

All electric vs Technologieoffenheit eine Auslegeordnung

Christian Bach

Abteilungsleiter Chemische Energieträger und Fahrzeugsysteme

CO₂-Gesetzgebung der EU für Schwere Motorwagen

Es werden nur Tank-to-Wheel-Emissionen berücksichtigt

Betroffene Kategorien:
«Alle» Schwere Motorwagen



**Rechenbeispiel für
LKW-Neuwagenflotte:**
(in der EU)

Mittlerer Verbrauch: 32 l/100km

Mittlere Nutzlast: 12 t

Mittlere CO₂-Emission: 70 g/tkm

Zielwert 2025 (-15%): 60 g/tkm

2030 (-45%): 40 g/tkm

2035 (-65%): 25 g/tkm

2040 (-90%): 7 g/tkm



Sanktion bei Nichteinhaltung:

- 4'000 EUR pro g/tkm (ab 2025)

- 6'800 EUR pro g/tkm (ab 2030)

Bemerkung:

H₂-Verbrenner-LKWs gelten als emissionsfreie Fahrzeuge, sofern die CO₂-Emissionen <3 g/tkm liegen.

Einführung eines Carbon Correction Factors (für Bio- und e-Fuels) wird 2027 geprüft.



**Woher kommt
die erneuerbare Energie?**

Woher kommt die erneuerbare Energie?

Aus einheimischen und ausländischen Quellen

erneuerbare **chemische** Energieträger

- Synthetische Kohlenwasserstoffe
(Methan, Kerosin, Diesel, Benzin)



