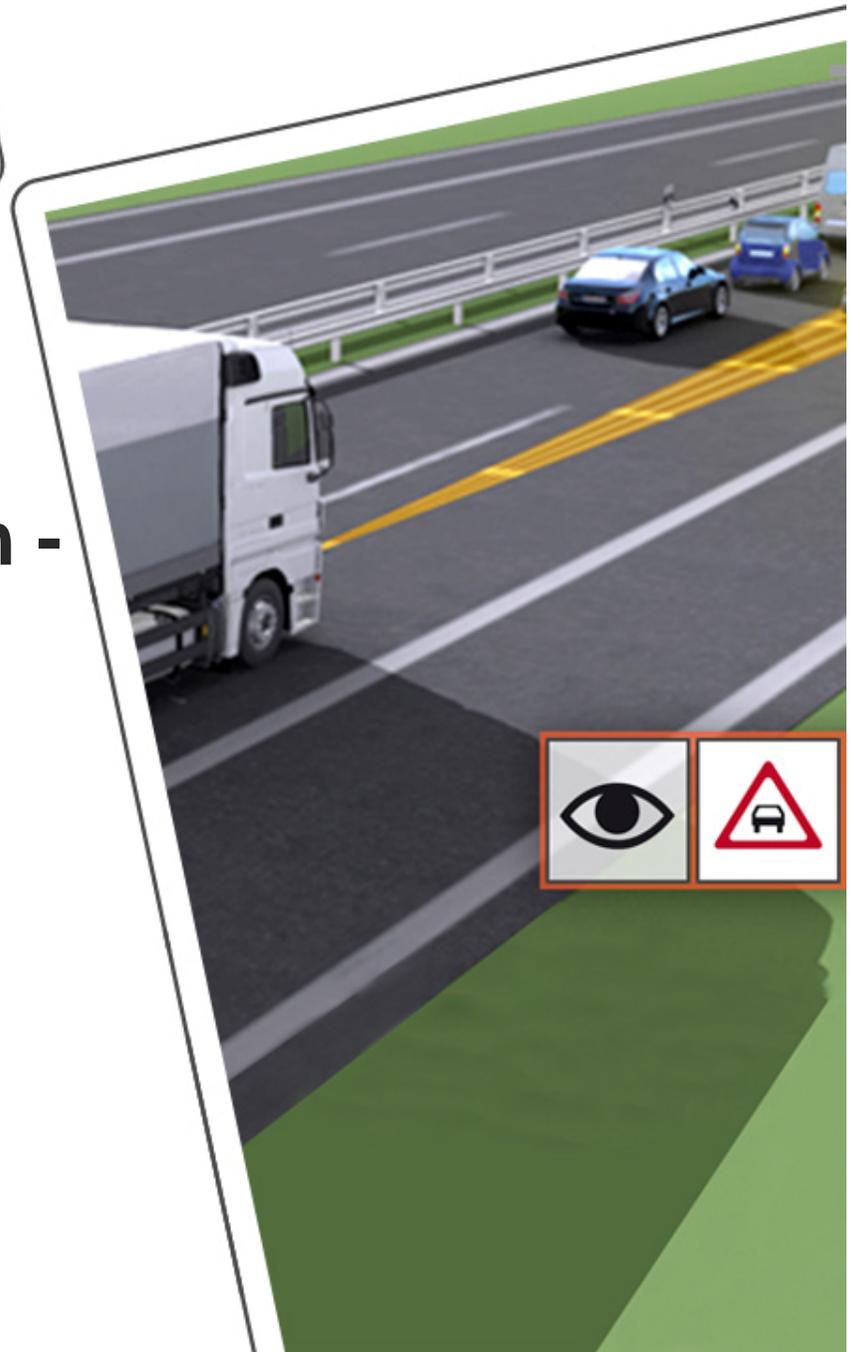


Automobilität und Innovation - ein interdisziplinärer Überblick über das Innovationsverhalten in der Automobilindustrie

Dr. Thomas Aigle
Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm e.V.

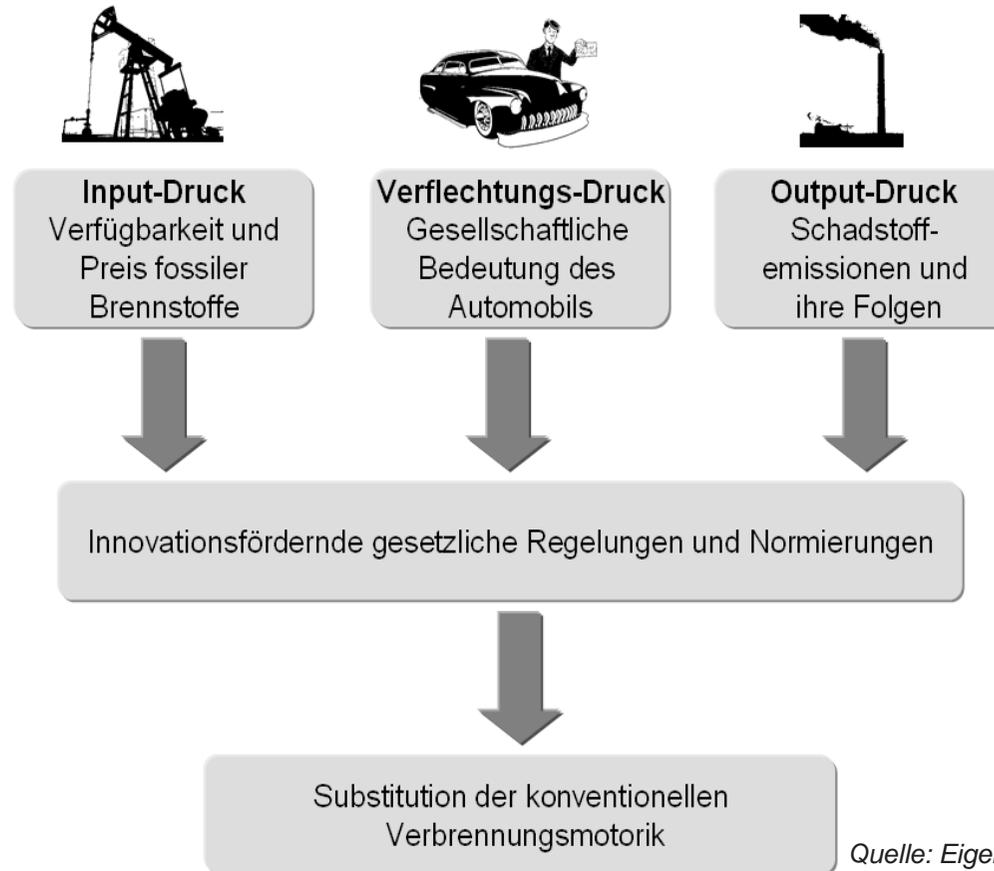
Dr. Lutz Marz
Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung



1. Innovations-Druck und Konventions-Sog
2. Konvention, Invention und Innovation
3. Innovations-Typen
4. Innovations-Matrix
5. Elektromobilität als radikale Innovation
 - ▶ Batterie-Elektro-Antrieb
 - ▶ Brennstoffzellen-Elektro-Antrieb
6. Argumente für Elektromobilität
7. Fazit

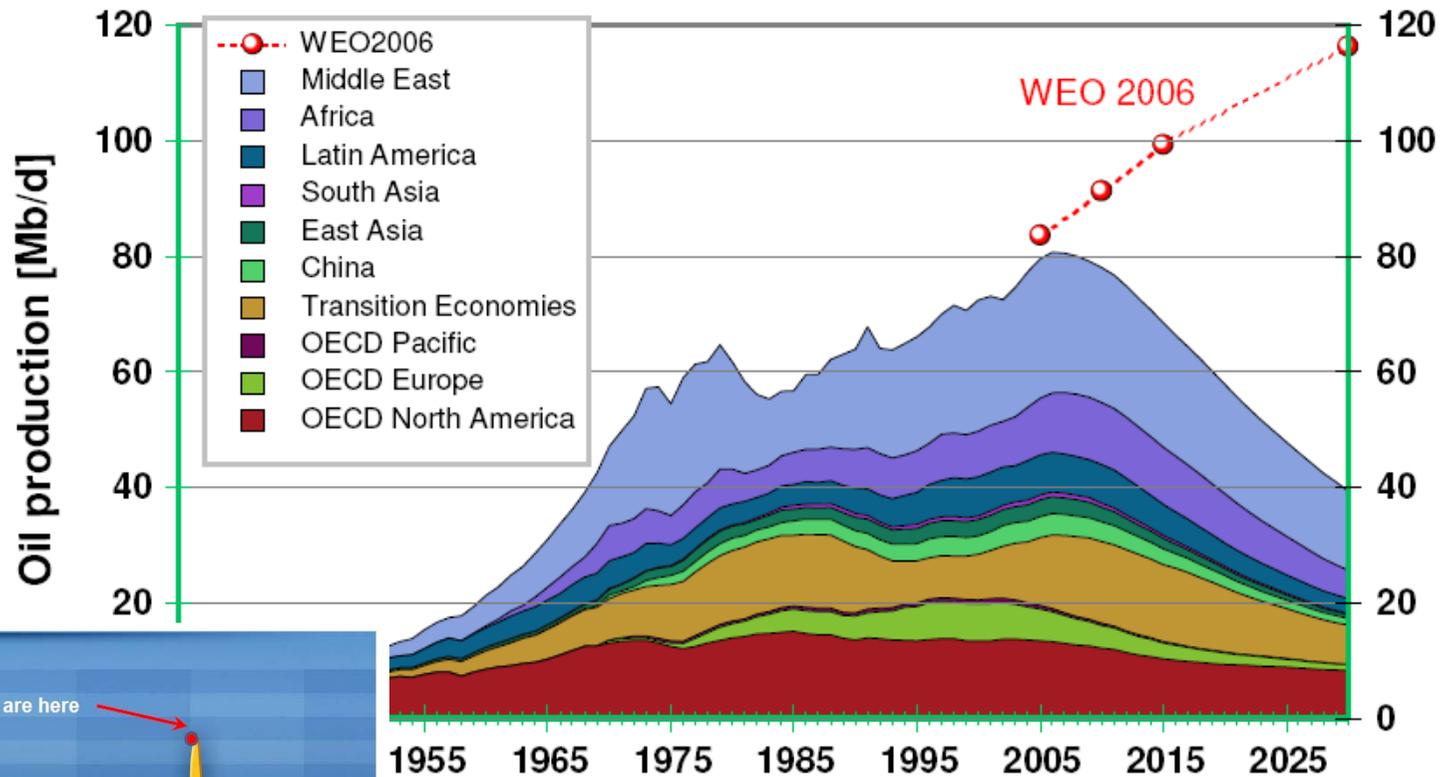


Das Spannungsfeld führt zu einer Vielzahl von antriebs- und kraftstofftechnologischen Innovationen mit widersprüchlichen Innovationspfaden !

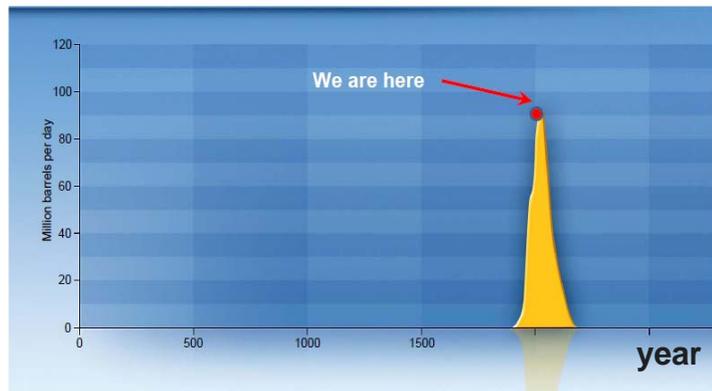


Quelle: Eigene Darstellung (Aigle 2009)

