



Institut für Wärmetechnik

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl
Institut für Wärmetechnik, Inffeldgasse 25B A-8010 Graz, Austria, www.iwt.tugraz.at



Graz University of Technology

Entwicklungsstand innovativer SOFC-Systeme zur dezentralen Energiebereitstellung

11^{tes} Symposium Energieinnovation Graz 2010
10.02. – 12.02.2010

Martin Hauth
Institut für Wärmetechnik
Technische Universität Graz
Österreich



Inhalt

⇒ Ein Blick zurück – Historie der SOFC

⇒ Derzeitige Marktsituation am Brennstoffzellensektor

⇒ Weltweite SOFC Aktivitäten mit Fokus auf die EU und die USA

⇒ Derzeitige Forschungsaktivitäten am Institut für Wärmetechnik

⇒ Zusammenfassung und Fazit



Geschichtliche Meilensteine

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee

1838/39:

Grundprinzip der Brennstoffzelle durch
Schönbein/Grove

1897:

Nernst demonstriert Ionenleitfähigkeit eines YSZ
Elektrolyten (Nernst Masse) mittels Nernst Lampe

1937:

Baur und Preis erfinden erste SOFC

1950-1990:

Wagner entdeckt Ionenleitfähigkeit, Startschuss
intensiver SOFC Entwicklung, Fokus auf Material

1986:

5 kW_{el} SOFC Generator von Westinghouse mit
tubularen Zellen

Parts of the Nernst Lamp

The elements of the Nernst Lamp are the glower, heater (made up of two or four heater tubes), ballast and cut-out. These are assembled in the lamp body and the holder.

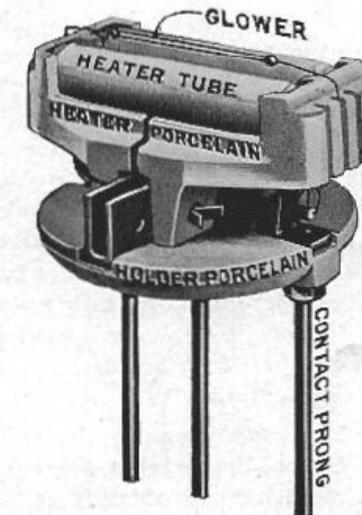


FIG. 3. NAMES OF PARTS OF THE NERNST LAMP HOLDER

Glower The glower, or light giving element, is a white porcelain-like rod about $\frac{1}{2}$ inch in diameter by 1 inch long. It is fastened to the holder mechanically and electrically by means of terminal wires and small aluminum plugs.

