



# MOBILITÄT DER ZUKUNFT

Vortrag  
von Prof. Dr.-Ing. M. Freitag  
am 19. September 2005  
Bad Schachen

# Einleitung

Martin Freitag

Prof. an der Berufsakademie in FN; Maschinenbau,  
 Motorenentwicklung, auch heute wieder (Gasmotor)  
 MTU-Vorentwicklung, Studie "Alternative Antriebe",  
 Brennstoffzelle

Gliederung:

Mobilität	Kommunikationstechnik und Transportsysteme
Exkurs	Wie entwickelt sich Technik?
Fokus Automobil	Das Auto und sein Antriebssystem
Motor	Weiterentwicklung Verbrennungsmotor? Lösung Brennstoffzelle?
Energiespeicher	Bedeutung Energiegehalt Speicher
Konzepte	So weitermachen wir bisher? Lösung Elektroauto Lösung Brennstoffzellenauto Lösung Hybridauto
Ausblick	Ausblick

# Was ist Mobilität? Wozu Mobilität?

# A

**MOBILITÄT**  
schafft die Möglichkeit, als Person  
räumliche Entfernungen  
zu überwinden

# B



Einzelarbeit



z.B. Projektteam-Meeting

"vor Ort"  
mit anderen Partnern,  
zu Hause  
Information sammeln,  
erarbeiten, speichern  
Aufgaben lösen

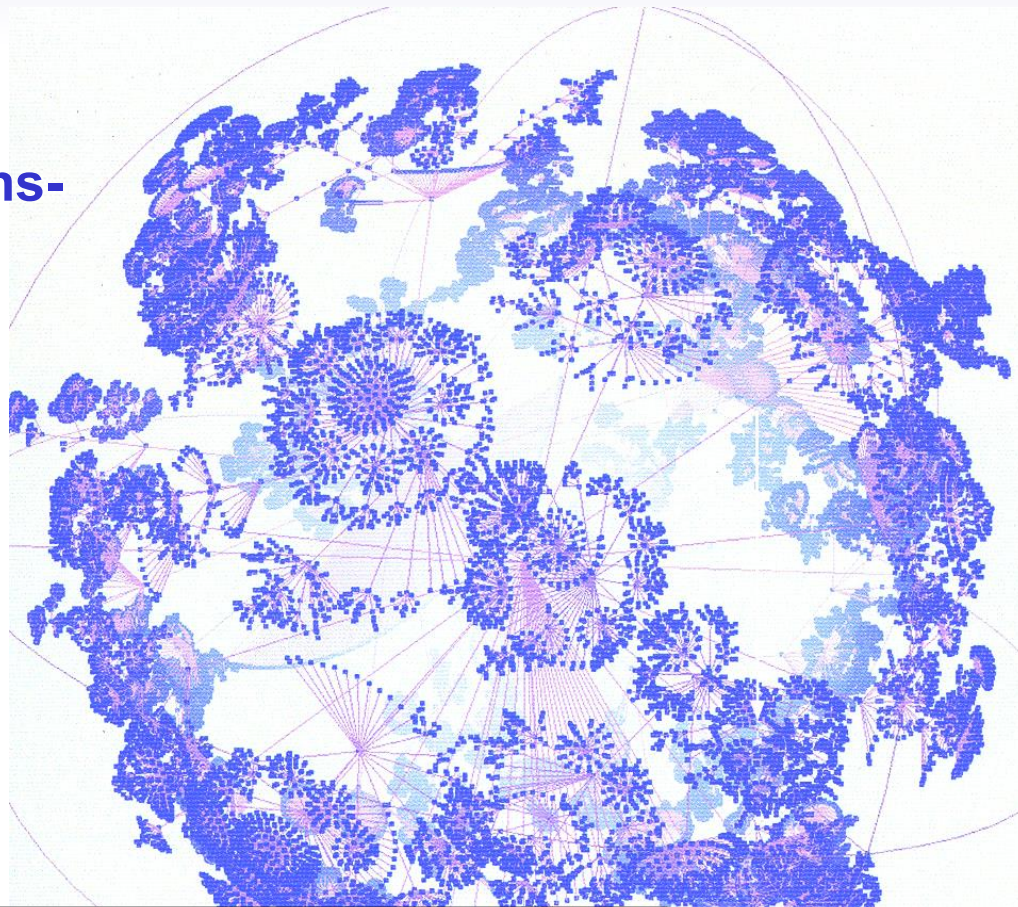
Projektarbeit:  
Informationsaustausch, -weitergabe  
Arbeitsorganisation/Aufgabenteilung  
Konfliktmanagement  
Motivation  
soziale Komponenten

# Kommunikationstechnik contra Mobilität?

aber es gibt doch

## moderne Kommunikationstechnik?

- Telefon
- Fax
- E-Mail
- Intranet
- Internet
- Telefonkonferenz
- Videokonferenz
- UMTS-Handy
- W-LAN
- Heim Arbeitsplätze



Kommunikationstechnik wird an Bedeutung gewinnen, trotzdem wird auch in Zukunft Mobilität erforderlich sein

dreidimensionale Darstellung des Datenverkehrs von ca. 500 000 Computern im Internet



# Weitere Felder mit Mobilitätsbedarf

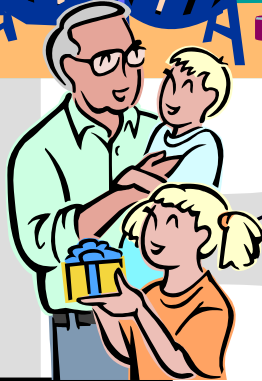
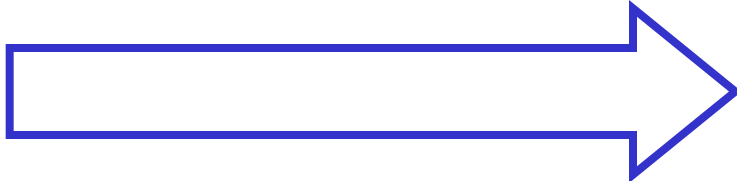
<b>Mobilität</b>	Exkurs	Fokus Automobil	Motor	Energiespeicher	Konzepte	Ausblick
------------------	--------	-----------------	-------	-----------------	----------	----------

# A

**MOBILITÄT**  
schafft die Möglichkeit, als Person  
räumliche Entfernungen  
zu überwinden



Mobilität nicht nur für  
Arbeitsprozesse nötig



# Transportsysteme ermöglichen Mobilität

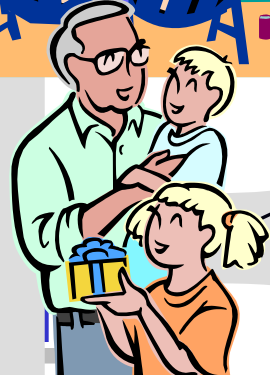
<b>Mobilität</b>	Exkurs	Fokus Automobil	Motor	Energiespeicher	Konzepte	Ausblick
------------------	--------	-----------------	-------	-----------------	----------	----------

# A

**MOBILITÄT**  
schafft die Möglichkeit, als Person  
räumliche Entfernungen  
zu überwinden



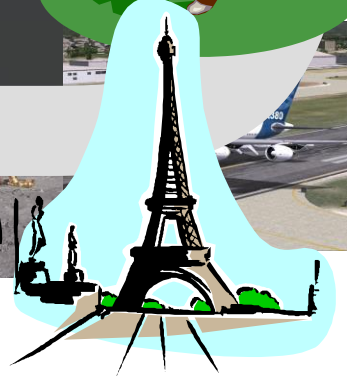
Mobilität ist an Transportsysteme gebunden, das sind technische Systeme zur Beförderung von Menschen um räumliche Entfernungen zu überwinden.



## Fortbewegungsmittel, Transportsystem



Mobilität nicht nur für Arbeitsprozesse nötig

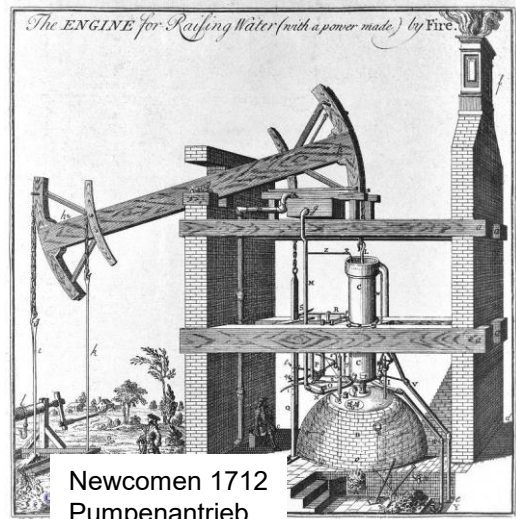




Aussage zu Mobilität in der Zukunft  
→ gebunden an Aussage  
zur Zukunft der Transportsysteme

## **Exkurs: Technik-Entwicklung**

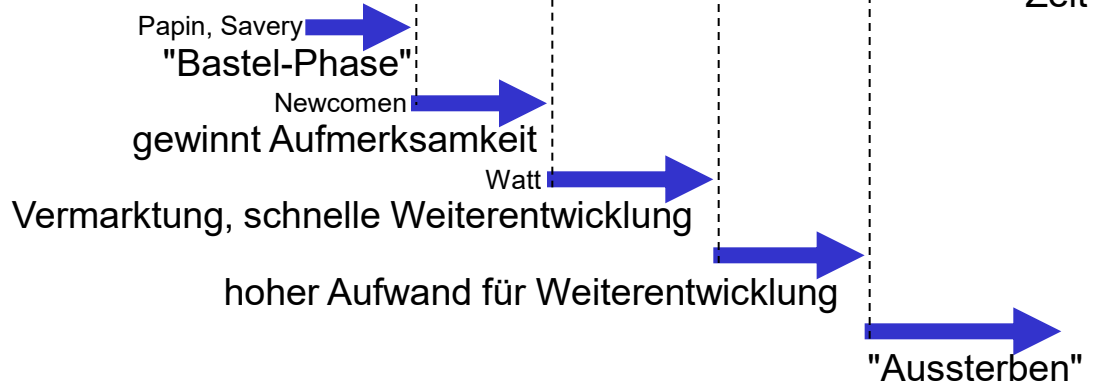
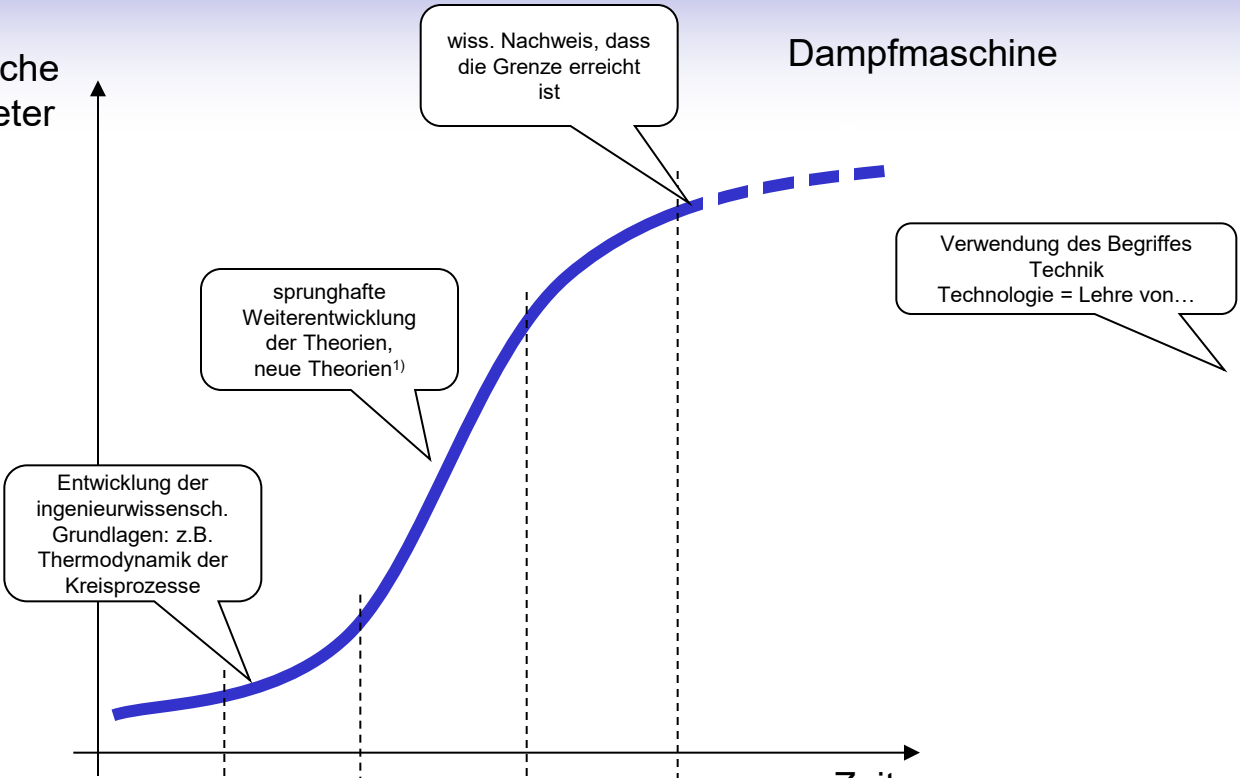
# Technikentwicklung, typischer Verlauf



