



**unw**

Ulmer Initiativkreis  
nachhaltige  
Wirtschaftsentwicklung e.V.



**Handwerkskammer  
Ulm**



lokale agenda  
**ulm 21**

# Klimaschutz durch Azubis im Handwerk (KlimAH)

Das Projekt wird gefördert aus Mitteln der Glücksspirale des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft

Gefördert durch die  
**GlücksSpirale**



**Baden-Württemberg**  
MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



# Grundlagen Brennstoffzellen



...eines Morgens auf dem Weg zur Arbeit:



Stellen Sie sich vor:

Sie möchten noch schnell tanken  
und finden diese Situation vor:



ESSO - Tankstelle in Ulm am Hindenburgring am 2. Mai 2011. Nach Ostern war Benzin und Diesel weitgehend ausverkauft.

WBZU e.V.

Ich konnte tanken. Gas kommt per Pipeline.





# Umweltfreundlichkeit der Erdgasfahrzeuge



TELEFON 013-20 80 60

SVENSK BIOGAS ÖREBRO GUSTAVSVIK  
GUSTAVSVIKSVÄGEN 4  
S-702 22 ÖREBRO  
ORG.NR :5560348228

\*\*\*\*\* KVITTO FÖR TANKNING \*\*\*\*\*

2010/08/16 16.59

STATION : 274  
KVITTO Nr : 0117803

TANKAT PÅ PUMP 2

VOLYMBiogas : 18,27 Nm3  
PRIS : 11,59 KR/Nm3

TOTALT BELOPP : 211,75 Kr

VARAV MOMS25,0% 42,35 Kr

ORG.NR :5560348228

BUTIKNR :456319

KORTNR : \*\*\*\* \* 0238

GILT.TID 1307

TRANSTYI:Köp

BELOPP :SEK 211,75

KONTR.NR:055364 PERSONLIG KOD

REFNR :330274016719

SPARA KVITTOT

2010-08-16 16 55

33027401 DA1 000 07 SP

Biogas – saubere Antriebskraft  
BIOGAS- REN DRIVKRAFT!!



Quelle. P.Pioch, WBZU

Erdgas ist umweltfreundlich.

In Zukunft können wir Biogas verwenden, was besonders umweltfreundlich ist.



Quelle. Wikipedia

Der Twike – etwas für Individualisten. Nicht für die Masse.



**Und nun....**

**Sehr alternative Antriebe.....**



TÜV  
geprüft!!!

Quelle. [www.gengas.se](http://www.gengas.se)



Helena och Lars gillar att åka med sin gengasbil. ”Det är billigt, och så träffar man så många roliga människor”, säger de.

Quelle: Husvagn & Camping 7/03

Helena und Lars lieben es mit ihren Holzvergaserauto zu fahren. „Das ist billig, und dabei trifft man so viele lustige Menschen“, sagen sie.

(Die beiden fahren wöchentlich die Entfernung von 270 km zwischen Haus und Sommerhaus)

Quelle. [www.gengas.se](http://www.gengas.se)



## Grundlagen Brennstoffzellen

Dipl. Ing. Peter Pioch

1. Funktion und Aufbau eines PEFC-Stacks
2. Komponenten und Funktion eines Brennstoffzellen-Systems
3. Übersicht Brennstoffzellen-Typen
4. Kennlinien und Kenndaten: Strom, Spannung, Leistung, Wirkungsgrad, U-I Kennlinie
5. Mobile Anwendungen

# **1. Funktion und Aufbau eines PEFC-Stacks: Elektrolyt, GDL, Bipolarplatte**



Bildquelle:  
englische Wikipedia

## Geburt der Brennstoffzelle

- **1839:** Die Entdeckung der Brennstoffzelle durch Sir W. Grove

## Renaissance der Brennstoffzelle: Raumfahrt

- **60er Jahre:** Entwicklung und Einsatz Apollo-Programm
- **80er Jahre:** Entwicklung und Einsatz für Space-Shuttle-Programm

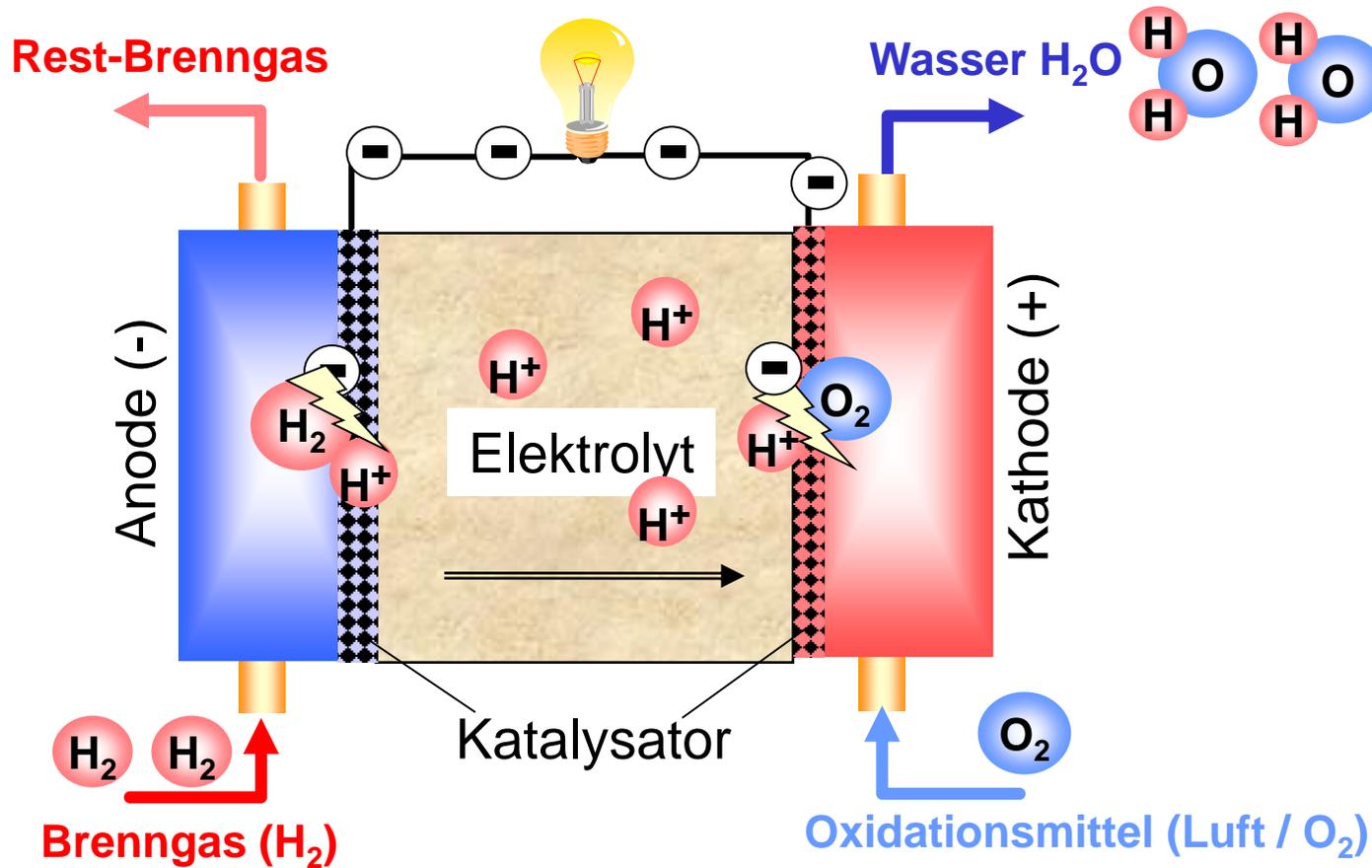


Bildquelle: NASA,  
gemeinfrei

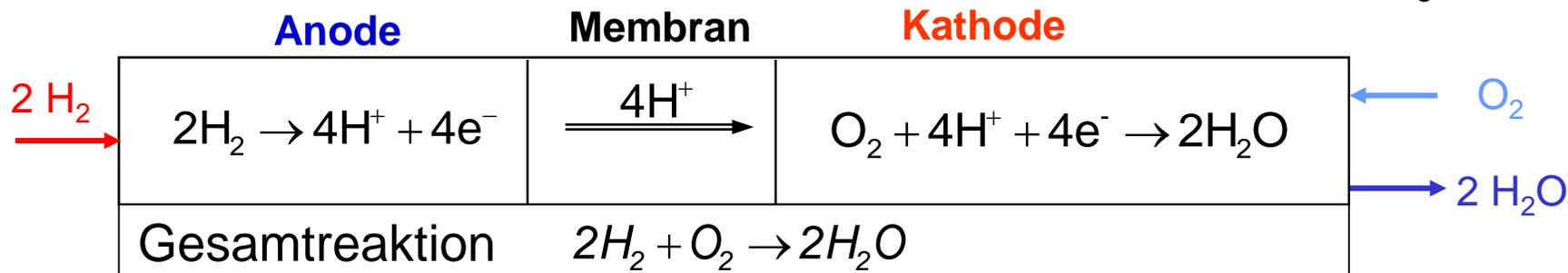


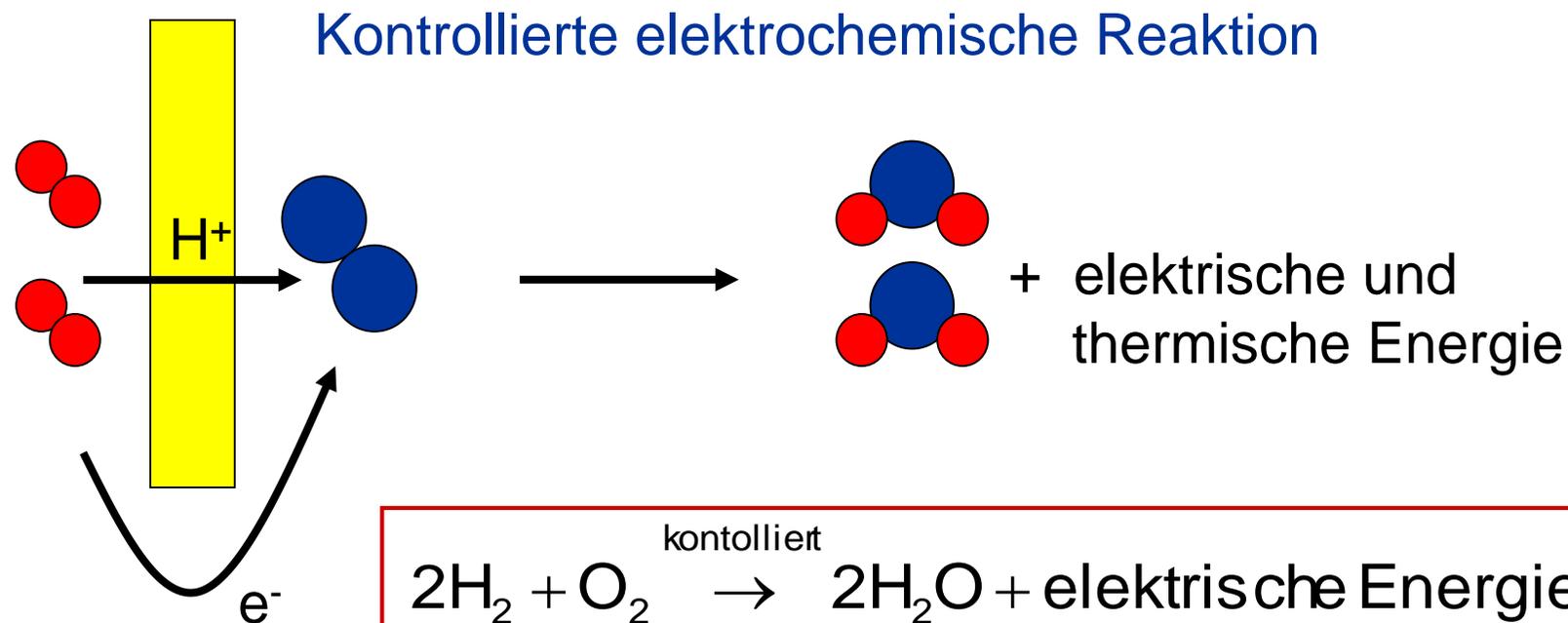
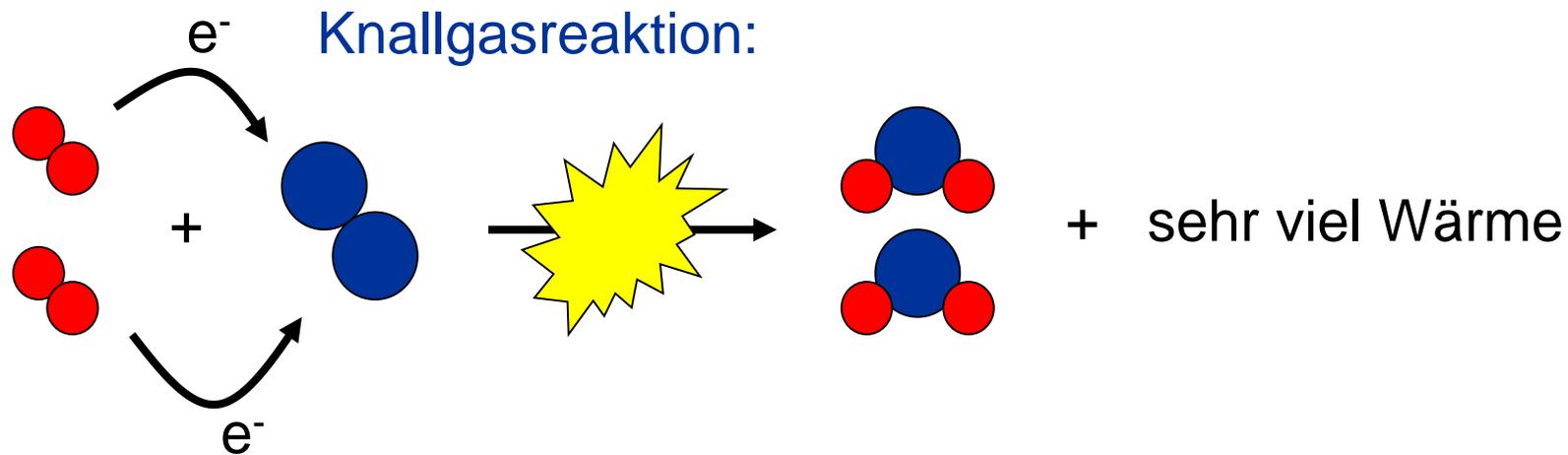
- Seit ca.1990: Wiederentdeckung der Brennstoffzelle
- Seit ca.2000: Prototypen und Vorserienprodukte
- **Derzeit** stehen bereits kommerziell erhältliche Produkte zur Verfügung. Andere stehen vor der Markteinführung.

			
Direktmethanolzelle	Unterbrechungsfreie Stromversorgung	PKW	Hausenergieversorgung



Quelle: eigene Darstellung (T.Aigle, WBZU)





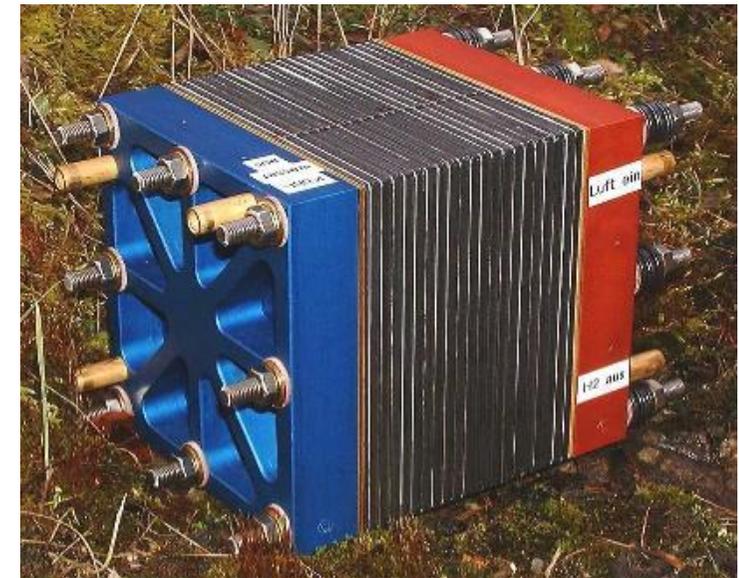
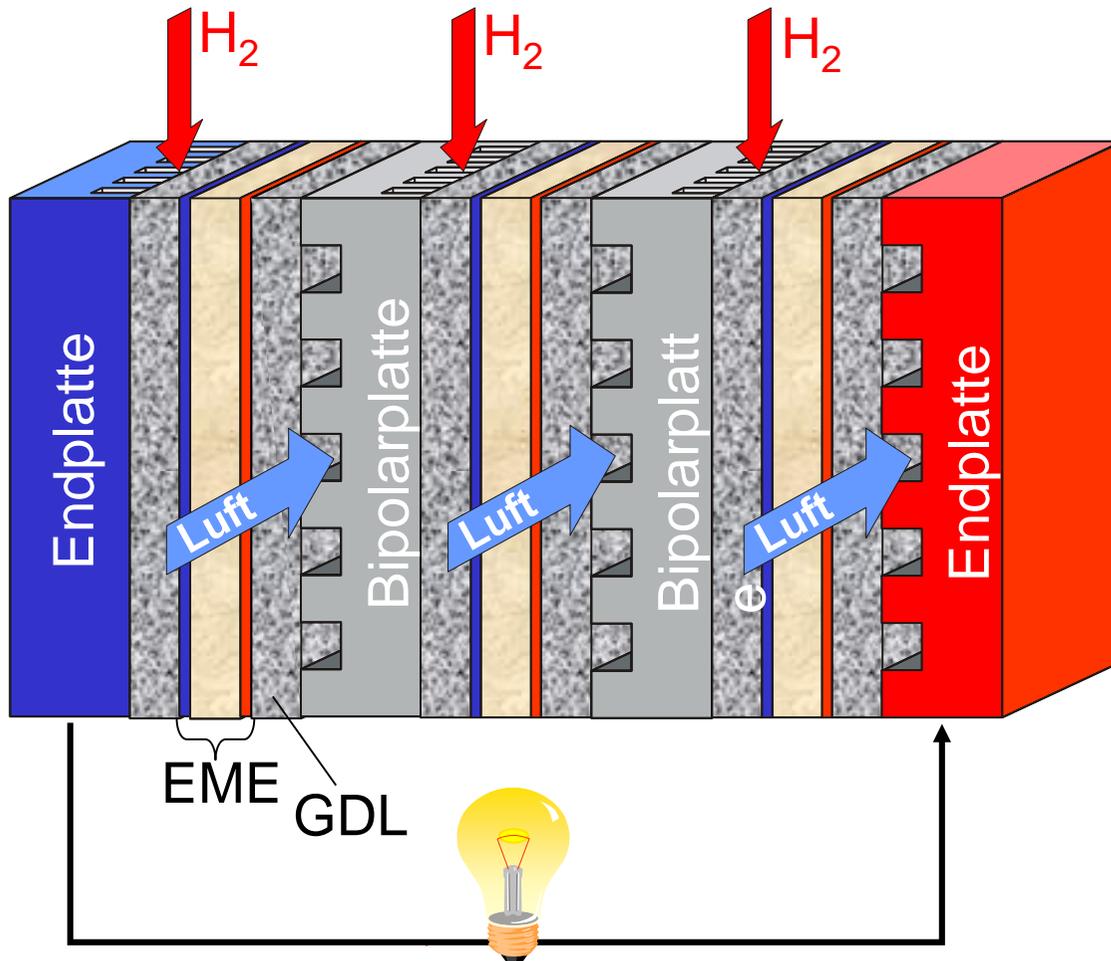


Bild: PEM-Brennstoffzelle (ZSW-Ulm)

Schaltet man mehrere Einzelzellen in Reihe, so spricht man von einem **Brennstoffzellenstack** (Stapel). Die Spannungen der Einzelzellen addieren sich zur Gesamtspannung.



