

# Fahren wir morgen alle elektrisch?

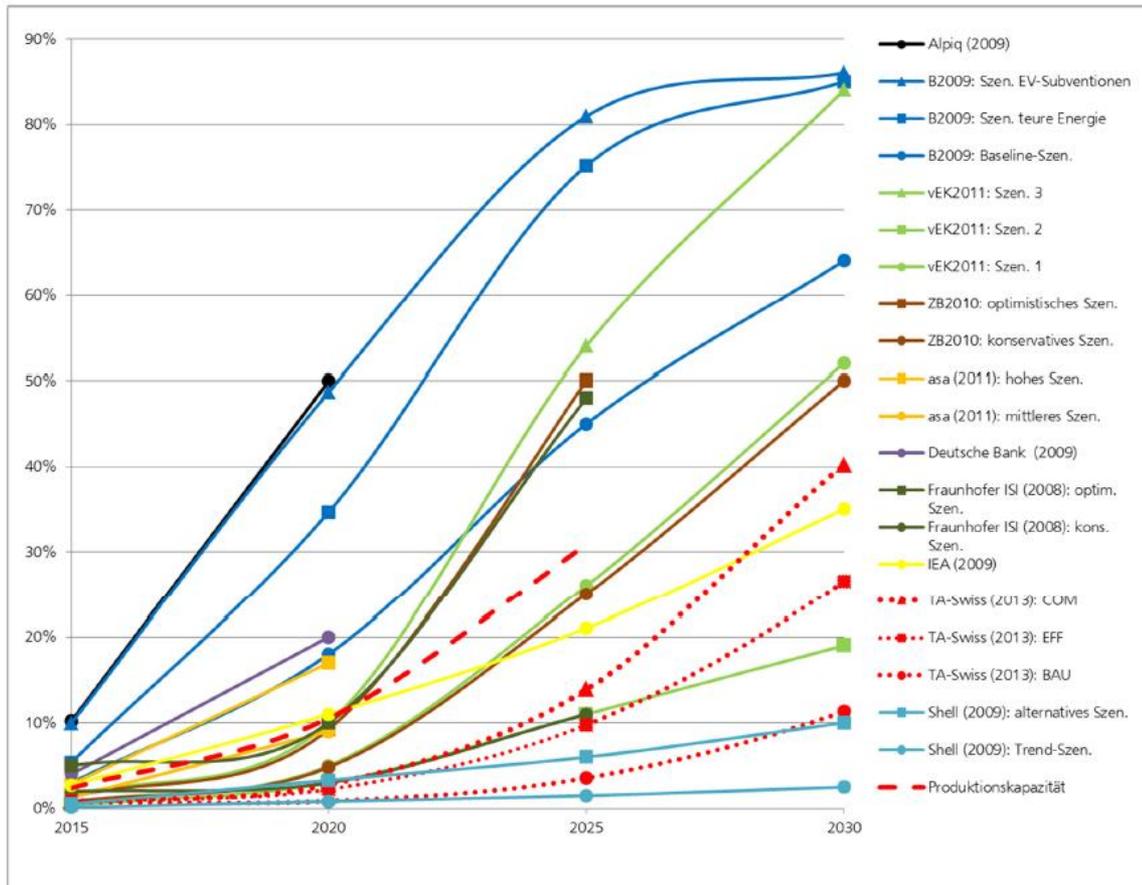
Ein Blick nach vorn...

**Christian Bach**

Abteilungsleiter Fahrzeugantriebssysteme

# Szenarien zur Penetration von Elektroautos

## Grosse Streubreite



**Fazit:**  
Man weiss es nicht...!

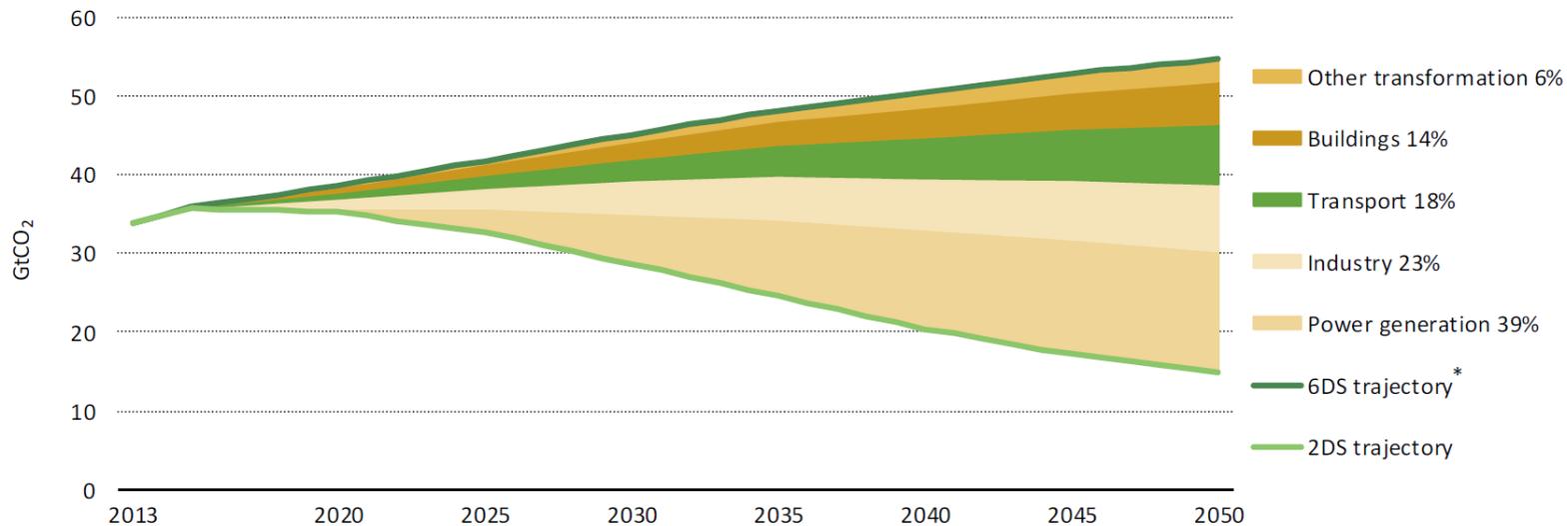
Quelle:  
TA Swiss (2013), Sustainerv, EBP, BS

**Was ist zu tun?**



# CO<sub>2</sub>-Emissionen weltweit

Stromerzeugung, Industrie, Mobilität und Gebäude

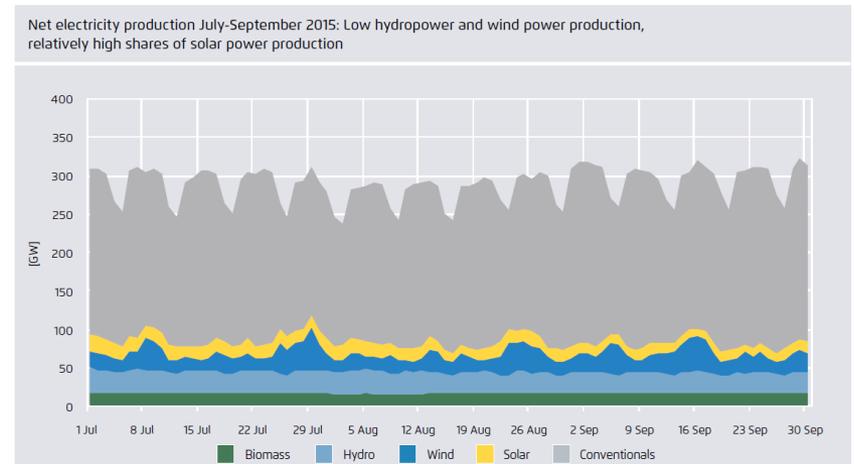
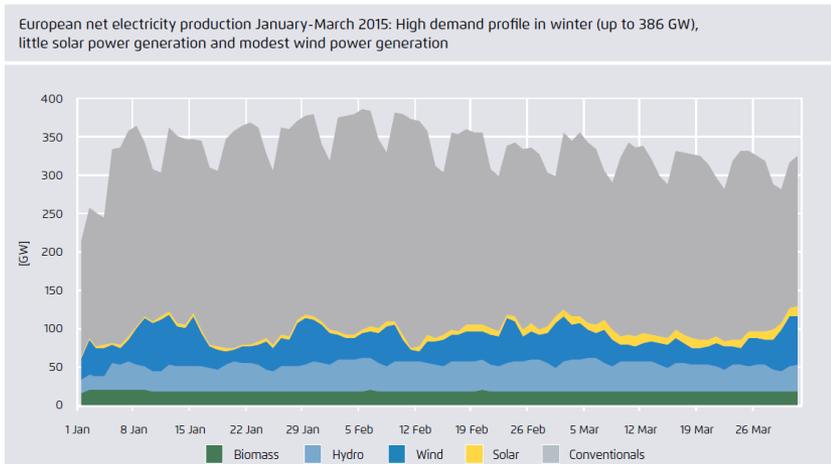


