

Die CO₂-Gesetzgebung

95 g/km als Einstieg in erneuerbare Treibstoffe

Christian Bach

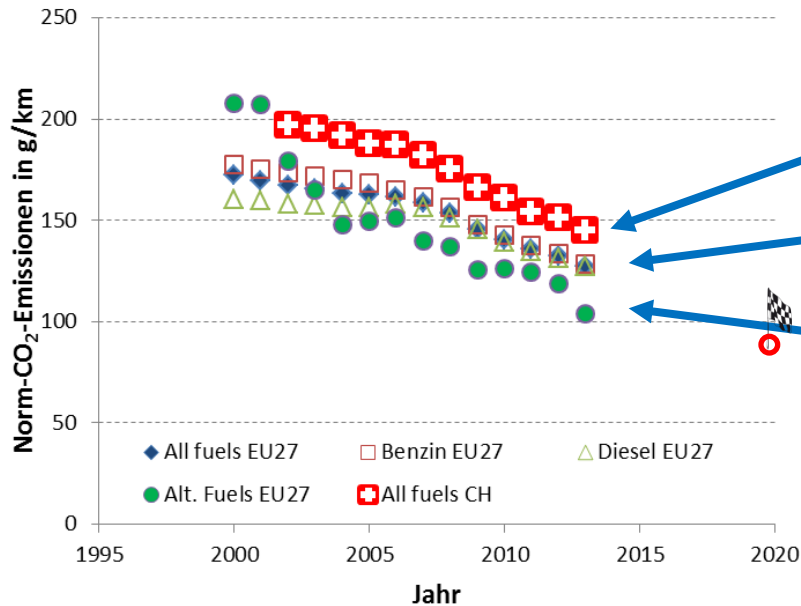
Abteilungsleiter Verbrennungsmotoren

Inhalt

- **Die CO₂-Gesetzgebung für Personenwagen**
- **Lebenszyklus-CO₂-Emissionen**
Motivation für Forschungsschwerpunkt «Gas-(Elektrohybrid)antriebe»
- **Future Mobility Demonstrator**
Forschungsschwerpunkt «Erneuerbare Energie für die Mobilität»
- **Zusammenfassung**

Die Norm-CO₂-Emissionen

Schweiz und EU im Vergleich – Einfluss «AFV» steigt



CH-Flotte («all fuels») ist 18 g/km höher, als die EU27-Flotte

Benzin-/Dieselflotte (EU27) mit vergleichbaren CO₂-Norm-Emissionen

CO₂-Emissionen der Flotte mit «alternative Fuels» sind am niedrigsten

Quelle: EEA (2014); Auto-Schweiz (2014)

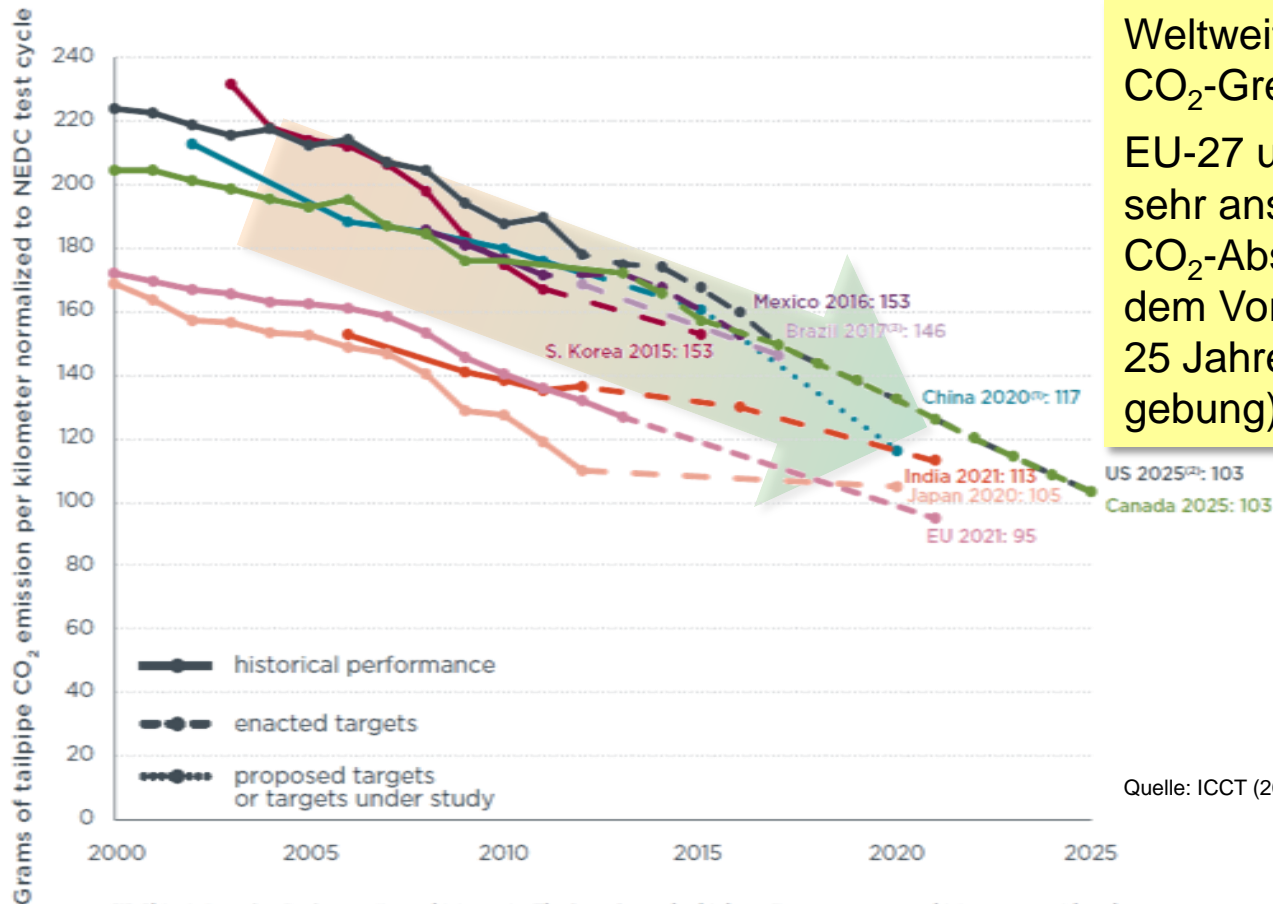
AFV 2013 (EU27)	Zulassung	Mittl. CO ₂	Mittl. Fz-Masse	Mittl. Hubraum
	[Anz. Fahrzeuge]	[g/km]	[kg]	[cm ³]
LPG	130'433	125.5	1'206	1'331
NGV	81'574	112.6	1'288	1'354
Electric	24'173	0	1'161	---
Plug-in HEV (petrol)	22'622	70.5	1'478	1'693
Plug-in HEV (diesel)	8'483	54.3	1'951	2'350
E85	4'372	156.8	1'492	1'649
Biodiesel	3	122.3	1'297	1'720

Elektrisches Fahren (EV und PHEV) wird mit 0 g CO₂/km angenommen (d.h. die CO₂-Minderung anhand von Normdaten wird überschätzt)

Quelle: EEA (2014)

