

Langstreckenelektromobilität mit Brennstoffzellen Range-Extendern

Aktueller Status, Entwicklungsschwerpunkte und Fahrzeugkonzepte

Dr.-Ing. Jörg Karstedt, Coordinator Emobility

5. Wissenschaftsforum mobilität, Duisburg, 18.6.2013



- ZBT GmbH
- Motivation und Grundlagen
- Anwendungsfelder Brennstoffzellen
- Aktueller Entwicklungsstand Brennstoffzellenfahrzeuge
- Fahrzeugkonzepte

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik:

- Forschung und Entwicklung in den Bereichen Brennstoffzellen-, Wasserstoff- und Batterietechnologie
- Anwendungsorientierte Forschung in enger Kooperation mit der Industrie
- Unabhängiger Entwicklungsdienstleister
- Ca. 100 festangestellte Mitarbeiter und 40 Studenten

Infrastruktur:

- 1200 m² Laborbereich
- Flexible Teststandsarchitektur mit umfangreicher Messtechnik und Analytik
- 3 Klimakammern incl. Shock/Shaker
- Erstes akkreditiertes Prüflabor für Brennstoffzellen
- 120 m² Spritzgusslabor
- Automatisierte Pilotproduktionslinie

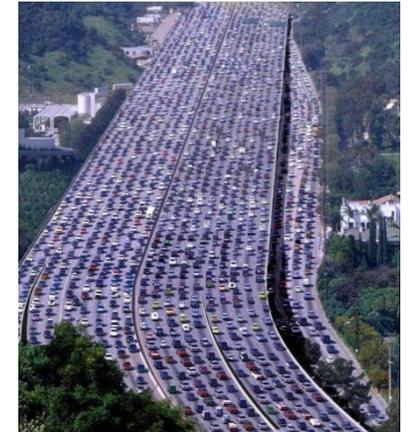


- ZBT GmbH
- Motivation und Grundlagen
- Anwendungsfelder Brennstoffzellen
- Aktueller Entwicklungsstand Brennstoffzellenfahrzeuge
- Fahrzeugkonzepte

- Die Weltbevölkerung wächst um 35 % von 6.8 Mrd. (2009) auf 9.2 Mrd.¹
- Die Urbanisierung steigt um 38 % von 51 % (2010) auf 70 %²
- Der weltweite Energiebedarf wächst von 2007 bis 2050 um 84 %³
- Die Anzahl der PKW steigt um 250 % von 840 Mio. (2010) auf 2.1 Mrd.⁴
- Nach aktuellen Trends werden die weltweiten transportbedingten CO₂-Emissionen bis 2050 um 80 % wachsen⁴

Herausforderungen:

- **Reichweite der fossilen Primärenergieträger**
- **Versorgungssicherheit**
- **Klimaschutz**



Elektromobilität mit Brennstoffzellen

Motivation: Elektromobilität mit Batterie und Brennstoffzelle



source: Toyota

Batteriefahrzeug



source: Toyota

Batterie/Brennstoffzellenhybrid

Emissionsfrei Geräuscharm Div. Energieträger		
Batteriesystem BZ-System	Hochenergie, > 15 kWh -	Hochleistung, ~ 1.5 kWh Hohe Dauerleistung, > 80 kW
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Höchste Wirkungsgrade TTW ▪ Niedrige Betriebskosten ▪ Privates Nachladen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konventionelle Reichweite, Komfort und Nachtankzeit ▪ Hohe Dauerleistung
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einschränkungen Reichweite, Ladezeiten, Komfort ▪ Öffentliche Ladeinfrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Ausbaustufe H₂-Infrastruktur ▪ Höhere Betriebskosten
Designkriterien Batterie BZ-System	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reichweite ▪ - 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spitzenleistung ▪ Dauerleistung
Anwendungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Innerstädtisch 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hochleistung, Langstrecke (>120km/h, SUVs)

- ZBT GmbH
- Motivation und Grundlagen
- Anwendungsfelder Brennstoffzellen
- Aktueller Entwicklungsstand Brennstoffzellenfahrzeuge
- Fahrzeugkonzepte