 **Der Druck auf die Autoindustrie ist enorm !**



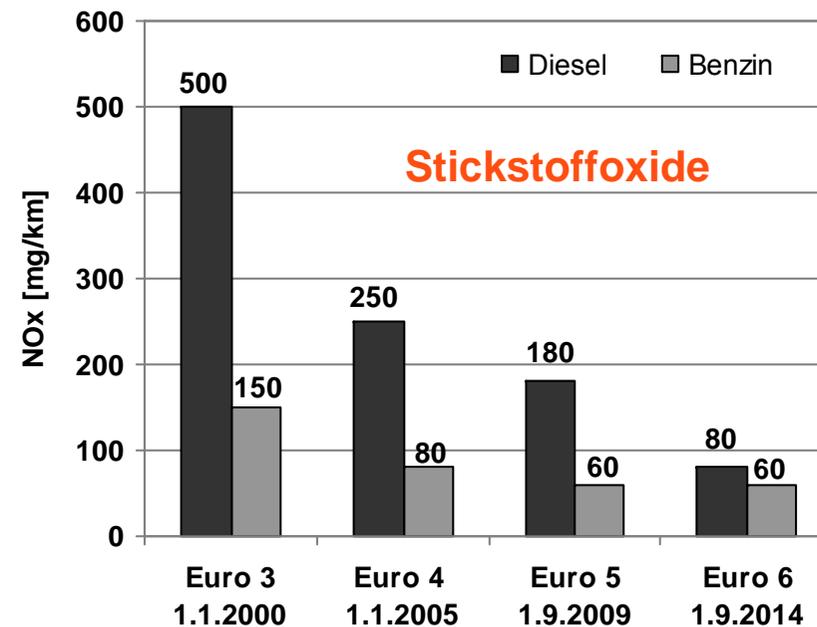
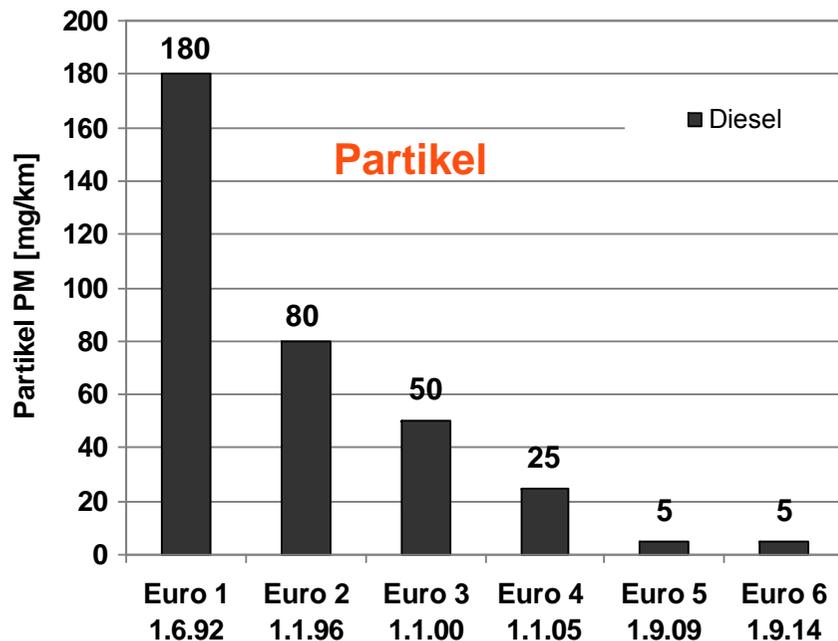
Quelle: Ludwig Bölkow Systemtechnik (2007)



Quelle: General Motors

Hilfs-Maßnahmen zur Minderung der Problemfelder des fossilen Verbrennungsmotors:

- Partikelfilter zu Reinigung von Partikeln in Dieselmotoren
- NOx-Abgasnachbehandlung für Dieselmotoren
- Hybrid-Technologie oder vermehrter Verkauf von Kleinwagen zur Verbrauchsminderung (CO₂-Grenzwert der EU: 120 g/km !)



Quelle: Aigle/Krien/Marz 2007

Dominanz einer herrschenden Technologie

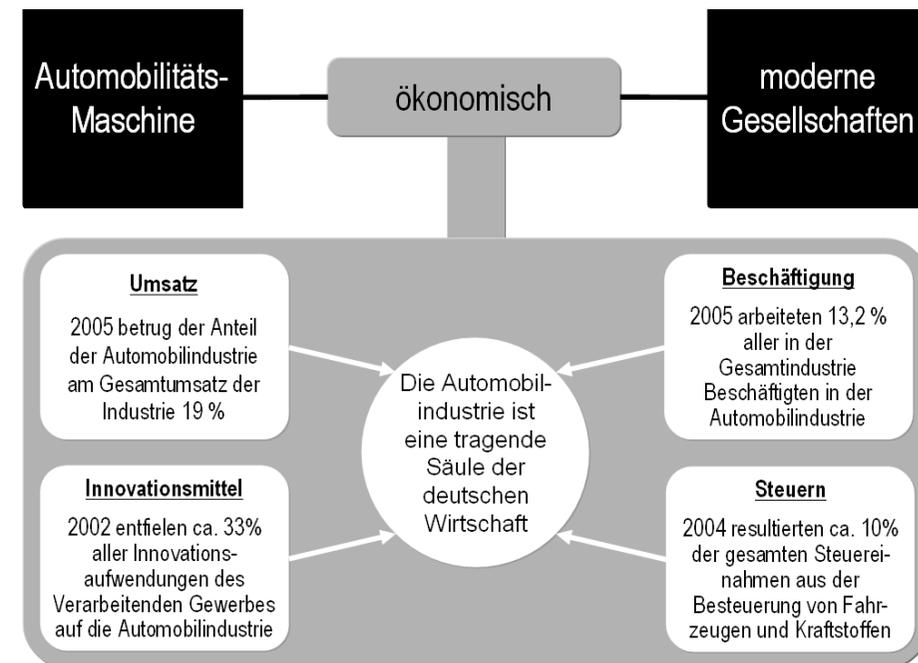
- 800 Mio. Pkw mit Verbrennungsmotor
- über 100 Jahre Entwicklungshistorie
- tragende Säule der Wirtschaft

Pfadabhängigkeit: Lock-In-Situation

- Skalierungseffekte durch Massenproduktion
- angepasste Zuliefererindustrie und Infrastrukturen
- Verbraucher ist mit der herrschenden Technologie vertraut

Gesellschaftliche Erwartung: „Rennreiselimousine“

- Lange Strecken (1000 km)
- Grosses Platzangebot (Familie, Kinderwagen....)
- Schnell und dynamisch (200 km/h)
- Auto als Statussymbol



Quelle: eigene Darstellung, VDA 2006, Jürgens/Meißner 2005, McKinsey 2006

Innovations-Begriff (generell)

- innovation = „commercialization of invention“ (Kirchhoff/Walsh 2000)
- „innovation = invention + exploitation“ (Roberts 1987)

Konvention im Automobilbau

- ölbetriebener 4-Takt-Verbrennungsmotor

Innovation im Automobilbau (Kriterien)

- Antriebs- und/oder kraftstoffseitige Optimierung oder Substitution der Konvention („Invention“)
- Demonstration in Form eines reproduzierbaren Prototyps („commercialization“)

