

# Die post-fossile Mobilität

Weg von schwarz-weiss und hin zu ganzheitlichen Bewertungen

**Christian Bach**

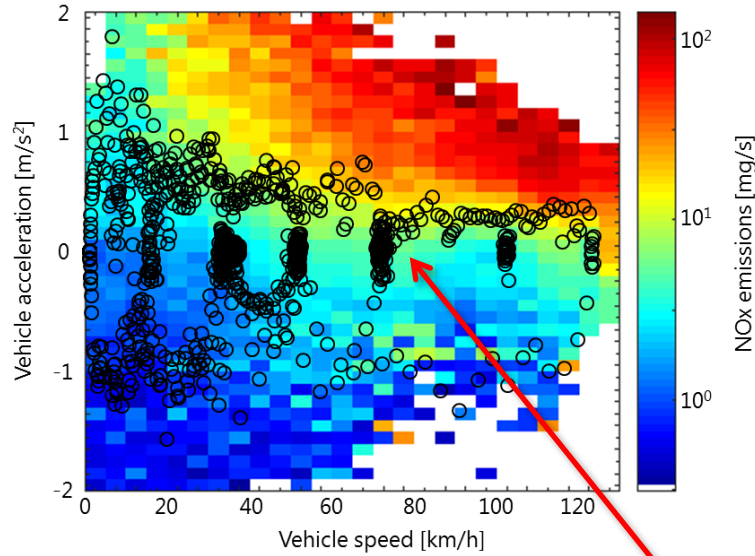
Abteilungsleiter Fahrzeugantriebssysteme

# Inhalt

- 1. Der Diesel-Skandal – haben wir etwas daraus gelernt?**
2. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen – bahnt sich da erneut ein Skandal an?
3. Klimafreundliche Fahrzeuge – eine gesamtheitliche Betrachtung ist notwendig
4. Zusammenfassung

# Der Diesel-Skandal – haben wir etwas daraus gelernt?

Ein Versagen «auf Ansage» – retrospektiv betrachtet...

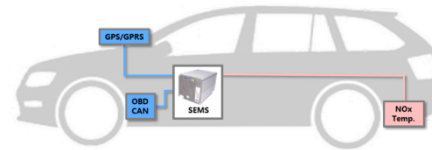


NEFZ-Betriebspunkte (!)

## NOx-Emissionskennfeld

(3'000 km, 40 Stunden Fahrt, 150'000 Messpunkte)

SEMS-Messungen (SEMS = Smart Emission Monitoring System an einem Euro-6b Dieselfahrzeug.



# Der Diesel-Skandal – haben wir etwas daraus gelernt?

## Wie war das möglich – trotz Euro 5/6-Gesetzgebung?

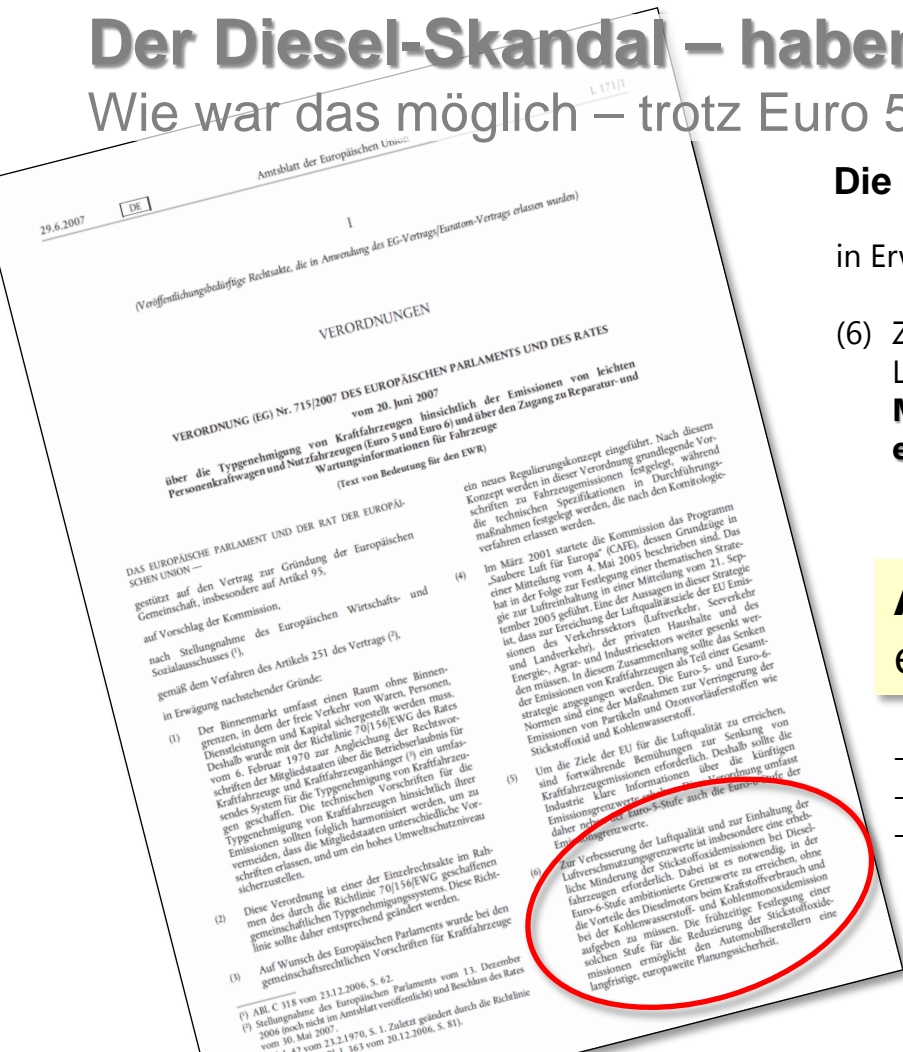
### Die gesetzliche Euro 5/Euro 6-Grundlage (2007)

in Erwägung nachstehender Gründe:

- (6) Zur Verbesserung der Luftqualität und zur Einhaltung der Luftverschmutzungsgrenzwerte **ist insbesondere eine erhebliche Minderung der Stickstoffoxidemissionen bei Dieselfahrzeugen erforderlich**. Dabei ist es notwendig, ...

