
Kommt das Wasserstoff-Brennstoffzellen-Auto?

Bericht aus Forschung & Praxis



Dr. Christopher Hebling

Samstags-Forum Regio Freiburg
Universität Freiburg
7. Mai 2011

Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE

christopher.hebling@ise.fraunhofer.de
www.ise.fraunhofer.de

Energieforschung bei Fraunhofer



Regenerative Energien

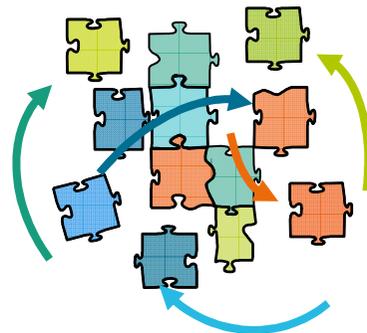
- Solarthermie
- Photovoltaik
- Windenergie
- Biokraftstoff
- Biogas
- Biomasse
- Holz als Energieträger

Neue Antriebskonzepte und Energiespeicher

- Brennstoffzellen
- Hybridantrieb
- Elektrische Antriebe
- Leistungselektronik
- Elektromobilität
- Netzintegration
- Batterien
- Elektrische Speicher

Energieeffizienz und -management

- Energetische Bausanierung
- Energie-Plus-Häuser
- Fassaden, Dämmstoffe
- Stromerzeuger- und Nutzermanagement
- Management von Energieübertragungs- und -verteilssystemen
- Wärmepumpen



Beteiligte:

- Fraunhofer-Allianz Energie
- Fraunhofer-Allianz Bau
- Fraunhofer-Allianz Verkehr
- Systemforschung Elektromobilität
- weitere themenorientierte Gruppen, wie z.B. Intelligente Energienetze, Windenergie, Mikroenergietechnik

Geschäftsfelder am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme

- Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik
- Angewandte Optik und funktionale Oberflächen
- Solarthermie
- Silicium-Photovoltaik
- Alternative Photovoltaik-Technologien
- Regenerative Stromversorgung
- Wasserstofftechnologie





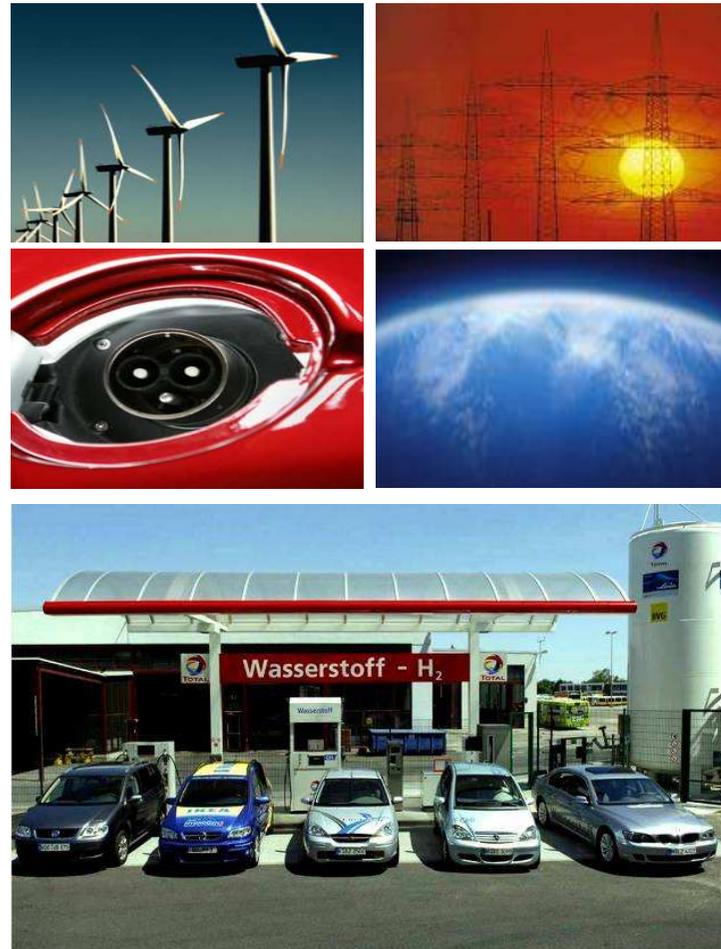




Nachhaltige Mobilität

Herausforderungen

- Begrenzte Ressourcen fossiler Energieträger
- Klimawandel durch CO₂-Emissionen
- Schadstoffemissionen in urbanen Zentren



CO₂-Konzentration in der Atmosphäre

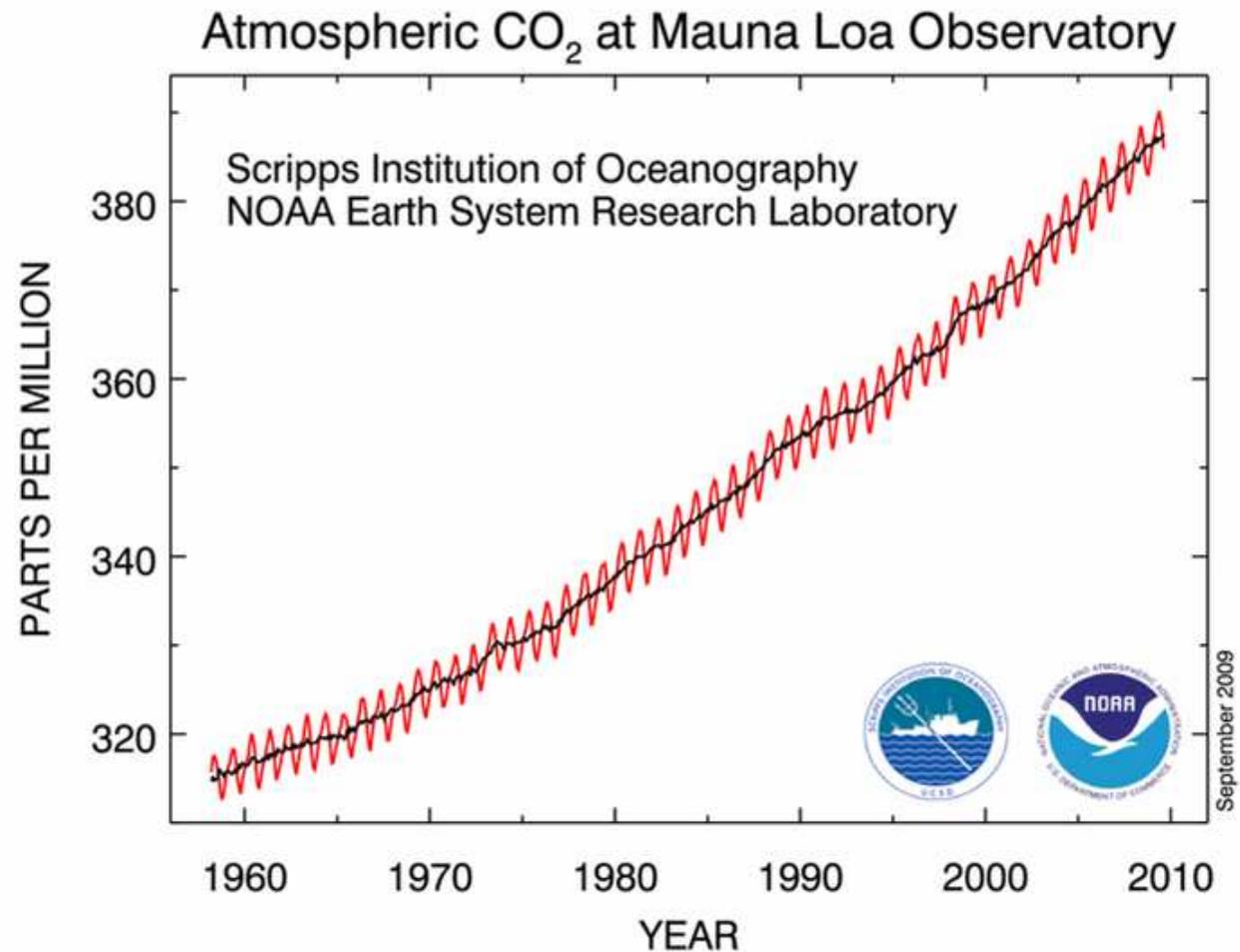
Pre-Industrialization:

280 ppm CO₂

2010:

390 ppm CO₂

Same trend in other
climate relevant gases

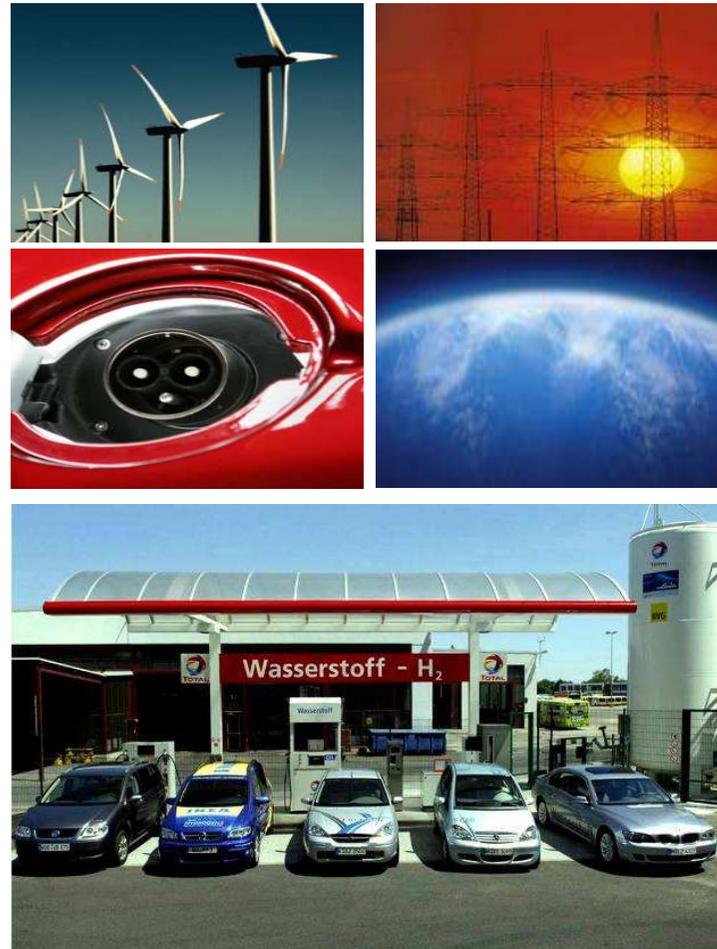


Source: CDIAC, <http://cdiac.esd.ornl.gov>

Nachhaltige Mobilität

Herausforderungen

- Begrenzte Ressourcen fossiler Energieträger
- Klimawandel durch CO₂-Emissionen
- Schadstoffemissionen in urbanen Zentren

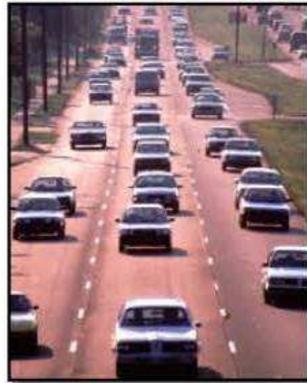


Gründe für ein Umsteuern im Verkehr

1950
80 Millionen Fahrzeuge
70 Mt CO₂ p.a.



