



Energieeffiziente Mobilitätssysteme für den ÖPNV

Welche straßenbezogenen Antriebstechnologien sind richtungsweisend?

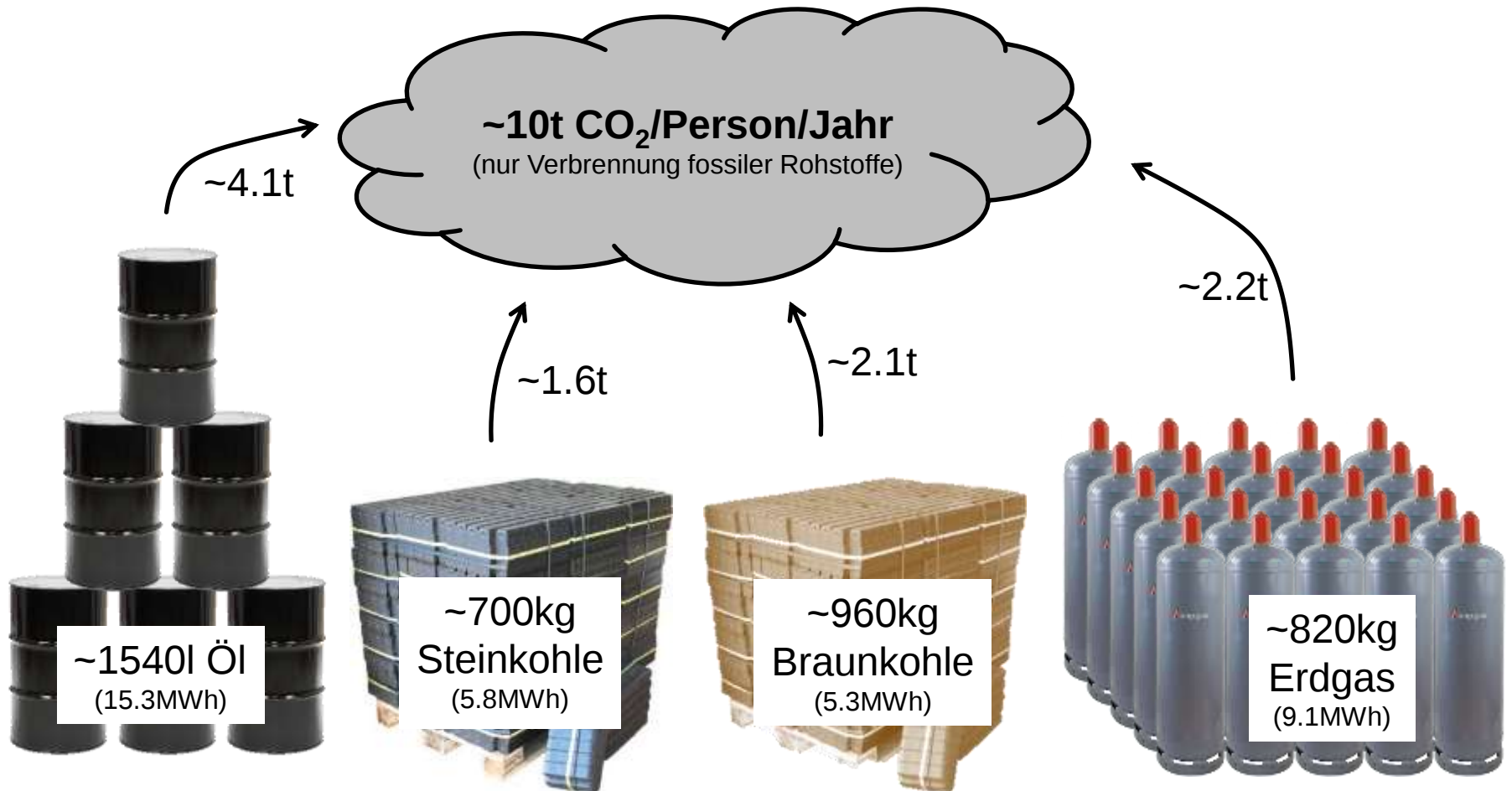
Dr. Philipp Elbert



„The absence of state authority
that has allowed the Mafia to flourish
runs parallel with the weakness of the train service.“
Tim Parks – Italian Ways

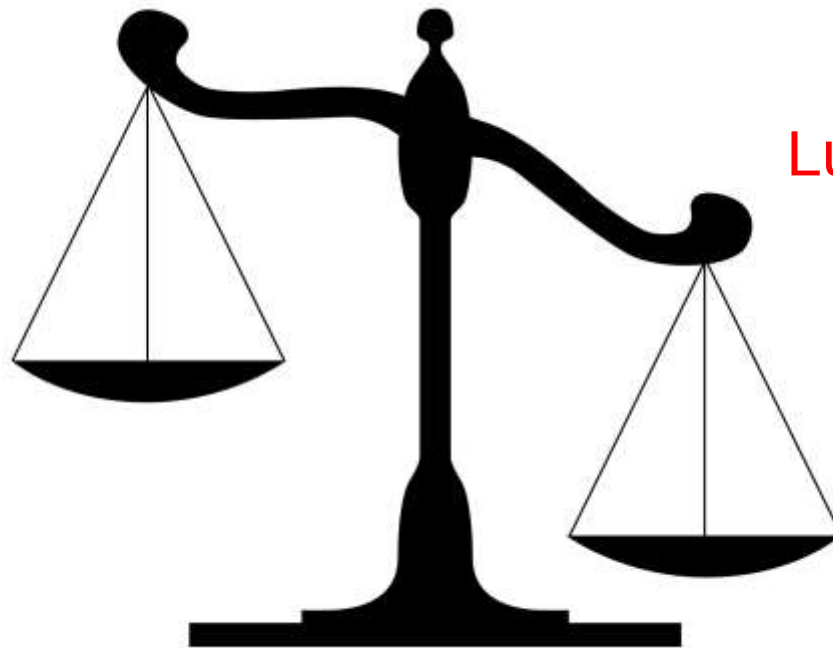
- Energieeffizienz
- Diesel = wichtig
- Hybridisierung = sinnvoll
- Elektrisch $\neq$ CO₂-Frei
- Batterie = fragwürdig

Ressourcenbedarf pro Kopf (Deutschland, 2014)



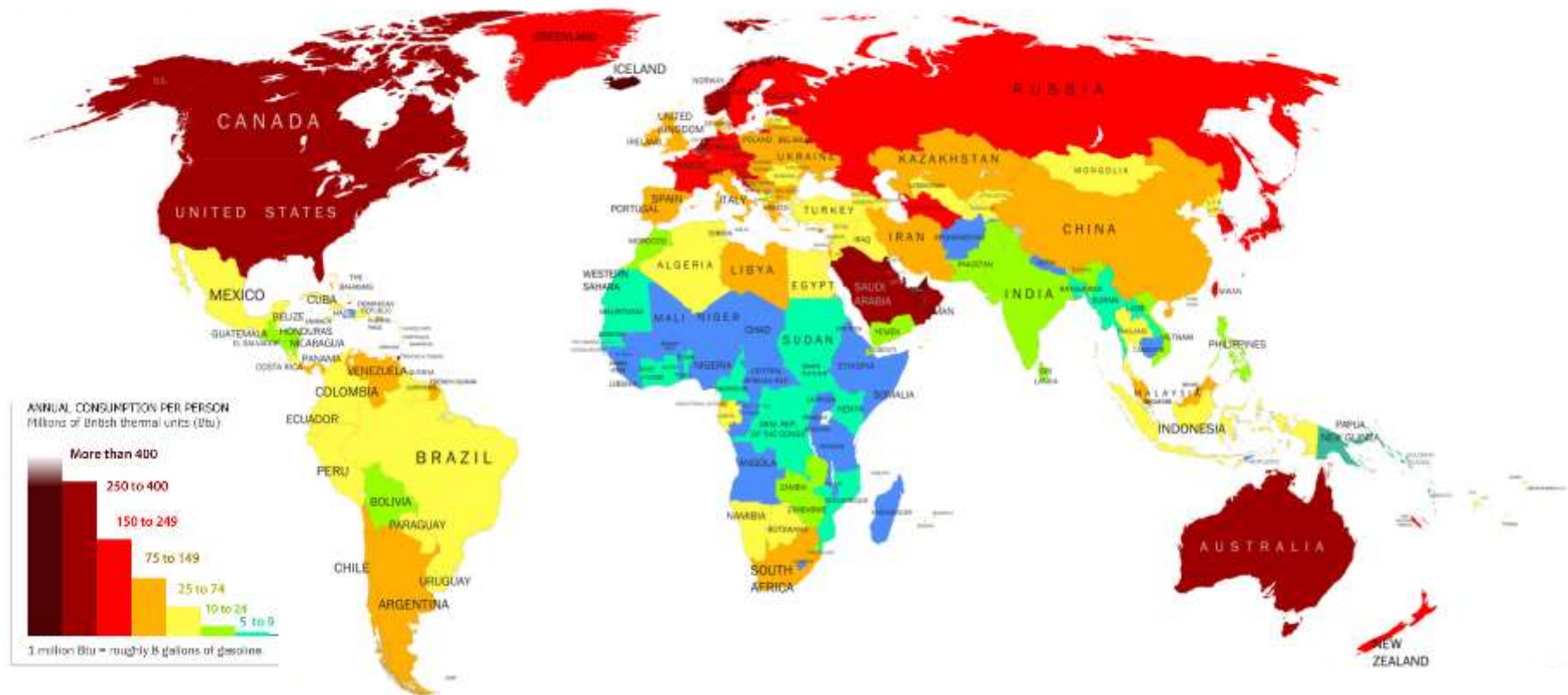
Positive vs. Negative Auswirkungen

Elektrizität,
Mobilität,
Raumklima,
Gesundheit,
...

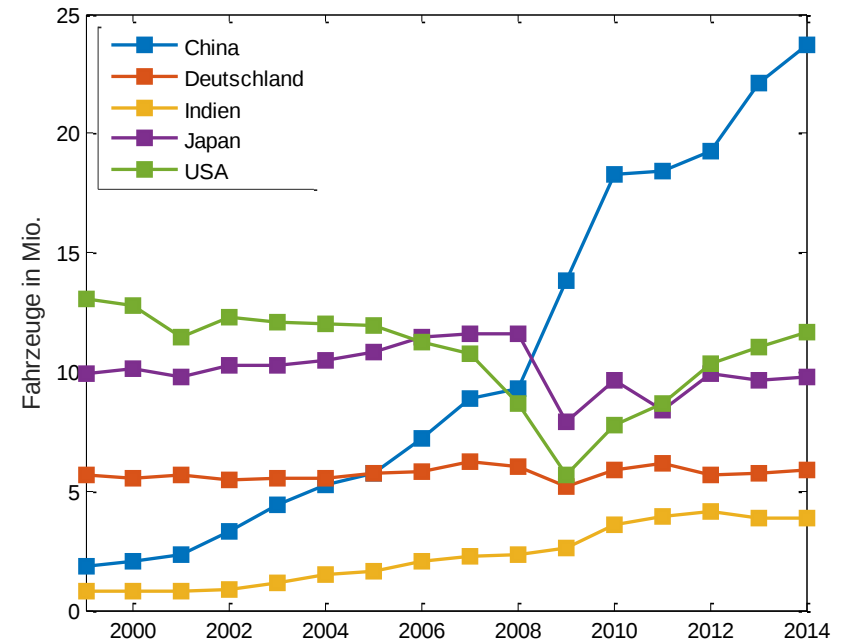
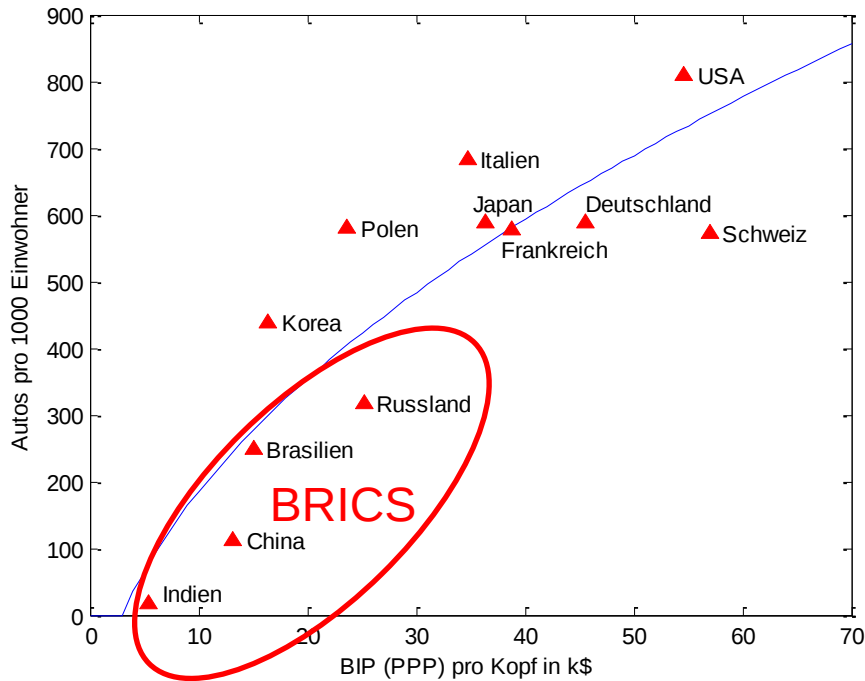


Luftverschmutzung,
Landverbrauch,
Klimaerwärmung,
Gefahrenstoffe,
...

