



e-Fuels – Herausforderungen und Chancen

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Markus Lehner

WO AUS FORSCHUNG ZUKUNFT WIRD

Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes

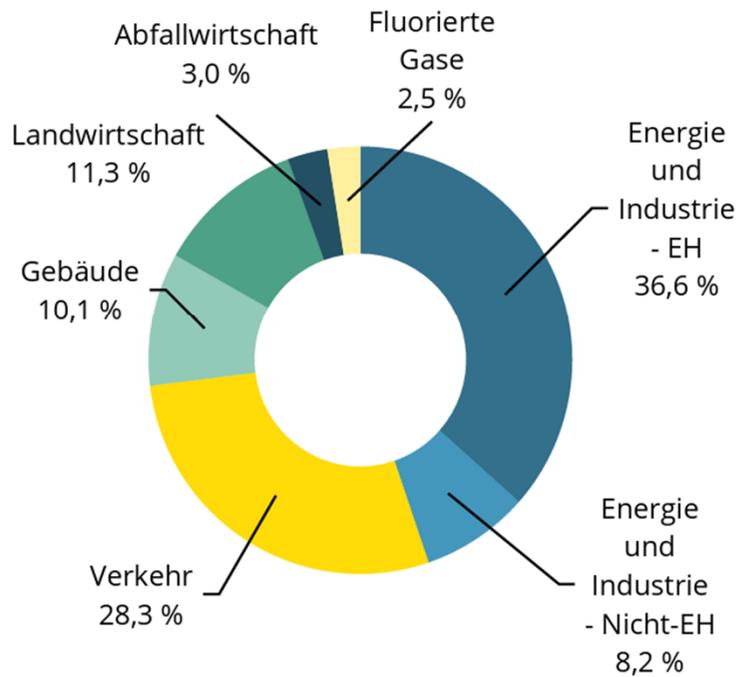
Einführung zum Thema „eFuels“

Definitionen

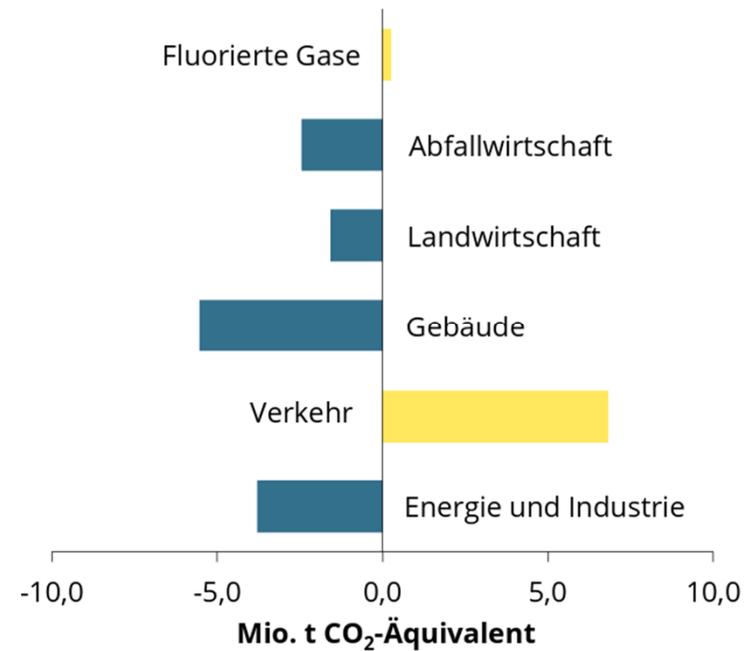
- **Power-to-X (PtX):** Umwandlung von erneuerbarer, elektrischer Energie („Power“) in Stoffe oder andere Energieformen („X“)
- **Power-to-Gas (PtG):** Umwandlung von erneuerbarer, elektrischer Energie in H₂ oder Methan (CH₄)
- **Power-to-Liquid (PtL):** Umwandlung von erneuerbarer, elektrischer Energie in flüssige Stoffe, z.B. Methanol, synthetisches Rohöl oder e-Fuels (flüssigen Treibstoffen), teilweise auch genannt: *Power-to-Chemicals*, *Power-to-Fuels*
- **Sustainable Aviation Fuels (SAF):** Flugkraftstoff (synthetisches Kerosin), die aus erneuerbarer Biomasse, abfallbasierten Rohstoffen oder erneuerbarem Strom hergestellt werden (dann: eKerosin)
- **e-Fuels:** Synthetische Kraftstoffe, die aus erneuerbarem Strom hergestellt werden, wobei die Ausgangsstoffe CO₂ und H₂O sind. Gehören zu Power-to-Liquid Verfahren.

Anteil der Sektoren an den THG-Emissionen 2022

Anteil der Sektoren an den gesamten THG-Emissionen 2022



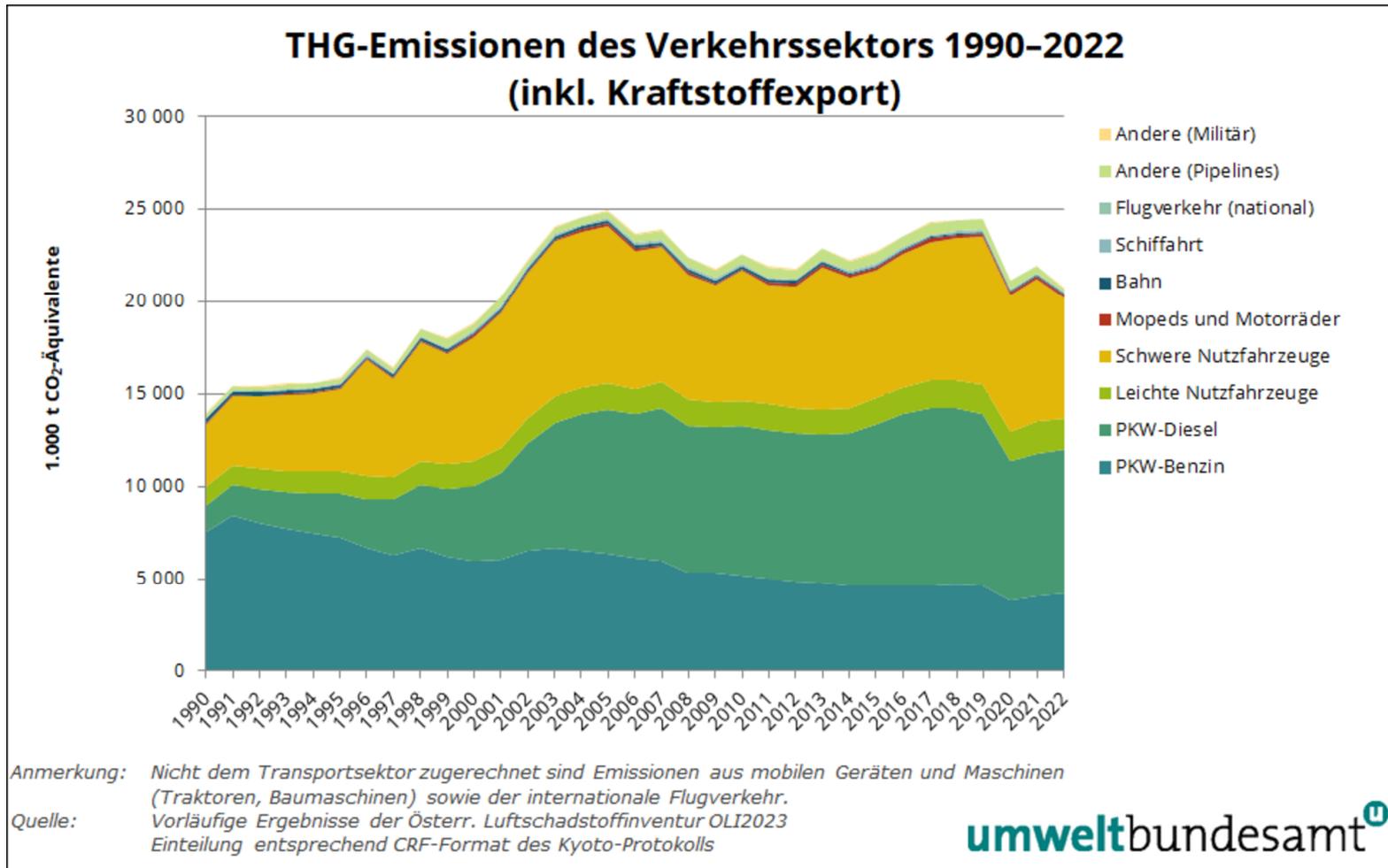
Änderung der Emissionen zwischen 1990 und 2022



Quelle: Umweltbundesamt, 2024a.

umweltbundesamt[®]

Treibhausgase je Verkehrssektor



Auf welcher Technologie basiert die Mobilität der Zukunft?