2000
900 Millionen Fahrzeuge
1+ Gt CO₂ p.a.



(Shell, WBCSD)

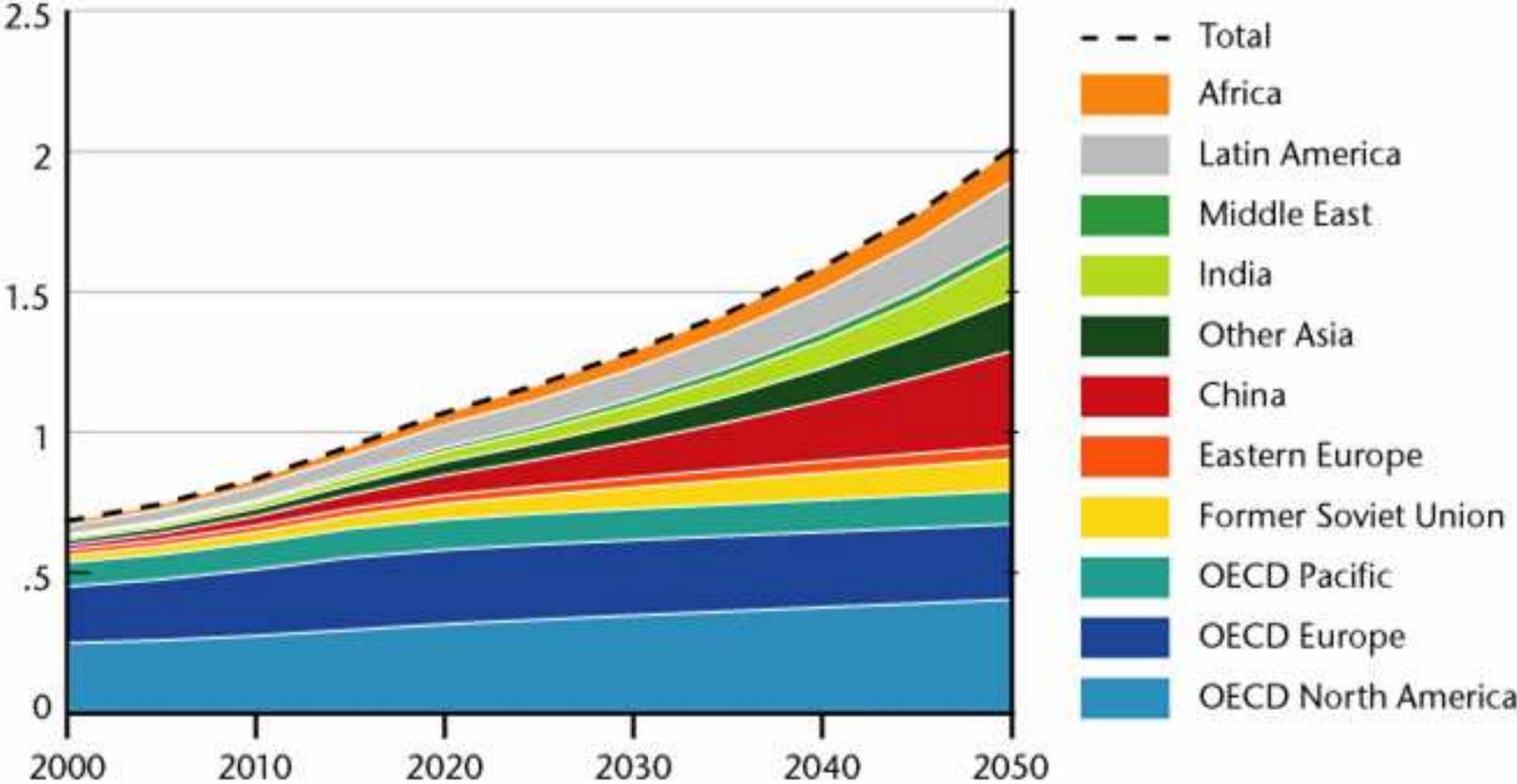


2050
2+ Milliarden
Fahrzeuge
2-3 Gt CO₂ p.a.

[Wietschel, Fraunhofer ISI, 2009]

Regionales Wachstum der Automobil-Märkte

Bio. vehicles



Source:
Sustainable Mobility Project calculations.

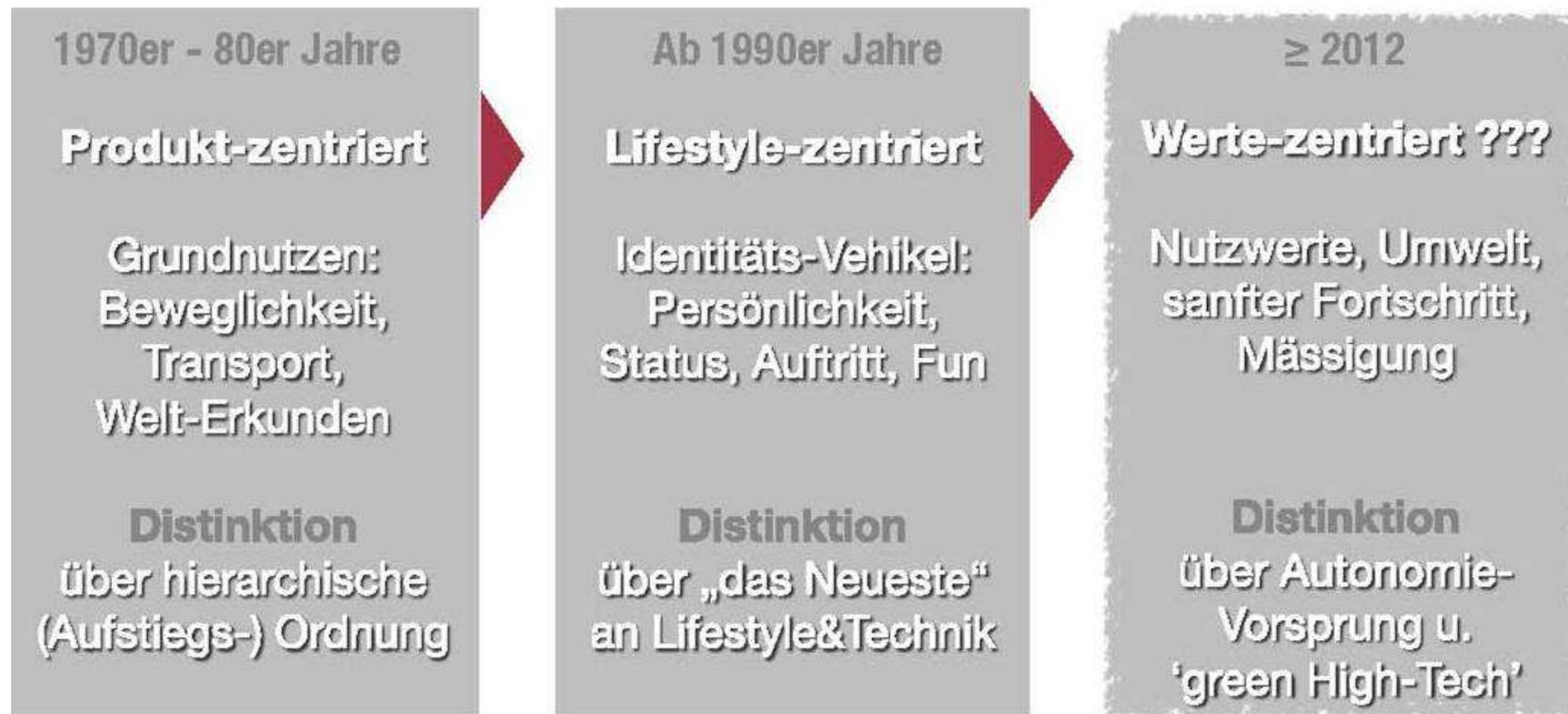
Gründe und Hintergründe des Interesses von Autofahrern an Elektromobilität