Anforderungen

Weltweite CO₂-Gesetzgebungen im Fahrzeugbereich



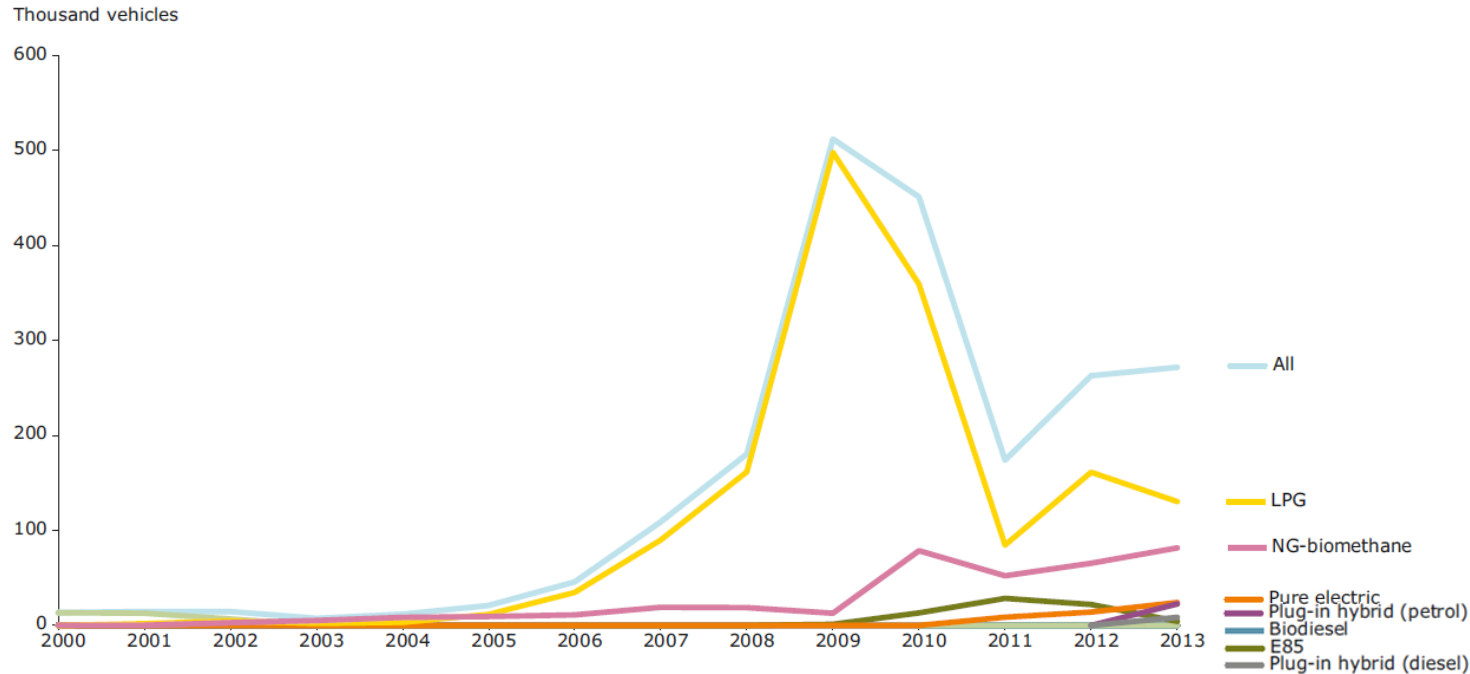
Weltweiter Trend für strenge CO₂-Grenzwerte.

EU-27 und CH haben einen sehr anspruchsvollen CO₂-Absenkpfad (entspricht dem Vorgehen der letzten 25 Jahre bei der Abgasgesetzgebung).

[1] China's target reflects gasoline vehicles only. The target may be higher after new energy vehicles are considered.
[2] US fuel economy standards set by NHTSA reflecting tailpipe GHG emission (i.e. exclude low-GWP refrigerant credits).
[3] Gasoline in Brazil contains 22% of ethanol (E22), all data in the chart have been converted to gasoline (E00) equivalent.
[4] Supporting data can be found at: <http://www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards>

Normverbrauch – Norm-CO₂-Emissionen

Marktanteil alternativer Antriebe (AFV) nimmt zu



2013 wurden in der EU27 rund 300'000 Fahrzeuge mit alternativen Antrieben registriert. Bezogen auf den PW-Gesamtmarkt mit ca. 12 Mio Neuzulassungen sind das 2.5%. In einzelnen Länder wie Italien erreichen die Fahrzeuge mit alternativen Antrieben bis 15%.

Normverbrauch – Norm-CO₂-Emissionen

Bis 2020 bleibt noch einiges zu tun!

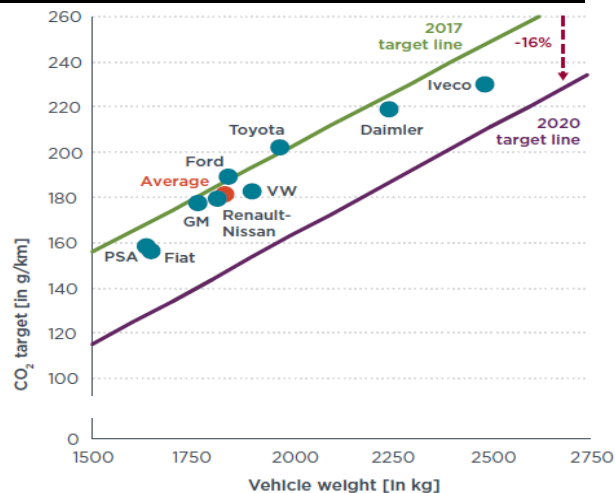
Personenwagen



Die mittleren CO₂-Norm-Emissionen 2012 (EU27) der 9 grössten PW-Hersteller mit einem Marktanteil von insgesamt 86%

Quelle: ICCT (2014)

Lieferwagen



Die mittleren CO₂-Norm-Emissionen 2012 (EU27) der 9 grössten LiW-Hersteller mit einem Marktanteil von insgesamt 95%

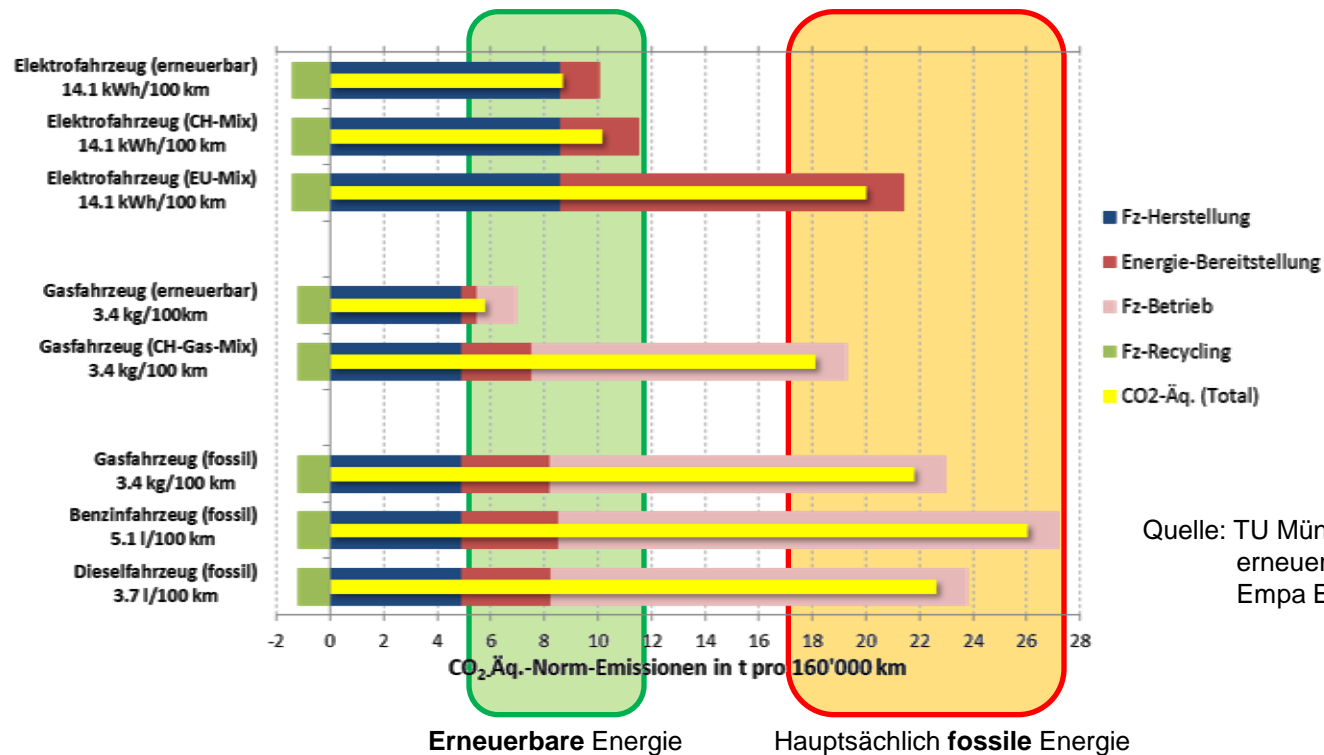
Quelle: ICCT (2014)

Inhalt

- **Die CO₂-Gesetzgebung für Personenwagen**
- **Lebenszyklus-CO₂-Emissionen**
Motivation für Forschungsschwerpunkt «Gas-(Elektrohybrid)antriebe»
- **Future Mobility Demonstrator**
Forschungsschwerpunkt «Erneuerbare Energie für die Mobilität»
- **Zusammenfassung**