Newcomen 1712  
Pumpenantrieb  
Bergwerk  
 $\eta = 0,5\%$

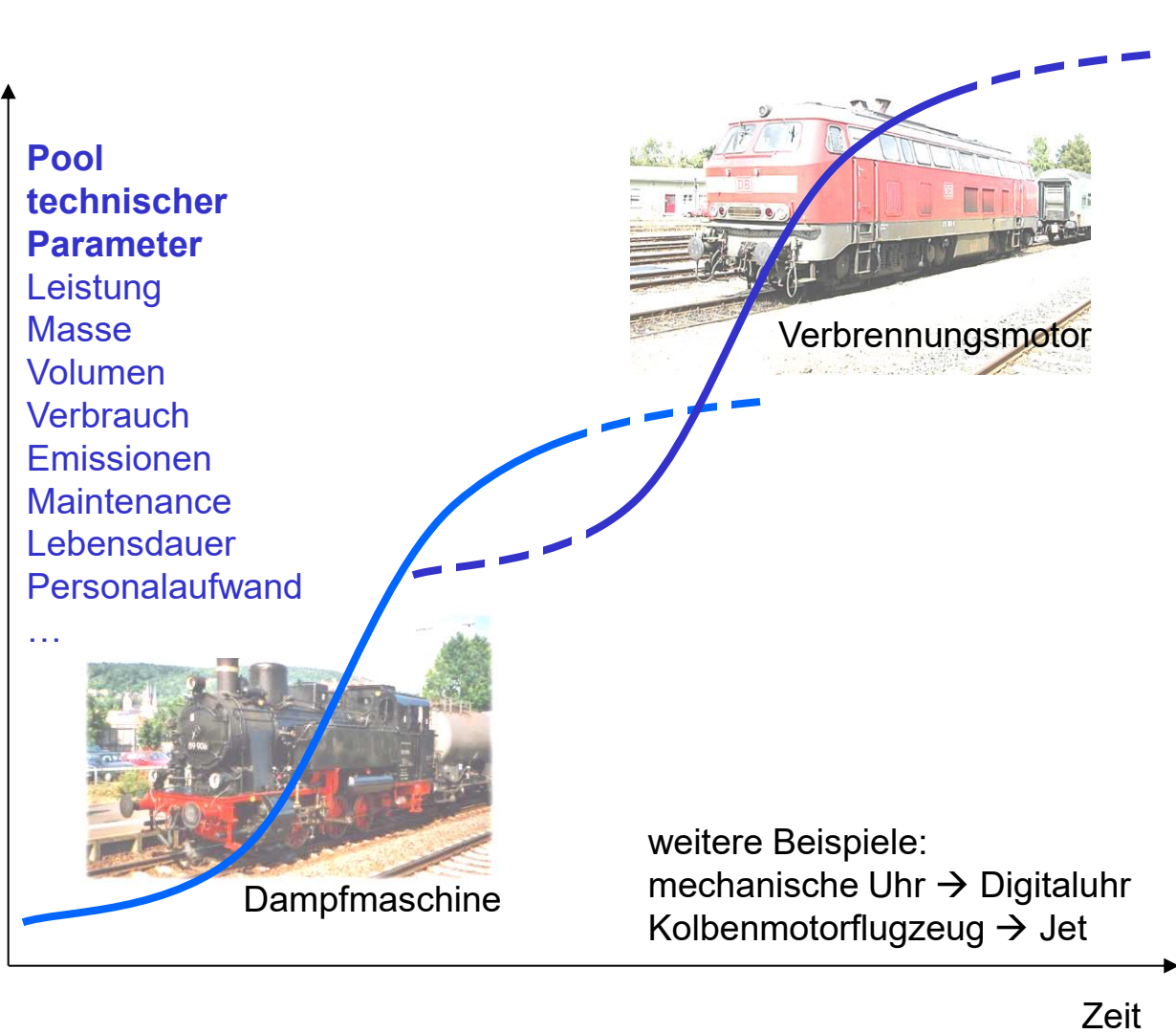
technische  
Parameter

Dampfmaschine



<sup>1)</sup> als Basis für neuartige Techniken

# Ablösung von Antriebstechniken (Bspl. Bahn)



weitere Beispiele:  
 mechanische Uhr → Digitaluhr  
 Kolbenmotorflugzeug → Jet

Beachte zusätzlich:  
 diese Abläufe können durch  
 sprunghafte Änderungen  
 der Randbedingungen  
 "gestört" werden.

Wirkung:  
 Wichtungen im Pool der  
 technischen Parameter  
 verschieben sich

(Bspl. Concorde mit  $v > \text{Mach } 2$ ,  
 Kraftstoffverbrauch nebensächlich;  
 dann erste Ölkrise Anfang 70er)

**Es gibt Einflüsse**

- von innen  
 (techn. Entwicklung des Systems) und
- von außen  
 (Veränderung der Randbedingungen)

# Fokussierung auf das Automobil

Mobilität

Exkurs

**Fokus Automobil**

Motor

Energiespeicher

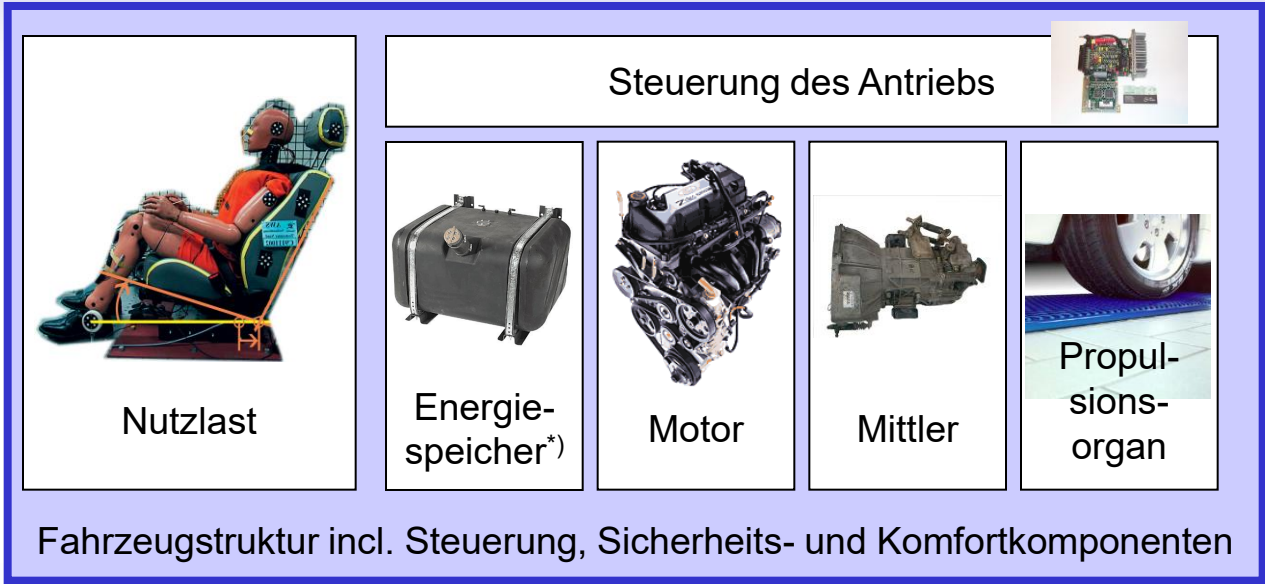
Konzepte

Ausblick



**Fokussierung:  
Transportsystem  
Automobil**

# Fahrzeugsystem Automobil



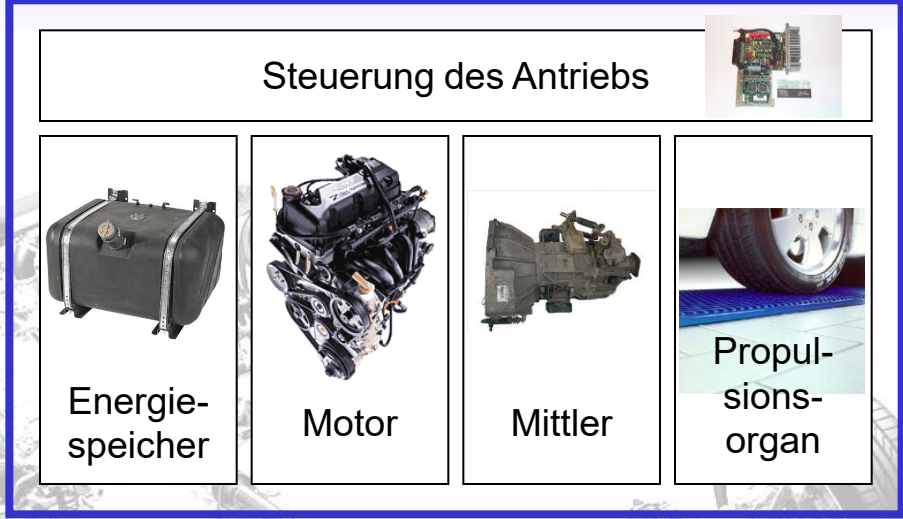
**neutrales**, da für uns unerschwingliches (?) Fahrzeug gewählt



\*) Fremdspeisung Oberleitungsnetz wird hier nicht betrachtet, Aufwand!