**ABER:** im technischen Teil fehl(t)en entsprechende Vorgaben!

- Schwammiges/unklares «Verbot» von Abschaltvorrichtungen
- Keine Strassenmessungen (obwohl bei LKWs bereits eingeführt)
- Keine Offenlegung der Emissionsminderungsstrategie



# Der Diesel-Skandal – haben wir etwas daraus gelernt?

Die neue Schadstoff-Gesetzgebung ist wesentlich besser!



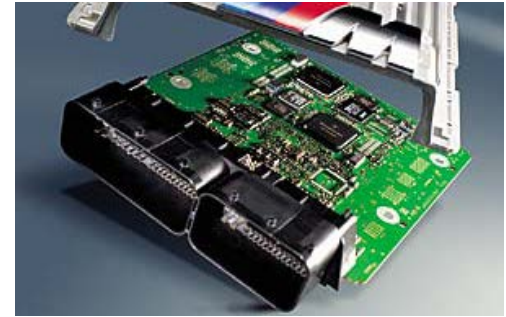
## Bessere Laborprüfung

Insbesondere Berücksichtigung der tatsächlichen Fahrzeugmassen.



## Strassenmessung

Reale Fahrten während mind. 1.5 Stunden.



## Abgasminderungsfunktionen

Offenlegung der Standardfunktionen für die Abgasminderung sowie Abweichungen davon.

Wednesday, January 30, 2019

## Heavy-Duty Low NO<sub>x</sub>

This page last reviewed January 22, 2019

### Background

A key measure in the [Mobile Source Strategy](#) is the establishment of low oxides of nitrogen (NO<sub>x</sub>) engine emission standards that result in a 90 percent reduction in NO<sub>x</sub> emissions compared to the emissions of today's diesel engines. This measure is critical for attaining federal health-based air quality standards for ozone in 2023 and 2031 in the South Coast and San Joaquin Valley air basins, and fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) standards in the next decade. Under this measure, staff also plans to develop regulatory amendments to improve the certification requirements to better reflect emission control under low load urban driving operations, to improve engine air emission control system durability, and to expand and improve the in-use compliance testing program. These supplemental actions include:

- Adopting a new low load certification test cycle;
- Amending the warranty and useful life period;
- Amending the certification durability demonstration procedures;
- Amending the Not-to-Exceed (NTE) in-use compliance program; and
- Warranty corrective action.

In 2013, California established [optional low-NO<sub>x</sub> standards](#) with the most aggressive being 0.02 g/bhp-hr, which is 90 percent below the current standard. The optional NO<sub>x</sub> standards were developed to pave the way for mandatory standards by encouraging manufacturers to develop and certify low NO<sub>x</sub> engines and incentivizing the purchase of certified low NO<sub>x</sub> engines. To-date, ten natural gas or liquefied petroleum gas engines have been certified to the optional NO<sub>x</sub> standards.

### UP LINKS

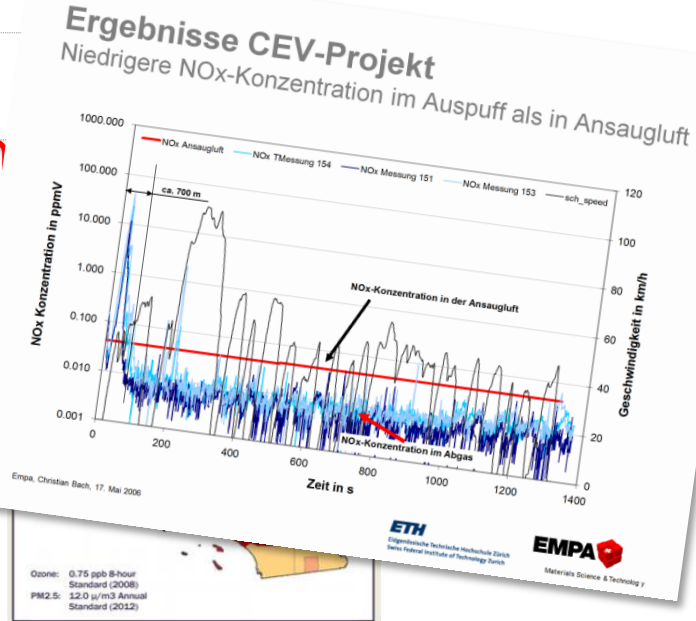
- [Reducing Air Pollution - ARB Programs](#)
  - [Mobile Sources](#)
    - [On-Road Mobile Source Programs](#)
    - [Phase I GHG](#)
    - [CA Phase 2 GHG](#)
    - [Heavy Duty Low NO<sub>x</sub>](#)
  - [On-Road Heavy-Duty Vehicle Program](#)

