



9. Isnyer Energiegipfel

19.03.2016, Isny

Elektromobilität mit Brennstoffzellen und Batterie

Tanken wir in Zukunft Wasserstoff oder Strom

Ludwig Jörissen

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)
Baden-Württemberg

Was Sie erwartet

Kurze Vorstellung des ZSW

Gedanken zur Mobilität von morgen

Überblick zu Brennstoffzellenfahrzeugen

Überlegungen zur Infrastruktur

Zusammenfassung und Ausblick

ZSW: Neue Energietechnik

Angewandte Forschung und Entwicklung für

Batterien und Superkondensatoren

Materialien, Produktionstechnik, Systeme, Qualifizierung

Brennstoffzellen

Technologie, Stacks, Systeme, Testzentrum

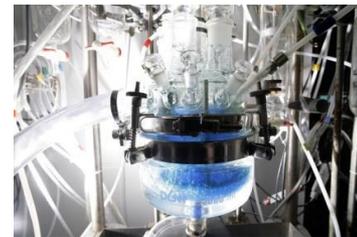
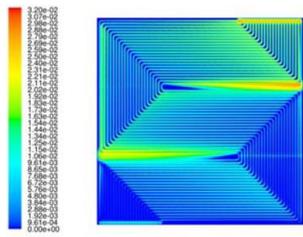
Photovoltaik

Dünnschichttechnik (CIS) und Systemtechnik

Erneuerbare Kraftstoffe

Power to Gas, Biomassevergasung

Energiepolitik und Energiewirtschaftliche Systemanalysen



Gemeinnützige Stiftung – 85% drittmittelfinanziert

Ziele der Mobilität von Morgen

Emissionen aus dem Verkehrssektor senken.

Abhängigkeit vom Erdöl verringern.

Energieeffizienz steigern.

Den Anteil erneuerbarer Energien steigern

Die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie stärken



Die Zukunft der Mobilität ist elektrisch mit erneuerbaren Energien

Batteriefahrzeuge

Brennstoffzellenfahrzeuge

Kraftstoffstrategie der Bundesregierung:

Wasserstoff kann künftig eine bedeutende Rolle als Kraftstoff im Straßenverkehr spielen

Fortschritte in der Elektromobilität

Nullemissionsfahrzeuge

Reduzierte Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen

Energiespeicher (Batterie) ist entscheidend für den Erfolg
(Lebensdauer, Zyklisierbarkeit, Kosten, Energieinhalt ...)

Aktueller Fahrzeugbestand weltweit ca, 1,3 Millionen
(Plug In Hybride, Range Extender, Batteriefahrzeuge)

Jährliches Wachstum um 100%; bis 2020 7 Millionen



Tesla S,



Toyota Prius,

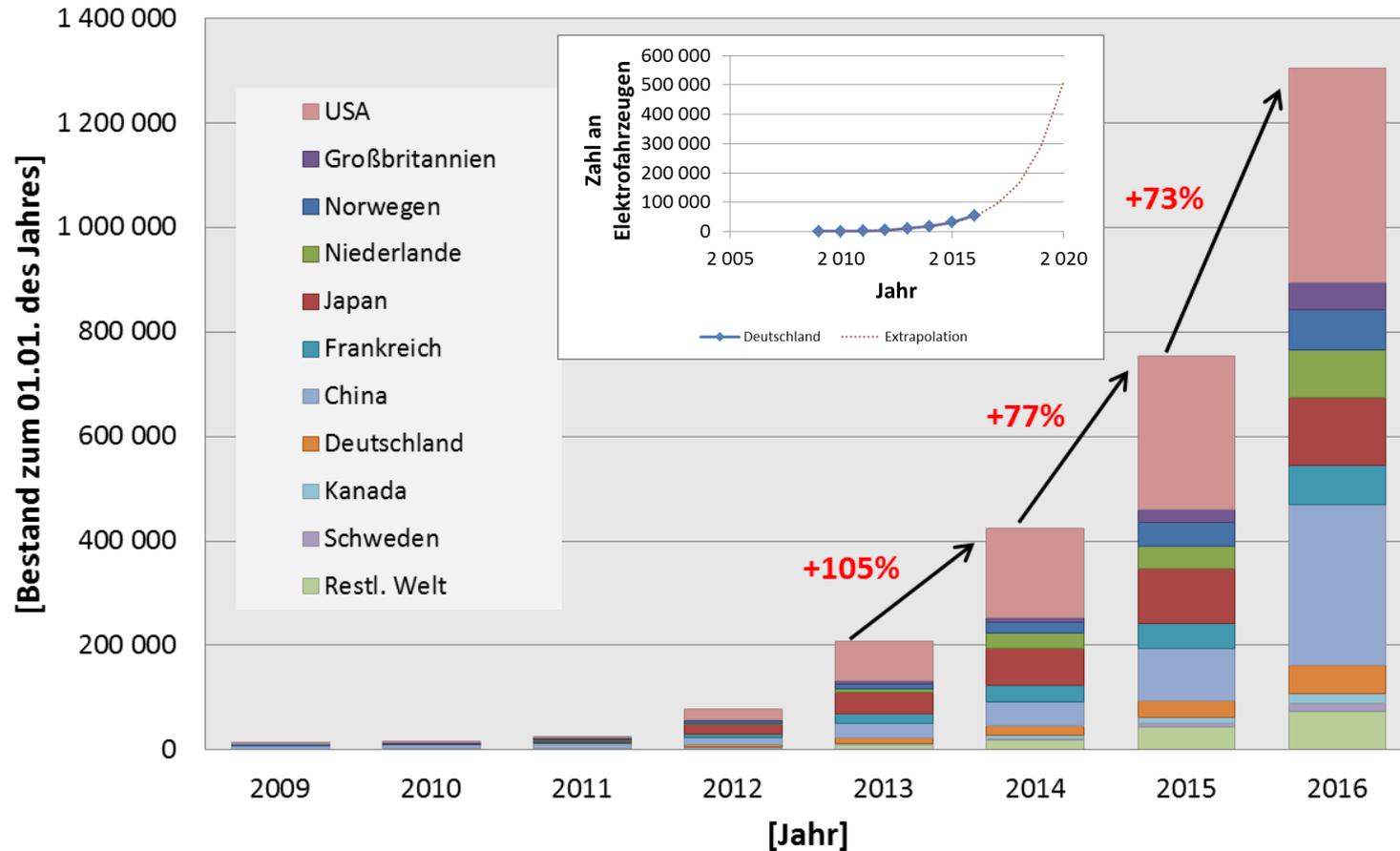


Audi A3 e-tron,



Mercedes S500

Elektrofahrzeugbestand zum Jahresbeginn



Elektromobilität und Erneuerbare Energien



20 m² PV-Fläche genügen, um den Strombedarf
eines E-Fahrzeuges zu decken
(12 000 km pro Jahr, Deutschland)