# Antriebssystem und seine Hauptkomponenten

## Antriebssystem



Leistungsbereich  
20 ... 200 kW

**Energiespeicher:**

- Tank (flüss./gasf. Brennstoff)
- Bunker (fester Brennstoff)
- Batterie



**Motor:**

- Dampfmaschine
- Dampfturbine
- Verbrennungsmotor
- Brennstoffzelle
- Gasturbine
- Raketen"motor"



**Mittler:**

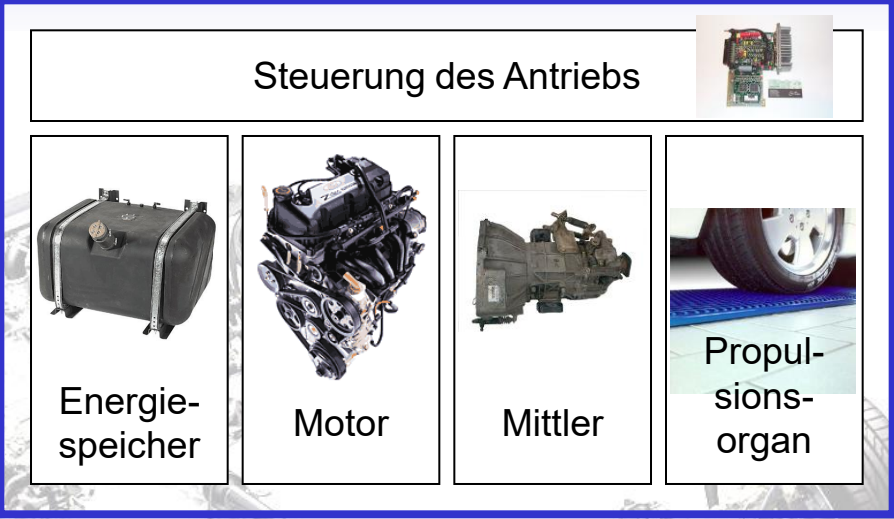
- Getriebe
- elektr. Radantrieb bzw. E-Motor
- Hydraulik



**Propulsionsorgan:**

- Extremitäten (Beine)
- Rad
- Propeller
- Düse

# Antriebssystemkomponente "Propulsionsorgan"



**Energiespeicher:**

- Tank (flüss./gasf. Brennstoff)
- Bunker (fester Brennstoff)
- Batterie



**Motor:**

- Dampfmaschine
- Dampfturbine
- Verbrennungsmotor
- Brennstoffzelle
- Gasturbine
- Raketen"motor"



**Mittler:**

- Getriebe
- elektr. Radantrieb bzw. E-Motor
- Hydraulik



**Propulsionsorgan:**

- Extremitäten (Beine)
- Rad
- Propeller
- Düse

**geeignet:**  
**angetriebenes Rad** als Propulsionsorgan  
hoher Wirkungsgrad der  
mechanischen Energieübertragung  
einfach  
leise  
kostengünstig  
eventuell Weiterentwicklung der  
Paarung Rad/Straße  
(neuartige Beläge, Reifen), aber keine  
signifikanten Verbesserungen

**wenig geeignet: Propellerfahrzeug**  
nur für Sonderanwendungen (Amphibienfahrzeug) sinnvoll



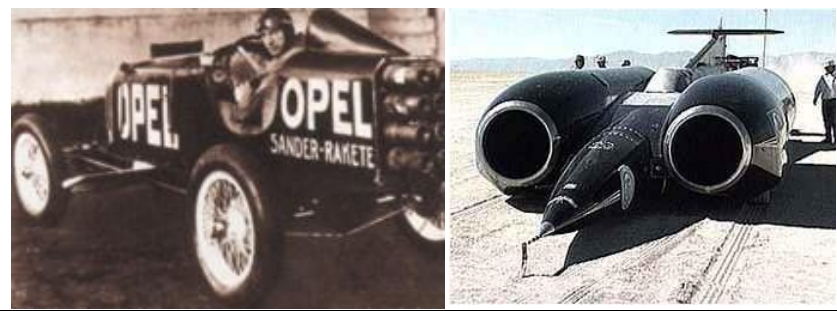
Propulsionsorgan:

- Extremitäten (Beine)
- Rad
- Propeller
- Düse

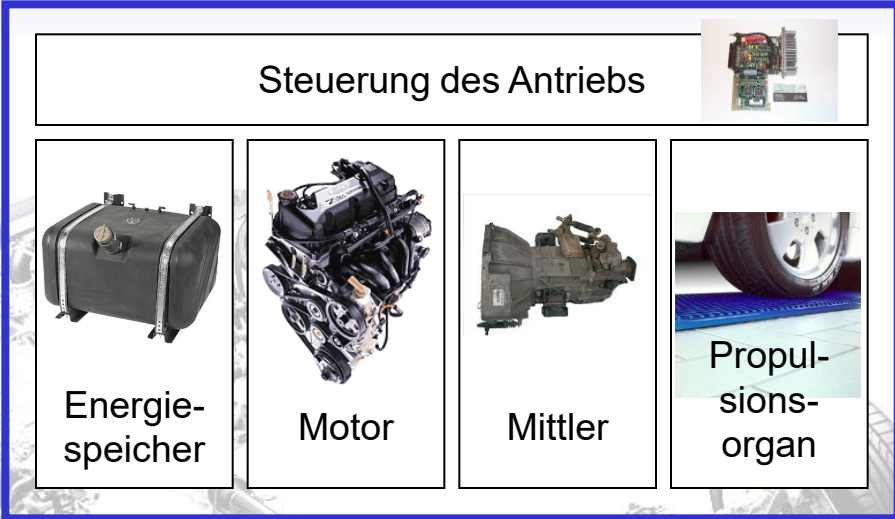
nur ein Scherz!



**wenig geeignet: Rückstoßantrieb**  
(Valier 1927, Thrust 1 Weltrekordfahrzeug 1997, Schallgeschwindigkeit)  
nur für Sonderanwendungen



# Antriebssystemkomponente "Mittler" Leistungsübertragung mit Drehmoment/Drehzahlanpassung



**Energiespeicher:**

- Tank (flüss./gasf. Brennstoff)
- Bunker (fester Brennstoff)
- Batterie



**Motor:**

- Dampfmaschine
- Dampfturbine
- Verbrennungsmotor
- Brennstoffzelle
- Gasturbine
- Raketen"motor"



**Mittler:**

- Getriebe
- elektr. Radantrieb bzw. E-Motor
- Hydraulik



**Propulsionsorgan:**

- Extremitäten (Beine)
- Rad
- Propeller
- Düse

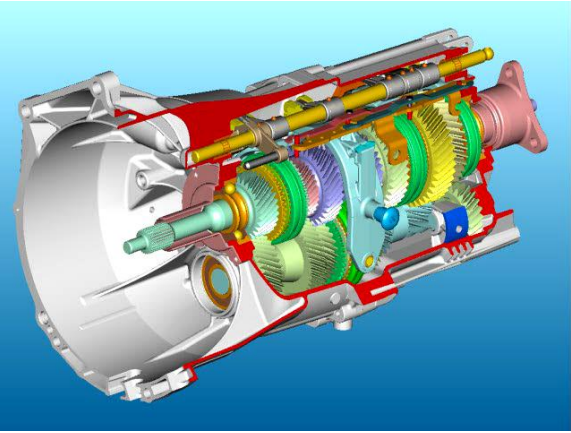
# konventioneller Powertrain

Liefert der Motor des Antriebssystems

- mechanische Energie (Drehmoment an Welle), dann → Schaltgetriebe
- elektrische Energie (Brennstoffzelle, Batterie), dann → elektr. Fahrmotor

Je mehr Energiewandlungen, um so ineffizienter das System

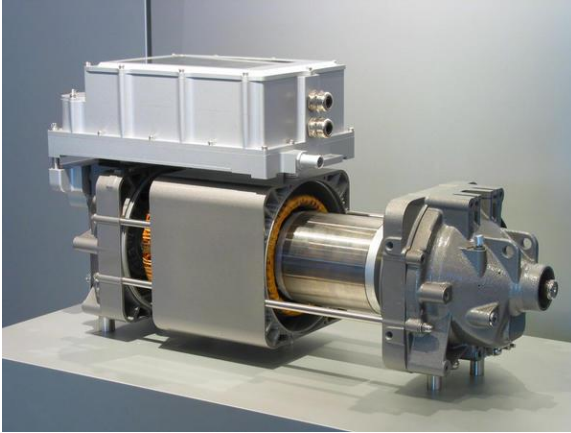
## geeignet: mechanisches (Schalt-)Getriebe



hoher Wirkungsgrad  
Getriebe/Welle kompakt, leicht, kostengünstig, hohe Lebensdauer  
Komfort ☒: Automatikgetriebe und Elektronik  
**(sehr) komplex**  
Getriebeentwicklung: bessere Anpassung Motor - Fahrzeug dadurch auch Verbrauchs- und Emissionsenkung

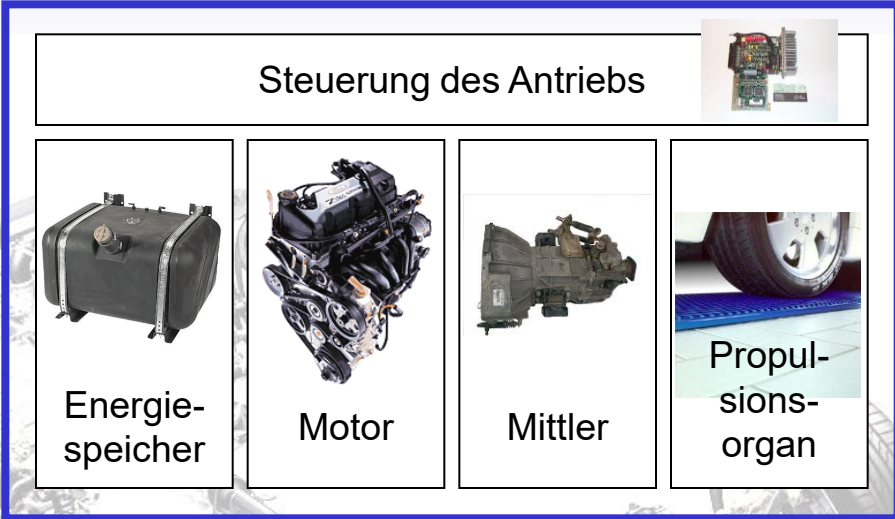
Mittler:  
  
Getriebe  
elektr. Radantrieb  
bzw. E-Motor  
Hydraulik

## geeignet: elektrischer Fahrmotor



hohe Flexibilität  
breiter Drehzahlbereich  
→ kein oder sehr einfaches Getriebe  
Anfahren ohne Kupplung  
einfacher Aufbau  
**voluminös**  
**schlechtes Masse/Leistungs-Verhältnis**  
  
Entwicklungspotenzial (Werkstoffe)

# Antriebssystemkomponente "Motor"



**Energiespeicher:**  
 Tank  
 (flüss./gasf. Brennstoff)  
 Bunker  
 (fester Brennstoff)  
 Batterie



**Motor:**  
 Dampfmaschine  
 Dampfturbine  
 Verbrennungsmotor  
 Brennstoffzelle  
 Gasturbine  
 Raketen"motor"



**Mittler:**  
 Getriebe  
 elektr. Radantrieb



**Propulsionsorgan:**  
 Extremitäten (Beine)  
 Rad  
 Propeller  
 Düse



# Lösung konventioneller Verbrennungsmotor?

## geeignet: Verbrennungsmotor

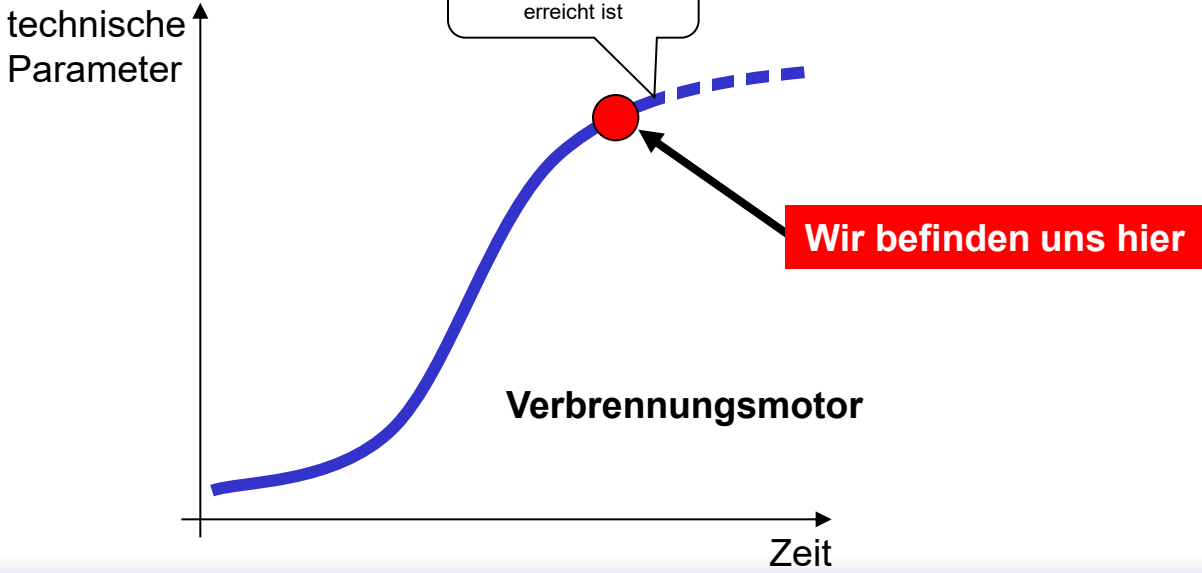


Themen der Motortechnischen Konferenz "Der Antrieb von morgen"  
Ingolstadt Februar 2005

