

# Hybrid, Brennstoffzelle, Elektro: Antriebstechnologien der Zukunft

Ecocar Expo „Zug“ 26.03.2008

Philipp Dietrich

Competence Center Energy and Mobility (CCEM)

# Inhalt

- Welches Potenzial steckt in den heutigen Fahrzeugen?
- Möglichkeiten zukünftiger Fahrzeugantrieb
- Zusammenspiel Fahrzeug und Treibstoff
- Zusammenfassung und Ausblick

## **Dank an**

Prof. Dr. Alexander Wokaun

Dr. Samuel Stucki

Prof. Dr. Aldo Steinfeld

Christian Bach, EMPA

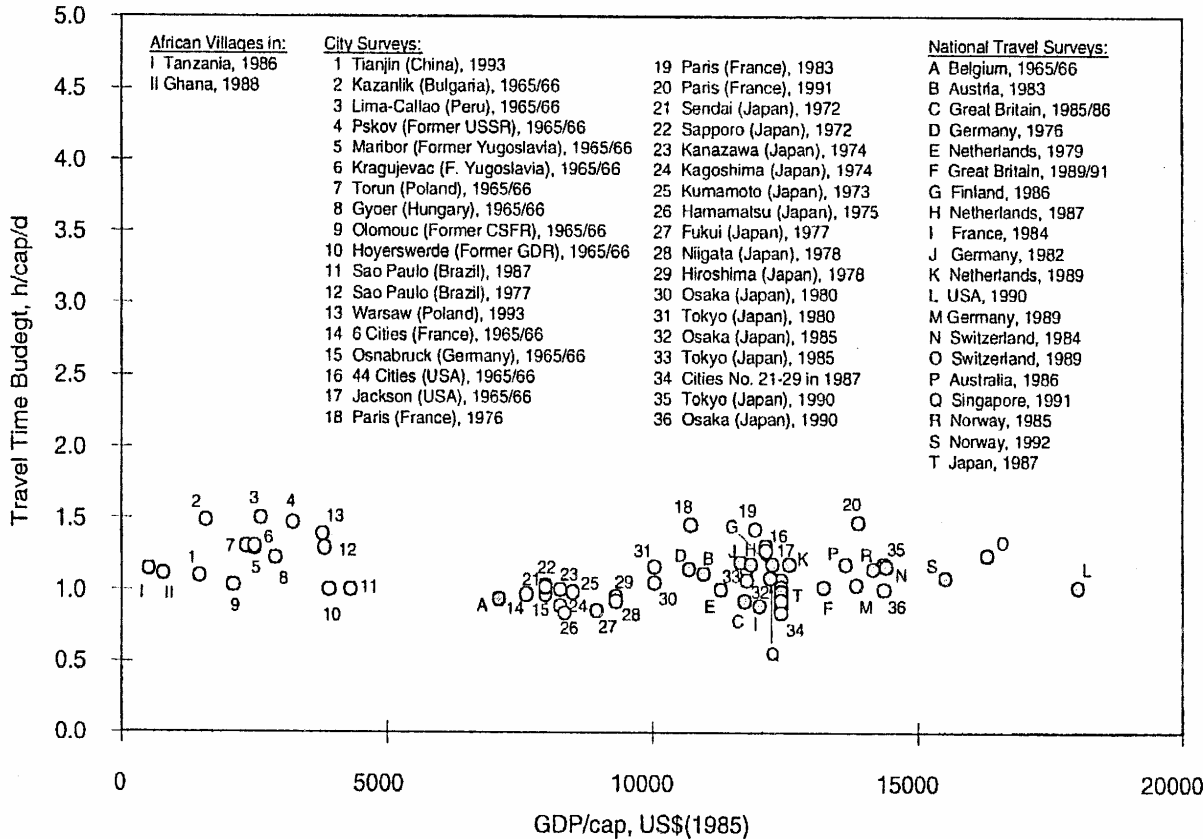
# Fahren, aber ohne Steuerrad



# Möglichkeiten, den Verbrauch zu senken

- Technische Verbesserungen am Fahrzeug
- Fahrstil
- Verflüssigung des Individualverkehrs
- Nutzung eines optimierten Modalsplittes
- Kombination aller Massnahmen

# Personen sind Bewegungswesen

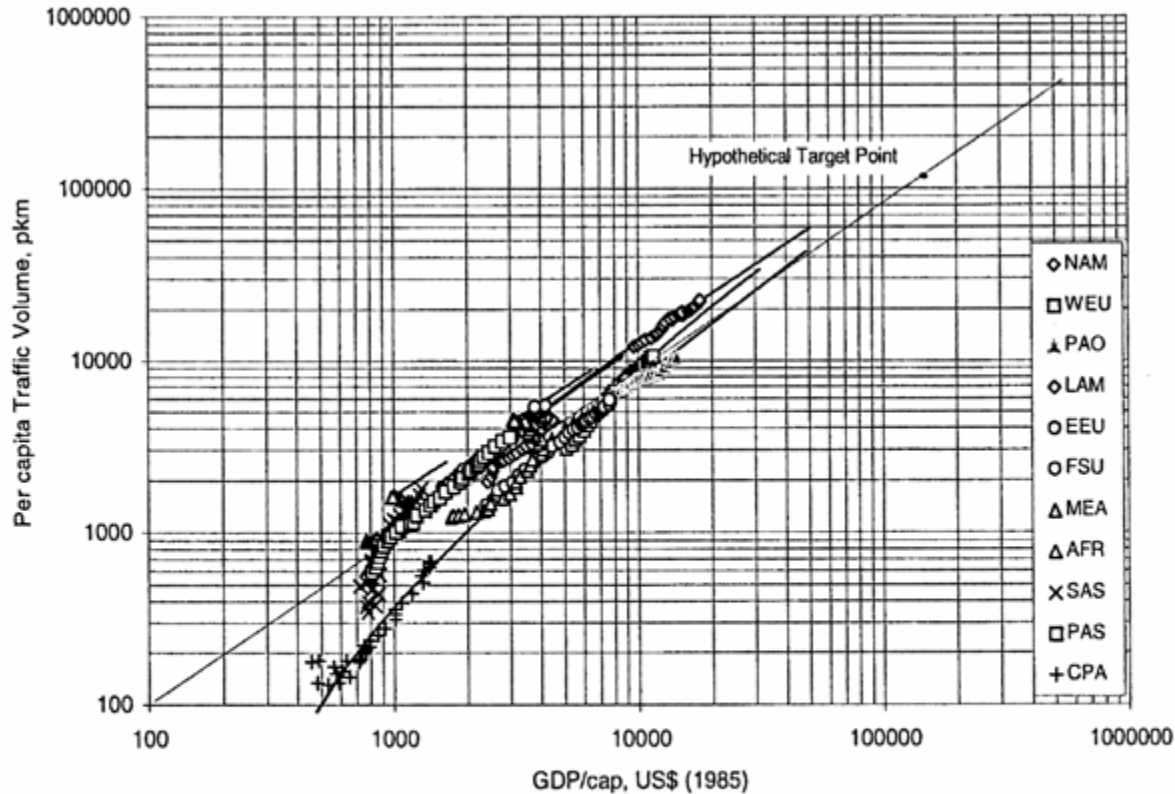


1.2 h/Tag Reisezeit  
(motorisiert und nicht motorisiert)

source: A. Schäfer, MIT

Figure 3-3: Daily travel time budget for motorized and non-motorized transport  
 Abb. 3-3: Tägliches Reisezeitbudget für motorisierten und nicht-motorisierten Verkehr

