

PSI

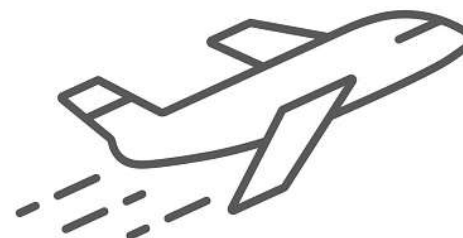
Center for Nuclear Engineering and Sciences
Center for Energy and Environmental Sciences

Klimaneutral fliegen: Ist das möglich?

Christian Bauer, Labor für Energiesystem-Analysen, Paul Scherrer Institut

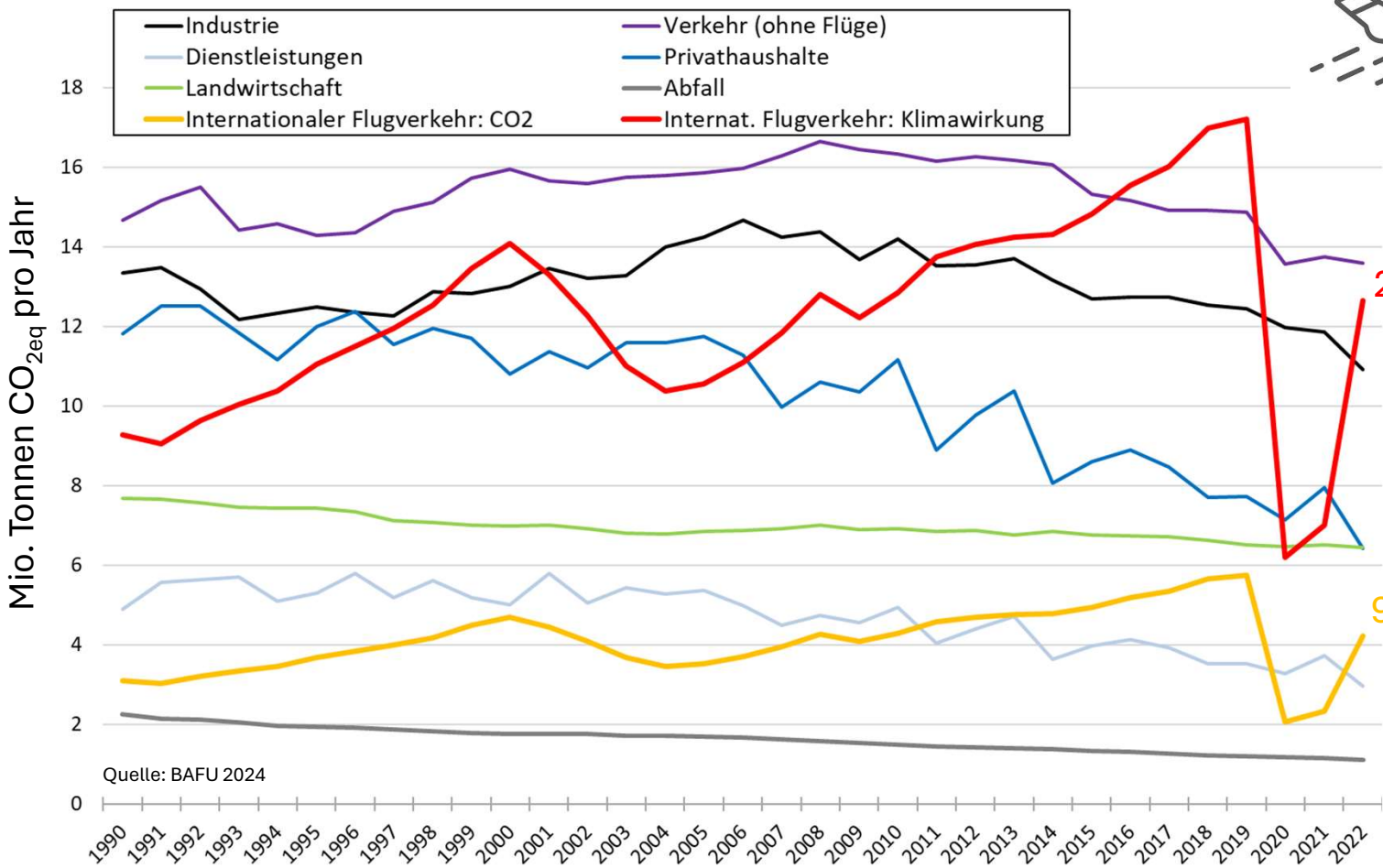
Bern, 25. März 2026

Zahlen und Fakten zum Flugverkehr



- **10'000** Flugzeuge sind derzeit in der Luft
- **10%** der globalen Bevölkerung fliegen
- **3%** der globalen CO₂-Emissionen stammen aus dem Flugverkehr
- **~6%** der aktuell menschgemachten Erwärmung stammen aus dem Flugverkehr
- **5'000'000'000 (5 Mrd.)** Flugpassagiere weltweit 2025
- **> 10'000'000'000 (>10 Mrd.)** Flugpassagiere weltweit werden 2050 erwartet
- **1'900'000 Tonnen (1.9 Mio. t)** nachhaltiger Flugtreibstoff (SAF) wurden 2025 produziert
- **320'000'000 Tonnen (320 Mio. t)** Kerosin wurden 2025 verbraucht

