

Die post-fossile Mobilität

vor dem Hintergrund eines sich ändernden
Energiesystems

Christian Bach

Abteilungsleiter Fahrzeugantriebssysteme

Netto Null CO₂ bis 2050

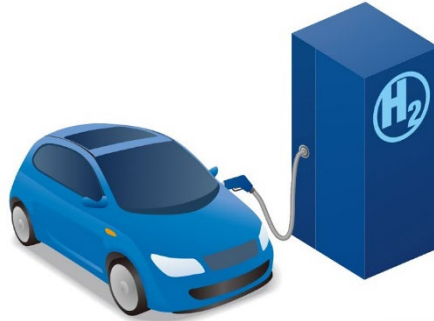
Bundesrat, 28.08.2019

Automobilantriebe und CO₂-Emissionen

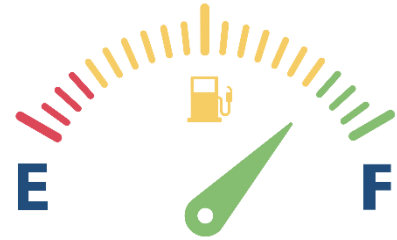
Welche Ansätze zur CO₂-Reduktion in der Mobilität gibt es?



Elektrofahrzeuge



Brennstoffzellenfahrzeuge



**Synthetische und biogene
Treibstoffe**

Aber Achtung:

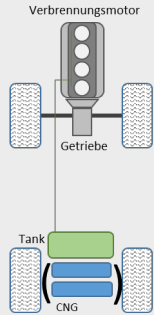
Die Umstellung der Mobilität von fossil auf erneuerbar ist **notwendig**, aber **nicht hinreichend** für eine Reduktion der Klimabelastung.

Entscheidend ist, ob dank der Mobilität entsprechend mehr erneuerbare Energie in das System integriert werden kann.

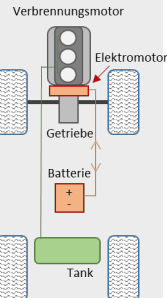
Automobilantriebe und CO₂-Emissionen

Entscheidend ist der Umstieg auf erneuerbare Energie

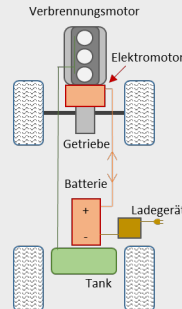
Benzin-/Diesel-/
Gasfahrzeug



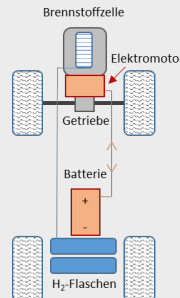
Hybrid-
fahrzeug



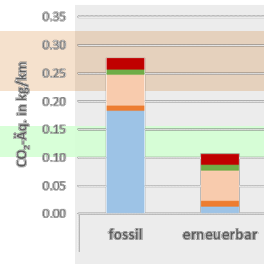
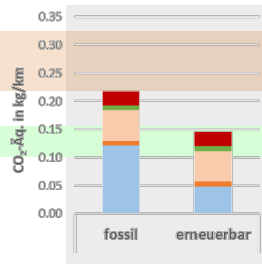
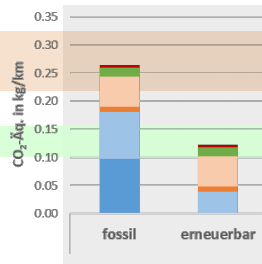
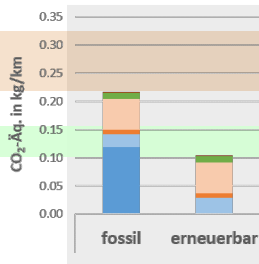
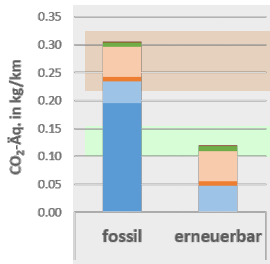
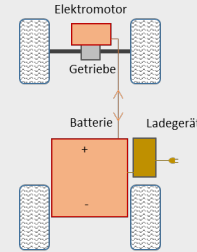
Plugin-
Hybrid-
fahrzeug



Brennstoff-
zellen-
fahrzeug



Elektro-
fahrzeug



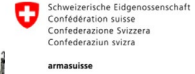
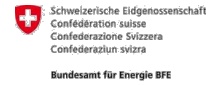
Fossile Energie

Erneuerbare Energie

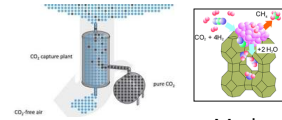
Quelle: calculator (PSI, 2020)
Daten für Mittelklasse-PW

Future Mobility Demonstrator «move»

Post-fossile Strassenmobilität

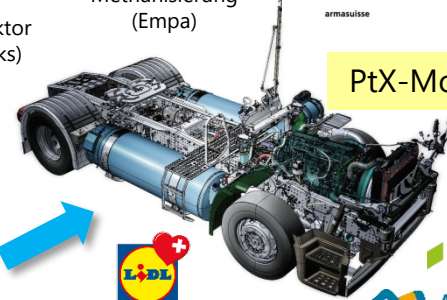


PtX-Mobilität



CO₂-Kollektor
(Climeworks)

Methanisierung
(Empa)



MIGROS



Batteriespeicher
für EVs

FZSoNick

Empa

Materials Science and Technology



700 Bar H₂-
Personenwagen



suva



H₂energy STÄUBLI

METAS

350 Bar H₂-
Kehrfahrzeug



BUCHER

Stadt
Dübendorf municipal



350 bar HCNG-
Praxiserprobung



apex

Swagelok

Mobility Solutions
DIE POST

erdgas biogas

EH

Endress+Hauser
People for Process Automation

IVECO

PtX-Studie
Schweiz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Bundesamt für Umwelt BAFU

