

Die Personenwagen der Zukunft

Ist «Zero-Emission» beim Auto auch klimaneutral?

Leibstadt, 11. September 2008

Philipp Dietrich

Competence Center Energy and Mobility (CEM)

Fahren...

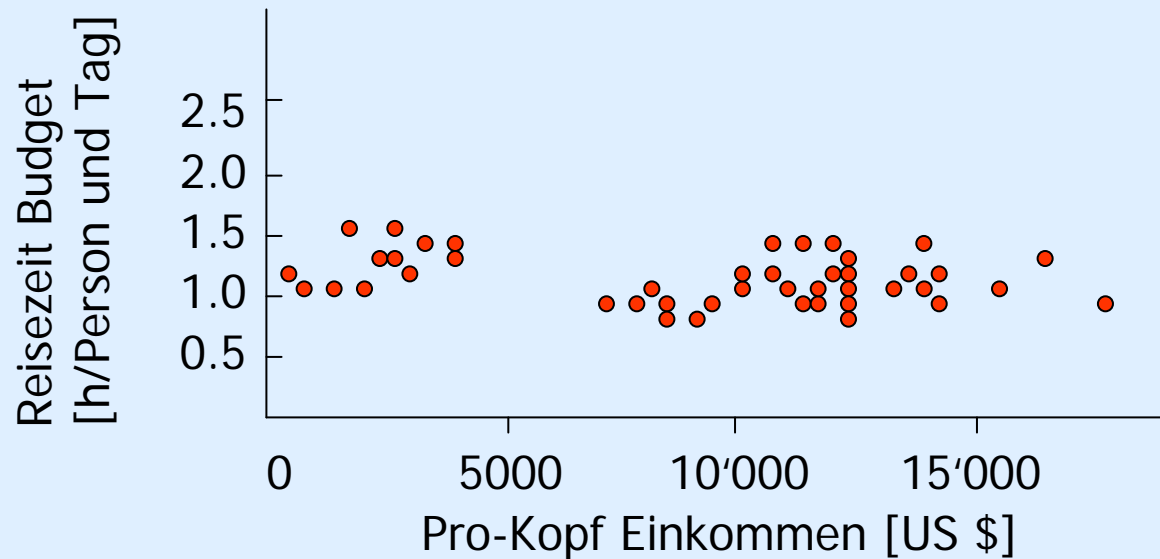


... aber ohne Steuerrad

Agenda

- Grundlagen unserer individuellen Mobilität
- Wo stehen wir heute?
- Antriebe – Wo könnte die Reise hingehen?
- Treibstoffe in der Zukunft

