

# DAIMLERCHRYSLER

**Wasserstoff -- Kraftstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge**

**Dr. Erwin Wüchner  
Daimler Chrysler AG**

05. Juli 2007, Forum Zukunftstechnologien

# DaimlerChrysler's Roadmap zur nachhaltigen Mobilität

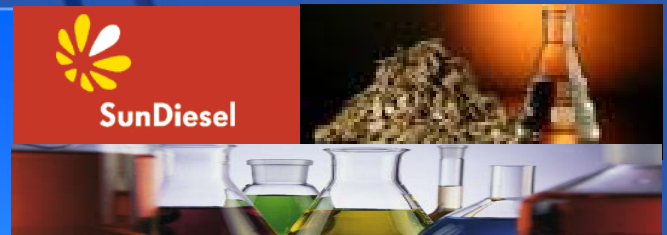
heute

morgen

Brennstoffzellen-  
Technologie



Alternative Kraftstoffe  
Verbesserung  
von Kraftstoffen

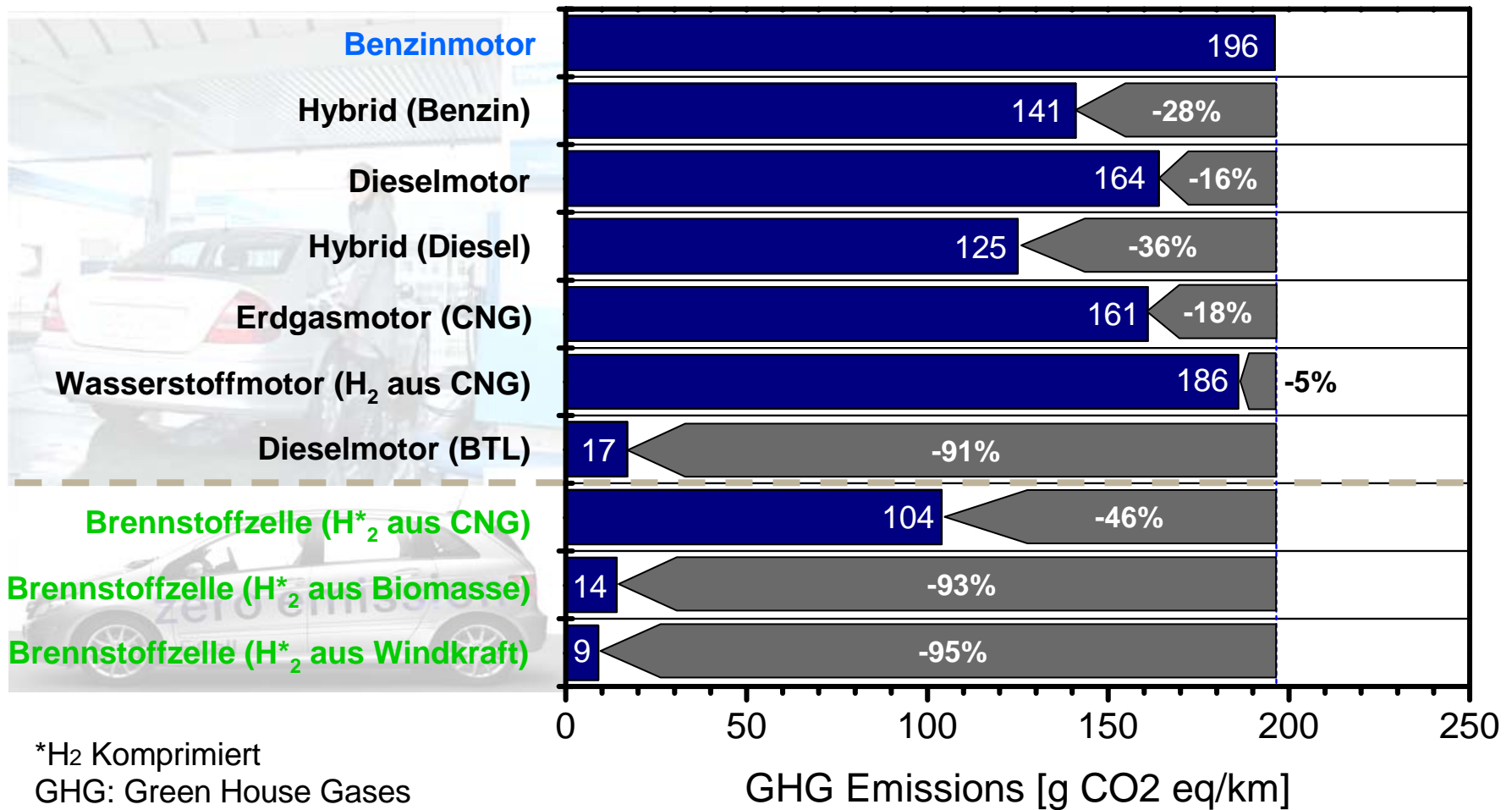


Effiziente *Fahrzeuge*  
mit effizienten *Antrieben*  
mit oder ohne *Hybridtechnologie*



# “Well-to-Wheel” CO<sub>2</sub>-Emission verschiedener Antriebe

**Brennstoffzellenfahrzeuge mit Wasserstoff und Dieselmotoren mit Biokraftstoffen der 2.Generation haben das größte CO<sub>2</sub>- Minderungspotenzial**



