



MKS-Workshop
Berlin, 30.Mai 2016

Brennstoffzellenantriebe für LKW

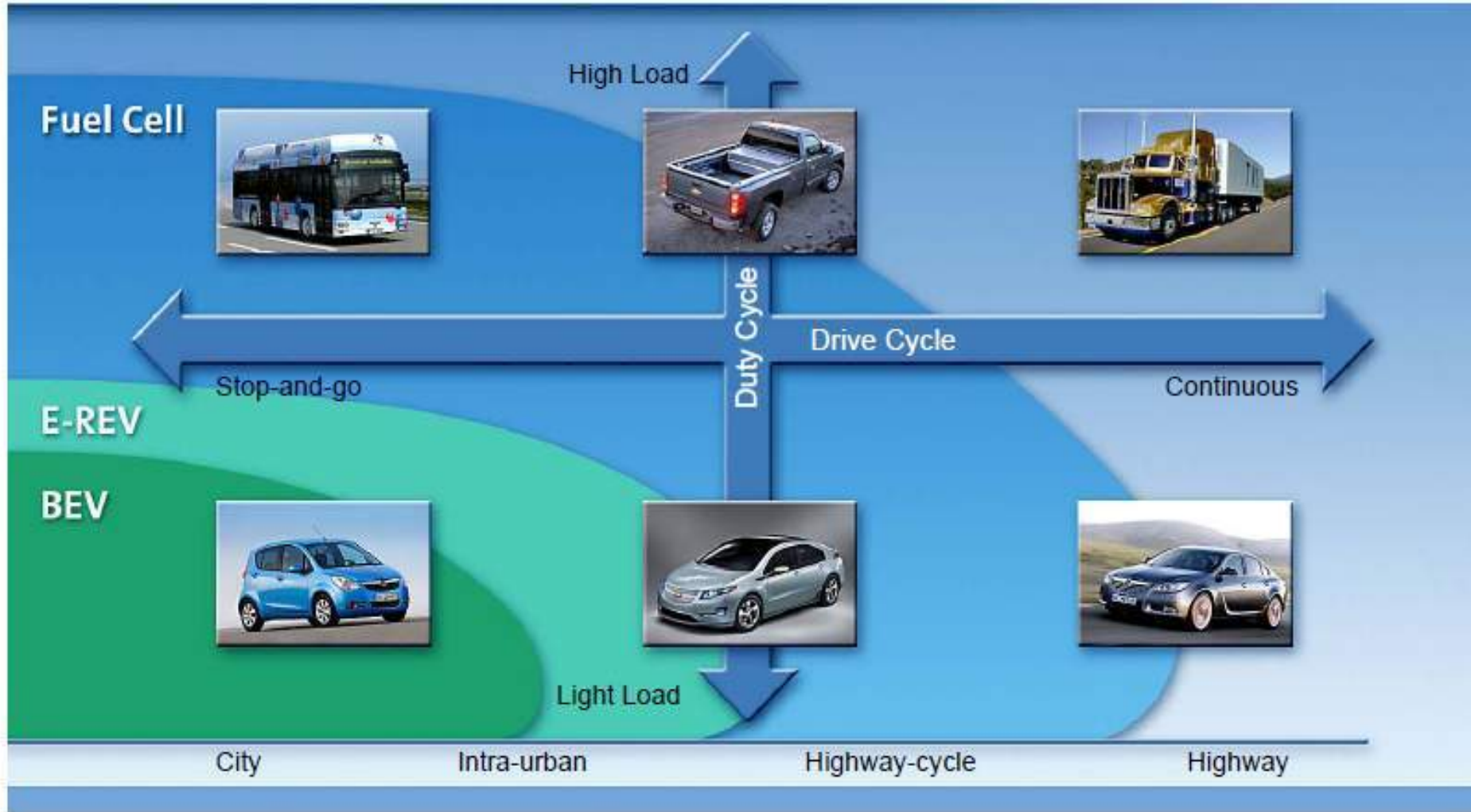
Werner Tillmetz

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

Brennstoffzellen-Lkw

POSITIONIERUNG

Positionierung Brennstoffzellen-Antriebe



Quelle: General Motors

Positionierung Brennstoffzellen-Antriebe



Quelle: General Motors

Brennstoffzellen im ÖPNV: viele Vorteile



High daily ranges

... of up to 450 km without refuelling – Extension possible



Full route flexibility

... not bound to any required infrastructure on the route



Performance

... comparable to diesel buses, e.g. acceleration, speed or gradeability



Fast refuelling

... less than 10 minutes possible – Also several refuelling cycles per day possible



High passenger comfort

... due to reduced noise levels and smooth driving experience



Close to technology maturity

... with more than 15 years and 8 m km of operational experience in Europe

Quelle: Fuel Cell Electric Buses – Potential for Sustainable Public Transport in Europe

FCH JU – Commercialisation Strategy for Fuel Cell Electric Buses in Europe Roland Berger 09/2015

