

IEA – Advanced Fuel Cells: Österreichische Beteiligung am Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells

G. Simader, J. Gsellmann

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

33/2012

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: Österreichische Beteiligung am Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells

Dr. Günter Simader, DI (FH) Julia Gsellmann
Österreichische Energieagentur

Prof. Dr. Viktor Hacker, Dr. Gerd Rabenstein,
Dr. Eva Wallnöfer, Mag. Carmen Gehrler
Labor für Brennstoffzellen
Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik
Technische Universität Graz

Wien, Jänner 2011

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie

**IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION**

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 gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	KURZFASSUNG	1
2	SHORT SUMMARY	3
3	EINLEITUNG	5
4	ÜBERSICHT ÜBER DAS IMPLEMENTING AGREEMENT	6
5	INHALT UND ERGEBNISSE DES PROJEKTES.....	8
5.1	Task 22: „Polymer Electrolyte Fuel Cells“	8
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.....	10
5.1.5	Fazit	16
5.2	Task 25: “Fuel Cells for Stationary Applications”	17
5.2.1	Ziele des Tasks	17
5.2.2	Inhaltliche Gliederung des Tasks	17
5.2.3	Aktivitäten in Österreich	19
5.2.4	Ergebnisse.....	21
5.2.5	Fazit	36
5.3	Task 27: „Fuel Cells for Portable Applications“	38
5.3.1	Ziele des Tasks	38
5.3.2	Inhaltliche Gliederung des Tasks	38
5.3.3	Aktivitäten in Österreich	39
5.3.4	Ergebnisse.....	42
5.3.5	Fazit	51
6	KNOW-HOW-TRANSFER	52
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	55
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	58

1 Kurzfassung

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)
- System- und Marktanalysen durchgeführt.

Derzeit beteiligen sich folgende 18 Länder an diesem Implementing Agreement: Australien, Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Italien, Japan, Kanada, Korea, Mexiko, Niederlande, Norwegen, Österreich, Schweden, Schweiz, Türkei und U.S.A.

Das derzeitige Programm (2009–2014) strukturiert sich in drei technologisch typenorientierte Annexe und drei applikationsorientierte Annexe (siehe nachfolgende Tabelle). Alle Annexe laufen bis 2014.

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

No.	Annex	Objectives	Duration
22	Polymer Electrolyte Fuel Cells	To reduce the cost and improve the performance of PEFCs, DMFCs and corresponding fuel cell systems	2009–2014
23	Molten Carbonate Fuel Cells	To assist the commercialisation of MCFC systems through collaborative research and development	2009–2014
24	Solid Oxide Fuel Cells	To assist, through international co-operation, the development of SOFC technologies	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 understand better how fuel cells may be deployed in transportation applications	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

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

- Integration österreichischer Spitzenforschung in internationale FTE Arbeitsschwerpunkte
- Internationale Arbeitsteilung bei Hochrisikoforschungen und bei kapitalintensiven Demonstrationsprojekten
- Transfer von internationalem Know-how nach (und in) Österreich

Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells (AFC)

- 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, Technische Universität Graz. Dadurch wird gewährleistet, dass sowohl die technisch-wissenschaftlichen als auch die sozioökonomischen Beiträge auf hohem Niveau erfolgen. Weiters besteht eine lose Partnerschaft mit der Energie AG, die umsetzungsrelevante Beiträge basierend auf ihren Demonstrationsprojekten zum Task 25 lieferte. Die Österreichische Plattform zur Förderung von alternativen Antriebssystemen (A3PS) beteiligte sich im Annex 26 (wurde im Herbst 2010 nicht weiter fortgesetzt).

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 current participants are: Australia, Austria, Belgium, Canada, Denmark, Finland, France, Germany, Italy, Japan, Korea, Mexico, Netherlands, Norway, Sweden, Switzerland, Turkey and USA.

The present programme (2009–2014) is structured in three technology-oriented annexes and three application/market-oriented annexes (see next table). All annexes are scheduled till 2014.

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

No.	Annex	Objectives	Duration
22	Polymer Electrolyte Fuel Cells	To reduce the cost and improve the performance of PEFCs, DMFCs and corresponding fuel cell systems	2009–2014
23	Molten Carbonate Fuel Cells	To assist the commercialisation of MCFC systems through collaborative research and development	2009–2014
24	Solid Oxide Fuel Cells	To assist, through international co-operation, the development of SOFC technologies	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 understand better how fuel cells may be deployed in transportation applications	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

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:

- 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 intense 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.

Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells (AFC)

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. Furthermore, there exists a partnership with Energie AG Oberösterreich who delivered application oriented contributions within Annex 25. Furthermore, the Austrian Agency for Alternative Propulsion Systems (A3PS) contributed in Annex 26 (this activities were discontinued by autumn 2010).

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 der Brennstoffzellen aufzeigten, andererseits auf europäisch/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 – Polymer Elektrolytmembran 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.¹ In diesem Zusammenhang erfolgten Teilnahmen an Meetings des Task 26: „Fuel cells for transportation“ (vormals Task XX) durch A3PS. Inhaltliche Abstimmungen mit dem Implementing Agreement on Hybrid and Electrical Vehicles wurden unterstützt.

Dieser Bericht fasst die Projektarbeiten für den Zeitraum 1. Jänner 2009 bis 31. Jänner 2010 zusammen und stellt die bisher in den Tasks erzielten Ergebnisse vor.

¹ 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.