1838
Christian Friedrich Schönbein
und Sir William Grove



1967
General Motors
Electrovan
Status: Funktionsmuster



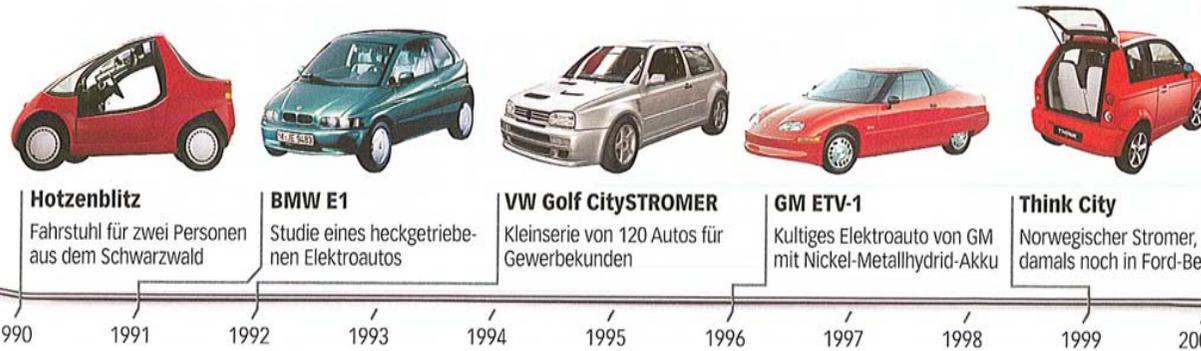
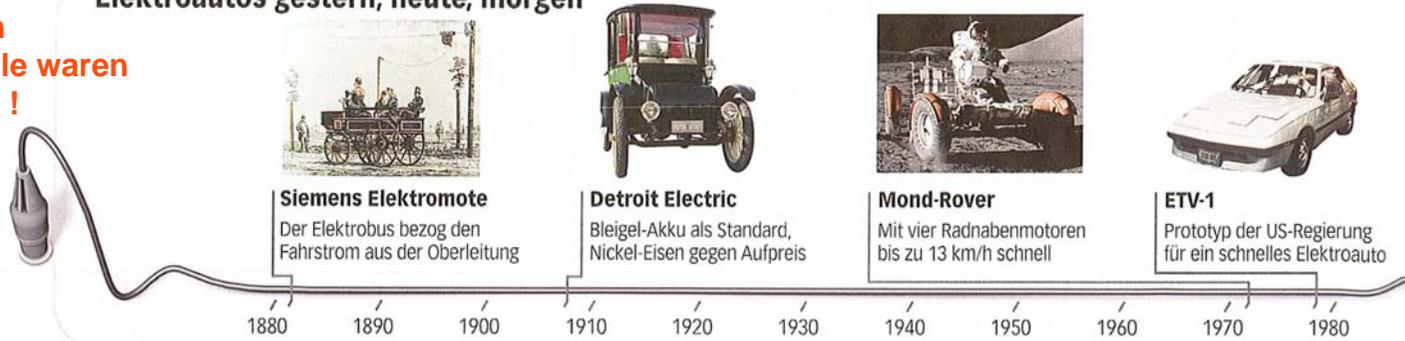
2002
DaimlerChrysler
Brennstoffzellen -Bus
Status: commercial



Quelle: Aigle / März 2007

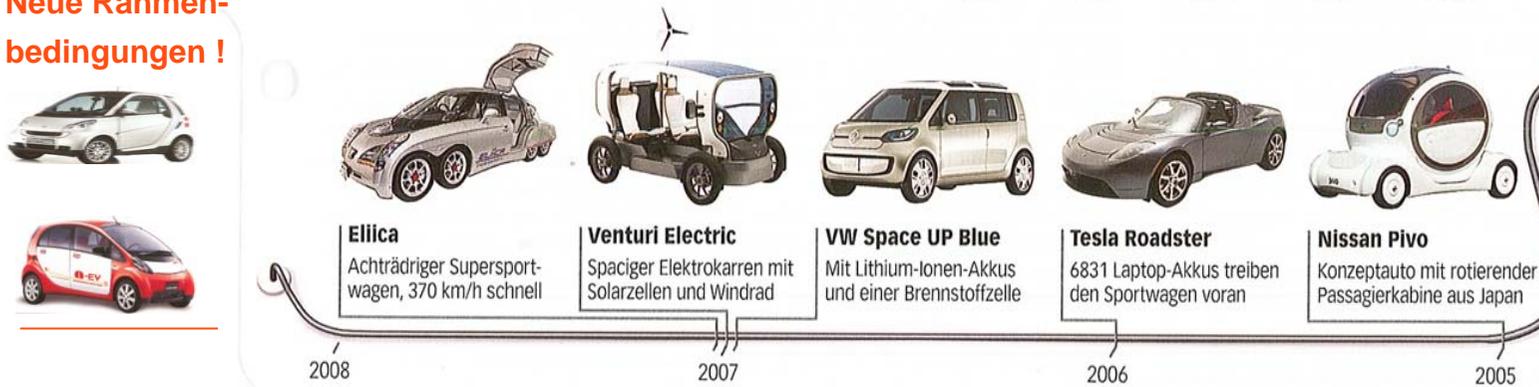
Die ersten Automobile waren elektrisch !