Brennstoffzellen = Energiewandler

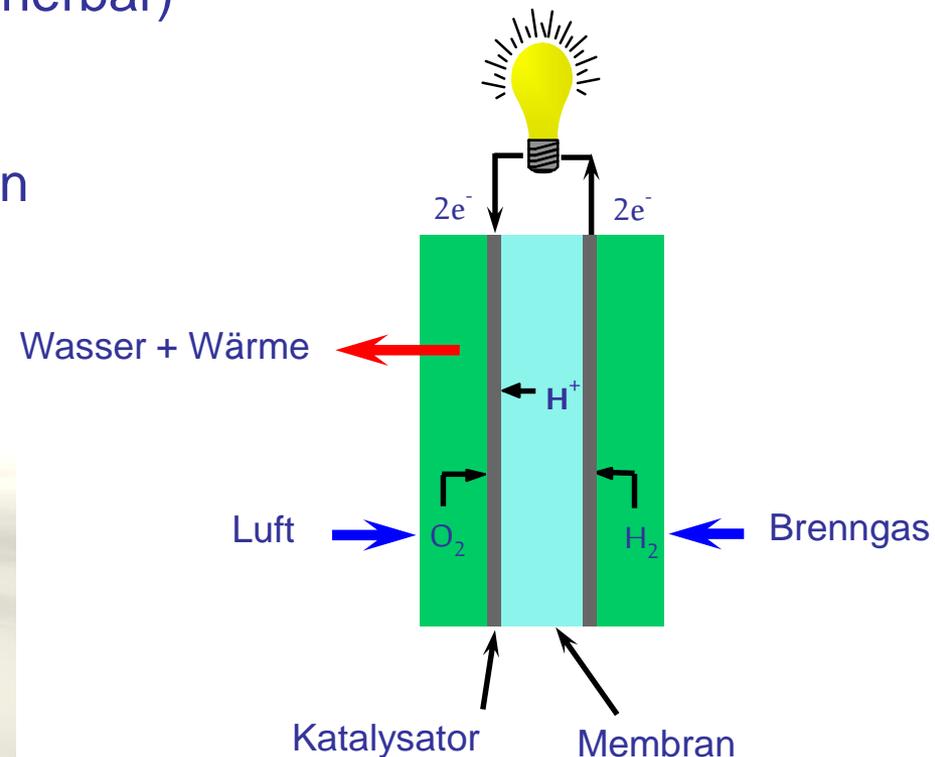
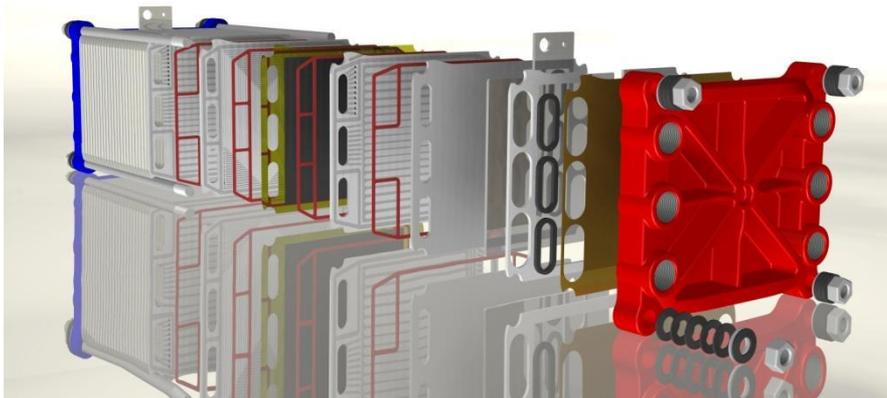
Brennstoffzellen wandeln

Brenngase (Wasserstoff = gut speicherbar)

und Sauerstoff (aus der Luft)

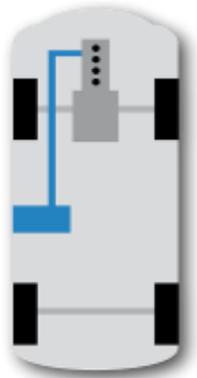
hoch effizient und **schadstofffrei** in