E-Mobilität



Wasserstoff



e-Fuels



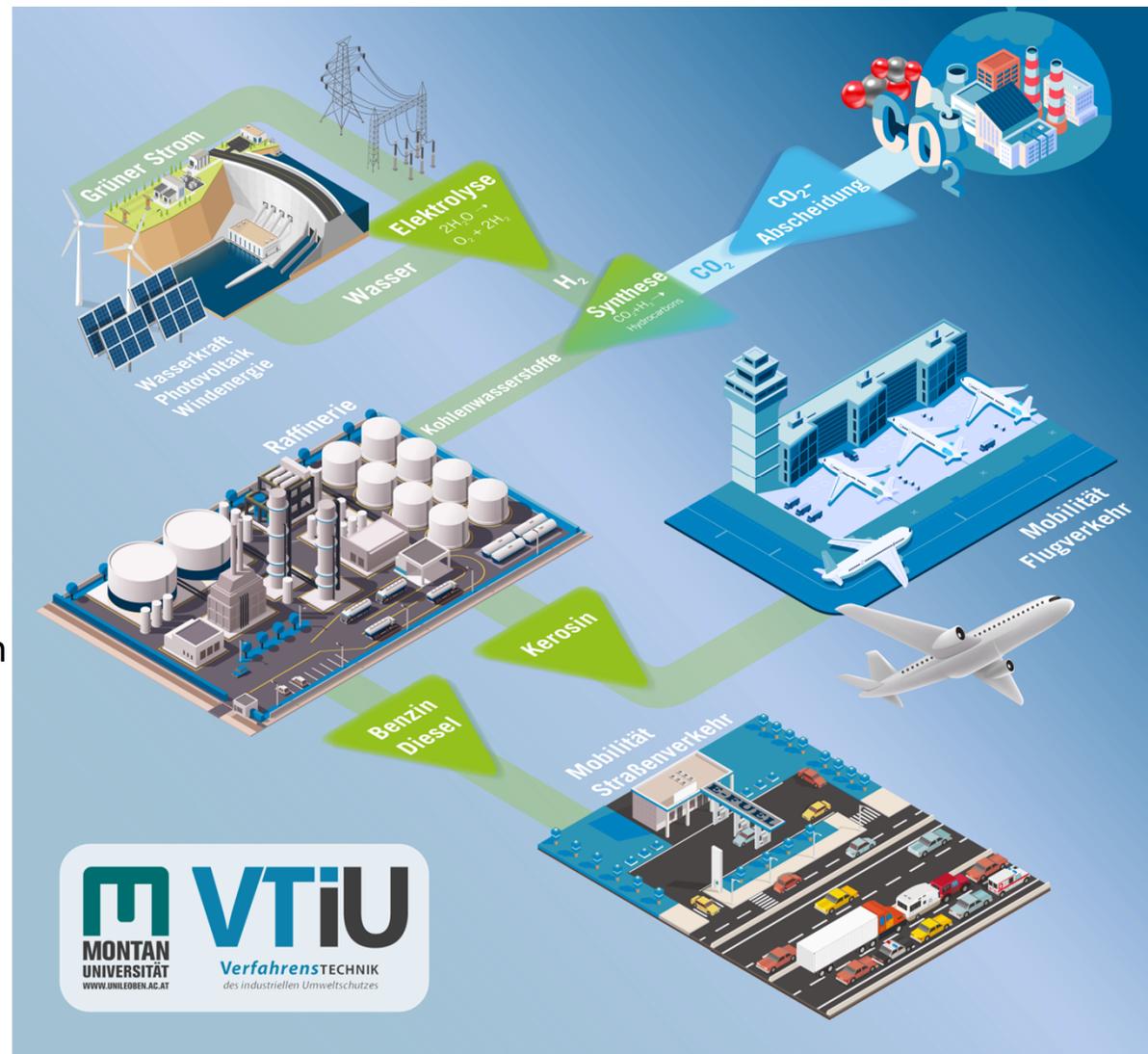
Herstellprozesse für „eFuels“

Schema der Herstellung von e-Fuels

Wasserstoff aus Elektrolyse
mit erneuerbarem Strom

Mehrstufige katalytische
Umwandlung zu
synthetischen Kraftstoffen

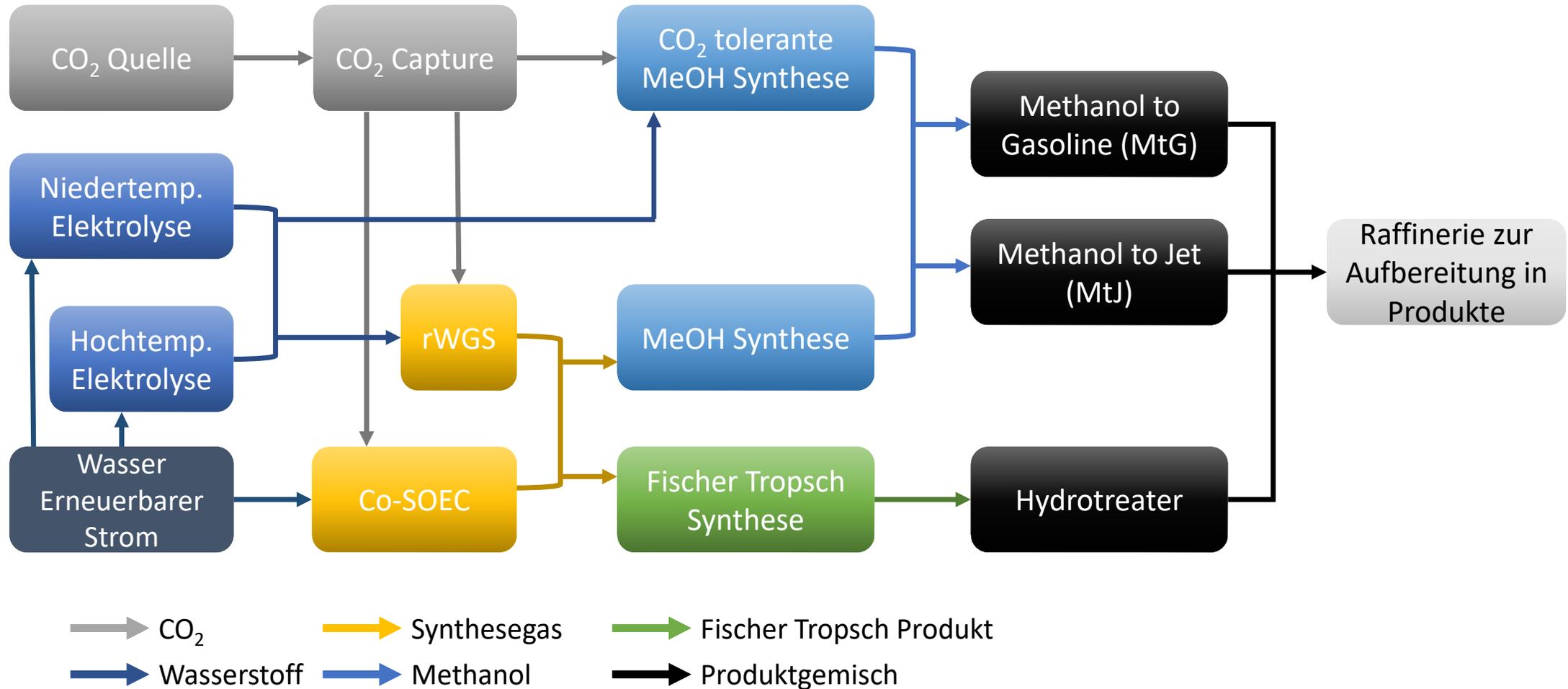
Aufbereitung zu Kraftstoffen
erfordert eine Raffinerie
bzw. umfangreiches
Downstream-Processing



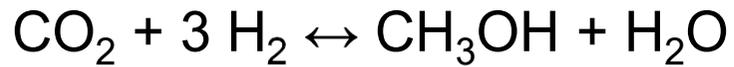
CO₂: biogene Quellen oder
aus der Luft; problematisch:
Industrielle Quellen

e-Fuels können in
bestehender Infrastruktur
und ohne Änderung der
Motoren/Turbinen
verwendet werden.

Prozessketten für die Produktion von flüssigen Kohlenwasserstoffen aus CO₂

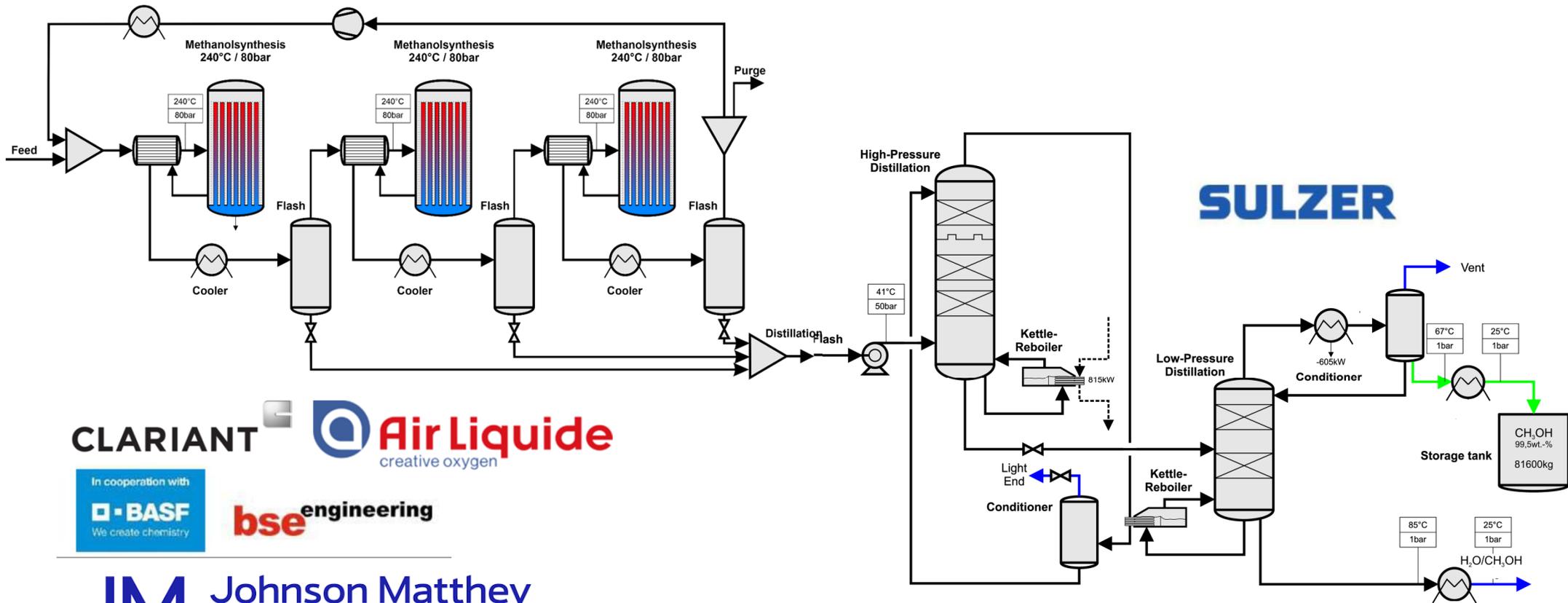


Direkte Synthese von Methanol aus CO₂



$$\Delta H_r^0 = -49,5 \text{ kJ/mol}$$

TRL 7-8



CLARIANT

Air Liquide
creative oxygen

In cooperation with
BASF
We create chemistry

bse engineering

JM Johnson Matthey
Inspiring science, enhancing life

M MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN

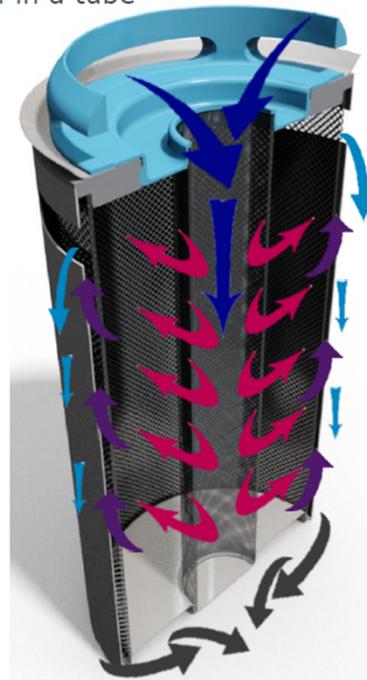
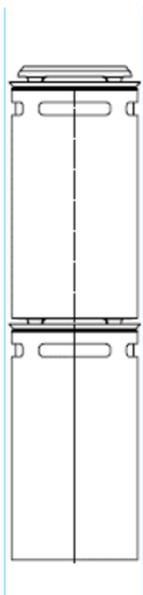
SULZER

VTiU

Fischer-Tropsch Synthese: Technologieanbieter

CANS™ catalyst carrier, manages flow path and enables efficient heat removal in a tube