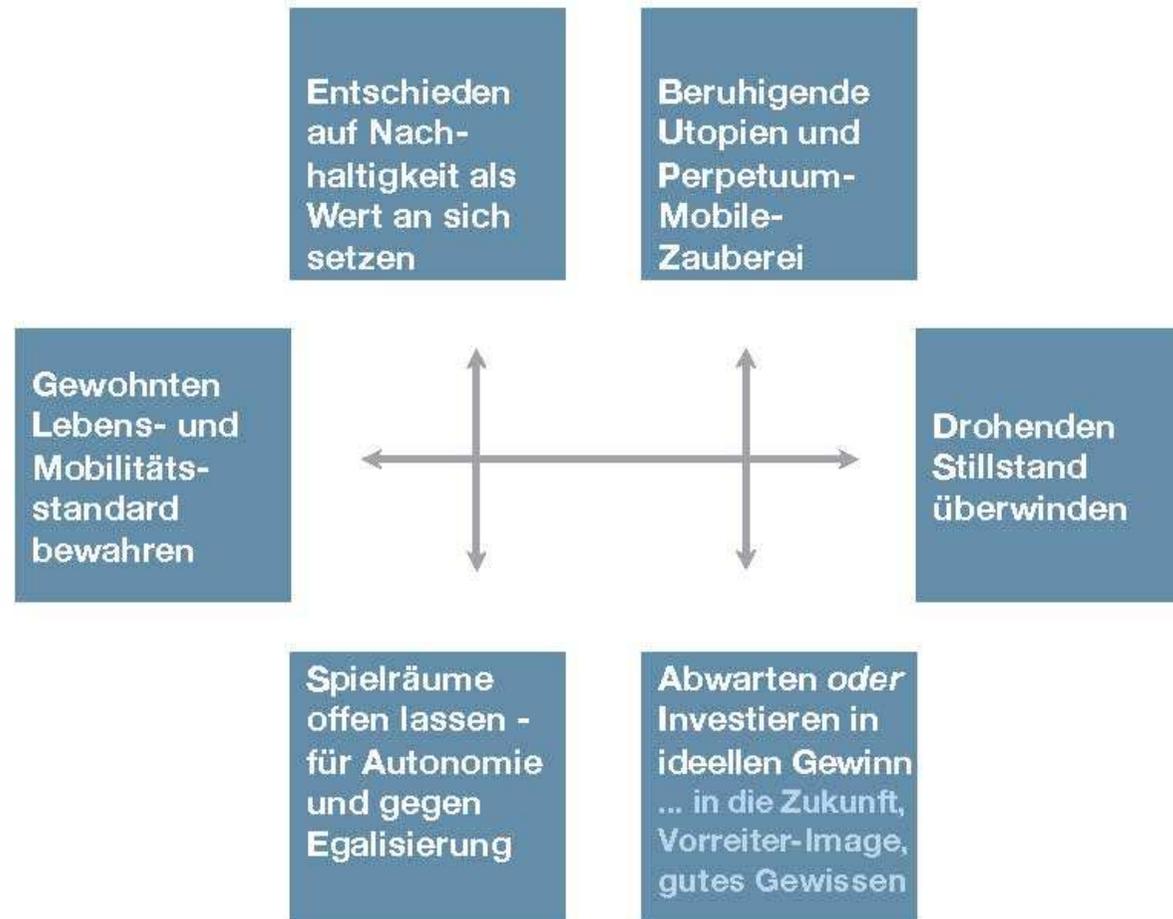
Der Autokäufer fordert ein Produkt, das es auf dem Markt noch nicht gibt und bei dem fraglich ist, ob es heutige Kundenwünsche überhaupt erfüllen kann



Welche Verheißungen sind mit Elektromobilität verbunden?

Wandel der Mobilitätskultur







- **Bilder einer heilen, unbefleckten (Um-) Welt** als Ausweg aus beunruhigenden Krisen und Moral-Konflikten
- Auf **perfekte technische Lösungen ohne Kehrseiten** hoffen (perpetuum mobile)
- **Elektroautos kommen** - mit ausdauernden Batterien oder neuen Energiequellen - **dem Ideal am nächsten**

Beruhigende Utopien und Perpetuum-Mobile-Zauberei



Mobilitätsstandard

Drohenden Stillstand überwinden

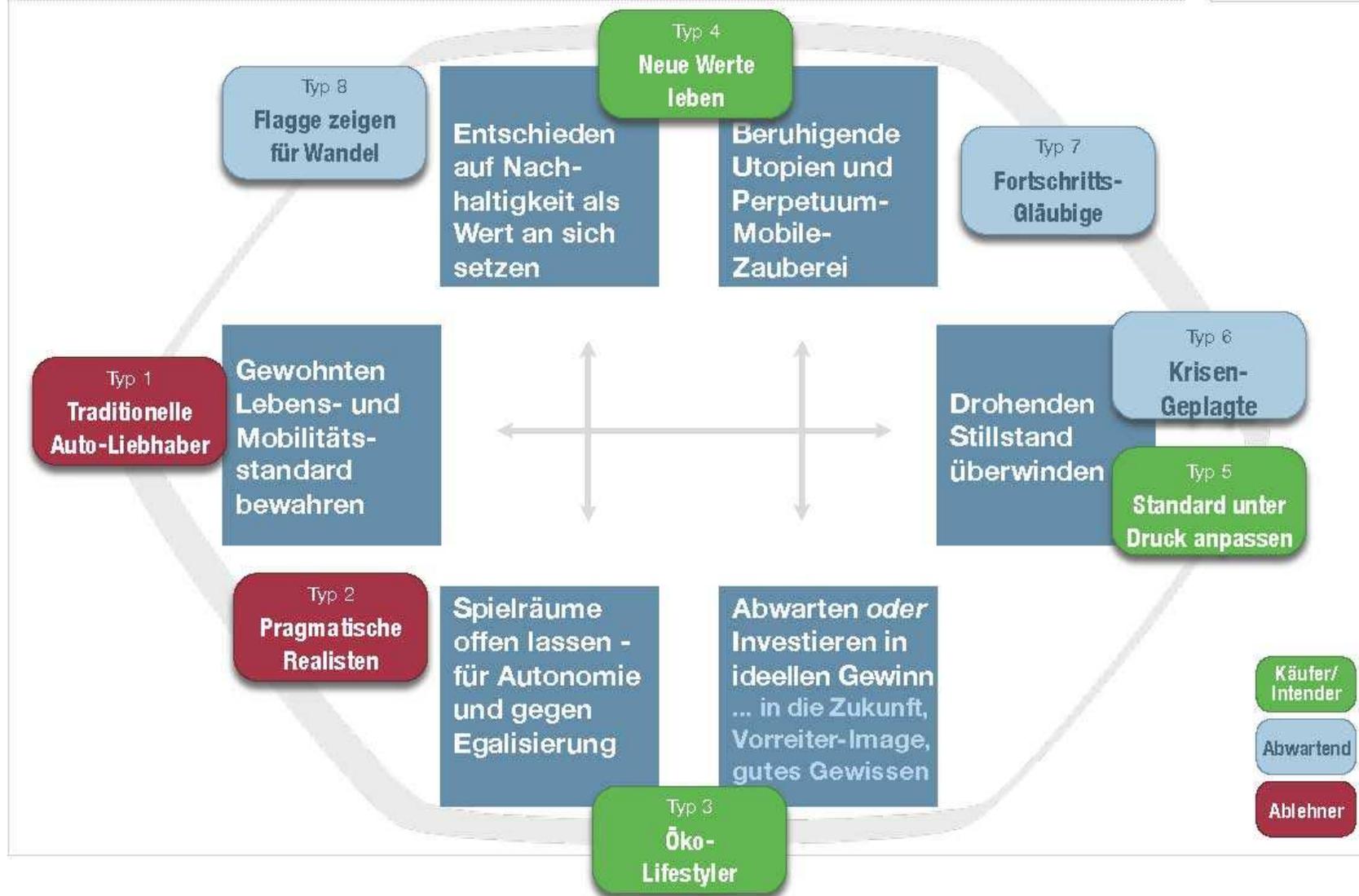
- **Standardfahrer warten** auf marktreife und bezahlbare Produkte - Langfristig ähnliche Kosten wie für heutige Autos gefordert
- Trotz Mehrkosten die **Aussicht auf Zukunftssicherheit** nicht verlieren wollen
- Für **Early Adopter** ist der **Mehrpreis ideell lohnend** - als Investition in die Zukunft, „Vorreiter“-Status und ein gutes Gewissen

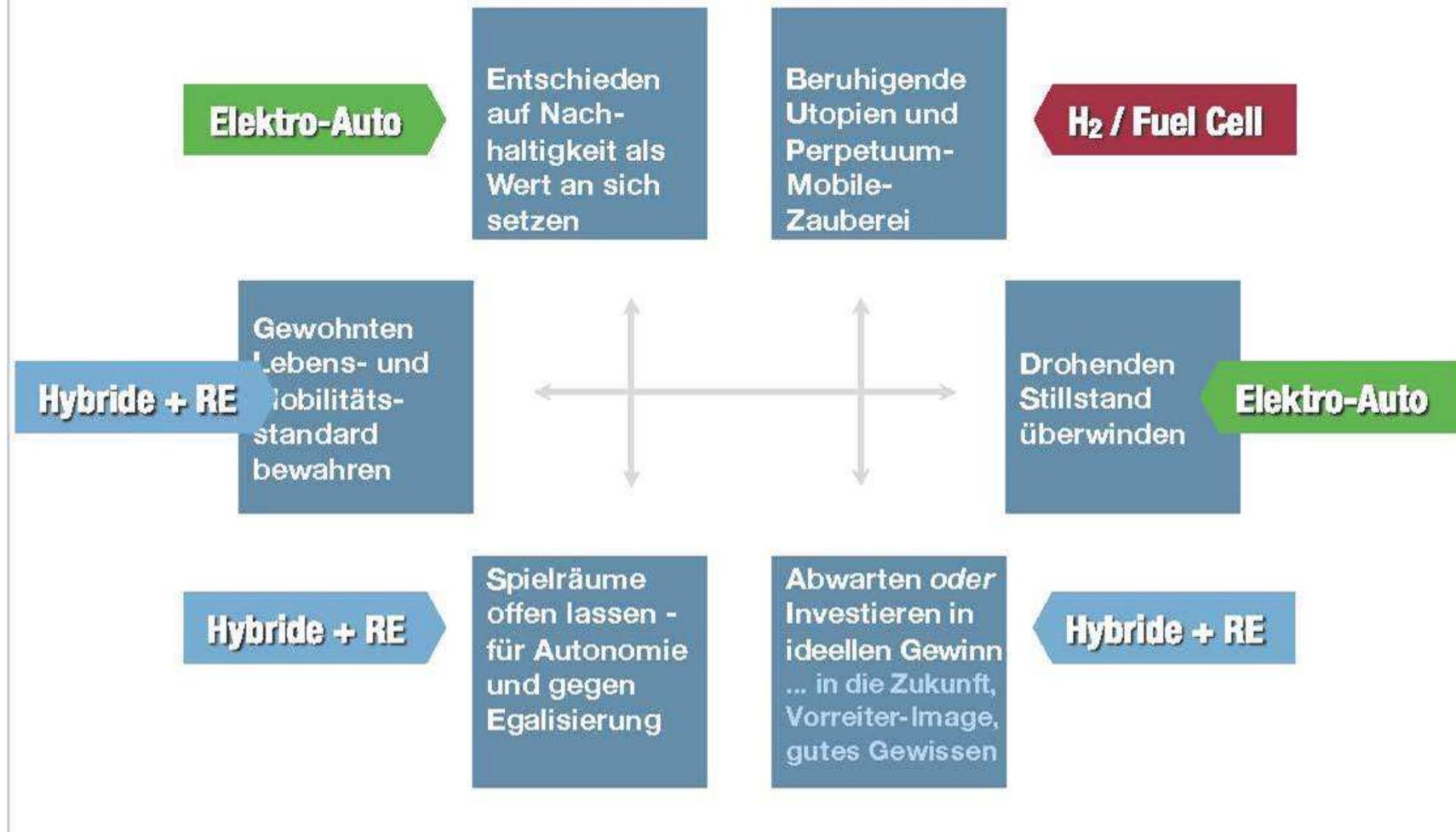
Abwarten oder Investieren in ideellen Gewinn ... in die Zukunft, Vorreiter-Image, gutes Gewissen