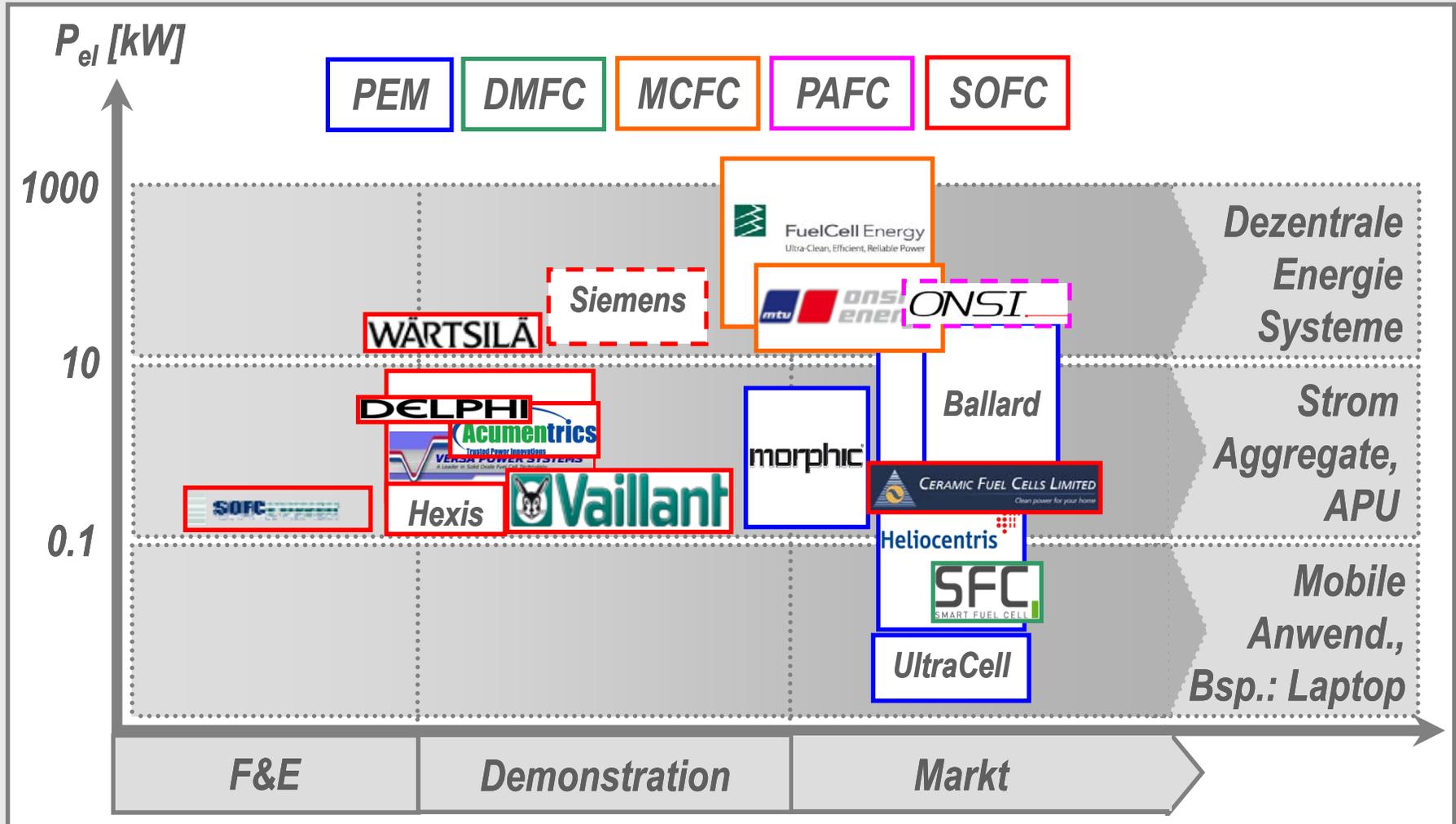
5

www.wikipedia.com



Marktsituation Brennstoffzellen

- Geschichte
- Marktsituation**
- SOFC-Aktivitäten
- F&E am IWT
- Resümee





Bsp. – Niedertemperatur Brennstoffzellen (PEM, DMFC)

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee

Smart Fuel Cell

DMFC: 25 – 90 W_{el}

6.5 – 7.9 kg

Brennstoff: Methanol

Hütten, Reisemobile, Marine,...



www.sfc.com



www.ballard.com

Ballard

PEM: 75 – 150 kW_{el}

350 – 400 kg

Brennstoff: H_2

Bus Antrieb (Flotte für Vancouver 2010)



Bsp. – Hochtemperatur Brennstoffzellen (MCFC, SOFC)

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee

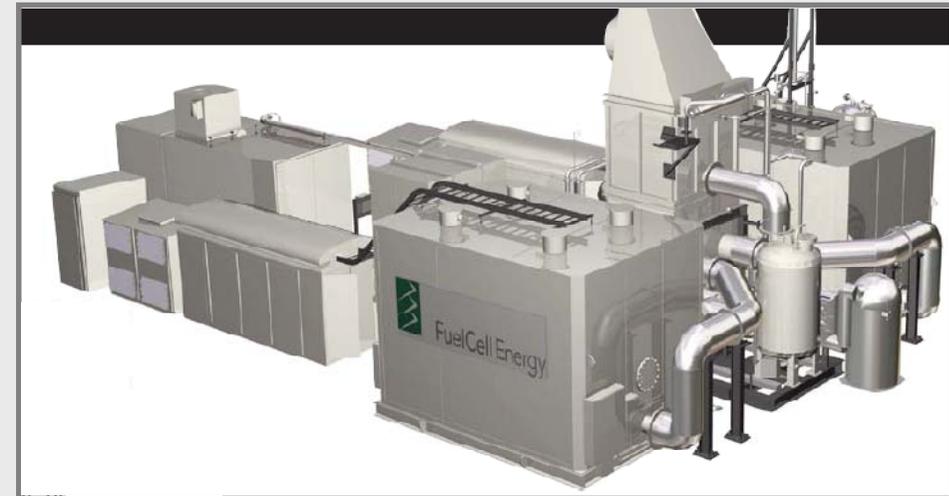
Fuel Cell Energy

MCFC: 0.3 / 1.4 / 2.8 MW_{el}

El. Wirkungsgrad: 47% (LHV)

Brennstoff: Erdgas

Dezentrale Kraftwerke



www.fuelcellenergy.com



www.cfcl.com

Ceramic Fuel Cell Ltd.

SOFC: 2 kW_{el} / 1 kW_{th}

El. Wirkungsgrad: 60% bei 1.5 kW_{el} (LHV)