### PROGRAM LINKS

- [Low NO<sub>x</sub> Study](#)
- [Optional Low NO<sub>x</sub> Standards](#)
- [Rulemaking Documents](#)
  - [2018](#)
  - [Background Materials](#)

### RESOURCES

- [Join the Heavy-Duty Low NO<sub>x</sub> Email List](#)

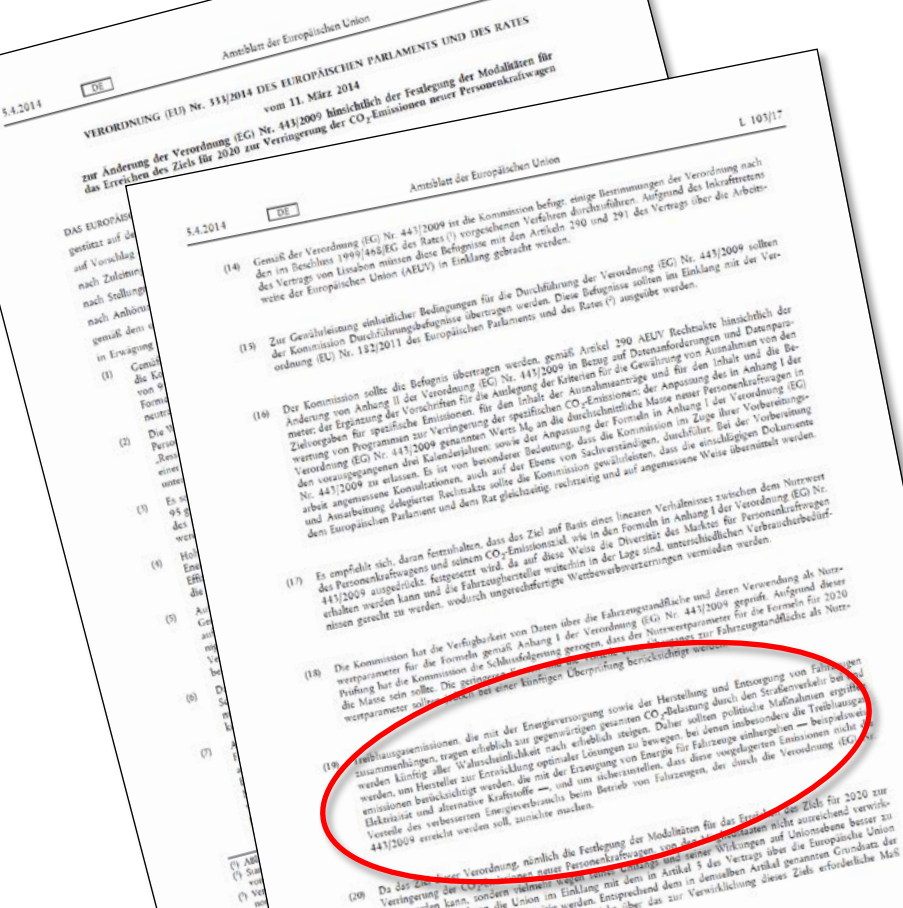


# Inhalt

1. Der Diesel-Skandal – haben wir etwas daraus gelernt?
- 2. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen – bahnt sich da erneut ein Skandal an?**
3. Klimafreundliche Fahrzeuge – eine gesamtheitliche Betrachtung ist notwendig
4. Zusammenfassung

# CO<sub>2</sub>-Emissionen – bahnt sich da erneut ein Skandal an?

## Ein «deja-vu»...?



## Die gesetzliche Grundlage (2014)

in Erwägung nachstehender Gründe:

- (19) Treibhausgasemissionen, die der Energieversorgung sowie der Herstellung und Entsorgung von Fahrzeugen zusammenhängen (...) werden (...) erheblich steigen. **Daher sollten politische Maßnahmen ergriffen werden, um Hersteller zur Entwicklung optimaler Lösungen zu bewegen, bei denen insbesondere die Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden, die mit der Erzeugung von Energie für Fahrzeuge einhergehen - beispielsweise Elektrizität und alternative Kraftstoffe -**, und um sicherzustellen, dass diese vorgelagerten Emissionen nicht die Vorteile des verbesserten Energieverbrauchs beim Betrieb von Fahrzeugen, der durch die Verordnung (EG) Nr. 443/2009 erreicht werden soll, zunichte machen.

**ABER:** im technischen Teil fehlen entsprechende Vorgaben!



# CO<sub>2</sub>-Emissionen – bahnt sich da erneut ein Skandal an?

Nicht das Antriebskonzept ist entscheidend, sondern die Energie!

Quelle:

Cox B. et al; Fact sheet - The environmental burdens of passenger cars: today and tomorrow (PSI/BFE 2018)



Figure 1: Greenhouse gas emissions (left) and primary energy demand (right) from passenger vehicles in 2017 and 2040 per vehicle kilometer. „PV“: photovoltaic; „SNG“: Synthetic natural gas, here produced via electrolysis using the Swiss electricity mix and CO<sub>2</sub> captured from ambient air. Hydrogen for fuel cell vehicles is produced either via steam methane reforming

Ein seriöser Vergleich verschiedener Automobilantriebe basiert auf einer Ökobilanz, insbesondere hinsichtlich (globalen) Klimagasen.

