



# Alkalische Brennstoffzellen

## - Stand der Technik und neue Entwicklungen -

Erich Gölzow


 Deutsches Zentrum  
 für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Das DLR  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



- Forschungseinrichtung
- Raumfahrt-Agentur
- Projektträger


 Deutsches Zentrum  
 für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

2 Erich Gölzow  
April 2009

## Standorte und Personal

6.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten in 33 Instituten und Einrichtungen in

- 13 Standorten.

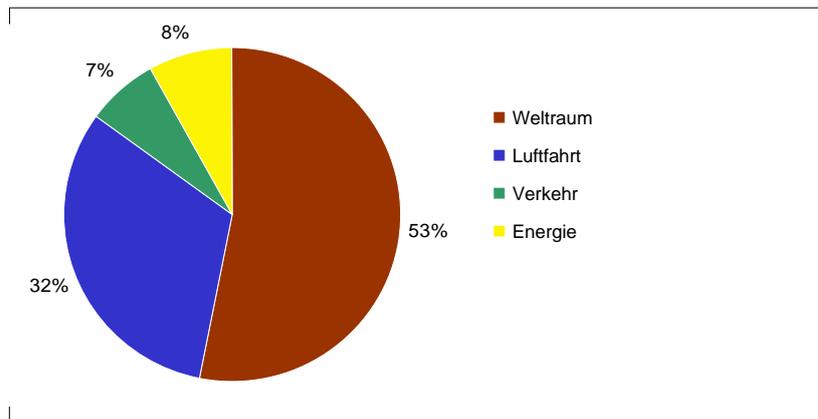
Büros in Brüssel, Paris und Washington.



## Leitbild - Vision

- Das DLR - die führende und richtungsweisende öffentliche Forschungseinrichtung in Europa für seine Forschungsbereiche Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie
- Das DLR - die gestaltende Kraft für die europäische Raumfahrt in seiner Funktion als Raumfahrt-Agentur
- Das DLR - die Dachorganisation für die wirkungsvollsten und effizientesten Projektträger

## Prozentualer Anteil der Geschäftsfelder an den Gesamterträgen Forschung und Entwicklung 2010



## Mitwirkung in der Helmholtz-Gemeinschaft

- Erfolg in der programmorientierten Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft
- Mehrwert aus der Unterstützung der Helmholtz-Gemeinschaft
- Mitgestaltung des Organisationsentwicklungsprozesses



## Forschungsbereiche

- Luftfahrtforschung und -technologie
- Raumfahrtforschung und -technologie
- Verkehrsforschung und -technologie
- Energieforschung und -technologie
- Raumfahrtmanagement
- Projektträger



## Programmthemen der Energieforschung und -technologie

- Effiziente und umweltverträgliche „fossile“ Kraftwerke (Turbomaschinen, Brennkammern, Wärmeübertrager)
- Solarthermische Kraftwerkstechnik, Solare Stoffumwandlung
- Thermische sowie chemische Energiespeicher
- Hoch- und Niedertemperatur-Brennstoffzellen
- Systemanalyse und Technikbewertung





## Inhalt

- DLR
- Alkalische Brennstoffzelle
- Vorteile und Risiken
- Ausgewählte Beispiele realisierter AFC
- Hydrocell
- ELOFLUX
- Bipolare AFC / DLR
- Ovonics schnellstart Zelle
- Direkt Ethanol Brennstoffzelle / AEM
- Fazit

- 
- **Brennstoffzellen**
  - **Alkalische Brennstoffzelle**

## Historie Brennstoffzellen

- 1839 - William Grove "hydrogen battery"
- 1930 - F.T. Bacon, first practical fuel cell stack
- 1950 - NASA funds development of SPE, alkaline fuel cells
- 1960 - Alkaline fuel cell (AFC) wins the race to space
- 1970 - Terrestrial fuel cells development continues: PAFC, MCFC, SOFC; AFC left out of US (DOE) program
- 1980 - SPE fuel cell resurrected as PEMFC
- 1990 - PEMFC dominates low temperature fuel cells, makes inroads into cogeneration
- 2000 - AFC returns as leading low cost technology

## Brennstoffzellen - Typen

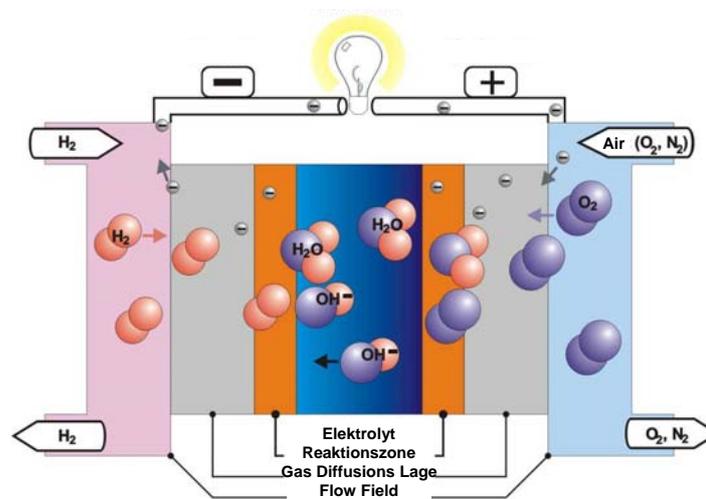
Bezeichnung                                      Betriebstemperatur      theor. Wirkungsgrad

Alkalische BZ	AFC	30-90 °C	83 %	
Membran BZ	PEFC	60-90 °C	83%	CO empfindlich
Direkt Methanol BZ	DMFC	80-100 °C	80%	CO empfindlich
Phosphorsaure BZ	PAFC	120-220 °C	80%	CO empfindlich
Karbonat Schmelzen BZ	MCFC	660 °C	78%	CO <sub>2</sub> muss mitgeführt werden
Hochtemperatur BZ	SOFC	800-1000 °C	73%	Nur Vorreformierung Notwendig

## Alkalische Brennstoffzellen Reaktionen

<b>Elektrolyt:</b>	Alkalisch	KOH or NaOH
<b>Anodische Reaktion:</b>	$\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	
<b>Kathodische Reaktion:</b>	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$	
<b>Betriebs-Temperatur:</b>	20 - 80 °C	
<b>Oxidator:</b>	Luft	
<b>Brennstoffe:</b>	Wasserstoff / Reformate Ammonium / Hydrazin Methanol etc.	

## Alkalische Brennstoffzelle



## Alkaline Fuel Cell – Alkalische Brennstoffzelle

J.H. Reid US-Pat. 736016  
17.05.1902

Elektrischer Generator  
Tubulares AFC-Design

Anode: Poröse Kohle Röhren

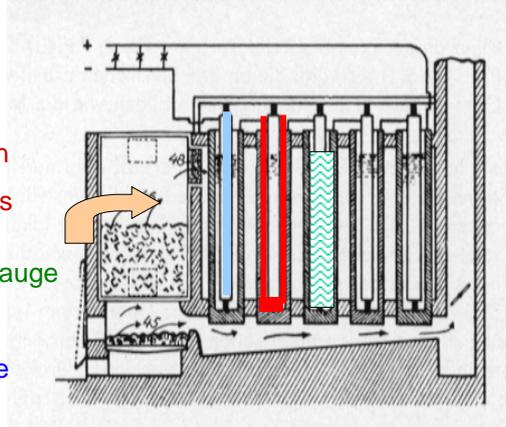
Brennstoff: Kohle-Gas

Elektrolyt: konzentrierte Kalilauge

95° C

Kathode: Poröse Stahl Rohre

Oxidator: Luft



## Bacon



## Geschichte der Alkalischen Brennstoffzelle




 Deutsches Zentrum  
 für Luft- und Raumfahrt e.V.  
 in der Helmholtz-Gemeinschaft



1959 Allis Chalmers Fuel Cell

17 Erich Gülzow  
April 2009

AFC developer	Fuel system	Operating pressure (bar)	Anode catalyst	Cathode catalyst
Bacon	H <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	45	Ni	NiO
UTC-Apollo	H <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	3.4	Ni	NiO
UTC-Orbiter	H <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	4	Pt/Pd	Au/Pt
Elenco	H <sub>2</sub> -air	Atmospheric	Pt	Pt
Siemens	H <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	2.2	Ni	Ag
DLR	H <sub>2</sub> -air	Atmospheric	Ni	Ag