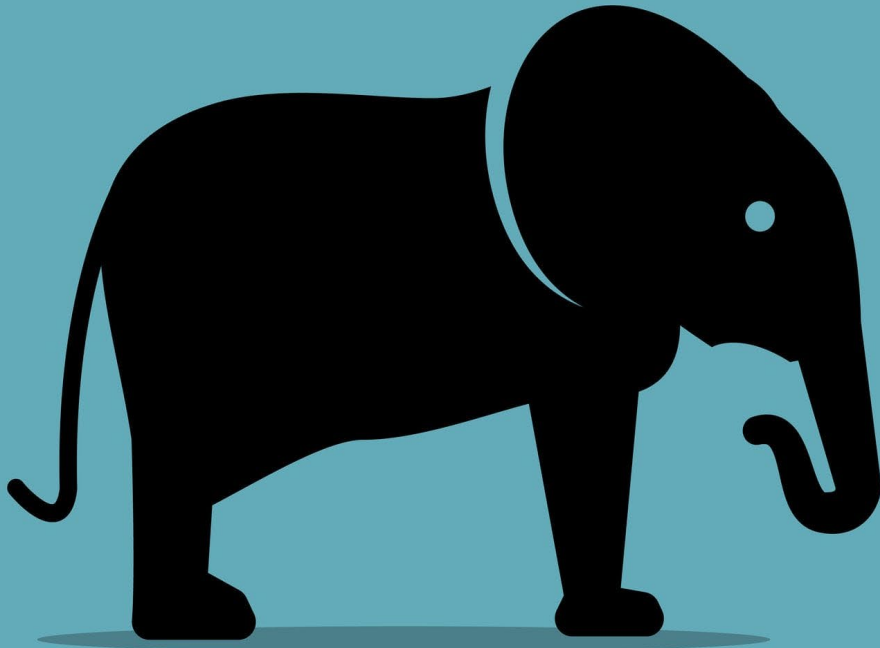
Realverbrauch /
Carsharing



ETH zürich

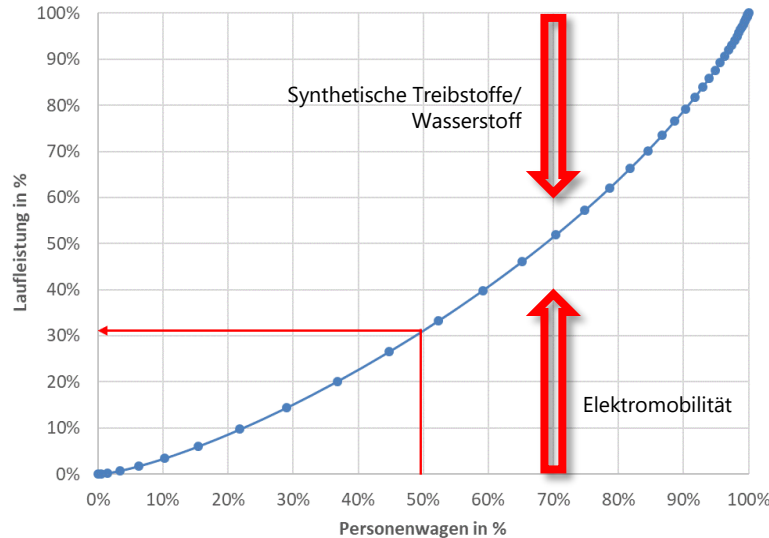
Elefant #1 im Raum

Hohe Relevanz der Langstreckenmobilität



Wie werden Fahrzeuge eingesetzt?

Langstrecken-Anwendungen weisen eine hohe Relevanz auf

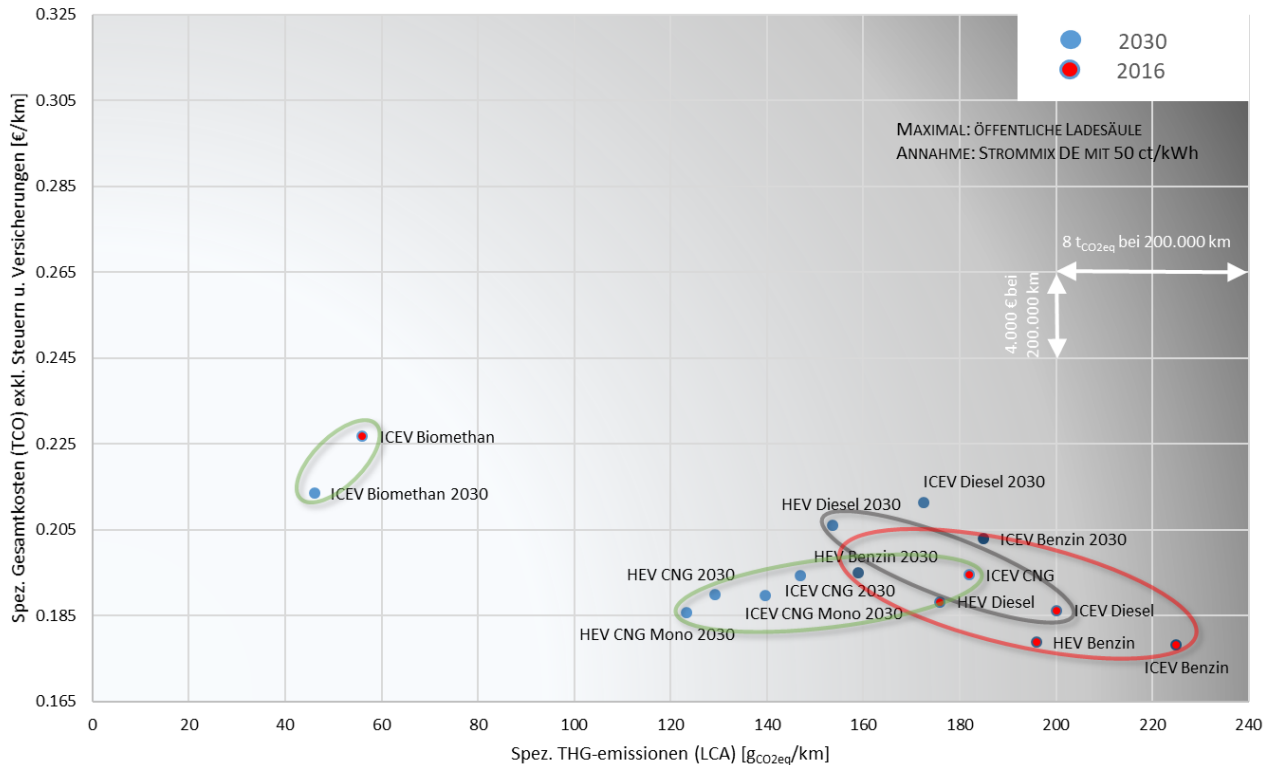


Analyse von 1.5 Mio Fahrzeuginserate von Autoscout24 (ohne Flottenfahrzeuge)

- 50% der Personenwagen sind für 31% der Laufleistung aller Personenwagen verantwortlich (mittlere Laufleistung: ca. 10'000 km/a).
- Die anderen 50% der Personenwagen sind für 69% der Laufleistung aller Personenwagen verantwortlich (mittlere Laufleistung: ca. 22'000 km/a).