# Einkommen erzeugt Mobilitätsnachfrage

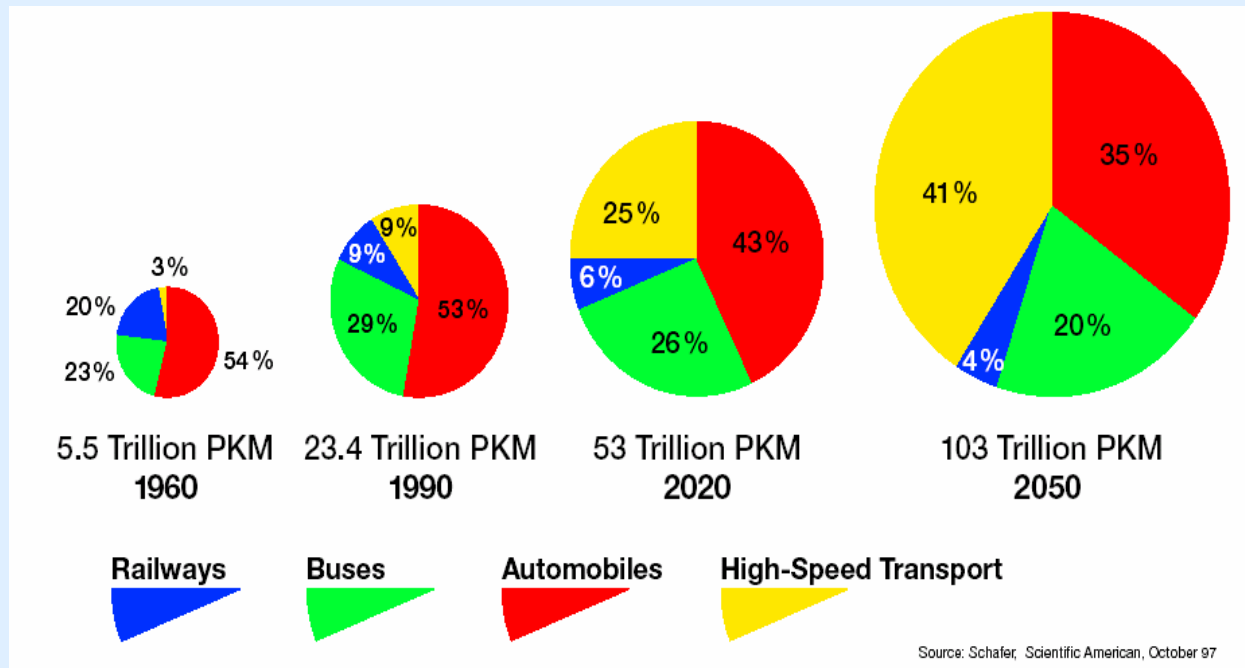


**Figure 3-5:** Motorized per capita traffic volume versus GDP per capita between 1960 and 1990 and projections through 2050 for 11 world regions and the world

**Abb. 3-5:** Motorisierte Pro-Kopf-Verkehrsleistung zwischen 1960 und 1990 für 11 Weltregionen und die Welt und Projektionen bis zum Jahr 2050

source: A. Schäfer, MIT

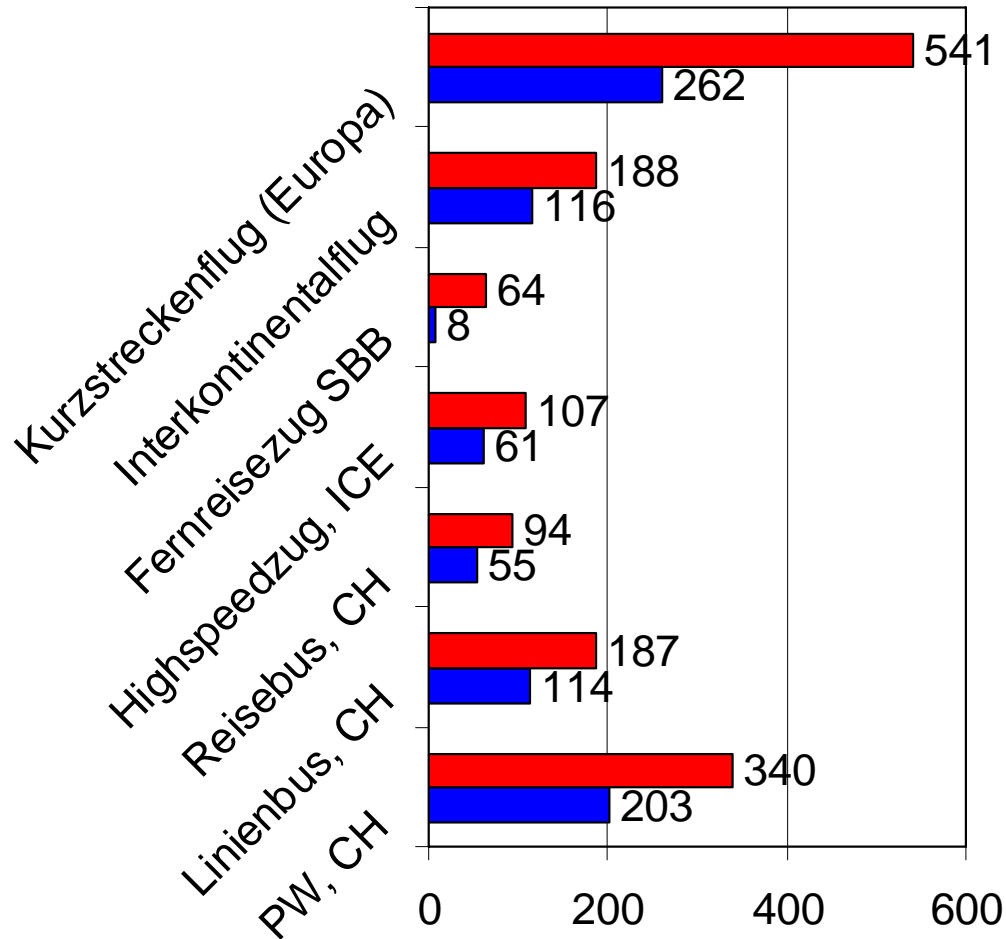
# Welt-Verkehrsvolumen in Personen-Kilometern



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**

# Wo stehen wir heute?



■ Kumulierter Energieaufwand (gesamt) MJ-Äq./100pkm  
■ Treibhausgasemissionen g CO<sub>2</sub>-Äq./pkm

**Vergleich neue EU Richtlinie:**  
**Fahrzeug mit 130 g CO<sub>2</sub>/km**  
**mit 1,6 Personen/Fahrzeug**  
**entspricht 81 g CO<sub>2</sub>/pkm**