Lebenszyklus-CO₂-Emissionen

Der Umstieg von Fossil auf Erneuerbar macht's aus



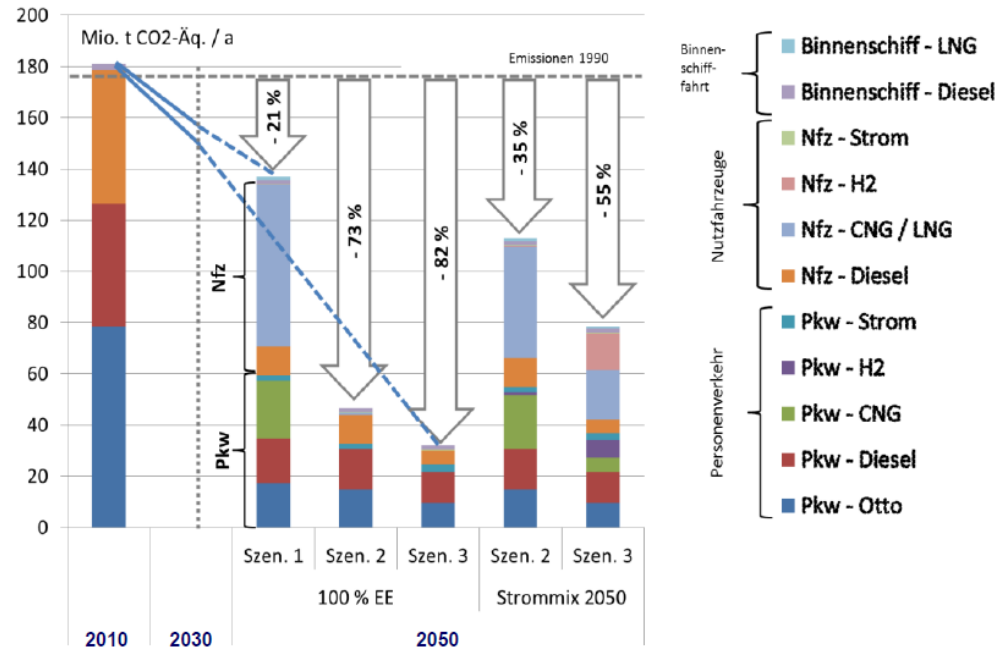
Quelle: TU München: Elektro EU-Mix/
erneuerbarer Strom & Diesel;
Empa Erdgas/Biogas & Benzin

- 1 Der Primärenergieverbrauch der verschiedenen Antriebskonzepte (konventionell, hybridisch, elektrisch) ist im realen Betrieb $\pm 20\%$ fast identisch.
- 2 Die CO₂-Belastung hängt primär von der verwendeten Fahrenergie und der Energie für die Herstellung des Fahrzeugs ab. Die CO₂-Belastung in der Realität kann nur mit Umstieg auf erneuerbare Fahrenergie gesenkt werden.

Strombasierte, erneuerbare Treibstoffe

Das CO₂-Reduktionsszenario für den Verkehr

		Szenario 1: „CNG / LNG ohne EE-Methan“	Szenario 2: „CNG / LNG mit EE-Methan“	Szenario 3: „EE-Methan + BZ-Fzge.“
		2050	2050	2050
PKW	Otto/Diesel	46,7%	43,3%	27,4%
	CNG	28,8%	32,1%	10,0%
	H ₂ in BZ	5,7%	5,7%	35,9%
	Batterie	18,9%	18,9%	26,7%
LKW ²³	Diesel	12%	12%	5%
	CNG / LNG	80%	80%	35%
	H ₂ in BZ	5%	5%	55%
	Batterie	3%	3%	5%
Binnenschiff	Diesel	50%	50%	50%
	LNG	50%	50%	50%



Hohe CNG-Anteile ohne EE-Methan führen zu einer CO₂-Minderung von ca. 20% (Szenario 1)

Hohe CNG-Anteile, die mit EE-Methan betrieben werden, führen zu einer CO₂-Reduktion von ca. 75% (Szenario 2).

Hohe Anteile an Elektro- und BZ-Antrieben führt zu einer CO₂-Reduktion von ca. 80% (Szenario 3).

Fahrzeugherstellung nicht berücksichtigt.

Quelle: DLR, ifeu, LBS, DBFZ (2014)

Clean Engine Vehicle-Projekt (2000-2005)

Entwicklung eines Erdgas/Biogas-Turbomotor-Konzeptes

Turbomotoren sind seit 2010 Stand der Technik bei Erdgas/Biogasfahrzeugen



www.empa.ch/cev

Projektziele

- -30% CO₂
- Euro-4 und SULEV

Abgasnachbehandlung

- Katalysatorkonzept
- Lambdastrategie

Motor

- Erhöhung Verdichtung
- Turboaufladung mit Ladedruckregelung
- Angepasste Motorsteuerung



CORNING
Discovering Beyond Imagination



ENGELHARD



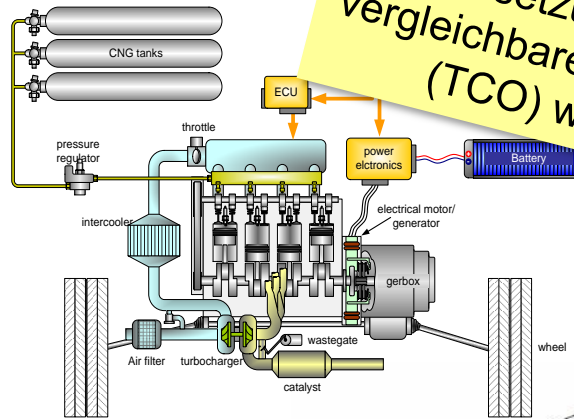
ETH Zürich



Projekt CLEVER (2007 – 2013)

Entwicklung eines Erdgas-Elektrohybridantriebs

- Untersuchung der Potentiale neuer Brennverfahren für Gasmotoren
- Optimierung des thermodynamischen Kreisprozesses für Erdgas (z.B. Miller-Zyklus)
- Realisierung Erdgas/Biogas-Hybridantrieb (Auslegung auf Rekuperation, Anfahr-drehmoment, „Turboloch-kompensation“)



Umsetzung ab 2020 denkbar;
vergleichbare Total Cost of Ownership
(TCO) wie Benzinfahrzeuge



**Touran 1.4
TSI Benzin:**
173 g CO₂/km

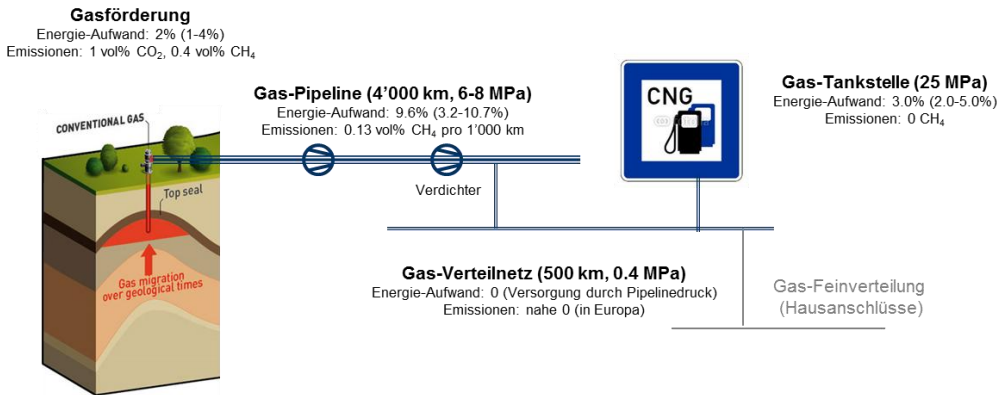
-40 CO₂
(bereits ohne Biogas)

**Touran 1.4
TSI CNG/Hybrid:**
105 g CO₂/km

Umweltauswirkungen von Gasfahrzeugen

Der sauberste fossile Treibstoff

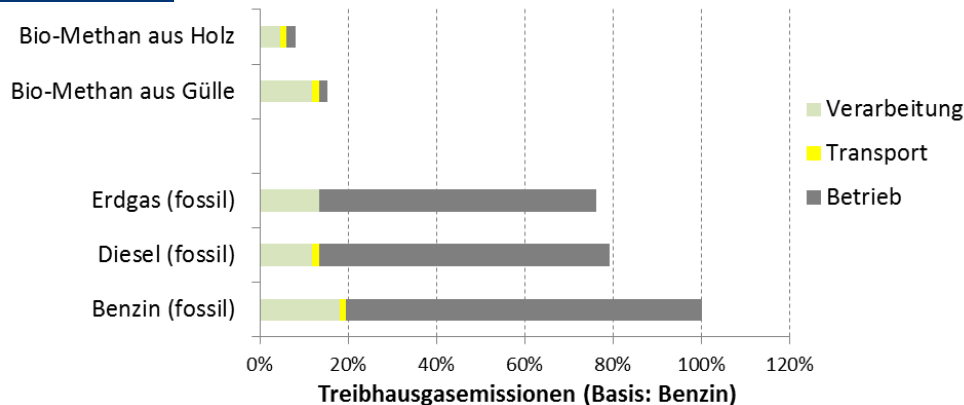
Erdgas



Erdgas ist der sauberste fossile Energieträger. Bei Förderung und Transport entsteht eine Zusatzemission an Treibhausgasen von ca. 5 g/km.