ZIELGRUPPEN TYPEN DER EINSTELLUNG ZU ALTERNATIVEN ANTRIEBEN

ABF



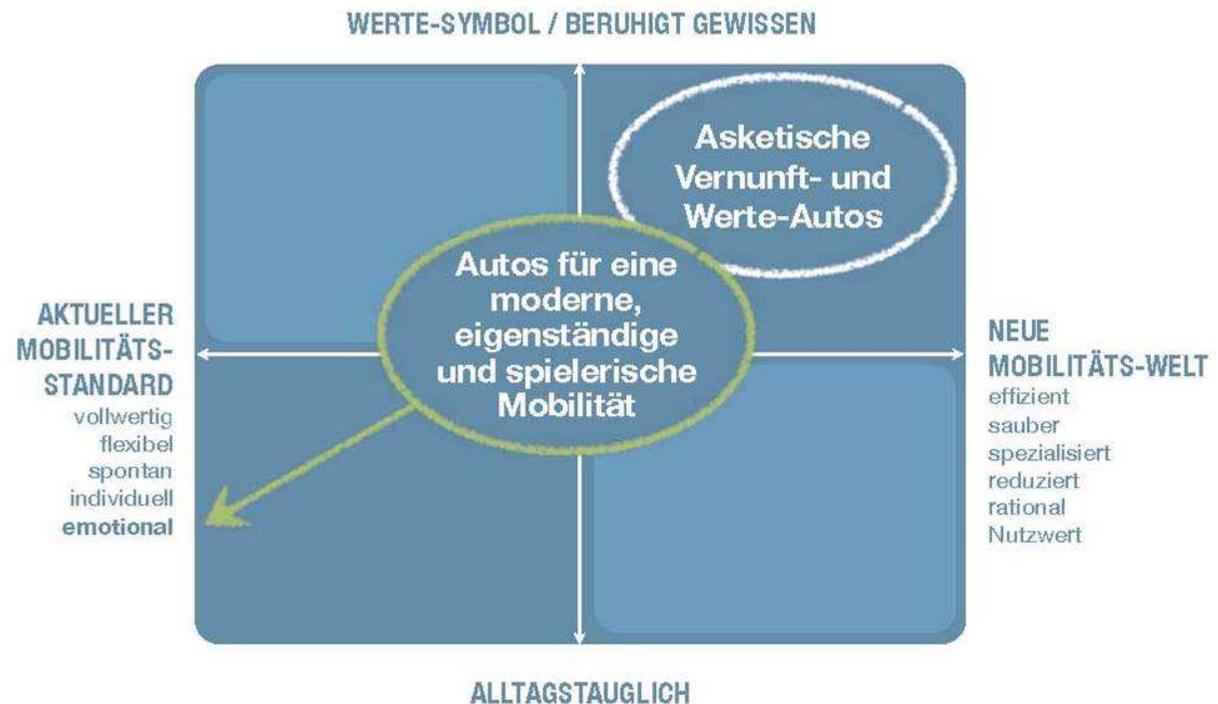


Die Forderung nach einer Erneuerung und Modernisierung der Autotechnik wird künftig nicht nachlassen

- Drängende Probleme bei Umweltschutz und Ressourcen-Verknappung werden als massive Bedrohungen erlebt
- Wertewandel als neue, ‚politisch korrekte Obsession‘ gegen Maßlosigkeit der Lifestyle-Ära, Entlastung von schlechtem Gewissen
- Neu-Ausrichtung des ‚Antriebs‘ der Kultur auf Nachhaltigkeit, Mäßigung, Verantwortung, Gemeinschaftlichkeit
- Technischer System-Wechsel möglichst ohne Beschränkungen der gewohnten Mobilitäts-Standards (Universal-Auto, Individual-Mobilität)
- Sehr hohe (überzogene) Erwartungen an die Möglichkeiten der Technik (Perpetuum mobile als Idealvorstellung)
- Wasserstoff und Brennstoffzelle versprechen bei Mobilität und Lebensstil weiter aus den Vollen schöpfen zu können

Radikale Abkehr bisheriger Mobilitätskultur, von Werten, Ansprüchen, Nutzungsstilen und Ästhetik-Gewohnheiten

- Kehrtwende beim Auto in Richtung eines funktionalen Gebrauchsgegenstandes, fixiert auf Nachhaltigkeit, Effizienz, Sparsamkeit, Nutzwerte
- Die ‚Entsinnlichung‘ des Autos und Autofahrens erfordert eine Neu-Definition von Auto-Ästhetik und Mobilitätskultur



Nachhaltige Mobilität

Herausforderungen

- Begrenzte Ressourcen fossiler Energieträger
- Klimawandel durch CO₂-Emissionen
- Schadstoffemissionen in urbanen Zentren

Ziele

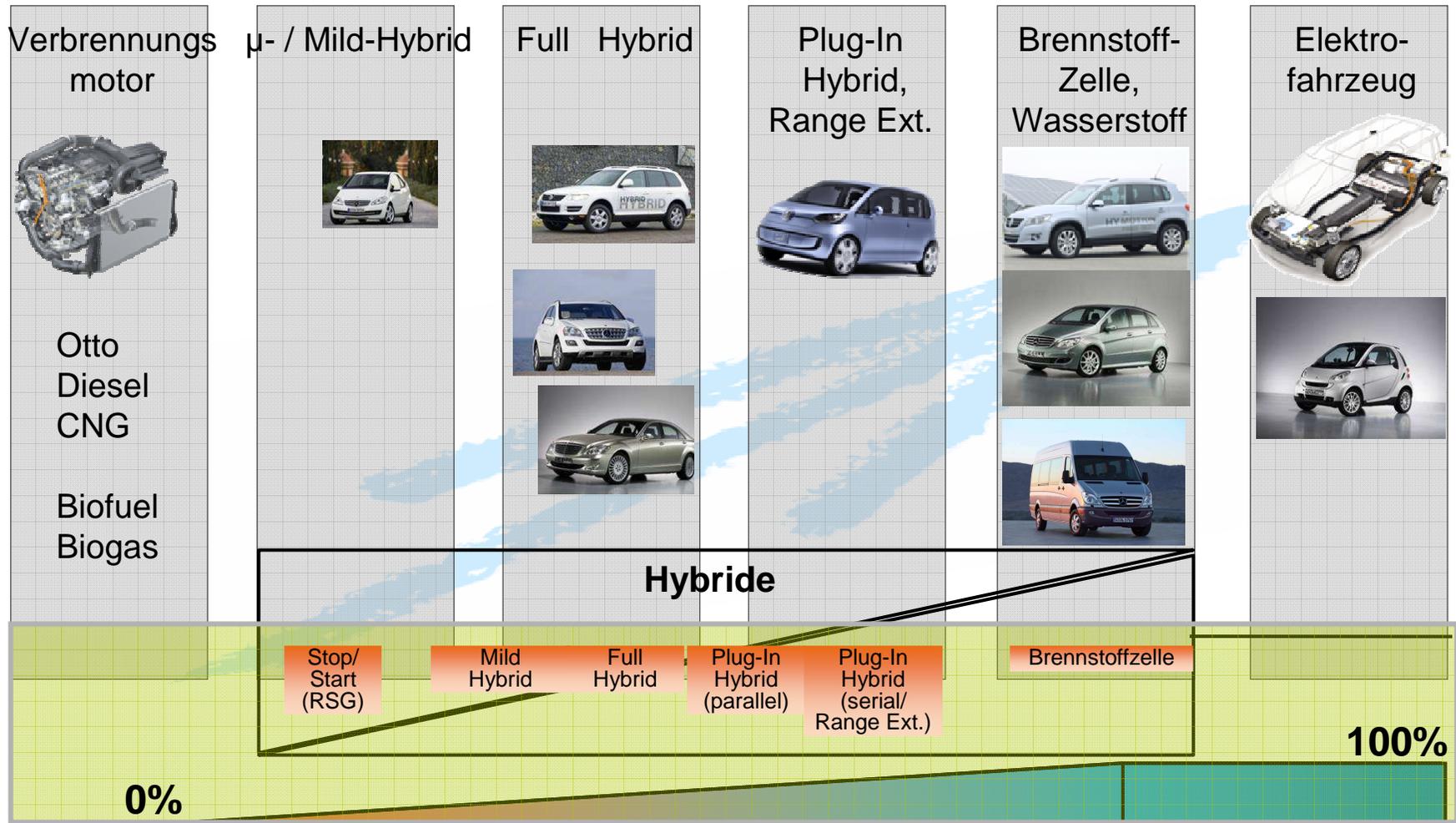
- Einsatz regenerativer Energien in der Mobilität
- Lokale Emissionsfreiheit
- Hoher nationaler Wertschöpfungsanteil



Fahrzeugkonzepte auf Basis von Erneuerbaren Energien

Antrieb	Energie-Träger	Energiequelle
Elektromotor	Batterie	Strom aus Erneuerbaren Energien
Elektromotor	Brennstoffzelle (+Batterie)	H ₂ aus Erneuerbaren Energien
Verbrennungsmotor	Biotreibstoffe	Biomasse

Vom Verbrennungsmotor zur Elektrifizierung des Antriebs



Energiespeicher

Das Dilemma

**Batteriesystem
Touareg Hybrid**

Energieinhalt 0,5 kWh

Batteriesystem 288 V / 6 Ah, 240 Zellen NiMH à 1,2 V
Gewicht: 68 kg, Nennenergie: 1,7 kWh , aufgrund Bauteilschutz
und Lebensdauer sind davon nur 30 - 40% nutzbar.