Brennstoff: Erdgas

Brennstoffzellen-Heizgerät



Weltweite SOFC-Aktivitäten

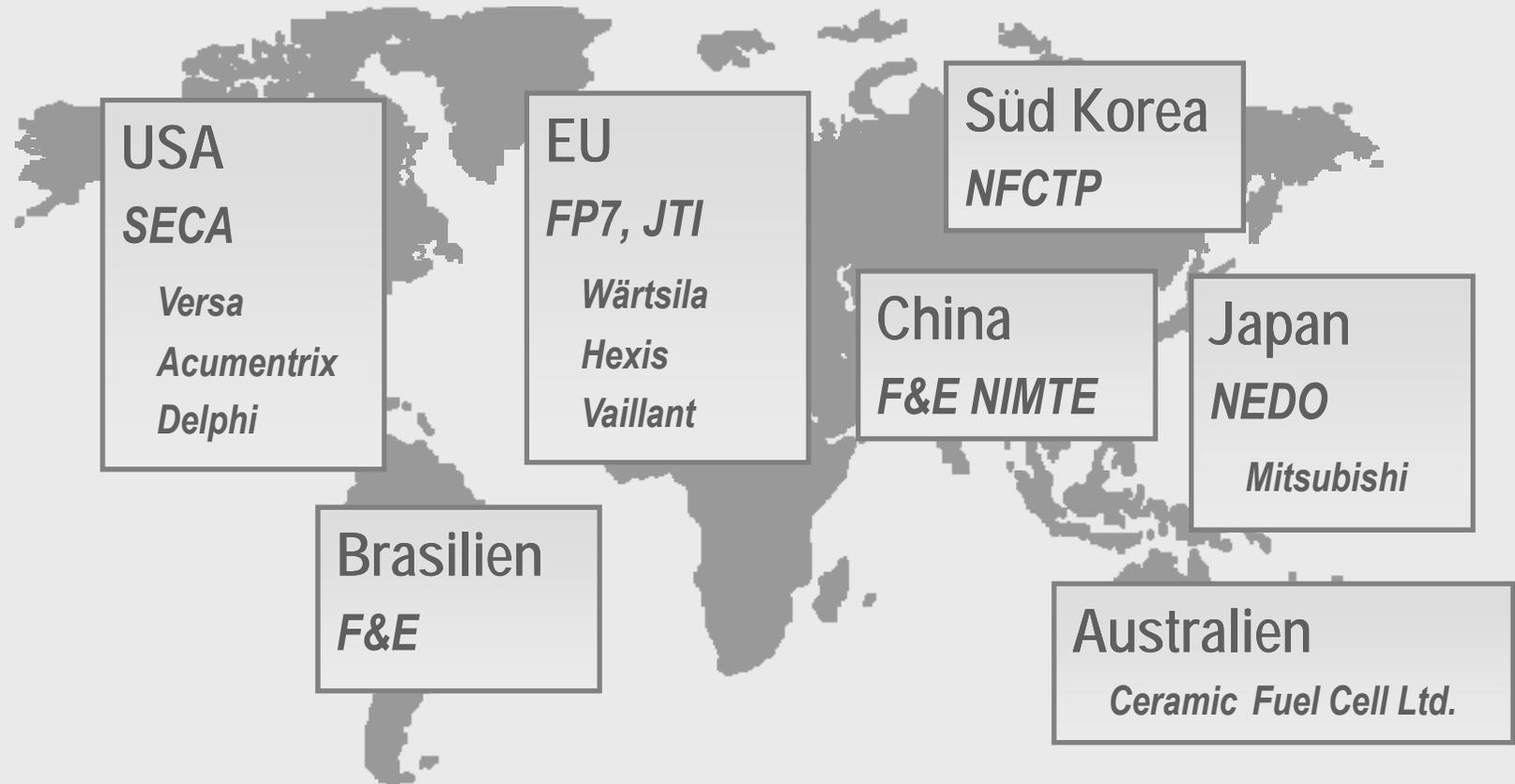
Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee





Weltweite SOFC-Aktivitäten - USA

Solid State Energy Conversion Alliance - SECA

1999 initiiert vom Department of Energy (DOE)

*Zusammenarbeit zwischen Regierung, Forschung und Industrie
zur Beschleunigung der Marktauglichkeit von 3 – 10 kW_{el} SOFC Systemen*

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee

Beteiligte Firmen:

Acumentrics, Cummins Power Gen., Delphi, Fuel Cell Energy, GE, Siemens

Zielsetzung:

- ⇒ *Entwicklung von SOFC Systemen mit integrierter Kohlevergasung*
- ⇒ *5 MW_{el} System mit Wärmerückgewinnung (2015)*
- ⇒ *atmosphärisch betriebenes SOFC System mit integr. Kohlevergasung (2020)*
- ⇒ *druckaufgeladenes SOFC System mit integrierter Kohlevergasung (2025)*