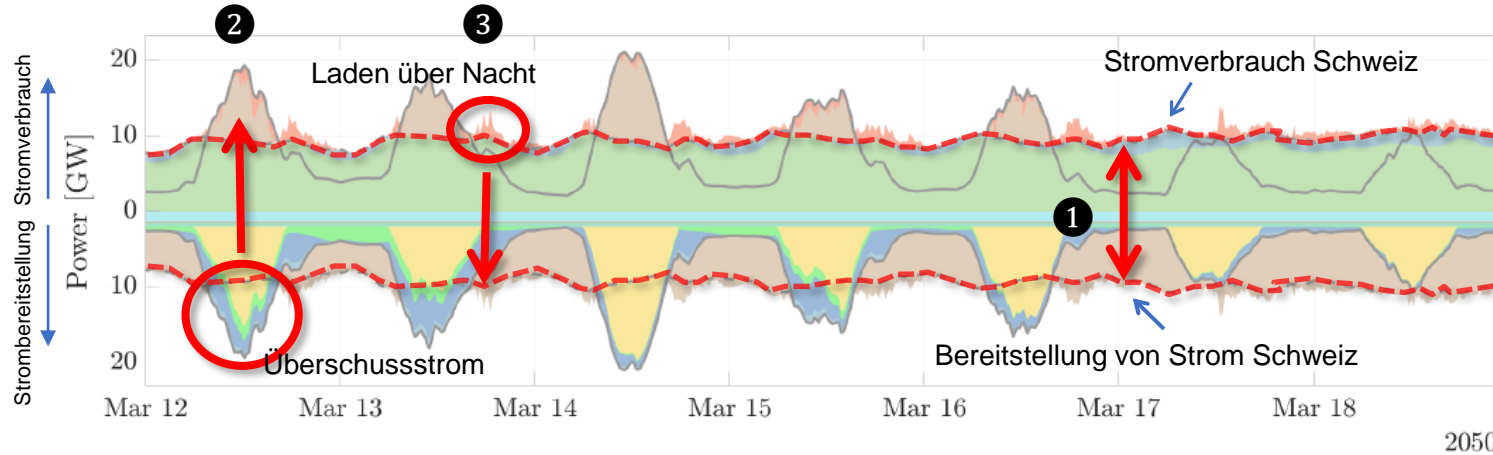
erneuerbare **elektrische** Energie

- Wasserkraft
- Photovoltaik
- Windenergie

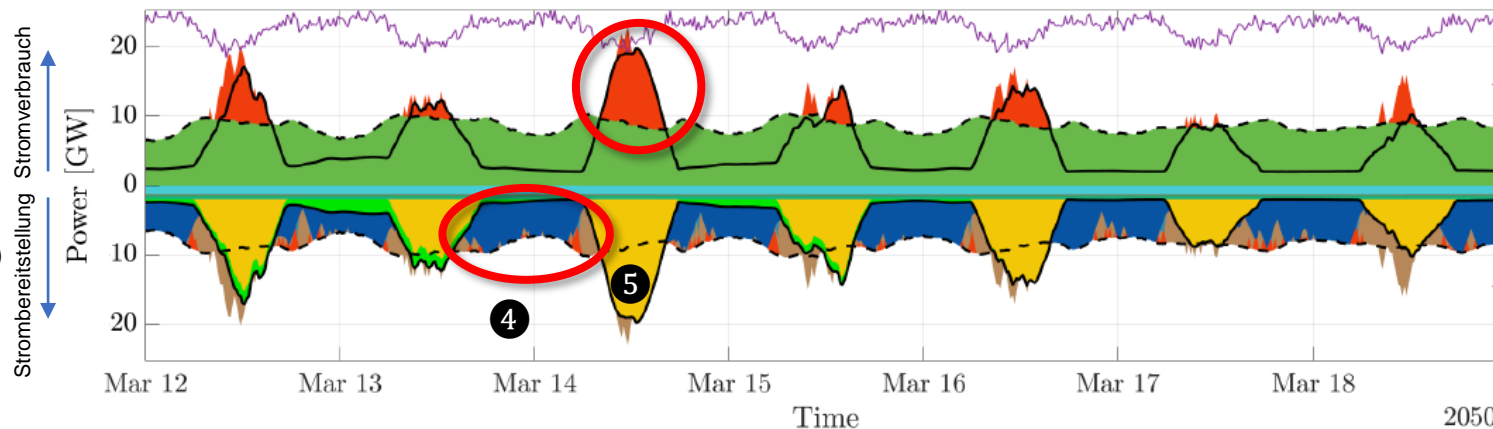
Einheimische erneuerbare Energie

Antriebswende oder systemdienliche Transformation

Unkontrolliertes Laden



Kontrolliertes Laden in Verbindung mit Optimierung der Wasserkraft (idealisierte Werte)



«Antriebswende» ☹️

- 1 Strombereitstellung und Stromverbrauch müssen jederzeit ausgeglichen sein.
- 2 Überschüssiger Strom muss exportiert (hier dargestellt), umgewandelt oder abgeregelt werden.
- 3 Das nächtliche Laden kann den Bedarf an importiertem Strom erhöhen (ist potentiell fossiler Strom).

«System-dienliche transformation» 😊

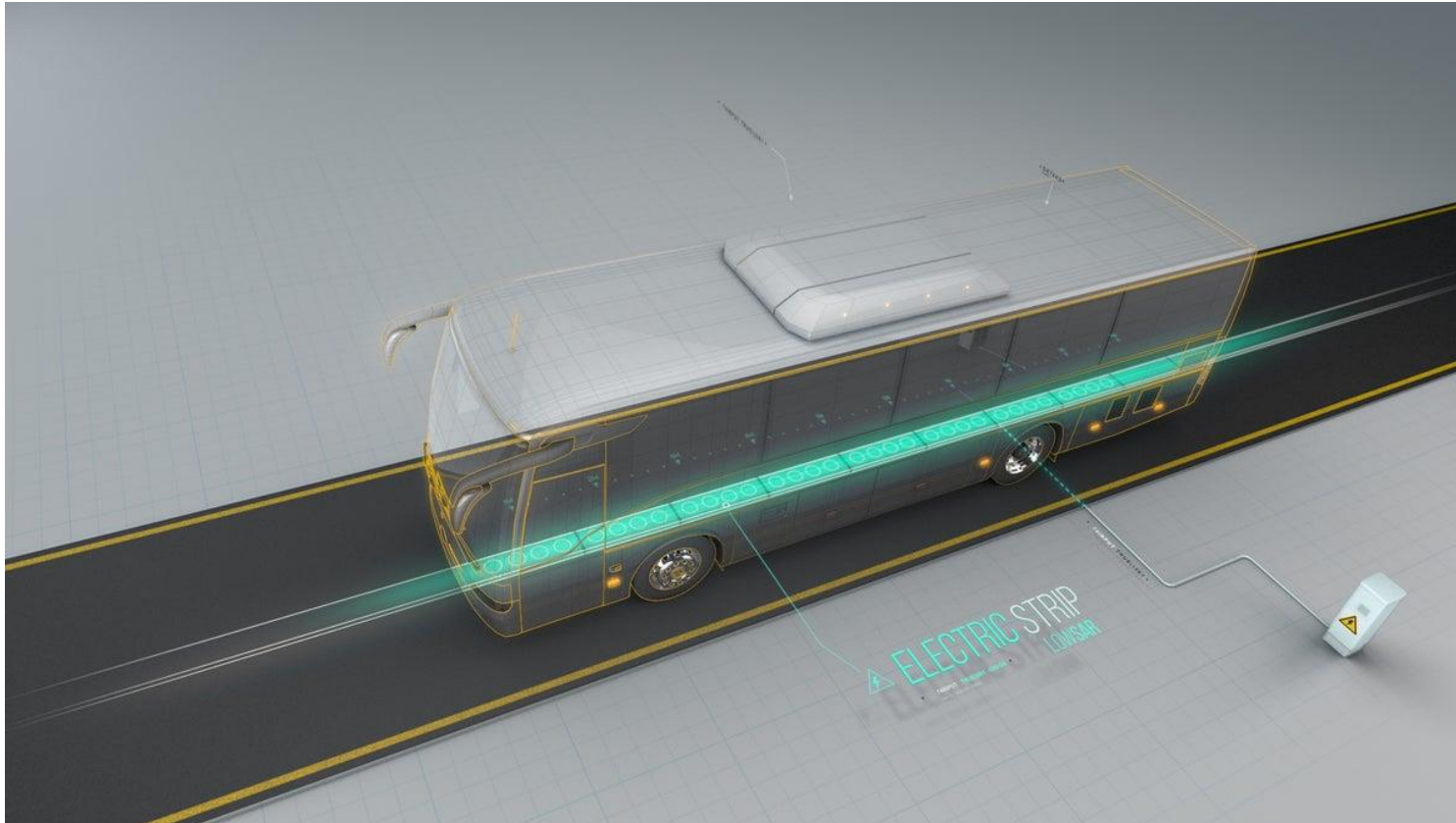
- 4 Nachts kann der Strom aus den BEV-Batterien genutzt werden, um Haushalte mit Strom zu versorgen (und um das Auto anzutreiben).
- 5 Laden von BEVs während des Tages.