Quelle:  
IEA Global EV Outlook 2016

- Heutige CO<sub>2</sub>-Emission (weltweit): 35 Gt bzw. 35'000 Mio-t
- 2°C-Ziel (2DS trajectory): Absenkung auf die Hälfte erforderlich (bei gleichzeitigem Wachstum der Weltbevölkerung und des Energieverbrauchs)

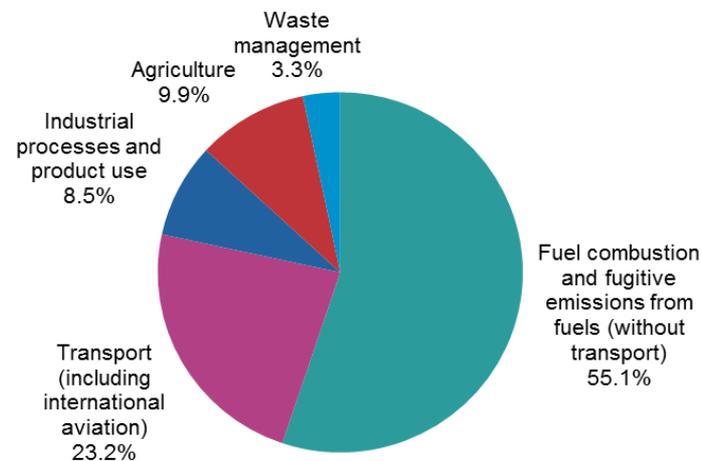
# Stromproduktion in Europa

## Der Europäische Strom muss sauberer werden!



Quelle: Eurostat, Greenhouse gas emission statistics (2016)

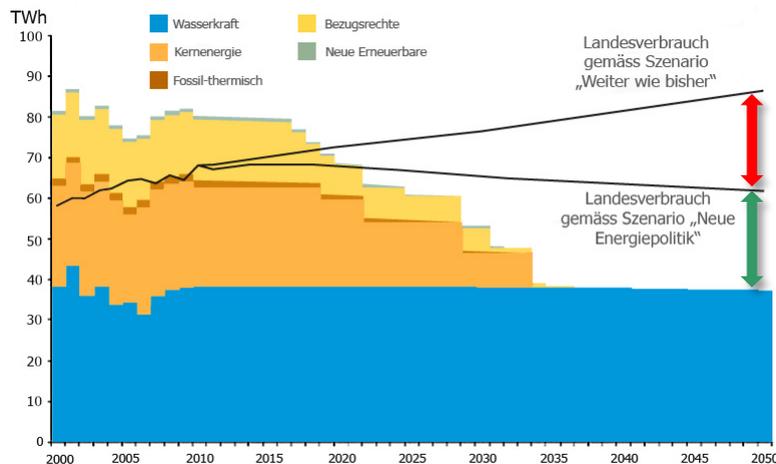
## CO<sub>2</sub>-Emissionen der EU-28 2014 (Total: 4'400 Mio-t)



Quelle: Eurostat, Greenhouse gas emission statistics (2016)

# Energiewende Schweiz

Ersatz der AKWs durch Sparen und erneuerbaren Strom



## Ziele Energiestrategie:

- Einsparung von 20-25 TWh
- Zubau erneuerb. Energie um 22.6 TWh  
PV: 10.4 TWh, Wind: 4 TWh, GeoTherm.: 4.4 kWh,  
Biom.: 1.1 TWh, Biogas 1.4 TWh, ARA/KVA: 1.3 TWh
- Beibehaltung CO<sub>2</sub>-Ziel  
Bis 2012: -10% ggü 1990 (CO<sub>2</sub>-Gesetz)  
Bis 2020: -20% ggü 1990 (Anhörung)

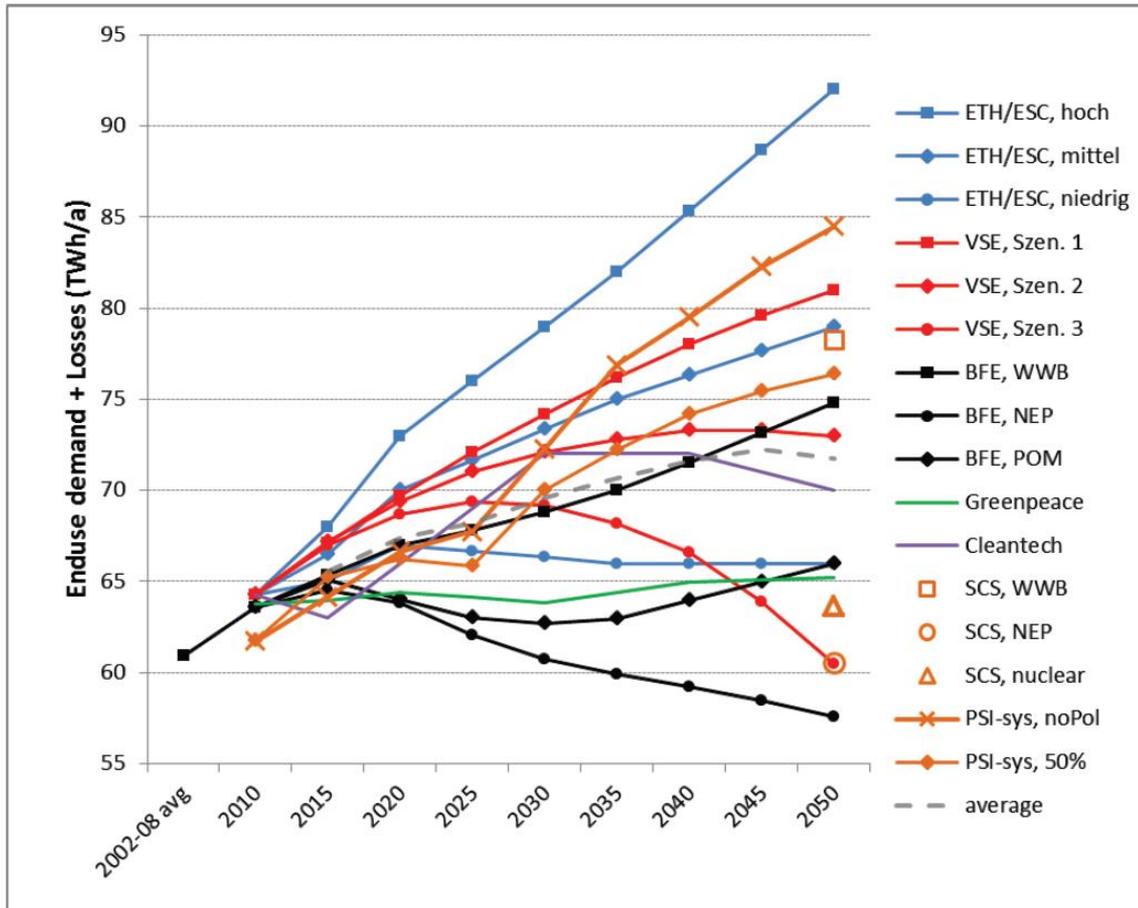
CO<sub>2</sub>-Emissionen der Schweiz 2016 (Total: 34 Mio-t)

# Die Elektrizität



# Stromverbrauchsszenarien

## Grosse Bandbreite



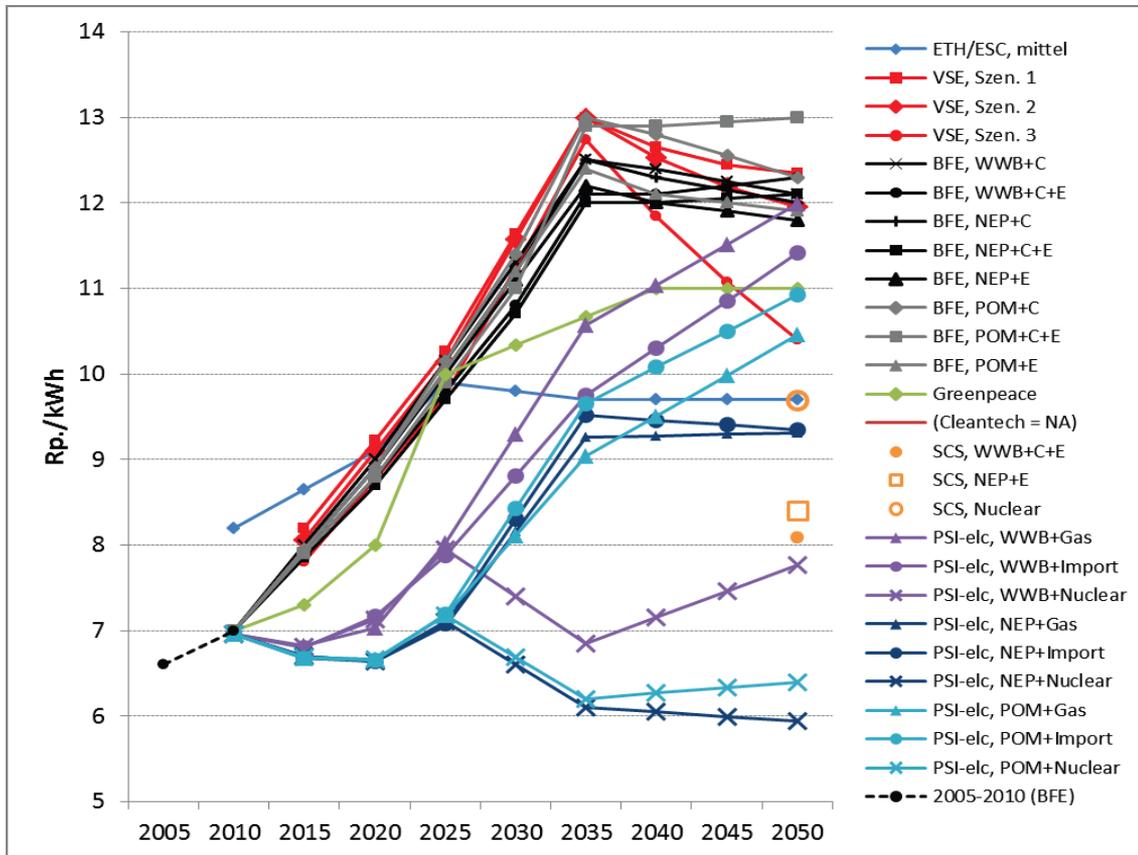
Quelle:

### Review of Swiss Electricity Scenarios 2050

Report prepared for the Group Energy Perspectives and the Swiss Competence Center for Energy Research "Supply of Electricity" (SCCER SoE), Martin Densing, Stefan Hirschberg, Hal Turton (all PSI)

# Szenarien zu Stromproduktionskosten

## Grosse Bandbreite



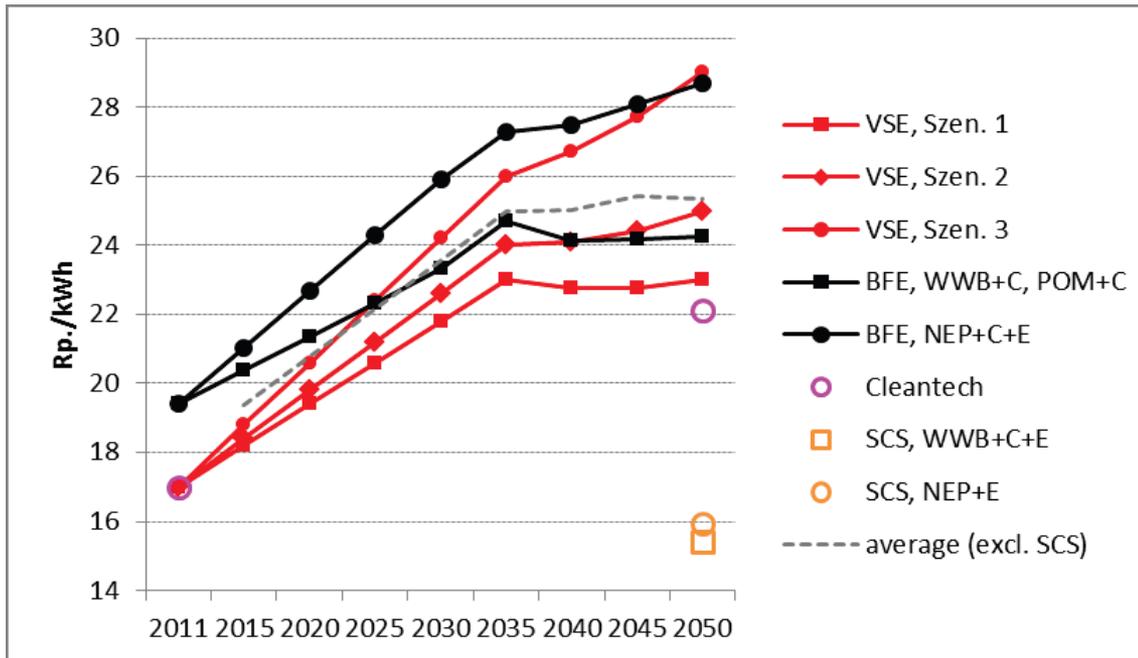
Quelle:

### Review of Swiss Electricity Scenarios 2050

Report prepared for the Group Energy Perspectives and the Swiss Competence Center for Energy Research "Supply of Electricity" (SCCER SoE), Martin Densing, Stefan Hirschberg, Hal Turton (all PSI)

# Szenarien zu Stromverkaufspreisen

Steigende Preise wahrscheinlich

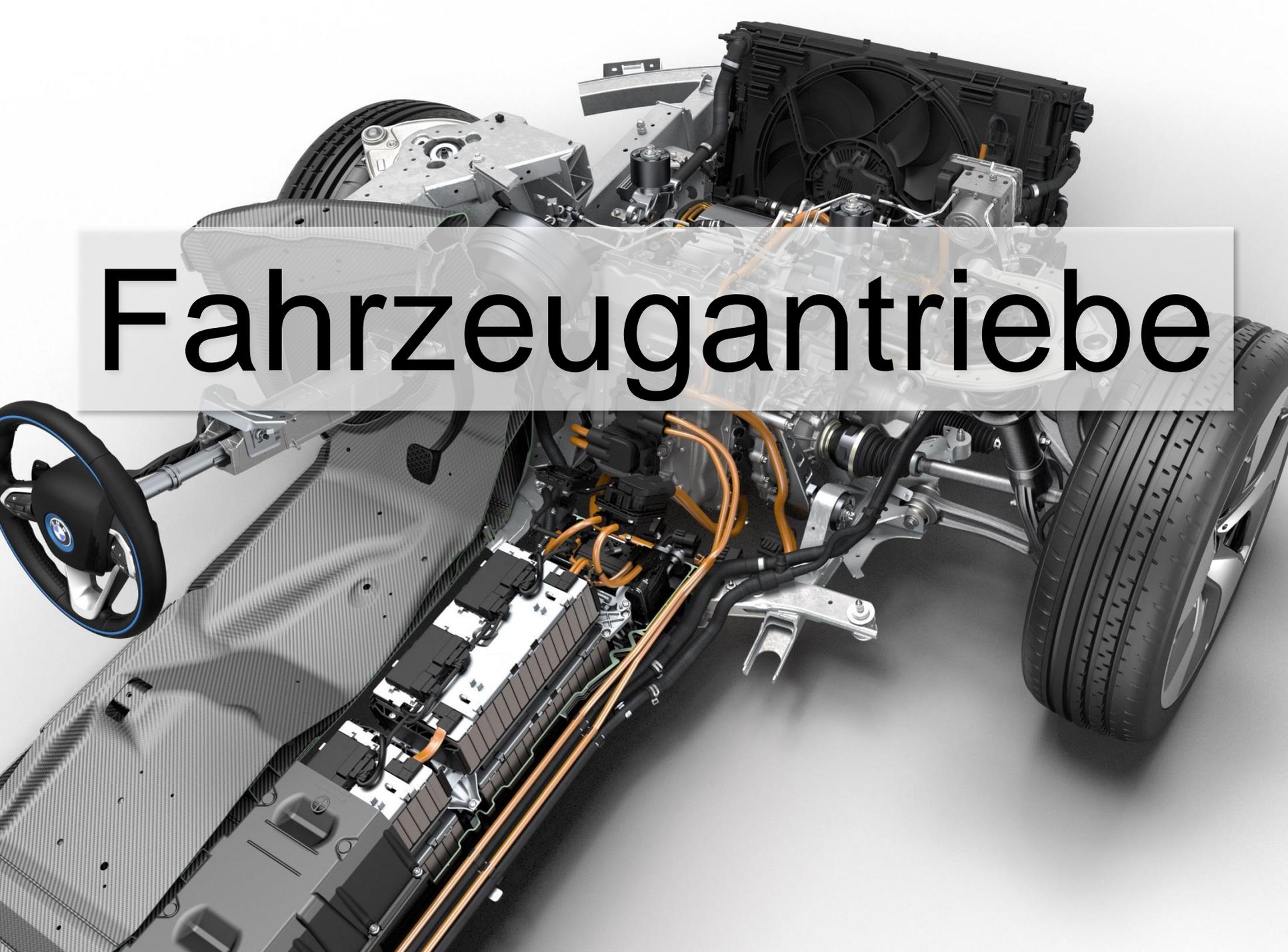


Quelle:

**Review of Swiss Electricity Scenarios 2050**

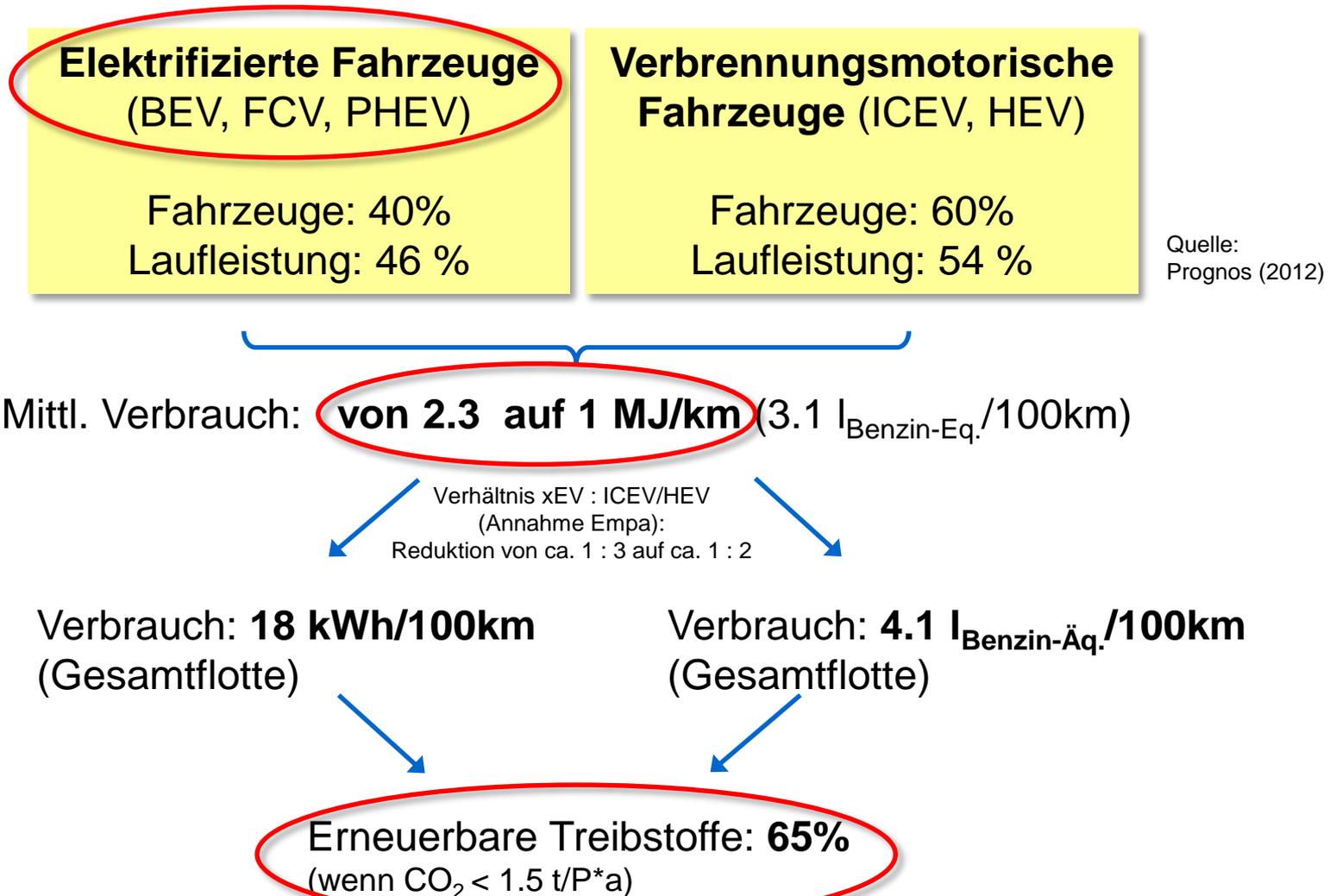
Report prepared for the Group Energy Perspectives and the Swiss Competence Center for Energy Research "Supply of Electricity" (SCCER SoE), Martin Densing, Stefan Hirschberg, Hal Turton (all PSI)

# Fahrzeugantriebe



# BFE Szenario "Neue Energiepolitik"

Personenwagen-Mobilität mit 3 Aktionsfeldern



Quelle:  
Prognos (2012)

# CO<sub>2</sub>-Reduktion im Stromsektor

## Begrenzte Anzahl an Möglichkeiten

### CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial im bestehenden Kraftwerkspark

- bisherige Einsatzreihenfolge
- Einsatzreihenfolge nach CO<sub>2</sub>-Ausstoß
- CO<sub>2</sub>-Reduktion



Quelle: Öko-Institut e.V. / Greenpeace Energy eG

CO<sub>2</sub>-Reduktion (gelb) beim Ersatz der Kohlekraftwerke (dunkelgrün) in Deutschland durch Gaskombikraftwerke (hellgrün).

### CO<sub>2</sub>-Senkung im Strommarkt basiert auf:

- Effizienzsteigerung (Stabilisierung Verbrauch)
- Zubau erneuerbarer (fluktuierender) Energie
- Gaskombikraftwerke (anstelle Kohlekraftwerke)



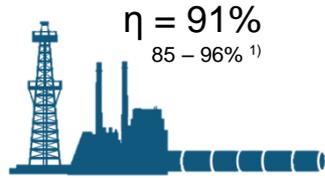
### Kernfragen mit Blick auf Elektromobilität:

- Steht jederzeit genügend erneuerbare Elektrizität zur Verfügung?
- Für alle Bereiche ausserhalb stellen GuD-BEV die Benchmark dar.

# Vergleich CNG-NGV und GuD-BEV

Well-to-Wheel-Betrachtung (o. Berücksichtigung Fahrzeugbau)

ICE-CNG



Förderung, Aufbereitung, Transport

$\eta = 99.5\%$   
<sup>2)</sup>



Verteilung

$\eta = 96\%$   
<sup>3)</sup>



Verdichtung

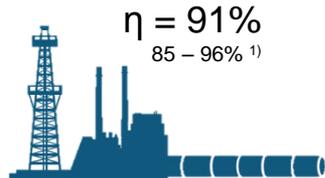
$\eta = 25\%$   
<sup>4)</sup>



ICE-CNG

$\eta_{\text{tot}} = 22\%$

HEV-CNG



Förderung, Aufbereitung, Transport

$\eta = 99.5\%$   
<sup>2)</sup>



Verteilung

$\eta = 96\%$   
<sup>3)</sup>



Verdichtung

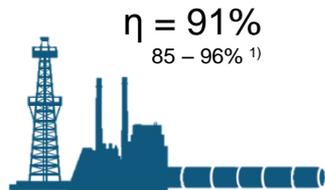
$\eta = 37\%$   
<sup>3)</sup>



HEV-CNG

$\eta_{\text{tot}} = 32\%$

BEV



Förderung, Aufbereitung, Transport

$\eta = 60\%$



GuD-Kraftwerk

$\eta = 93\%$



Verteilung

$\eta = 92\%$



Laden

$\eta = 75\%$   
<sup>4)</sup>



BEV

$\eta_{\text{tot}} = 33\%$

<sup>1)</sup> JRC Technical Reports; EU Well-to-Tank Report Version 4.0 (2013)

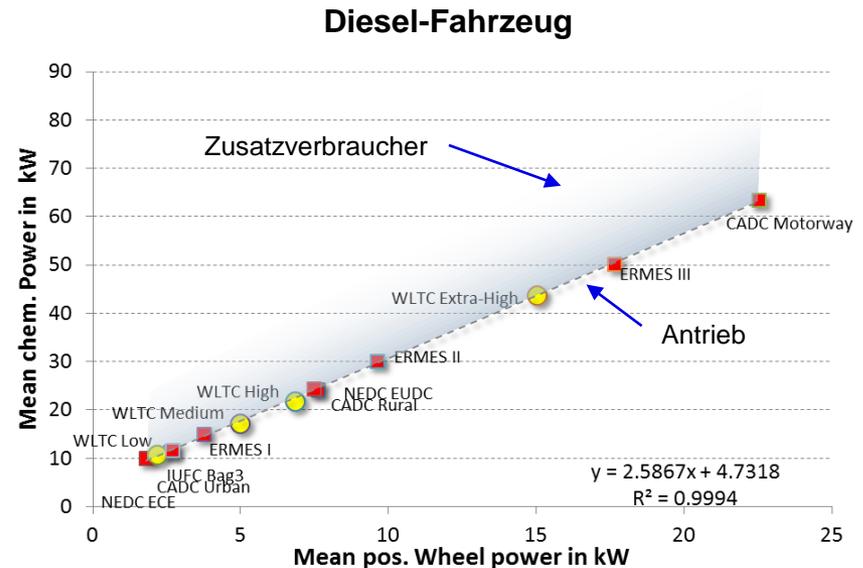
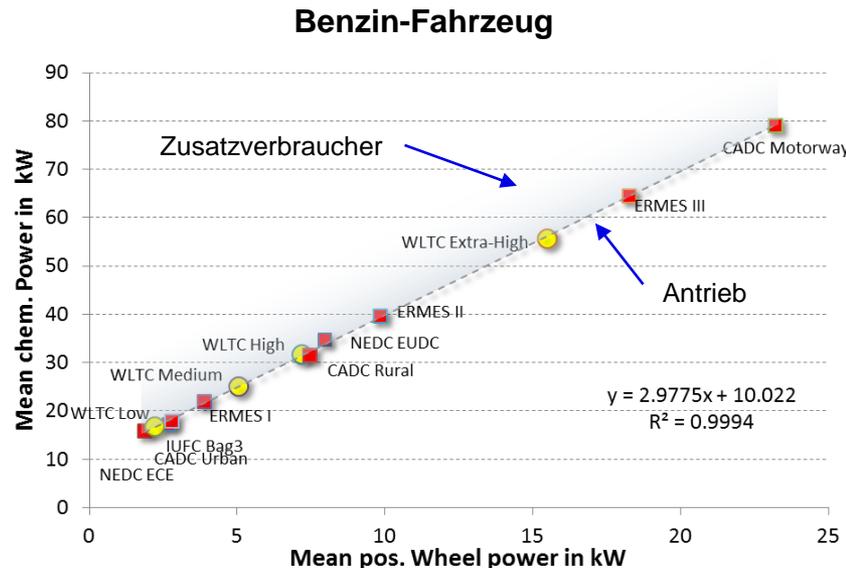
<sup>2)</sup> Annahme