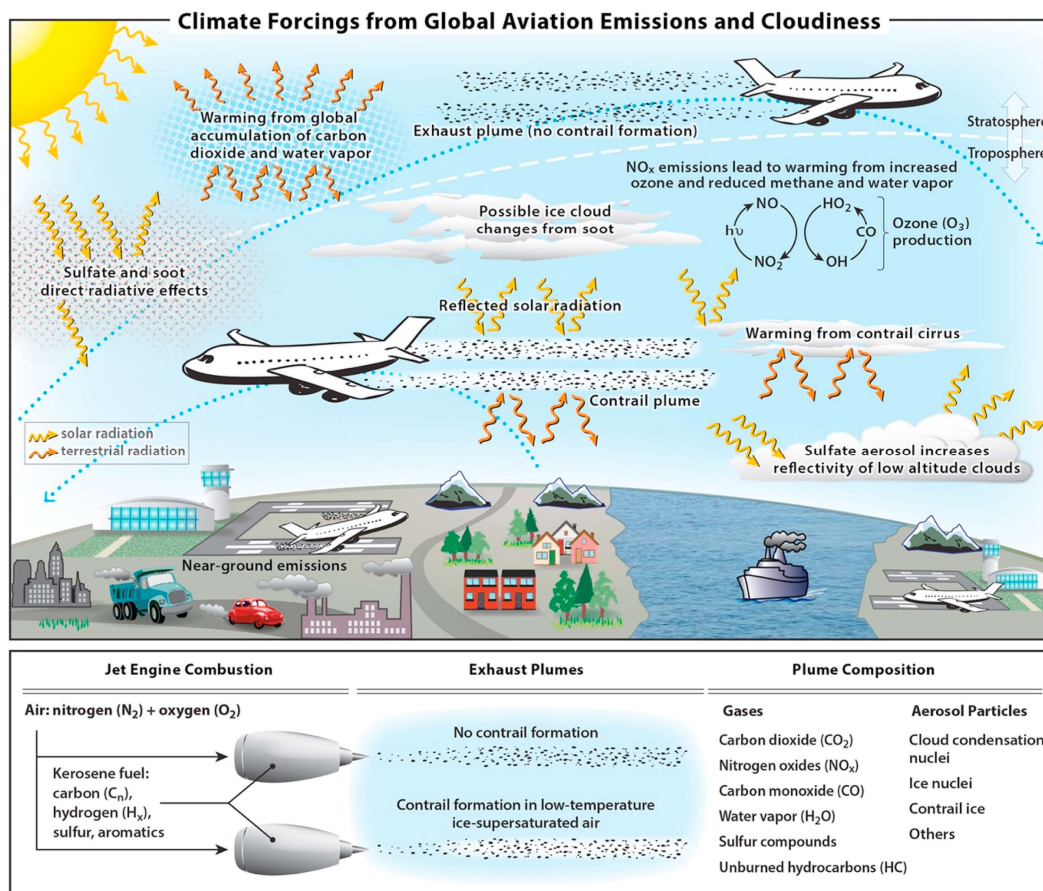
Treibhausgasemissionen der Schweiz



- THG-Emissionen fast aller Sektoren sinken
- Ausnahme: Flugverkehr
- Gesamte Klimawirkung des Flugverkehrs ist etwa 3x so hoch wie die der CO₂-Emissionen alleine
- Grund: "Nicht-CO₂-Effekte"
 - Kondensstreifen
 - Wolkenbildung
 - Feinstaub und NO_x

Quelle: BAFU 2024

Wie führt der Flugverkehr zu einer Klimaerwärmung?