- Verbrennungsentwicklung:
  - Benzindirekteinspritzung
  - Schichtladung
  - Variable Ventilsteuerung
  - Downsizing
  - Verringerung Motormasse
  - zweistufige Aufladung, Hochaufladung
  - Zylinderabschaltung
  - zugeschnittene Kraftstoffe aus "anderen" Quellen
  - Hybrid-Antriebe

Ziele:  
• Kraftstoffverbrauchssenkung  
• Emissionsenkung

- Motor:
- Dampfmaschine
  - Dampfturbine
  - Verbrennungsmotor
  - Brennstoffzelle
  - Gasturbine
  - Raketen"motor"





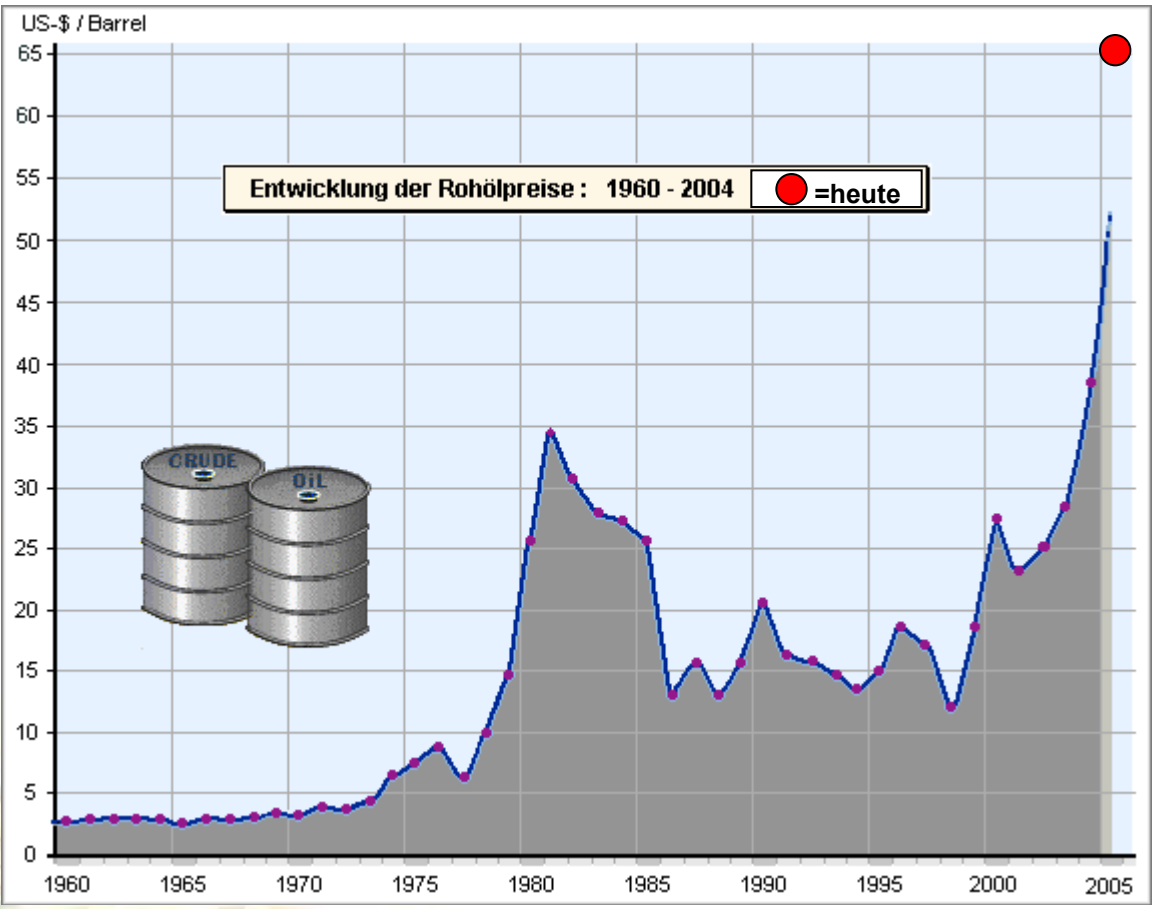
**Australischer Kurzschnabeligel**, ein Tier, das alle Probleme durch graben zu lösen versucht. Wir versuchen, alle Probleme durch Motorforschung zu lösen, weil dort das Geld vorhanden ist.

- Motor:
- Dampfmaschine
  - Dampfturbine
  - Verbrennungsmotor
  - Brennstoffzelle
  - Gasturbine
  - Raketen"motor"

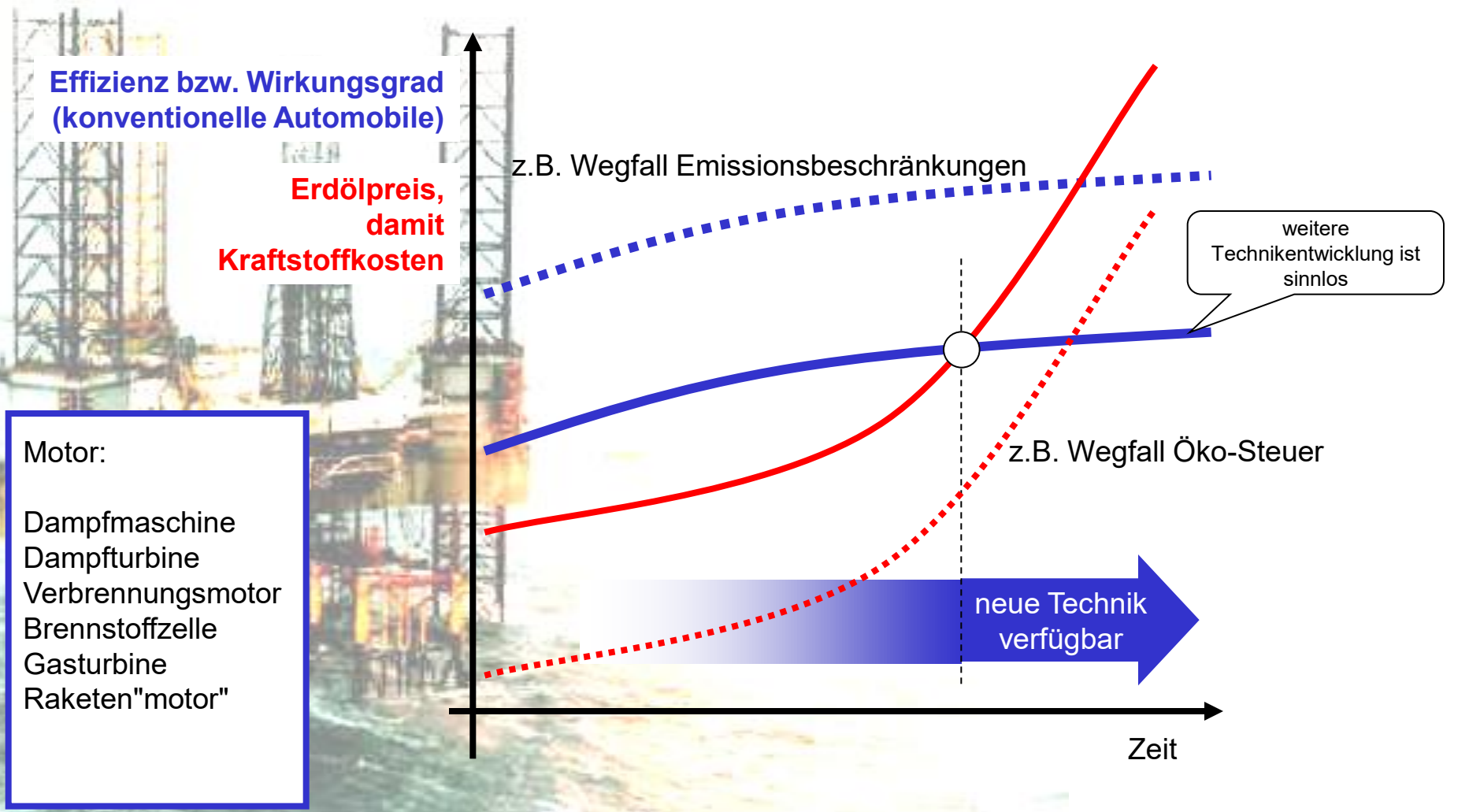
Abraham Maslow:  
„Wenn Sie nur einen Hammer kennen, sieht jedes Problem wie ein Nagel aus.“

im übrigen schläft das Tier tagsüber und ist nur in der Nacht aktiv

# Einfluss der Änderung von Randbedingungen für konvent. Verbrennungsmotor (1)



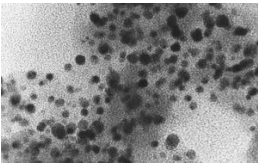
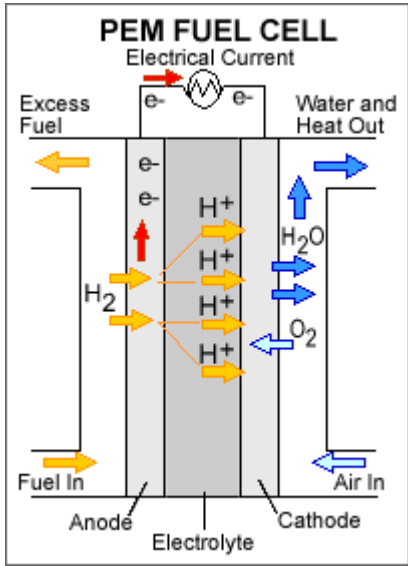
# Einfluss der Änderung von Randbedingungen für konvent. Verbrennungsmotor (2)



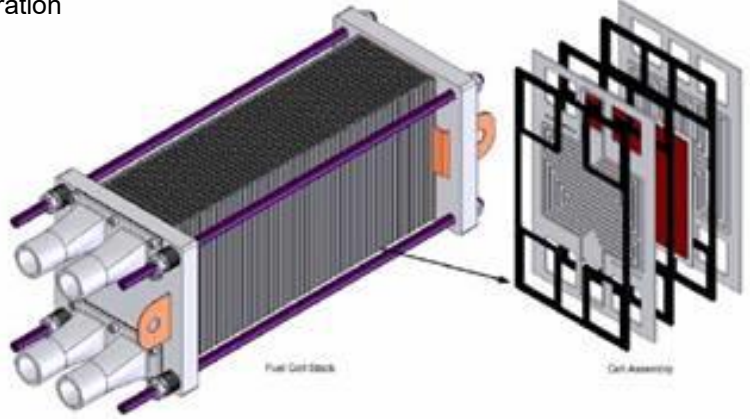
- Motor:
- Dampfmaschine
  - Dampfturbine
  - Verbrennungsmotor
  - Brennstoffzelle
  - Gasturbine
  - Raketen"motor"

# Lösung Brennstoffzelle? (1)

wandelt Wasserstoff direkt mit Luftsauerstoff  
 in Gleichstrom um → Fahrmotoren als Radantrieb  
 sehr guter Wirkungsgrad, bei Teillast günstiger (→ 60%)  
 einfach, skalierbar  
 sehr umweltfreundlich  
 teuer (Platin Katalysator)  
 (zu) geringe Lebensdauer



Platin-Agglomeration



- Motor:
- Dampfmaschine
  - Dampfturbine
  - Verbrennungsmotor
  - Brennstoffzelle
  - Gasturbine
  - Raketen"motor"



# Lösung Brennstoffzelle? (2)

Es gibt Potenziale für Optimierungen.