Energiebedarf pro Kopf (2010)



Fahrzeugdichte (2015)



Energie ist **das** relevante Thema der Zukunft!

Was können wir tun?

Verhalten anpassen

- Weniger Mobilität
- Weniger Komfort
- Weniger energieintensive Produkte
- ...



Technische Ansätze

- Energieeffizienz erhöhen
- Technologien «sauberer machen»
- Nebenbedingung: Kosteneffizienz

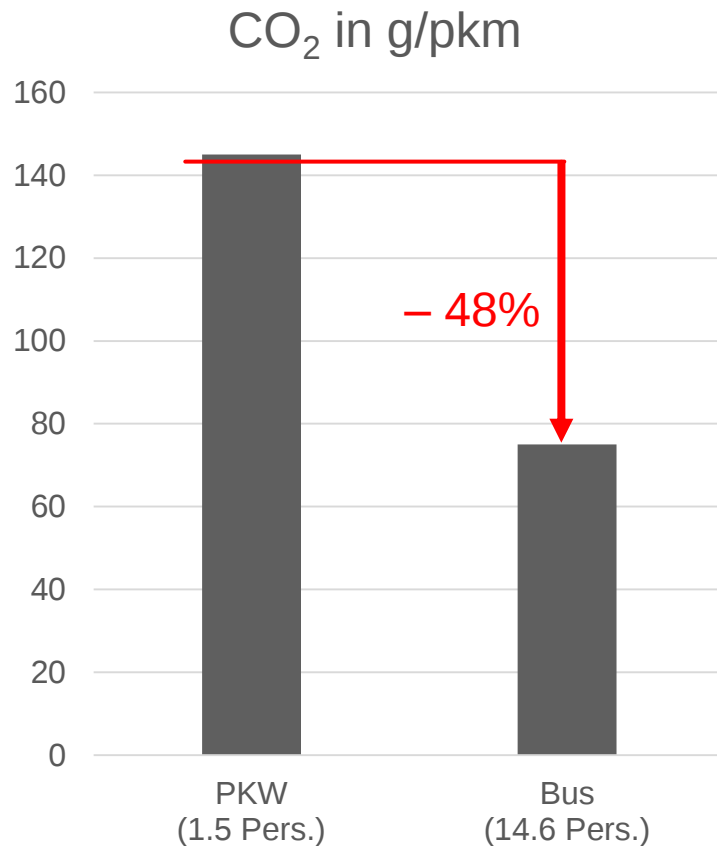


Öffentlicher Personennahverkehr



© HESS AG

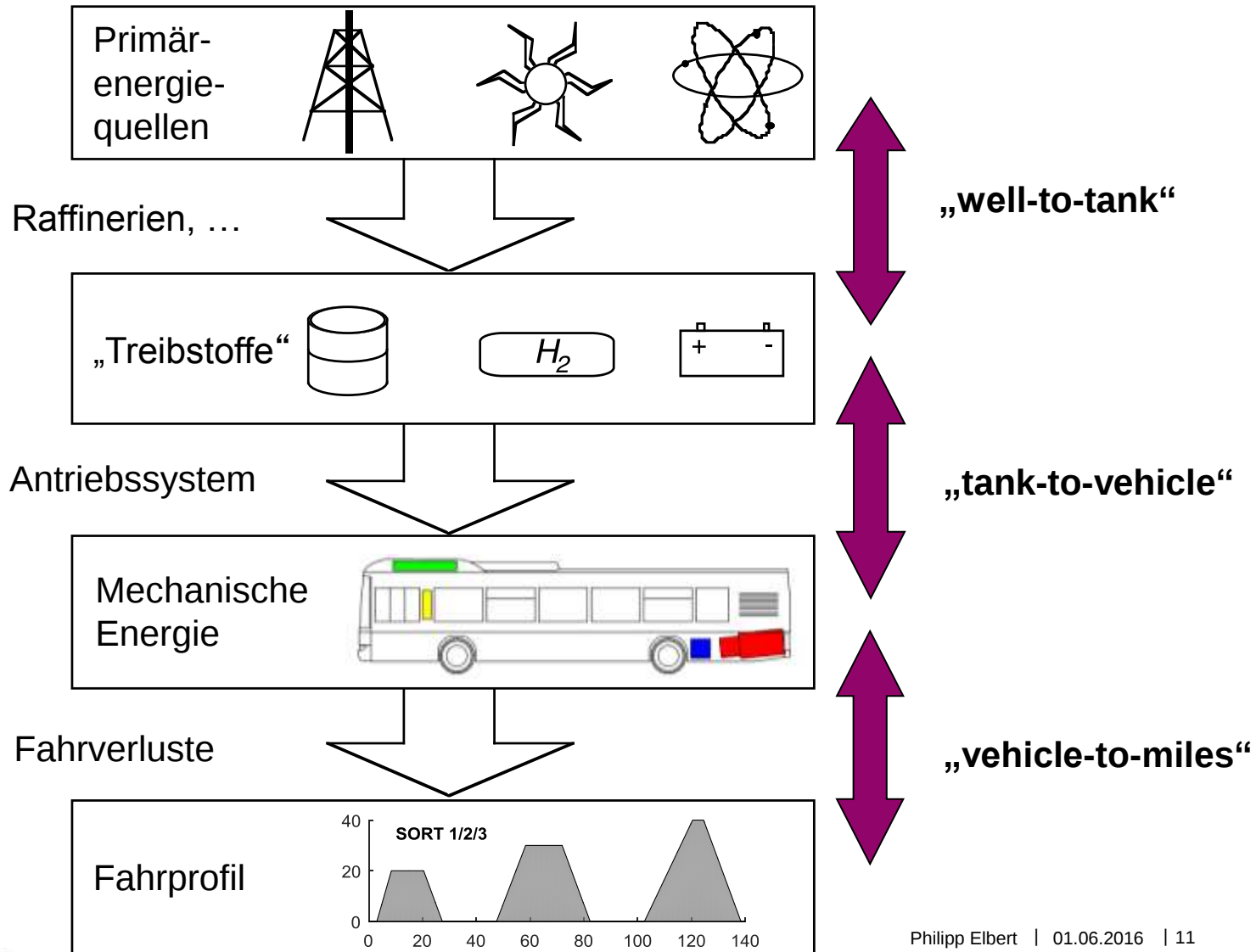
Öffentlicher Personennahverkehr mit Bussen



- Kollektive Fortbewegung ist inhärent effizienter

→ ÖPNV muss attraktiv bleiben!

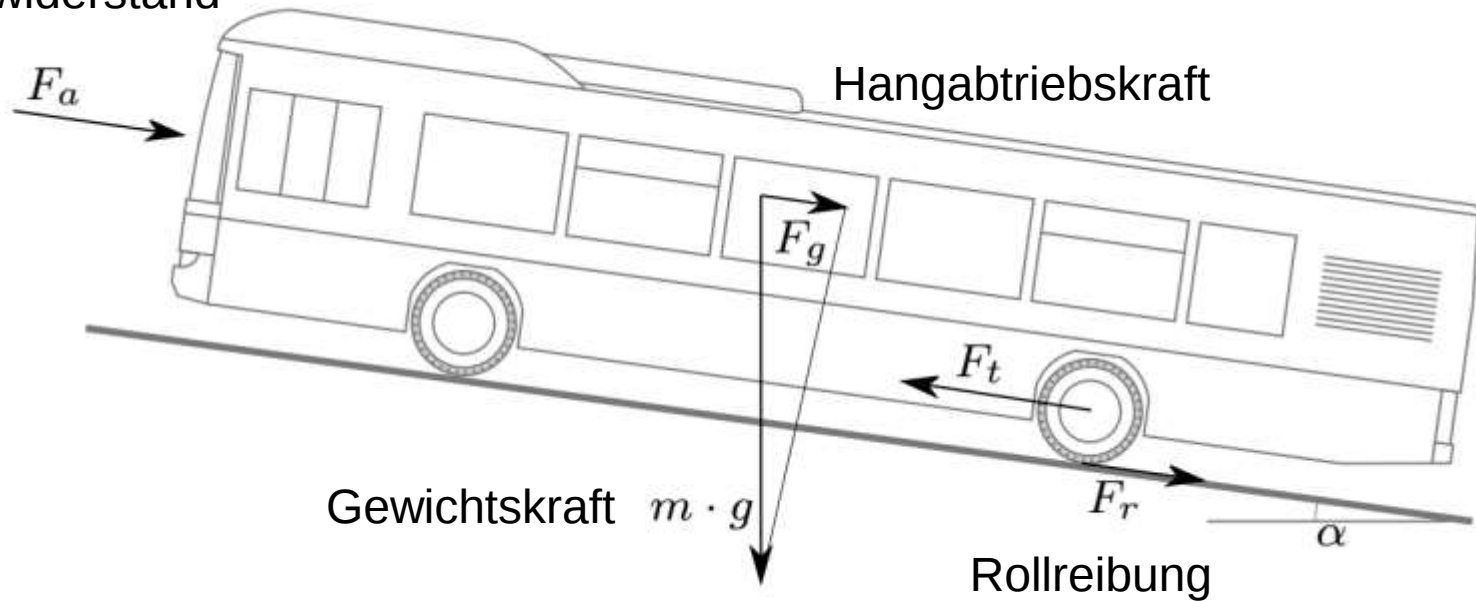
Energiewandlungskette



Quelle: "Vehicle Propulsion Systems"
Lino Guzzella & Antonio Sciarretta,
Springer Verlag, Berlin, 2005