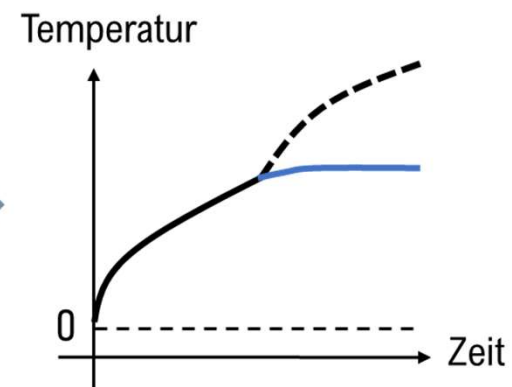
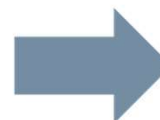
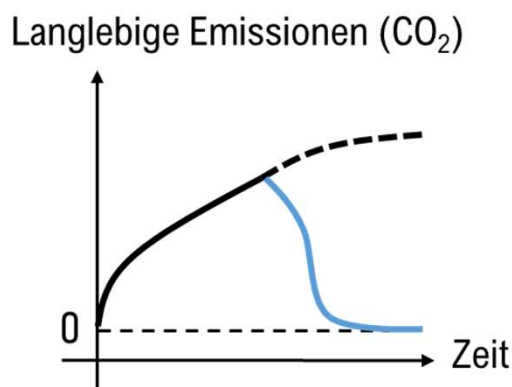
Quelle: Lee et al. 2021, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>

- **Langlebig:**
 - CO₂-Emissionen der Flugzeuge und Wasserdampf aus der Kerosin-Verbrennung
 - CO₂- und andere Treibhausgas-Emissionen aus Flughafentrieb, Flugzeugherstellung, etc.
- **Kurzlebig** (in höheren Luftschichten):
 - Kondensstreifen
 - Bildung von Cirruswolken
 - NO_x-Emissionen
 - Feinstaubemissionen
- CO₂ wirkt über Jahrhunderte, kurzlebige “Nicht-CO₂-Effekte” über Stunden bis Tage
- Zunahme des Flugverkehrs hat dazu geführt, dass **CO₂-Emissionen rund 1/3** der induzierten **Erwärmung** ausmachen, **«Nicht-CO₂-Effekte» ca. 2/3**

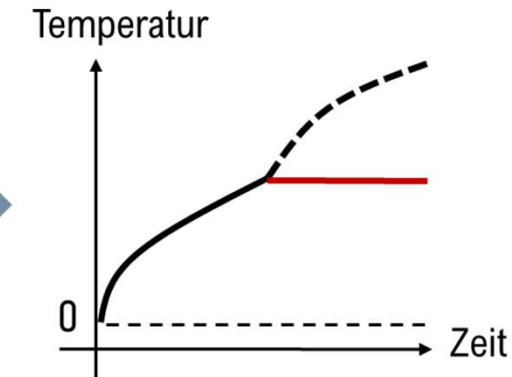
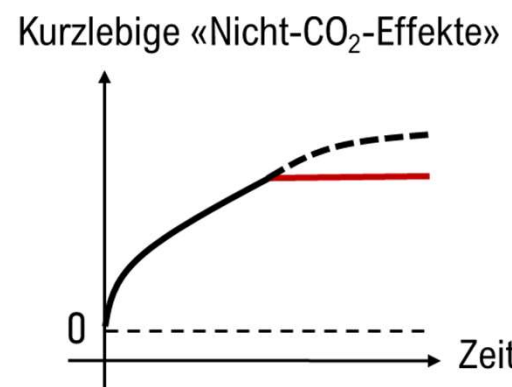
Was bedeutet überhaupt «klimaneutrales Fliegen»?

Kein weiterer Beitrag zur globalen Erwärmung







- CO₂-Emissionen (langlebig) müssen auf Null reduziert werden



- «Nicht-CO₂-Effekte» (kurzlebig) dürfen nicht weiter zunehmen



Was können wir gegen die Erwärmung durch den Flugverkehr tun?

- Flugzeuge effizienter machen 
- Weniger Fliegen 
- Treibstoffe nutzen, die keine (oder sehr geringe) CO₂-Emissionen verursachen
- Treibstoffe nutzen, welche die «Nicht-CO₂-Effekte» reduzieren
 - Nachhaltige Flugtreibstoffe / «Sustainable Aviation Fuels» (SAF) 
- Flugrouten so steuern, dass «Nicht-CO₂-Effekte» reduziert werden 
- CO₂ aus der Atmosphäre entfernen 
- Batterieelektrische und Wasserstoffantriebe entwickeln (Kurz- und Mittelstrecke) 

Batterieelektrischer Flugzeugantrieb?



Electric Airbus A220 by Wikimedia Commons user "Michael Weimold" (collage by Beata Korozo) under CC BY 4.0

Was sind «Sustainable Aviation Fuels» (SAF)?