Quelle:

Di Natale L. et al; The Potential of Vehicle-to-Grid to Support the Energy Transition: A Case Study on Switzerland; Energies (2022)

Ausblick: dynamisches Laden (während der Fahrt)

Laden tagsüber, kleine Batterien



In Zusammenarbeit mit Cablex und Cargo Sous Terrain soll das dynamische Laden (während der Fahrt) erstmals in der Schweiz im Rahmen eines Demonstratorprojekts angewandt werden.

Woher kommt die erneuerbare Energie?

Aus einheimischen und ausländischen Quellen

erneuerbare **chemische** Energieträger

- Synthetische Kohlenwasserstoffe
(Methan, Kerosin, Diesel, Benzin)



erneuerbare **elektrische** Energie

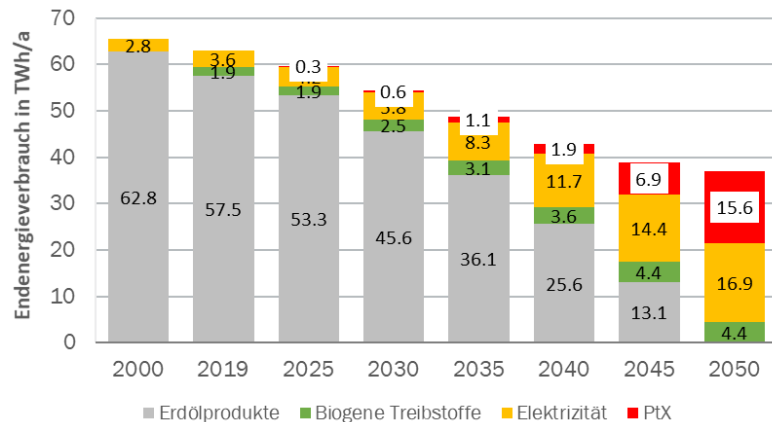
- Wasserkraft
- Photovoltaik
- Windenergie

Dekarbonisierung von Strassen/Luftverkehr & Industrie

BFE Energieperspektive 2050+

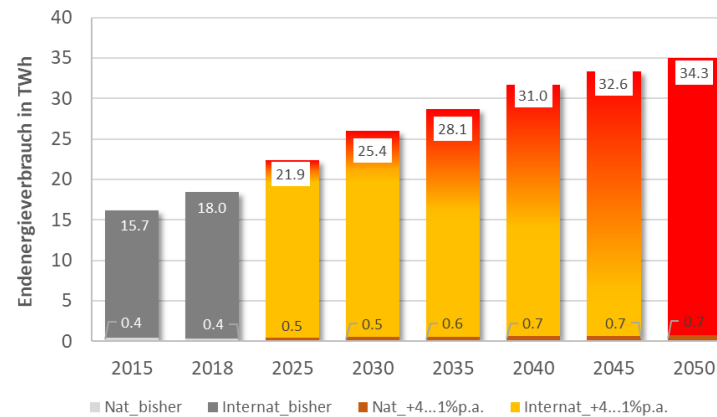
Strassenverkehr

PtX-Bedarf: 16 TWh_{th}/a bis 2050



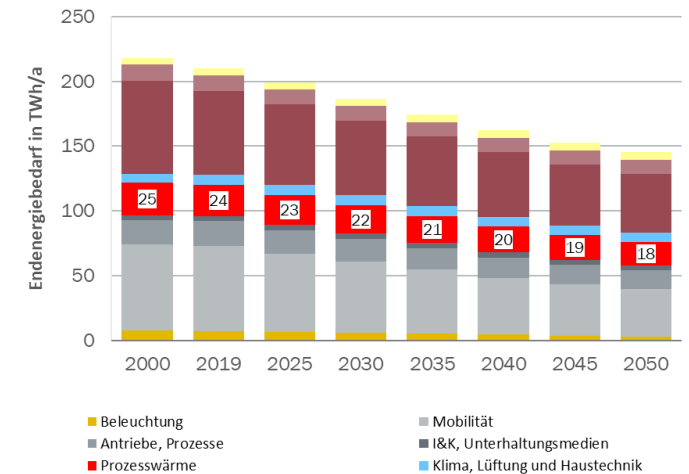
Flugverkehr ab CH (National + International)

PtX-Bedarf: 1 bis >30 TWh_{th}/a bis 2050



Industrielle Prozesswärme in CH

PtX-Bedarf: bis 18 TWh_{th}/a bis 2050



Quelle: BFE Energieperspektiven 2050+, Szenario «ZERO Basis»