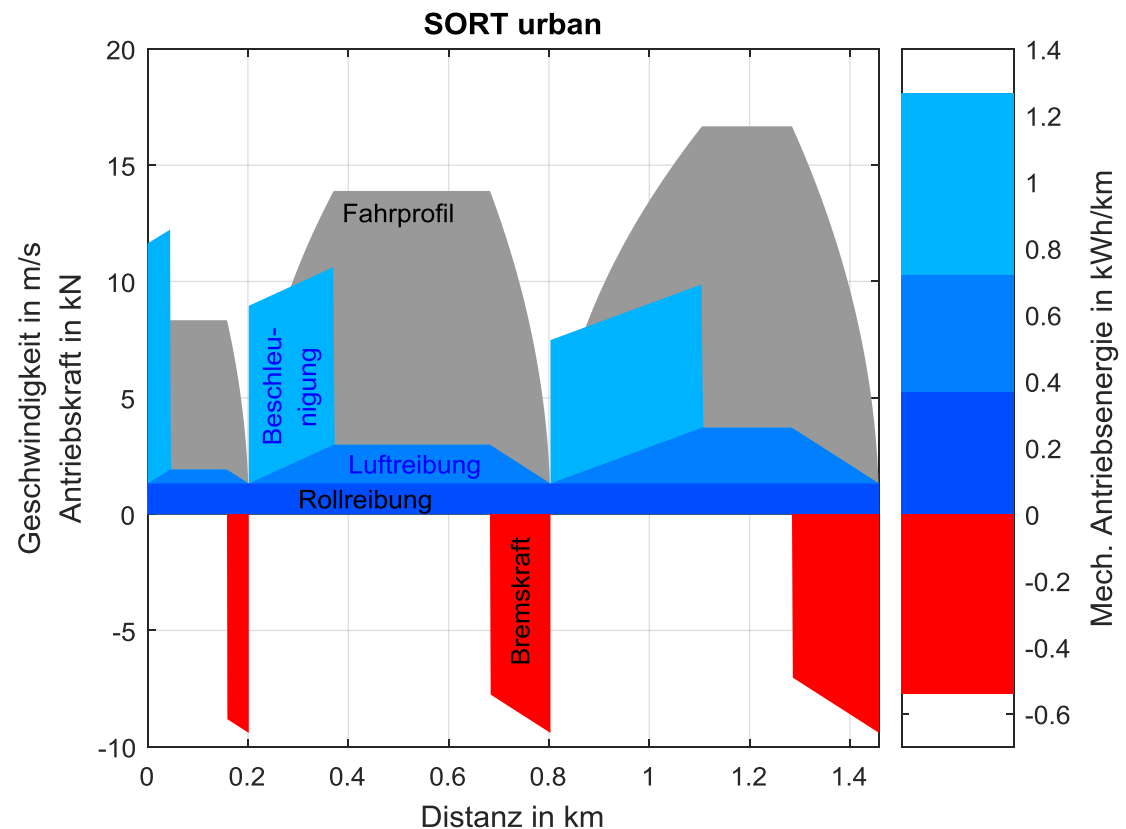
Kräfte am Fahrzeug

Luftwiderstand



Mechanischer Energiebedarf

- Bus:
12m Bus,
12 t Leergewicht
20 Passagiere
- Energiebedarf:
~1.2 kWh/km
- Potenzial für
Rekuperation:
~0.5 kWh/km
~30%

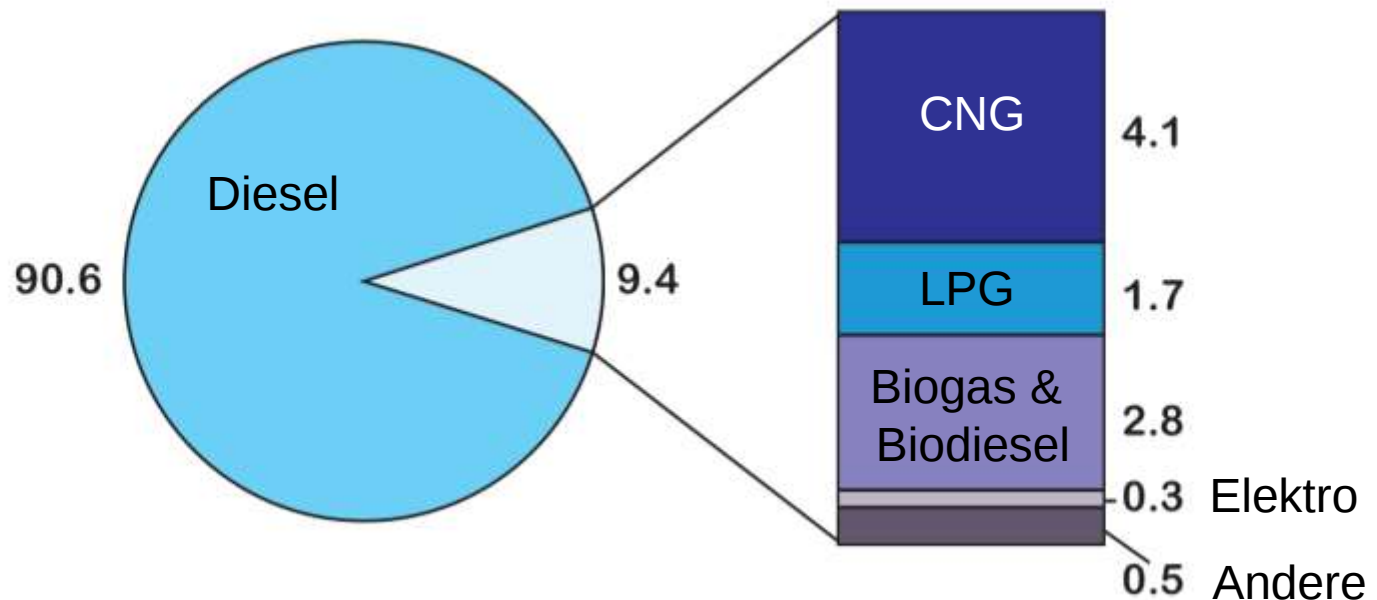


Dieselmotoren



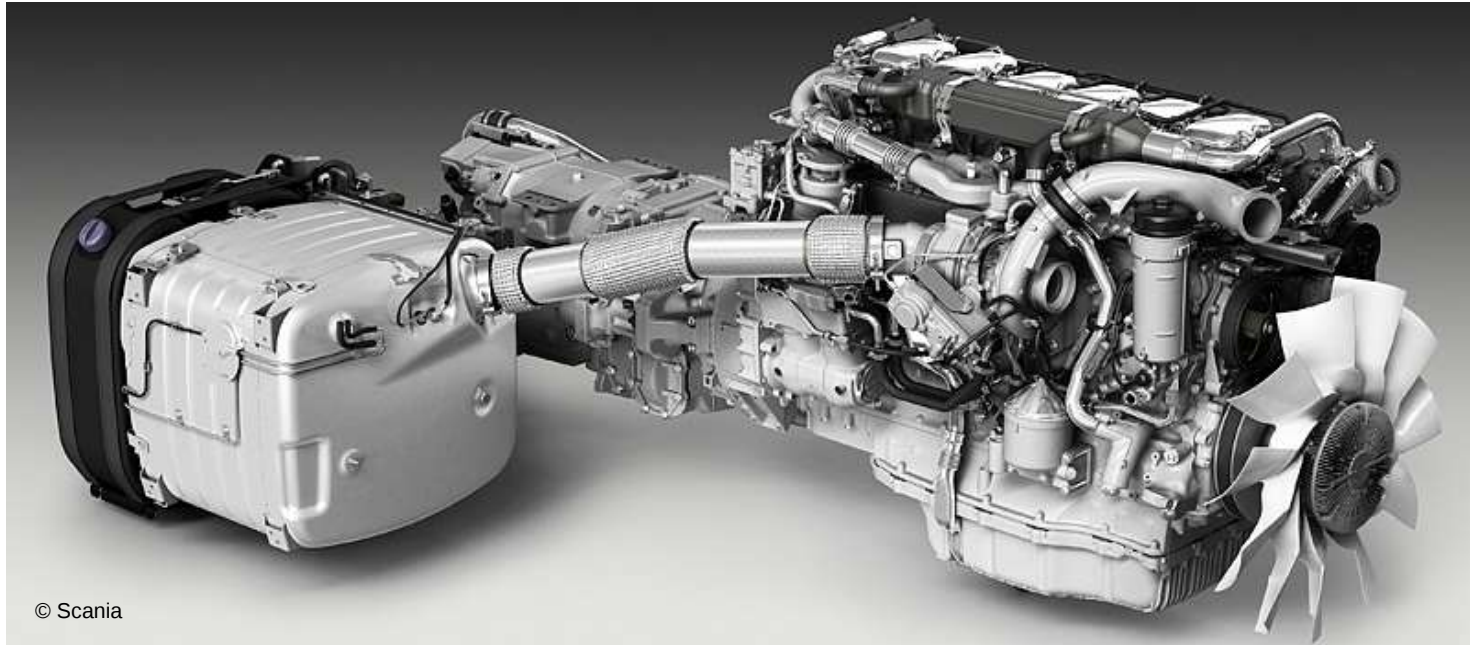
© HESS AG

Antriebsarten von Nahverkehrsbussen (EU)



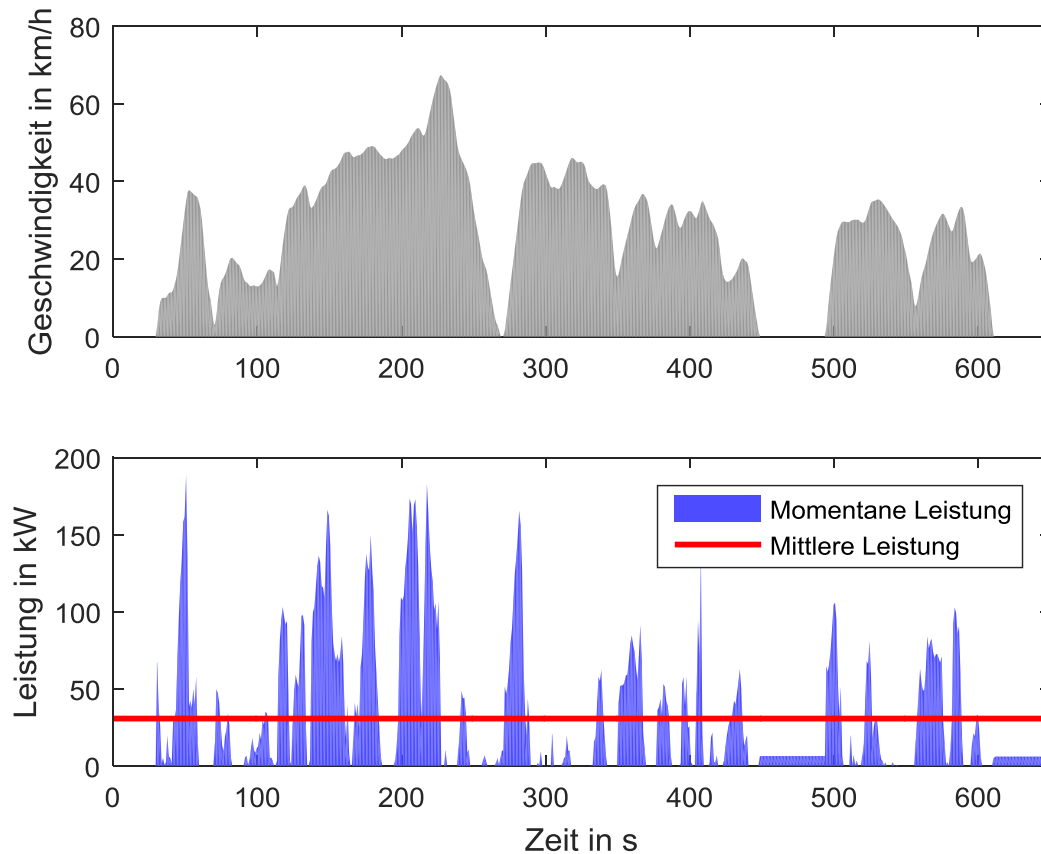
Die Dieseltechnologie ist aktuell die kosteneffizienteste und zuverlässigste Lösung

Abgasnachbehandlung



- Emissions-Gesetzgebung sehr streng für Heavy-Duty-Motoren
- Effektive Abgasnachbehandlungssysteme im Einsatz

