

„All electric“ vs Technologieoffenheit

Transformation des Strassengüterverkehrs

Christian Bach

Abteilungsleiter Fahrzeugantriebssysteme

erneuerbare anstelle von fossiler Energie

Netto Null CO₂
Negative CO₂-Emissionen

bis 2050

*Nutzung bestehender Handelsmechanismen
und Infrastrukturen*

Bundesrat, 28.08.2019

CO₂-Gesetzgebung der EU für Schwere Motorwagen

Es werden nur Tank-to-Wheel-Emissionen berücksichtigt

Betroffene Kategorien:

LKWs ohne Reisebusse



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)

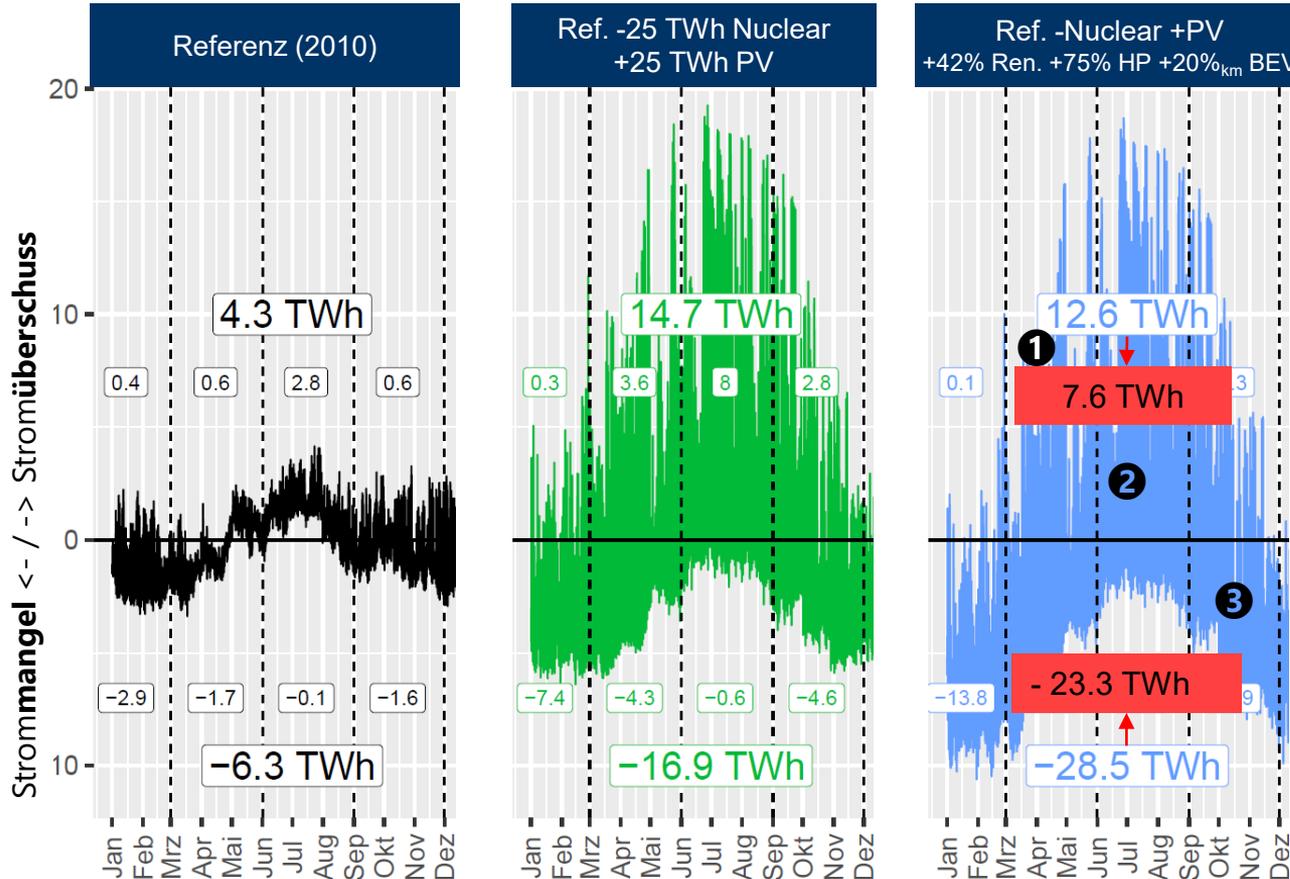


erneuerbare **elektrische** Energie

- Wasserkraft
- Photovoltaik
- Windenergie

Einheimische erneuerbare Elektrizität

Starke Sommer-Winter-Unterschiede bei der erneuerbaren Energie in Zukunft