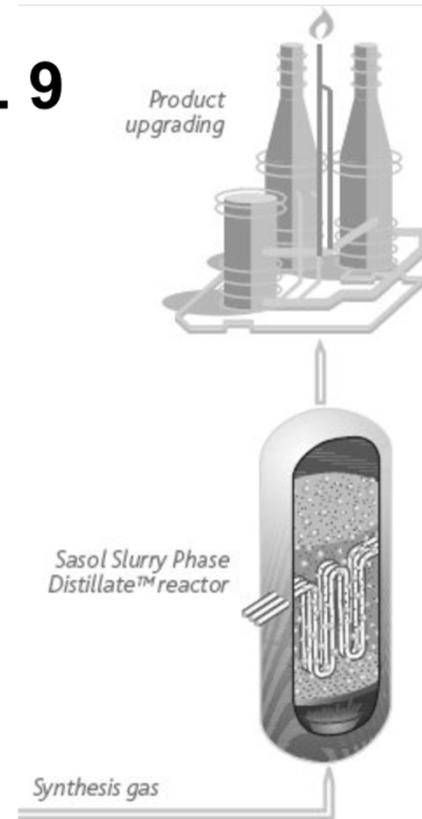
Multiple **CANS** carriers in tubes



JM

JM Johnson Matthey
Inspiring science, enhancing life

TRL 9



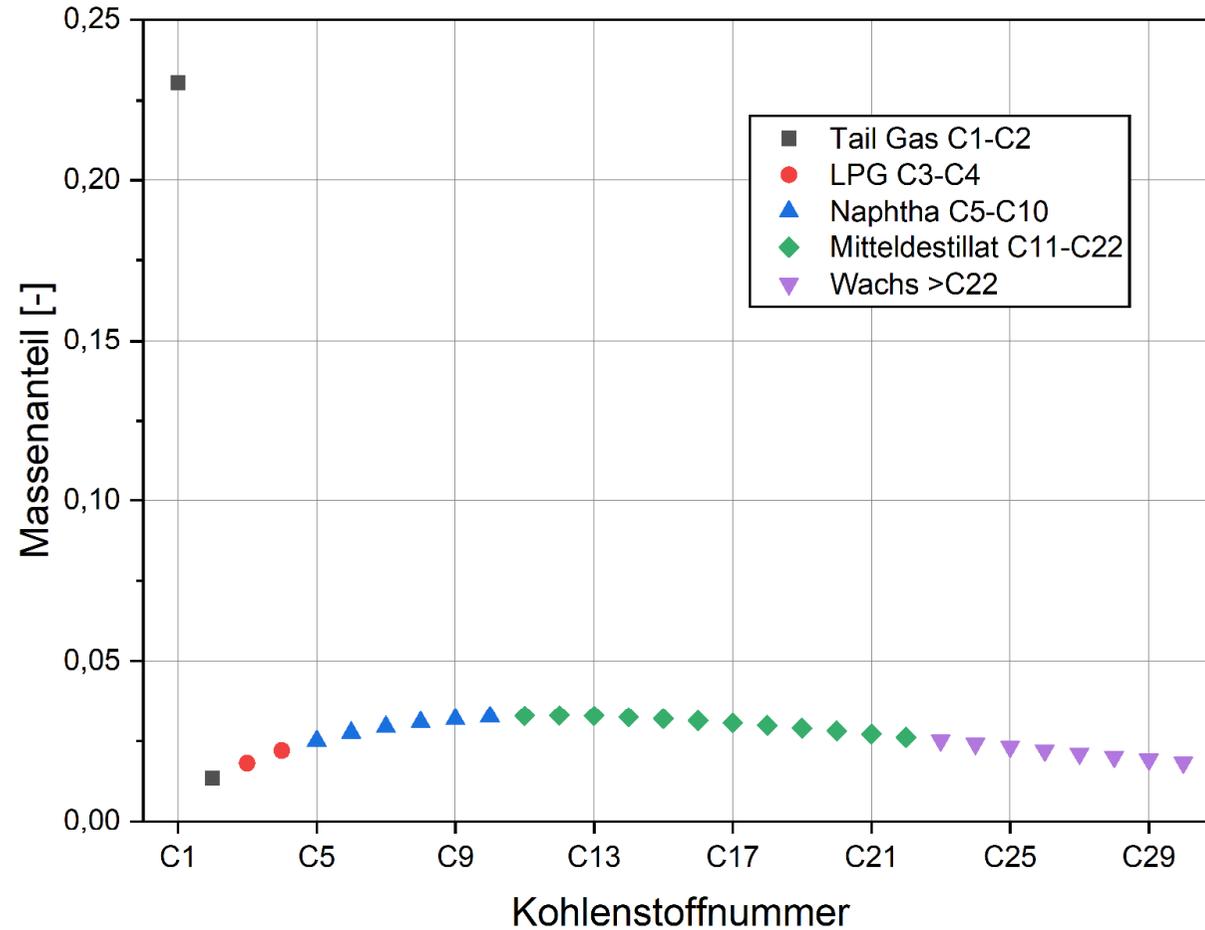
Reactor Demonstration Facilities in South Africa
Slurry Phase Design Reactor for Hydrocarbon Synthesis (400bpd) and Catalyst Testing Reactor (5bpd)

TOPSOE

sasol

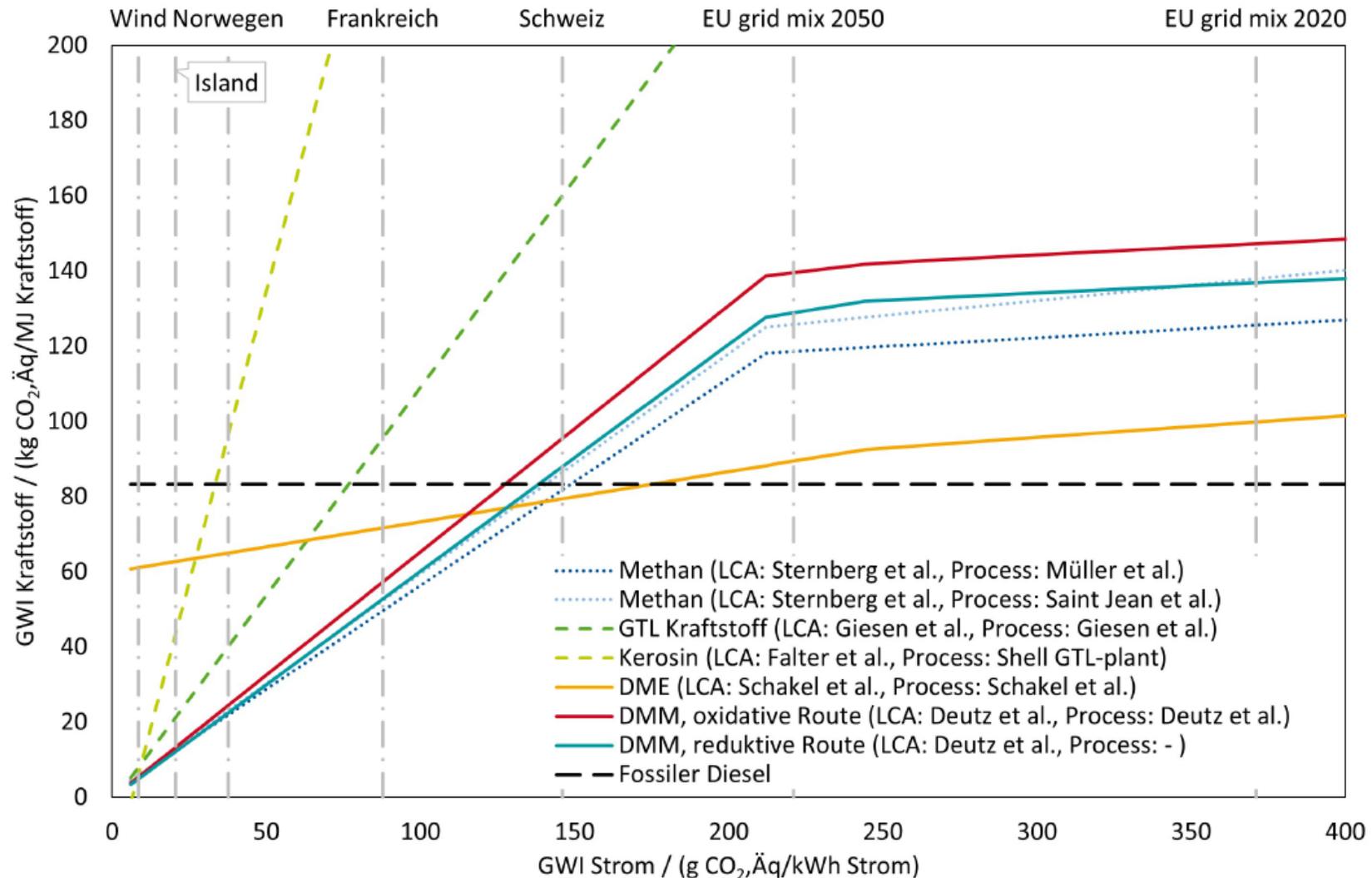


Fischer Tropsch Produktverteilung

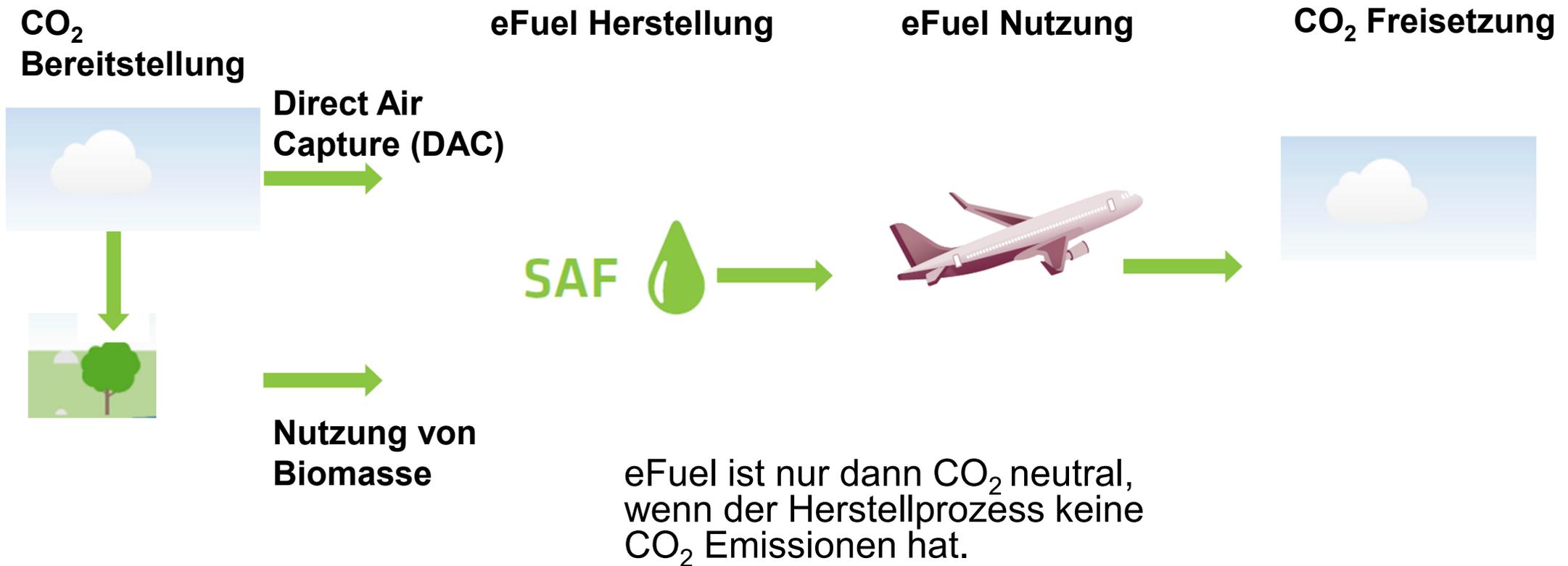


Klerk, Arno de (2011): Fischer-Tropsch refining. 1. ed., [elektronische Ressource]. Hoboken, NJ, Weinheim: Wiley; Wiley-VCH.

