

# IEA Advanced Fuel Cells

## Berichtsperiode: 2011-2013

Annex 22: Polymer Elektrolyt  
Brennstoffzellen

Annex 25: Brennstoffzellen  
für stationäre Anwendungen

Annex 27: Brennstoffzellen  
für portable Anwendungen

G. Simader  
M. Mitterdorfer  
V. Hacker  
C. Gehrler  
et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

# 41/2014

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# IEA Advanced Fuel Cells

## Berichtsperiode: 2011-2013

Dr. Günter Simader, Manuel Mitterndorfer, MSc  
Österreichische Energieagentur

Prof. Dr. Viktor Hacker, Mag. Carmen Gehrler,  
DI Merit Bodner, DI Alexander Schenk, DI Stephan Nestl,  
DI Christoph Grimmer, DI Stephan Weinberger  
Technische Universität Graz  
Institut für Chemische Verfahrenstechnik und  
Umwelttechnik – Labor für Brennstoffzellen

Wien, Mai 2014

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at) gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>KURZFASSUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SHORT SUMMARY .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>ÜBERSICHT ÜBER DAS IMPLEMENTING AGREEMENT .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>INHALT UND ERGEBNISSE DES PROJEKTES.....</b>	<b>8</b>
<b>5.1</b>	<b>Task 22 „Polymer Electrolyte Fuel Cells“ .....</b>	<b>8</b>
5.1.1	Ziele des Tasks.....	8
5.1.2	Inhaltliche Gliederung des Tasks .....	8
5.1.3	Aktivitäten in Österreich.....	9
5.1.4	Ergebnisse.....	12
5.1.5	Fazit .....	21
<b>5.2</b>	<b>Task 25 “Fuel Cells for Stationary Applications” .....</b>	<b>23</b>
5.2.1	Ziele des Tasks.....	23
5.2.2	Inhaltliche Gliederung des Tasks .....	23
5.2.3	Aktivitäten in Österreich.....	25
5.2.4	Ergebnisse.....	26
5.2.5	Fazit .....	41
<b>5.3</b>	<b>Task 27 „Fuel Cells for Portable Applications“ .....</b>	<b>43</b>
5.3.1	Ziele des Tasks.....	43
5.3.2	Inhaltliche Gliederung des Tasks .....	43
5.3.3	Aktivitäten in Österreich.....	44
5.3.4	Ergebnisse.....	44
5.3.5	Fazit .....	51
<b>6</b>	<b>VERNETZUNG UND ERGEBNISTRANSFER .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN.....</b>	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>62</b>
9.1	Newsletter Nr. 1 - 2012 .....	62
9.2	Newsletter Nr. 2 - 2013 .....	70
9.3	Newsletter Nr. 3 - 2013 .....	78



# 1 Kurzfassung

Hauptziel des Implementing Agreement on **Advanced Fuel Cells** – AFC der Internationalen Energieagentur IEA ist die forcierte Technologieentwicklung für Schlüsselkomponenten und -systeme von Brennstoffzellen und in weiterer Folge die Marktimplementierung dieser Systeme. Mittels eines international ausgerichteten Netzwerkes werden:

- gemeinsame Forschungsziele formuliert, bearbeitet und optimiert
- Ergebnisse der Forschungsarbeiten analysiert und disseminiert (Info-Veranstaltungen, Workshops, etc.)
- System- und Marktanalysen durchgeführt.

Es beteiligen sich folgende 15 Länder an diesem Implementing Agreement: Australien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Israel, Italien, Japan, Kanada, Korea, Mexiko, Österreich, Schweden, Schweiz und USA.

Das Programm strukturiert sich in drei technologisch- typenorientierte Annexe und drei applikationsorientierte Annexe, Annex 28 betrifft die Systemanalysen aller Bereiche. Alle Annexe enden 2014 (siehe *Tabelle 1*).

*Tabelle 1: Annexe des Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells, Zielsetzungen und Laufzeit*

Nr.	Annex	Ziel	Laufzeit
22	Polymer Electrolyte Fuel Cells	Kostenreduktion, Leistungssteigerung und Haltbarkeit von PEFCs, DMFCs und entsprechenden Brennstoffzellensystemen.	2009–2014
23	Molten Carbonate Fuel Cells	Gemeinsame Forschung und Entwicklung zur Unterstützung der Kommerzialisierung von MCFC-Systemen.	2009–2014
24	Solid Oxide Fuel Cells	Organisation von jährlichen Workshops, um SOFC-Themen zu diskutieren.	2009–2014
25	Fuel Cells for Stationary Applications	Schaffen von Verständnis zum Einsatz stationärer Brennstoffzellen in der Energietechnik.	2009–2014
26	Fuel Cells for Transportation	Schaffen von Verständnis zum Einsatz von Brennstoffzellen im Transportbereich.	2009–2014
27	Fuel Cells for Portable Applications	Kommerzialisierung und Entwicklung von tragbaren Brennstoffzellen durch internationale Zusammenarbeit.	2009–2014
28	Systems Analysis	Die Entwicklung von Brennstoffzellen durch Analysetätigkeiten zu unterstützen, um die Zukunft dieser Technologie besser interpretieren zu können.	2011-2014

Österreich ist mit Ende des Jahres 2004 offiziell diesem Implementing Agreement beigetreten und wirkte im Rahmen seiner Beteiligung an den Annexen 22, 25 und 27 mit. Die Ziele für diese Beteiligung sind wie folgt:

## Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells (AFC)

- Integration österreichischer Spitzenforschung in internationale FTE-Arbeitsschwerpunkte
- Internationale Arbeitsteilung bei Hochrisikoforschungen und bei kapitalintensiven Demonstrationsprojekten
- Transfer von internationalem Know-how nach (und in) Österreich
- Forcierung und Mobilisierung der österreichischen angewandten und Grundlagen-FTE (durch gewonnenes IEA Know-how)
- Generell die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und Internationalisierung der österreichischen Wirtschaft durch gesteigerte FTE-Leistungen.

Die Teilnahme Österreichs erfolgt durch ein Konsortium bestehend aus der Österreichischen Energieagentur und dem Labor für Brennstoffzellen am Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik der Technischen Universität Graz. Dadurch wird gewährleistet, dass sowohl die technisch-wissenschaftlichen als auch die sozioökonomischen Beiträge auf hohem Niveau erfolgen.

## 2 Short Summary

The aim of the IEA Advanced Fuel Cells programme is to enhance the state of understanding of all contracting parties in the field of advanced fuel cells, through a co-ordinated programme of research, technology development and system analysis on Molten Carbonate (MCFC), Solid Oxide (SOFC) and Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) systems. There is a strong emphasis on information exchange through task meetings, workshops and reports. The work is undertaken on a task-sharing basis with each participating country providing an agreed level of effort over the period of the task.

The participants are: Australia, Austria, Canada, Denmark, Finland, France, Germany, Israel, Italy, Japan, Korea, Mexico, Sweden, Switzerland and USA.

The programme is structured in three technology-oriented annexes and three application/market-oriented annexes, with the Systems Analysis Annex encompassing all these areas. All annexes end 2014 (see Figure 1).

*Table 1: Annexes of the present five-year work programme including objectives and duration*

No.	Annex	Objectives	Duration
22	Polymer Electrolyte Fuel Cells	To contribute to the development of techniques to reduce the cost and improve the performance and durability of PEFCs, DMFCs and corresponding fuel cell systems	2009–2014
23	Molten Carbonate Fuel Cells	To provide for further international collaboration in the research and development of certain aspects of MCFC technology, in order to realise commercialisation of the system.	2009–2014
24	Solid Oxide Fuel Cells	To organise a series of annual workshops to discuss selected SOFC topics.	2009–2014
25	Fuel Cells for Stationary Applications	To understand better how stationary fuel cell systems may be deployed in energy systems	2009–2014
26	Fuel cells for Transportation	To develop understanding of fuel cells with their particular properties, applications and fuel requirements.	2009–2014
27	Fuel cells for Portable Applications	To assist, through international co-operation, with the development of portable fuel cells towards commercialisation.	2009–2014
28	Systems Analysis	To assist the development of fuel cells through analysis work to enable a better interpretation of the current status and the future potential of the technology.	2011-2014

Austria participates officially in this Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells since autumn 2004. Work is carried out within Annexes 22, 25 and 27. The specific Austrian goals of this participation are as follows:

## Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells (AFC)

- Integration of Austrian cutting-edge RTD activities in international RTD emphasis
- International division of tasks and labour for high-risk R&D and for capital-intensive demonstration projects
- Transfer of international know-how to (and in) Austria
- Promotion and mobilisation of Austrian applied and basic RTD (by gaining IEA know-how)
- Strengthening the competitiveness and internationalisation of the Austrian economy by increased RTD contributions, in general.

The participation of Austria is performed by a consortium consisting of the Austrian Energy Agency and the Fuel Cells Laboratory at the Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology, Graz University of Technology. This consortium guarantees both technical-scientific and socio-economic contributions on a high level.

### 3 Einleitung

Die Österreichische Energieagentur – im Auftrag des BMVIT – begann bereits im Jahr 1998, verstärkt Informationsinitiativen (im Themenfeld „Brennstoffzelle“) zu lancieren, mit dem Ziel, die österreichischen Unternehmen/Institutionen in ihren FTE-Anstrengungen und -Aktivitäten zu unterstützen. Zu Beginn der Aktivitäten standen Know-how-Transferveranstaltungen im Vordergrund, aber auch eine Vielzahl von Analysen wurden publiziert, welche einerseits den Stand der Technik von Brennstoffzellen aufzeigten, andererseits auf europäische/internationale Initiativen bzw. FTE-Programme verwiesen. Damit einhergehend konnten die relevanten österreichischen FTE-Institutionen hinsichtlich der Teilnahme an EU FTE-Programmen erfolgreich mobilisiert werden.

In den Jahren 2001/2002 wurde von Seiten der Österreichischen Energieagentur – wiederum im Auftrag des BMVIT – eine strategische Ausrichtung des Brennstoffzellen-Themas im Kontext europäischer, internationaler und nationaler FTE-Aktivitäten erarbeitet und publiziert. Im Wesentlichen wird darin eine verstärkte Integration der österreichischen FTE-Anstrengungen („Stichwort: Internationale Arbeitsteilung“) in die europäischen und internationalen Aktivitäten unter Berücksichtigung vorhandener nationaler FTE-Schwerpunkte vorgeschlagen. Diesem Vorschlag wurde von Seiten des BMVIT im Jahr 2004 Rechnung getragen; seit diesem Zeitpunkt beteiligt sich Österreich am Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells. Die Österreichische Energieagentur vertritt Österreich gemeinsam mit der TU Graz im Executive Committee. Wissenschaftliche Arbeiten werden in den Tasks: „Stationary Applications“, „Portable Applications“ und „PEFC – Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen“ geleistet.

Hinsichtlich alternativer Antriebe und Verkehrstechnologien etablierten sich – durch das BMVIT initiierte – nationale Strukturen und Programme, mit denen im Rahmen dieses Implementing Agreements zusammen gearbeitet wurde.<sup>1</sup> In diesem Zusammenhang arbeitete A3PS am Task 26: „Fuel cells for transportation“ mit. Inhaltliche Abstimmungen mit dem Implementing Agreement on Hybrid and Electrical Vehicles wurden unterstützt.

Dieser Bericht fasst die Projektarbeiten für den Zeitraum 1. April 2011 bis 31. März 2014 zusammen und stellt die bisher in den Tasks erzielten Ergebnisse vor.

---

<sup>1</sup> Als Beispiele werden einerseits das A3Plus Programm und der Verein A3PS genannt.

## 4 Übersicht über das Implementing Agreement

Das Hauptziel des „Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells – AFC“ ist die forcierte Technologieentwicklung für Schlüsselkomponenten und -systeme von Brennstoffzellen und in weiterer Folge die Marktimplementierung dieser Systeme. Mittels eines international ausgerichteten Netzwerkes werden:

- gemeinsame Forschungsziele formuliert, bearbeitet und optimiert,
- Ergebnisse der Forschungsarbeiten analysiert und disseminiert (Info-Veranstaltungen, Workshops) und
- System- und Marktanalysen durchgeführt.

Es beteiligen sich folgende 15 Länder an diesem Implementing Agreement: Australien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Israel, Italien, Japan, Kanada, Korea, Mexiko, Österreich, Schweden, Schweiz und USA.

Das Programm strukturiert sich in drei technologisch, typenorientierte Annexe und drei applikationsorientierte Annexe, der Annex 28 betrifft die System Analysen aller Bereiche. Alle Annexe enden 2014 (siehe *Tabelle 2*).

*Tabelle 2: Annexe des Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells, Zielsetzungen und Laufzeit*

Nr.	Annex	Ziel	Laufzeit
22	Polymer Electrolyte Fuel Cells	Kostenreduktion, Leistungssteigerung und Haltbarkeit von PEFCs, DMFCs und entsprechenden Brennstoffzellensystemen	2009–2014
23	Molten Carbonate Fuel Cells	Gemeinsame Forschung und Entwicklung zur Unterstützung der Kommerzialisierung von MCFC Systemen	2009–2014
24	Solid Oxide Fuel Cells	Organisation von jährlichen Workshops um SOFC Themen zu diskutieren.	2009–2014
25	Fuel Cells for Stationary Applications	Schaffen von Verständnis zum Einsatz stationärer Brennstoffzellen in der Energietechnik	2009–2014
26	Fuel Cells for Transportation	Schaffen von Verständnis zum Einsatz von Brennstoffzellen im Transportbereich.	2009–2014
27	Fuel Cells for Portable Applications	Kommerzialisierung und Entwicklung von tragbaren Brennstoffzellen durch internationale Zusammenarbeit.	2009–2014
28	Systems Analyses	Die Entwicklung von Brennstoffzellen durch Analysetätigkeiten zu unterstützen, um die Zukunft dieser Technologie besser interpretieren zu können.	2011-2014

Die meisten Mitgliedsländer des Implementing Agreements beteiligen sich, wie Österreich, in mehr als einem Annex, siehe *Tabelle 2*. Die Teilnehmer der technologisch-typenorientierten Annexe sind größtenteils Universitäten und Forschungslabors. In den applikationsorientierten Annexen beteiligen sich auch die Industrie, vor allem Energieversorgungsunternehmen, Zulieferer und Automobil-Hersteller.

Die Teilnahme Österreichs erfolgt durch ein Konsortium bestehend aus der Österreichischen Energieagentur und dem Labor für Brennstoffzellen am Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik der Technischen Universität Graz. Dadurch wird gewährleistet, dass sowohl die technisch-wissenschaftlichen als auch die sozioökonomischen Beiträge auf hohem Niveau erfolgen.

Die österreichische Beteiligung sieht die Teilnahme in den Annexen 22, 25 und 27 vor (siehe hierzu die nächsten Kapitel). Das Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik nimmt an Annex 22 „Polymer Electrolyte Fuel Cells“ und Annex 27 „Fuel Cells for Portable Applications“ teil. Die Österreichische Plattform zur Förderung von alternativen Antriebssystemen (A3PS) beteiligt sich in Annex 26, es besteht eine Verbindung mit Annex XIII, „Fuel cells for vehicles“ des Implementing Agreements für Hybrid- und Elektrofahrzeuge. Die Österreichische Energieagentur arbeitet an Annex 25 „Fuel Cells for Stationary Applications“ mit.

*Tabelle 3: Beteiligung der Mitgliedsländer in den verschiedenen Annexen*

Mitgliedsländer / Annex	22	23	24	25	26	27	28
<b>Australien</b>			X	X			
<b>Belgien</b>							
<b>China</b>							
<b>Dänemark</b>	X		X	X	X		X
<b>Deutschland</b>	X	X	X	X	X	X	X
<b>Finnland</b>	X		X	X	X		
<b>Frankreich</b>	X		X	X	X		
<b>Israel</b>							
<b>Italien</b>	X	X	X	X	X	X	X
<b>Japan</b>	X	X	X	X		X	X
<b>Kanada</b>	X		X	X	X	X	
<b>Korea</b>	X	X	X	X	X	X	X
<b>Mexico</b>	X			X			
<b>Niederlande</b>			X	X			
<b>Österreich</b>	X			X	X	X	X
<b>Schweden</b>	X		X	X	X	X	
<b>Schweiz</b>			X	X			
<b>UK</b>							X
<b>USA</b>	X	X	X	X	X		X

Ein Informationsaustausch mit anderen Implementing Agreements wie Wasserstoff-, Hybrid- und elektrische Fahrzeuge findet statt, um vorhandene Synergien bestmöglich zu nutzen.

Auf den Webseiten (<http://www.ieafuelcell.com/> sowie <http://www.energyagency.at/projekte-forschung/gebaeude-haushalt/detail/artikel/oesterreichische-beteiligung-am-implementing-agreement-on-advanced-fuel-cells-der-iea-2009-2013.html>) sind alle wichtigen Informationen über das Implementing Agreement ersichtlich. Die Webseiten zeigen die Jahresberichte, Endberichte, Publikationen und die Kontaktdaten der Mitglieder des Executive Committee (ExCo).

## 5 Inhalt und Ergebnisse des Projektes

### 5.1 Task 22 „Polymer Electrolyte Fuel Cells“

#### 5.1.1 Ziele des Tasks

Annex 22 ist ein forschungs- und entwicklungsorientierter Task, dessen Hauptziel auf die Identifikation und die Entwicklung von Techniken und Materialien gerichtet ist, um eine Kostenreduktion sowie die Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Polymerelektrolytbrennstoffzellen (PEFCs), Direkt-Brennstoff-Polymerelektrolytbrennstoffzellen (DF-PEFCs) und ähnlichen Brennstoffzellensystemen zu erreichen.

#### 5.1.2 Inhaltliche Gliederung des Tasks

##### **Subtask 1: Neue Materialien für Brennstoffzellenstapel**

Die Forschungsarbeiten dieses Themenbereiches konzentrieren sich auf die Entwicklung und Erforschung neuer Materialien und Designs für Polymerelektrolytmembranen, Katalysatoren für Elektroden, Supportmaterialien für Katalysatoren, Membran-Elektroden-Einheiten und Bipolarplatten.

Ziel ist neben der Kostenreduktion die Verbesserung der Leistungsfähigkeit und der Lebensdauer der PEFCs.

##### **Subtask 2: System, Komponenten und Balance-of-Plant-Gesichtspunkte**

Der Fokus dieser Teilaufgabe des Annex 22 liegt auf der Stapel- und Systementwicklung sowie auf Balance-of-Plant-Gesichtspunkten. Es beinhaltet Systemanalyse, Hardware-Design für Stapelsysteme sowie die Entwicklung und Konstruktion von Prototypen. Weiters inkludiert dieser Arbeitsbereich die Standardisierung von Testverfahren. Dazu werden die Auswirkung von Schadstoffen auf die Lebensdauer, Wasser - und Wärmemanagement und optimale Betriebsbedingungen untersucht und analysiert. Die Entwicklung von Reformern für PEFCs für CHP- und APU-Anwendungen zählt zudem zu den Inhalten dieses Themenbereiches.

##### **Subtask 3: Direkt-Brennstoff-Polymerelektrolytbrennstoffzelle**

Die dritte Teilaufgabe konzentriert sich auf die Forschung und Entwicklung der DF-PEFC-Technologie, einschließlich der Direkt-Methanol-Brennstoffzellen, Direkt-Ethanol-Brennstoffzellen und Direkt-Borhydrid-Brennstoffzellen.

Im Fokus steht die Entwicklung von Zellmaterialien, Untersuchung der Beziehung zwischen Zellleistung und Betriebsbedingungen, Stapel- und Systemdesign sowie deren Analyse und Forschung hinsichtlich brennstoffspezifischen Aspekten für diese Systeme.

#### **Aktuelle Teilnehmer im Annex 22**

- Technische Universität Graz (Österreich)
- Simon Fraser University SFU (Kanada)
- Ballard (Kanada)
- IRD Fuel Cells A/S (Dänemark)

- Danish Power Systems (Dänemark)
- VTT Technical Research Centre (Finnland)
- CEA Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (Frankreich)
- Forschungszentrum Jülich GmbH (Deutschland)
- ICT Fraunhofer (Deutschland)
- ENEA Italian National agency for new technologies, Energy and sustainable economic development (Italien)
- Toyota Motor Company (Japan)
- Technova (Japan)
- Korea Institute of Energy Research (Korea)
- Electrical Research Institute (Mexiko)
- KTH Royal Institute of Technology (Sweden)
- Argonne National Laboratory (USA)

### **5.1.3 Aktivitäten in Österreich**

#### **5.1.3.1 Stabilisierte aktive Platin-Übergangsmetallkatalysatoren für die Sauerstoffreduktion in Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen**

Die Aktivitäten in Österreich fokussierten sich in diesem Projekt im Wesentlichen auf die Entwicklung eines großtechnisch realisierbaren, kontinuierlichen Fertigungsprozess für Membran-Elektroden-Einheiten mit reduzierter Platinbeladung an der Kathode und damit geringeren Kosten für zukünftige Brennstoffzellensysteme.

Der entwickelte Prozess besteht im Allgemeinen aus

- i) der Aufbringung von Trägermaterialien mit hoher Oberfläche auf ein Kohlenstoffvlies (entspr. der Fertigung von Gasdiffusionselektroden),
- ii) Imprägnierung des Trägermaterials mit Metallsalzen,
- iii) Reduktion der Metallsalze zu metallischen Nanopartikeln,
- iv) Stabilisierung der Nanopartikel, und
- v) Verbund zu Membran-Elektroden-Einheiten (engl. membrane electrode assembly, MEA).

Der erarbeitete kontinuierlich ablaufende Fertigungsprozess weist gegenüber herkömmlichen Fertigungsverfahren ein deutliches Potential zur Kostenreduktion von MEAs auf. Bei der Fertigung der Gasdiffusionselektroden befindet sich noch kein Edelmetall im Prozess, wodurch der Ausschuss keinen großen Einfluss auf die Kosten des Produkts bewirkt. Des Weiteren erfolgt die Herstellung der Nanopartikel direkt an der Oberfläche des Trägermaterials und der Gasdiffusionselektroden, und ermöglicht eine effizientere Ausnutzung der eingesetzten Menge am Katalysator. Wie das Wort „konti-

nuierlich“ bereits aussagt, gibt es im gesamten Herstellungsprozess keine Verfahrensschritte mit Standzeiten, wodurch ein höherer Durchsatz pro Zeiteinheit ermöglicht wird und die Fertigungskosten reduziert werden.

Das vorgestellte Vorhaben wurde in der Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner elcomax GmbH bearbeitet. Besonderes Augenmerk im gemeinsamen Forschungsvorhaben wurde auf die Abscheidung von langzeitstabilen Platin-Übergangsmetallkatalysatoren in einem kontinuierlich ablaufenden Prozess gelegt. Zusammenfassend wurden folgende Parameter im Berichtszeitraum bearbeitet:

- Trägermaterialien, Menge an Imprägnierlösung pro Fläche Trägermaterial, Platin-Cobalt-Verhältnis, Lösungszusätze, Abscheidungstemperatur, Nachbehandlung der Katalysatoren mittels Säure und Temperung, und Optimierung von Membran-Elektroden-Einheiten.

Die Eigenschaften der hergestellten Katalysatoren wurden ausführlich mittels Zyklovoltammometrie (CV) und Rotating-Disk-Electrode (RDE-)Messungen charakterisiert. Die bestgeeigneten Katalysatoren wurden anschließend in Hochtemperatur-Polymerelektrolytbrennstoffzellen getestet.

#### **5.1.3.2 Advanced 3D Fuel cell Analysis and CONDITION diagnostics**

Für einen kommerziell erfolgreichen Serieneinsatz von PEMFC-Systemen in automotiven Anwendungen gibt es zwei kritische Erfolgsfaktoren: Substantielle Senkung der Herstellkosten (bzw. Steigerung der spezifischen Effizienz) und Verbesserung der Lebensdauer. Die Identifikation geeigneter optimaler Betriebsstrategien zur Verbesserung dieser Erfolgsfaktoren sollen mittels verschränkter simulatorischer und experimenteller Techniken durchgeführt werden. Der Lösungsweg umfasst die erstmalige Einbindung von Degradationsmodellen in eine 3D-CFD Simulation, die örtlich aufgelöste experimentelle Erfassung kritischer Zellzustände, eine Real-time Datenerfassung und Signalanalyse gefolgt von der Korrelation simulatorischer und experimenteller Untersuchungsergebnisse und letztlich die Identifikation verbesserter (optimaler) Betriebsstrategien.

#### **5.1.3.3 Simulation, Statistics and Experiments Coupled to develop Optimized and Durable $\mu$ CHP systems using ACcelerated Tests**

Das Ziel des Projekts, welches im Mai 2014 startet, ist die Gewinnung von Wissen hinsichtlich der Degradation von Brennstoffzellenstapeln, um die Lebensdauer von  $\mu$ CHP-Systemen, welche mit PEMFC- oder DMFC-Technologie betrieben werden, zu verbessern. Durch die Kooperation mit Industriepartnern werden bereits bestehende Systeme untersucht, um deren Lebensdauer und somit auch deren Wettbewerbs- und Marktfähigkeit zu verbessern.

#### **5.1.3.4 Flex-Fuel Reformer for Fuel Cell Systems**

Ein wesentliches Hemmnis für die Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen ist die noch nicht vorhandene flächendeckende Wasserstoff-Infrastruktur. Aufgrund der volumetrischen Energiedichte von Wasserstoff sind sowohl der Transport über weite Strecken, als auch die Langzeitspeicherung von Wasserstoff noch ungelöste Probleme. Durch die dezentrale Produktion von Wasserstoff können diese Probleme umgangen werden. Mit Ausnahme der Elektrolyse, welche nur bei Verfügbarkeit von günstiger elektrischer Energie sinnvoll eingesetzt werden kann, hat bisher kein Verfahren zur dezentralen Erzeugung von reinem Wasserstoff die Marktreife erlangt.

Im Forschungsprojekt Flex-Fuel Reformer for Fuel Cell Systems wird ein Verfahren, der Reformer-Eisen-Dampf-Prozess, im Prototypmaßstab entwickelt. Dieser Prozess ermöglicht es, dezentral, auf Basis von fossilen wie auch erneuerbaren Rohstoffen reinen Wasserstoff für PEM-Brennstoffzellen zu

erzeugen. Dabei ist es erstmals möglich, Produktion, Reinigung und Speicherung von Wasserstoff in einer einzelnen Einheit durchzuführen.

Die wesentlichen Vorteile liegen dabei in der nahezu beliebigen Skalierbarkeit sowie der kompakten und robusten Bauweise des Systems. Weiters ermöglicht die Verwendung von kostengünstigen Materialien auf Basis von Nickel und Eisen für Erzeugung, Reinigung und Speicherung den Bau einer sehr kostengünstigen und damit wirtschaftlichen Anlage.



Abbildung 1: Detailaufnahme des Prototypreaktors (links) und automatisierter Teststand (Mitte und rechts) (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

#### 5.1.3.5 Wasserstoffspeicher

Projektziel ist die Entwicklung eines regenerierbaren, bei Umgebungsbedingungen drucklosen, flüssigen und stabilen Wasserstoffspeichers unter Verwendung ionischer Flüssigkeiten. Mit entsprechender Peripherie kann dieser Speicher als Wasserstoffspeicher für automotiv Anwendungen eingesetzt werden. Die hohe Speicherdichte (etwa 1/3 von Benzin) erlaubt kompakte und drucklose Langzeitspeicher bei Raumtemperatur, die mit anderen Methoden nicht darstellbar sind.

Bereits entwickelte und patentrechtlich geschützte ionische Flüssigkeiten bilden die Basis dieses Projekts, in dem verschiedene chemische Verbindungen dieser Substanzklasse auf Speicherdichte, Nutzbarkeit des gespeicherten Wasserstoffs, Langzeitlagerfähigkeit und Rezyklierbarkeit untersucht und entwickelt werden. Für die Untersuchung von entsprechenden Katalysatoren, die bei Kontakt mit der Flüssigkeit Wasserstoff freisetzen, wurde eine neue Analysemethode entwickelt, die – im Vergleich zu herkömmlichen Methoden – zeitlich wesentlich genauer auflöst (siehe Abbildung).