1 Elektrofahrzeuge für den Tag-Nacht-Ausgleich

Erf. Speicherkapazität: 80 – 140 GWh

Nutzung parkierter Elektroautos

3 Mio BEV → z.B. 60 GWh Speicher

2 Wasserstofffahrzeuge für die Nutzung von Stromüberschüssen

Verbl. Stromüberschuss: 7 – 8 TWh/a

Wasserstoffproduktion für LKW

20'000 BZ-LKWs → 5.0 TWh_{H₂} (8 TWh_{el})

3 Synth. Energieträger für Langstrecken LKWs und Winterstrom

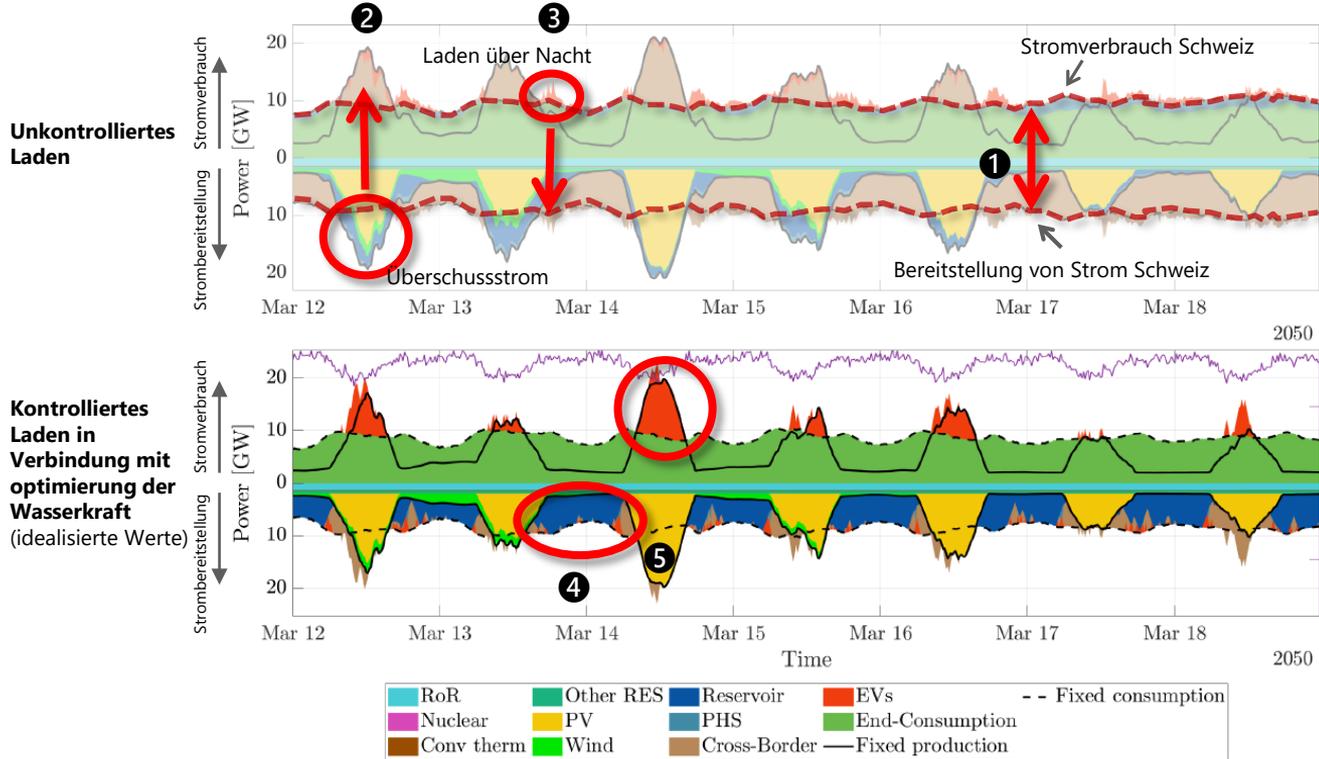
Stromimportbedarf: 10 - 20 TWh_{el}

Synthetische Energieträger & BHKW

5 GW_{el} BHKW @ 4'000 FL-h/a

Domestic renewable electric energy

Potential of high impact by energy systemic battery charging



«Antriebswede»

- 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)

Woher kommt die erneuerbare Energie?