Derzeit beteiligen sich folgende 18 Länder an diesem Implementing Agreement: Australien, Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Italien, Japan, Kanada, Korea, Mexiko, Niederlande, Norwegen, Österreich, Schweden, Schweiz, Türkei und U.S.A.

Das derzeitige Programm (2009–2014) strukturiert sich in drei technologisch typenorientierte Annexe und drei applikationsorientierte Annexe (siehe Tabelle 1). Alle Annexe laufen bis 2014.

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

No.	Annex	Objectives	Duration
22	Polymer Electrolyte Fuel Cells	To reduce the cost and improve the performance of PEFCs, DMFCs and corresponding fuel cell systems	2009–2014
23	Molten Carbonate Fuel Cells	To assist the commercialisation of MCFC systems through collaborative research and development	2009–2014
24	Solid Oxide Fuel Cells	To assist, through international co-operation, the development of SOFC technologies	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 understand better how fuel cells may be deployed in transportation applications	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

Die meisten Mitgliedsländer des Implementing Agreements beteiligen sich, wie Österreich, in mehr als einem Annex, siehe Tabelle 2. Die Teilnehmer der technologisch typen-orientierten Annexe sind größtenteils Universitäten und Forschungslabors. In den applikationsorientierten Annexen beteiligt 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. Weiters

bestand eine lose Partnerschaft mit der Energie AG, die den Task 25 mit umsetzungsrelevanten Beiträgen aber auch mit organisatorischen Beiträgen unterstützte.

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) beteiligte sich in Annex 26, da eine Verbindung mit Annex XIII, „Fuel cells for vehicles“ des Implementing Agreements für Hybrid- und Elektrofahrzeuge bestand. Diese Kooperation wurde im Herbst 2010 aufgrund unterschiedlicher Schwerpunktsetzungen nicht weiter fortgesetzt. Die Österreichische Energieagentur arbeitet an Annex 25 „Fuel Cells for Stationary Applications“ mit.

Tabelle 2: Beteiligung der Mitgliedsländer in den verschiedenen Annexen

Mitgliedsländer / Annex	22	23	24	25	26	27
Australien			X	X		
Belgien	X			X		
Dänemark	X		X	X	X	
Deutschland	X	X	X	X	X	X
Finnland	X		X	X	X	X
Frankreich	X		X	X		
Italien	X	X	X	X	X	X
Japan	X	X	X	X		X
Kanada	X		X			X
Korea	X	X	X	X	X	X
Mexico	X					
Niederlande	X		X	X	X	
Norwegen	X					
Österreich	X			X	X	X
Schweden	X		X	X	X	
Schweiz			X	X		
Türkei	X	X				
USA	X	X	X	X	X	

Österreich, Dänemark, Mexiko und Türkei beteiligen sich seit der vorigen Phase von 2004 bis 2008. Es bestehen Kontakte zu Ländern, die an einer Teilnahme am Implementing Agreement interessiert sind, wie zum Beispiel China, Russland, Brasilien und Indien.

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

Auf der Webseite (<http://www.ieafuelcell.com/>) sind alle wichtigen Informationen über das Implementing Agreement ersichtlich. Die Webseite zeigt die Jahresberichte, Endberichte, Publikationen und die Kontaktdaten der Mitglieder des Executive Committee (ExCo).

5 Inhalt und Ergebnisse des Projektes

Die österreichische Beteiligung am Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells verfolgt folgende Ziele:

- 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.

Im nachfolgenden Kapitel werden die durchgeführten Aktivitäten und die bisherig erzielten Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete im Detail aufgezeigt.

Nachfolgend werden die verschiedenen Aktivitäten im Rahmen der verschiedenen Tasks ausgeführt.

5.1 Task 22: „Polymer Electrolyte Fuel Cells“

5.1.1 Ziele des Tasks

Das Hauptziel dieses Tasks ist die Reduzierung der Kosten und die Verbesserung der Lebensdauer von PEFC- und DMFC-Brennstoffzellen und der entsprechenden Brennstoffzellensysteme.

5.1.2 Inhaltliche Gliederung des Tasks

Subtask 1: Materialien für Brennstoffzellenstapel

- Membranmaterialien (neue funktionale Gruppen, kostengünstige Membranen, Kompositmembranen, Hochtemperaturmembranen, Protonenleiter bei niedriger Feuchte)
- Elektrokatalysatoren (geringe Pt-Beladungen, hohe CO-Toleranz, kostengünstige Hochleistungsstrukturen, Nicht-Pt-Katalysatoren)
- Bipolarplatten (neue Materialien, Verbesserung der Herstellbarkeit, geringe Kosten)
- Zellen- und Stapelbau (hohe Leistungsdichten, geringe Degradierung, geringes Gewicht und Kosten, kontinuierlicher Herstellungsprozess, Betriebstemperatur > 100 °C)

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

- Endbenützeraspekte (Verunreinigungen, Befeuchtung, thermisches Management, Betriebsumgebungen und Lastzyklen, Schnellstart, Haltbarkeit, Gefrier-Auftau-Zyklen und Charakterisierung von Materialien und Komponenten)

- Fragestellungen auf Systemebene (Systemanalyse, Stapel/System-Hardware-Design und Prototypen)

Subtask 3: Direkt-Brennstoff-Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle

- Zellmaterialien (Anoden- und Kathodenkatalysatoren, Verringerung der Edelmetallbeladungen, MEA-Design, Prozesse zur Verringerung von Methanol-Crossover, anionenleitende Membranen)
- Betriebsbedingungen (Druck, Temperatur, Methanol-Feed-Optionen)
- Stapel- und Systemdesign und Analyse (Modellierung, Hochtemperaturbetrieb, höhere Leistungsdichten, Leistung über Lastzyklen)