Abbildung 2: Links: Analysezelle für Katalysatormaterialien; rechts: Struktur der Katalysatormaterialien  
(Qu.: Technische Universität Graz, 2014)

## 5.1.4 Ergebnisse

### 5.1.4.1 Subtask 1: Neue Materialien für Brennstoffzellenstapel

#### Platin-Übergangsmetallkatalysatoren für die Kathodenreaktion in Hochtemperatur-Polymerelektrolytbrennstoffzellen

Derzeit leidet die Polymerelektrolytbrennstoffzelle darunter, dass die herkömmlichen Katalysatoren zu wenig aktiv sind, um die Kathodenreaktion in der Brennstoffzelle ausreichend schnell zu ermöglichen. Damit die Reduktion von Sauerstoff an der Kathode in einem akzeptablen Maß abläuft, wird eine große Menge an Katalysator, d.h. Platin, verwendet. Da aber der Einsatz von großen Mengen Platin aufgrund der herrschenden Markt- und Förderbedingungen ebenso mit großen Kosten verbunden ist, werden alternative Katalysatoren untersucht. Die Betriebsbedingungen in einer Brennstoffzelle erfordern dabei eine gewisse Stabilität gegenüber konzentrierter Säure und gleichzeitiger Potentialbelastung. Nicht viele Materialien kommen daher für den Einsatz in sauren Brennstoffzellen in Frage. Die beste Herangehensweise an diese Herausforderung ist es, die Aktivität von Platin zu erhöhen. Durch die Kombination von Platin mit Übergangsmetallen ist es möglich, die Aktivität des Katalysators deutlich zu erhöhen, doch sind diese Katalysatoren in der sauren Umgebung einer Polymerelektrolytmembran nicht stabil genug. Unter den korrosiven Betriebsbedingungen kommt es zur allmählichen Auflösung des Übergangsmetalls, wodurch die Katalysatoren nach zu geringer Betriebsdauer ihre Aktivität verlieren.<sup>2,3</sup>

Im Berichtszeitraum wurden neben der kontinuierlichen Herstellung von Katalysatoren auch Verfahren zur deren Stabilisierung untersucht. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf der Reduktion des Verlustes an elektrochemisch aktiver Katalysatorfläche (ECSA) in der Membran-Elektroden-Einheit während des Betriebs.

Die Herstellung der binären Pt-Co Katalysatoren erfolgte auf bereits vorgefertigten Gasdiffusionselektroden (GDE) durch Imprägnation mit Metallsalzlösungen, gefolgt von einem milden

---

<sup>2</sup> A. Schenk et al., J. Power Sources, 2014, accepted

<sup>3</sup> I.E.L. Stephens et al., Energy Environ. Sci. 5, 2012, p. 6744

Heizschritt zur Reduktion der Metalle. Abbildung 1 stellt das Schema der Katalysator-Nanopartikel-Abscheidung bzw. -herstellung dar. Das Elektroden-trägermaterial (C) wird mit der Metallsalzlösung imprägniert. Durch Verdampfen des Lösungsmittels und der heizschrittinduzierten Reduktion der Metallsalze bilden sich im Durchschnitt 3–6 nm große metallische Nanopartikel mit einem Verhältnis von Platin zu Kobalt mit ca. 3:1 auf der Oberfläche der Gasdiffusionselektrode aus.



Abbildung 3: Schema der Katalysatorabscheidung (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2014)

Da aber für die genannte Kathodenreaktion in Brennstoffzellen nur die aktive Platinoberfläche des Katalysators entscheidend ist, wurden inaktive Bestandteile wie reines Kobalt mittels Säurebehandlung (Acid-leaching) von der Katalysatoroberfläche entfernt. Dahingehend wurde der Einfluss unterschiedlich starker oder auch schwacher Säuren auf die Aktivität und Stabilität der Katalysatoren bestimmt.

Zur Ermittlung der oben genannten Stabilität der Elektrokatalysatoren wurden Start-Stopp-Zyklen, wie sie in Hochtemperatur-Polymer-elektrolytbrennstoffzellen vorkommen, simuliert und in Form von Accelerated Stress Tests (AST) durchgeführt. Die Aktivität wurde standardmäßig mittels Rotating-Disk-Elektrode Messungen durchgeführt. Abbildung 4 stellt das zur Charakterisierung verwendete Equipment dar, bestehend aus einem Potentiostaten, dem RDE-Set-Up und einem Computer mit entsprechender Messsoftware.

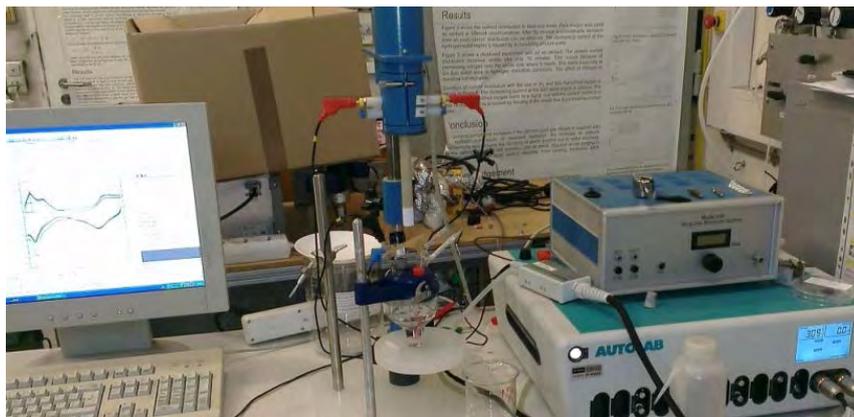
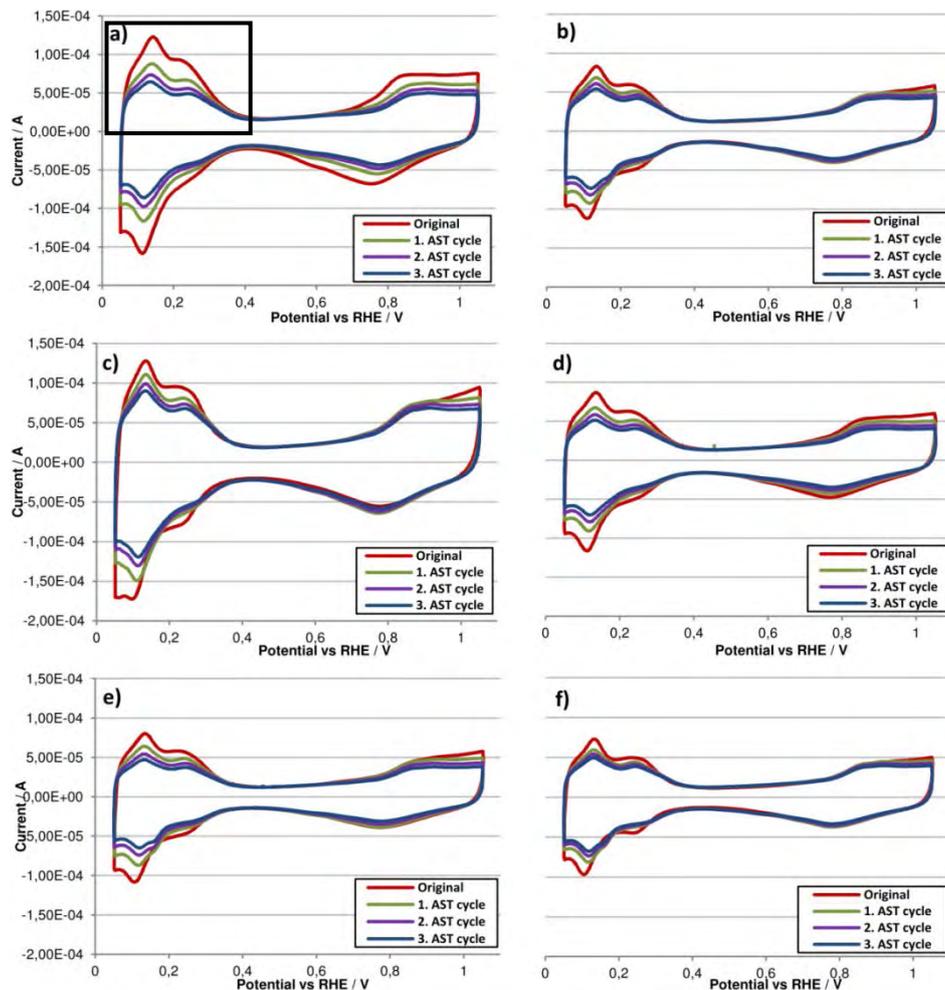


Abbildung 4: Set-up zur ex-situ Charakterisierung der Katalysatorproben mittels Zyklovoltammometrie und RDE-Experimenten (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2014)

Die Ergebnisse aus der Ermittlung der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Eigenschaften auf die hergestellten Platin-Kobalt-Katalysatoren ist in Abbildung 5 dargestellt. Zusätzlich beschreiben die beiden Tabellen (Tabelle 4 und Tabelle 5) ebenfalls die Auswirkung der Säurebehandlung auf die Stabilität der Katalysatoren. Je nach verwendeter Säure konnten durch die Säurebehandlung der

Katalysatorproben deutlich erhöhte elektrochemisch aktive Oberflächen (ESCA, markierter Bereich in *Abbildung 5a*) erzeugt (*Tabelle 4*) und eine höhere Stabilität im Vergleich mit dem Benchmark-Standard ÜKH 41 (*Tabelle 5*) erreicht werden.

Aus dem Verhältnis der einzelnen Zyklovoltammogramme im Verlauf der Stress Tests, beginnend bei der ursprünglichen Kurve (rot) und endend bei der blauen Kurve, kann man die Stabilität des Katalysators bestimmen. Je weniger sich die Kurve bei fortschreitender Messung verändert, desto stabiler ist die Katalysatorprobe.



*Abbildung 5: Zyklovoltammogramme von Pt-Co-Katalysatoren vor und nach der Degradation; a) nicht stabilisierte Probe; b) stabilisiert durch Acid-leaching mit  $H_2SO_4$ ; c) stabilisiert durch  $HCl$ ; d) stabilisiert durch  $HNO_3$ ; e) stabilisiert durch  $H_3PO_4$ ; f) stabilisiert durch  $CH_3COOH$  (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2014)*

Anhand der dargestellten Ergebnisse in *Abbildung 5* und *Tabelle 5* ist erkenntlich, dass alle Säuren einen positiven Einfluss auf die Stabilität der Platin-Kobalt-Katalysatoren haben. Besonders auffällig sind die Behandlungen mit Salzsäure (c,  $HCl$ ), Schwefelsäure (b,  $H_2SO_4$ ) oder Essigsäure (f,  $CH_3COOH$ ), da sie beinahe die Stabilität der Katalysatoren gegenüber der unbehandelten Probe verdoppeln (siehe *Tabelle 5*). Von besonderem Interesse ist vor allem jene Probe, die mit Salzsäure behandelt wurde. Sie weist neben der verbesserten Stabilität auch eine besonders hohe elektrochemisch aktive Oberfläche auf (*Tabelle 4, Tabelle 5*).

Tabelle 4: Elektrochemisch aktive Katalysatoroberfläche von säurebehandelten Proben vor und nach der Degradation (AST) im Vergleich mit dem Benchmark (Standard) (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2014)

	Standard	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> COOH
	cm <sup>2</sup> /mg Pt					
Original	<b>372</b>	247	<b>406</b>	288	248	231
555 AST Zyklen	275	221	361	248	217	199
1110 AST Zyklen	227	195	319	221	199	185
1665 AST Zyklen	190	182	295	179	158	173

Tabelle 5: Relativer Verlust an elektrochemisch aktiver Katalysatoroberfläche während der Degradation (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2014)

	Standard	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> COOH
	relativer Verlust / %					
Original	-	-	-	-	-	-
555 AST Zyklen	26	10	11	14	12	14
1110 AST Zyklen	39	21	21	23	20	20
1665 AST Zyklen	<b>49</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	38	36	<b>25</b>

Ausgehend von den Ergebnissen der säurestabilisierten Katalysatoren wurden zusätzliche Stabilisierungsverfahren untersucht bzw. entwickelt. Das Hauptaugenmerk wurde dabei auf eine Kombination von Säurestabilisierung und thermischer Stabilisierung gelegt, da aus Literaturdaten hervorgeht, dass beide Verfahren die Stabilität von Platin deutlich verbessern.<sup>2,3,4,5,6,7,8</sup>

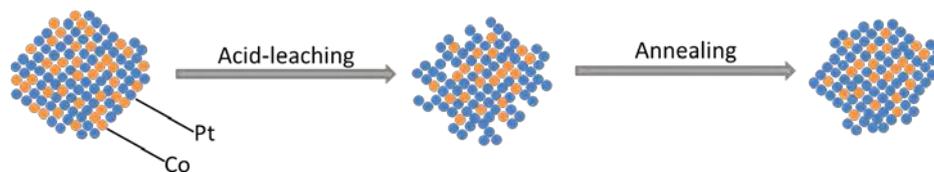


Abbildung 6: Schema der Stabilisierung der Nanopartikel. (Qu.: nach Wang et al., 2011).

Das Schema in *Abbildung 6* soll den vorgeschlagenen Einfluss von Säurebehandlung (Acid-leaching) und thermischer Behandlung (Annealing) auf die Katalysatoroberfläche aufzeigen. Die Säurebehand-

<sup>4</sup> C. Wang et al., J. Am. Chem. Soc. 133, 2011, p. 14396.

<sup>5</sup> H.A. Gasteiger et al., Appl. Catal. B Environ. 56, 2005, p. 9.

<sup>6</sup> V.R. Stamenkovic et al., J. Phys. Chem. B 106, 2002, p. 11970.

<sup>7</sup> N.M. Markovic et al., Fuel Cells 1, 2001, p. 105.

<sup>8</sup> V.R. Stamenkovic et al., J. Am. Chem. Soc. 128, 2006, p. 8813.

lung entfernt inaktive Bestandteile an der Katalysatoroberfläche und führt zu einer Platin-Skelett-Struktur<sup>8</sup>, d.h. es bildet sich an der Katalysatoroberfläche eine poröse Platinstruktur mit vergrößerter elektrochemisch aktiver Oberfläche (siehe Tabelle 1 Probe „HCl“).

Die Wärmebehandlung entfernt, in Abhängigkeit der eingesetzten Temperatur, zum einen unerwünschte organische Reste, z.B. vom Reduktionsmittel und Lösungszusätzen, von der Katalysatoroberfläche, zum anderen weist Platin eine niedrigere Oberflächenenergie als das legierende Übergangsmetall auf, und lagert sich dadurch an der Katalysatoroberfläche an (Platindeckschicht) und schützt das Übergangsmetall vor Korrosion. Zusätzlich wird den thermischen Behandlungen zugeschrieben, Unebenheiten und Kanten in der Kristallstruktur an Katalysatoroberfläche, die besonders anfällig für Korrosion sind, zu entfernen, und damit die Stabilität der Katalysatoren nochmal positiv zu beeinflussen.

Abbildung 7 zeigt eine Katalysatorprobe, die anhand des Schemas in Abbildung 6 behandelt wurde und den Einfluss von Säure- sowie Temperaturbehandlung auf die Stabilität der Katalysatoren. Die durchgeführten Accelerated Stress Test (AST) Zyklen zeigten deutlich eine Erhöhung der Katalysatorstabilität. Die aufgezeichneten Zyklovoltammogramme zeigen im Verlauf der Stresstests kaum eine Veränderung. Die ursprünglichen Verluste an aktiver Katalysatoroberfläche von 50 % in der unbehandelten Probe wurden nach der Säurebehandlung halbiert und konnten durch den zusätzlichen Heizschritt abermals halbiert werden, sodass nach erfolgter AST-Charakterisierung der Verlust an elektrochemisch aktiver Katalysatorfläche auf 12% reduziert wurde.

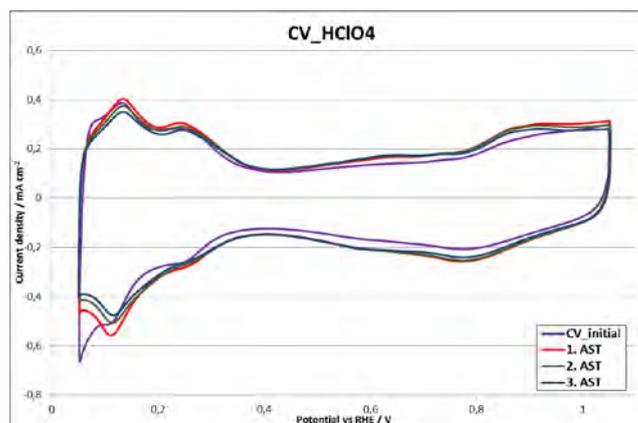


Abbildung 7: Zyklovoltammogramme und AST von Pt-Co/C nach Säure- und Temperaturbehandlung (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2014)

Durch Optimierung der bisher entwickelten Herstellungsverfahren hinsichtlich Aktivität und Stabilität wurde eine zeitnahe in-situ Charakterisierung der hergestellten Pt-Co-Katalysatoren in Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen angestrebt und umgesetzt.

Dazu musste zuerst ein Up-Scale des Herstellungsverfahrens durchgeführt werden. Da bei der Konzepterstellung des Katalysatorherstellungsverfahrens bereits möglichst penibel darauf geachtet wurde, dass alle beteiligten Einzelschritte auch ohne weiteres auf größere Elektroden umgelegt werden können, stellte der Up-Scale keine allzu große Herausforderung dar. Zuerst wurden, anstatt der für die ex-situ Charakterisierung üblichen 5 cm<sup>2</sup>-Elektroden, Elektroden mit einer Fläche von 80 cm<sup>2</sup> hergestellt, um infolge daraus dann die Membran-Elektroden-Einheit mit 50 cm<sup>2</sup> Fläche für Einzelzellmessungen zu fertigen (Abbildung 8).

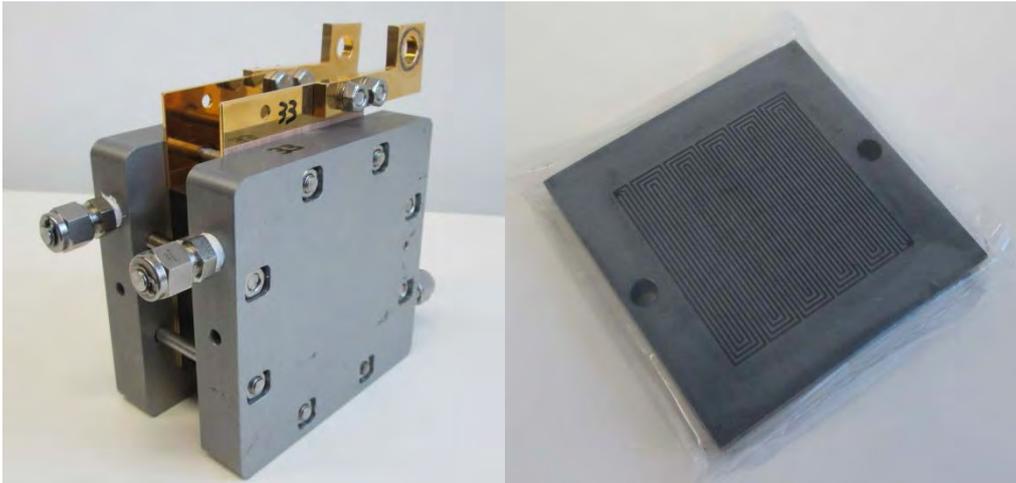


Abbildung 8: Brennstoffzelle mit Single-Serpentine Flowfield zur in-situ Charakterisierung der entwickelten Pt-Co/C Katalysatoren in der Kathode (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2014)

Nach erfolgreicher Charakterisierung der Pt-Co-Kathoden in der kleinen Einzelzelle mit 50 cm<sup>2</sup> Aktivfläche wurde ein weiterer Up-Scale in der Katalysatorfertigung durchgeführt. Ziel war es, gleichzeitig mehrere Kathoden für die großen Einzelzellen und den Stack-Test zu fertigen. Die neuen Elektroden wurden mit einer Fläche von 323 cm<sup>2</sup> hergestellt. Abbildung 9 zeigt die Flexibilität des entwickelten Katalysatorherstellungsprozesses anhand hergestellter Membran-Elektroden-Einheiten mit dem Pt-Co/C-Katalysator an der Kathode in unterschiedlichen Größen.

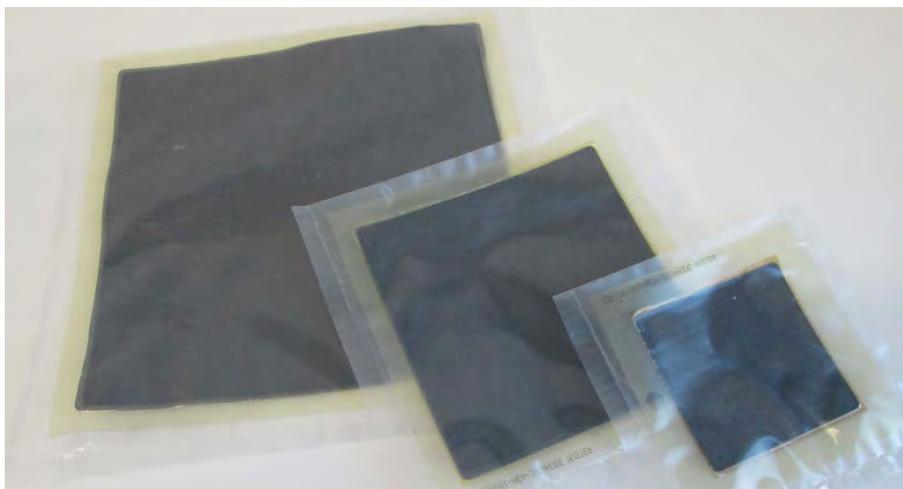


Abbildung 9: Gefertigte Membran-Elektroden-Einheiten mit dem entwickelten Pt-Co/C-Katalysator an der Kathode (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2014)

Nach erfolgter Fertigung der Membran-Elektroden-Einheiten (MEAs) wurden diese einer Beginn-of-Life-Charakterisierung unterzogen. Dazu wurden Polarisationskurven der MEAs aufgenommen und die Leistungsdichte bestimmt. Im Anschluss daran folgte die Aufzeichnung der Zellspannung im Langzeitbetrieb der Zellen bei stationärer Belastung (Abbildung 10). Nach erfolgtem Langzeitbetrieb wurden abermals die Polarisationskurve und die Leistungsdichte aufgezeichnet (siehe Abbildung 10).

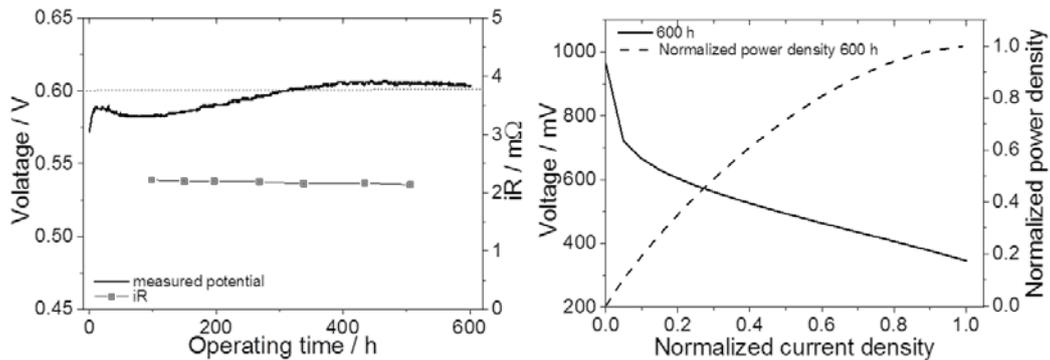


Abbildung 10: Spannungsverlauf und Verlauf des elektrischen 1 kHz AC-Widerstandes während des Langzeitbetriebs über 600 h, und Polarisation und Leistungsdichte einer Membran-Elektroden-Einheit nach erfolgtem Langzeitbetrieb (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2014)

Zu Beginn der Langzeitmessung bzw. des Langzeitbetriebs der Einzelbrennstoffzelle konnte ein rasanter Anstieg der Zellspannung innerhalb der ersten 10–20 Stunden beobachtet werden. Der überproportional starke Anstieg der Spannung innerhalb der ersten Betriebsstunden ist auf eine Umverteilung des Elektrolyten Phosphorsäure in der Aktivschicht der Membran-Elektroden-Einheit zurückzuführen. Durch die Zuleitung der Reaktantgase, den Transport von Protonen und die Austragung des Produktwassers erfolgt die gleichmäßigere Verteilung der Phosphorsäure über die gesamte MEA.

Anschließend an den starken Anstieg der Zellspannung folgt eine Phase mit kontinuierlicher Zunahme der Spannung bis hin zu einer Betriebsdauer von 400 Stunden. Diese ist ebenfalls auf eine Verbesserung der Benetzung zwischen Katalysator und Elektrolyt zurückzuführen. Zusätzlich werden über diesen Zeitraum noch bestehende Verunreinigungen an den Aktivschichten der Membran-Elektroden-Einheiten entfernt und die zugängliche Katalysatorfläche vergrößert. Die erwünschte Zielspannung von 600 mV, die sich aus dem Betrieb der rein auf Platin basierenden Standard-HT-PEM-MEA basiert, konnte nach ca. 300 Stunden erreicht werden. Dass die hier dargestellte MEA deutlich weniger Platin an der Kathode verwendete als die Standard-MEA, aber dennoch dieselbe Leistung bzw. Zellspannung im Betrieb erreichte, ist ein Beweis dafür, dass die entwickelte Katalysatorherstellung aktivere und stabilere Kathodenkatalysatoren hervorbringt.

#### 5.1.4.2 Subtask 2: System, Komponenten und Balance-of-Plant-Gesichtspunkte

##### Ortsaufgelöste Analyse im PEMFC-Stapel und optimierte Betriebsführung

Im gegenwärtigen Projekt wird ein Gerät zur ortsaufgelösten Analyse kritischer Betriebszustände entwickelt, welches im Stande ist, mehrere analoge Eingangssignale in Echtzeit zu verarbeiten (siehe *Abbildung 11*). Um kritische Zustände zu identifizieren und zu definieren, werden – vorerst an segmentierten Brennstoffzellen – für jedes Segment Temperatur sowie Strom und Spannung aufgenommen. Die gewonnenen Daten helfen dabei, ein besseres Verständnis über die Degradationsmechanismen zu erlangen.

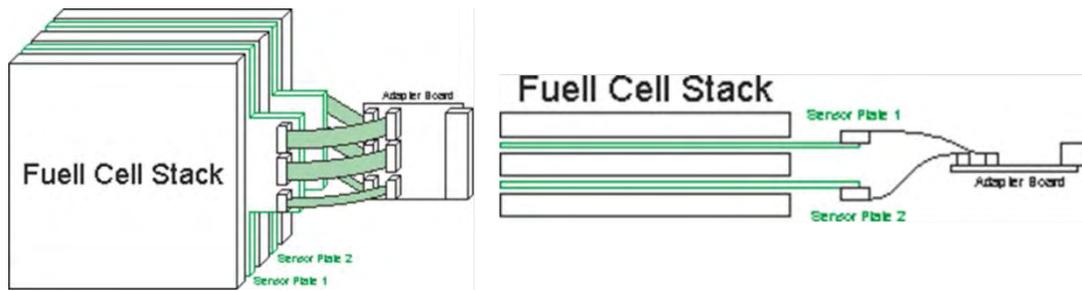


Abbildung 11 Schema der Datenerfassungshardware (Qu.: Technische Universität Graz, IFE, 2014)

Impedanzanalyse und die Messung der harmonischer Verzerrung, bei Überlagerung mit Wechselstrom, ermöglichen es, ein möglichst exaktes Ersatzschaltbild der einzelnen Segmente sowie des gesamten Stapels zu parametrieren, mithilfe dessen man im Anschluss problematische Betriebszustände detektieren und in weiterer Folge durch das Ausführen geeigneter Gegenmaßnahmen verhindern kann.

### Ortsaufgelöste Datenerfassung und Auswertung

Zur Identifizierung der verschiedenen, lokal auftretenden Verlustmechanismen dienen flächig aufgelöste Wechselstrommessmethoden wie elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) oder Total Harmonic Distortion Analyse (THDA). Durch Veränderung unterschiedlicher Betriebsparameter und die Ermittlung der Auswirkung auf die Leistungsfähigkeit der Brennstoffzelle kann die Simulationssensibilität von AVL FIRE, einer CFD Simulationssoftware, verbessert werden.