Aus einheimischen und ausländischen Quellen

erneuerbare **chemische** Energieträger

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



erneuerbare **elektrische** Energie

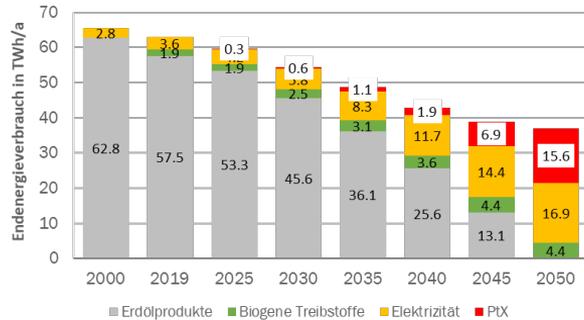
- Wasserkraft
- Photovoltaik
- Windenergie

Dekarbonisierung von Strassen/Luftverkehr & Industrie

BFE Energieperspektive 2050+

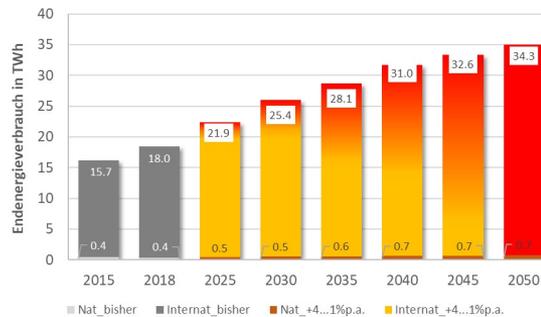
Strassenverkehr

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



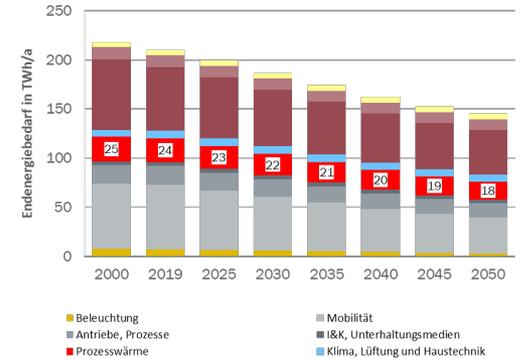
Flugverkehr ab CH (National + International)

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»

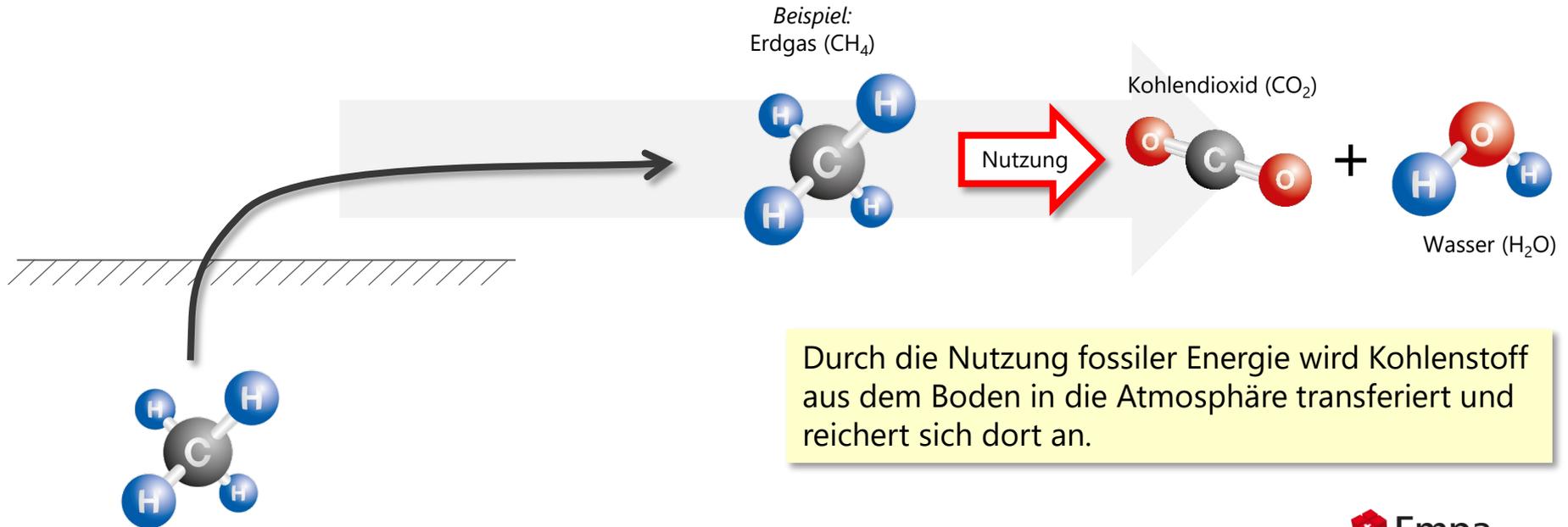
Quelle: BAFU THG-Inventar; ab 2020: +4 ... 1%p.a.