Brennstoffzellen im Fahrzeug

MARKT & TECHNOLOGIE

Japanische Brennstoffzellen marktreif



- PEMFC
Hausenergieversorgung
(750 Watt)
- Lebensdauer 60.000 h
- Degressive Subventionen für
die Markteinführung
- 150.000 installiert bis heute



- PEM-Brennstoffzellen-
Antrieb 100 kW (136 PS)
- Markteinführung 05/2015
- Subventionen für die
Markteinführung bis 2025
- Marktpreis 50.000 €

Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzelle und regenerativem Wasserstoff

- Erfüllen Kundenanforderungen:
Reichweite (> 500 km) - schnelles Tanken (< 3 min) - Heizung
- Serienfahrzeuge:
 - Toyota, Honda, Hyundai Markteinführung gestartet
 - Daimler ab 2017
 - Ideal auch für Stadtbusse und Lieferfahrzeuge



Automotive
BZ-System
(Bild: Daimler)



Toyota FCV, Mercedes B-Klasse F-Cell (Bilder: Hersteller)



Brennstoffzellen-Hybridbus in
Stuttgart. Bild: SWP/dpa

Entwicklung Europäischer Hochleistungs-Stack

Beispiel: Projekt AutoStack-Core

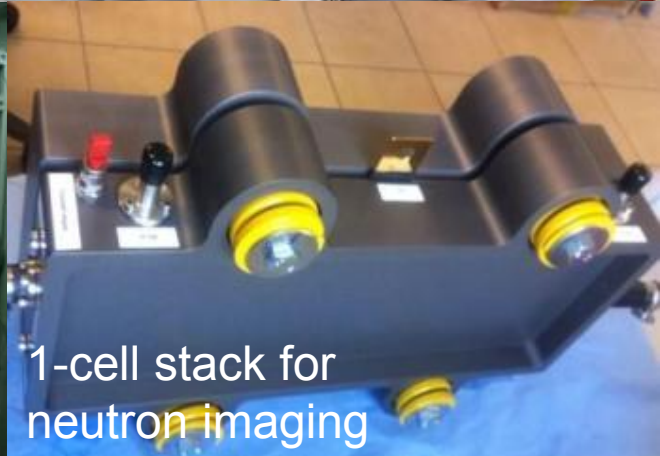
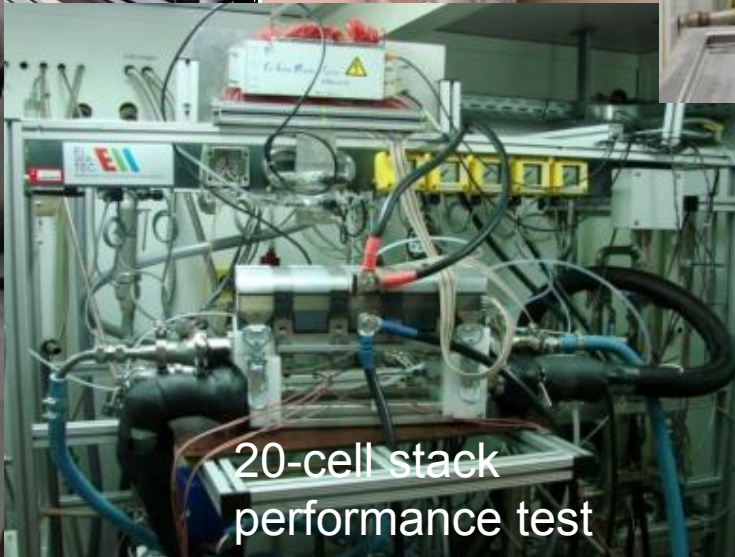
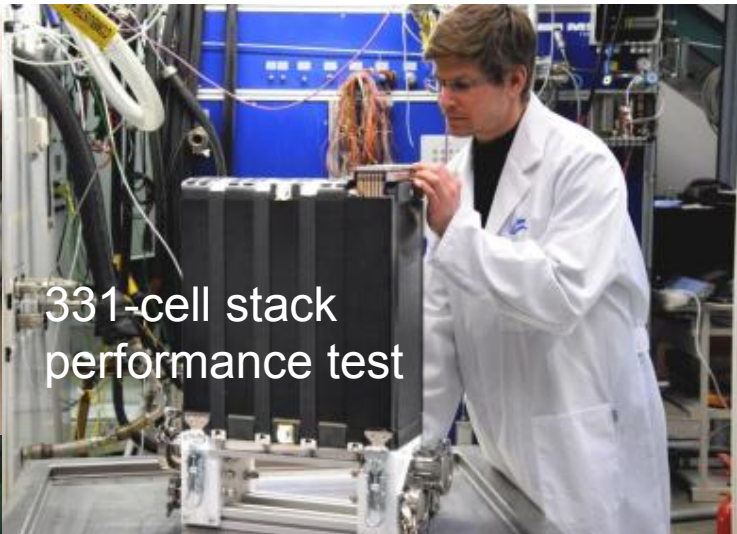
AutoStack-Core	Specification	Evolution 1 (test results)	Evolution 2 (projections)
Calculated power	95kW max cont. 118kW peak 30 sec	94kW max cont. 99kW peak 30 sec	t.b.d.
Stack power density	2.8kW/l max cont. 3.4kW/l peak	2.7kW/l max cont. 2.9kW/l peak 30	> 3.1kW/l * > 3.4kW/l
Operating point	1W·cm ⁻² @ 1.5A/cm ²	0.947W·cm ⁻² @ 1.5A/cm ²	t.b.d.
Max operating temperature	95°C	95°C	t.b.d.
Humidification	< 50% RH	50% RH	t.b.d.
Operating pressure	2.2...2.4 max cont. 2.7 max peak	2.2 max cont. 3.0 max peak	t.b.d.
Lifetime	< 12 μV·h ⁻¹	49.6 μV·h ⁻¹	t.b.d.
Stack target cost @ 120 000/y	< € 40.00/kW	€ 47.83 /kW @ /30 000/y	t.b.d.