### Ergebnisse

Die systematische Untersuchung der einzelnen Einflussparameter, unter anderem der Polyelektrolytmembran (PEM), der Gasdiffusionsschicht (GDL) oder der Katalysatorschicht auf die PEMFC-Leistungsfähigkeit wurden mit AVL FIRE simuliert und ausgewertet. Die Ersatzschaltbildanalyse ist ein gängiges Werkzeug, die gewonnenen EIS-Daten zu interpretieren. Das ermittelte Ersatzschaltbild repräsentiert ein Segment einer segmentierten Zelle (siehe *Abbildung 12 -1*). Um nun die ganze Zelle darzustellen, wurde das Ersatzschaltbild adaptiert (siehe *Abbildung 12 -2*).

# Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells (AFC)

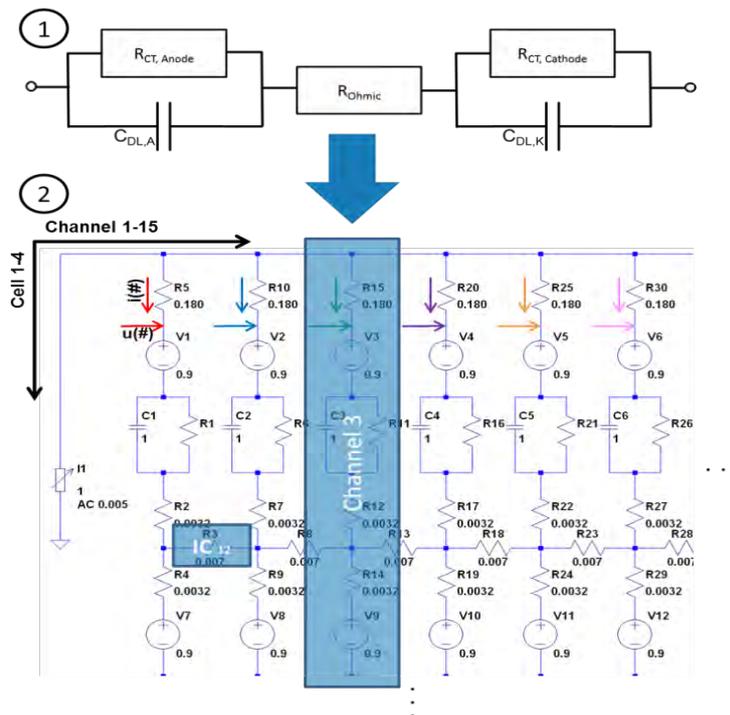


Abbildung 12 Für die Auswertung und Simulation werden räumliche Ersatzschaltbilder eingesetzt. (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

In diesem Fall muss auch die Querleitfähigkeit bei der Auswertung Beachtung finden. Die neuen segmentierten Messplatten von S++ ermöglichen es, die Stromverteilung sowie die Temperaturverteilung einer Zelle im Betrieb zeitaufgelöst aufzuzeichnen und bildlich darzustellen. Deutliche Verteilungsunterschiede an den Gas-Ein-/Auslässen sind so zu erkennen. Durch die entwickelte Messhardware wird der Einblick in die Zelle erleichtert und bringt so neue Möglichkeiten zur Zellanalyse hervor.

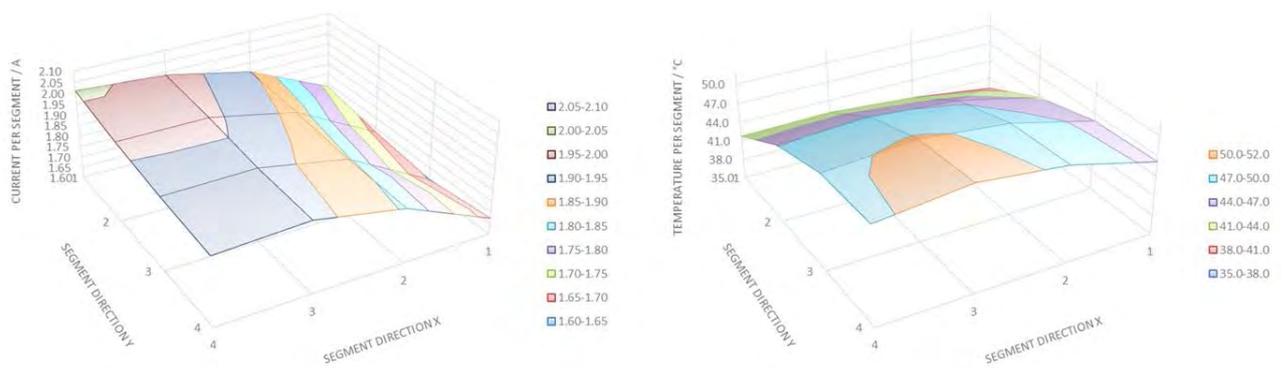


Abbildung 13 Gemessene Stromverteilung (links) und Temperaturverteilung (rechts). (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2014)

### Flex-Fuel-Reformer:

Im Projekt Flex-Fuel-Reformer werden mehrere wissenschaftliche Themenstellungen bearbeitet. Dazu zählen die Untersuchung von kommerziell verfügbaren Katalysatoren zur Reformierung von Methan und Biogas, die Weiterentwicklung des Eisen-Dampf-Prozesses zur Wasserstoffreinigung und Speicherung, sowie die thermodynamische Simulation des gesamten Prozesses.



Abbildung 14: Mischer zur Herstellung von Eisenproben (links), frische Eisenproben (Mitte) und Proben nach mehreren Reaktionszyklen (rechts) (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

In Laborversuchen konnte bereits im Leistungsbereich von 0,2 kW Wasserstoff aus Methan durch Dampfreformierung erzeugt und anschließend mittels Eisen-Dampf-Prozess gereinigt werden. Dabei wurde eine Verringerung des CO<sub>2</sub>-Gehalts im Synthesegas von 4 % auf unter 0,3 % erreicht. Der CO Gehalt konnte von 19 % ebenfalls auf einen Wert unter dem Detektionslimit von 0,3 % verringert werden. Durch die Verwendung von hochschmelzenden Metalloxiden als Zusatzstoffe konnte außerdem die Lebensdauer der Kontaktmasse des Eisen-Dampf-Prozesses signifikant gesteigert werden.

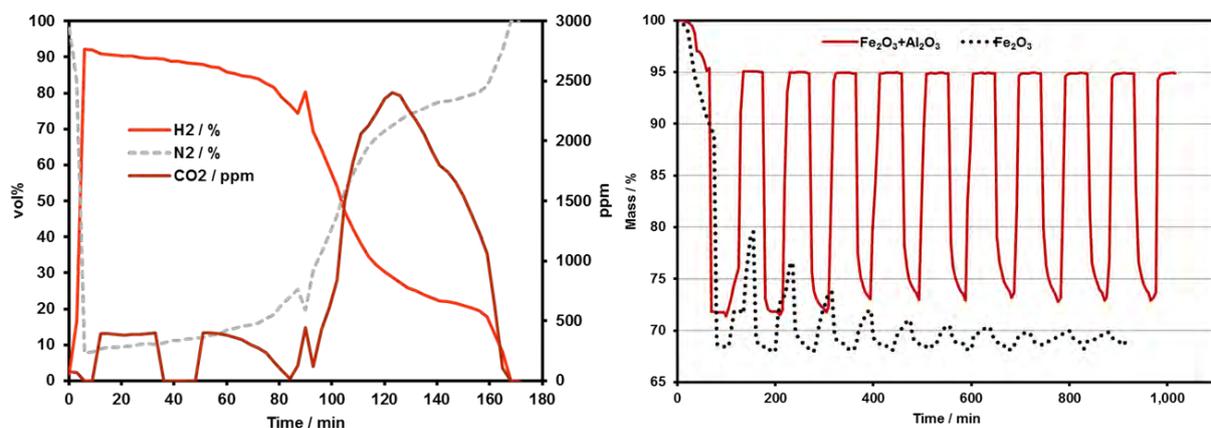


Abbildung 15: Wasserstoffreinheit (links) und Zyklusstabilität der Kontaktmasse (rechts) (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

### 5.1.5 Fazit

Die Teilnahme Österreichs am Annex 22 war besonders erfolgreich. So konnten nicht nur alle im Antrag geplanten Forschungstätigkeiten umgesetzt werden, sondern auch noch über den Antrag hinausgehende relevante Beiträge zu weiteren Subtasks des Annex geleistet werden. Die im Antrag beschriebene Synthese von binären Platin-Übergangsmetall-Katalysatoren konnte erfolgreich in einem großtechnisch realisierbaren Herstellungsverfahren durchgeführt werden. Durch die Behand-

lung der Katalysatorproben mit Säure und einem thermischen Heizschritt wurden die Aktivität und Stabilität des Katalysators gesteigert. In Zahlen gegossen konnte mit den hergestellten MEAs in Brennstoffzellentests mit einer Laufzeit von insgesamt mehr als 2000 Stunden trotz Reduktion der Platinbeladung von 20 % an der Kathode die gleiche Leistung erreicht werden wie mit einer handelsüblichen State-of-the-Art-MEA. Gegenüber diesem kommerziell erhältlichen Katalysator wurde auch eine 50–75 % gesteigerte Stabilität in den angewandten Accelerated Stress Tests erhalten.

Die im Rahmen der österreichischen Forschungsprojekte erzielten und oben beschriebenen Ergebnisse konnten innerhalb des Annexes intensiv diskutiert werden. Da das Thema Langzeitstabilität von Brennstoffzellen unter Betriebsbedingungen von enormer Wichtigkeit für die Kommerzialisierung der Brennstoffzellentechnologie ist, hatte dieses unter allen Teilnehmern einen großen Stellenwert. Gemeinsam wurden Strategien, mit denen man möglichst präzise Realbedingungen im Labor simulieren kann, diskutiert. Die entwickelten Accelerated Stress Tests und deren Ergebnisse wurden untereinander verglichen und mögliche Verbesserungen an den Charakterisierungsprotokollen wurden identifiziert und erarbeitet. Von besonderem Interesse war es, die aus unterschiedlichen Forschungsprojekten erhaltenen Daten in eine gemeinsame Grundlage für nachfolgende Projekte zu vereinen.

Die sich aus den Meetings ergebende Vernetzung aufgrund der aktiven Teilnahme von Österreich in diesem Annex ermöglicht den unmittelbaren Zugang zu den neuesten internationalen Forschungsaktivitäten. Gerade dieser sehr aktive Annex spiegelt das massive Interesse der unterschiedlichen Staaten an einer raschen Kommerzialisierung wider. Sowohl die österreichische Forschungslandschaft als auch die Industrie kann aus der Teilnahme Österreichs an diesem Annex direkt oder indirekt profitieren.

Die TU Graz konnte verstärkt an internationalen Projekten teilnehmen. Die Inhalte der Annexe wurden sowohl direkt an österreichische Institutionen weiter gegeben als auch im Rahmen der Sommerakademie der TU Graz verwertet und dabei einem breiten Publikum, bestehend aus Studierenden und Teilnehmern aus der Industrie zugänglich gemacht.

## **5.2 Task 25 “Fuel Cells for Stationary Applications”**

### **5.2.1 Ziele des Tasks**

Der Task umfasst folgende inhaltlichen Schwerpunkte:

- (i) Analyse der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz von stationären Brennstoffzellen
- (ii) Identifizierung von Nischenmärkten und von Marktapplikationen für die möglichst breite Anwendung bzw. Markteinführung von stationären Brennstoffzellen
- (iii) Analyse der Chancen und Barrieren für die Marktimplementierung von Brennstoffzellen (Markttransformation)

### **5.2.2 Inhaltliche Gliederung des Tasks**

Die Arbeiten fokussieren großteils auf Systemanalysen und -aspekten, die die Marktimplementierung zum Ziel haben; der Task ist in sechs Subtasks gegliedert.

#### **Subtask 1: Kleine stationäre Brennstoffzellen (Leitung: FZJ Jülich, Deutschland)**

Die Marktaktivitäten von kleinen stationären Brennstoffzellen haben in den letzten Jahren stark zugenommen. In diesem Subtask wird untersucht, ob ein wettbewerbs- und wachstumsfähiger Markt für kleine stationäre Brennstoffzellen vorhanden ist.

Die Anwendungsmöglichkeiten für Hochtemperatur-PEFC und SOFC-Einheiten werden überprüft. Unter gewissen Umständen werden auch größere Einheiten betrachtet, z. B. wenn die Wärme direkt für die Wärmeversorgung in Dienstleistungsgebäuden genutzt werden kann. Die Anwendung von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (Trigeneration) wird ebenfalls untersucht.

#### **Subtask 2: Brennstoffe für stationäre Brennstoffzellen (Leitung: ENEA, Italien und Wasserstoff-Net, Belgien)**

Dieser Subtask bearbeitet die Fragen der Brennstoffe bzw. deren Aufbereitung für die Verwendung in Brennstoffzellen. Der Fokus liegt vor allem auf der Nutzung von Biotreibstoffen und der Verwendung von Abfällen aus fossilen und erneuerbaren Ressourcen wie Gummi, Reifen, Kunststoff, Abwasserschlamm, Papier, Karton, Holz, Verpackungsmaterial, Abbruchholz und andere Materialien. Ein weiteres wichtiges Thema ist die Verfügbarkeit und Nutzung von Biomasse, welche nicht mit der Nahrungsmittelproduktion konkurriert. Für all diese Energieressourcen werden die für die Verwendung vorhandenen Technologien analysiert und Anbieter definiert.

#### **Subtask 3: Brennstoffzellen-Komponenten (Leitung: VTT Finnland)**

Der Subtask „Balance of plant“ (der Berichtsperiode 2004 – 2008) wird unter Einbindung von neuen Aspekten fortgeführt. Die Datensammlung bei Zulieferfirmen hinsichtlich der Anforderungen für Brennstoffzellen-Komponenten wird fortgesetzt. Der Fokus liegt auf MCFC- und HT-PEFC-Brennstoffzellen. Mit Hilfe von neuen Ansätzen sollen die Kosten für Subkomponenten ("Balance of plant") festgestellt werden. Die zulässigen Kosten für die verschiedenen Komponenten in einer kommerziellen stationären Brennstoffzelle werden für den Wohnbereich und für industrielle Anwendungen abgeschätzt.

Kooperationen mit Komponenten-Herstellern sollen aufgebaut werden, um einen Überblick über die derzeit industriell entwickelten Komponenten zu bekommen und die weiteren Zielsetzungen der Hersteller zu verfolgen.

**Subtask 4: Analyse von Design, Betrieb und Kontrollstrategien für stationäre Brennstoffzellensysteme in Zusammenhang mit diversen Märkten (Leitung: Sandia, USA)**

In diesem Subtask werden die optimalen Design-, Betriebs- und Kontrollstrategien für die Installation von Brennstoffzellensystemen in verschiedenen globalen Märkten identifiziert. Wichtige Daten für ein Modellszenario werden erhoben. Die Daten enthalten Informationen über Installationen von Brennstoffzellensystemen in verschiedenen IEA-Mitgliedsländern.

**Subtask 5: Analyse von durchgeführten Demonstrationsprojekten (Leitung: Thoma & Renz, Schweiz)**

Die Ergebnisse von Demonstrationsprojekten und die gesammelten Erfahrungen werden analysiert; betrachtet werden: Zielsetzungen, Testprogramme, Businesspläne, Förderungen, Lebensdauer und Degradationsverhalten, Start- und Zyklenverhalten.

Weiters werden in diesem Subtask die wesentlichen Unterschiede der (staatlichen) Forschung und Förderungen in den verschiedenen Ländern aufgezeigt. Mithilfe eines Fragebogens werden die unterschiedlichen Forschungs- und Förderprogramme der Mitgliedsländer erhoben und untersucht, um den Einfluss auf die Entwicklung von stationären Brennstoffzellen, Erfolge, Zeitpläne und Budgets festzustellen. In der Ridell (Columbus) Präsentation ist Korea nicht mehr dabei?

**Subtask 6: "State of the Art" von stationären Brennstoffzellen (Leitung: E.ON Sverige AB, Schweden)**

Dieser Subtask konzentriert sich auf Datenrecherchen, Diskussion und Analyse der vorliegenden Informationen hinsichtlich des Stands der Technik von stationären Brennstoffzellen. Vor allem neue Technologien, bedeutende Förderprogramme und Marktentwicklungen (Marktdiffusion) werden betrachtet. Ein wichtiges Thema im Rahmen dieses Subtasks stellt auch die Entwicklung von Normen und Richtlinien dar.

Die folgenden Institutionen und Unternehmen beteiligten sich in Annex 25:

- Ceramic Fuel Cells Ltd (Australien)
- Haldor Topsoe (Dänemark)
- Dantherm Power (Dänemark)
- Forschungszentrum Jülich GmbH (Deutschland)
- Technical Research Centre of Finland (Finnland)
- VTT(Finnland)
- Wärtsilä (Finnland)
- CEA (Frankreich)

- GDF – Suez (Frankreich)
- ENEA (Italien)
- The New Energy and Industrial Technology Development Organisation, NEDO (Japan)
- Panasonic (Japan)
- Aisin Seiki (Japan)
- Toshiba (Japan)
- National Research council (Kanada)
- Institute of Science and Technology (Korea)
- Instituto de Investigaciones Electricas (Mexiko)
- ECN (Niederlande)
- Austrian Energy Agency (Österreich)
- Grontmij (Schweden)
- Swiss Federal Office of Energy (Schweiz)
- Beratung Renz Consulting (Schweiz)
- Department of Energy (USA)
- EPRI (USA)
- PNNL (USA)

Die Schwedische Energieagentur (STEM), vertreten durch E.ON Sverige AB, leitete diesen Task. Bengt Ridell, Grontmij AB war der Operating Agent des Tasks im Auftrag E.ON Sverige AB.

### **5.2.3 Aktivitäten in Österreich**

Von österreichischer Seite wurden insbesondere die Anforderungen für den Einsatz von Brennstoffzellen-Heizgeräten (Mikro-KWK-Anlagen) untersucht. Die folgenden Schwerpunkte wurden hierbei bearbeitet:

- Output-Spezifika von Brennstoffzellen-Anlagen im Vergleich zu konventionellen Mikro-KWK-Anlagen
- Weiterführung der Analyse typischer Lastgänge repräsentativer Anwendungsfälle
- Analyse der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen des Einsatzes von Brennstoffzellen-Heizgeräten (bzw. generell Mikro-KWK-Anlagen) in Österreich
- Analyse von Geschäftsmodellen für den Einsatz von Brennstoffzellen-Systemen (bzw. Mikro-KWK-Anlagen) und der Minderungspotenziale beim Einsatz von Brennstoffzellen-Systemen hinsichtlich Primärenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen unter Berücksichtigung aktueller Berechnungsmethoden (OIB RL 6)

In den nachfolgenden Ausführungen wird spezifisch auf die Ergebnisse der durchgeführten Analysen und Berechnungen eingegangen.

## 5.2.4 Ergebnisse

### 5.2.4.1 Output-Spezifika von Brennstoffzellen-Anlagen sowie von konventionellen Mikro-KWK-Anlagen

Folgend werden die Output-Spezifika von konventionellen Mikro-KWK-Anlagen sowie Brennstoffzellen-Anlagen (Brennstoffzellen-Heizgeräte) mit Relevanz für den österreichischen Markt gegenübergestellt. Die nachfolgende *Tabelle 6* gibt einen Überblick über die Output-Spezifika am Markt erhältlicher Mikro-KWK-Anlagen sowie Brennstoffzellen-Heizgeräten:

*Tabelle 6: Output-Spezifika gängiger Mikro-KWK-Anlagen  
(Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)*

Bezeichnung	Leistung [kW]		Wirkungsgrad [%]	
	elektrisch	thermisch	elektrisch	gesamt
ecoPower 1.0	1,0	2,5 – 28,3	26,3	92
ecoPower 3.0	1,5 – 3,0	4,7 – 8,0	25	90
ecoPower 4.7	1,5 – 4,7	4,7 – 12,5	25	90
Dachs G 5.5	5,5	12,5 – 14,8	27	88 – 99
Dachs G 5.0	5,0	12,3 – 14,6	26	89 – 100
Dachs F 5.5	5,5	12,5 – 14,8	27	88 – 99
Dachs HR 5.3	5,3	10,3 – 11,9	30	89 - 97
Capstone C30	28	67	25	83
Dachs Stirling SE	1,0	3 – 5,8	14	97,6
Vitotwin 300-W	1,0	5,7	14,3	96
eVita	0,5 – 1,0	5,0 – 10,0	8,9	97,7 <sup>9</sup>
Bison Powerblock	0,3 – 2,0	3,0 – 16,0	10,4	94
Baxi Innotech Brennstoffzellen-Heizgerät	1,0	1,8	32	91
Hexis Brennstoffzellen-Heizgerät	1,0	2,0	30 – 35	95
Vaillant Brennstoffzellen-Heizgerät	1,0	2,0	30	80 – 85
Ceramic Fuel Cells	0,5 – 1,5	0,61	60	85

Den Schwerpunkt der Analysen – sowohl ökologisch als auch ökonomisch – stellen sogenannte bivalente Systeme dar. Unter bivalenten Systemen wird die Kombination aus BHKW bzw. Brennstoffzellen-Heizgerät mit einem Spitzenlastkessel und einem Pufferspeicher verstanden. Zur Illustration eines derartigen Systems sei nachfolgend das bivalente Brennstoffzellensystem der Firma Vaillant dargestellt (siehe Abbildung 16).

<sup>9</sup> Wirkungsgrad heizen mit Vollast bei 80/60°C.



Abbildung 16: Brennstoffzellen-Heizgerät inkl. Pufferspeicher und Spitzenlastkessel der Firma Vaillant (Qu.: Vaillant GmbH)

Zusammenfassend ist insbesondere auf die positive Entwicklung der Wirkungsgrade von Brennstoffzellen-Heizgeräten hinzuweisen (siehe Abbildung 17).

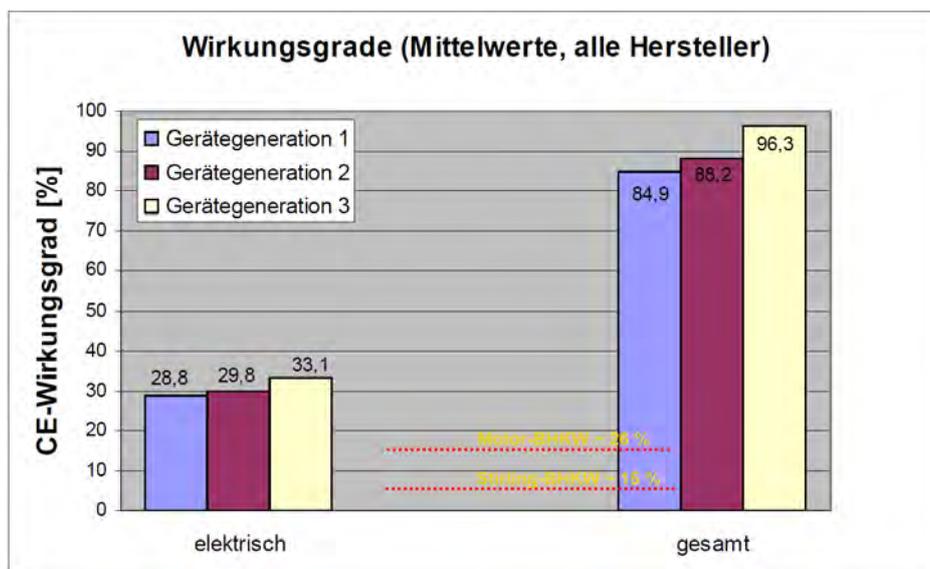


Abbildung 17: Mittlere Wirkungsgrade<sup>10</sup> aller Hersteller von Brennstoffzellen-Heizgeräten (Qu.: Callux, 2013)

Motor-BHKWs verfügen über einen durchschnittlichen elektrischen Wirkungsgrad von 26 %. Im Vergleich dazu liegen die Wirkungsgrade von Brennstoffzellen-Heizgeräten bei > 30 %. Sowohl die elektrischen Wirkungsgrade als auch die Gesamtwirkungsgrade von Brennstoffzellen-Heizgeräten konnten in den letzten Jahren sukzessive gesteigert werden. An dieser Stelle sei insbesondere auf die erzielten elektrischen Wirkungsgrade im Zuge des ENE-Farm Feldtests in Japan verwiesen. Hier konnten bereits elektrische Wirkungsgrade von 40 % erzielt werden.

<sup>10</sup> Entsprechend der CE Prüfnorm. Ohne das Brennstoffzellenheizgerät BlueGen von CFCL.

#### 5.2.4.2 Analyse typischer Lastgänge

Durch die Gleichzeitigkeit der Produktion von Strom und Wärme durch eine Mikro-KWK-Anlage ist neben dem absoluten Wärme- und Strombedarf auch der zeitliche Anfall dieser Größen ein wichtiger Faktor für den Betrieb derartiger Anlagen bzw. in weiterer Folge für die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen. Im wärmegeführten Betrieb, wie er für Mikro-KWK-Anlagen üblich ist, wird immer dann Wärme und Strom produziert, wenn von der Anlage ein Wärmebedarf gedeckt werden muss, wobei gleichzeitig Strom anfällt. Ob dieser genutzt werden kann oder eingespeist werden muss, hängt vom Bedarf bzw. vom jeweiligen Lastprofil ab. Die genaue Kenntnis des zeitlichen Anfalls dieser Größen ist also ein entscheidendes Kriterium zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen. Im Rahmen der Analysen wurde im Speziellen auf die Nutzungsprofile entsprechend der ÖNORM B-8110-5<sup>11</sup> bzw. die standardisierten Lastprofile der VDEW<sup>12</sup> sowie der VDI 6007<sup>13</sup> eingegangen.

Die Auslastung bzw. die Betriebsstundenanzahl von Brennstoffzellen-Heizgeräten bzw. konventionellen Mikro-KWK-Anlagen hat einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Systeme. Die Lastprofile sowie die vorhergehende Analyse der Output-Spezifika stellen die Grundlage für die wirtschaftliche Bewertung der Systeme dar. Schwerpunkt der Analysen wurde hierbei auf Wohngebäude gelegt.

Für die in weiterer Folge durchgeführten Berechnungen von Mikro-KWK-Anlagen wurde auf die Simulationssoftware BHKW Plan<sup>14</sup> sowie auf das Energieausweisberechnungstool Gebäudeprofi<sup>15</sup> zurückgegriffen. Im nachfolgenden Abschnitt wird auf die hinterlegten Strom- und Wärmelastprofile dieser beiden Berechnungstools eingegangen:

Wärmelastprofile: Die quantitative Berechnung des für die Beheizung und Warmwasserbereitstellung erforderlichen Energieverbrauchs erfolgte mit dem Energieausweisberechnungstool Gebäudeprofi von der ETU Software GmbH. Dieses Berechnungstool baut auf den Nutzungsprofilen der ÖNORM B-8110-5 auf und arbeitet entsprechend mit einer Monatsbilanzierung. Eine derartige Monatsbilanzierung für die Zusammensetzung des Wärmebedarfs eines Einfamilienhauses ist in nachfolgender *Abbildung 18* dargestellt:

---

<sup>11</sup> ÖNORM B 8110-5, Wärmeschutz im Hochbau – Klimamodelle und Nutzungsprofile, 2010

<sup>12</sup> Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, gemäß VDEW-Publikation „Repräsentative VDEW-Lastprofile“ (M28/99)

<sup>13</sup> VDI-Richtlinie 6007: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden - Raummodell, 2012

<sup>14</sup> Steinborn innovative Gebäude-Energieversorgung: BHKW Plan – Wirtschaftliche Auslegung und Planung von Blockheizkraftwerken, 2012

<sup>15</sup> Siehe: <http://www.etu.at/>

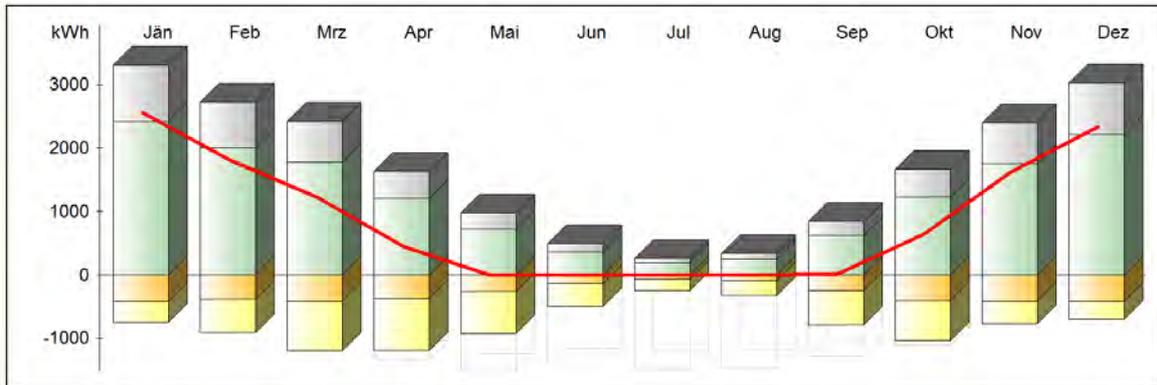


Abbildung 18: Wärmelastprofil (Legende: gelb – nutzbare solare Gewinne, orange – nutzbare interne Wärmegewinne, grün – Transmissionswärmeverluste, grau – Lüftungswärmeverluste, rot - Heizwärmebedarf) entsprechend der Monatsbilanzierung gemäß ÖN B8110-5 (Qu.: ETU Gebäudeprofi, 2014)

Da jedoch eine Monatsbilanzierung für die Bewertung und Auslegung einer Mikro-KWK-Anlage nicht ausreichend ist, wurde in weiterer Folge auf die Lastprofile im Softwaretool BHKW Plan zurückgegriffen – wobei der absolute Energieverbrauch entsprechend dem Energieausweisberechnungstool und somit entsprechend den in Österreich geltenden Normen herangezogen wurde.

