

# Die Luftfahrt auf dem Weg zu NetZero CO<sub>2</sub>

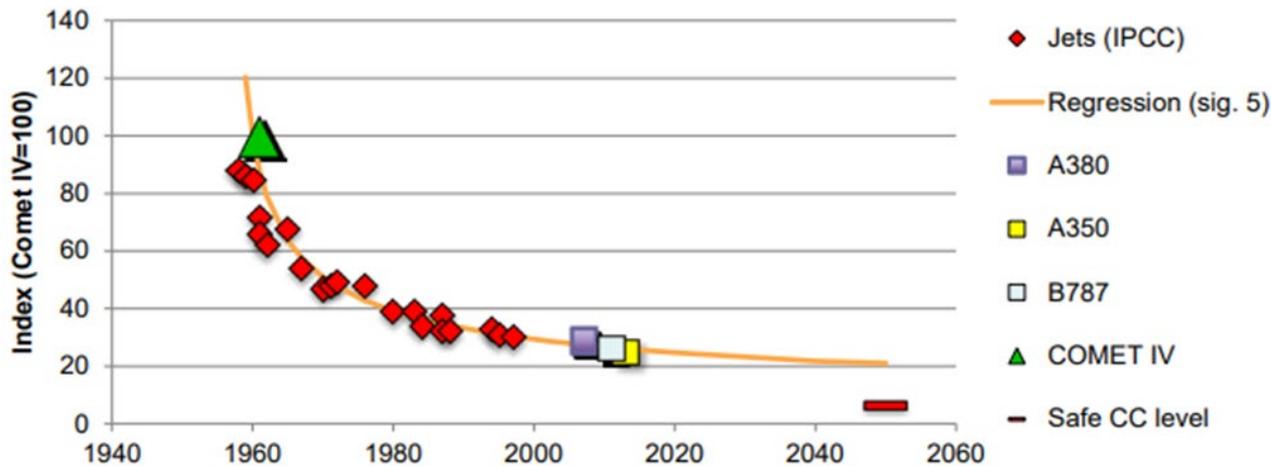


Dr. Peter Wild, Lehrbeauftragter Luftfahrt ETHZ

# Markante Entwicklungen in der Vergangenheit...

Effizienzsteigerungen:

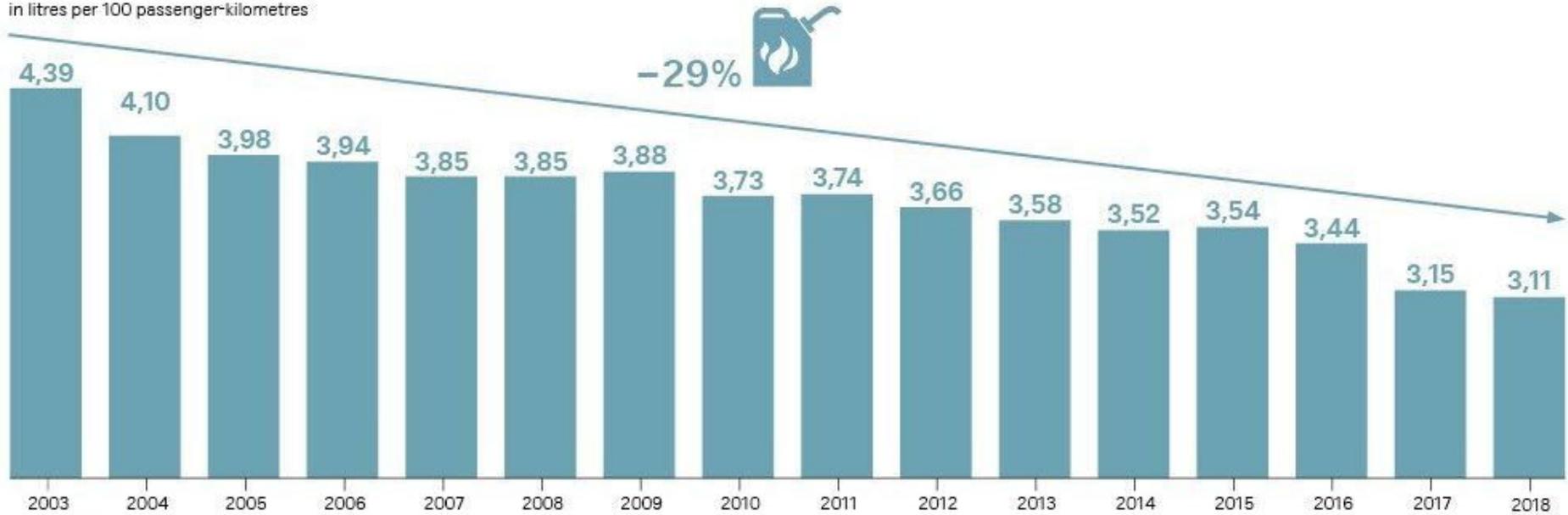
- Seit 1960: 82%
- 1990 bis 2020: 52%
- Seit 2009 2.3% pro Jahr
- Stärkere Entwicklung als andere Transportmittel