 Deutsches Zentrum  
 für Luft- und Raumfahrt e.V.  
 in der Helmholtz-Gemeinschaft

18 Erich Gülzow  
April 2009



Fuel Cell	Pressure [bar a]	Temperature [°C]	Power [kW]	Weight [kg]	Cell Voltage [V]	Current Density [mA/cm <sup>2</sup> ]	Stack Power Density [W/kg]	System Power Density [W/kg]
Bacon	45	200	5		0.85 0.8	400 1000		
Apollo	3.4	230	1.5	112	0.85	150		13.5
Space Shuttle Orbiter	4.1	90	12	120	0.86	470	275	100
Orbital Transfer Vehicle	10	125	6.75	8	0.9	1100	1800	840
UTC Advanced Lightweight AFC	13.6	150	300	90	1.0 0.8 0.72	1000 5000 9000	24000	3300
Siemens BZA4	2.2	80	6	215	0.85	300	120	28

 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
 in der Helmholtz-Gemeinschaft

19 Erich Gülzow  
April 2009



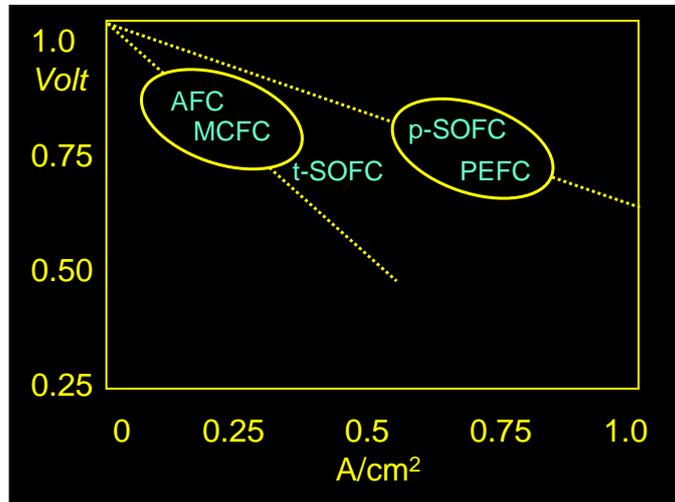
Manufacturer	Model	Rated Power (kW)	System Efficiency @ Rated Power	Dimensions (cm)	Weight (kg)	System (W/kg)	System (W/litre)	Hydrogen cylinders to produce 48kWh
Astris [1]	Model E8	2.4	55%	72x61x61	125	19.2	9.0	4 
Astris [1]	Model E7	1.8	55%	58x56x43	54	33.3	13.6	4 
Ballard-Heliocentris [2]	Nexa-Air Gen	1	30% *	69x40x48	49	20.4	7.5	7 
Hydrogenics [3]	HyPORT-E	3	28% *	97x68x78	410	7.3	5.8	8 
Plug Power [4]	Gen Core5T48	5	37% *	112x66x61	227	22.0	11.1	6 
Reli On(Avista) [5]	Independence 1000	1	33% *	44x52x64	?	?	6.7	6 

[1] ES Technical Specification, Amta Energy Inc., September 2004.  
 [2] Nexa-AirGen Technical Data, Heliocentris Energy Systems, April 2004.  
 [3] HyPORT-E Specifications, Hydrogenics Corporation Website, August 2004.  
 [4] GenCore datasheet, Product Characteristics, Plug Power Inc., Hannover Messe, April 2004.  
 [5] P. Christensen: Reli On, Technical Presentation at the Fuel Cell 2004 Conference, Denver, Colorado, June 2004.  
 \* calculated from published fuel usage

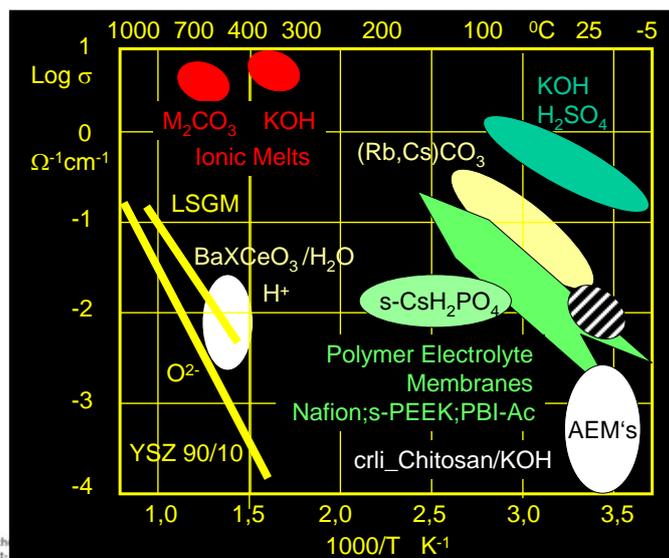
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
 in der Helmholtz-Gemeinschaft

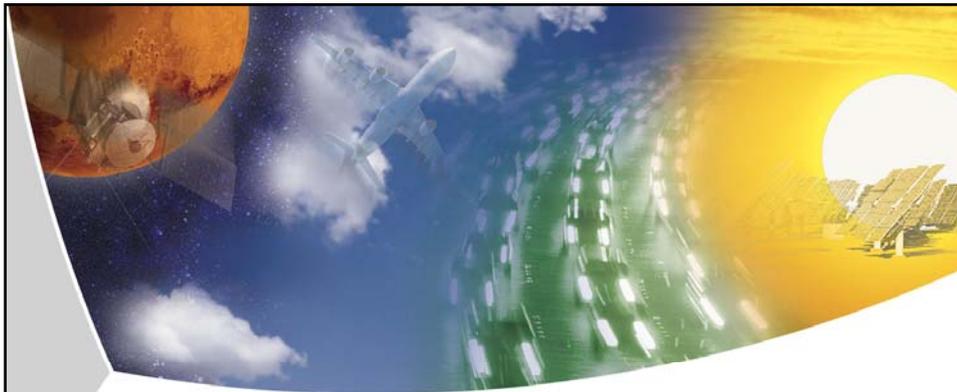
20 Erich Gülzow  
April 2009

## Brennstoffzellen - Stromdichte



## Brennstoffzellen - Elektrolyt - Leitfähigkeiten





➤ **Vorteile und Risiken  
bei Alkalischen Brennstoffzellen**

 Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



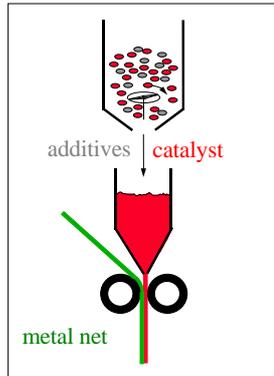
**Vorteile und Risiken bei Alkalischen Brennstoffzellen**

<b>Pro:</b>	<b>Contra:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Pt notwendig               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anode: Ni, Pd</li> <li>• Kathode: Ag, Co, Mn, C</li> </ul> </li> <li>• Leitfähigkeit KOH: 1 S/cm</li> <li>• Einfaches Wassermanagement</li> <li>• Höhere Kapazität</li> <li>• Geringere Kosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>-Toleranz</li> <li>• Flüssiger Elektrolyt               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dichtigkeit</li> <li>• Pumpe</li> </ul> </li> <li>• Geringere Gaslöslichkeit</li> <li>• Geringere Dynamik</li> <li>• Geringere Leistungsdichte</li> </ul>

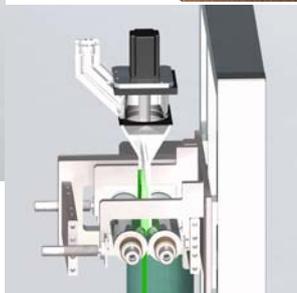
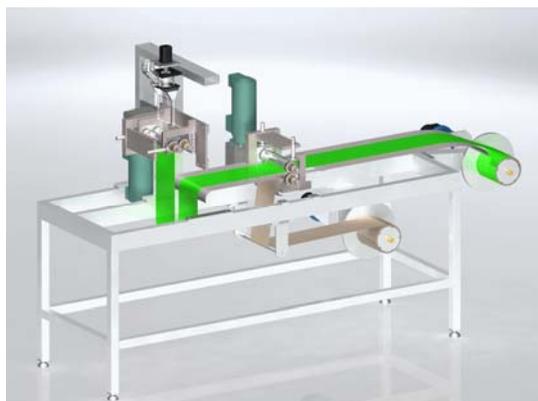
 Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