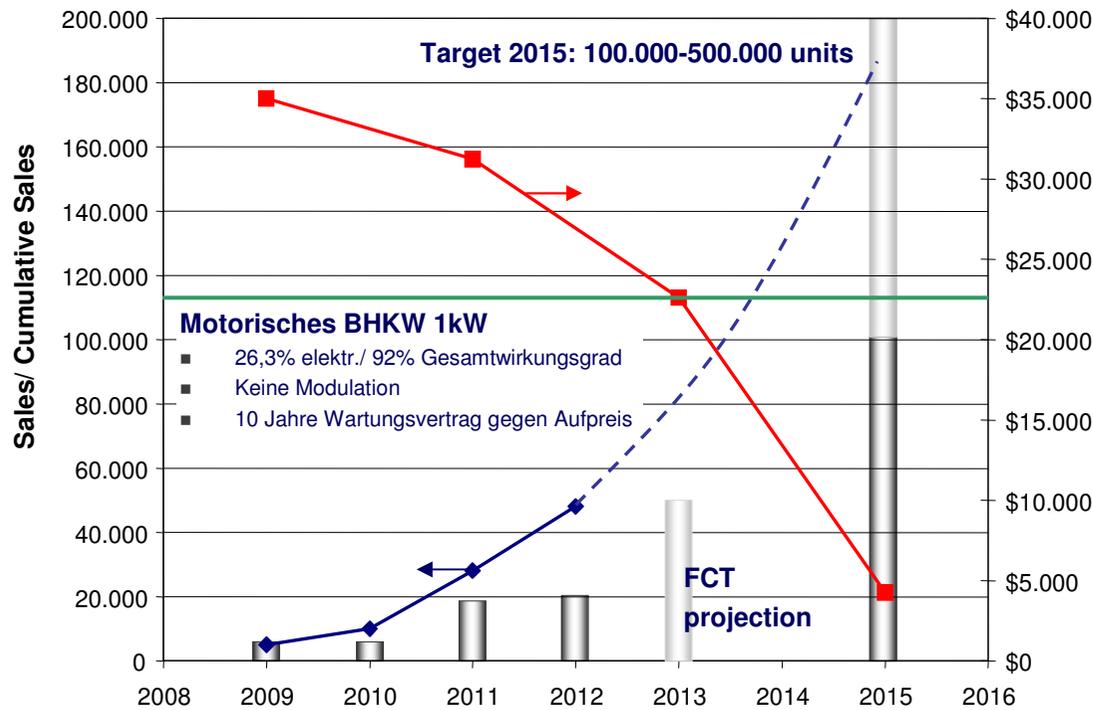
Marktübersicht 2011

- 24.600 Brennstoffzellensysteme (+39% gegenüber 2010)
- > 100 MW installierte Leistung
- Wachstum insbesondere im stationären Bereich:
83 MW installierte Leistung (+133 % gegenüber 2010)
- Mobile Anwendungen insbesondere im Demoflottenbereich
- 215 Wasserstofftankstellen weltweit in Betrieb
- Nordamerika und Asien dominieren den Markt



Elektromobilität mit Brennstoffzellen

Erfolgsgeschichten: ENEFARM – Brennstoffzellen KWK in Japan



Recommended Retail Price

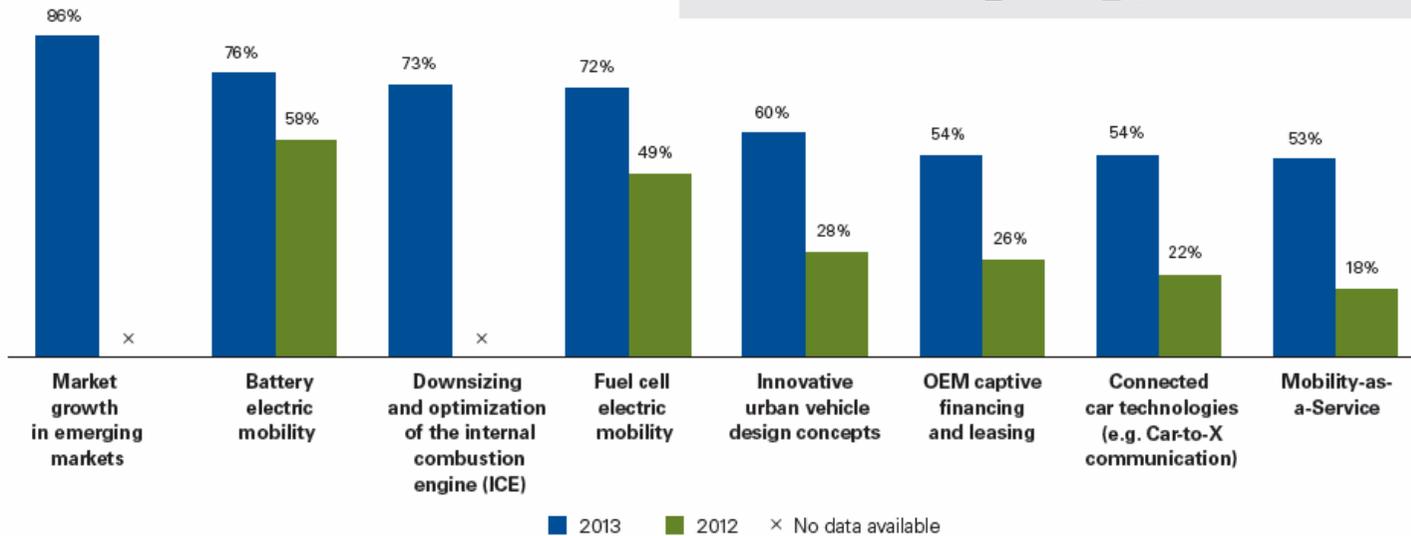
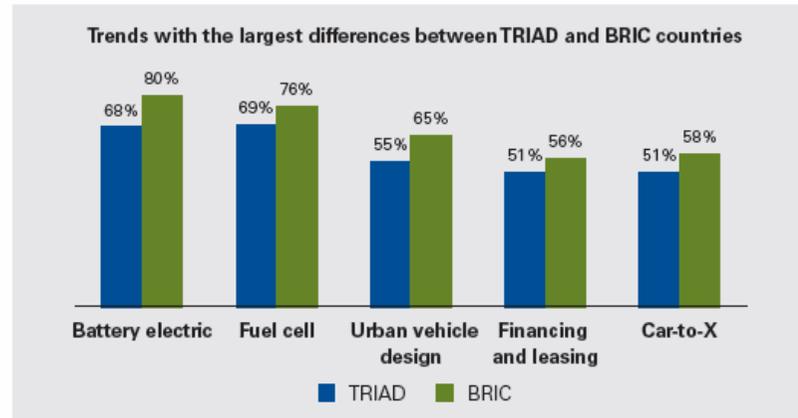