Strom, Wärme und Wasser um

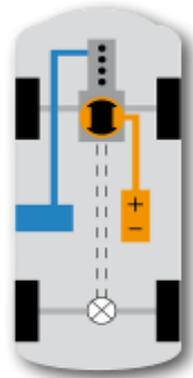


Diversifikation der Fahrzeugantriebe

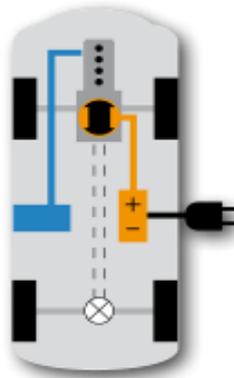
Fahrzeug m.
Verbrennungsmotor



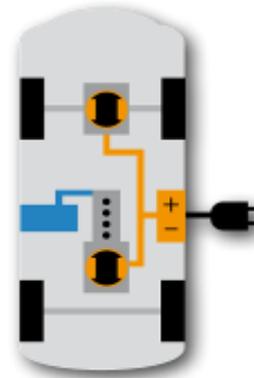
Parallel Hybrid



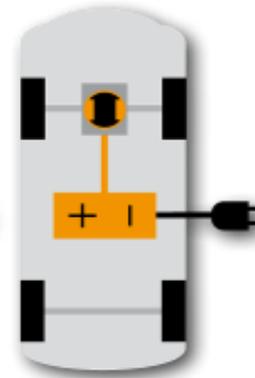
Plug-In Hybrid



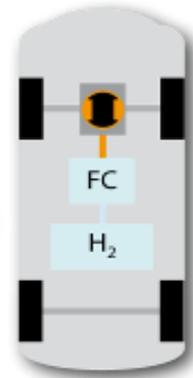
Range Extender



Batteriefahrzeug



Brennstoffzellen-
Fahrzeug



Kraftstofftank



Batterie



H₂ Wasserstofftank



FC

Brennstoff
zellen-
System



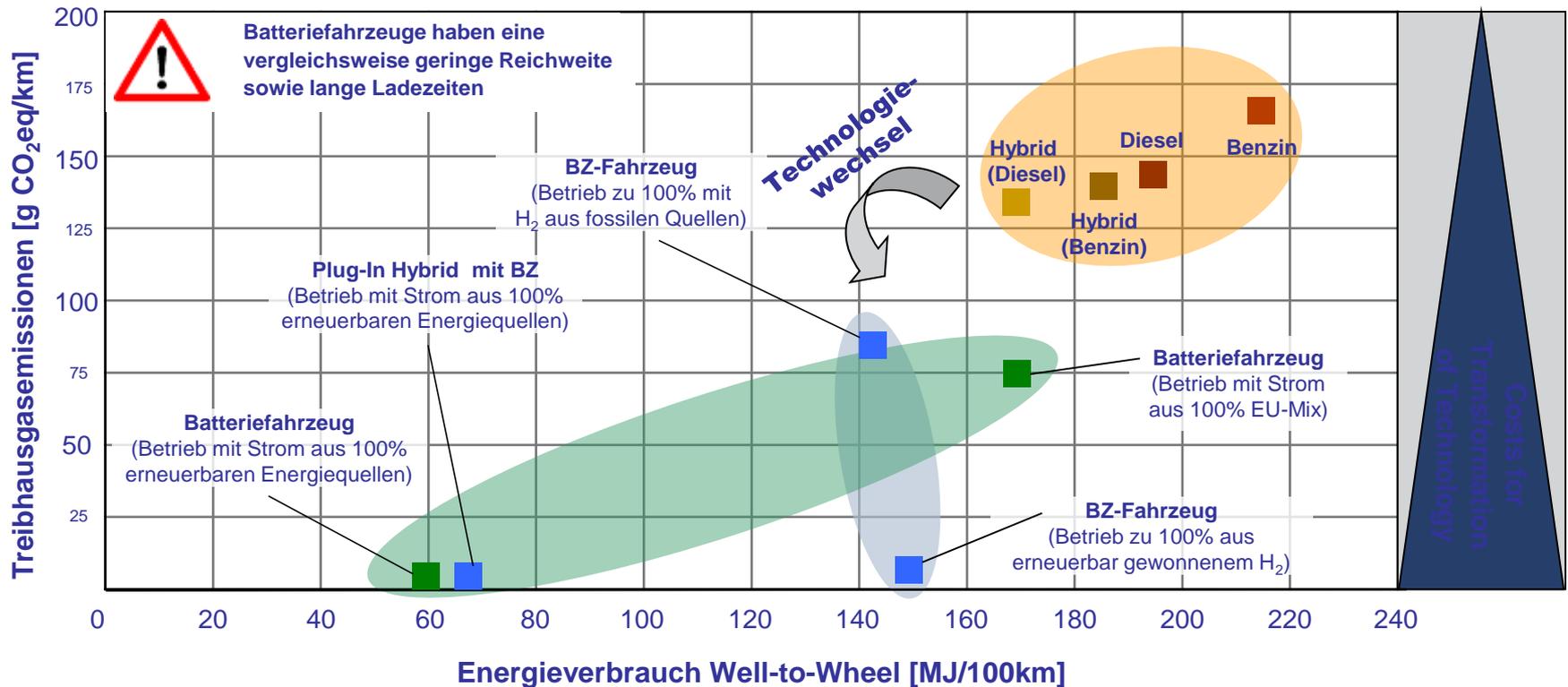
Verbrennungs-
motor



Elektromotor / Generator

Elektrifizierte Antriebe

Energiebilanzierung: Vom Bohloch zum rad



Source: EUCAR/CONCAWE "Well-to-Wheels Report 2008"; Optiresource, 2008 Reference vehicle class: VW Golf

Zur Erreichung umweltpolitischer Ziele im Verkehrsbereich muss ein generelles Umdenken erfolgen. Mit elektrischen Antrieben können die Treibhausgasemissionen und der Energieverbrauch im Verkehr signifikant reduziert werden.

Kurze Geschichte der Brennstoffzellenfahrzeuge

1996 GM Electrovan

1994 NECAR 1

1996 NECAR 2

1999 NECAR 4

2004 f-cell auf Basis A-Klasse

2004 Opel 7 GM Hydrogen 4

2006 VW HYMOTION

2009 f-cell auf Basis B-Klasse

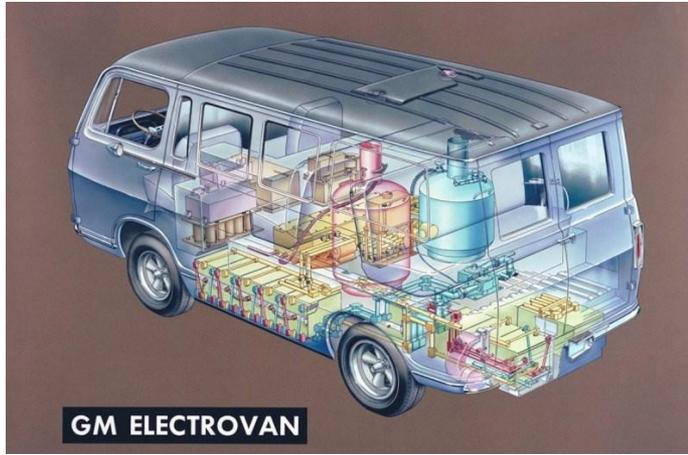
2011 Daimler World Drive

2015 BMW



Brennstoffzellensysteme werden immer kompakter

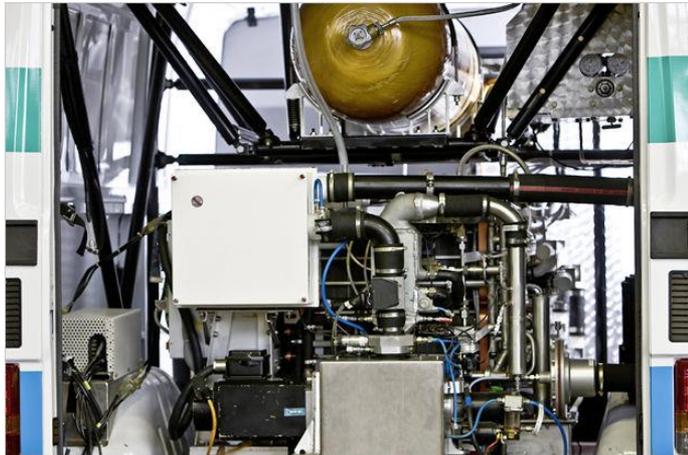
1966



1996



1994

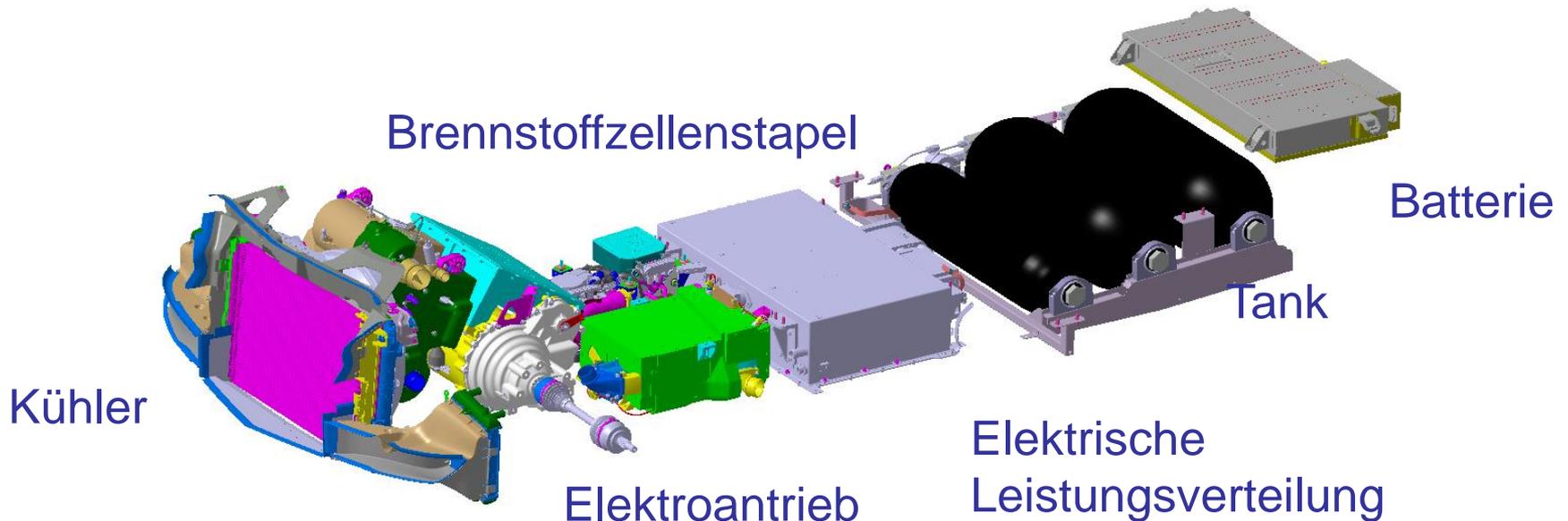


OUT NOW!