Quelle: Empa/PSI (2018)

ENTWICKLUNG DER SPEZ. GESAMTKOSTEN UND THG-EMISSIONEN JE ANTRIEBSTECHNOLOGIE UND ENERGIETRÄGER
ZWISCHEN 2016 UND 2030 FÜR STANDARDFAHRZEUGE MIT STANDARD-FAHRPROFIL IN DEUTSCHLAND - NEW POLICIES



STANDARDFAHRZEUGE 2016-2030

KONVENTIONELLE TECHNOLOGIEN

KOMPAKTFahrzeuge 80 – 110 kW

Quelle:

Zapf Martin, Bütler Thomas, Bach Christian, Pengg Hermann, Weindl Christian; Kosteneffiziente und nachhaltige Automobile
Bewertung der realen Klimabelastung und der Gesamtkosten – Heute und in Zukunft; Springer Vieweg (2019)

THG = Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O)

LCA = Life Cycle Analysis

TCO = Total Cost of Ownership

ICEV = Internal Combustion Engine Vehicle

CNG = Compressed Natural Gas

HEV = Hybrid Electric Vehicle

PHEV = Plugin Hybrid Electric Vehicle

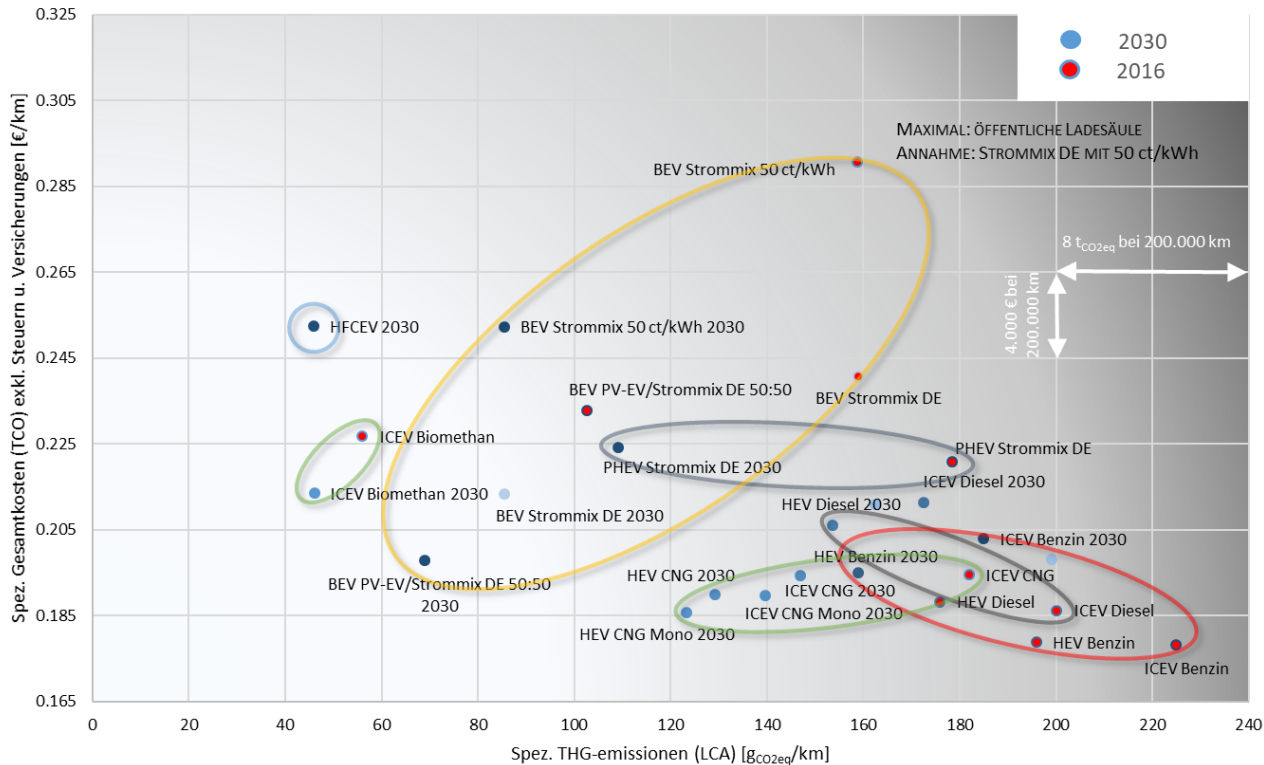
BEV = Battery Electric Vehicle

HFCEV = Hydrogen Fuelcell Electric Vehicle

SNG = Synthetic Natural Gas

SLF = Synthetic Liquid Fuels

ENTWICKLUNG DER SPEZ. GESAMTKOSTEN UND THG-EMISSIONEN JE ANTRIEBSTECHNOLOGIE UND ENERGIETRÄGER
ZWISCHEN 2016 UND 2030 FÜR STANDARDFAHRZEUGE MIT STANDARD-FAHRPROFIL IN DEUTSCHLAND - NEW POLICIES



STANDARDFAHRZEUGE 2016-2030

KONVENTIONELLE & ELEKTRIFIZIERTE TECHNOLOGIEN

KOMPAKTFahrzeuge 80 – 110 kW

Quelle:

Zapf Martin, Büttler Thomas, Bach Christian, Pengg Hermann, Weindl Christian; Kosteneffiziente und nachhaltige Automobile Bewertung der realen Klimabelastung und der Gesamtkosten – Heute und in Zukunft; Springer Vieweg (2019)

THG = Treibhausgase (CO_2 , CH_4 , N_2O)

LCA = Life Cycle Analysis

TCO = Total Cost of Ownership

ICEV = Internal Combustion Engine Vehicle

CNG = Compressed Natural Gas

HEV = Hybrid Electric Vehicle

PHEV = Plugin Hybrid Electric Vehicle

BEV = Battery Electric Vehicle

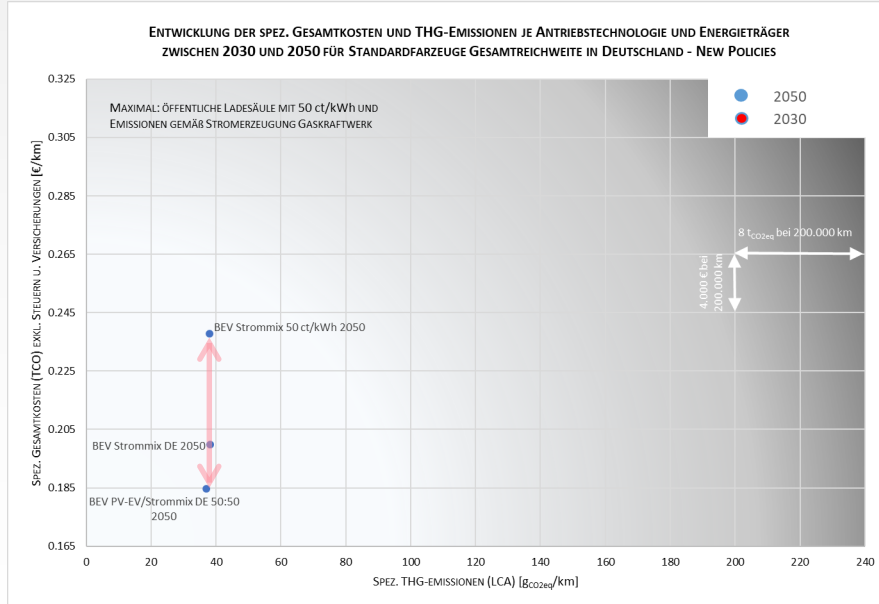
HFCEV = Hydrogen Fuelcell Electric Vehicle