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.

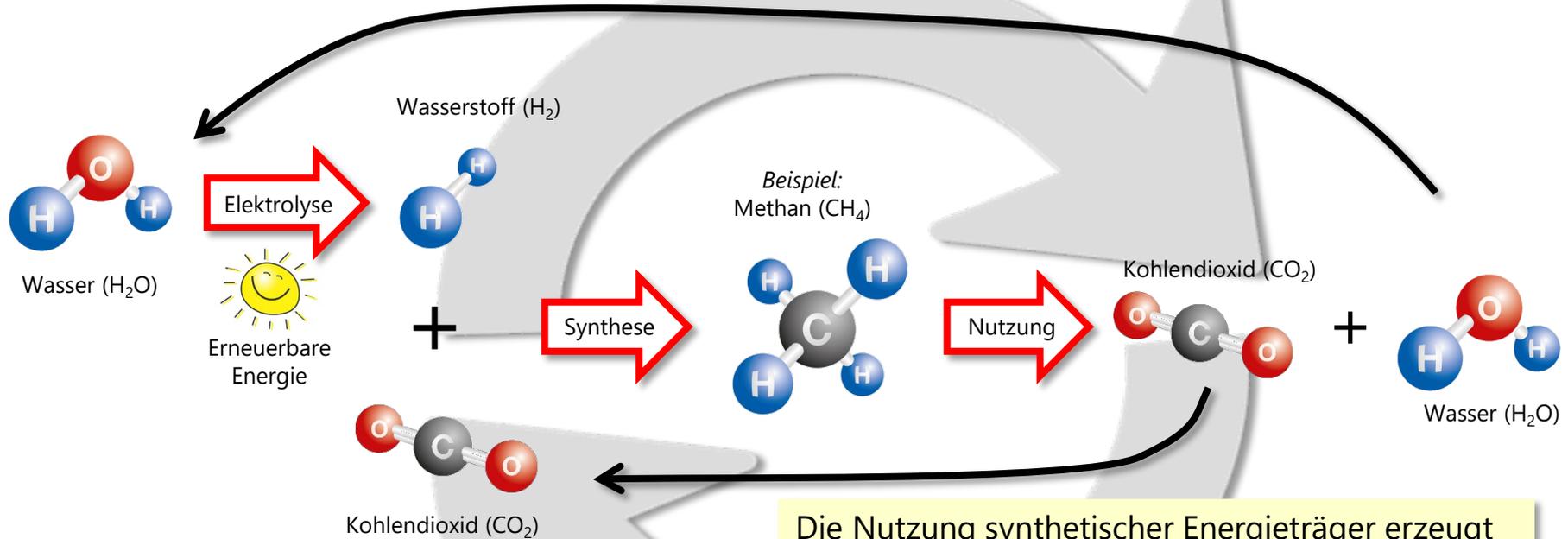
Was sind fossile Energieträger?

Fossile Energieträger mit linearem Kohlenstoff-Transfer in die Atmosphäre



Was sind synthetische Energieträger?