<sup>3)</sup> Eigene Daten

<sup>4)</sup> Spritmonitor.de (Typisches Kompaktfahrzeug MY2016-2017)

# Wie hoch ist der Realverbrauch?

Zusatzverbraucher werden immer relevanter

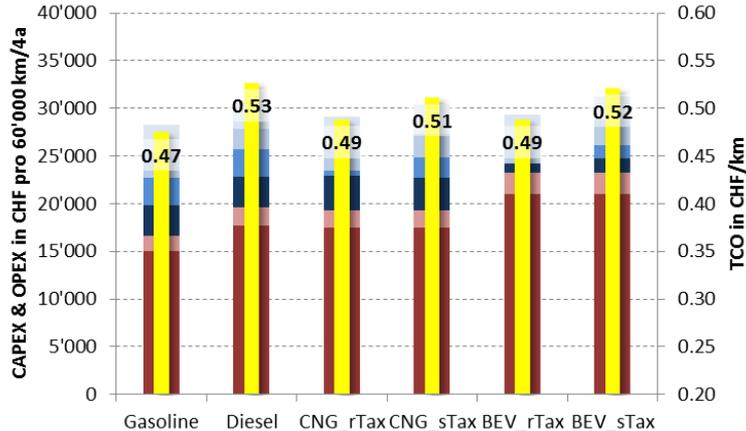


- Der «Normverbrauch» hat wenig Aussagekraft hinsichtlich des realen Betriebs (gilt auch für Kühlschränken, Staubsaugern oder bei Gebäuden).
- An der Empa wird eine Methode zur genaueren Berechnung des Realverbrauch entwickelt, basierend auf dem energetischen Verbrauch des Antriebs und der Zusatzverbraucher (Zusatzgewicht, Klimaanlage, Heizung).

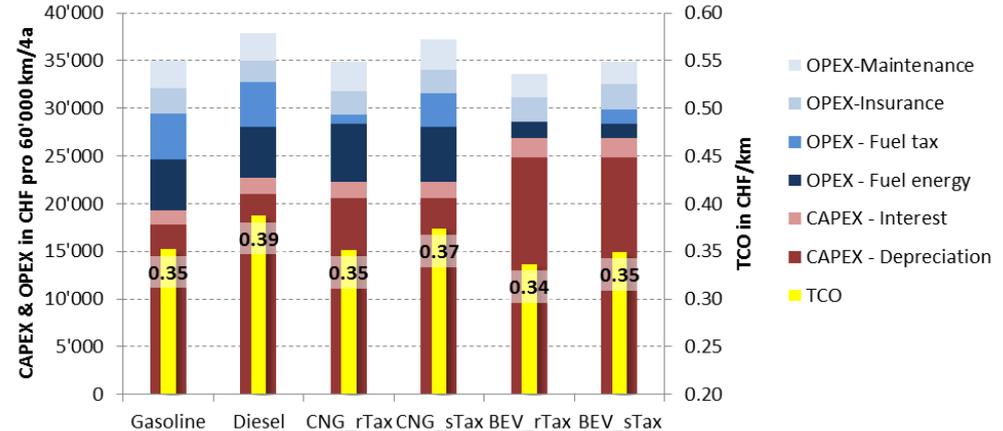
# Analyse der Kosten

CNG/BEV sind für VielfahrerInnen interessant

Laufleistung 15'000 km/a, 4 a



Laufleistung 25'000 km/a, 4 a



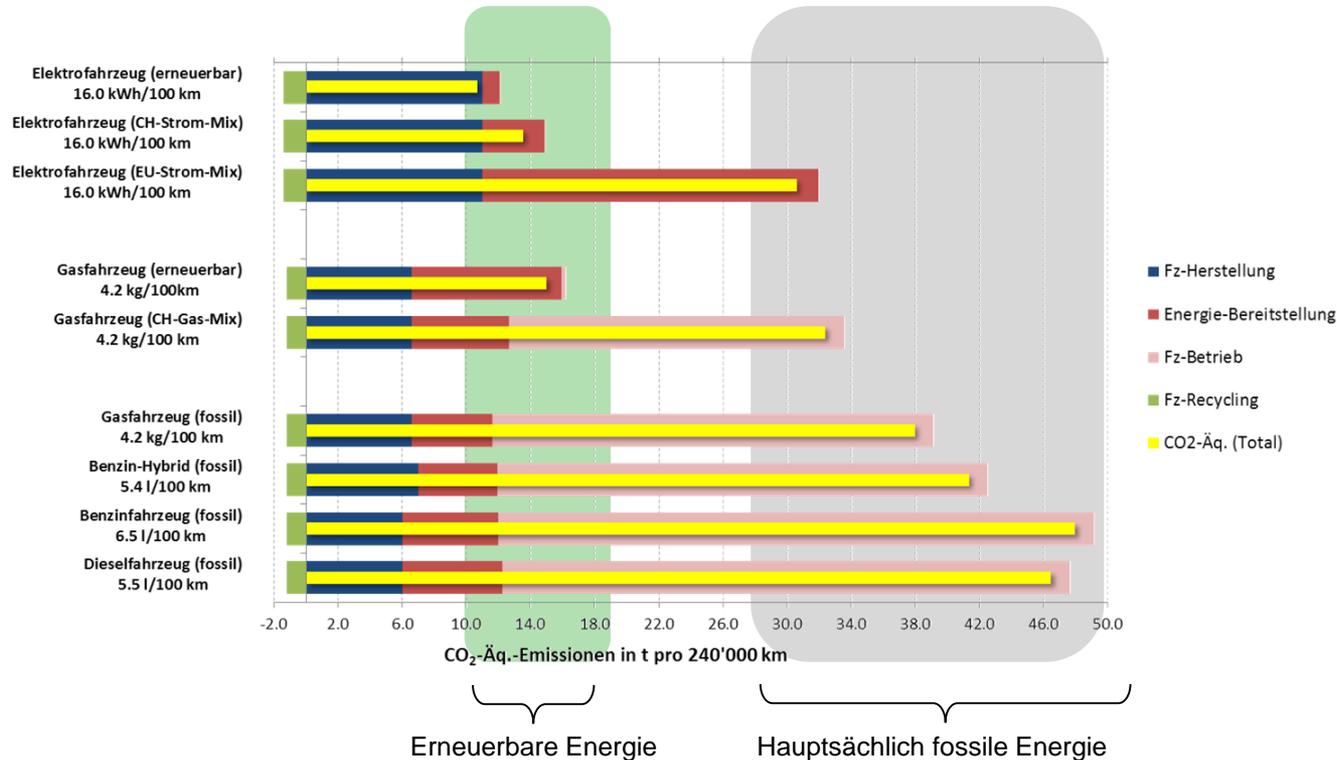
- Dieselfahrzeuge sind mittlerweile am teuersten
- Gas- und Elektrofahrzeuge sind sehr nahe (vergleichbar teuer) wie Benzinfahrzeuge

## Annahmen für obigen Vergleich:

- Vergleichbar ausgerüstetes Kompaktfahrzeug mit 80 – 90 kW; Katalogpreis
- Leasingrate von 2%, Abschreibung 60'000km: 55%, 100'000 km: 65%
- Verbräuche gemäss Spritmonitor.de (2016 - 2017)
- Treibstoffpreise Jan 2017 (Shell); Abgabe auf BEV\_ sTax mit 370 CHF/a angenommen
- Versicherungskosten gemäss Comparis;
- Motorfahrzeugsteuern Kanton ZH
- Reparaturkosten gemäss ADAC

# CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Fahrzeuge

Fahrzeuge mit erneuerbarer Energie sind die saubersten!