Quelle: JRC Technical Reports;
Well-to-Tank Report Version 4.0 (2013)

Biogas



Biogenes Methan (Biogas) zählt zu den saubersten erneuerbaren Energieträgern. Ein biogasbetriebenes Gasfahrzeug emittiert 80% weniger Treibhausgase als ein mit fossilem Erdgas betriebenes Fahrzeug.

Quelle: Empa, ART, PSI, Doka Ökobilanzen (2012)

Erdgas/Biogas als Treibstoff

Weshalb eigentlich?



Therm. Wirkungsgrad:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

wobei:

ε = Verdichtungsverhältnis

κ = Isotropenexponent $\frac{c_p}{c_v}$

Spezifikation	Benzin	Methan
Oktanzahl	95 – 98	130

Verdichtungsverhältnis 10 - 11 13 - 13.5

Heizwert	43 MJ/kg	50 MJ/kg
Flammentemperatur	2'500 K	2'150 K
H:C Verhältnis	2 : 1	4 : 1
Spez. CO ₂ Emissionen	74 g/MJ	55 g/MJ
Energiedichte	30 MJ/dm ³	7 MJ/dm ³

Methan ist wegen der Oktanzahl (130 Oktan) ein ausgezeichneter Treibstoff.
Die CO₂-Emissionen sind 25% niedriger als bei Benzin.

Reduzierte CO₂ Emissionen

Erzwingt "vernünftige" Gasautos

Potentiale der «Zündung»

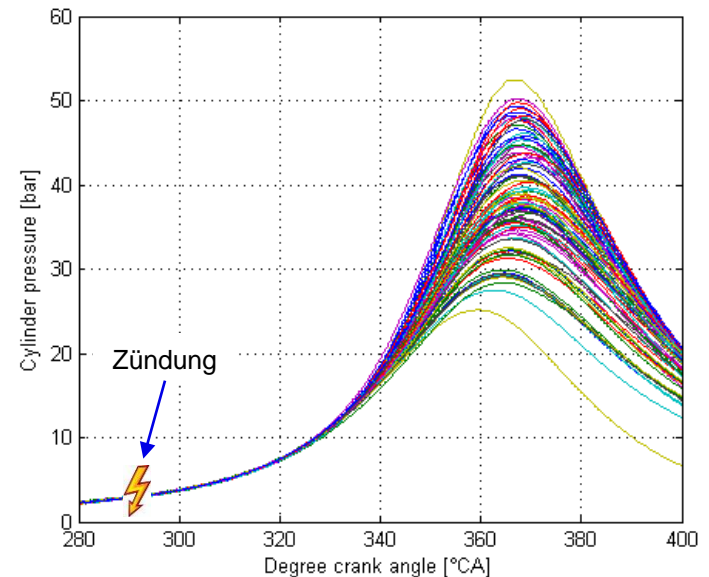
Methan: hohe Klopffestigkeit – geringe Zündwilligkeit

Zündprobleme führen zu hohen Zyklusvariationen:

- Erhöht thermodynamische Verluste
- Limitiert effiziente Motorauslegung, insbesondere für kleine, turboaufgeladene Motoren
- Verschlechtert den Motorrundlauf

Gründe:

- Fluktuationen im Strömungsfeld im Zylinder sowie im Air/Fuel-Ratio
- Schlechte Zündung/Entflammung



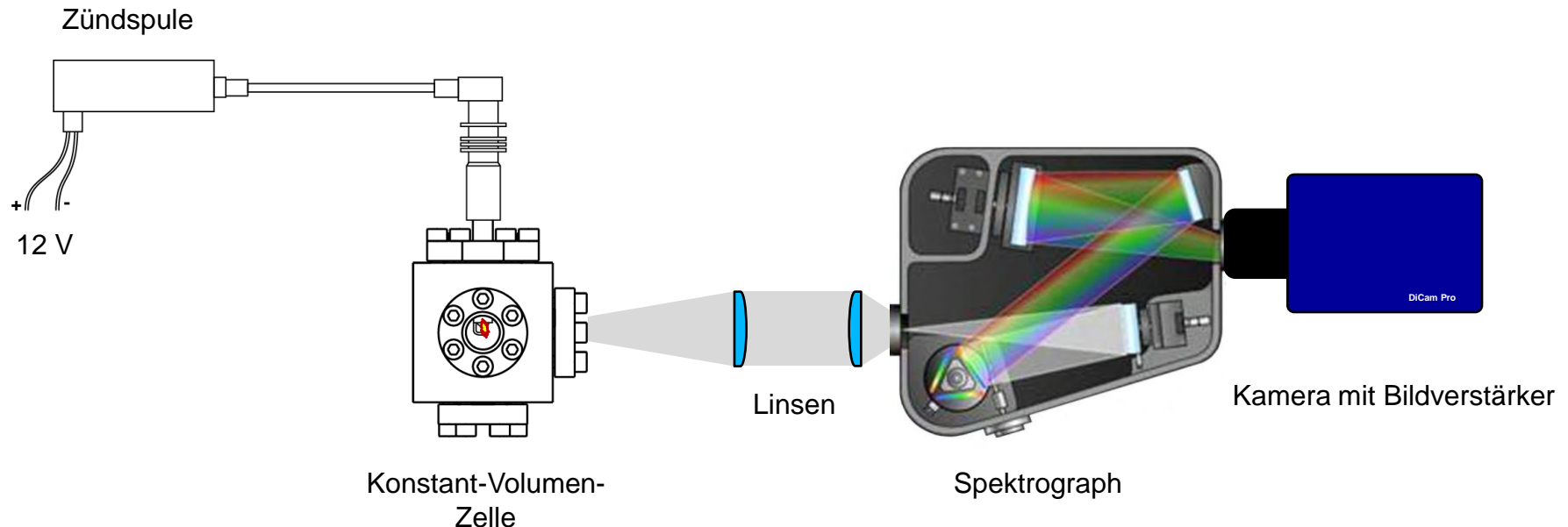
100 Druckverläufe eines 1-Zylinder, 250 cm³
Gasmotors, $\lambda=1.37$ (Source: H. Biffiger, Empa)

Potentiale der «Zündung»

Zündfunken-Spektroskopie

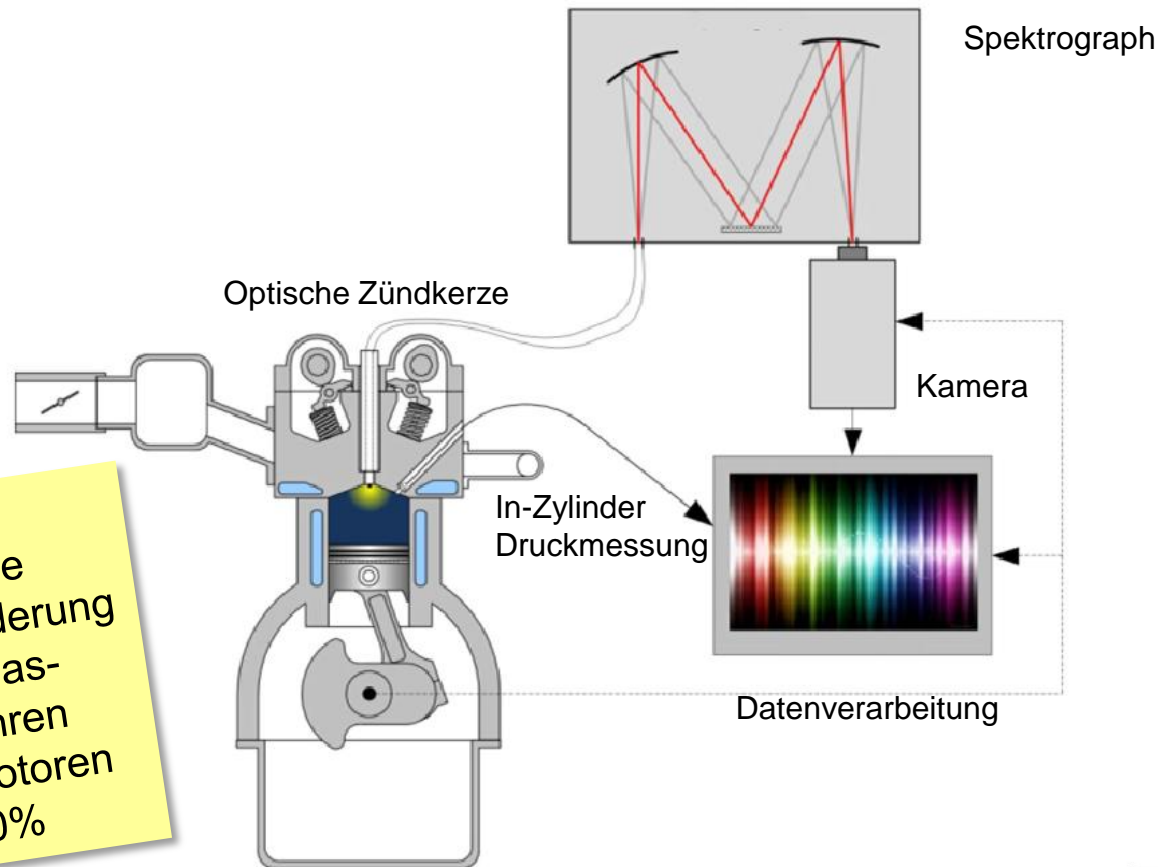
An die Zündkerze angelegte Hochspannung führt zu einem elektrischen Durchbruch, bei dem das Brennstoff/Luft-Gemisch zwischen den Elektroden kurzzeitig in ein Plasma umgesetzt wird.