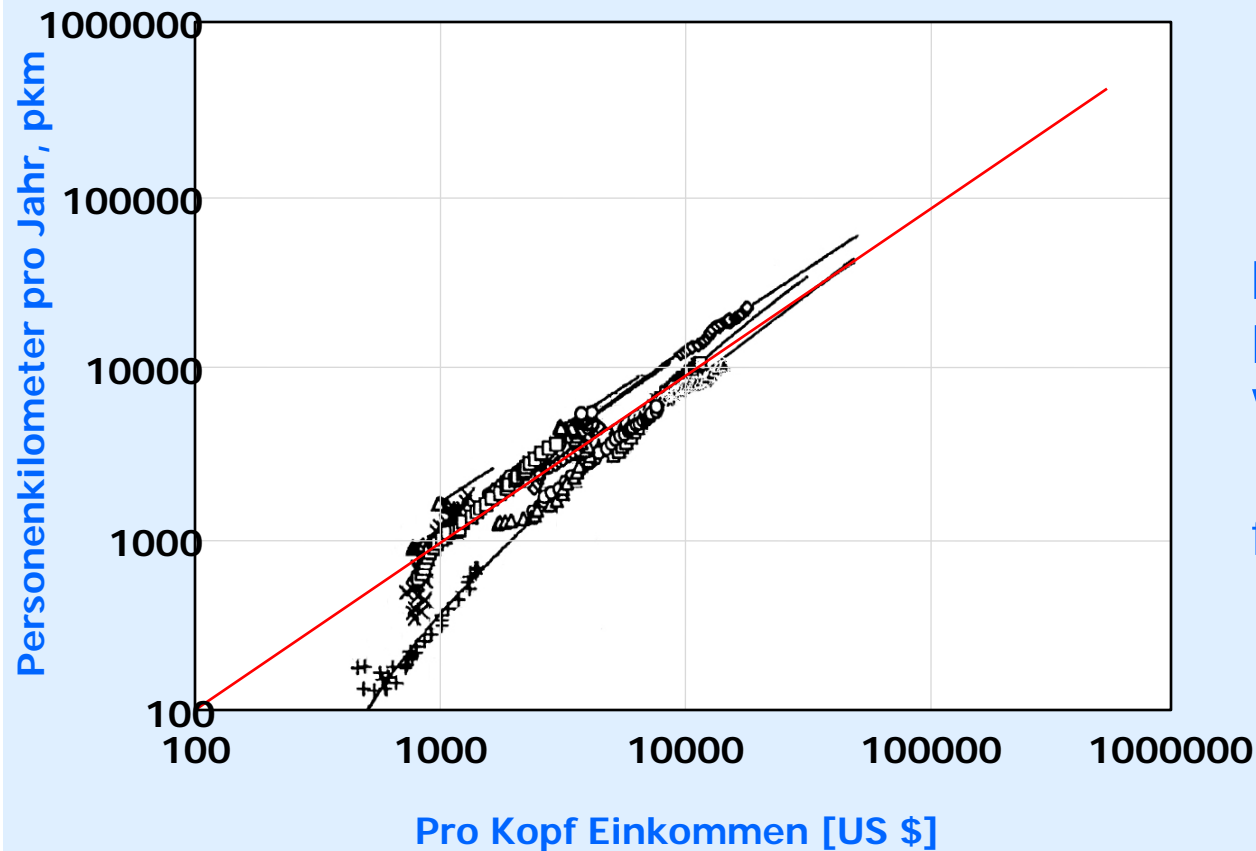
Personen sind Bewegungswesen



Quelle: A. Schäfer, MIT

**1.2 h/Tag Reisezeit
(motorisiert und nicht motorisiert)**

Einkommen erzeugt Mobilitätsnachfrage

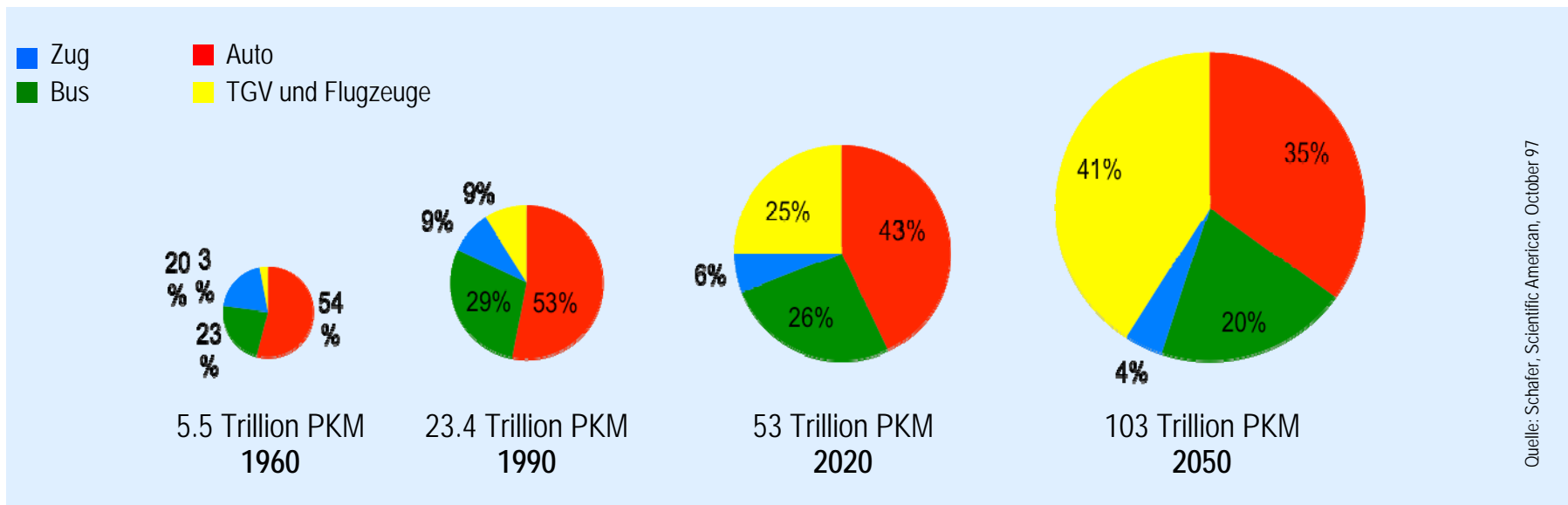


Motorisierte
Pro-Kopf-
Verkehrsleistung

für 11 Weltregionen

Quelle: A. Schäfer, MIT

Welt-Verkehrsvolumen in Personen-Kilometern

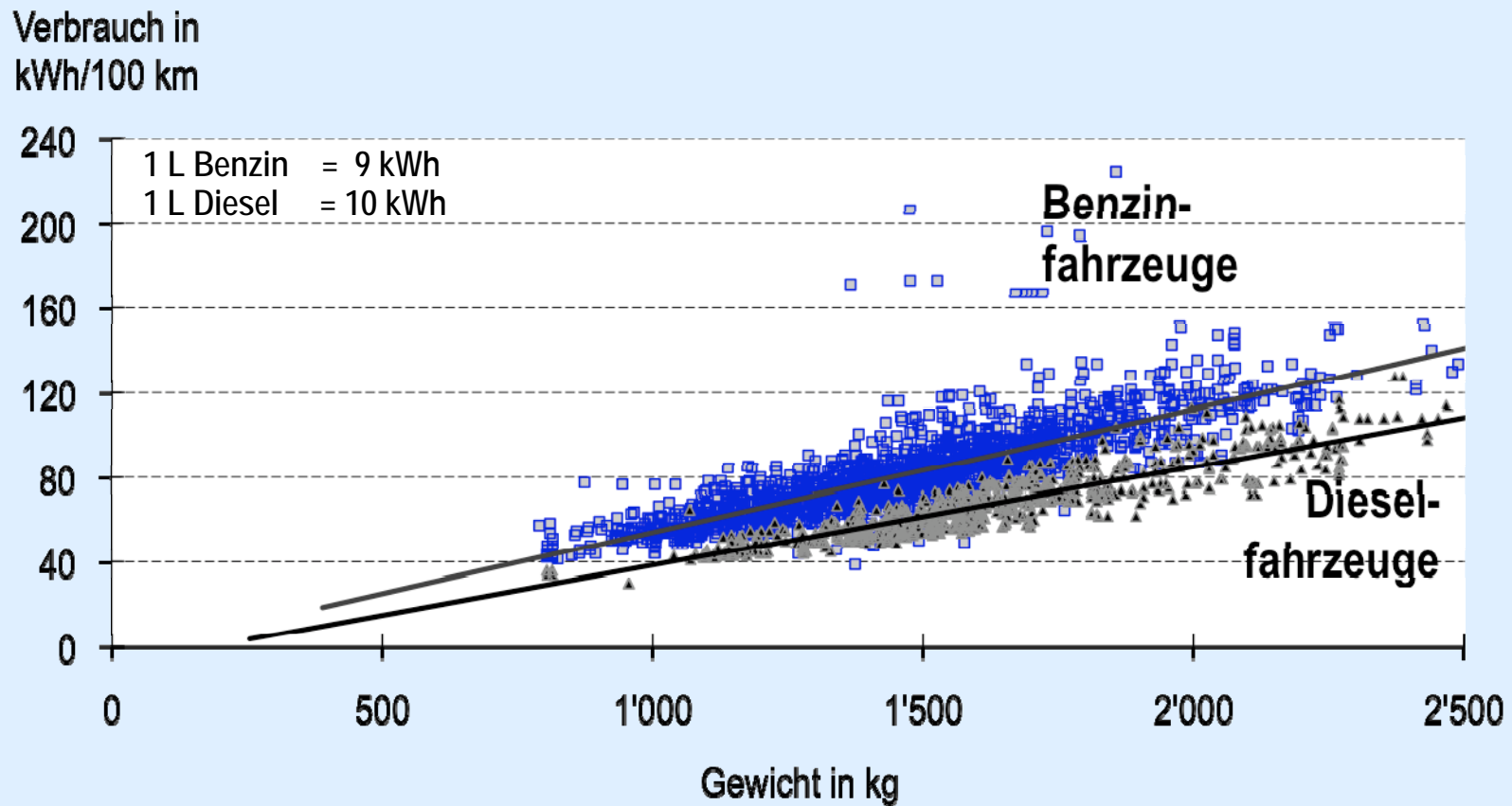


Auch mit grossem Anteil von Hochgeschwindigkeitsmitteln:

- Regionale Mobilität behält einen grossen Anteil
- Das Auto als Verkehrsmittel wird auch in Zukunft eine Stütze bleiben

80 % Wachstum der Autonutzung von 1990 – 2020

Energieverbrauch CH-Personenwagen

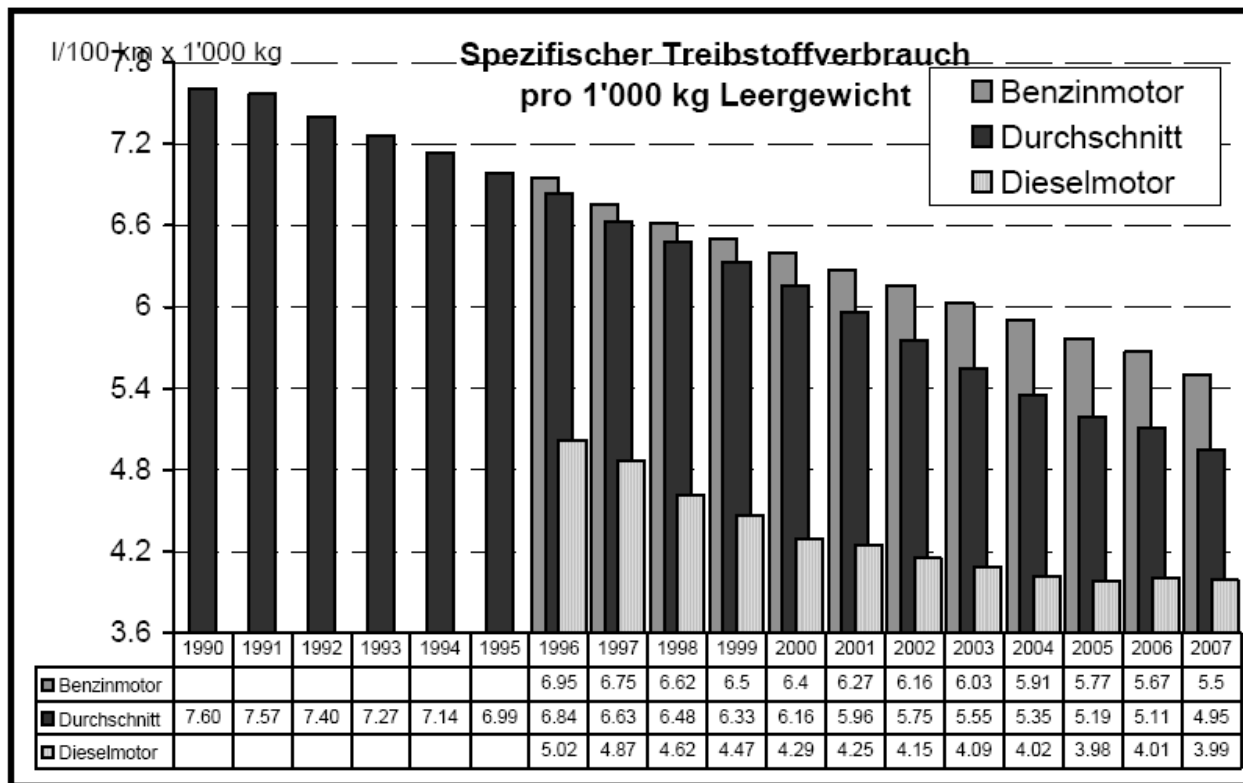


Quelle: Auto-Schweiz

Kaufverhalten der Schweizer in 2007

- Dieselfahrzeuge 181 gr CO₂/km
- Benzinfahrzeuge 184 gr CO₂/km
- Gewichtszunahme + 0.7 %/Jahr
- Verbrauchsverbesserung stagniert beim Diesel