## 1. Elektrolyt (Membran)

Sorgt für den Ionentransport und trennt Anode und Kathode.

## 2. Elektroden

Hier finden die elektrochemischen Reaktionen statt.

## 3. EME

Elektrode Membran Einheit: „Herzstück“ der Brennstoffzelle.

## 4. Gasdiffusionslagen

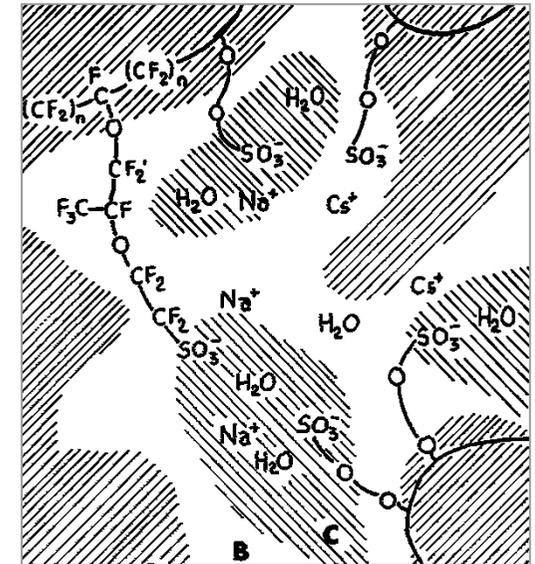
Sind für die Versorgung und Verteilung der Reaktionsgase notwendig.

## 5. Bipolarplatten

Feine Kanäle in den Platten sorgen für die Zufuhr und Verteilung von Wasserstoff und Sauerstoff. Außerdem dienen sie als „Elektronensammler“.

## ■ Anforderungen an den Elektrolyten (hier: Membran):

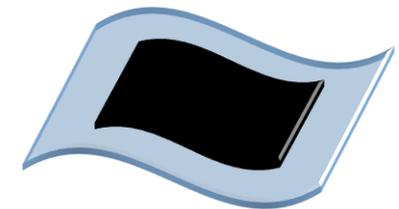
- ⇒ gasdicht
- ⇒ gute Protonenleitfähigkeit
- ⇒ geringe elektrische Leitfähigkeit
- ⇒ stabil gegen Sauerstoff und Brennstoff (z. B.  $H_2$ )
- ⇒ hohe mechanische Stabilität



Struktur von Nafion®

## ■ Material/Eigenschaften:

- ⇒ Membran aus Polyperfluorsulfonsäure
- ⇒ 30 bis 175  $\mu\text{m}$  dick
- ⇒ Protonenleitfähigkeit  $s \approx 0,2 \text{ S/cm}$  (Nafion® 117, 100%RH, 50°C)



- Anforderungen an die Elektroden:
  - ⇒ gute elektrische Leitfähigkeit
  - ⇒ große Kontaktfläche mit dem Elektrolyten (hohe Oberfläche)
  - ⇒ gute Transporteigenschaften für Gase
  - ⇒ gute Transporteigenschaften für Ionen ( $H^+$ )
  - ⇒ gute katalytische Eigenschaften
  - ⇒ stabil gegen  $H_2$  und  $O_2$
  
- Material:
  - ⇒ Anode: Pt/Ru ( $0,4 \text{ mg/cm}^2$ ) auf Kohlenstoff
  - ⇒ Kathode: Pt ( $0,4 \text{ mg/cm}^2$ ) auf Kohlenstoff

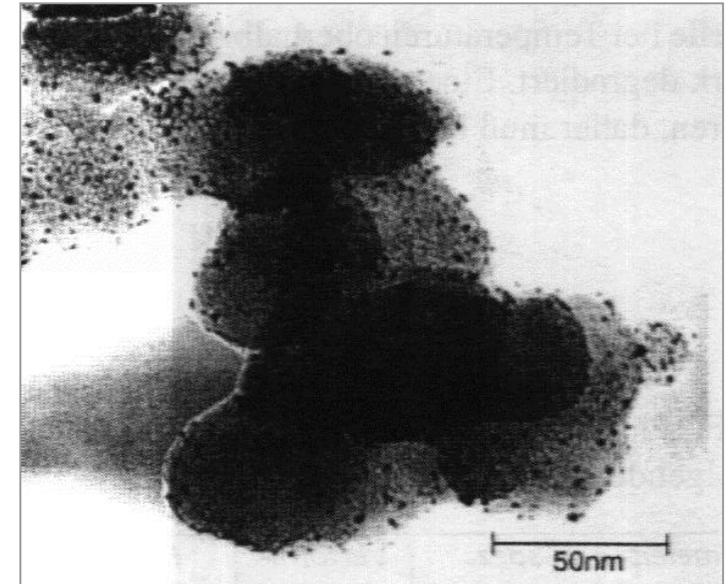


Bild: REM Aufnahme einer Elektrode (ZSW-Ulm)

### 3. Elektroden Membran Einheit (EME)

Verbindung der Membran mit den beiden Elektroden

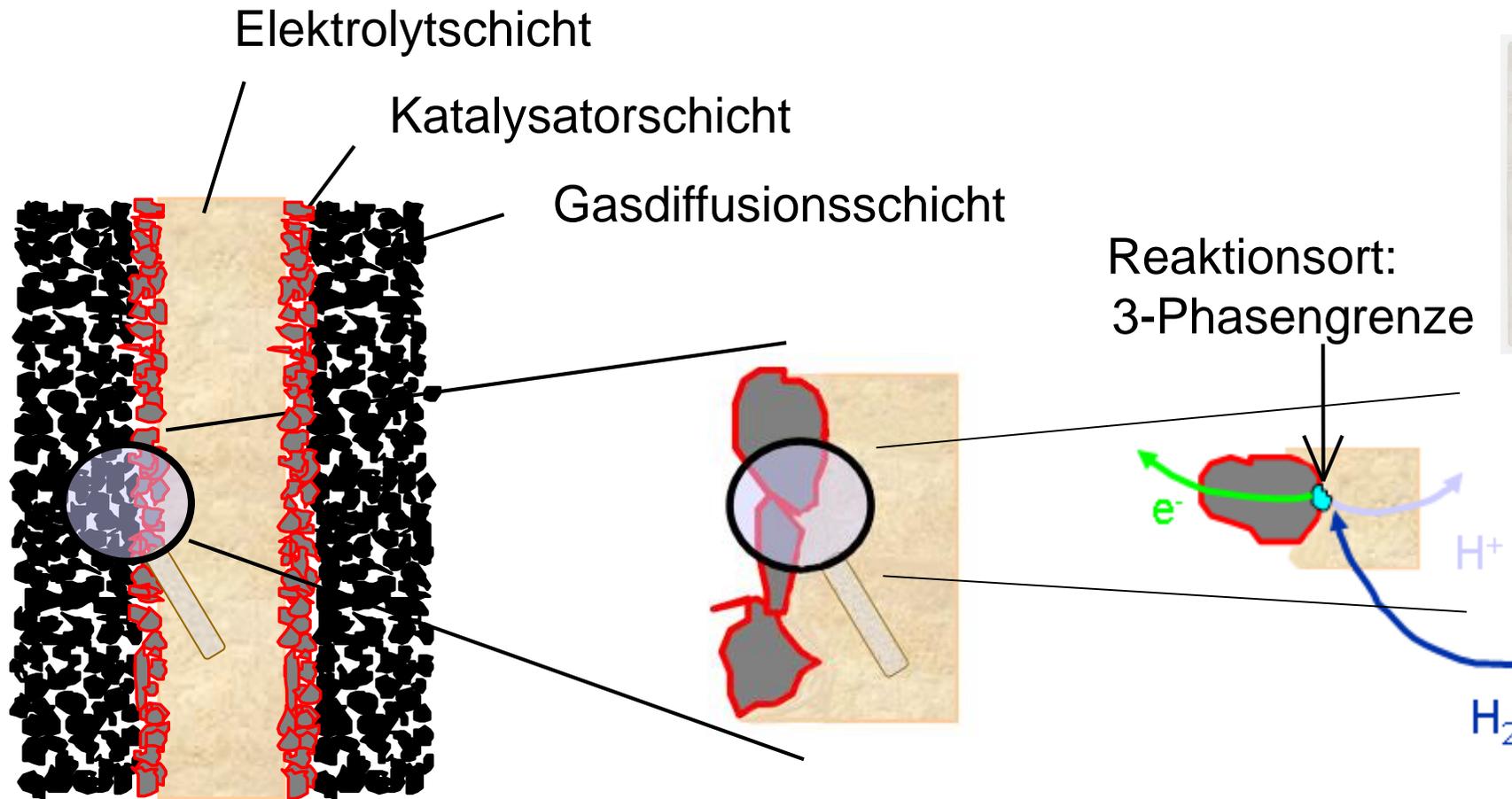


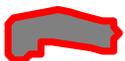
Photo einer EME



Kohlepartikel



Katalysatorpartikel  
(z. B. Pt 1,5-5 nm)



katalysatorbelegte Kohle



Polymerelektrolyt



## 4. Gasdiffusionslage (GDL)

- Anforderungen an die Gasdiffusionslage (GDL):
  - ⇒ gute Transporteigenschaften für Gase
  - ⇒ „Bereitstellung“ von Wasser an der Anode
  - ⇒ Abtransport von Reaktionswasser an der Kathode
  - ⇒ gute elektrische Leitfähigkeit

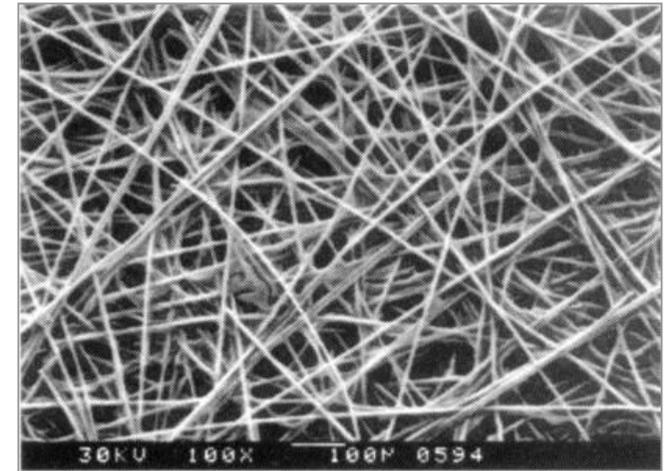


Bild: REM Aufnahme einer GDL (ZSW)

- Material:
  - ⇒ graphitisiertes Papier
  - ⇒ hydrophobisiert (tefloniert, Belegung ca. 25%)

# 5. Bipolarplatte

## ■ Anforderungen an die Bipolarplatten:

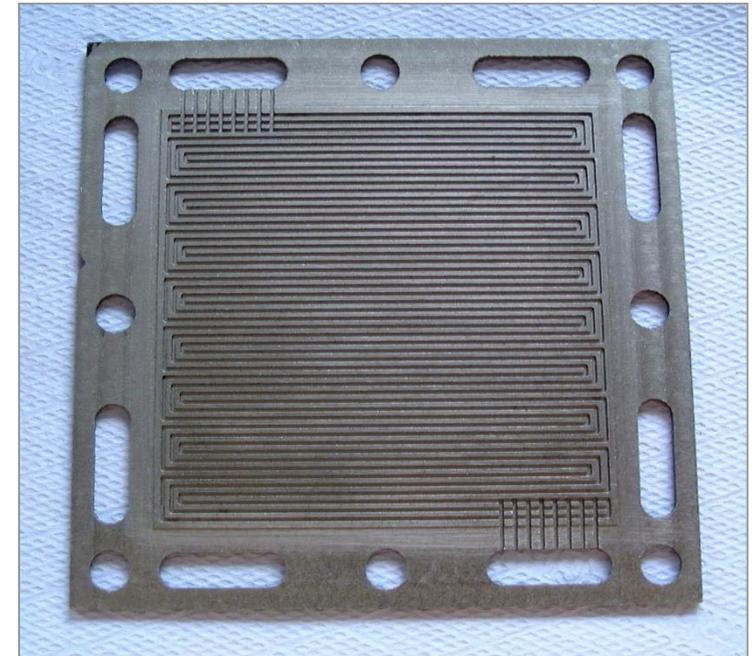
- ⇒ gasdicht
- ⇒ gute elektrische Leitfähigkeit
- ⇒ stabil gegen Sauerstoff und Brennstoff
- ⇒ mechanische Stabilität
- ⇒ flächige Zuführung der Reaktionsgase an GDL

## ■ Material/Eigenschaften:

- ⇒ Graphit-Composit-Thermoplast
- ⇒ gute chemische Stabilität
- ⇒ geringe Material- und Fertigungskosten
- ⇒ Mäander- oder Netz-Flowfield

## ■ Alternativen:

- ⇒ Graphit
- ⇒ Edelstahl
- ⇒ Aluminium
- ⇒ Titan



**Bild: Graphit-Composit BBP (ZSW-Ulm)**

## **2. Komponenten und Funktion eines Brennstoffzellen-Systems**

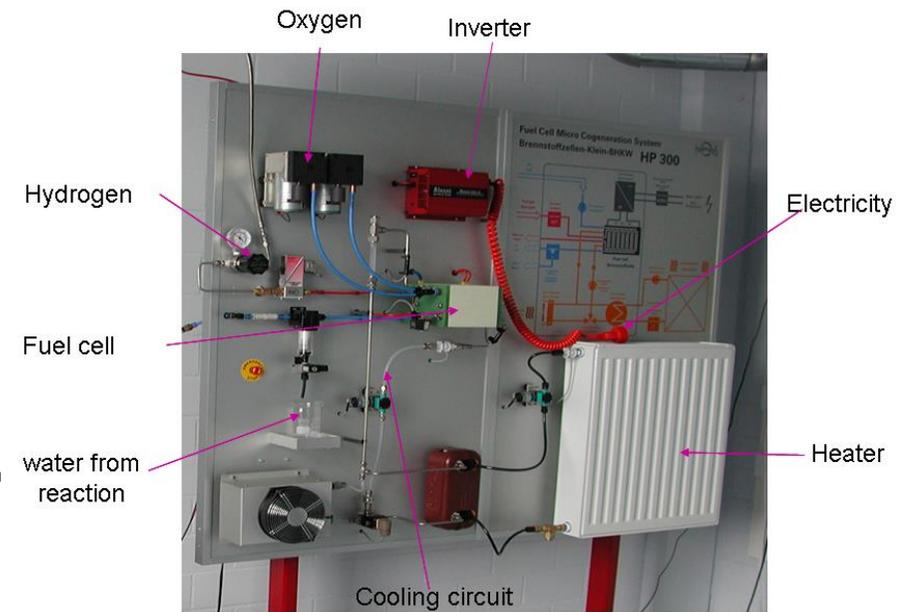
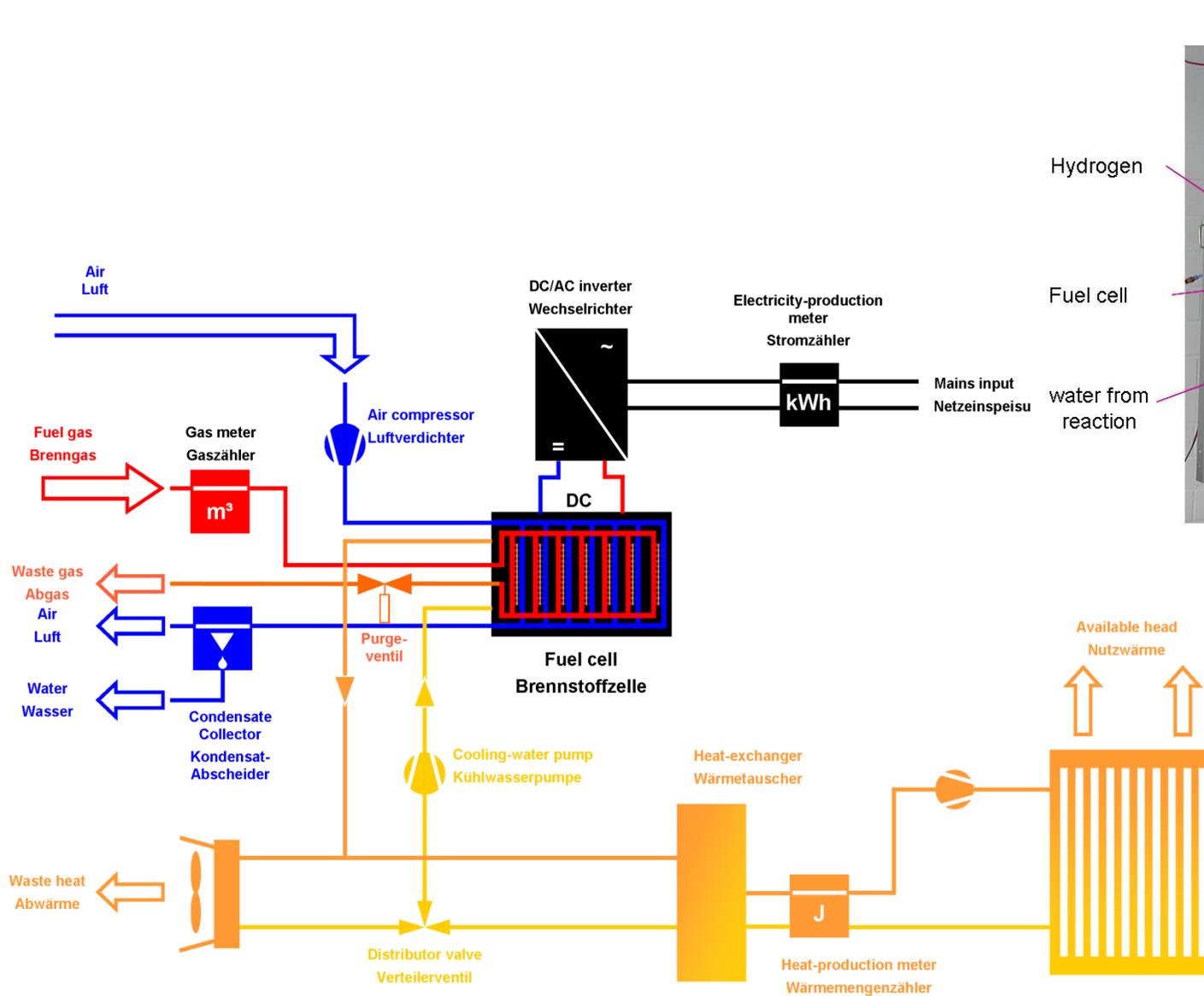


Bild: Labor WBZU (Heliocentris HP300)

Quelle: Fa. Heliocentris / P. Pioch

### **3. Übersicht Brennstoffzellen-Typen**



# Eigenschaften Brennstoffzellen-Typen

	AFC	PEFC DMFC	PAFC	MCFC	SOFC	
Temperatur	niedrig	$<100^{\circ}\text{C}$		bis $1000^{\circ}\text{C}$		
Kat. Material	edel	Platin			Metalle	Weniger edel
Gasanforderung	Reinstgase	$4-5.0 \text{ H}_2$			$\text{C}_n\text{H}_m$	Weniger rein
Zell-Wirkungsgrad	niedrig	40-50%		50-60%		
System-komplexität	hoch	Reformer			Interne Ref.	niedriger
Start-Up-Time	sofort	Sekunden			Stunden	hoch
Dynamik	hoch					niedrig

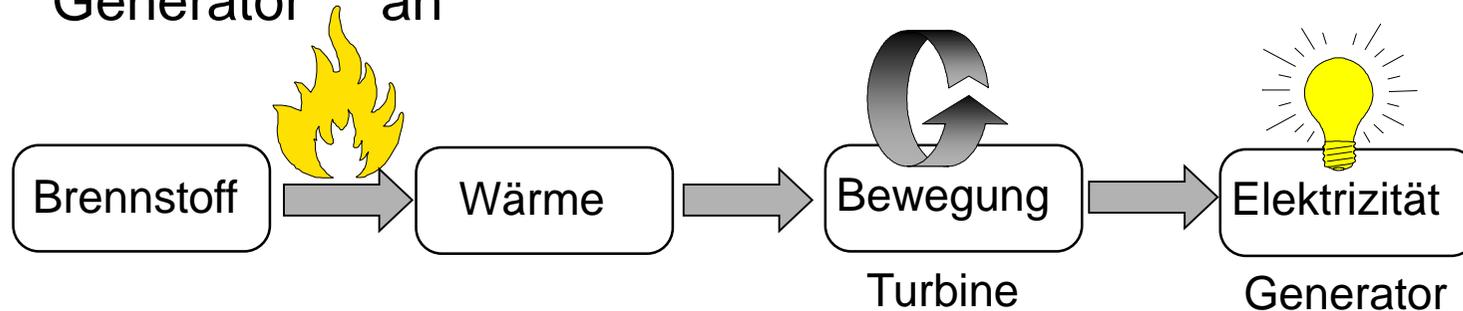
# Welcher Typ für welche Anwendung?