Traktionsleistung im typischen Betrieb



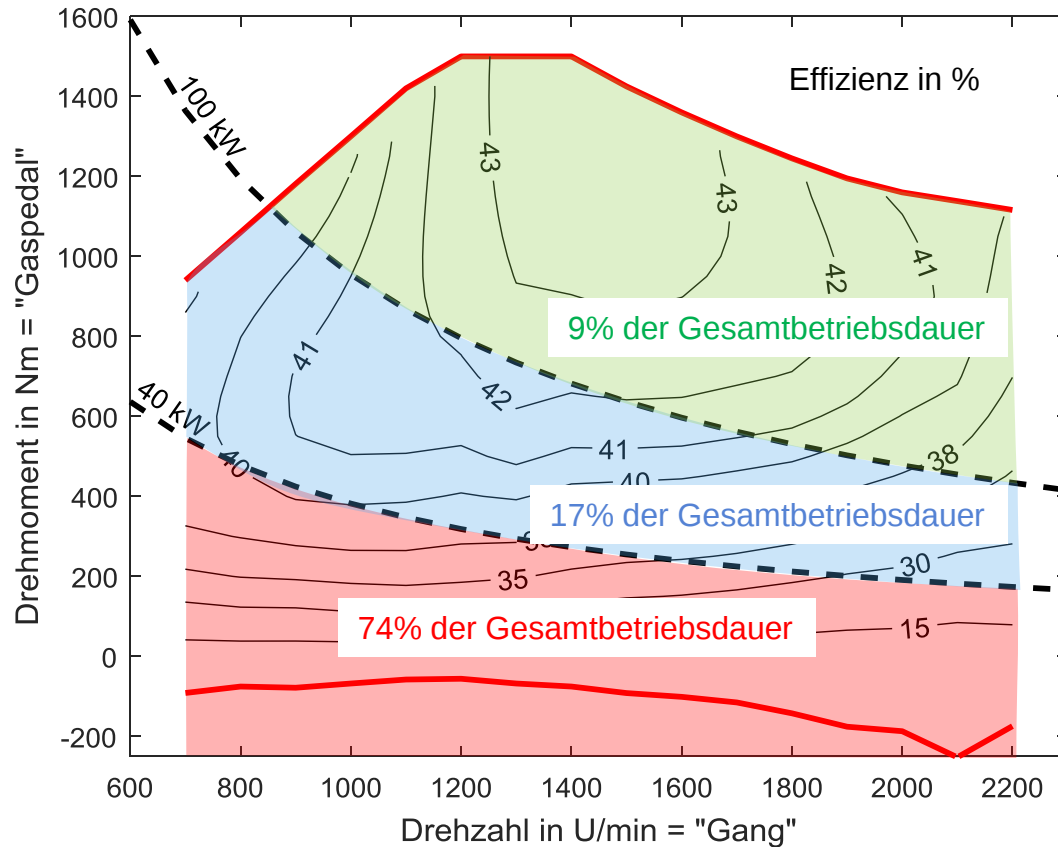
- Beschleunigung:

$$\hat{P}_{trc} \approx 200 \text{ kW}$$

- Mittel:

$$\bar{P}_{trc} \approx 30 \text{ kW}$$

Teil-Last-Problem



Verbrennungs-
motoren ineffizient
bei Teillast

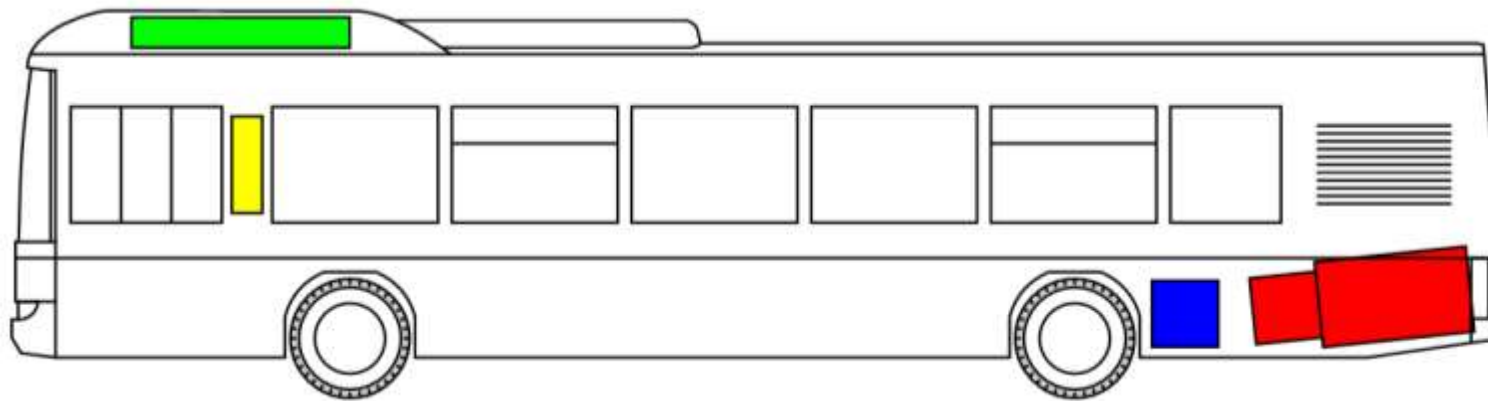
$$\eta_{\max} > 43\%$$

$$\eta_{\text{avg}} \approx 37\%$$

Hybrid-Technologie



AHEAD-Prototyp



Länge 12 m

85 Passagiere

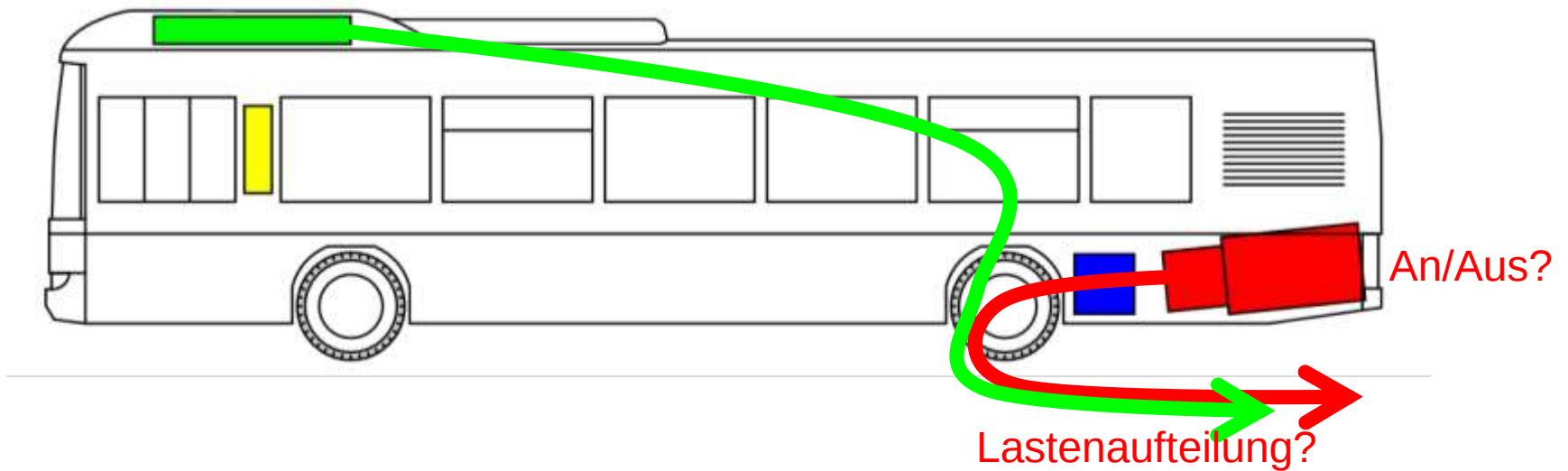
Leergewicht 13.5 t

Elektromotor 280 kW

Dieselmotor 6.7 l, 165 kW

Supercaps 625 Wh, 300 kW

AHEAD-Prototyp



Energiebedarf = f(Energiemanagement)

↑
by ETH Zürich

Linieneneinsatz bei den Heidenheimer Verkehrsbetrieben

Diesel vs Hybrid:



Vorfahrt für die Elektromobilität

Zumindest versuchsweise: HVG setzt Bus mit Hybridantriebssystem von Voith ein

Auf den ersten Blick ist es ein Bus wie jeder andere. Nur die Geräuschkulisse ist anders: Es pfeift – was mit der pfiffigen Technologie zu tun hat, die die auf den Straßen Heidenheims als Testfall unterwegs ist und im Linieneinsatz der HVG ihre Alltagstauglichkeit zeigen soll.

STATT SCHREIEN

Die Versuchsanordnung geht auf nach hinten. Das hier entwickelte Antriebskonzept bildet das Herzstück des Elektromobilitätsprojekts, das seit Oktober unter der Flagge der Heidenheimer Verkehrsbetriebe läuft. Bei dem sechsachsigen Linienbus sind jedoch nur zwei Achsen mit Elektromotoren ausgestattet, wie sich die rote Voith-Box auf dem Heck des Busses zeigt.

Die Voith eine Voith, eine Generalleiste spielt dabei der schwedische Hersteller Hilti, der das Fahrzeug gefertigt und das Hybridantriebssystem integriert hat. Letzteres basiert auf Voith auf der Grundlage aller Hybridantriebe. „Es geht darum, möglichst viel des besten Stroms aus der Batterie zu speichern und beim Beschleunigen wieder zu nutzen. Damit lässt sich Kraftstoff sparen und der Ausstoß an unerwünschten Kohlendioxid reduzieren.“

Bei diesem versierten Hybrid ist es nicht nur der Verbrennungsmotor, der die Fahrleistung steuert, sondern auch das Fahrwerk. Das überträgt die Rolle eines Gesamtsystems, der Verbrennungsmotor reduziert, der wiederum in Batterien auf dem Dach des Busses gespeichert wird – um auch die beim Bremsen erzeugte Energie zurückzufassen. Das Fahrwerk der HVG überträgt elektrische Ladungen, was zu einem besseren Wirkungsgrad als bei konventionellen Antrieben führt.

Der Modellbetrieb wird von Busbetriebsbetriebsstellen im Auftrag des HVG-Modellbetriebs geleitet. Die von der gemeinsamen praktischen Erfahrung werden im Auftrag des Modellbetriebs angetrieben und mit anderen Versuchsfahrzeugen in den Modellbetriebs verglichen.