Ökobilanz Cox (2018):

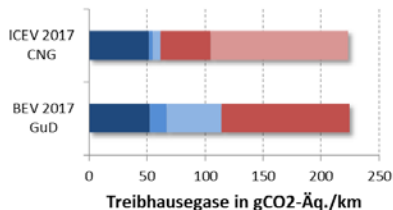
Ein mit Erdgas betriebenes verbrennungsmotorisches Fahrzeug erzeugt die gleichen CO<sub>2</sub>-Lebenszyklusemission wie ein mit Strom aus einem Erdgas-Kombikraftwerk (GuD) betriebenes Elektroauto.

**Entscheidend ist nicht primär das Antriebskonzept, sondern ob fossile oder erneuerbare Energie genutzt wird!**

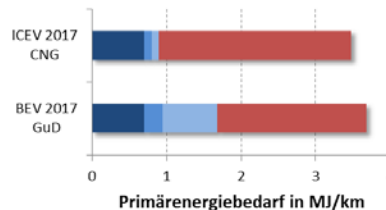
Wird die erneuerbare Energie aber einfach dem Energiesystem entzogen, ist die Wirkung gering bzw. vielleicht sogar negativ!

## CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen

## Primärenergiebedarf



- Fz ohne Antrieb
- Antrieb
- E-Speicher
- E-Bereitstellung
- Auspuff-Emissionen



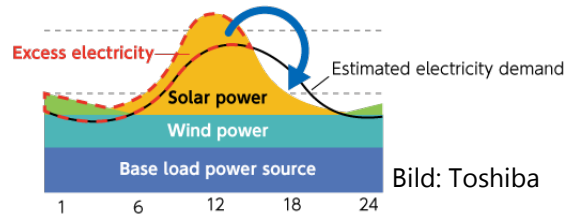
- Fz ohne Antrieb
- Antrieb
- E-Speicher
- E-Bereitstellung
- Auspuff-Emissionen

# Erneuerbare Energie ist der Schlüssel!

Höchster ökologischer Wert bei Nutzung von «Überschuss-Elektrizität»

«**Überschuss-Elektrizität**» (engl. excess electricity) ist ein oft genutzter aber unpräziser Begriff. Gemeint damit sind «**Über-Kapazitäten**» von Anlagen zur Produktion von erneuerbarer Elektrizität.

Überschuss-Elektrizität kann kurzfristig in Pumpspeicherkraftwerken oder Batterien gespeichert werden...



Elektrofahrzeug (Batterie)

... oder in synthetische Energieträger (Treibstoffe) umgewandelt werden (sowie längerfristig zur saisonalen Stromspeicherung genutzt werden).



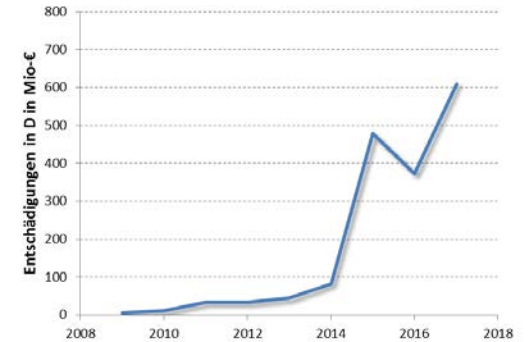
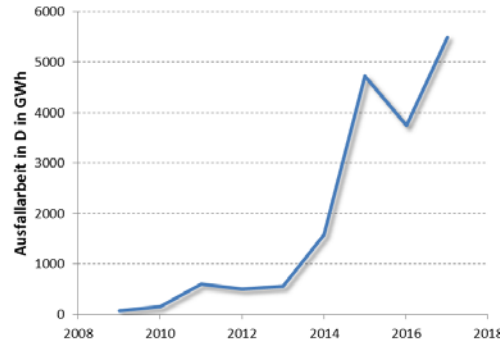
Synth. Treibstoffe (Überschüsse)

# Erneuerbare Energie ist der Schlüssel!

Heute wird überschüssige erneuerbare Elektrizität «abgeregelt»...(!)

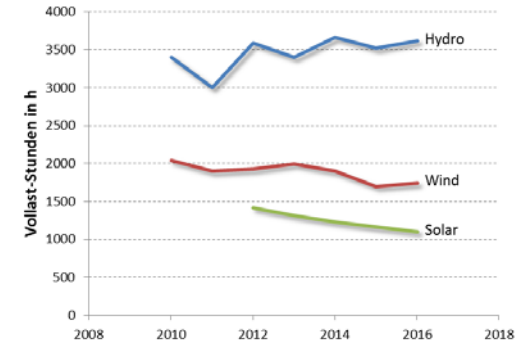
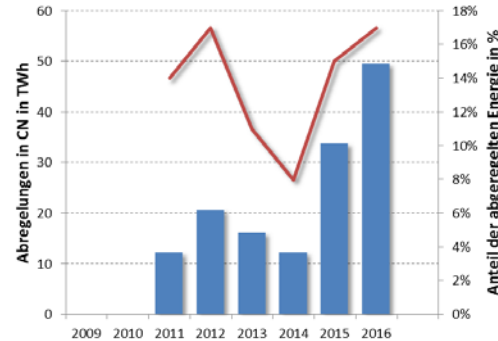
## Situation in Deutschland

Bundesnetzagentur, Monitoringbericht 2017



## Situation in China

Agora, Energy Transition in the Power Sector in China: State of Affairs in 2016  
Review on the Developments in 2016 and an Outlook