Forschungsinstitute und Firmen aus 15 Ländern nehmen am Annex 22 teil:

- Technische Universität Graz (Österreich)
- Flemish Institute for Technological Research, Vito (Belgien)
- The Government of Canada (Kanada)
- IRD Fuel Cells A/S (Dänemark)
- VTT Processes (Finnland)
- CEA (Frankreich)
- Forschungszentrum-Jülich GmbH ICT Fraunhofer (Deutschland)
- ENEA (Italien)
- New Energy and Industrial Technology Development Organisation, NEDO (Japan)
- Korea Institute of Energy Research (Korea)
- Instituto de Electricas (Mexiko)
- Netherlands Energy Research Foundation ECN (Niederlande)
- Norwegian Technical University, NTNU (Norwegen)
- Swedish National Energy Administration (STEM) (Sweden)
- TUBITAK (Türkei)
- The Department of Energy of the US Government (USA)

5.1.3 Aktivitäten in Österreich

Die Aktivitäten in Österreich fokussierten sich in diesem Annex im Wesentlichen auf die während des Brennstoffzellenbetriebs auftretenden Degradationserscheinungen.

Die Forschungsarbeiten wurden in Kooperation mit AVL List GmbH, Graz durchgeführt:

- Untersuchung der Degradationsmechanismen, die zur Pinhole-Bildung in der Membran führen, und Definition von optimalen Betriebsbedingungen zur Vermeidung der Pinhole-Bildung.
- Monitoring von Degradationseffekten während des Brennstoffzellen-Stapelbetriebs mit innovativen Messmethoden.

5.1.4 Ergebnisse

In-Situ-Membranschädigungsversuche in Short-Stacks

Die Untersuchungen auf dem Gebiet der Schädigung von PFSA-Membranen (Perfluorcarbonmembranen mit funktionellen Sulfonsäuregruppen) haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Hauptthesen zur Membranschädigung besagen, dass an der Anode durch Wasserstoff und durch die Membran diffundierten Sauerstoff Wasserstoffperoxid und in Folge dessen Radikale gebildet werden, die das Ionomer an den funktionellen Endgruppen oder an der Hauptkette chemisch angreifen [L 1, L 2, L 3, L 4, L 5, L 6]. Die günstigste Bedingung dieser Peroxidbildung ist der Zustand unter offener Zellspannung, da hier an der Anode sehr niedrige Potentiale herrschen, bei denen das Peroxid nicht zu Wasser weiter reduziert wird. Jedoch haben neben der Stromdichte auch andere Betriebsparameter wie Temperatur, Gasdruck und Gasfeuchte einen deutlichen Einfluss auf die Lebensdauer der Membran. Ziel dieser Untersuchungen war es, Daten für ein Modell zu erhalten, welches den Einfluss der variierten Betriebsparameter auf die zu erwartende Lebensdauer der Membran prognostizieren kann.

Versuchsdurchführung

Für die durchgeführten Membranschädigungsversuche wurden kommerzielle Membran-Elektronen-Einheiten (MEE) verwendet. Die MEEs wurden pro Versuchsreihe gleichzeitig in bis zu fünf Brennstoffzellen mit je 25 cm² aktiver Fläche, unter Variation der Betriebsbedingungen Gasbefeuchtung, Zelltemperatur, Gasüberdruck und Stromdichte betrieben. Sieben Versuchsreihen wurden definiert (s. Tabelle 3). Die Analyse der MEEs erfolgte über die ständige Überwachung der Zellspannung, über die Aufnahme der Stromdichte-Spannungs-Kennlinien, des Wasserstoffdiffusionsstroms und der Membranwiderstände mittels elektrochemischer Impedanzspektroskopie (EIS), über die Fluoridionenfreisetzung der MEE mittels der Analyse der Elektrodenkondensate, sowie über die Abmessung der Membrandicke und das Feststellen von sonstigen Schäden an der Membran über Rasterelektronenmikroskopie.

Tabelle 3: Versuchsreihen und deren Betriebsbedingungen

Versuchsreihe		Befeuchtung [% rH]	Temperatur [°C]	Gasüberdruck [bar]	Stromdichte [mA·cm ⁻²]
<i>Standard</i>	M1	90	70	0,1	0
<i>Niedrige Befeuchtung</i>	M2	30	70	0,1	0
<i>Niedrige Temperatur</i>	M3	90	40	0,1	0
<i>Hoher Druck</i>	M4	90	70	0,5	0
<i>45 mA</i>	M5	90	70	0,1	45
<i>135 mA</i>	M6	90	70	0,1	135
<i>405 mA</i>	M7	90	70	0,1	405