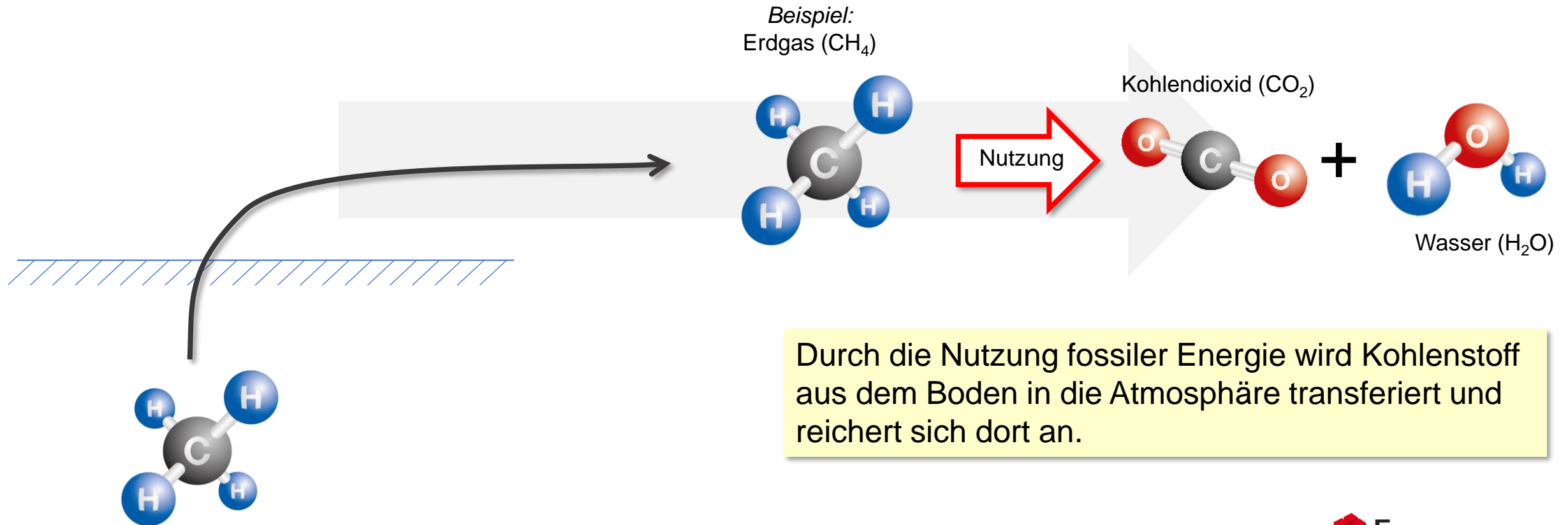
Quelle: BAFU THG-Inventar; ab 2020: +4 ... 1%p.a.

Quelle: BFE Energieperspektiven 2050+, Szenario «ZERO Basis»

Um den Strassen- und Luftverkehr sowie industriellen Hochtemperaturprozesse vollständig auf erneuerbare Energie umzustellen, werden **20 TWh an erneuerbarer elektrischer Energie** sowie **30 – 60 TWh an erneuerbaren chemischen Energieträgern** (oben rot eingefärbt) benötigt.

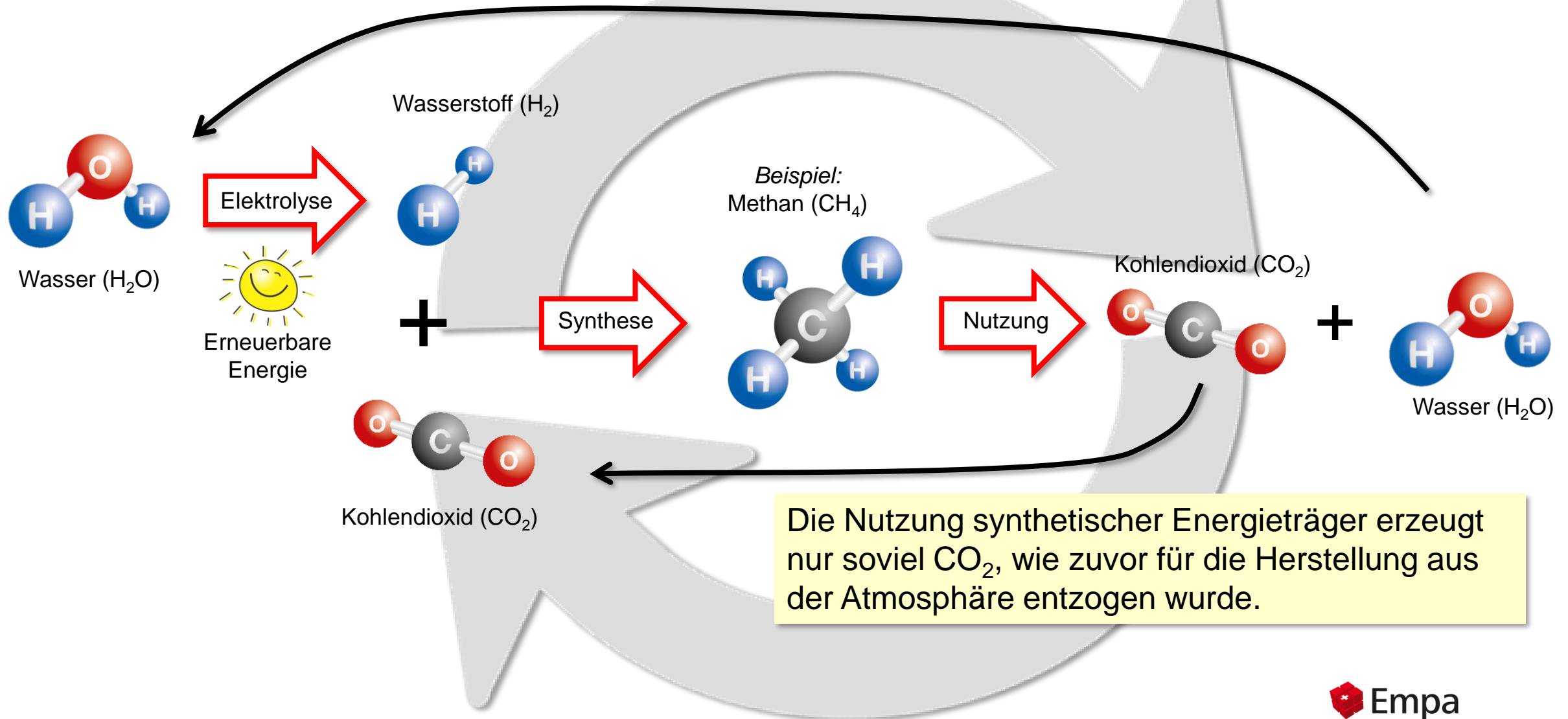
Was sind fossile Energieträger?