		New model	Previous model
Launch date		April 1, 2013 (scheduled)	April 1, 2011
Performance	Electricity generation output	<u>200 W-750 W</u>	250 W-750 W
	Rated generation efficiency	39.0% (LHV)	40.0% (LHV)
		<u>35.2% (HHV)</u>	36.0% (HHV)
	Rated heat recovery efficiency	56.0% (LHV)	50.0% (LHV)
		50.6% (HHV)	45.0% (HHV)
Overall efficiency	95.0% (LHV)	90.0% (LHV)	
	<u>85.8% (HHV)</u>	81.0% (HHV)	
	Water tank capacity	147 liters	200 liters
Dimensions	Fuel cell unit	H1,850 mm × W400 mm × D400 mm	H1,883 mm × W315 mm × D480 mm
	Hot water unit	H1,850 mm × W560 mm × D400 mm	H1,883 mm × W750 mm × D480 mm
	Backup heat source	H750 mm × W480 mm × D250 mm ^{**11}	(Built into the hot water unit)
Weight (dry)	Fuel cell unit	90 kg	100 kg
	Hot water unit	55 kg	125 kg
	Backup heat source	44 kg ^{**11}	(Built into the hot water unit)
Installation space (adjacent installation)		750 mm (depth)	900 mm (depth)
		Approx. 2.0 m ² (area) ^{**11}	Approx. 2.0 m ² (area)
Recommended retail price (Including tax; not including installation)		1,995,000 yen ^{**11}	2,761,500 yen
Free maintenance support		<u>10 years</u>	10 years

^{**11}: Standard model with functions for home heating, bathwater reheating and hot water supply

Elektromobilität mit Brennstoffzellen „Und die Autos?“ – Key Automotive Trends

Key automotive industry trends up to 2025



Note: 2013: Percentage of respondents rating trend as 'extremely important' and 'very important'
 2012: Percentage of respondents rating trend as 'most' and 'second most important'
 Source: KPMG's Global Auto Executive Survey 2013

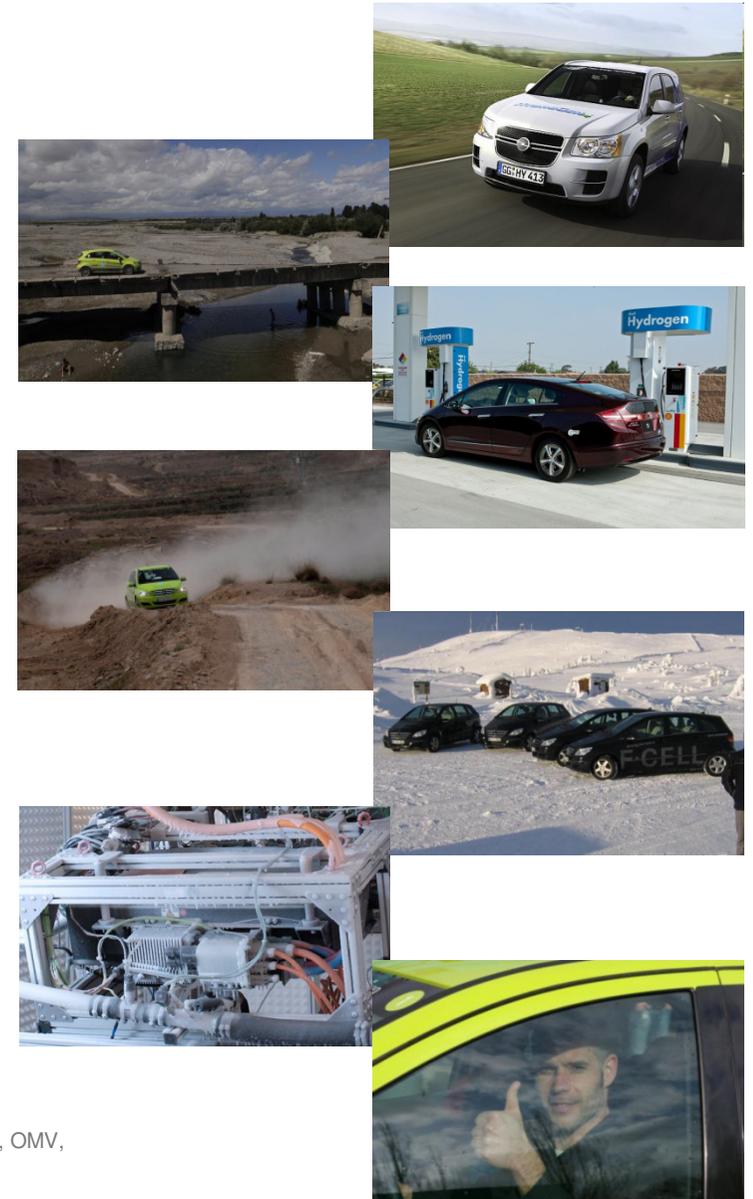
- ZBT GmbH
- Motivation und Grundlagen
- Anwendungsfelder Brennstoffzellen
- **Aktueller Entwicklungsstand Brennstoffzellenfahrzeuge**
- Fahrzeugkonzepte

Aktueller Technologiestatus

- 500 Fahrzeuge, > 15 Mio. km, > 90.000 Betankungen ¹
- Kundenanforderungen werden erfüllt:
 - Fahrperformance und NVH
 - Hohe Wirkungsgrade/geringer Kraftstoffverbrauch
 - Kurze Nachtankzeiten
 - Erfolgreiche Erprobung unter Automotive-Bedingungen
 - Ausreichende Reichweite
 - Lokal emissionsfrei
 - Automobile Sicherheitsstandards

Fokus Weiterentwicklung

- Packaging/Gewichtsoptimierung
- Reichweite/Speicheroptimierung
- Lebensdauer
- **Kosten (Technologie, Stückzahlen, Zulieferer)**
- **Wasserstoffinfrastruktur**