SNG = Synthetic Natural Gas

SLF = Synthetic Liquid Fuels

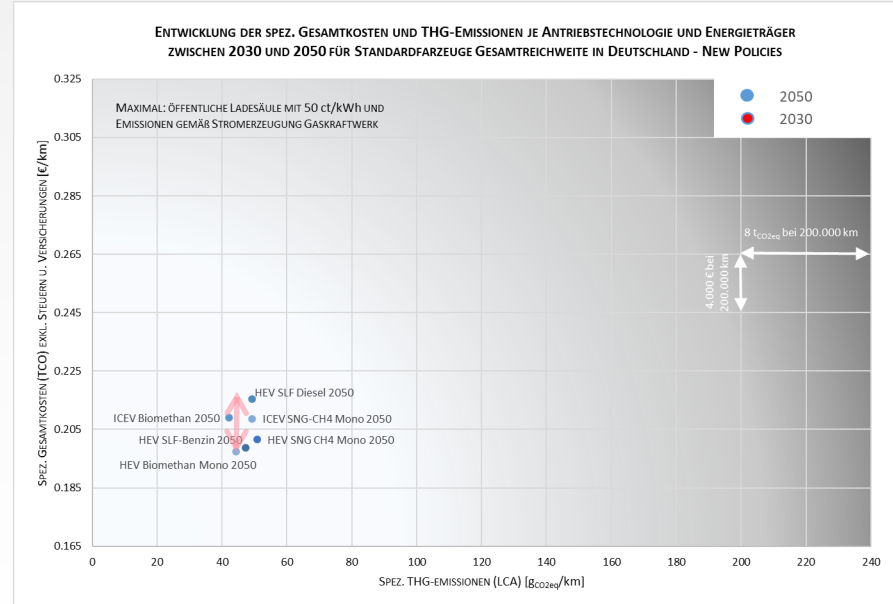
SLF = Synthetic Liquid Fuels

Elektromobilität



Kurzstrecken Anwendungen mit Langsamladen sind elektrisch gefahren am kostengünstigsten (im Idealfall mit Eigenverbrauchs-PV-Anlage)

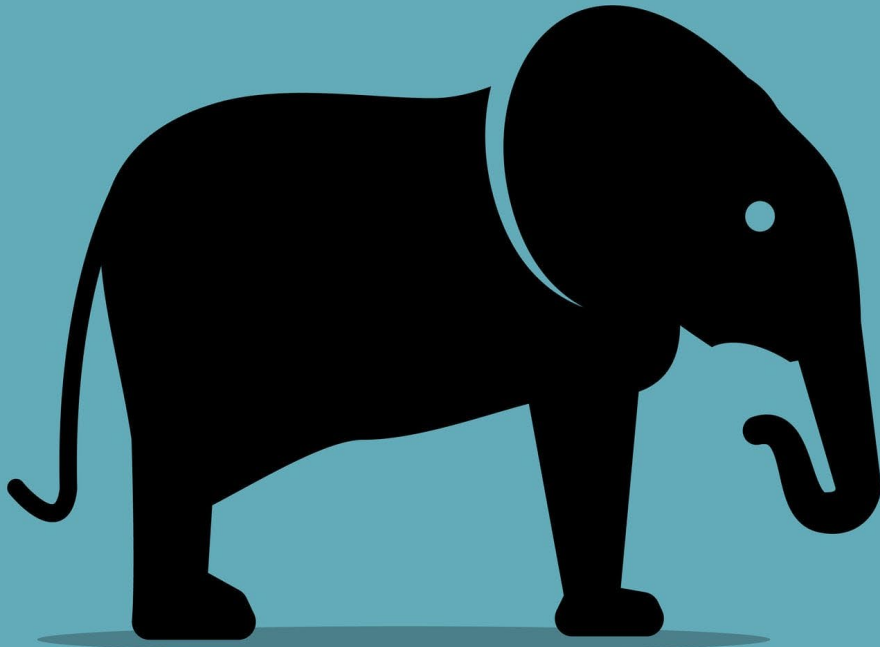
Biogene und synthetische Treibstoffe



Langstreckenfahrten sind mit Biomethan oder synthetischen Treibstoffen am kostengünstigsten

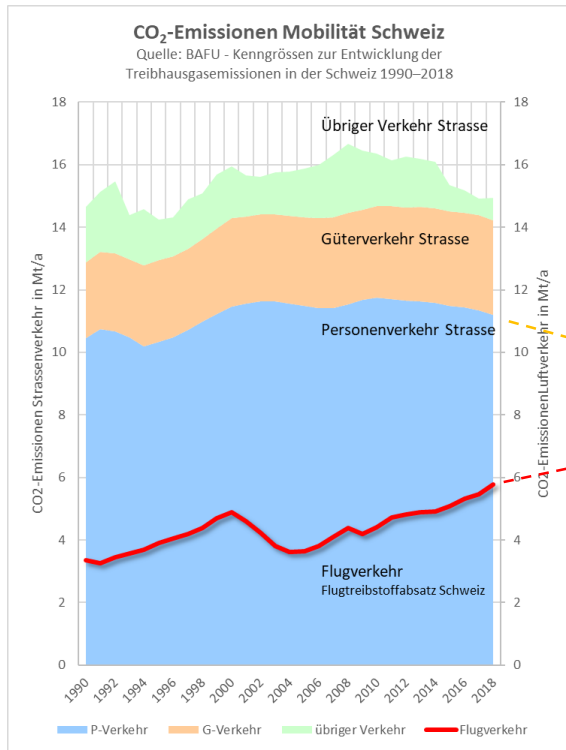
Elefant #2 im Raum

Risiko für «Rebound-Effekte» via Flugverkehr
(falls Langstrecken Anwendungen nicht dekarbonisiert werden)