Fossile Energieträger mit linearem Kohlenstoff-Transfer in die Atmosphäre



Was sind synthetische Energieträger?

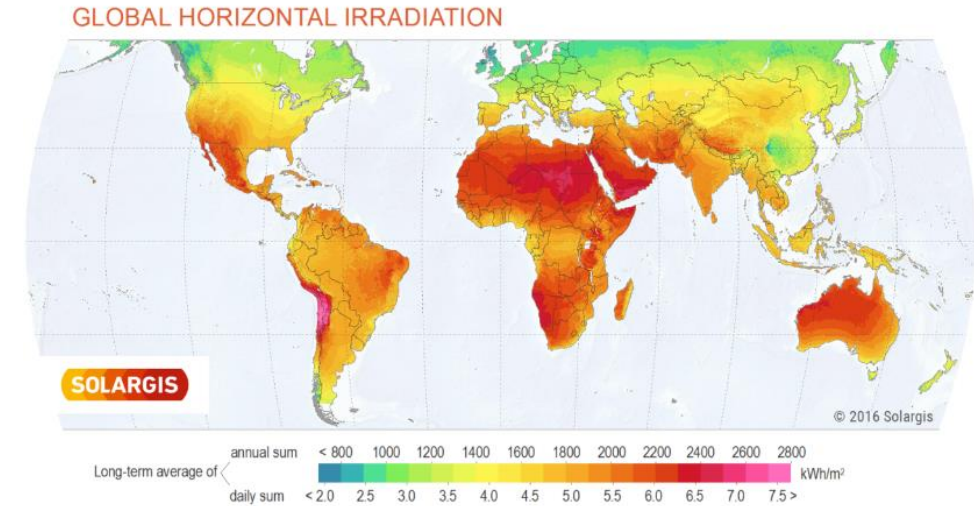
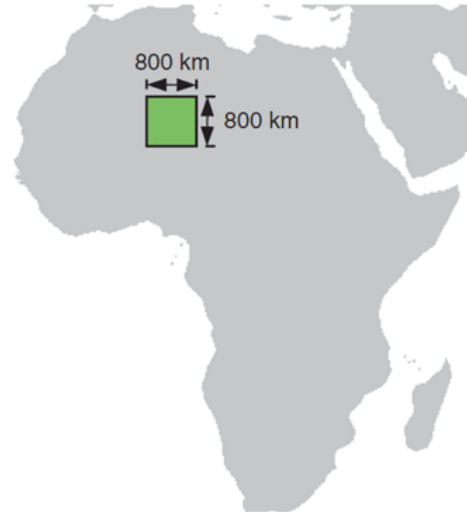
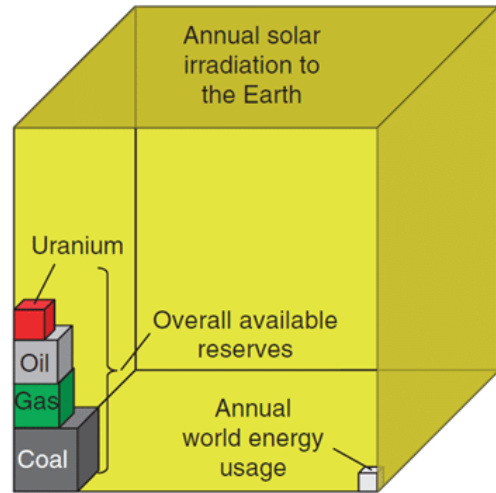
Synthetische Energieträger mit zirkulärer CO₂- (und Wasser-)Nutzung



Die Nutzung synthetischer Energieträger erzeugt nur soviel CO₂, wie zuvor für die Herstellung aus der Atmosphäre entzogen wurde.

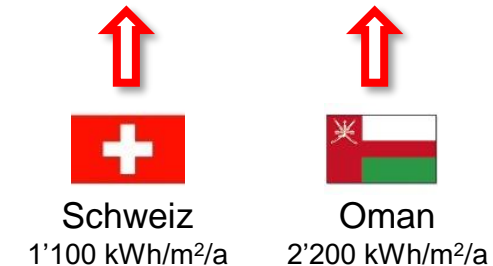
Woher kommt die erneuerbare Energie

Die Welt hat kein Energieproblem (sondern ein CO₂-Problem)



Die Sonne «schickt» pro Jahr sehr viel mehr (Sonnen-)Energie auf die Erde, als die Welt je brauchen wird.

Quelle: Burlafinger Klaus; Development of a High Irradiance Setup for Precisely Controlled Accelerated Photo-Degradation of Organic Solar Cells; Doktorarbeit Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Riesige ungenutzte Flächen und doppelte Sonneneinstrahlung im Sonnengürtel.