Treibhausgaspotential verschiedener Kraftstoffe in Abhängigkeit des CO₂-Fußabdrucks des Stroms

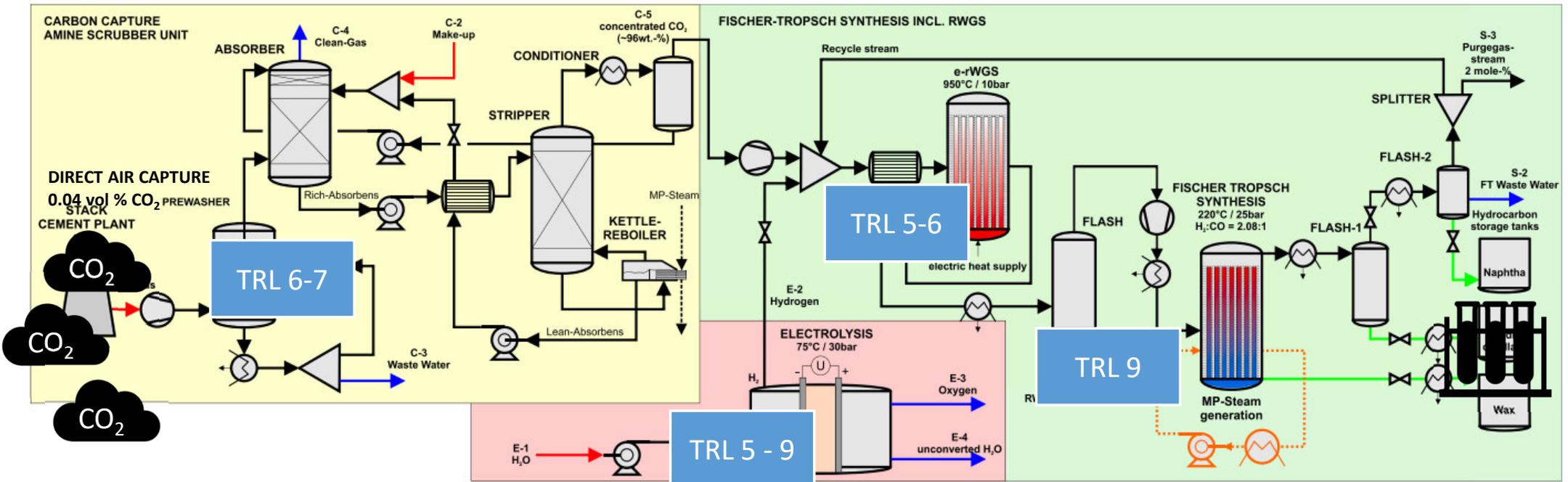


Zur Herkunft des CO₂: CO₂-neutrale Prozesse



Derzeitiger Stand der Technik

Beispiel Prozesskette: Power-to-Liquid: Carbon Capture, Elektrolyse, rWGS, FTS

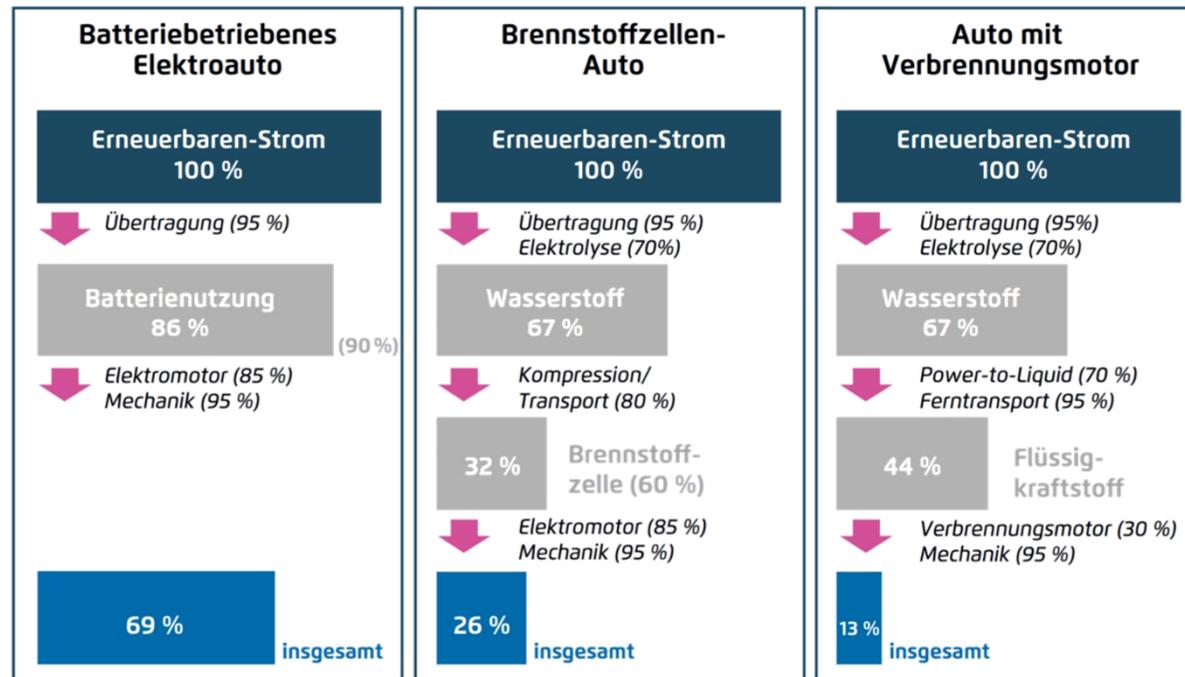


TRL des gesamten Prozesses 6, d.h. es befinden sich derzeit Demonstrationsanlagen im Einsatz

Wirkungsgrade und Kosten

Gesamtwirkungsgrad verschiedener Antriebsarten

Einzel- und Gesamtwirkungsgrade von Pkw mit unterschiedlichen Antriebskonzepten ausgehend von erneuerbar erzeugtem Strom



Hinweis: Einzelwirkungsgrade in Klammern. Durch Multiplikation der Einzelwirkungsgrade ergeben sich die kumulierten Gesamtwirkungsgrade in den Kästen.

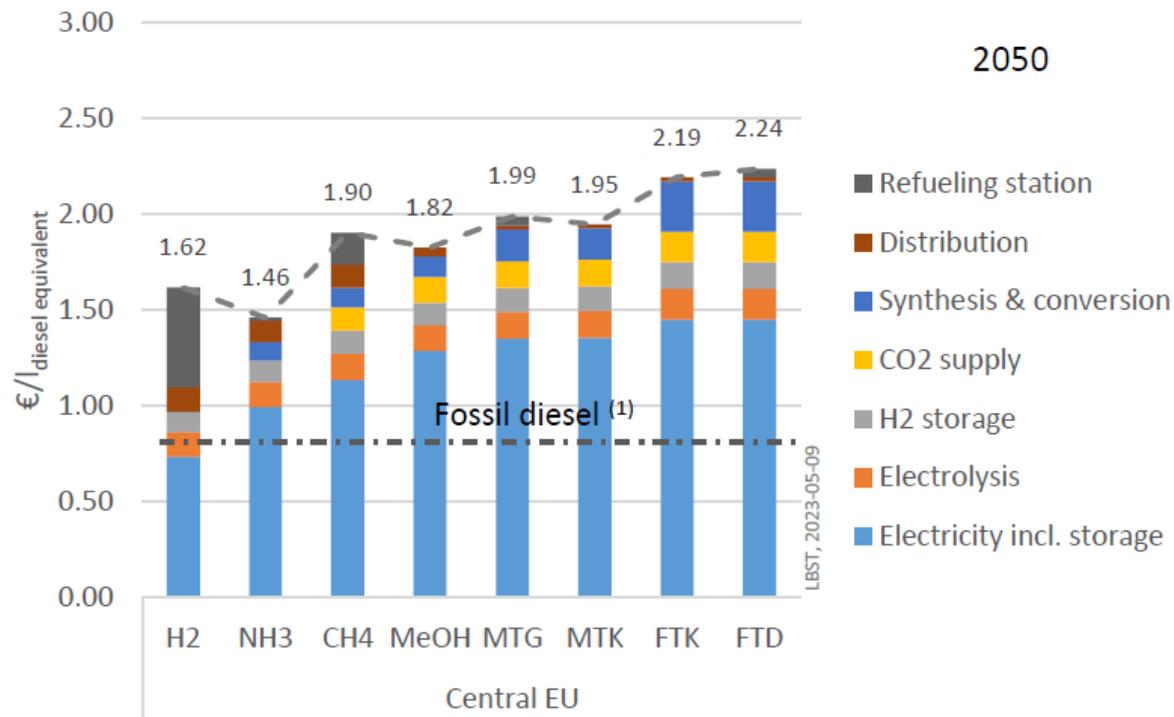
Quelle: Perner, J.; Unteutsch, M. und Lövenich, A. 2018: Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe. Köln, Berlin: Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics, S. 12 – Berechnung auf der Grundlage von acatech, Leopoldina, Akademiunion 2017: "Sektorkopplung" – Optionen für die nächste Phase der Energiewende. Stellungnahme, November 2017, Abbildung 5

Kosten für e-Fuels Herstellung in Europa

Referenzjahr 2050

Figure VII:

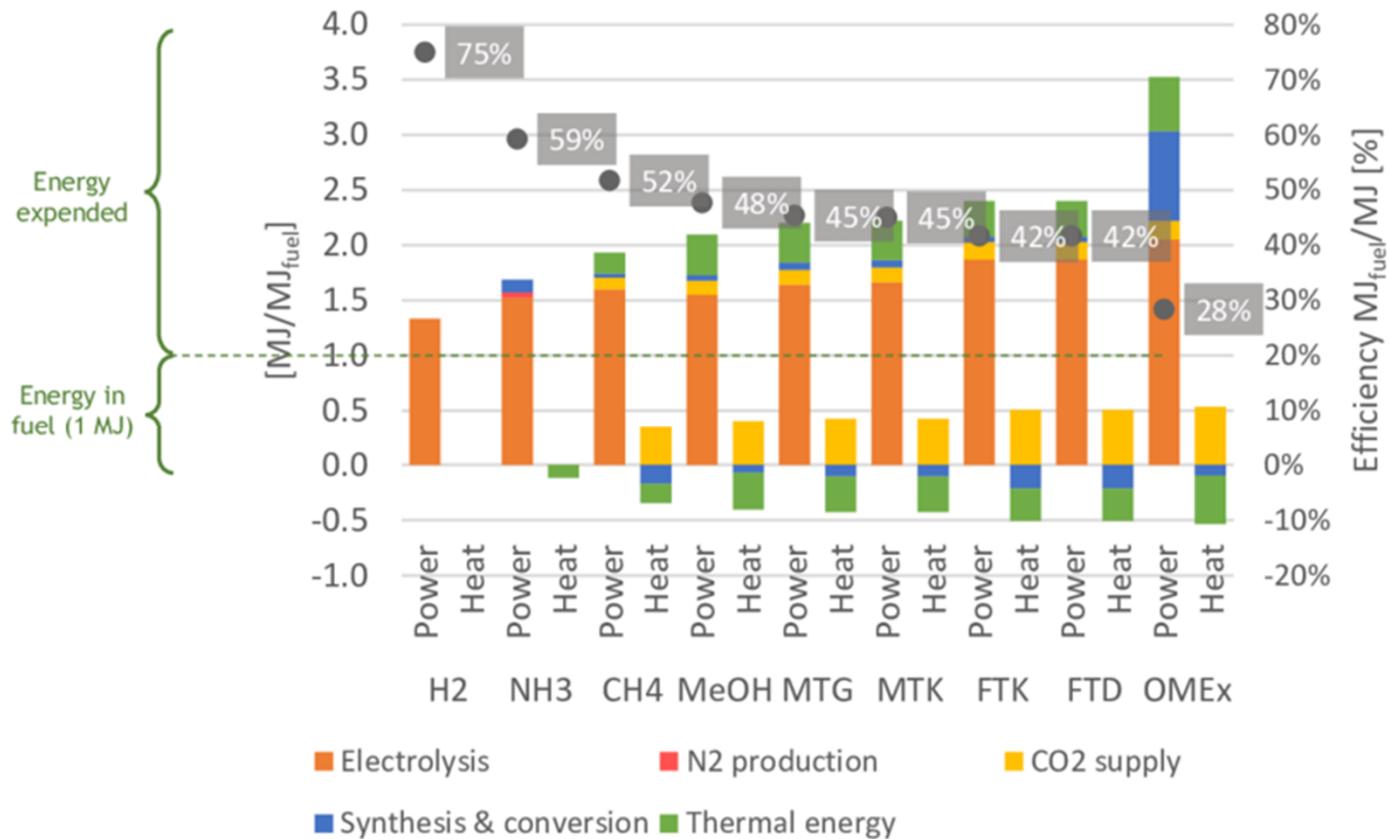
Costs of e-fuels produced in Central Europe in 2050