Evolution 1 –
External Stack Design

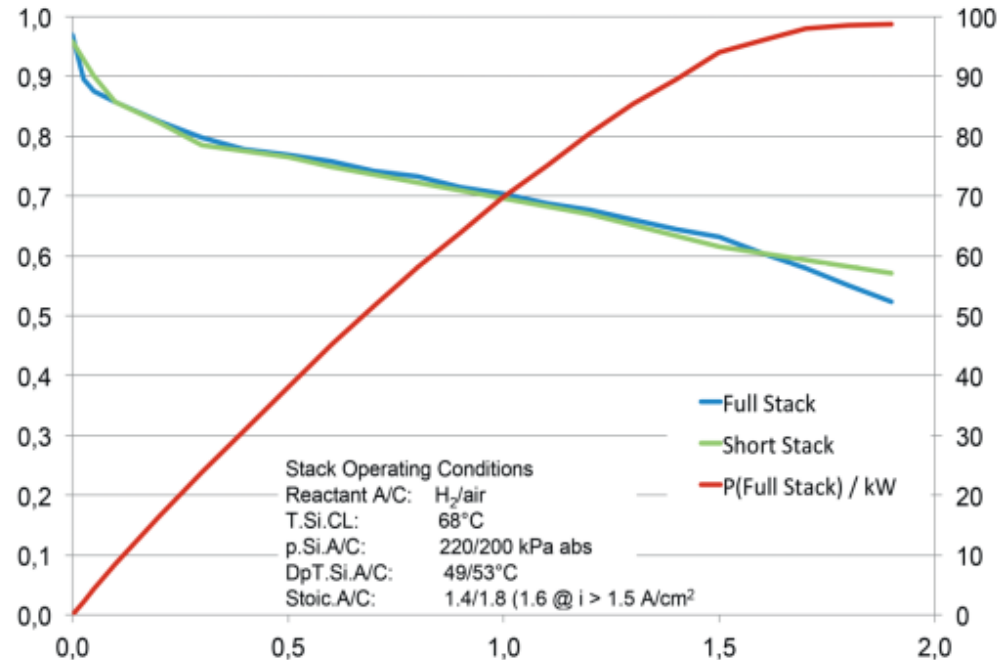
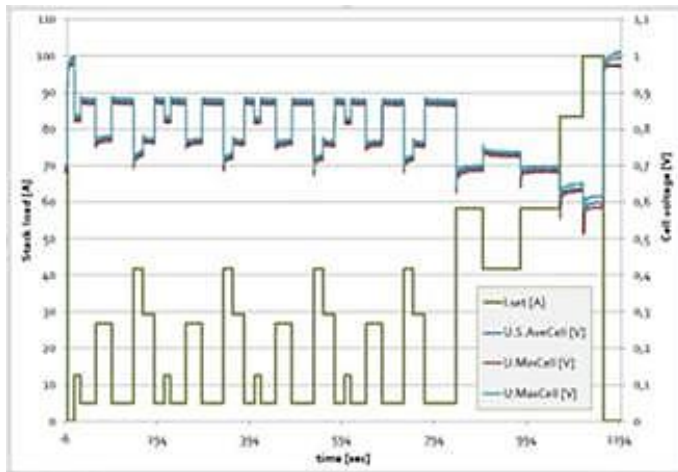
* Stack power was calculated based on Evo 1 as test data were not yet available. Performance of Evo2 is expected to be higher.