**85 g
Schokolade**

Energieinhalt 0,5 kWh

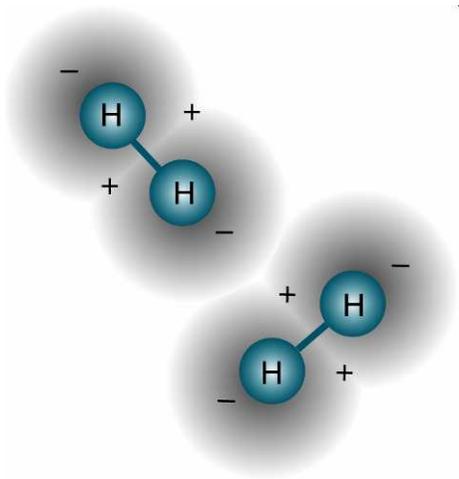
**Benzin
55 ml**

Energieinhalt 0,5 kWh

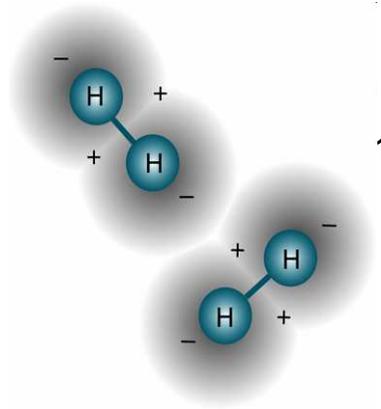


Quelle:

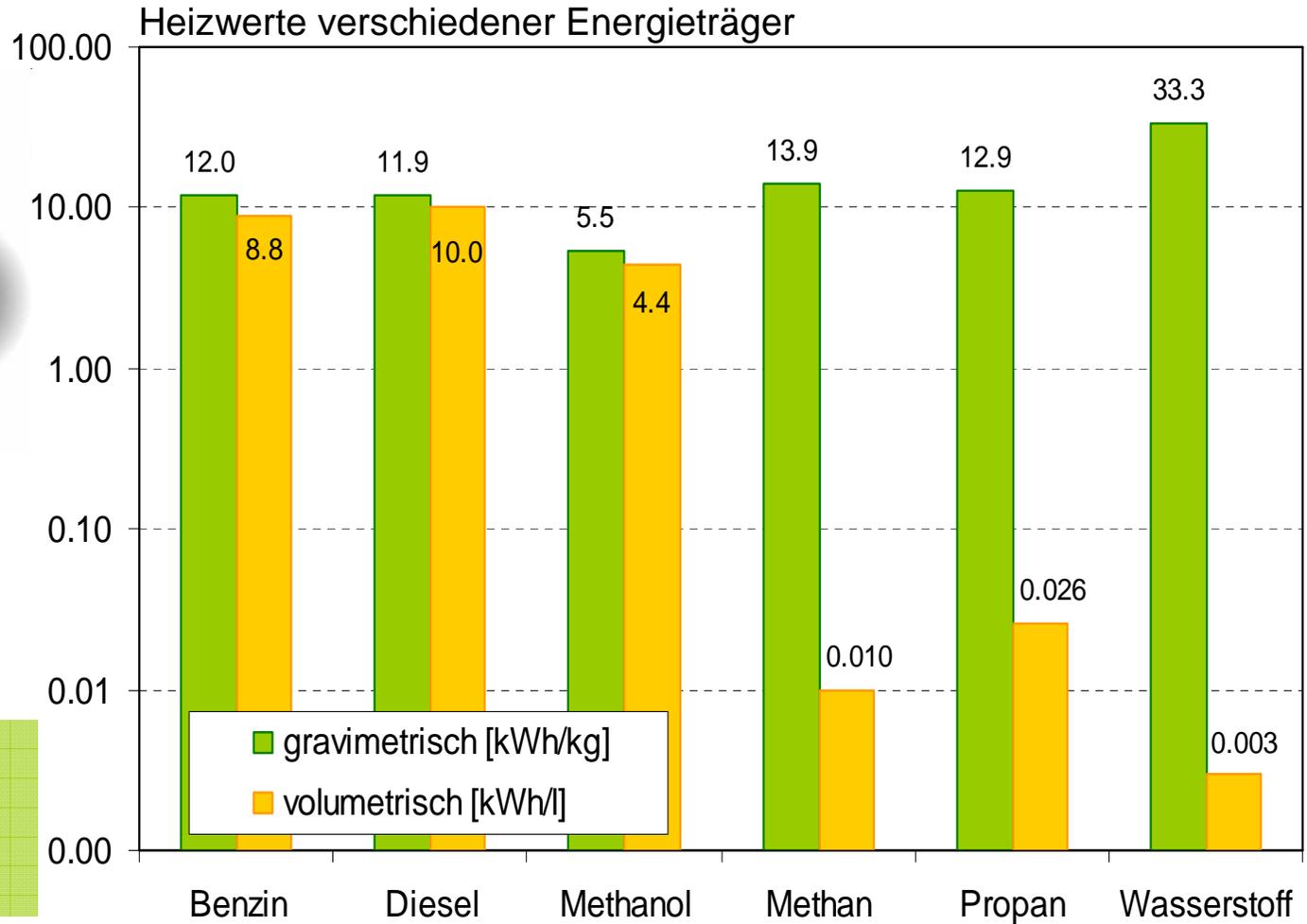




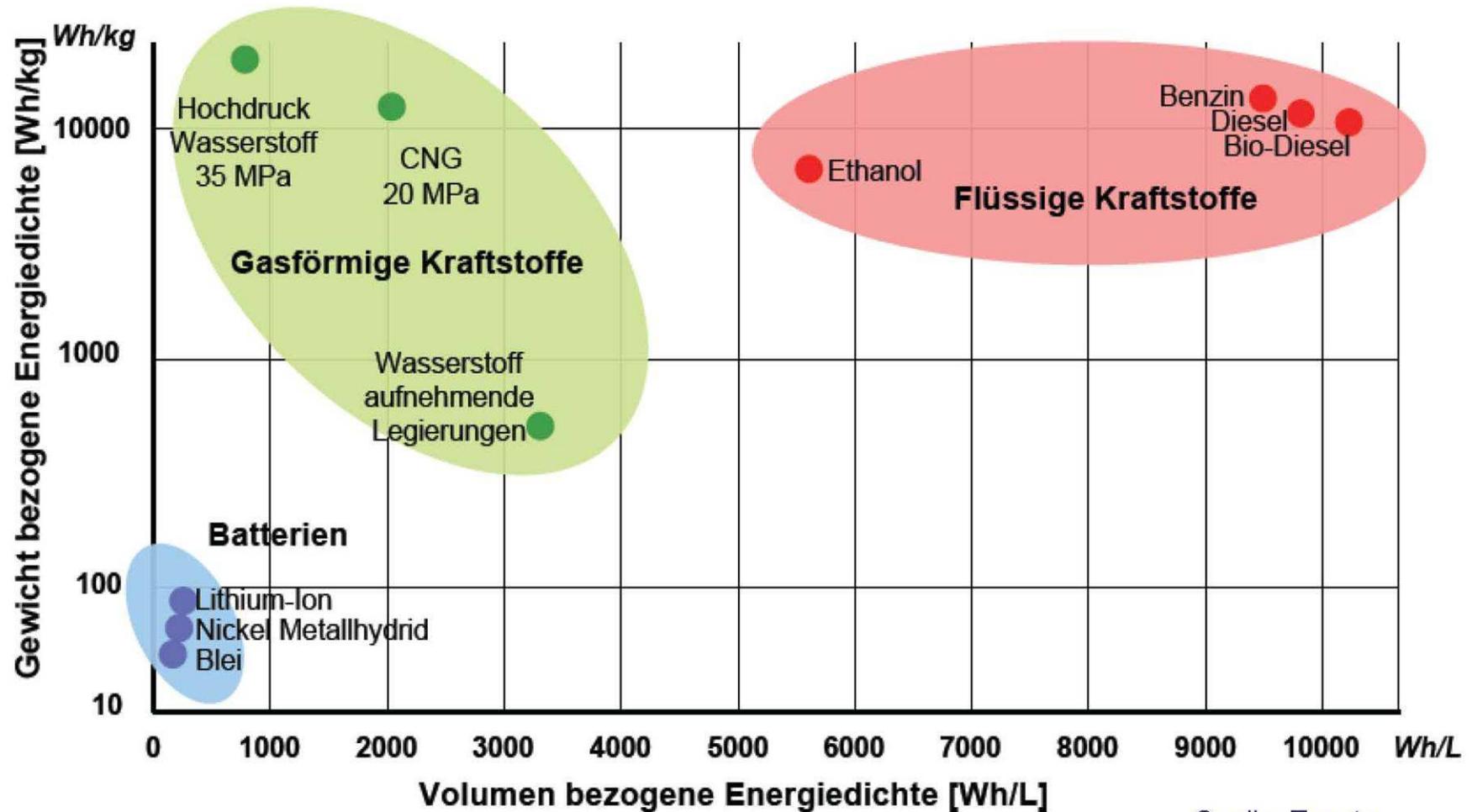
Wasserstoff als Energieträger



- Höchste spez. Energie
- Geringste Energiedichte



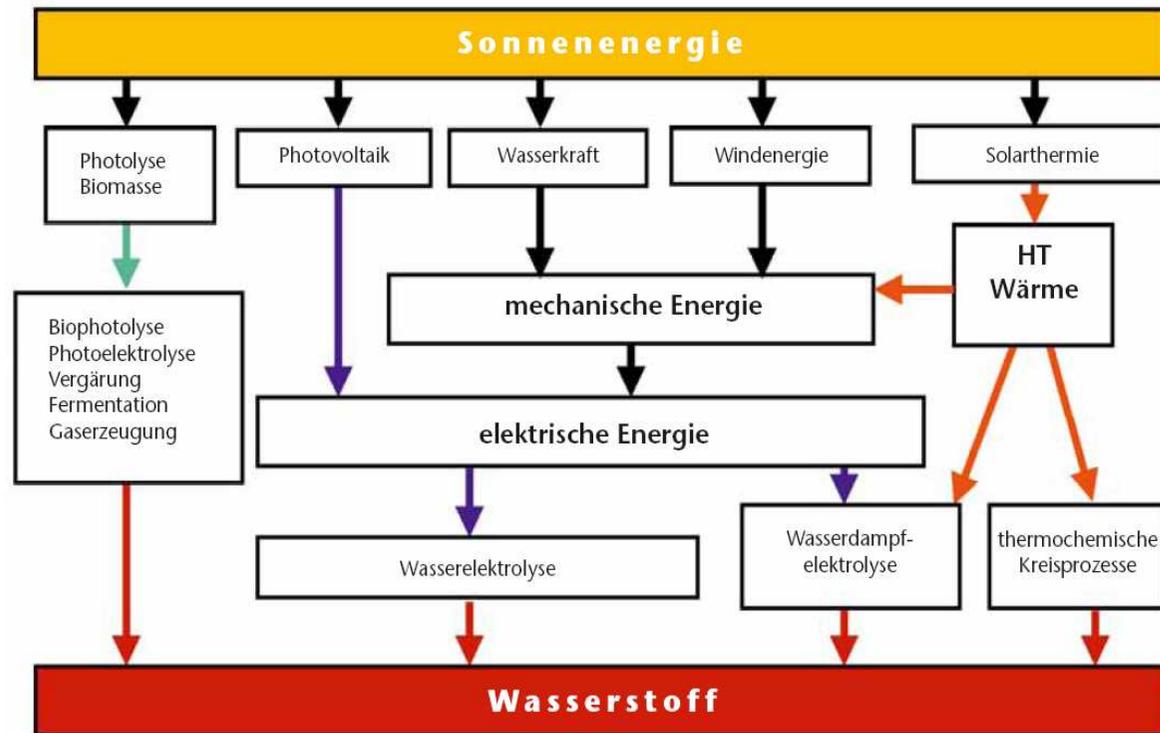
Energiedichten verschiedener Speichertechnologien



Quelle: Toyota

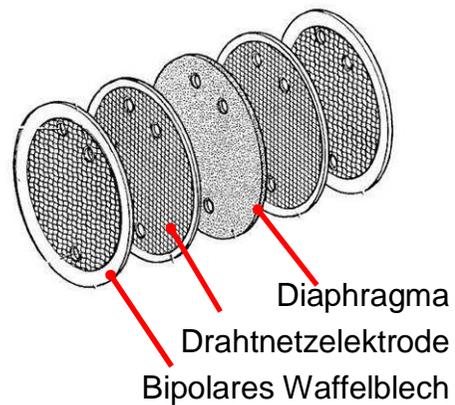
Wasserstoffherzeugung aus erneuerbaren Energien

- Jahresproduktion: 600 Mrd Nm³ Wasserstoff weltweit
- Entspricht 1,5 % des Weltprimärenergieverbrauchs
- Erzeugung hauptsächlich durch Reformierung von Erdgas in Raffinerien
 - Dampfreformierung
 - (Partielle Oxidation)
 - (Autotherme Reformierung)
- Derzeit nur << 1% durch Wasserelektrolyse



Stackdesign alkalischer Elektrolyseure

- meist bipolarer Aufbau
- atmosphärisch
- 7 - 30 bar
- Fläche bis 4,0 m²
- 200 – 400 mA/cm²
@ < 2,0 V



Realisierte Anlagen alkalischer Elektrolyseure



Kommerziell erhältlich in einer Bandbreite von

- 1 – 760 Nm³/h
- ca. 5 kW_{el} – 3,4 MW_{el}

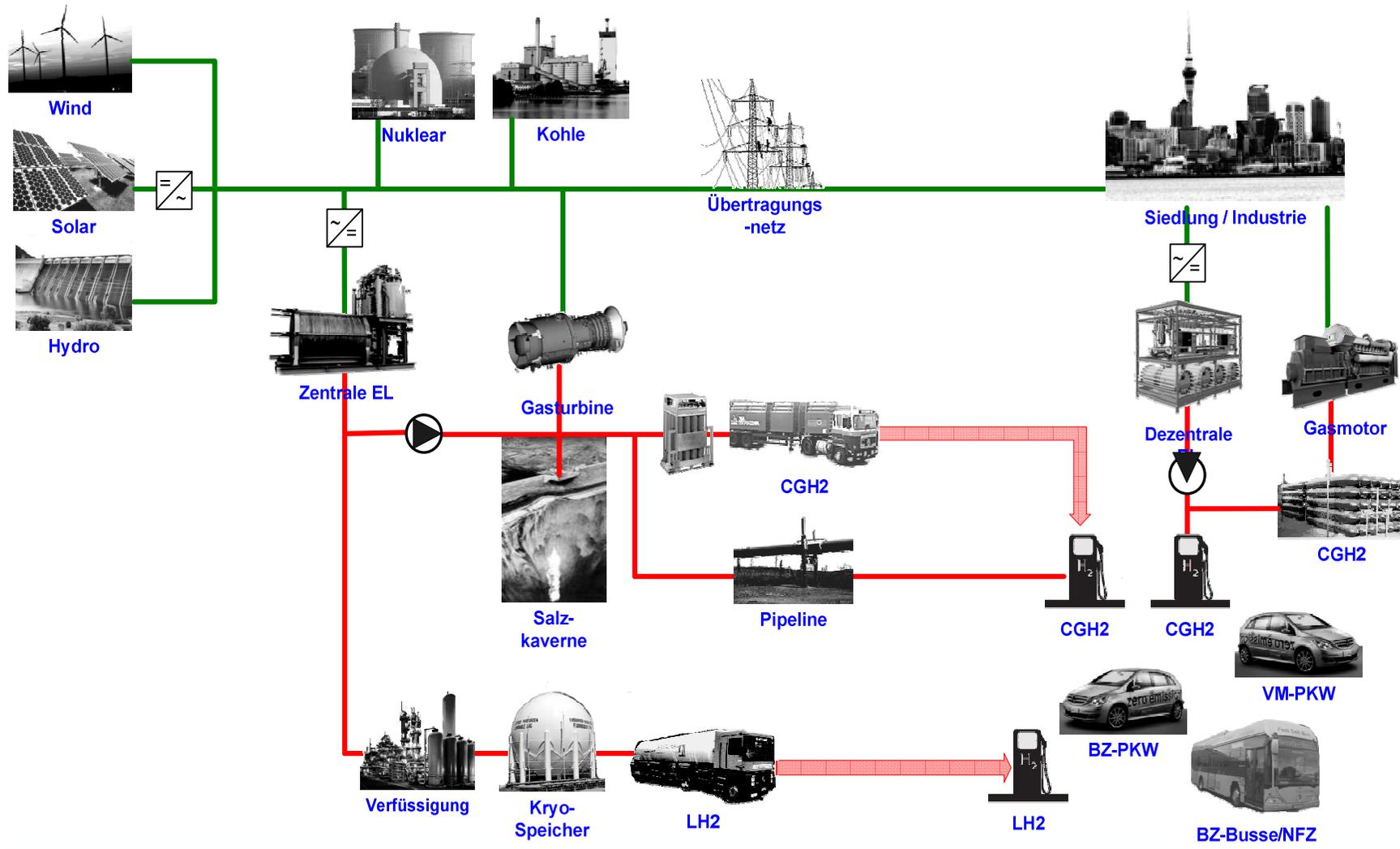
Größere Anlagen: Parallelbetrieb mehrerer Einheiten

- Assuan-Staudamm / Ägypten:
156 MW_{el} (33000 Nm³/h), drucklos
- Cuzco / Peru:
22 MW_{el} (4700 Nm³/h), Druckbetrieb



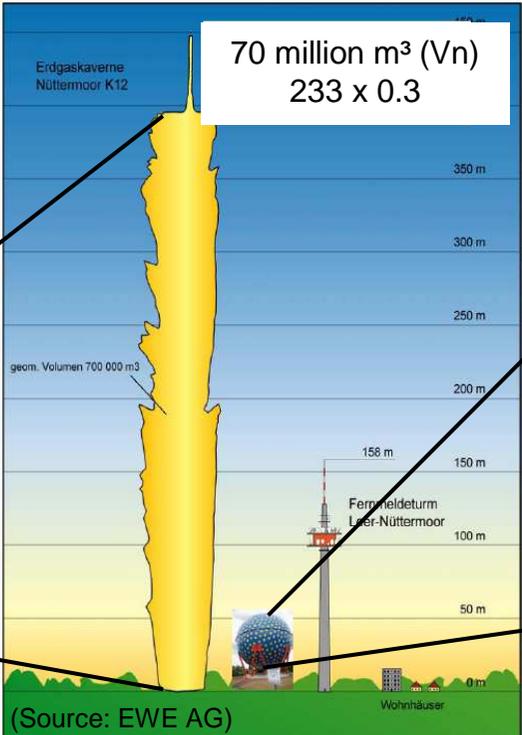
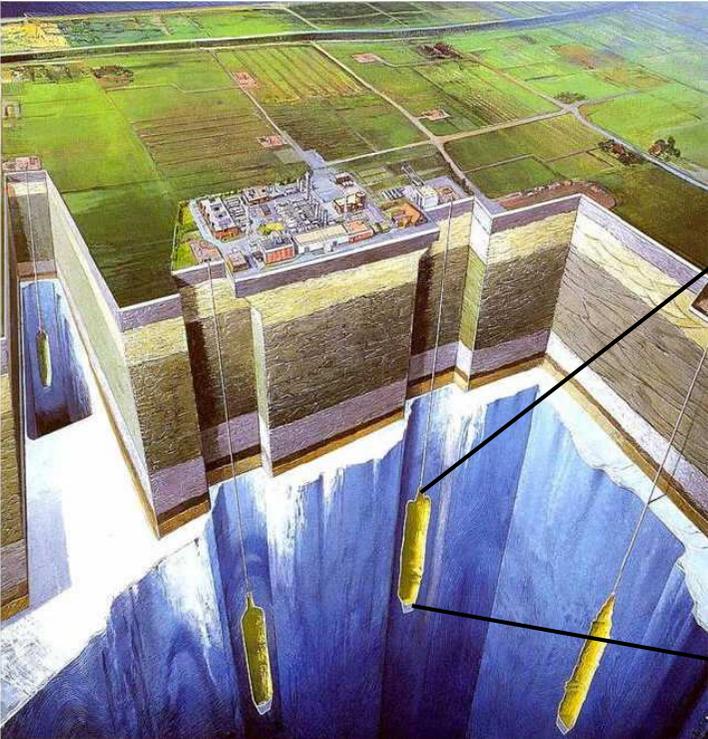
Bildnachweis:
ELT Elektrolyse Technik, Wasserelektrolyse Hydrotechnik
Hydrognics, SAGIM, StatoilHydro Hydrogen Technologies

