

# Antriebskonzepte der Zukunft

## Die post-fossile Mobilität

**Christian Bach**  
Abteilungsleiter Fahrzeugantriebssysteme



# Was kommt auf unser Energiesystem zu?

## Energiestrategie & Pariser Klimaabkommen

### **Zeitraumen:**

- Innerhalb von ca. **20 Jahren** sollen folgende Ziele erreicht werden:

### **Energiestrategie:**

- Ersatz von ca. **20 TWh Atomenergie** durch Einsparungen/erneuerbare Energie (von heute ca. 60 TWh)

### **Pariser Klimaabkommen:**

- Reduktion der **CO<sub>2</sub>-Emissionen** um ca. **20 Mio t** (von heute total ca. 35 Mio t; wobei ca. 16 Mio t aus Treibstoffen)

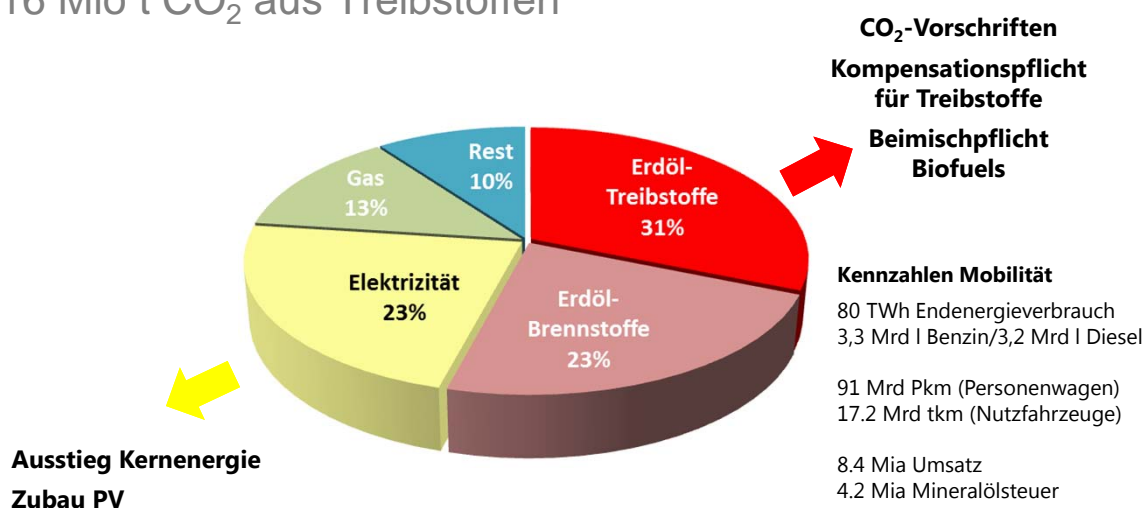


## Inhalt

- Erneuerbare Energie als Schlüssel für die CO<sub>2</sub>-Reduktion
- Woher kommt die erneuerbare Energie?
- Der Future Mobility Demonstrator «move»
- Zusammenfassung / Fazit

## Das Energiesystem im Wandel

16 Mio t CO<sub>2</sub> aus Treibstoffen



# Wie kann das CO<sub>2</sub>-Problem gelöst werden?

Kaya-Formel zeigt hohe Relevanz der erneuerbaren Energie

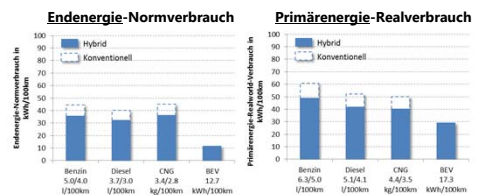
$$CO_2 = \underbrace{\frac{CO_2}{E}}_{\text{Energie-mix}} * \underbrace{\frac{E}{pkm}}_{\text{Fahrzeug-verbrauch}} * \underbrace{\frac{pkm}{tkm}}_{\text{Wirtschafts-wachstum/ Gesellsch. Entwicklung}} * \underbrace{Anz. Personen}_{\text{Bevölkerungs-wachstum}}$$

CO<sub>2</sub>-Vorschriften Fahrzeuge  
130 gCO<sub>2</sub>/km  
95 gCO<sub>2</sub>/km