# Wasserstoff, Kraftstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge bei DaimlerChrysler

## Wasserstoff H<sub>2</sub>

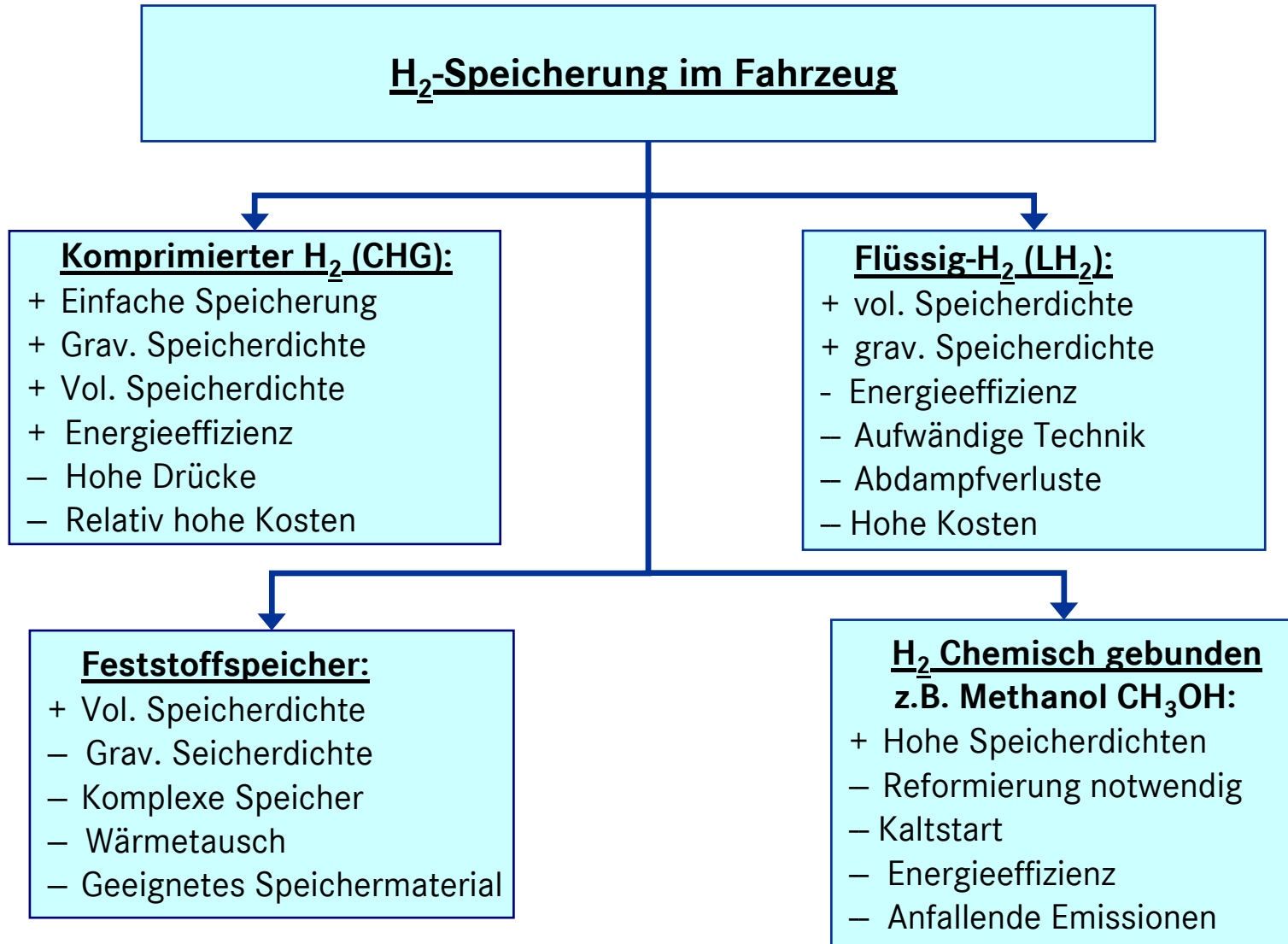
- Kommt als natürliches Gas nicht vor
  - => Herstellung (zentral und dezentral) aus verschiedenen Energieträgern möglich
  - => Erzeugung durch Steamreforming (Erdgas, Biomasse) oder durch Elektrolyse von Wasser
  - => Längerfristig Erzeugung aus regenerativen Energien
- Farb- und geruchloses Gas
- H<sub>2</sub> ist leicht: Dichte 90 g/Nm<sup>3</sup>
  - => zur Speicherung in Kraftfahrzeugen: Verdichtung, Verflüssigung, Feststoffspeicherung oder chemische Speicherung
- Relativ hoher Heizwert: 33,33 kWh/kg H<sub>2</sub>
  - => 1 kg H<sub>2</sub> entspricht 2,75 kg oder 3,6 l Benzin
- Leicht entzündliches Gas
  - => Mindestzündenergie 0,02 mJ, Zündgrenzen in Luft 4 - 77 Vol.-%
- Oxidationsprodukt ist Wasser
  - => Kraftstoff für Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellen
  - => CO<sub>2</sub>-freie Verbrennung (Perspektive Klimaneutralität), Ottomotoren mit minimalen Mengen Stickoxiden, Brennstoffzellen emissionsfrei, bei hohem Wirkungsgrad

## Anforderungen an H<sub>2</sub>-Speichersysteme in Kraftfahrzeugen

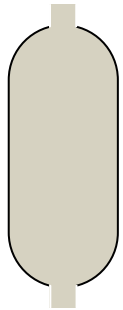
Technik, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Infrastruktur

- **Hohe Sicherheit**  
=> Leckagen, Crash, Brandfall
- **Hohe volumetrische Speicherdichte**  
=> geringer Raumbedarf
- **Hohe gravimetrische Speicherdichte**  
=> geringes Eigengewicht
- **Hohe Lebensdauer**  
=> Ausreichende Betankungszyklen, Haltbarkeit entsprechend Fahrzeuglebensdauer
- **Niedrige Herstellkosten**
- **Gasfluss und Druckniveau entsprechend Anforderungen des Antriebs**
- **Betriebstemperaturen entsprechend Einsatz- und Antriebs-Bedingungen**
- **Energieeffizienz**
- **Rasche Betankung**

## H<sub>2</sub>-Speicherung im Fahrzeug



## Komprimierter H<sub>2</sub> (CHG)

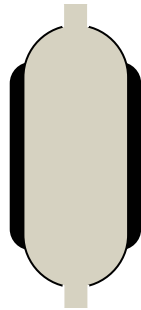


**Typ I**

(metallisch)



Als CNG-Tanks im Einsatz bei  
Drücken bis 250 bar  
Als CHG-Tanks für Fahrzeuge  
wegen hohem Gewicht nicht  
im Einsatz

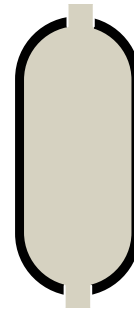


**Typ II**

(metallisch,  
teilweise  
faserverstärkt )



Einsatz in Fahrzeugen  
bei Speicherdrücken  
von 350 bar

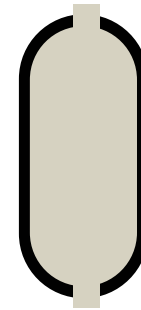


**Typ III**

(metallisch,  
komplett  
faserverstärkt)



Einsatz in Fahrzeugen  
bei Speicherdrücken  
von 350 und 700 bar

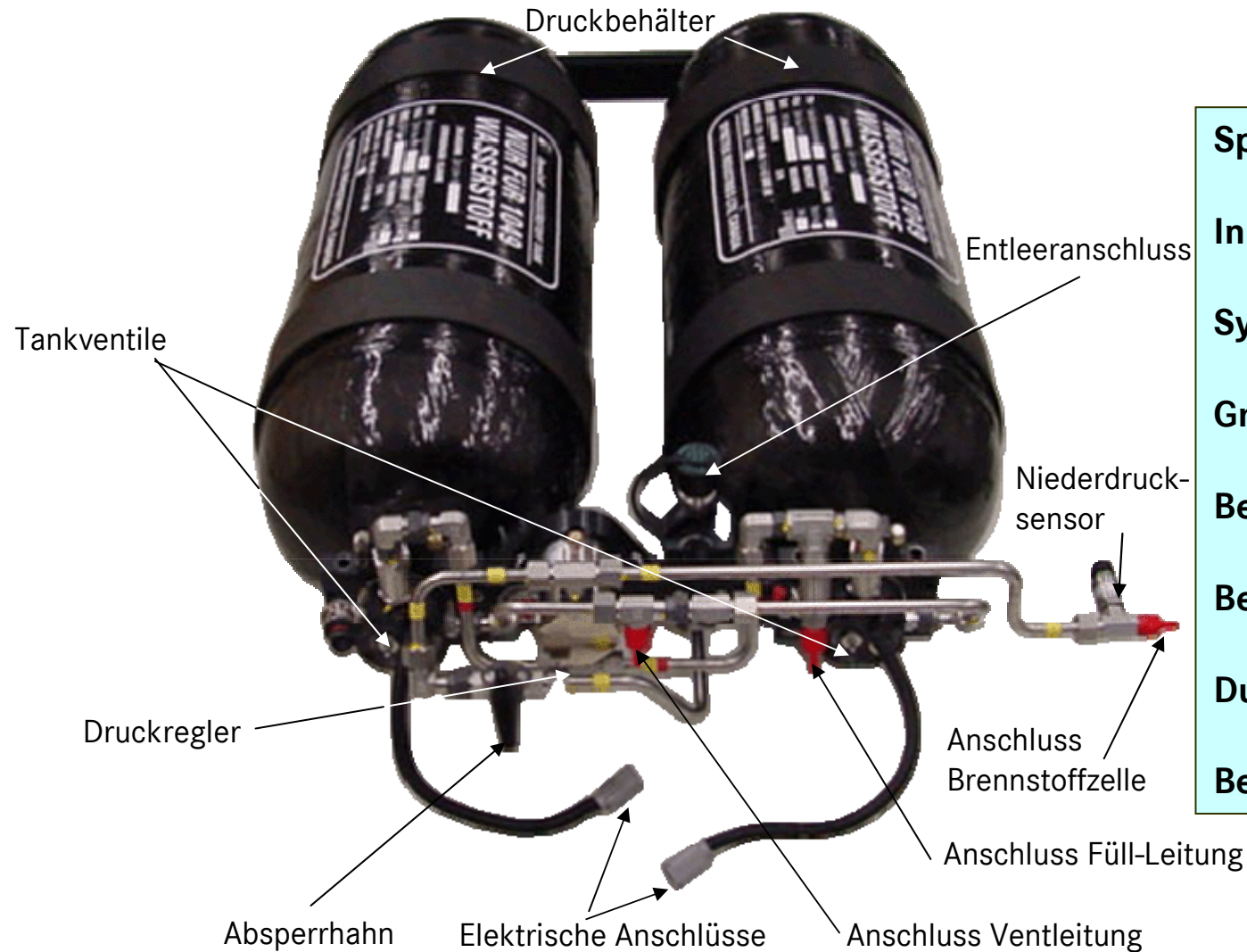


**Typ IV**

(Kunststoff,  
komplett  
faserverstärkt)