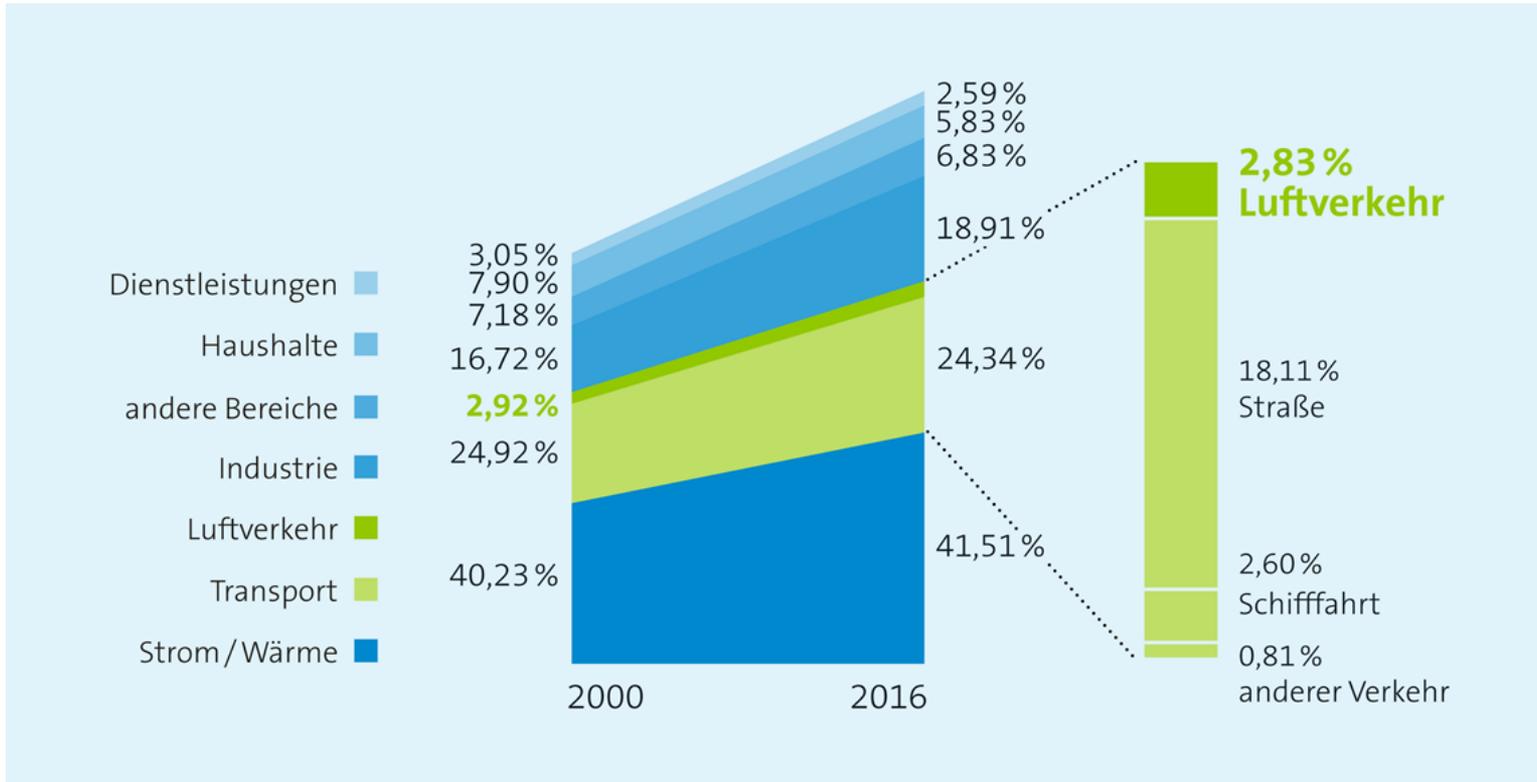
# Beispiel SWISS...