24 Erich Gülzow  
April 2009

## Herstellertechnik von Alkalischen Brennstoffzellen Elektroden - gewalzte Elektroden

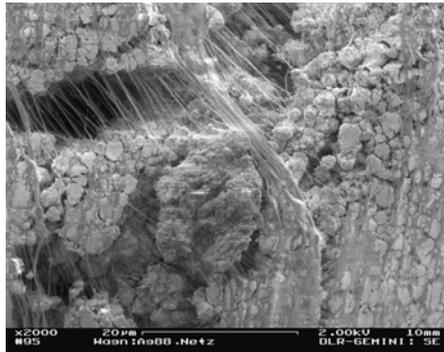


## Herstelleinrichtungen nach Gaskatel



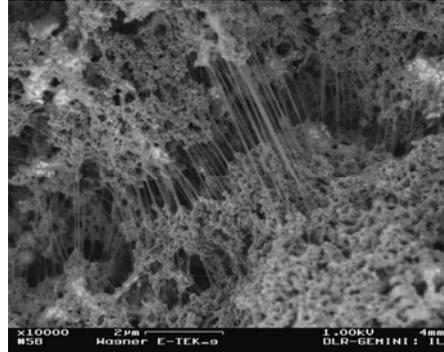
## REM-Aufnahmen, Oberfläche:

**Silber- GDE  
24% PTFE**



x 2000

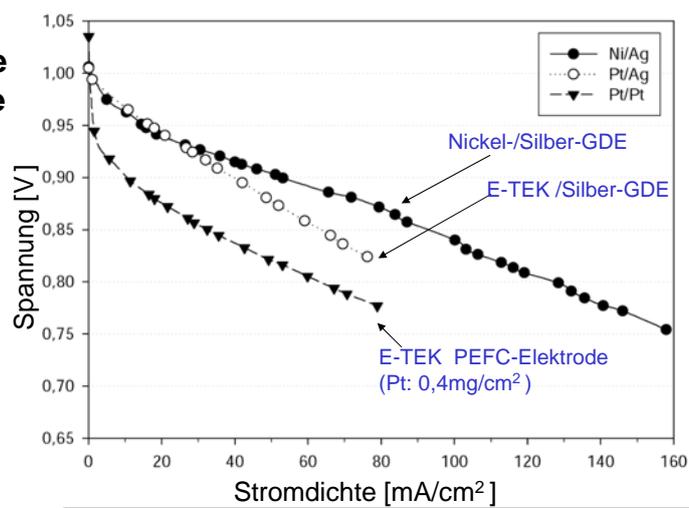
**E-TEK-Elektrode  
76% PTFE**



x 10000

## Kennlinien verschiedener Elektrodenkombinationen:

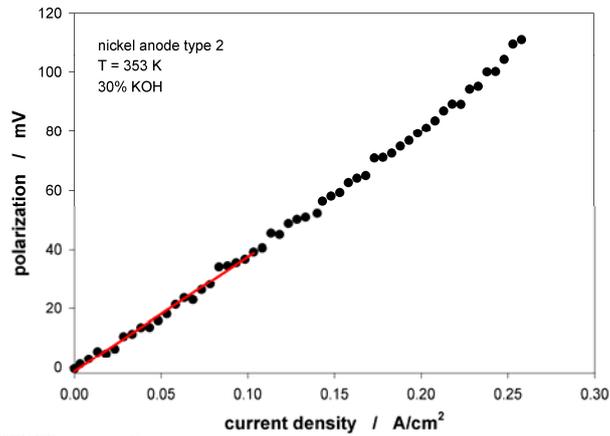
- 70°C,
- Einzelzelle
- IR-korrigie
- H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>



## Kennlinie von AFC-Elektroden

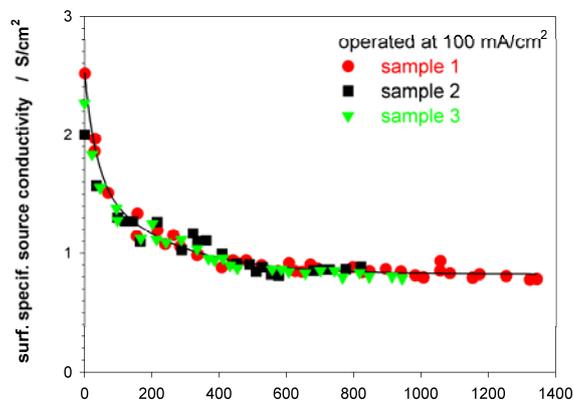
### Definition der Flächenspezifischen Quelleitfähigkeit

Definition of specific source conductivity



## Degradation von AFC-Elektroden

### Anode – Betriebszeit-Abhängigkeit



non activated

0 h

13 h

226 h

944 h

1344 h

### Alterung von Nickel

Zerfall der Partikel aber auch  
Eröffnung neuer  
Katalysatoroberflächen

Alterungsmechanismen  
konnten zugeordnet  
werden

- Partikelzerfall
- PTFE - Zerfall

Lebensdauern über  
5000 h nachgewiesen

Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

31 Erich Gülzow  
April 2009

### Micrographs imaged by SEM of a new and an used Ag- GDE

SEM - micrograph (RE) of the unused GDE

SEM - micrograph (SE) of the unused GDE

SEM - micrograph (RE) of the used GDE

SEM - micrograph (SE) of the used GDE

Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

32 Erich Gülzow  
April 2009



## Degradation von AFC-Elektroden

### Anode Ergebnisse

- Zerfall des Nickel Katalysators durch Wasserstoff – Wasserstoffversprödung
- Zerfall von PTFE – Veränderung der elektrochemischen Eigenschaften durch Veränderung der Transportmechanismen
- Veränderung der Zusammensetzung



## Degradation von AFC-Elektroden

### Kathode Ergebnisse

- Der Silberkatalysator wird eben, Verlust von Oberfläche
- Zerfall von PTFE
- Veränderung der Zusammensetzung

## Mythos : CO<sub>2</sub> Problem

Viele Publikationen beschreiben:

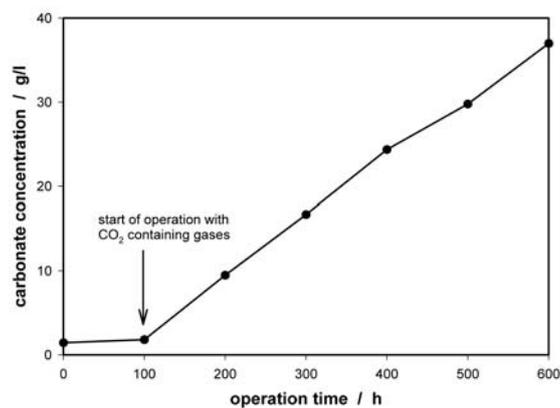
*CO<sub>2</sub> ist ein Hauptproblem der AFC und dadurch ist dieser Brennstoffzellentyp nur für die Raumfahrt oder Luftunabhängige Systeme geeignet*

Dies ist nur richtig für sehr alte Brennstoffzellentechnik der AFC!

Was soll passieren bei belasteten AFCs ?