**Die Brennstoffzelle steht am Beginn ihrer Entwicklung**

flankierende Technologien:

- Leistungselektronik
- Mikrorobotik, Nanotechnologien (Molekularsiebe)
- Membrantechnologien
- Fertigungstechnologien für "neue Werkstoffe": Keramik, Kunststoffe
- alle Techniken zur Erzeugung/Speicherung von H<sub>2</sub> und/oder Elektroenergie

Biotechnologien:  
 Brennstoffzelle wird biologischen Systemen ähnlicher (Membrane, organische Katalysatoren, ...)  
 Prozesse aber bei höheren Temperaturen und Drücken möglich (jenseits der "Eiweiss-Grenze")

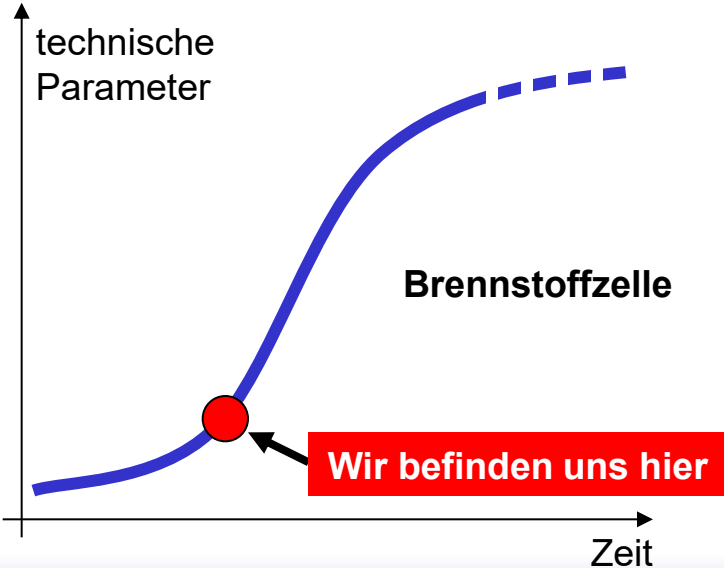
Nutzung des Einfluss von Strömungsverhältnissen, Druck, Temperatur und Teildrücken der beteiligten Gase

Verbesserung der Wirksamkeit peripherer Einrichtungen

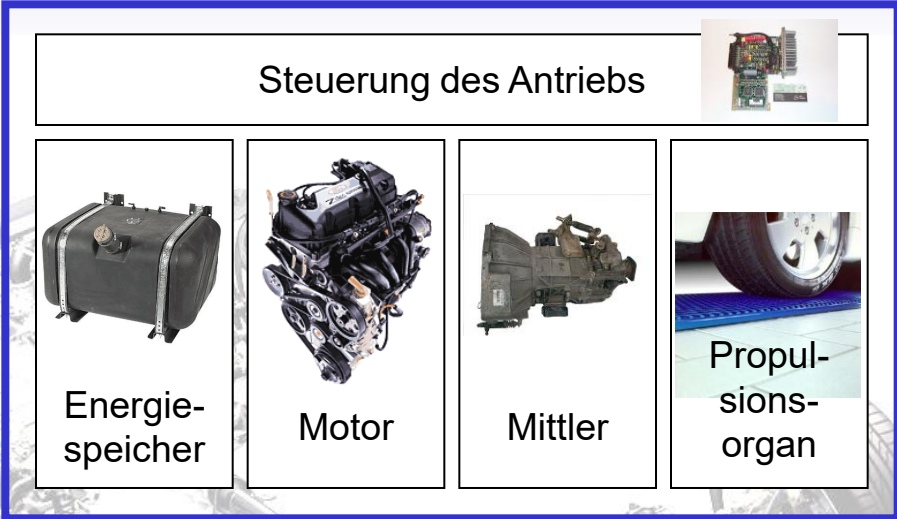
**Ziele:**

- **Kostensenkung**
- **Lebensdauererhöhung**

- Motor:**
- Dampfmaschine
  - Dampfturbine
  - Verbrennungsmotor
  - Brennstoffzelle
  - Gasturbine
  - Raketen"motor"



Brennstoffzellentypen		
AFC	80 °C	veraltet
PAFC	80 °C	veraltet
PEM	80 °C	automotive
DMFC	120...160 °C	automotive
MCFC	600...700 °C	nur stationär
SOFC	> 1000 °C	Potenzial



**Energiespeicher:**

- Tank (flüss./gasf. Brennstoff)
- Bunker (fester Brennstoff)
- Batterie



**Motor:**

- Dampfmaschine
- Dampfturbine
- Verbrennungsmotor
- Brennstoffzelle
- Gasturbine
- Raketen"motor"



**Mittler:**

- Getriebe
- elektr. Radantrieb



**Propulsionsorgan:**

- Extremitäten (Beine)
- Rad
- Propeller
- Düse

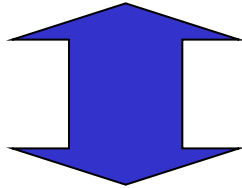
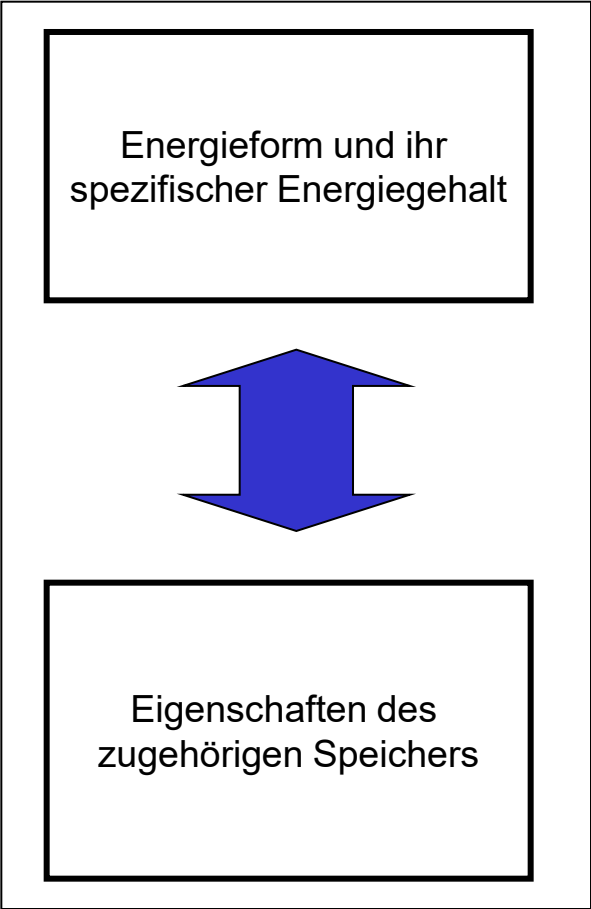
# Bedeutung des Energiespeichers für ein Transportsystem

Ein Transportsystem muss die Energiemenge für seine Propulsion von A nach B an Bord mitführen \*)

### ANFORDERUNGEN

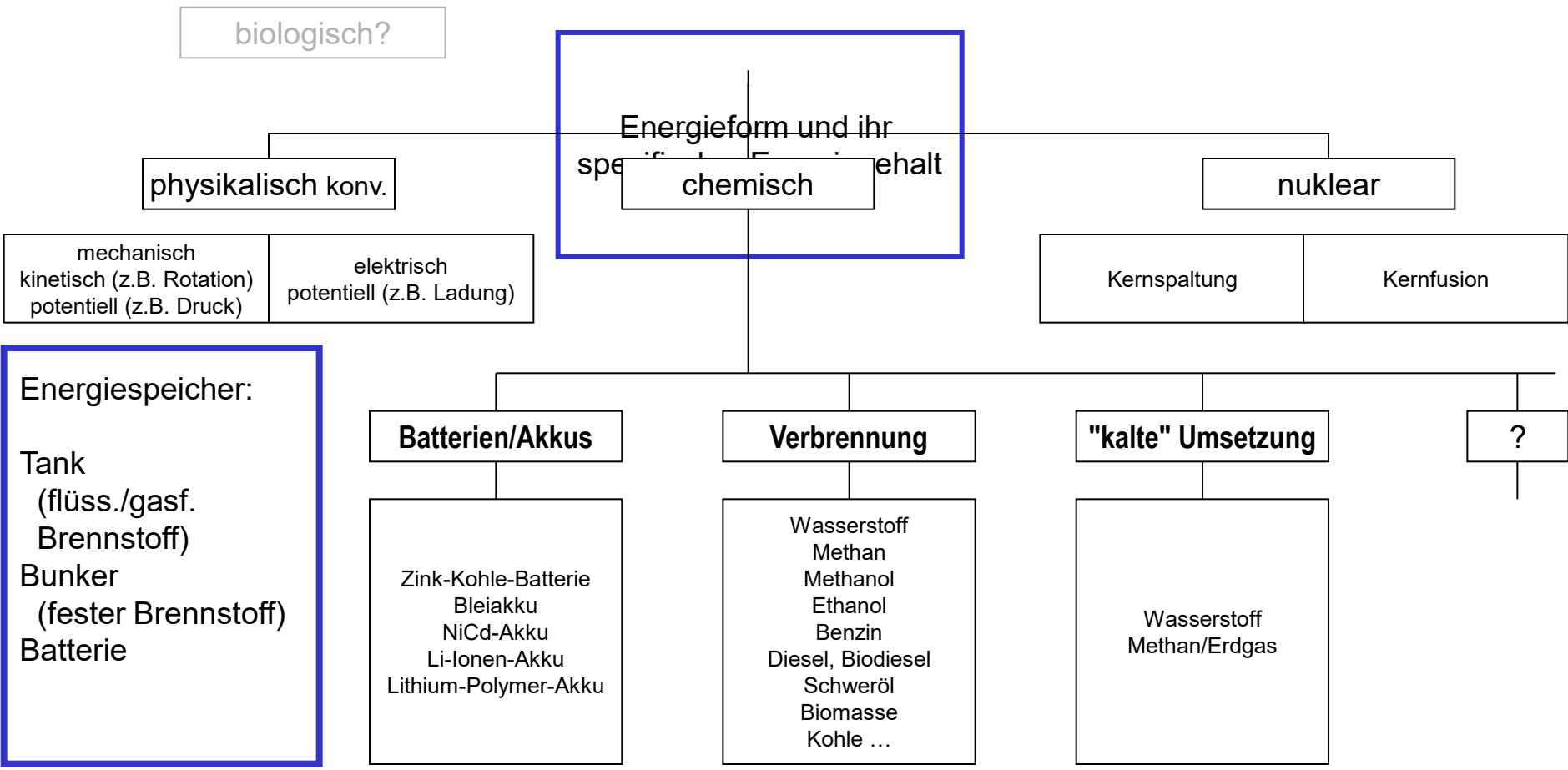
- Energiespeicher: klein, leicht, sicher
- mehr Nutzlast
- mehr Passagier/Frachtraum
- weniger Querschnitt/Länge ( $c_w$ )
- weniger Beschleunigungsarbeit
- weniger Bremsarbeit

- Energiespeicher:
- Tank (flüss./gasf. Brennstoff)
  - Bunker (fester Brennstoff)
  - Batterie



\*) ausgenommen Segelschiff, Flussschiff bergab, Oberleitungssysteme, Transrapid usw., wird hier nicht beachtet