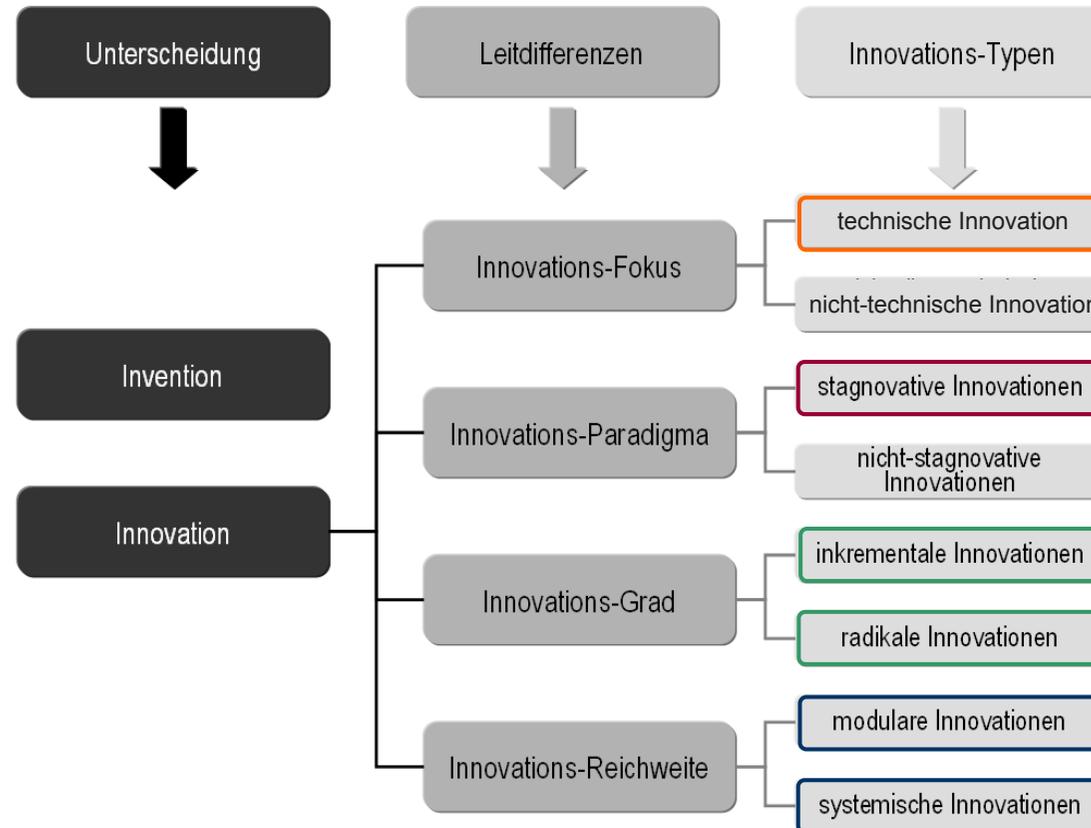
Elektroautos gestern, heute, morgen



Mehrere tausend Fahrzeuge waren in 90er Jahren auf dem Markt !

2010: Neue Rahmenbedingungen !





Quelle: Aigle / März 2007

Innovations-Matrix

Kraftstoff (k) Antrieb (a)			CO ₂ -emittierende Kraftstoffe						CO ₂ -neutrale Kraftstoffe					C-freie Kraftstoffe		
			Konventionell			Nicht-konventionell			Semi-alternativ					Alternativ		
			Kohlenwasserstoffe			SynFuels			Ole		Alkohole		Gase	Strom (13)	Wasserstoff	
			Diesel (1)	Benzin (2)	Autogas LPG (3)	Erdgas LNG (4)	Erdgas CNG (5)	GTL (6)	BTL (7)	Bio- Diesel (RME) (8)	Pflanzen- öle (9)	Bio- Ethanol (10)	Bio- Metha- nol (11)		Biogas (12)	Wasser- stoff LH ₂ (14)
Thermische Antriebe	Konventionell	4-Takt- Hubkolbenmotor (1)												X		
		2-Takt- Hubkolbenmotor (2)			/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	X	Cluster
	Nicht- konventionell	Wankelmotor (3)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	X	?	
		Sonstige Verbrennungs- prinzipien (4)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	X	/	/
Hybrid-Antriebe	Semi- alternativ	Milde Hybride mit Batterie (one-mode) (5)		/	/				/	/	/	/	X	/	/	
		Vollhybride mit Batterie (two-mode) (6)		/	/				/	/	/	/	X	/	/	
Elektrische Antriebe	Alternativ	Batterie- Elektroantrieb (7)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4	X	X
		Brennstoffzellen- Elektroantrieb (8)	/	/	/	/	/	/				/	/	X		

	Stagnative Innovationen		Inkrementale Innovationen 1. Grades		Inkrementale Innovationen 2. Grades		Radikale Innovationen 1. Grades		Radikale Innovationen 2. Grades
X	Technologisch ausgeschlossen	/	Inventionsräume						

Quelle: Aigle / Marz 2007

- 5 Innovations-Cluster
- 35 Innovations-Felder. Davon:
 - ▶ 5 Stagnovationen
 - ▶ 4 radikale Innovationen 1. oder 2. Grades
 - ▶ 13 polyinnovative Felder
 - ▶ 13 inkrementale Innovationen 1. und 2. Grades
- 20 Felder technologisch ausgeschlossen (X)
- 65 Inventionsräume (/)

 **Das Innovationsgeschehen ist geprägt von
Stagnovationen und inkrementellen Innovationen !**

Auswertung Innovations-Matrix II

- **Verbrennungsantrieb mit Benzin/Diesel/Flüssiggas... (Cluster 1)**
+ hohe Reichweite, hohe Leistung, Erfahrung, Infrastruktur
- Stickoxide, Kohlendioxid, Wirkungsgradpotential nahezu ausgereizt
- **Verbrennungsantrieb mit Wasserstoff (Cluster 2)**
+ Geringere bis nahezu keine Schadstoffemissionen
- Wirkungsgrad, Infrastruktur
- **Hybridantrieb / Plug-In-Hybrid (Cluster 3)**
+ Emissionsverhalten, hohe Reichweite
- komplexes Systemkonzept, hohes Gewicht
- **Elektrofahrzeug Batteriebetrieb (Cluster 4)**
+ Sehr hoher Wirkungsgrad, lokal emissionsfrei
- geringe Reichweite, hohes Gewicht, Ladezeit
- **Elektrofahrzeug Brennstoffzelle (Cluster 5)**
+ Hoher Wirkungsgrad, lokal emissionsfrei
- komplexe Technik, Infrastruktur



Mercedes E320 Bluetec



BMW Hydrogen7



Toyota Prius



E-SMART



Daimler f-cell

 **Wer wird den Herausforderungen am besten gerecht ?**

Radikale Innovationen sind:

- ▶ große, diskontinuierlich auftretende Innovationen
- ▶ signifikante, richtungsändernde Basis-Innovationen
- ▶ oftmals ein Paradigmenwechsel

Radikale Innovationen in der Autoindustrie:

- ▶ Batterie-Elektroantriebe (Cluster 4)
 - ▶ Brennstoffzellen-Elektroantriebe (Cluster 5)
- } „Elektromobilität“

 **These: Es Bedarf radikaler Innovationen um dem Innovations-Druck gerecht zu werden !**

Batterie-Elektroauto

Beispiel: Mitsubishi i-MIEV

- E-Motor: 47 KW, 180 Nm
- Höchstgeschw.: 130 km/h
- Akku: Li-Ion, 88 Zellen
 - ▶ 22 Module mit jew. 4 Zellen: 330 V
 - ▶ Energie: 16 KWh
 - ▶ Gewicht: 200 kg
 - ▶ Kosten (momentan): 14.000 \$
 - ▶ Masse: 800-1200 \$
 - ▶ Hersteller: GS Yusa (J)
- Reichweite: 150 km
- Ladung 220V-Netz: 7h Vollandung. Teilladung möglich!
- Schnell-Ladestation: 30 Minuten
- Vollarbeit für 3 Euro (bei 20 cent/KWh)
- Ziel: 20.000 Fahrzeuge bis 2012
 - ▶ 2000 Stk. für Japan in 2009
 - ▶ Ab 2010: Verkauf in EU



Bilder: Mitsubishi

Quelle: Mitsubishi 2009

Brennstoffzellen-Elektroauto

Beispiel: Daimler f-cell

Generation 1 Technologie-Demonstration



- Hohe Effizienz
- Keine/ kaum Emissionen
- Leise
- Hoher Fahrkomfort
- Leistung, Bauraum & Gewicht
- Nutzung alternativen Kraftstoffs
- Neues Fahrzeug-Konzept
- Demonstration von Kundennutzen

2004

Generation 2 Kundenakzeptanz



- Lebensdauer Stack. 2000h
- Leistungssteigerung (65kW ⇔ 100kW)
- Höhere Verlässlichkeit
- Höhere Reichweite (160km ⇔ 400km)
- Kaltstart-Funktion
- Li-Ion Batterie
- Gesenkte Komponentenkosten

2010

Generation 3+4 Kostenreduzierung + Markteinführung!