Design-Optimierung



Dynamischer Betrieb Gen 1 Stack

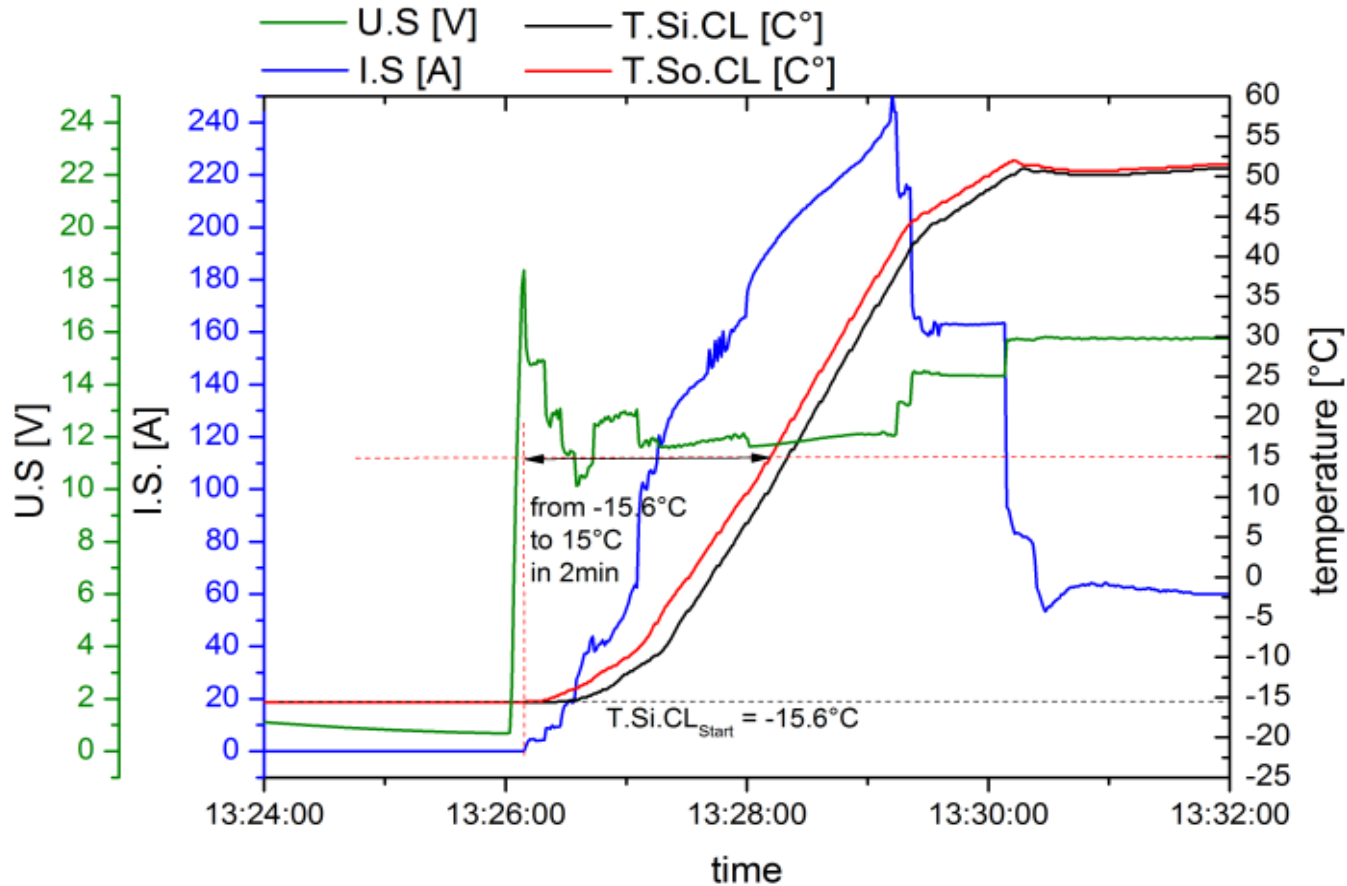
- Exzellente Leistungsdaten
- Fuel Cell Dynamic Load Cycle (FC-DLC)
 - täglich 73 dynamische Lastzyklen á 20 Minuten (= 512 Lastzyklen/wö.)
 - Ein Zyklus entspricht 11 km
 - 5.621 km pro Woche störungsfrei nachgewiesen
 - Wasserstoffverbrauch bis zu 7,8 kg/h



Leistungskurven 95 kW-AutoStack-CORE
 Brennstoffzelle nach Fuel Cell Dynamic Load Cycle
 (FC-DLC)

Kaltstart von -15°C in 2 Min. demonstriert

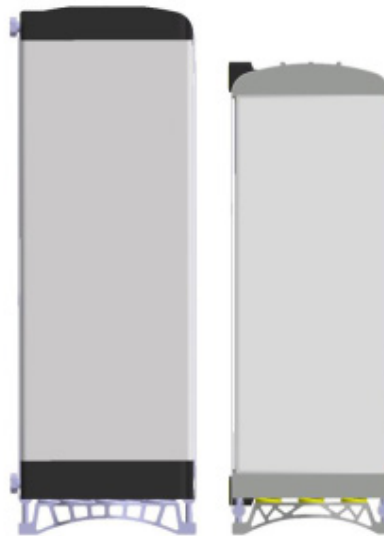
(nicht optimierte Prozedur, short stack)