Diesel-Technologie stagniert bei den heutigen Kosten

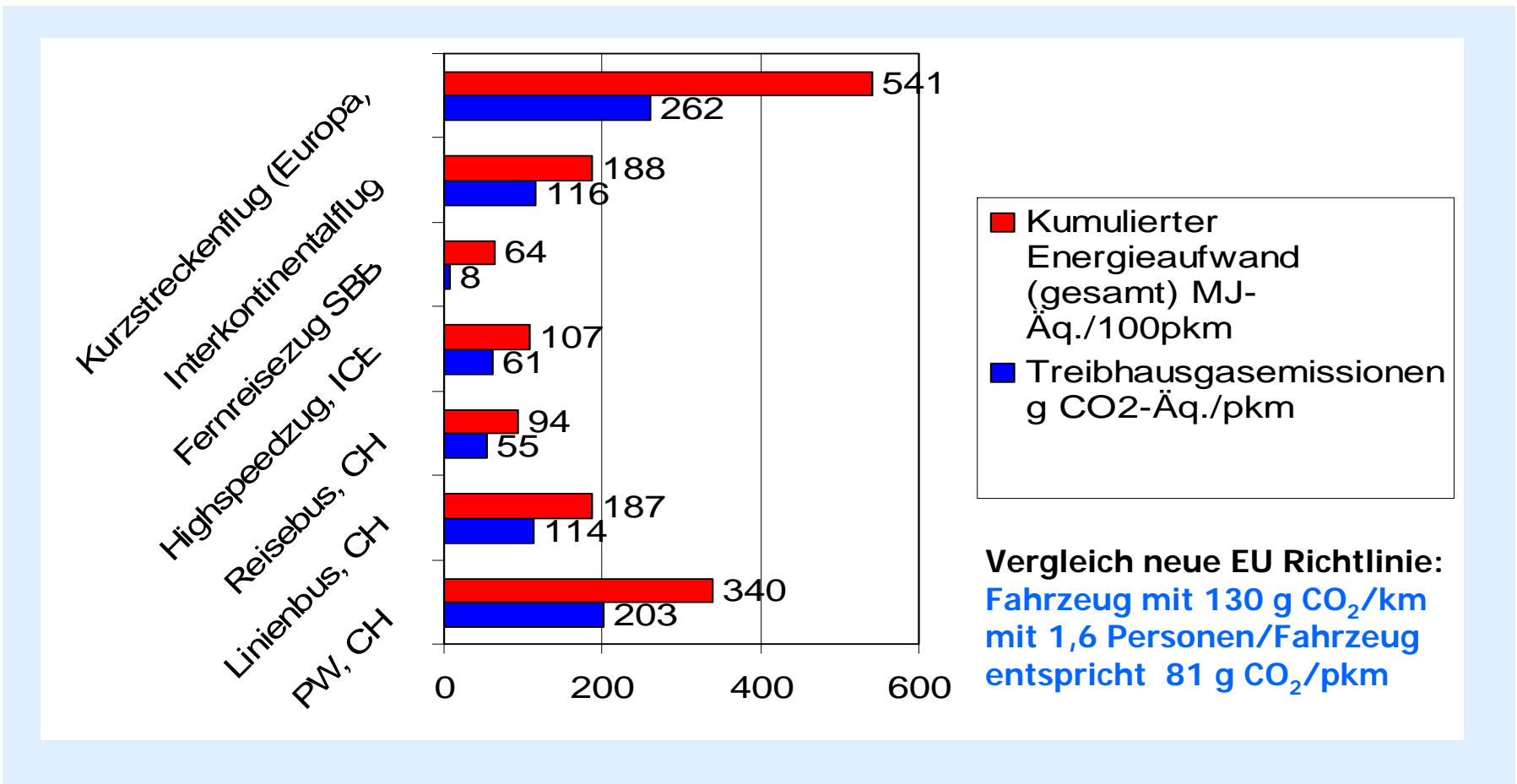


Grafik 9

Spez. Verbrauch pro 1'000 kg Leergewicht seit 1990

Source:
Auto Schweiz

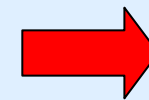
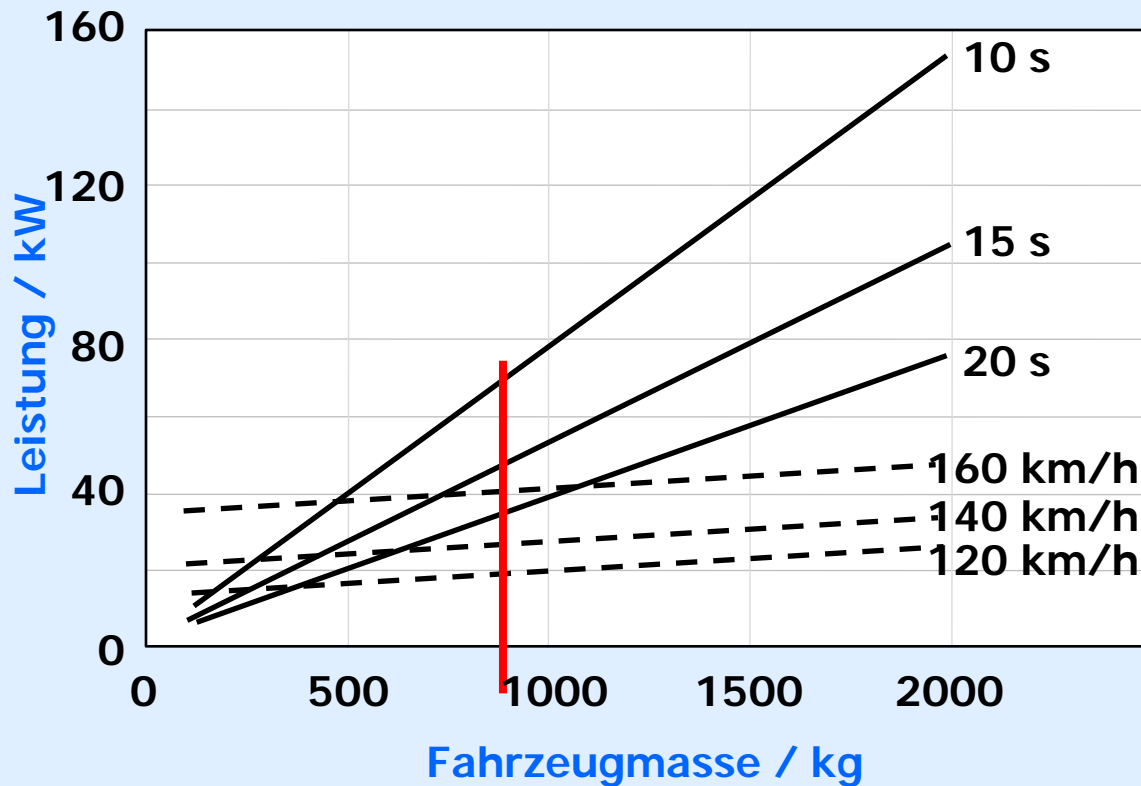
Wo stehen wir heute?



Möglichkeiten, den Verbrauch zu senken

- Technische Verbesserungen am Fahrzeug
- Fahrstil
- Verflüssigung des Verkehrs
- Nutzung eines optimierten Modalsplits
- Kombination aller Massnahmen

Wieviel Leistung brauchen wir wann?

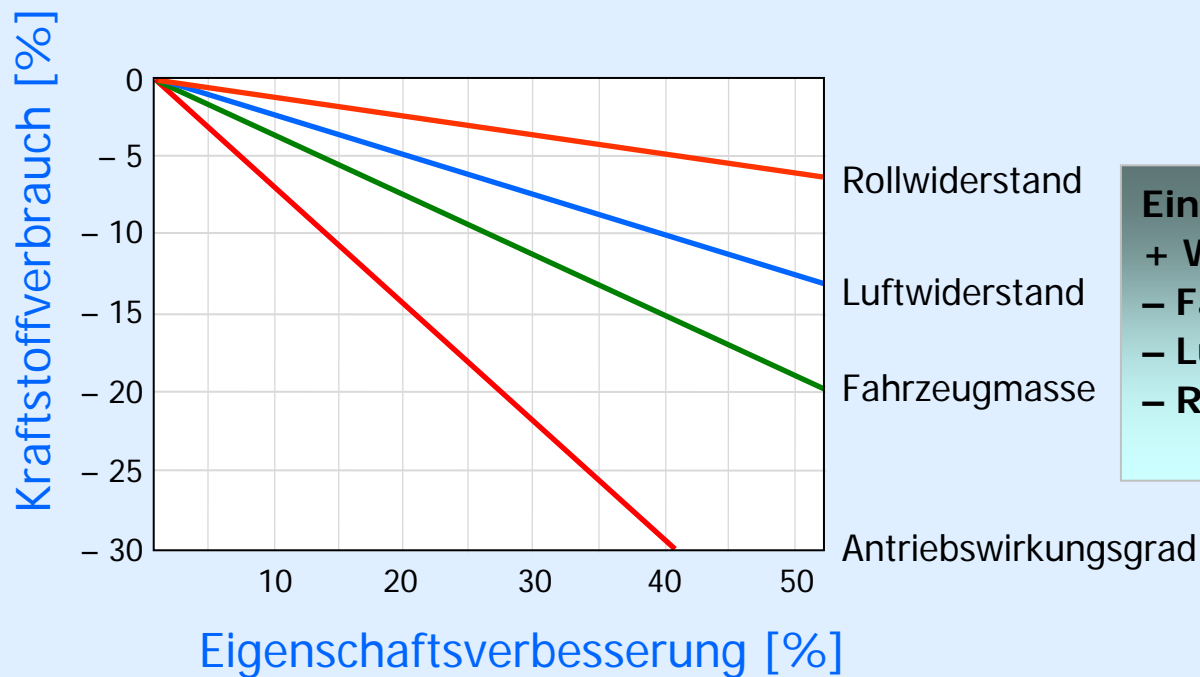


Elektro-Hybrid

40 kW
Spitzenleistung
für 10 Sekunden 0-100

30 kW
Dauerlast

Einflussgrößen auf den Energieverbrauch



Einfluss von 10 % Verbesserung:
 + Wirkungsgrad Antrieb 7.5 %
 – Fahrzeugmasse 4 %
 – Luftwiderstand 2.5 %
 – Rollwiderstand 1 %

Quelle: DLR, VW

Konventioneller Motor

Effizienzsteigerung reicht nicht aus!

Von 1985 – 2005 sind die Motoren etwa 25 % effizienter geworden;
der Durchschnittsverbrauch ist aber nicht um 25 % gesunken.

Potenzial von Otto- und Dieselmotoren liegt nochmals bei ca. 25 %
Effizienzsteigerung



Rahmenbedingungen sind nötig, dass diese Effizienz auch
im Minderverbrauch umgesetzt wird.

Erdgasfahrzeug als Brücke zu nachhaltigen Energien im Verkehr



1.4 l Erdgas-Motor im VW Touran

Kraftstoffverbrauch

6.6 m³/100 km (120 g CO₂/km)

+ 20 % Energieeffizienz im Fahrzyklus

– 40 % CO₂ Emissionen im Fahrzyklus

Reichweite

500 km (22 kg Unterboden-Gasspeicher)

Emissionsbegrenzungen

Euro-4

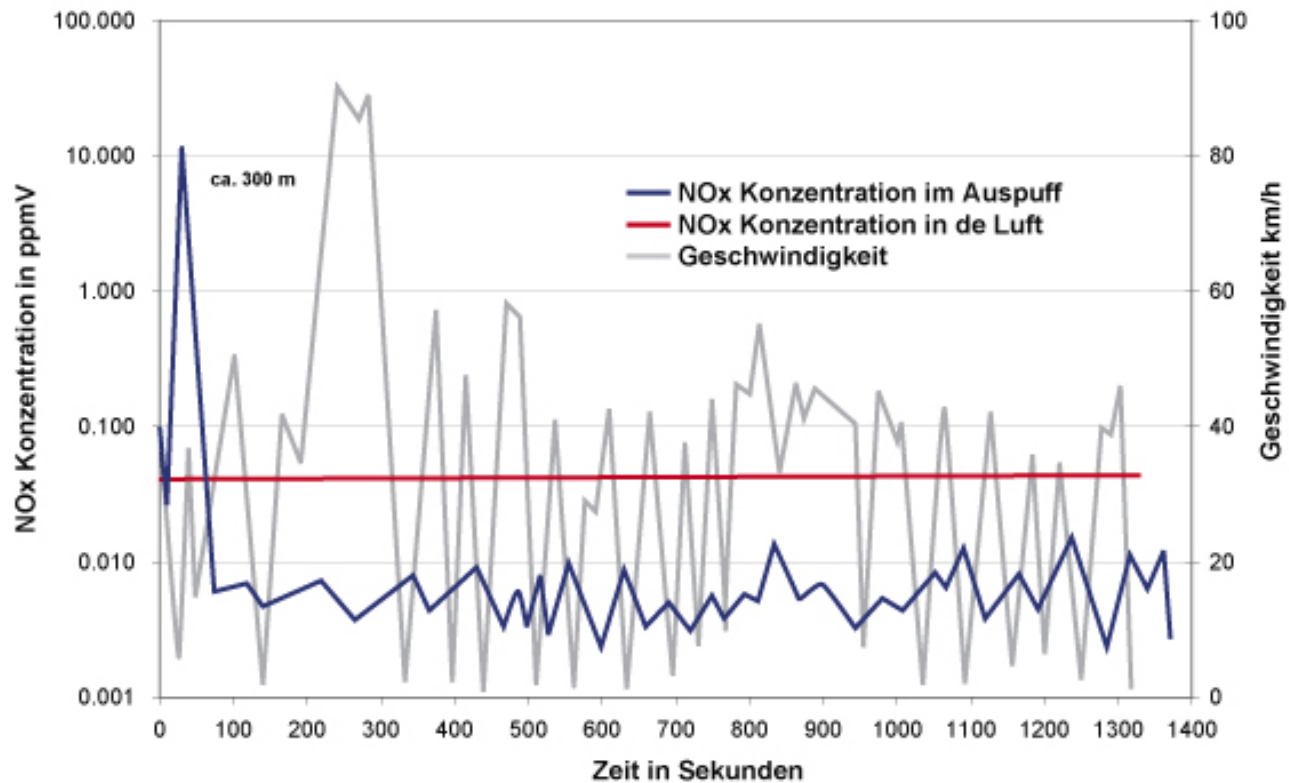


BOSCH



ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Niedrige Schadstoffe Null-Emissionspotenzial