Weltweite SOFC-Aktivitäten - USA

Integrated Gasification Fuel Cell - IGFC

Geschichte

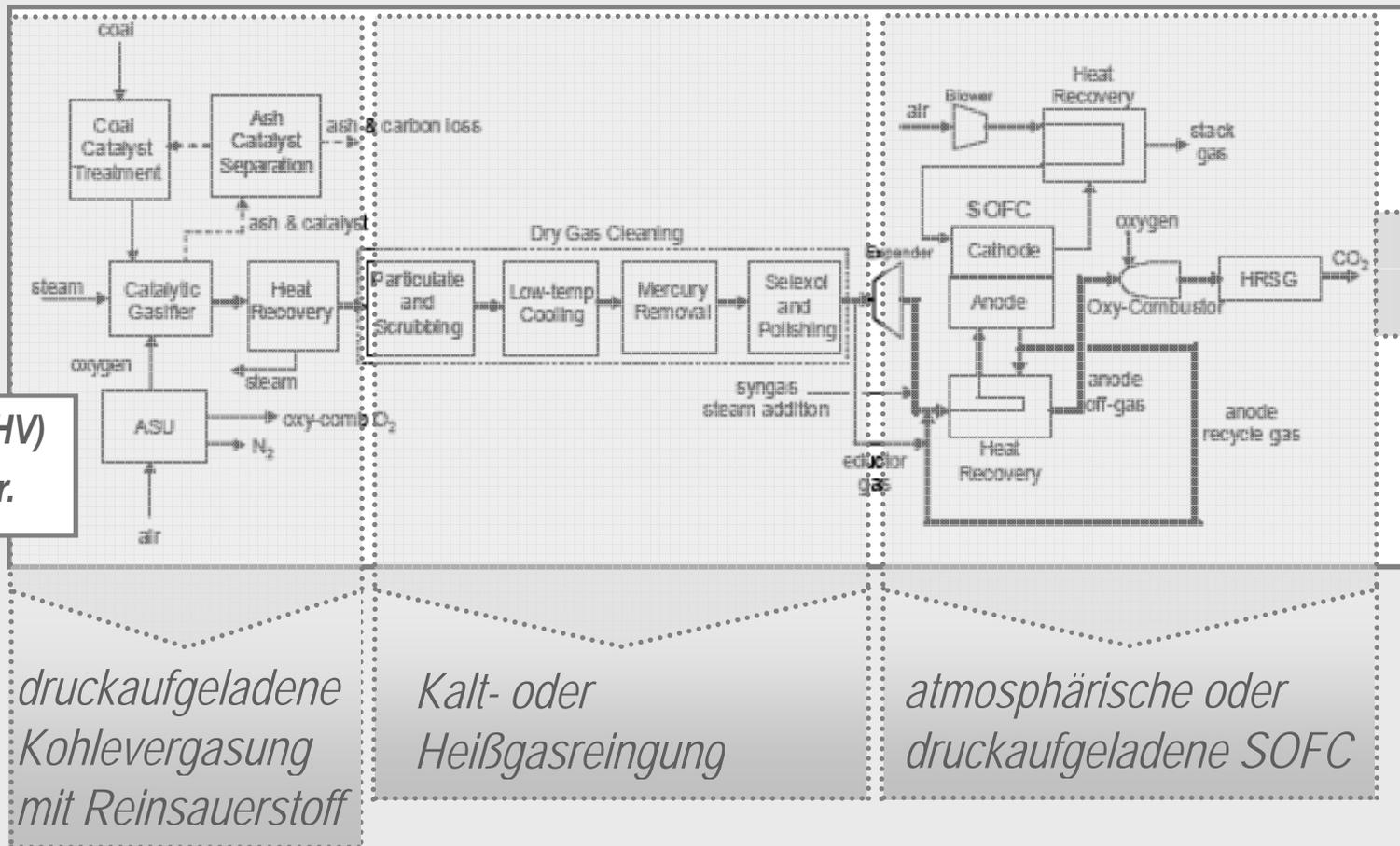
Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee

www.netl.doe.gov



CO₂ Abscheid.

η_{el} : ~50-56% (HHV)
inkl. CO₂-Kompr.

druckaufgeladene Kohlevergasung mit Reinsauerstoff

Kalt- oder Heißgasreinigung

atmosphärische oder druckaufgeladene SOFC



Weltweite SOFC-Aktivitäten - Europa

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee

EU-Rahmenprogramme FP6/FP7, JTI

FCH JTI zur Implementierung des 7. Rahmenprogramms

Partnerschaft zwischen Privatwirtschaft und öffentlicher Hand (EU-Kom.)

2008 – 2017

940 Millionen EUR

Technologie: PEM, MCFC, SOFC

anwendungsorientiert und technologieneutral

Teilkategorie „stationäre Energiesysteme und Kraft-Wärme-Kopplung“

Zielsetzung:

3 – 7 MW_{el} für vorkommerzielle Demonstrationszwecke (2010)

100 MW_{el} gesamte installierte Leistung (2015)



Weltweite SOFC-Aktivitäten - Europa

Progr.	Projekt	Laufzeit	Volumen	Ziel
FP6	SOFC600	2006-2010	11.92 M€	Entwicklung Stack Komponenten für 600°C
FP6	REAL SOFC	2004-2008	18.26 M€	Betrieb druckaufgeladener Stacks, Wärmerückgewin.
FP6	LARGE-SOFC	2007-2009	11.03 M€	Entwicklung von 100kW-MW Kraftwerken
FP6	FLAME-SOFC	2005-2010	12.26 M€	SOFC basierende Mikro KWK für untersch. Brennstoffe
FP6	GREEN-FC	2004-2007	5.17 M€	Nutzung Holzgas in einer SOFC
FP6	BIOCELLUS	2004-2007	3.36 M€	Demonstration holzgasbetriebener SOFC von unterschiedlichen Biomasse-Vergasern
FP6	BIOFUCEL	2004-2008	0.86 M€	Entwicklung SOFC KnowHow für stat. Anwendung basierend auf Biomasse Vergasung und Erdgas
FP7	METSOFC	2008-2011	5,57 M€	Entwicklung von neuartiger Stack Technologie basierend auf metallgestützten Elektroden
JTI	GENIUS	2010-2013	4,2 M€	„GEneric diagNosis InstrUment“ für SOFC Systeme
JTI	ASSENT	2010-2013	4,9 M€	Anoden Subsystem Entwicklung & Optimierung für SOFC Systeme
JTI	ROBANODE	2010-2013	3,4 M€	Untersuchung und Minimierung der Anoden Degradation in H ₂ - und erdgasbetriebenen SOFCs

Fokus SOFC

Dezentrale
Energiesysteme
auf Basis
Biomasse und
Erdgas



Weltweite SOFC-Aktivitäten - Europa

Wärtsilä WFC20

Erster Prototyp 2007

SOFC: 20 kW_{el}

El. Wirkungsgrad: 46% (LHV)