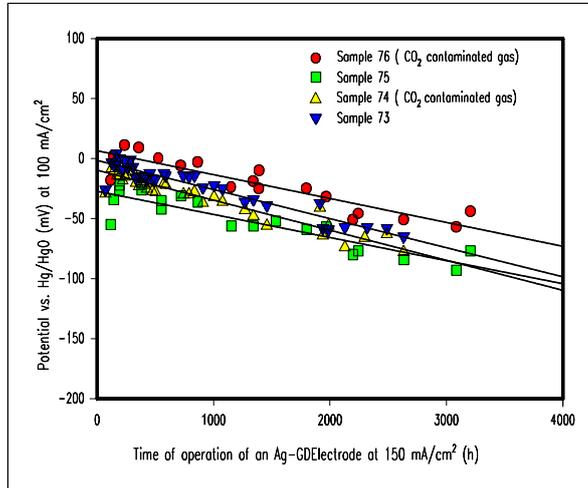
Das Karbonat soll Poren verstopfen  
Die Oberfläche wird passiviert – keine Feinstruktur mehr  
Transportmechanismen funktionieren nicht mehr

## Degradation von AFC-Elektroden Experimentelle Untersuchung der CO<sub>2</sub> Abhängigkeit



## Degradation von AFC-Elektroden

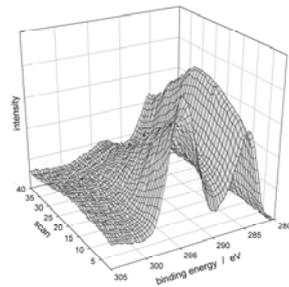
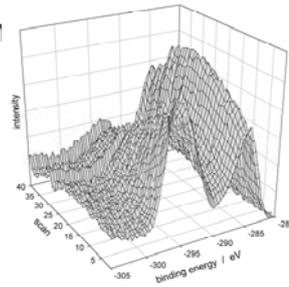
### Experimentelle Untersuchung der CO<sub>2</sub> Abhängigkeit



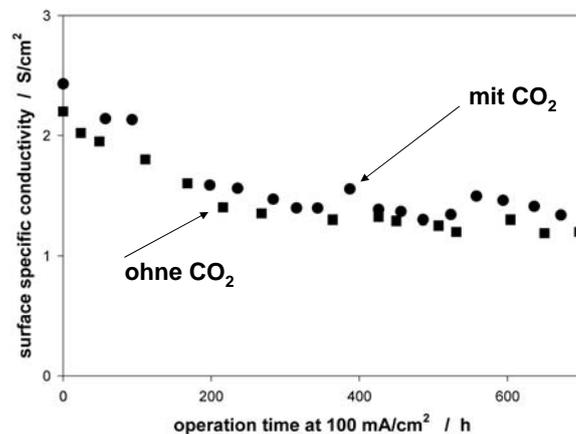
## Degradation von AFC-Elektroden

### Experimentelle Untersuchung der CO<sub>2</sub> Abhängigkeit

- C1s-Spectrum im Tiefenprofil von zwei Ag-Elektroden
- Oben: nur Sauerstoff
- Unten: Sauerstoff und CO<sub>2</sub>



## Veränderung der spezifischen Quell-Leitfähigkeit bei Ni – Anoden beim Brennstoffzellenbetrieb mit und ohne Kohlendioxid



## Degradation von AFC-Elektroden Experimentelle Untersuchung der CO<sub>2</sub> Abhängigkeit

- CO<sub>2</sub> verändert nicht das elektrochemische Verhalten
- Karbonat wird nicht im Elektrolyt gespeichert
- In den Elektroden findet man kein Karbonat
- Betriebszeiten bis zu 5000 h mit 5% CO<sub>2</sub> in O<sub>2</sub> wurden gezeigt



## CO<sub>2</sub> Problem konnte durch neue Elektroden Strukturen gelöst werden

Alkalische Brennstoffzellen können ohne CO<sub>2</sub> Reinigung betrieben werden

AFC Elektroden können kostengünstig hergestellt werden

- Bisherige Stackkonzepte waren aber Monopolar !



## ➤ Ausgewählte Beispiele realisierte AFC

## AFC von Kordesch



## Shuttle Fuel Cell



## ZEVCO / ZETEK



## ZETEK - Systeme



## Scottish Fuel Cell Consortium



## Alkaline Fuel Cell Astris Energi Inc. - Mississauga / Canada



Astris Model E7 AFC Golf Car Generator



**Alkaline Fuel Cell** **ACME / MKU**  
Astris Energi Inc. - Mississauga / Canada



**Alkaline Fuel Cell** **ACME / MKU**  
Astris Energi Inc. - Mississauga / Canada



Astris POWERSTACK™ Technology  
MC250 – 300W Module  
2.4 kW POWERSTACK™ Assembly

## Independent Power

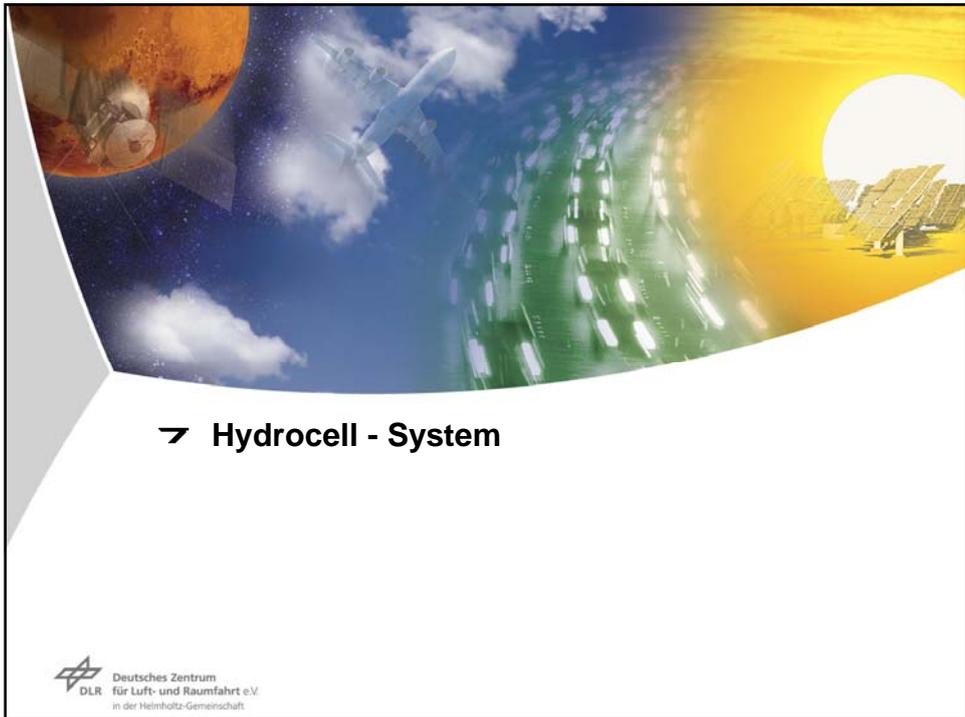


6 kW

Allianz mit  
E-Vision Belgien

## AFC Energy





➤ **Hydrocell - System**

 Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



**Alkaline Fuel Cell**  
Hydrocell - Finnland

 Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

54 Erich Gülzow  
April 2009

## Alkaline Fuel Cell Hydrocell - Finnland

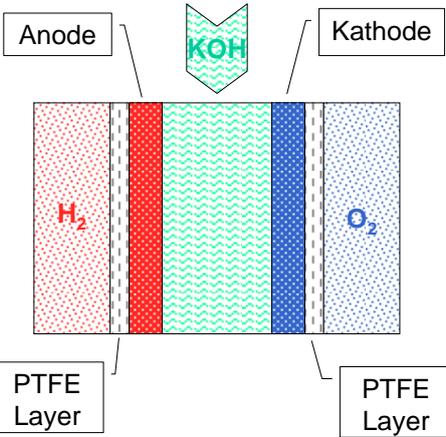


## Alkaline Fuel Cell Hydrocell - Finnland





### Konventionelle Zelle mit Elektrolytspalt



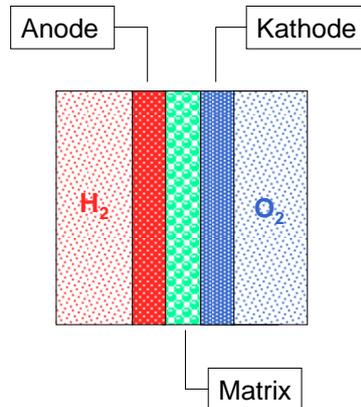
- Elektrolyt strömt an Elektroden vorbei
- Elektrolytspalt 0,5 – 2 mm
- Gasüberdruck durch Bubble Point der Elektroden bestimmt
- Varianten:
  - Fallfilm-Zelle
  - Perkolator-Zelle

Quelle: Gaskatel

 Deutsches Zentrum  
 DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
 in der Helmholtz-Gemeinschaft