Type	Electrolyte	Temperature	Application		
<b>AFC</b>	Alkaline FC /	Caustic Potash	60 -90 °C	space ships, submarines	Low-temperature Fuel Cells
<b>PEFC (PEM)</b>	Polymer-Electrolyte-Membrane FC	Ion con-ducting Polymer	50 -80 °C *until 160°C with HT-PEM	road vehicles, micro-CHP, Submarines, portable power-units	
<b>DMFC</b>	Direct-Methanol FC	Ion con-ducting Polymer	80-110°C	portable power-units	
<b>PAFC</b>	Phosphoric Acid FC	Phosphoric acid	160-220°C	industrial CHP	High-temperature Fuel Cells
<b>MCFC</b>	Molten Carbonate FC	Molten alkali carbonate	620°C-660°C	industrial CHP	
<b>SOFC</b>	Solid Oxide FC	Ion con-ducting ceramics	800-1000°C	power plants, APU	

## **4. Kennlinien und Kenndaten: Strom, Spannung, Leistung, U-I Kennlinie**

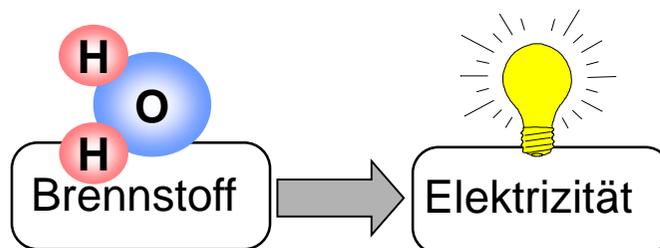
## Warme Verbrennung (Wärmekraftmaschine):

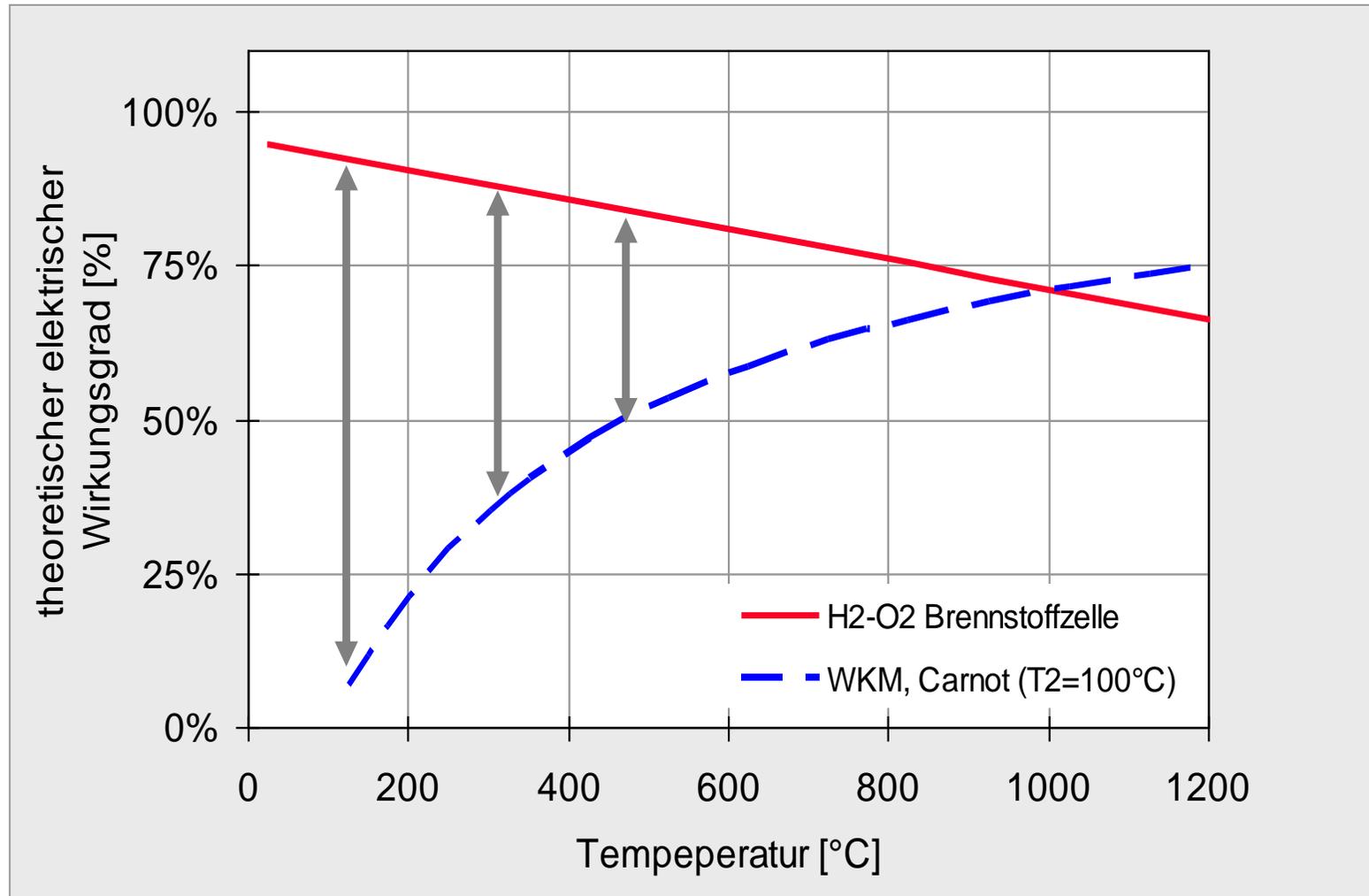
- unkontrollierter Reaktionsverlauf
- die freiwerdende Wärme wird auf ein Arbeitsmedium übertragen (z.B. Wasser, Wasserdampf)
- das Arbeitsmedium durchläuft einen Kreisprozess und treibt eine Turbine mit Generator an



## Kalte Verbrennung (Brennstoffzellen):

- kontrollierter Reaktionsverlauf (keine Flamme)
- direkte Umwandlung von chemischer in elektrische Energie
- Umweg über ein Arbeitsmedium ist nicht notwendig !

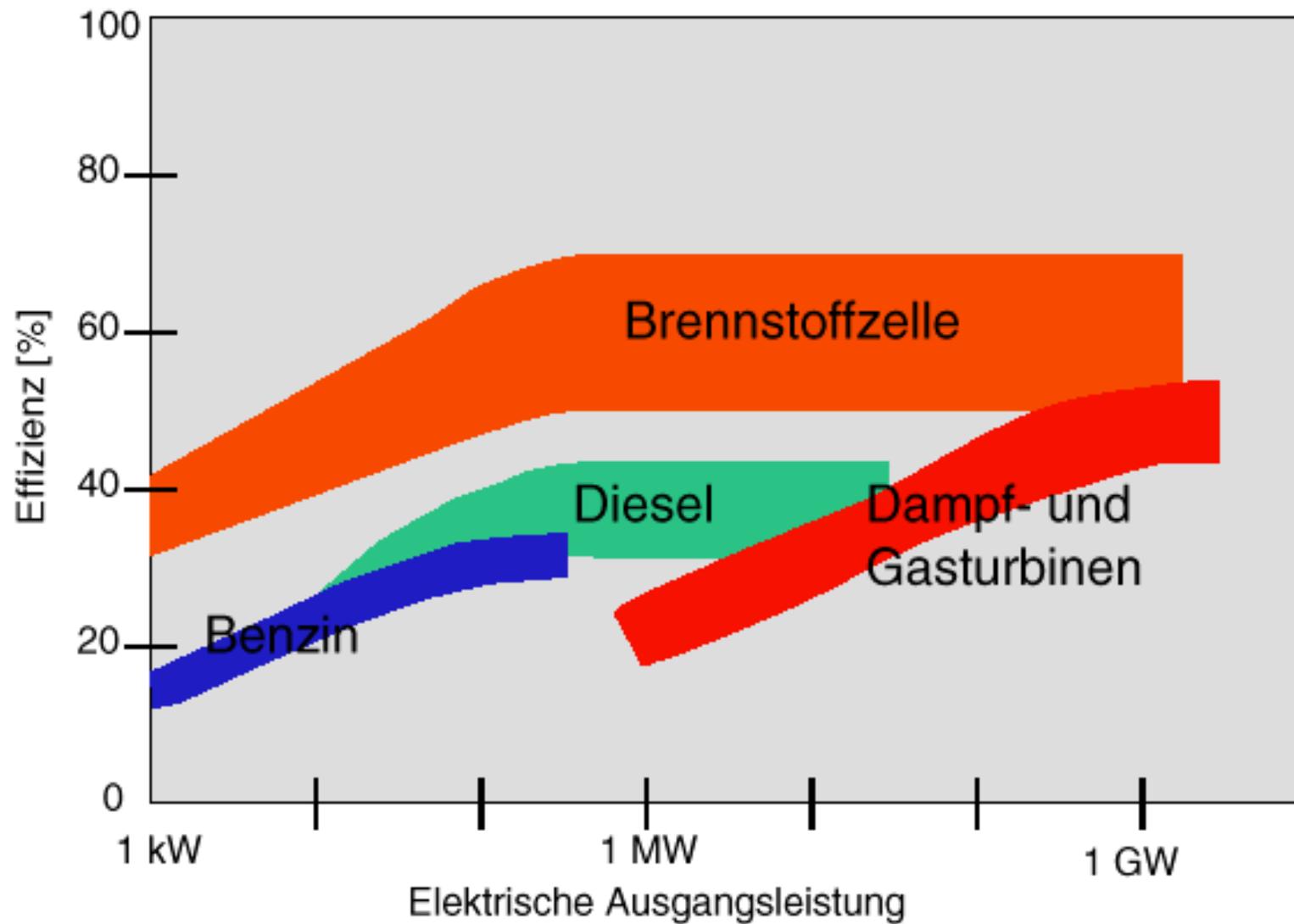




eigene Darstellung

**Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen arbeiten bei einem niederen  
Temperaturniveau schon effizient !**

# Und wie sieht die Praxis aus ?





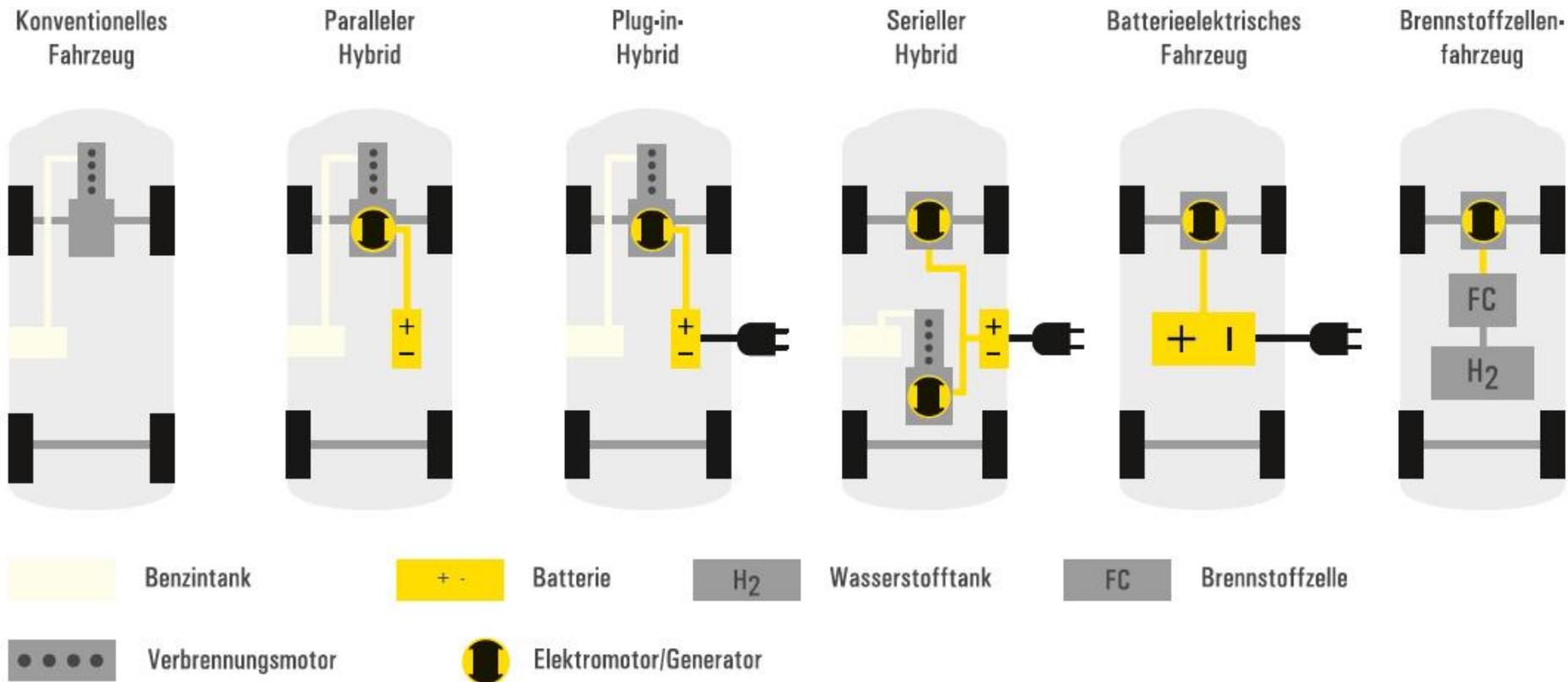
$$\Delta U = \Delta U_{\text{rev}} + \Delta U_N + \Delta U_D + \Delta U_R + \Delta U_{\text{Diff}}$$

eigene Darstellung (T.Aigle, WBZU)