- 29% (Liter/100 PKM) in 15 Jahren

in litres per 100 passenger-kilometres



# Der globale Emissionsanteil der Mobilität...



BDL

## Doch...



- Die Europäische Umweltagentur prognostiziert, dass der weltweite *Luftverkehr und die Logistik* bis 2050 zusammen fast 40 % der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen werden, wenn keine weiteren Maßnahmen zur Eindämmung ergriffen werden (EUA 2017).
- Das Int. Transport Forum schätzt, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen der *Luftfracht* von 150 Millionen Tonnen im Jahr 2010 auf 767 Millionen Tonnen im Jahr 2050 ansteigen werden, was einem Anstieg von 411 % bei unveränderten Bedingungen entspricht (Greenair 2021).

# Politische Rahmenbedingungen

## Global:

ICAO etablierte *CORSIA*; klimaneutrales Wachstum ab 2020.  
Ab 2024 verpflichtend für ICAO Mitglieder!

## EU:

*“Fit for 55”* -55% CO<sub>2</sub> im Jahre 2030 im Vergleich zu 1990.

*“Flightpath 2050”* - 75% CO<sub>2</sub> und -90% NO<sub>x</sub>.

# Strategie IATA

## IMPROVED TECHNOLOGY

- Fleet Renewal
- Bio Fuels
- Radical New Engine Advances

## EFFECTIVE OPERATIONS

- Improved operational practices
- Efficient aircraft operations

## EFFICIENT INFRASTRUCTURE

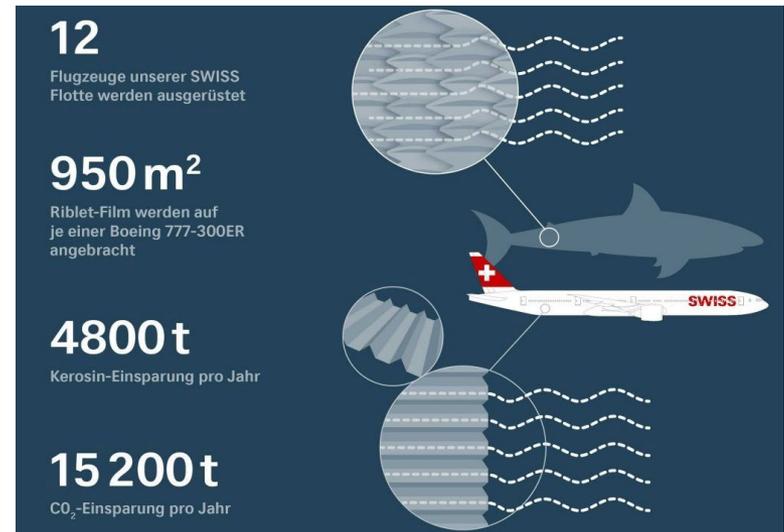
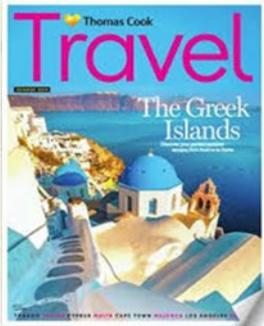
- Implementation of ATM (Air Traffic Management)
- Airport Infrastructure