# Möglichkeiten der Energiespeicherung für Transportsysteme



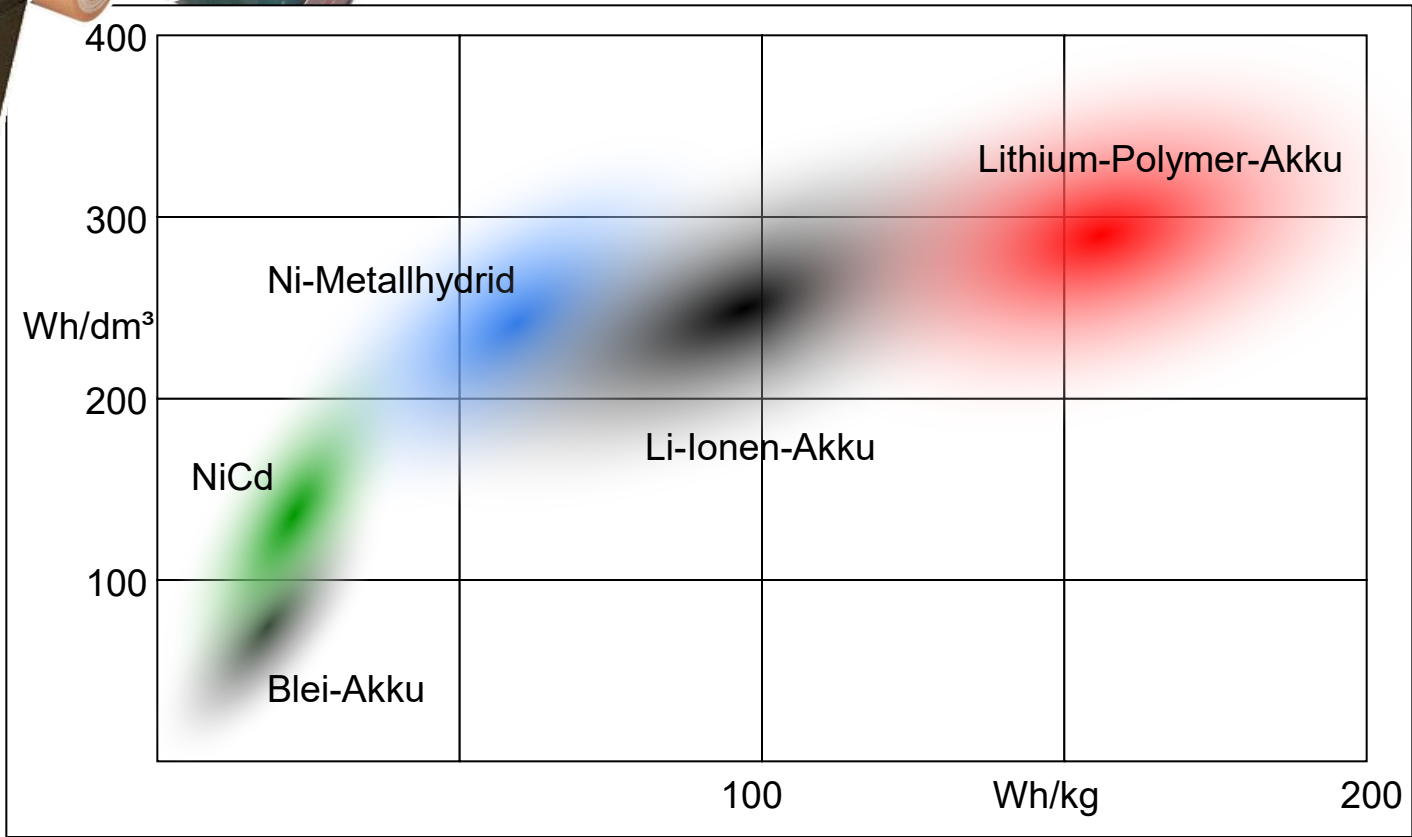
**Energiespeicher:**

- Tank (flüss./gasf. Brennstoff)
- Bunker (fester Brennstoff)
- Batterie

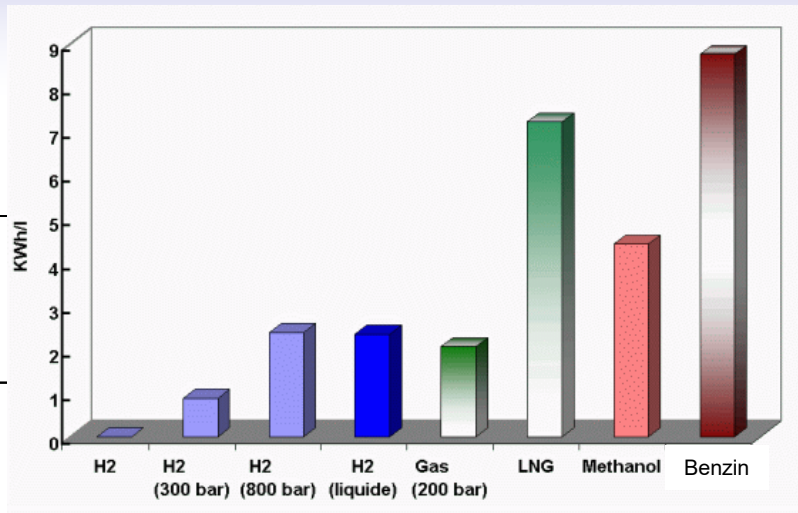
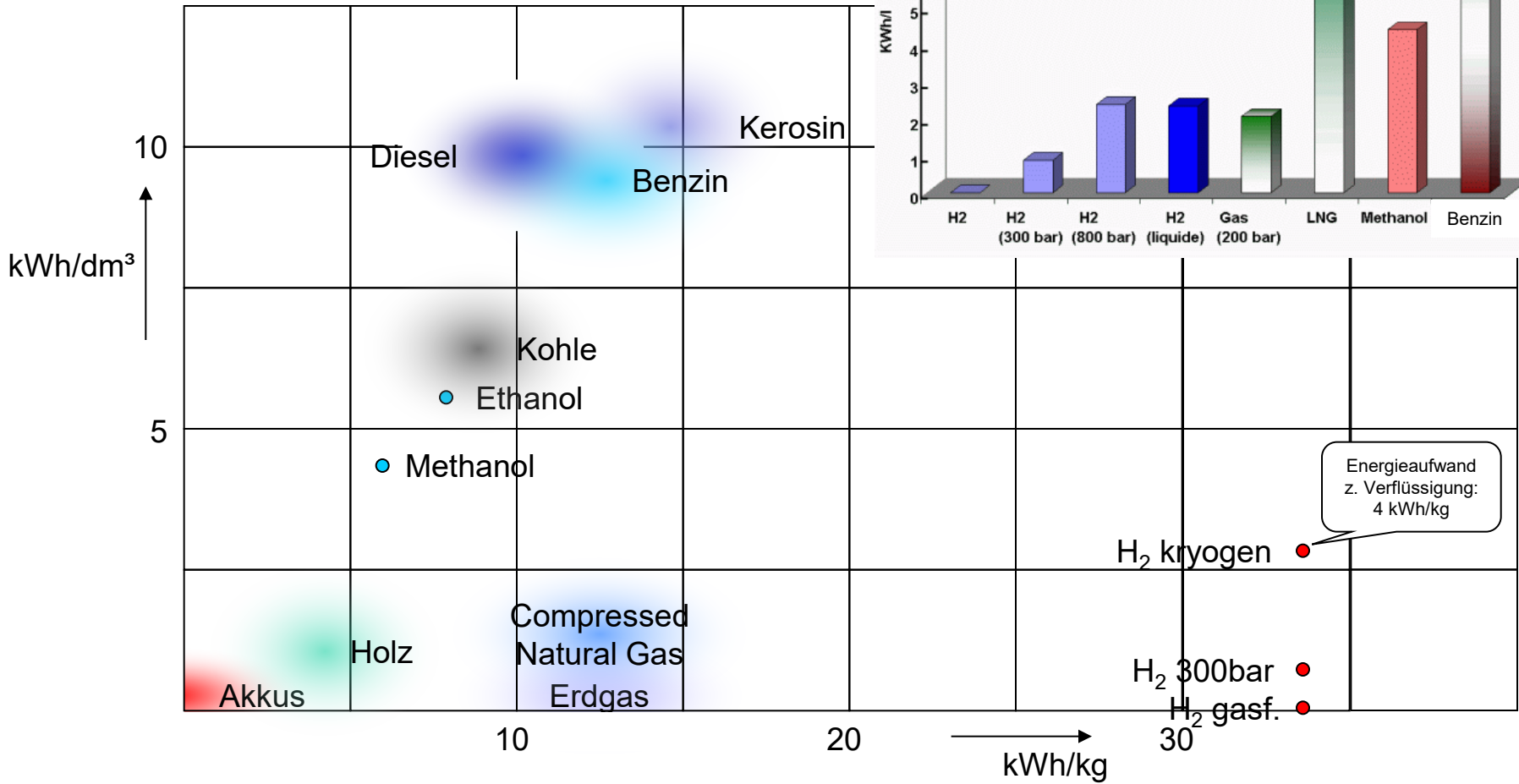
# Energiegehalt von Batterien und Akkumulatoren



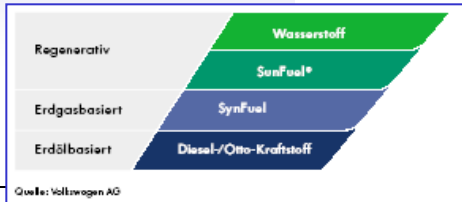
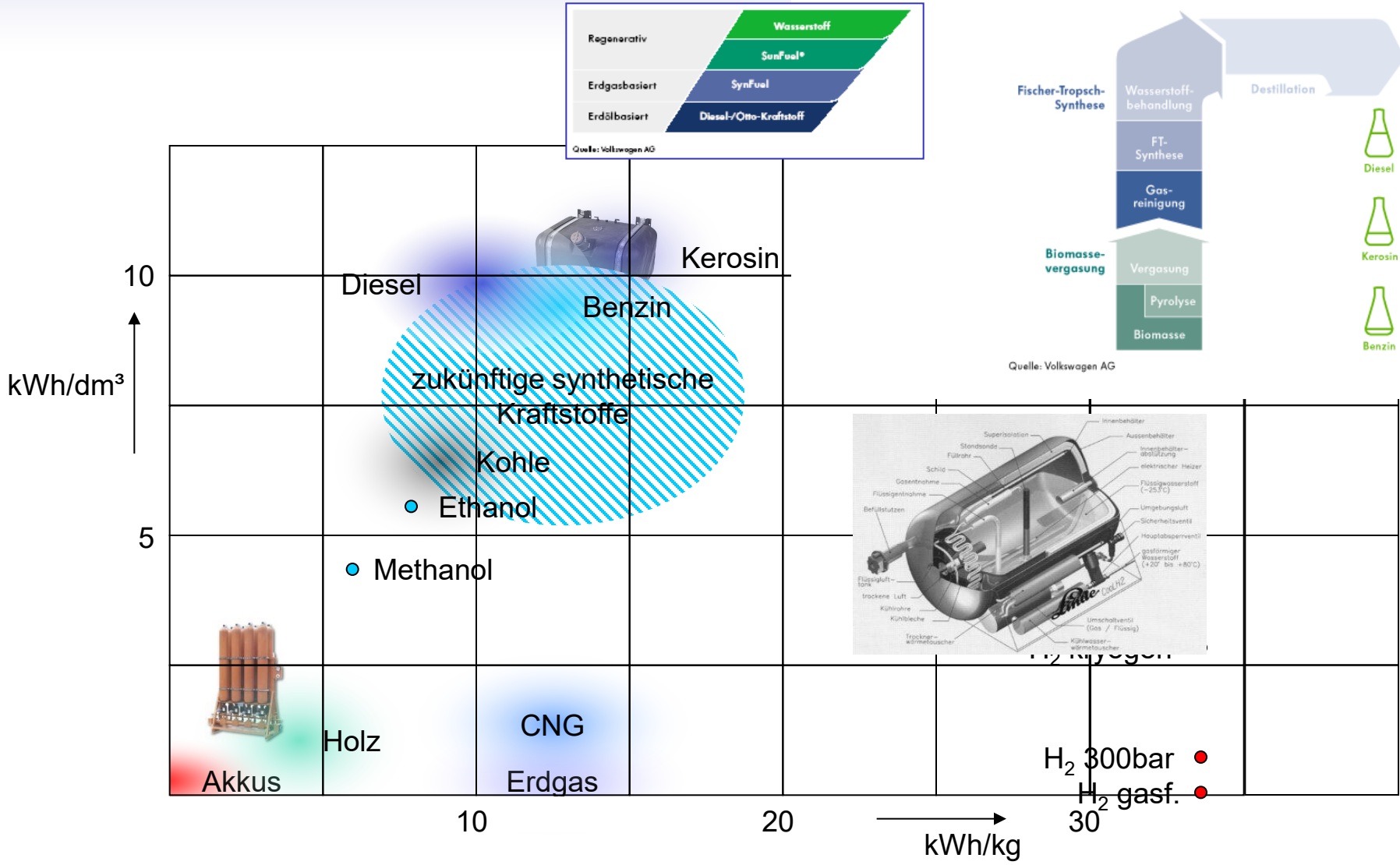
Energiespeicher:  
 Tank  
 (flüss./gasf.  
 Brennstoff)  
 Bunker  
 (fester Brennstoff)  
 Batterie