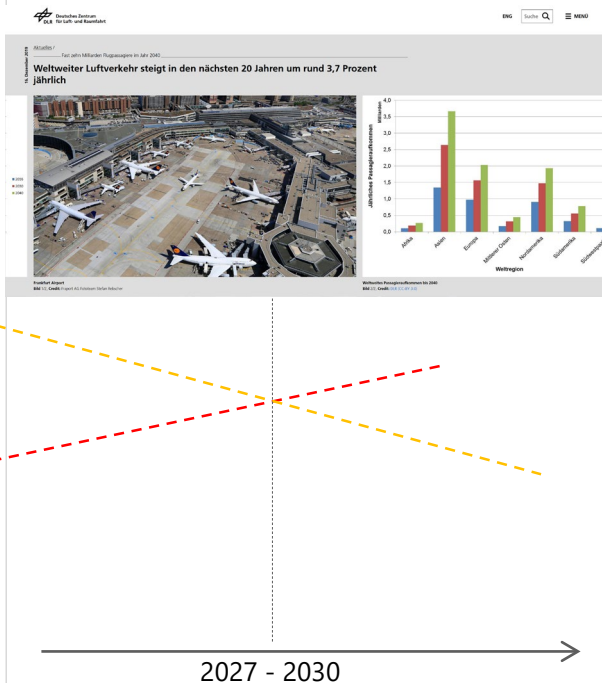


Hohe Relevanz des Flugverkehrs

Risiko für «Rebound-Effekte»



Quelle: BAFU (2020)



Starker Zuwachs (vor Corona) im Flugreiseverkehr (ca. 5% p.a.).

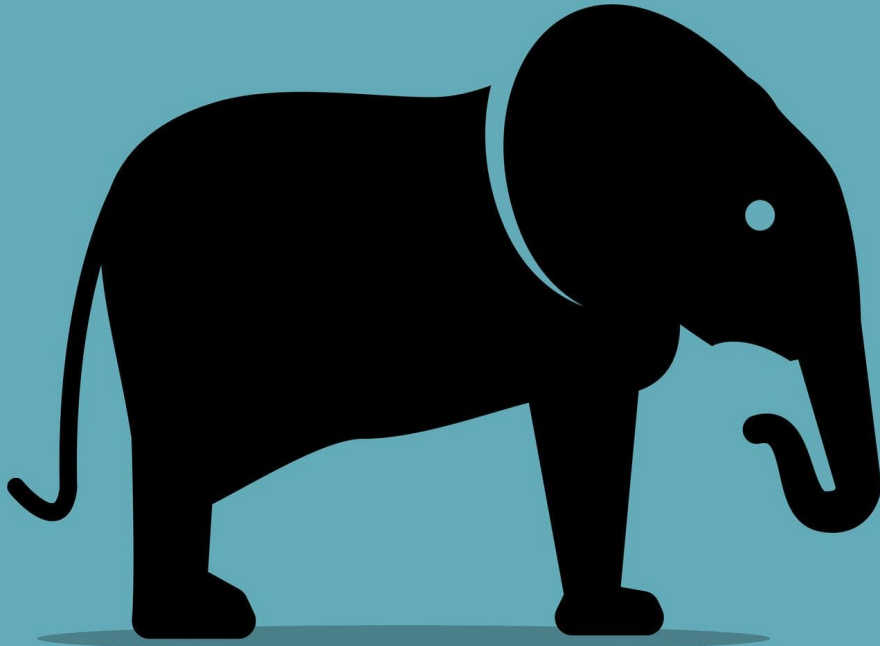
Setzt sich dies (nach Corona) weiter fort, kompensiert der Flugverkehr die Minderungen bei den Personenwagen.

Ca. 2030 übersteigen die CO₂-Emissionen des schweizerischen Luftverkehrs diejenigen des Personenwagenverkehrs.

Für die Dekarbonisierung des Langstrecken-Flugverkehrs sind synth. Treibstoffe unumgänglich.