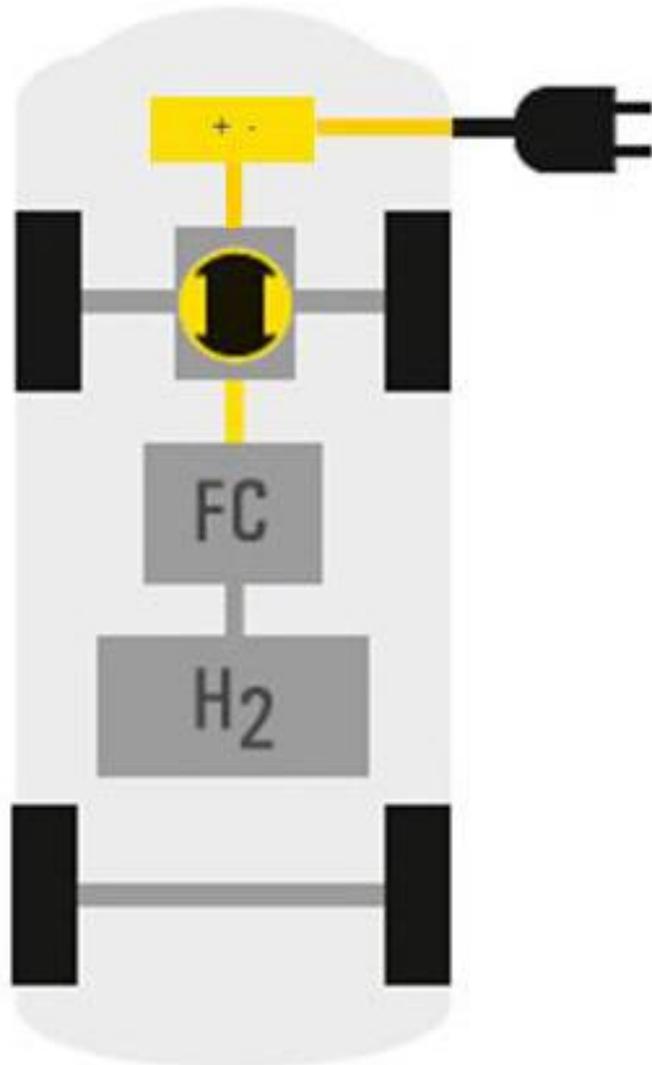
## **5. Mobile Anwendungen**



# Varianten der Hybridfahrzeuge



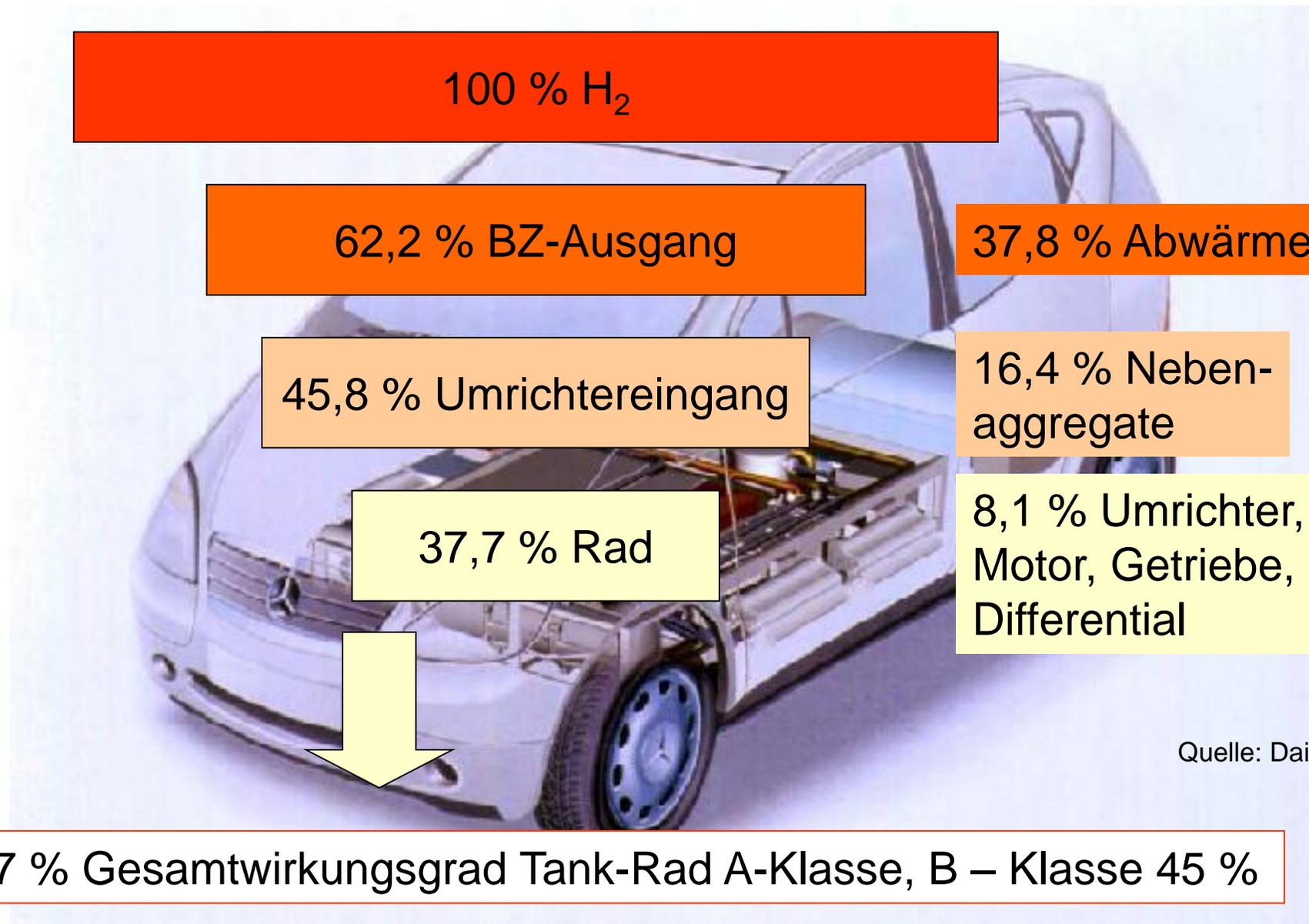
Quelle: e-mobil-bw.de



- Ein Brennstoffzellen Fahrzeug hat eine Batterie für z.B. 50 Fahrkilometer.
- Diese wird für Kurzstrecken - Fahrten zur Arbeit etc. genutzt und nach Verfügbarkeit einer Tankstelle geladen.
- Bei längeren Fahrten wird bereits bei Fahrtbeginn dies der Steuerung vom Auto per Knopfdruck mitgeteilt. Die Batterie wird dann bei 75% SOC als Puffer genutzt und die Brennstoffzelle gestartet.
- Die Brennstoffzelle dient als Range – Extender und erlaubt Reichweiten ähnlich einem Erdgasauto.



# Gesamtwirkungsgrad BZ-Auto (Bsp. Daimler)





A-Class F-Cell

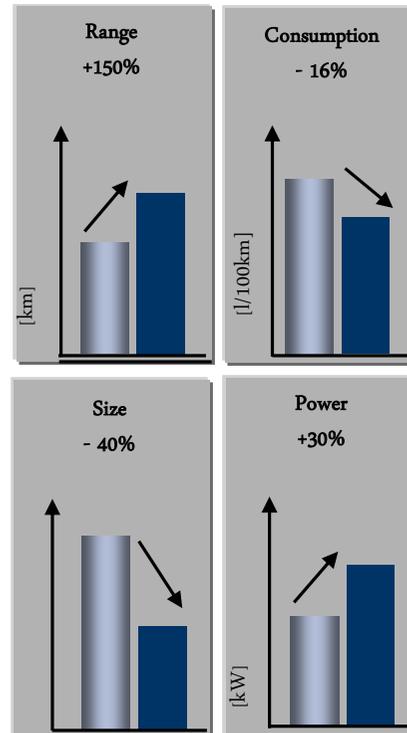
Next generation of the cell-power train:

- Higher stack lifetime (>2000h)
- Increased power
- Higher reliability
- Freeze start ability
- Li-Ion Battery



B-Class F-Cell

Technical Data	
Vehicle Type	Mercedes-Benz A-Class (Long-Version)
Fuel Cell System	PEM, 72 kW (97 hp)
Engine	Engine Output (Continuous / Peak): 45 kW / 65 kW (87hp) Max. Torque: 210 Nm
Fuel	Hydrogen (35 MPa / 5,000 psi)
Range	105 miles (170 km / NEDC)
Top Speed	88 mph (140 km/h)
Battery	NiMh, Output (Continuous / Peak): 15 kW / 20 kW (27hp); Capacity: 6 Ah, 1.2 kWh

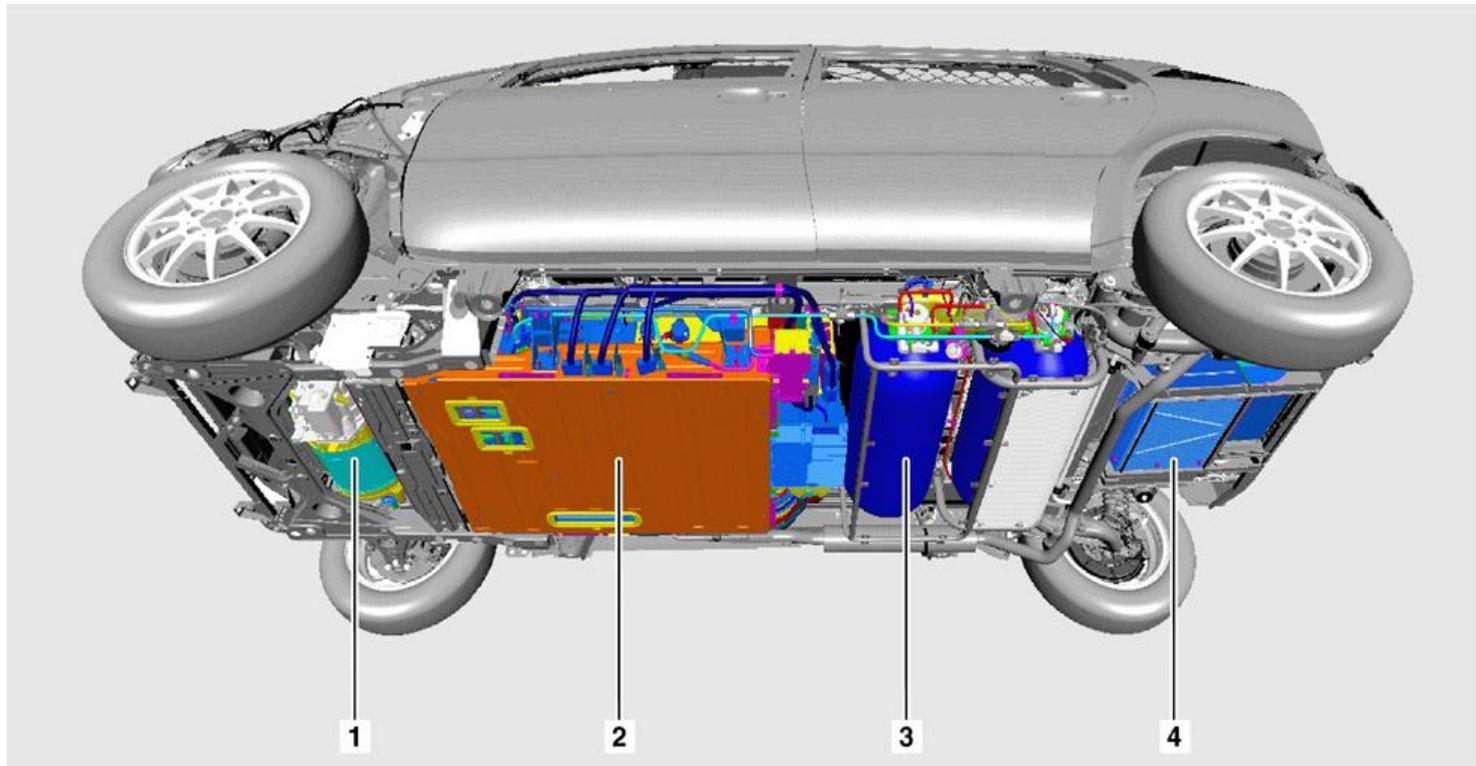


Technical Data	
Vehicle Type	Mercedes-Benz B-Class
Fuel Cell System	PEM, 80 kW (108 hp)
Engine	IPT Engine Output (Continuous/ Peak) 70kW / 100kW (136hp) Max. Torque: 320 Nm
Fuel	Hydrogen (70 MPa / 10,000 psi)
Range	250 miles (400 km)
Top Speed	106 mph (170 km/h)
Battery	Li-Ion, Output (Continuous/ Peak): 24 kW / 30 kW (40hp); Capacity 6.8 Ah, 1.4 kWh



# Komponenten eines H<sub>2</sub> BZ-Fahrzeugs

Beispiel: f-cell A-Klasse von Daimler



Quelle: Stauch 2005

1: Elektromotor

2: Brennstoffzellen-System

3: Druckwasserstoffbehälter

4: Hochspannungsbatterie



**Ein BZ-Fahrzeug ist ein Elektrofahrzeug (keine Verbrennung):  
Neue Anforderung an Hersteller, Zulieferer und Handwerk**



Quelle: [blog.mercedes-benz-passion.com](http://blog.mercedes-benz-passion.com)

Das Bz System ist deutlich kleiner, aber immer noch unterhalb des Fahrers / Beifahrer



Quelle: [blog.mercedes-benz-passion.com](http://blog.mercedes-benz-passion.com)

Die Hochvolt Batterie unterhalb des Kofferraums



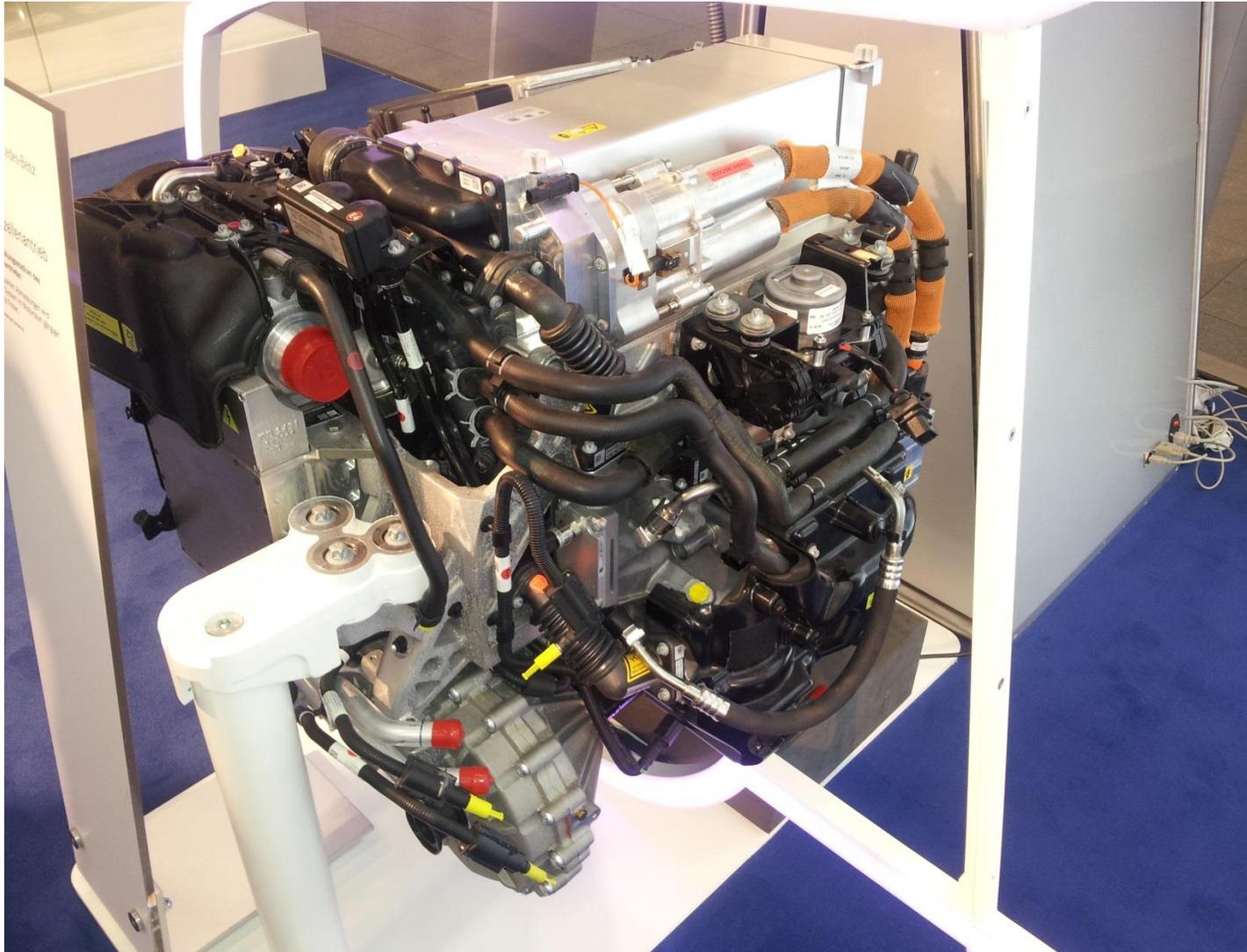
Quelle: [blog.mercedes-benz-passion.com](http://blog.mercedes-benz-passion.com)

Drei 700 bar Tanks zwischen Bz-System und vor der Hinterachse, geschützt gegen äußere Einflüsse



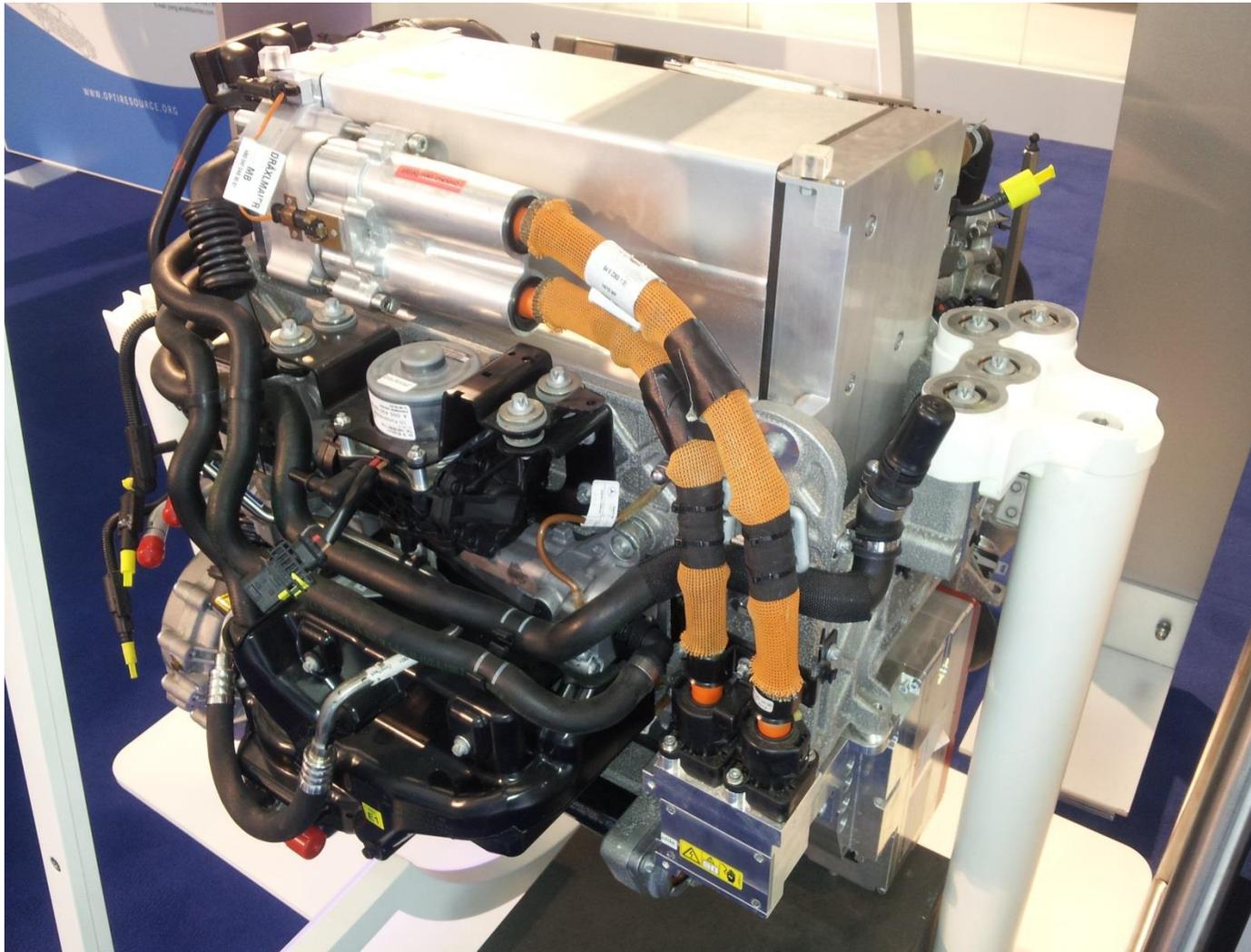
Quelle: [blog.mercedes-benz-passion.com](http://blog.mercedes-benz-passion.com)

Vorne Bordelektronik, Kühlsystem und konventionelle Technik, z.B. Bremssystem.