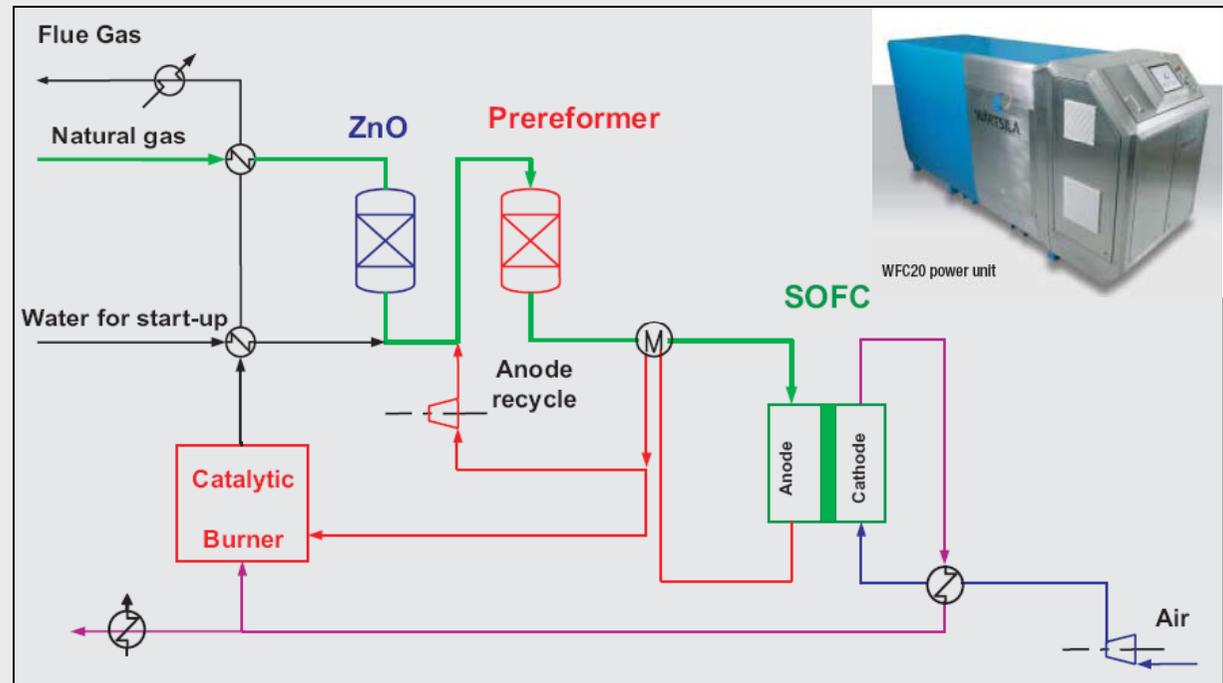
Gesamtnutzungsgrad: 80%

Brennstoff: Erdgas, Methanol, H_2

Aufgabe der Systemintegration

Stack, Reformer, katal. Brenner (TOFC)

Upscale auf 50 kW_{el} geplant



www.wartsila.com



F&E im Bereich SOFC am Institut für Wärmetechnik

EU-Projekt „BioCellus“ (FP6) 2004 – 2007

Koordinator: TU-München

„Demonstration holzgasbetriebener SOFC von unterschiedlichen Biomasse-Vergasern“

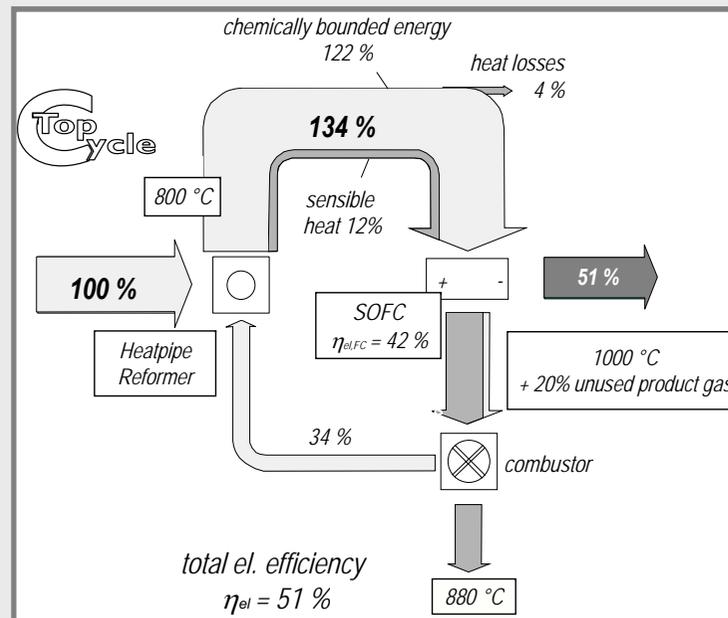
Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee



Karl J., 2006

- Kopplung untersch. Biomasse-Vergaser-Bauarten mit einer SOFC
- Produktgasaufbereitung durch Kalt- und Heißgasreinigung
- Einsatz von realem Holzgas in planaren sowie tubularen SOFC mit und ohne Teer-Vorreformer

⇒ **FAZIT:** SOFC zeigt hohe Toleranz gegenüber Teere



F&E im Bereich SOFC am Institut für Wärmetechnik

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee

FFG-Projekt „Tarcell“ 2009 -2012

„Einfluß von höheren Kohlenwasserstoffen auf das Betriebsverhalten einer SOFC“

Hintergrund:

Die Umsetzung der Teere im Holzgas durch Reformierung an der Anode der SOFC

- ⇒ vereinfacht die Gasreinigung des Gesamtprozesses*
- ⇒ ermöglicht die Nutzung der in den Teeren enthaltenen Brennstoffenergie*
- ⇒ verbessert den Wärmehaushalt (Wärme für Reform. direkt von SOFC)*
- ⇒ steigert somit den Gesamtnutzungsgrad des Systems*

Erste Ergebnisse mit Naphthalin in $H_2/N_2/H_2O$:

- ⇒ Naphthalin wird temperaturabhängig an der Anode umgesetzt*
- ⇒ messbare **Potentialsteigerung** durch Erhöhung des Brennstoffangebots aufgrund Reformierung von Naphthalin*



Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT



Gasregelstrecke



Teerkonditioniereinheit



SOFC-Prüfstand



F&E im Bereich SOFC am Institut für Wärmetechnik

Funktionsweise

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

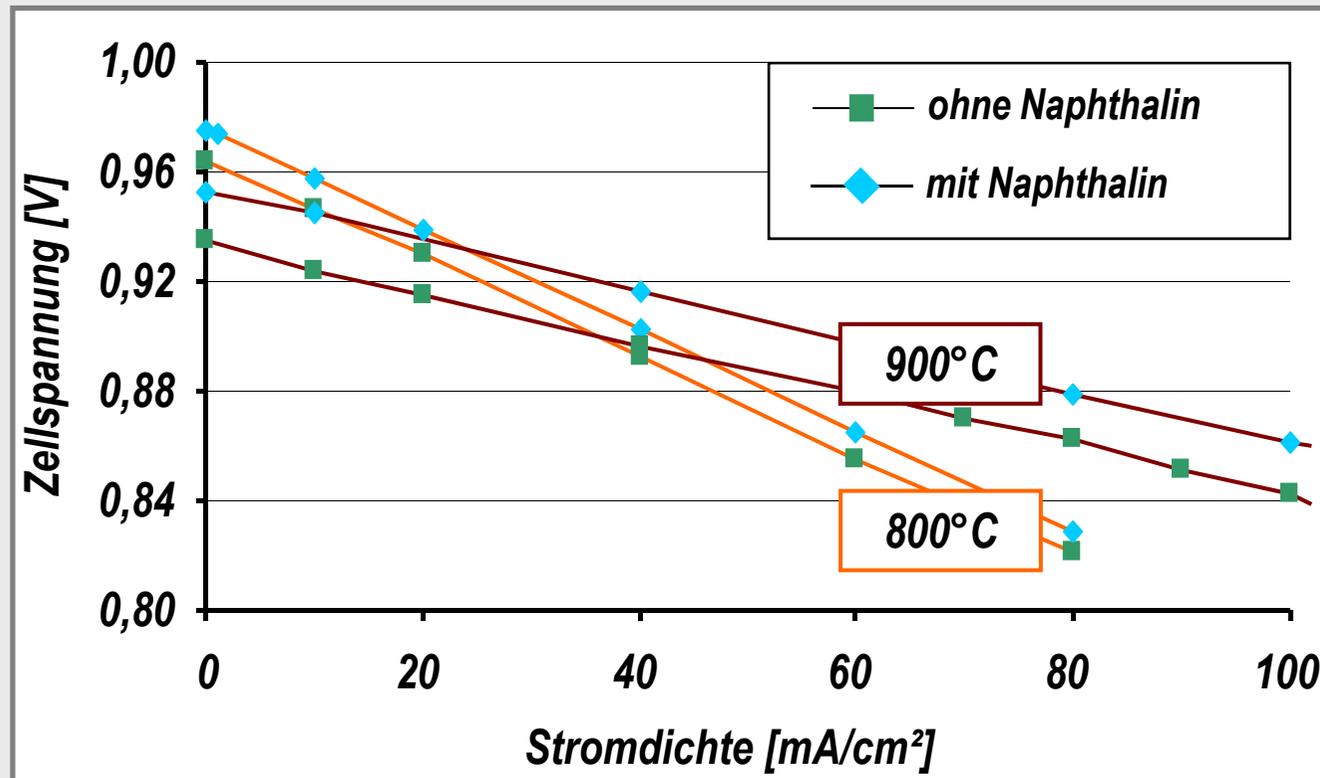
F&E am IWT

Kostenziele

Resümee

U-I Kennlinie:

Brennstoffgemisch: $H_2/N_2/H_2O + C_{10}H_8$ (Naphthalin)





F&E im Bereich SOFC am Institut für Wärmetechnik

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee

weitere Schritte:

- ⇒ Tests mit Permanentgasmischungen (synthetisches Holzgas)
- ⇒ Variation und Kombination der Teerspezies (Phenol, Toluol, Xylol, Phenanthren)
- ⇒ Tests mit realem Holzgas



Keramikgehäuse für planare 10x10cm² SOFC-Einzelzellen



Zusammenfassung

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Resümee

- *Derzeitige sich am Markt befindlichen Brennstoffzellen Systeme sind zumeist PEM und MCFC. SOFC haben Marktdurchbruch noch nicht erreicht*
- *Zahlreiche SOFC Aktivitäten weltweit, gestützt durch nationale und internationale Programme wie **SECA (USA), JTI (EU), NEDO (Japan)***
- ***USA** bekennt sich mit Konzept der **Integrated Gasification Fuel Cell (IGFC)** zur langfristigen Nutzung von **Kohle** in SOFC-Systemen für die dez. Energiebereitst.*
- ***EU** fördert breiter – **anwendungsorientiert und technologieneutral**, zu den verfolgten Technologien zählen hauptsächlich der Einsatz von **Erdgas** sowie vereinzelt die Nutzung von **Biomasse***
- *F&E Aktivitäten am Institut für Wärmetechnik konzentrieren sich auf die **Nutzung von Produktgasen** aus der Biomasse-Vergasung mit Fokus auf **höhere Kohlenwasserstoffe***