Ergebnisse

Pinhole-Detektion mittels Wasserstoffdiffusions-Stromdichte-Messung

Die Entstehung von Pinholes bzw. von sonstigen fatalen Schäden der Membran, die zu einer erhöhten Gasdurchlässigkeit der Membran führten, wurde über die Wasserstoffdiffusions-Stromdichte beobachtet. Bei einer intakten Membran diffundiert eine gewisse Menge an Wasserstoff zur Kathode, welcher dort oxidiert wird. Bei der Bestimmung der Wasserstoffdiffusions-Stromdichte wird die Anode mit Wasserstoff und die Kathode mit Stickstoff beaufschlagt und die Stromdichte gegen eine steigende Spannung gemessen. Durch die Limitierung der diffundierenden Wasserstoffmenge erreicht die gemessene Stromdichte eine Grenzstromdichte, die sich trotz steigender Spannung nicht erhöhen kann. Wird die Membran aufgrund von chemischen oder mechanischen Schädigungen porös, steigt die gemessene Stromdichte mit der Spannung, da der Wasserstoff in höherer Menge zur ursprünglichen Kathode gelangen kann. Durch die Beobachtung des Grenzstroms mit der Versuchsdauer kann der Zeitpunkt bestimmt werden, in dem das erste Pinhole auftritt (Grenzwert 4–5 mA/cm²). Hierbei hat sich gezeigt, dass die als Standard gewählten Betriebsbedingungen bei offener Zellspannung, die sich an einen realen Brennstoffzellenbetrieb anlehnen, nach einer Versuchsdauer von ca. 510 Stunden zu einer erhöhten Gasdurchlässigkeit der Membran führten. Wurde die Gasbefeuchtung verringert, stellte sich diese Schädigung bereits nach ca. 190 Stunden ein. Der Betrieb unter Standardbedingungen unter Last führte zu einer Erhöhung der Lebensdauer, wobei geringe Stromdichten unter 50 mA/cm² nur eine geringe Lebensdauererhöhung brachten. Eine Erhöhung der Stromdichte über 100 mA/cm² führte hingegen zu einer deutlich höheren Lebensdauer (siehe Abbildung 1).

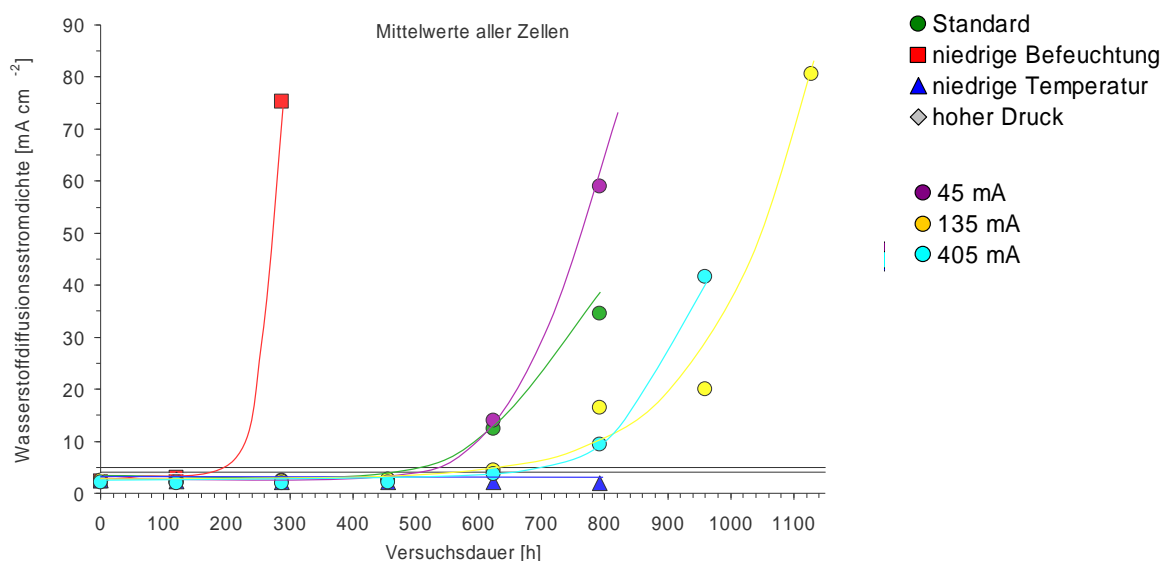


Abbildung 1: Verlauf der Wasserstoffdiffusions-Stromdichte (gemittelte Werte zwischen 0,2 und 0,5 V) mit der Versuchsdauer sämtlicher Versuchsreihen. Die horizontalen Linien geben die obere bzw. untere Grenze an, in der die Entstehung eines Pinholes mit hoher Wahrscheinlichkeit stattfindet.

Offene Zellspannung (OCV)

Der Abfall der OCV des Stapels mit der Versuchsdauer kann auf eine mögliche Pinhole-Bildung und/oder stärkere Ausdünnungen in den Membranen hindeuten, da die OCV durch jeweils in den anderen Elektrodenraum diffundierende Reaktionsgase deutlich beeinflusst wird. Hierbei kann sich ebenso, wie bei der Beobachtung der Leistung angesprochen, das Problem ergeben, dass einzelne,

vorzeitig geschädigte Membranen die OCV des gesamten Stapels deutlich beeinflussen. Der Abfall der OCV mit der Zeit konnte in allen Fällen durch quadratische Gleichungen beschrieben werden. Dadurch konnte festgestellt werden, dass in der Regel bei einem OCV-Abfall von 49 mV bzw. 4,6 % das durch den Wasserstoffdiffusionsstrom bestimmte Ende der Lebensdauer eintrat.