Generation 2 in der Entwicklung

From Evo1 to Evo 2

- Improved active to passive ratio and lower cell pitch
- Improved material usage
- Lower cost materials
- Easy scalable



Evolution 2 establishes best Stack Power Density:

Volume 27.7l ✓
Weight 33.1kg ✓

Specifications

Specifications	Unit	Target	Evo1	Evo2
Outer dimensions (length x width x height)	dm	6.5 x 4.3 x 1.8	5 x 4.14 x 1.656	4.74 x 4.15 x 1.49
Volume of the stack exterior	dm ³	< 55	34.3	~ 27.7 - 19 %
Weight without fluids and fully humidified membranes (net weight)	kg	< 44	46.3	~ 33.1 - 28 %
Active area	cm ²		300	300
Cells			330	335

Entwicklungsbedarf Lkw-Brennstoffzellentechnologie

- Technologietreiber sind Pkw-Hersteller:
 - Umfangreiche Synergien nutzbar
 - Brennstoffzelle (skalierbar) & System
 - Li-Ionen-Batterie (Hybridisierung)
 - Wasserstofftanks
- Anpassung an Lkw-Betriebsmodi durch Hybridisierungskonzepte
- Kostenreduktion durch zügigen Aufbau von Stückzahlen (Marktaktivierungsprogramme) und Etablierung einer Zulieferindustrie (Industrialisierung)



Bilder: Toyota und Daimler

WASSERSTOFF- INFRASTRUKTUR

Kritischer Pfad: Aufbau Wasserstoff-Infrastruktur

- Wasserstoff aus Erneuerbarem Strom über Elektrolyse (Power to Gas)
- Speicherung von Überschussstrom - Netzentlastung
- Treibstoff für Brennstoffzellen-Fahrzeuge
- Aufbau von Wasserstofftankstellen (weltweit ca. 200 in Betrieb; Regierungsprogramme für den weiteren Ausbau etabliert)
- Fahrzeugdepots einfach ausrüstbar



Wartung einer Elektrolyseanlage (ZSW)



Wasserstofftankstelle
(Hydrogenics)

Brennstoffzellen-Lkw

KOSTENBETRACHTUNGEN

Kostenreduktion Brennstoffzelle im Fahrzeug

- Kostenreduktion durch Technologieentwicklung deutlich vorangeschritten
- Stückzahlen & Industrialisierung sind die Treiber für Kostenreduktion (BCG Experience Curve)
>> Synergien nutzen (Pkw)

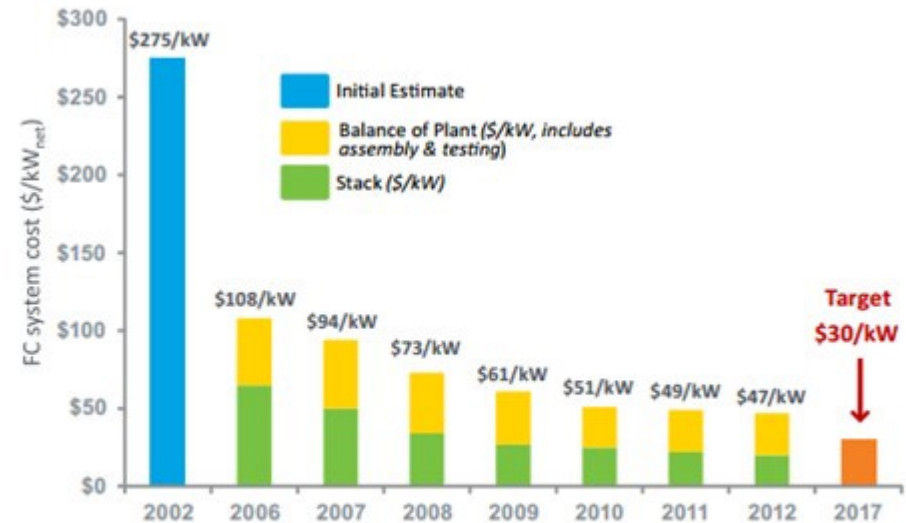
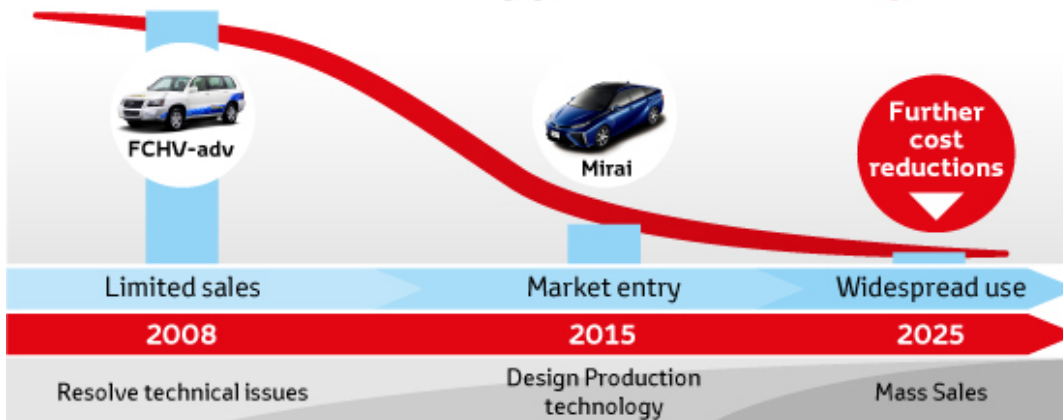