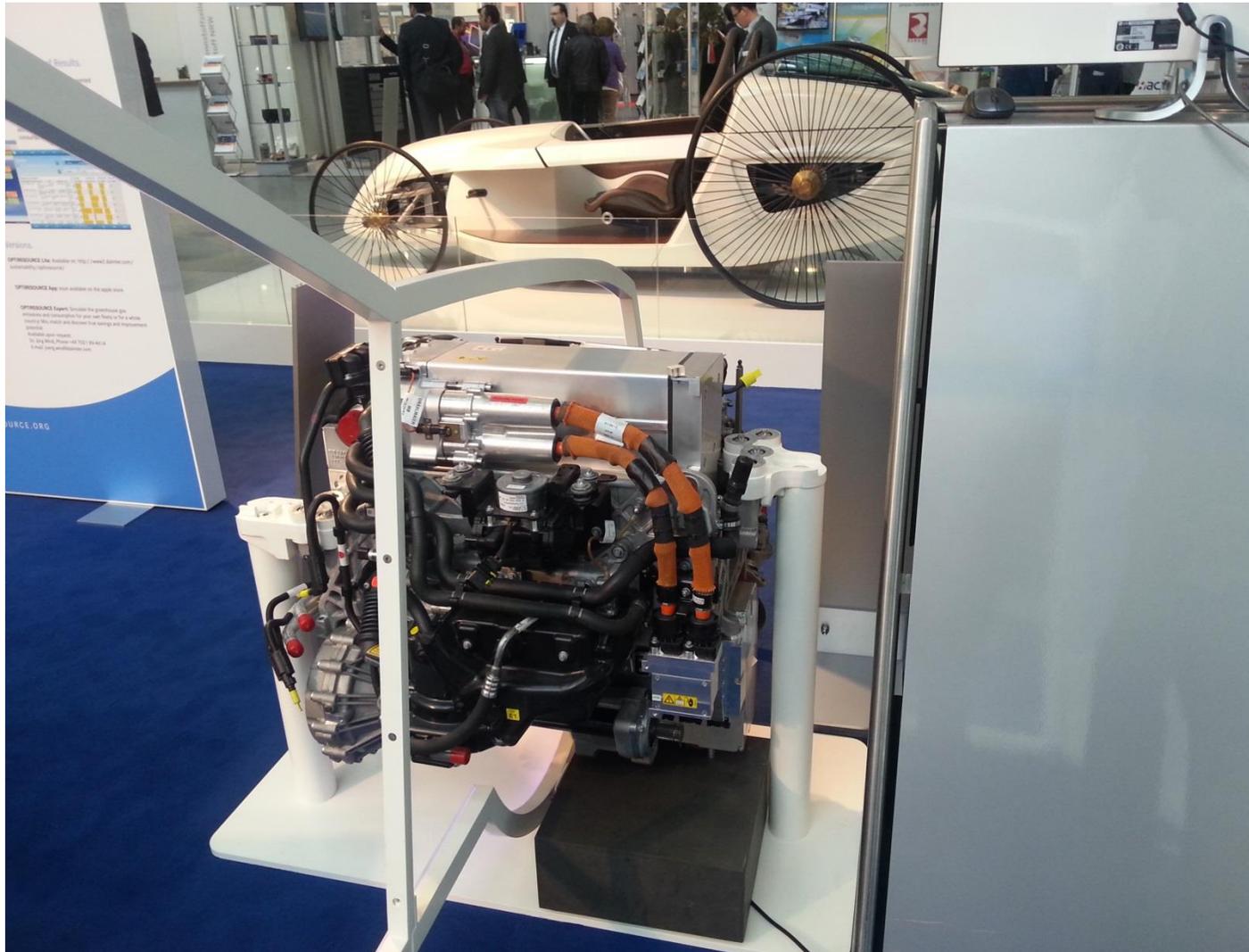
Der Stack hat „handliche“ Ausmaße erreicht. Die Leistung dürfte bei 80 – 90 kW liegen. Die orangenen Kabel führen den Strom ab. Unten ist der Antrieb zu sehen.

Quelle: Fotos bei der World of Energy Solutions, 2014, Stuttgart, Stand Daimler



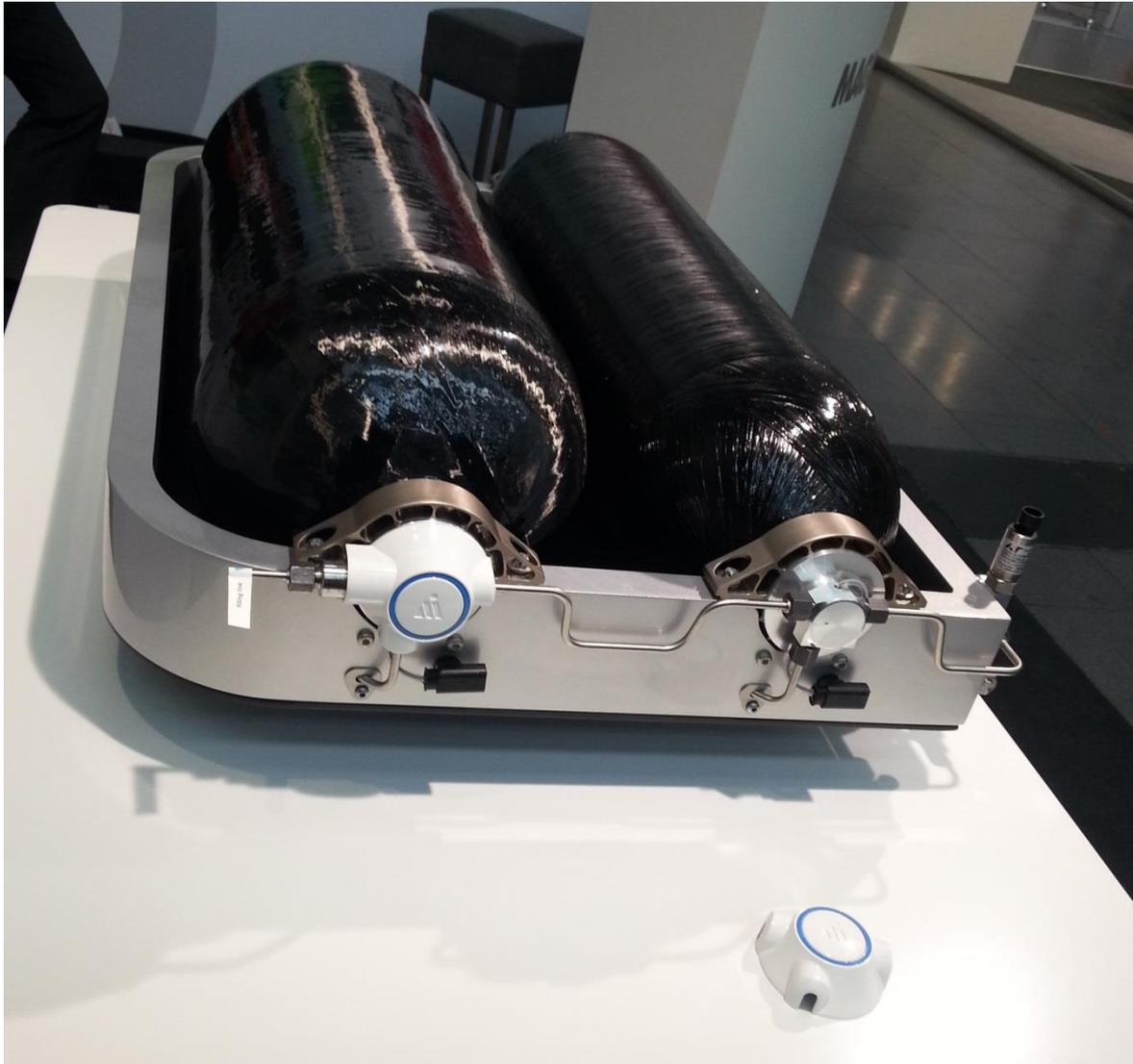
Am unteren Ende der orangenen Kabel der Zugang zur Leistungselektronik.

Quelle: Fotos bei der World of Energy Solutions, 2014, Stuttgart, Stand Daimler



Dieses neue System ist durchaus kompakt und mit einem herkömmlichen Motor vollkommen zu vergleichen.

Quelle: Fotos bei der World of Energy Solutions, 2014, Stuttgart, Stand Daimler



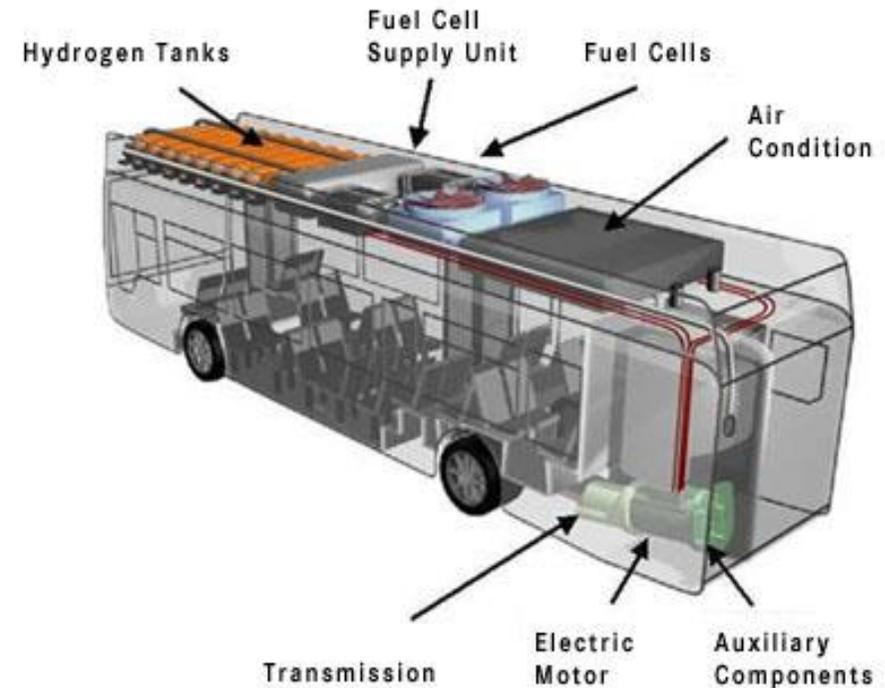
Links ist der Befüllanschluss. Jeder Tank hat einen elektrischen Anschluss für ein NC Ventil. Nur wenn das Bz-System in Betrieb ist, wird das Ventil geöffnet.

Quelle: Fotos bei der World of Energy Solutions, 2014, Stuttgart, Stand Magna Steyr



# Brennstoffzellenbusse

- 27 Citaro-Busse wurden zwischen 2003 und 2005 in 9 europäischen Städten getestet.
- Aktuell Einsatz in Hamburg, Stuttgart
- Stack-Technologie von Ballard:
  - ⇒ Zwei Module “MK902 Heavy Duty“ mit 300 kW
- Tanksystem
  - ⇒ 9  $\text{CGH}_2$ -Behälter mit 350 bar können 1845 Liter speichern.
- Reichweite
  - ⇒ 200 bis 250 Kilometer
- Höchstgeschwindigkeit
  - ⇒ ca. 80 Kilometer



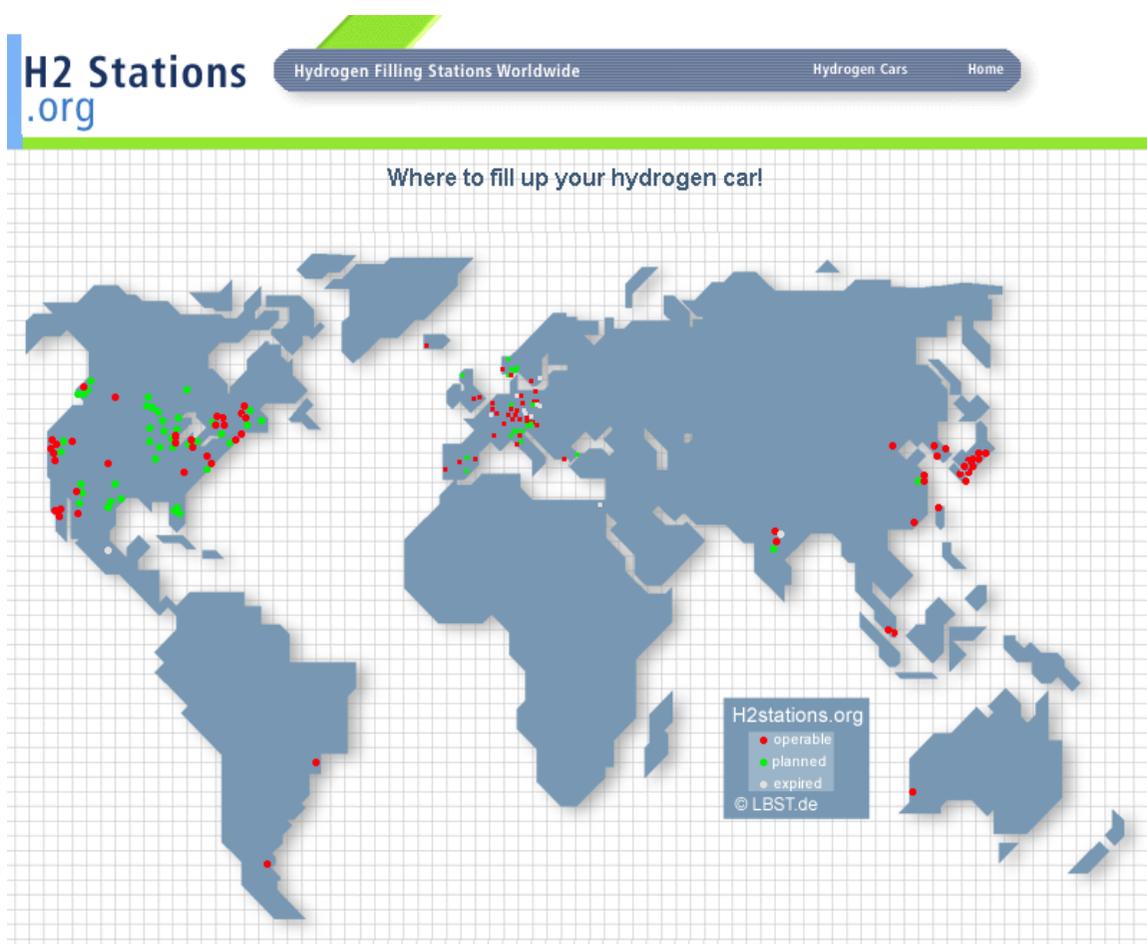
Quelle: Fuel Cell Bus Club 2004



# H<sub>2</sub>-Tankstellen - weltweit



Bilder: H<sub>2</sub>-Tankstelle am Stuttgarter Flughafen

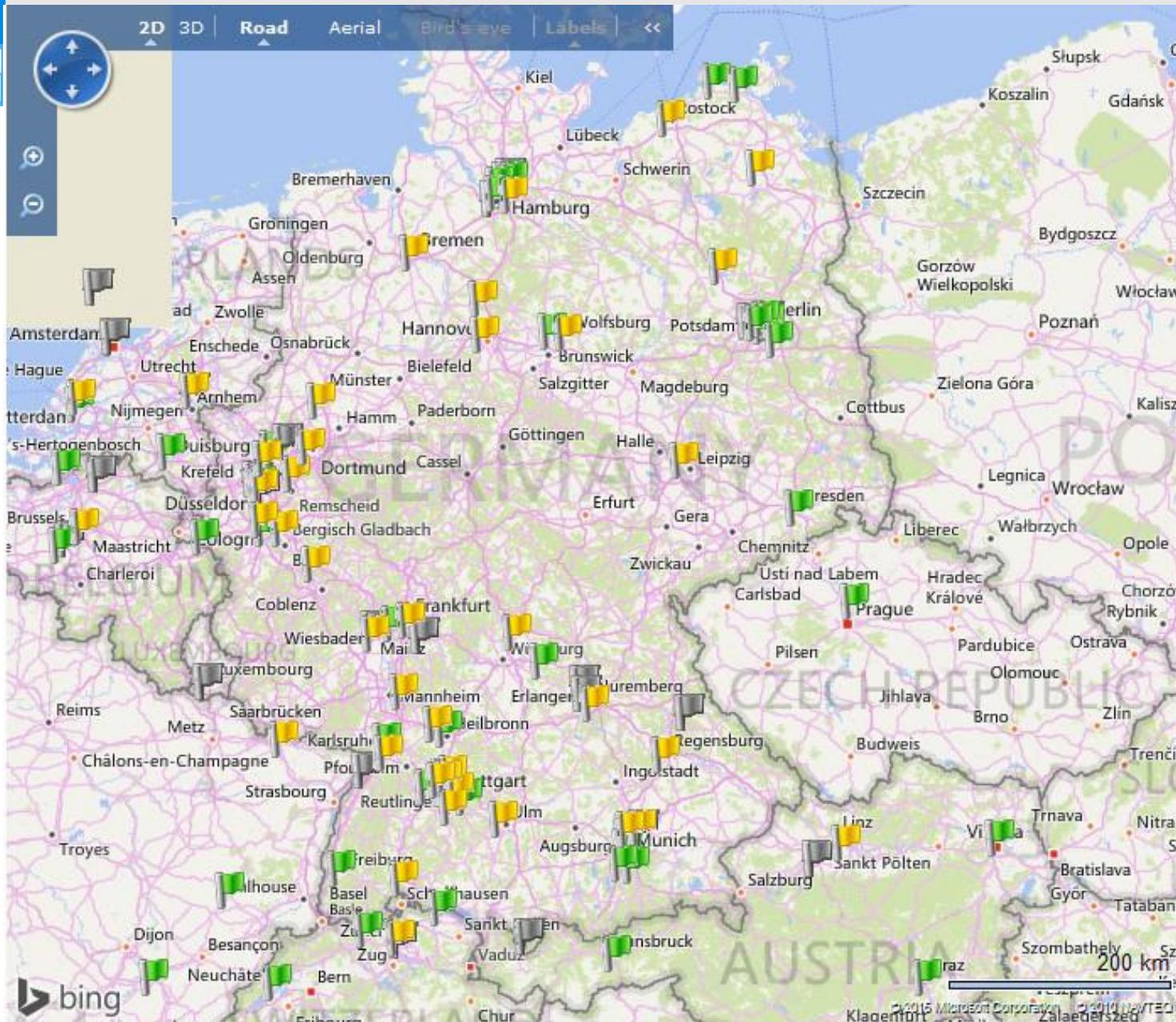


Quelle: H2stations.org (LBST 2011)



**214 Tankstellen weltweit!** Stand März 2016

# H<sub>2</sub>-Tankstellen in Deutschland 25 in Betrieb, 34 geplant



Quelle: H2stations.org (LBST 2016)

## 140 Oslo citizens drove new fuel cell vehicles

About 10.000 people got a chance to see the latest FCEVs brought to Oslo by the EU-project “H2moves Scandinavia”. After a new hydrogen station had been opened on Monday 21st in Oslo, the public was invited to test low-carbon cars to make sure that they offer the same comfort and luxury as more conventional vehicles.