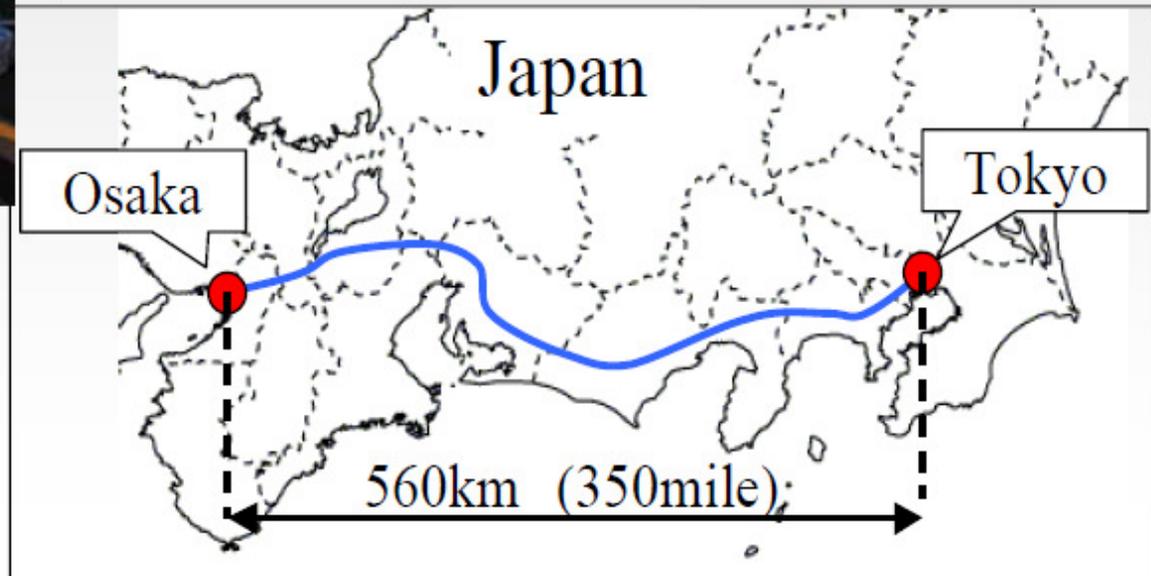
Quelle: 1: „A portfolio of power-trains for Europe“, BMW, Daimler, Ford, GM, Honda, Hyundai, Kia, Nissan, Renault, Toyota, VW, ENI, OMV, Shell, Total, Linde, Air Liquide, Air Products, McKinsey, 2010; Bilder: OEMs



The cruising range has been significantly improved by increasing hydrogen tank pressure (35 MPa => 70 MPa) and system efficiency. (about 300 km => 500 km with practical driving cycle)

Cruising range	
LA#4	790 km
10-15	830 km

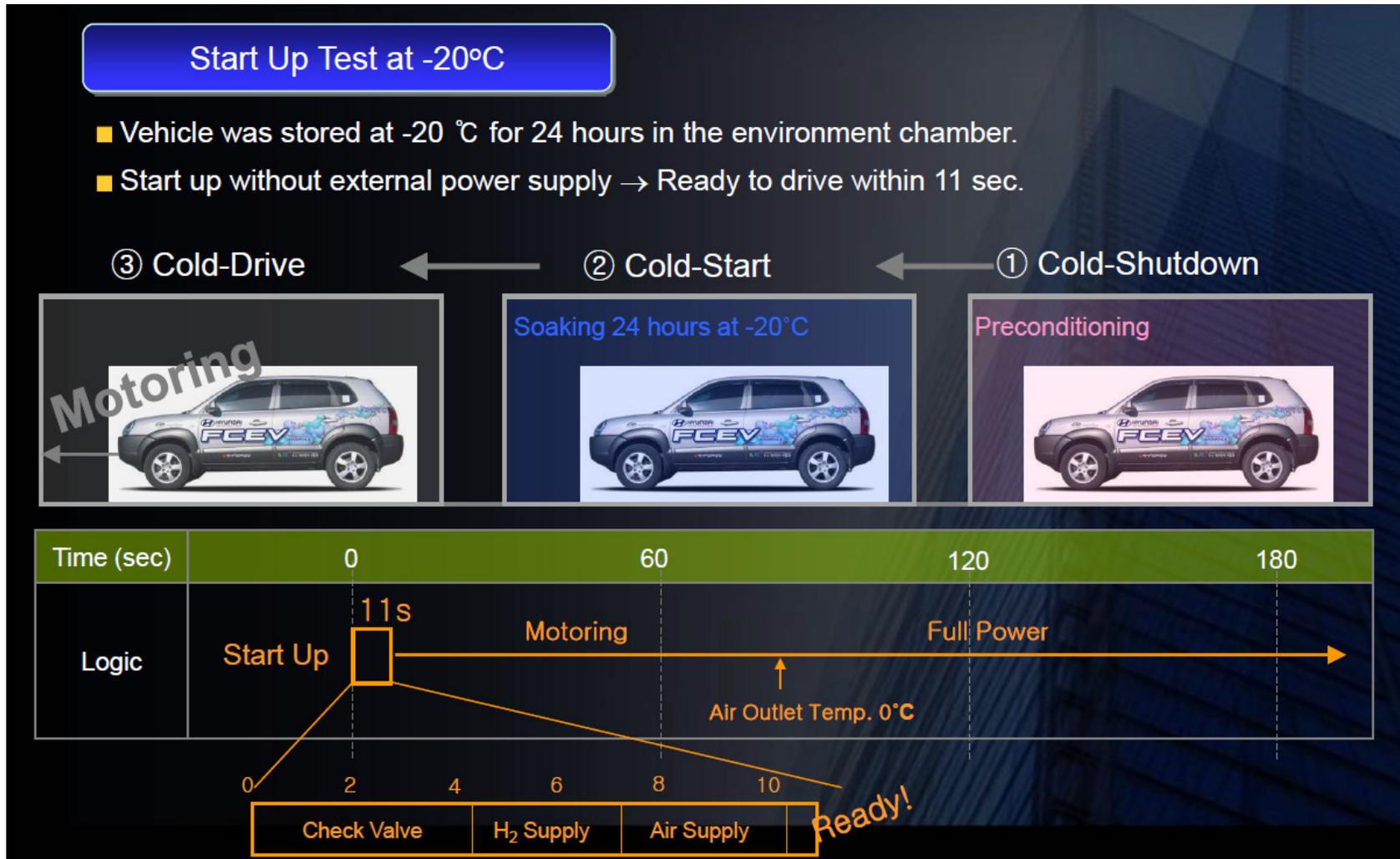
Toyota in-house test



With single refueling, FCHV-adv successfully traveled between Osaka and Tokyo (560 km) under real-use conditions (air conditioner on, etc.) with enough reserve capacity.