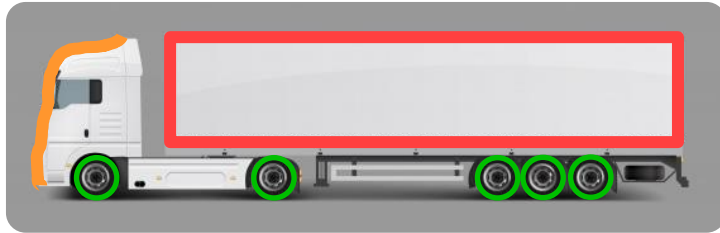


Flottentransformation

Realverbrauchs-Bestimmung von LKWs

Ziel: CO₂-Emissionen als Dispositionsgrösse für den Einsatz von Distributions-LKWs

Fahrzeugparameter

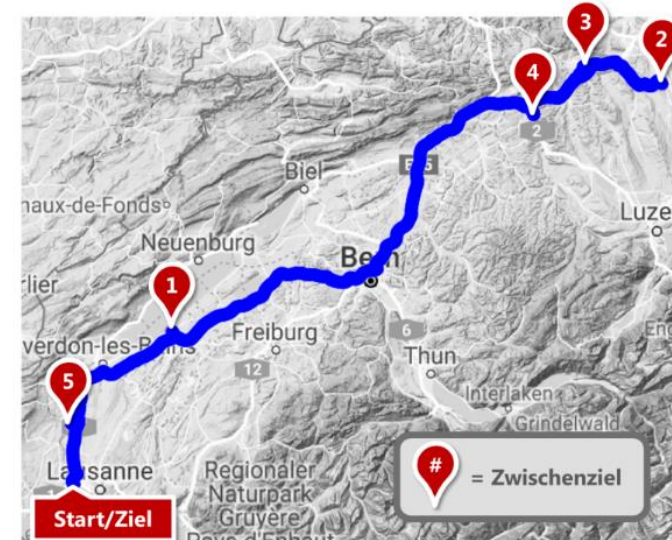


Die folgenden Widerstände müssen von der Antriebskraft überwunden werden, um einen LKW zu beschleunigen :

- Luftwiderstand F_L :
$$F_L = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$
- Rollwiderstand F_R :
$$F_R = \mu \cdot m \cdot g$$
- Beschleunigungswiderstand F_B :
$$F_B = m \cdot \frac{dv}{dt}$$
- Steigungswiderstand F_A :
$$F_A = m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$$

c_w = drag coefficient; ρ = air density; A = frontal area; v = speed; μ = rolling resistance coefficient; m = vehicle mass; t = time; g = gravity; α = slope; M_{mot} = engine torque; i_g = gear ratio; i_D = axle ratio; η = efficiency; r_{Rad} = Radius drive wheel

Routeninformation

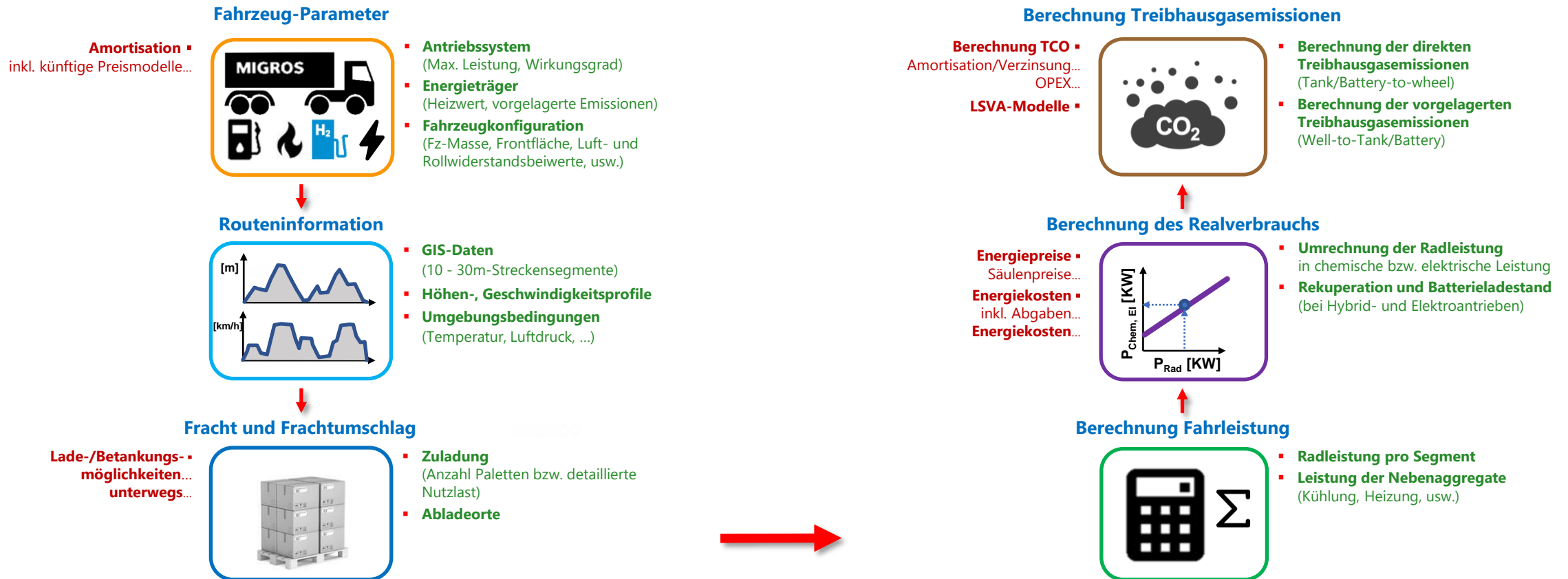


GIS-Datenauswertung

- Topographisches Profil
- Die Verkehrssignalisierung wird zur Berechnung des hypothetischen Geschwindigkeitsprofils verwendet