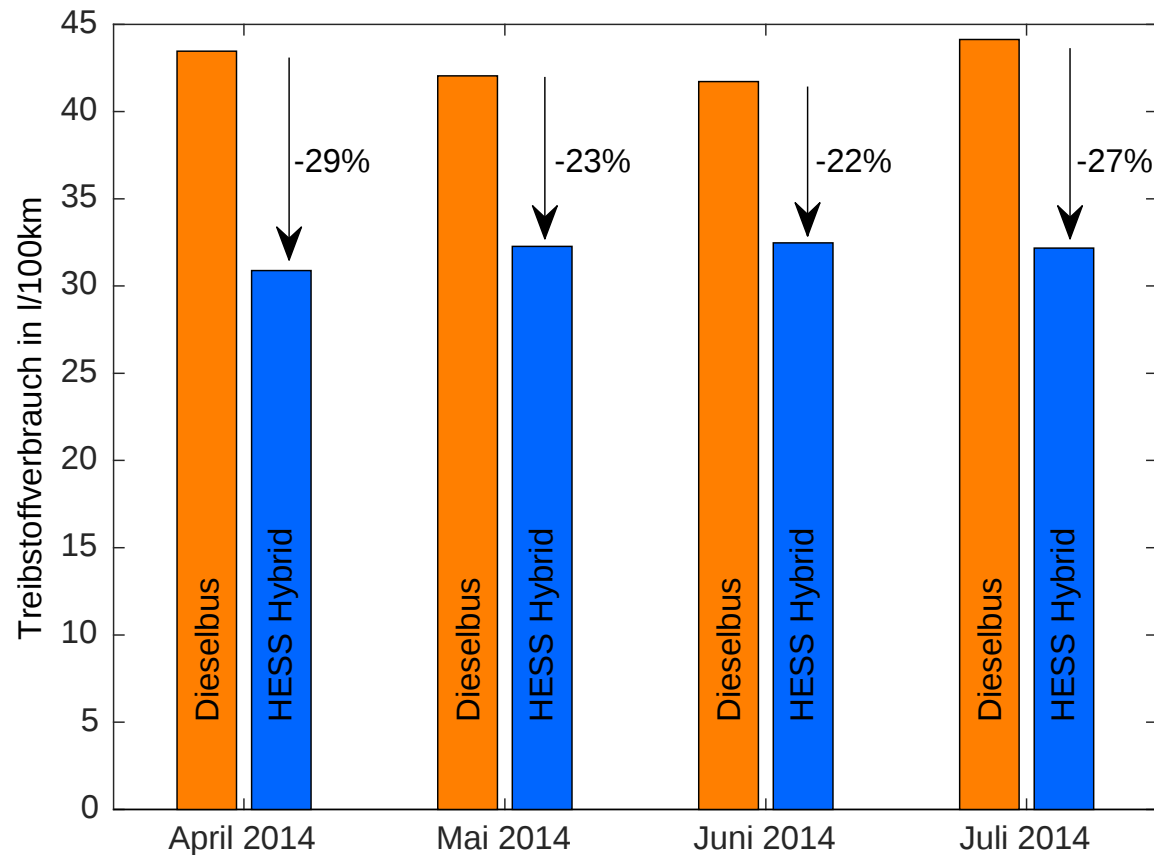


Nur ausprobiert auf Testfahrt: Im Alltag ist der Dieselhybridbus im ganz normalen Linieneinsatz eingebunden. HVG-Betriebsleiter Klaus Kling und Werkstattchef Klaus Peter Kling (links oben, links), begleitet den Modellbetrieb ebenso aufmerksam wie Ulrich Juchacz, der durch selbst am Steuer sitzt. Der Blick von oben offenbart die 700 Kilo schweren Batterien auf dem Dach des Busses.

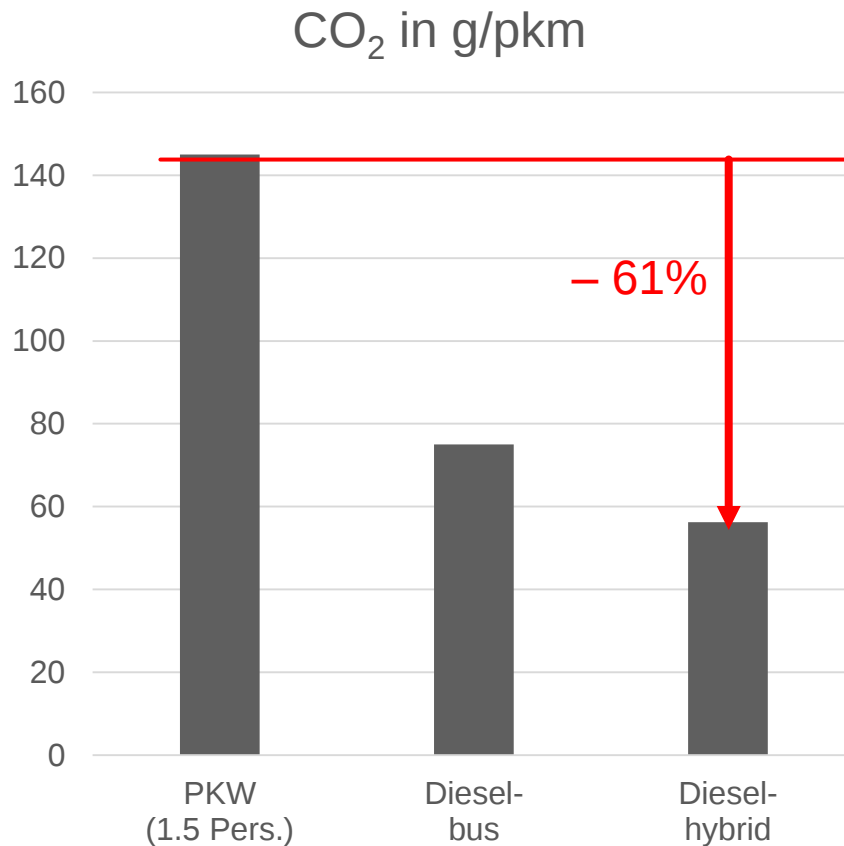
Insbesondere sind diese auch die HVG-Fahrer, die die Vorteile der Voith-Boxen nutzen, wenn es um den von Voith an der Heidenheimer Verkehrsbetriebe vertriebenen Bus handelt. Der ist ganz normal im Stadtbetrieb auf der Linie 1 und durch auf einer gleichbedeutenden Strecke eingesetzt, um bestehende Stationen als Vergleichsfahrzeuge. Bewegungsmuster werden können. Die Daten werden von Hauptstadt-Geodaten basieren, bei den die Heidenheimer Verkehrsbetriebe als Vergleichsfahrzeuge eingesetzt werden können. Die Daten werden von Hauptstadt-Geodaten basieren, bei den die Heidenheimer Verkehrsbetriebe als Vergleichsfahrzeuge eingesetzt werden können.

Heidenheimer Zeitung,
Mi. 27. Nov. 2013

Diesel vs Hybrid auf Linie 1



Hybrid-Technologie



- Das Einsparpotenzial von Bus gegenüber PKW kann von 48% auf 61% angehoben werden.

AHEAD-Projekt

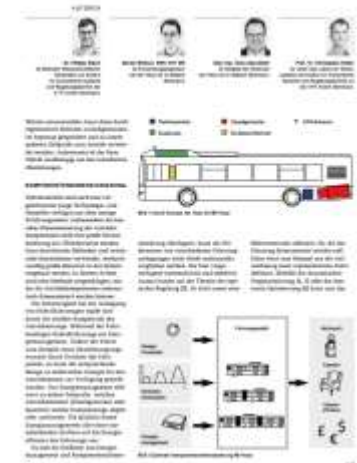


www.ahead.ethz.ch



Watt d'Or '15
Bundesamt für
Energie, Schweiz

MTZ 05/16



O-Bus-Technologie



© HESS AG

O-Bus

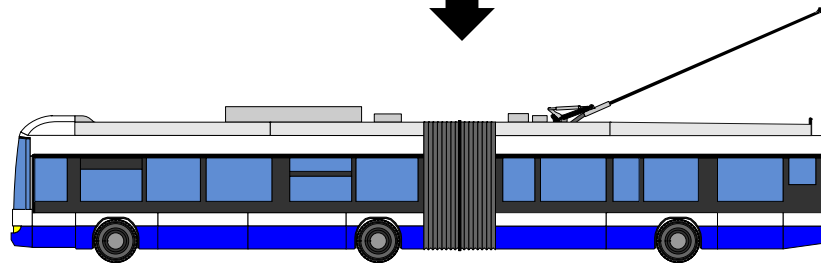
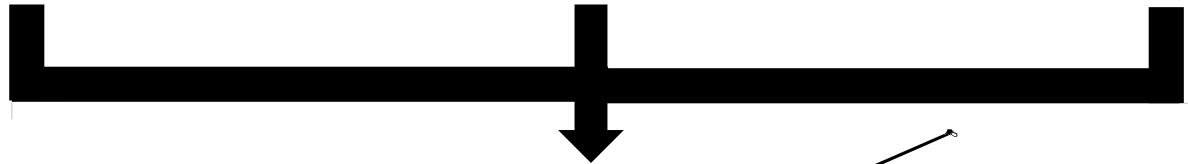
Kohle:
~120 gCO₂/pkm



Gas & Dampf Kombi:
~45 gCO₂/pkm



Wasser/Wind/Kernkraft:
~0 gCO₂/pkm

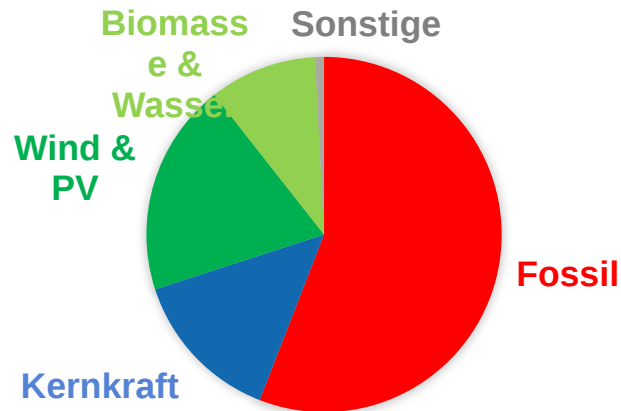


1.4 kWh/km mech., ~14.6 Pers.

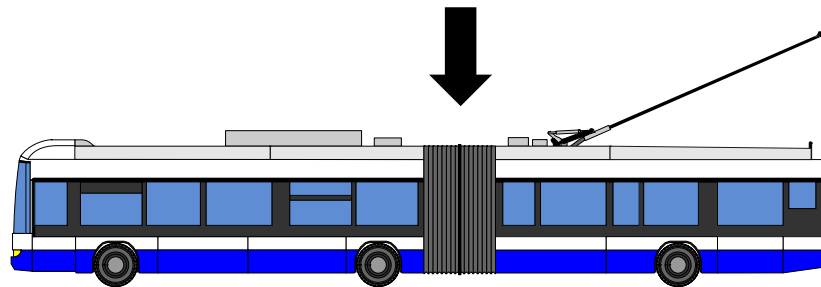
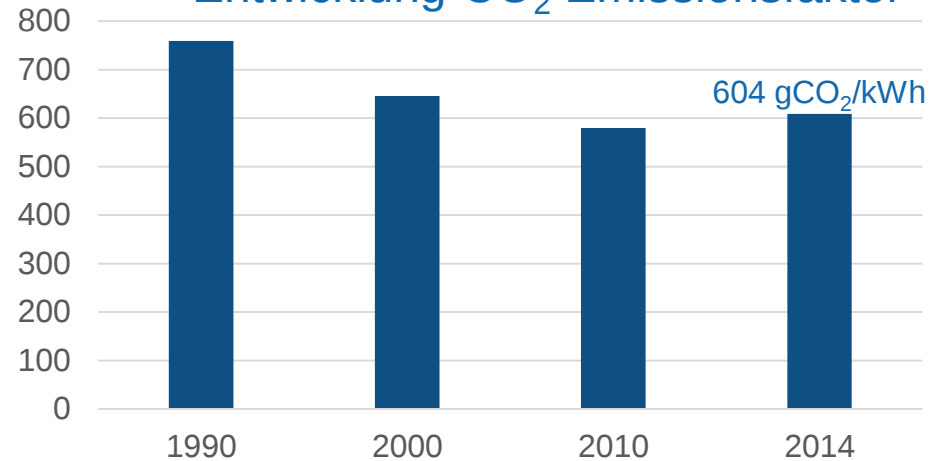
O-Bus