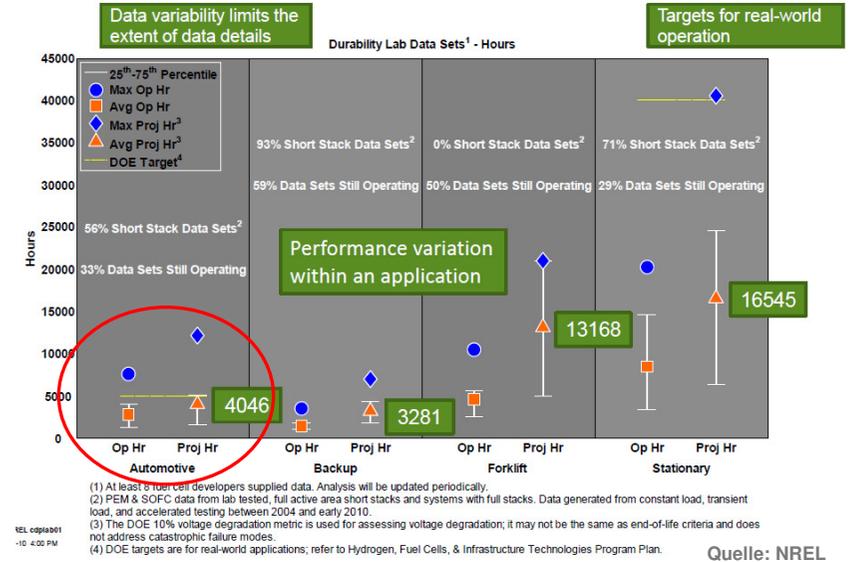
Elektromobilität mit Brennstoffzellen

Kaltstart von Brennstoffzellenfahrzeugen

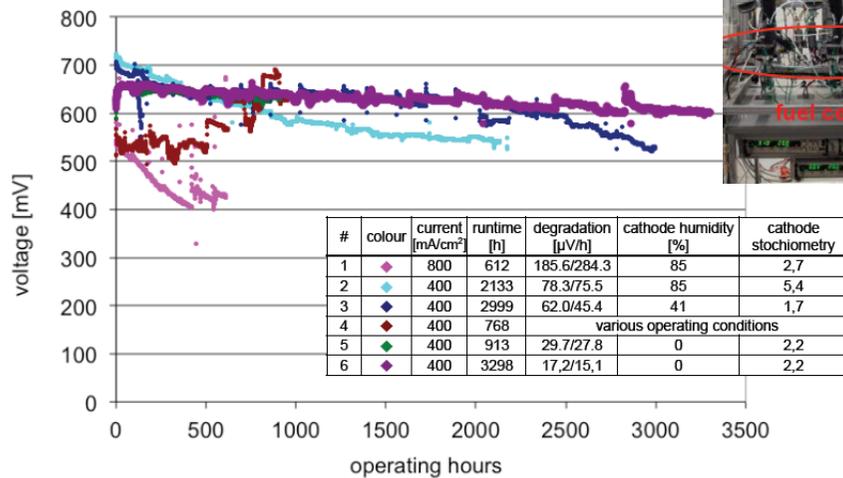


Steigerung der BZ-Systemlebensdauer

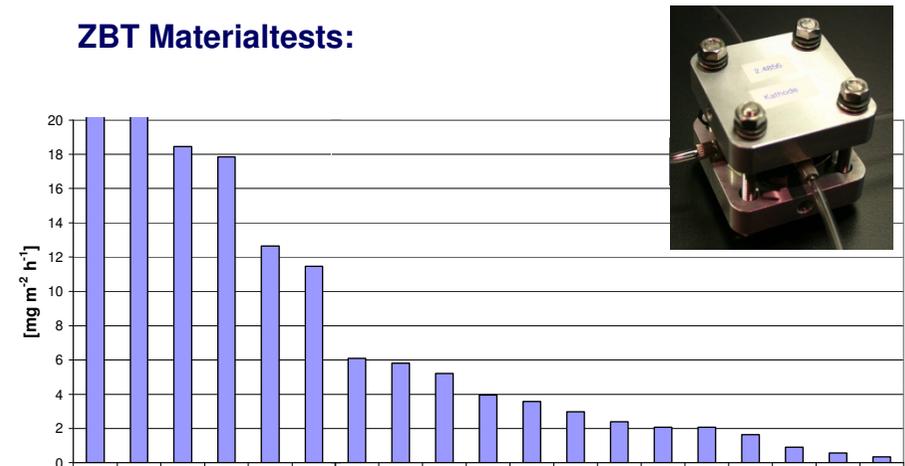
- Membranoptimierung
- Beschichtungsoptimierung metallische BPP
- Materialauswahl Stack und System
- Optimierte Start-/Stopprozeduren
- Regenerationszyklen



ZBT Langzeittests:

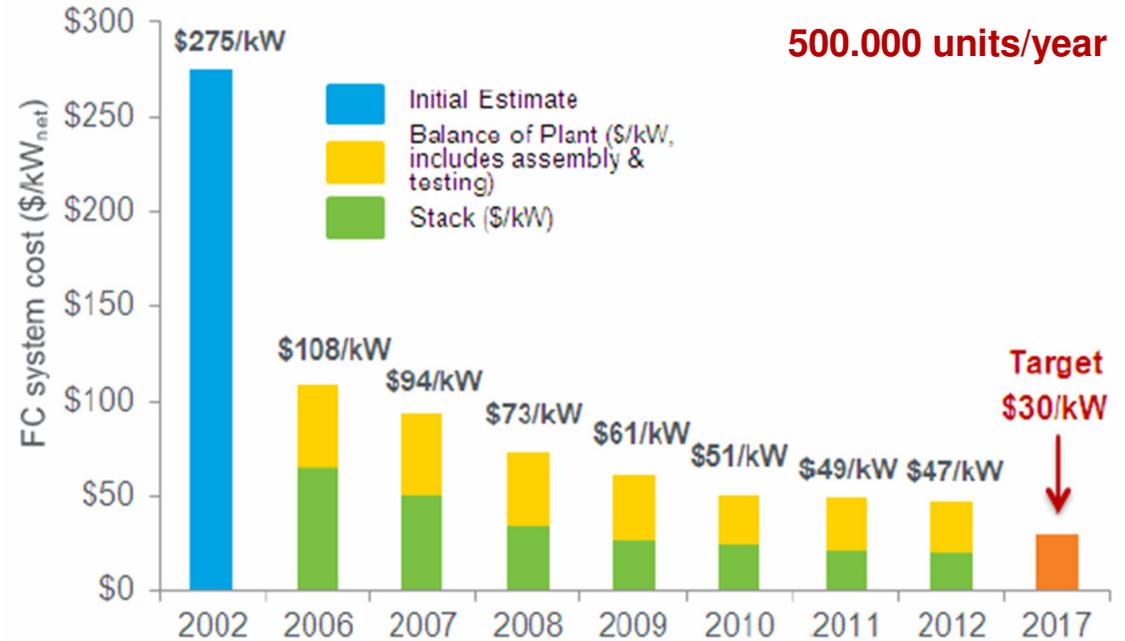


ZBT Materialtests:

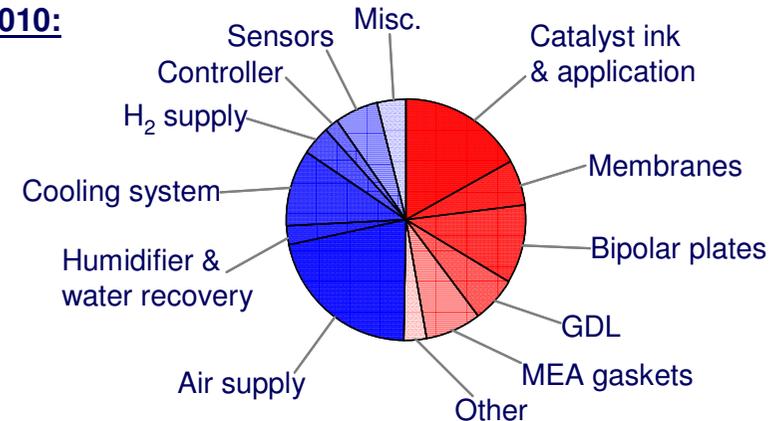


Fokus Kostenreduktion:

- Steigerung der Leistungsdichte
- Reduktion Platinbeladung (Tradeoff Kosten/Lebensdauer)
- Kostenoptimierung Nebenaggregate
- Materialauswahl
- Systemintegration
- Automation/Großserienfertigung
- Synergien (z.B. Hybridfahrzeuge)
- Zulieferer



2010:



Wasserstoffinfrastruktur

Produktion/Verteilung:

- 22 Mrd. Nm³ jährliche Produktion von Industriewasserstoff (entspricht dem Bedarf von ca. 15 Mio. BZ-Fahrzeugen)
- Kosten für 1 Mio. BZ-Fahrzeuge: ~ 2 Mrd. €, skalierbar ¹

Tankstellen:

- Kosten für 1 Mio. BZ-Fahrzeuge: ~ 1 Mrd. € ¹
- Infrastrukturkosten für BZ-Fahrzeuge vergleichbar mit Ladeinfrastrukturkosten für Batteriefahrzeuge (BEVs) oder Plug-In Hybride (PHEVs):
 - BZ-Fahrzeuge: 1,5 ct/km ¹
 - BEVs / PHEVs: 1,5-2,5 ct/km ¹



Quelle: 1: BMW, Daimler, Ford, GM, Honda, Hyundai, Kia, Nissan, Renault, Toyota, VW, McKinsey 2010

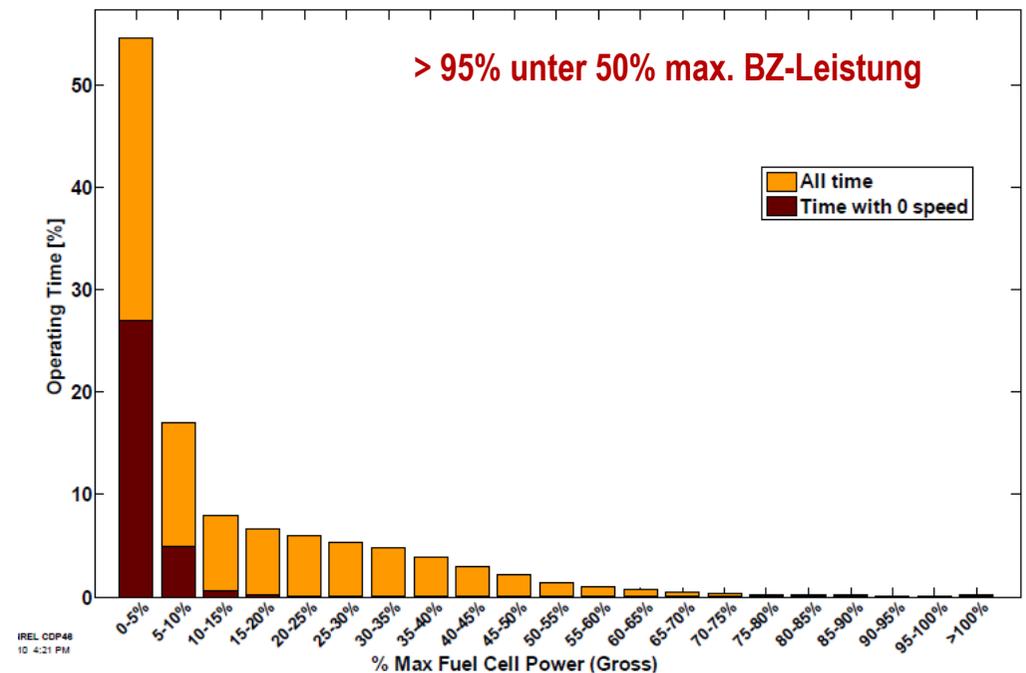
- ZBT GmbH
- Motivation und Grundlagen
- Anwendungsfelder Brennstoffzellen
- Aktueller Entwicklungsstand Brennstoffzellenfahrzeuge
- Fahrzeugkonzepte