Das im Softwaretool BHKW Plan hinterlegte Lastprofil für Beheizung beruht auf der VDI 6007. Das hinterlegte Lastprofil für die Warmwasserbereitstellung (Zapfprofil, etc.) beruht auf einschlägiger Literatur<sup>16</sup>.

Mit Hilfe der hinterlegten Lastprofile ist es nun möglich, den stündlichen Wärmebedarf über ein Jahr zu generieren (siehe Abbildung 19) und eine genaue Auslegung für eine Mikro-KWK-Anlage vorzunehmen.

<sup>16</sup> Krewitt W., Pehnt M., Fishedick M., Temming H. V.: Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopplung, 2004

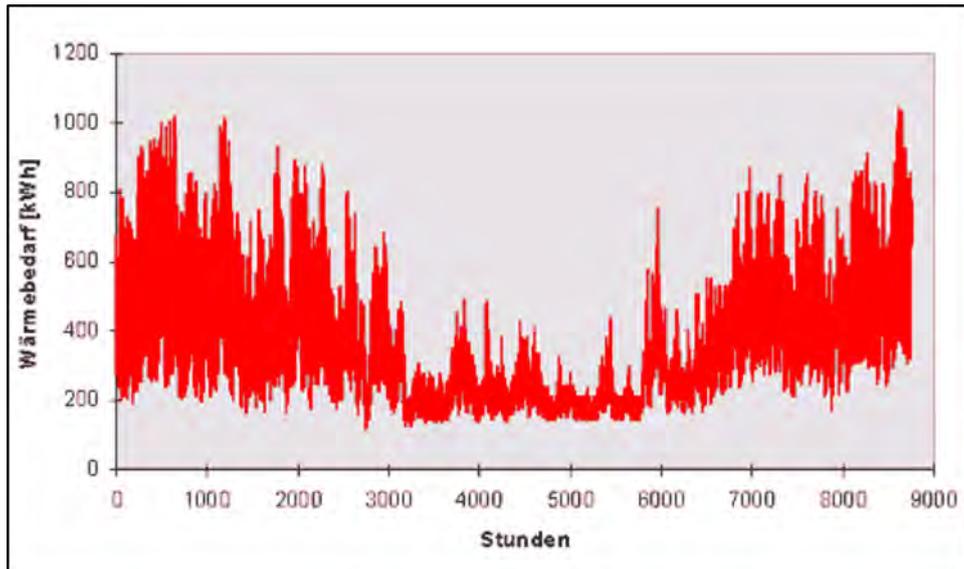


Abbildung 19: Stündlicher Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser entsprechend VDI 6007 sowie einschlägiger Literatur<sup>16</sup> (Qu.: Steinborn innovative Gebäude-Energieversorgung, 2014)

Stromlastprofile: Zur Berechnung der Stromlastprofile wurde auf jene im Softwaretool BHKW Plan hinterlegten zurückgegriffen – wobei der absolute Strombedarf (Hilfsenergiebedarf und Haushaltsstrombedarf) wiederum aus dem Energieausweisberechnungstool Gebäudeprofi und somit aus der ÖN B 8110-5 stammt. Die in BHKW Plan hinterlegten Lastprofile für jene im Haushaltsbereich basieren auf den Standardlastprofilen des VDEW (siehe *Abbildung 20*).

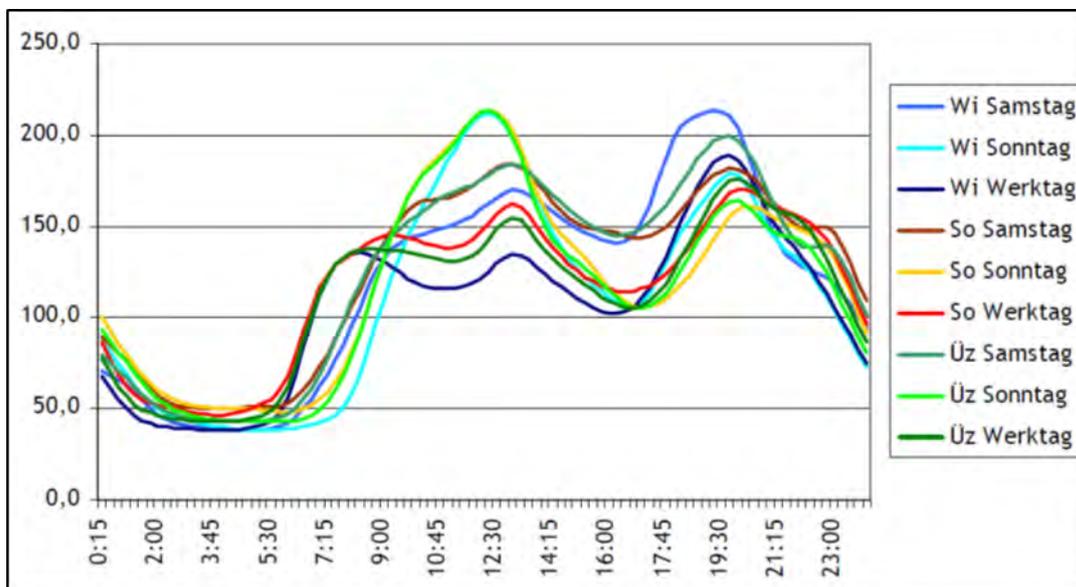


Abbildung 20: Standardlastprofil H0 (Haushalte) (Qu.: VDEW)

Durch die Gleichzeitigkeit der Produktion von Strom und Wärme durch ein BHKW ist neben dem absoluten Wärme- und Strombedarf auch der zeitliche Anfall dieser Größen ein wichtiger Faktor für den Betrieb von BHKWs bzw. in weiterer Folge für die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen. Die vorherrschenden Lastgänge sind stark nutzerabhängig und können zwischen den einzelnen Nutzergruppen (Pensionisten, berufstätiger Single, etc.) differieren. Dies ist sowohl bei der

Dimensionierung als auch bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu berücksichtigen. Für die nachfolgend durchgeführten Berechnungen wird auf die Lastgänge entsprechend den gültigen Ö-Normen, die VDEW Lastprofile sowie auf einschlägige Literatur zurückgegriffen.

Auf Basis der vorhergehend durchgeführten Analysen typischer Lastprofile (siehe Kapitel 5.2.4.2) sowie der durchgeführten Analysen der Output-Spezifika von Mikro-KWK-Anlagen (siehe Kapitel 5.2.4.1) wird folgend ein ökonomischer sowie ökologischer Vergleich der Technologien bzw. ausgewählter Produkte durchgeführt.

### 5.2.4.3 Wirtschaftliche und ökologische Analyse von Mikro-KWK-Anlagen

Die Grundlage für die ökonomische wie für die energetisch/ökologische Bewertung unterschiedlicher Technologien stellen repräsentative Referenzgebäude dar. Der ökonomische und ökologische Vergleich wird anhand von konkreten Versorgungsaufgaben basierend auf typischen österreichischen Lastsituationen durchgeführt. Zu diesem Zweck werden nachfolgend unterschiedliche Referenzgebäude (Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus) mit daraus resultierenden Energieverbräuchen definiert, welche es schließlich zu versorgen gilt. Die Basisparameter der definierten Referenzgebäude sind im folgenden Abschnitt ausgeführt.

#### Modellgebäude: Einfamilienhaus

Die Kubatur sowie die Orientierung und Größe der Fensterflächen des Referenzgebäudes für das Einfamilienhaus basieren auf der ÖNORM B-8110-5<sup>17</sup>. Hinsichtlich thermischer Standard der Außenbauteile wurde auf die Anforderungen des nationalen Plans 2020<sup>18</sup> für Neubau (10er und 16er Linie) und Sanierung (25er Linie) Bezug genommen<sup>19</sup>. Drei Versorgungsvarianten werden in weiterer Folge sowohl einer wirtschaftlichen als auch ökologischen Analyse unterzogen.

#### Versorgungsvarianten Einfamilienhaus

Für das definierte Referenzgebäude des Einfamilienhauses wurden die folgenden energietechnischen Systeme zur Wärmeversorgung verglichen:

- Gasbrennwertsystem<sup>20</sup>
- Erdgasbetriebenes Motor BHKW<sup>21</sup> (Motor BHKW)
- Brennstoffzellen-Heizgerät<sup>22</sup> (BZ-Heizgerät)

Die Betrachtungsgrenze der folgend definierten Wärmeversorgungssysteme beinhaltet die Wärmebereitstellung für Beheizung und Warmwasser inklusive der anfallenden Verluste (Verteilverluste, Bereit-

<sup>17</sup> ÖN B 8110-6: Wärmeschutz im Hochbau, Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, Beiblatt 1: Einfamilienhaus – Validierungsbeispiele für den Heizwärmebedarf, 2011

<sup>18</sup> OIB Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU, 2012

<sup>19</sup> Die Anforderungen an den Heizwärmebedarf der 16er Linie des Neubaus und der 17er Linie der Sanierung sind sehr ähnlich. Es ist daher bei der 17er Linie der Sanierung von ähnlichen Ergebnissen wie bei der 16er Linie des Neubaus auszugehen.

<sup>20</sup> Die technische Definition (Wirkungsgrade) des konventionellen Gasbrennwertsystems basiert auf der ÖN H5056.

<sup>21</sup> Die technische Definition des erdgasbetriebenen Motor BHKW's basiert auf dem Vaillant Ecopower 1.0.

<sup>22</sup> Die technische Konfiguration des Brennstoffzellenheizgerätes beruht auf dem derzeitigen Stand der Technik, entsprechend der durchgeführten Analyse der Output Spezifika von Brennstoffzellenheizgeräten.

stellungsverluste etc.). Die Konfiguration der unterschiedlichen Wärmeversorgungssysteme erfolgte in Anlehnung an den Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden<sup>23</sup>. Aus der nachfolgenden *Tabelle 7* sind die Basisparameter der definierten Versorgungssysteme zu entnehmen

*Tabelle 7: Konfiguration der Wärmeversorgungssysteme für das Einfamilienhaus (Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)*

System	Komponente	16er Linie	10er Linie	25er Linie
Gasbrennwertsystem	Erforderliche therm. Leistung	7,0 [kW]	5,4 [kW]	8,6 [kW]
	Kombispeicher Heizung u. WW	300 [l]	300 [l]	300 [l]
Motor-BHKW	Therm. Leistung BHKW	2,5 [kW]	2,5 [kW]	2,5 [kW]
	Elektr. Leistung BHKW	1,0 [kW]	1,0 [kW]	1,0 [kW]
	Therm. Leistung Spitzenlastkessel	15,2 [kW]	15,2 [kW]	15,2 [kW]
	Kombispeicher Heizung u. WW	500 [l]	500 [l]	500 [l]
BZ-Heizgerät	Therm. Leistung BZ	2,0 [kW]	2,0 [kW]	2,0 [kW]
	Elektr. Leistung BZ	1,0 [kW]	1,0 [kW]	1,0 [kW]
	Therm. Leistung Spitzenlastkessel	15,2 [kW]	15,2 [kW]	15,2 [kW]
	Kombispeicher Heizung u. WW	500 [l]	500 [l]	500 [l]

### Modellgebäude: Mehrfamilienhaus

Für die Definition der Kubatur des Referenzgebäudes Mehrfamilienhaus wurde auf einschlägige Studien zurückgegriffen<sup>24</sup>. Die Orientierung und Größe der Fenster für das definierte Referenzgebäude des Mehrfamilienhauses basieren auf der ÖNORM B-8110-5. Hinsichtlich thermischer Standard der Außenbauteile wurde auf die Anforderungen des nationalen Plans 2020 – für Neubau (10er und 16er Linie) und Sanierung (25er Linie) – Bezug genommen<sup>25</sup>. Drei Versorgungsvarianten werden in weiterer Folge sowohl einer wirtschaftlichen als auch ökologischen Analyse unterzogen:

#### Versorgungsvarianten Mehrfamilienhaus

Für das definierte Referenzgebäude des Mehrfamilienhauses wurden die folgenden energie-technischen Systeme zur Wärmeversorgung verglichen:

- Gasbrennwertsystem<sup>20</sup>

<sup>23</sup> OIB Leitfaden: Energietechnisches Verhalten von Gebäuden, 2011

<sup>24</sup> Die Definition der Kubatur des Referenzgebäudes Mehrfamilienhaus baut auf den Referenzgebäuden der Studie Request auf, siehe: <http://www.energyagency.at/projekte-forschung/gebaeude-haushalt/detail/artikel/request-qualitaetssteigerung-im-sanierungsprozess.html>

<sup>25</sup> Die Anforderungen an den Heizwärmebedarf der 16er Linie des Neubaus und der 17er Linie der Sanierung sind sehr ähnlich. Es ist daher bei der 17er Linie der Sanierung von ähnlichen Ergebnissen wie bei der 16er Linie des Neubaus auszugehen.

- Erdgasbetriebenes Motor-BHKW<sup>26</sup> (Motor-BHKW)
- Brennstoffzellen-Heizgerät<sup>27</sup> (BZ-Heizgerät)

Die Betrachtungsgrenze der folgend definierten Wärmeversorgungssysteme beinhalten die Wärmebereitstellung inklusive der anfallenden Verluste (Verteilverluste, Bereitstellungsverluste, etc.). Die Konfiguration der unterschiedlichen Wärmeversorgungssysteme erfolgte in Anlehnung an den Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. Aus der nachfolgenden *Tabelle 8* sind die Basisparameter der definierten Versorgungssysteme zu entnehmen:

*Tabelle 8: Konfiguration der Wärmeversorgungssysteme für das Mehrfamilienhaus (Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)*

System	Komponente	16er Linie	10er Linie	25er Linie
Gasbrennwertsystem	Erforderliche therm. Leistung	38,4 [kW]	29,9 [kW]	47,1 [kW]
	Kombispeicher Heizung u. WW	2.000 [l]	2.000 [l]	2.000 [l]
Motor-BHKW	Therm. Leistung BHKW	4,7 – 8,0 [kW]	4,7 – 8,0 [kW]	4,7 – 8,0 [kW]
	Elektr. Leistung BHKW	1,5 – 3,0 [kW]	1,5 – 3,0 [kW]	1,5 – 3,0 [kW]
	Therm. Leistung Spitzenlastkessel	47,9 [kW]	47,9 [kW]	47,9 [kW]
	Kombispeicher Heizung u. WW	2.000 [l]	2.000 [l]	2.000 [l]
BZ-Heizgerät	Therm. Leistung BZ	5,0 [kW]	5,0 [kW]	5,0 [kW]
	Elektr. Leistung BZ	3,0 [kW]	3,0 [kW]	3,0 [kW]
	Therm. Leistung Spitzenlastkessel	47,9 [kW]	47,9 [kW]	47,9 [kW]
	Kombispeicher Heizung u. WW	2.000 [l]	2.000 [l]	2.000 [l]

Zur Berechnung des durchschnittlichen Energiebedarfs<sup>28</sup> der unterschiedlichen Wärmerversorgungsvarianten in den Referenzgebäuden für Heizung und Warmwasser sowie Hilfsstrom und Haushaltsstrombedarf wurde das Softwaretool „Gebäudeprofi“ der ETU GmbH eingesetzt. Dieses wurde zur Berechnung von Energieausweisen für Wohn- und Nichtwohngebäude aufbauend auf der OIB-Richtlinie 6<sup>29</sup> bzw. den entsprechenden Ö-Normen entwickelt. Auf Basis der über Grundriss- und Schnittpläne erfassten Gebäudegeometrie sowie der gebäudespezifischen U-Werte der Gebäudehülle wurde mittels dieser Software der durchschnittliche Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf sowie der elektrische Hilfsenergiebedarf und der Haushaltsstrombedarf der definierten Referenzgebäude bzw. Versorgungsvarianten berechnet. Zur energetischen Bewertung der eingesetzten Blockheizkraftwerke bzw. Brennstoffzellen-Heizgeräte wurde das Softwaretool „BHKW Plan“ herangezogen.

<sup>26</sup> Die technische Definition des erdgasbetriebenen Motor BHKWs basiert auf dem Vaillant Ecopower 3.0.

<sup>27</sup> Die technische Konfiguration des Brennstoffzellenheizgerätes beruht auf dem derzeitigen Stand der Technik, entsprechend der durchgeführten Analyse der Output Spezifika von Brennstoffzellenheizgeräten.

<sup>28</sup> Es handelt sich hierbei um den durchschnittlichen, klimabereinigten Energiebedarf für den Standort St. Pölten basierend auf den Klimamodellen und Nutzungsprofilen der ÖNORM B 8110-5. Siehe: Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 8110-5 Wärmeschutz im Hochbau, Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile, Wien, 2011

<sup>29</sup> Siehe: Österreichisches Institut für Bautechnik: OIB Richtlinie 6, Energieeinsparungen und Wärmeschutz, Wien, 2011

Aufbauend auf den energetischen Berechnungen der beiden Softwaretools wurden nachfolgend die ökonomischen Bewertungen der Varianten durchgeführt.

### Ökonomische Bewertung der Varianten

Um eine Entscheidungsgrundlage auf Basis ökonomischer Gesichtspunkte zu schaffen, wurden die eingangs definierten Versorgungsvarianten in den unterschiedlichen Referenzgebäuden im nächsten Schritt ökonomisch bewertet. Als Bewertungsverfahren wurde die Methodik entsprechend der ÖN M 7140<sup>30</sup> bzw. VDI 2067<sup>31</sup> herangezogen.

Der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 9) sind die Basisparameter für die anschließende ökonomische Bewertung zu entnehmen:

*Tabelle 9: Basisparameter für die ökonomische Betrachtung der Varianten  
(Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)*

Basisparameter – Ökonomische Betrachtung	
Betrachtungszeitraum [a]	15
Zinssatz [%]	4
Strom – Bezug [€/kWh] inkl. Ust.	0,189
Erdgas [€/kWh] inkl. Ust.	0,064
Energiepreissteigerungsrate [%]	3

### Ökonomische Bewertung Einfamilienhaus

Für das Einfamilienhaus wurden die folgenden vier Szenarien für eine ökonomische Bewertung der unterschiedlichen Versorgungsvarianten berechnet und analysiert (siehe *Tabelle 10*):

*Tabelle 10: Szenarien für das Referenzgebäude – Einfamilienhaus  
(Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)*

<i>Einfamilienhaus</i>	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Invest. Gasbrennwertsystem [€] inkl. Ust. <sup>32</sup>	11.186	11.186	11.186	11.186
Invest. Motor-BHKW [€] inkl. Ust. <sup>32</sup>	30.600	15.000	15.000	15.000
Invest. BZ-Heizgerät[€] inkl. Ust. <sup>32</sup>	-	15.000	15.000	15.000
Einspeisetarif [€/kWh] inkl. Ust.	0,037	0,037	0,215	*)

<sup>30</sup> ÖNORM M 7140 Beiblatt 5: Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode – Richtwerte für Eingaben, 1999

<sup>31</sup> VDI 2067 – Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung, 2000

<sup>32</sup> Die Investitionskosten beinhalten Material-, Montage- und Installationskosten für Pufferspeicher, Heizgerät bzw. KWK System. Bei den KWK-Varianten ist ein entsprechender Spitzenlastkessel mitberücksichtigt.

Szenario 0: Im Szenario 0 wurden die aktuellen Investitionskosten der unterschiedlichen Systeme von führenden Herstellern erhoben. Da für Brennstoffzellen-Heizgeräte aktuell noch kein Produkt am österreichischen Markt erhältlich ist, wurde das Szenario 0 lediglich für die Motor-BHKWs betrachtet. Im Szenario 0 wurde der aktuelle Marktpreis<sup>33</sup> für die Stromvergütung herangezogen.

Szenario 1: Im Szenario 1 wurde hinsichtlich Investitionskosten auf die Marktstrategie von führenden Herstellern Bezug genommen. Als Einspeisevergütung wurde wiederum der aktuelle Marktpreis angesetzt.

Szenario 2: Im Szenario 2 wurden die Investitionskosten wie im Szenario 2 definiert. Als Einspeisevergütung wurde ein Tarif von 21,5 [ct/kWh] angesetzt<sup>34</sup>.

\*) Szenario 3: Im Szenario 3 wurden die Investitionskosten ebenso wie in Szenario 1 und 2 belassen. Für die untersuchten thermischen Gebäudestandards wurde jener Einspeisetarif ermittelt, welcher zu den gleichen Gesamtkosten wie bei dem definierten Referenzsystem (Gasbrennwertkessel) führt.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die ökonomischen Ergebnisse der unterschiedlichen Versorgungssysteme des Referenzgebäudes Einfamilienhaus dargestellt:

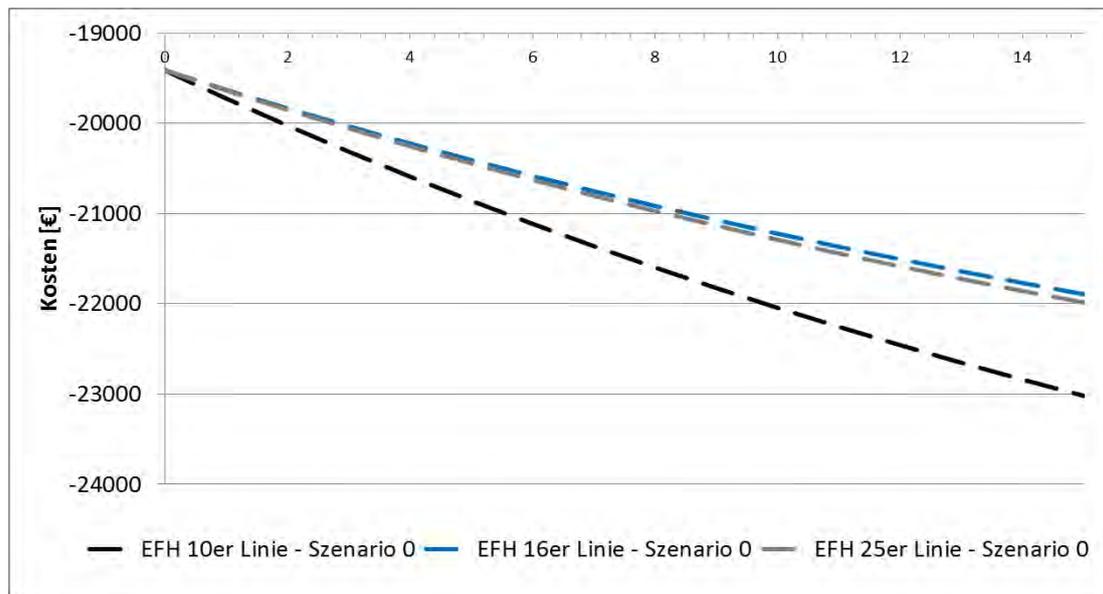


Abbildung 21: Szenario 0, Einfamilienhaus – erdgasbetriebenes Motor-BHKW (Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)

Wie in der obenstehenden *Abbildung 21* ersichtlich, kann mit den derzeit vorherrschenden Marktbedingungen – sowohl hinsichtlich Investitionskosten als auch Einspeisetarifen – keine wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der erdgasbetriebenen Motor-BHKWs zu den Gasbrennwertsystemen erreicht werden. Dies ist zum einen auf die deutlich höheren Investitionskosten im Vergleich zum konventio-

<sup>33</sup> Hierbei wurde auf den Mindesteinspeisetarif entsprechend der ÖMAG Bezug genommen.

<sup>34</sup> Hierbei wurde auf die aktuelle Ökostrom-Einspeisetarifverordnung Bezug genommen. Siehe: Ökostrom-Einspeisetarifverordnung, 2012

nellem Gasbrennwertsystem und zum anderen auf den ungünstigen – im **Szenario 0** angesetzten – Einspeisetarif zurückzuführen.

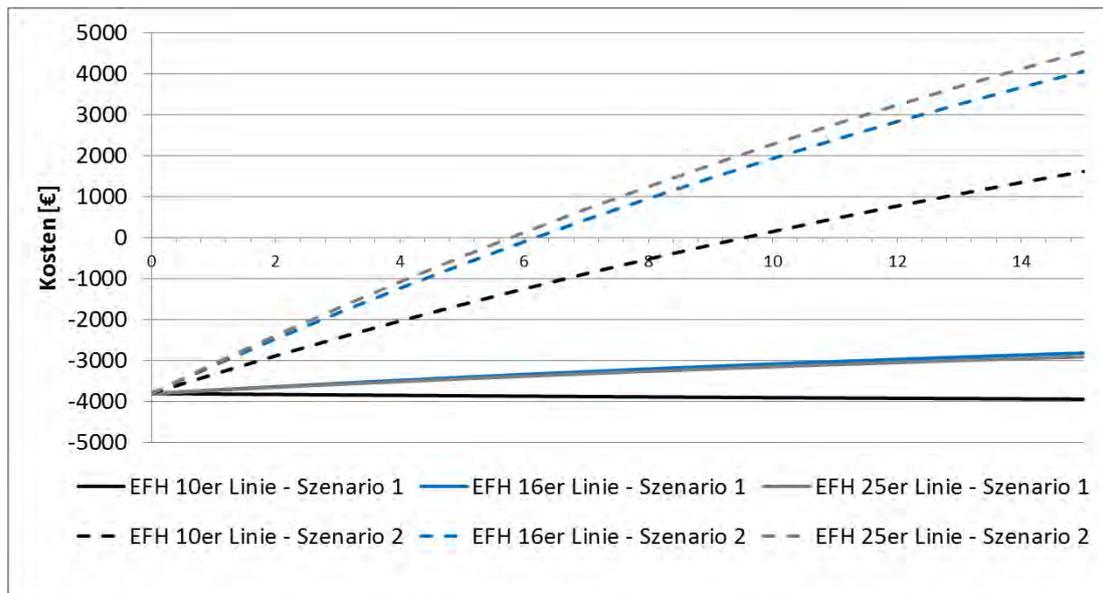


Abbildung 22: Szenario 1 und 2, Einfamilienhaus – erdgasbetriebenes Motor-BHKW (Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)

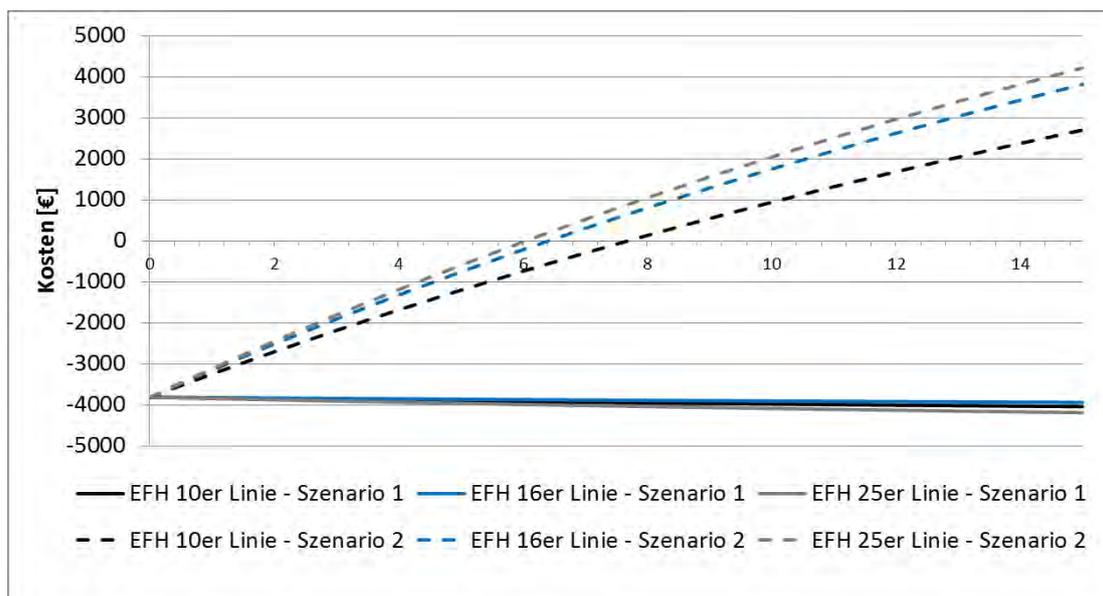


Abbildung 23: Szenario 1 und 2, Einfamilienhaus – Brennstoffzellen-Heizgerät (Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)

Aus den obenstehenden Abbildungen (Abbildung 22 und Abbildung 23) geht hervor, dass im definierten **Szenario 1** weder für das Brennstoffzellen-Heizgerät noch für das erdgasbetriebene Motor-BHKW eine Amortisation gegenüber dem Gasbrennwertsystem erreicht wird. Dies ist auf den ungünstigen Einspeisetarif für den produzierten Überschussstrom zurückzuführen.