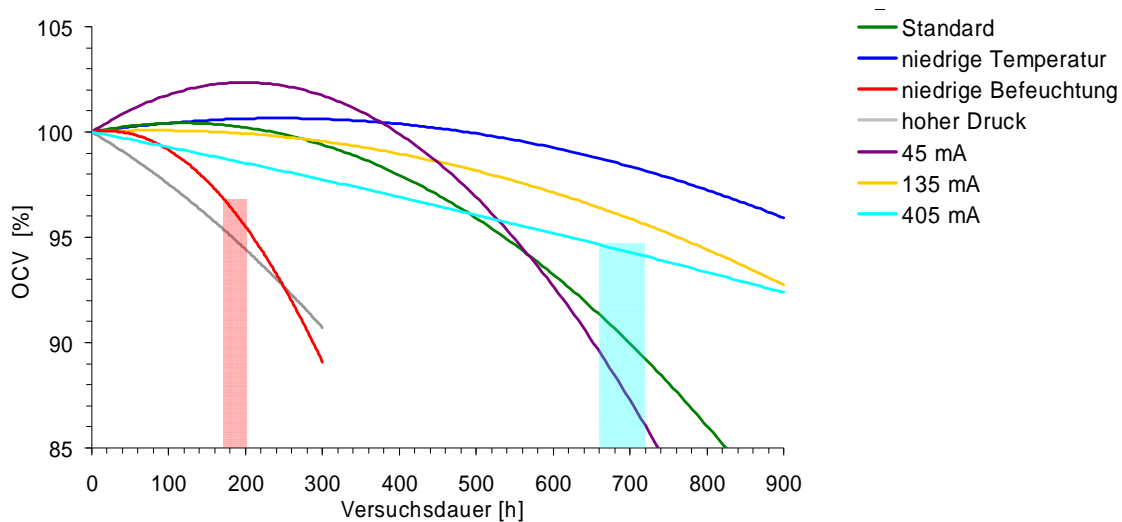


Abbildung 2: Darstellung der Abweichung der OCV vom Ausgangswert der Versuchsreihen in Abhängigkeit der Versuchsdauer sowie der Bezug zu den Intervallen der Lebensdauer der Membranen.

Eine Modellbildung, die von der Einstellung der Betriebsbedingungen Stromdichte, Gasbefeuchtung, Zelltemperatur und Gasüberdruck auf die zu erwartenden Lebensdauer der Membran schließen lässt, müsste den Einfluss der Elektroden auf den Abfall der OCV berücksichtigen.

Maximale Zelleistung

Über die Aufnahme von Stromdichte-Spannungskennlinien wurde die Zelleistung der Versuchsreihen beobachtet. Diese zeigten jedoch keinen erkennbaren, der Membranschädigung zuordenbaren Leistungsabfall im Zusammenhang mit der Lebensdauer der Membran-Elektroden-Einheit. Über die Leistung war somit keine eindeutige Aussage über den Fortschritt der Membranschädigung möglich. Dies ist auf das komplexe Zusammenspiel der Betriebsparameter zurückzuführen, die nicht nur das Ionomer, sondern auch die Elektroden und/oder den Katalysator korrodieren. Selbst zwischen den Versuchen unter gleichen Betriebsbedingungen, aber variierender Stromdichte, konnte kein Zusammenhang zwischen Lebensdauer, Leistung und Stromdichte hergestellt werden. Damit wurde bestätigt, dass die Elektroden ebenfalls geschädigt werden und dies die Leistung ebenso beeinflusst wie eine Membranschädigung. Des Weiteren können vorzeitig korrodierte und/oder beschädigte Membranen, die als Ausreißer der Wasserstoffdiffusions-Stromdichte-Messungen aufscheinen, die Leistung stark beeinflussen.

Membranwiderstand

Die mit Hilfe der Impedanzspektroskopie bei hohen Frequenzen mit einem Imaginärteil von Null berechneten Widerstände ergeben die jeweiligen Membranwiderstände. Dabei konnte beobachtet werden, dass die meisten Versuchsreihen nach ca. 600 Betriebsstunden eine leichte Erhöhung des Membranwiderstands zeigten. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Membranwiderstand durch eine Schädigung von mehreren Faktoren beeinflusst ist. Der Verlust von Sulfonsäureendgruppen hat eine verringerte Feuchteaufnahme und damit eine verringerte Leitfähig-

keit zur Folge. Jedoch bewirkt der Verlust von Fluorid im Ionomer eine sinkende Hydrophobizität in den ursprünglich kristallinen, hydrophoben Bereichen und verringert somit den Membranwiderstand. Eine dünner werdende Membran bewirkt ebenso einen sinkenden Membranwiderstand; bilden sich jedoch schwammartige Strukturen aus und/oder verschlechtert sich der Kontakt des Ionomers zur Aktivschicht, so kann der Widerstand erhöht werden. Aufgrund dieses komplexen Zusammenspiels waren die Trends in keinem der Fälle eindeutig interpretierbar und somit ließ sich kein Zusammenhang zur Intensität der Schädigung über den Zeitpunkt der Pinhole-Bildung oder die Auswirkung der mehr oder minder aggressiven Betriebsbedingungen erkennen.