Programm:

- Dauer 7 Jahre
- 4 OEMs, 183 BZ-Fahrzeuge,
2 Generationen Brennstoffzellenfahrzeuge
- 5.8 Mio. km, 500.000 Einzelfahrten
- 25 Tankstellen, > 150.000 kg H₂

Real-World Nutzungsdaten:

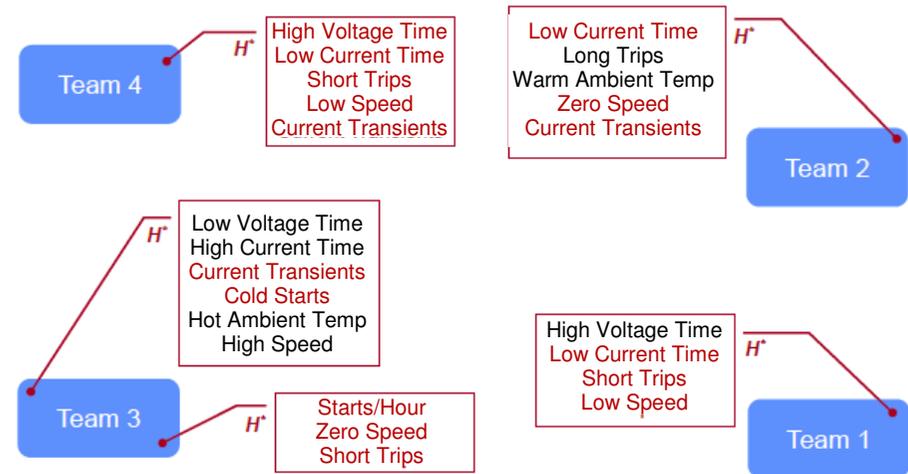
- Niedrige Lastpunkte dominieren BZ-Betrieb
 - Maximale BZ-Leistung wird nur selten abgefragt
 - Nur ein kleiner Anteil der elektrischen Energie wird bei hohen Systemleistungen bereitgestellt
 - Aber: Die maximale Stackleistung ist der entscheidende Kostentreiber im BZ-System
- **Signifikantes Kostenreduktionspotential durch Downsizing des BZ-Systems**



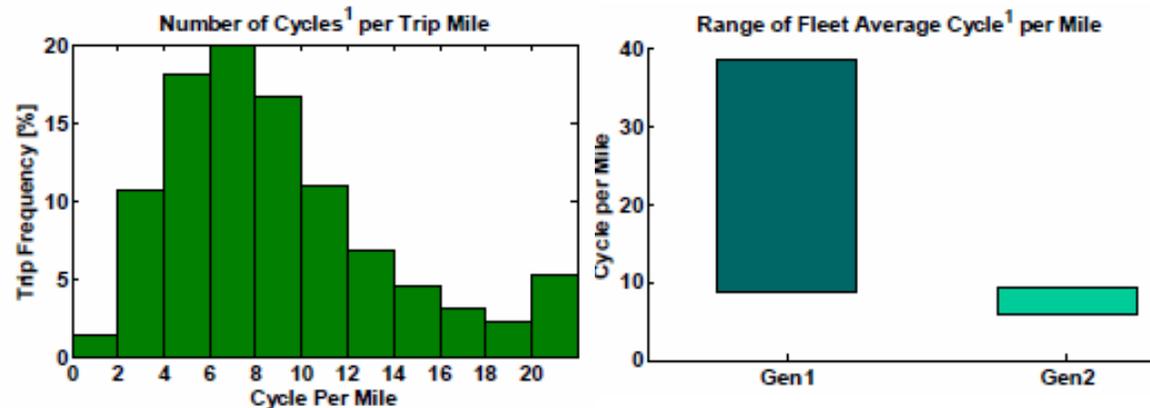
Wichtige Degradationsparameter

- Transientbetrieb
 - Niedrige Geschwindigkeiten
 - Kurze Distanzen
 - Leerlauf/Hohe Zellspannungen
 - Kaltstarts
 - Anzahl von Starts
- **Betriebsstrategie eines BZ Range-Extenders kann hinsichtlich Degradation optimiert werden**
- Hybridisierung (Abdeckung transienter Lastanforderungen aus Batteriesystem)