1. SAF aus Biomasse-Reststoffen



Potenzial
beschränkt

2. SAF aus konzentrierter Sonnenstrahlung zur Erzeugung von Hochtemperatur-Wärme, Wasser und CO₂ («Sun-to-Liquid», StL)



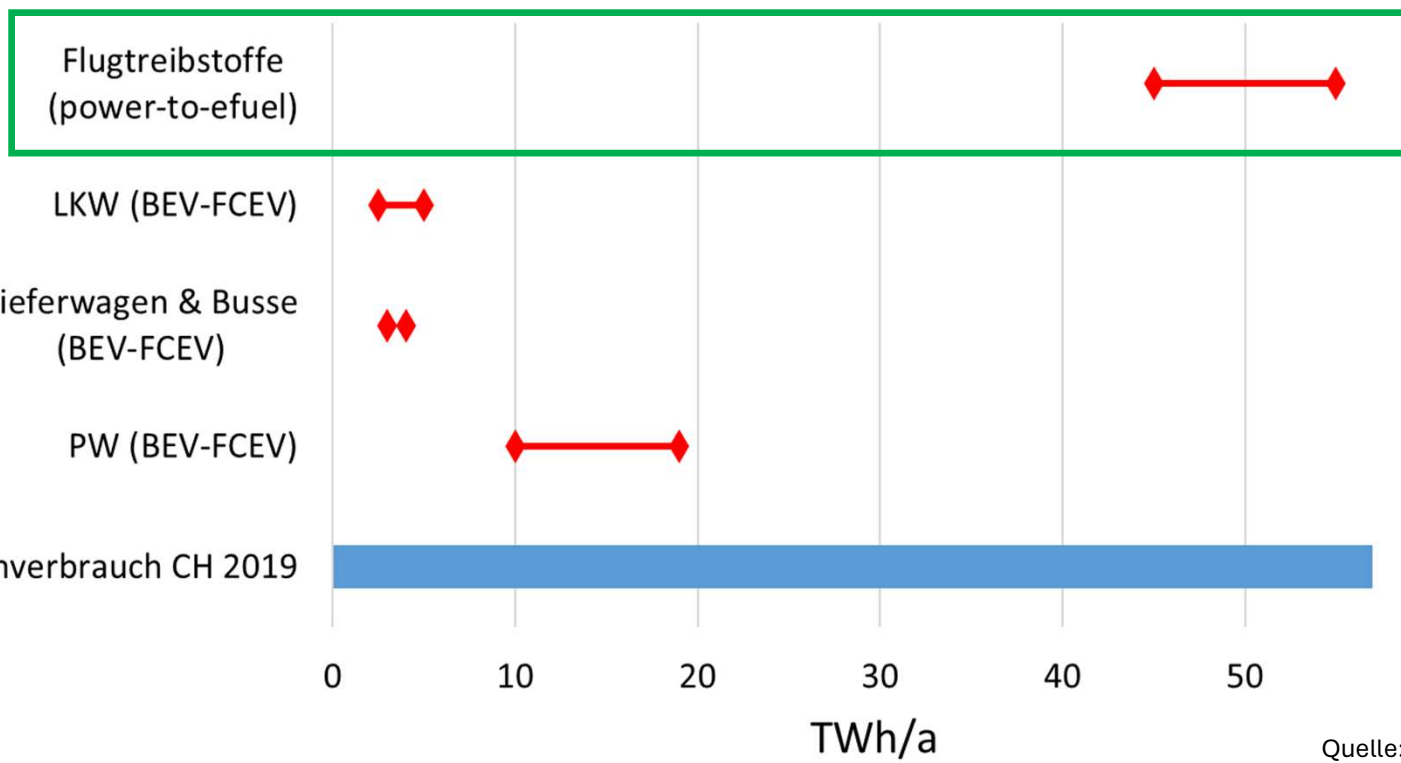
Teuer, heute noch
nicht verfügbar

3. SAF aus erneuerbarem Strom, Wasser und CO₂ («Power-to-Liquid», PtL)



Teuer, noch
wenig verfügbar

Strombedarf zur Elektrifizierung des Verkehrs, Schweiz



Für 70 TWh Strom pro Jahr

- PV in CH
70 GW (heute: 6 GW)
- PV in Sonnenländern
30 GW
- Windkraft an optimalen Standorten
15 GW (CH heute: 0.1 GW)

PW: Personenwagen LKW: Lastkraftwagen BEV: Batterie-Fzg FCEV: Brennstoffzellen-Fzg

Klimaneutrales Fliegen? Geht das?



Ja, das geht – aber nur wenn:

- ✓ Der Flugverkehr (global) nicht immer mehr zunimmt
- ✓ Genug «wirklich nachhaltige» SAF produziert werden
- ✓ Dazu die Stromproduktion aus Erneuerbaren massiv ausgebaut wird
- ✓ Immer noch vorhandene Klimaerwärmung durch Entfernung von CO₂ aus der Luft wirkungsvoll ausgeglichen wird

Klimaneutrales Fliegen wird deutlich teurer:

Es wird mit bis zu 3-mal teureren Flugtickets gerechnet

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

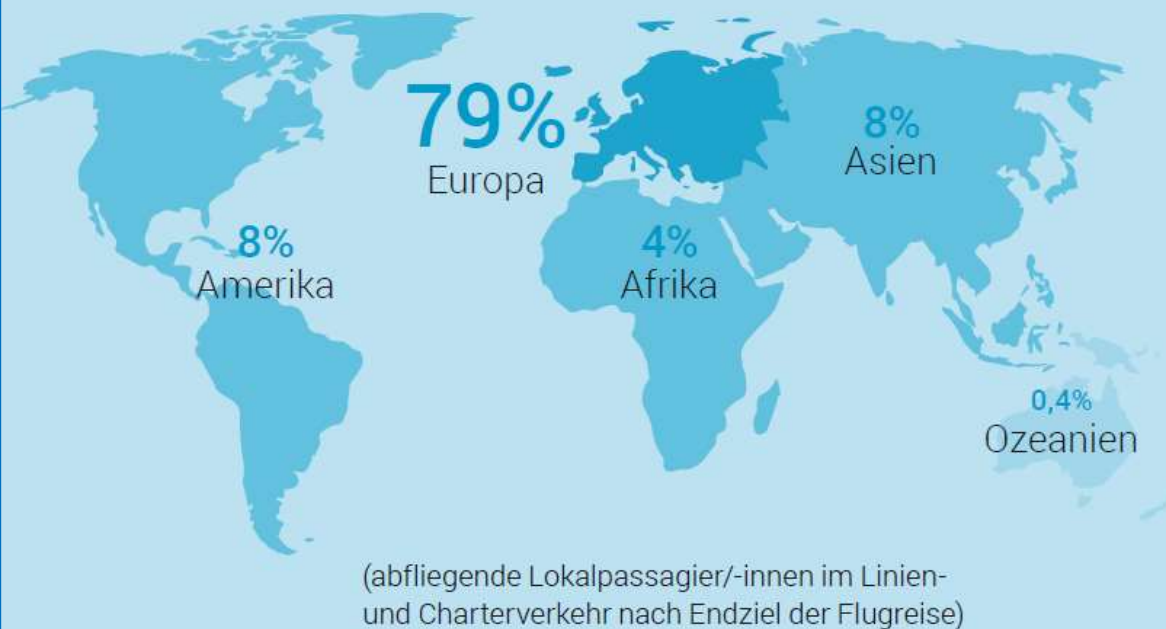
christian.bauer@psi.ch

<https://www.psi.ch/de/ta>

Zivilluftfahrt Schweiz 2023



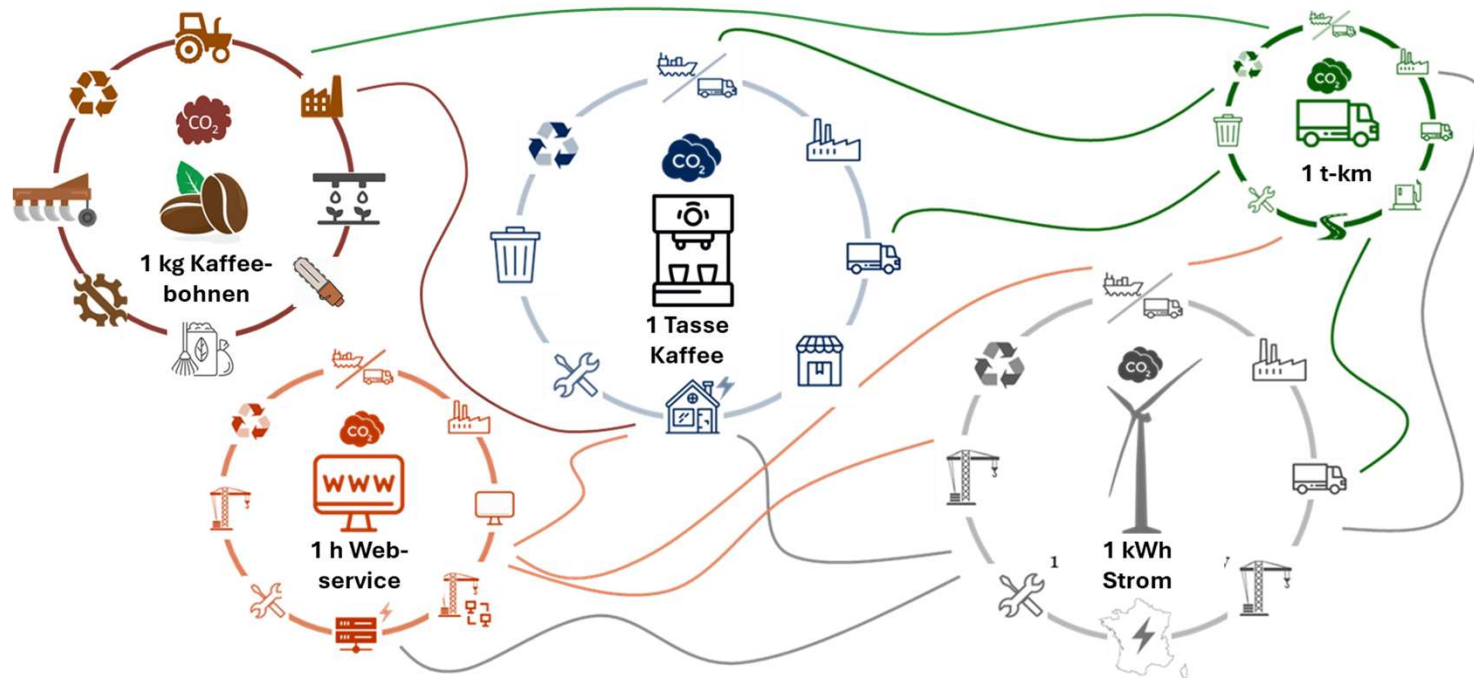
Destinationen der Passagier/-innen



Quelle: Bundesamt für Statistik