Aufgrund des angesetzten Einspeisetarifs von 21,5 [ct./kWh] wird bei beiden Versorgungssystemen im definierten **Szenario 2** eine Wirtschaftlichkeit gegenüber dem gewählten Referenzsystem (Gasbrennwertkessel) erzielt.

Die Förderung neuer Technologien mittels Einspeisevergütung ist in Österreich ein gängiges Modell, aus diesem Grund wurden im **Szenario 3** die notwendigen Einspeisetarife für eine Amortisation innerhalb des gewählten Betrachtungszeitraums untersucht. In Abhängigkeit der eingesetzten Technologie (Motor BHKW oder BZ- Heizgerät) und des thermischen Gebäudestandards ist im Einfamilienhaus eine Einspeisevergütung zwischen 16,4 und 10,7 [ct./kWh] erforderlich, um eine Amortisation gegenüber dem gewählten Referenzsystem zu erzielen.

Nachfolgend sind die ökonomischen Ergebnisse für das untersuchte Referenzgebäude des Mehrfamilienhauses dargestellt.

### Ökonomische Bewertung Mehrfamilienhaus

Für das Mehrfamilienhaus wurden die folgenden vier Szenarien für eine ökonomische Bewertung der unterschiedlichen Versorgungsvarianten berechnet und analysiert (siehe *Tabelle 11*):

*Tabelle 11: Szenarien für das Referenzgebäude Mehrfamilienhaus  
(Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)*

Mehrfamilienhaus	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Invest. Gasbrennwertsystem [€] <sup>35</sup> inkl. Ust.	23.477	23.477	23.477	23.477
Invest. Motor-BHKW [€] inkl. Ust.	52.740	42.740	42.740	42.740
Invest. BZ-Heizgerät[€] inkl. Ust.	-	42.740	42.740	42.740
Einspeisetarif [€/kWh] inkl. Ust.	0,037	0,037	0,215	**)

Szenario 0: Im Szenario 0 wurden die aktuellen Investitionskosten der unterschiedlichen Systeme von führenden Herstellern erhoben. Da für Brennstoffzellen-Heizgeräte aktuell noch kein Produkt am österreichischen Markt erhältlich ist, wurde das Szenario 0 lediglich für die Motor-BHKWs betrachtet. Im Szenario 0 wurde der aktuelle Marktpreis<sup>36</sup> für die Stromvergütung herangezogen.

Szenario 1: Im Szenario 1 wurde eine Investitionsförderung von 10.000 € angesetzt. Wobei hierbei auf die maximale Investitionsförderung der KPC Bezug genommen wird. Als Einspeisevergütung wurde wiederum der aktuelle Marktpreis angesetzt.

Szenario 2: Im Szenario 2 wurden die Investitionskosten wie im Szenario 2 definiert. Als Einspeisevergütung wurde ein Tarif von 21,5 [ct./kWh] angesetzt<sup>37</sup>.

<sup>35</sup> Aufgrund der deutlich geringeren erforderlichen thermischen Leistung wurden die Investitionskosten bei der 10er Linie – entsprechend den eingeholten Preisangeboten führender Hersteller – mit 21.240 € veranschlagt.

<sup>36</sup> Hierbei wurde auf den Mindesteinspeisetarif entsprechend der ÖMAG Bezug genommen.

<sup>37</sup> Hierbei wurde auf die aktuelle Ökostrom-Einspeisetarifverordnung Bezug genommen. Siehe: Ökostrom-Einspeisetarifverordnung, 2012

\*\*) Szenario 3: Im Szenario 3 wurden die Investitionskosten ebenso wie in Szenario 1 und 2 belassen. Für die untersuchten thermischen Gebäudestandards wurde jener Einspeisetarif ermittelt, welcher zu den gleichen Gesamtkosten wie bei dem definierten Referenzsystem (Gasbrennwertkessel) führt.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die ökonomischen Ergebnisse der unterschiedlichen Versorgungssysteme des Referenzgebäudes Mehrfamilienhaus dargestellt:

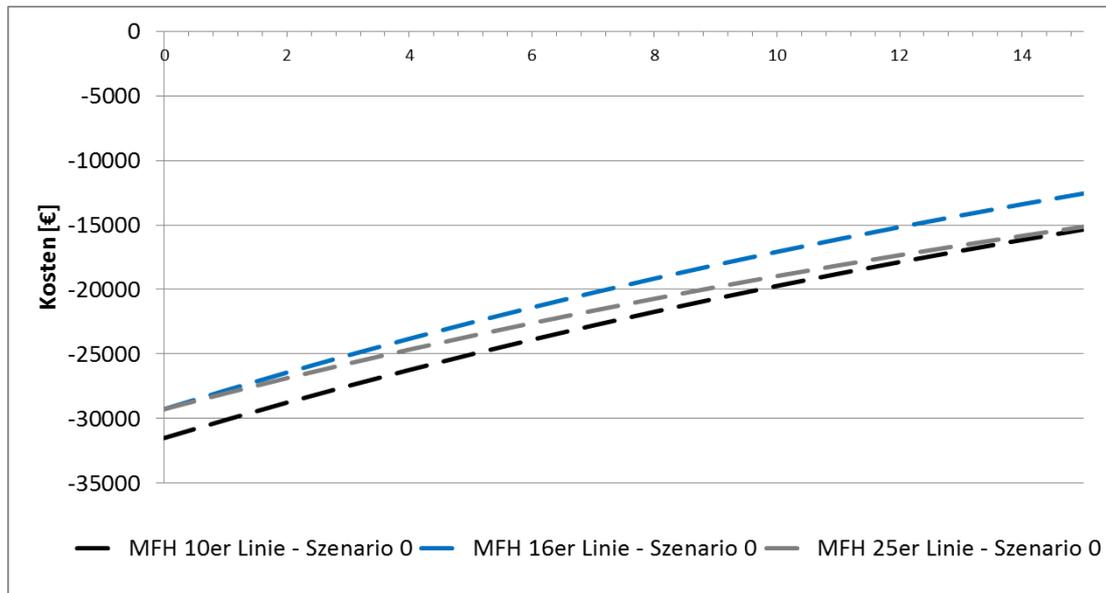


Abbildung 24: Szenario 0, Mehrfamilienhaus – erdgasbetriebenes Motor-BHKW (Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)

Wie in der obenstehenden *Abbildung 24* ersichtlich, kann mit den derzeit vorherrschenden Marktbedingungen – sowohl hinsichtlich Investitionskosten als auch Einspeisetarifen – keine wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der erdgasbetriebenen Motor-BHKWs zu den Gasbrennwertsystemen erreicht werden. Dies ist zum einen auf die deutlich höheren Investitionskosten im Vergleich zum konventionellem Gasbrennwertsystem und zum anderen auf den ungünstigen – im **Szenario 0** angesetzten – Einspeisetarif zurückzuführen.

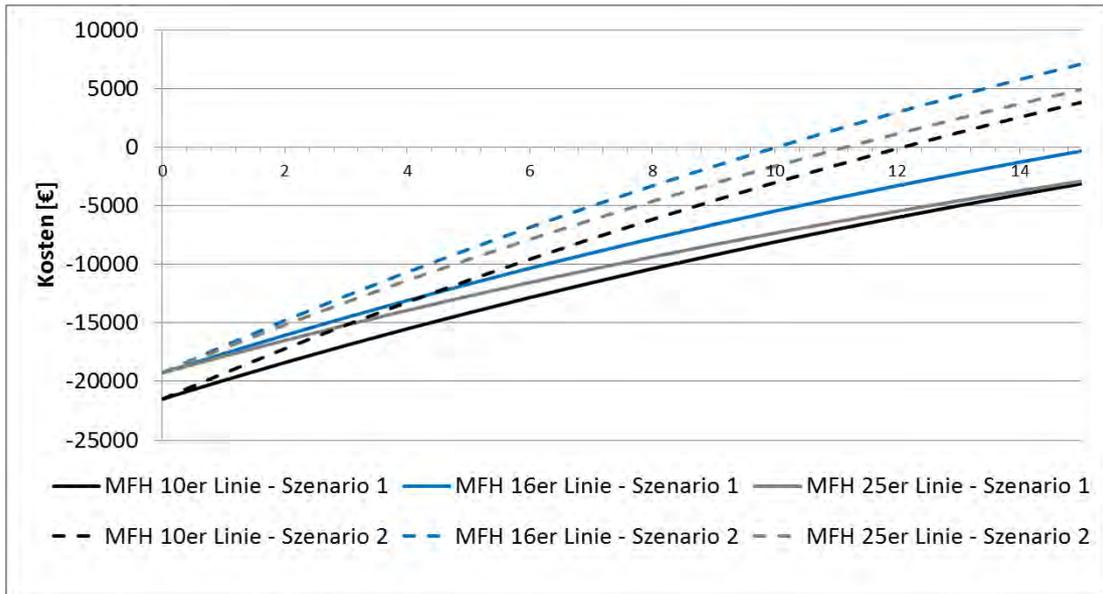


Abbildung 25: Szenario 1 und 2, Mehrfamilienhaus – erdgasbetriebenes Motor-BHKW (Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)

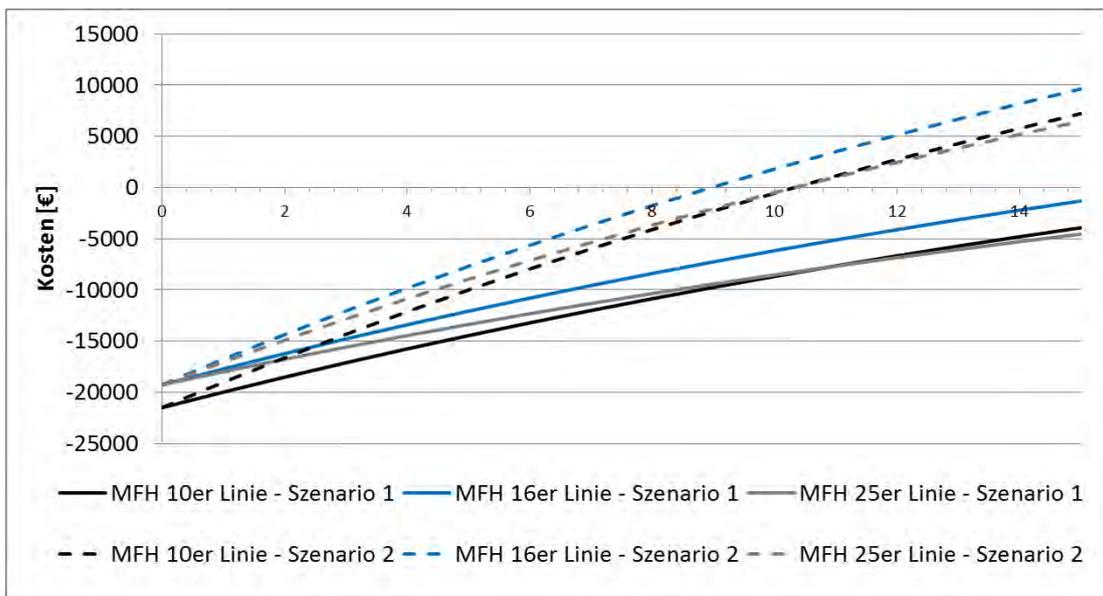


Abbildung 26: Szenario 1 und 2, Mehrfamilienhaus – Brennstoffzellen-Heizgerät (Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)

Aus den obenstehenden Abbildungen (Abbildung 25 und Abbildung 26) geht hervor, dass im definierten **Szenario 1** weder für das Brennstoffzellen-Heizgerät noch für das erdgasbetriebene Motor-BHKW eine Amortisation gegenüber dem Gasbrennwertsystem erreicht wird. Dies ist auf die – nach wie vor – deutlich höheren Investitionskosten im Vergleich zum konventionellem Gasbrennwertsystem sowie den ungünstigen Einspeisetarif für den produzierten Überschussstrom zurückzuführen.

Aufgrund des angesetzten Einspeisetarifs von 21,5 [ct./kWh] wird bei beiden Versorgungssystemen im definierten **Szenario 2** eine Wirtschaftlichkeit gegenüber dem gewählten Referenzsystem (Gasbrennwertkessel) erzielt.

Die Förderung neuer Technologien mittels Einspeisevergütung ist in Österreich ein gängiges Modell, aus diesem Grund wurden im **Szenario 3** die notwendigen Einspeisetarife für eine Amortisation innerhalb des gewählten Betrachtungszeitraums untersucht. In Abhängigkeit der eingesetzten Technologie (Motor BHKW oder BZ – Heizgerät) und des thermischen Gebäudestandards ist im Mehrfamilienhaus eine Einspeisevergütung zwischen 11,7 und 4,5 [ct./kWh] erforderlich, um eine Amortisation gegenüber dem gewählten Referenzsystem zu erzielen.

### Geschäftsmodelle für den Einsatz von Mikro-KWK-Anlagen

Um die Einstiegsschwelle für EndkundInnen in eine neue Technologie wie Mikro-KWK-Anlagen bzw. Brennstoffzellen-Heizgeräte zu verringern, bieten unterschiedliche Hersteller verschiedene Finanzierungsmodelle an. Ein weit verbreitetes Modell hierzu ist das so genannte Energy Contracting. Nachfolgend wird auf die Vorteile dieses Geschäftsmodells eingegangen.

Einer der größten Vorteile von Energy Contracting besteht in der Erfolgsgarantie durch den Contractor. Der Contracting-Nehmer trägt dadurch kein Investitionsrisiko. Das finanzielle und technische Risiko der neuen Energieanlage trägt allein der Contractor. Der Contractor verpflichtet sich, spezifische Energiekosten zu erzielen, wobei die Leistungen des Contractors allein aus der erzeugten Energie bezahlt werden müssen.

Ein weiterer Vorteil für den Contracting-Nehmer besteht darin, dass er seine vorhandenen Investitionsmittel nicht in neue Anlagen investieren muss und dennoch von effizienten Anlagen sowie einer professionellen Planung und Errichtung profitiert.

Derartige Modelle finden – hinsichtlich Mikro-KWK-Anlagen – verstärkt in Deutschland Anwendung. Beispielsweise wird von der EWE AG<sup>38</sup> eine entsprechende Dienstleistung in diesem Bereich angeboten. Weiters beschäftigt sich die Initiative Brennstoffzelle<sup>39</sup> mit der (Weiter-) Entwicklung derartiger Contractingmodelle speziell für Brennstoffzellen. Es sollte somit nur eine Frage der Zeit sein, bis sich derartige Modelle in Österreich etablieren.

Um neben der ökonomischen Bewertung auch eine ökologische Sichtweise der unterschiedlichen Varianten zu erlangen, werden die eingangs definierten Versorgungsvarianten im nachfolgendem Abschnitt ökologisch bewertet.

### Ökologische Bewertung

Als Bewertungsparameter für die ökologische Betrachtung wurden die CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Primärenergiebedarf herangezogen. Hierzu wurden folgend die CO<sub>2</sub>-Emissionen- bzw. der Primärenergiebedarf (gesamt) der unterschiedlichen Versorgungsvarianten berechnet. Die folgenden Konversionsfaktoren wurden der ökologischen Bewertung zu Grunde gelegt (siehe Tabelle 12):

Tabelle 12: Konversionsfaktoren für die ökologische Bewertung (Qu.: OIB RL 6, 2011)

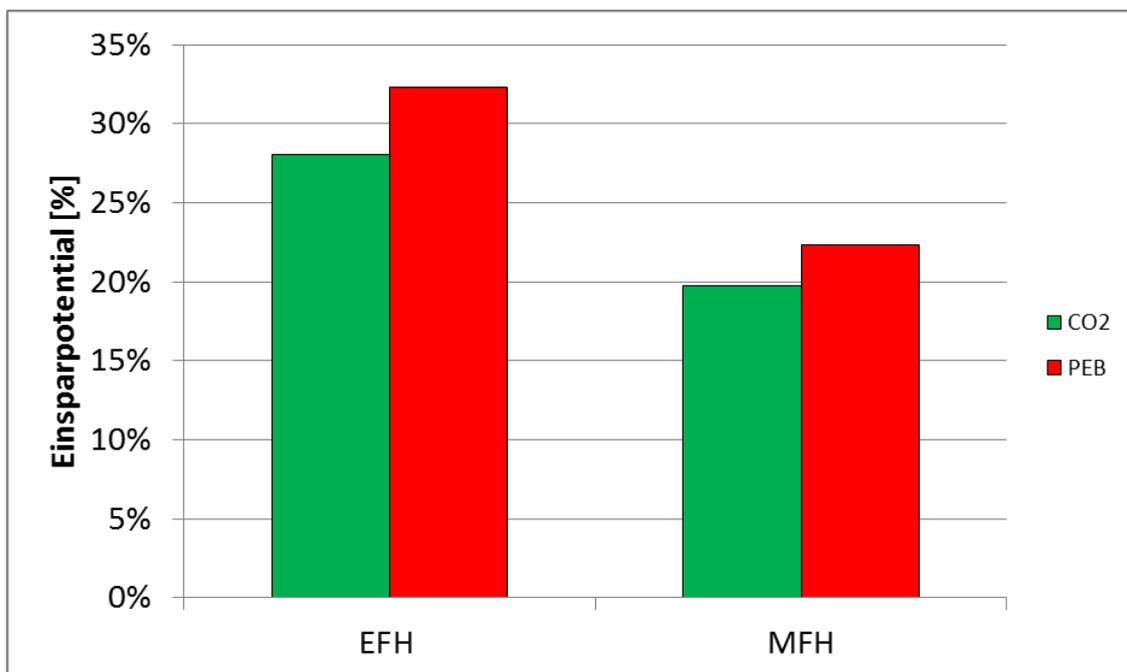
Energieträger	f <sub>PE</sub> [-]	f <sub>CO2</sub> [g/kWh]
Erdgas	1,17	236

<sup>38</sup> Artikel in Euro Heat & Power, Ausgabe Mai 2013

<sup>39</sup> <http://www.ibz-info.de/glossar/contracting>, Zugriff am 26.03.2014

Strom (Österreich-Mix)	2,62	417
Strom (Import-Mix) <sup>40</sup>	3,49	640

Auf Basis der herangezogenen Bewertungsmethodik sind in nachfolgender *Abbildung 27* die möglichen Einsparpotentiale (im Vergleich zu den Referenzsystemen: Gasbrennwertkessel) der herangezogenen Mikro-KWK-Anlagen bzw. der Brennstoffzellen-Heizgeräte dargestellt.



*Abbildung 27: Durschnittliches CO<sub>2</sub>- und Primärenergieeinsparpotential in den Referenzgebäuden (Qu.: Österreichische Energieagentur, 2014)*

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in Abhängigkeit des Gebäudes (Größe, thermischer Standard, etc.) und der eingesetzten KWK Technologie durchschnittliche CO<sub>2</sub> Einsparungen bis zu 28 % und durchschnittliche Primärenergieeinsparungen bis zu 32 % im Vergleich zu konventionellen Gasbrennwertsystemen erzielt werden können. Aus ökologischer Sichtweise stellt sich daher der Einsatz von Mikro-KWK-Anlagen bzw. Brennstoffzellen-Heizgeräten in den definierten Referenzgebäuden für Ein- und Mehrfamilienhäuser als sinnvoll heraus.

### 5.2.5 Fazit

Im Hinblick auf die Output-Spezifika von Mikro-KWK-Anlagen und Brennstoffzellen-Heizgeräten ist insbesondere auf die positive Entwicklung der Wirkungsgrade von Brennstoffzellen-Heizgeräten hinzuweisen. Die elektrischen Wirkungsgrade von Brennstoffzellen-Heizgeräten liegen bei größer 30 %. Sowohl die elektrischen als auch die Gesamtwirkungsgrade derartiger Systeme konnten in den letzten Jahren sukzessive gesteigert werden. An dieser Stelle sei insbesondere auf die erzielten elektrischen

<sup>40</sup> Entsprechend den erläuternden Bemerkungen zur OIB Richtlinie 6 wurde für die Bewertung der Stromgutschriften aus KWK Anlagen der österreichische Import - Mix herangezogen.

Wirkungsgrade im Zuge des ENE-Farm Feldtests verwiesen. Hier konnten bereits elektrische Wirkungsgrade von 40 % erzielt werden.

Die durchgeführten Berechnungen zeigen, dass – unter den derzeitigen Rahmenbedingungen – für einen ökonomischen Betrieb von erdgasbetriebenen Motor-BHKWs bzw. Brennstoffzellen-Heizgeräten sowohl Investitions- als auch Einspeisetarifförderungen erforderlich sind. Hinsichtlich der angesetzten Investitionskosten bzw. -förderungen wurde zum einen auf die Marktstrategie führender Hersteller und zum anderen auf die Investitionsförderungen der KPC Bezug genommen. Da die Förderung neuer Technologien mittels Einspeisevergütung in Österreich ein gängiges Modell ist, wurden Analysen diesbezüglich durchgeführt.

Auf Basis der durchgeführten Berechnungen lassen sich die erforderlichen Rahmenbedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb von Mikro-KWK-Anlagen bzw. Brennstoffzellen-Heizgeräten wie folgt – vereinfacht – zusammenfassen:

- Einfamilienhaus:
  - Investitionskosten: 15.000 [€]
  - Einspeisetarif: 10,7 – 16,4 [ct./kWh]
- Mehrfamilienhaus:
  - Investitionskosten: 42.740 [€]
  - Einspeisetarif: 4,5 – 11,7 [ct./kWh]

Finanzierungsmodelle wie das Energy Contracting sollen den Einstieg von KundInnen in neue Technologien wie die Mikro-KWK-Anlagen erleichtern. Diese Modelle kommen bereits verstärkt in Deutschland zum Einsatz.

Aus ökologischer Sichtweise stellt sich der Einsatz von Mikro-KWK-Anlagen bzw. Brennstoffzellen-Heizgeräten in den definierten Referenzgebäuden für Ein- und Mehrfamilienhäuser als sinnvoll heraus. Durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen bis zu 28 % sowie durchschnittliche Primärenergieeinsparungen bis zu 32 % im Vergleich zu konventionellen Gasbrennwertsystemen können erzielt werden.

## **5.3 Task 27 „Fuel Cells for Portable Applications“**

### **5.3.1 Ziele des Tasks**

Ziel dieses anwendungsorientierten Tasks ist der Informationsaustausch hinsichtlich neuer Entwicklungen im Bereich der portablen Brennstoffzellensysteme.

Der Task behandelt alle Aspekte der portablen Brennstoffzellensysteme von der Entwicklung und Herstellung von Membran-Elektroden- Einheiten (MEEs ) bis hin zu Systemkomponenten wie elektronische Konverter oder Gasversorgungseinheiten. Zudem sind die Installation und die Konfiguration von hybridisierten Systemen von Interesse. Sichere Betriebsbedingung, Codes und Normen werden diskutiert.

Niedertemperatur-Brennstoffzellen, insbesondere die Direkt-Alkohol-Brennstoffzelle, werden hauptsächlich verwendet. Der Task ist jedoch für alle Typen von Brennstoffzellen offen.

Das Hauptaugenmerk für die weitere Entwicklung der Brennstoffzelle liegt auf der Kostenreduktion der Systeme, welche durch die Entwicklung neuer Materialien, neuer Fertigungstechniken und die Erhöhung der Produktionsgrößen realisiert werden soll.

Zusätzlich muss die Zuverlässigkeit der Brennstoffzellensysteme verbessert werden. Wichtige Punkte dabei sind die Erhöhung der Lebensdauer auf mehr als 10.000 Stunden, sowie die Steigerung des Wirkungsgrads und der Leistungsdichte.

### **5.3.2 Inhaltliche Gliederung des Tasks**

Die oben angeführten Themen werden in folgende Teilaufgaben des Tasks gegliedert:

- Systemanalyse und Hybridisierung
- System-, Stapel- und Zellenentwicklung
- Codes und Normen, Sicherheitsbedingungen, Brennstoffe und deren Verpackung, Transport
- Verlängerung der Lebensdauer für portable Brennstoffzellen

### **Aktuelle Teilnehmer im Annex 27**

- Technische Universität Graz (Österreich)
- Department of National Defence (Kanada)
- NRC National Research Council (Kanada)
- Dantherm Power A/S (Dänemark)
- Fraunhofer Institut Chemische Technologie (Deutschland)
- Next Energy (Deutschland)
- Forschungszentrum Jülich GmbH (Deutschland)
- CNR-ITAE – Institute of Advanced Energy Technologies (Italien)

- AIST – National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Japan)
- KIER – Korea Institute of Energy Research (Korea)
- Intertek (Schweden)

### 5.3.3 Aktivitäten in Österreich

An der Technischen Universität Graz wurde im Rahmen dieses Annexes die alkalische Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle eingehend behandelt.

Ethanol kann in der Zukunft einen wesentlichen Beitrag beim Umstieg auf erneuerbare Energieträger leisten. Der Großteil der verwendeten Energieträger sowie auch elektrischer Strom selbst kommen heute noch aus fossilen Quellen. Diese langfristig zu ersetzen ist nur möglich, wenn adäquate Alternativen geschaffen werden. Ethanol besitzt eine hohe, mit Benzin vergleichbare Energiedichte. Es ist ökologisch unbedenklich, ungiftig und bei Standardbedingungen flüssig. Daher ist es einfach zu handhaben und zu transportieren.

Ethanol wird heute bereits, auch in Österreich, im großtechnischen Maßstab hergestellt. Eine andere Herstellung als die aus erneuerbaren Rohstoffen ist aufgrund des etablierten Prozesses nicht sinnvoll. Der Großteil des Ethanols wird dabei durch Fermentation aus stärke- oder zuckerhaltigen Rohstoffen, Neben- oder auch Abfallprodukten diverser Industrien oder der Landwirtschaft hergestellt. Für die Ethanolproduktion besonders interessante Ausgangsstoffe sind Cellulose und Hemi-Cellulose. Beides sind Nebenprodukte der Papierindustrie und fallen dabei im großen Maßstab an.

In vielen Ländern – darunter auch Österreich – wird Ethanol bereits Ottokraftstoffen zugesetzt. Für den globalen Einsatz ist jedoch eine effizientere Umsetzung als im Verbrennungskraftmotor wünschenswert. Ein Ansatz ist die Reformierung von Ethanol, um Wasserstoff zu erzeugen, welcher dann in einer Wasserstoffbrennstoffzelle umgewandelt wird. Es ist jedoch auch möglich, das Ethanol ohne vorherige Reformierung in einer Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle einzusetzen.

Die Forschungsarbeiten hinsichtlich Pt-freier Katalysatorsysteme und ethanolbeständiger Polysaccharid-Membranen für die alkalische DEFC werden in den kommenden drei Jahren weitergeführt. Die Forschungsarbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung und Charakterisierung neuer Materialien für Brennstoffzellen, die Ethanol effizient in elektrische Energie umwandeln. Für die Verbesserung der Leistung der alkalischen Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle (DEFC) werden mehrstufige Verfahren zur Herstellung von Pt-freien Anodenkatalysatoren und Polysaccharid-Membranen basierend auf Kompositmaterialien entwickelt.