Fluoridionen-Emissionsrate

Die Anoden- und Kathodenkondensate der jeweiligen Versuchsreihen wurden täglich bzw. über das Wochenende kumuliert gesammelt und mithilfe einer fluoridionenselektiven Elektrode die Konzentration an Fluoridionen sowie die Kondensatmenge bestimmt. Der bedeutendste Vorteil der FER gegenüber den elektrochemischen Analysemethoden ist die Tatsache, dass die FER nicht von anderen auftretenden Schädigungen der MEE beeinflusst wird, sondern alleine der Quantität des Ionomerabbaus zuzuordnen ist. Um eine aussagekräftige Größe als Indikator für den Membranabbau zu erhalten, wurden die kumulierten, flächenbezogenen Mengen der Fluoridionen des Anoden- und Kathodenkondensats der jeweiligen Versuchsreihe zu einem gegebenen Zeitpunkt gegen die Versuchsdauer dargestellt. Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass eine niedrige Befeuchtung und ein hoher Überdruck eine deutliche Schädigung der Membran bewirkten. Eine niedrige Temperatur hingegen verzögert die Schädigung im Vergleich zu den gewählten Standardbedingungen deutlich. Bei der Schädigung unter Last wurde ersichtlich, dass die FER, wie erwartet, von der Stromdichte abhängig war. Der Übergang zwischen hohen und niedrigen Schädigungsraten wurde mit den durchgeführten Versuchsreihen als annähernd sprunghaft beobachtet. Eine Erhöhung der Stromdichte auf bis zu $45 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ bewirkte nur eine minimale Verringerung der FER, wobei die Erhöhung auf $135 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ eine deutliche Verringerung zur Folge hatte. Eine weitere Erhöhung der Stromdichte auf $405 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ bewirkte erneut nur eine geringe Verringerung der FER. Für die gesamten FERs der Messreihen wurden kubische Abhängigkeiten zur Versuchsdauer bestimmt, mit deren Hilfe nun die FER zu jedem beliebigen Zeitpunkt berechnet werden konnte.

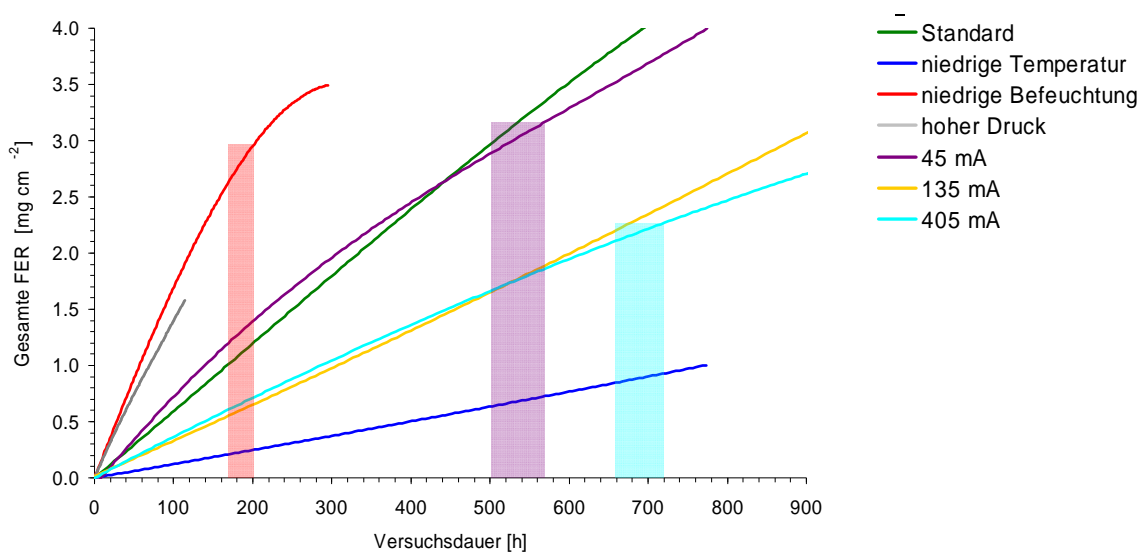


Abbildung 3: Darstellung der FER der Versuchsreihen in Abhängigkeit der Versuchsdauer sowie der Bezug zu den Intervallen der Lebensdauer der Membranen.

Wurde die FER an dem Zeitpunkt bestimmt, an dem ein Pinhole über die Wasserstoffdiffusions-Stromdichte festgestellt wurde, so war ersichtlich, dass in den Versuchsreihen unter OCV (*Standard* und *niedrige Befeuchtung*) die FER zum jeweiligen Zeitpunkt des Erscheinens des Pinholes einen vergleichbaren Wert hatten. Diese Tatsache war vergleichbar mit der Beobachtung der Pinhole-Bildung über den Abfall der OCV des Stapels. Der Wert der FER, bei der die Pinholes entstanden waren, betrug im Mittel $3,0 \text{ mg F}\cdot\text{cm}^{-2}$, was ca. 50 % der gesamten Fluoridmenge im Polymer entsprach. Die Annahme, dass eine FER von $3,0 \text{ mg F}\cdot\text{cm}^{-2}$ das Ende der Lebensdauer der Membran anzeigen kann, traf auch auf die Versuchsreihe 45 mA zu. Bei den Versuchsreihen unter höherer Last wurde ein vergleichbarer Wert der Pinhole-Bildung bei einer FER von $2,1 \text{ mg F}\cdot\text{cm}^{-2}$ im Mittel gefunden. Aufgrund des nahezu sprunghaften Anstiegs der FER mit der Last bei einem geschätzten Wert von ca. 60 bis $90 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ ist eine Funktion, die die Abhängigkeit der FER mit der Stromdichte beschreibt, zumindest mit der geringen Anzahl an Versuchsreihen unter Last nicht herstellbar.