Die Licht-Emission des Zündfunken besteht dann aus den Spektrallinien der angeregten Atome und Ionen (mit Beiträgen der Plasmastrahlung).



Entwicklung neuer Brennverfahren

Zündkerzen als optischer Zugang zum Brennraum:



Ziel:
Energetische
Verbrauchsminderung
mit neuen Gas-
Brennverfahren
ggü Benzinmotoren
um 10-20%

Inhalt

- **Die CO₂-Gesetzgebung für Personenwagen**
- **Lebenszyklus-CO₂-Emissionen**
Motivation für Forschungsschwerpunkt «Gas-(Elektrohybrid)antriebe»
- **Future Mobility Demonstrator**
Forschungsschwerpunkt «Erneuerbare Energie für die Mobilität»
- **Zusammenfassung**

Strombasierte Treibstoffe

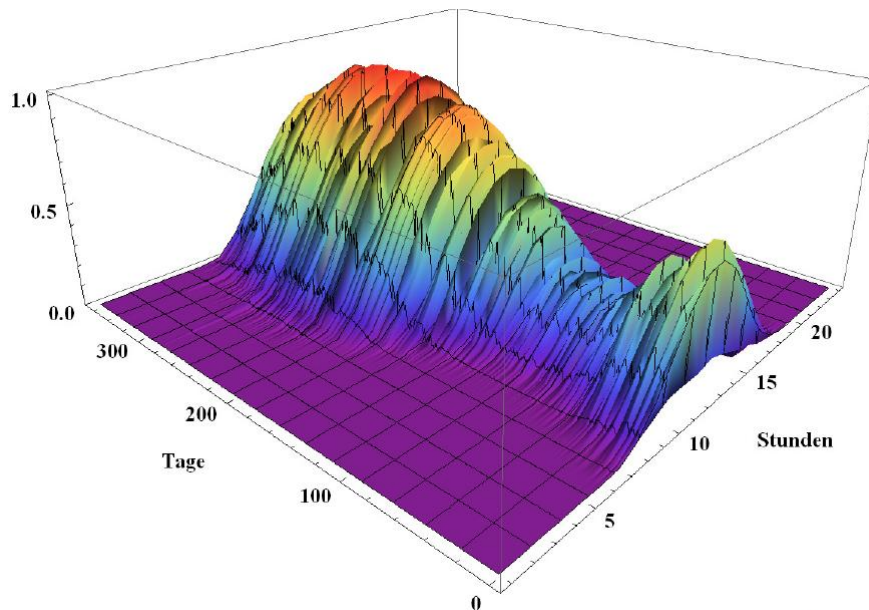
Flexibilisierung des Energiesystems durch Speicherung von Überschussenergie für die Mobilität



Die Schweiz verfügt über **2 - 11 TWh** ungenutzte, nachhaltige Biomasse, die grösstenteils in Biogas umgewandelt werden könnte. (B. Steubing et al., 2010)

Strombasierte Treibstoffe

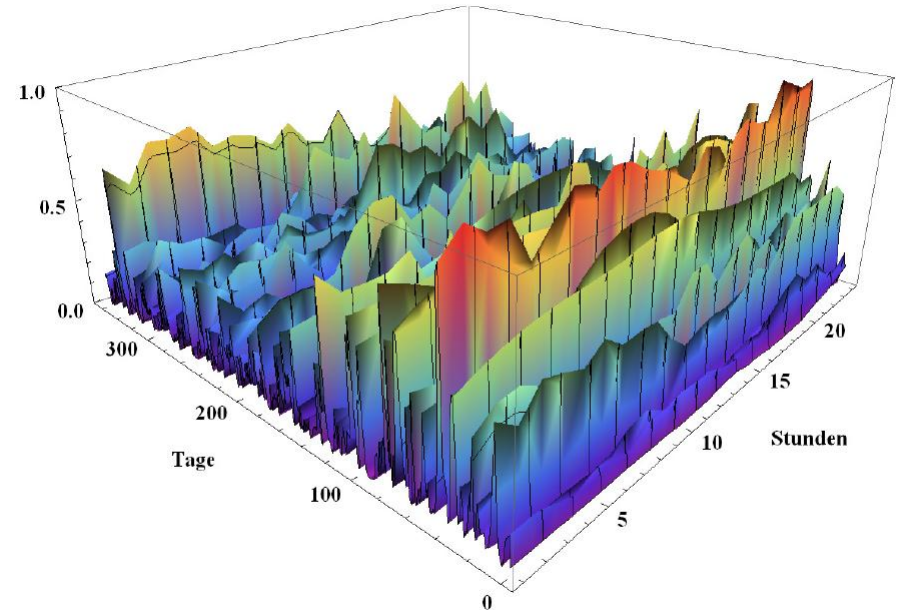
Nutzbarmachung von temporär überschüssigem Strom



Photovoltaik

Quelle: Prognos 2012

Starker Überhang im Sommerhalbjahr



Windenergie

Quelle: Prognos 2012

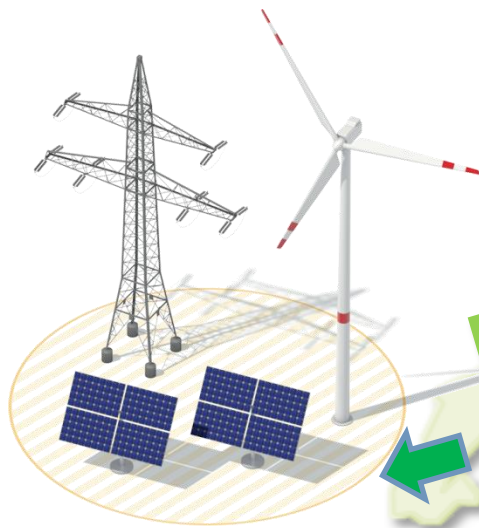
Stochastische Produktion

Simulation der Elektrizitätsversorgung 2050 (Prognos)

- 35 TWh (d.h. 50%); wobei ca. 15 TWh stark fluktuierend
- 9 TWh Überschuss-El. (Sommer), wenn WKK/GuD nicht regelbar
- 4.5 TWh Überschuss-El. (Sommer), wenn WKK/GuD regelbar

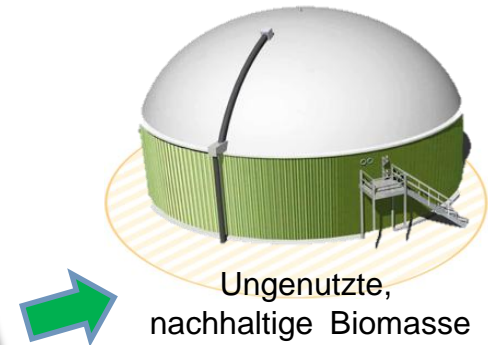
Strombasierte Treibstoffe

Flexibilisierung des Energiesystems durch Speicherung von Überschussenergie für die Mobilität



Fluktuierende erneuerbare
Überschuss-Elektrizität

Die einzigen «freien» einheimischen
Energieressourcen.
Frage: Wie nutzbar machen?