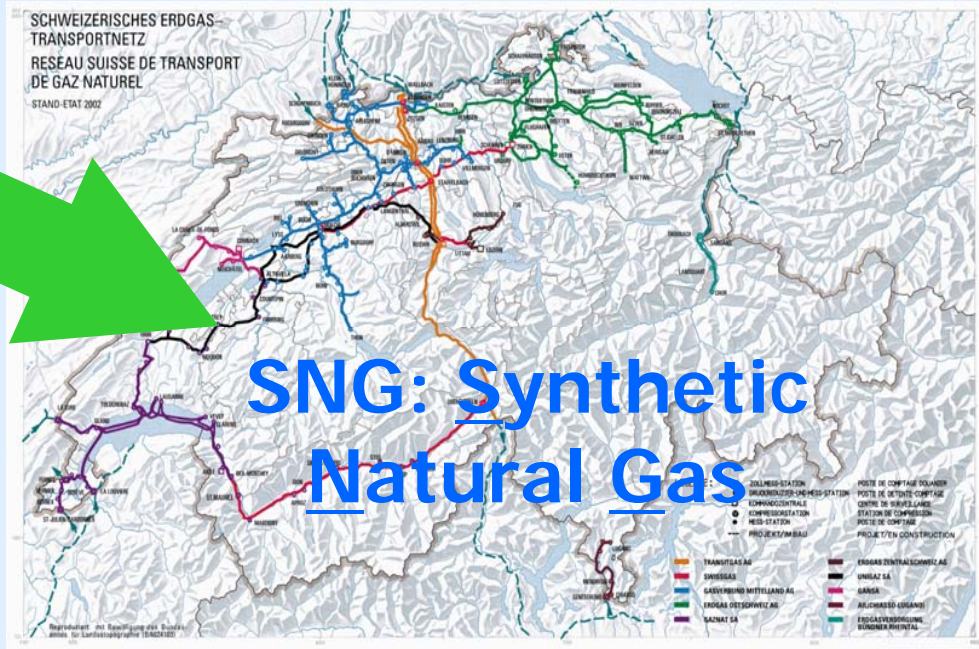
Umwandlung von Holz zu synthetischem Erdgas zusätzlich verfügbares Holz → 4% des CH-Treibstoffs



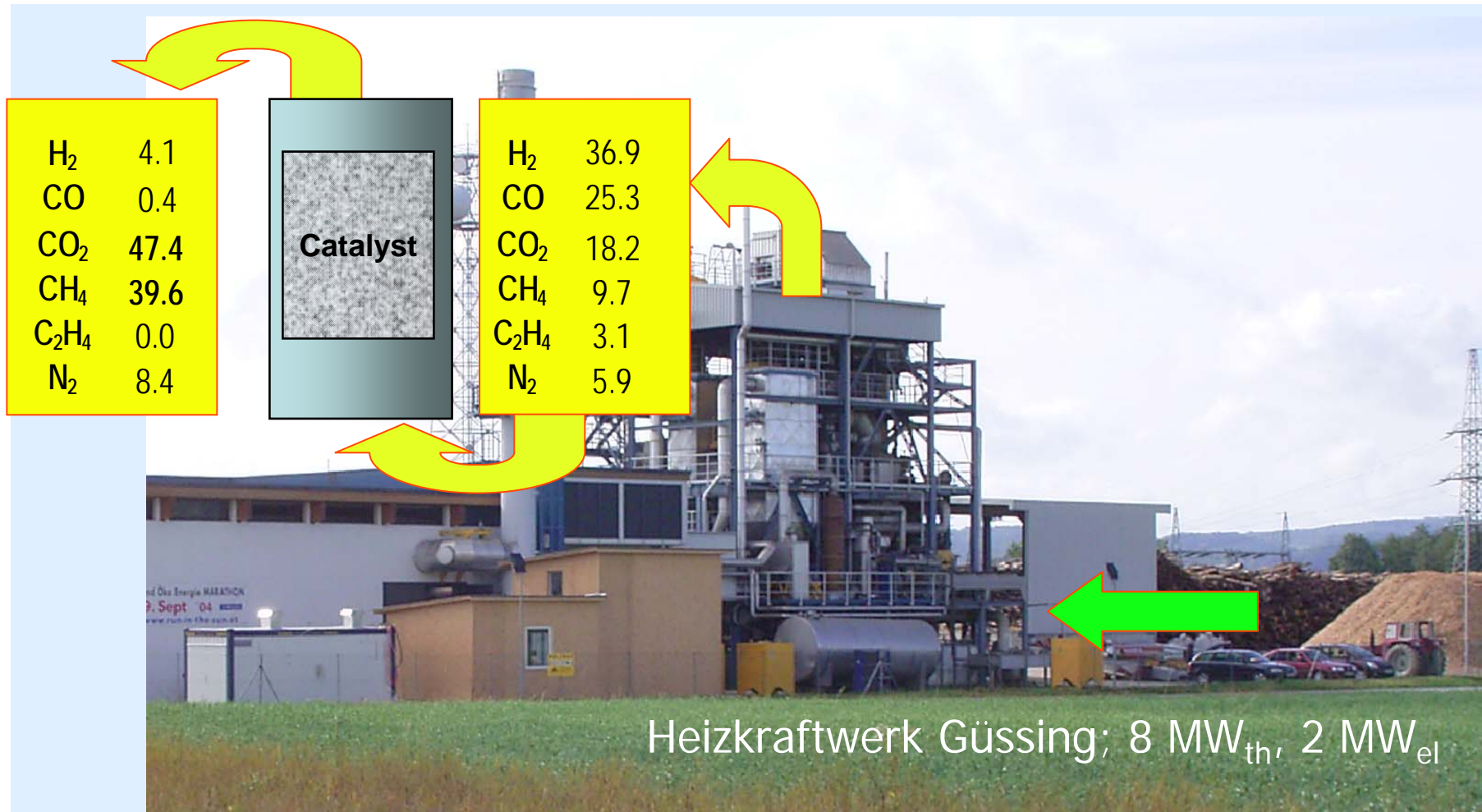
Holz



Schweizerische Transportnetze und Regionale Verteilnetze für Erdgas



Test der katalytischen Methanierung



Marktübersicht Hybride heute

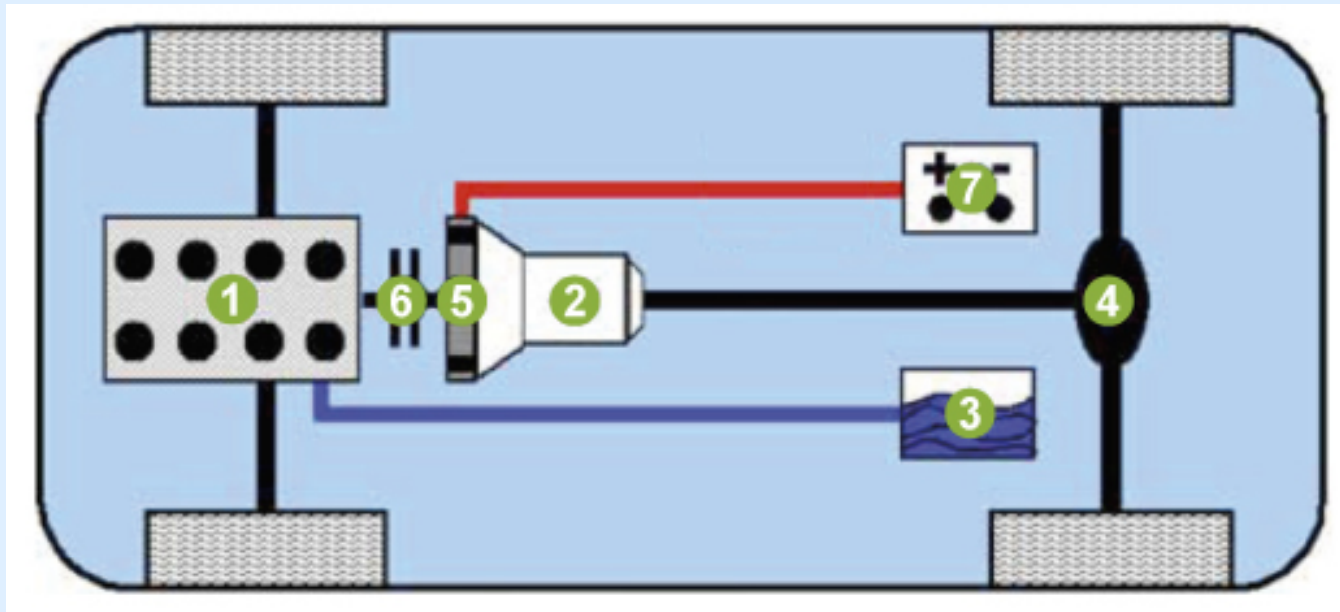


Hybridlösungen sind meist Zwischenlösungen
(Schiffahrt, Schreibmaschinen)

Die Autogesichte: Start mit Elektro-Antrieb
Fahrgefühl: Wechsel vom Verbrennungs- zum Elektromotor