Haupteinflussfaktoren Brennstoffzellendegradation



Anzahl Lastzyklen Brennstoffzelle pro Strecke



Elektromobilität mit Brennstoffzellen

Batterie, Brennstoffzelle, Brennstoffzellen Range-Extender



source: Toyota

Batteriefahrzeug



source: Toyota

Batterie/Brennstoffzellenhybrid

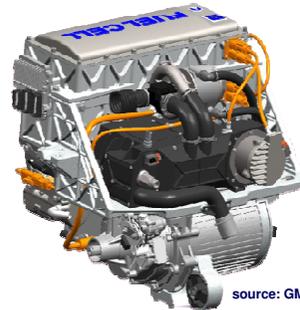


Brennstoffzellen Range-Extender

Emissionsfrei Geräuscharm Div. Energieträger			
Batteriesystem BZ-System	Hochenergie, > 15 kWh -	Hochleistung, ~ 1.5 kWh Hohe Dauerleistung, > 80 kW	Hochenergie, ~ 10 kWh Low-Cost, ~ 30 kW
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Höchste Wirkungsgrade TTW ▪ Niedrige Betriebskosten ▪ Privates Nachladen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konventionelle Reichweite, Komfort und Nachtankzeit ▪ Hohe Dauerleistung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konventionelle Reichweite, Komfort und Nachtankzeit ▪ Niedrige Betriebskosten ▪ Privates Nachladen
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einschränkungen Reichweite, Ladezeiten, Komfort ▪ Öffentliche Ladeinfrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Ausbaustufe H₂-Infrastruktur ▪ Höhere Betriebskosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mittlere Ausbaustufe H₂-Infrastruktur ▪ Begrenzte Dauerleistung
Designkriterien Batterie BZ-System	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reichweite ▪ - 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spitzenleistung ▪ Dauerleistung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimierte TCO ▪ Max. Dauergeschwindigkeit
Anwendungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Innerstädtisch 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hochleistung, Langstrecke (>120km/h, SUVs) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Reichweiten bei niedrigen Betriebskosten

Elektromobilität mit Brennstoffzellen

Systemvergleich Full-Power System / Range-Extender



Full-Power Brennstoffzellensystem

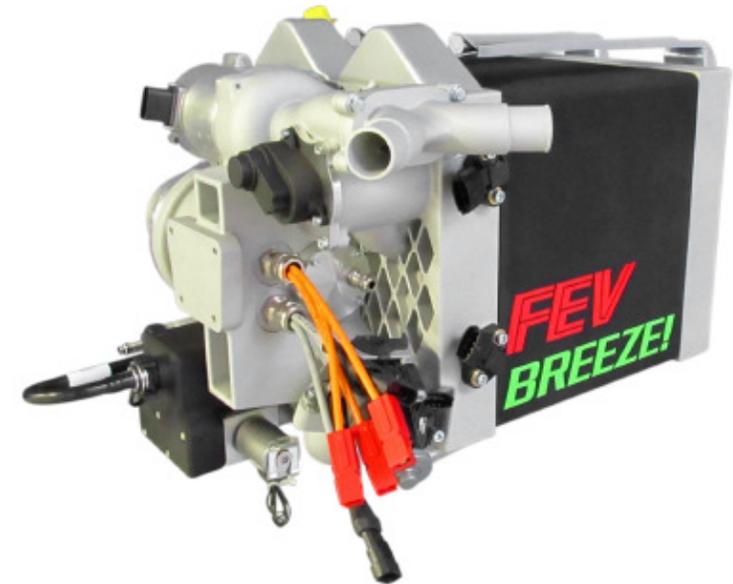


Brennstoffzellen Range-Extender

Betriebsstrategie	(Hoch-) Dynamisch	Quasistationärbetrieb / lim. Leistungsgradienten
Lebensdaueranforderung	> 5.000 h → Höhere Platinbeladung/Kosten	2.000 h (verringert für REX-Betrieb) → Geringere Platinbeladung/Kosten
Startzeit	Wenige Sekunden, häufige Starts	Ca. 30 sec., seltenere Starts
Kühlung	Hohe Kühlleistung erforderlich (~100kW)	Reduzierte Kühlleistung (~30-40kW)
Druckniveau	Hohe Druckniveaus für hohe Leistungsdichte	Reduktion Druckniveau möglich
Befeuchtungsregelung	Komplex insbesondere für Transientbetrieb	Weniger komplex, Quasistationärbetrieb
NVH	Hohe Anforderungen insbesondere bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten	Anpassung Betriebsstrategie möglich
Wirkungsgrad	Möglichst hoch für niedrige Betriebskosten	Hoch, Betriebskosten abhängig von Betriebsstrategie

BREEZE: Brennstoffzellen Range Extender für Batterieelektrische Fahrzeuge

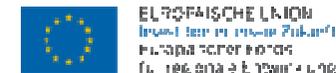
- Emissionsfrei auch im Range Extender Betrieb
- Signifikante NVH-Vorteile gegenüber verbrennungsmotorischen Range-Extendern
- Hoher Wirkungsgrad
- Abwärme zur Kabinenklimatisierung
- Reduktion Batteriekapazität
- Nachtanken in ca. 3 min.



Partner:

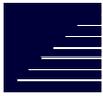


Mit finanzieller Unterstützung:



Ministerium für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen





- Um signifikante CO₂ Reduktionen im Transportsektor zu erreichen ist langfristig eine Diversifikation der Antriebstechnologien erforderlich
- Elektromobilität ermöglicht eine Diversifikation der Primärenergieträger, den Einsatz erneuerbarer Energien im Transportsektor und lokal emissionsfreies und geräuscharmes Fahren
- Brennstoffzellen können insbesondere aufgrund hoher Reichweiten und kurzer Nachtankzeiten das Anwendungsspektrum und die Marktakzeptanz von Elektromobilität erweitern
- Range-Extender ergänzen die konventionellen „Full-Power“ Brennstoffzellenfahrzeuge, der Fokus liegt auf TCO und Ausbaustufe der Wasserstoffinfrastruktur
- ZBT bietet in Kooperation mit industriellen Partnern Entwicklungsdienstleistungen für Elektromobilität und brennstoffzellenbasierte Antriebsstränge



Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH:
Fuel cell and battery development support for the automotive industry

A detailed 3D rendering of a fuel cell stack, showing multiple layers of yellowish-gold bipolar plates and greyish-blue membrane electrodes. The stack is shown in a perspective view, with a central section cut away to reveal the internal structure. The background is a light grey grid.

Thank you for your attention!

Contact:

Dr.-Ing. Jörg Karstedt
j.karstedt@zbt-duisburg.de
+49 (0)203/7598-1178
www.zbt-duisburg.de