Quelle:  
LCA-Vergleich basierend auf Bauer et al, Applied Energy (2015), Fuchs et al. ATZ (2014), Audi Präsentation (2015) und Verbrauchsdaten gemäss Spritmonitor.de; BCM-Biogas gemäss LCA-Studie Empa-PSI-Agroscope-Doka (2012) und Quantis (2015); EU-Strom-Mix: 547 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh (treeze Strom-mixrechner), CH-Strom-Mix: 102 g CO<sub>2</sub>-eq /kWh, erneuerbarer Strom: 28 g CO<sub>2</sub>-eq/ kWh (BAFU 2014)

Mit **fossiler Energie** betrieben,  
weisen alle Antriebskonzepte hohe CO<sub>2</sub>-Lebenszyklusemissionen auf.

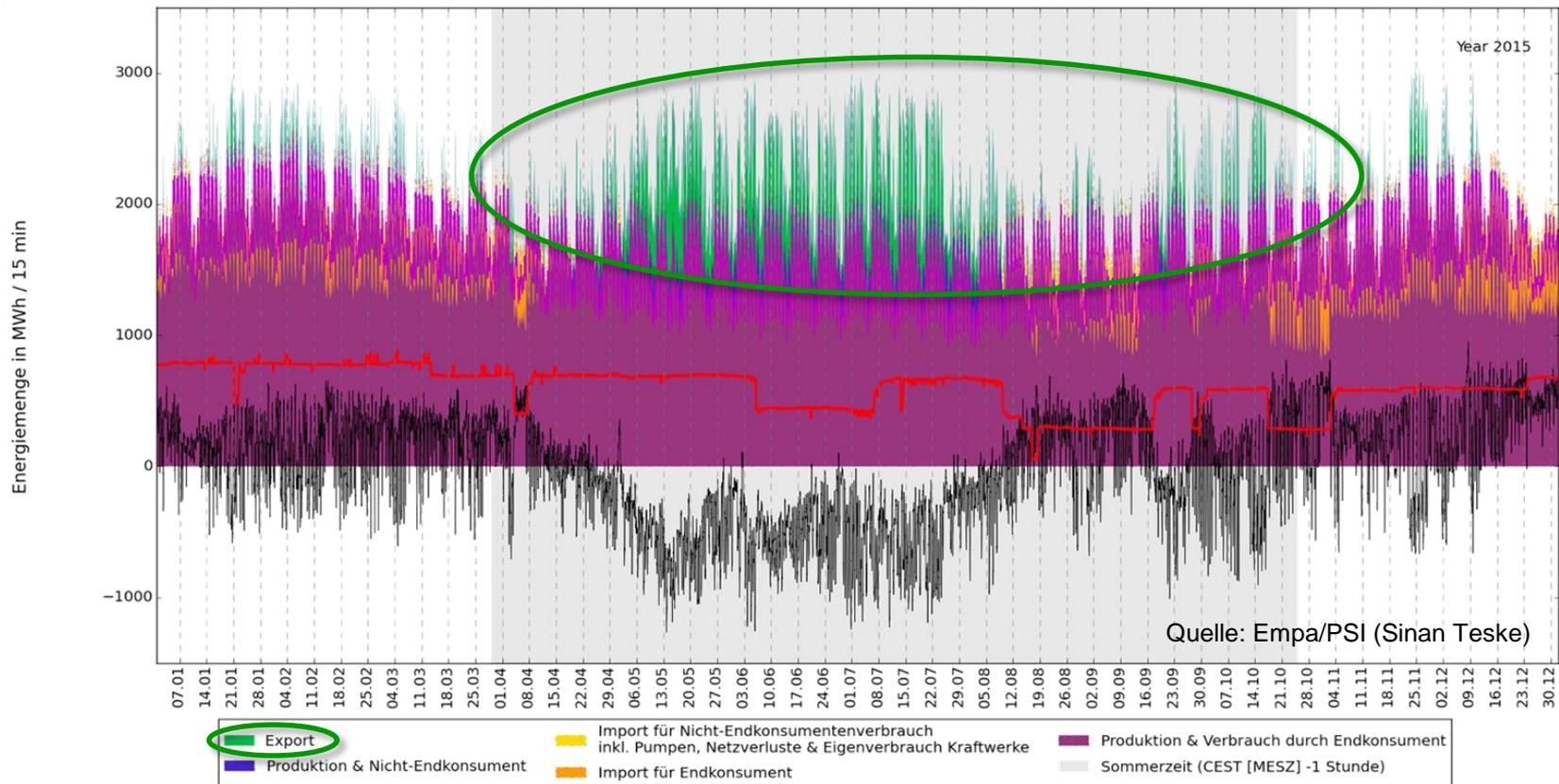
Mit **erneuerbarer Energie** betrieben,  
weisen alle Antriebskonzepte niedrige CO<sub>2</sub>-Lebenszyklusemissionen auf.

**Woher kommt die  
erneuerbare Energie?**



# Stromflussanalyse Schweiz

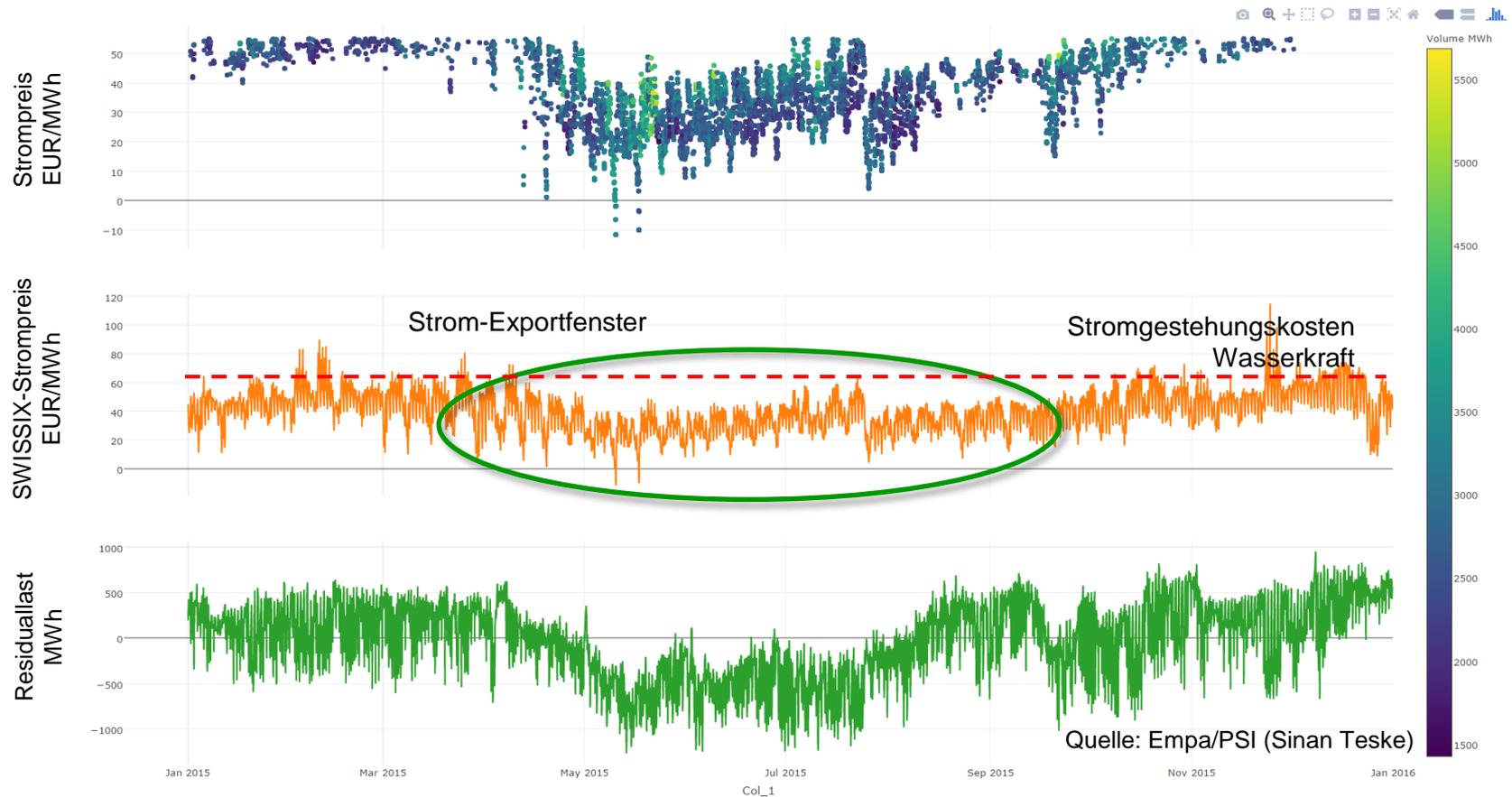
Exporte im Sommer; Importe im Winter



Von April – September 2015 wurden ca. 5'000 GWh Strom exportiert.