FIGURE 1. Current modeled cost of an 80-kW automotive fuel cell system, based on projections to high-volume manufacturing (500,000 units/year).²

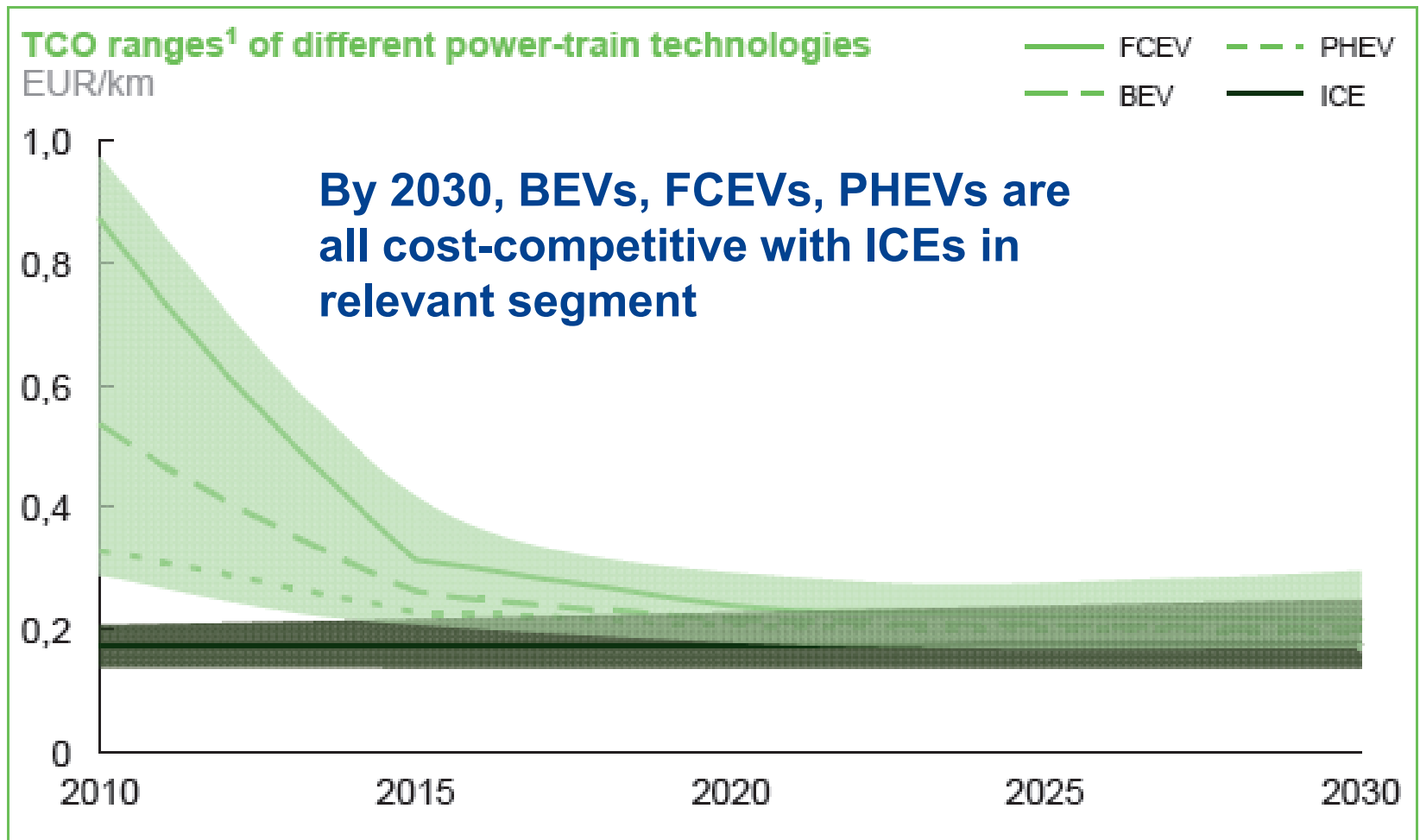
Fuel cell technology cost down by 95 %



<http://www.fuelcelltoday.com/news-archive/2013/january/us-doe-publishes-2012-annual-progress-report>

<https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/feel/environment/better-air/fuel-cell-vehicle.json>