- ⇒ - 4 Mercedes-Benz B-Class F-CELL,
- ⇒ - 2 Hyundai ix35 FCEV and
- ⇒ - 4 Th!nk City Cars with fuel cell range extender

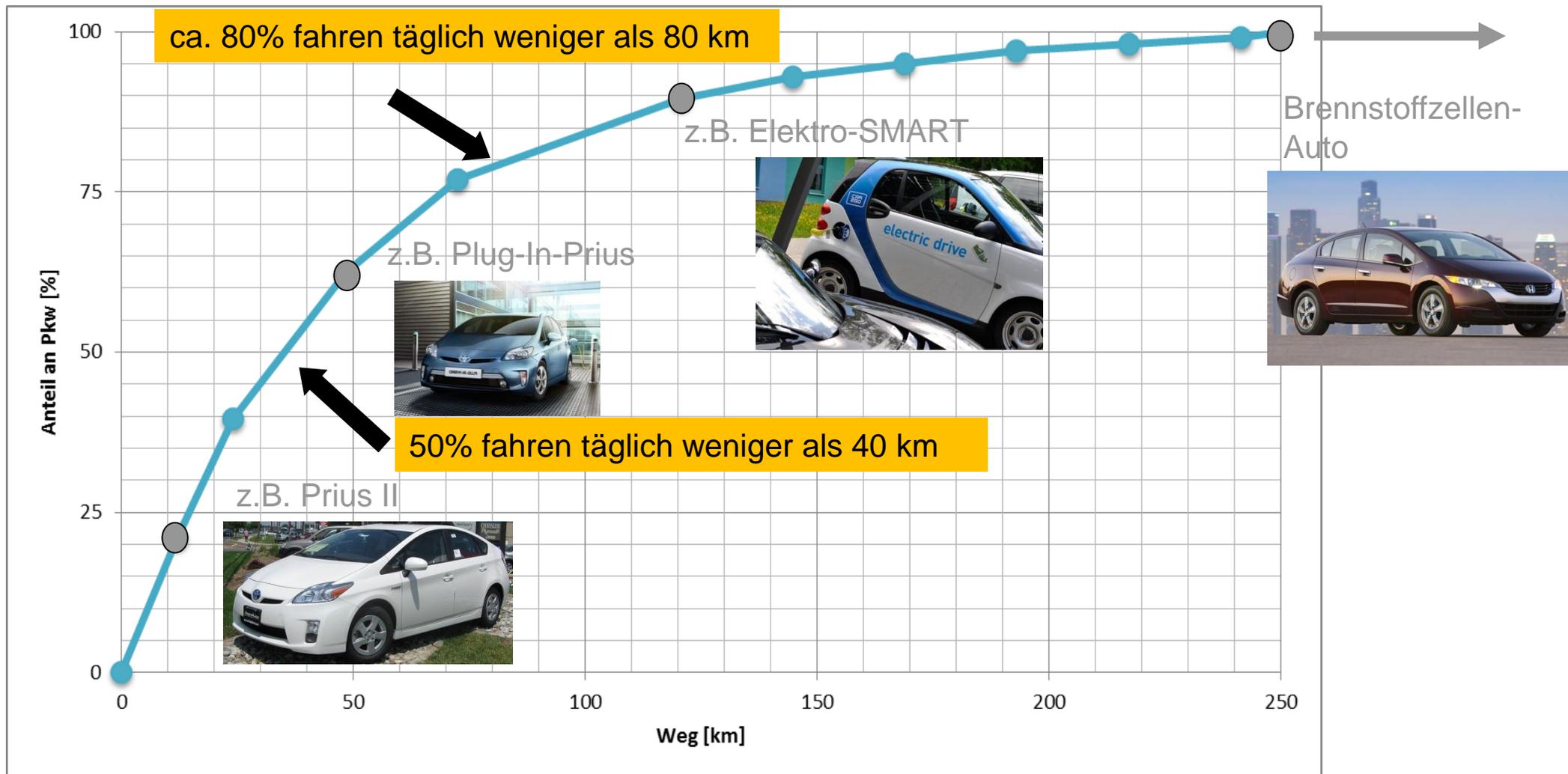
The vehicles were offered for a free test-drive to everyone showing their driver's license on November 26 2011.



Quelle: [www.hyer.eu](http://www.hyer.eu)



# Viele Fahrten mit wenig Kilometern !





# Batterie oder Elektroauto – oder beides?

## Stromproduktion off-shore



Quelle: alpha-ventus

alpha ventus Leistung 60 MW  
Produktion pro Jahr: 220 GWh/a  
off-shore Ausbau geplant: 10 GW  
hochgerechnete Produktion: 36,7 TWh/a

## Autofahren elektrisch mit Batterie oder Brennstoffzelle



Quelle: Mitsubishi



Quelle: Daimler

1 Millionen Autos fahren 15.000 km im Jahr



70% der Strecke mit Batterie

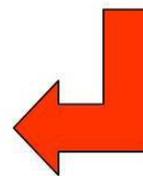


30% der Strecke mit Brennstoffzelle



12 kWh pro 100 km

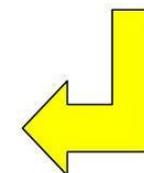
1,26 TWh pro Jahr



1,2 kg Wasserstoff pro 100 km

Strombedarf: 50 kWh/kg Wasserstoff

2,7 TWh pro Jahr



Über 9 Mill. Autos könnten durch die off-shore Stromproduktion betrieben werden.



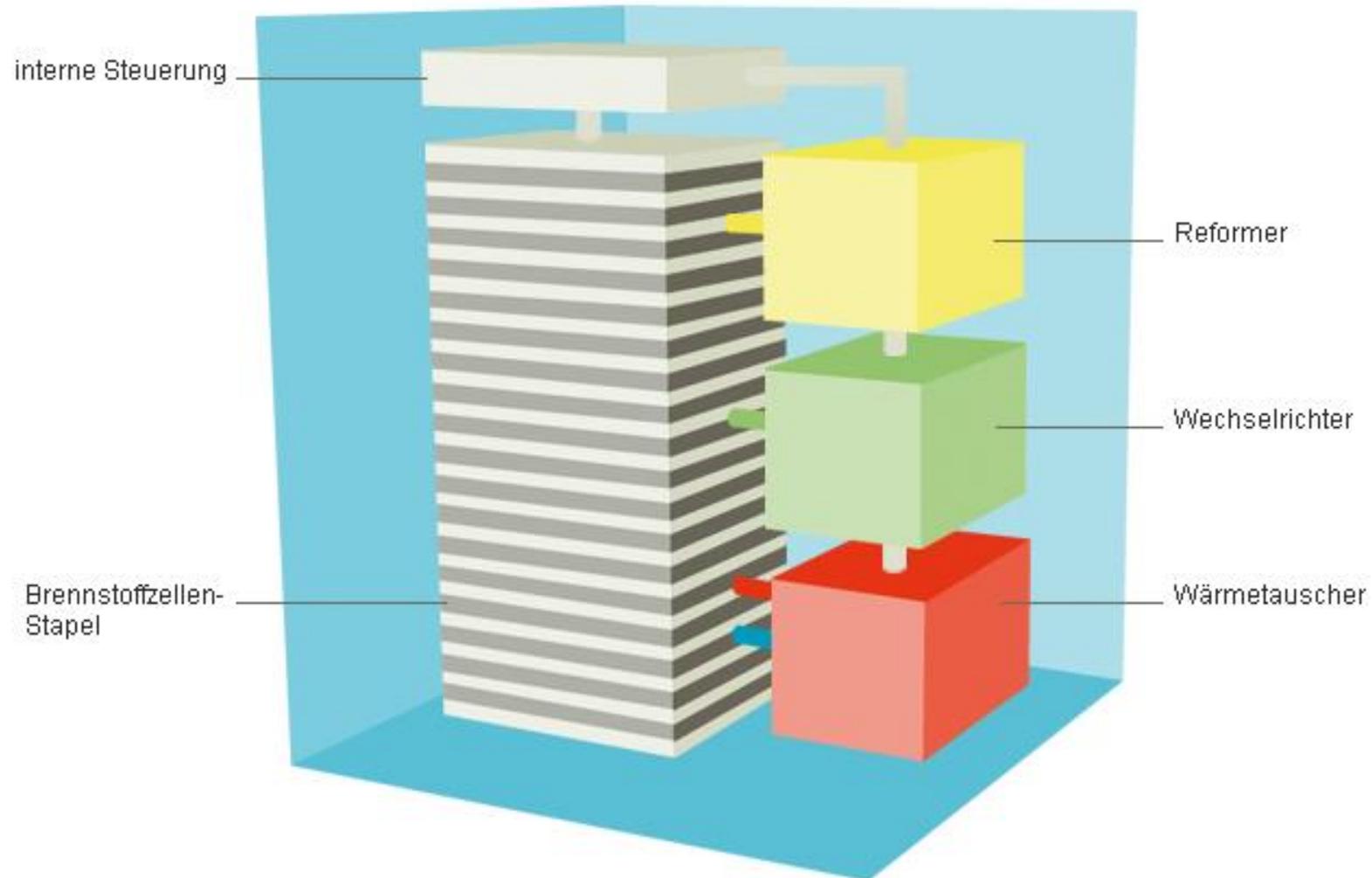
- Modell: B-Klasse F-CELL
- Anzahl: 90
- Antrieb: Brennstoffzelle
- Betankung: gasförmiger Wasserstoff, 700 Bar
- Leistung: 100 kW
- Höchstgeschwindigkeit: 170 km/h
- Reichweite: ca. 400 km



- Honda, FCX Clarity
- Max. Output 95 kW
- Type Honda PEM fuel cell Output 100 kW
- Type Compressed hydrogen Fuel Storage High-pressure hydrogen tank (350 bar = 35 MPa) Tank Capacity 171 litres
- Top speed 160 km/h (100 mph)
- Energy storage Lithium Ion battery
- Vehicle range 570 km

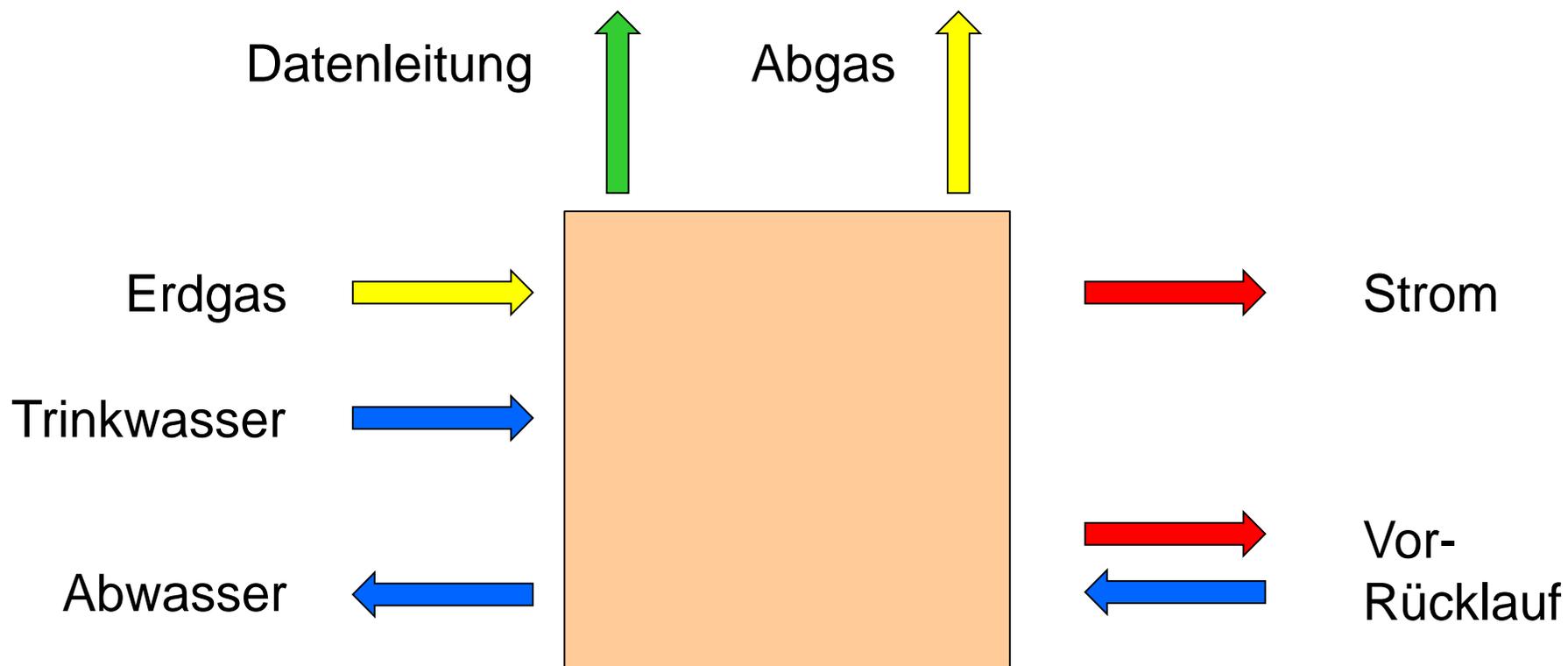


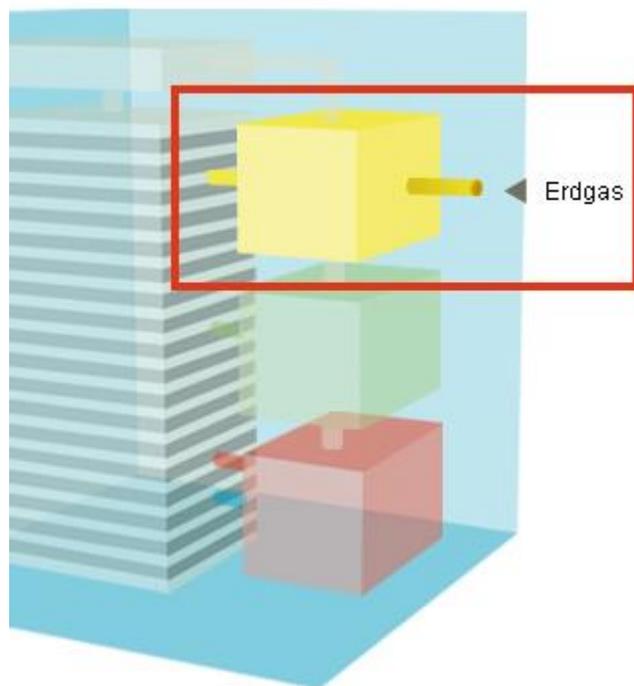
- Toyota Mirai (Future)
- Power engine: 110 kW
- PEM fuel cell Output 114 kW
- 4,5 kg Hydrogen @ 700 bar
- Top speed 175 km/h
- 4 seats
- Vehicle range 500 km
- Costs: 78.540,00 Euro



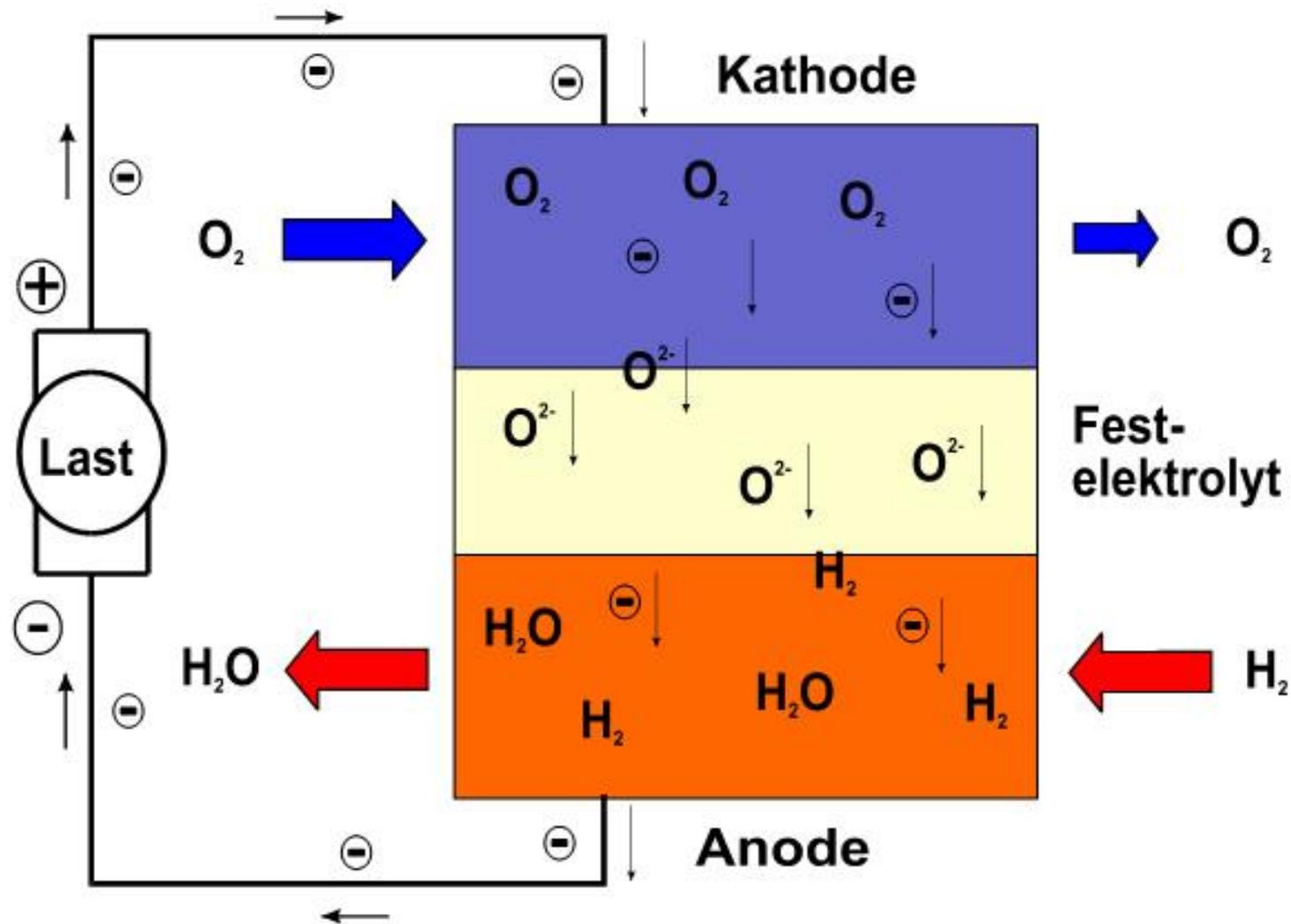


# Welche Anschlüsse hat ein Bz-Heizgerät?





## Prinzipielle Funktionsweise der SOFC





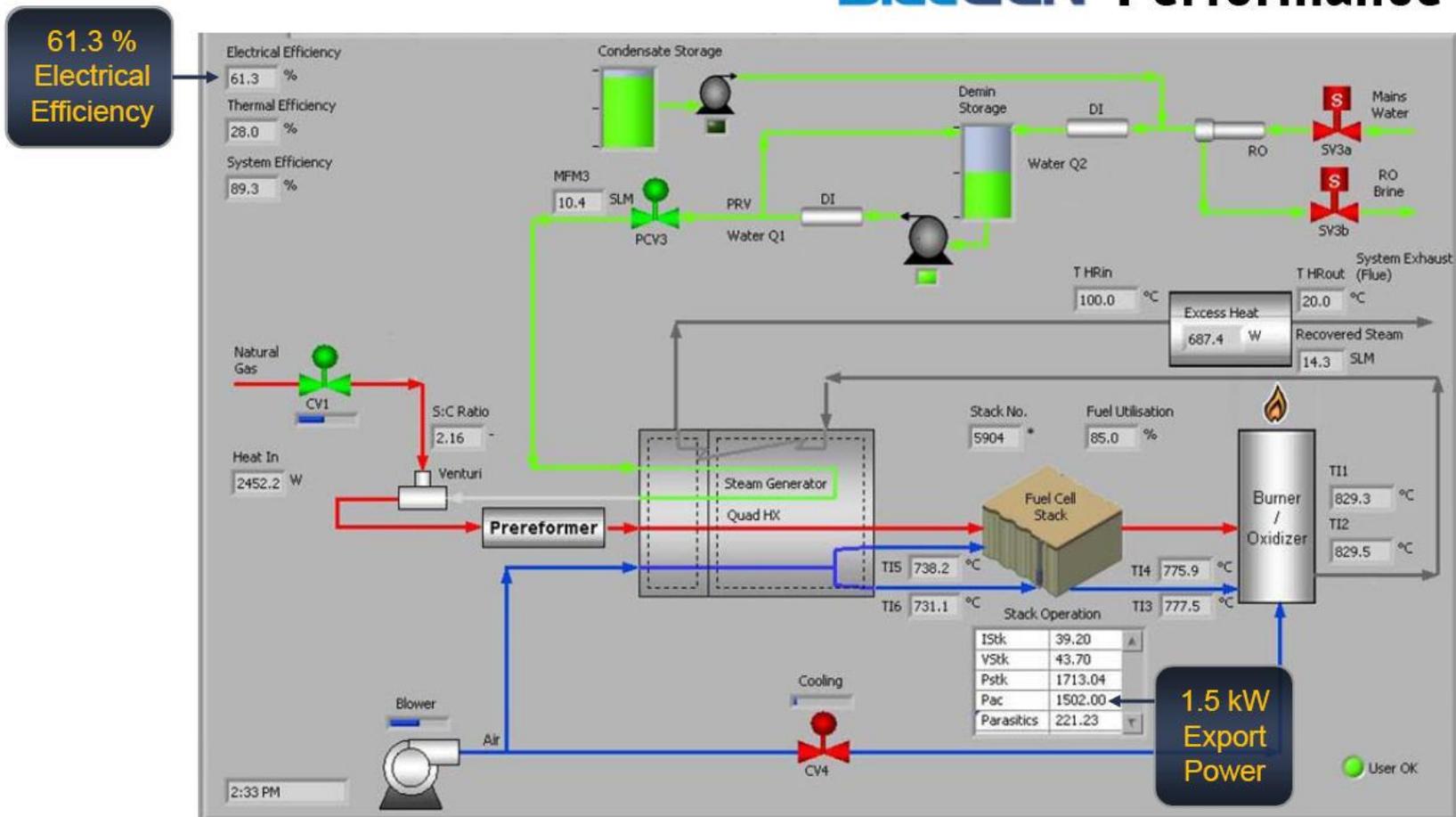
Quelle: SolidPower

## Technische Daten:

- Elektrische Leistung: 0 bis 2000 Watt
- Max. elektrischer Wirkungsgrad: 60 % bei 1.500 W
- Thermische Leistung: ca. 300 W bis 1.000 W  
Abhängig von Stromleistung und Rücklauftemperatur  
(Abgas auf 30° gekühlt)
- Anlaufzeit: 25 Stunden
- **Abkühlung:**
- *Netzspannung verwenden (ca. 36 zu 72 Stunden zur  
sicheren Abkühlung)*
- Gewicht ca.: < 200 kg