- Kleinerer/ kein Befeuchter
- Neue Kompressor-Generation
- Verbesserter Stack
- Optimiertes Luftmodul
- Vereinfachte H₂-Zirkulation
- Verbesserte Betriebsstrategie
- Vereinfachtes Anoden-Modul

2013

Generation 5 Massenfertigung



- Fahrzeug reif für den Massen-Markt
- Kleinerer Stack
 - Mehr Leistung
 - Mehr Drehmoment
 - Höhere Kraftstoff-Effizienz
 - Exzellenter Kaltstart

2020

Ziele 2. Projekt-Phase bis 2010

- 40 H2-Fahrzeuge
- 14 H2-Busse in Berlin
- 9 BZ-Busse in Hamburg
- Jeweils 3 H2-Tanstellen in Hamburg und Berlin
- Konzentration auf Schlüsselregionen Berlin und Hamburg

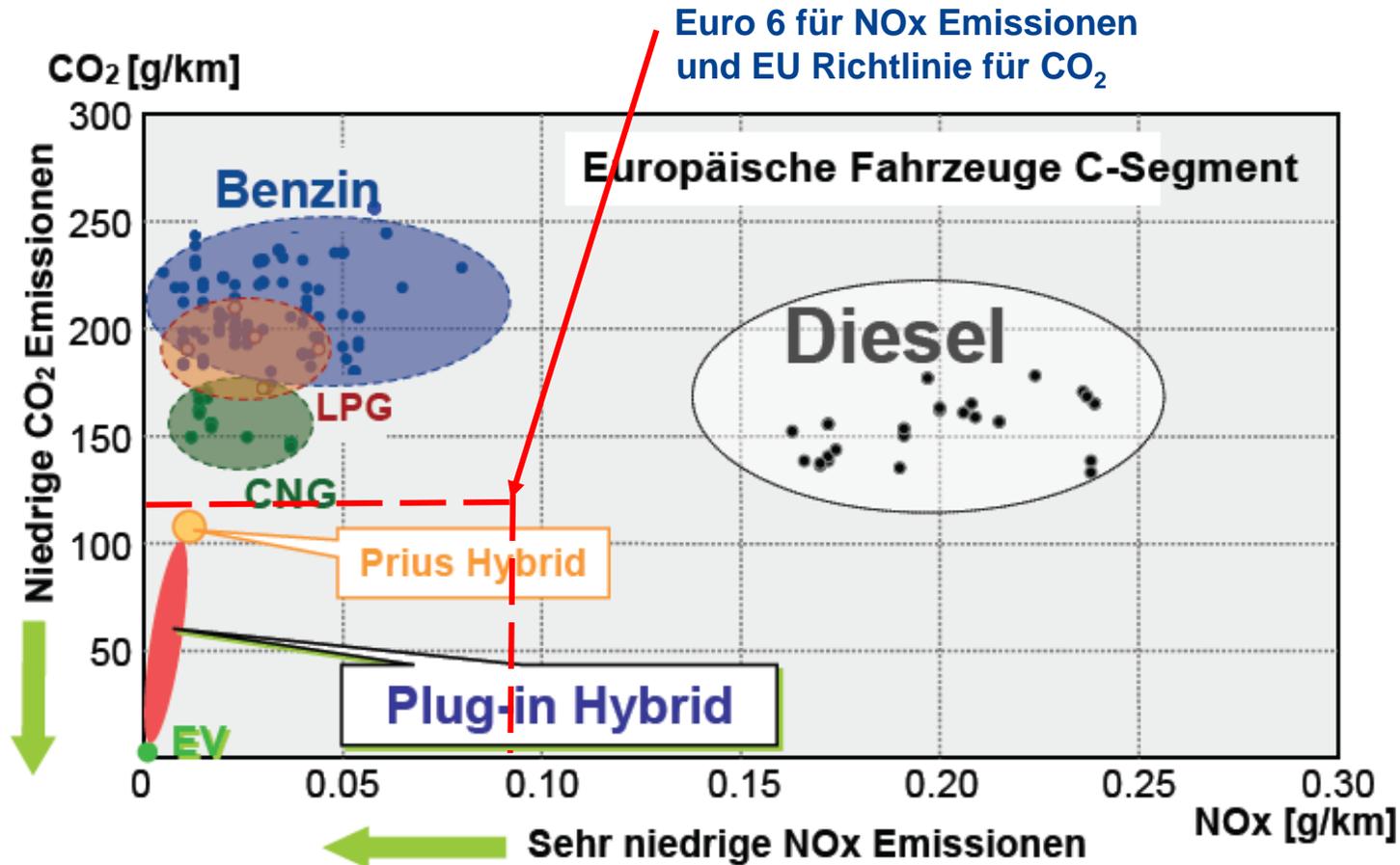
3. Projekt-Phase.