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Institut für Wärmetechnik

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl

Institut für Wärmetechnik, Inffeldgasse 25B A-8010 Graz, Austria, www.iwt.tugraz.at



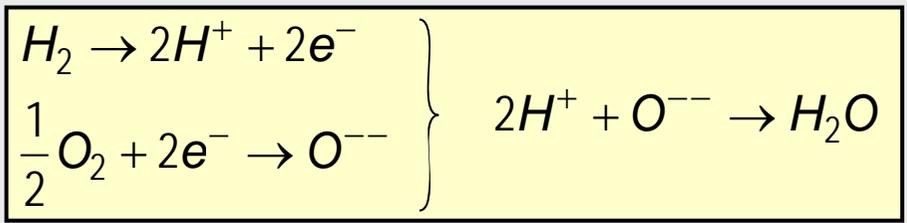
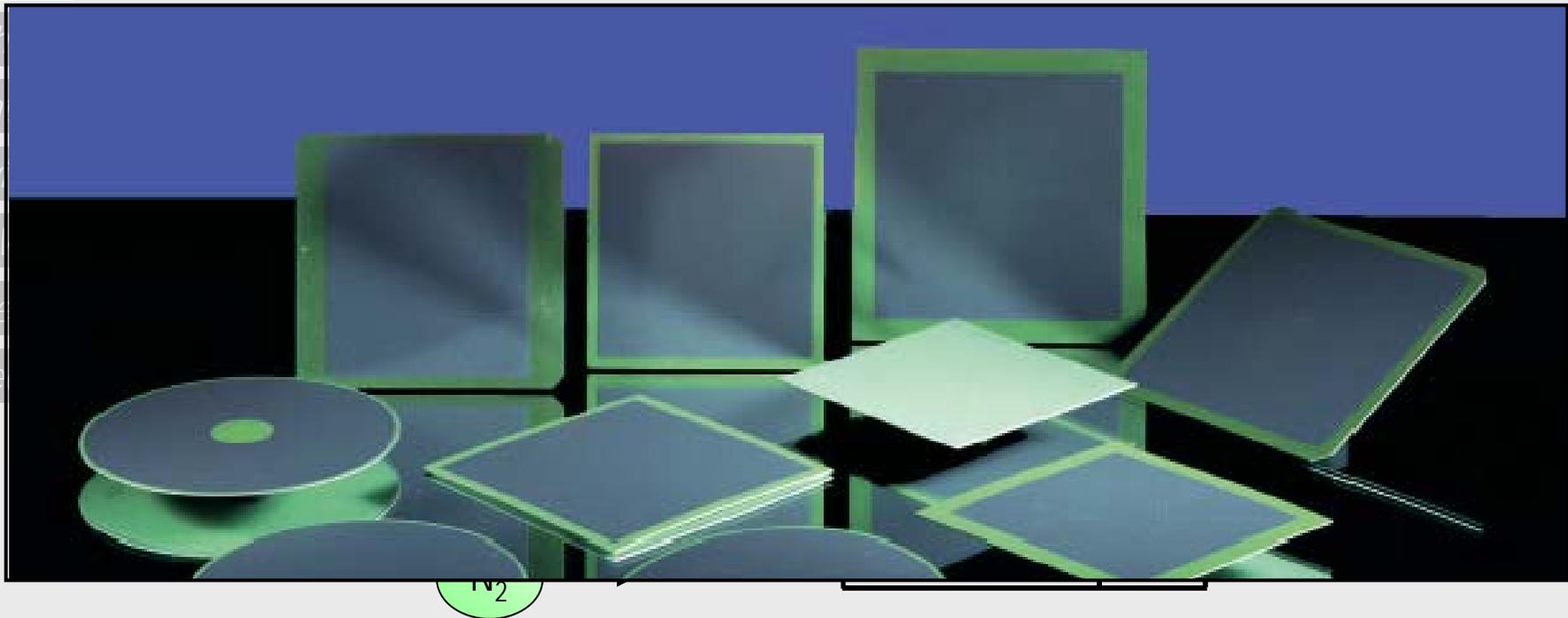
Graz University of Technology



Funktionsweise SOFC

Funktionsweise

- Geschichte
- Marktsituation
- SOFC-Aktivitäten
- F&E am Institut
- Kostenziele
- Resümee