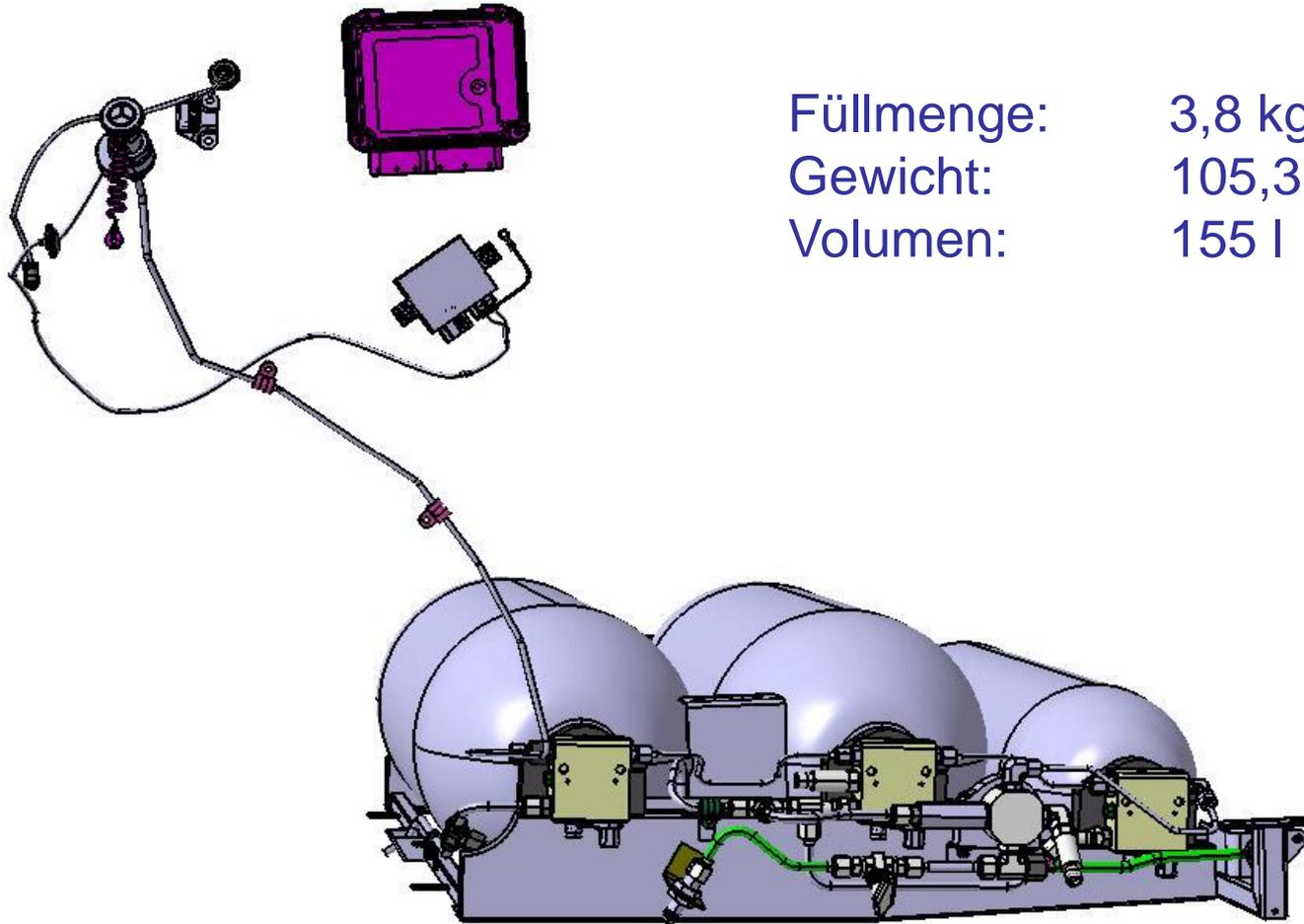
2015

Spezifikation Daimler f-cell B-Klasse

Wasserstoffdruckspeicherung bei 700 bar
Menge: 3,8 kg
Reichweite: ca. 400 km



700 bar Tanksystem Daimler f-cell B-Klasse



Füllmenge: 3,8 kg H₂
Gewicht: 105,3 kg;
Volumen: 155 l

3,6 wt%

Brennstoffzellenfahrzeuge im „freien Verkauf“ 2016

2015 Toyota Mirai



2015 Hyundai ix35 fuel cell



2016 Honda fcx clarity



Toyota Mirai

Vorstellung 2015

Brennstoffzellenantrieb

Leistung 114 kW (Peak)

370 Zellen

3,1 kW/l; 2,0 kW/kg

113 kW AC-Synchronmotor

Wasserstoffspeicher 700 bar

~ 5 kg H₂-Inhalt

122.4 l Tankvolumen

Speicherdichte 5,7 gew%

Kaltstart ab -30 °C

Reichweite: ~ 500 km

Höchstgeschwindigkeit: 180 km/h



Hyundai ix35 Fuel Cell Vorstellung 2015

Brennstoffzellenantrieb

Leistung 100kW (Peak)

1,7 kW/l

100 kW Motor (Induktion)

Wasserstoffspeicher 700 bar

~ 5,6 kg H₂-Inhalt

144 l Tankvolumen

Kaltstart ab -30 °C

Reichweite: ~ 550 km

Höchstgeschwindigkeit: 160 km/h



HYUNDAI MOTOR CO. LTD.
100-KW FUEL CELL
/ELECTRIC MOTOR



Honda fcx carityVorstellung 2016

Brennstoffzellenantrieb

Leistung 100kW

3,1 kW/l

130 kW Motor (Permanentmagnet)

Wasserstoffspeicher 700 bar

Kaltstart ab -30 °C

Reichweite: ~ 700 km (J08 Zyklus)

Höchstgeschwindigkeit: 160 km/h



Right-hand drive global model shown.



Right-hand drive global model shown.

Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzelle mit regenerativem Wasserstoff

- Mehrere Generationen an BZ-Fahrzeugen seit vielen Jahren erfolgreich im Alltagseinsatz (Flottenerprobung)
- Erfüllen Kundenanforderungen:
Reichweite - schnelles Tanken - Heizung und Klima
- Serienfahrzeuge:
 - Markteinführung von Toyota und Hyundai hat begonnen
 - Honda folgt ab 2016
 - Daimler/Nissan/Ford ab 2017



BZ-System von Daimler.
(Bild: Daimler)



Toyota FCV, Mercedes B-Klasse F-Cell, Hyundai ix35, Honda FCV, Mercedes GLC F-Cell (Bilder: Hersteller)

Vergleich Energieeinsätze pro 100 km (Neuzulassungen)

Diesel 5.1 l ~50 kWh

Benzin 5.7 l ~52 kWh

Wasserstoff 1 kg ~33 kWh

Elektro (Nissan Leaf) 15 kWh

(Tesla) 24 kWh



Betankungskapazitäten im Vergleich



Diesel:
75 l/min
~45 MW
Ca. 14 200
Tankstellen

Bildquelle: <http://oekolube.de/>



Wasserstoff:
~ 1,9 kg/min
~3,7 MW
Ca. 20 Stationen (DE)