Deutscher Strommix:
~70 gCO₂/pkm

Stromerzeugung 2015

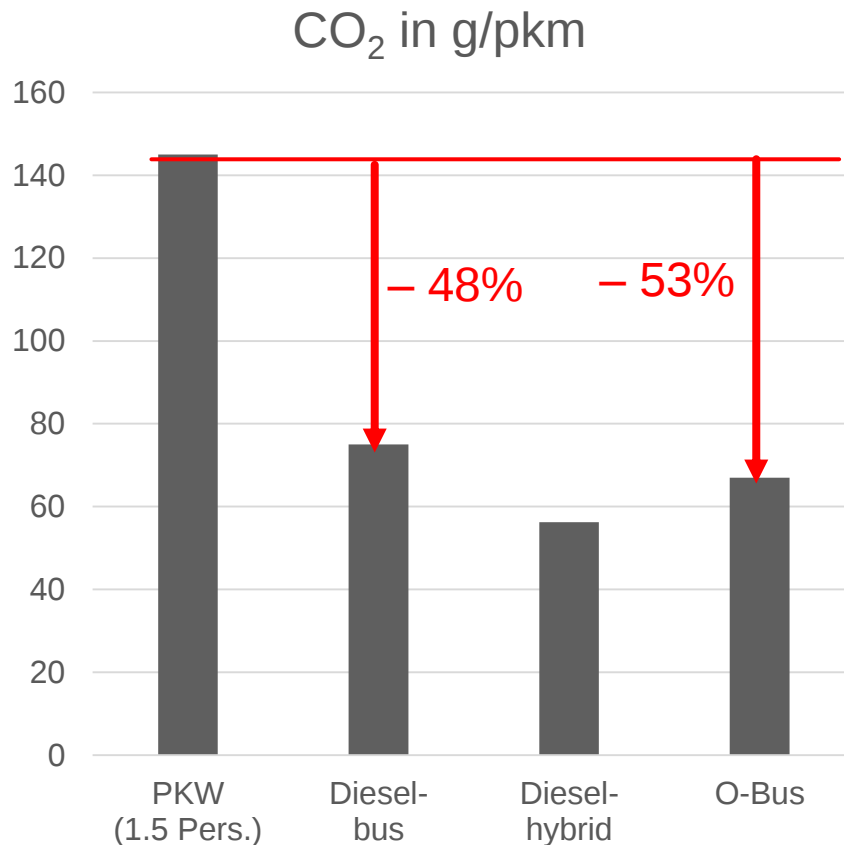


Entwicklung CO₂ Emissionsfaktor



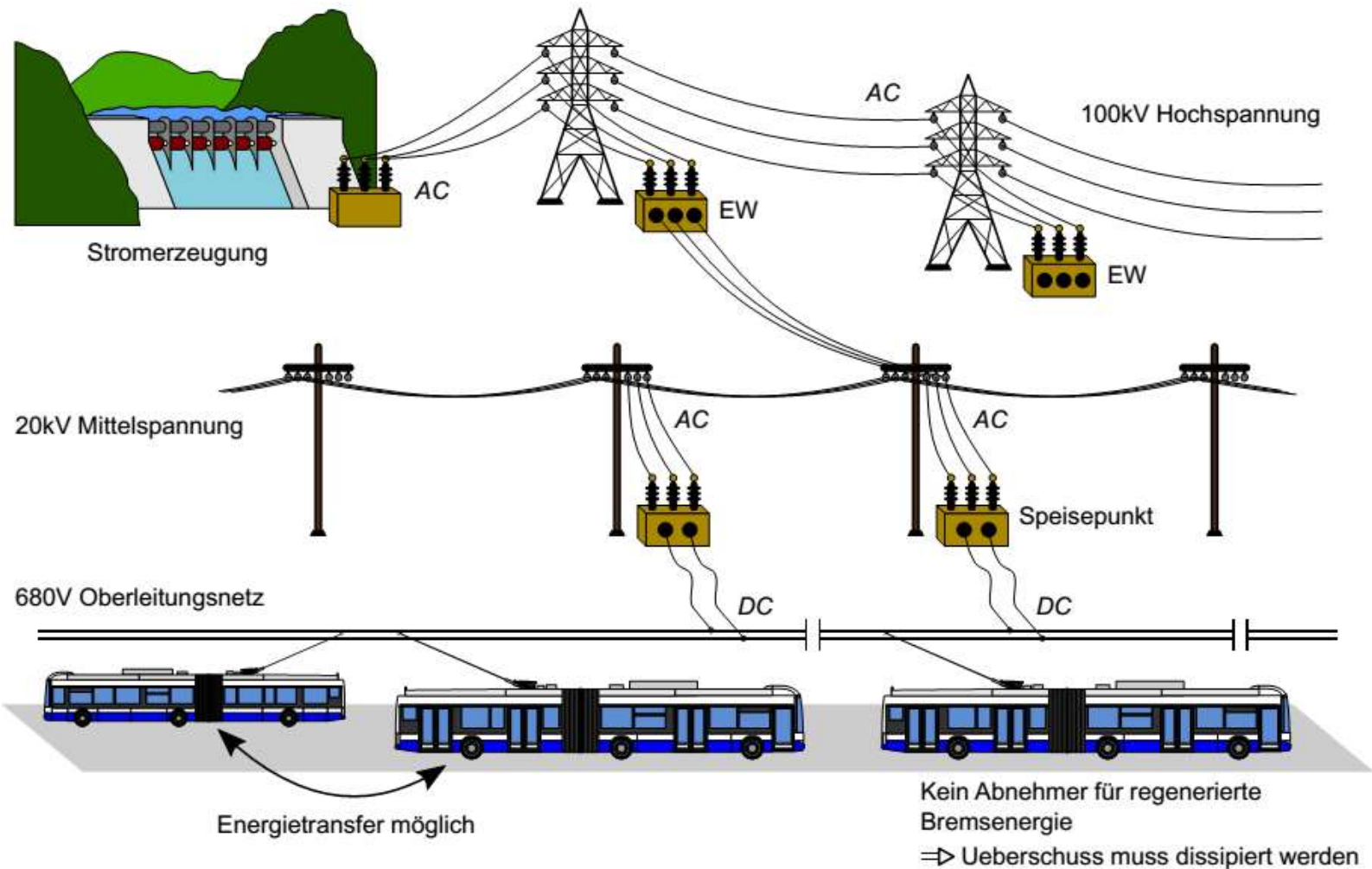
1.4 kWh/km mech., ~14.6 Pers.

O-Bus

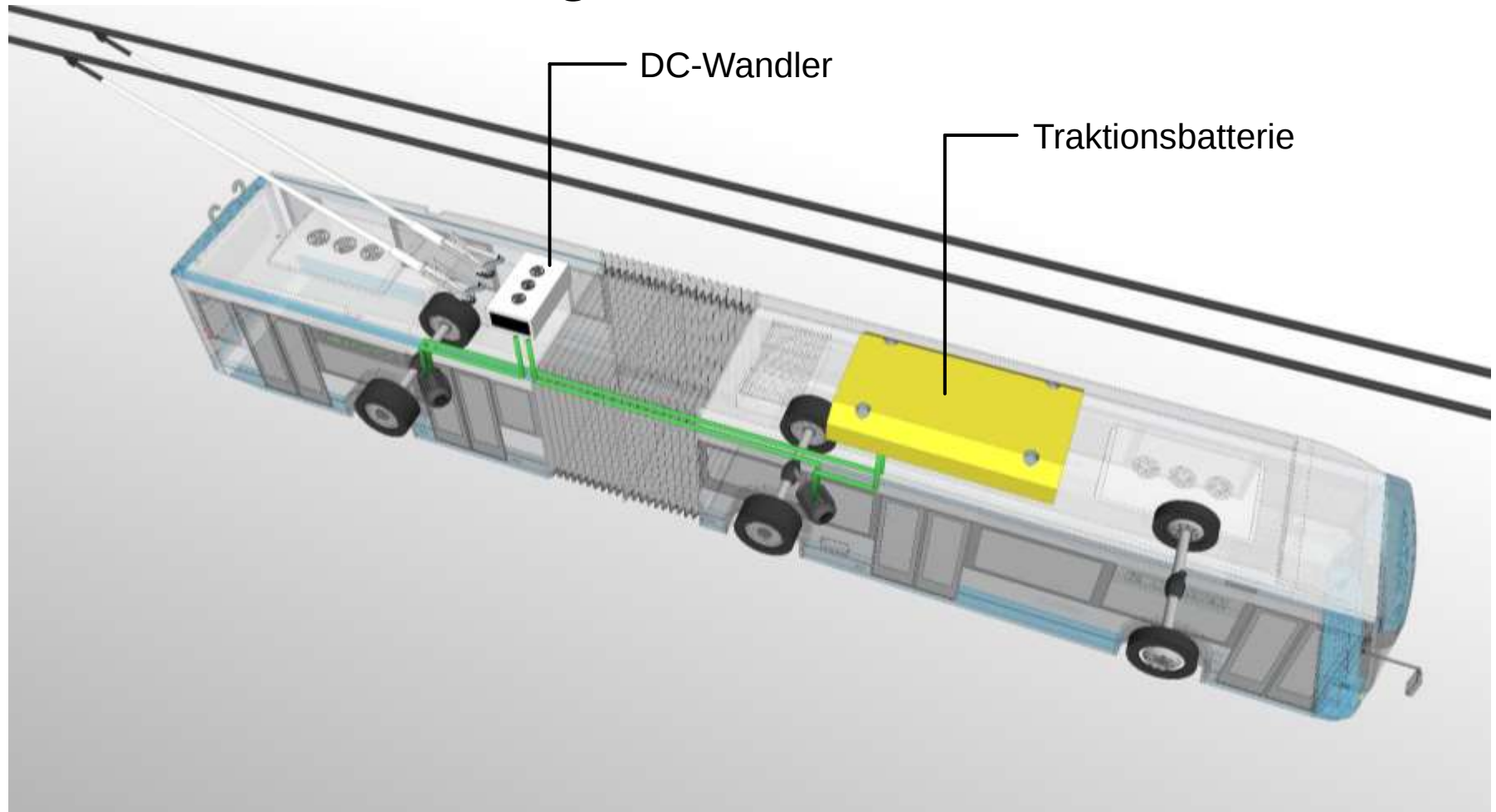


- O-Bus schneidet mit deutschem Strommix nur leicht besser ab als Dieselbus
- CO₂-Emissionsfaktor des deutschen Strommix: tendenz steigend.