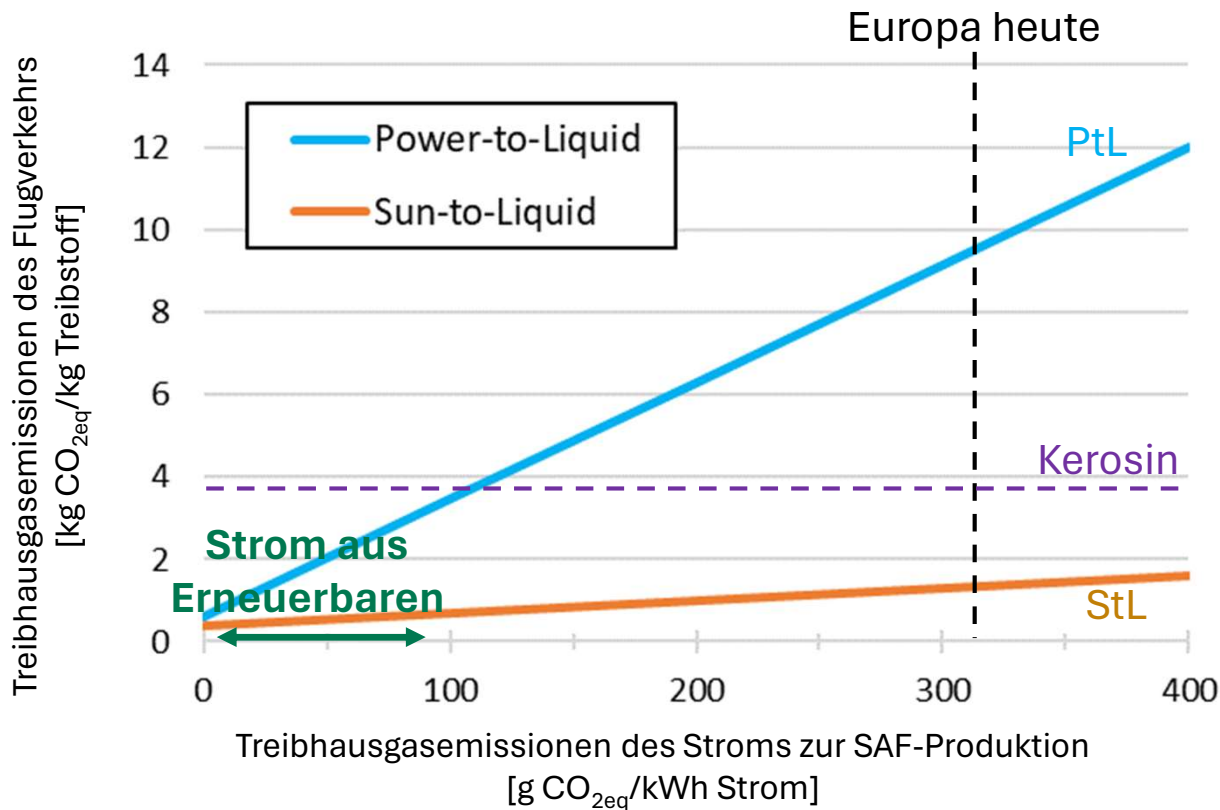
Wie stark senken SAF die CO₂-Emissionen?

→ Ökobilanz



In einer **Ökobilanz** werden **sämtliche Umweltbelastungen** gemessen, die entlang des **Lebenszyklus** eines Produkts anfallen, d.h. in der **Produktion**, der **Nutzung** und **Entsorgung**, inkl. aller Material- und Energieversorgungsketten

Wie stark senken SAF die CO₂-Emissionen?