(1) Diesel price: 0.3 €/l (2020) - 0.8 €/l (2050), with crude-oil prices 40 €/bbl (2020) - 110 €/bbl (2050) taken from the EU Commission Impact Assessment [EU COM 2020]

Energieverbrauch von e-Fuels

CO₂ über DAC; Referenzjahr 2050



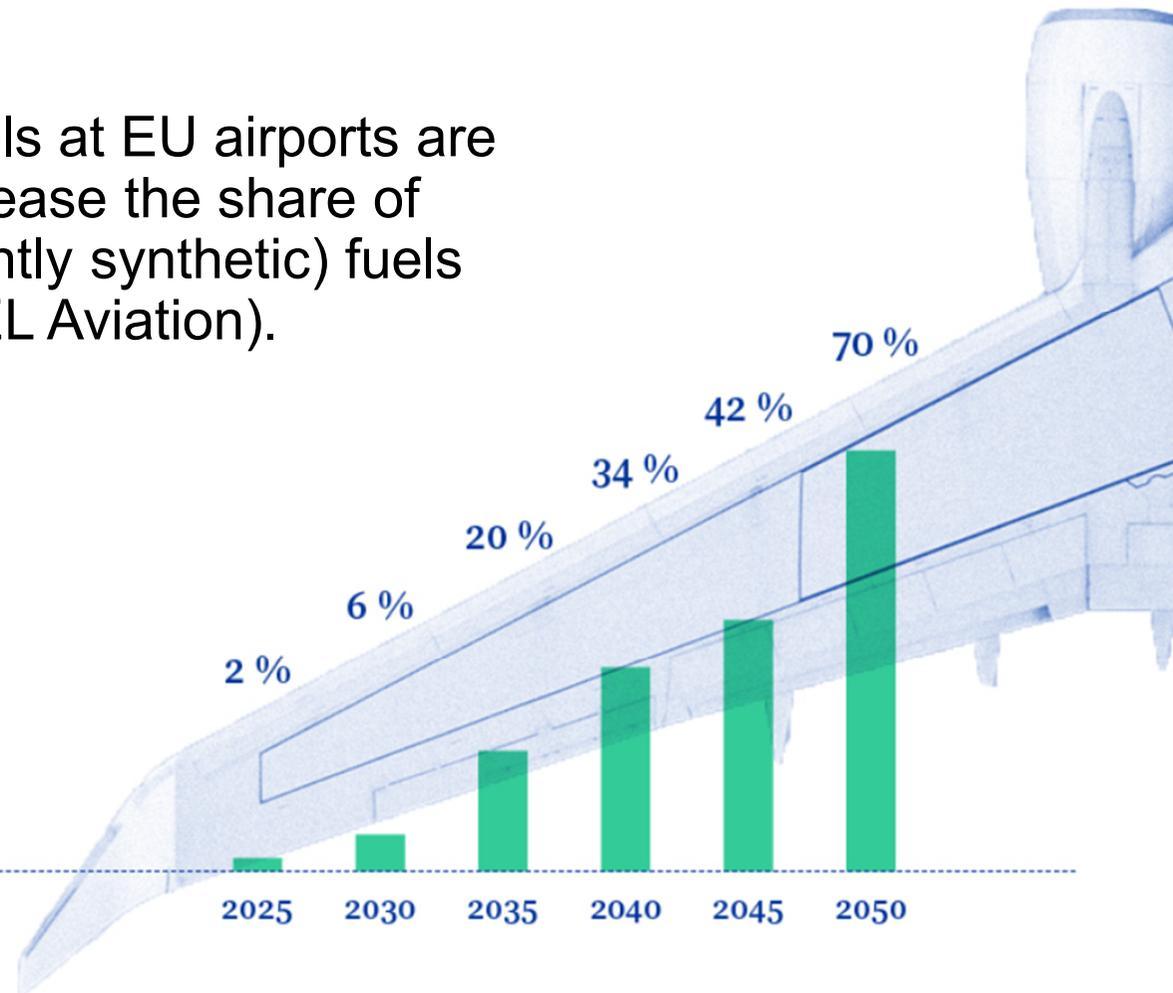
Quelle: Report no. 4/24: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050 – Update, Concawe and Aramco
Brussel, March 2024

Wenig effizient und teuer = tot?

Min. SAF-Anteil laut „ReFUEL Aviation“ Verordnung

Suppliers of aviation fuels at EU airports are obliged to stepwise increase the share of sustainable (predominantly synthetic) fuels in their portfolio (ReFUEL Aviation).

Minimum share of sustainable aviation fuel [in %]



Anteil an Power-to-Liquid (PtL) SAF

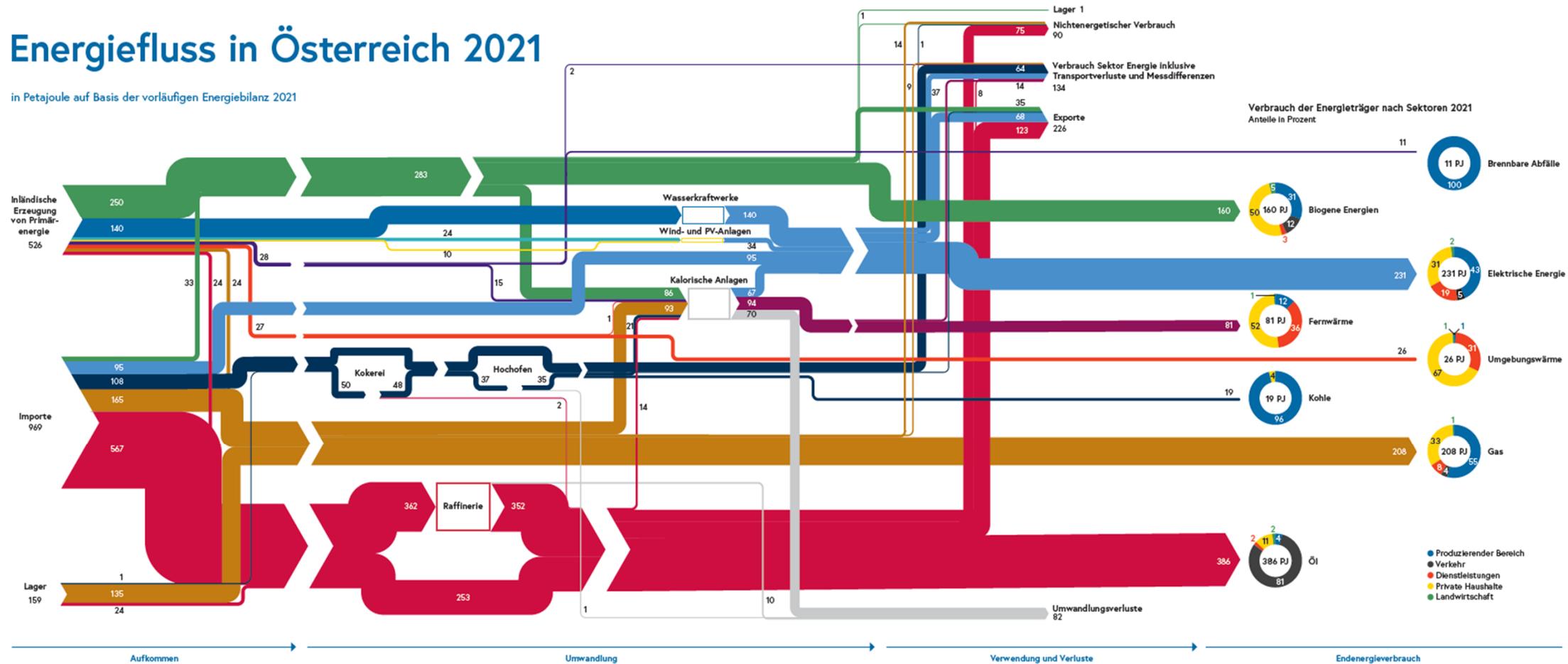
Jahr	EU Refuel Aviation Quoten	Aireg Quoten (Deutschland)	EU Quoten für PtL Anteil	Aireg Quoten für PtL Anteil (Deutschland)
2025	2%	2%	0,5%	0,5%
2030	6%	10%	1,2%	3%
2035	20%	30%	5%	20%
2050	70%	100%	35%	50%

Ein globales Bild in zweierlei Hinsicht

Energiefluss in Österreich 2021

Energiefluss in Österreich 2021

in Petajoule auf Basis der vorläufigen Energiebilanz 2021



Berechnung des Strombedarfs zur Herstellung von e-Fuels für Österreich

Raffinerie Schwechat:

Verarbeitet 9 Mio. t Rohöl pro Jahr \cong 100 TWh

Aus dem Energieflussbild:

386 PJ (\cong 107 TWh) Öl, davon gehen 81% in den Verkehr = 312,7 PJ (\cong 87 TWh)

208 PJ (\cong 58 TWh) Gas, davon gehen 4% in den Verkehr = 8,3 PJ (\cong 2,3 TWh)

In Summe also 321 PJ (\cong 89 TWh)

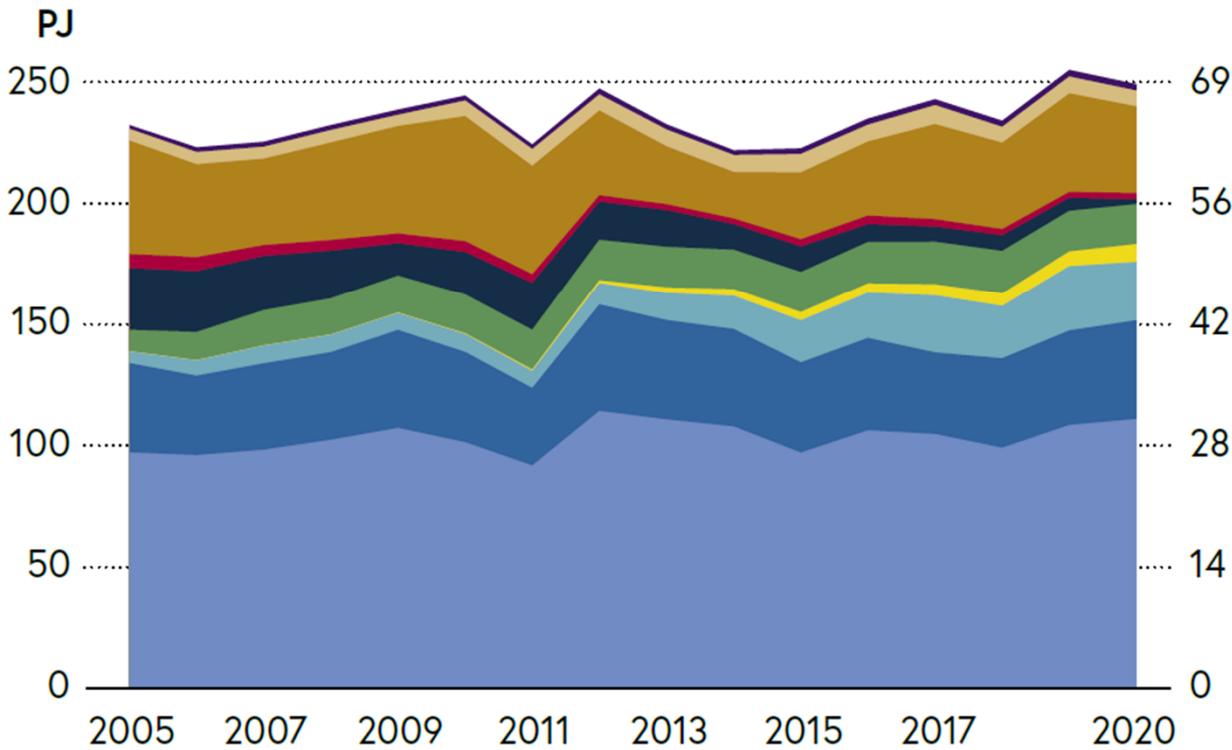
Herstellung von e-Fuels:

Wirkungsgrad: $\eta_{\text{PtL}} = 43 - 48 \%$

Strombedarf: $89 \text{ TWh} / \eta_{\text{PtL}} \cong 180 - 200 \text{ TWh}$

Bruttostromerzeugung in Österreich

■ Laufkraftwerke
 ■ Speicherkraftwerke
 ■ Wind
 ■ PV
 ■ Biogene En.
■ Kohle
 ■ Öl
 ■ Erdgas
 ■ Kohlegase
 ■ Brennbare Abfälle



Berechnung des Strombedarfs zur Herstellung von e-Fuels für Österreich

Raffinerie Schwechat:

Verarbeitet 9 Mio. t Rohöl pro Jahr \cong 100 TWh

Aus dem Energieflussbild:

386 PJ Öl, davon gehen 81% in den Verkehr = 312,7 PJ

208 PJ Gas, davon gehen 4% in den Verkehr = 8,3 PJ

In Summe also 321 PJ \cong 90 TWh

Herstellung von e-Fuels:

Wirkungsgrad: $\eta_{\text{PtL}} = 43 - 48 \%$

Strombedarf: $90 \text{ TWh} / \eta_{\text{PtL}} = 190 - 210 \text{ TWh}$

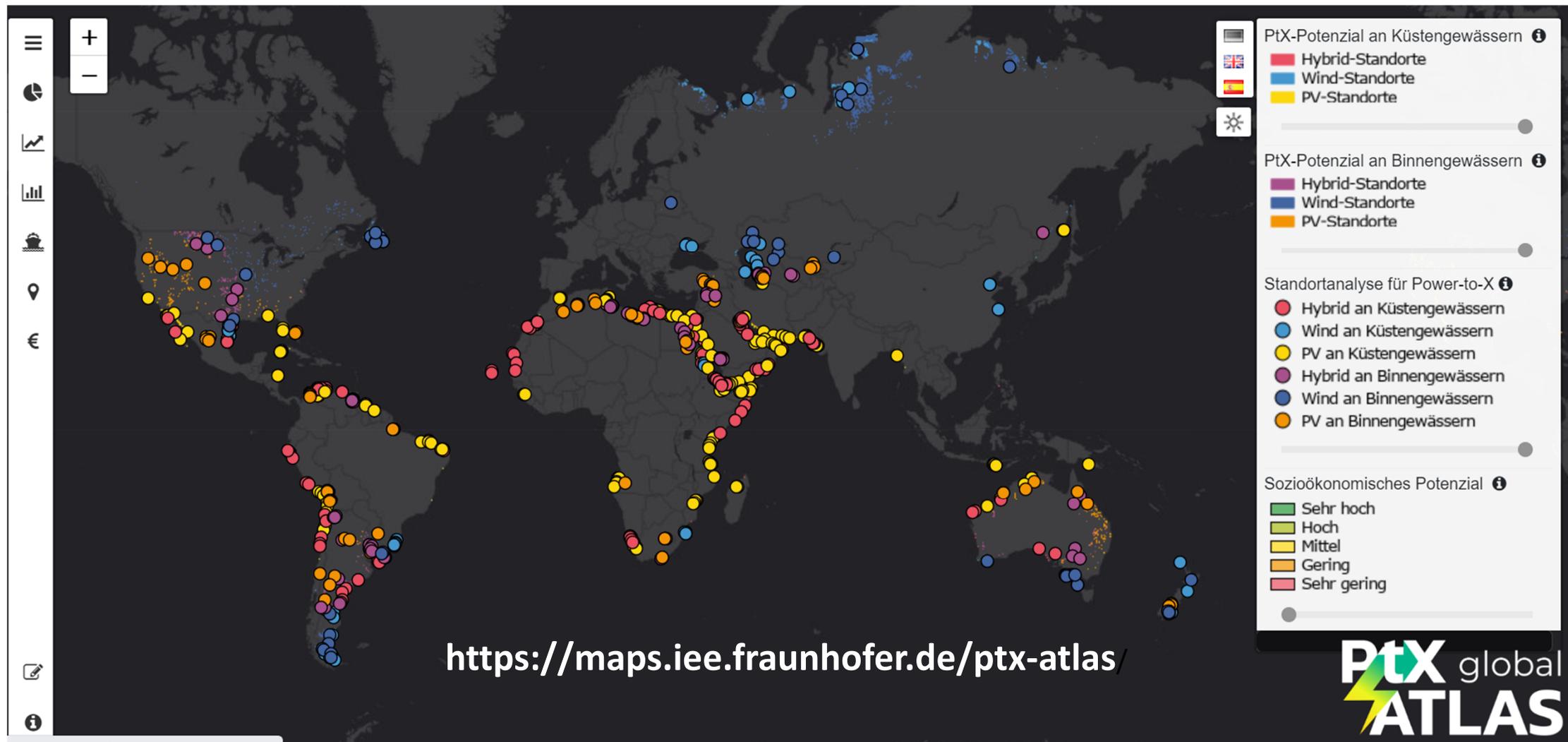
Stromerzeugung in Österreich:

Derzeit 69 TWh, nicht komplett erneuerbar. Müsste also nur für e-Fuels verdreifacht werden!

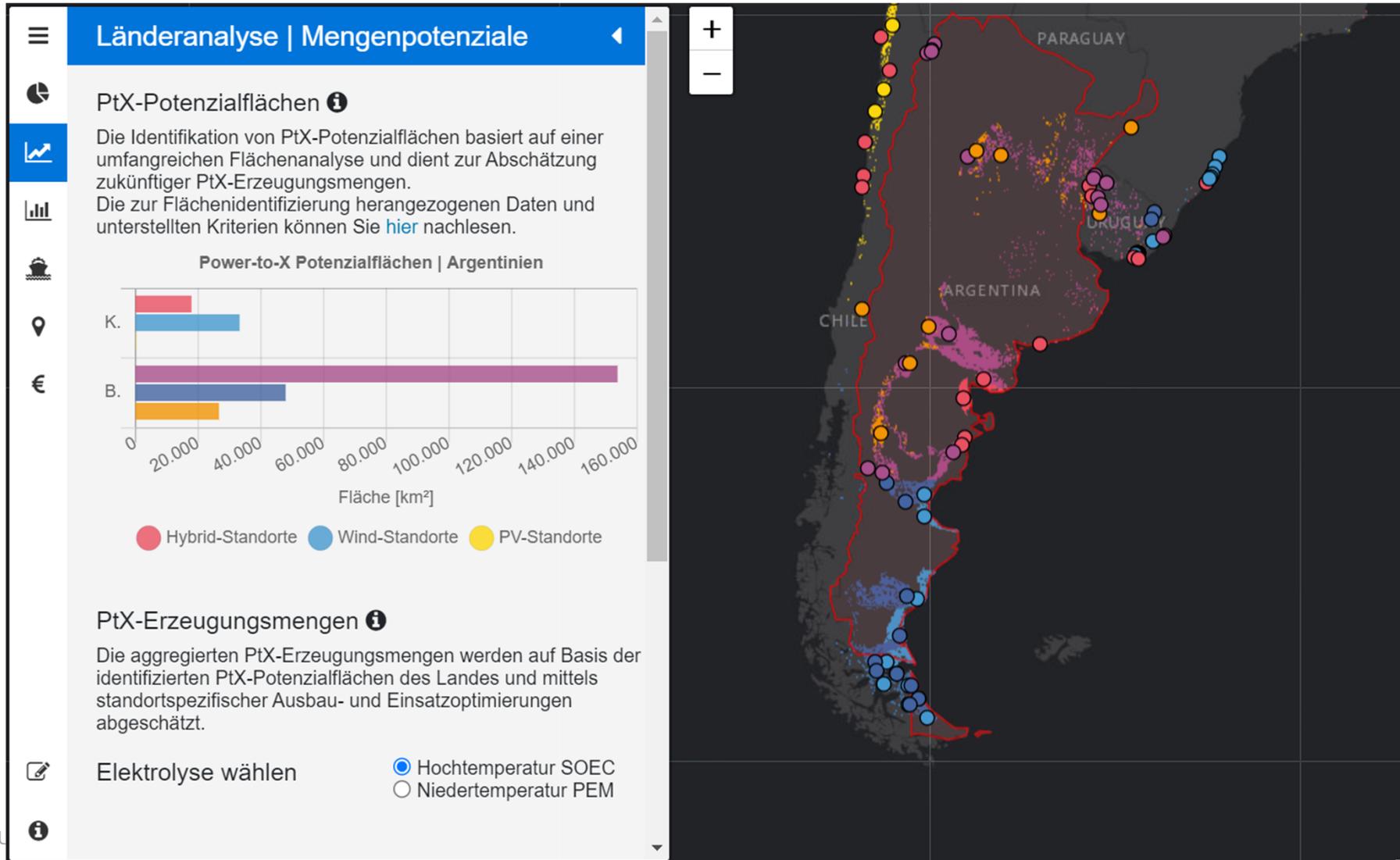
Was ist der Fehler an dieser Überlegung?

Österreich ist ein Energieimportland und wird ein Energieimportland bleiben.