Die Rolle von Wasserstoff-Elektrolyseuren im elektrischen Netz



Salzkavernenspeicher für die großmaßstäbliche Wasserstoffspeicherung

(Source: KBB UT)



Salzkavernenspeicher für die großmaßstäbliche Wasserstoffspeicherung

Speichererfahrung mit Stadtgas (H_2 -Anteil > 50%) in Salzkavernen und Aquiferen

Wasserstoffkavernen in Betrieb:

Teeside, UK, Betreiber: Sabc Petrochemicals,
3 x 70.000m³, 4.5MPa (konst.), 25 GWh,
30 Jahre in Betrieb

Clemens, Dome, Lake Jackson, Texas, USA,
Betreiber: ConocoPhillips, 580.000 m³,
7,0 – 13,5 MPa, 92 GWh, seit 1986

Moss Bluff Salzdom, Liberty County, Texas, USA,
Betreiber: Praxair, 566.000 m³ zugel. Vol.,
7,6 – 13,4 MPa, 80 GWh, seit 2007

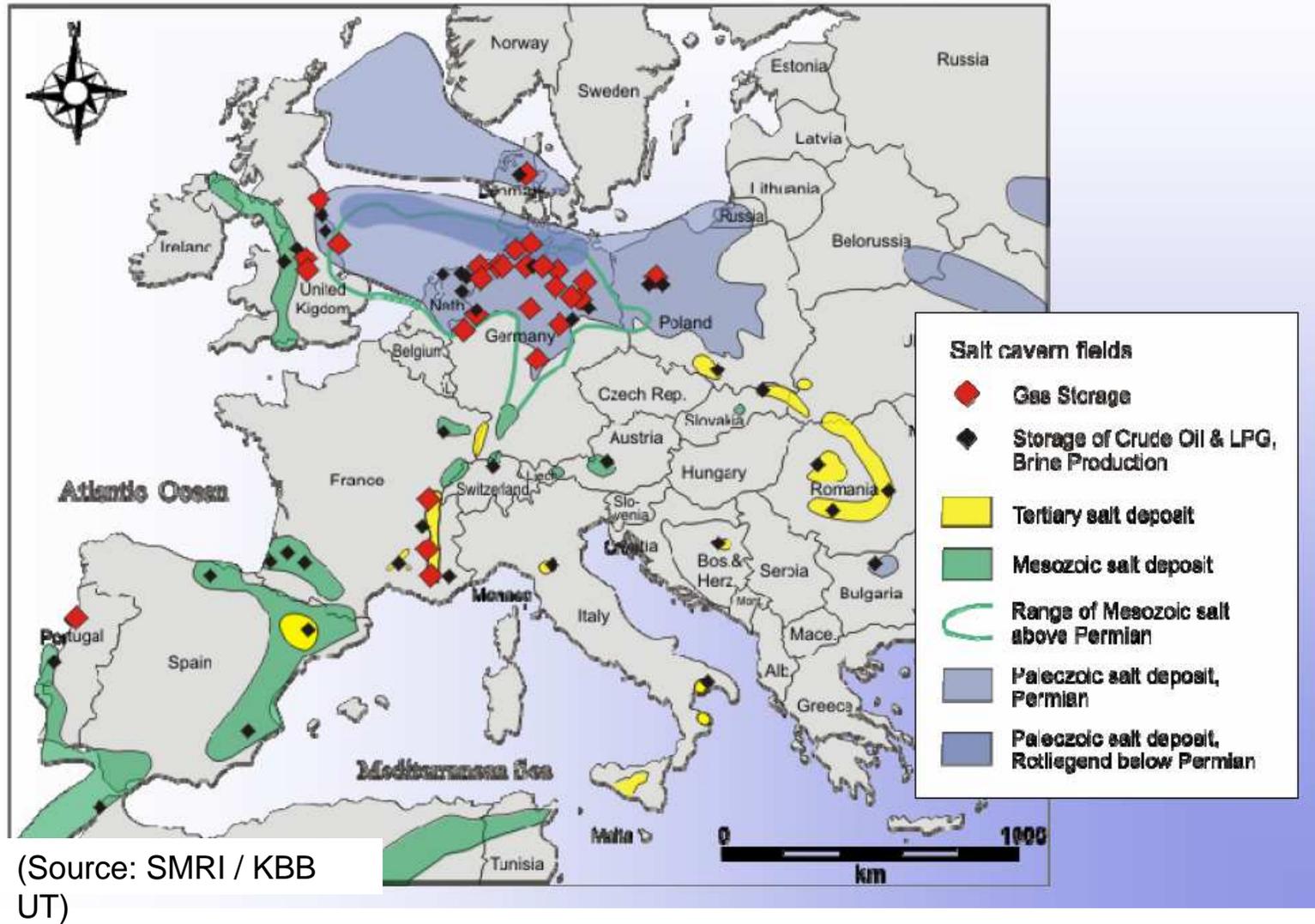
(Source: KBB UT)

Auslasskopf einer
Wasserstoffkaverne



(Source: ConocoPhillips)

Geeignete Salzkavernenfelder für die Wasserstoffspeicherung



Lokale Wasserstoffspeicherung

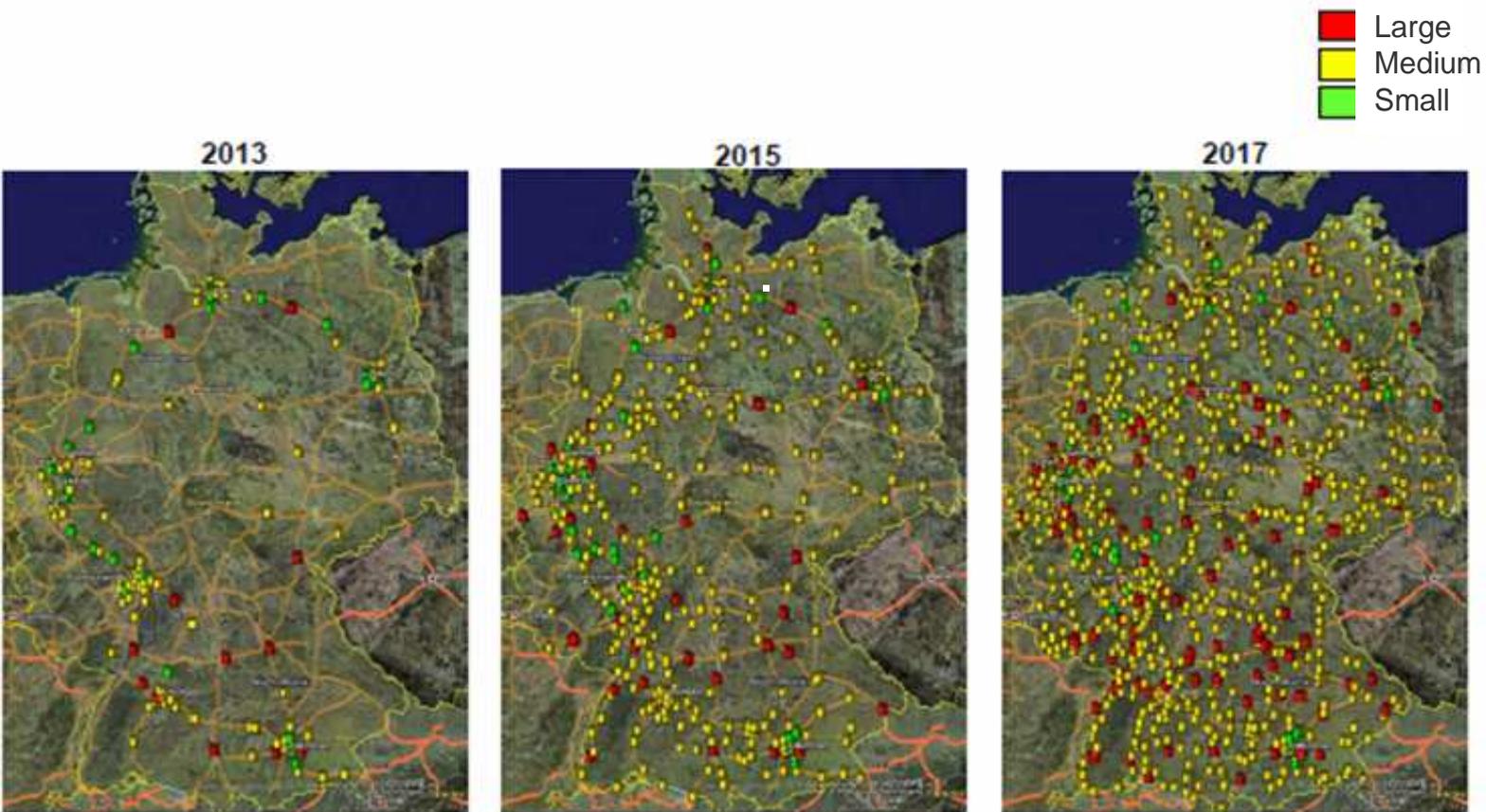
2.5 GWh Speicherkapazität im befüllten Zustand (1.6 ha Fläche)