Klassische Parallelhybridanordnung

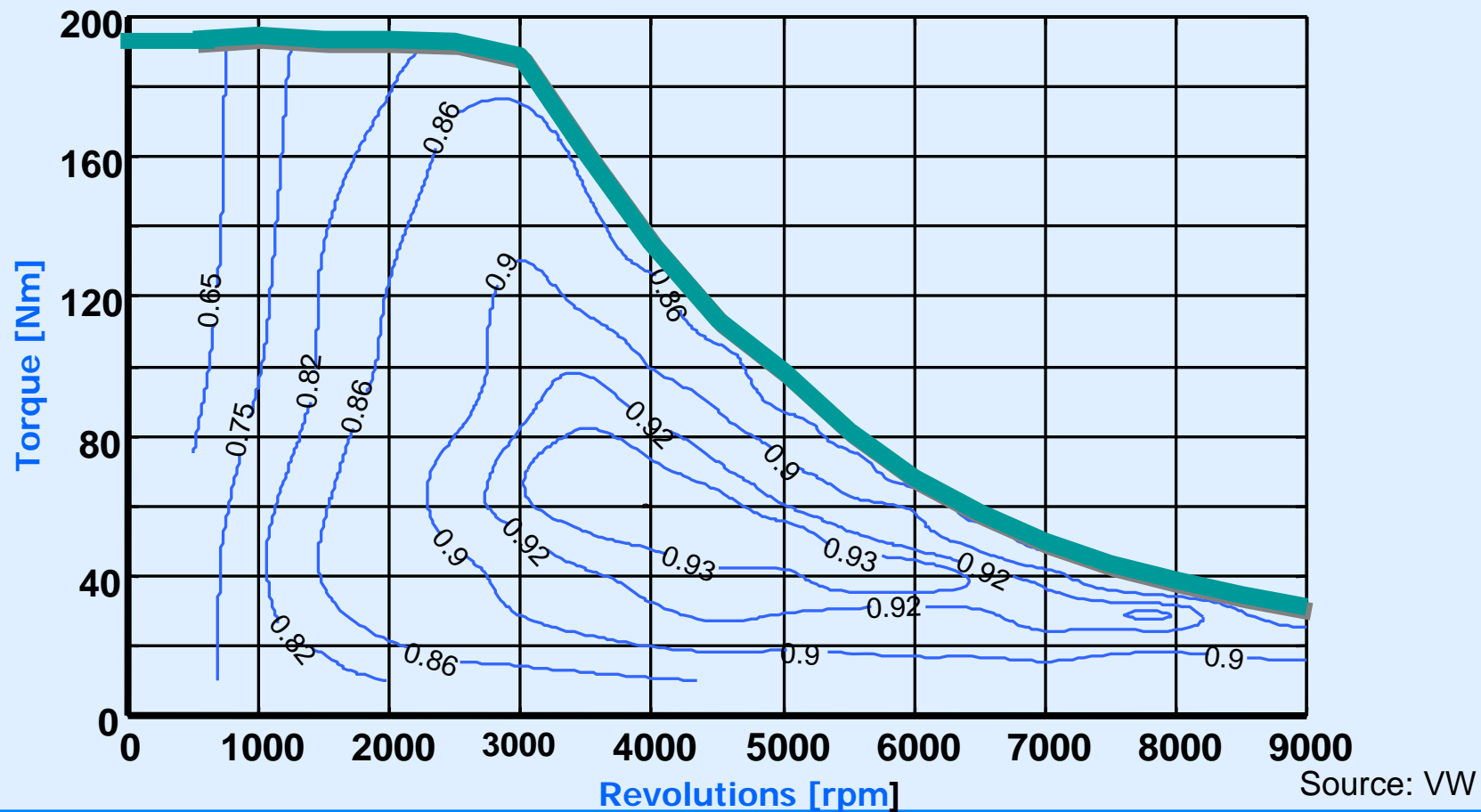
Parallel Hybrid



1. Verbrennungsmotor
2. Getriebe
3. Tank
4. Differential
5. Elektromotor
6. Autom. Kupplung
7. Hochleistungsakku
8. Hochleistungsakku

Elektromaschine meist 10-30 kW Leistung

Leistungscharakteristik eines Elektromotors

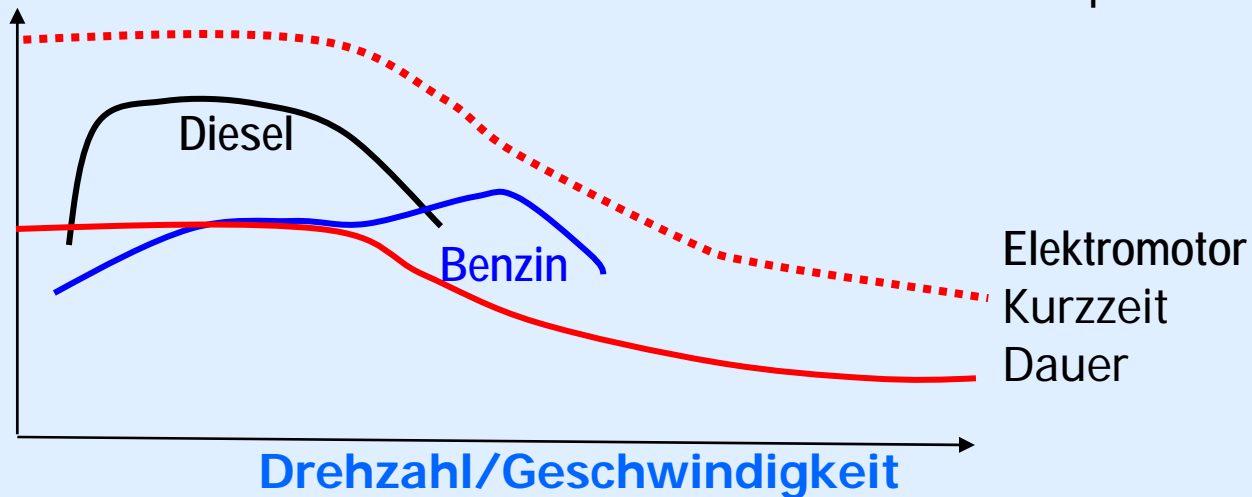


Vergleich von Verbrennungs- zu Elektromotor

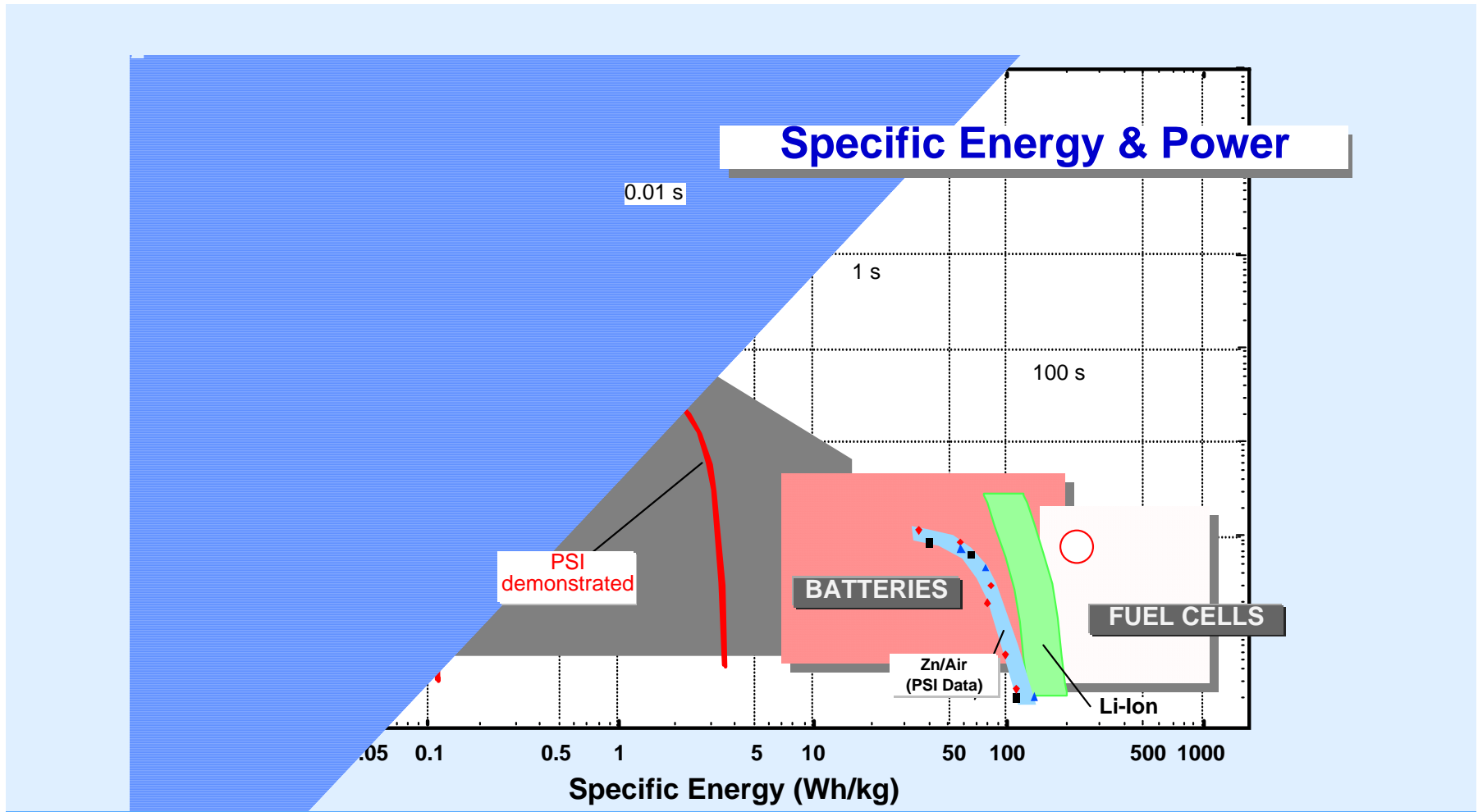
Vorteile des Elektromotor:

- Drehmoment ab Stillstand
- Grösserer Drehzahlbereich
- Überlastbar
- Leise
- Rekuperation möglich