Allerdings werden nur Auspuffemissionen berücksichtigt

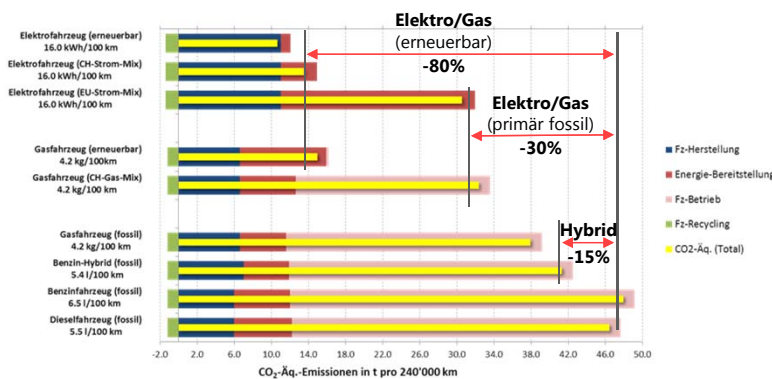
Das CO<sub>2</sub>-Problem kann (fast) ausschliesslich über den Term «  $\frac{CO_2}{E}$  » gelöst werden und nicht über den Verbrauch oder Wirtschafts-/Bevölkerungswachstum.

Verbrauchsvergleich verschiedener Antriebskonzepte; Fahrzeugherstellung nicht berücksichtigt



# CO<sub>2</sub>-Lebenszyklusemissionen

Der Treibstoff «schlägt» das Antriebskonzept



Quelle:  
LCA-Vergleich verschiedener Antriebskonzepte basierend auf Bauer et al, Applied Energy (2015), Fuchs et al. ATZ (2014), Audi Präsentation (2015) und Verbrauchsdaten gemäss Spiritmonitor.de für VW Golf 81-85 kW und Toyota Auris HEV (MJ 2015-2016). BCM-Biogas gemäss LCA-Studie Empa-PSI-Agroscope-Deka (2012) und Quantis (2015); EU-Strom-Mix: 547 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh (treeze Strommixrechner), CH-Strom-Mix: 102 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh, erneuerbarer Strom: 28 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh (BAFU 2014)

Nicht das Antriebskonzept, sondern die Herkunft der Energie für den Betrieb der Fahrzeuge ist entscheidend für die CO<sub>2</sub>-Minderung der Mobilität.

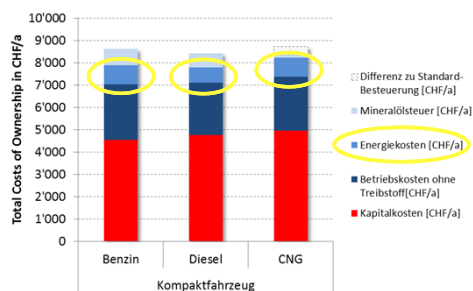


## Erneuerbare Energie in der Mobilität

Geringer Energiekostenanteil als «Enabler»

**Problem:** erneuerbare Energie ist deutlich teurer, als fossile Energie!

**Lösungsansatz:** Deutlich geringerer Energiekostenanteil bei Fahrzeugen an den Betriebskosten als in anderen Anwendungen.



Aufgrund des niedrigen Energiekostenanteils bei Fahrzeugen ist die Verwendung von sauberen (aber auch teureren) erneuerbaren Treibstoffen wirtschaftlich «einfacher».

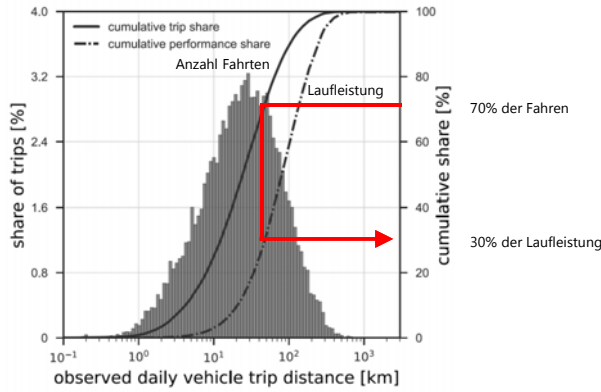
Die aktuelle Mineralölsteuer-Regelung (Befreiung) deckt die Mehrkosten zudem mindestens grösstenteils ab.