## 350 bar H<sub>2</sub>-Tanksystem für Brennstoffzellen-Fahrzeuge bei DaimlerChrysler



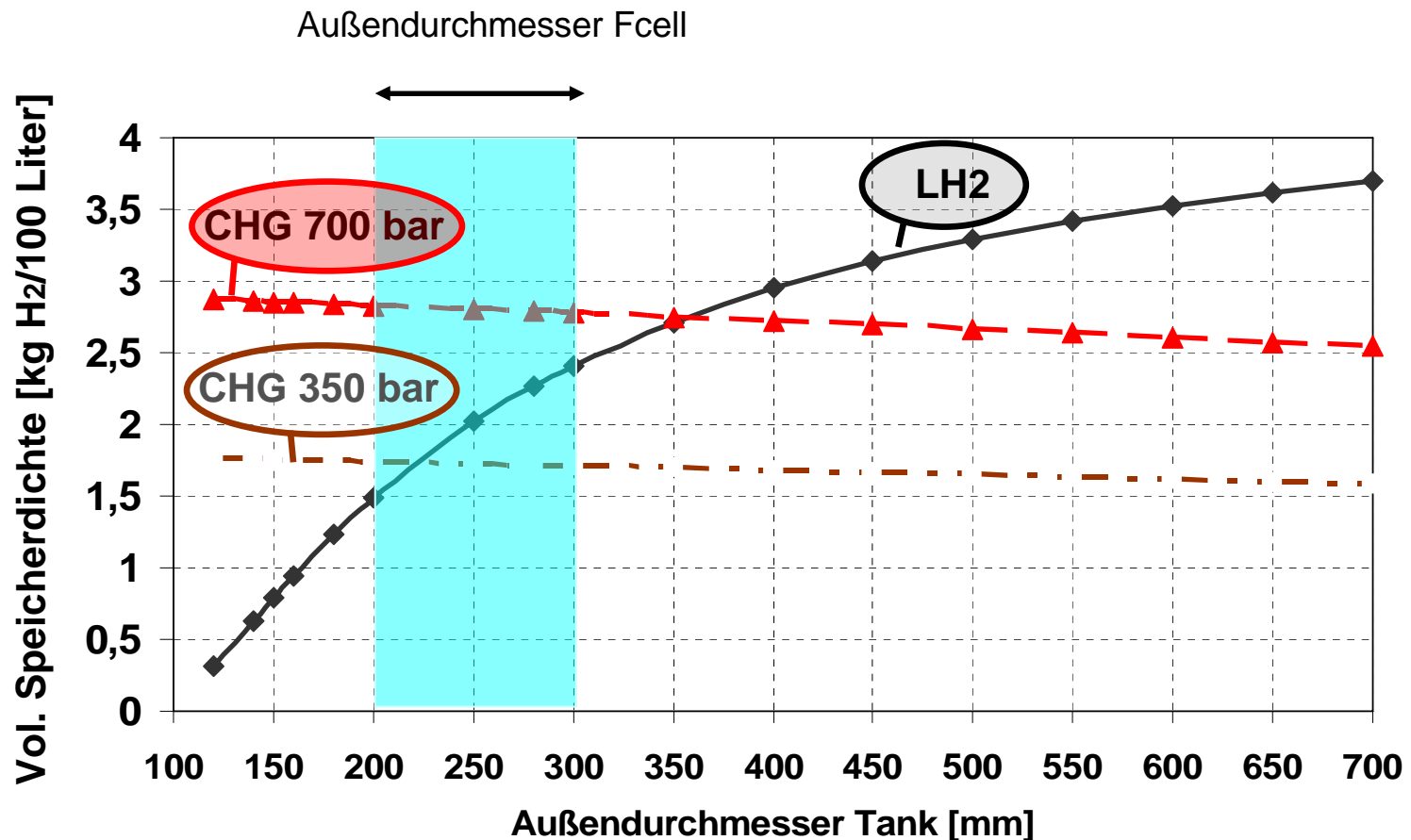
<b>Speicherkapazität:</b>	<b>1,8 kg H<sub>2</sub></b>
<b>Innenvolumen:</b>	<b>78 l</b>
<b>Systemgewicht:</b>	<b>57,6 kg</b>
<b>Grav. Speicherdichte:</b>	<b>3,1 %</b>
<b>Betriebsdruck:</b>	<b>350 bar</b>
<b>Behälterlänge:</b>	<b>906 mm</b>
<b>Durchmesser:</b>	<b>300 mm</b>
<b>Betankungszeit:</b>	<b>&lt; 3 min</b>