# Einflussgrößen auf den Energieverbrauch

Fahrwiderstandsgleichung

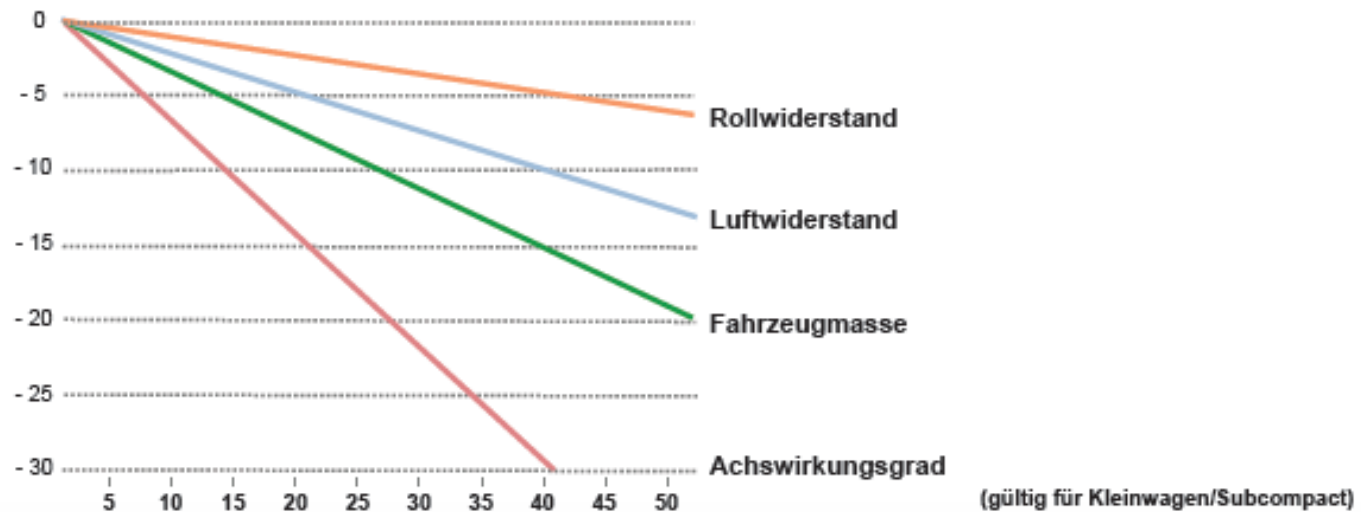
$$F = (1 + C_{rot}) \cdot m \cdot a + m \cdot g \cdot f_R(v) \cdot \cos \alpha + \frac{\rho_L}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot v^2 + m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Streckenverbrauch

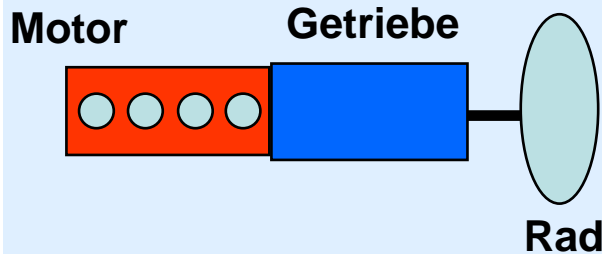
$$B_e = \frac{\int b_e \cdot \frac{1}{\eta_{Antrieb}} \cdot F \cdot v dt}{\int v dt}$$

$b_e$ : spez. Kraftstoffverbrauch

Potenzialübersicht



# Konventioneller Motor

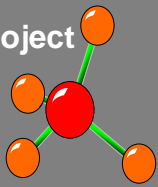


**Benzin:**

- Verlustleistung
- Ladungswechsel
- Betriebspunktverschiebung
- Verbrennungsoptimierung

**Massnahmen:**

- Tribologie
- DI und Abgasrückführung
- Variable Verdichtung
- Downsizing + ATL
- Variable Turbine
- Variable Ventilsteuerung



# Projektziele

## Niedrige Emissionen und hohe Effizienz

Partner:

**BOSCH**



H

H



**1.4 l Erdgas-Motor im VW Touran mit kontrolliertem Aufladesystem und geringer Hybridisierung**

Gleiche oder bessere Fahrleistung als Fahrzeug mit 2.0 l Benzin-Motor

### Benzinverbrauch

**6.6 m<sup>3</sup>/100 km** (120 g CO<sub>2</sub>/km)  
+20% Energieeffizienz im Fahrzyklus  
-40% CO<sub>2</sub> Emissionen im Fahrzyklus

### Reichweite

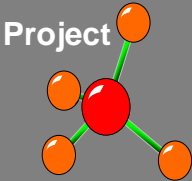
**500 km** (22 kg Unterboden-Gasspeicher)

### Emissionsbegrenzungen

**Euro-4**

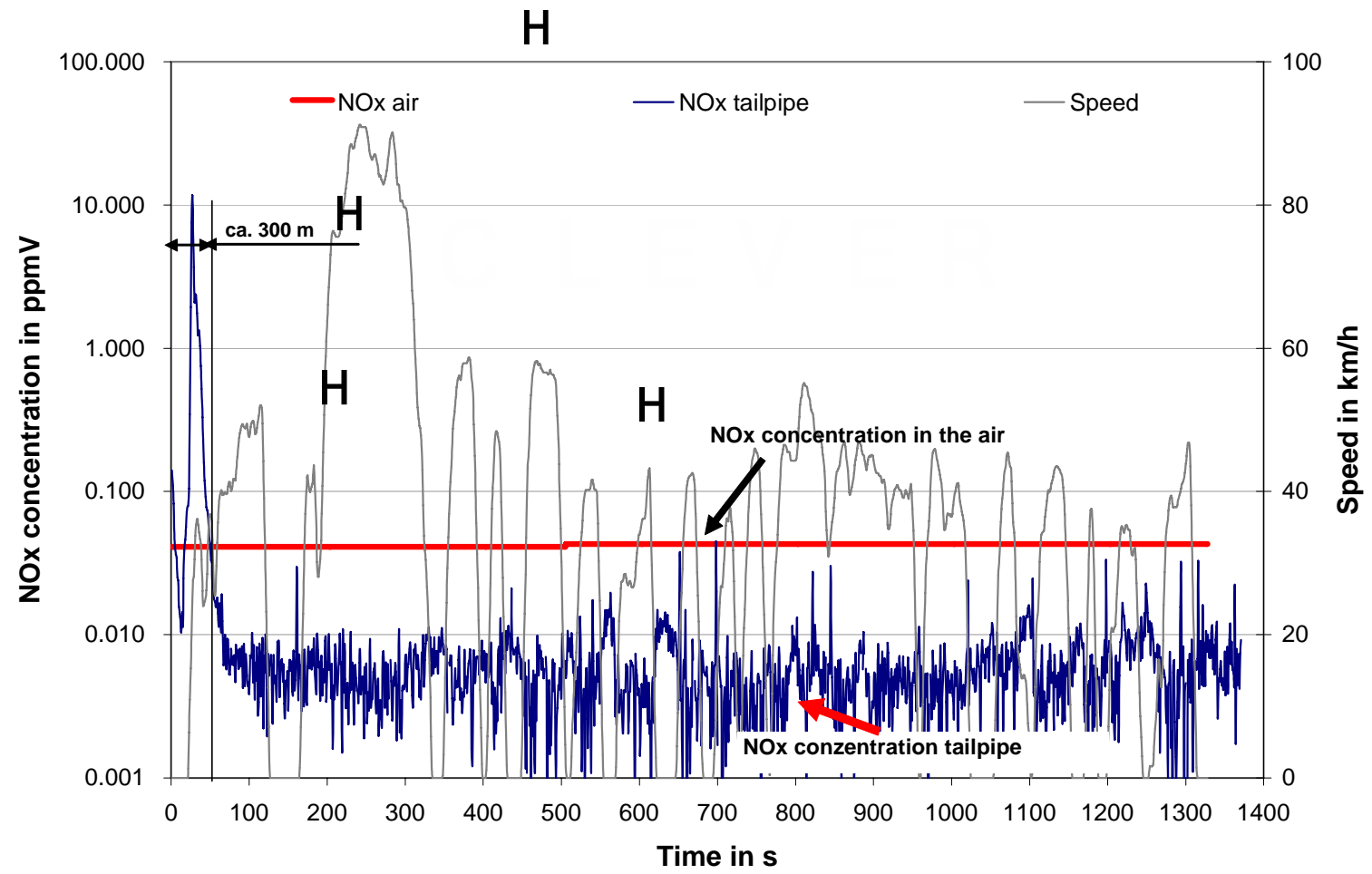
### Informationen:

Dr. Patrik Soltic (Projektleiter), +41 (0)44 823 46 24, patrik.soltic@empa.ch



# Niedrige Schadstoffe

## Null-Emissionspotenzial (ehemals CEV Projekt)

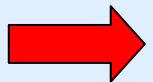


# Konventioneller Motor

Effizienzsteigerung reicht nicht aus!