Struktur des Oberleitungsnetz

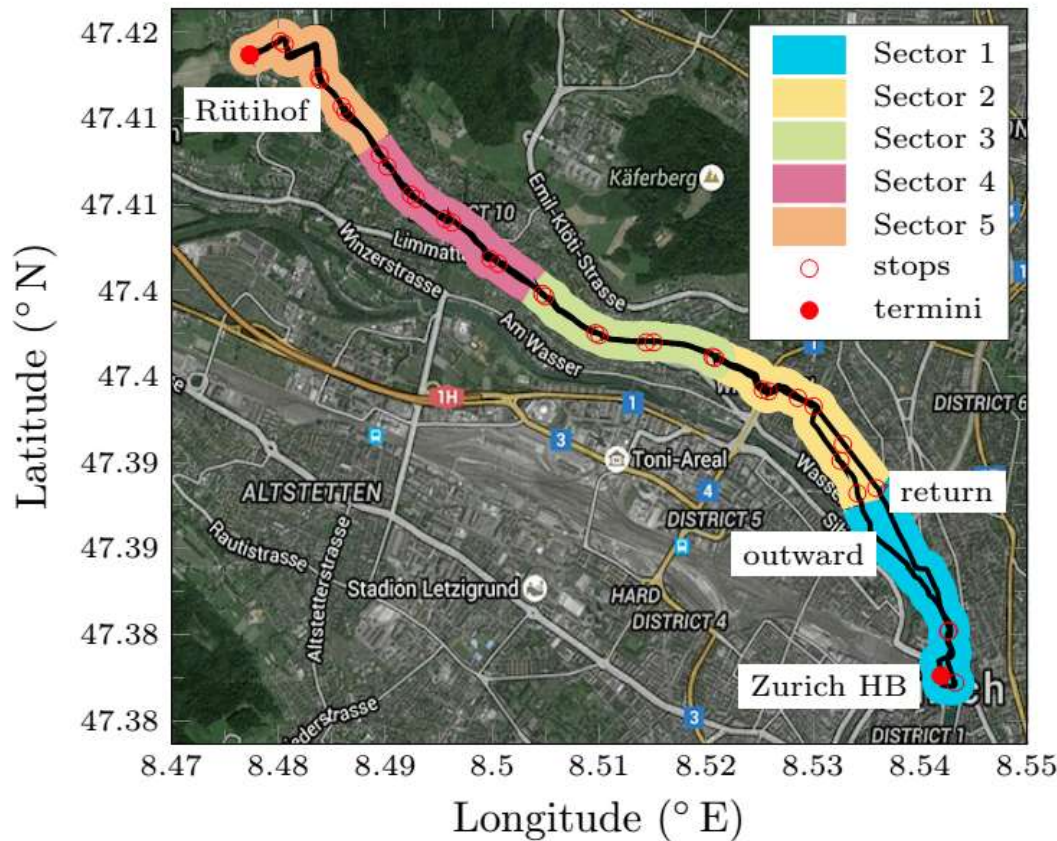


HO-Bus-Technologie



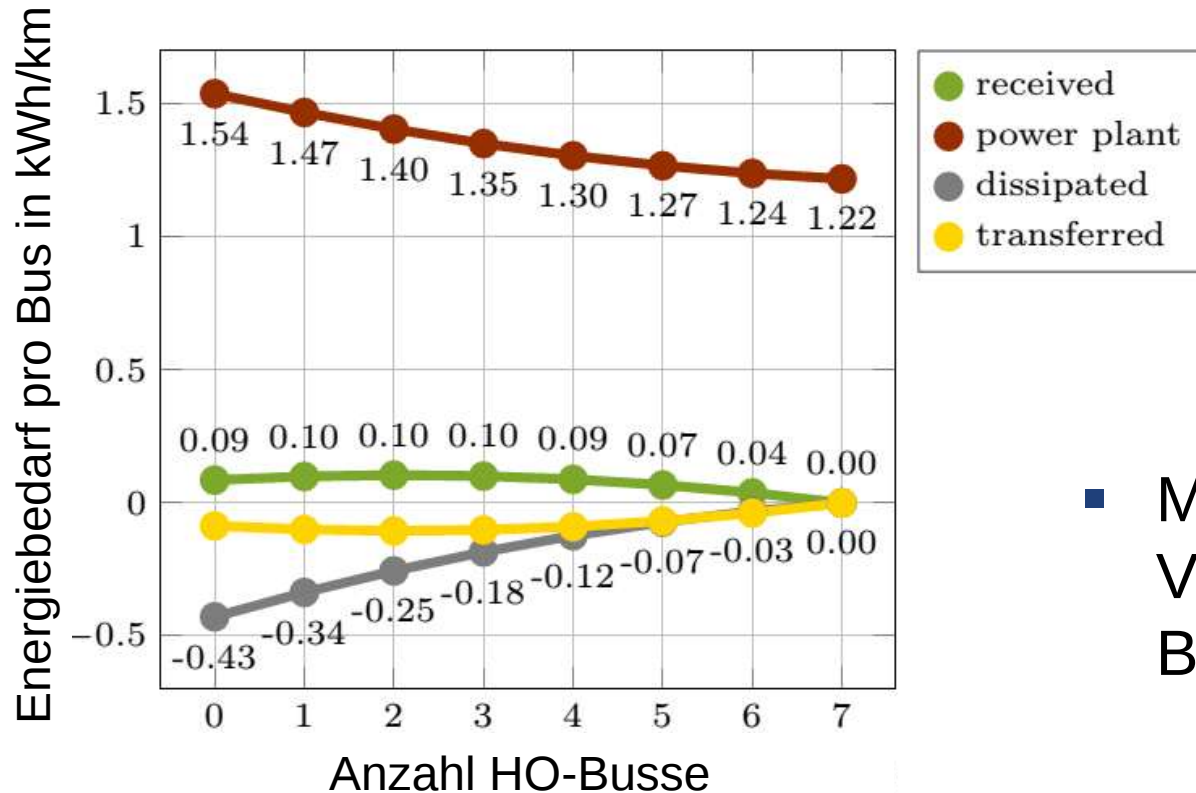
Studie: O-Bus Linie 46

Bus Line Number 46 of Zurich



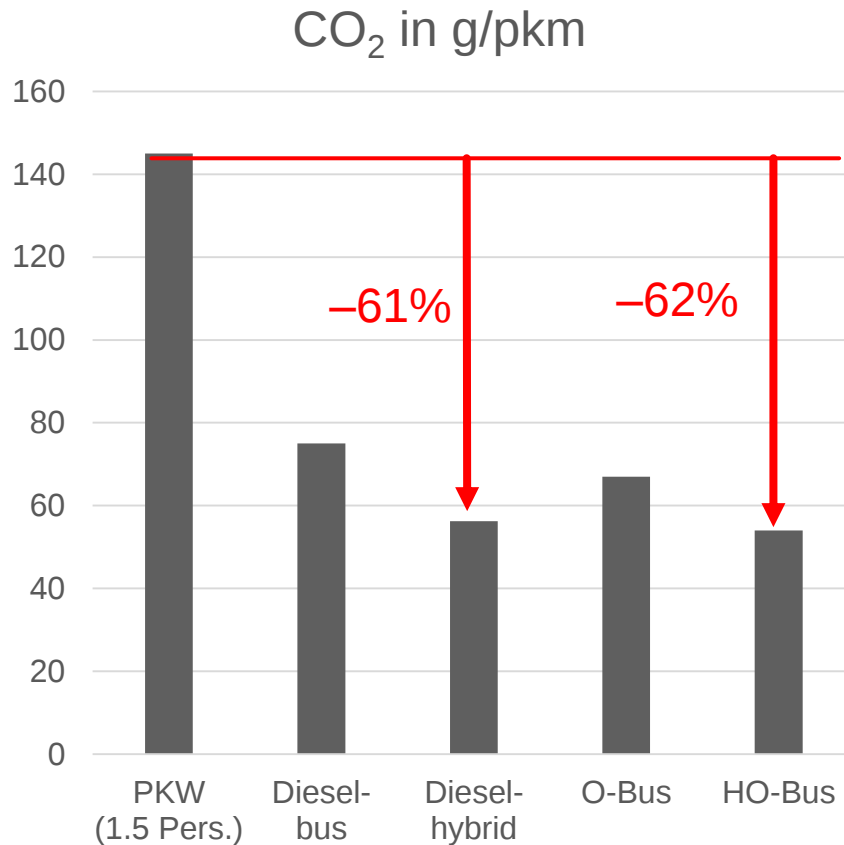
- 7 Gelenkbusse im 7 bis 8 Minuten-Takt
- O-Busse verschwenden ca. 20% Bremsenergie

Studie: O-Bus Linie 46



- Mit HO-Bussen keine Verschwendung von Bremsenergie.