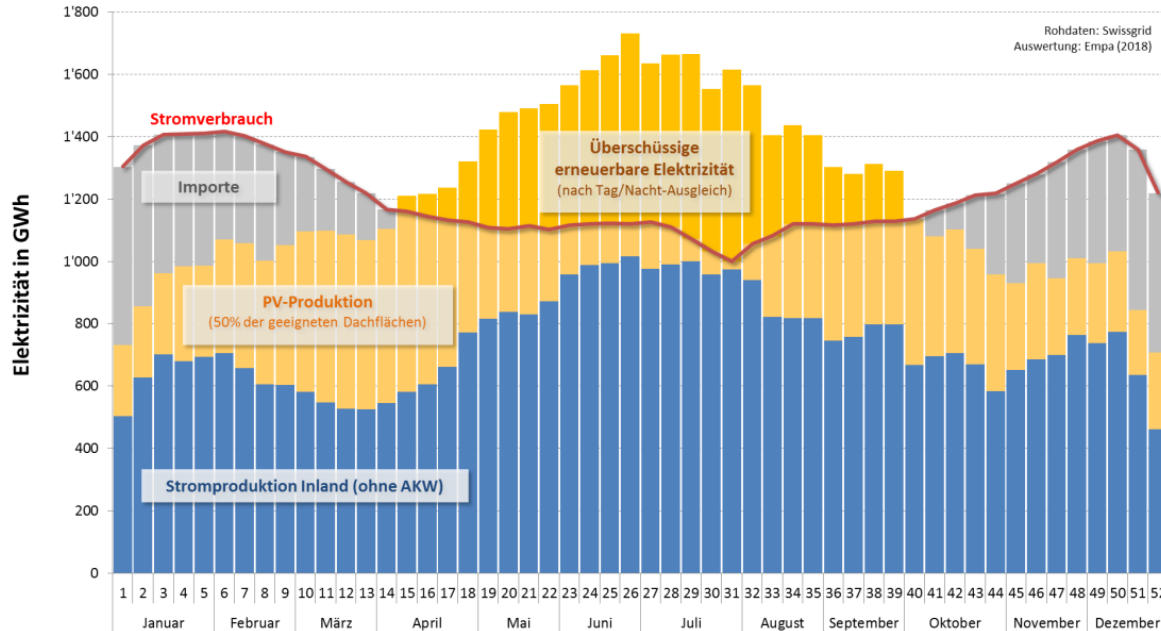


# Erneuerbare Energie ist der Schlüssel!

## Erwartete «Überschuss-Elektrizität» in der Schweiz

### Hypothetisches Elektrizitätsprofil der Schweiz

Mittelwerte 2010 - 2016; abzüglich Atomstrom (25 TWh); zuzüglich 25 TWh PV-Strom

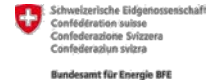


Bei einem vollständigen Tag/Nacht-Ausgleich über ganze Wochen (z.B. mittels PSK, Batterien) liegt die erwartete Überschuss-Elektrizität nach dem AKW-Ausstieg (-25 TWh) und einem Ausbau des PV-Potentials auf 50% (+25 TWh) bei rund 10 TWh (dunkelgelbe Fläche).

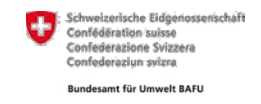
Wird diese nicht nutzbar gemacht, könnte der PV-Ausbau ins Stocken geraten.

# Future Mobility Demonstrator «move»

## Post-fossile Strassenmobilität



PtX-Studie Schweiz



Realverbrauch / Carsharing



350 bar HCNG-Praxiserprobung

Endress+Hauser, Mobility Solutions, DIE POST, apex, IVECO, erdgas biogas, Swagelok



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

ccem.ch, Atlas Copco, Stadt Dübendorf municipal, BUCHER

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

suva, HYUNDAI, H<sub>2</sub>energy, STÄUBLI

PtG-Mobilität

swisspower, glattwerk optimal versorgt, EVIUP ERDÖL-VEREINIGUNG UNION PETROLIERE, MIGROS

Batteriespeicher für EVs



# Inhalt

1. Der Diesel-Skandal – haben wir etwas daraus gelernt?
2. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen – bahnt sich da erneut ein Skandal an?
- 3. Klimafreundliche Fahrzeuge – eine gesamtheitliche Betrachtung ist notwendig**
4. Zusammenfassung

# Klimafreundliche Fahrzeuge

## Vereinfachte Gesamtsystembetrachtung (Kaya-Formel)

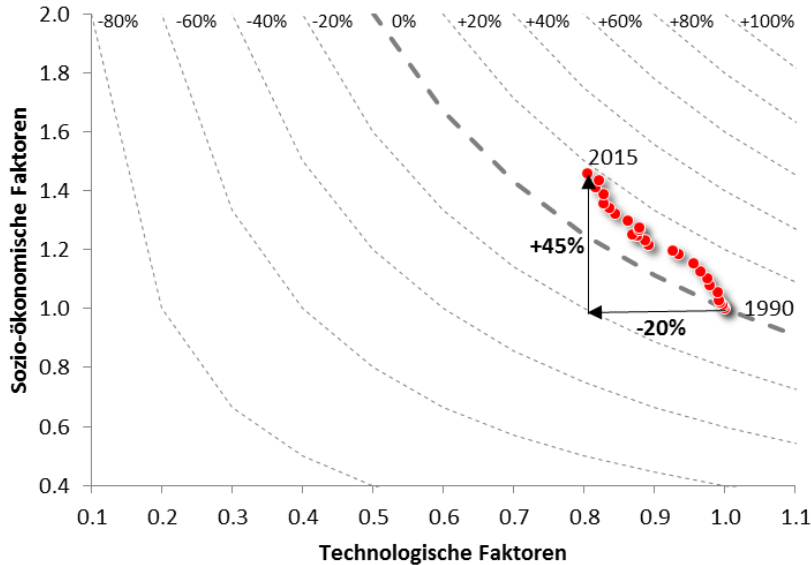
Technologische Faktoren    Sozio-ökonomische Faktoren

$$CO_2 = \frac{CO_2}{E} \times \frac{E}{pkm} \times \frac{pkm}{P} \times P$$

Anzahl EinwohnerInnen  
Fahrleistung pro EinwohnerIn  
Fahrzeugverbrauch  
CO<sub>2</sub>-Emissionen des Energiemixes

