Klimaneutralität werden zunehmend e-Fuels und fortgeschrittene Biokraftstoffverfahren benötigt**