## Inhalt

- Erneuerbare Energie als Schlüssel für die CO<sub>2</sub>-Reduktion
- **Woher kommt die erneuerbare Energie?**
- Der Future Mobility Demonstrator «move»
- Zusammenfassung / Fazit

# Weshalb nicht nur Elektrofahrzeuge?

Hohe Relevanz von Viel-Fahrern



Source: ETHZ/Empa (2018)

**Mikrozensus:**

70% der Autofahrten machen 30% der Laufleistung aus bzw. 30% der Autofahrten 70% der Laufleistung.

**Übertragung auf Fahrzeuge:**

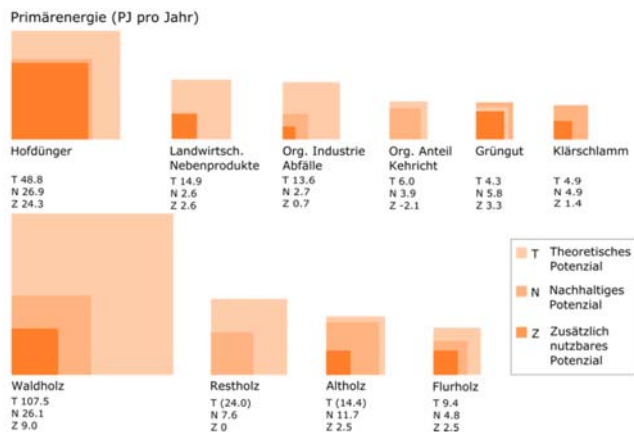
Ein kleiner Teil (z.B. 30%) der Vielfahrer-Fahrzeuge sind für den grössten Teil (z.B. 70%) der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich.

Vielfahrer-Fahrzeuge könnten vergleichsweise einfach mit erneuerbaren Treibstoffen auf CO<sub>2</sub>-armen Betrieb umgestellt werden.



# Biogene erneuerbare Energie

Potentialabschätzung für die Schweiz



Thees, O.; Burg, V.; Erni, M.; Bowman, G.; Lemm, R., 2017: Biomassepotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung, Ergebnisse des Schweizerischen Energiekompetenzentrums SCCER BIOSWEET, WSL Ber. 57: 299 S.

**SCCER BIOSWEET**

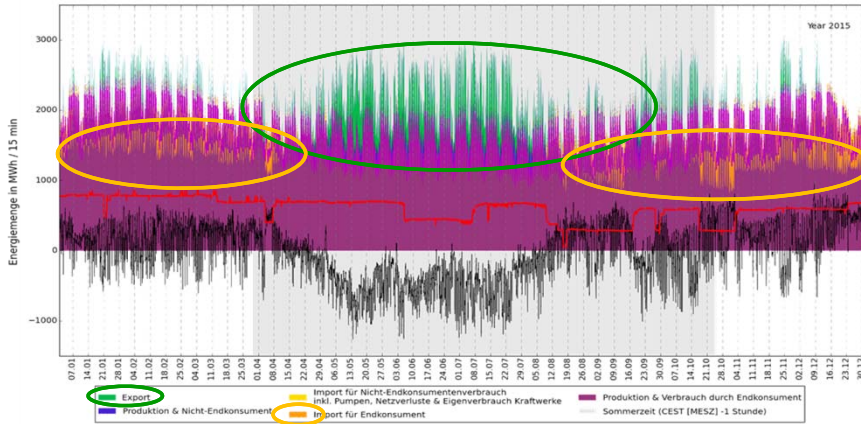
Verfügbarkeit von zusätzlicher Biomasse in der Schweiz als Primärenergie: **100 PJ/a (28 TWh/a)** davon je 50% verholzte/ nicht verholzte Biomasse

Daraus könnten 6 – 14 TWh/a als Biogas/Biotreibstoff erzeugt werden und 600'000 – 1'500'000 Fahrzeuge betrieben werden.