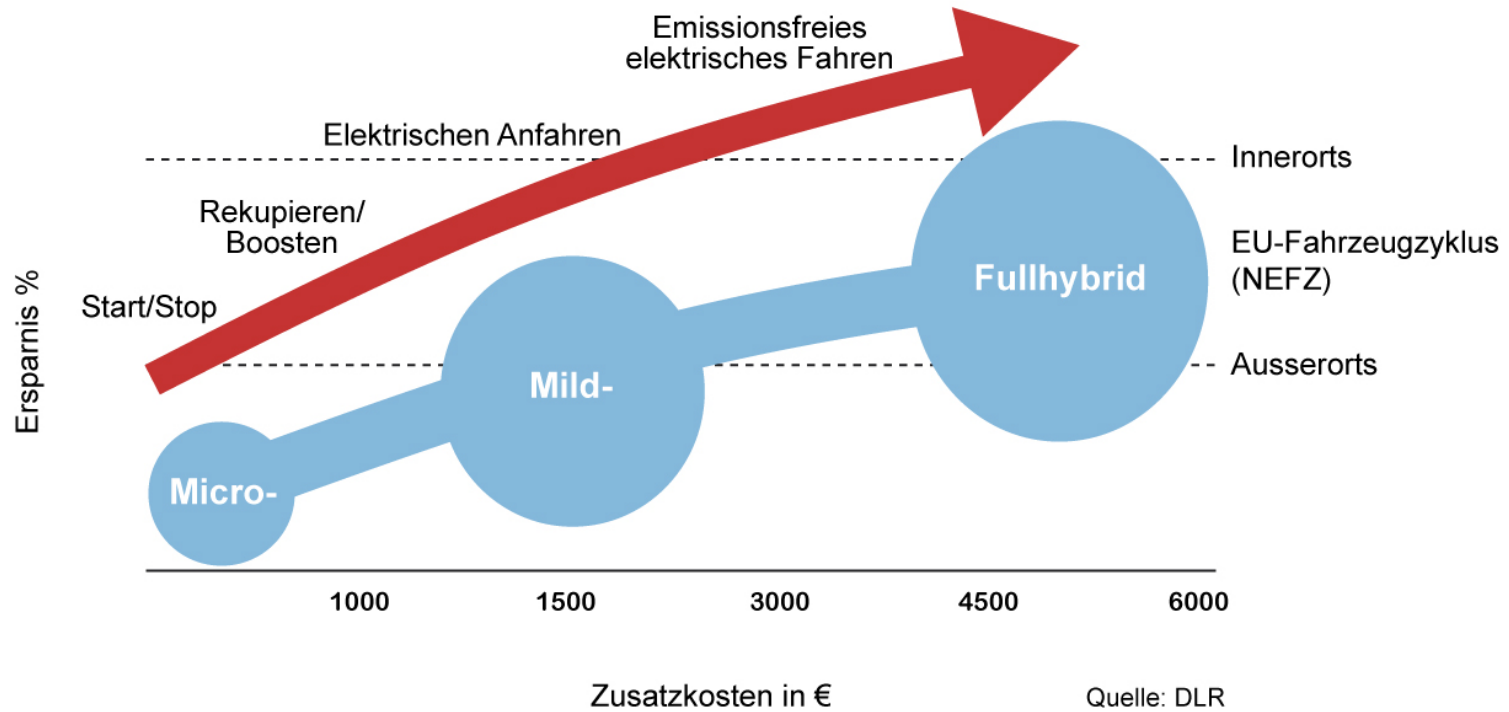
Drehmoment



Energie- und Leistungsverhalten von Elektro-Speichern



Reduktionspotenziale beim Hybridantrieb



Elektrofahrzeuge

Batterie-elektrisches Fahrzeug

- Tanken von Strom, Energiespeicher im Fahrzeug ist die Batterie

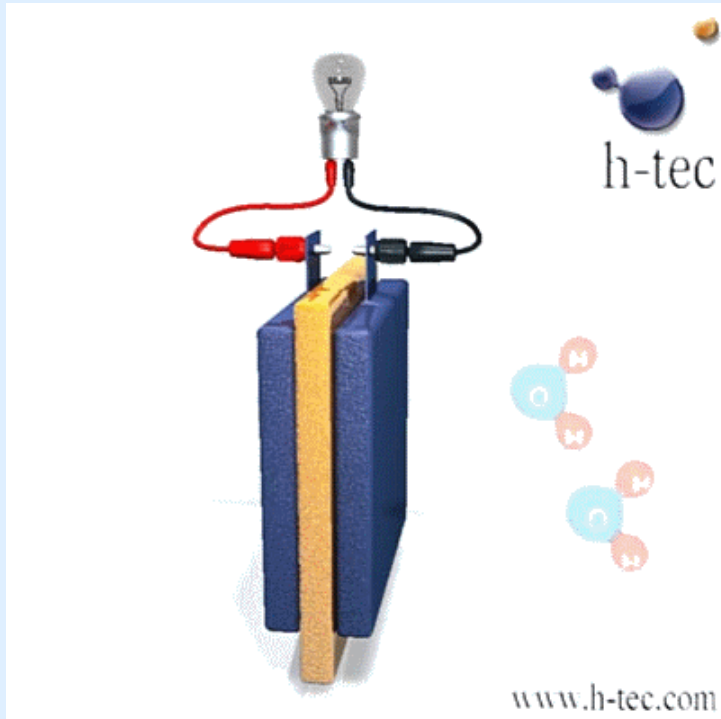
Brennstoffzellenfahrzeug

- Tanken von Wasserstoff, Energiespeicher im Fahrzeug ist der H₂-Tank
- Umwandlung von H₂ zu Strom durch die Brennstoffzelle
- Kleine Batterie kann Bremsenergienutzung ermöglichen

Reines Batterie-Elektrofahrzeug

- Effiziente Art der Mobilität
- Reichweite für Kurzstrecken genügend
- Strom ist ein Energieträger und erzeugt lokal keine Emissionen
Preis ist stark abhängig von der Reichweite
- Ladezeit dauert Stunden
- Li-Ionen Batterie hat ein grosses Potenzial, ist aber als
Alleinspeicher noch nicht marktfähig
Strom muss umweltfreundlich hergestellt werden

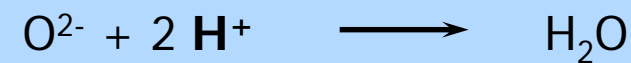
Funktionsprinzip der Brennstoffzelle



Anode:



Kathode:



H₂ Wasserstoff

O₂ Sauerstoff

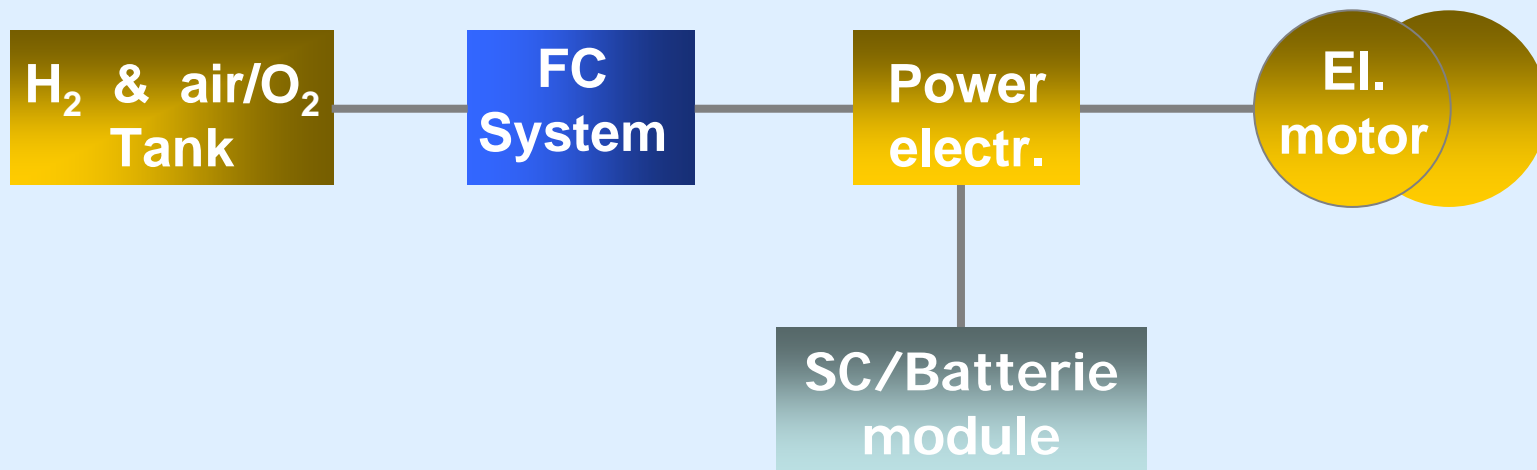
H₂O Wasser

Produkt = Wasser

H⁺ Wasserstoffionen (ionischer Ladungsträger)

e⁻ Elektronen

Hybrid Elektro Fahrzeug



- **Kurzzeitleistung für Beschleunigung**
- **Rückgewinnung der Bremsenergie**

Superkondensator für *HY-LIGHT*

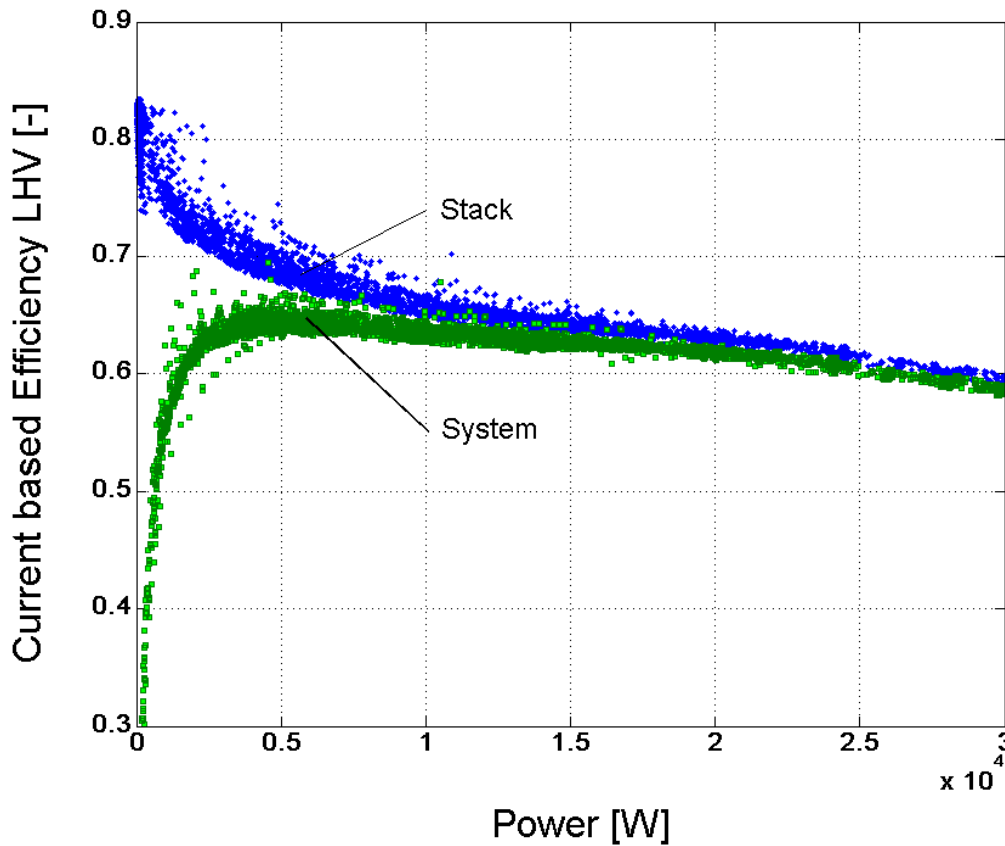
Capacitance: 29 F

Power: 30 - 45 kW for 20 - 15 sec



Energy 190 Wh
100 SC-modules

Wirkungsgrad eines Brennstoffzellensystem



Wirkungsgrad
des
BZ-Systems
des HY-LIGHT
mit H₂ und O₂

Zusammenarbeit:
PSI-Michelin

Hauptinnovationen im Fahrzeug

- **Michelin:**
- Leichtbau-Chassis
- Integration des H₂-Tanks in die Fahrzeugstruktur
- Elektrischer Antrieb in den Vorderrädern
- Elektrische Dämpfung, die eine Lageregelung des Fahrzeugs in den Kurven ermöglicht
- **PSI:**
- Brennstoffzellensystem mit Wasserstoff und Sauerstoff
- Kurzzeit-Speichermodul