58 Erich Gülzow  
April 2009

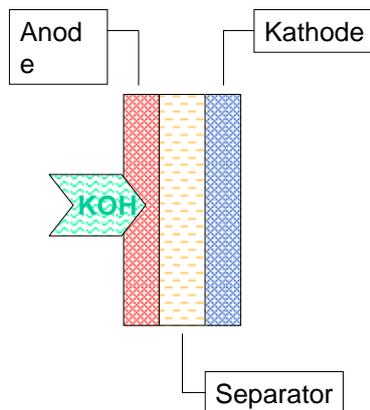
## Matrix-Zelle



- Elektrolyt aufgesogen in poröser Matrix
- Matrix-Material:
  - früher: Asbest
  - heute: PP / PE / PSU
 gefüllt mit  $\text{TiO}_2$  oder  $\text{ZrO}_2$
- Elektroden werden auf Matrix gepresst
- Gasüberdruck abhängig vom Separator
- HT-PEM-Zellen mit PBI-Membran sind Matrix-Zellen

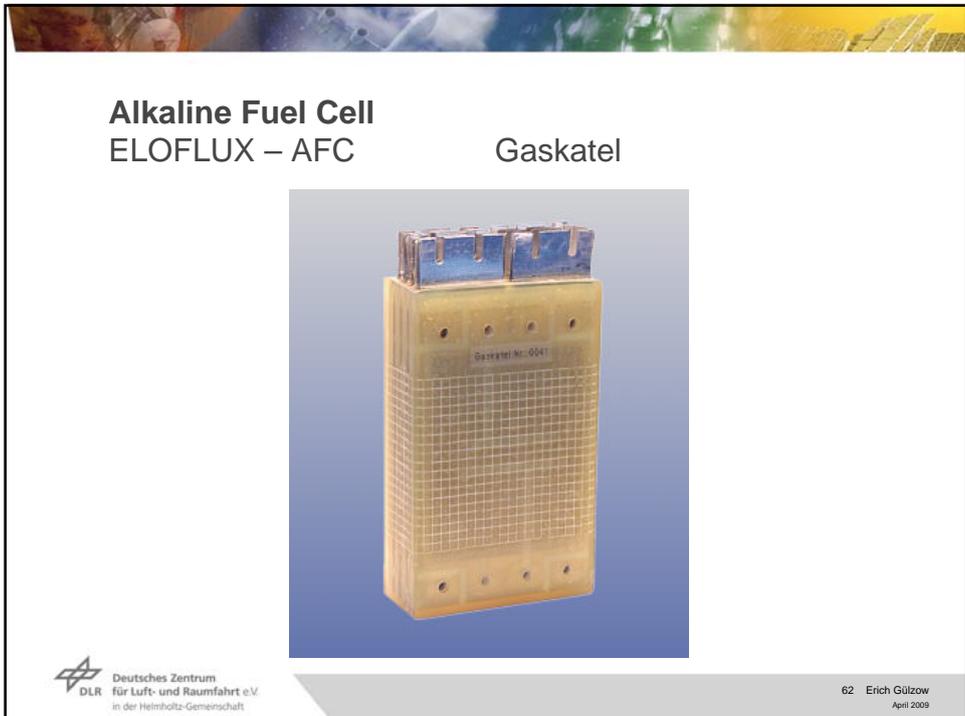
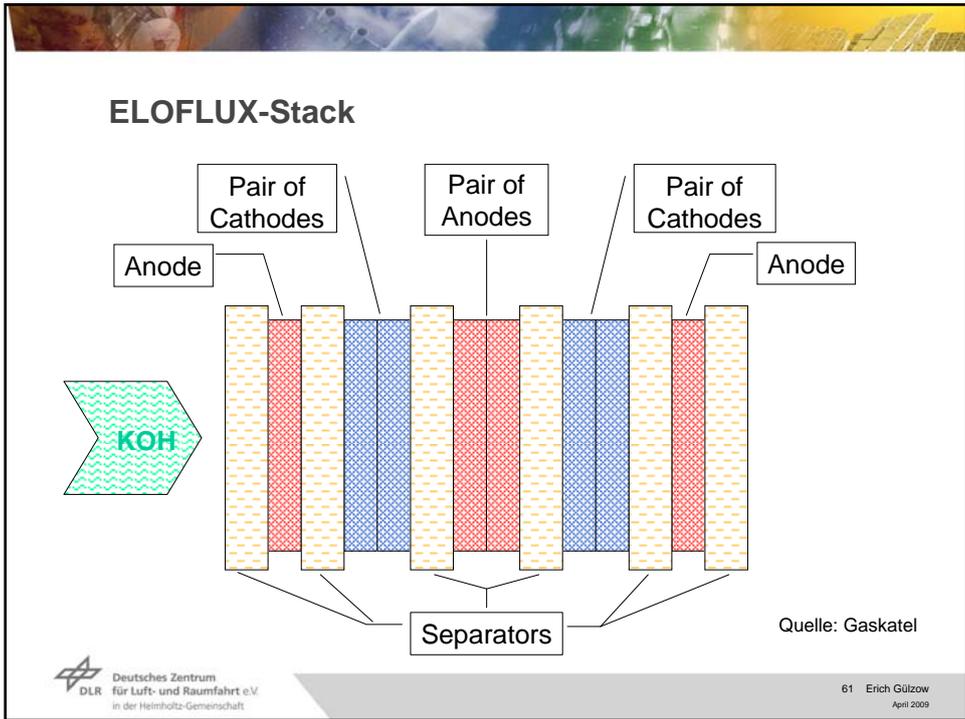
Quelle: Gaskatel

## ELOFLUX-Zelle

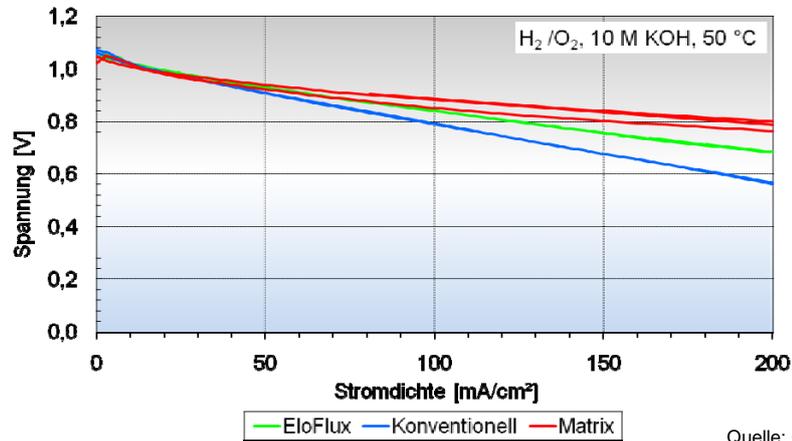


- Elektroden werden auf Separator gepresst
- Separator-Material wie bei Matrix-Zelle
- Elektrolyt wird quer durch das Paket gedrückt
- Gasüberdruck abhängig vom Separator

Quelle: Gaskatel

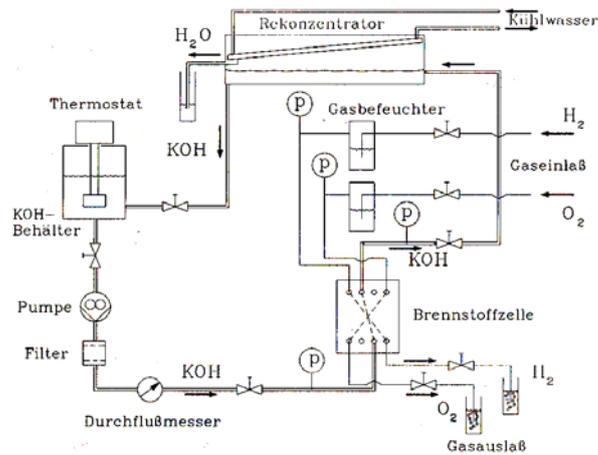


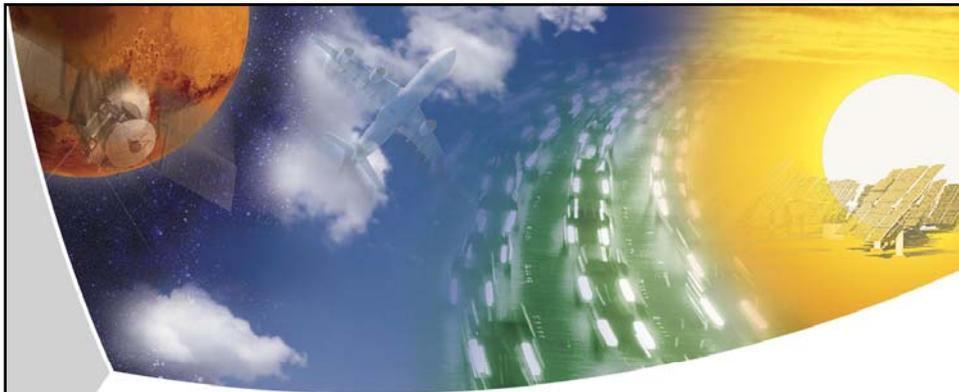
## Vergleich der Performance der Zelltypen