## Kryowasserstofftank im Necar 4

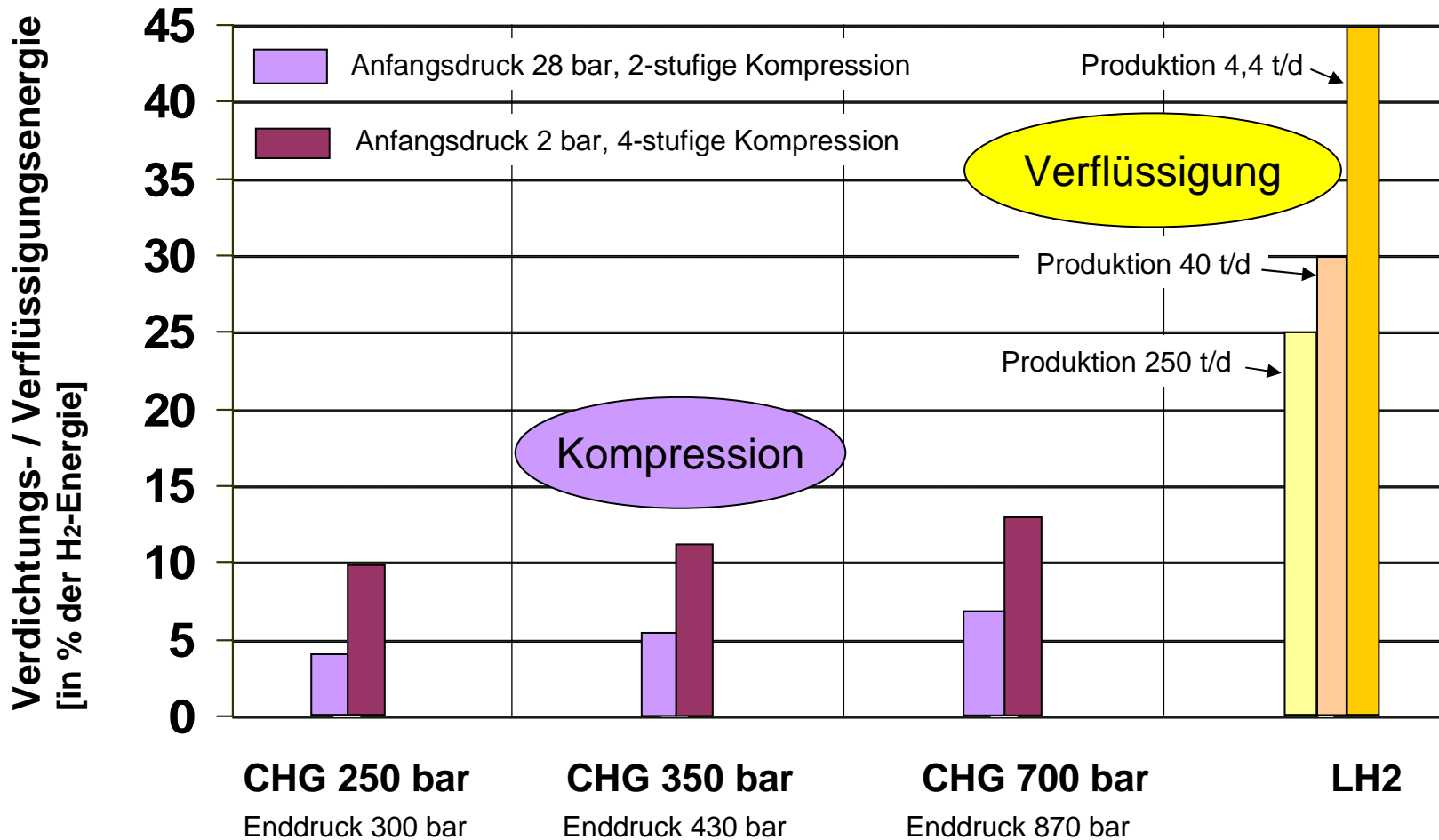


<b>Speicherkapazität:</b>	<b>5 kg H<sub>2</sub></b>
<b>Außenvolumen:</b>	<b>200 l</b>
<b>Innenvolumen:</b>	<b>110 l</b>
<b>Systemgewicht:</b>	<b>112 kg</b>
<b>Grav. Speicherdichte:</b>	<b>4,3%</b>
<b>Vol. Speicherdichte:</b>	<b>2,5 kg/100l</b>
<b>Max. Betriebsdruck:</b>	<b>8,0 barü</b>
<b>Länge:</b>	<b>800 mm</b>
<b>Durchmesser:</b>	<b>560 mm</b>
<b>Abdampftrate:</b>	<b>&lt; 5%/Tag</b>

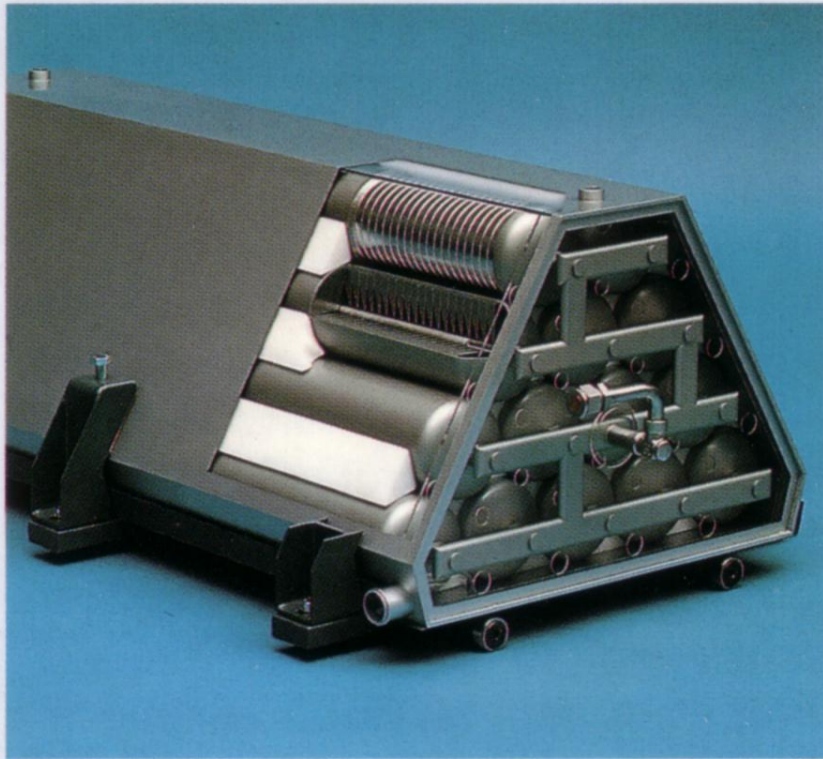
# Vergleich Druck-/Kryo-Wasserstoffspeicherung Volumetrische Speicherdichte in Abhängigkeit vom Behälterdurchmesser