HO-Bus

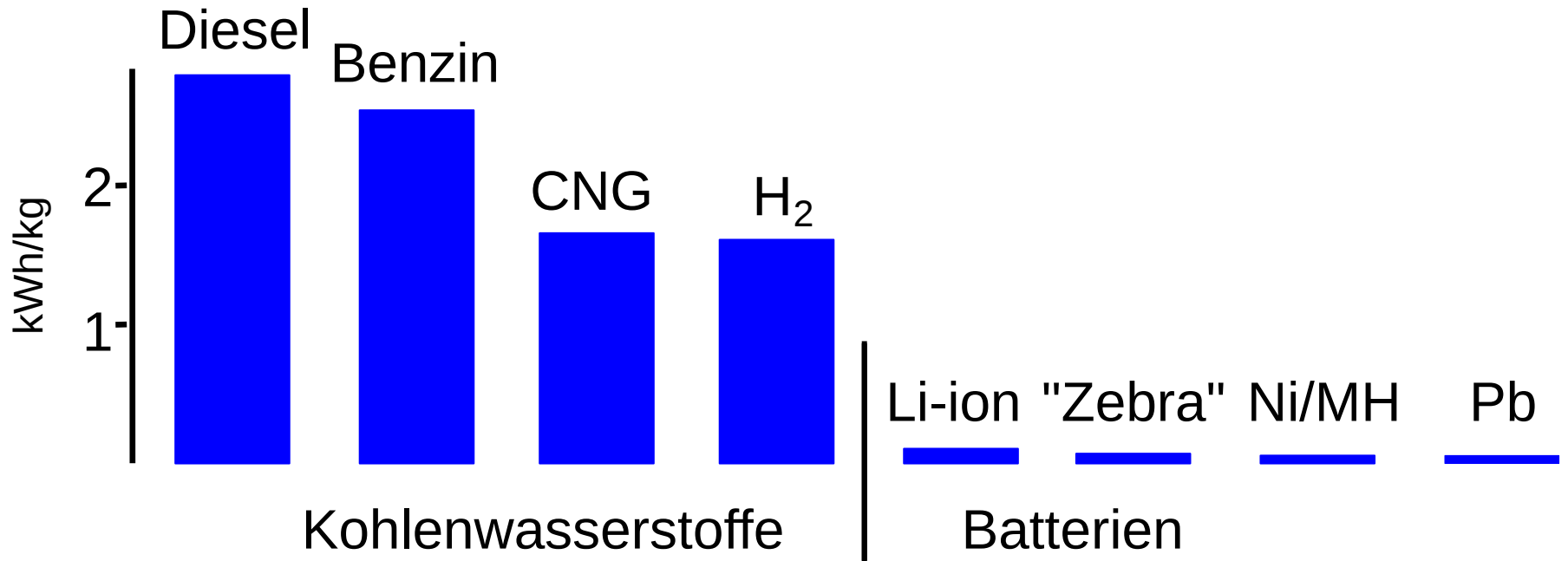


- Mit deutschem Strommix ähnlich CO₂-intensiv wie Diesel-Hybrid

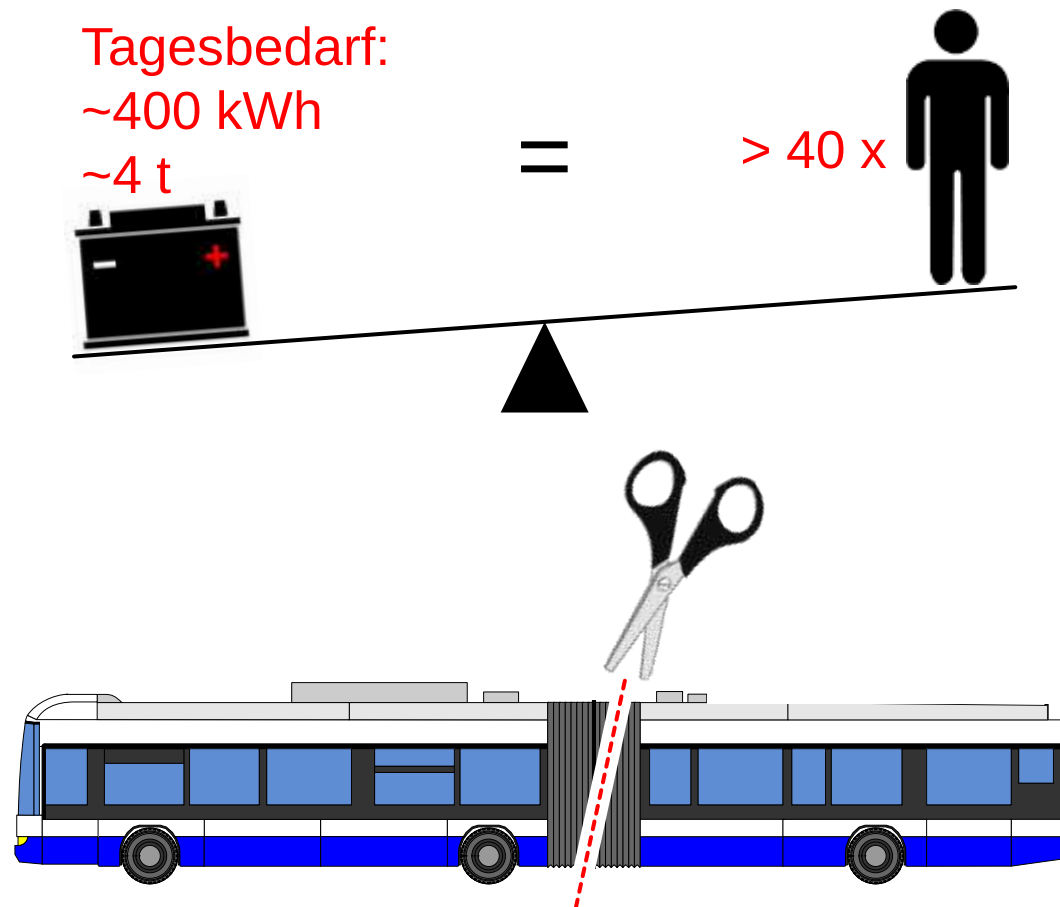
Batterie-Bus-Technologie



Energiedichten Bordenergieträger

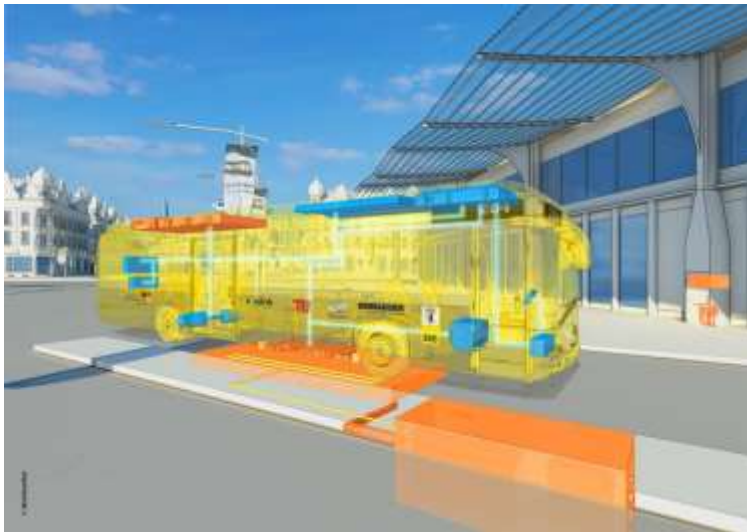


Batterie-Bus-Technologie ohne Nachladung auf Strecke



Batterie-Bus-Technologie mit Nachladung auf Strecke

~2 kWh in 12 s = ~ 600 kW



© Bombardier



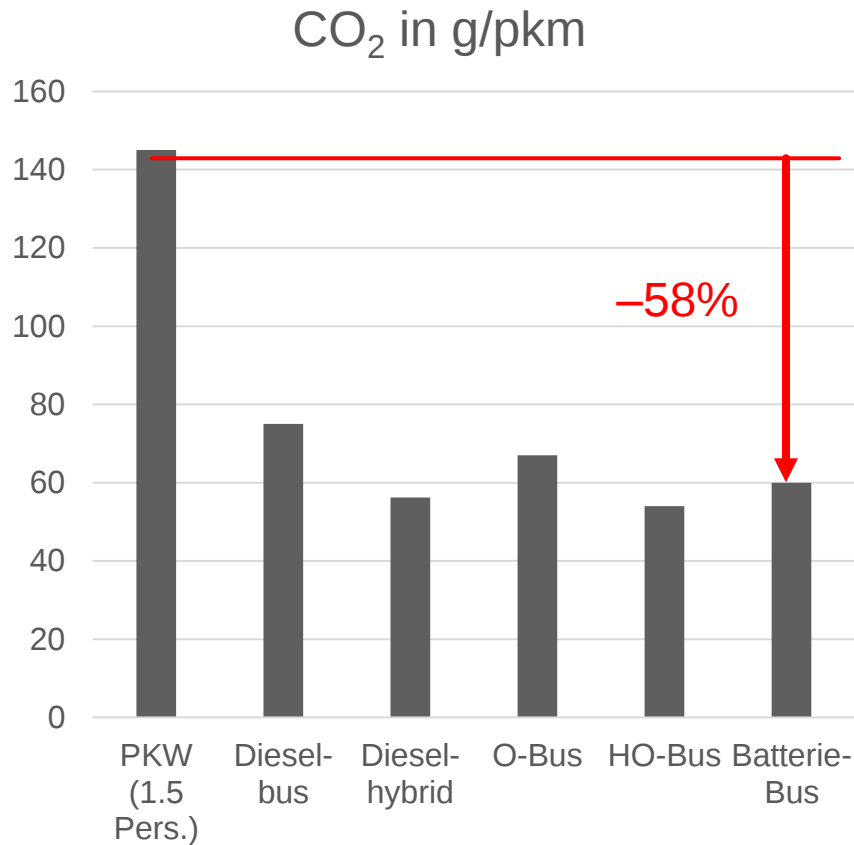
© ABB

Bauliche Maßnahmen + Zwischenspeicher & Elektronik

Lade-Verluste ~10%

Batterieverluste ~5%

Batterie-Bus



- CO₂ Emissionen ähnlich zu O- und HO-Bus

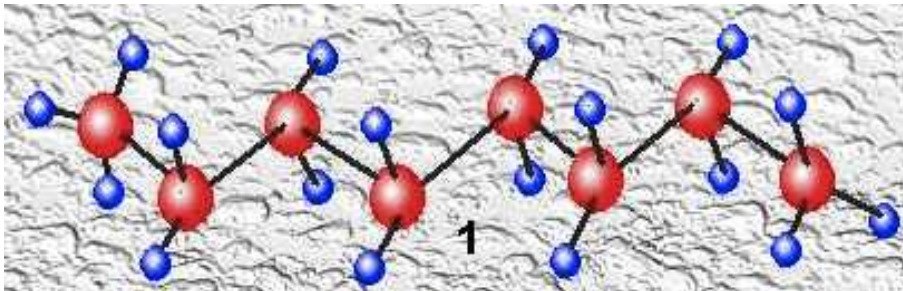
Erdgas?



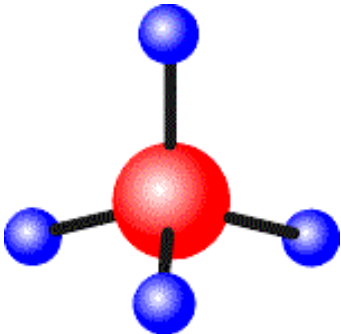
Quelle www.erdgas-mobil.de

Gasmotoren

Diesel

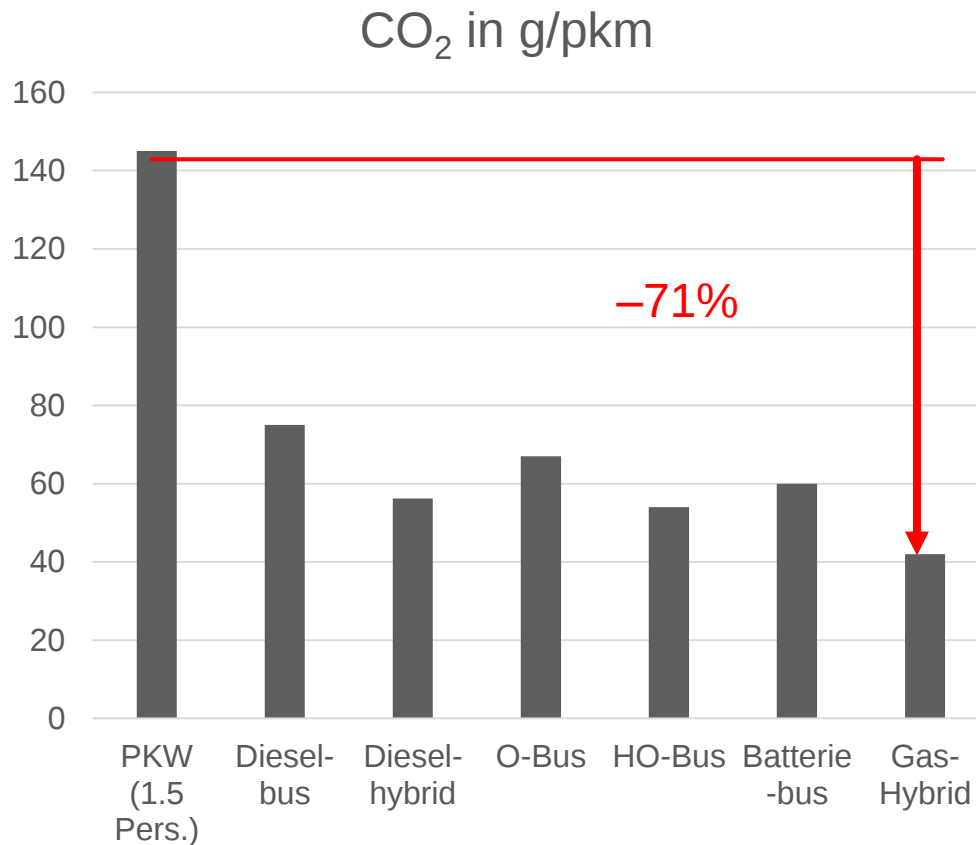


Methan



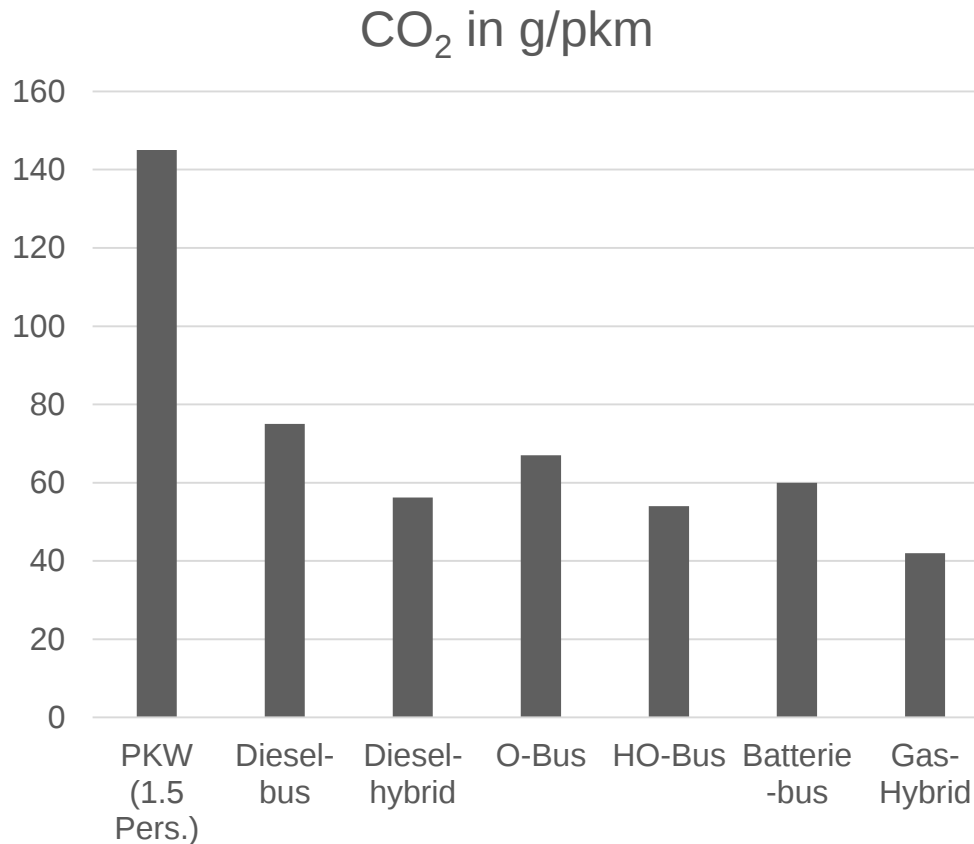
- C/H-Verhältnis:
Diesel: $\sim 1/2$
Erdgas: $\sim 1/4$
- CO₂-Emissionen:
Diesel: 265 g/kWh
Erdgas: 198 g/kWh
→ **-25 %**

Erdgas-Hybrid?



- Theoretisches Potenzial von bis zu 70%.

Fazit



1. ÖV effizienter als PKW
2. Dieselbusse schöpfen CO₂-Vorteil gegenüber PKW zum grossen Teil aus
3. Elektrobusse bieten nur geringen zusätzlichen CO₂-Vorteil
4. Hybridisierung sinnvoll, Energiemanagement wichtig



www.idsc.ethz.ch