Projektpartner: JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH (Österreich), Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Chemie (Österreich)

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „ENERGY MISSION AUSTRIA“ durchgeführt.

### 5.3.4 Ergebnisse

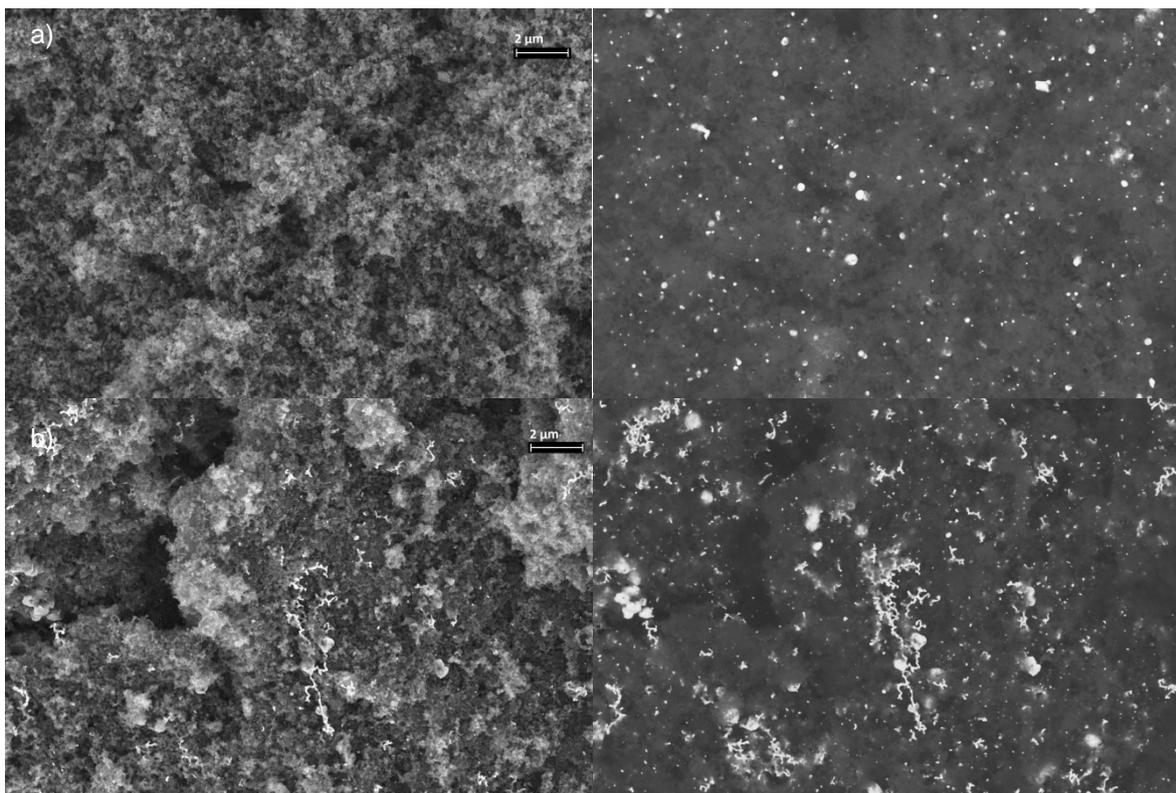
Der Fokus wurde auf die Entwicklung von Katalysatorsystemen, Anionen-Austauscher-Membranen und einer optimierten Zellauslegung gelegt. Für die Spaltung der C-C-Bindung des Ethanols werden andere Anforderungen an den Katalysator gestellt. Diese sind kaum mit monometallischen Katalysatoren zu erfüllen. Auch ermöglicht der Einsatz von alkalischen Elektrolyten die Verwendung einer Vielzahl anderer, Nicht-Platingruppen(PGM)-Metalle. Die Vulkankurve, auf der Platin im Sauren die

höchste Aktivität zeigt, ändert sich im Alkalischen wesentlich. Daher zeigen einige NPG-Metalle wie beispielsweise Nickel im alkalischen Milieu eine verbesserte katalytische Aktivität.

Da es sich bei Ethanol um einen flüssigen Brennstoff handelt und dieser in wässriger Lösung in die Zelle eingebracht wird, unterscheiden sich die Anforderungen an diesen Zelltypen wesentlich von der gängigen Wasserstoffbrennstoffzelle. Die bereits eingehend an die saure Wasserstoffbrennstoffzelle angepassten Systemkomponenten können daher nur unter Vorbehalt in einer alkalischen Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle eingesetzt werden. Neben den eingesetzten Materialien selbst muss auch die gesamte Zellauslegung an sich neu überdacht werden. Diffusion, Wasserhaushalt und Produktabtransport unterscheiden sich wesentlich von bekannteren Systemen. Parallelen gibt es zwar zu anderen Direkt-Brennstoffzellen mit flüssigen Brennstoffen, die meisten dieser verwenden jedoch wieder saure Elektrolyte. Rückschlüsse sind daher auch hier nur bedingt möglich.

### Entwicklung von Katalysatorsystemen

Die Oberfläche des Katalysators wird stark durch das Trägermaterial sowie die Abscheidungs-methode beeinflusst. Die Art und die Vorbehandlung des Trägermaterials wirken sich stark auf die elektro-katalytische Aktivität und Stabilität des Katalysators aus. Die Abscheidung von Gold auf thermisch vorbehandeltem Carbon-Black-Trägermaterial führt zu einer deutlichen Absenkung des Ethanoloxidationspotentials. Die Vorbehandlung des Kohlenstoffs bewirkt die deutliche Verringerung der Partikelgröße des abgeschiedenen Metalls (Abbildung 28).



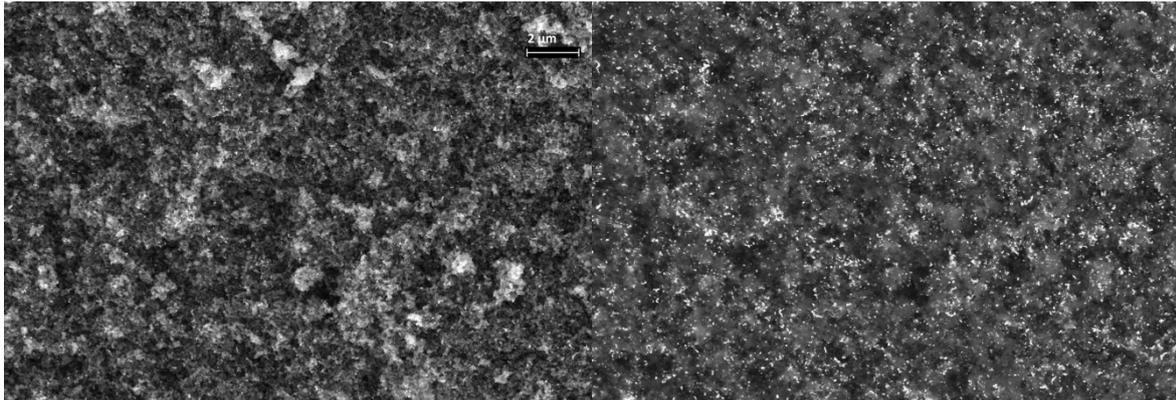


Abbildung 28: REM-Aufnahmen von Gold auf verschiedenen Trägermaterialien a) Au/C b) Au/Ctherm c) Au/Cox. Die Aufnahmen links wurden mit einem InLens-Detektor aufgenommen, um die Feinstruktur der Probe abzubilden, die rechten Aufnahmen zeigen den identen Ausschnitt detektiert mit AsB. (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

Die größere Oberfläche des Metalls bewirkt eine größere Anzahl an aktiven Zentren am Katalysator und somit deutlich höhere Spitzenströme im Zykelvoltammogramm (CV) (Abbildung 29). Das thermisch vorbehandelte Trägermaterial bewirkte eine deutliche Verringerung des Onsetpotentials und wurde daher für die weitere Optimierung des Katalysators verwendet.

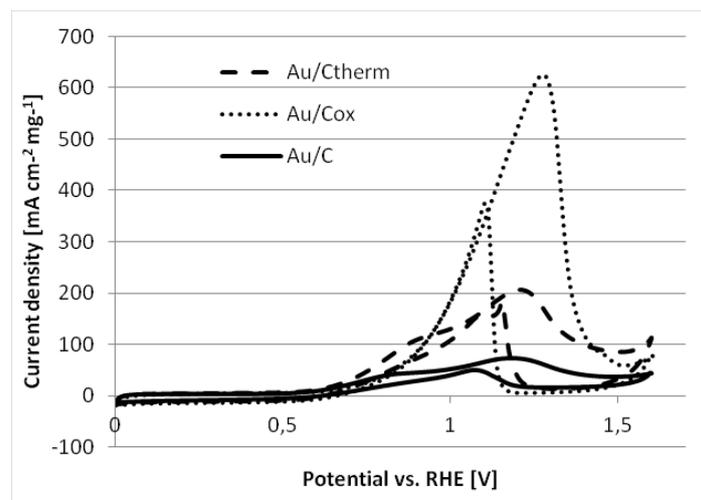


Abbildung 29: CV von Au/C (durchgezogene Linie), Au/Ctherm (gestrichelte Linie) und Au/Cox in 0,1 M KOH + 0,5 M EtOH mit 10 mV/s Vorschubgeschwindigkeit (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

Die Anwendung einer zweiphasigen Synthesemethode (Wasser-in-Öl-Methode) brachte eine weitere deutliche Vergrößerung der aktiven Katalysatoroberfläche und somit einer besseren Ausnutzung des Metalls.

Drei verschiedene Methoden wurden angewandt, um bimetallische Katalysatoren herzustellen: die simultane Abscheidung (co), die aufeinanderfolgende Abscheidung (on) und die galvanische Austauschreaktion (gal) (Abbildung 30).

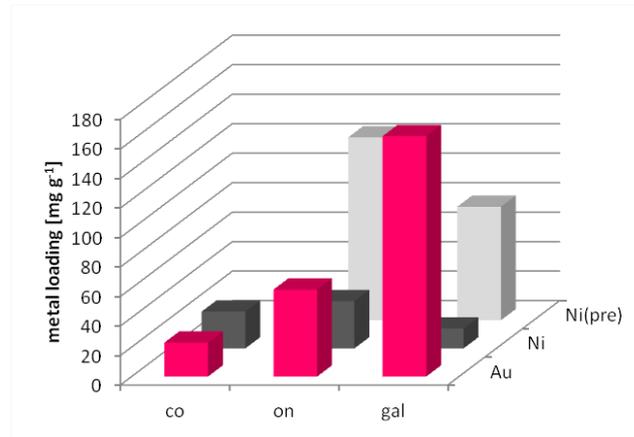


Abbildung 30: Metallbeladungen von Gold und Nickel auf thermisch vorbehandeltem Kohlenstoff simultan abgeschieden (co) und aufeinanderfolgend abgeschieden (on), sowie galvanisch abgeschiedenes (gal) Gold auf Ni/C (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

Die Herstellungsmethode beeinflusst sowohl die Metallbeladung als auch das Verhältnis der abzuscheidenden Metalle. Die höchste Goldbeladung mit den höchsten Stromdichten wurde mit Katalysatoren hergestellt durch die galvanische Austauschreaktion erreicht (Abbildung 31).

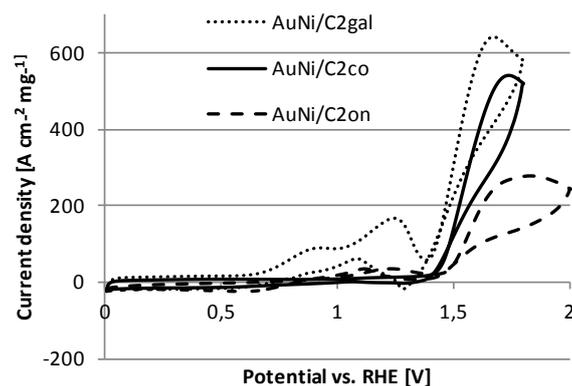


Abbildung 31: CVs von AuNi/C hergestellt mit verschiedenen Methoden in 0,1 M KOH + 0,5 M EtOH mit 10 mV Vorschubgeschwindigkeit. Das Diagramm zeigt CVs von AuNi/C hergestellt mit einer zweistufigen Synthese (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

### Optimierung der Elektrodenherstellung

Neben dem herkömmlichen Kohlenstoffpapier als Trägermaterial wurden auch einige Versuche mit Nickelschaum als Anodenträgermaterial durchgeführt. Die Zusammensetzungen von Gasdiffusionsschicht und Aktivschicht wurden nicht geändert.

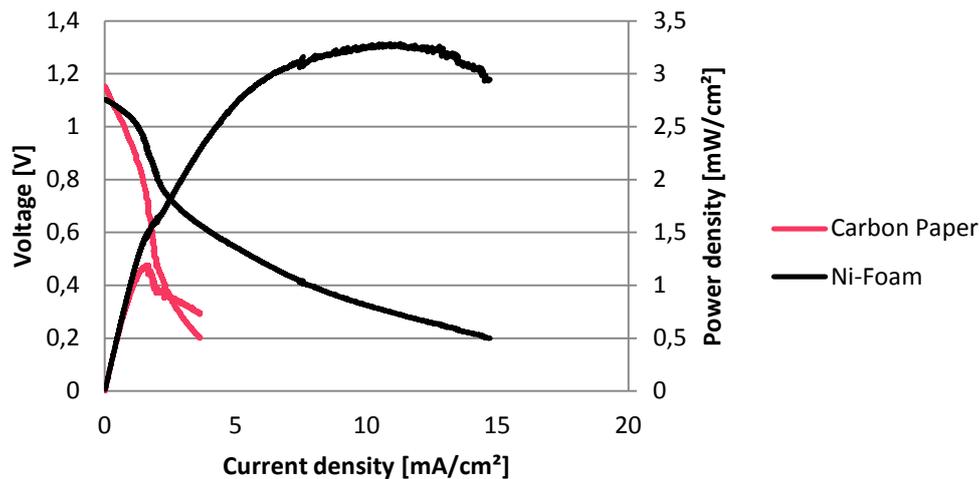


Abbildung 32: Strom-Spannungskennlinie und Leistungskurve von Einzelzellversuchen mit Elektroden mit Kohlenstoffpapier (rosa Linie) und Nickelschaum als Trägermaterial (schwarze Linie) (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

Nickelschaum zeigt gegenüber dem Kohlenstoff eine signifikante Verbesserung der Langzeitstabilität und trägt durch seine katalytische Aktivität ebenfalls zum Ethanol-Oxidationsumsatz bei. Die Verwendung neuer Trägermaterialien auf der Anode konnte wesentlich zur Verbesserung der alkalischen Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle beitragen (Abbildung 32).

### Entwicklung alkalischer Polymere

Nach Ausarbeitung geeigneter SyntheseprozEDUREN für verschiedene alkalische Polymere wurden diese eingehend charakterisiert und das optimale Verhältnis der funktionellen Gruppen zum Molekül bestimmt. Die thermische Stabilität bei auf PSU basierenden AEMs ist stark vom Chloromethylierungsgrad des Polymers abhängig (Abbildung 33). Mit steigendem Molverhältnis von Polysulfon zur Chloromethylgruppe (bei Verhältnissen von 1:7 bis 1:29) steigt der Massenverlust bei erhöhten Temperaturen.

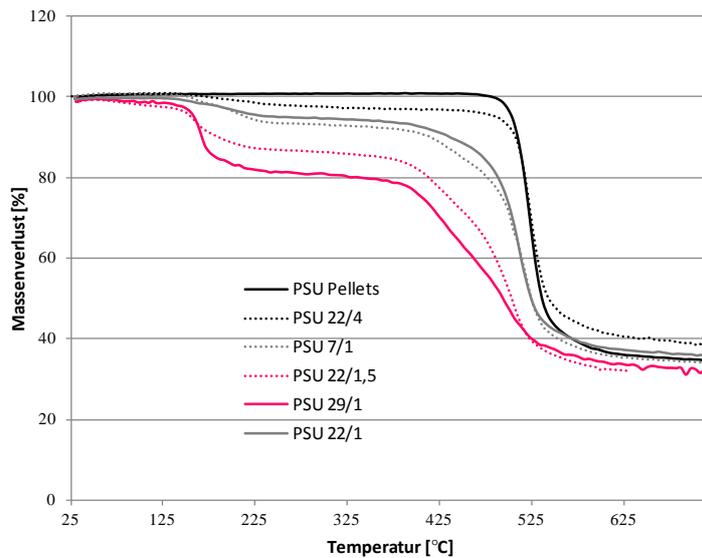


Abbildung 33: Thermogravimetrische Vermessung von funktionalisierten PSU-Polymeren bis 650 °C in Stickstoff-Atmosphäre (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

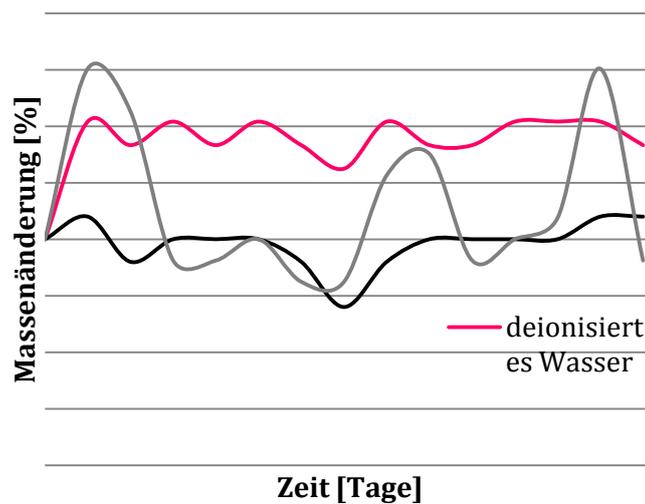


Abbildung 34: Chemische Beständigkeit der Membran PSU 22/4 in deionisiertem Wasser, 0,1 M KOH und Ethanol (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

Alle auf PSU basierenden Membranen erwiesen sich in verschiedenen Medien als stabil (Abbildung 34). Der Massenanstieg in deionisiertem Wasser und in KOH-Lösung ist durch eine oberflächliche Karbonatbildung mit  $\text{CO}_2$  aus der Umgebungsluft zu erklären.

### Zellkonstruktion

Es wurde ein Zellprototyp gebaut, der vollständig passiv oder semi-passiv betrieben werden kann (Abbildung 35). Bei dieser Zelle steht das Kathodenträgermaterial in direktem Kontakt mit der Umgebungsluft.

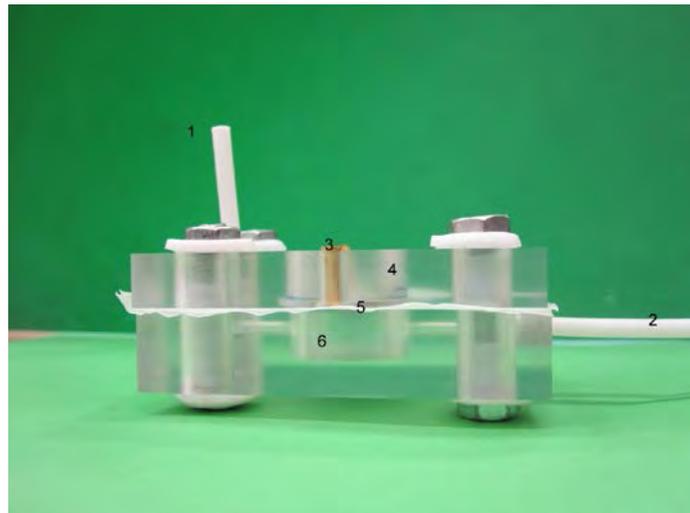


Abbildung 35: Passive Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle mit MEA, Seitenansicht: 1) Ethanol-Auslass, 2) Ethanol-Einlass, 3) Stromabnehmer, 4) Kathodenseite, 5) eingespannte MEA und PTFE-Papier als Dichtung, 6) Ethanol-Reservoir an der Anode (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

Es findet keine zusätzliche Luftzufuhr statt. Auf Seiten der Anode befindet sich anstelle der Strömungsfeldplatte ein Reservoir, durch das für die semi-passive Betriebsweise die Ethanollösung aktiv gepumpt wird. Alternativ kann der Prototyp auch vollständig passiv betrieben werden. Dann wird das Reservoir vor der Messung mit Ethanol geflutet und verschlossen. Der Austausch mit der aktiven Schicht findet allein durch Diffusion statt.

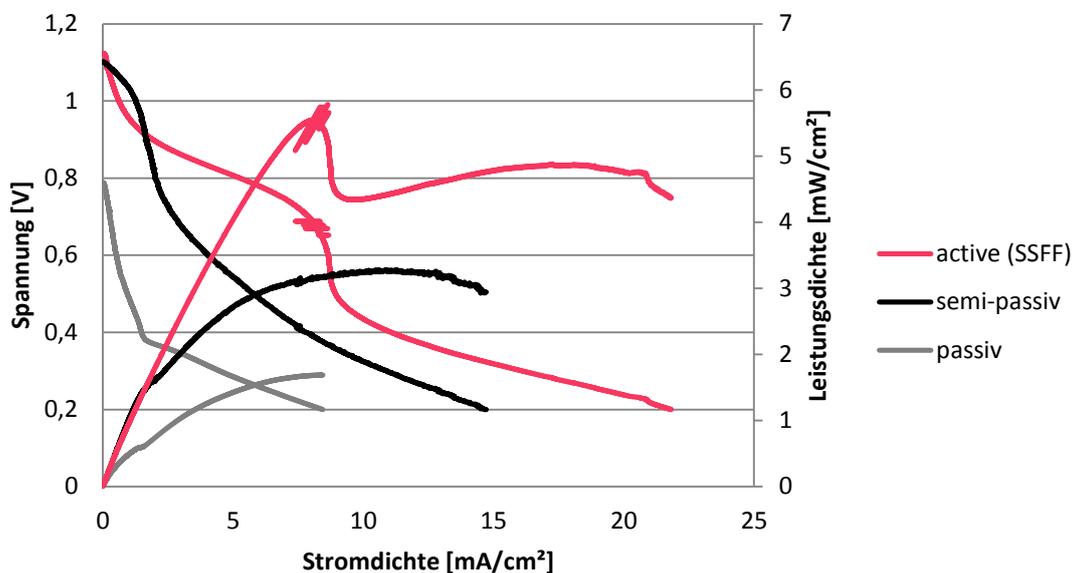


Abbildung 36: Auswirkung der Betriebsweise der DEFC auf die UI-Kennlinie und Leistungskurve (Qu.: Technische Universität Graz, ICVT, 2013)

Im Versuch (Abbildung 36) zeigte eine vollständig aktive Zelle die höchsten Leistungsdichten pro Quadratzentimeter, gefolgt von der semi-passiven und der passiven. Berücksichtigt man jedoch den reduzierten apparativen Aufwand, ist die vollständig passiv betriebene Zelle klar von Vorteil.

### 5.3.5 Fazit

Im Rahmen des Annex 27 konnte ein auf Nickel und Gold basierender Elektrokatalysator für die Ethanoloxidation hergestellt werden. Durch die Kombination der beiden Metalle mittels optimierter Abscheidemethode konnten hohe Stromdichten bei niedrigem Startpotential erreicht werden. Auch die Stabilität des Katalysators konnte verbessert werden. Es war möglich, den Katalysator zu verbessern und dabei gleichzeitig den Goldanteil gering zu halten. Die reinen Kosten für die Katalysatormetalle werden im Vergleich zu einem Platin-Katalysator bei gleicher Metallbeladung so um ca. 54 % reduziert.

Durch die Weiterentwicklung der Polysulfon-Membran konnte diese besser an die Bedingungen der alkalischen Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle angepasst werden. Dadurch konnten gute Werte für Ionenaustauschkapazität und Beständigkeit erreicht werden.

Die Membran-Elektroden-Einheiten konnten in Bezug auf Schichtdicke, Herstellungsmethode und chemische Zusammensetzung optimiert werden. Insbesondere durch die Verwendung alternativer Elektrodenträgermaterialien konnte die Leistungsdichte um 55 % gesteigert und auch die Lebensdauer konnte signifikant erhöht werden. In Einzelzellversuchen wurden dann die Betriebsbedingungen im Hinblick auf Temperatur, Zugabe von Additiven und Betriebsweise an die Anforderungen der DEFC angepasst. Außerdem konnte das System durch die Entwicklung einer passiven alkalischen Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle stark vereinfacht werden. Oxidans und Brennstoff müssen nicht aktiv zugeführt werden, daher entfällt die Notwendigkeit von Pumpen und Ventilatoren, wodurch der Einsatz in portablen Anwendungen erleichtert wird.

Die alkalische Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle ist ein vielversprechendes, auf erneuerbaren Rohstoffen basierendes System, das sich für die portable Anwendung eignet. Durch die im Rahmen des Annex 27 umgesetzte Optimierung konnten wesentliche Fortschritte hin zu einem kommerziellen System gemacht werden.

## 6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Die Projektergebnisse wurden mittels folgender Tools verbreitet:

- Website der österreichischen Energieagentur (<http://www.energyagency.at/projekte-forschung/gebäude-haushalt/detail/artikel/oesterreichische-beteiligung-am-implementing-agreement-on-advanced-fuel-cells-der-iea-2009-2013.html>) und des Implementing Agreements (<http://www.ieafuelcell.com/>)
- Newsletter
- Workshop an der TU-Graz
- Vorträge, Publikationen und Summer School

Generell sind die Projektergebnisse für folgende Akteure in Österreich von Relevanz:

- Industrie und Gewerbe (inkl. Versorgungsunternehmen)
- Wissenschaftliche Institutionen (Universitäten und Fachhochschulen)
- Öffentlicher Sektor (Bund und Länder)

Die Firmen wurden dahin gehend eingebunden, dass im Rahmen der Erstellung der Country Pictures firmenrelevante Informationen recherchiert und zusammen gestellt wurden. Im Rahmen von Annex-Meetings wurden ausgewählte Firmen zu Präsentationen eingeladen. Vorträge, Publikationen und die Summer School dienten vorwiegend dazu, um MitarbeiterInnen von wissenschaftlichen Institutionen mit aktuellen Beiträgen zu informieren. Die Newsletter und die Veranstaltung an der TU-Graz dienten dazu, alle Akteure über die Ergebnisse zu informieren. Nach Approbation des Projekts wird der Ergebnisbericht auf der Website: Nachhaltig Wirtschaften (<http://www.nachhaltigwirtschaften.at/>) zur Verfügung gestellt.

Die Organisation und Durchführung eines Workshops an der TU Graz am 27.02.2014 bildete einen besondere Höhepunkt der Verbreitungs- und Vernetzungsaktivitäten. Unterschiedlich zu den letzten Veranstaltungen konnte mit 80 TeilnehmerInnen ein großes Zielpublikum erreicht werden. Die Programmdetails finden sich in der nachfolgenden Tabelle. Die entsprechenden Präsentationen stehen unter: [http://www.energyagency.at/aktuelles-presse/veranstaltungen/detail/veranstaltung/workshop-brennstoffzellen-markteinfuehrung-markthemmnisse-und-fe-schwerpunkte.html?no\\_cache=1](http://www.energyagency.at/aktuelles-presse/veranstaltungen/detail/veranstaltung/workshop-brennstoffzellen-markteinfuehrung-markthemmnisse-und-fe-schwerpunkte.html?no_cache=1) als Download zur Verfügung.