Leistungsdaten des Fahrzeugs

Bau eines spezifisch auf die Brennstoffzelle optimierten Fahrzeugs

Fahrzeuggewicht	850 kg (4 Plätze + Kofferraum)
Beschleunigung 0-100 km/h	< 12 Sek.
Reichweite	400 km (bei 80 km/h)
Verbrauch	< 22 kWh/100km gas. H ₂

Brennstoffzellensystem

- 32 kW Nennleistung mit H₂ und O₂
- Kurzzeitenergiesystem
- 30 kW- 45 kW für 17 Sekunden



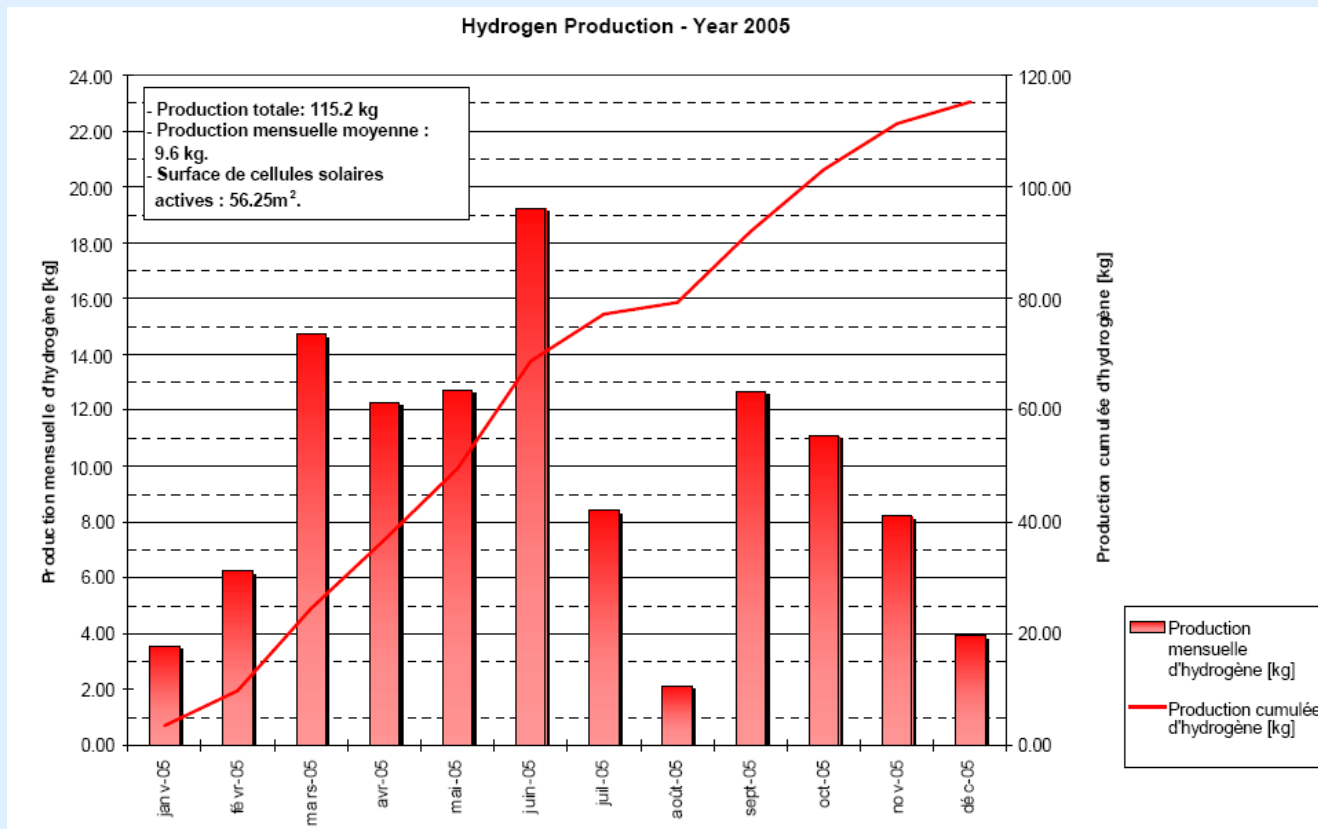
Realisierung H₂-Tankstelle für den Hy-Light



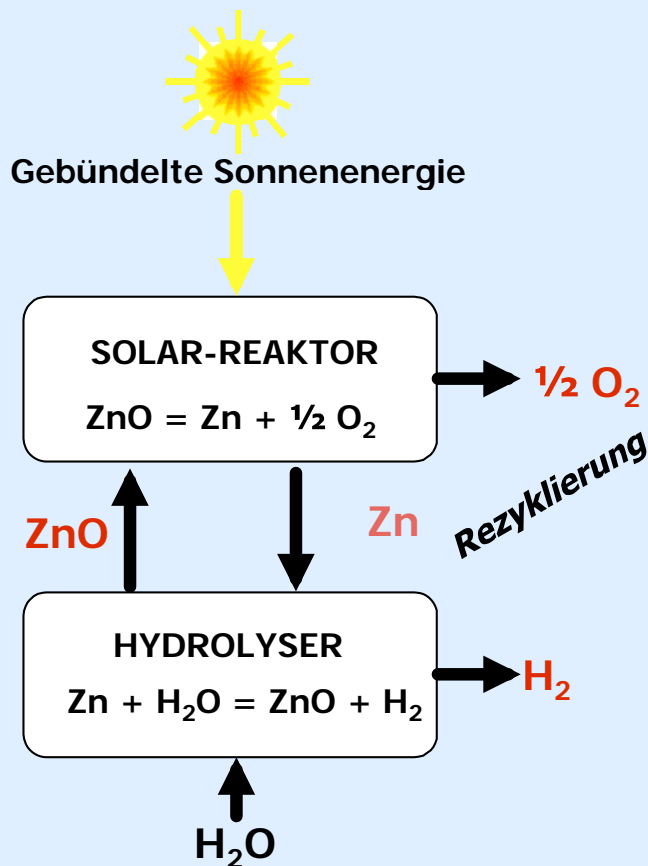
55m² PV panel mit 8 kW
Spitzenleistung
Produktion H₂ und O₂ bei 30 bar.
Komprimiert auf 350 bar



PV- zur Herstellung von H₂ für 20000 km/Jahr



Chemische Solar H₂ Produktion



$$h_{\text{Energie}} = 29 \%$$

36 % Potenzial

Kosten von solarem H₂:
0.10 - 0.15 €/kWh

Basierend auf:

- 2300 Sonnenstunden/Jahr
- Heliostat-Feld
- 90 MW Solar-Kraftwerk

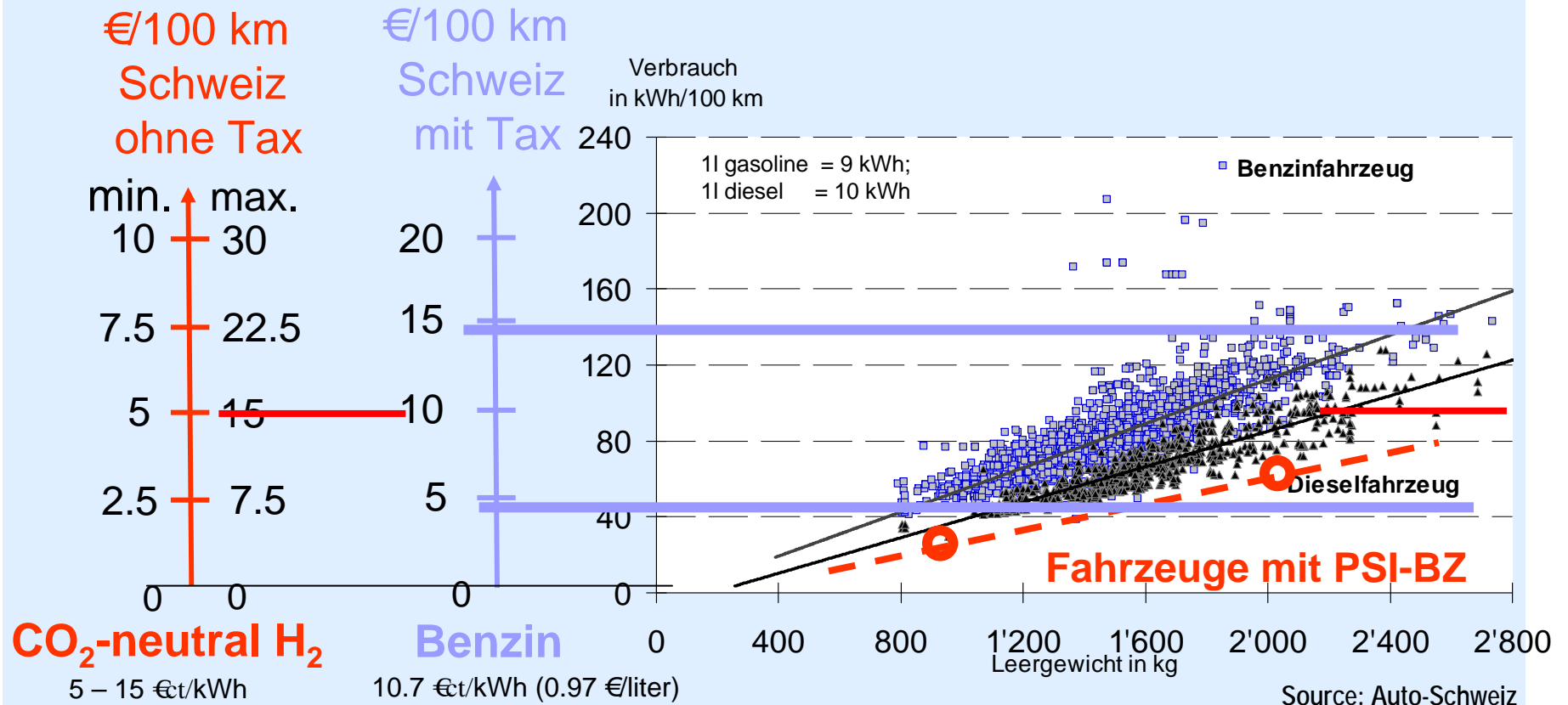
Der Unterschied zwischen Angebot und Nachfrage von erneuerbarer Energieproduktion kann mit Wasserstoff kompensiert werden.