## BlueGEN Performance

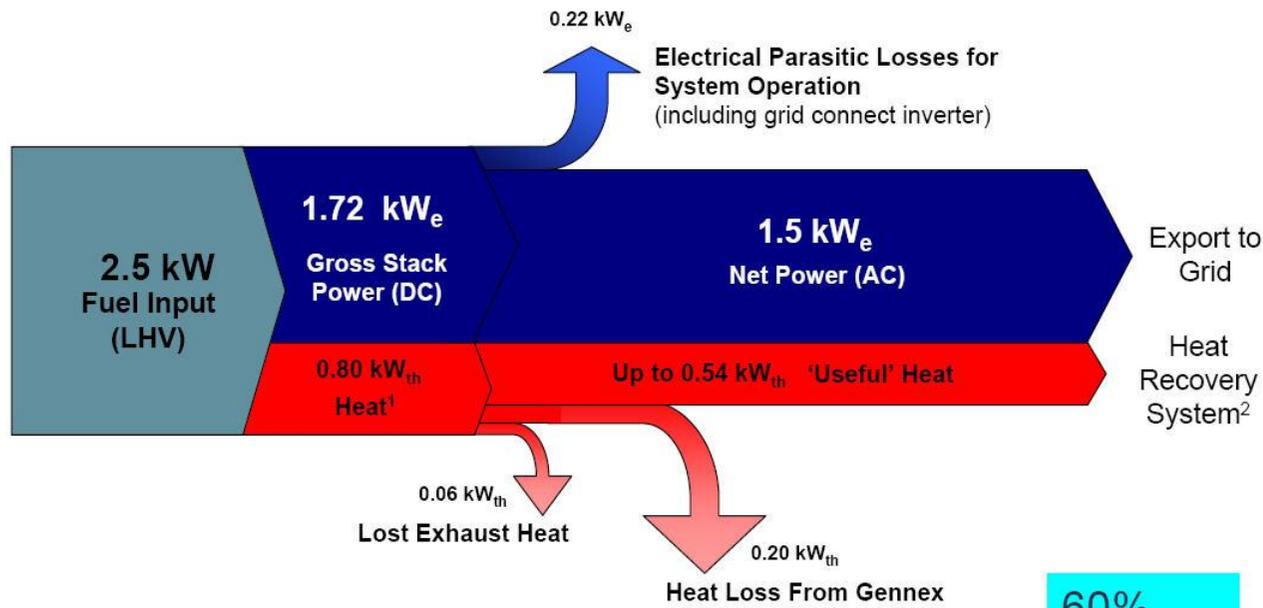


Quelle:  
CFCL,  
SolidPower



**BlueGEN**

## Energiebilanz



60%<sub>e</sub>  
82%<sub>Total</sub>

1. Incorporates some HHV (latent heat) recovered from the fuel input.

2. Based on exhaust gas cooled to 30° C;  
90% WHR efficiency

Quelle:  
CFCL,  
SolidPower



# Was bedeutet „Modulation“?

Kann das BHKW moduliert werden, als im Teillastbereich betrieben werden, spricht man von Modulation.



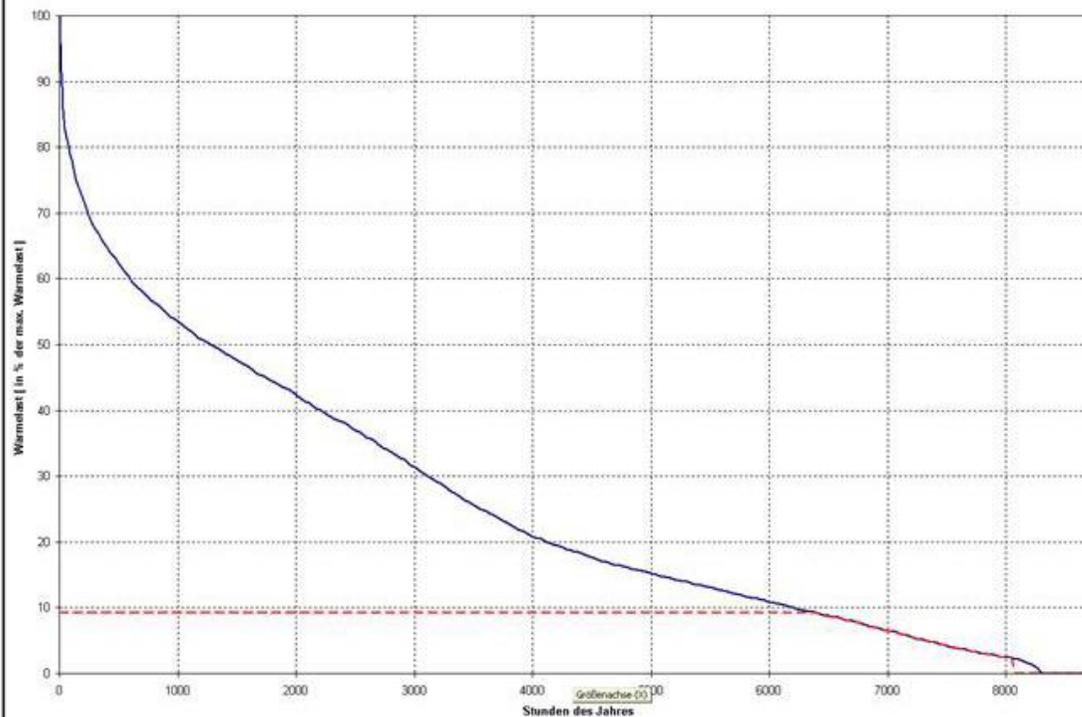
Keine Modulation, Betrieb immer bei 100 %. Eine Betriebsstunde bringt vollen Stromertrag, die spezifischen Wartungskosten (ct/kWh) sind niedrig.

Volle Modulation, Betrieb bis nahe 0 % möglich. Zunehmender Gebrauch von eigenerzeugtem Strom möglich. Hohe spezifische Wartungskosten, da eine Betriebsstunde weniger Strom bringt, aber das Wartungsintervall nach Bh fällig ist.



# Warmwasserspeicher bei Bz-Heizgeräten

Brennstoffzellen Blockheizkraftwerk in  
einem Einfamilienhaus mit 120 m<sup>2</sup>  
Grundfläche und 4000 kWh  
Stromverbrauch im Jahr



Modulationsgrad: 25%

Pufferspeicher: keiner

Vollbenutzungsstunden:  
7390 h

Laufzeit: 8046 h

Eigenverbrauch: 49%

Stromeinspeisung: 51%



# Vergleich Mini BHKW: Motor vs. Brennstoffzelle

## Motor BHKW

Honda

Elektrische Leistung 1kW  
(26,3% Wirkungsgrad)

Thermische Leistung 2,5 kW  
(65,7 % Wirkungsgrad)

Gesamt: 92 %

## Bz – BHKW

GAMMA 1.0 von Fa. Baxi Innotech  
(jetzt Senertec mit kleinerer Leistung)

BZ-Typ: PEM

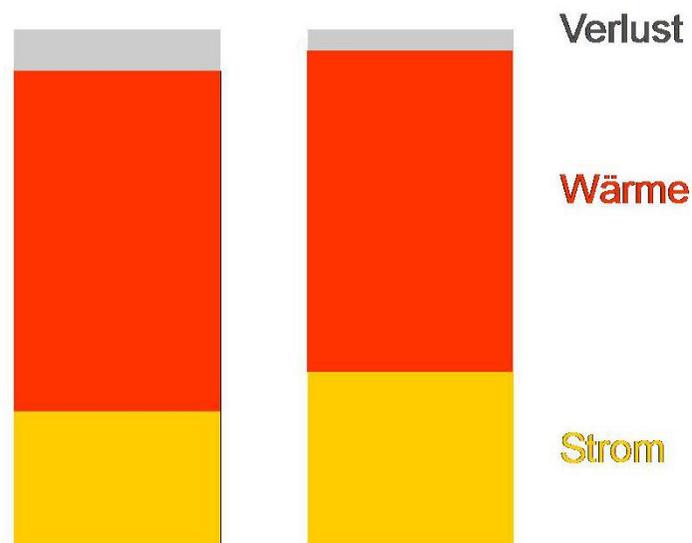
Max. 1 kW<sub>el.</sub>

Max. 1,87 kW<sub>th</sub> (BZE), mit integr.

Zusatzbrenner 3,5-20 kW

El. Wirkungsgrad 34 %

Gesamtwirkungsgrad > 96%



Systemintegration	Verschiedene	Viessmann	Senertec	Hexis AG	Vaillant	SolidPower	RBZ Riesaer Brenn-	Elcore GmbH
Stackfertigung	z.B. Panasonic	Panasonic	Toshiba	Hexis AG	staxera GmbH	SolidPower	stoffzellentechnik	Eigenfertigung
Brennstoffzellentyp	PEMFC und SOFC	PEMFC	PEMFC	SOFC	SOFC	SOFC	PEMFC	HT - PEM
								
Leistung elektrisch	typisch < 1 kW	750 W	700 W	1 kW	1 kW	2 kW	5 kW	300 W
Leistung thermisch	typisch 1,4 kW	1 kW	960 W	1,8 kW	2 kW	300 - 1000 W	7,5 kW	700 W
Leistungsmodulation	k.A.		40 - 100 %	keine Modulation	keine Modulation	0 - 2 kW; 1,5 opt.	30 - 100%	keine Modulation
Leistung Zusatzbrenner	/	5,5 bis 19 kW	20 kW	20 kW	/	/	/	5,5-36,7 kW
Systemwirkungsgrad elektrisch in %	35 bis 40%	38%	34%	30 - 35%	30 - 34%	bis 60%	34%	32%
Entwicklungsstand	Im freien Handel in dieser Art für jedermann erhältlich	erhältlich über Fachhandwerk Vitovvalor 300-P	Marktreif, umfangreiche Erfahrungen durch Feldtests	Umfangreiche Praxiserfahrung mit Vorserienprodukten	Feldtests mit vorübergehendem Modell	Status: im Verkauf Feldtest bei EWE mit 200 Geräten	erfolgreicher Versuch mit Vorgänger inhouse 5000 mit 8 Anlagen im Feldtest. 3000 Anlagen bisher verkauft.	erhältlich über Fachhandwerk
Planung	Derzeit über 120.000 Anlagen dieser Art in Japan installiert	umfangreiche Erfahrung durch japanisches Gerät	Entwicklung von Baxi Innotech	Derzeit im Feldtest mit 150 Anlagen	Feldtest im Rahmen von Callux, geplant 150. Verkauf ab 2016	Verkaufsstart mit zunächst 1000 Geräten für speziellen Markt. Kann von jedermann gekauft werden.	inhouse 5000+: marktverfügbar	Verkaufsstart ISH 2015
Marktreife	Marktverfügbar	Marktverfügbar	Markteinführung 2. Quartal 2016 wird von Senertec über Fachhandel angeboten.	Ist erreicht, werden seit Herbst 2013 in der Schweiz und angrenzendes Deutschland vermarktet.		Marktverfügbar, die Marktdurchdringung wird durch Förderprogramme angestrebt. Firma CFC durch SolidPower übernommen	Marktverfügbar, Anfang 2015 Start Verkauf. Marktdurchdringung 2020 erwartet; Verkauf an Endkunden möglich	Marktverfügbar, über Fachhandel (SHK) bestellen
Homepage		<a href="http://www.viessmann.de">www.viessmann.de</a>	<a href="http://www.senertec.de">www.senertec.de</a>	<a href="http://www.hexis.com">www.hexis.com</a>	<a href="http://www.vaillant.de">www.vaillant.de</a>	<a href="http://www.bluegen.de">www.bluegen.de</a>	<a href="http://www.rbz-fc.de">www.rbz-fc.de</a>	<a href="http://www.elcore.com">www.elcore.com</a>



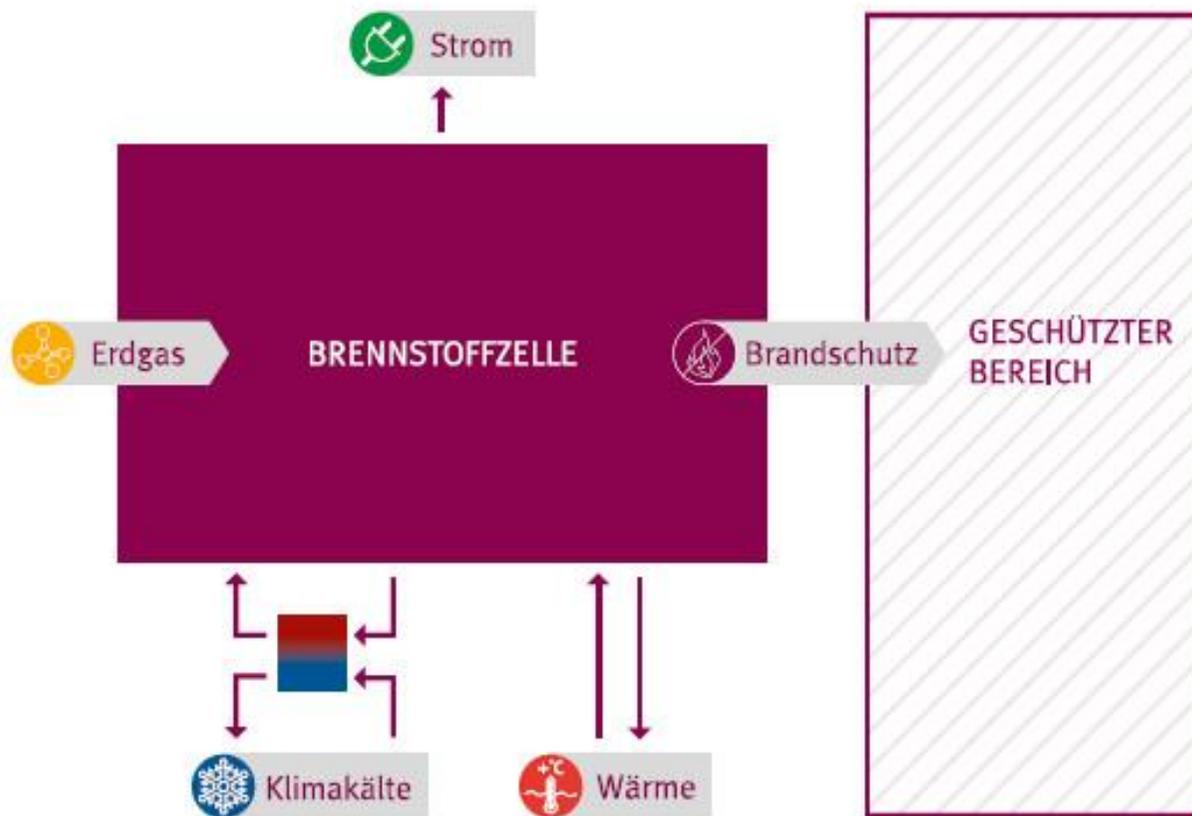
Quelle: N<sub>2</sub>telligence

Dieses PAFC (Phosphorsaure Brennstoffzelle) System wird mit Erdgas betrieben.  
Kosten: 750.000 Euro

## ■ PAFC

- ⇒ Versorgung eines Rechenzentrums, Kühlung und Brandschutz
- ⇒ Brennstoffzellensystem im „Dauereinsatz“
  - 100 kW<sub>el</sub> PAFC
  - Netzparalleler Betrieb
  - 50 kW<sub>th</sub> auf 55°C
  - 50 kW<sub>th</sub> auf 90°C
  - Über Kraft-Wärme-Kälte Kopplung Erzeugung von Kälte für Klimatisierung möglich. (40 kW statt 90 Grad Wärme)
  - Erdgasbetrieb
  - Betriebsdauer 15 Jahre

## Funktionsprinzip von QuattroGeneration



Der geschützte Bereich wird mit Luft versorgt, die weniger Sauerstoff enthält. Bei 15% Sauerstoff in der Luft, kann nichts mehr brennen.

Gesunde Personen können aber durchaus für Stunden dort arbeiten, allerdings nur unter Beobachtung.

Der Sauerstoffpartialdruck entspricht ca. 4000 Höhenmeter.