# Energieaufwand für Verdichtung und Verflüssigung von Wasserstoff



# Metallhydrid-Speicherung (W124 / DC)



**Speicherkapazität:** 4,1 kg H<sub>2</sub>

**Systemgewicht:** 320 kg

**Außenvolumen:** 170 l

**Hydridvolumen:** 75 l

**Hydrid-Basis:** TiV<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5</sub>

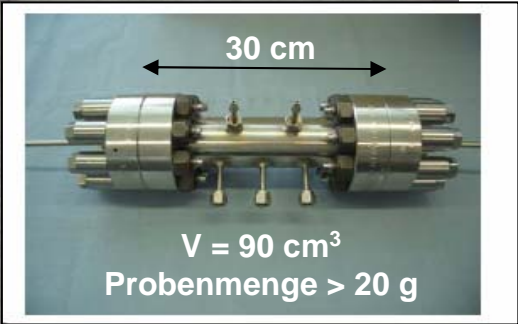
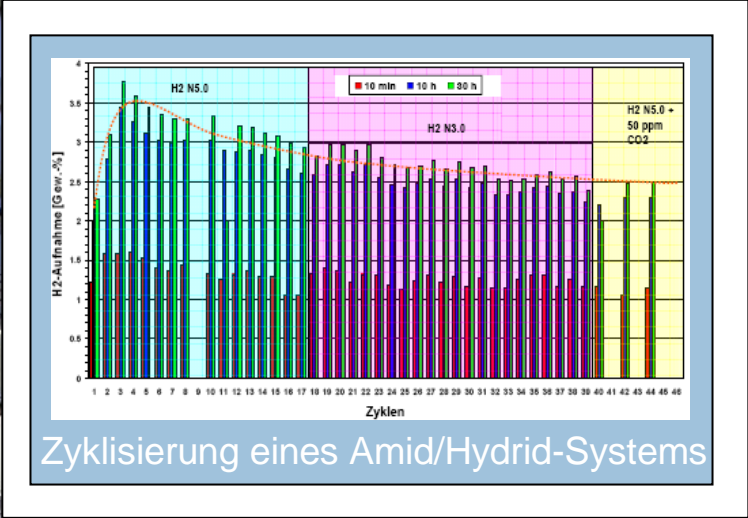
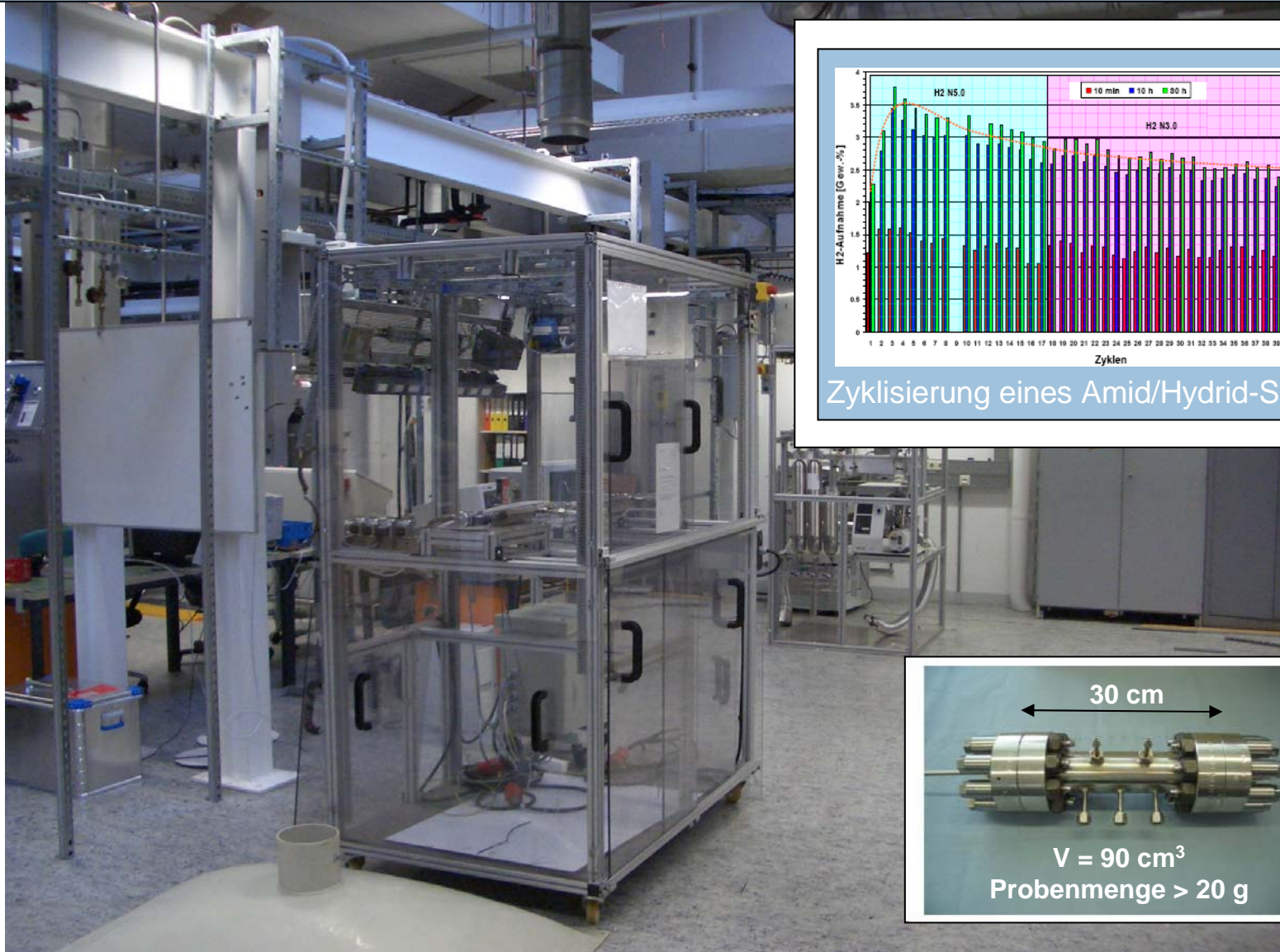
**Grav. Speicherdichte:** 1,3 %