Realverbrauchs-Bestimmung

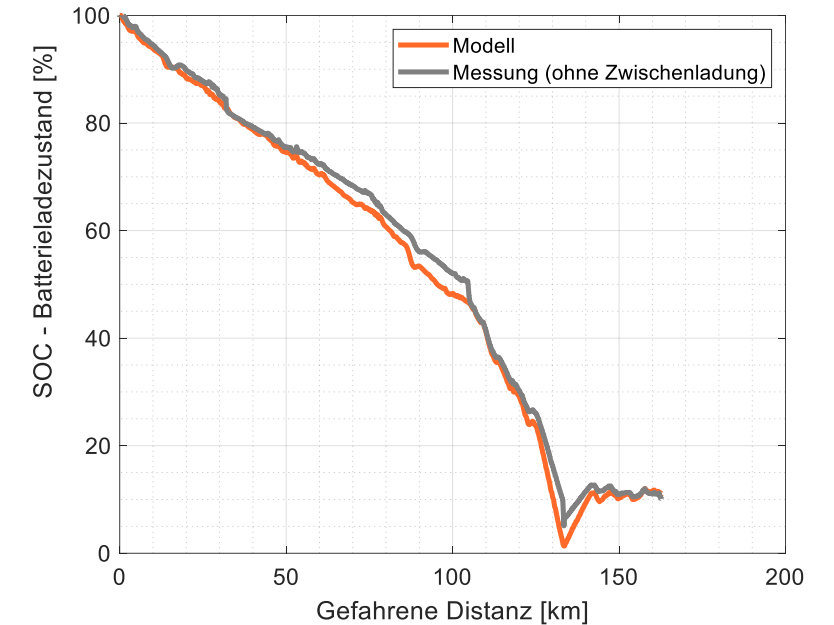
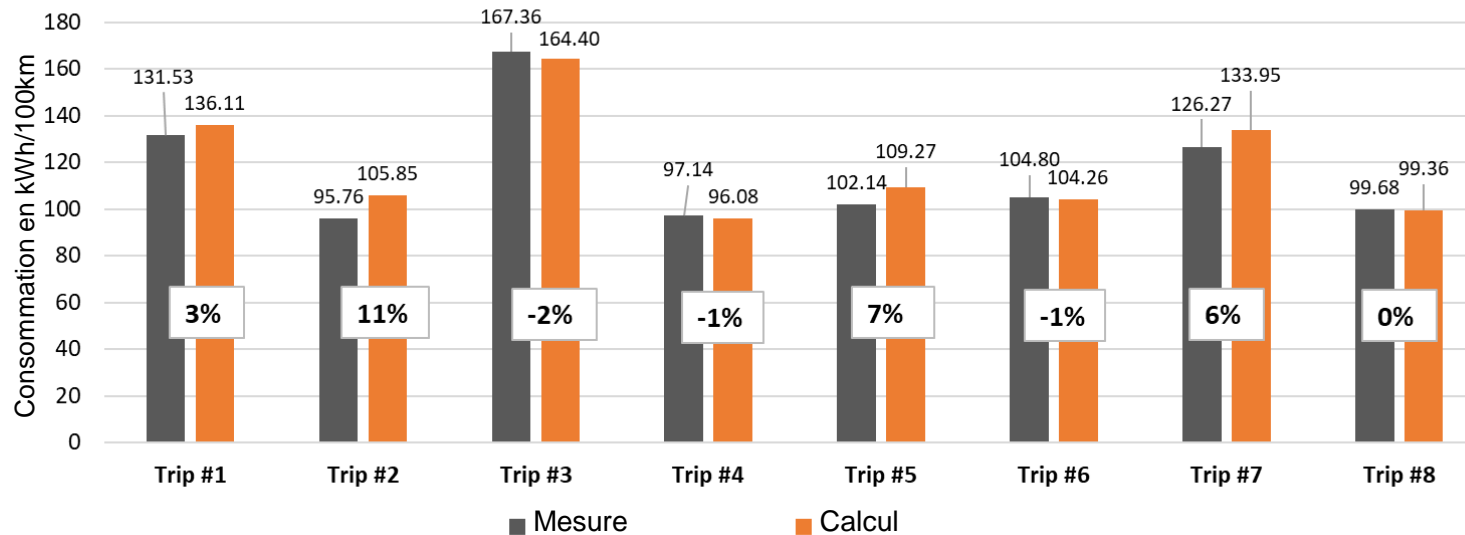
Routen- und Einzelfahrzeugspezifische Berechnung der CO₂-Emissionen und TCO