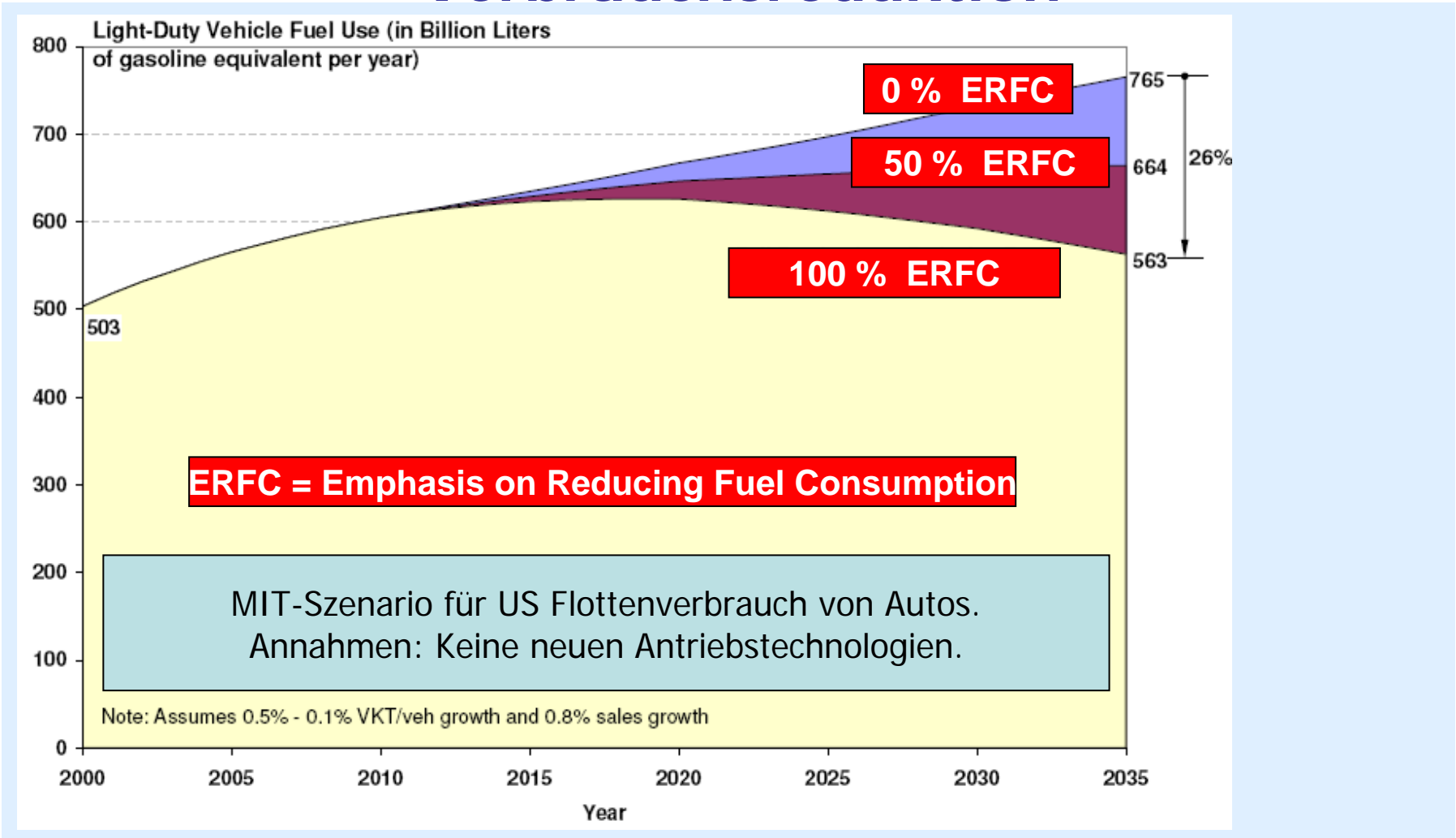
Von 1985 – 2005 sind die Motoren etwa 25% effizienter geworden;  
der Durchschnittsverbrauch ist aber nicht um 25% gesunken.

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



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

# Umwandlung von Technologieverbesserung in Verbrauchsreduktion



# Hybridantriebe

Hybridlösungen sind meist Transienten  
(Schifffahrt, Schreibmaschinen)

Bei Autoantrieben?

Geschichte: Start mit Elektro-Antrieb

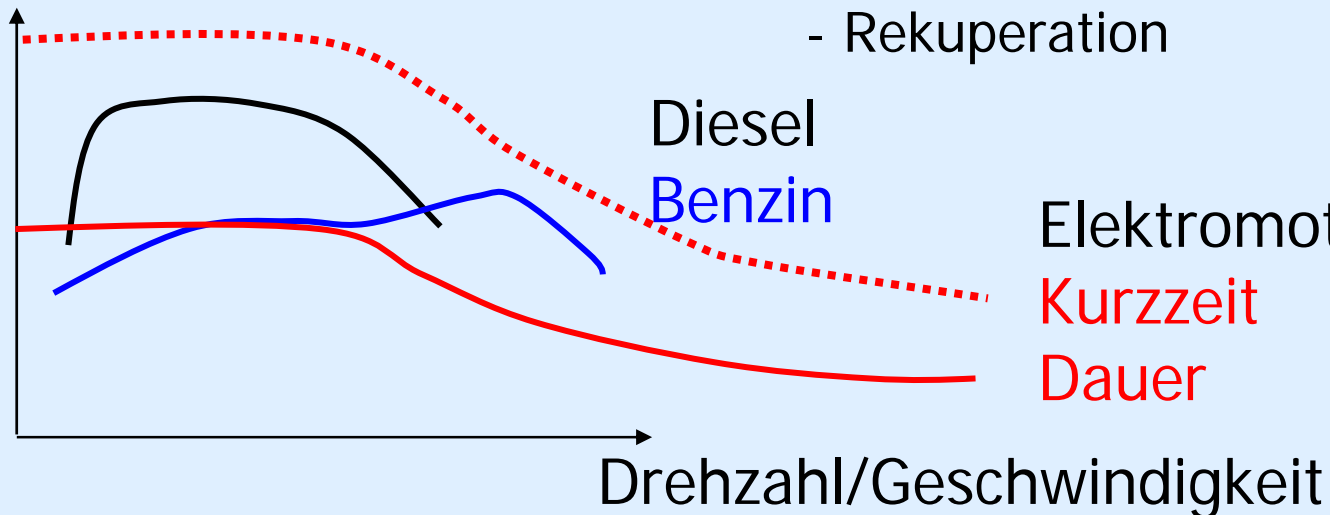
Wechsel vom Verbrennungs- zum Elektromotor ergibt neue  
Antriebscharakteristik