**Vol. Speicherdichte:** 2,4 kg H<sub>2</sub>/100 l

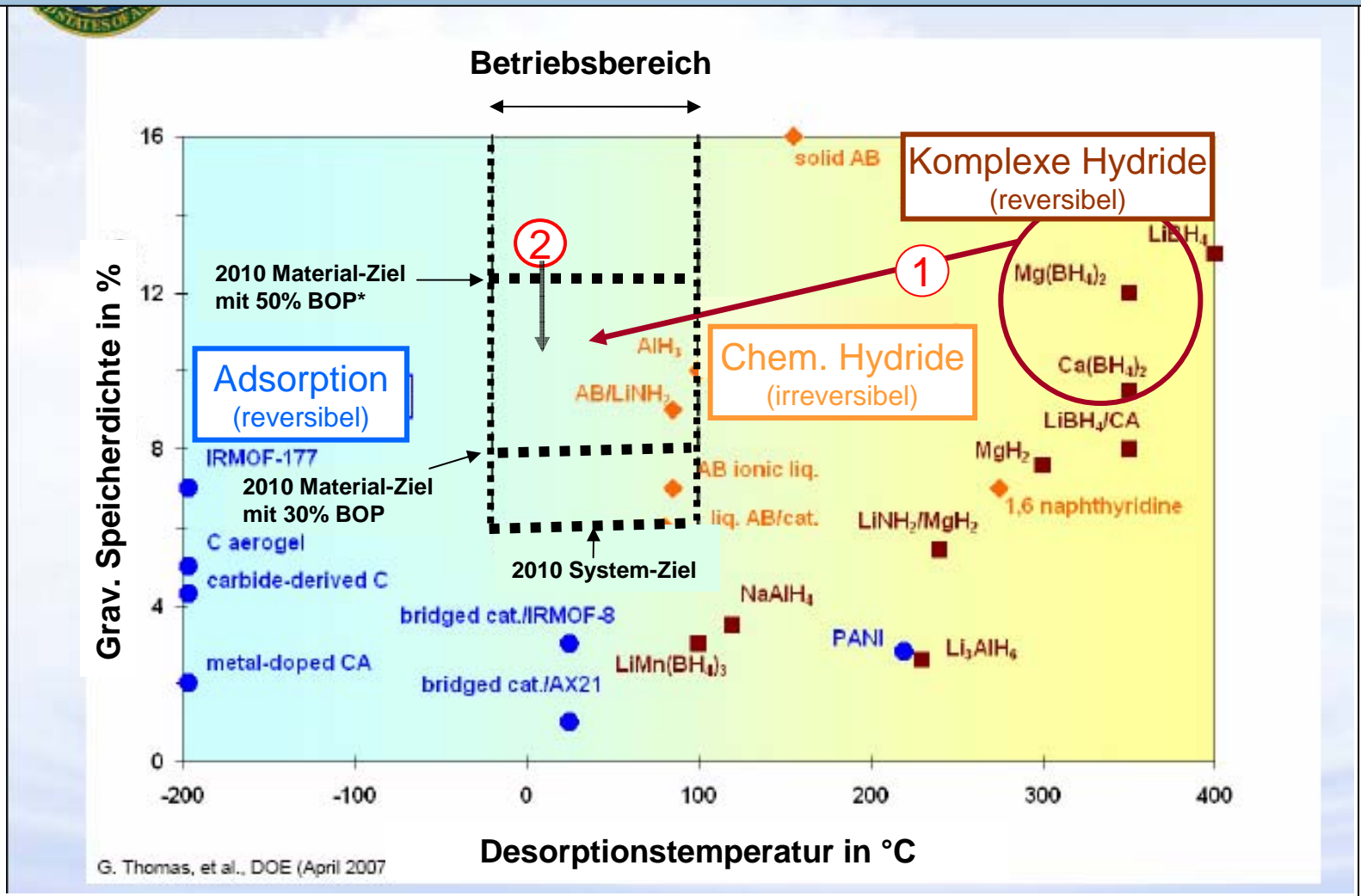
**Betriebsdruck:** 50 bar

**Kühlwasserwärmetauscher**

# Forschung H<sub>2</sub>- Feststoffspeicherung



# Material-Speicherdichten vs. Desorptionstemperatur



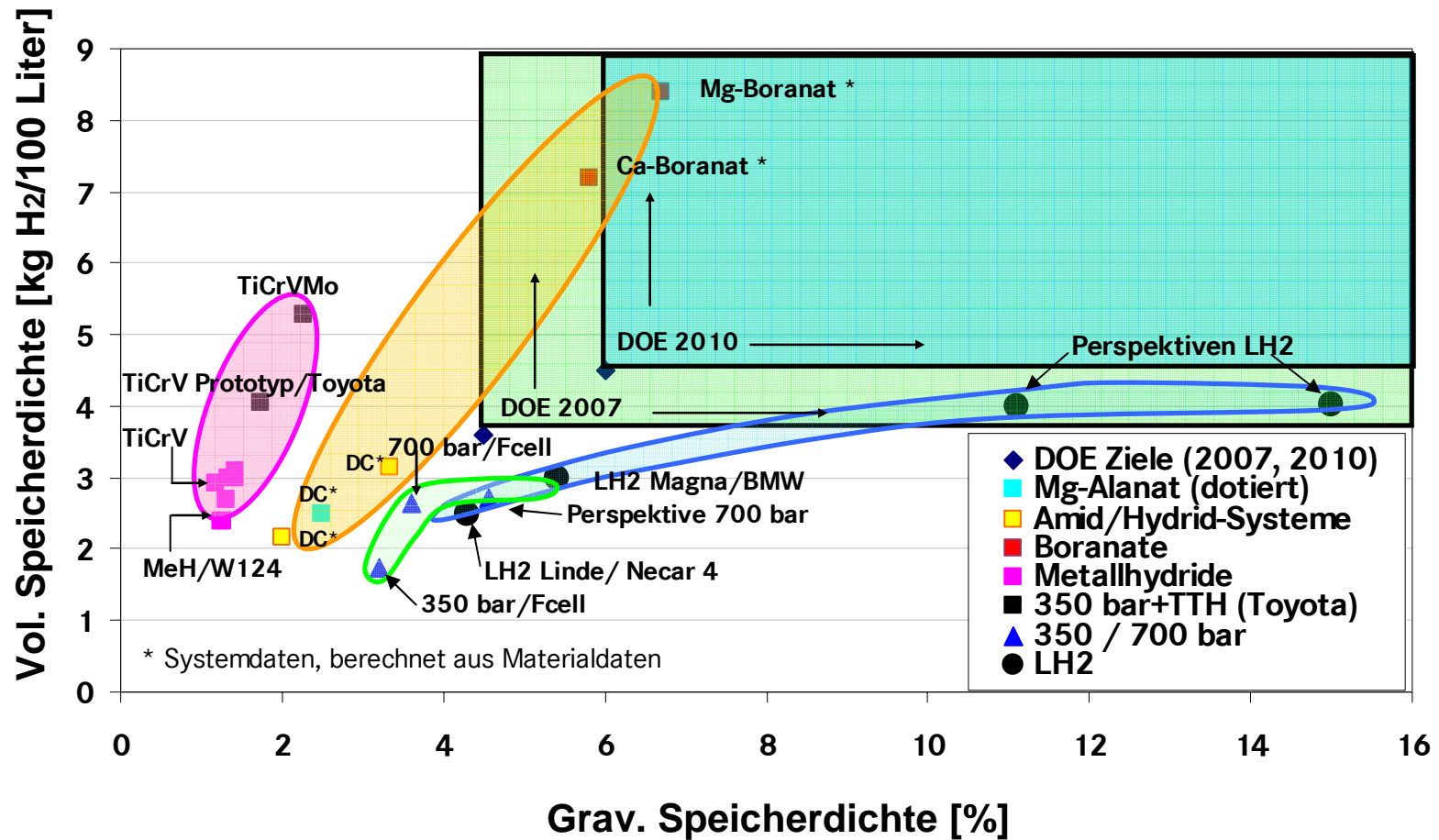
G. Thomas, et al., DOE (April 2007)

\*BOP: Balance of plant (Nichtmaterialanteil)

Quelle: DOE Hydrogen Program Review 2007

# H<sub>2</sub>-Speicherung (Systemdaten)

## Volumetrische und gravimetrische Speicherdichten



## H<sub>2</sub>-Speichertechnologien im Vergleich

### Druckgasspeicher

Vorteile: Stahl- und voll umwickelte Al- und Kunststoff-Behälter sind Industriestandard, bekannte Behältertechnik, Schnellbefüllung in wenigen Minuten möglich, Infrastruktur vergleichbar mit Erdgastankstellen

Nachteile: Geringe Energiedichte von Stahlflaschen, mit Compositebehältern derzeit 3,6 Gew.%  
(Speicherdichten künftig kaum noch zu verbessern, eingeschränkte Tankform (Zylinder), Herstellkosten relativ hoch)

### Kryospeicher

Vorteile: Höhere Grav. Speicherdichten möglich (derzeit 5,6 Gew. %), niedriger Betriebsdruck, größere Formfreiheit

Nachteile: Abdampftrate (Boil-off Management erforderlich), hoher Energieaufwand zur Verflüssigung (ca. 30%), Herstellkosten hoch

### Feststoffspeicher (Adsorptive Speicher, chemische Hydride, komplexe Hydride)

Vorteile: Potential für höhere vol. und grav. Speicherdichten, i.a. niedrige Betriebsdrücke, dadurch größere Formfreiheit, höhere Sicherheit im Vergleich zur Druckspeicherung

Nachteile: Thermodynamische und kinetische Eigenschaften derzeit nicht ausreichend, bisher keine geeigneten Materialien zur Verfügung, Wärmetauscher zur Befüllung (Tankdauer, Kühlung Speicher) und Entleerung (Heizung) notwendig.  
Nur sehr langfristige Perspektive (intensive Materialforschung noch notwendig)