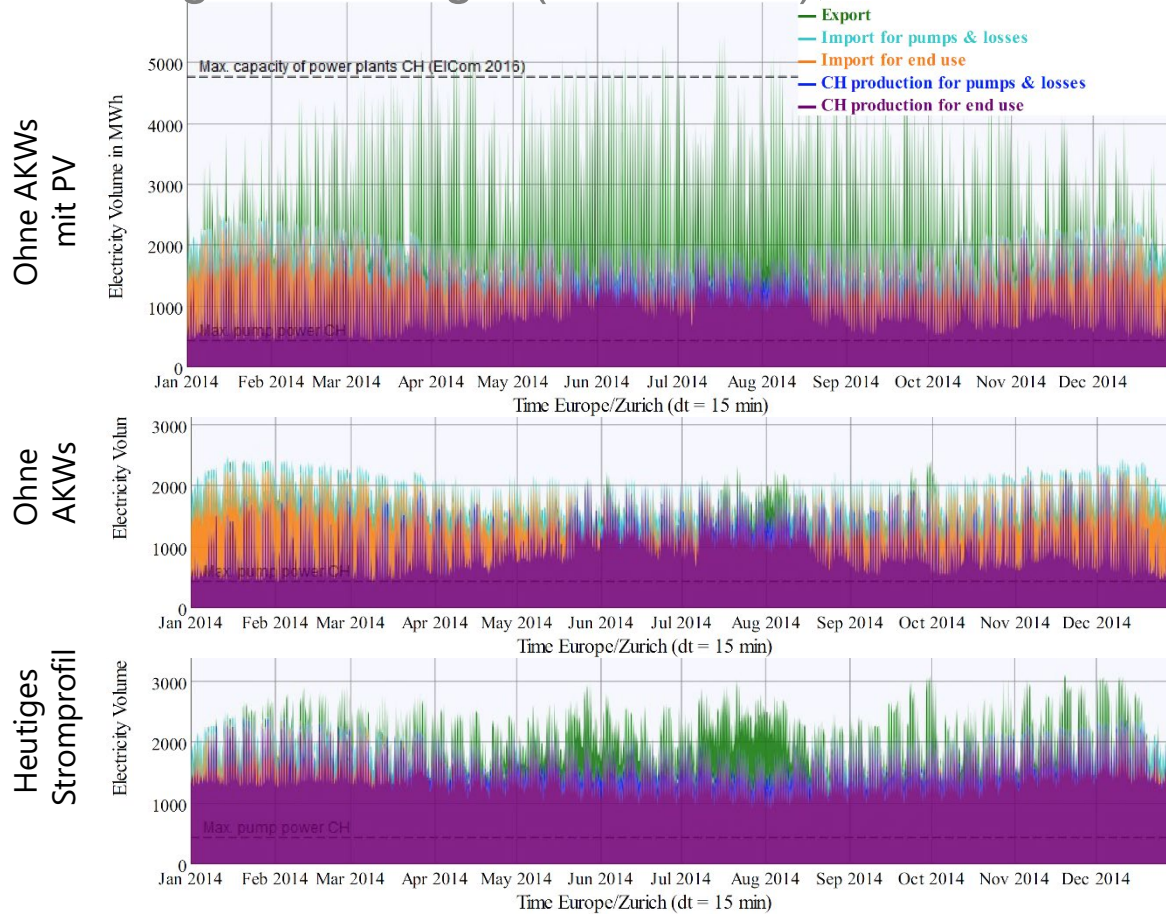
Elefant #3

Versorgung im Winter mit sauberer Energie



Woher kommt die erneuerbare Energie?

Ausstieg Kernenergie (-25 TWh/a); Zubau erneuerbare (PV) (+25 TWh/a)



Aufgrund des Ausstiegs aus der Atomenergie und dem starken PV-Zubau wird sich das Stromerzeugungsprofil stark verändern.

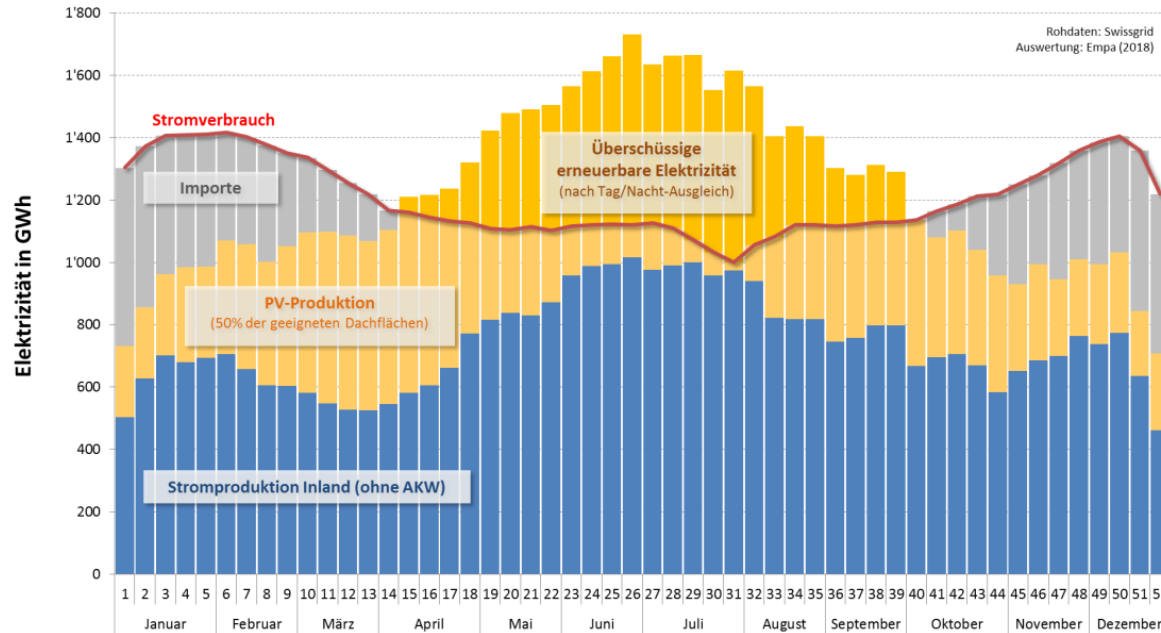
Um die PV-Spitzen an sonnigen Sommertagen nutzbar machen zu können, sind enorme Kapazitäten an Kurzzeitspeichern erforderlich (im Bereich 100 GWh).

Woher kommt die erneuerbare Energie?

Hoher Bedarf an Speicherkapazitäten

Hypothetisches Elektrizitätsprofil der Schweiz

Mittelwerte 2010 - 2016; abzüglich Atomstrom (25 TWh); zuzüglich 25 TWh PV-Strom



Hinsichtlich «Energie» können AKWs durch PV ersetzt werden; allerdings mit einem ganz anderen Erzeugungsprofil».

Das bedeutet Zeiten (z.B. Sommer) mit zu viel und Zeiten (z.B. Winter) mit zu wenig erneuerbarer Energie.

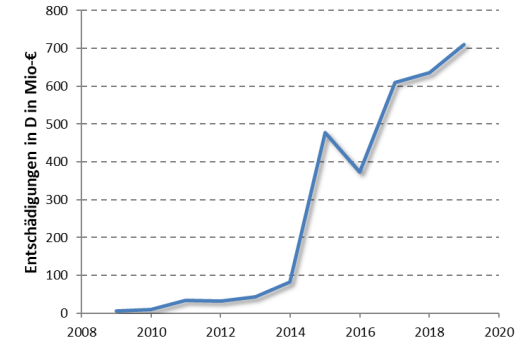
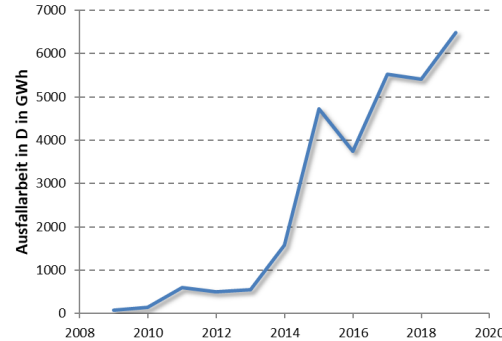
Der Import von erneuerbarer Elektrizität im Winterhalbjahr ist unwahrscheinlich – allenfalls sogar der Import von schmutzigem Strom!

Überschuss-Elektrizität

Keine Nutzung (Abregelung) kostet auch...