## POSITIVE ECONOMIC MEASURES

- Carbon Offset & Trading
- Carbon Incentives

# Operative Massnahmen

- Gewichtsreduktionen (3-25% weniger Kerosen/Tonne Masse)
- Optimierte Flugverfahren
- Aerodynamische Massnahmen



## Technologische Massnahmen

- Neu Materialien (Komposite; Gewichtsreduktionen)
- Verbesserte Aerodynamik (neue Flügel: 10-15%)
- Neuere Triebwerke mit höherem Bypass-Ratio von 1:15 (~10-25%)... *1% Optimierung pro Jahr!*

**CSERIES • 70% Advanced Structural Materials Bring Significant Weight Savings**

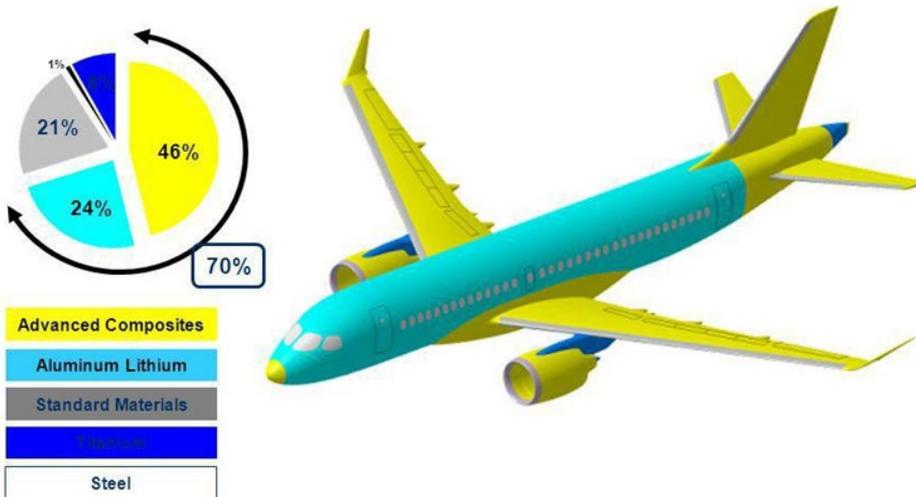


Figure 9: Ultra-High Bypass Ratio engine design (Safran UHBR Clean Sky project)

# Ausblick – die revolutionäre Phase

*Wir befinden uns in ein Übergangsphase von Evolution zu Revolution...*

Dies basiert auf zwei Säulen:

- *Neue Treibstoffe* (Sustainable Aviation Fuels (SAF), elektrische Antriebe & Wasserstoff)
- Neue Flugzeugtypen

## Biofuels

Ausgangsstoffe: Abfall, Forstabfälle, Algen, ölhaltige Pflanzen, Zuckerrohr, Gräser

Verfahren: Biomass-to Liquid via Fischer Tropsch; HEFA Verfahren, Alcohol-to Jet (AtJ) oder DSHC (Raffinierung).