Quelle: Gaskatel

## ELOFLUX-System



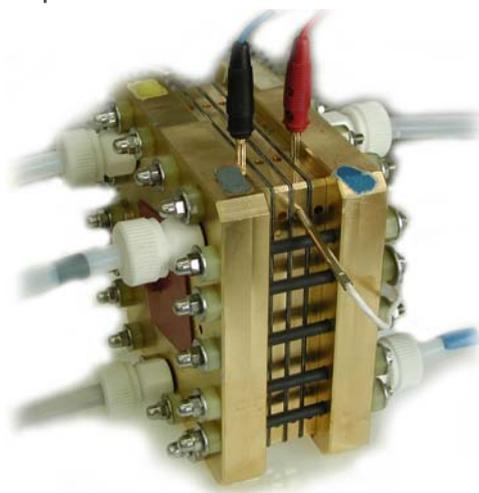


➤ **Bipolare AFC**

 Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

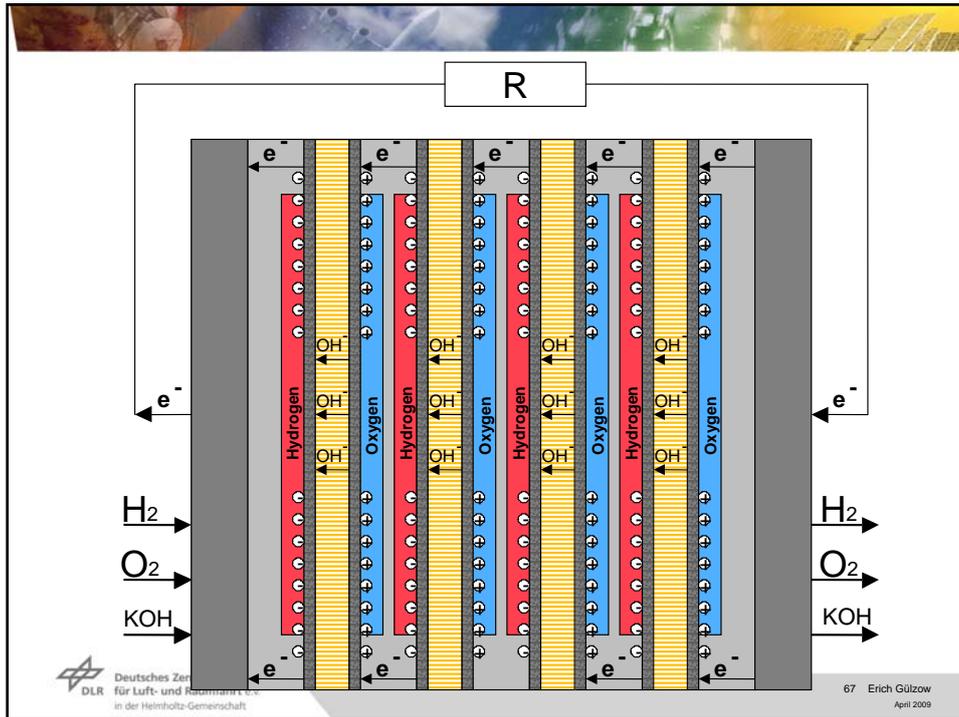


**Bipolar Konzept eines AFC Short Stack**  
Labor - Experiment



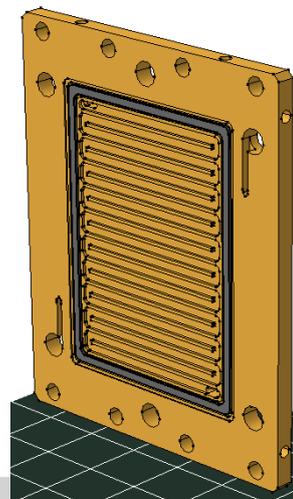
 Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

66 Erich Gölzow  
April 2009



### Bipolar Konzept eines AFC Short Stack Labor - Experiment

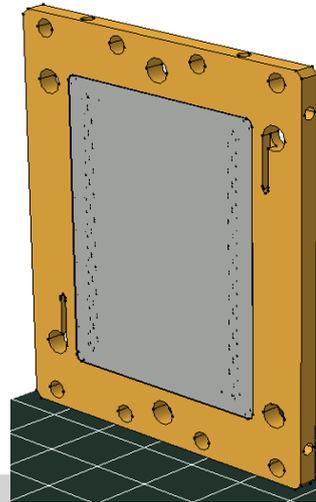
- Bipolar Platte mit:
- Gasräumen



## Bipolar Konzept eines AFC Short Stack Labor - Experiment

Bipolar Platte mit:

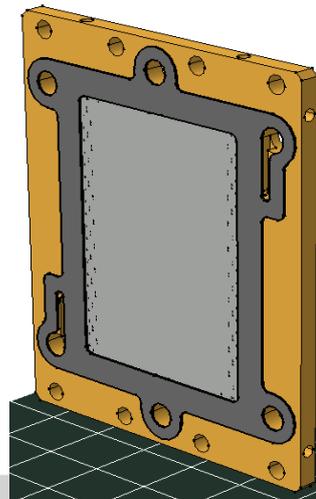
- Gasräumen
- Elektroden



## Bipolar Konzept eines AFC Short Stack Labor - Experiment

Bipolar Platte mit:

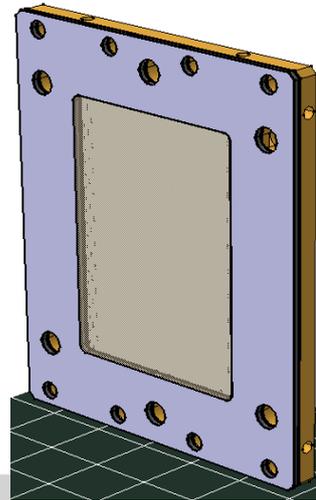
- Gasräumen
- Elektroden
- Dichtungen



## Bipolar Konzept eines AFC Short Stack Labor - Experiment

Bipolar Platte mit:

- Gasräumen
- Elektroden
- Dichtungen
- Separator & Diaphragmen

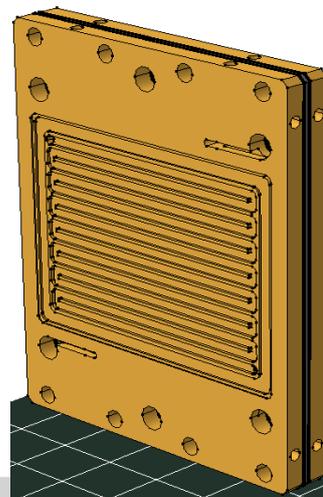


## Bipolar Konzept eines AFC Short Stack Labor - Experiment

Bipolar Platte mit:

- Gasräumen
- Elektroden
- Dichtungen
- Separator & Diaphragmen
- Dichtungen
- Bipolar plate