Tabelle 13: Programm des Workshops *Brennstoffzellen: Markteinführung, Markthemmnisse und F&E Schwerpunkte* an der TU Graz

Uhrzeit	Referent	Organisation	Titel
10:30	<b>Registrierung</b>		
10:45	Frank Uhlig Matthäus Siebenhofer	TU Graz	Begrüßung
11:00	Hermann Halozan	TU Graz	Österreich in der IEA: Überblick der österreichischen Teilnahmen in den Implementing Agreements
11:10	Viktor Hacker	TU Graz	Wasserstoff- und Brennstoffzellenprojekte – Beiträge zum Implementing Agreement
11:30	Manuel Mitterdorfer	AEA	Brennstoffzellenheizgeräte: Stand der Technik und ökologische/ökonomische Bewertungen
11:50	Erich Ramschak	Magna Steyr	Magna Steyr im Bereich Wasserstoff – Erfahrungen, Status und zukünftige Herausforderungen
12:10	Hermann Hofbauer	TU Wien	Brennstoffzellentauglicher Wasserstoff aus Biomasse mittels Dampfreformierung
12:30 – 13:30	<b>Mittagspause</b>		
13:30	Ewald Wahlmüller	Fronius	Fronius Hydrogen Technologies
13:50	Roland Kalb	Proionic	Flüssige ionische Wasserstoffspeicher – Eigenschaften und Potential
14:10	Markus Perchthaler	Elcomax	F&E-Schwerpunkte bei HTPEM-MEAs und Brennstoffzellen-Systemen für stationäre $\mu$ -KWK-Anwendungen
14:30 – 15:00	<b>Kaffeepause</b>		
15:00	Georg Patay	Vaillant	Brennstoffzellen als Hausenergiezentrale: Innovative KWK-Systemlösungen auf dem Weg in den Markt?
15:20	Marco Brandner	Plansee	Produktentwicklungen und Industrialisierung von SOFC-Bauteilen am Beispiel stationärer Anwendungen
15:40	Peter Prenninger	AVL	Brennstoffzellen-Systeme – von der Forschung zur Kommerzialisierung: Integration – Simulation – Testen
16:00	<b>Ende</b>		

## Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells (AFC)

Die Organisation und Durchführung der Internationalen Summer School on Advanced Studies of Polymer Elektrolyte Fuel Cells wurde von der Technischen Universität Graz in Kooperation mit der Yokohama National University jährlich ausgetragen und fand in Graz vom 3.-7. September 2012 und in Japan vom 25.-30.8.2013 statt. Nachfolgende finden sich Impressionen und das Programm der letzten Summer School.



Abbildung 37: Teilnehmer Summer School 2012, Graz, Österreich



Abbildung 38: Teilnehmer Summer School 2013, Yokohama, Japan

Tabelle 14: Programm der International Summer School on Advanced Studies of PEFCs, 2013, Yokohama National University

	Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
	25.08.2013	26.08.2013	27.08.2013	28.08.2013	29.08.2013	30.08.2013
09:00- 10:00		Environmental impact factor for Hydrogen energy Prof. Ken-Ichiro Ota	Basics of the electrochemical measurements Prof. Shigenori Mitsushima	Impedance spectroscopy measurement techniques for fuel cell diagnosis Prof. Bernd Eichberger	Step by step determination of the kinetic parameters of the ORR on carbon supported nanocatalysts(1) Prof. Boniface Kokoh	Carbon support corrosion and membrane degradation Prof. Viktor Hacker
10:15 - 11:15		Basic of fuel cells Prof. Viktor Hacker	Single Cell PEMFC testing: MEA preparation Prof. Gaetano Squadrito	Thermodynamics for hydrogen production Prof. Angelo Basile	Title: Step by step determination of the kinetic parameters of the ORR on carbon supported nanocatalysts (2) Prof. Boniface Kokoh	Direct Ethanol Fuel Cells Dr. Astrid Stadlhofer
11:30 - 12:30		Basic of electrochemistry and modeling of PEFCs (1) Dr. Uwe Reimer	Single Cell PEMFC testing: testing protocol Prof. Gaetano Squadrito	Ultra pure hydrogen production using Pd-based membrane reactors Prof. Angelo Basile	Title: Clean Hydrogen Production by Water Electrolysis Dr. Teko Napporn	Closing ceremony
12:30 - 13:30		Lunch Break	Lunch Break	Lunch Break	Lunch Break	Lunch Break
13:30- 14:30	Reception events	Basic of electrochemistry and modeling of PEFCs (2) Dr. Uwe Reimer	Technical Tour  Nissan Motor or Tokyo Gas etc.	Lecture of cutting edge (Open session) Title: Dr. Uwe Reimer	Heat and mass transport inside PEFC Prof. Takuto Araki	Technical Tour 2 (Optional)  CRIEPI ?
14:45 - 15:45		Electrocatalyst preparation method Dr. Teko Napporn		Students Poster session (Open session)	Experiments	
evening					Come together - Catering	

Die Summer School bietet durch die enge Kooperation mit der Yokohama National University und durch die Mitwirkung international anerkannter ForscherInnen im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, die Möglichkeit zur internationalen Vernetzung mit führenden Experten im Bereich neuer innovativer Energiequellen.

Durch den zielgruppenspezifischen Transfer von Ergebnissen und die Verbreitung von Erfolgen und Erkenntnissen auf dem Gebiet der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie kann sich Österreich als Standort für innovative Forschung und Entwicklung im Bereich neuester Technologien international präsentieren.

Nationale wie internationale Forschung, Institutionen, Hersteller und Energieversorger trieben die Entwicklung der Brennstoffzelle in den letzten Jahren stark voran: Ziel war und ist die serienreife emissionsarme Brennstoffzelle, flexibel kombinierbar zu hocheffizienten, dezentralen Energiesystemen. Internationale Erfolge und Fortschritte auf diesem Bereich werden nach und nach sichtbar: So laufen derzeit vielversprechende Pilotprojekte zur energetischen Gebäudeversorgung durch Brennstoffzellen in Japan und Deutschland. Wobei die Anzahl der in Japan installierten Brennstoffzellenheizgeräte 40.000 übersteigt (Stand: 2013). Weiters liefert in Hwasung City, Südkorea, seit Herbst 2013 der weltgrößte Brennstoffzellen-Park – mit einer Leistung von knapp 59 MW – Strom und Fernwärme in die Netze. Im Rahmen des EneField Projekts der europäischen Union sind in den nächsten zwei Jahren 1000 Anlagen in Europa geplant (30 bis 40 davon in Österreich).

Österreich hat im Bereich der **stationären Brennstoffzellen-Systeme** keinen Schwerpunkt und kann auch auf keine F&E-Ergebnisse von Feldtests zurückgreifen. Die Einbindung in internationale F&E Schienen wie der IEA ist aus diesem Grund von besonderer Bedeutung nicht nur für die teilnehmenden wissenschaftlichen Institutionen sondern auch für die in diesem Bereich aktiven österreichischen Unternehmen. Der Zugang zu den Ergebnissen der international durchgeführten Demonstrationsprojekte (wie EneFarm in Japan, Callux in Deutschland, etc.) führt zu Erkenntnisgewinnen (wie Standfestigkeit der Systeme, erzielte Wirkungsgrade, erzielte Emissionen, tatsächliche Kosten für die Installation bzw. Betrieb, etc.), die anderweitig nur schwer bzw. unter Einsatz von hohen im Millionenbereich liegenden Budgetmitteln zu generieren wären!

Der Mehrwert der Teilnahme am Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells für die Technische Universität Graz ergibt sich vor allem daraus, dass ein Austausch von Wissen mit international führenden Institutionen und Konzernen in einem „familiären“, aber produktorientierten Rahmen ermöglicht wird. Dieser Wissensaustausch kommt den laufenden Projekten an der TU Graz zu Gute, indem innovative Ansätze aus den Annexen zur portablen Brennstoffzellen und zur Polymer Elektrolyt Brennstoffzelle direkt umgesetzt werden können.

Die Teilnahme Österreichs am im Bereich der **Polymer Elektrolyt Brennstoffzelle** war besonders erfolgreich. So konnten durch den Wissenstransfer aus den Taskmeetings und des dadurch entstandenen Netzwerks nicht nur alle im Antrag geplanten Forschungstätigkeiten umgesetzt und durchgeführt werden, sondern auch über den Antrag hinausgehende relevante Beiträge zu weiteren Subtasks des Annex geleistet werden. Die im Antrag beschriebene Synthese von binären Platin-Übergangsmetall-Katalysatoren, konnte erfolgreich in einem großtechnisch realisierbaren Herstellungsverfahren durchgeführt werden. Durch die Behandlung der Katalysatorproben mit Säure und einem thermischen Heizschritt wurden die Aktivität und Stabilität des Katalysators gesteigert. In Zahlen gegossen, konnte mit den hergestellten MEAs in Brennstoffzellentests trotz Reduktion der Platinbeladung von 20 % an der Kathode die gleiche Leistung erreicht werden wie mit einer handelsübli-

chen State-of-the-Art-MEA. Gegenüber diesem kommerziell erhältlichen Katalysator konnte auch eine 50–75 % bessere Stabilität in den angewandten ‚accelerated stress tests‘ erhalten werden.

Im Bereich der **portablen** Brennstoffzellen konnte ein auf Nickel und Gold basierender Elektrokatalysator für die Ethanoloxidation hergestellt werden. Durch die Kombination der beiden Metalle mittels optimierter Abscheidemethode konnten hohe Stromdichten bei niedrigem Startpotential erreicht werden. Auch die Stabilität des Katalysators konnte verbessert werden. Es war möglich, den Katalysator zu verbessern und dabei gleichzeitig den Goldanteil gering zu halten. Die reinen Kosten für die Katalysatormetalle werden im Vergleich zu einem Platin-Katalysator bei gleicher Metallbeladung so um ca. 54 % reduziert. Die Membran-Elektroden-Einheiten konnten in Bezug auf Schichtdicke, Herstellungsmethode und chemische Zusammensetzung optimiert werden. Insbesondere durch die Verwendung alternativer Elektrodenträgermaterialien konnte die Leistungsdichte um 55 % gesteigert und die Lebensdauer konnte signifikant erhöht werden. In Einzelzellversuchen wurden die Betriebsbedingungen im Hinblick auf Temperatur, Zugabe von Additiven und Betriebsweise an die Anforderungen der DEFC angepasst. Zudem konnte das System durch die Entwicklung einer passiven alkalischen Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle stark vereinfacht werden. Oxidans und Brennstoff müssen nicht aktiv zugeführt werden, daher entfällt die Notwendigkeit von Pumpen und Ventilatoren, wodurch der Einsatz in portablen Anwendungen erleichtert wird.

Durch die Teilnahme am IEA AFC wurde eine strategisch wichtige Vernetzung mit internationalen, im Spitzenfeld tätigen Forschungsgruppen und Industriepartnern ermöglicht. Aus dem IEA AFC sind bereits mehrere EU-Projekte, u.a. keePEMalive und Second Act, hervorgegangen. Alle Ergebnisse aus diesen Projekten wurden bzw. werden der Öffentlichkeit zugänglich gemacht und dienen daher der gesamten österreichischen Forschungslandschaft.

## 7 Ausblick und Empfehlungen

Die Internationale Energieagentur (IEA) hat seit 1990 mit der Gründung des Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells (IA AFC) einen Forschungsschwerpunkt bei Brennstoffzellen-Systemen. Österreich trat diesem Programm 2004 bei und wird dort durch die Österreichische Energieagentur und das Labor für Brennstoffzellen am Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik der TU Graz vertreten.

Nationale wie internationale Forschung, Institutionen, Hersteller und Energieversorger trieben die Entwicklung der Brennstoffzelle in den letzten Jahren stark voran: Ziel war und ist die serienreife emissionsarme Brennstoffzelle, flexibel kombinierbar zu hocheffizienten, dezentralen Energiesystemen. Internationale Erfolge und Fortschritte in diesem Bereich werden nach und nach sichtbar: So laufen derzeit vielversprechende Pilotprojekte zur energetischen Gebäudeversorgung durch Brennstoffzellen in Japan und Deutschland. Wobei die Anzahl der in Japan installierten Brennstoffzellenheizgeräte 40.000 übersteigt. Weiters liefert in Hwasung City, Südkorea, seit Herbst 2013 der weltgrößte Brennstoffzellen-Park – mit einer Leistung von knapp 59 MW – Strom und Fernwärme in die Netze. Im Rahmen des EneField Projekts der europäischen Union sind in den nächsten zwei Jahren 1000 Anlagen in Europa geplant (30 bis 40 davon in Österreich).

Neben den oben genannten internationalen Fortschritten und Erfolgen in der Brennstoffzellenforschung genießen auch österreichische Top-Unternehmen wie AVL, Fronius, Magna Steyr, Plansee, Vaillant Austria, aber auch das steirische Jungunternehmen proionic Weltruf im Brennstoffzellen-segment.

Die generelle Fortführung des Implementing Agreements wurde am 12. Dezember 2013 von der IEA bewilligt. Das Hauptziel sowie der Schwerpunkt in der nächsten Periode (01.03.2014 bis 28.02.2019) ist die forcierte Technologieentwicklung von Schlüsselkomponenten und -systemen von Brennstoffzellen und in weiterer Folge die Unterstützung der Marktimplementierung durch die Analyse/Entwicklung der hierfür erforderlichen politischen Rahmenbedingungen/Instrumente bzw. dem Abbau existierender Implementierungsbarrieren. Auf nationaler bzw. internationaler Ebene sollen Analysen/Berichte/Medieninformationen erarbeitet werden und der IEA, nationalen/internationalen Entscheidungsträgern, umsetzungsorientierten Unternehmen/Institutionen bzw. der breiten Öffentlichkeit (inkl. Medien) zur Verfügung gestellt werden. Die geplanten Aktivitäten inkludieren:

- Durchführung und Monitoring von F&E Aktivitäten (inkl. der Analyse der Kosten für Zellen, Stacks und Systeme)
- System und Marktanalysen (inkl. technologischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte)
- Analyse von Markt- bzw. Umsetzungsbarrieren
- Verstärkte Disseminations- und Verbreitungsaktivitäten (inkl. Newsletter, Annual Reports, Workshops, spezifische Reports zu aktuellen Themen, etc.).

Das Programm strukturiert sich in drei technologisch-typenorientierte Annexe, in drei applikationsorientierte Annexe und einen Annex, in dem systemanalytische Analysen durchgeführt werden. Diese sind:

- Annex 29: PEFC – Polymer Electrolyte Fuel Cells (Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen)
- Annex 30: MCFC – Molten Carbonate Fuel Cells (Karbonatschmelze-Brennstoffzellen)
- Annex 31: SOFC – Solid Oxide Fuel Cells (Oxidkeramische Brennstoffzellen)

- Annex 32: Stationary Applications (Stationäre Applikationen)
- Annex 33: Transport Applications (Transportapplikationen)
- Annex 34: Portable Applications (Portable Applikationen)
- Annex 35: Systemanalysen (Zahlen, Daten und Fakten)

Im Arbeitsprogramm ist weiters angeführt, dass ein weiterer Annex zukünftig angedacht ist, in dem spezifisch das Themengebiet Elektrolyse abgearbeitet werden soll.

Derzeit nehmen 14 Länder an diesem Implementing Agreement teil: USA, Japan, Südkorea, Deutschland, Frankreich, Italien, Dänemark, Finnland, Australien, Mexiko, Israel, Schweden, Schweiz und Österreich. Über eine Teilnahme von folgenden weiteren Ländern wird verhandelt: Brasilien, Südafrika, Russland und China.

In diesem Implementing Agreement werden die verschiedenen Aktivitäten vorab in einem Programm festgelegt und ‚task-shared‘ abgearbeitet. In Form von periodischen Meetings wird über die Ergebnisse der Forschungsaktivitäten informiert und werden weitere Forschungsarbeiten festgelegt. Die Ziele einer möglichen weiteren Beteiligung sind aus österreichischer Sicht folgende:

- Integration österreichischer Spitzenforschung in internationale F&E Arbeitsschwerpunkte
- Internationale Arbeitsteilung bei Hochrisikoforschungen und bei kapitalintensiven Demonstrationsprojekten
- Transfer von internationalem Know-how nach (und in) Österreich
- Forcierung und Mobilisierung der österreichischen angewandten und Grundlagen-F&E (durch gewonnenes IEA Know-how)
- Generell die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und Internationalisierung der österreichischen Wirtschaft

Forscher, Hersteller und EVUs erwarten den baldigen Durchbruch der Brennstoffzelle zur Serienreife, aus diesem Grund ist die Fortführung der Teilnahme Österreichs an diesem Implementing Agreement von großer Bedeutung.

## 8 Literaturverzeichnis

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, gemäß VDEW-Publikation „Repräsentative VDEW-Lastprofile“ (M28/99)

H.A. Gasteiger, S.S. Kocha, B. Sompalli, F.T. Wagner, Appl. Catal. B Environ. 56 (2005) 9.

International Energy Agency: IEA Advanced Fuel Cells Implementing Agreement, End-of-Term Report, 2009

International Energy Agency: Advanced Fuel Cells Implementing Agreement – Annual Report 2011, 2011

International Energy Agency: Advanced Fuel Cells Implementing Agreement – Annual Report 2012, 2012

N.M. Markovic, T.J. Schmidt, V.R. Stamenkovic, P.N. Ross, Fuel Cells 1 (2001) 105.

J.K. Nørskov, J. Rossmeisl, A. Logadottir, L. Lindqvist, J.R. Kitchin, T. Bligaard, H. Jónsson, J. Phys. Chem. B 108 (2004) 17886.

OIB: Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden, 2011

OIB: Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz, 2011

ÖNORM B 8110-5: Wärmeschutz im Hochbau – Klimamodelle und Nutzungsprofile, 2010

ÖNORM: M 7140 Beiblatt 5 - Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode – Richtwerte für Eingaben, 1999

A. Schenk, C. Grimmer, M. Perchthaler, S. Weinberger, B. Pichler, C. Heinzl, C. Scheu, F.-A. Mautner, B. Bitschnau, V. Hacker, J. Power Sources (2014) accepted

V.R. Stamenkovic, B.S. Mun, K.J.J. Mayrhofer, P.N. Ross, N.M. Markovic, J. Am. Chem. Soc. 128 (2006) 8813.

V.R. Stamenkovic, T.J. Schmidt, P.N. Ross, N.M. Markovic, J. Phys. Chem. B 106 (2002) 11970.

I.E.L. Stephens, A.S. Bondarenko, U. Grønbjerg, J. Rossmeisl, I. Chorkendorff, Energy Environ. Sci. 5 (2012) 6744.

I. Spanos, J.J.K. Kirkensgaard, K. Mortensen, M. Arenz, J. Power Sources 245 (2014) 908.

Technische Universität Graz, Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, Labor für Brennstoffzellen: Development of Pt-free anode catalysts for alkaline direct ethanol fuel cells – Dissertation Astrid Stadlhofer, 2013

Technische Universität Graz, Institut für Chemische Verfahrenstechnik, Labor für Brennstoffzellen: Entwicklung einer alkalischen Direkt Ethanol Brennstoffzelle – Masterarbeit Merit Bodner, 2013

VDI-Richtlinie 6007: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden - Raummodell, 2012

VDI 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung, 2000

C. Wang, M. Chi, D. Li, D. Strmcnik, D. van der Vliet, G. Wang, V. Komanicky, K.-C. Chang, A.P. Paulikas, D. Tripkovic, J. Pearson, K.L. More, N.M. Markovic, V.R. Stamenkovic, J. Am. Chem. Soc. 133 (2011) 14396.

## **9 Anhang**

### **9.1 Newsletter Nr. 1 - 2012**

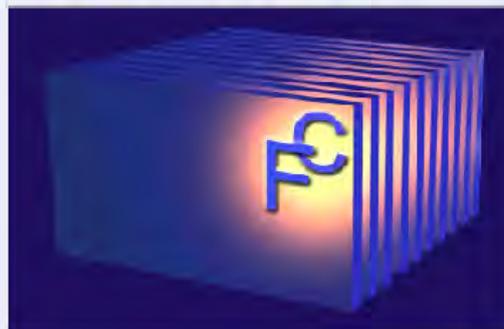


Advanced Fuel Cells



# IEA Advanced Fuel Cells

Implementing Agreement



AUTUMN NEWSLETTER

[www.ieafuelcell.com](http://www.ieafuelcell.com)

Autumn, Newsletter 2012 – Issue 01

## A word from the Chairman

Welcome to our new newsletter for the Advanced Fuel Cells Implementing Agreement.

This newsletter is aimed at all who are interested in the work of the Advanced Fuel Cells Implementing Agreement. It will be a way to share the work of our group and our outputs, as well as sharing key topics from recent meetings and exciting new developments occurring in our member countries.

Our most recent Executive Committee Meeting was held in Toronto, Canada. We had excellent attendance from countries and welcomed China as a Guest and Israel as a new Member to our meeting. All Annexes were represented, ensuring that productive discussions took place. Excellent in-depth technical reports were given by each of the Annexes highlighting the cutting edge technical progress that is being made. The ExCo also took the opportunity to reflect on and update the Implementing Agreement's Strategy and Mission Statement. This now better reflects the value that this group brings to the IEA's work and knowledge, as well as allowing the group to continue to deliver the main benefit sought by member countries; sharing technical progress as well as sharing and learning from national policies and approaches.

Chairman: Prof. Dr. Detlef Stolten

## In this Issue

- A word from the Chairman.....1*
- Spring ExCo meeting 'round-up'.....2*
- Annex Update.....2*
- France in the 'spotlight' .....5*
- In the press.....6*
- Forthcoming events/ workshops.....7*





## Spring ExCo Meeting - Toronto, Canada - June 2012

The recent Executive Committee Meeting took place in Toronto, Canada, held to coincide with WHEC 2012. We had excellent attendance from countries and Operating Agents from the Annexes. This ensured that highly informed and representative discussions took place.

Highlights from the excellent in-depth technical reports given by a few of the Annexes are shared below.

### **Annex 22 - Polymer Electrolyte Fuel Cells**

Operating Agent: Dr. Xiaoping Wang, Argonne National Laboratory, DoE, USA

The seventh workshop of Annex 22 Working Group was held at KIST in June 2012. Highlights from this meeting include the developments:

- Alkaline fuel cells show promising results as alternatives to the more conventional acidic fuel cells because they are less expensive and because non-noble metals can be used as effective catalysts to reduce the cost of the fuel cell system (to <\$30/kW).
- Ethylene glycol has been identified as a better fuel than ethanol or methanol for DF-PEFCs.
- The performance and durability of DMFC systems for forklift applications has been improved through optimizing the MEA and the stack fabrication, structure, and design, and by optimizing system operations.

□

### **Annex 24 - Solid Oxide Fuel Cells**

Operating Agent: Dr. Jari Kiviako, VTT, Finland

Annex 24 has held two successful workshops over the past year, one focusing on SOFCs for new generation power plants, and the other on degradation issues affecting fuel cells, in conjunction with PEMFC and MCFC.

Key points from the work of this Annex are:

- Stack development has achieved 5 years run time (30,000 hrs), but this is testing technology that is 5 years old already. The target for more recent technology is 40,000hrs and the evidence to date suggests that this will be met.
- The current target for new SOFC technology is 80,000hrs, 9 years. Newer stacks at 2 years old are on test, and these are showing significantly improved performance already.
- The results of large scale stacks show that large scale power production is viable.
- In Denmark SOFCs running on landfill gas have achieved long run times, which demonstrates that large SOFCs can be run efficiency and smoothly. Methane levels fluctuated, but the system could cope, impurities were handled via a commercially available cleaning system.



## **Annex 26 - Fuel Cells for Transportation**

Operating Agent: Dr. Rajesh Ahluwalia, Argonne National Laboratory, USA

- 3 kW Auxiliary Power Units for trucks from PowerCell, operating on conventional fuels. Significant improvements in reversible degradation shown in second generation products, with good low levels of noise and vibration, and zero emissions of NO<sub>x</sub>, CO and SO<sub>x</sub>.



- Deployment of 10 FC La Poste delivery vehicles, H<sub>2</sub> produced locally from solar energy and water electrolysis.



- A number of FC cars are due for release, such as the F-City H<sub>2</sub> from a joint French-Swiss project, the HyKangoo from Renault and SymbioFCCell, and the Mia FCH vehicle. All have a range of 300km.
- The Scandinavian Hydrogen Highway Partnership has been announced. This currently has 49 vehicles operating and 10 refuelling stations, with 2 more stations under construction, 4 aiming for EU funding and 17+ under consideration.

An area of great focus is FC Buses. Recent results have demonstrated that the reliability of FC buses continues to improve year on year, and hence their practicality for high levels of roll out.



- Operational lifetime is increasing significantly, from 6,700hrs in 2008 to 12,000hrs in 2011 and the aim is >25,000hrs in 2014.
- Fuel efficiency has already achieved the target of 8mpdge.
- Reliability is significantly better, and call outs are generally not due to the FC system.
- Refuelling time has reduced, now at 7-10 mins per bus.
- The cost of FC buses has significantly fallen over time, from \$3m in 2003, to approximately \$1.5m today.



### **Annex 23 - Molten Carbonate Fuel Cells**

Operating Agent: Dr. Tae Hoon Lim, Korean Institute of Science and Technology (KIST)

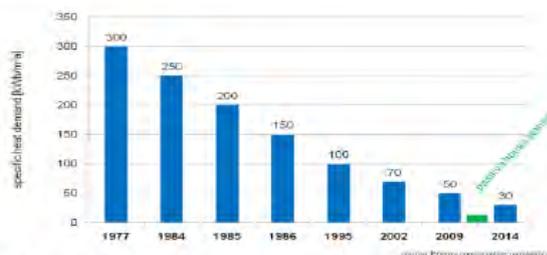
New developments in Korea were highlighted during the Executive Committee meeting in Canada, most notable from POSCO Power propagating 52MW (45.7 MW in operation, 5.6MW under construction) and the intention to achieve 60MW by the end of 2012 at Gyunggi (Korea Hydro & Nuclear Power Co).

Fuel Cell Energy Solutions based in Germany have taken over the assets and know-how of MTU in a joint venture between FCE and Fraunhofer IKTS.

### **Annex 25 - Stationary Fuel Cells**

Operating Agent: Bengt Ridell, Grontmij AB, Sweden

This annex has a particular focus on fuel cells for buildings, the different fuels for fuel cells, system optimization and to follow up the real status of stationary fuel cells technology.



The work has identified that the heat demand for new buildings is decreasing, whereas the electricity demand and requirements for UPS are increasing. This has significant implications for the optimisation of domestic fuel cells, and the requirement for high electric efficiency.

In Japan the ENE-Farm Programme, running since 2009, had installed over 28,000 units by the end of 2011, and the total expected target for 2012 is over 42,000 units. Within this programme PEFC dominate, but the SOFC program has increased with more than 800 SOFC AisinSeiki/Toyota units expected to be operational in 2013.

### **Annex 27 - Fuel Cells for Portable Applications**

Operating Agent: Dr. Martin Müller, Forschungszentrum Jülich, Germany

This annex focuses on portable fuel cells. Key application areas are forklift trucks, wheel chairs, bikes, PDAs and military applications.

New ideas for direct fuel cells (catalyst development) include utilising ethanol, ethylene glycol and glucose feed stocks, the technology requirements introduced are progressing.



## FRANCE IN THE 'SPOTLIGHT'

### 5 to 10 large deployment projects expected by 2018

National Representative: Dr. Thierry Priem, CEA

In April 2011, France released their H<sub>2</sub> & PAC strategic roadmap. The aim of this roadmap is to enable new and emerging markets to grow capacity, support information and training, increase support from policy makers and boost hydrogen and fuel cells for clean mobility. The existence of such a roadmap marks a new direction for France, providing a greater focus on this area than existed previously.

The intention is to take forward 5 to 10 large deployment projects in France focusing on real world solutions. France's priorities are electro-mobility and utilising renewables in conjunction with a hydrogen and fuel cells based solution.



Smart grid technology is at the forefront of France's future for renewable hydrogen production and lean CO<sub>2</sub>. The Myrte platform, an experimental project that links a photovoltaic farm and hydrogen fuel cells system to an electrical grid connection, was inaugurated early in 2012. The objective is to control the system power output on the grid during critical hours of operation.

Exciting current partnerships within France include:

- Motor-vehicle giant Renault and chemicals group Solvay developing the 'Kangoo ZE' van prototype, this will double the current autonomy to an impressive 150km-300km, by using the fuel cell as the range extender. The venture also has the partners SolviCore and SymbioFCCell.
- Partners Solvicore, Ballard and Powercell are working in CEA/ARMINE and FC labs to design and produce high power fuel cells systems for cars and trucks.
- Axane and Plug Power, world leaders in fuel cells for forklift trucks, have formed a promising partnership with HyPulsion to complete a European offer to integrate 11 fuel cell power packs into class I, II and III fork lift trucks.



Advanced Fuel Cells



## PRESS RELEASE!

### Site Preparation Underway for 1-Megawatt CLEARgen™ Fuel Cell System



June 18<sup>th</sup> 2012

On June 13th Toyota held a ground breaking ceremony at its sales and marketing headquarters in California that will house Ballard's CLEARgen™ fuel cell system. The system will provide peak electrical power and heat to a number of locations on Toyota's multi-building campus, utilizing hydrogen produced by steam-reformation of renewable bio-gas generated at a landfill. The ability to offset peak electricity usage with an emission-free fuel cell system will create significant savings for Toyota, while reducing the facility's environmental footprint.

Delivery of the CLEARgen™ system is planned for July 2012, with commissioning to be complete in August. Project funding is being provided through California's Self-Generation Incentive Program (SGIP).