Bildquelle: <https://www.mercedes-seite.de/>



Tesla Supercharger
~120 kW
609 Stationen in Europa
3574 Ladeplätze

Bildquelle: http://www.elektroautor.com/tesla_supercharger/; Tesla Motors

Eigenschaften von Brennstoffzellenantrieben

Brennstoffzellenfahrzeuge werden elektrisch angetrieben

Lärmarm

Emissionsfrei am Einsatzort

Hohe Beschleunigung aus dem Stand

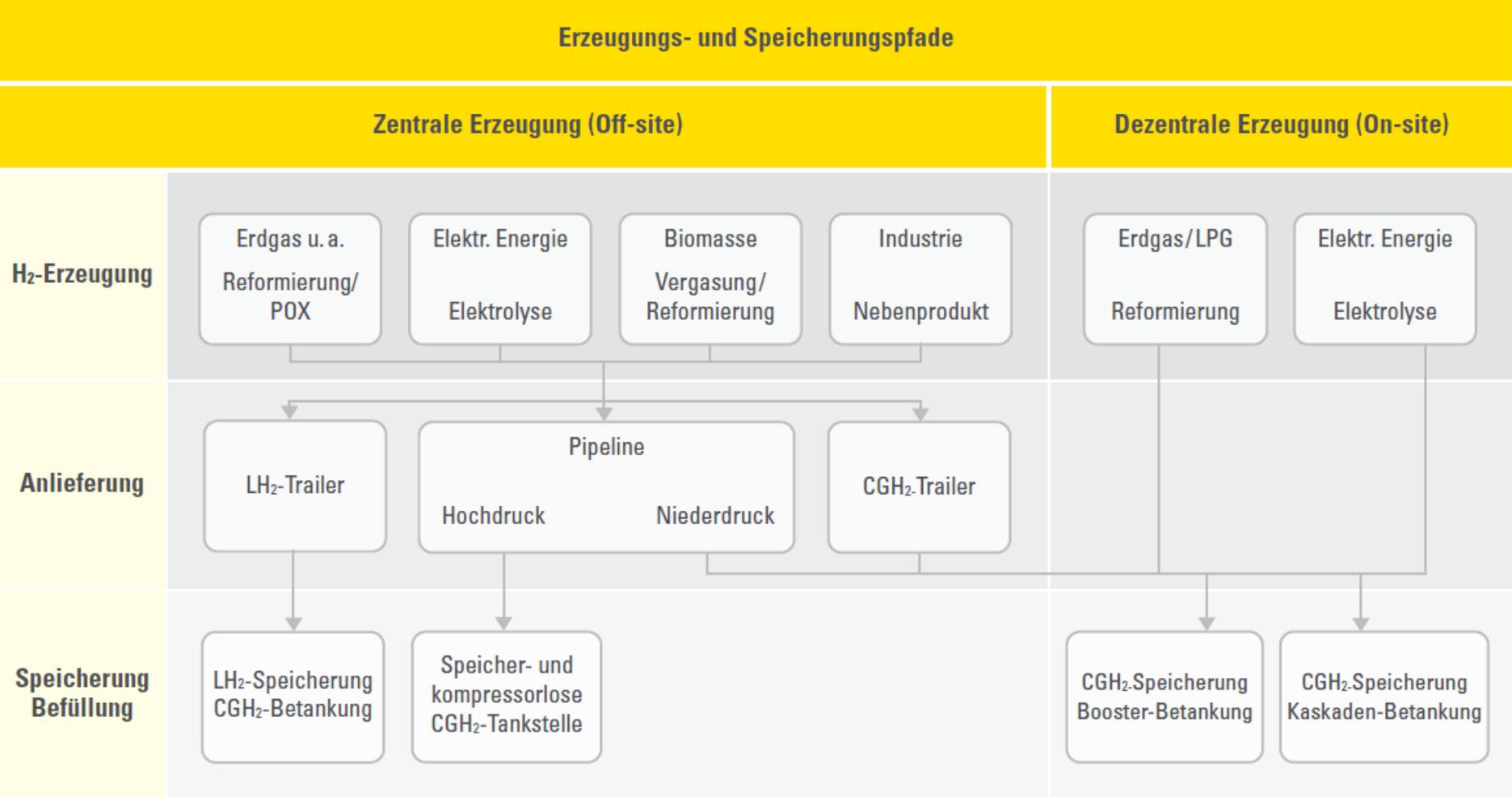
Die Reichweite ist durch die Größe des Wasserstofftanks bestimmt.

Aktuell ca. 5-6 kg Wasserstoff für 500-600 km Reichweite

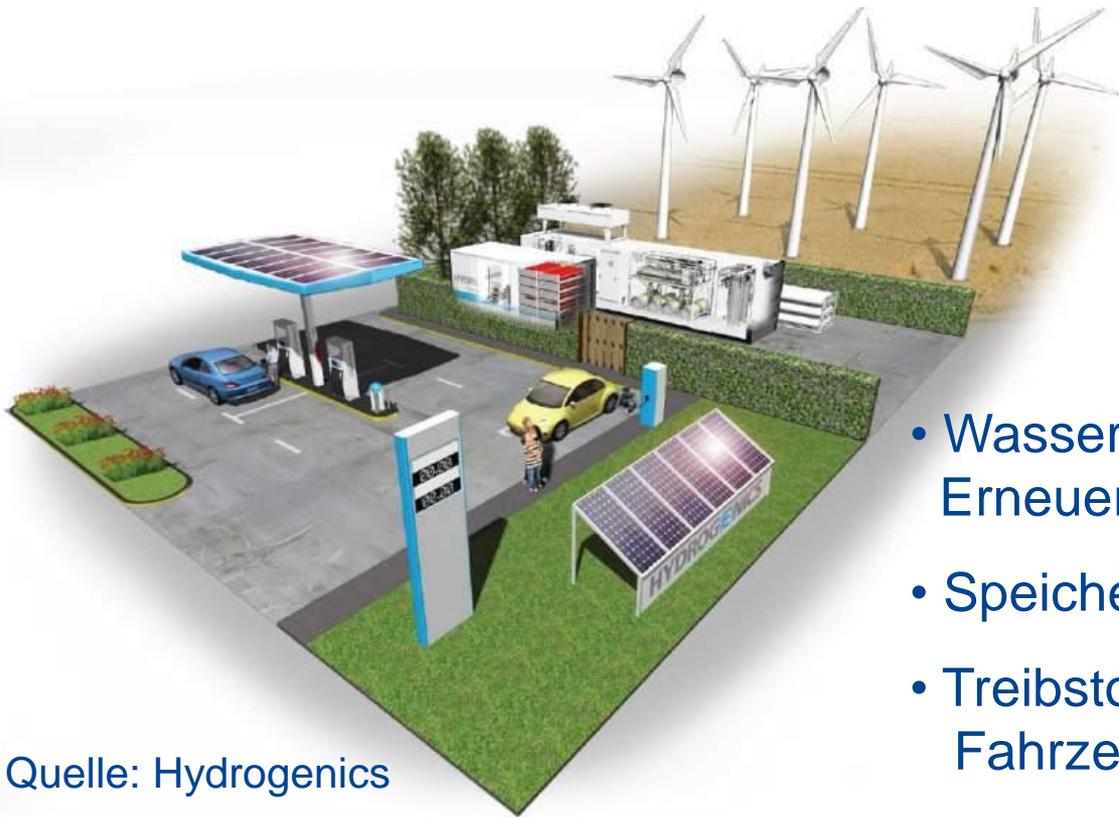
Fahrzeuge können innerhalb weniger Minuten betankt werden