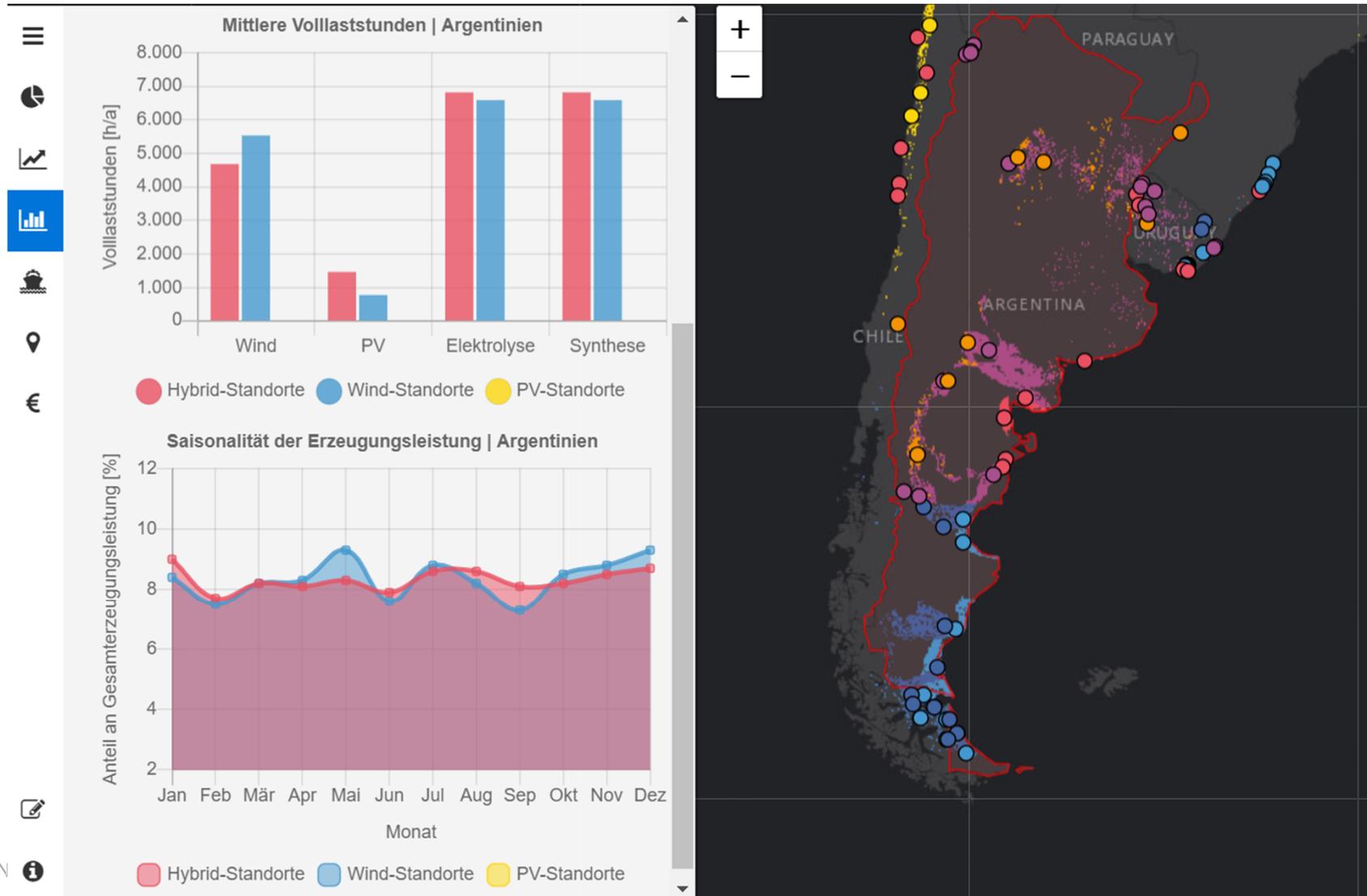
Globale PtX Potentiale



Globale PtX Potentiale: Beispiel Argentinien



Globale PtX Potentiale: Beispiel Argentinien



Globale PtX Potentiale: Mauretanien

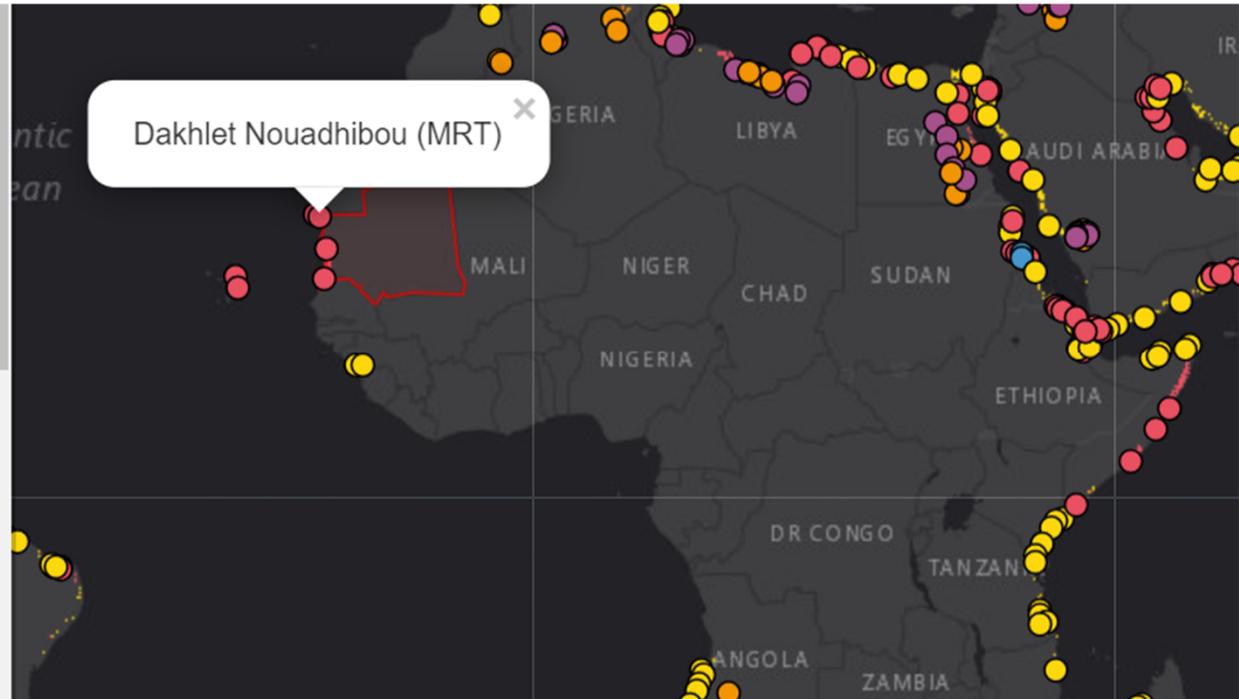
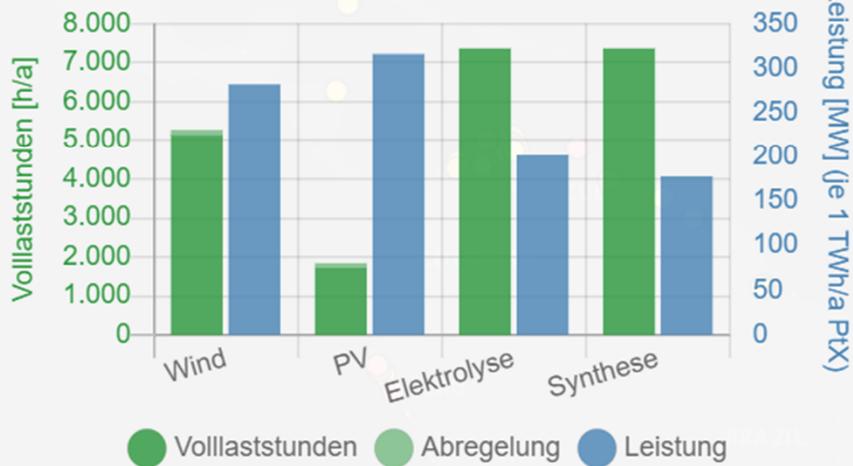
PtX-Produkt wählen

FT-Kraftstoff (Diesel, K v)