## Wasserstoff für die Brennstoffzellen-Technologie

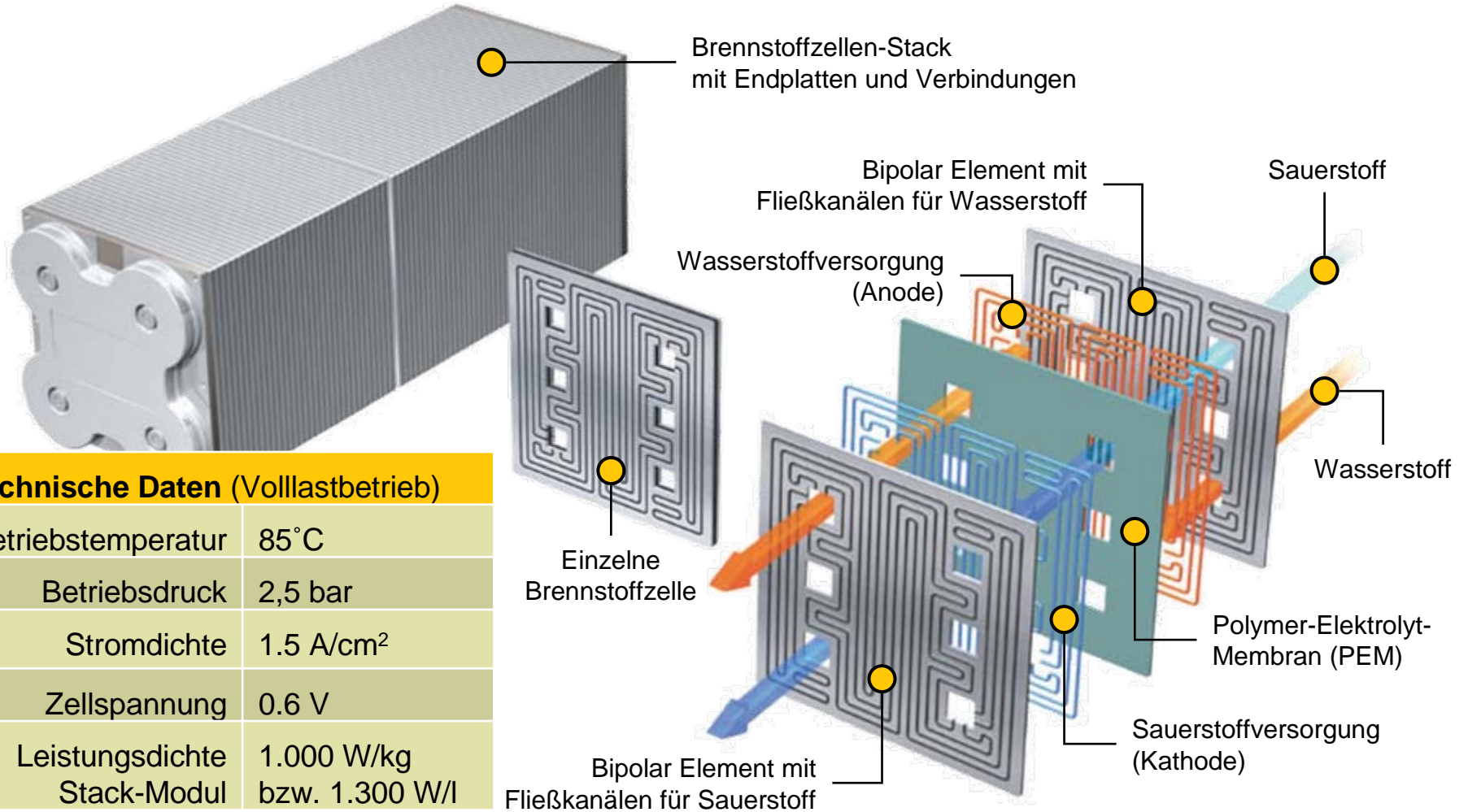


**Die Brennstoffzellen-Technologie ebnet den Weg in eine neue Ära der Mobilität.**

- **Null Emissionen**
- **Wirkungsgrad doppelt so hoch wie beim Verbrennungsmotor**
- **Fahrspaß - hohe Dynamik durch den Elektroantrieb**
- **Komfort durch rein elektrisches Fahren**
- **Unabhängigkeit vom Erdöl**
- **Wasserstoff als alternativer Kraftstoff**
- **Klimaneutral bei Einsatz regenerativer Energien**



# Aufbau PEM-Brennstoffzellenstack



## Technische Daten (Vollastbetrieb)

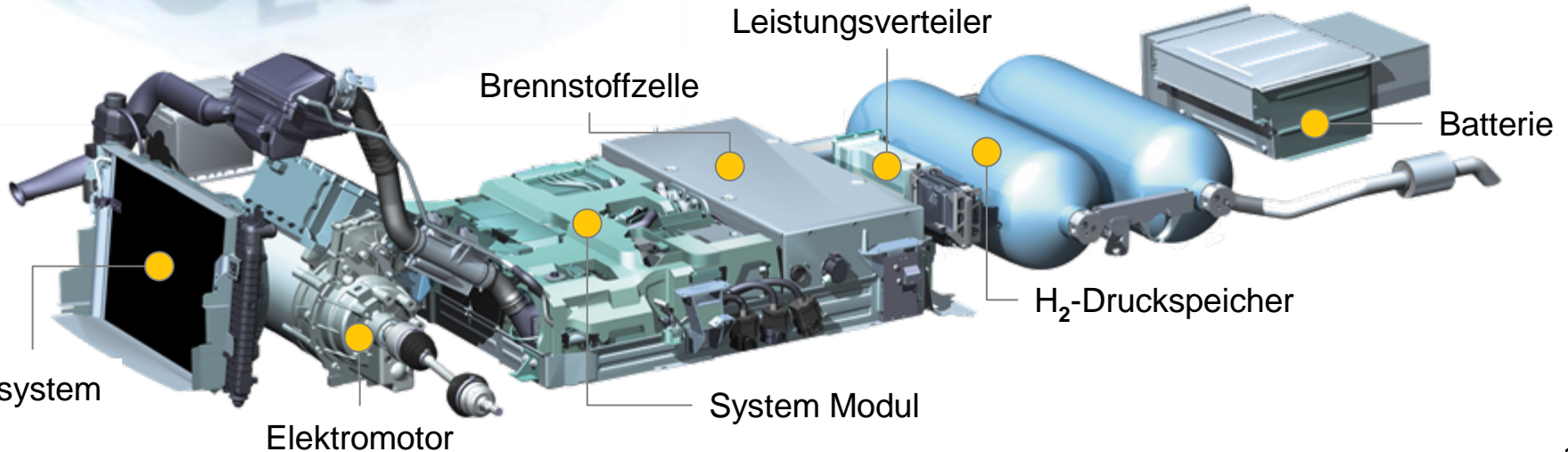
Betriebstemperatur	85°C
Betriebsdruck	2,5 bar
Stromdichte	1.5 A/cm <sup>2</sup>
Zellspannung	0.6 V
Leistungsdichte Stack-Modul	1.000 W/kg bzw. 1.300 W/l

# F-Cell















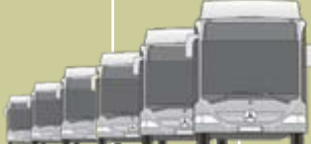
– Aktuelle Brennstoffzellenfahrzeuggeneration von DaimlerChrysler



Fahrzeugtyp	Mercedes-Benz A-Klasse
Brennstoffzelle	PEM - 72 kW (97 PS)
Antrieb	Elektromotor Leistung (Dauer- / Spitzenleistung): 45 kW / 65 kW (87PS) Max. torque: 210 Nm (156 ft.-lb.)
Kraftstoff	Wasserstoff (350 bar)
Range	150 - 180 km ( NEFZ)
Max Geschwindigkeit	140 km/h
Batterie	NiMh, luftgekühlt, Leistung (Dauer- / Spitzenleistung): 15 kW / 20 kW; Kapazität: 6 Ah, 1.2 kWh