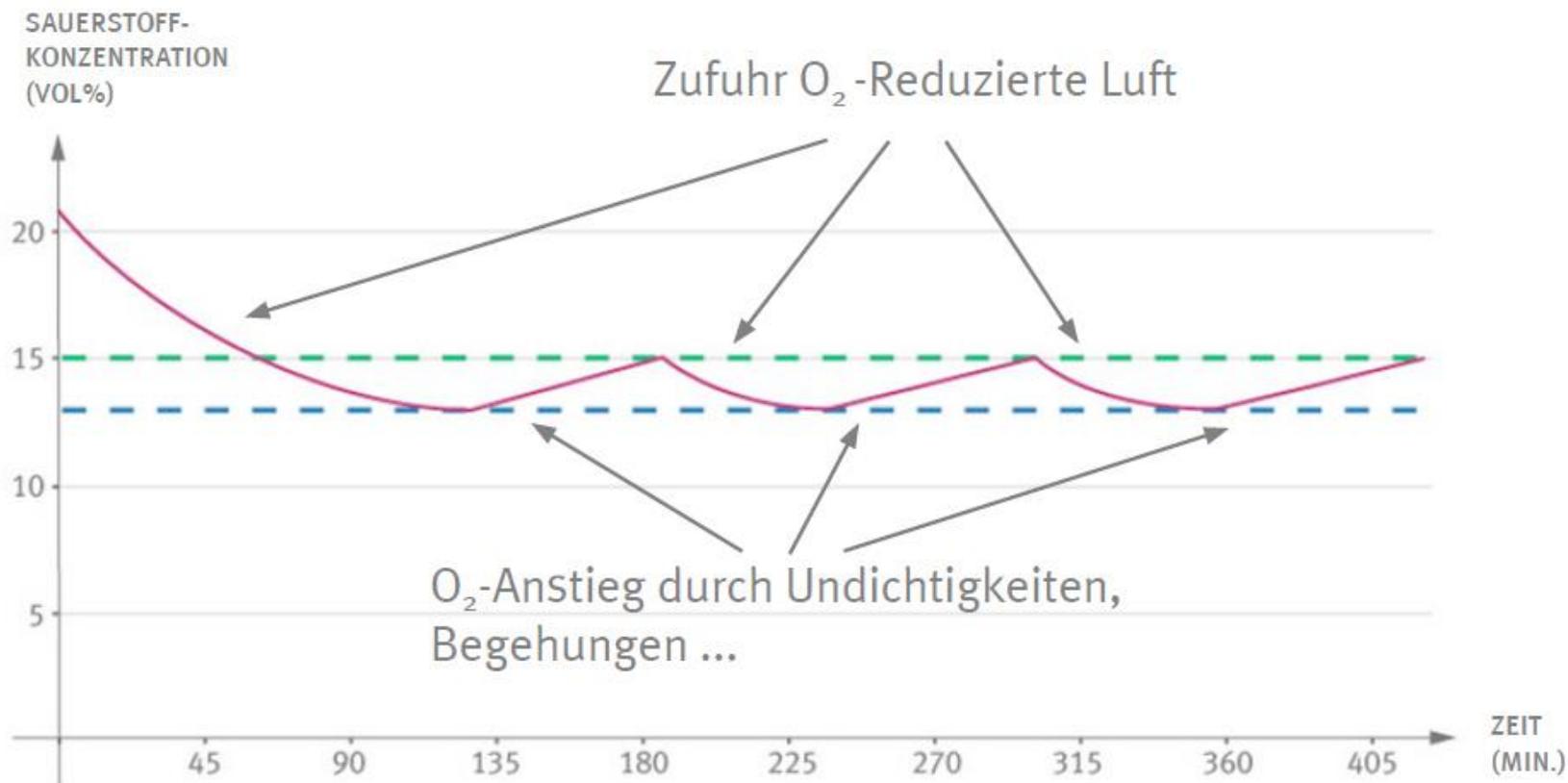
**100 kW System, kann kaskadiert werden.**

Dimension (BxLxH) 2,2 m x 6,5 m x 3,4 m





## INERTISIERUNGSKURVE

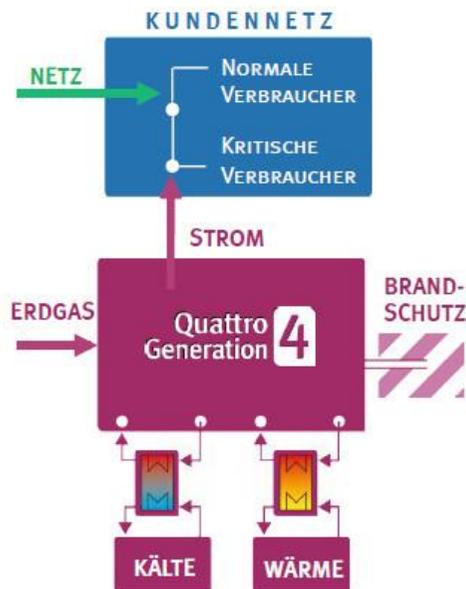


Quelle: N2telligence

## Emergency

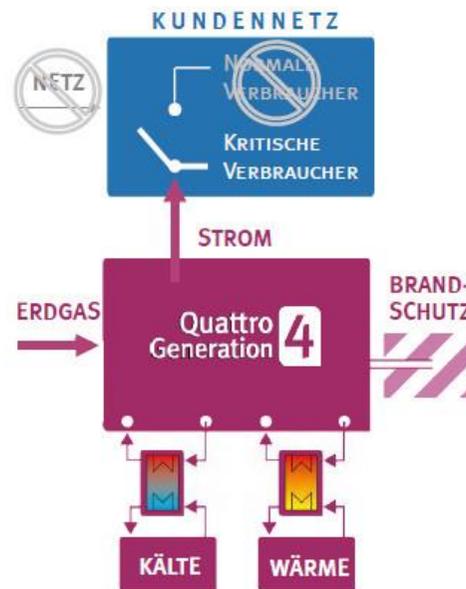
### NORMALER BETRIEB

- 100 kW EL. LEISTUNG
- NETZBETRIEB
- ERDGASBETRIEB



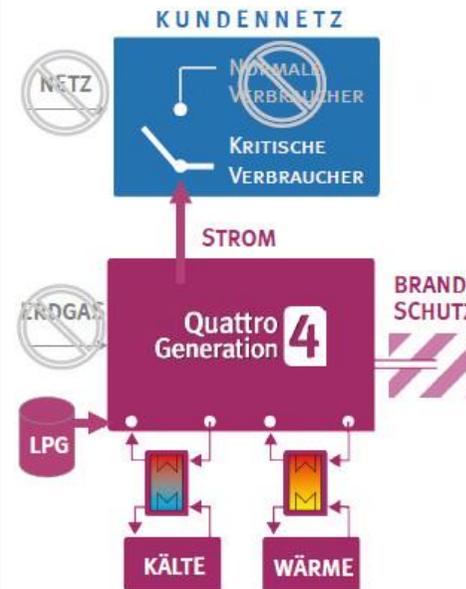
### STROMAUSFALL

- MAX. 70kW EL. LEISTUNG
- EIGENNETZBETRIEB
- ERDGASBETRIEB



### STROM- UND ERDGAS AUSFALL

- MAX. 70 kW EL. LEISTUNG
- EIGENNETZBETRIEB
- FLÜSSIGGASBETRIEB



Versorgung mit Flüssiggas möglich!  
Im Eigennetzbetrieb nur 70 kW!



# FuelCell Energy Solutions, hier 400 kW<sub>el</sub>



[www.fces.de](http://www.fces.de)



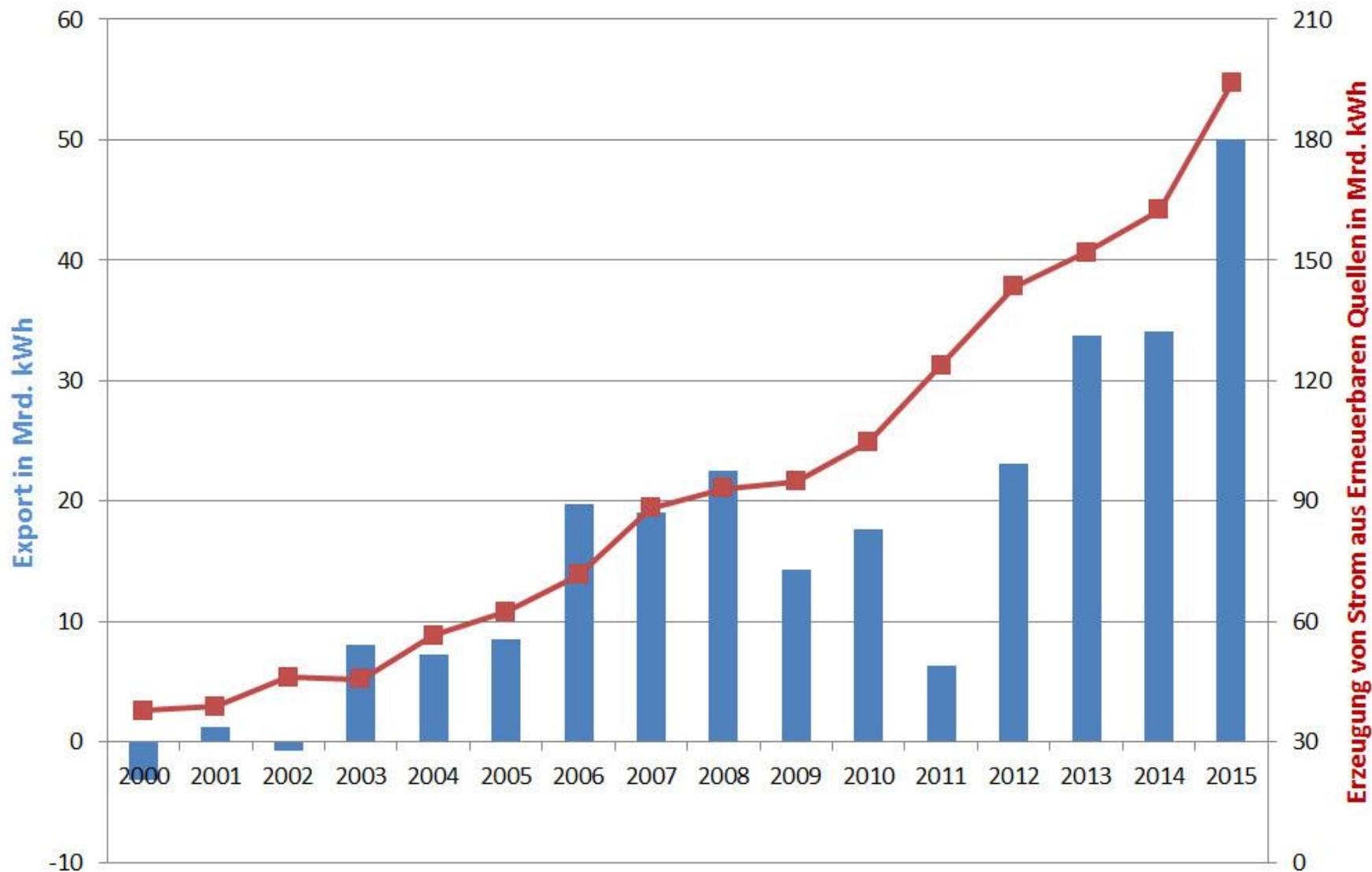
## Technische Daten:

Elektrische Leistung:	440 kW <sub>DC</sub>
AC Leistung:	400 kW
Thermische Leistung:	140/235kW <sub>th</sub> 120/50°C
Außenaufstellung	
Gasverbrauch:	90 Nm <sup>3</sup> /h (abhängig von Gasqualität)
Wasserverbrauch:*	300 l/h
CO <sub>2</sub> Emission:*	445 g/kWh
Mit Wärmenutzung:	236 – 309 g/kWh
Weitere Systeme mit:	250, 300, 1.400, 2.800 kW <sub>AC</sub>

\*diese Brennstoffzelle nutzt Erdgas und reformiert dies intern, dazu ist Wasser notwendig. Durch die Erdgasnutzung entsteht CO<sub>2</sub>.

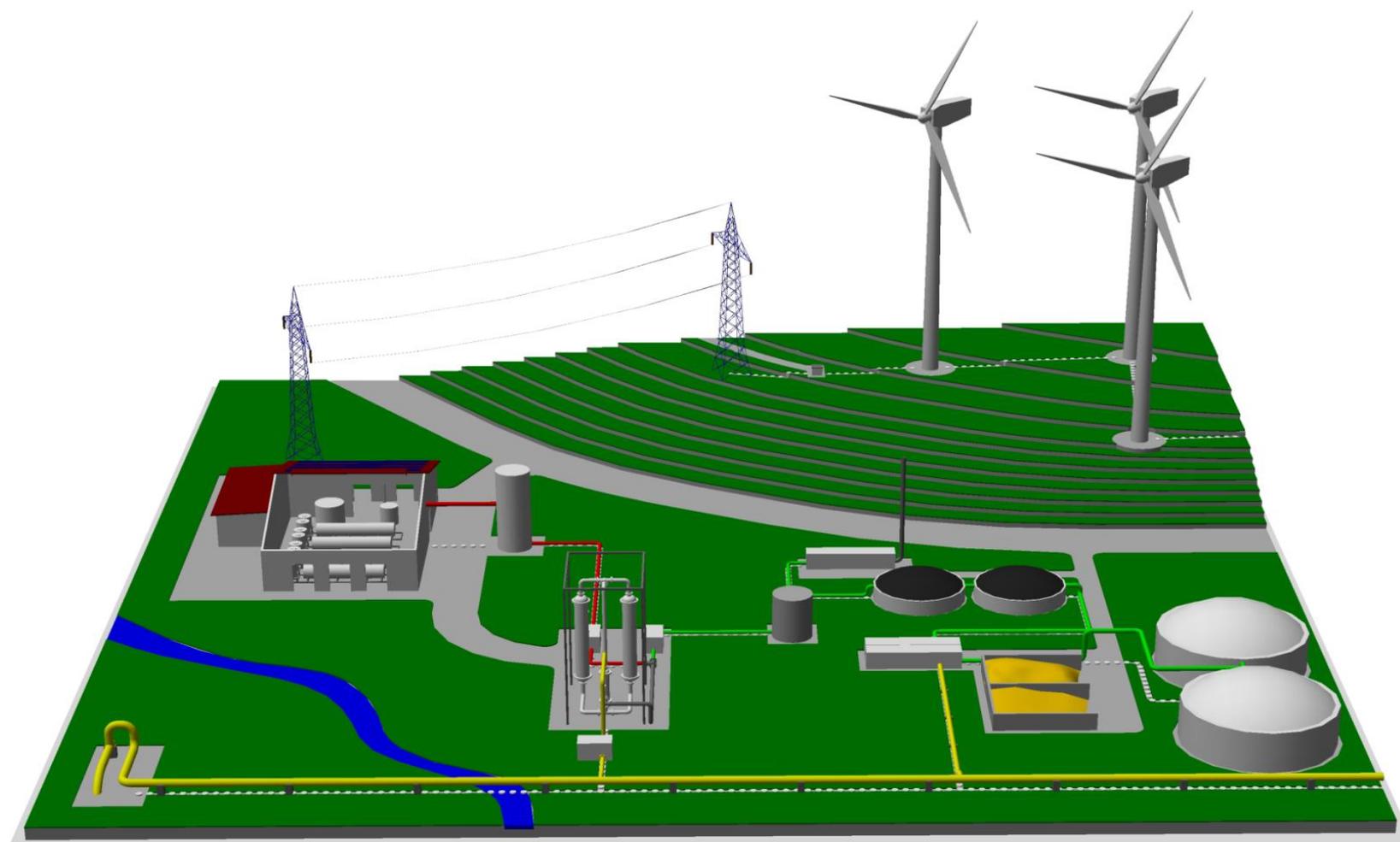


## Stromexport von Deutschland ins Ausland in Mrd. kWh (TWh)

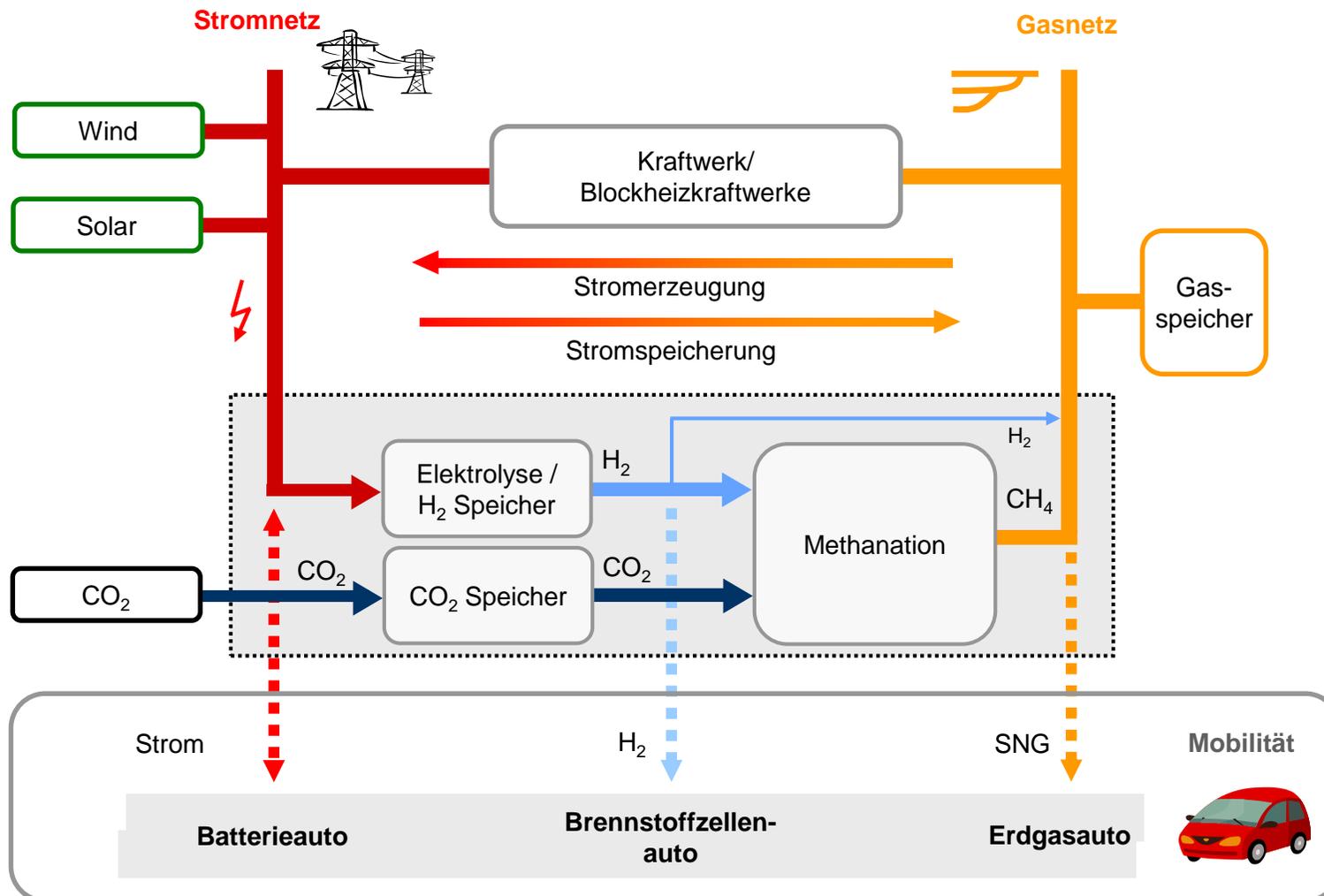




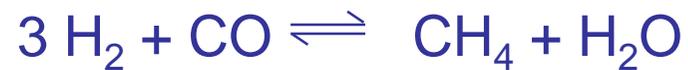
# Prinzip des P2G<sup>®</sup>: Zusammenspiel von Elektrolyse, CO<sub>2</sub> – Quelle, Methanisation, und Gas Einspeisung



# Konzept des Power-to-Gas (P2G<sup>®</sup>) mit Mobilität



## Methanation:



$$\Delta H_{\text{R}}^0 = -206,4 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta H_{\text{R}}^0 = -164,9 \text{ kJ/mol}$$

## Shift- Reaction:



$$\Delta H_{\text{R}}^0 = -41,5 \text{ kJ/mol}$$





**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit !  
Haben Sie Fragen?**

**Technik und Fachreferent  
Dipl.-Ing. (FH) Peter Pioch  
Tel.: 0731 / 1 75 89-25  
peter.pioch@wbzu.de  
www.wbzu.de**



**Brennstoffzelle**  
emissionsfreie und  
effiziente  
Energieumwandlung



**Wasserstoff**  
Energieträger der  
Zukunft



**Batterie**  
hocheffizienter  
Energiespeicher



**BHKW**  
Effizienz durch  
Kraft-Wärme-Kopplung