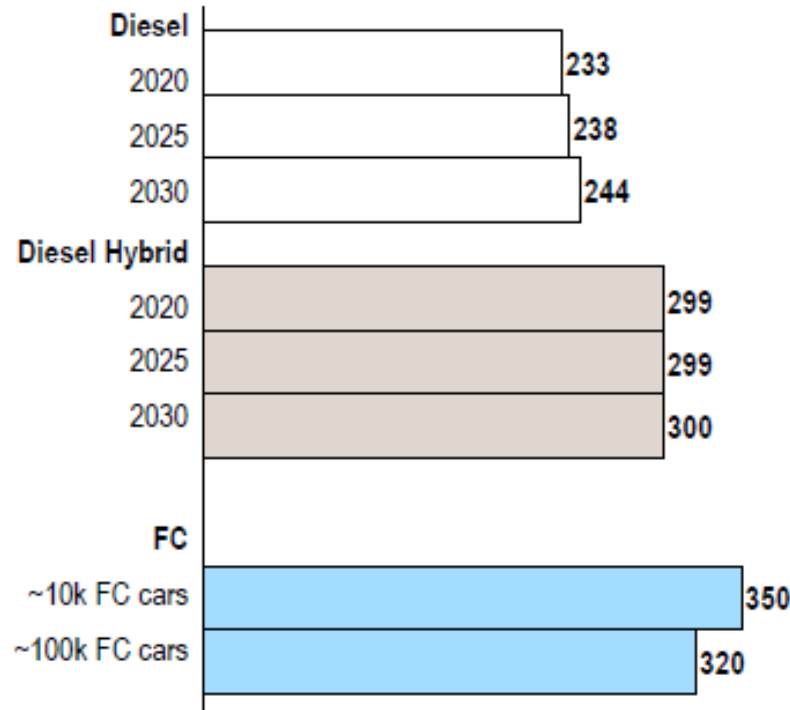
Kostenentwicklung (TCO) für Fahrzeugantriebe



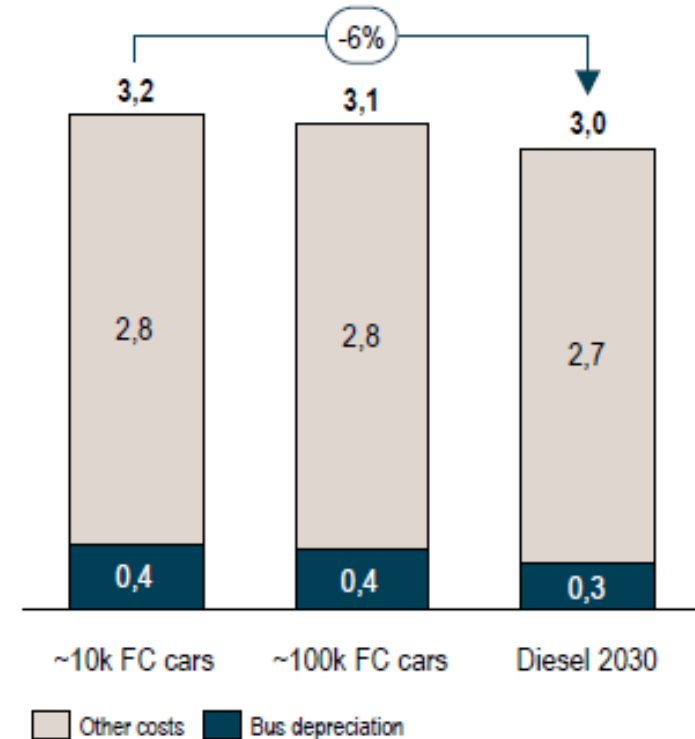
A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis – McKinsey 2010

Kostenanalyse für Busantriebe (Kaufpreis mit TCO)

Purchasing price standard bus ['000 EUR]



TCO standard bus [EUR/ km]



Quelle: FCH JU – Commercialisation Strategy for Fuel Cell Electric Buses in Europe - Roland Berger 2015

Betriebskosten (Personal) dominieren TCO

→ Verfügbarkeit und schnelle Betankung entscheidend

Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie (NIP)

NIP 2.0

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien – Tragende Säulen der Energiewende 2.0

Weiterentwicklung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)