# Was wollen wir als Referenz?

Fahrzeug mit Benzinmotor

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

Drehmoment

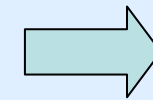
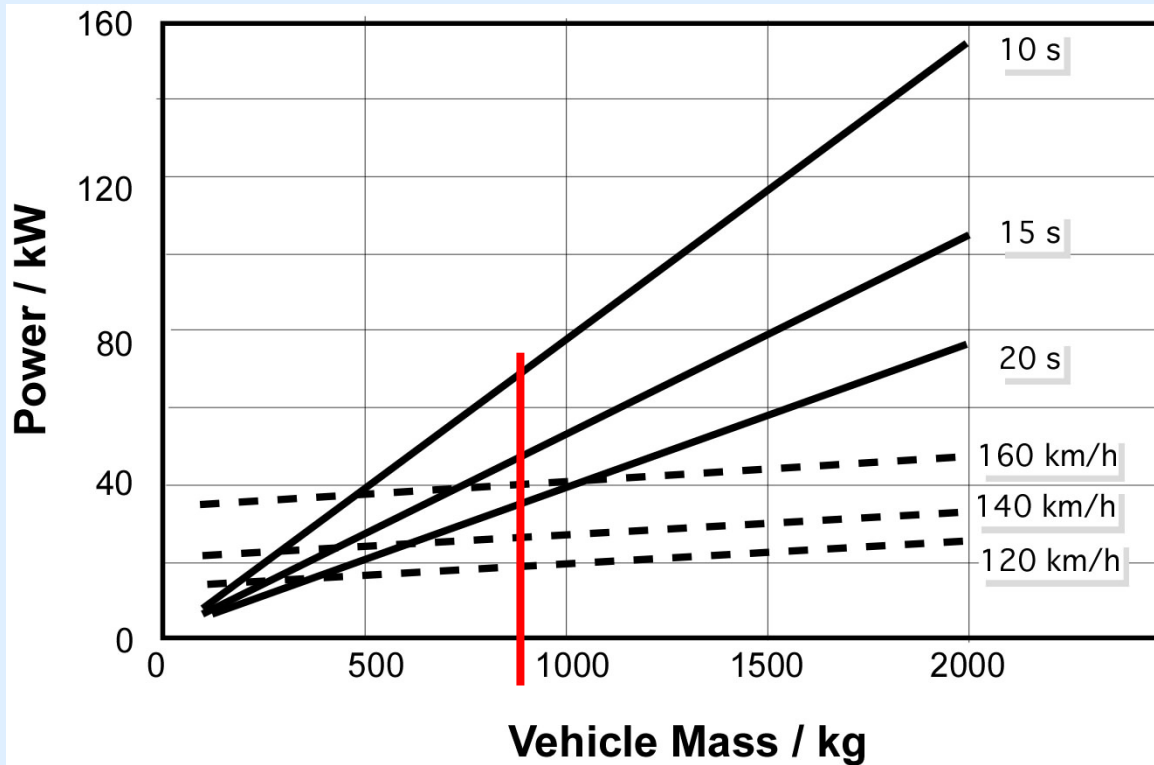


# Folgen für die Konzeptauslegung

Was wollen wir mit dem Hybrid erreichen?

- Substitution der VM-Teillast durch Elektroantrieb
- Plug-In Hybrids (Konzept als Range Extender)
- Reduktion der mechanischen Antriebskomponenten (Serie-Hybrid)