# Stromflussanalyse Schweiz

## Niedriger Strompreis im Sommer aufgrund Überangebot

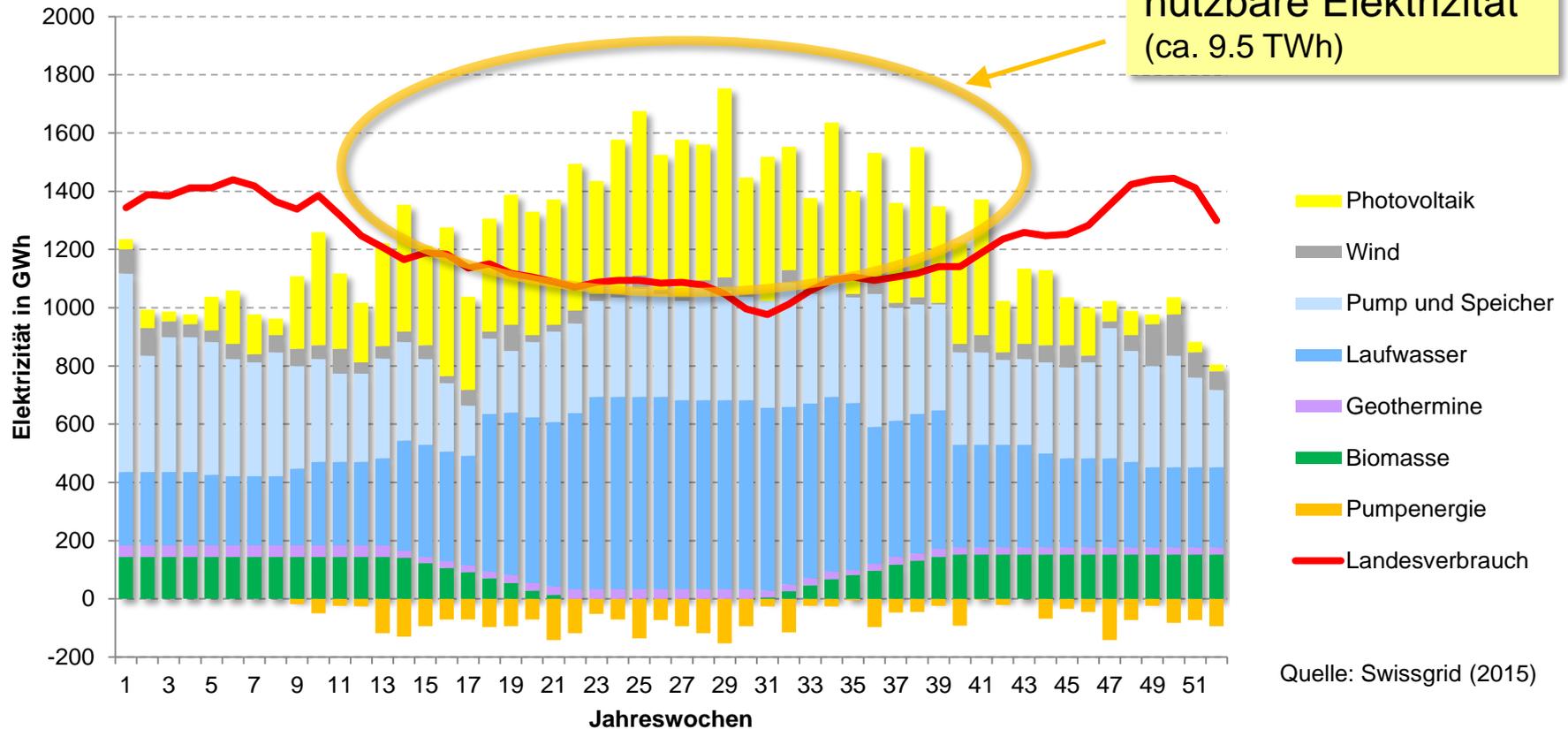


Im Jahr 2015 lag der Strompreis während über 3'500 h unter 50 EUR/MWh (oftmals zwischen 20 – 40 EUR/MWh).

# Was geschieht in Zukunft...?

## Stromüberschüsse im Sommer bleiben

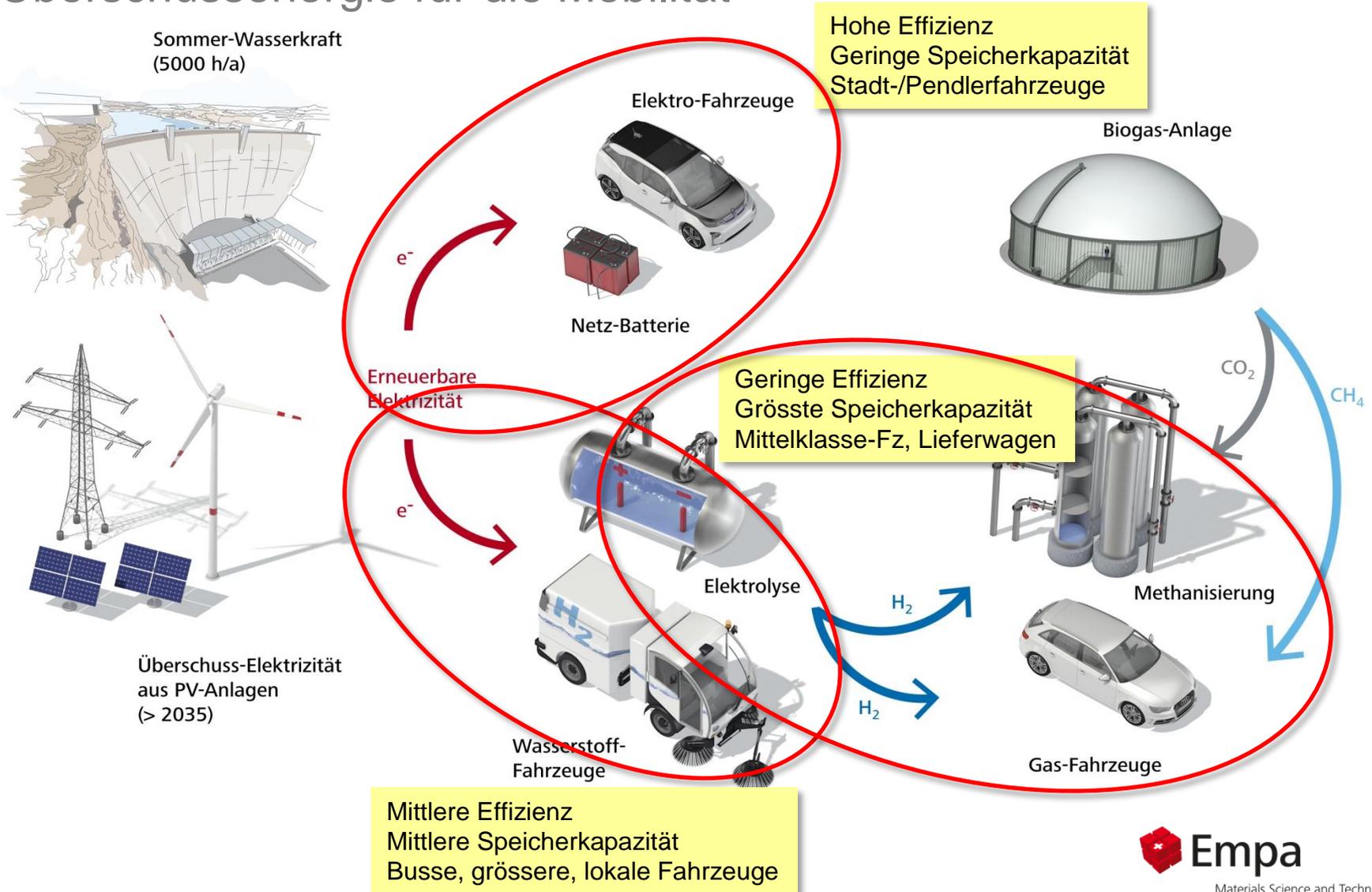
Swissgrid-Szenario «Sun2035»



Quelle: Swissgrid (2015)

# Synthetische Treibstoffe

Flexibilisierung des Energiesystems durch Speicherung von Überschussenergie für die Mobilität



# Synthetische Treibstoffe

Flexibilisierung des Energiesystems durch Speicherung von Überschussenergie für die Mobilität

Sommer-Wasserkraft  
(5000 h/a)

Elektro-Fahrzeuge

Biogas-Anlage

## 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.

Überschuss-Elektrizität  
aus PV-Anlagen  
(> 2035)