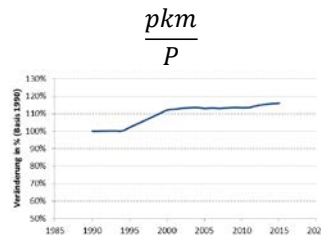
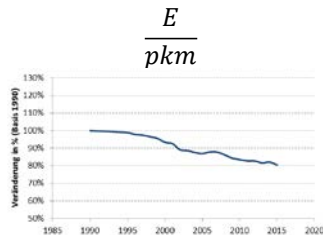
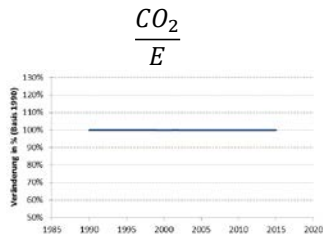
# Klimafreundliche Fahrzeuge

## Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990 - 2015



Von 1990 – 2015 wurde bei den neu  
inverkehrsgesetzten Personenwagen eine  
Realverbrauchsreduktion um 20% realisiert.

Gleichzeitig stiegen die Fahrleistungen im  
PW-Bereich um 45%, weshalb insgesamt ein  
Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 20%  
resultierte.





# Klimafreundliche Fahrzeuge

## Verbrauchsreduktionspotentiale konventioneller Antriebe

### Fahrzeugtechnische Verbrauchsreduktionsmassnahmen:

- Verminderung Roll-, Luft- und Beschleunigungswiderstände (z.B. Aerodynamikpakete, Reduktion Fahrzeugmasse)
- Innermotorische Effizienzmassnahmen (z.B. Reduktion Wärmeverluste, Reibung, Ventiltrieb)
- Aussermotorische Effizienzmassnahmen (z.B. Hybridisierung)

	2030		
	ICEV	HEV <sub>mild</sub>	HEV <sub>voll</sub>
<b>Fahrwiderstände</b>	-4 ... -9%		
<b>Innermotorisch</b>	-5 ... -20%		
<b>Auermotorisch</b>	-3 ... -5%	-10 ... -20%	-15 ... -25%
<b>Total</b>	-12 ... -31%	-15 ... -42%	-24 ... -45%
<b>Mittelwert</b>	<b>-22%</b>	<b>-29%</b>	<b>-35%</b>

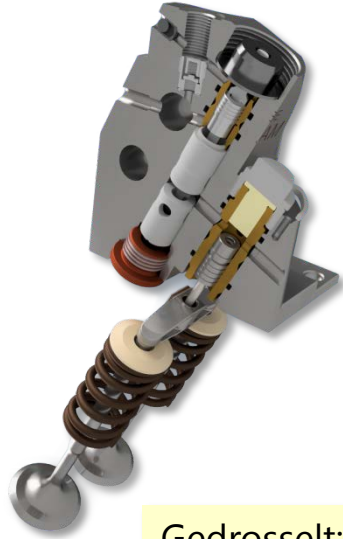
Quelle:

Zapf M., Pengg H., Bütler T., Bach C., Weindl C.;  
Kosteneffiziente und nachhaltige Automobilantriebe –  
Bewertung der realen Klimabelastung und der  
Gesamtkosten, Heute und in Zukunft  
(Springer Verlag 2019; *in press*)

# Klimafreundliche Fahrzeuge

## Beispiel: Vollvariabler hydraulischer Ventiltrieb @ Empa

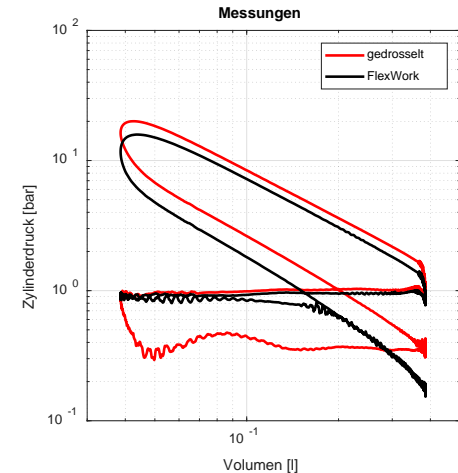
Einlass-Modul mit Gaswechsel-  
Ventilen und Ventildfedern