Détermination de la consommation réelle

Validation

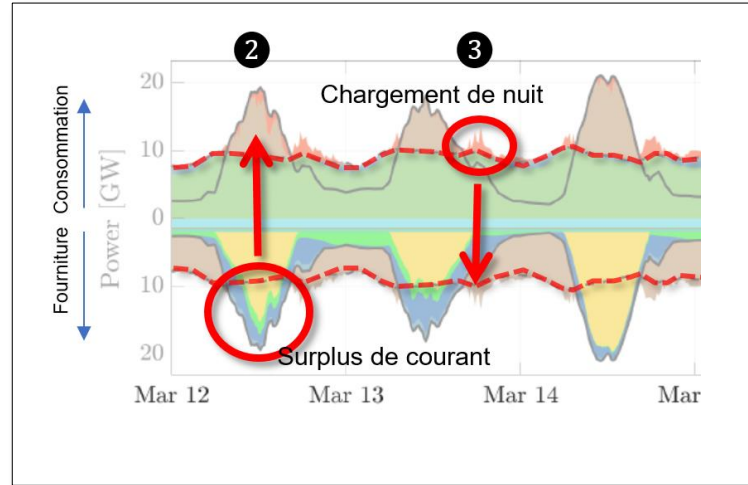
Mesure et calcul de la consommation sur des camions électriques sur différents itinéraires



- Die realen Verbrauchswerte streuen pro Fahrzeug bei unterschiedlichen Fahrten im Bereich von $\pm 30\%$ (weshalb Mittelwertmodelle kaum anwendbar sind), können mit dem vorliegenden Ansatz jedoch mit einer Genauigkeit von $< \pm 10\%$ (oftmals $< \pm 5\%$) bestimmt werden.
- Der Ansatz wird zur Zeit für die Entwicklung von Lade-/Betankungskonzepten weiterentwickelt.

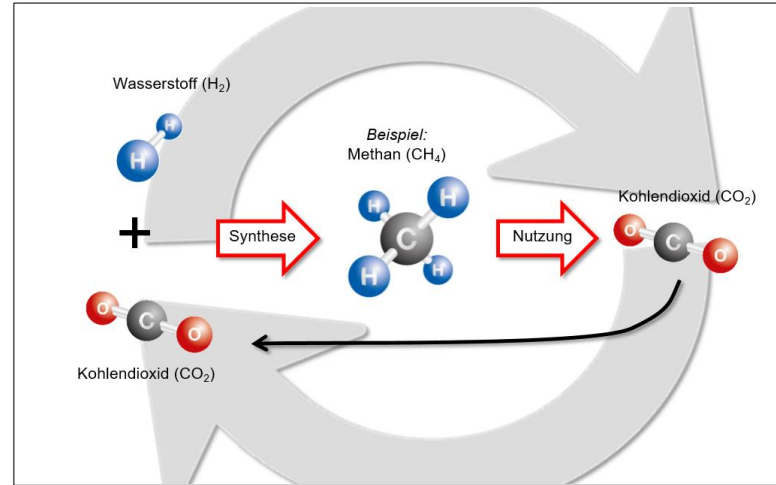
Zusammenfassung

Der technologieoffene Ansatz bietet mehr Klimaschutz-Möglichkeiten



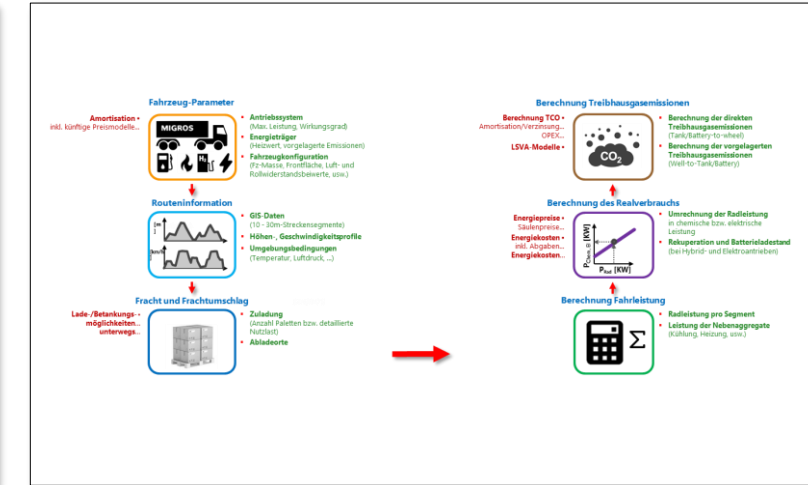
Wir müssen es „richtig“ machen! Ein einfacher Wechsel des Antriebs wird nicht zu signifikanten CO₂-Einsparungen führen.

Wenn es gelingt, den Energieverbrauch mit der Erzeugung erneuerbarer Energien zu koppeln, können Elektrofahrzeuge zusätzlich erhebliche CO₂-Einsparungen bewirken.



Synthetische Treibstoffe weisen eine zirkuläre Nutzung von CO₂ auf. Entscheidend ist allerdings, dass der Wasserstoff erneuerbare erzeugt wird.

Synthetische Treibstoffe werden nicht in der Schweiz und voraussichtlich auch nicht in Europa, sondern im Sonnengürtel produziert. Dort gibt es enorme Mengen an nicht genutzter erneuerbarer Energie.



Die nachhaltige Transformation von Fahrzeugflotten ist sehr anspruchsvoll.

Softwaregestützte Transformationskonzepte ermöglichen die Minimierung von Risiken und Kosten und die Maximierung der CO₂-Reduktion.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Dank Kolleg:innen

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

Bei Fragen:

christian.bach@empa.ch