Situation in Deutschland

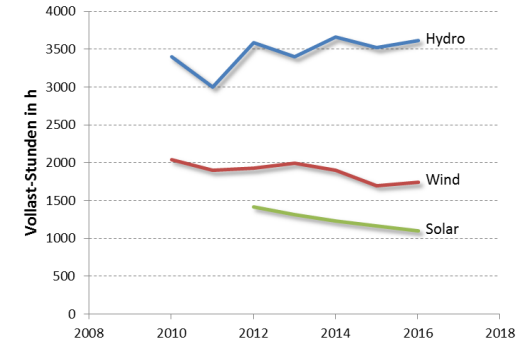
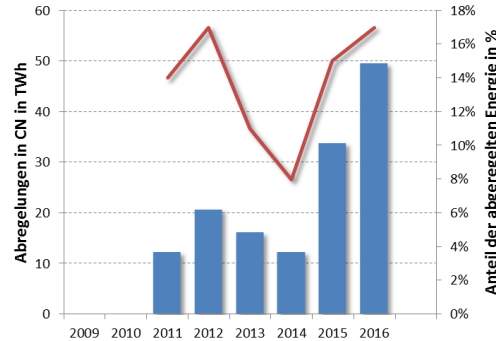
Bundesnetzagentur, Monitoringberichte



Situation in China

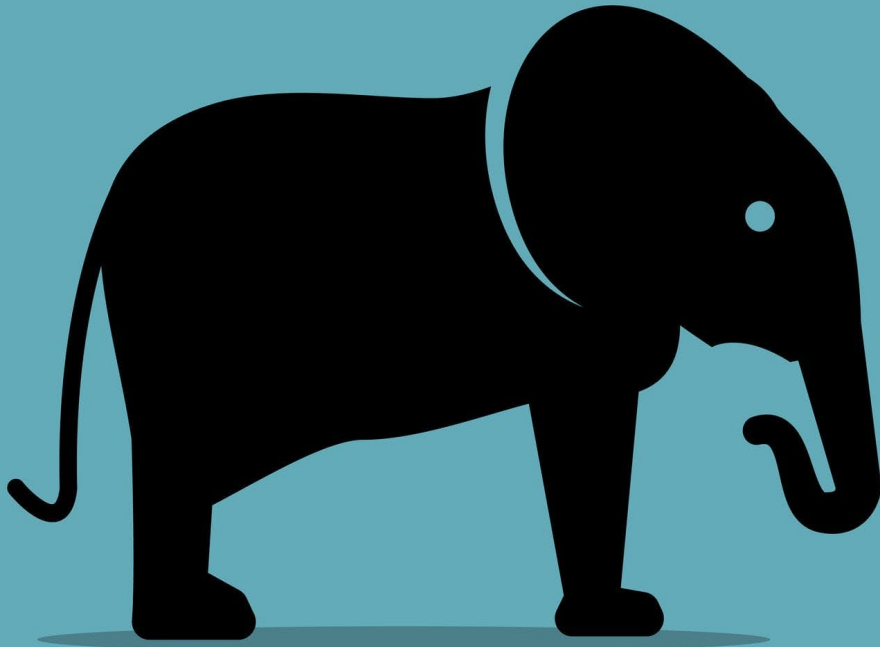
Agora, Energy Transition in the Power Sector in China: State of Affairs in 2016