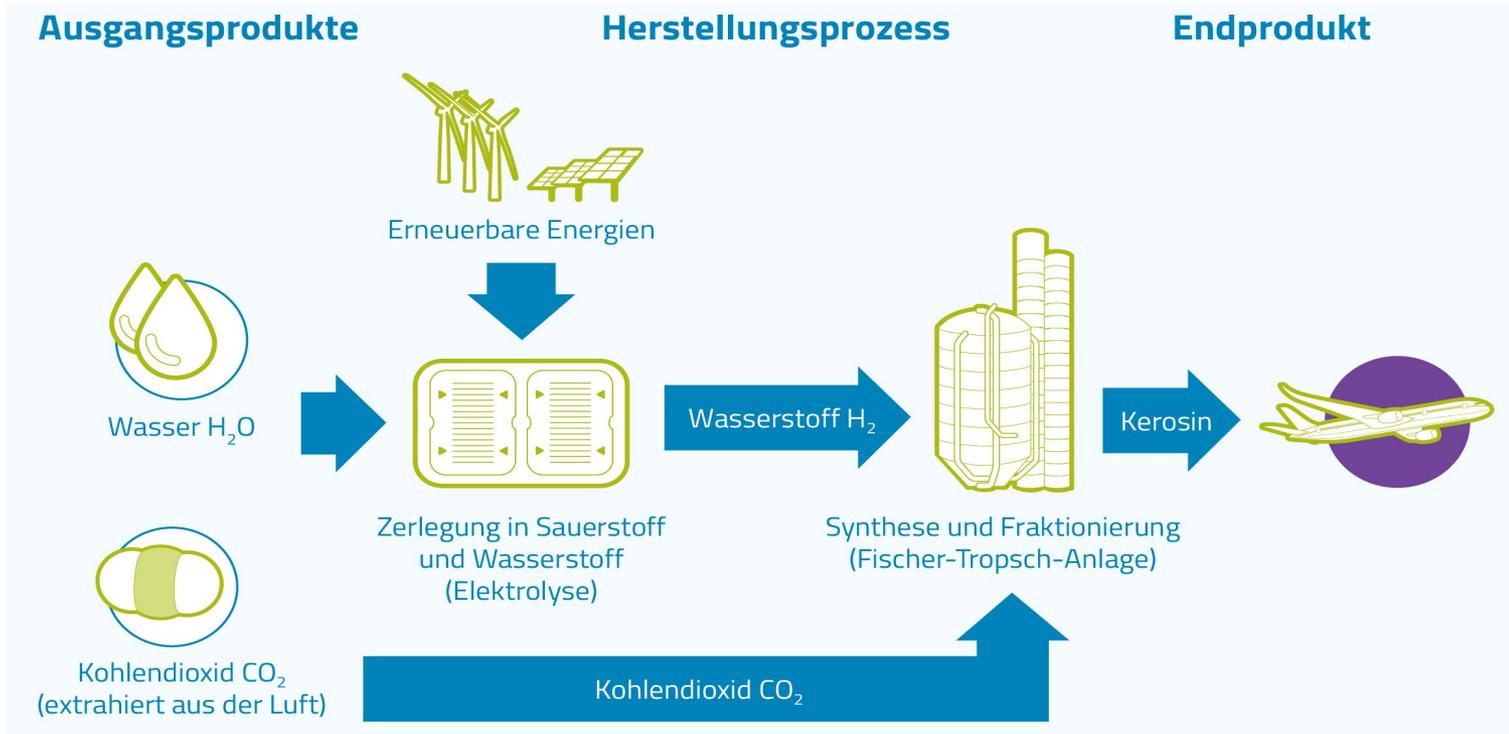
CO<sub>2</sub> Reduktion: 33-94%

Preis: USD 0.43-8.44 pro Liter (Kerosen USD 0.3-0.8)