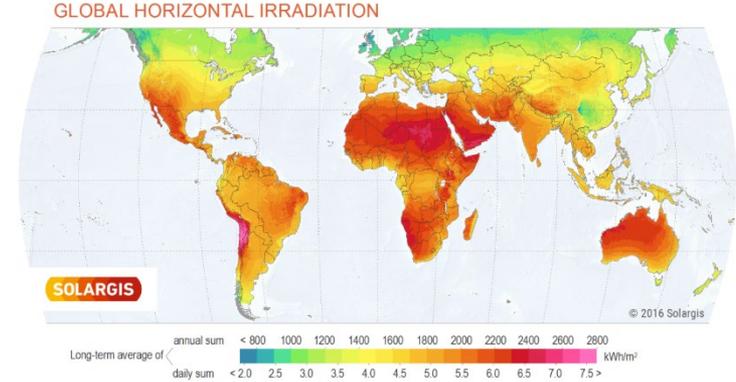
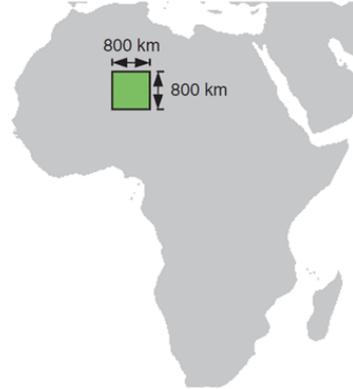
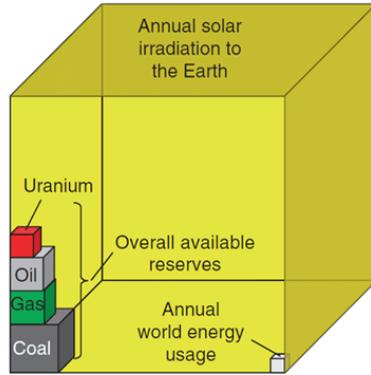
Synthetische Energieträger mit zirkulärer CO₂- (und Wasser-)Nutzung



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)



Schweiz
1'100 kWh/m²/a



Oman
2'200 kWh/m²/a

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.

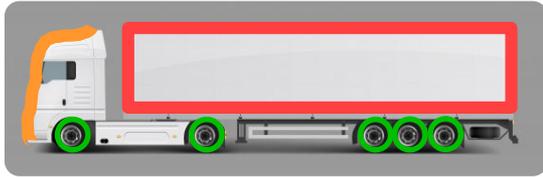
A high-angle, night-time photograph of a severe traffic jam. The scene is filled with numerous cars of various colors, their headlights and taillights glowing in the dark. The cars are packed closely together, filling the frame from the foreground to the background. In the lower right corner, a large, multi-story bus is visible, partially obscured by the cars. The overall atmosphere is one of congestion and urban activity at night.