- Vergrößerung der Flotte
- Ausbau der Regionen



Bild: CEP

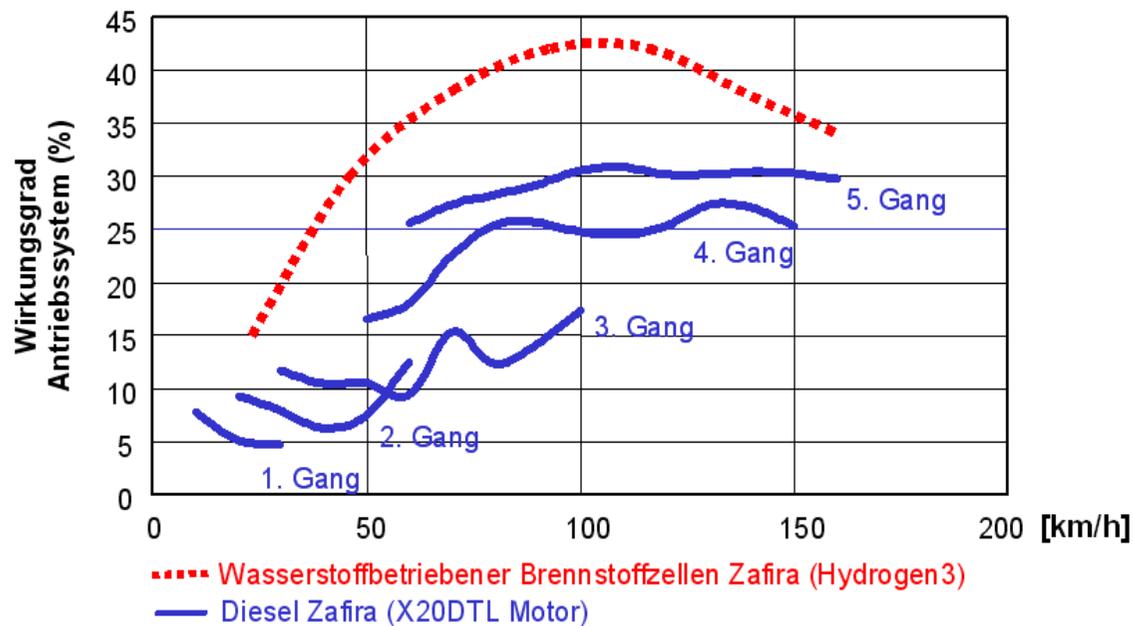
Argument 1: Zero-Emission-Technologie



Quelle: Toyota, eigene Ergänzung

Argument 2: Hoher Wirkungsgrad

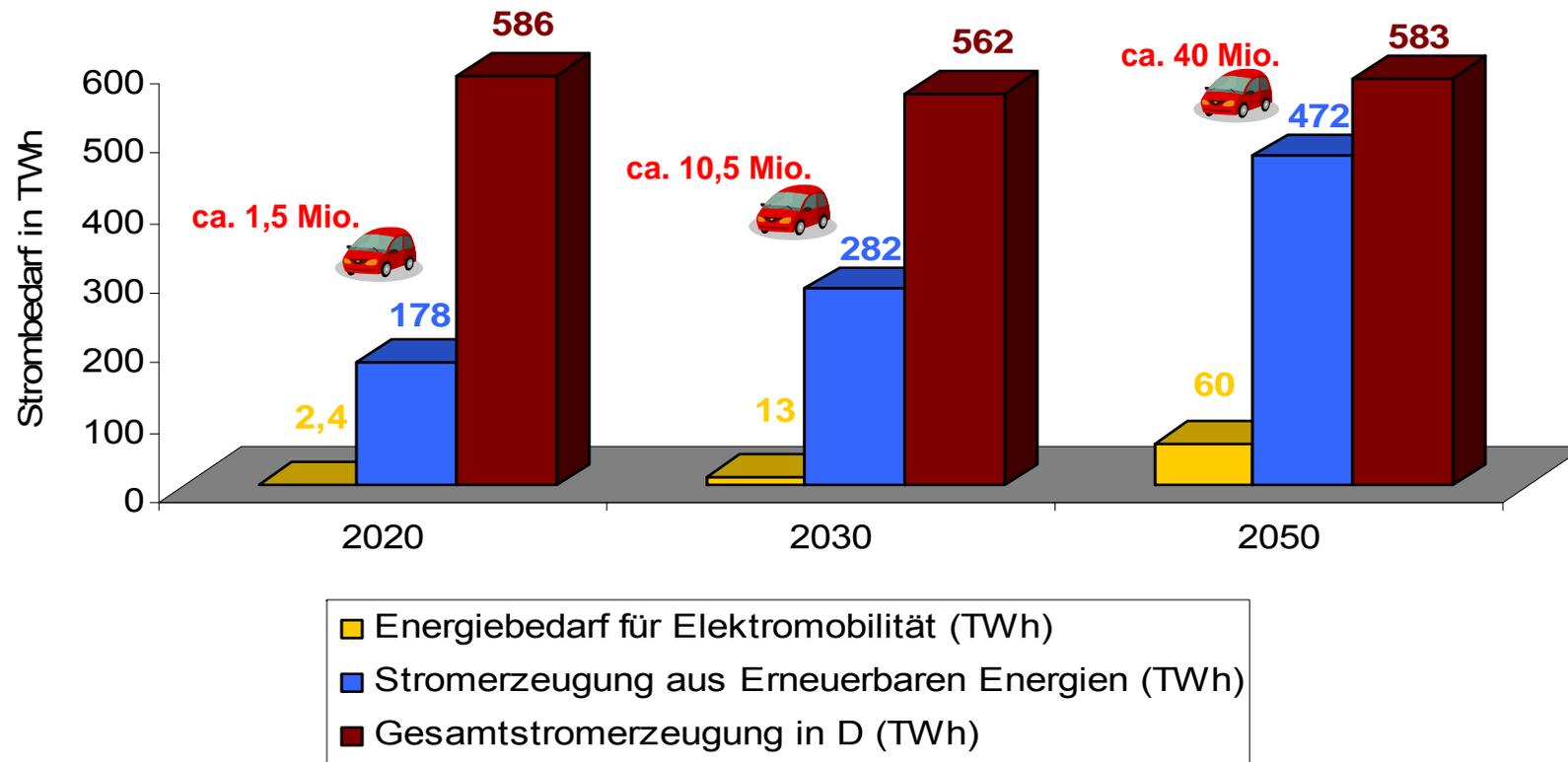
- Verbrennungsmotor: 20 – 25 %
- Brennstoffzellen-Elektroantrieb: 40 – 50 %
- Batterie-Elektroantrieb: 70 – 80 %



Quelle: General Motors

Argument 3: Geringer Strombedarf

Strom für Batterie-Elektro-Fahrzeuge Strombedarf- bzw. Stromerzeugung in TWh



Quelle: Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien, Leitstudie 2008, BMU

Flächenbedarf für regenerative Kraftstoffe zum Betrieb eines
Pkw mit 12 000 km p.a. Fahrleistung