Meilensteine bis 2025

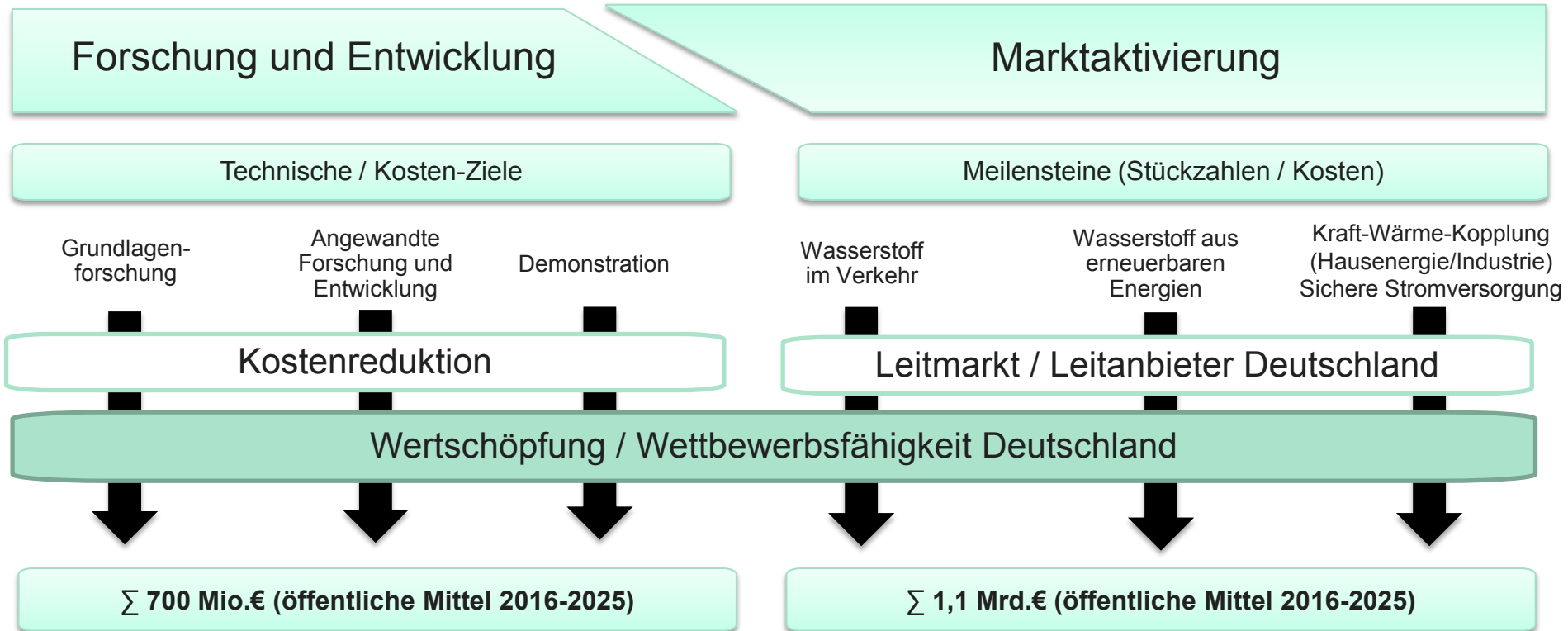
- Brennstoffzellen für elektrische Fahrzeugantriebe und Wasserstoff-Infrastruktur für eine flächendeckende, emissionsfreie Mobilität, mit
 - bundesweit mehr als 500 öffentlichen Wasserstofftankstellen,
 - über eine halbe Million Brennstoffzellen PKW auf der Straße und
 - 2.000 Brennstoffzellenbussen im Linienbetrieb des ÖPNV im Einsatz
- Wasserstoffherzeugung aus Erneuerbaren Energien und Integration in das Energiesystem als Bindeglied zwischen nachhaltiger Mobilität und Energieversorgung
 - 1.500 MW Kapazität Elektrolyseure zur Erzeugung von Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien
 - Definition und Umsetzung erfolgreicher Geschäftsmodelle für Power to Gas
 - Erschließung von Wasserstoff-Speichern um Erneuerbaren Strom zu speichern
- Brennstoffzellen für die stationäre Energieversorgung mittels dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung in der Haus- und Gebäudeversorgung, der Industrie sowie eine sichere Stromversorgung etwa bei Behördenfunk, Telekommunikation usw.
 - mehr als eine halbe Millionen Brennstoffzellenheizgeräte in Betrieb
 - mehr als 1.000 MW Brennstoffzellen-KWK-Anlagen in Betrieb
 - mehr als 25.000 sichere Stromversorgungsanlagen installiert



Auszug aus dem Strategiepapier des NOW-Beirats 2013

Fortsetzung NIP 2016 - 2025

Programmatische Struktur



Investitionen der Industrie > 2 Mrd. €

Details zu den Entwicklungsthemen: siehe Maßnahmenkatalog des NOW Beirats 2016

Fazit

- Brennstoffzellen-Antriebe sind prädestiniert für den innerstädtischen Verteilerverkehr und ÖPNV (Wirkungsgrad & Emission, Flexibilität in der Nutzung)
- Synergien zu Pkw nutzen (Technologieentwicklung und Kostenreduktion)
- Wasserstoff-Infrastruktur (H₂-Tankstellen) und Betankungszeit sind entscheidend für die Marktakzeptanz

Energiewandel bringt Strukturwandel



Mercedes Benz F-Cell World Tour – March 7, 2011

Vielen Dank für Ihr Interesse!

>>> *Safe-the-Date* <<<



UECT 2016

Ulm, Germany

July 20-21, 2016

Topic 2016:
“Lifetime & Safety of
Electrochemical Energy Technologies”

www.uect.de