Wasserstoff-  
Fahrzeuge

Elektrolyse

H<sub>2</sub>

H<sub>2</sub>

Methanisierung

Gas-Fahrzeuge

CO<sub>2</sub>

CH<sub>4</sub>

# Energiesystemische Betrachtung

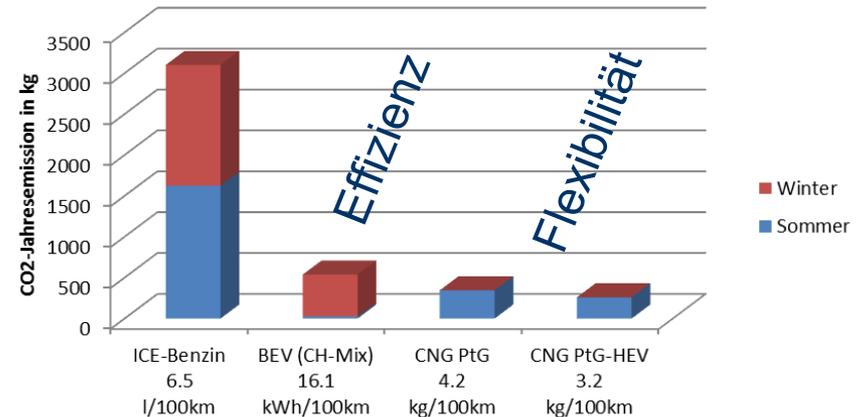
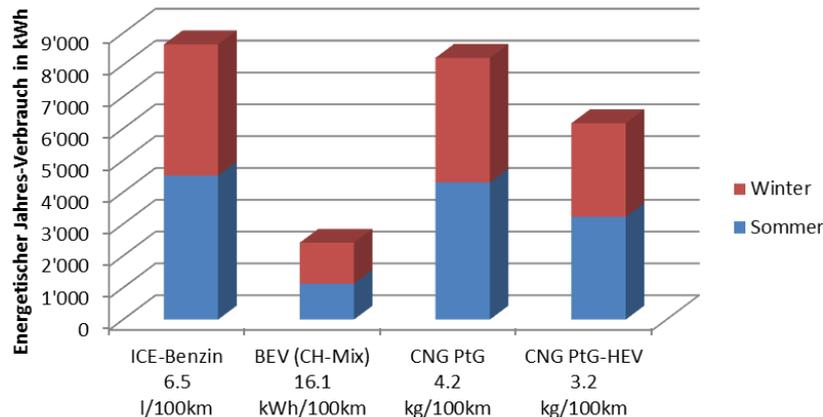
## Vergleich Benzin, BEV, CNG und CNG-HEV

Energiesystem: Stromüberschuss im Sommerhalbjahr  
GuD-Strom im Winterhalbjahr

Verbräuche: Annahmen heutiger Kompaktwagen gemäss spritmonitor.de

Annahme:  
-  $\eta_{PtG} = 50\%$

	BEV	CNG-PtG	CNG PtG-HEV
<b>Sommer</b> CH-Strom: 28 gCO <sub>2</sub> /kWh	15.1 kWh/100km	4.4 kg/100km 57.4 kWh/100km	3.4 kg/100km 44.5 kWh/100km
<b>Winter</b> GuD-Strom: 400 gCO <sub>2</sub> /kWh	17.1 kWh/100km	4.0 kg/100km 52.2 kWh/100km	3.0 kg/100km 39.2 kWh/100km
<b>Jahresmittel</b>	16.1 kWh/100km	4.2 kg/100km 54.8 kWh/100km	3.2 kg/100km 41.8 kWh/100km



Nur Endenergieverbrauch (ohne Fahrzeug- und Energiebereitstellung)

# Aktuelle «move»-Projekte

move | Empa



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

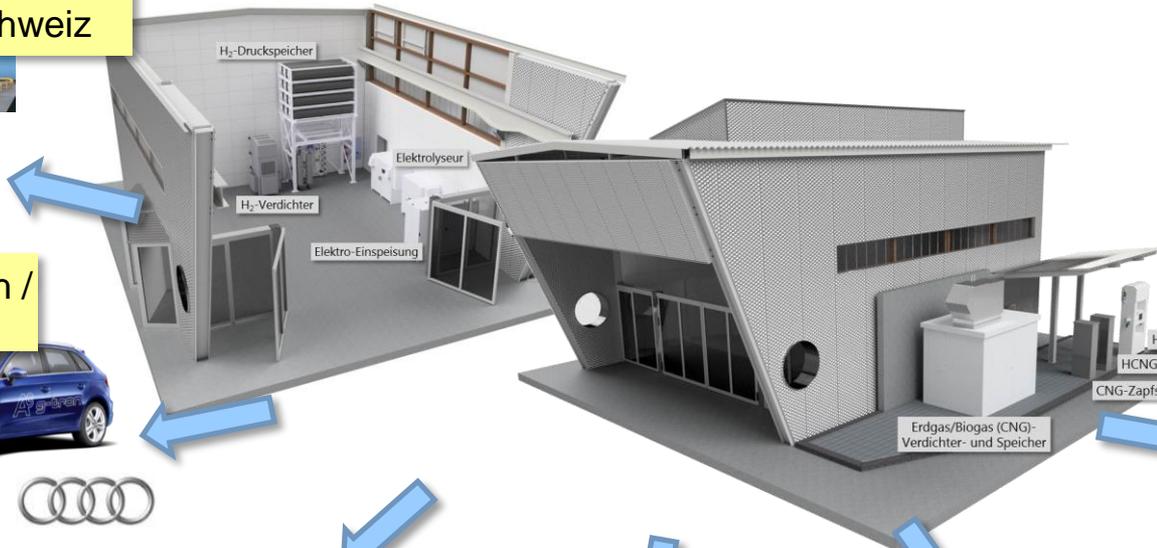


Bundesamt für Energie BFE



PtX-Studie  
Schweiz

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



Realverbrauch /  
Carsharing



ETH zürich



High-Range  
350 bar CNG-HEV



Batteriespeicher  
für EVs

350 bar HCNG-  
Praxiserprobung



350 Bar H<sub>2</sub>-  
Kehrfahrzeug



700 Bar H<sub>2</sub>-  
Personenwagen



IVECO Swagelok  
EH apex  
Endress+Hauser

Atlas Copco

HYUNDAI STÄUBLI  
SUVA

ccem.ch PAUL SCHERRER INSTITUT

Empa  
Materials Science and Technology

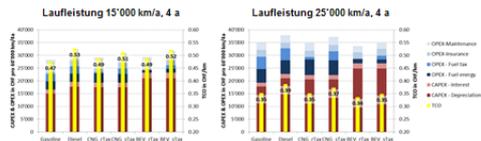
# Zusammenfassung



Was ist zu tun?

## Analyse der Kosten

CNG/BEV sind für VielfahrerInnen interessant



- Dieselfahrzeuge sind mittlerweile am teuersten
- Gas- und Elektrofahrzeuge sind sehr nahe (vergleichbar teuer) wie Benzinfahrzeuge

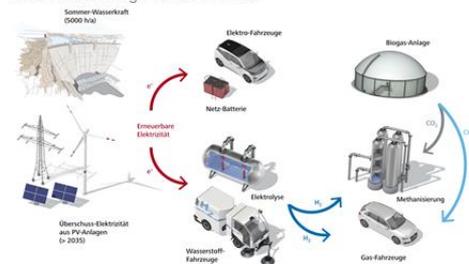
Annahmen für obigen Vergleich:

- Vergleichbar ausgerüstetes Kompaktfahrzeug mit 80 – 90 kW; Katalogpreis
- Leasingrate von 2% Abschreibung 60'000km: 55%, 100'000 km: 65%
- Verträge gemäss Spotrental.de (2016 – 2017)
- Treibstoffpreise Jan 2017 (Shell); Abgabe auf BEV\_4Txi mit 370 CHF/a angenommen
- Versicherungskosten gemäss Comparis
- Motorfahrzeugsteuern Kanton ZH
- Reparaturkosten gemäss ADAC



## Synthetische Treibstoffe

Flexibilisierung des Energiesystems durch Speicherung von Überschussenergie für die Mobilität



- Es geht ziemlich sicher nicht so weiter wie bisher!
- Im Strombereich werden Kohlekraftwerke wohl durch erneuerbare Energie und Gaskombi-kraftwerke (GuD) ersetzt werden.
- Die Reduktion des Stromverbrauchs und der Anschlussleistungen spielen eine wichtige Rolle.
- Der Fahrzeugbereich hat sehr anspruchsvolle CO<sub>2</sub>-Minderungsvorgaben.
- Gas- und Elektrofahrzeuge weisen deutliche CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale auf und sind kaum teurer als Benzinfahrzeuge.
- Elektro-, Wasserstoff- und Gasfahrzeuge werden von der Empa hinsichtlich Nachhaltigkeit «als gleichwertig» eingestuft. Elektrofahrzeuge bringen die Effizienz, Gasfahrzeuge die Flexibilisierung (während Wasserstofffahrzeuge dazwischen liegen).
- **Wir fahren in Zukunft vermutlich nicht alle elektrisch, aber zunehmend mit Elektrizität.**



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

[christian.bach@empa.ch](mailto:christian.bach@empa.ch)