 Zelle





➤ **AFC mit Schnellstart – Ovonic System**

 Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft





**Electrode Fabrication**



**Raw Materials Preparation**



**Fuel Cell Assembly**



**Located in Rochester Hills, MI**



**Rapid Prototyping Machine**



**Environmental Chamber**

**Ovonic Facilities**



**Systems Integration**



**Fuel Cell Test Stations**

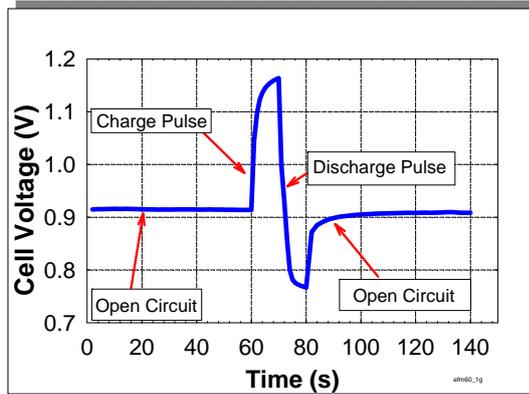


 Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

74 Erich Gülzow  
April 2009

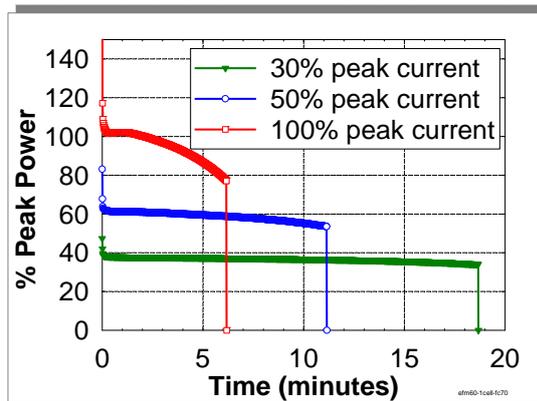


## Alkaline Fuel Cell



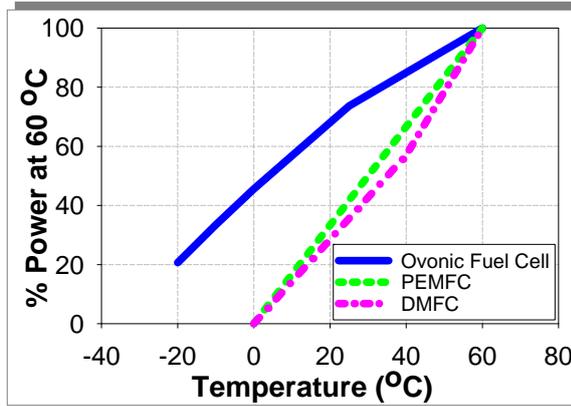
- The Ovonic Metal Hydride Fuel Cell can store energy like a battery
- Unique capability
- Game-changing technology

## Alkaline Fuel Cell



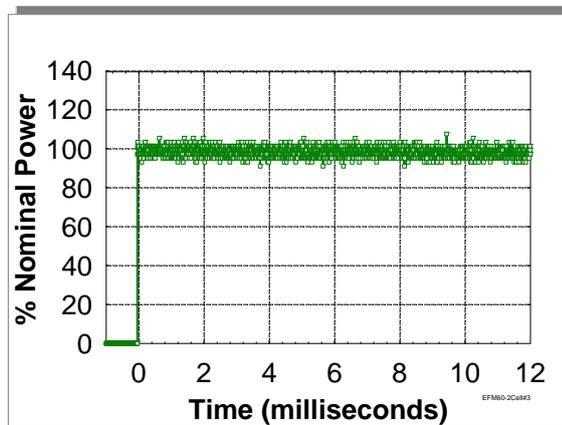
- The Ovonic Metal Hydride Fuel Cell can start up without hydrogen and operate for several minutes

## Alkaline Fuel Cell

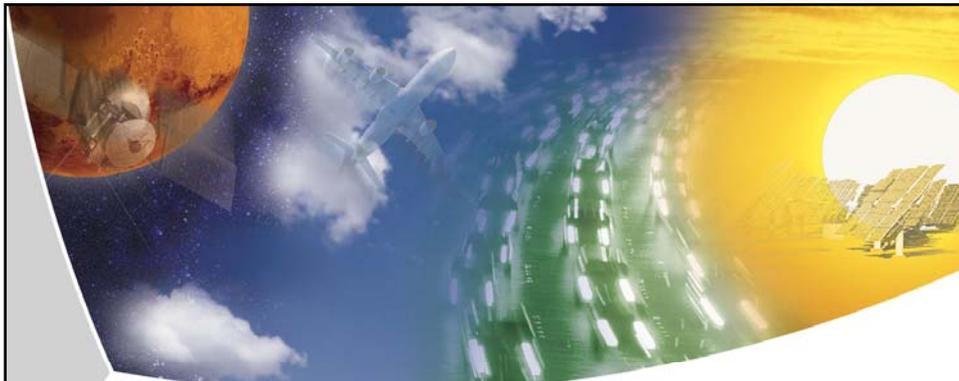


➤ The Ovonic Metal Hydride Fuel Cell stack can operate below -20 °C

## Alkaline Fuel Cell

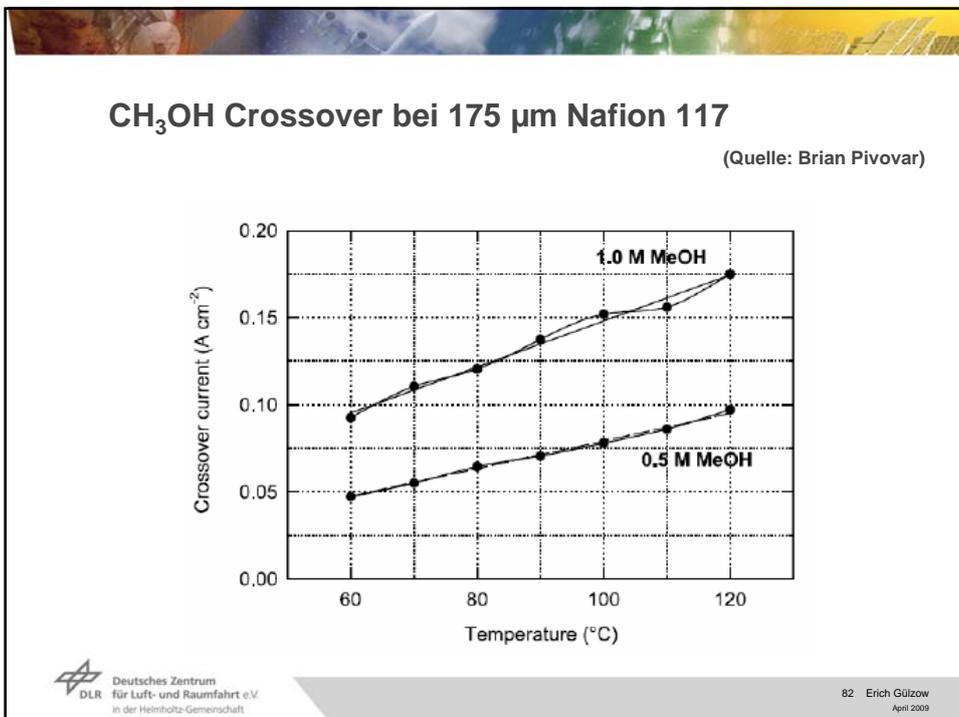


- Provides microsecond startup time
- Instant power generation even at -20 °C



➤ Direkt Ethanol – alkalische Brennstoffzelle

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft



## Ethanol Brennstoffzelle mit PEFC

### □ literature data with Nafion 117® :

from: H.A. Gasteiger & J. Garche, in: *Handbook of Heterogeneous Catalysis*, Wiley, 2<sup>nd</sup> Ed. (2007), in press