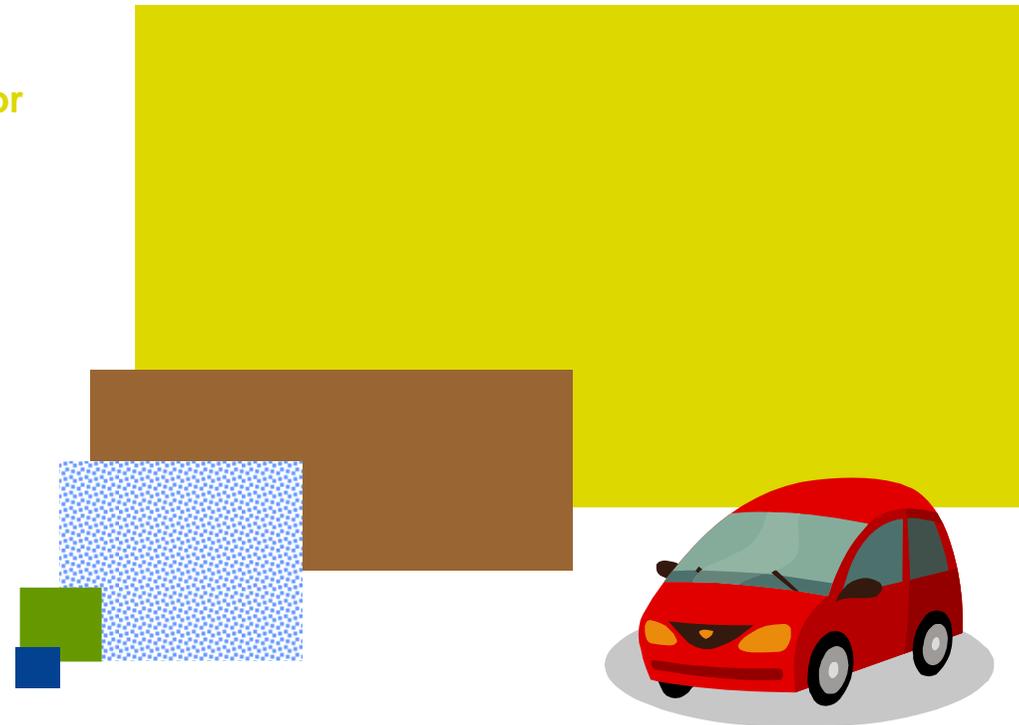
5000 m² für Biodiesel + Verbrennungsmotor

**1000 m² für Wasserstoff aus
Biomasse + Brennstoffzellenantrieb**

**500 m² für Wasserstoff aus
Windenergie + Brennstoffzellenantrieb
(Fläche gleichzeitig landwirtschaftlich
Nutzbar)**

65 m² für PV-Strom + BZ-E-Fahrzeug

20 m² für PV-Strom + Batterie-E-Fahrzeug



- **Elektroautos haben zu geringe Reichweiten !**
 - ▶ Aber: In Europa fahren fast 75% der Autofahrer weniger als 40 km am Tag. Und mit Brennstoffzelle-Autos sind schon heute bis 500 km Reichweite möglich.
- **Der Strombedarf steigt drastisch an, wenn in Deutschland alle Autos batterie-elektrisch fahren.**
 - ▶ Nein, nur um ca. 10% !
- **Die gesamte CO₂-Bilanz von der Stromerzeugung bis aufs Rad ist für das Batterie-Elektroauto ungünstig.**
 - ▶ Nein! Schon bei dem heutigen Anteil an erneuerbarer Energie im Strom-Mix ist die Bilanz besser als bei der Ölverbrennung (s. Graphik). Und der Strom wird in Zukunft immer sauberer!



Quelle: ADACmotorwelt 11/2008



Ein Batterie-Elektroauto ist in Punkto Reichweite, Platzangebot und Gewicht nicht mit einem konventionellen Fahrzeug zu vergleichen. Muss das sein? Neues Automobilitätsbild ist notwendig !
Brennstoffzellen E-Autos sind in den genannten Punkten durchaus vergleichbar !

Bundesregierung

Wolfgang Tiefensee, SPD, eh. Minister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2005-2009

- „Bis zum Jahr 2020 sollen eine Million **Elektrofahrzeuge** auf unseren Straßen unterwegs sein“.
- „Unser Ziel ist der Aufbau einer möglichst flächendeckenden Versorgung mit **Wasserstoff** in Deutschland, um 2015 die serienmäßige Einführung von **Brennstoffzellenfahrzeugen** zu ermöglichen.“
- „Unser Ziel ist es, **Elektromobilität mit Batterie und Brennstoffzelle** aus einem Guss zu fördern!
 - ▶ Brennstoffzellen: Nationales Innovationsprogramm (NIP): 1.4 Mrd. EUR
 - ▶ Batterien: Konjunkturpaket II: 500 Mio. EUR. 8 Modellregionen mit 115 Mio. EUR.

Dr. Peter Ramsauer, CDU, Verkehrsminister, Regierungserklärung vom 11.11.09

- „Ich werde alles dafür tun, dass wir die gewaltigen Potentiale der **Elektromobilität** ausschöpfen, ...mein Ziel ist es, dass wir in Zukunft .. die besten **Elektroautos** der Welt bauen...“

Automobilindustrie

- „2015 wird die automobiler Welt ganz anders aussehen: **Elektro** wird dominieren.“
Thomas Weber, Entwicklungsvorstand Daimler AG
- „Die Zukunft gehört dem **Elektroauto**.“
Martin Winterkorn, Aufsichtsratsvorsitzender Volkswagen AG
- „Das Konzept vom **Elektroauto** wird sich durchsetzen.“
Dr. Wolfgang Armbricht, Senior Vice President BrandManagement Mini



- Stagnationen und inkrementelle Innovationen dominieren das Innovationsgeschehen.
- (Modular-)inkrementelle Innovationen lösen die Konvention nur partiell ab und führen zu einer zeitlichen Problemverschiebung.
- Radikale u. systemische Innovationen bieten das Potential einer nachhaltigen Mobilität.
- Brennstoffzellen- und Batterieantriebe („Elektromobilität“) stellen radikale Innovationen und einen Paradigmenwechsel für die Autoindustrie dar.
- Der Innovations-Druck erfordert radikale Innovationen wie die Elektromobilität:
 - ▶ Unabhängigkeit vom Öl
 - ▶ Zero-Emission-Technologie
 - ▶ Sowohl Strom als auch Wasserstoff kann CO₂-frei erzeugt werden. Der Anteil des „grünen“ Stroms im Strom-Mix steigt an.
 - ▶ Geringer Flächenbedarf und hoher Wirkungsgrad

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



WBZU – das Angebot

Bildung

Expertise in der Aus-
und Weiterbildung
verschiedener
Zielgruppen

- Schulungen
- Seminare
- Workshops
- Kurse
- Tagungen

Demonstration

Praxisnahe Veran-
schaulichung der
Lehrinhalte und
Anwendungen

- Teststände
- Modellversuche
- Exponate
- Praktika

Öffentlichkeitsarbeit

Unabhängige
Meinungsbildung
und allgemeine
Information

- Vorträge
- Diskussions-
veranstaltungen
- Newsletter
- Internet Portal

WBZU – die Zielgruppen

- **Handwerk**
- **Industrie**
- **Schulen und Hochschulen**
- **Entscheidungsträger und Öffentlichkeit**

 Weiter Infos zum WBZU e.V.: www.wbzu.de !