Wasserstoff



Wasserstoff – Treibstoff und Energiespeicher



- Wasserstoffherzeugung aus Erneuerbarem Strom über Elektrolyse
- Speicherung von Überschussstrom
- Treibstoff für Brennstoffzellen-Fahrzeuge
- Kritischer Pfad: Aufbau von Wasserstofftankstellen (heute ca. 200 weltweit, große Regierungsprogramme etabliert)

Quelle: Hydrogenics

Wasserstofftankstellen (Nach Standard SAE J2601)

Tankzeit 3-5 Minuten für 6 kg

Fülldruck fahrzeugseitig 700 bar bei 15 °C (350 bar bei Bussen)

Maximaldruck: 875 bar

Vorkühlung des Wasserstoffs bis -40°C

Standardisierte Befüllprotokolle 1 – 7
kg

700 bar bei -40 °C

700 bar bei -20 °C

350 bar bei 0°C

350 bar ungekühlt

Kommunikation Fahrzeug - Tankstelle
bei 700 bar Befüllung

Tankstelle überprüft die Einhaltung des
Betriebsfensters



Tankstellenkategorien

Typ XS – Very Small	Typ S – Small	Typ M – Medium	Typ L – Large
1 Zapfpunkt	1 Zapfpunkt	2 Zapfpunkte	4 Zapfpunkte
2,5 Betankungen pro Position und Stunde, keine back-to-back-Betankung ⁴ ; max. 20 min Wartezeit	6 Betankungen pro Position und Stunde, 1 back-to-back-Betankung ⁴ pro Position; max. 5 min Wartezeit	6 Betankungen pro Position und Stunde, 2 back-to-back-Betankung ⁴ pro Position; max. 5 min Wartezeit	10 Betankungen pro Position und Stunde, 10 back-to-back-Betankungen ⁴ pro Position; keine Wartezeit
Mobile Containerlösung	Mobile Containerlösung	Stationäre Lösung	Stationäre Lösung
Option zur modularen Erweiterung	Option zur modularen Erweiterung	Option zur modularen Erweiterung	Option zur modularen Erweiterung
Durchschn. 10 Betankungen pro Tag (56 kg/d)	Durchschn. 30 Betankungen pro Tag (168 kg/d)	Durchschn. 60 Betankungen pro Tag (336 kg/d)	Durchschn. 125 Betankungen pro Tag (700 kg/d)
Maximalumsatz 80 kg H ₂ pro Tag	Maximalumsatz 212 kg H ₂ pro Tag	Maximalumsatz 420 kg H ₂ pro Tag	Maximalumsatz 1.000 kg H ₂ pro Tag

⁴Mit „back-to-back-Betankung“ sind mehrere Betankungen nacheinander mit nur geringen oder ohne Wartezeiten gemeint

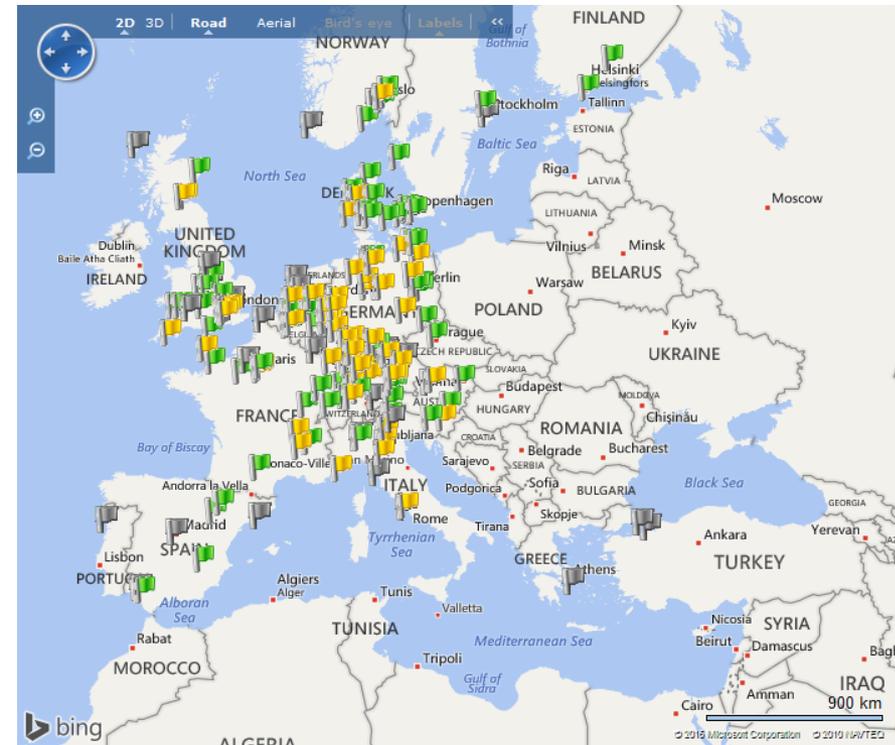
Verbreitung von Wasserstofftankstellen

Brennstoffzellenfahrzeuge benötigen Infrastruktur.

Aktuell sind ca. 20 Wasserstofftankstellen in Deutschland in Betrieb.

Europaweit ist der Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur geplant.

In Deutschland sollen innerhalb der nächsten Jahre zunächst 50, dann 400 Wasserstofftankstellen entstehen



Km Miles in operation planned old projects © Copyright Ludwig-Bölkow-Systemtechnik

<http://www.netinform.net/H2/H2Stations/H2Stations.aspx?Continent=EU&StationID=-1>

Infrastrukturkosten für Batterie-Elektromobilität

Costs of Charging Infrastructure

Charging Infrastructure		Costs per Charging Point (€, w/o replacement)	Vehicles per Charging Point (in pieces)	Infrastructure Costs per Vehicle (in €)	Costs per kWh (in €/kWh)
	Private Connection	100-200 €	1	100-200 €	0,01 €/kWh
	Without Billing	100-200 €	4	25-50 €	0,002 €/kWh
	Incl. Billing	1.000-2.000 €	4	250-500 €	0,02-0,03 €/kWh
	Slow Charging (11 kW)	2.000-8.000 €	12	170-670 €	0,01-0,04 €/kWh
	Fast Charging (60 kW)	22.000-38.000 €	24	920-1580 €	0,06-0,10 €/kWh

Note: Vehicle consumption 16 kWh/100km, annual mileage 10,000 km; battery capacity 24 kWh; connected load 3,5 kW for private and semi-private connections, public charging points are connected with 11 kW (slow) or 60 kW (fast). Charging is thus necessary every fourth day. Infrastructure costs are discounted over 10 years at 3% interest.