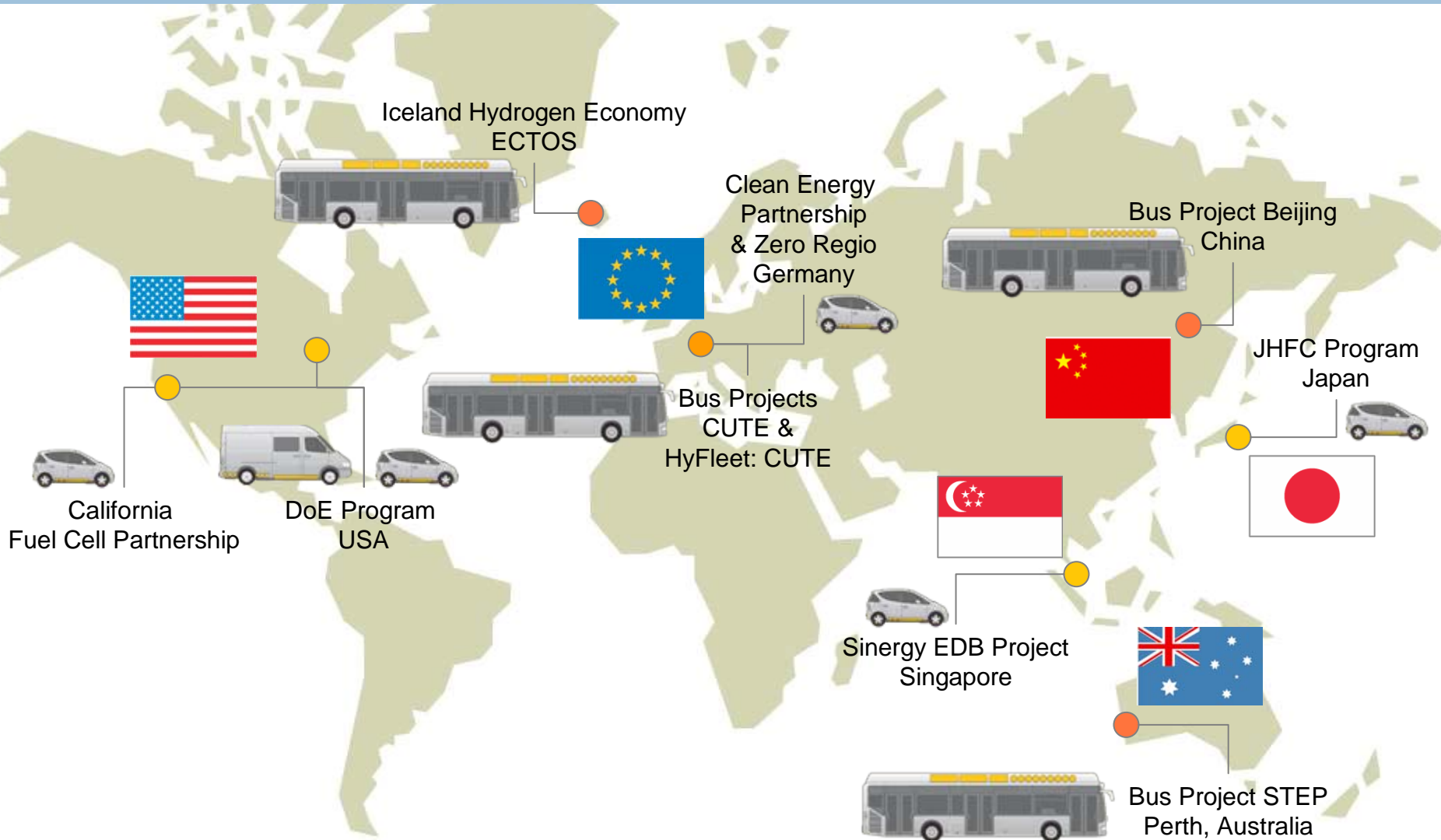


# Brennstoffzellenfahrzeuge von DaimlerChrysler

1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	future
Hydrogen Passenger Cars			Phase 1					Phase 2						
		Necar 2 			Necar 4 	Necar 4 Advanced 	Chrysler Natrium 	F-Cell 						
Methanol Passenger Cars				Necar 3 		Jeep Commander Necar 5 								
Hydrogen Light-Duty Vehicles			Studies and market preparation					Fit for daily use						
Necar 1 							Sprinter 							
Hydrogen Heavy-Duty Vehicles				NeBus 				Citaro 						



# Marktvorbereitung – Weltweite Flottenerprobung



# Durch weltweit größte Fahrzeugflotte umfangreiche Erfahrungen von DaimlerChrysler mit BZ-Fahrzeugen

**60 F-Cell Fahrzeuge  
im Kundenbetrieb**



~ 1.360.000 km  
~ 40.200 Std.

**36 Busse (Citaro) in  
Europa, Australien, China**



~ 1.851.000 km  
~ 123.100 Std.

**3 Sprinter mit UPS  
Europa, USA**



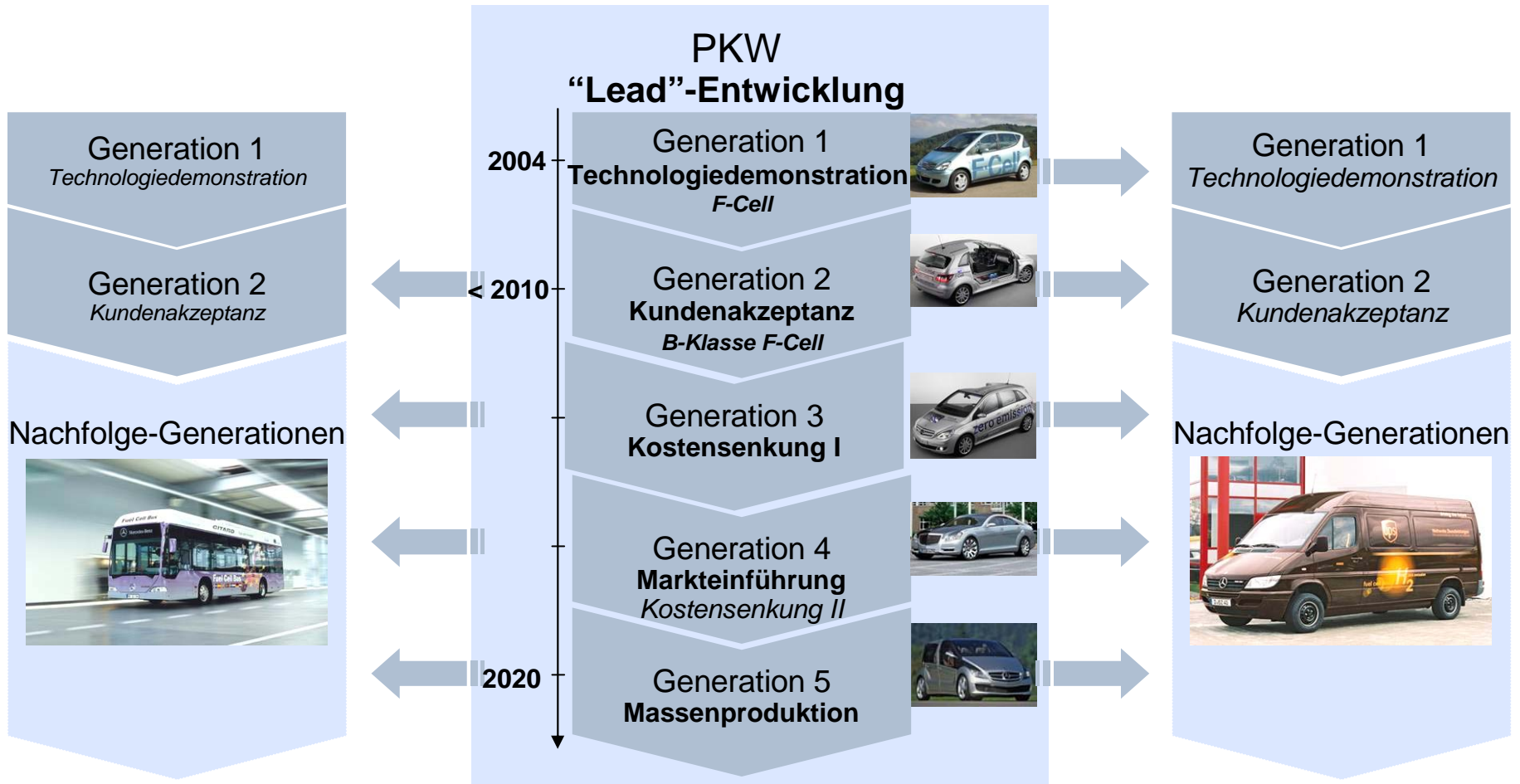
~ 64.000 km  
~ 2.300 Std.

\*Daten Juli 2007

**Seit 2005:** 100 Brennstoffzellenfahrzeug im täglichen Betrieb. Das erste F-Cell Fahrzeug erreichte 100.000 km (2000 Std.) im Januar 2007. Brennstoffzellentechnologie hat den Forschungsstatus verlassen.



# DaimlerChrysler Roadmap Brennstoffzellentechnologie



## Fazit Wasserstoffspeicherung

- Für DaimlerChrysler ist Wasserstoff der Energieträger der Zukunft für eine nachhaltige Mobilität
- Wasserstoff ist alternativer Kraftstoff sowohl für Verbrennungsmotoren als auch für Brennstoffzellenfahrzeuge
- H<sub>2</sub>-Druckspeicher und H<sub>2</sub>-Kryospeicher sind heute verfügbar
- H<sub>2</sub>-Druckspeicherung ist energieeffizient, passend zum Brennstoffzellen-Antrieb
- H<sub>2</sub>-Kryospeicherung hat Potential hohe Speicherdichten zu erreichen, Speichersystem für leistungsstarke Antriebe
- Weiterentwicklung H<sub>2</sub>-Druckspeicher und H<sub>2</sub>-Kryospeicher mit dem Ziel, die Herstellkosten zu senken
- Feststoffspeicherung, derzeit im Forschungsstadium, ist eine langfristige Perspektive