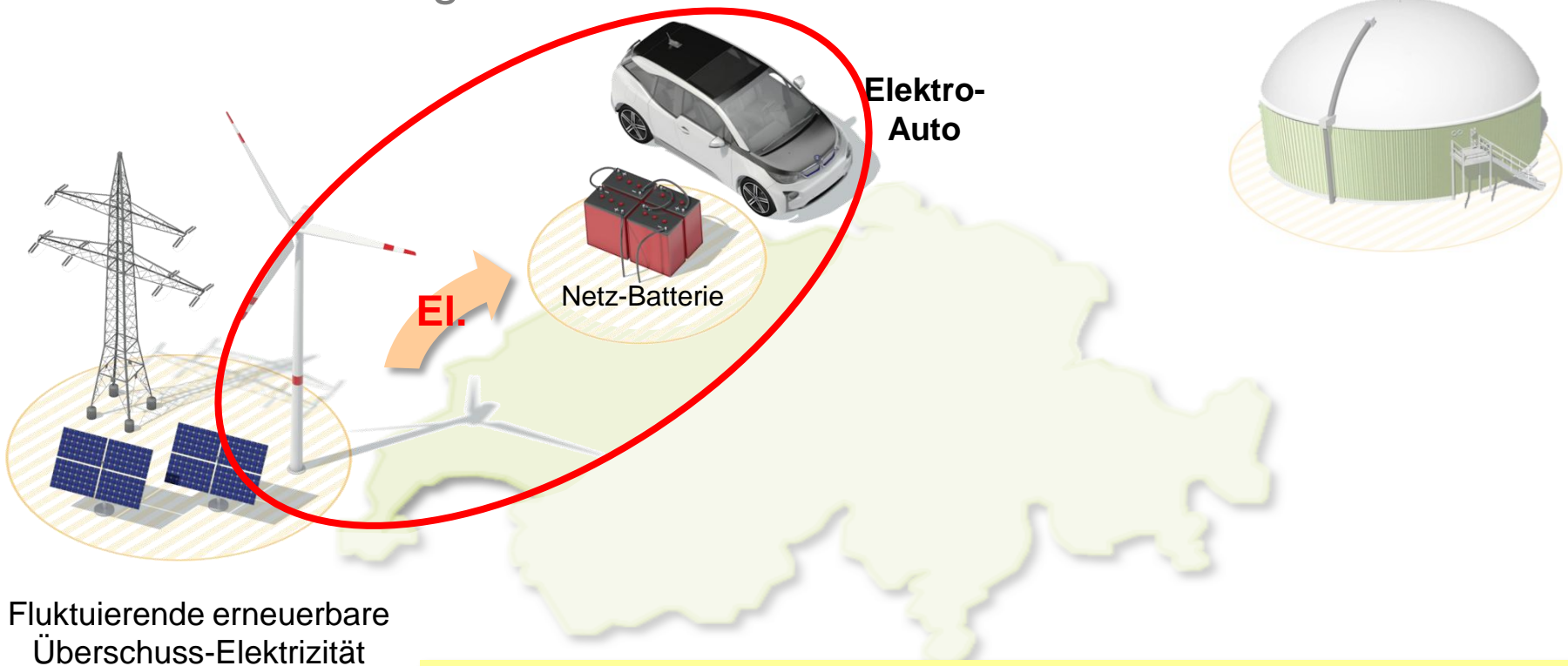


Ungenutzte,
nachhaltige Biomasse

Mit der neuen Energiestrategie werden bis 2050 pro Jahr
4.5 – 9 TWh temporär überschüssige, erneuerbare
Elektrizität erwartet. (Prognos 2012).

Strombasierte Treibstoffe

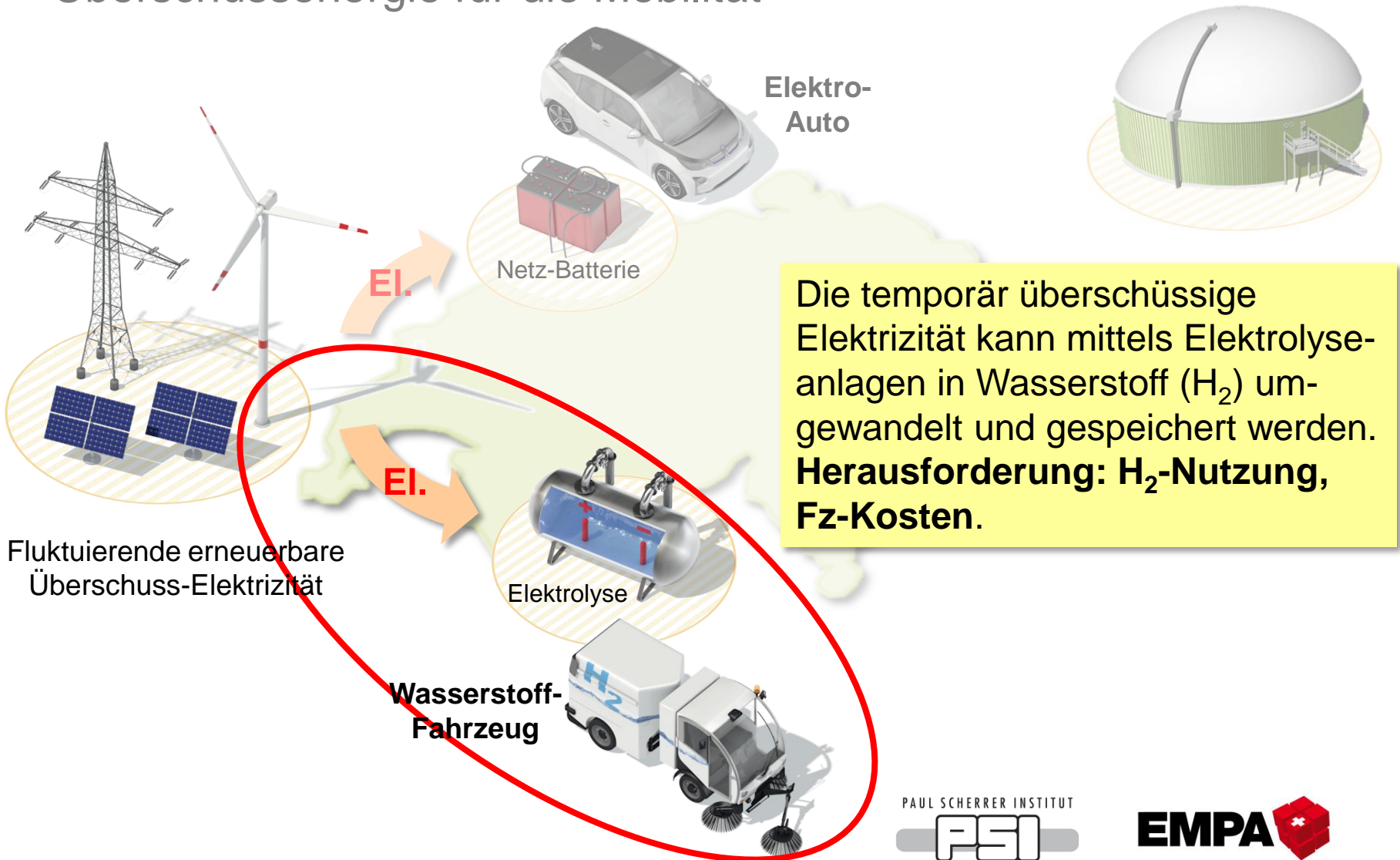
Flexibilisierung des Energiesystems durch Speicherung von Überschussenergie für die Mobilität



Die temporär überschüssige Elektrizität kann in Netzbatterien gespeichert und für das Laden von Elektroautos genutzt werden. **Herausforderung: Winterbetrieb, Reichweite, Anreiz für erneuerbare Energie.**

Strombasierte Treibstoffe

Flexibilisierung des Energiesystems durch Speicherung von Überschussenergie für die Mobilität