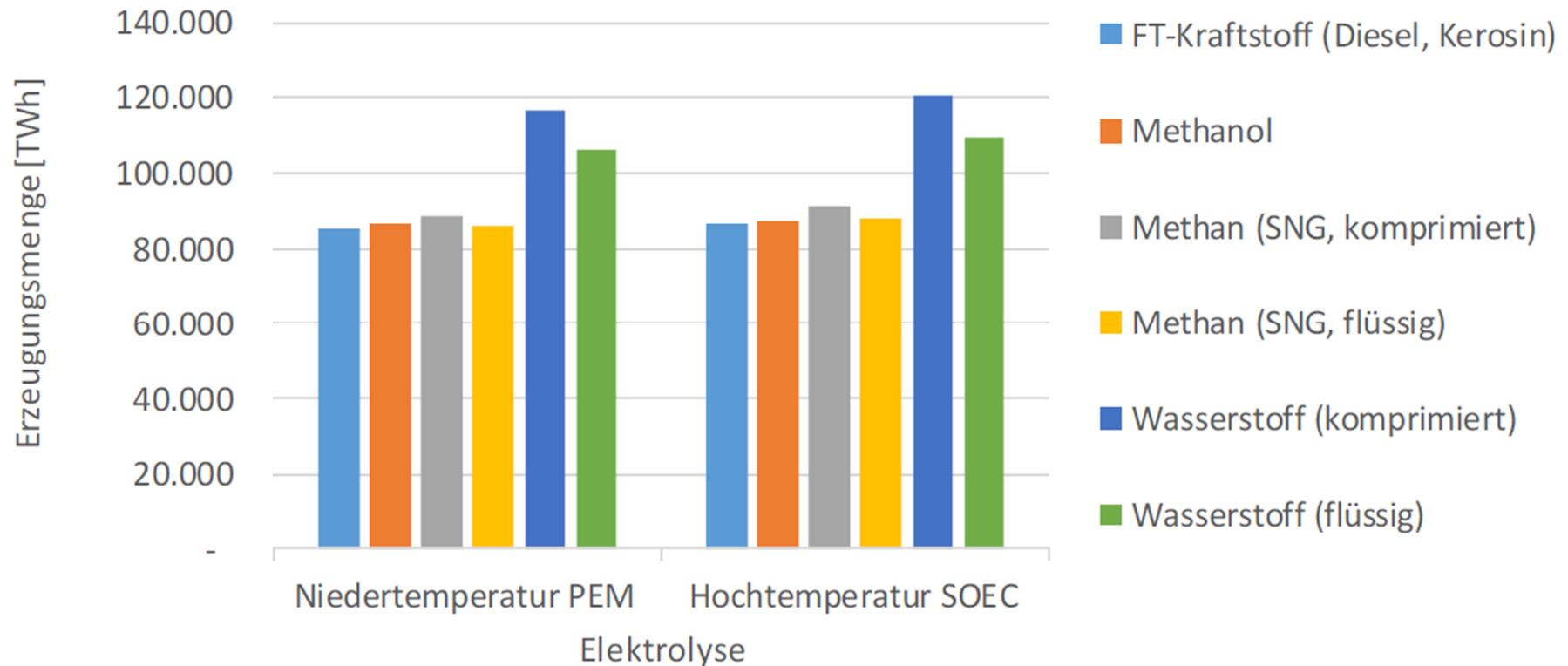
Elektrolyse wählen

- Hochtemperatur SOEC
- Niedertemperatur PEM

Standort 2 in Dakhlet Nouadhibou | Mauretanien



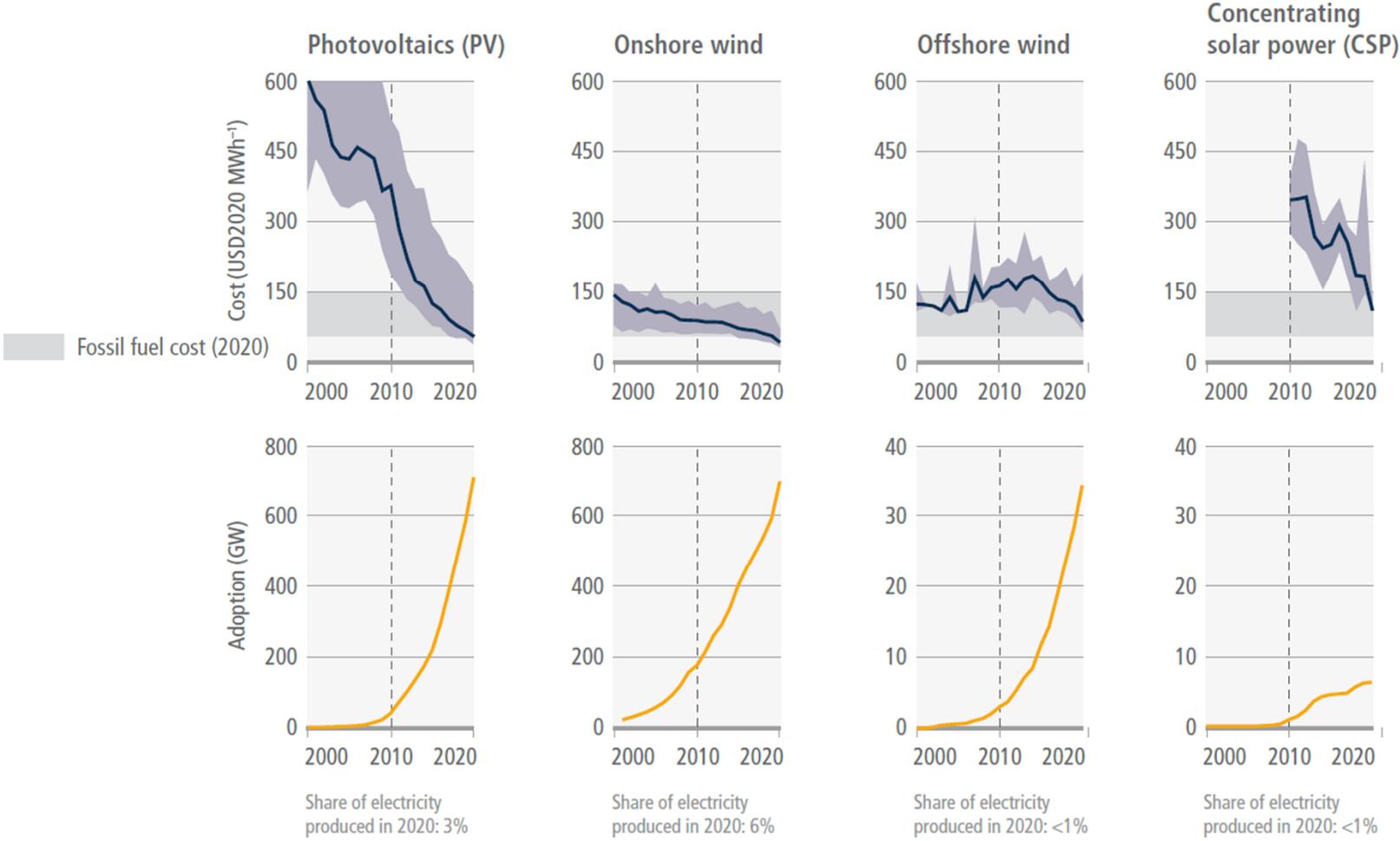
Globale PtX-Potentiale



Dieses theoretische Potential lässt sich aufgrund geopolitischer Limitierungen oder fehlender Infrastruktur nur zum Teil heben: für Wasserstoff ca. 69.000 TWh **oder** für PtL ca. 57.000 TWh.

Die globale Erdölförderung betrug 2019 ca. 54.000 TWh, die Erdgasförderung ca. 46.000 TWh.

Spezifische Kostenentwicklung erneuerbarer Energieerzeugung



Schlussfolgerungen und ein Blick in die Zukunft

Die Säulen der Mobilität der Zukunft

E-Mobilität



Batterie-elektrische Fahrzeuge

Anwendungsbereich

PKW
Kurze Distanzen/Stadt

Herausforderungen

Reichweiten, Ladezeiten
Stromverfügbarkeit
Kosten
Rohstoffe, Recycling

Wasserstoff



Brennstoffzellenantriebe

Anwendungsbereich

PKW Mittel-/Langstrecken
Bus, LKW, Landwirtschaft

Herausforderungen

Fehlende Infrastruktur
H₂-Produktion und Kosten
Konkurrenzierende H₂-
Nutzungsoptionen

e-Fuels



Verbrennungsmotor

Anwendungen

Schifffahrt, Luftfahrt
Übergang: Schwerlastverkehr

Herausforderungen

Stromverfügbarkeit
Kosten
Wirkungsgrad

Öffentlicher
Verkehr



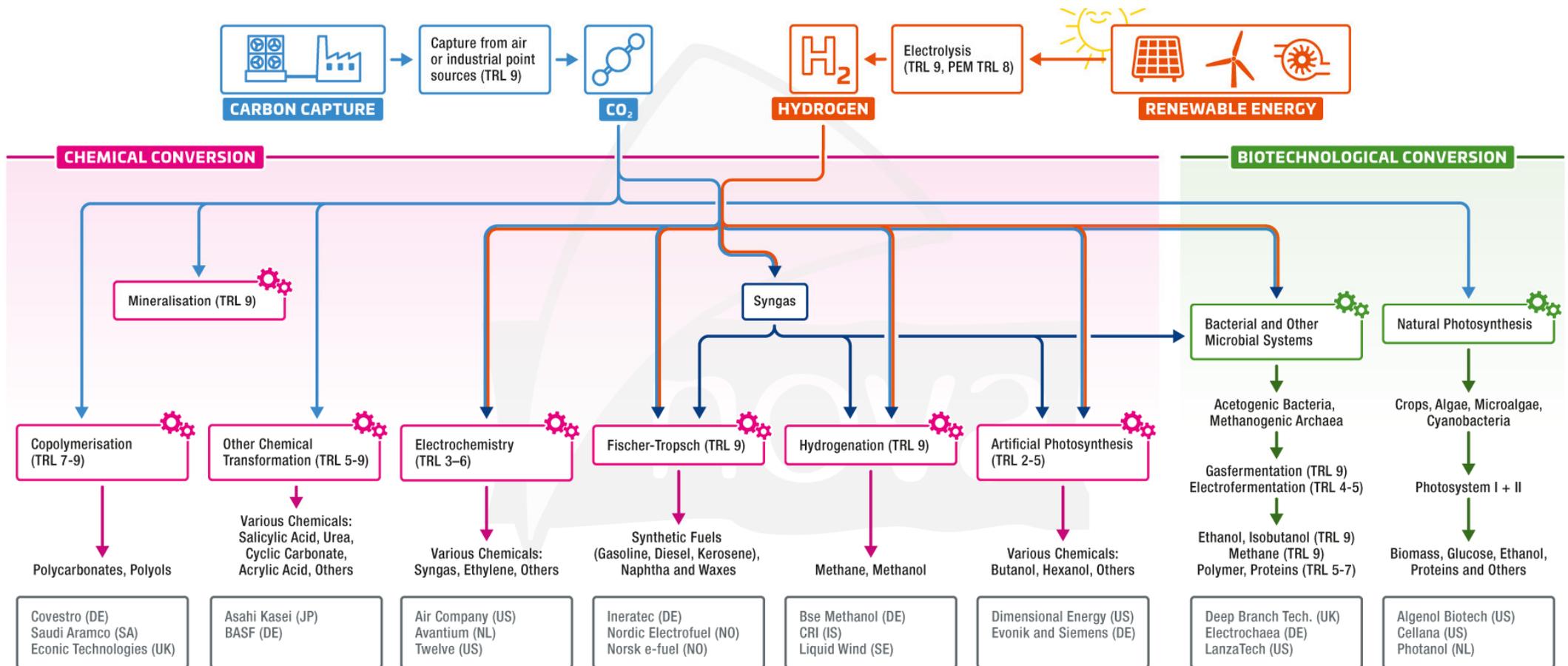
Anwendungen

Stadt, Land, Langstrecke

Herausforderungen

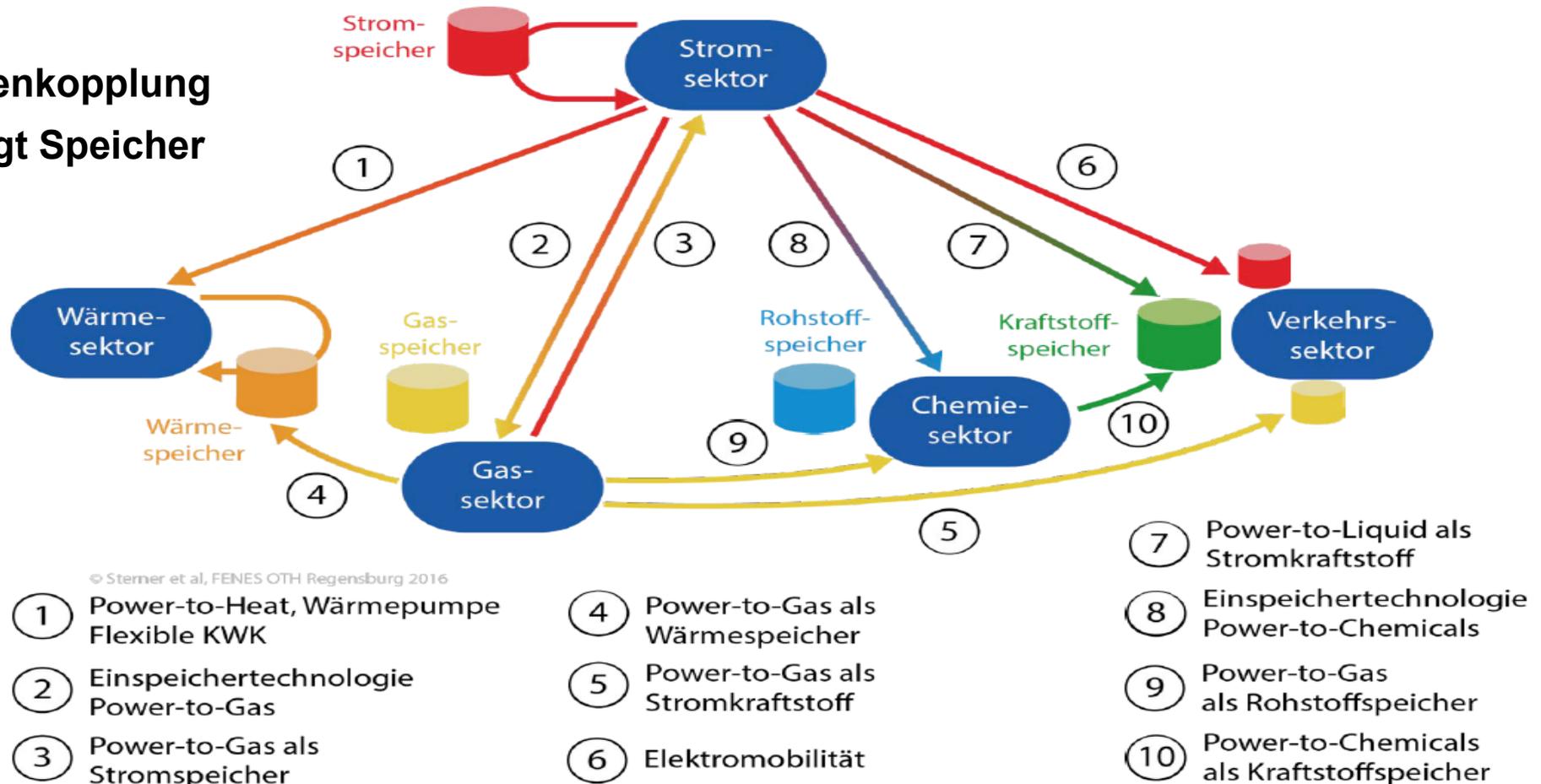
Ausbaugrad
Kapazität
Attraktivität
Kosten

Chemie und Petrochemie brauchen Kohlenstoff!



Sektorenkopplung

Sektorenkopplung benötigt Speicher



Quelle: Sterner et al., FENES OTH Regensburg, 2016.

Zusammenfassung

- **eFuels** lassen sich über verschiedene Routen aus Wasser, CO₂ und erneuerbarem Strom herstellen.
- Der dafür notwendige **erneuerbare Strom** kann **nicht** (alleine) in Österreich hergestellt werden.
- Das **CO₂** muss aus der Atmosphäre stammen (Biomasse, Direct Air Capture).
- **eFuels** haben vor allem im Bereich von Flugkraftstoffen und im Schiffsverkehr einen sinnvollen Anwendungsbereich (Wirkungsgrad).
- Es ist zu erwarten, dass **e-Fuels oder Vorläufersubstanzen** (z.B. Methanol) zukünftig in großen Mengen nach Europa importiert werden.
- Auch in einer **defossilisierten Welt** ist Kohlenstoff eine unverzichtbare Rohstoffquelle.
- Daher ist **vernetztes Denken** gefragt.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Lehner

Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen
Umweltschutzes

Montanuniversität Leoben

E-mail: markus.lehner@unileoben.ac.at