Integration des vollvariablen  
Ventiltriebs in einem Vollmotor



Elimination der  
Gaswechselerluste



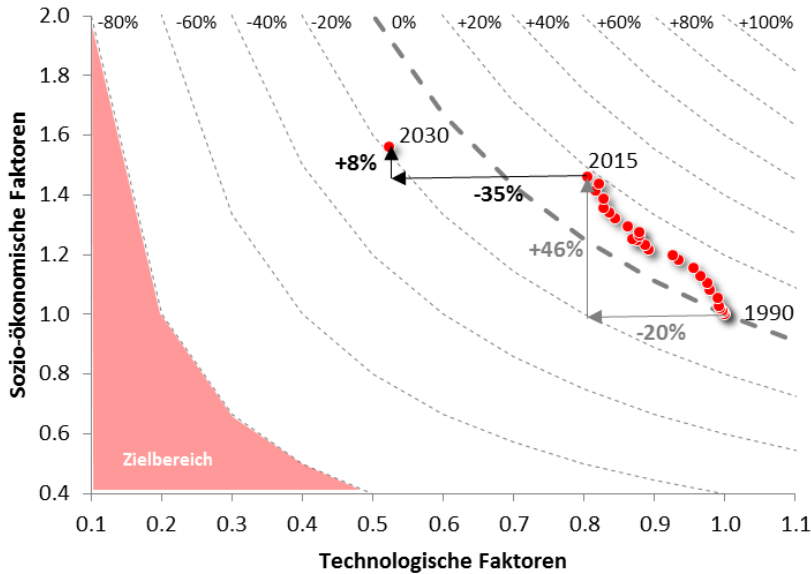
Gedrosselt:	Ladungswechselerluste 14.2%
FlexWork:	Ladungswechselerluste 1.3%
Verbrauchsvorteil:	10% bei 2000 U/min, 2 bar pme
Zylinderabschaltung:	zusätzliche Verbrauchseinsparung: 10%
Insgesamt:	20% weniger Verbrauch

Präsentation MTZ Juli /2019

Patent pending:  
Empa/W. Schneider Ing.-büro

# Klimafreundliche Fahrzeuge

Es braucht die Elektromobilität und synthetische Treibstoffe/Wasserstoff



Nimmt man 35% als generelle Verbrauchsminderung bei Personenwagen an, würde in Verbindung mit dem bis 2030 erwartetem PW-Verkehrswachstum um 8%<sup>1)</sup> eine CO<sub>2</sub>-Minderung im Personenwagensektor gegenüber 1990 um 20% resultieren.

Die Potentiale von konventioneller Antriebe reicht für eine CO<sub>2</sub>-Minderung um 80% (Zielbereich) bei weitem nicht aus.

<sup>1)</sup> ARE - Verkehrsperspektiven 2040, Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs in der Schweiz (2016)

# Klimafreundliche Fahrzeuge

Aktivierung des bisher ungenutzten 1. Terms in der Kaya-Gleichung

$$CO_2 = \underbrace{\frac{CO_2}{E}}_{\text{Technologische Faktoren}} \times \underbrace{\frac{E}{pkm} \times \frac{pkm}{P}}_{\text{Sozio-ökonomische Faktoren}} \times P$$

Diagram illustrating the Kaya equation for CO<sub>2</sub> emissions, showing the activation of the first term (circled in red).

The equation is:  $CO_2 = \frac{CO_2}{E} \times \frac{E}{pkm} \times \frac{pkm}{P} \times P$

The terms are categorized as follows:

- Technologische Faktoren:**  $\frac{CO_2}{E}$  (highlighted in red)
- Sozio-ökonomische Faktoren:**  $\frac{E}{pkm}$  and  $\frac{pkm}{P}$
- Population:**  $P$

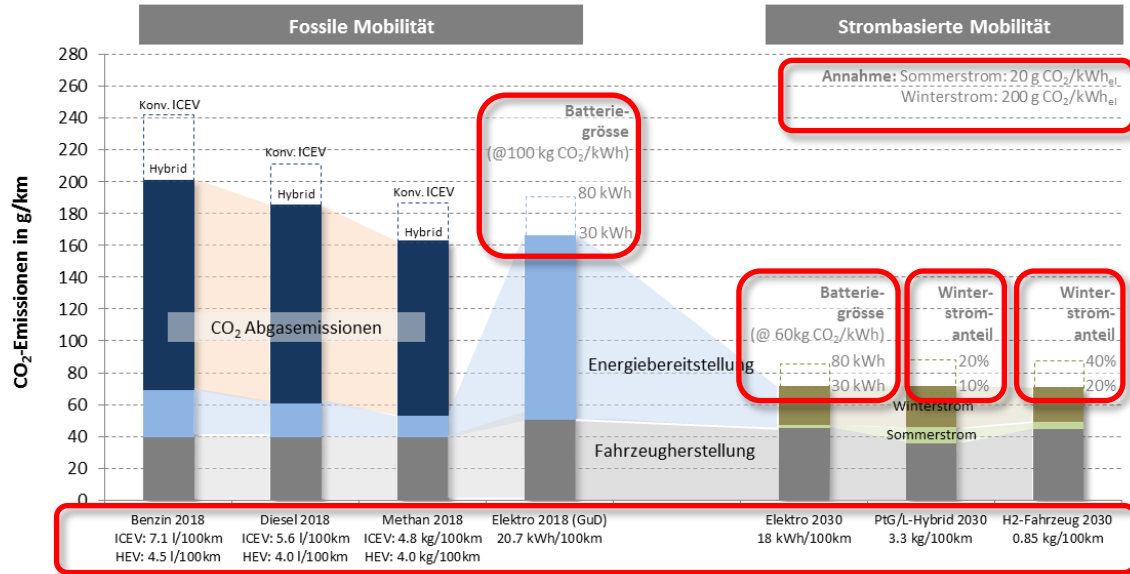
Labels and arrows indicate the meaning of the variables:

- $CO_2$ : CO<sub>2</sub>-Emissionen des Energiemixes
- $E$ : Fahrzeugverbrauch
- $pkm$ : Fahrleistung pro EinwohnerIn
- $P$ : Anzahl EinwohnerInnen

# Klimafreundliche Fahrzeuge

Gefragt wäre eine ganzheitliche Ökobilanz

CO<sub>2</sub> Lebenszyklusemissionen - Kompaktauto (200'000 km)



**Schwarz-Weiss** gibt es nur bei der Energie (fossil – erneuerbar)

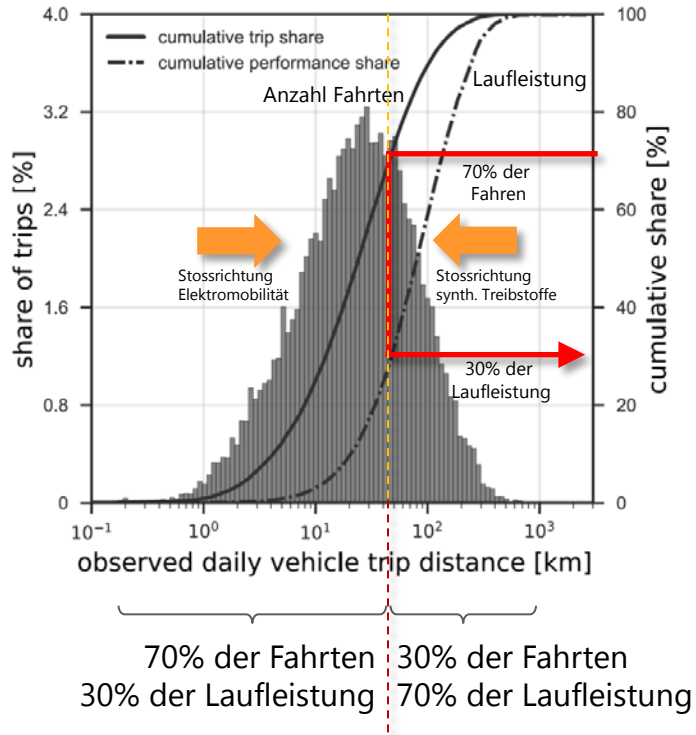
Bei den Antrieben gibt es aber «**Grautöne**»: grosse Batterien bei Elektroautos bzw. Winterstrom bei synthetischen Treibstoffen und Wasserstoff reduzieren die ökologischen Vorteile.

Gegenüber dem Betrieb mit fossiler Energie ist mittelfristig eine CO<sub>2</sub>-Reduktion um 60 – 70% möglich.

CO<sub>2</sub>-Lebenszyklusemissionen verschiedener Kompaktfahrzeuge über eine Laufleistung von 200'000 km im Betrieb mit fossiler Energie (linke Diagrammseite) und mit Elektrizität (rechte Diagrammseite). ICEV = Internal Combustion Engine Vehicle; HEV = Hybrid Electric Vehicle, GuD = Gaskombikraftwerk

# Synthetische Treibstoffe (PtX)

## Hohe Relevanz der Langstreckenfahrten



### Mikrozensus:

Die 70% kürzesten Autofahrten machen 30% der Laufleistung aus bzw. die 30% der längsten 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.

### Ergänzende Technologien:

Die Elektromobilität und mit synthetischen Treibstoffen betriebene Mobilität ergänzen sich.

# Inhalt

1. Der Diesel-Skandal – haben wir etwas daraus gelernt?
2. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen – bahnt sich da erneut ein Skandal an?
3. Klimafreundliche Fahrzeuge – eine gesamtheitliche Betrachtung ist notwendig
- 4. Zusammenfassung**

# Zusammenfassung

Die CO<sub>2</sub>-Minderung in der Mobilität ist sehr anspruchsvoll. Sie gelingt nur durch den Wechsel von fossiler auf erneuerbare Energie – das Antriebskonzept sollte entsprechend dem Einsatz gewählt werden.

Erneuerbare Energie für die Mobilität «darf» allerdings nicht einfach dem Energiesystem bzw. anderen Energiesektoren entzogen werden. Der höchste ökologische Mehrwert wird mit der Nutzbarmachung von temporär überschüssiger Elektrizität erzielt.

Die Elektromobilität punktet mit «hoher Effizienz» bei der Nutzung von erneuerbarer Energie. (Zu) grosse Batterien reduzieren den ökologischen Vorteil von Elektrofahrzeugen.

Synthetische Treibstoffe (Wasserstoff, Methan, flüssige Kohlenwasserstoffe) punkten mit «hoher Flexibilität» beim Energiebezug (Fokussierung auf «Sommerstrom»). Mit steigenden Anteilen fossiler Elektrizität nimmt der ökologische Mehrwert ab.

Elektrofahrzeuge und mit synthetischen Treibstoffen betriebene Fahrzeugen ergänzen sich. Elektrofahrzeuge können den grossen Anteil an Kurz- und Mittelstreckenfahrten abdecken während mit synthetischen Treibstoffen betriebene Fahrzeuge für die überdurchschnittlich relevanten Langstrecken- und Lastfahrten eingesetzt werden können.



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

## **Dank Kollegen:**

Thomas Bütler  
Dr. Patrik Soltic  
Dr. Norbert Zsiga  
Andyn Omanovic  
Urs Cabalzar  
Dr. Sinan Teske

## **Bei Fragen:**

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