Batterie-Entwicklungstrends

Elektrische Reichweite in km **



* Energiedichte auf Zellebene; Zellen > 10 Ah; 18650 Zellen heute schon bei 240 Wh/kg

** Basis VW-Golf mit konstantem Batterievolumen

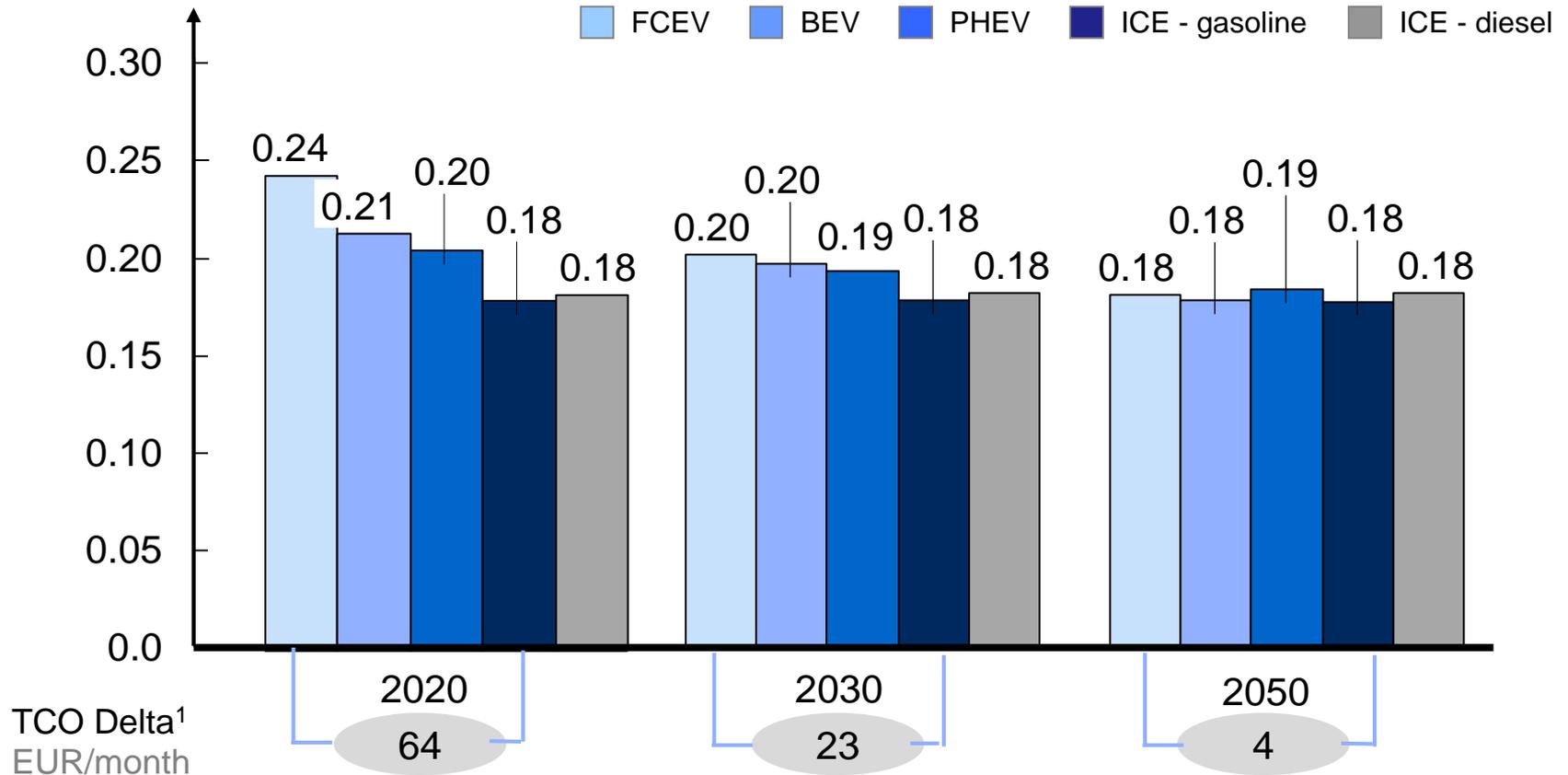
Verfügbarkeit von Prototypen

Quelle: Huslage, VW, WES 2014

Lebenszykluskosten

Total Cost of Ownership (TCO)

EUR/km



Erklärung TCO:

- Kalkulation TCO: Einkaufspreis + laufende Kosten
- Einkaufspreis: Teilekosten (66%), Montagekosten (13%), SG&A (14%), Gewinn (7%)
- Laufende Kosten: Wartungskosten, Treibstoffkosten and Infrastrukturkosten
- Laufzeit: 15 Jahre; 12.000km pro Jahr (180.000km gesamt)



Was tanken wir in Zukunft

Die Zukunft der Mobilität ist elektrisch!

„Direkte“ Nutzung durch Batteriefahrzeuge

Indirekte Nutzung durch Brennstoffzellen

Für beide Arten der Elektromobilität sind Investitionen in Infrastruktur erforderlich

Reichweite und Betankungszeiten sprechen für Brennstoffzellenfahrzeuge

Die Kosten der Elektromobilität und der konventionellen Mobilität gleichen sich an.

// Energy with a future

// Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-
Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

Thank you for your attention!

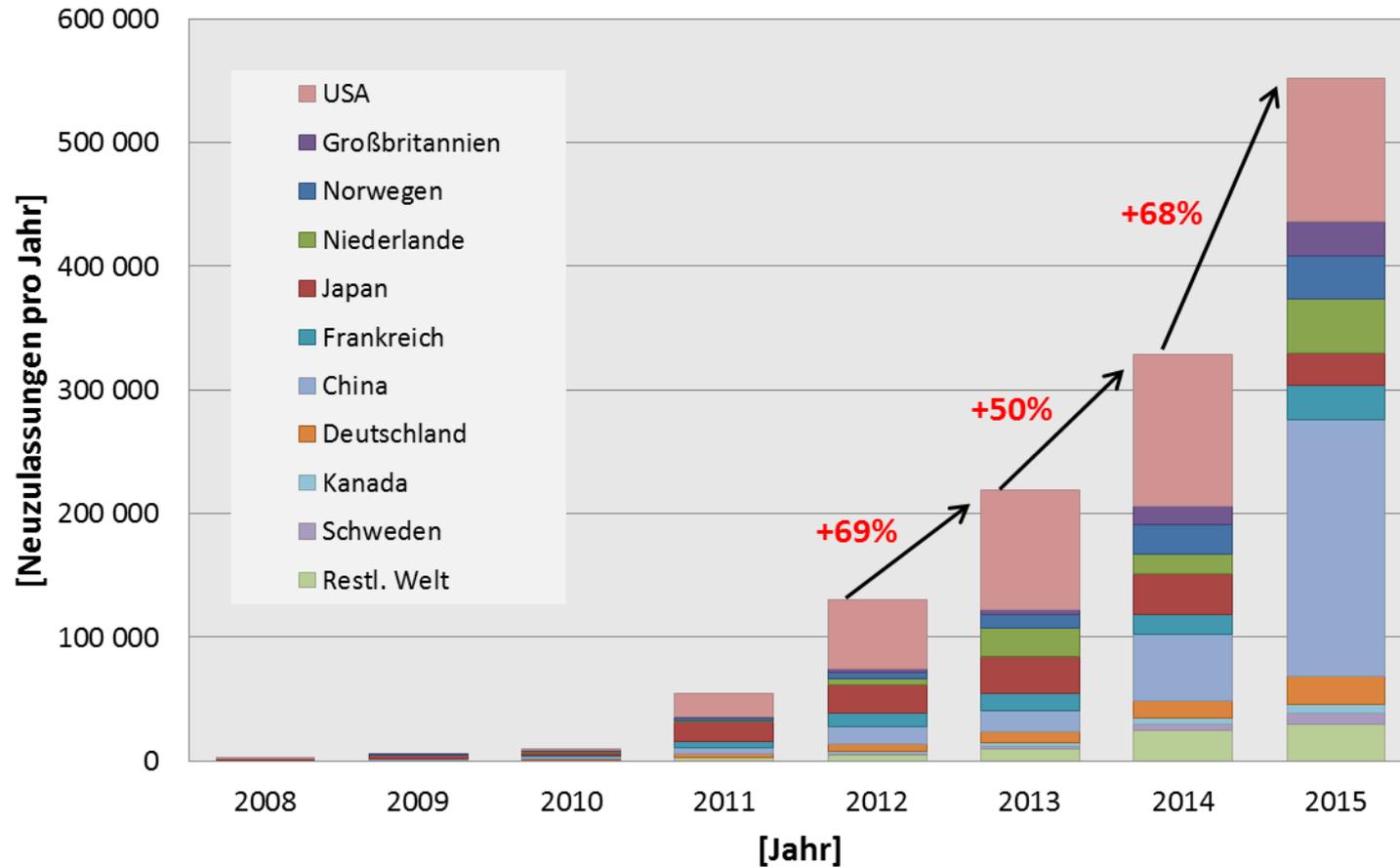


Stuttgart:
Photovoltaics Division (with Solab), Energy Policy and Energy Carriers, Central Division Finance, Human Resources and Legal