# Wie viel Leistung brauchen wir?

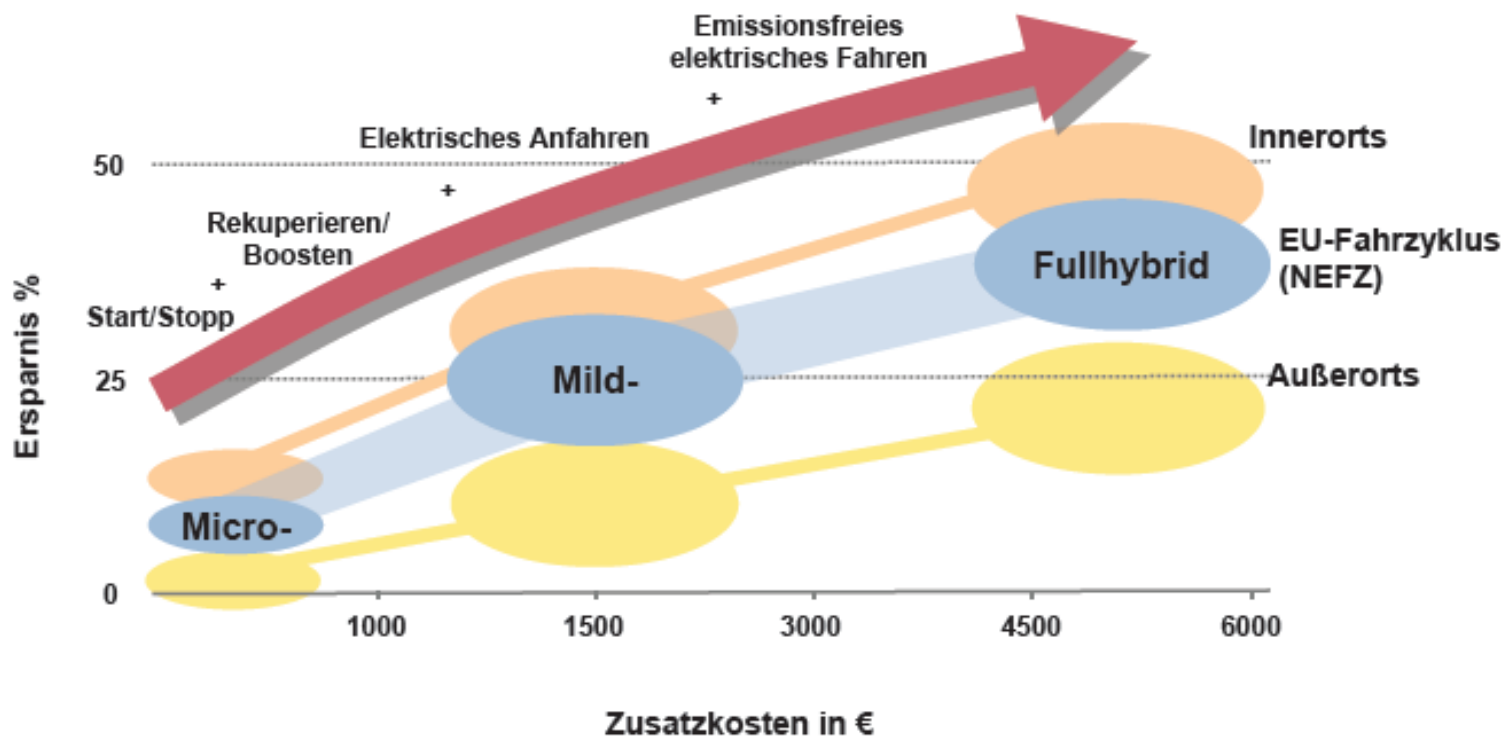


**Elektro-  
Hybrid**

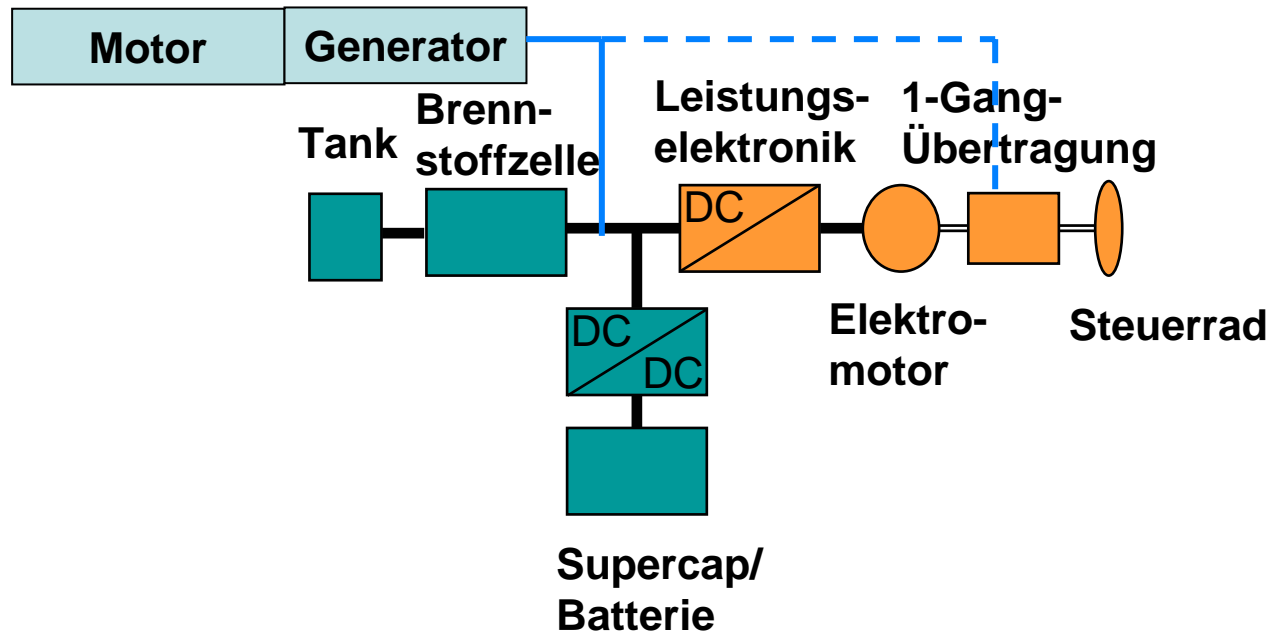
**30 kW  
Dauerlast**

**40 kW  
Spitzenleistung  
und Bremsen**

# Reduktionspotenziale bei Hybridantrieb



# Hybrid Antrieb



NiMH:	50 Wh/kg	290W/kg
Li-Ion:	110 Wh/kg	800 W/kg
Supercap:	4 Wh/kg	2500 W/kg

# Vorteile eines spezifischen Fahrzeugs

Leichtfahrzeug: Gewicht 850 kg

6 – 8 % Verbrauchsreduktion pro 100 kg

Weniger Masse

BZ-Antrieb erhöht  $\eta$  in der City

Supercaps erlauben Bremsenergienutzung  
(- 15% )

Kumuliert: Reichweitensteigerung mit H<sub>2</sub> (400 km)

# 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 <sub>2</sub>

## Brennstoffzellensystem

- 32 kW Nennleistung mit H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>
- Supercapacitorsystem
- 30 kW- 45 kW@17 Sekunden



# Hauptinnovationen im Fahrzeug

## Michelin:

Leichtbau-Chassis

Integration des H<sub>2</sub>-Tanks in die Fahrzeugstruktur

Elektrischer Antrieb in den Vorderrädern

Elektrische Dämpfung, die eine Lageregelung des Fahrzeugs in den Kurven ermöglicht

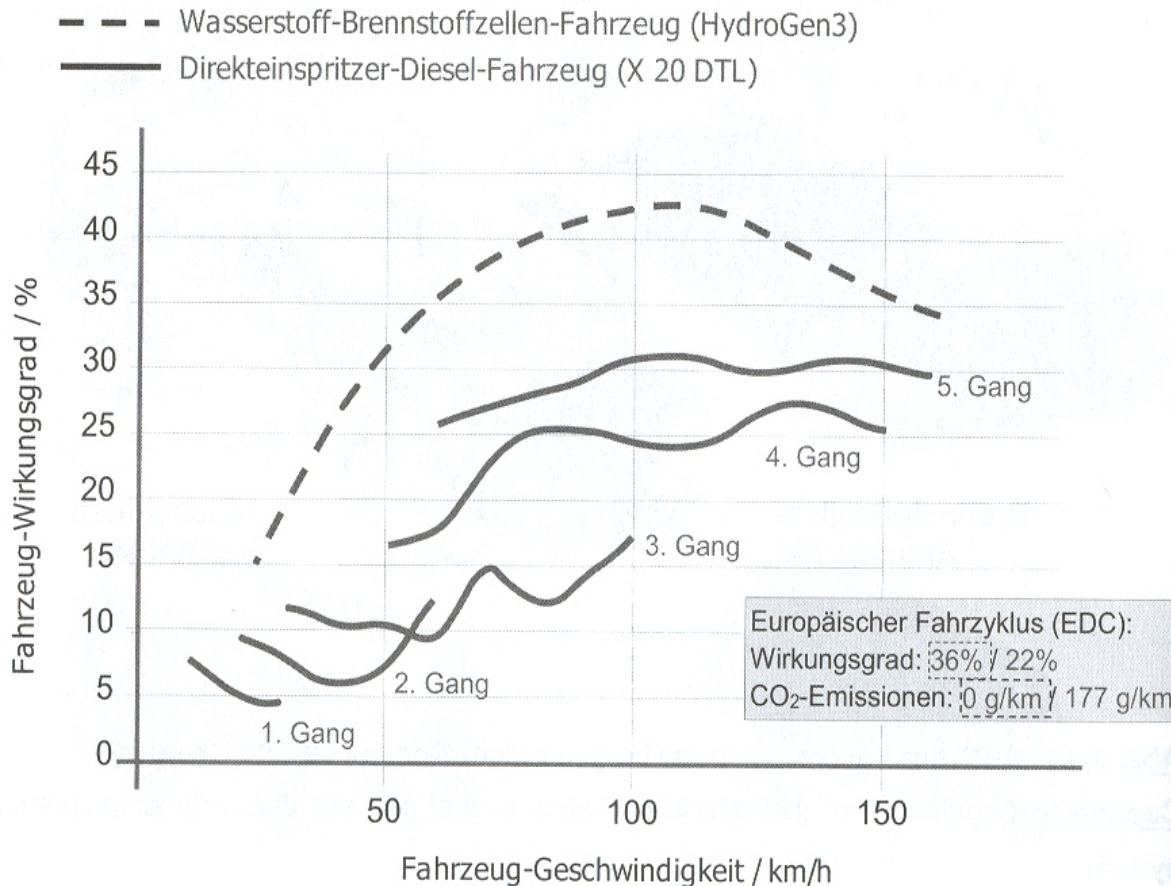
## PSI:

Brennstoffzellensystem mit Wasserstoff und Sauerstoff

Supercap-Speichermodul



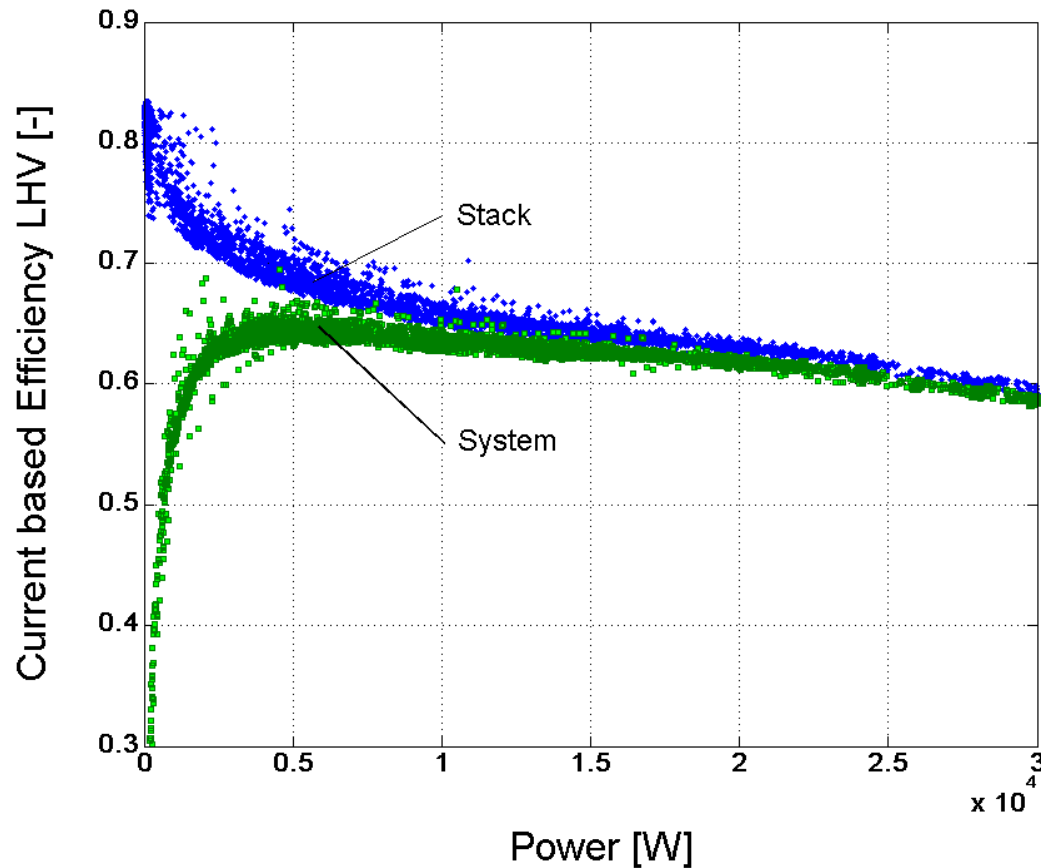
# Wirkungsgradvergleich in Gängen 1 - 5



Vergleich  
Dieselmotor  
gegenüber  
BZ mit Luft

Source: OPEL

# Wirkungsgrad eines Brennstoffzellensystem

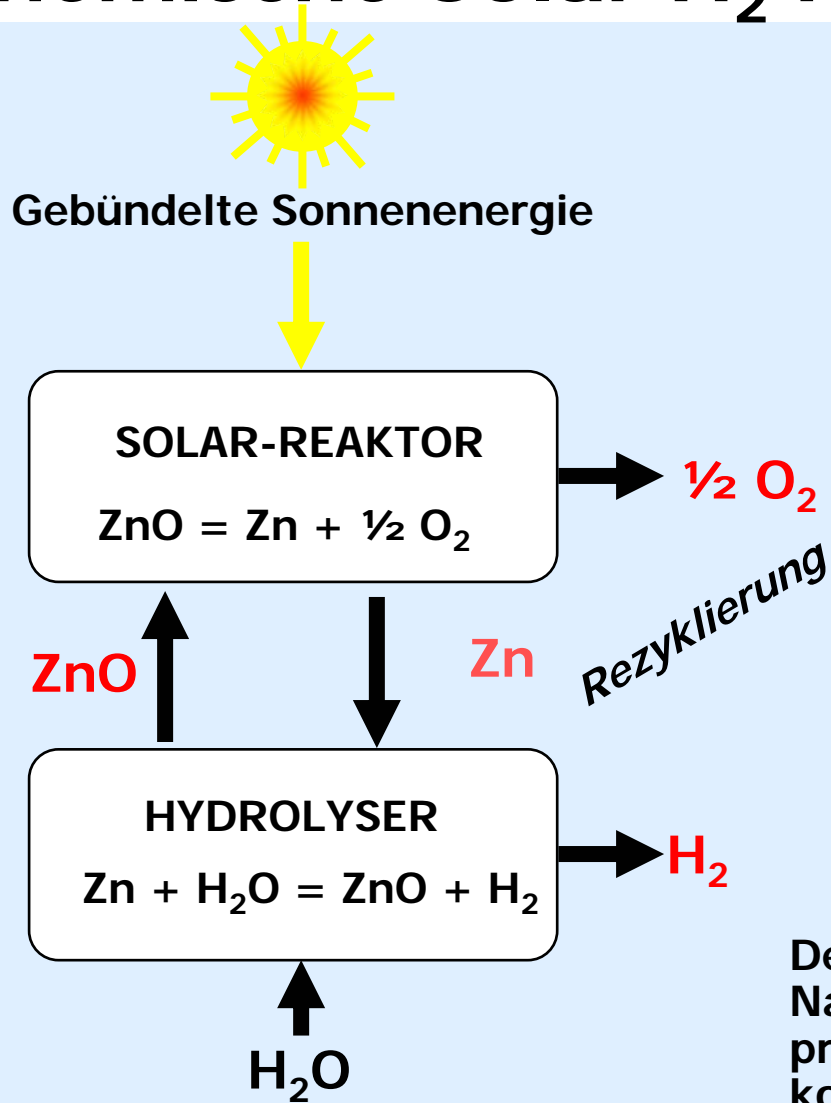


Wirkungsgrad  
des  
BZ-Systems  
des HY-LIGHT  
mit H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>