Quelle: PSI

- SAF aus erneuerbarem Strom (PtL) brauchen Strom mit sehr geringen CO₂-Emissionen, um die CO₂-Emissionen des Flugverkehrs wirksam zu reduzieren
→ Wasser- und Windkraft, Fotovoltaik an guten Standorten
- StL Treibstoffe brauchen noch viel technische Entwicklung
- Dank “besserer” Zusammensetzung der StL- und PtL-Treibstoffe ist eine Reduktion der “Nicht-CO₂-Effekte” möglich

Ist klimaneutraler Flugverkehr bis 2100 möglich mit den realistischen Massnahmen?



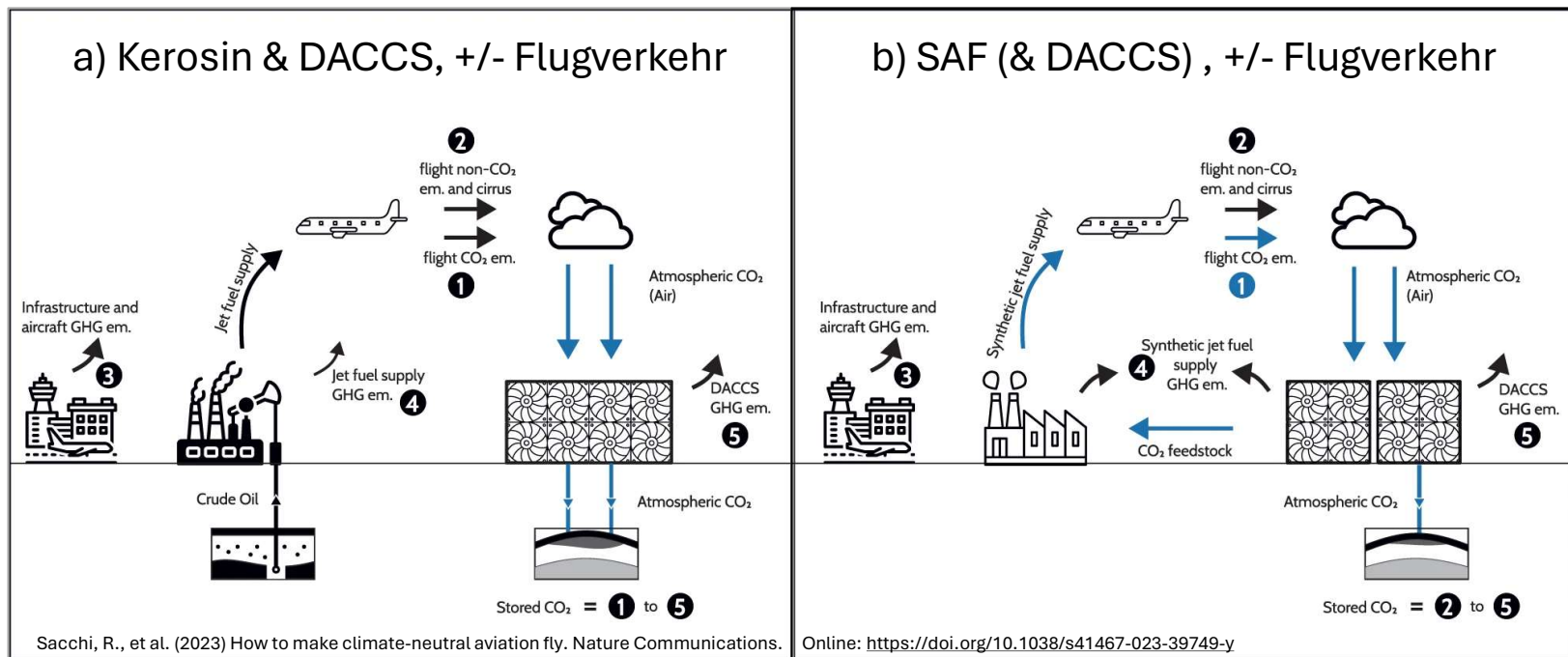
- Flugzeuge effizienter machen
- SAF nutzen, die geringe CO₂-Emissionen verursachen und «Nicht-CO₂-Effekte» senken
- CO₂ aus der Atmosphäre entfernen
- (Mehr oder) Weniger Fliegen

→ Zwei Möglichkeiten:

- a) Konventionelles Kerosin und Entfernung von CO₂ und “Nicht-CO₂-Effekten” aus der Atmosphäre, mittels DACCS
- b) SAF (“PtL”)
[und Entfernung von CO₂ und “Nicht-CO₂-Effekten” aus der Atmosphäre, falls nötig]