Weltweite SOFC-Aktivitäten - Europa

Funktionsweise

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Kostenziele

Resümee

Deutschland

„Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“

Projekt „Callux“

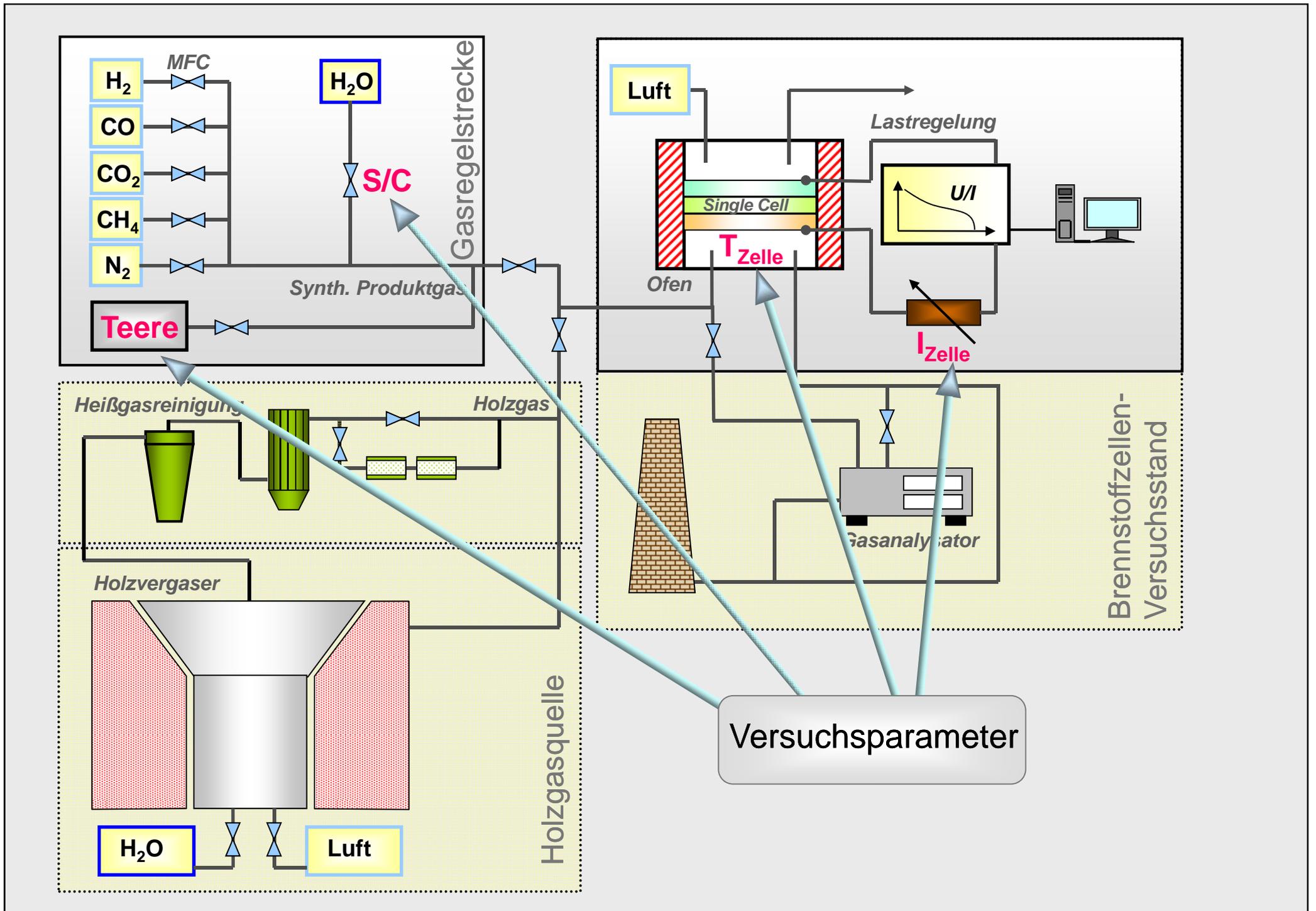
koordiniert von der NOW GmbH

Volumen 86 Millionen EUR

Praxistest bis zur Marktreife von Brennstoffzellen-Heizgeräten

Firmen: Baxi Innotech (PEM), Hexis (SOFC), Vaillant (PEM, SOFC)

Leistungsbereich zwischen 1 und 4.6 kW_{el}





Kostenziele SOFC für dezentrale Energiebereitstellung

Funktionsweise

Geschichte

Marktsituation

SOFC-Aktivitäten

F&E am IWT

Kostenziele

Resümee

Wirtschaftsraum	System/Stack	Anwendung	Leistung	Zeithorizont	Kosten
Japan	System	dezentr. Energieerz.	>100 kW	2009-2013	8500 US\$/kW
Japan	System	dezentr. Energieerz.	>100 kW	2025-2030	900 US\$/kW
Japan	System	Kraft-Wärme-Koppl.	10-100 kW	2013-2020	8500 US\$/kW
Japan	System	Kraft-Wärme-Koppl.	10-100 kW	2020-2030	1700 US\$/kW
USA	System	Dezentr. Energieerz.	>100 kW	2010	400 US\$/kW
USA	Stack	Dezentr. Energieerz.	>100 kW	2010	100 US\$/kW
EU	System	Kraft-Wärme-Koppl.	1-10 kW	2009-2012	6000 EUR/kW
EU	System	Kraft-Wärme-Koppl.	>100 kW	2009-2012	1,5-5 kEUR/kW
Studie „BioCellus“ ohne Kosten Degression	System	Dezentr. Energieerz. SOFC mit integr. Biomasse-Vergasung	212 kWel	2008	12000 EUR/kW
Studie ohne Kosten Degression	System	Dezentr. Energieerz. SOFC mit integr. Biomasse-Vergasung	200 kWel	2004	4260 EUR/kW

Programm
Ziele

Studien