**Wie werden Fahrzeuge
betrieben?**

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

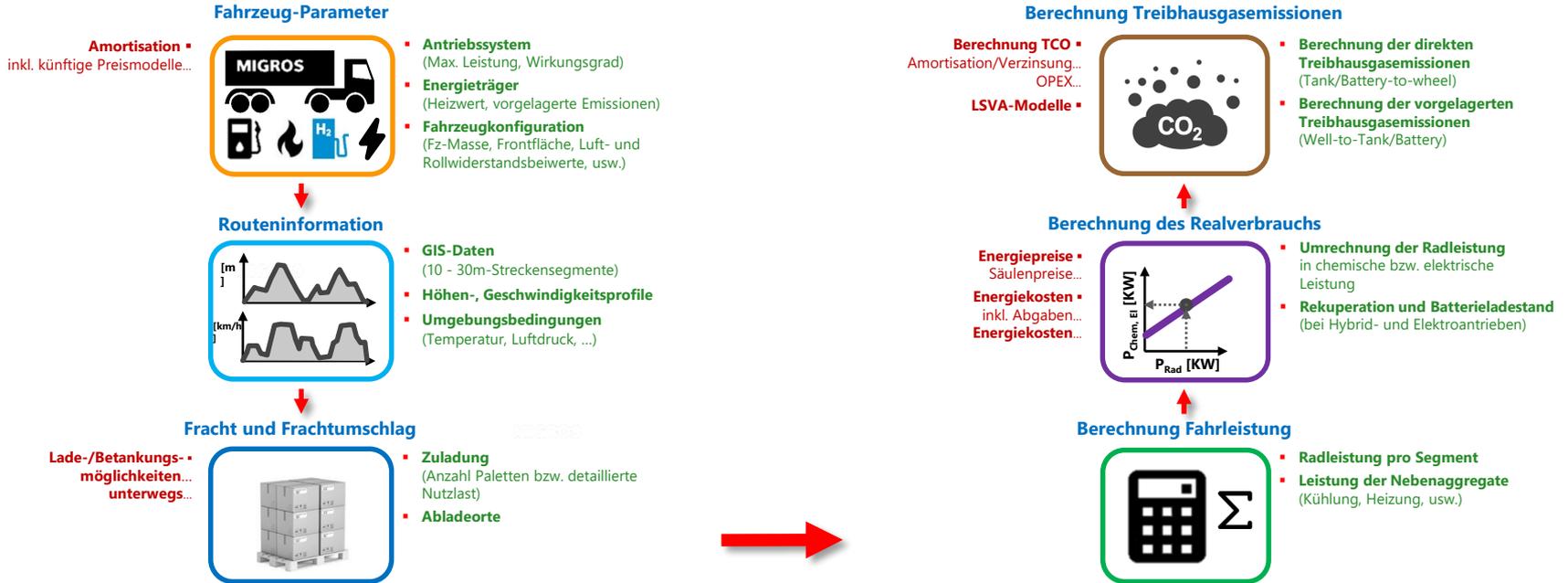


GIS-Datenauswertung

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

Realverbrauchs-Bestimmung

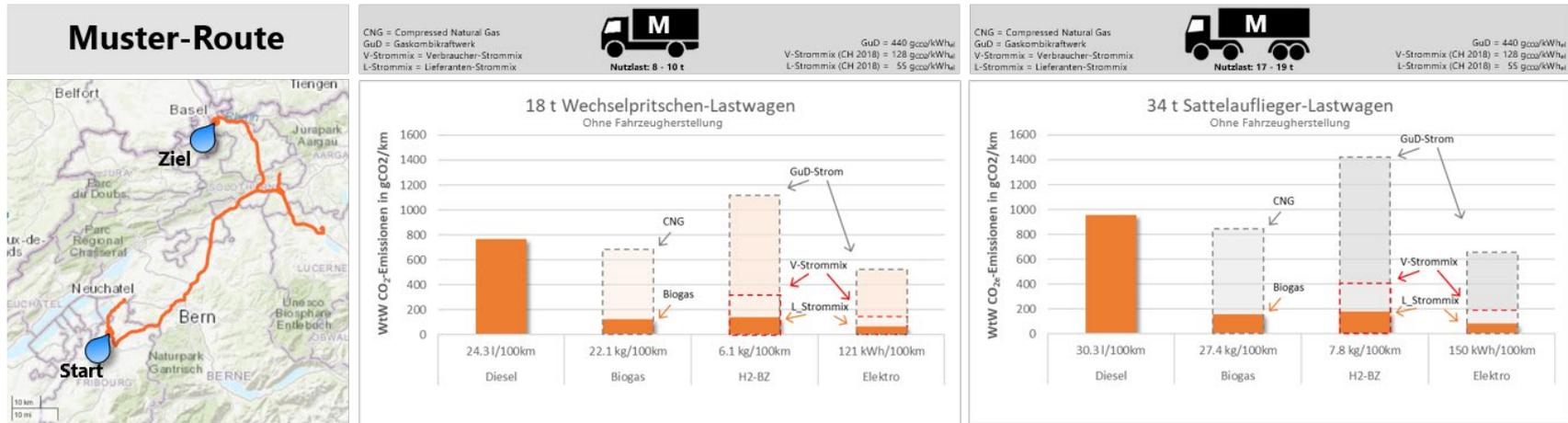
Routen- und Einzelfahrzeugspezifische Berechnung der CO₂-Emissionen und TCO



Realverbrauchs-Bestimmung

Routen- und Einzelfahrzeugspezifische Berechnung der CO₂-Emissionen und TCO

Der von Migros und Empa entwickelte prädiktive Realverbrauchs- und TCO-Berechnungsansatz für LKWs basiert auf der detaillierten Analyse von Einzelfahrten von Einzelfahrzeugen. Im Gegensatz zu bisher üblichen Mittelwertmodellen kann damit die Heterogenität des Einsatzes von LKW-Flotten präzise abgebildet werden. Dabei konnten neue Einsatzkriterien für die Disposition bereitgestellt werden.



Hinsichtlich Treibhausgas-Emissionen ist nicht der Antrieb, sondern die Herkunft der Energie (fossil/erneuerbar) für den Betrieb der Fahrzeuge entscheidend. Mit Umstellung auf erneuerbare Energie können diese um 70 – 90% gesenkt werden (Angaben ohne Berücksichtigung der Fahrzeugherstellung).

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