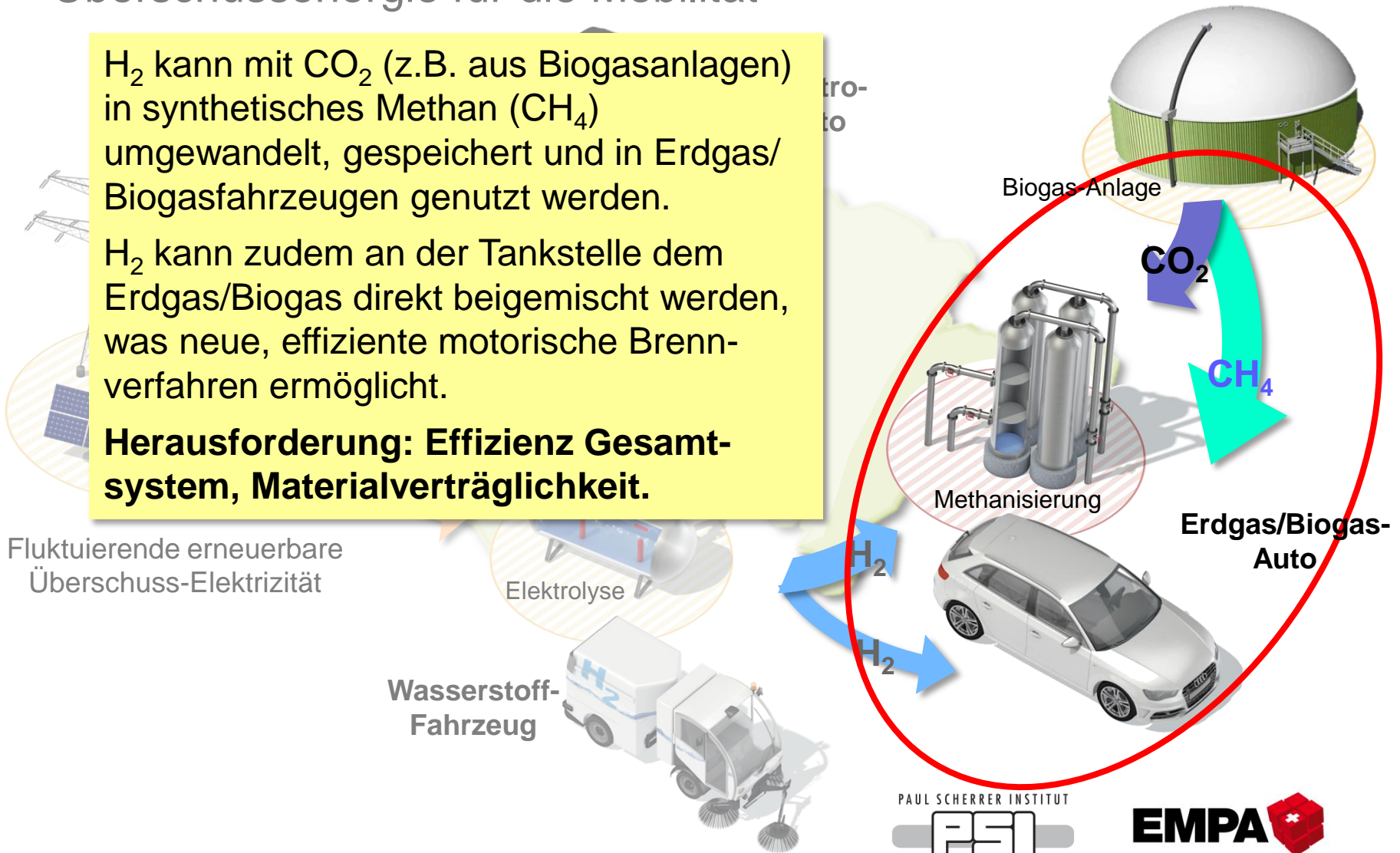
Strombasierte Treibstoffe

Flexibilisierung des Energiesystems durch Speicherung von Überschussenergie für die Mobilität

H_2 kann mit CO_2 (z.B. aus Biogasanlagen) in synthetisches Methan (CH_4) umgewandelt, gespeichert und in Erdgas/Biogasfahrzeugen genutzt werden.

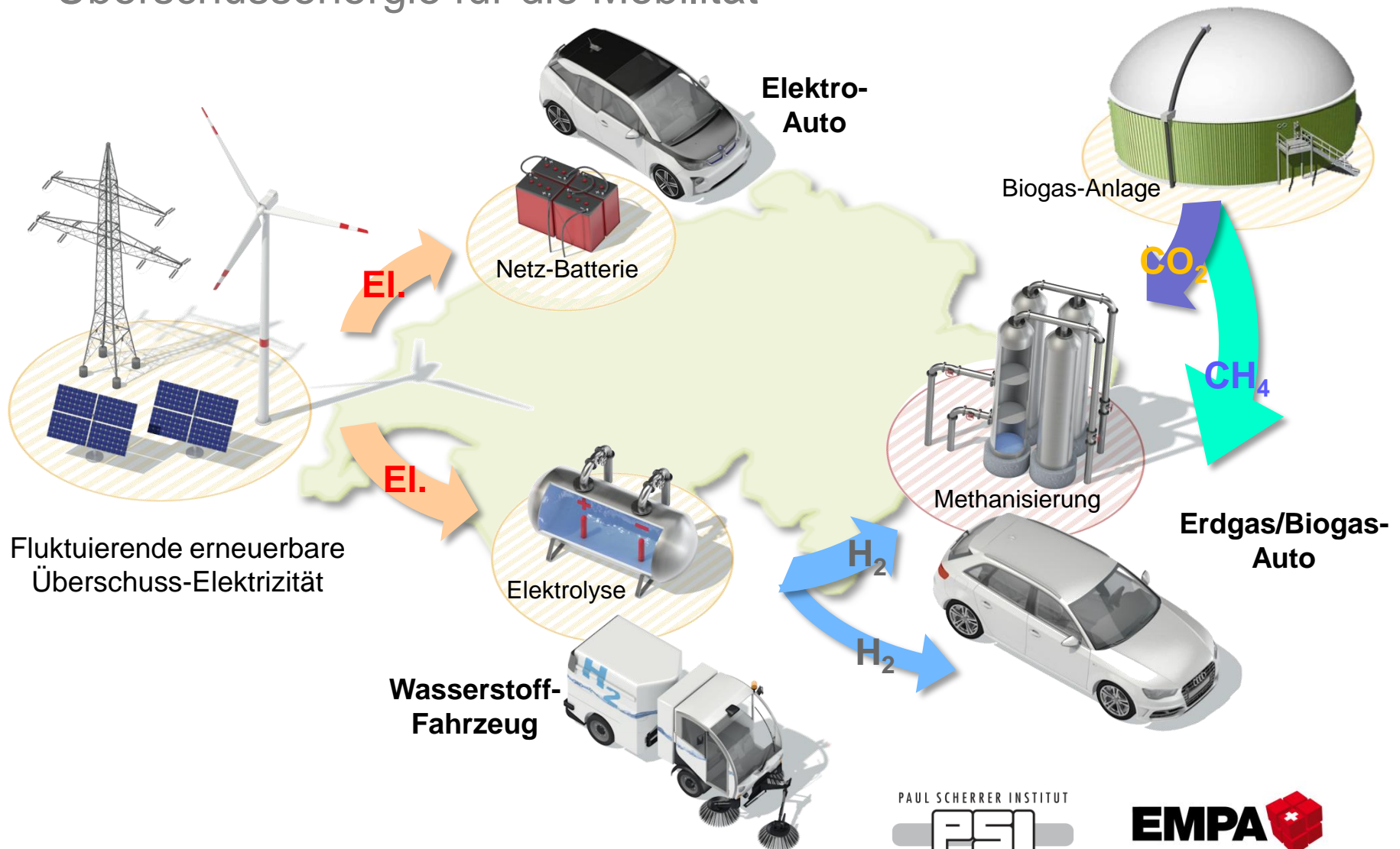
H_2 kann zudem an der Tankstelle dem Erdgas/Biogas direkt beigemischt werden, was neue, effiziente motorische Brennverfahren ermöglicht.

Herausforderung: Effizienz Gesamtsystem, Materialverträglichkeit.



Strombasierte Treibstoffe

Flexibilisierung des Energiesystems durch Speicherung von Überschussenergie für die Mobilität