Wasserstoff Tankstellen



September 2009, MoU führender Firmen zur Entwicklung einer Wasserstoff-Infrastruktur in Deutschland



DAIMLER

THE LINDE GROUP

NOW
Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

EnBW

OMV

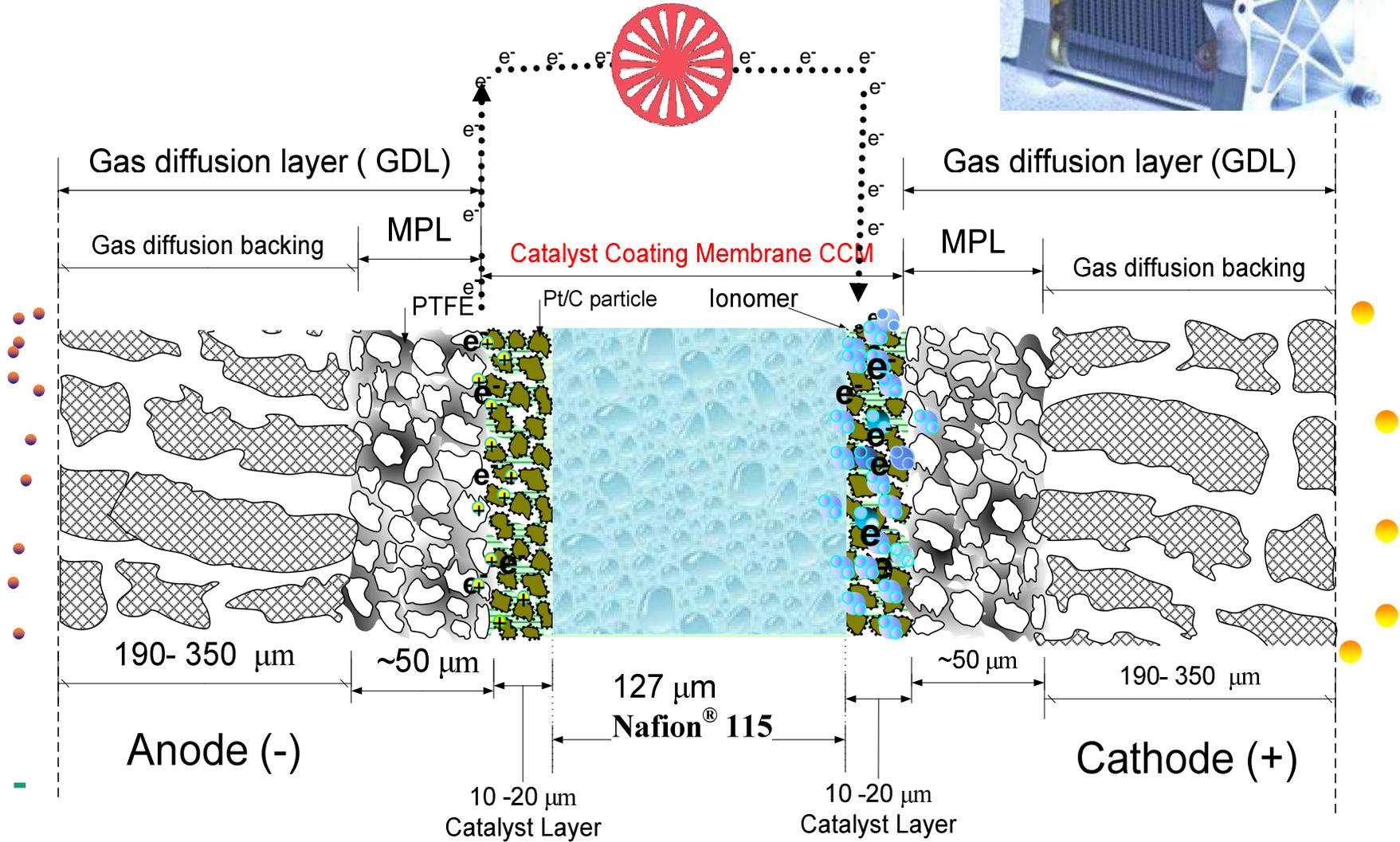
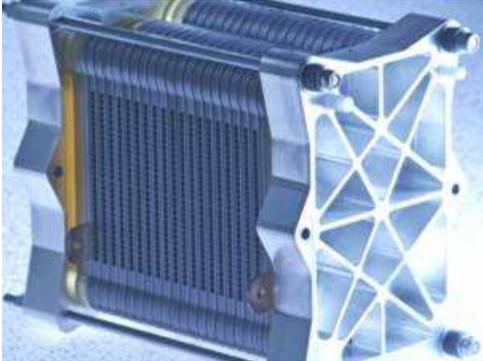


TOTAL

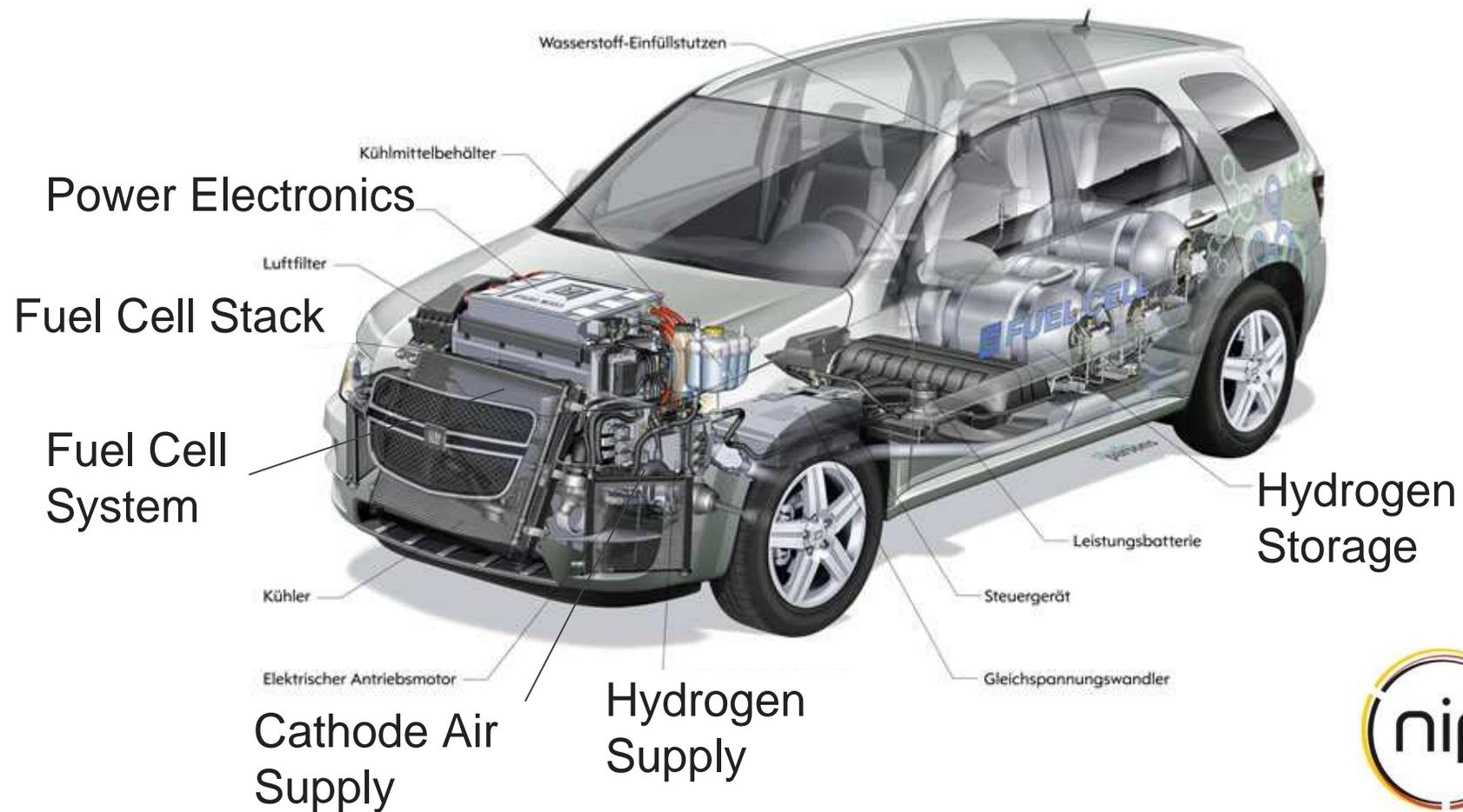
VATTENFALL



Die Funktionsweise einer Brennstoffzelle



Brennstoffzellenfahrzeuge



“H₂ Mobility” Initiative – Overcoming the Chicken and Egg Dilemma

Memorandum of Understanding for “H₂-Mobility” signed 2009 in Berlin

Ten key stakeholders from industries (OEM, oil, utility & industrial gas) and NOW as public-private-partnership

Intention to build up hydrogen fueling infrastructure and establishing Germany as lead market



17 private companies and NOW developed roll-out scenarios for a hydrogen infrastructure and FCEVs

Participating companies

Car OEMs



Industrial gas companies



Oil and gas companies



Utilities



Governmental Org



Brennstoffzellenfahrzeuge



Zusammenfassung

- Der Verbrennungsmotor spielt auch in den nächsten Jahrzehnten eine dominante Rolle in der Mobilität, insb. bei Langstrecken und im Flug- und Schwerlastverkehr
- Alle nachhaltigen Kraftstoffe werden benötigt für die künftige Mobilität
- Der Einsatz und deren Verbreitung hängt von vielen Faktoren ab, nicht zuletzt Kundenakzeptanz und regionale Einflüssen
- Batterieelektrische Mobilität spielt ihre Stärken insb. in der urbanen Mobilität aus
- Wasserstoff ist ein Sekundärenergieträger, der alle benötigten Reichweiten realisiert und auch im Schwerlastverkehr Verwendung finden wird
- Brennstoffzellen-Batterie Hybridantriebe decken alle künftigen Erfordernisse ab
- Es wird eine Fusionierung der solaren Energiesysteme mit nachhaltiger Mobilität stattfinden

"Nicht die Stärksten setzten sich durch, sondern diejenigen, die sich am schnellsten anpassen können"



nach
Charles Darwin
(1809 - 1882)