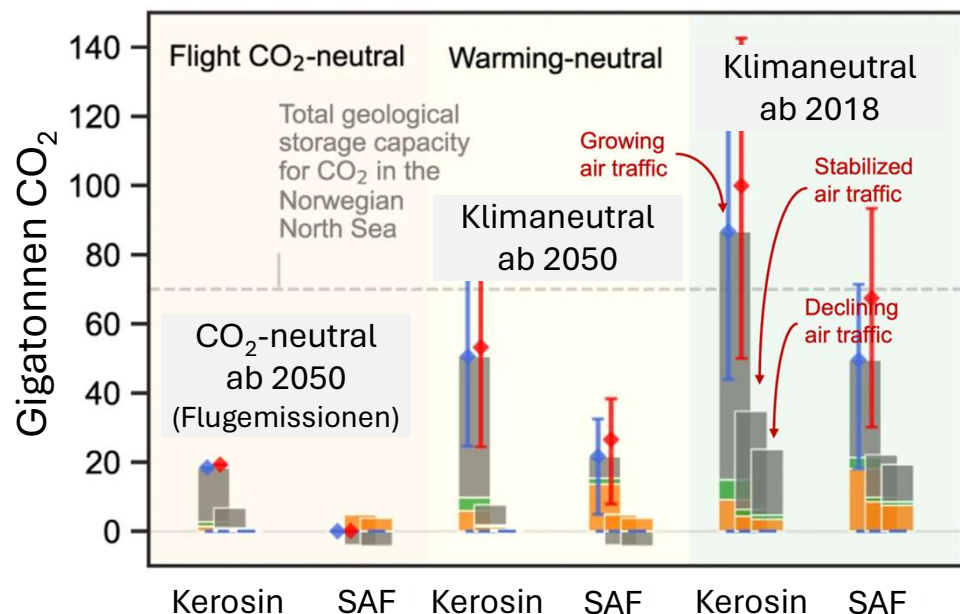
Ist klimaneutraler Flugverkehr bis 2100 möglich mit den realistischen Massnahmen?

- a) Konventionelles Kerosin und Entfernung von CO₂ und “Nicht-CO₂-Effekten” aus der Atmosphäre, mittels DACCS
- b) SAF (“PtL”) [und Entfernung von CO₂ und “Nicht-CO₂-Effekten” aus der Atmosphäre, falls nötig]

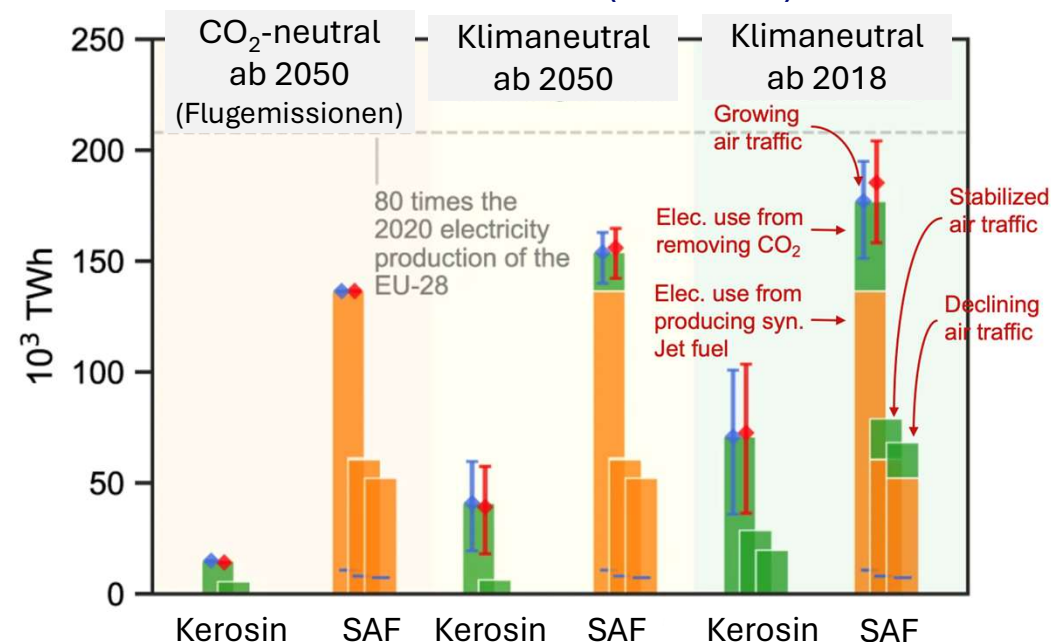


Klimaneutraler EU-Flugverkehr: Strom & CO₂-Speicher

Geologische CO₂-Speicher (bis 2100)



Stromverbrauch (bis 2100)



- Ein weiter wachsender Luftfahrtsektor ist mit Netto-Null-Zielen unvereinbar, da zu viele Ressourcen benötigt werden – egal, ob Kerosin oder SAF aus erneuerbarem Strom verwendet wird
- SAF braucht grosse Mengen an Strom, ist aber mit sehr geringen CO₂-Emissionen und geringeren “Nicht-CO₂-Effekten verbunden → weniger Reduktion des Flugverkehrs für Klimaneutralität notwendig