[http://www.ballard.com/files/PDF/Market\\_Updates/Toyota\\_Groundbreaking\\_FINAL.pdf](http://www.ballard.com/files/PDF/Market_Updates/Toyota_Groundbreaking_FINAL.pdf)



### Passengers board MTA's Hydrogen Fuel Cell Bus for the first time in Flint, Michigan.

May 29<sup>th</sup> 2012

The Mass Transportation Authority held the inaugural ride of its first hydrogen fuel cell bus in May, which also incorporates power storage from braking. The bus will be tested on different routes and share the data with the owning company United Utilities. MTA are planning to buy two further FC buses, with new FCs installed, to use in the area.

The fluctuating diesel price was a factor in this latest trial; MTA's fuel costs have significantly increased in recent years.

[http://www.mlive.com/business/mid-michigan/index.ssf/2012/05/mta\\_introduces\\_hydrogen\\_fuel\\_c.html](http://www.mlive.com/business/mid-michigan/index.ssf/2012/05/mta_introduces_hydrogen_fuel_c.html)

Image courtesy of Shutterstock – [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com)



## NOT TO BE MISSED

### Forthcoming events and workshops

- Annex 22: 16 – 17 May 2013, KTH, Stockholm, Sweden
- Annex 23: November 2013, Columbus, Ohio
- Annex 24: 6-11 October 2013, Okinawa, Japan - in conjunction with The 13th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells
- Annex 25: 11-12 April 2013, Berlin, Germany
- Annex 26: Expected Autumn 2013
- Annex 27: January 2013

The next Executive Committee meeting will be held 22 -23 May in Salzburg, Austria.

## Special Thanks

Special thanks to the following companies and organisations for their permission to use the pictures in this Newsletter.

- Toyota Motor Corporation (TMC) and Hino Motors Ltd (Hino)
- Ballard
- Flint Journal
- FC Lab and Mobypost
- BCT
- Powercell

## **9.2 Newsletter Nr. 2 - 2013**

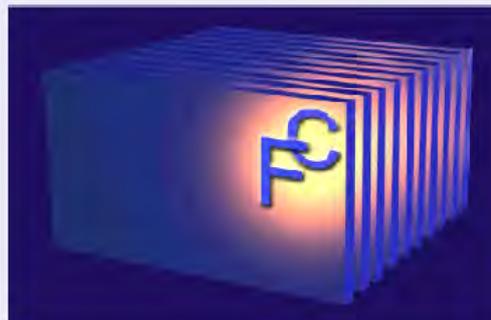


Advanced Fuel Cells



# IEA Advanced Fuel Cells

## Implementing Agreement



NEWSLETTER

[www.ieafuelcell.com](http://www.ieafuelcell.com)

Newsletter 2013 – Number 02

### A word from the Chairman

This newsletter aims to share the work of our group, key topics from recent meetings and exciting new developments occurring in our member countries. Another way we share our work is through our Annual Report, and through our website: [ieafuelcell.com](http://ieafuelcell.com)

So far 2013 has shown that fuel cells are providing reliable, efficient power across many locations and to a growing range of customers.

- Stationary fuel cell use has undergone exceptional expansion:
  - Over 42,000 fuel cells installed in Japanese homes since 2009 for electricity generation and hot water, fuelled by the gas grid. Demand is expected to remain very strong with subsidy finding made available for a further 53,000 units in 2013.
  - Fuel cells for telecoms as power and back-up power internationally including 250 installations in Denmark, and a further 652 installed by Danish companies worldwide. In the USA such installations had excellent reliability performance during Storm Sandy.
  - Large companies in the USA utilising fuel cells to help fulfil their energy base load requirements, including eBay, Walmart, BMW and Coca-Cola.
- Fuel cells used in forklift trucks in the US, with purchases continuing throughout 2012 and into 2013. Several companies are pursuing the fuel cell forklift in Europe, with trials in a number of countries.

Such results demonstrate the contribution that fuel cells are beginning to make to meet our energy needs.

Chairman: Prof. Dr. Detlef Stolten

### In this Issue

*A word from the Chairman*.....1

*December ExCo meeting 'round-up'*.....2

*Highlights from Member Countries* .....2

*In the press*.....5

*Forthcoming events/ workshops*.....6

*Join our work!*.....7





## December 2012 ExCo Meeting

The most recent Executive Committee Meeting, the 45<sup>th</sup>, took place in December 2012, Mainz, Germany, and we had excellent attendance from our member countries. The meeting was originally scheduled to take place in Jerusalem, Israel, to welcome Israel to the group, but sadly this was changed at the last minute due to the security situation at that time. We hope to visit to Israel in the near future.

Our meeting focused on progress at a national level from our member countries, sharing news about fuel cell demonstration projects and deployment levels. It became clear during this meeting that excellent progress has been made in the last few years, particularly in Japan with domestic installations of fuel cells, and in the USA with forklift trucks and stationary power installations, both of which we highlight below.



## Highlights from Japan

*Presented by Hiroyuki Kanesaka, NEDO*

Japan has high expectations for dispersed and high-efficiency power sources, particularly since the terrible Tōhoku Earthquake. Japan already leads the world in the deployment of domestic-scale fuel cells for power and heat through the Ene-Farm products, with over 42,000 units sold and installed in Japan since 2009, establishing a market for installations of fuel cell household energy systems.



**Figure 1** Toshiba and Osaka Gas' Ene-Farm Domestic Fuel Cell

Ene-Farm is helping to drive dependency away from the centralised power sources. The benefit to customers is that the installation of an Ene-Farm fuel cell is expected to reduce a household's energy consumption by 39% and CO<sub>2</sub> emissions by 49% annually.

The fuel cell systems are mainly fuelled by the gas grid, with heat as a by-product, which is used to supply hot water to the household. Both PEFC technology and SOFC technology are used in different Ene-Farm products.

The 2012 Ene-Farm model from Toshiba and Osaka Gas costs around JPY 2.6M (picture above), while the latest from Panasonic and Tokyo Gas in 2013 costs JPY 1.99M, breaking through the JPY 2M barrier for the first time. The subsidy in late 2012 was JPY 0.5M\*, so approximately 20% of the system price (approx. USD 20,000\*\* / EUR 15,500\*\*\* with a subsidy of USD 5,000 / EUR 4,000). The systems described above achieve overall efficiencies of 94% and 95%, run times of 80,000 and 60,000 hours respectively, and the latest stacks come with a 10 year warranty period.

\* Where JPY is the Japanese Yen, \*\* Where USD is the United States Dollar, \*\*\*\* Where EUR is the European Euro



## Highlights from USA

*Presented by Nancy Garland, DOE*

The USA has a strong fuel cells program, the aim of which is to enable widespread commercialisation of this technology. The USA is pursuing ambitious fuel cell targets including fuel cells for transport achieving 60% efficiency and 5000 hour durability by 2017 and for micro (5kW) and medium (100kW – 3MW) CHP fuel cell systems running on natural gas to cost USD1,500 or less per kW by 2020. Many countries look to the USA's targets to influence their own.

In the USA, the state of California has taken a lead on this technology. One particularly exciting example is the world's first tri-generation fuel cell energy station in Orange County, which uses waste water treatment gas as the fuel, a molten carbonate fuel cell and produces electricity and 100 kg of hydrogen per day. California provides a subsidy of USD 4,500/kW for fuel cell systems using renewable fuel, such as bio gas or anaerobic digester gas, and this has helped the state to achieve its market leading position.

Use of fuel cells to drive forklift trucks has dramatically expanded in the US. By the end of 2012 the initial grant aided purchases (from the Recovery Act, 2009) had led to a further three fold increase of the purchase and deployment of forklifts with many repeat orders made without Government funding. Total deployment is given as around 3,500-4,000 fuel cell powered forklift trucks, with 19 sites running a fleet entirely on fuel cells.

Using large installations of fuel cells to provide backup power has also proved very successful, with numerous success stories emerging after hurricanes Sandy and Irene, ranging from ReliOn Inc's PEM fuel cells and Altergy's FCs powering mobile phone call towers, to Bloom Energy and UTC providing back up power at data centres and supermarkets through periods when the main electricity supply was down.



## Highlights from Sweden

*Presented by Bengt Ridell, Grontmij AB*

Sweden's focus for fuel cells is largely for the transport and portable markets. Swedish company PowerCell has developed a 3kW 'PowerPac', the world's first fuel cell system to use road diesel fuel to produce electricity, aimed at both the transport and telecoms sectors. The system is currently undergoing field tests in Africa where telecom operators need to



## Advanced Fuel Cells



overcome a lack of stable electricity grid supply to facilitate the mobile phone network. Magnus Henell, CEO of PowerCell describes the Power Pac as “the world’s first functioning fuel cell system that can convert ordinary road diesel to electricity in a silent, clean and cost-efficient manner.” PowerCell is collaborating with Volvo Trucks and Statoil to develop this fuel cell technology for transport systems. The first generation Power Pacs have been test driven for more than 5,000 hours with the second generation now developed providing at least 10,000 hours of lifetime. The benefit is electricity while stationary, so a truck driver can have air conditioning and light while stationary, without running the engine – engine idling is increasingly banned in US cities. PowerCell are now ready for commercialisation and the company is in negotiations with potential operators.



Stockholm based myFC and SiGna Chemistry have jointly launched the pocket sized hydrogen fuel cell charging power solution for mobile devices. The PowerTrek contains a sodium silicide powder, which when water is added to it at room temperature, produces enough energy to power up portable devices on the go and recharge batteries.

Figure 2 PowerTrek mobile device recharging



## Highlights from Germany

*Presented by Can Samsun,  
Forschungszentrum Jülich*

Germany’s green electricity has been steadily growing since 1990, now supplying 20% of the energy demand. Germany has decided to decommission its remaining 9 nuclear power stations by 2022 and increase renewable sources to 80% by 2050.

Innovative approaches at Forschungszentrum Jülich for using direct methanol FC systems and integrated HT-PEFC systems with GTL-Kerosene reforming are undergoing continuous testing and improvements to increase performance, conversion and reduce power loss.

Interest in fuel cells for domestic heating has made steady progress with the largest nationwide field trials for microCHP systems in the Callux Programme underway. Heating specialists such as Baxi Innotech, Hexis and Vaillant are using PEFC and SOFC technologies, fuelled by natural gas or biogas. Already 300 systems are operational, with a further 250 anticipated. Electrical efficiencies of 33% and overall efficiencies of 96% have been achieved to date, stack operation times of 10,000 hours have been proven, and the degradation rates have been reduced to 0.2%/1000 hours.



## PRESS RELEASE!

### H2USA launched by the DOE

May 2013

The US DOE has launched a public-private partnership to deploy hydrogen infrastructure, H2USA. This focuses on advancing hydrogen infrastructure to benefit transport energy options, including fuel cell electric vehicles.



**Figure 3 Hyundai's ix35 powered by fuel cells and hydrogen.**

Current members include American Gas Association, Association of Global Automakers, the California Fuel Cell Partnership, the Electric Drive Transportation Association, the Fuel Cell and Hydrogen Energy Association, Hyundai Motor America, ITM Power, Massachusetts Hydrogen Coalition, Mercedes-Benz USA, Nissan North America Research and Development, Proton OnSite, and Toyota Motor North America. The plan is for industry and government to identify actions to encourage early adopters of FCEV, conduct market research and evaluate the fuelling infrastructure that is needed to achieve cost reductions and economies of scale.

### Fuel Cell powered submarine

May 2013

Germany launched a fuel cell propelled submarine, the U36. A previously launched fuel cell propelled submarine, U32, a sister ship to U36, produced a new non-nuclear record for submerged time, achieving 18 days in April 2013. U36 uses a Siemens PEFC, developed by HDW into the required air independent propulsion system, storing the fuels hydrogen and oxygen on board. There is also a diesel generator on board.

### Green hydrogen at airport

February 2013

A project to generate green hydrogen has begun at Berlin-Schönefeld, at the new international Berlin Airport currently under construction. The wind energy company Enertrag, gas group Linde, and energy company Total are building a multi-energy fuelling station, using solar panels and a specially planned wind farm to generate the energy required to produce hydrogen. A 500kW pressurised electrolyser from Enertrag will produce over 200kg of hydrogen each day, sufficient for about 50 cars. Germany aims to have 50 publically accessible hydrogen fuelling stations by 2015.



### World's largest fuel cell power plant under construction

April 2013



Figure 4 Artists Impression of the finished 58MW power plant at Hwasung, South Korea.

Construction of a 58MW MCFC power plant is underway with operation scheduled to begin by the end of 2013. This is the world's largest fuel cell power plant, and is being built by POSCO Energy in Hwasung, South Korea. The plant will cost about USD 280 million to construct and commission and will provide electricity and heat for 20,000 family homes, with 47% electricity efficiency.

## OUR ACTIVITIES

### Forthcoming Annex Meetings

- Annex 22: 10-12<sup>th</sup> December, 2013, Tokyo, Japan
- Annex 23: November 2013, Columbus, Ohio, USA
- Annex 24: 5 October 2013, Okinawa, Japan - in conjunction with the 13th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells
- Annex 25: Spring meeting April 2014 ENEA, Italy. Fall meeting, Dantherm Power, Denmark
- Annex 26: 14<sup>th</sup> May 2013, Arlington, USA
- Annex 27: 12-13 September 2013, Intertek, Stockholm, Sweden

The next Executive Committee meeting will be held on the 18 – 20<sup>th</sup> November 2013 in Jerusalem, Israel.

## NOT TO BE MISSED

- The **Third International Workshop on MCFC** is to be held on the 26-27<sup>th</sup> September 2013 in Gyeongju, Korea.
- **"Community Energy Storage"** Conference in Eilat, Israel, 21<sup>st</sup> November, with a focus session on **"Will fuel cells become the leading technology for grid storage"**.



## Join our Work!

We welcome new participants to our work, at the expert level, company level and at the country level. Participants from member countries ([ieafuelcell.com/contact](http://ieafuelcell.com/contact)) may join the work of our Annexes, please contact the following Operating Agents, leaders of the Annex work:

Annex 22: Polymer Electrolyte Fuel Cells, Dr Xiaoping Wang: [xiaoping.wang@anl.gov](mailto:xiaoping.wang@anl.gov)

Annex 23: Molten Carbonate Fuel Cells, Dr Tae Hoon Lim: [Thlim@kist.re.kr](mailto:Thlim@kist.re.kr)

Annex 24: Solid Oxide Fuel Cells, Dr Jari Kiviaho: [jari.kiviaho@vtt.fi](mailto:jari.kiviaho@vtt.fi)

Annex 25: Stationary Fuel Cells, Mr Bengt Ridell: [bengt.ridell@grontmij.se](mailto:bengt.ridell@grontmij.se)

Annex 26: Fuel Cells for Transportation, Dr Rajesh Ahluwalia [walia@anl.gov](mailto:walia@anl.gov)

Annex 27: Fuel Cells for Portable Applications, Dr Martin Müller: [mar.mueller@fz-juelich.de](mailto:mar.mueller@fz-juelich.de)

Annex 28: Systems Analysis, Dr Can Samsun: [r.c.samsun@fz-juelich.de](mailto:r.c.samsun@fz-juelich.de)

If you are from a non-member country, please contact Dr Louise Evans at [Secretariat-AFCIA@ricardo-aea.com](mailto:Secretariat-AFCIA@ricardo-aea.com) who would be delighted to discuss membership with you, either on a country basis or on a company basis. To see the benefits of joining our work, see [ieafuelcell.com/joining](http://ieafuelcell.com/joining).

Special thanks to the following companies and organisations for their permission to use the pictures in this Newsletter.

- Toshiba for use of their Ene-Farm product picture.
- myFC for use of their PowerTrek pictures.
- Hyundai for pictures of the ix35 fuel cell car.
- KIST and POSCO for the artist's impression of the Hwasung site.

### **9.3 Newsletter Nr. 3 - 2013**



Advanced Fuel Cells



# IEA Advanced Fuel Cells

## Implementing Agreement



AUTUMN NEWSLETTER

[www.ieafuelcell.com](http://www.ieafuelcell.com)

Autumn Newsletter 2013 – Issue 03

### ExCo meeting – Salzburg, Austria – May 2013

The 46<sup>th</sup> Executive Committee (ExCo) meeting took place during May 2013 in Salzburg, Austria where key representatives from the Advanced Fuel Cells group were warmly welcomed. We had an excellent two-day meeting at Salzburg AG and were well looked after by the Austrian Energy Agency.

Our meeting focused on current Annex activities, with reports given by Annex 22: PEFC, Annex 23: MCFC, Annex 24: SOFC, Annex 25: Stationary Fuel Cells, Annex 26: Fuel Cells for Transportation, Annex 27: Fuel Cells for Portable Applications and Annex 28: Systems Analysis.

It was agreed at this meeting to progress the topic of creating a new Annex to encompass the design and requirements of electrolysis systems.

Below are a few highlights and discussion points from the Annex Reports. For more detail on our Annex work and our priorities, please see our [Annual Report](#) and visit our [website](#) for details of how to become involved.

#### In this Issue

- Spring ExCo meeting 'round-up'.....1*
- Highlights from Annexes .....2*
- Our activities.....5*
- Not to be missed.....6*
- Join our work.....6*





## Annex 22 – Polymer Electrolyte Fuel Cells (PEFC)

The long-term performance and stability of PEFC are critical to the successful commercialisation of the technology. Annex 22 has seen a greater emphasis of R&D focused on membrane electrode assembly (MEA) component degradation – including catalyst, catalyst support and the proton exchange membrane – with the use of more advanced characterisation tools to reveal the mechanisms occurring. Significant knowledge and insights into the degradation mechanisms have been gained with the recent research focus, which will help to design systems with reduced degradation rates and improved lifetimes. It is expected that this topic will continue to be one of the research focuses going forward in this area.

PEFC is the technology used in fuel cell electric vehicles (FCEV). Continuous improvements in the fuel cells, the systems and the successful development of hydrogen pressure tanks have allowed a range of 560km for a FCEV to be achieved. Cold weather performance of FCEV is now equivalent to that of gasoline-powered vehicles. A number of automobile manufacturing companies are planning to launch FCEVs, targeting widespread commercialisation by 2015. Therefore, the demand for fuel cells (typically PEFC) is expected to increase in the automobile sector. It is also expected that demand for portable fuel cells (mainly direct methanol fuel cells (DMFC)) will increase, especially in the consumer and industrial electronics sectors.

## Annex 23 – Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC)

Annex 23 works to expedite commercialisation of MCFC systems. Use of MCFC systems for generating baseload electricity for a national or regional electricity grid is accelerating. An 11.2MW fuel cell park was installed at Daegu city in Korea, with POSCO Energy. The company is also successfully running 17 separate sites across Korea with a combined installed capacity of 52.2MW. A 14.9MW fuel cell park is now under construction in Connecticut, USA and the largest MCFC plant to date at 58MW is under construction in Hwasung, Korea. The new 'golden age of gas' may be a big opportunity for fuel cells, particularly for MCFC.

*Artist's impression of the Hwasung 58MW site in South Korea, currently under construction*



Developments in MCFC technology are closely followed by the work of this Annex. Recent advances from the partnership of KIST, POSCO Energy and Doosan Heavy Industry include a 300kW MCFC energy recovery generation system, which includes a turbo expander to prolong fuel-cell life expectancy and increase energy efficiency of the system.

MCFC technology can be used for applications beyond baseload grid power. Examples of this include POSCO Energy developing large-scale sea-vessel applications for launch by 2016 and Doosan Heavy Industry's MCFC desalination plant in Korea. There is continued work with MCFC for CO<sub>2</sub> capture and separation with ENEA in Italy, particularly looking at performance and cathode-side contaminants (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, etc) and poisoning mechanisms of H<sub>2</sub>S.



## Annex 24 – Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)



SOFC are characterised by high efficiency and fuel flexibility, with efficiencies achieved ranging from 40% to 60% in a full system. SOFC's efficiency is unique in being practically independent from the system's scale, with 1kW power output systems being demonstrated to have 60% net efficiency.

SOFC can serve a large variety of applications and, in particular, the most promising areas for their immediate use are:

- Mobile, military and strategic (less than 1kW<sub>e</sub>).
- Auxiliary power units (APU) and back-up power (1kW<sub>e</sub> - 250kW<sub>e</sub>).
- Stationary small-scale combined heat and power (m-CHP) (1kW<sub>e</sub> - 5kW<sub>e</sub>)
- Stationary medium - large scale (100kW<sub>e</sub> - 10MW<sub>e</sub>)

This Annex recently published the [Yellow Pages of SOFC: International Status of SOFC Deployment](#), which is publicly available on our [website](#).

## Annex 25 – Stationary Fuel Cells

Annex 25 studies stationary fuel cell systems, with a particular focus on renewable fuels for fuel cells. The work also focuses on market variations and obstacles that need to be overcome to enable further market penetration.

Stationary fuel cells have undergone remarkable expansion recently. Installations of Toshiba's Ene-Farm domestic-scale fuel cells for distributed electricity generation continue to expand rapidly, with over 42,000 systems installed between 2009 and 2012. Demand for this product is expected to remain high in 2013.

Uptake of domestic-scale fuel cells for microCHP in Europe are picking up – with the Callux Programme

installing 800 fuel-cell heating appliances and the FuelCell@Home Programme installing 200 domestic SOFC systems in Germany, 20 pilot systems installed in Denmark and the European ene.field programme installing 1,000 fuel cell microCHP appliances from a range of manufacturers across Europe. A recent review of the conditions for [microCHP in Germany](#) was published by this Annex and is available on our [website](#).

There has also been significant expansion in the use of fuel cells for back-up power. Dantherm Power has provided 1,500 systems in Europe for use in cell phone towers, over 650 publicly declared installations in the USA, and many more across India and Canada.

kW – kilowatt, kW<sub>e</sub> – kilowatt electric: one thousand watts of electric capacity.

*Toshiba's Ene-Farm domestic fuel cell product for Japanese households*





## Annex 26 – Fuel Cells for Transportation

Research and development in the area of fuel cells for transportation is extremely active, with many demonstration projects underway and some initial market penetration. There is a consensus that automotive manufacturers are aiming at 2015 as the year to begin wide-scale introduction of FCEVs after several years of successful demonstration projects and programmes.

Annex 26 looks at the rapidly developing automotive fuel-cell technology, energy efficiency, emissions and economics. A highlight identified recently is that FCEV have achieved more than twice the efficiency of today's gasoline vehicles with average refuelling times of five minutes for four kilograms of hydrogen (US DOE Controlled Hydrogen Fleet and Infrastructure Validation and Demonstration Project<sup>1</sup>). In addition, the 2<sup>nd</sup> generation buses in the US Fuel Cell Electric Bus Program are achieving double the fuel economy of conventional buses and meeting the target of 8 miles per diesel gallon equivalent – the average availability is 53% and improving, the distance between road calls has shown a 38% improvement over the 1<sup>st</sup> generation buses and the top fuel cell power plant has surpassed 12,000 hours demonstrated lifetime. All of these results demonstrate that fuel-cell powered transportation is a very real option for the near future.

*Hyundai's ix35 powered by fuel cells*



Vehicles powered by fuel cells need a hydrogen infrastructure to allow for refuelling. One cannot occur without the other. Therefore, many countries have committed to installing hydrogen refuelling stations by 2015. This includes 100 stations in Japan, 50 in Germany and plans to allow country-wide navigation in Denmark.

## Annex 27 – Fuel Cells for Portable Applications

Recently, it has become apparent that portable fuel cells have made significant inroads into military applications. It is interesting to observe the developments as such products are driven by function to a greater extent and less by cost. Such deployments have been identified to include:

- Soldier-worn systems that generate between 20W and 50W that can be used by the systems carried on an individual soldier. These systems are often integrated with a portable energy management system.
- Battery chargers providing power in the range of 90W to 500W and are, in most cases, used by entire squads.
- Tactical generators that provide power in the range of 1kW to 5kW to forward operating dismounted troops.

<sup>1</sup>Wipke, K., et al, 2012. National Fuel Cell Electric Vehicle Learning Demonstration Final Report. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA



## Advanced Fuel Cells



Portable fuel cells for public use are beginning to gain markets. A recently released product is myFC – a small, portable, fuel-cell system generating 5W<sub>e</sub> from a PEFC. This system is fuelled by hydrogen, instantly generated from a fuel puck when water is added. The intention is to start with sales in Europe, the USA and Japan in 2013.

*The myFC portable charger for electronic gadgets and the power puck*



Within medium-size systems suitable for hybridisation with batteries, SFC Energy AG has sold more than 20,000 DMFC-Systems and is the market leader. Its EFOY range is designed for industry and recreational applications, including recreational vehicles, boats and cabins. The EFOY Comfort is intended to provide on-board battery recharging, with an electrical power output of 105W and a runtime of more than 3,000 hours.

## Annex 28 – Systems Analysis

The aim of the Annex is to gather together a competent and factual information base for technical and economic studies, in a technical reference book. The book will look in detail at the technology readiness level (TRL) through test and demonstration data, comparing fuel cells with traditional batteries, internal combustion engines or turbines. It will also cover other fuel cell issues such as system components and key infrastructure technologies. The main chapters of the book have been agreed.

## OUR ACTIVITIES

### Forthcoming Annex Meetings

- Annex 22: 10-12 December 2013, Tokyo, Japan.
- Annex 23: November 2013, Columbus, Ohio, USA.
- Annex 24: 5 October 2013, Okinawa, Japan – in conjunction with the 13<sup>th</sup> International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells.
- Annex 25: 23-24 April 2014, Trento, Italy – followed by Fall Meeting in Denmark at Dantherm Power.
- Annex 26: 14<sup>th</sup> May 2013, Arlington, USA.
- Annex 27: 11-12 September 2014, Messina, Italy.

The next Executive Committee meeting will be held from 18 to 20 November 2013 in Jerusalem, Israel. Members will benefit from visits to the Israeli fuel cell companies of Cellera and Gencell.



Advanced Fuel Cells



## NOT TO BE MISSED

The 20<sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference 2014 (WHEC2014) hosted by the International Association for Hydrogen Energy (IAHE) is to be held between the 15 and 20 June 2014 at the KDJ Convention Center, Gwangju Metropolitan City, Korea.

## Join our Work!

We welcome new participants to our work, at the expert level, company level and country level. Participants from member countries ([ieafuelcell.com/contact](http://ieafuelcell.com/contact)) may join the work of our Annexes, please contact the following:

Annex 22: Polymer Electrolyte Fuel Cells, Dr Xiaoping Wang: [xiaoping.wang@anl.gov](mailto:xiaoping.wang@anl.gov)

Annex 23: Molten Carbonate Fuel Cells, Dr Tae Hoon Lim: [Thlim@kist.re.kr](mailto:Thlim@kist.re.kr)

Annex 24: Solid Oxide Fuel Cells, Dr Jari Kiviaho: [jari.kiviaho@vtt.fi](mailto:jari.kiviaho@vtt.fi)

Annex 25: Stationary Fuel Cells, Bengt Ridell: [bengt.ridell@grontmij.se](mailto:bengt.ridell@grontmij.se)

Annex 26: Fuel Cells for Transportation, Dr Rajesh Ahluwalia [walia@anl.gov](mailto:walia@anl.gov)

Annex 27: Fuel Cells for Portable Applications, Dr Martin Müller: [mar.mueller@fz-juelich.de](mailto:mar.mueller@fz-juelich.de)

Annex 28: Systems Analysis, Dr Can Samsun: [r.c.samsun@fz-juelich.de](mailto:r.c.samsun@fz-juelich.de)

If you are from a non-member country, please contact Dr Louise Evans at [Secretariat-AFCIA@ricardo-aea.com](mailto:Secretariat-AFCIA@ricardo-aea.com) who would be delighted to discuss membership with you, either on a country basis or on a company basis. To see the benefits of joining our work, visit [ieafuelcell.com/joining](http://ieafuelcell.com/joining)

Special thanks to the following companies and organisations for their permission to use the pictures in this Newsletter.

- KIST and POSCO for the artist's impression of the Hwasung site.
- Toshiba for use of its Ene-Farm product picture
- Hyundai for pictures of the ix35 fuel cell car
- myFC for use of its PowerTrekk pictures





Bundesministerium  
für Verkehr,  
Innovation und Technologie



**ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR – AUSTRIAN ENERGY AGENCY**  
A-1150 Vienna, Mariahilfer Straße 136 | Phone +43-1-586 15 24 | Fax +43-1-5861524-340  
office@energyagency.at | www.energyagency.at