Collaboration:  
PSI-Michelin



# Chemische Solar H<sub>2</sub> Produktion



$h_{\text{Energie}} = 29 \% \quad 36 \% \text{ Potenzial}$

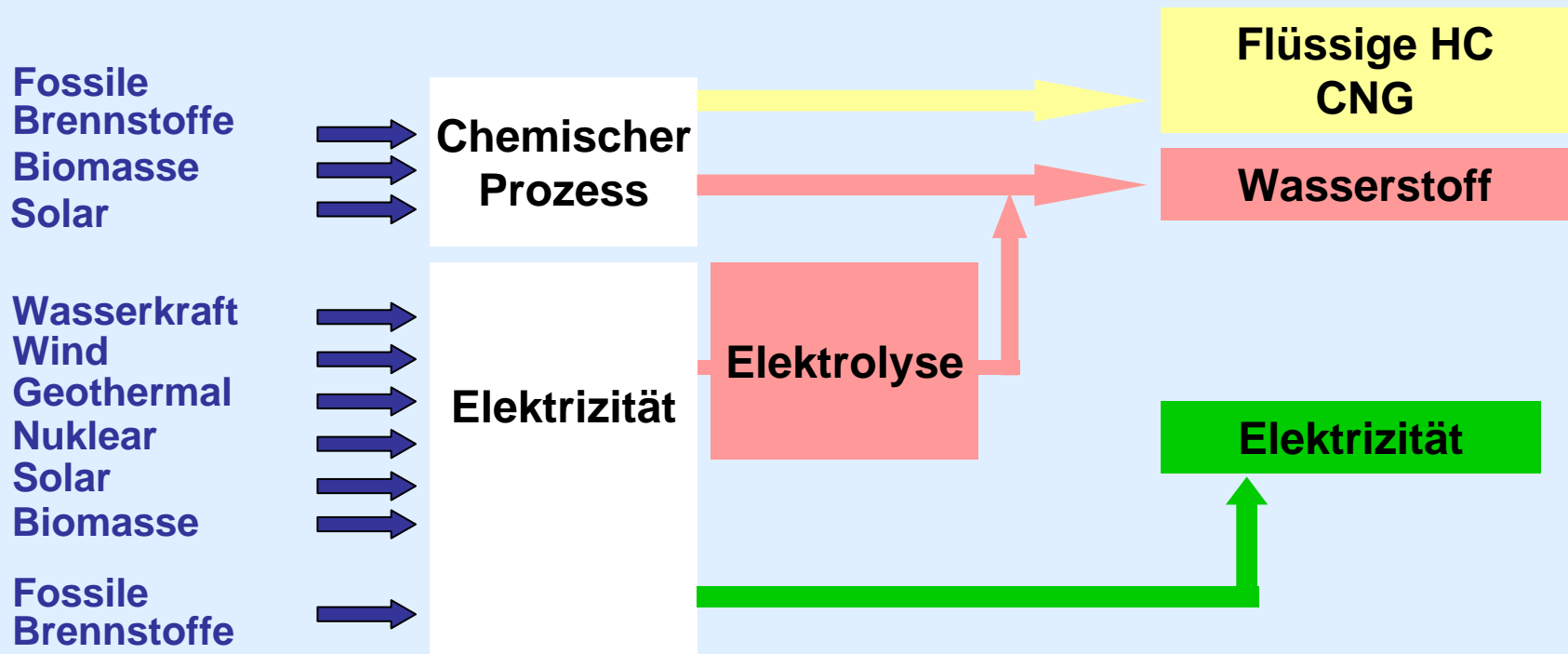
Kosten von solarem H<sub>2</sub>:  
 0.10 - 0.15 €/kWh

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.

# Positionierung neuer Energieträger



## Elektrizität

- + Transportfähigkeit
- + Energetischer Gehalt
- + Genutzte und bewährte Technologie
- Lagerung
- + Verbrauch ist lokal CO<sub>2</sub>-frei

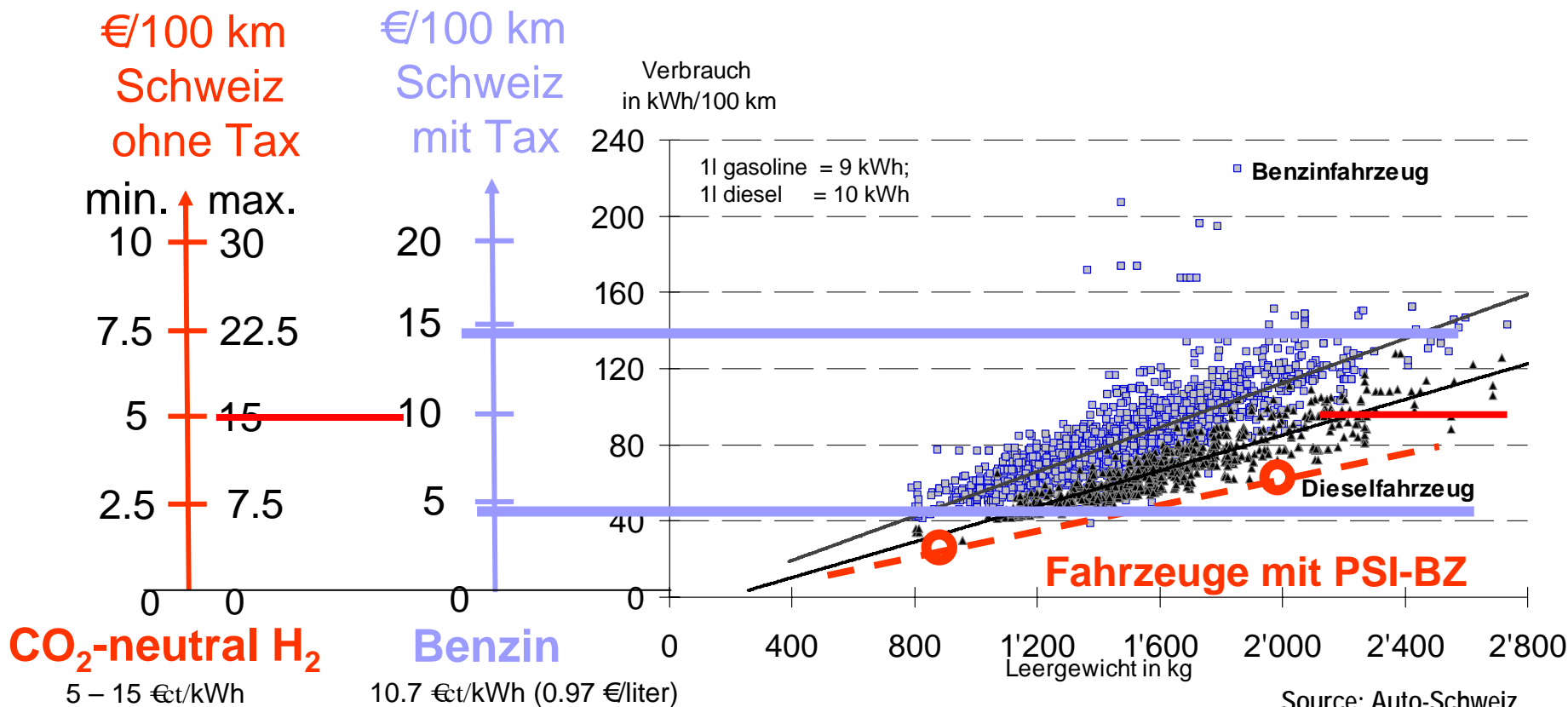
## Wasserstoff

- + Verbrauch ist lokal CO<sub>2</sub>-frei
- + Hoher spezifischer Energiegehalt
- + Lagerung
- Transportfähigkeit
- o Nutzung erfordert unterschiedliche Sicherheitsanforderungen

# Treibstoffkosten per 100 km pro Fz

**Verbrauchsreduktion durch Wirkungsgradsteigerung**

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



# Reines Batterie-Elektrofahrzeug

Effiziente Art der Mobilität

- Preis ist stark abhängig von der Reichweite
  - > Reichweite von 80-150 km denkbar, darüber wird es sehr teuer
- Ladezeit dauert Stunden
- Strom ist ein Energieträger und erzeugt lokal keine Emissionen
- Li Ionen Batterie hat ein grosses Potenzial, ist aber als Alleinspeicher noch nicht marktfähig

# Schlussfolgerungen

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

# Schlussfolgerungen II

- Erdgas und SNG bieten Potenzial für effiziente Biomassenutzung und minimale Emissionen; Biomasse ist begrenzt verfügbar und muss mit bestem Wirkungsgrad genutzt werden
- Wasserstoff kann ein Energieträger zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe darstellen
- Es wird in Zukunft eine Vielzahl von Treibstoffen geben (regional spezifisch)