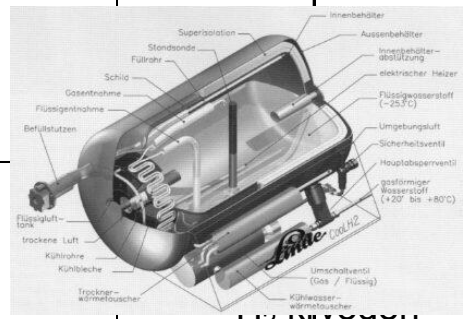
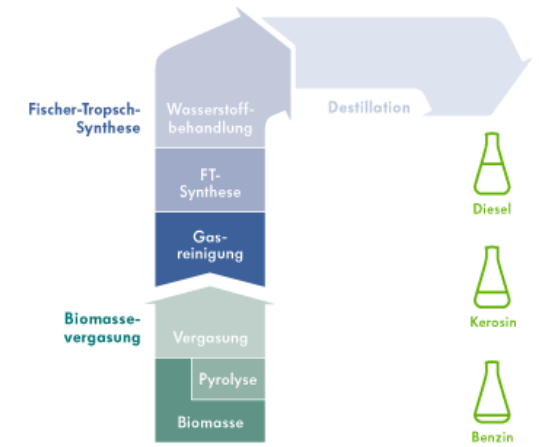
# Energiegehalt von Kraftstoffen (ohne Speicher)



# Energiegehalt von Kraftstoffen (Speicher einbezogen)



Biomass-to-Liquid Prozess mittels Fischer-Tropsch synthesis



# Lösungen Energiespeicher (Vergleich)

**gut geeignet: Speicherung chem. Energie (Flüssigkeit)**  
hohe spez. Energiedichte (bezogen auf Masse und Volumen)  
leichtes Handling  
gut ausgebautes Tankstellennetz  
steigende Preise  
Sicherheitsrisiko  
umweltbelastend



**bedingt geeignet: Speicherung chem. Energie (Gas)**  
kostengünstiger als Benzin/Diesel (Erdgas)  
umweltfreundlicher als Benzin/Diesel  
geringere Energiedichte, kleinere Reichweiten  
schwere und/oder voluminöse Tanks  
Sicherheitsrisiko (H<sub>2</sub>-Diffusion und -Dissipation)  
weniger dichtes Tankstellennetz  
für Depotbetrieb ok



**wenig geeignet: Speicherung elektrischer Energie**  
sauber  
geringes Sicherheitsrisiko  
geschlossenes Netz  
umweltfreundlich, wenn Strom aus regenerat. Quellen  
geringe Energiedichte  
hohe Kosten, Wartungsaufwand, Alterung, Selbstentladung  
aber: leicht nachladbar, für kleine Reichweiten/Depotbetrieb ok



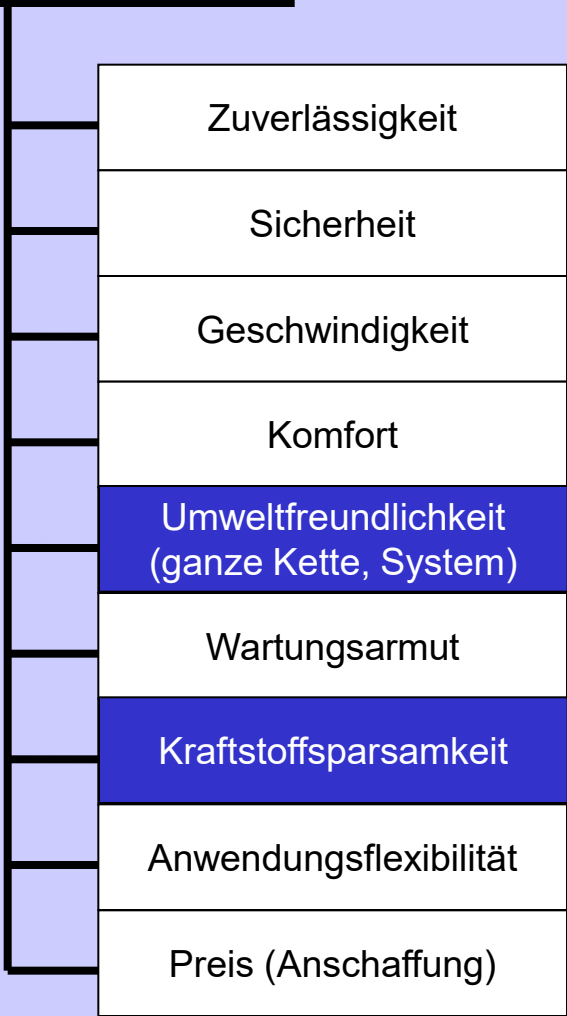
Energiespeicher:  
  
Tank  
(flüss./gasf. Brennstoff)  
Bunker  
(fester Brennstoff)  
Batterie



**Konzepte**

## erschwingliche Mobilität

so schnell es geht von A nach B, dabei sicher und bequem, Kosten so gering wie möglich, bei minimaler Belastung der Umwelt



etwa gleich
weitere leichte Verbesserungen
gleich bleibend oder geringer (effizient, Gesetzgeber)
weitere Verbesserung
stark erhöhte Anforderungen (Gesetzgeber)
weitere Senkung des Wartungsaufwandes
drastische Verbesserung
Verbesserungen
entspr. Teuerungsrate

# Lösung Elektroauto?



**Elektroauto  
PEUGEOT 106 electric  
(1999)**

"Tanken" nachts (7 h) in der Garage an der 230V -Steckdose  
Verbrauch: 20 kWh/100km  
kein Getriebe  
leise  
Zero-Emission-Auto (ABER: Emissionen Stromerzeugung!)

4 NiCd-Akkumulatoren: 255 kg (entspr. 62 Wh/kg)  
11kW Dauerleistung, 22 kW Spitze, 90 km/h @ 6500 U/min  
Reichweite 80 km  
Wartung:  
Kohlen alle 30 000 km wechseln  
Destilliertes Wasser für Akkumulatoren (Sommer)  
Regenerationsentladung  
vergleichsweise langsam und leistungsschwach (am Berg)



Armaturen



Tanken nachts  
in der Garage  
230V / 16 A



Kohlensersatz alle  
30000 km



"Motorraum" mit  
Kühler für Akkus

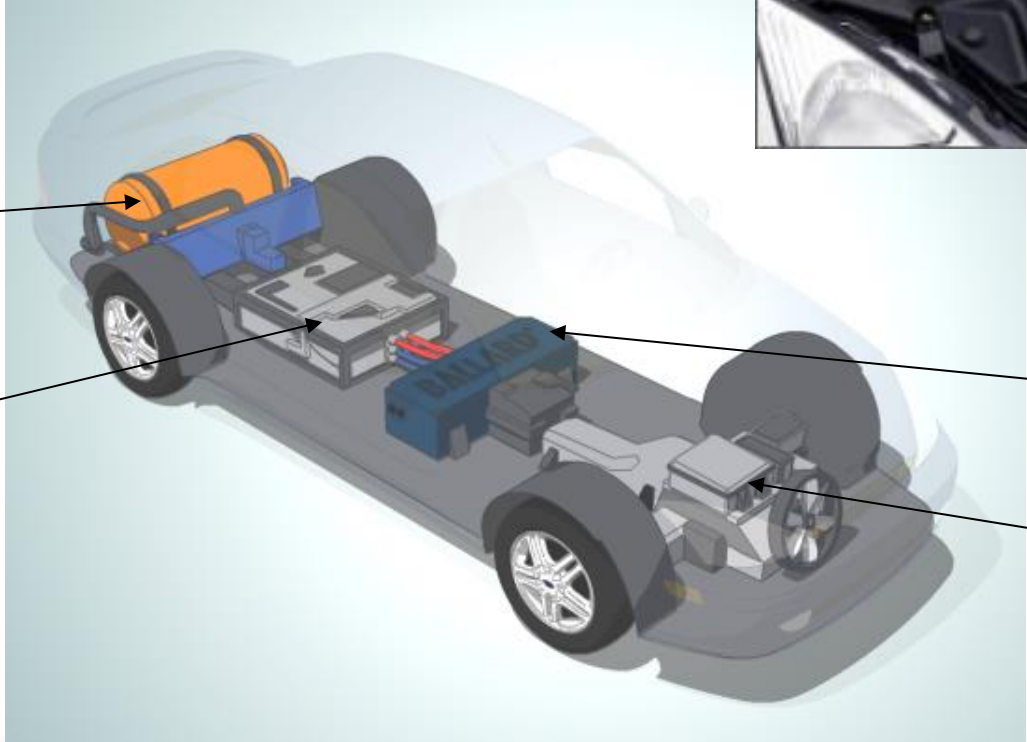


Nachfüllen  
destilliertes Wasser  
insbes. im Sommer

# Lösung Brennstoffzellenautomobil? (1)

## Brennstoffzellen-Automobil:

wandelt Wasserstoff (oder Methanol) direkt mit Luftsauerstoff in Gleichstrom um → Fahrmotoren als Radantrieb  
sehr guter Wirkungsgrad, bei Teillast günstiger  
leise und sehr umweltfreundlich  
teuer: Brennstoffzelle und Tanks (Methanol: Reformer)  
(zu) geringe Lebensdauer der Brennstoffzelle  
spezifisch schwer: Elektromotor(en) und große, schwere Tanks  
Kraftstoffhandling und Tankstellennetz



H<sub>2</sub>-Tank

Pumpen u.a.  
Subsysteme

PEM-Stack

Managementssystem  
elektr. Antriebssystem

# Lösung Brennstoffzellenautomobil? (2)

Mobilität

Exkurs

Fokus Automobil

Motor

Energiespeicher

Konzepte

Ausblick



1994

**Antrieb:** Brennstoffzellenstacks mit 50 kW Leistung + Elektromotor

**Tanksystem:** 150 Liter kompr. Wasserstoffgas bei 300 bar Druck

**Leistungsdaten:**

Motorleistung: 30 kW

Höchstgeschwindigkeit: 90 km/h

Reichweite: 130 km

**Gewicht:** 3.500 kg **Sitzplätze:** 2

1997

**Antrieb:** 2 Brennstoffzellenstacks mit je 25 kW Leistung + Asynchron-Elektromotor

**Tanksystem:** Tank für 38 l Methanol Methanolreformer an Bord

**Leistungsdaten:**

Motorleistung: 33 kW permanent,

45 kW Höchstleistung

Höchstgeschwindigkeit: 120 km/h

Reichweite: 400 km

**Gewicht:** 1.750 kg **Sitzplätze:** 2

2000

**Antrieb:** 1 Brennstoffzellenstack mit 75 kW Leistung + Asynchron-Elektromotor

**Tanksystem:** Tank für 38 l Methanol Methanolreformer an Bord

**Leistungsdaten:**

Motorleistung:

75 kW Höchstleistung

Höchstgeschwindigkeit: >150 km/h

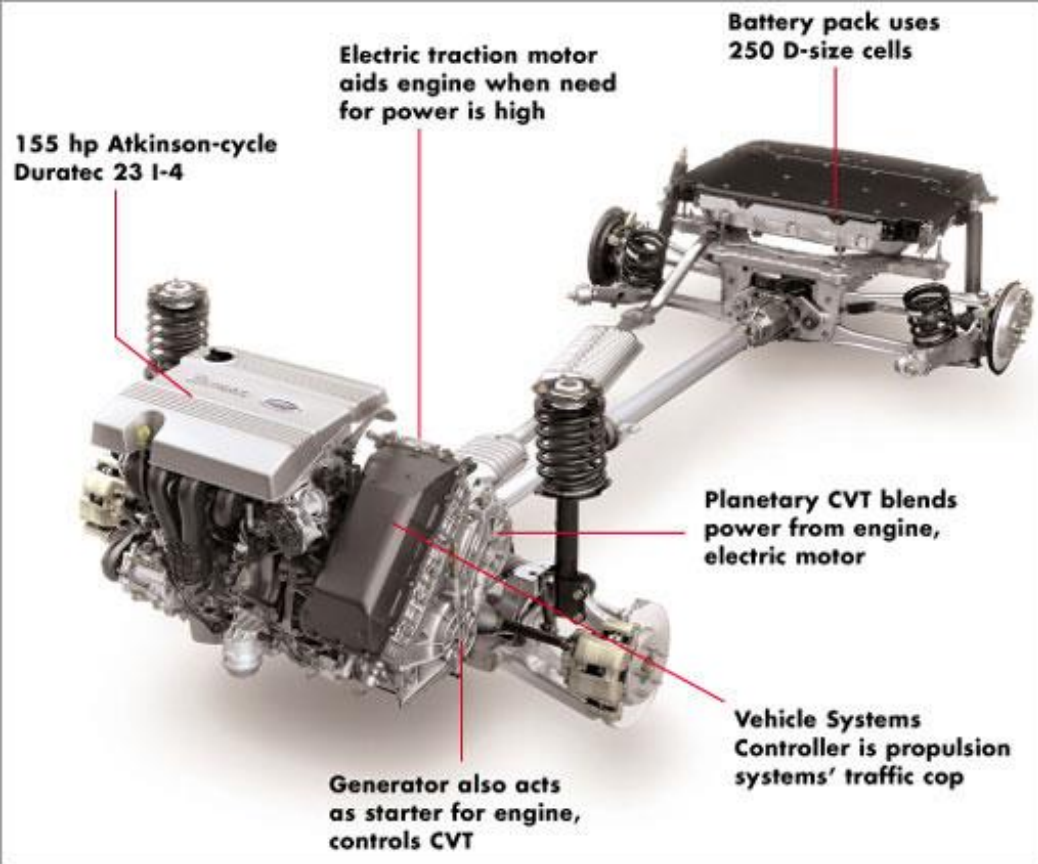
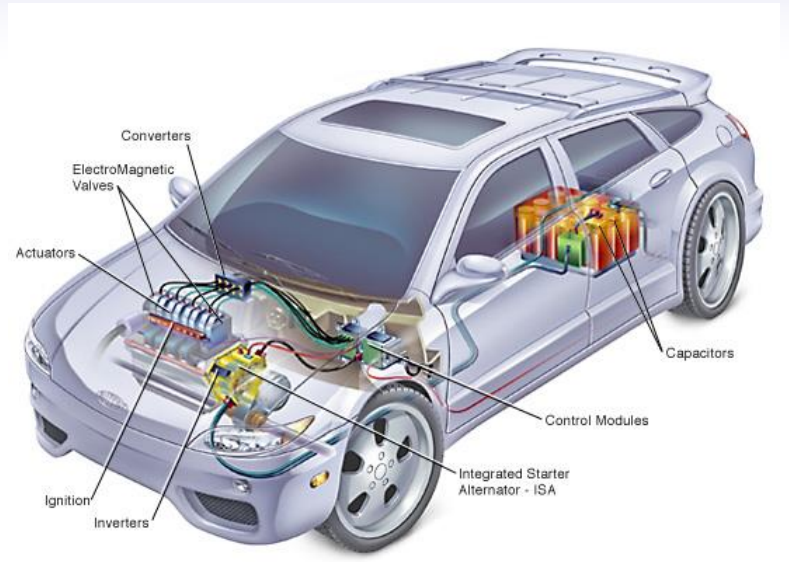
Reichweite:

**Gewicht:** 1.450 kg **Sitzplätze:** 4

# Lösung Hybrid-Automobil?

## Hybrid-Automobil:

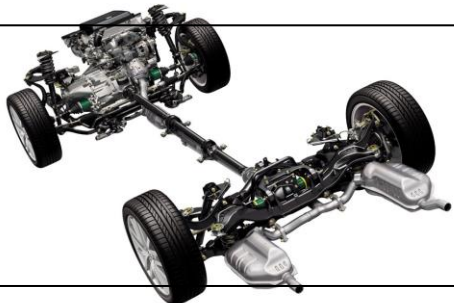
- kleiner Verbrennungsmotor, weniger Verbrauch
- damit weniger Emissionen
- Rückspeicherung Bremsenergie
- komplexer, mehr Komponenten
- teuer
- schwer: Motor/Generator, Akkumulator



# Vergleich Fahrzeugkonzepte

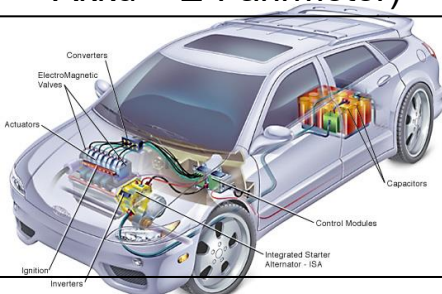
Mobilität	Exkurs	<b>Fokus Automobil</b>	Motor	Energiespeicher	<b>Konzepte</b>	Ausblick
-----------	--------	------------------------	-------	-----------------	-----------------	----------

## herkömmliches Fahrzeug (Dieselmotor + Schaltgetriebe)



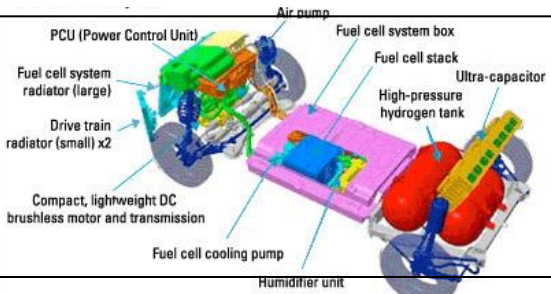
- + kompaktes, leichtes Aggregat
- + flüss. Kraftstoff mit hohem Energiegehalt
- + hohe Reichweite
- + flächendeckendes Tankstellennetz
- + Abwärme für Heizung nutzbar
- Emissionen
- schlechtes Teillastverhalten
- kein Selbstanlauf (erfordert Starter, Akku, LiMa)
- Kupplung und Schaltgetriebe
- komplexe Betriebsstoffführung mit aufw. Rückkühlung

## Hybrid-Fahrzeug (Klein-Dieselmotor + Akku + E-Fahrmotor)



- + Energieerzeugung: je nach Fahrregime
- + Dieselmotor läuft nur im "günstigen" Betriebsbereich
- + kann „kleiner“ ausgelegt werden
- + flüss. Kraftstoff mit hohem Energiegehalt
- + hohe Reichweite
- + flächendeckendes Tankstellennetz
- "doppelter" Antrieb
- schwer, großer Platzbedarf
- Emissionen
- Regelungsaufwand

## Brennstoffzellen-Fahrzeug

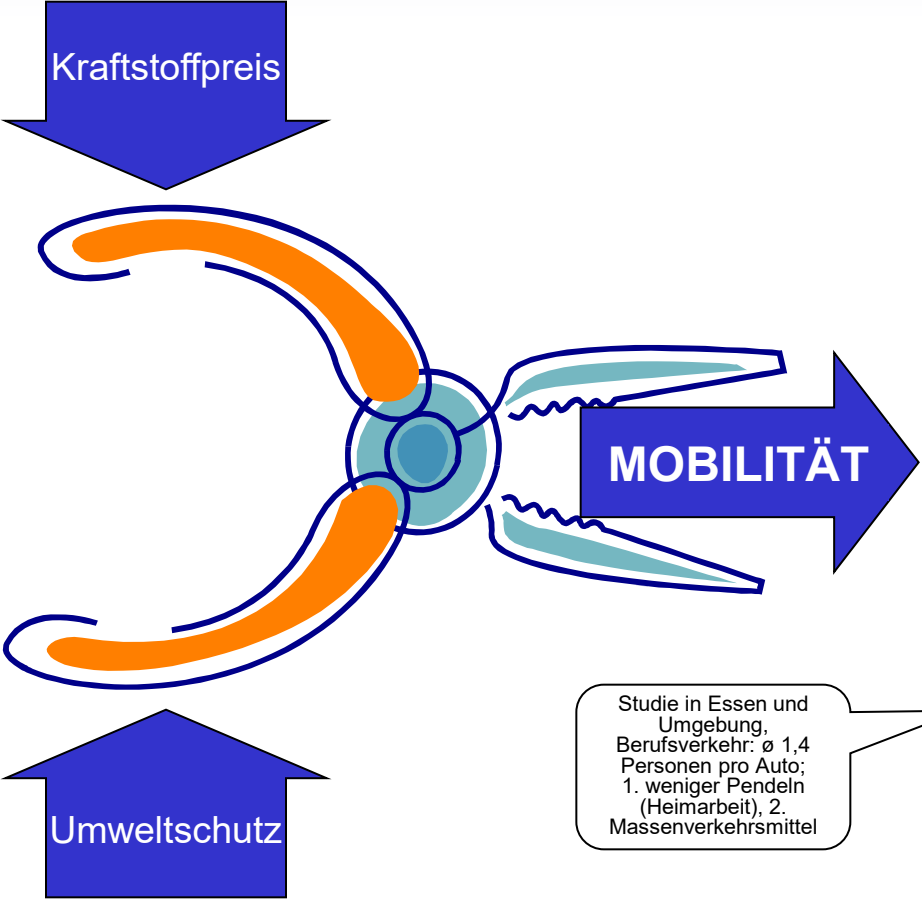


- + Energieerzeugung: Brennstoffzelle
- + guter Gesamtwirkungsgrad
- + besserer Teillastwirkungsgrad
- + minimale Emissionen
- + leise
- schwerere Tanks
- komplizierte Betankung
- geringere Reichweite
- Tankstellennetz (noch) schlecht ausgebaut



**Ausblick**

# Wo geht es hin?



von innen:  
 Koexistenz von

- sparsamen konventionellen Autos
- Hybridfahrzeugen
- Brennstoffzellenfahrzeugen (SOFC und/oder biologische regenerierende Systeme)

**TECHNIKEENTWICKLUNG**  
 Es gibt Einflüsse

- von innen (techn. Entwicklung des Systems) und
- von außen (Veränderung der Randbedingungen)

moderner PKW braucht 30 kW für 120 km/h

Studie in Essen und Umgebung, Berufsverkehr:  $\bar{\phi}$  1,4 Personen pro Auto; 1. weniger Pendeln (Heimarbeit), 2. Massenverkehrsmittel

- Durchsatzverbesserung Verkehrswege
- Reduzierung Individualverkehr
- Ausbau Massenverkehrsmittel
- Verbesserung Logistik (Nah-/Fernverkehr)
- Kostenerhöhung (Steuern, Maut)
- umweltneutrale, synthetische Kraftstoffe

# Eigene Erfahrungen mit dem "Blick in die Zukunft"

Mobilität

Exkurs

Fokus Automobil

Motor

Energiespeicher

Konzepte

Ausblick

Mein eigener Berufsstart (1972):

Gasturbine → höchste Potenziale, Gasturbine "trat an" gegen Kolbenmotoren

"Warum studierst Du überhaupt noch Dieselmotoren? In 5 Jahren gibt es nur noch Gasturbinen! "

Gasturbine hat in den vergangenen 30 Jahren sich durchgesetzt:

Flugtriebwerke

geringere Störanfälligkeit/Wartung

als Kolbenmotoren (z.B. Transatlantik-Flug)

hohe Effizienz in großen Höhen

höhere Flug-Geschwindigkeiten möglich

mobile Antriebe im Höchstleistungsbereich (Schiffe)

gutes Masse/Leistungsverhältnis

effizient bei Nennlast (Dauerlauf)

ein Panzer (M1)

Lobbyismus, (Ausnahme)

stationär für mittlere bis große Leistungen

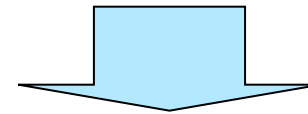
effizient bei Dauerlauf im Nennlastpunkt

schwerölfähig

einfache Emissionsbeeinflussung (NO<sub>x</sub>)

Fazit:

Voraussagen für technische Entwicklungen  
können falsch sein.



## MOBILITÄT DER ZUKUNFT:

Es gibt mittelfristig eine Evolution,  
keine Revolution. Verschiedene Lösungen  
werden nebeneinander existieren.  
Die Eigenschaften des Energiespeichers  
werden maßgeblichen Einfluss haben.



**Danke für die  
Aufmerksamkeit!**