Solar Test Fields:
Widderstall and Girona (ES)

Ulm:
Electrochemical Energy Technologies Division with eLaB

Elektrofahrzeug Neuzulassungen



Brennstoffzellensystemkomponenten

Humidifier



Air Supply



Power Distribution Unit



Stack



Anode Module



Die Brennstoffzelle zieht zukünftig in den Vorderwgen

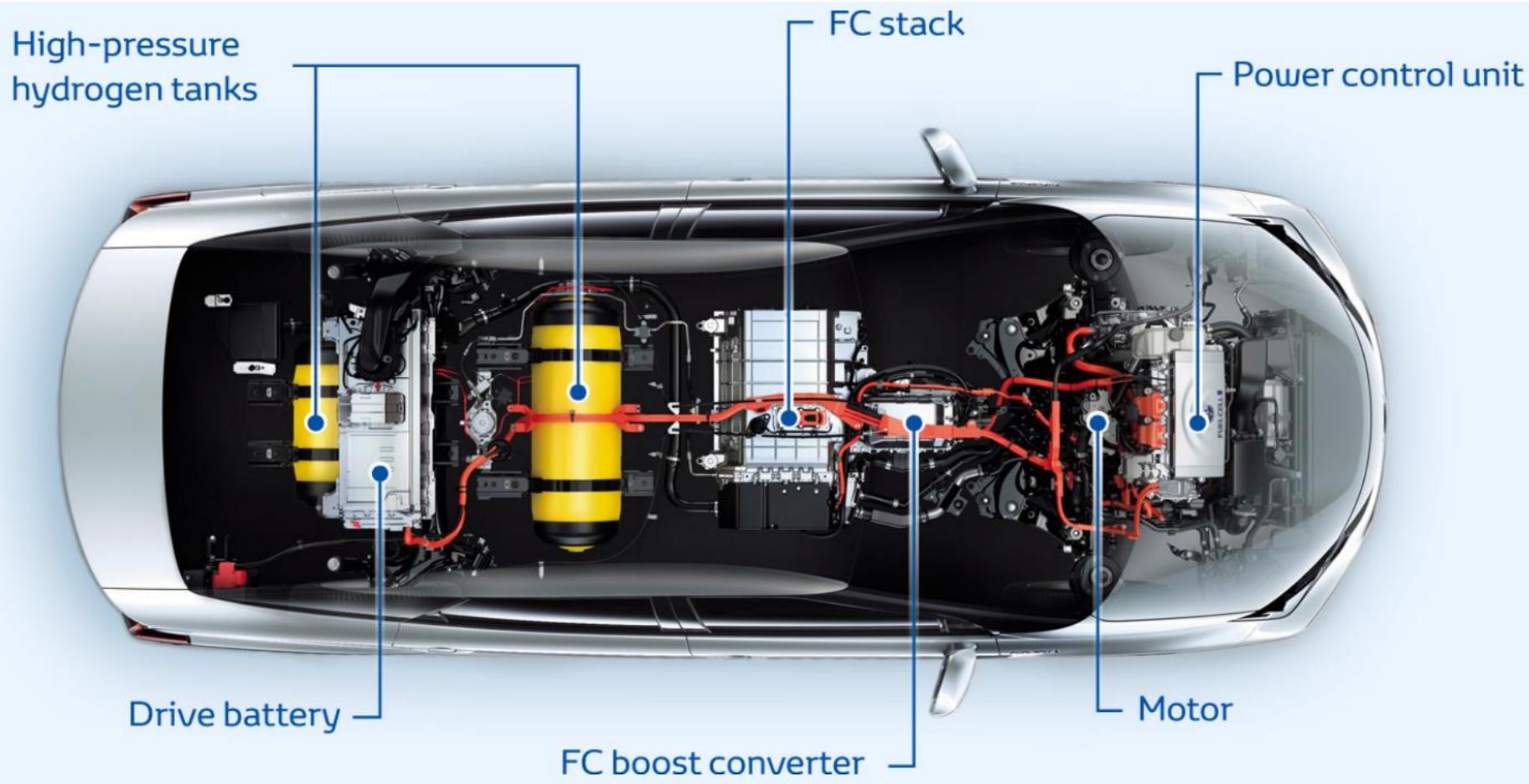


Daimler BZ-Modul



Honda Schnittbild

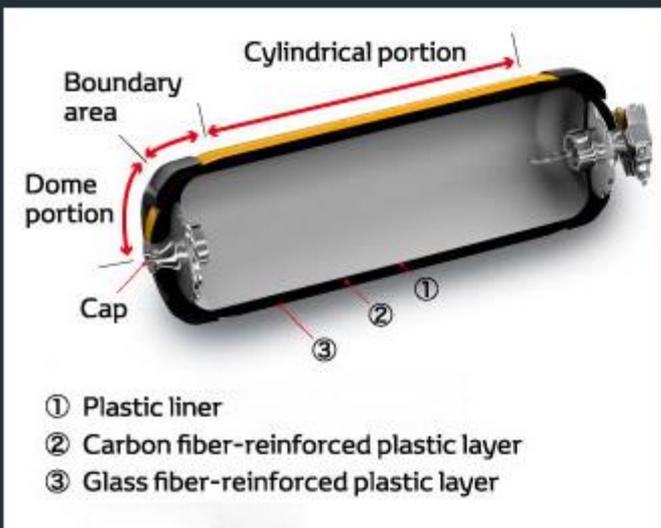






High-pressure hydrogen tanks

The Mirai is equipped with in-house developed 70 MPa high-pressure hydrogen tanks. The new 70 MPa tanks have three layers; a plastic liner a plastic liner to retain pressurized hydrogen (the innermost layer of the tank), a carbon fiber reinforced plastic layer, and a glass fiber reinforced plastic layer to protect the surface. The structure of the carbon fiber reinforced plastic layer has been innovatively lightened, giving it world-leading* tank storage performance.



High-pressure hydrogen tanks

Nominal working pressure	70 Mpa (approx. 700 bar)
Storage density	5.7 wt% (World-leading*)
Internal volume	122.4 L (front tank: 60.0 L, rear tank: 62.4 L)
Hydrogen storage mass	Approx. 5.0 kg

*As of November 2014, Toyota data

[Back to top](#) ▲

Fahrzeugbestand nach Modellen (Top 7)