Abbildung 4 gibt eine Übersicht der oberen und unteren Grenzen der Lebensdauer der Membranen sämtlicher Versuchsreihen sowie die Werte der Lebensdauer, die aus dem Abfall der OCV um 49 mV sowie aus dem Erreichen einer FER von $3,0 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ (M1 - M5) bzw. $2,1 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ (M6, M7) errechnet wurden. Bei der Versuchsreihe „niedrige Temperatur“ weichen die berechneten Werte der Lebensdauer aus den beiden Berechnungsmodellen (FER und OCV) deutlich voneinander ab, bei der Versuchsreihe hoher Druck stimmen die Werte der Lebensdauer überein.

Mithilfe der Grenzwerte der FER kann die maximale Lebensdauer der Membran unter den gegebenen Betriebsbedingungen abgeschätzt werden, sofern die Abhängigkeit der Lebensdauer von den Betriebsparametern Stromdichte, Befeuchtung, Temperatur und Druck bekannt ist. Das bietet die Möglichkeit, im Brennstoffzellenbetrieb ohne die ständige Überwachung der FER, sondern allein über die registrierte Zeit, bei der die Zellen betrieben werden, rechtzeitig vor einer fatalen Schädigung der Membranen im Stapel zu warnen.

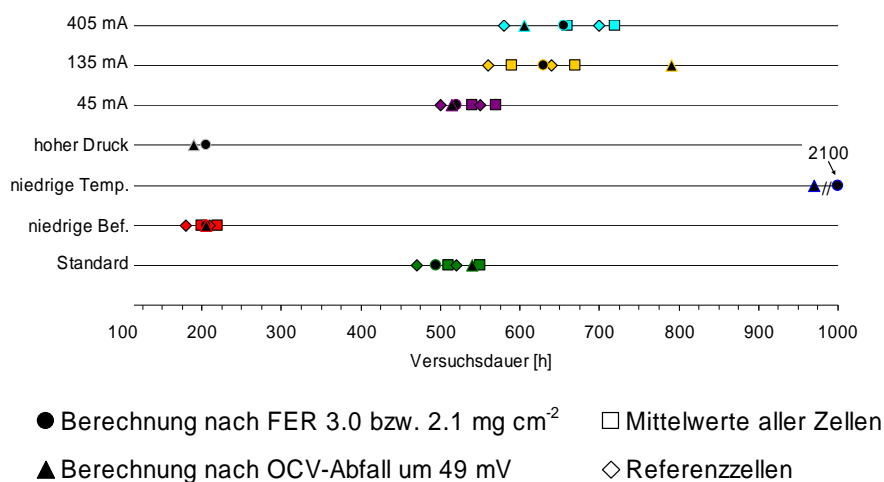


Abbildung 4: Darstellung der oberen und unteren Grenzen der Lebensdauer der Membranen sämtlicher Versuchsreihen sowie die Werte der Lebensdauer, die aus dem Abfall der OCV um 49 mV und aus dem Erreichen einer FER von $3,0 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ (M1 – M5) bzw. $2,1 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ (M6, M7) errechnet wurden.

Membrandicke und Membranzustand

Über die Rasterelektronenmikroskopie (REM) wurden Schäden der Membran festgestellt. Hierbei handelte es sich in erster Linie um das Entstehen von porösen, schwammartigen Strukturen des Ionomers auf der Anodenseite, die eine deutliche Ausdünnung der Membran zur Folge hatten. Dies entspricht der Theorie, dass der Membranabbau durch die Bildung von schädigenden Radikalen an der Anodenseite durch das dort herrschende niedrige Potential verursacht wird. Die Membran wurde auch bei relativ moderaten Betriebsbedingungen, wie z.B. einer niedrigen Zelltemperatur nach spätestens 33 Versuchstagen auf diese Art deutlich geschädigt. Weiters waren bei höher schädigenden Betriebsbedingungen Platinablagerungen in der Anodenseite der Membran in Form eines „Platin-Bandes“ zu beobachten, sowie das Auseinanderfallen der Membran in ihre zwei verschieden orientierten Schichten. Die Membrandicke wurde durch das Ausmessen der REM-Aufnahmen bestimmt. Es hat sich gezeigt, dass die Membrandicke in allen Fällen eine recht hohe Abweichung vom Mittelwert hatte. Diese Tatsache behinderte die Möglichkeit, eine Abhängigkeit zwischen Membrandicke, Betriebsbedingungen und Betriebsdauer herstellen zu können, da die lokale Schwankungsbreite der Membrandicke höher war als die mögliche Ausdünnung im Messintervall von sieben Tagen, selbst bei hoher Schädigung. Es konnte lediglich beobachtet werden, dass die Membranen auch bei geringer schädigenden Bedingungen über die gesamte Versuchsdauer betrachtet deutlich dünner wurden.

Advanced New Fuel Cell Monitoring Technology – THDA in Kooperation mit AVL List, Graz

THDA ist ein elektrisches Messverfahren zum Erkennen kritischer Betriebszustände in Brennstoffzellen. Das Verfahren nutzt einen Effekt aus, der in der Gesamtspannung eines Brennstoffzellen-Stapels detektierbar ist, auch wenn nur einzelne Zellen unter kritischen Bedingungen betrieben werden. Der Begriff "THDA" ist die Abkürzung von "total harmonic distortion analysis".

In einer Brennstoffzelle wird die chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes und eines Oxidationsmittels in elektrische Energie umwandelt. Zur Leistungssteigerung werden mehrere einzelne Zelleinheiten zu einem Stapel geschaltet. Der Betrieb kann nur aufrechterhalten werden, wenn alle Zellen eines Stapels einwandfrei operieren. Andererseits heißt das, dass der kritische Zustand einer einzelnen Zelle (z.B. durch lokale Medienunterversorgung) zum Ausfall des gesamten Stapels führen kann bzw. sich relevant auf die Lebenszeit der Brennstoffzelle auswirkt. Um kritische Zustände detektieren zu können, kann z.B. jede Zelle einzeln verkabelt, gemessen und in Bezug auf Spannungsabfall ausgewertet werden. Die Messtechnik und die damit verbundenen Kosten sind speziell bei Systemen mit höherer Leistung sehr aufwendig.