# Airlines...Fliegende Gemüsehändler?



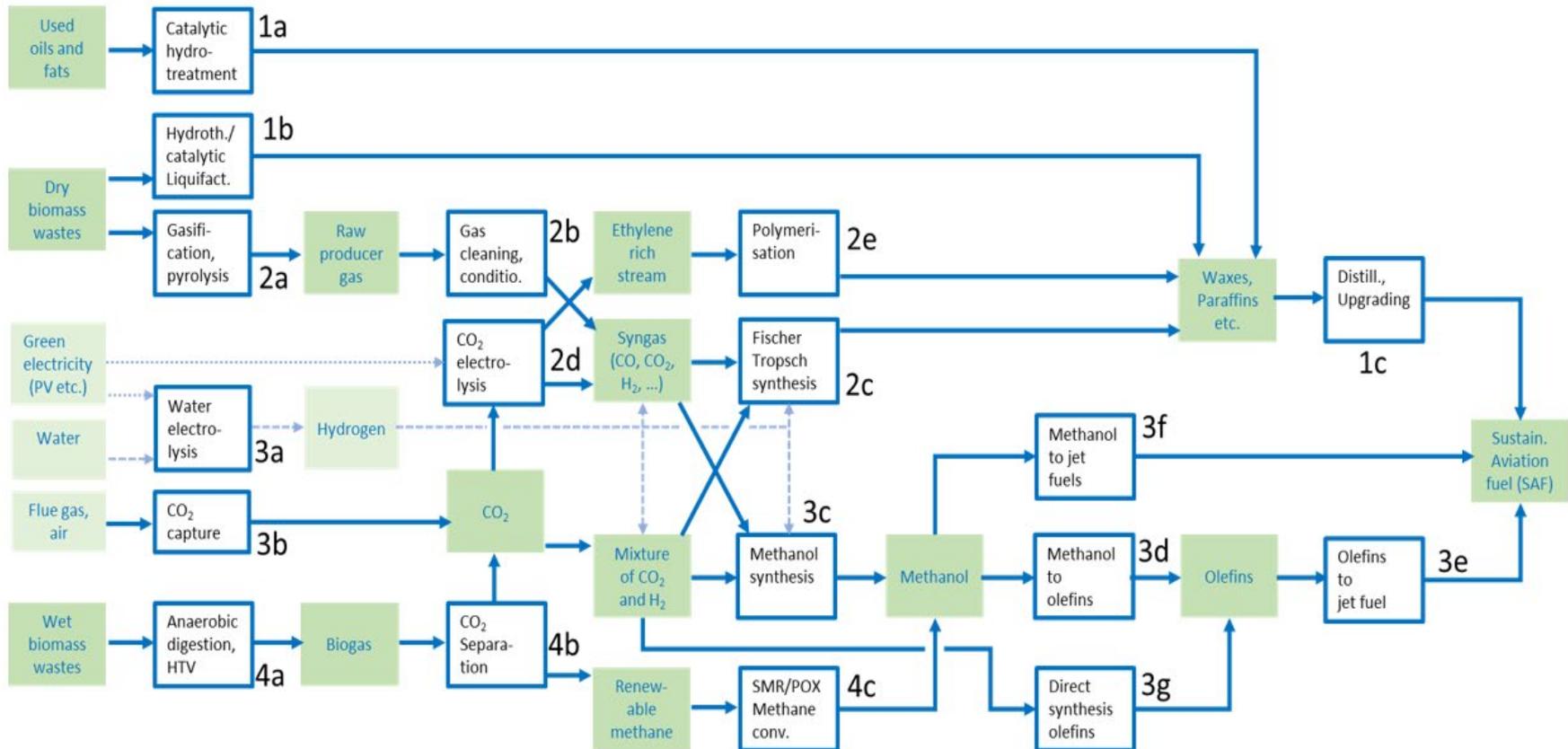
# Power-to-Liquid (PtL) Verfahren



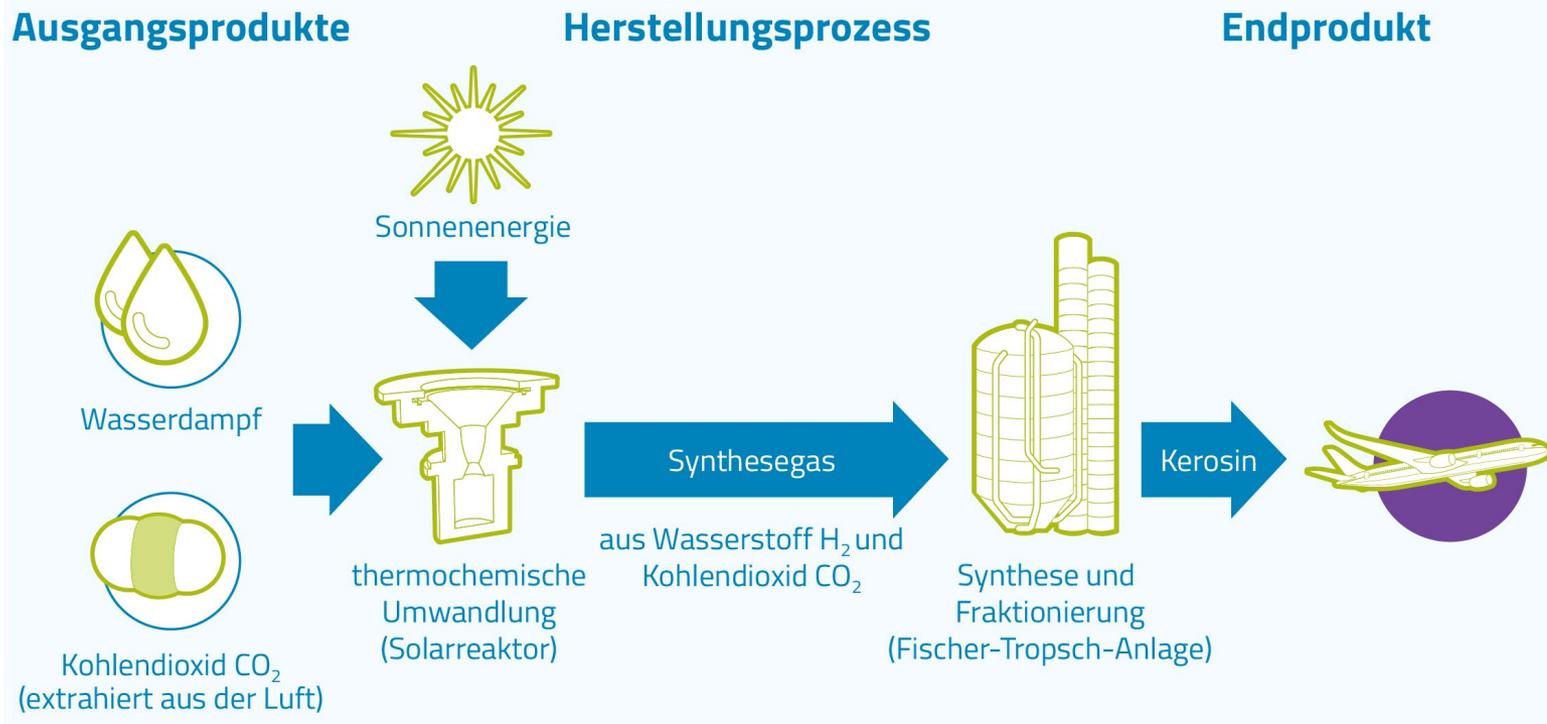
$CO_2$  Reduktion: 85-90%

Preis: USD 1.33-3.78

# Vielfalt im PtL/Biofuel Prozess



# Sun-to-Liquid (StL) Verfahren



CO<sub>2</sub> Reduktion: 100%

Preis: USD 1.33-2.22 (2030: USD 1.00)

## Elektrische Antriebe

CO<sub>2</sub> Reduktion: 100% (auch andere Gase wie Stickoxide), sofern via erneuerbare Träger hergestellt.

Wegen der Energiedichte nur auf sehr kurzen Strecken denkbar (500-1000km)

Gewicht der Batterien reduziert auch Wirtschaftlichkeit (Payload reduziert). Zudem wäre ein Umbau der Flugplätze notwendig...

Option: Brennstoffzelle (H<sub>2</sub>)...-100% CO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>;  
-60-80% Contrails

# Wasserstoff

CO<sub>2</sub> Reduktion: 100%,  
NOx 60-80% (Contrails -  
50%)



Triebwerke: Kleiner und hybrid -daher direkte Verbrennung  
und Brennstoffzellen liefern Strom ab Bord.

Preis: € 2,8– 6,2 pro Kilogramm Wasserstoff, aber 3x höhere  
Energiedichte!

Herausforderungen: 4x mehr Volumen!

Ferner, Zertifizierung Flugzeuge, Umbau Flugplätze,  
Distribution H<sub>2</sub>, Betankung etc.

## Open Rotor & Strut-Wing A/Cs

- Der gegenläufige, offene Rotor ist eine Mischung aus einem Propeller und einem Turbofan (-30% CO<sub>2</sub>/mehr Lärm/geringere Geschwindigkeit, M 0,7).
- Flugzeug mit Strebenflügeln, wobei die lange Flügel den induzierten Luftwiderstand reduzieren (mit neuen Turbofans: -29% CO<sub>2</sub>; kombiniert -52% CO<sub>2</sub>)



# Die Aussichten stimmen uns zuversichtlich...



**Herzlichen Dank fürs Interesse**

[wildp@ethz.ch](mailto:wildp@ethz.ch)