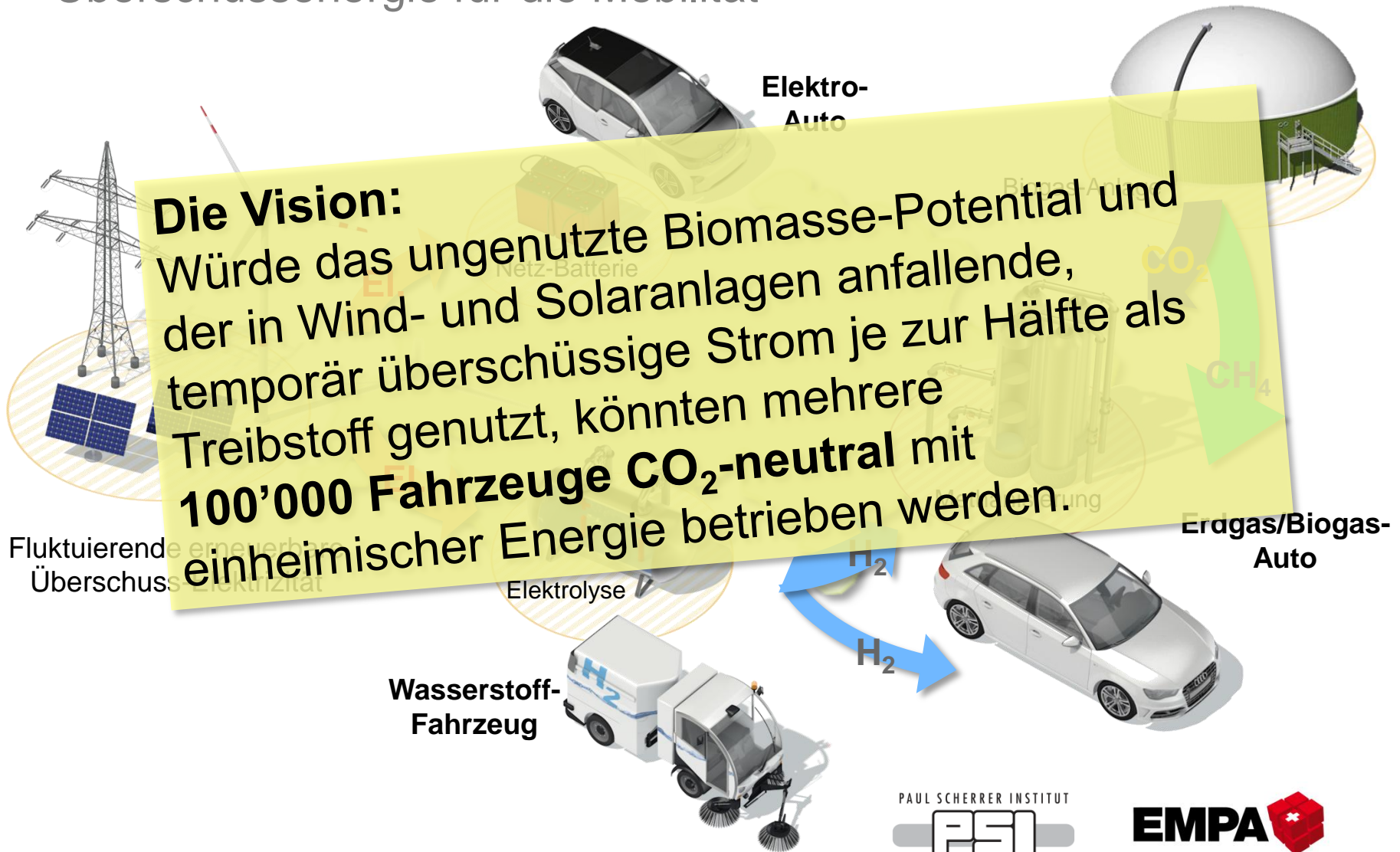


Strombasierte Treibstoffe

Flexibilisierung des Energiesystems durch Speicherung von Überschussenergie für die Mobilität

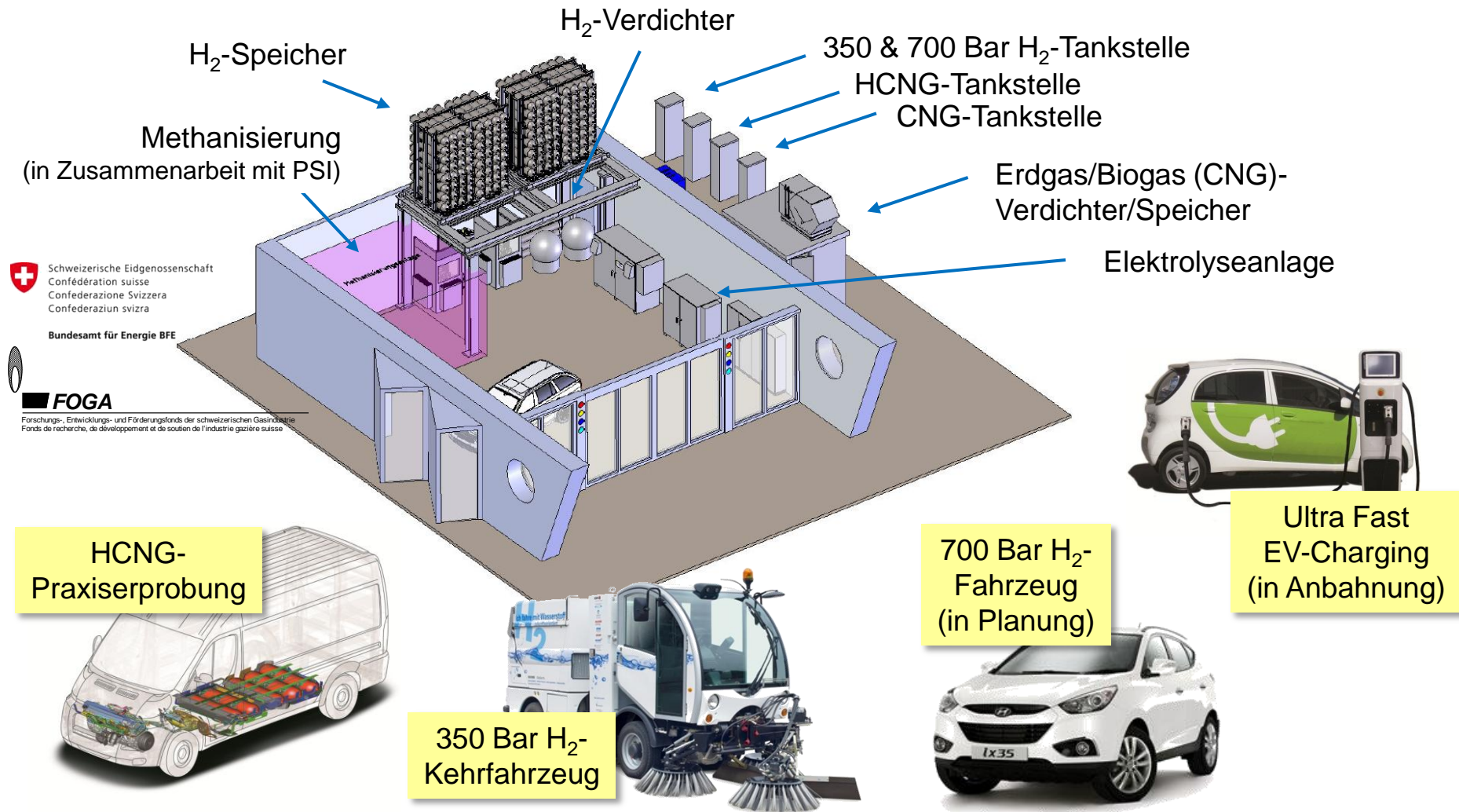
Die Vision:

Würde das ungenutzte Biomasse-Potential und der in Wind- und Solaranlagen anfallende, temporär überschüssige Strom je zur Hälfte als Treibstoff genutzt, könnten mehrere **100'000 Fahrzeuge CO₂-neutral** mit einheimischer Energie betrieben werden.



Future Mobility Demonstrator @ Empa

Pilotanlage für betriebliche Untersuchungen



Inhalt

- **Die CO₂-Gesetzgebung für Personenwagen**
- **Lebenszyklus-CO₂-Emissionen**
Motivation für Forschungsschwerpunkt «Gas-(Elektrohybrid)antriebe»
- **Future Mobility Demonstrator**
Forschungsschwerpunkt «Erneuerbare Energie für die Mobilität»
- **Zusammenfassung**

Zusammenfassung

Niedrigste CO₂-Emissionen sind die wichtigste Anforderung an zukünftige Automobilantriebe. Dies wird nur mit dem Umstieg auf erneuerbare Energie erreicht (vor allem, wenn man die Realverbräuche betrachtet).

In den nächsten 10 Jahren ist die Einführung von Antrieben, die mit erneuerbarer Energie betrieben werden können wichtig. Dazu zählen Elektro-, Wasserstoff- und Erdgas/Biogasfahrzeuge.

Fossile Energie wird noch über längere Zeit die dominierende Energiequelle sein, deshalb müssen auch Benzin/Dieselmotoren verbessert werden. Diese Massnahme hat noch über viele Jahre den grössten Impact.

Die Empa (in Zusammenarbeit mit dem PSI) einen Demonstrator, der temporär überschüssige oder im Strommarkt nicht rentable Energie chemische und elektrochemisch speichert und so als Treibstoff nutzbar macht. Dabei werden (in Zusammenarbeit mit ETH, ZHAW) technologische, ökonomische und rechtliche Aspekte untersucht.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Mit Dank für die Unterstützung an:

Dr. Brigitte Buchmann

Dr. Patrik Soltic

Urs Cabalzar

Thomas Bütler

Kontakt:

christian.bach@empa.ch