Review on the Developments in 2016 and an Outlook



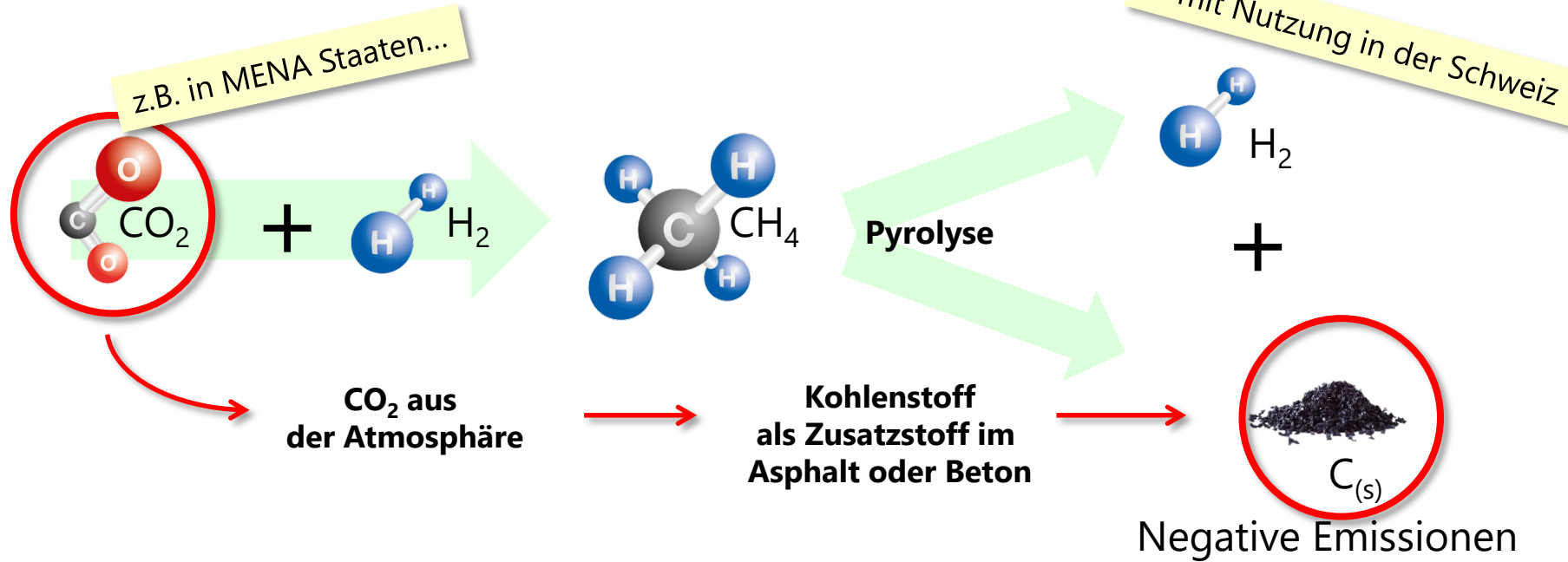
Elefant #4

Negative Emissionen werden notwendig sein



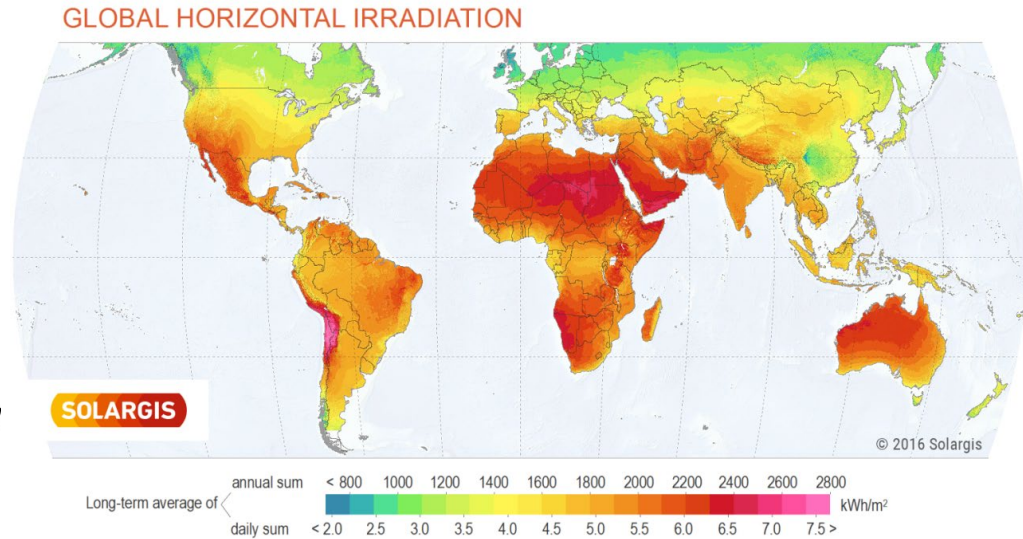
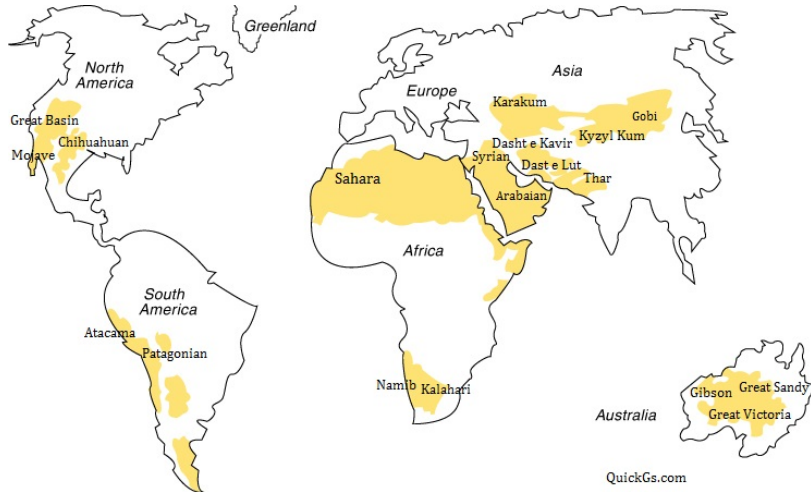
Zersetzung von synthetischem Methan

Negative Emissionen (aus CO₂ wird eine «Ressource»)



Ungenutzte Quellen erschliessen

Enorme Potentiale im Sonnengürtel der Erde

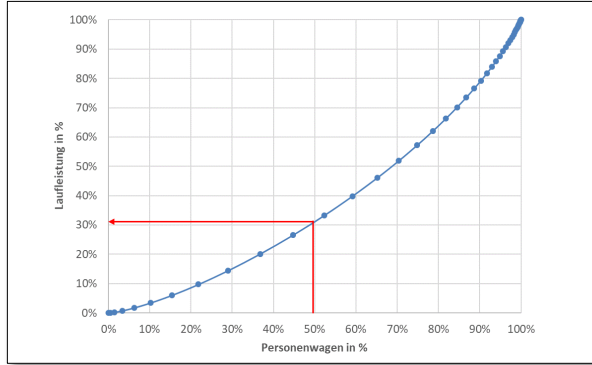


Um den nicht durch die Wasserkraft abgedeckten Energiebedarf der Schweiz im Winterhalbjahr sowie den Langstreckenverkehr ausschliesslich mit importierten synthetischen Energieträgern zu decken, wäre eine Photovoltaik-Fläche in einer Wüste von zirka 700 km² erforderlich; das sind 27 x 27 km oder 0,008% der Fläche der Sahara.

CONCLUSION

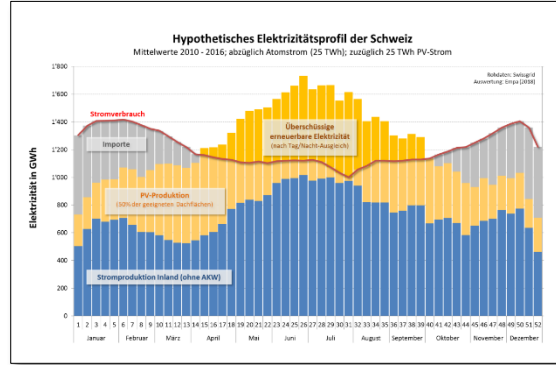
Zusammenfassung

Um die CO₂-Emissionen zu senken, ist eine ganzheitliche Sicht notwendig!



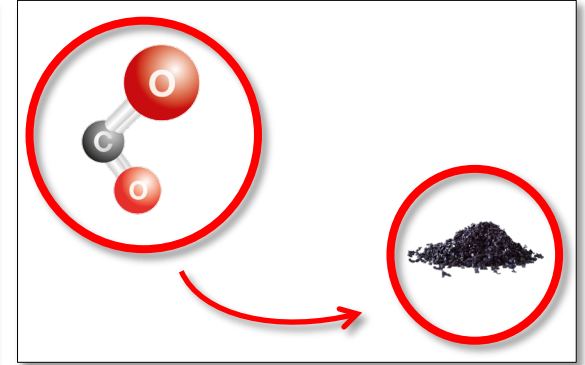
Der Strassenverkehr ist sehr heterogen. Langstrecken Anwendungen sowie der Flugverkehr spielen eine entscheidende Rolle bei der CO₂-Minderung. Diese werden voraussichtlich noch sehr lange auf chemischen Energieträgern basieren.

Die Schweiz braucht deshalb eine Strategie für die Versorgung mit erneuerbaren chemischen Energieträgern.



Die Energiestrategie der Schweiz erfordert grosse Speicher, erzeugt im Sommer grosse Mengen an Überschüssen und deckt den Bedarf im Winter bei weitem nicht.

Die Mobilität der Zukunft muss deshalb einen Systemnutzen leisten (BEV für Tag/Nacht-Ausgleich; FCEV für Nutzbarmachung von Überschuss-elektrizität und synthetischen Treibstoffe für die Versorgung des Winters.



Selbst wenn es gelingt, den Energiebedarf erneuerbar zu decken, verbleiben mehrere Millionen Tonnen an unvermeidlichen CO₂-Emissionen, die durch «Negative Emission Technologies» vermindert werden müssen

Dazu braucht es neue Ideen und Innovationen.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Dank KollegInnen: Thomas Bütler
Dr. Sinan Teske
Dr. Martin Rüdisüli
Dr. Florian Kiefer
Dr. Brigitte Buchmann

Bei Fragen:
christian.bach@empa.ch