# Erneuerbare Elektrizität

## Das Ausland als heutiger Stromspeicher



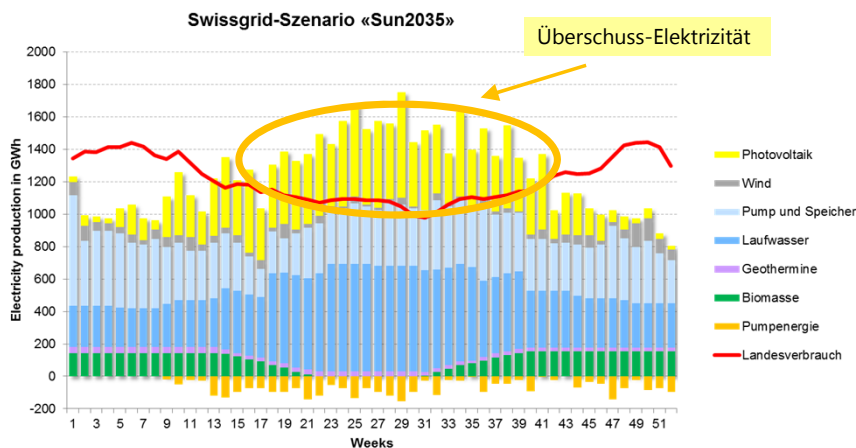
Quelle: Empa

Von April – September 2015 wurden ca. 5'000 GWh Strom exportiert. Im Winterhalbjahr werden ähnliche Mengen importiert. Das Ausland funktioniert heute als unser Stromspeicher. Nur: Wie lange noch?



# Erneuerbare Energie

## Saisonale Aspekte berücksichtigen

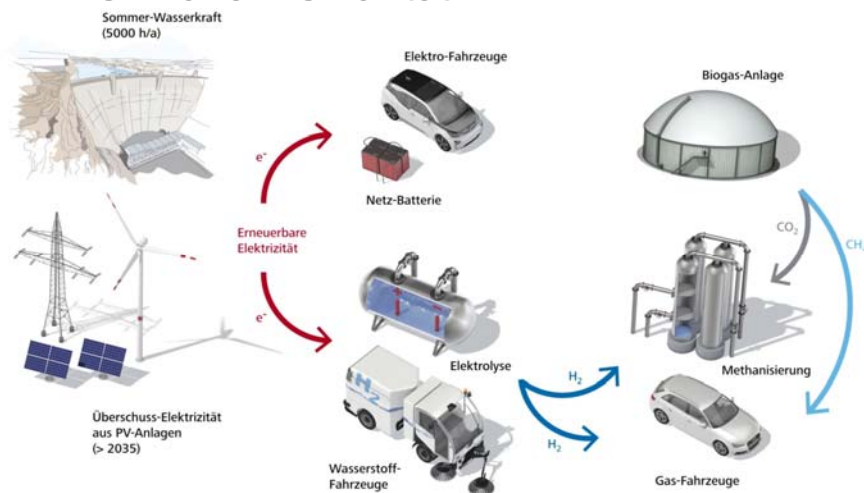


Die Nutzbarmachung von Stromüberschüssen ist wichtig für einen starken Zubau von PV. Nutzbarmachung heisst, kurz-/mittelfristig durch Umwandlung in synthetische Treibstoffe; langfristig als saisonaler Energiespeicher. Herausfordernd ist die Wirtschaftlichkeit.



# Energiesystemische Betrachtung

## Effizienz und Flexibilität



Um von fossilen Kraftwerken unabhängig zu werden, braucht es eine Effizienzsteigerung und eine zeitliche Flexibilisierung beim Strombezug.

- Elektrofahrzeuge weisen die **höchste Effizienz** aber die **geringste Flexibilität** beim Strombezug auf.
- Wasserstofffahrzeuge weisen eine **mittlere Effizienz** sowie eine **mittlere Flexibilität** beim Strombezug auf.
- Gasfahrzeuge (bzw. synthetische flüssige Treibstoffe) weisen **niedrigste Effizienz**, aber **höchste Flexibilität** beim Strombezug auf (PtG-Konzept).



# Energiesystemische Betrachtung

## Effizienz und Flexibilität



**Die Vision:**  
 Würde die überschüssige erneuerbare Elektrizität gemäss Swissgrid Sun2035-Szenario im Sommerhalbjahr zur Hälfte zur Herstellung von synthetischem Treibstoff genutzt, könnten **mehrere 100'000 Fahrzeuge CO<sub>2</sub>-neutral** mit einheimischer Energie betrieben werden.