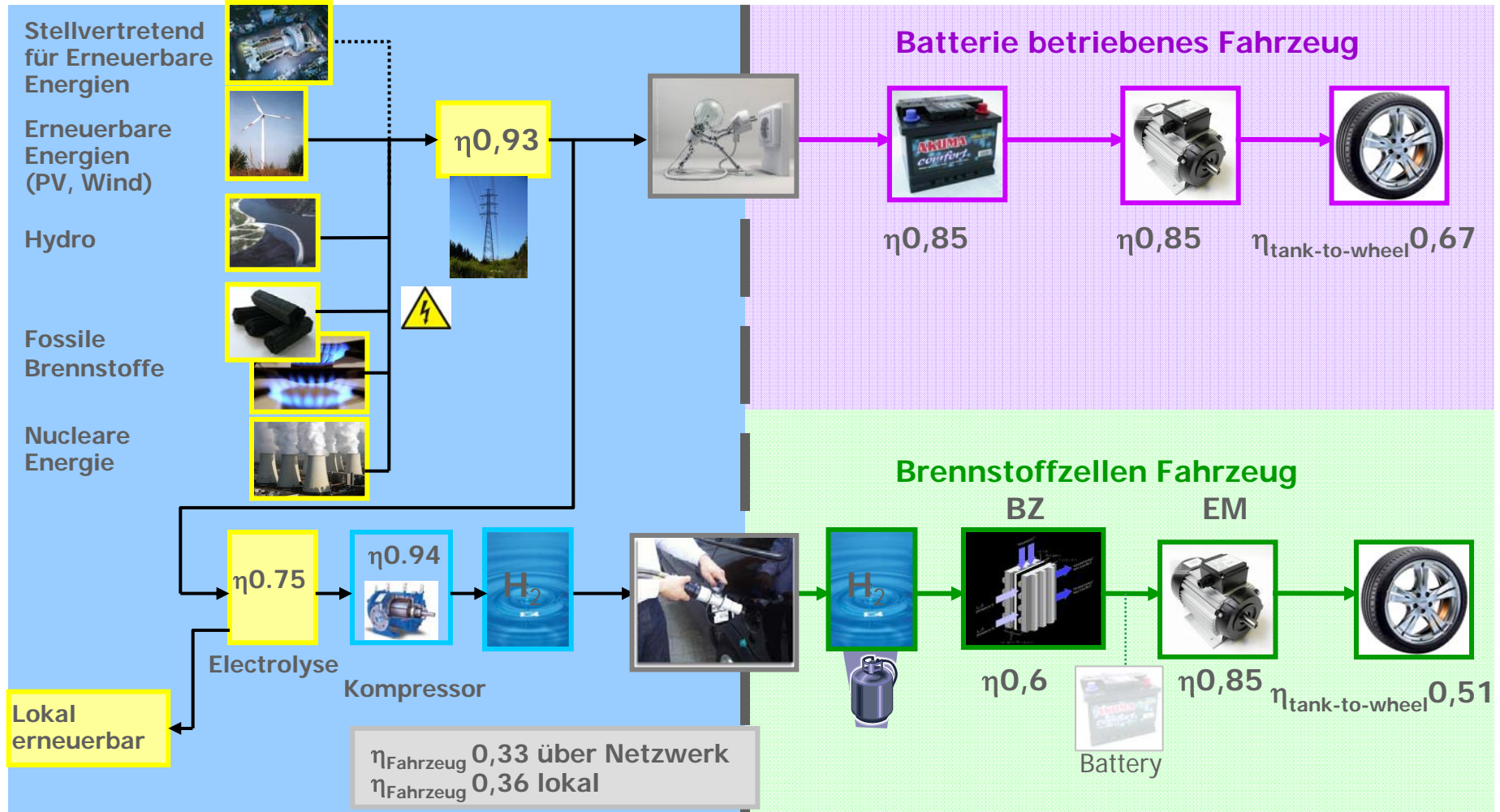
Treibstoffkosten per 100 km pro Fz

Verbrauchsreduktion durch Wirkungsgradsteigerung

Kunden zahlen heute 5 - 15 €/100 km für „Benzin“

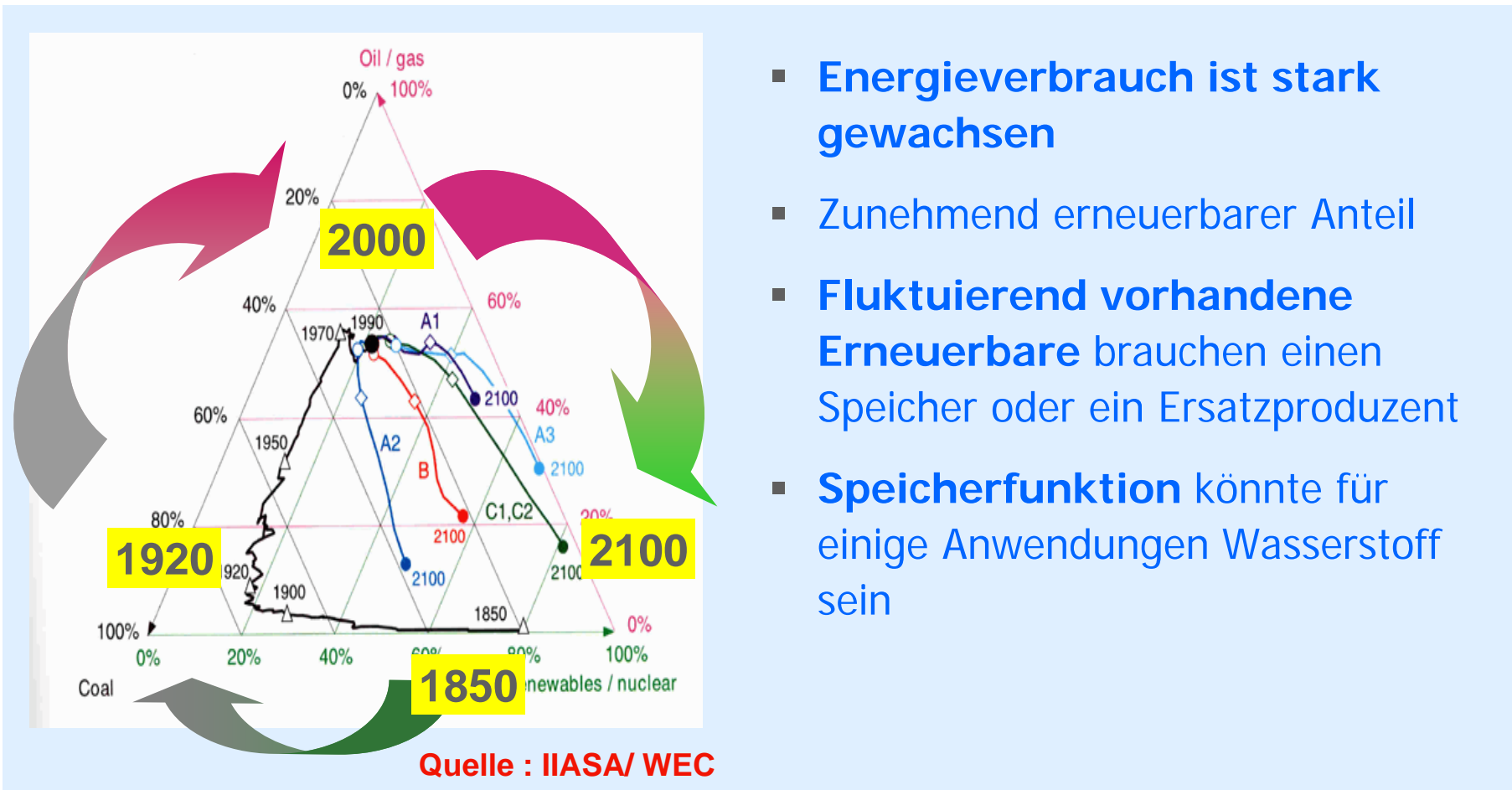


Effizienzvergleich, aber...



Primärenergienutzung im Laufe der Zeit

Historischer Zeitzyklus von Primärenergie-quellen:



- Energieverbrauch ist stark gewachsen
- Zunehmend erneuerbarer Anteil
- **Fluktuierend vorhandene Erneuerbare** brauchen einen Speicher oder ein Ersatzproduzent
- **Speicherfunktion** könnte für einige Anwendungen Wasserstoff sein

Schlussfolgerungen

- Im Fahrzeug muss der **Antriebswirkungsgrad** verbessert und das **Gewicht** stark reduziert werden
- Optimierte Motoren haben noch Potenzial für Verbesserung (Prozess und Treibstoff); dieses **muss für den Verbrauch** genutzt werden, **Hybridtechnik** bereitet die Elektrifizierung vor.
- **Erdgas** ist eine interessante kurzfristig verfügbare Alternative
- Die **Brennstoffzelle** ist ein möglicher Kandidat für effizientere Antriebe und steht mit einer **exzellenten Batterie** im Wettbewerb
- Geänderte Rahmenbedingungen in der Zukunft können einen signifikanten Einfluss auf die Einführzeit haben