$T_{cell}$	$c_{meth}$	$P_{air}$	$S_{air}$	anode catalyst	cath. catalyst	loading <sub>anode</sub>	loading <sub>cath.</sub>	0.5V performance		0.4V performance		Ref.
°C	mol/l <sup>1</sup>	kPa <sub>abs</sub>	--	--	--	mg <sub>Pt</sub> /cm <sup>2</sup>	mg <sub>Pt</sub> /cm <sup>2</sup>	W/cm <sup>2</sup>	mg <sub>Pt</sub> /W	W/cm <sup>2</sup>	mg <sub>Pt</sub> /W	
90	0.75	300	5	60%wt Pt <sub>1</sub> Ru <sub>1</sub> /C	Pt-black	1.0	4.0	0.11	45	0.18	28	[1]
90	0.75	300	2	60%wt Pt <sub>1</sub> Ru <sub>1</sub> /C	Pt-black	1.0	4.0	0.17	29	0.18	28	[1]
80	0.5	300	?) <sup>1)</sup>	Pt <sub>1</sub> Ru <sub>1</sub> -black	Pt-black	$\Sigma_{anode/cath.}=2.6$		0.06	43	0.11	24	[2]
100	0.5	300	?) <sup>1)</sup>	Pt <sub>1</sub> Ru <sub>1</sub> -black	Pt-black	$\Sigma_{anode/cath.}=2.6$		0.10	26	0.15	17	[2]
110	1.0	300	?) <sup>2)</sup>	85%wt Pt <sub>1</sub> Ru <sub>1</sub> /C	85%wt Pt/C	$\Sigma_{anode/cath.}=2.0$		0.04	50	0.09	22	[3]
90	0.5	150	>5	PtRu <sup>3)</sup>	Pt-black	≈0.7	4.0	0.05	94	0.09	52	[4]

<sup>1)</sup> the air stoichiometry was only referred to as "high" and no specific value was given

<sup>2)</sup> air stoichiometry was not specified

<sup>3)</sup> the used PtRu catalyst was unspecified wrt. composition (assumed 1:1 atomic ratio in above calculation) and support (black or C-supported)

[1] M.P. Hogarth et al., *Plat. Met. Rev.* 46 (2002) 146

[2] S.C. Thomas et al., *Electrochim. Acta* 47 (2002) 3741

[3] R. Dillon et al., *J. Power S.* 127 (2004) 112

[4] M. Baldauf and W. Preidel, *J. Power S.* 84 (1999) 161

## Flüssiger Elektrolyt vs. Anion Exchange Membrane

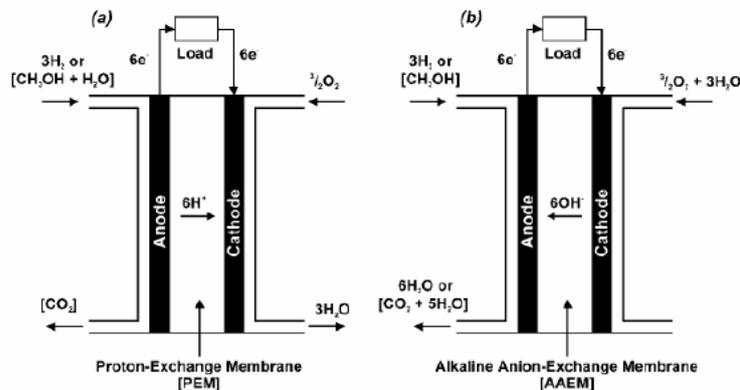
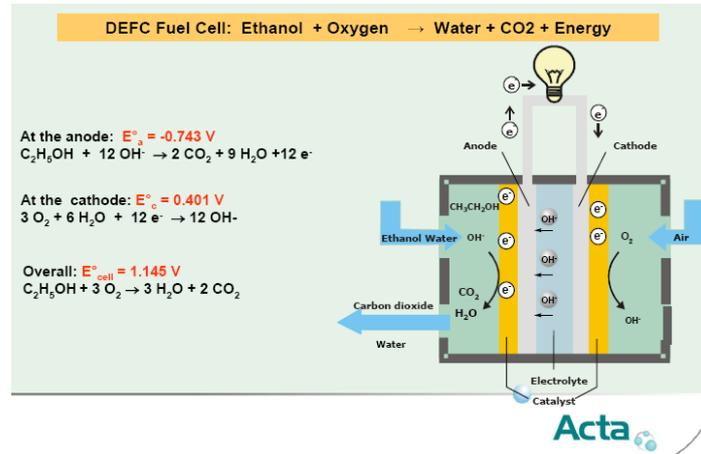


Fig. 1 A schematic of (a) a proton-exchange membrane and (b) an alkaline membrane fuel cell both fuelled either with H<sub>2</sub> gas or directly with methanol. The stoichiometric ratio of reactants and products are shown in each case.

Varcoe and Slade, *Fuel Cells*, 5, 2005, 187.

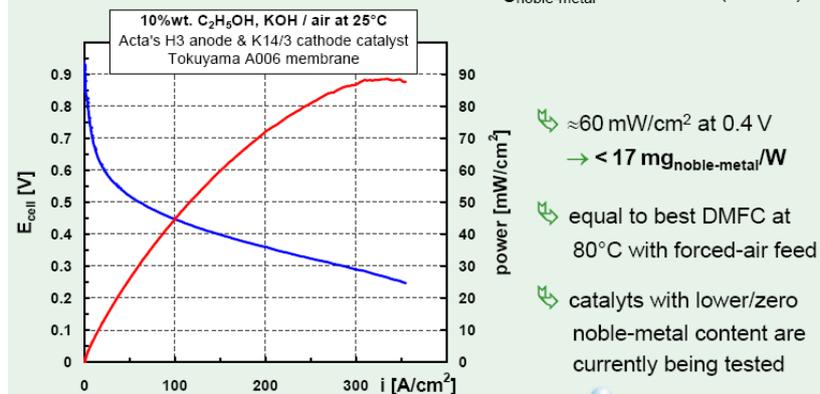
## Ethanol Brennstoffzelle

(Quelle: ACTA, Ren)



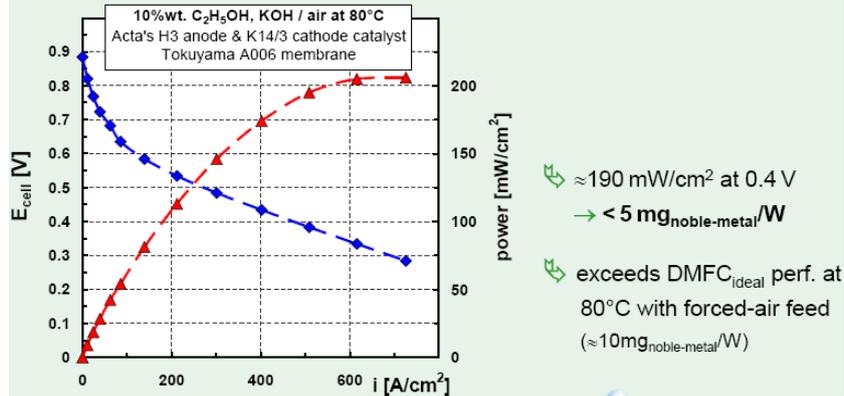
## Ethanol mit AEM

- air-breathing performance at 25°C:
  - non-noble metal cathode
  - <math>< 1 \text{ mg}\_{\text{noble-metal}}/\text{cm}^2</math> anode (non-Pt)



## Ethanol mit AEM

- forced-air fed performance at 80°C: - non-noble metal cathode
- $< 1 \text{ mg}_{\text{noble-metal}}/\text{cm}^2$  anode (non-Pt)



## Zusammenfassung Alkalische Brennstoffzellen:

- Alkalische Brennstoffzellen haben Vorteile, da preiswerte Katalysatoren eingesetzt werden können und durch den flüssigen Elektrolyt eine einfache Kühlung möglich ist.
- AFC kann mit verschiedensten Brennstoffen betrieben werden (gas- oder flüssig (Ammoniak / Methanol / Wasserstoff / Reformate))
- AFC ist erfolgreich demonstriert und eingesetzt worden
- Luft ist als Oxidator möglich (kein  $\text{CO}_2$  Problem)
- Betrieb ist bei niedrigen Temperaturen möglich, kein Einfrieren bei 0 °C
- Startup innerhalb kürzester Zeit (msec) bei speziellen Zellen
- Einige Firmen gehen an den Markt – sind am Markt



## Anwendungen – Brennstoffzellen Typ

### *Ist die AFC die Lösung für alle Anwendungen ?*

- Für jede Anwendung gibt es die am besten geeignete Brennstoffzelle
- Die Alkalische Brennstoffzelle ist preiswert aber *nicht sehr klein*, schnell – Temperaturtolerant – für Nischen entwickelt

Vorschlag:

- AFC – Hausenergie / dezentrale Energieversorgung bis 100 kW
- PEFC – mobile Anwendung
- MCFC – BHKW Anwendung großer Leistung
- SOFC – Großkraftwerke