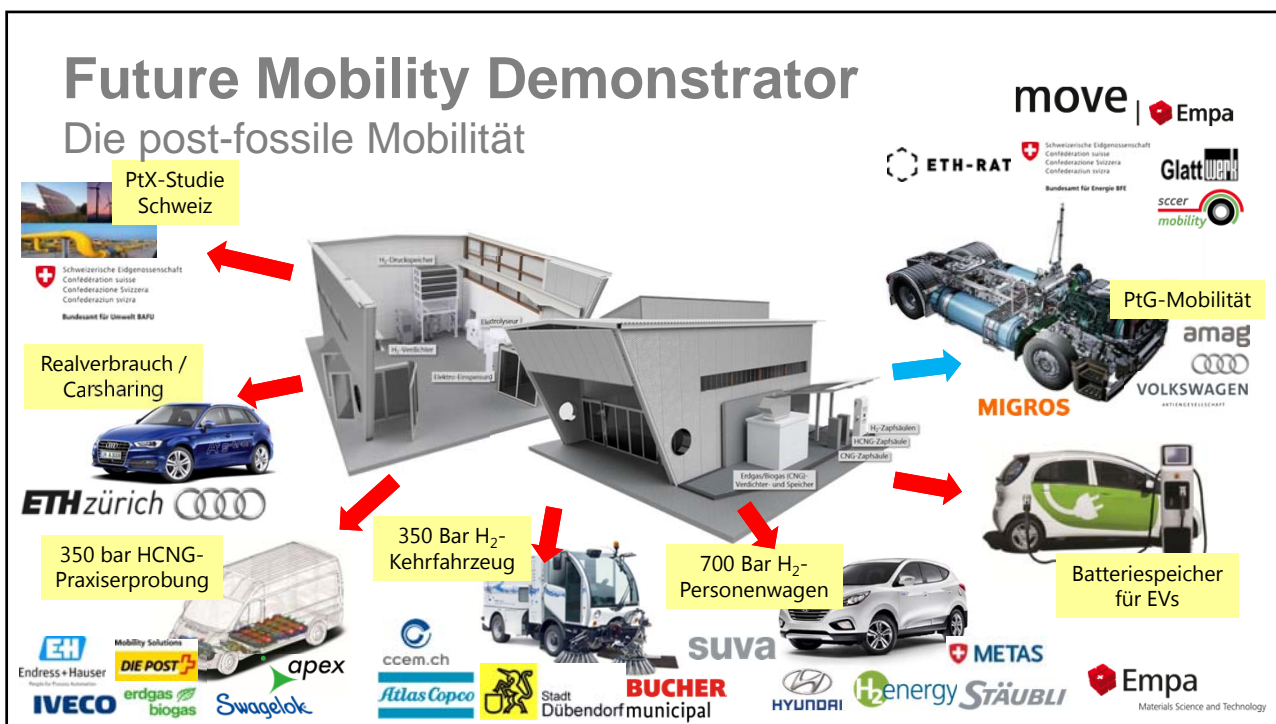
# Inhalt

- Erneuerbare Energie als Schlüssel für die CO<sub>2</sub>-Reduktion
- Woher kommt die erneuerbare Energie?
- **Der Future Mobility Demonstrator «move»**
- Zusammenfassung / Fazit



# Future Mobility Demonstrator

## Die post-fossile Mobilität





## Inhalt

- Erneuerbare Energie als Schlüssel für die CO<sub>2</sub>-Reduktion
- Woher kommt die erneuerbare Energie?
- Der Future Mobility Demonstrator «move»
- Zusammenfassung / Fazit



## Fazit

**Lessons learned vom Dieselskandal:** Lösungen müssen sauber sein, nicht nur sauber aussehen!

**Antriebe der Zukunft:**

**Elektro-, Brennstoffzellen- und Hybridantriebe;**  
reine Verbrennungsmotor nur noch in Nischensegmenten.  
«Nullschadstoffe» auch bei Hybridantrieben.

**Energie der Zukunft:**

**Erneuerbare biogene, elektrische und synthetische Treibstoffe**  
wobei die Mobilität aufgrund des niedrigen Energiekostenanteils  
als wichtiger «Enabler» darstellt.

**CO<sub>2</sub>-Emissionen:**

Wechsel auf **lebenszyklusbasierte Bewertung** führen zu Elektroautos mit kleineren Batterien, Wasserstofffahrzeuge und Hybridfahrzeuge. Betrieben mit erneuerbarer Energie weisen diese Antriebskonzepte alle sehr niedrige Emissionen auf.

Nicht die Antriebstechnologien, sondern die genutzte Energie ist entscheidend für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen.



## Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

**Dank Kollegen:** Dr. Patrik Soltic  
Thomas Bütler  
Urs Cabalzar  
Dr. Sinan Teske

**Bei Fragen:**  
christian.bach@empa.ch