Funktionsprinzip

Für den Einsatz von Brennstoffzellen in „Zero Emission“-Fahrzeugen sollen Technologien zur Erkennung, Identifizierung und Klassifizierung von kritischen Betriebszuständen erforscht und entwickelt werden. Dadurch könnte die Brennstoffzelle ohne nachhaltige Zellschädigung nahe an den Grenzbereich geführt und somit der Fahrzeugwirkungsgrad gesteigert werden, ohne dabei die Lebensdauer der Brennstoffzelle zu reduzieren.

Beim "THDA"-Ansatz werden nicht mehr einzelne Zellspannungen gemessen, sondern Effekte analysiert, die bei Zellspannungseinbrüchen entstehen. Auf den Zellstapel übertragen heißt das, dass sich ein kritischer Spannungseinbruch einer einzelnen Zelle auch auf die Gesamtspannung auswirkt und damit detektierbar wird.

Das Verfahren basiert auf der lokalen Nichtlinearität der Übertragungskennlinie im Betriebspunkt einer Brennstoffzelle unter kritischen Betriebsbedingungen (siehe Abbildung 5). Dabei wird ein eingprägtes

Wechselstromsignal harmonisch verzerrt und erzeugt bei ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz Oberschwingungen ("klirren") – also zusätzliche Komponenten im Frequenzspektrum der BZ-Spannung. Unter „normalen“ Betriebsbedingungen ist die Übertragungskennlinie im Betriebspunkt linear, d.h. das Frequenzspektrum des resultierenden (Spannungs-)Signals ist identisch mit dem des eingepprägten (Strom-)Signals. Durch den Vergleich des Klirrfaktors in der gemessenen BZ-Spannung mit dem Klirrfaktor des eingepprägten (Strom-)Signals wird die Information über kritische bzw. unkritische Betriebszustände in einzelnen Zellen bzw. im Stapel erzeugt.

Impedanzen werden frequenzabhängig unterschiedlich beeinflusst – je nach Art bzw. Ort (Anode, Membran, Kathode) der Schädigung. Diese Einflüsse korrelieren mit der Ausbildung von Oberwellen im Antwortsignal (siehe Abbildung 5).

2. Effekt (Antwort)

- Signalform unverändert (Normalbetrieb)
- Signalform gedehnt bzw. (nicht gleichmässig) gestaucht: kritischer Betrieb

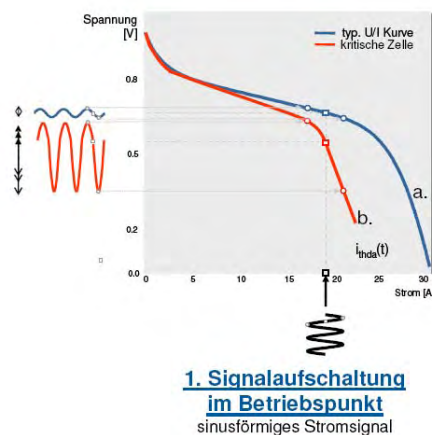


Abbildung 5: Prinzip einer THDA – Messung (AVL, TU Graz).

Versuchsdurchführung

Der Brennstoffzellenstapel wurde nach Herstellerangaben aktiviert und das Zusammenspiel zwischen Stack und Teststand wurde ausführlich getestet. Dabei auftretende Hard- und Software-Unstimmigkeiten mussten noch behoben werden. Während der ersten Messungen wurden die in der Literatur publizierten Ergebnisse auf Anwendbarkeit bzw. Reproduzierbarkeit überprüft und in Hinblick auf die vorhandenen technischen und zeitlichen Möglichkeiten der Testplan aktualisiert sowie Referenzbedingungen festgesetzt. Unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten und der Auswertung der bisher durchgeführten Messungen konnten mittels Elektrochemischer Impedanzspektroskopie folgende Zustände des Brennstoffzellenstapels untersucht bzw. detektiert werden:

- Austrocknung
- Druckabfall
- Luft-Stöchiometrie

5.1.5 Fazit

Die im Rahmen der österreichischen Forschungsprojekte erzielten Ergebnisse sind vielversprechend und konnten auch im Rahmen des Annexes intensiv diskutiert werden :

- Analyse der Membrandegradation durch Pinhole-Bildung:
Die Pinhole-Bildung konnte in einem aufwändigen Forschungsprojekt überprüft werden und der Einfluss von Betriebsbedingungen auf die Haltbarkeit der Membran abgeleitet werden. Damit können Betriebsstrategien für Brennstoffzellen entworfen werden, welche die geringste Alterung erlauben.
- New Fuel Cell Monitoring THDA:
Das neuartige elektrische Messverfahren eröffnet eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Kontrolle eines Brennstoffzellenstapel im Betrieb und Ableitung entsprechender Betriebsstrategien zum gefahrungsfreien Betrieb.

Die 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 Studenten und Teilnehmern aus der Industrie zugänglich gemacht.

5.2 Task 25: “Fuel Cells for Stationary Applications”

5.2.1 Ziele des Tasks

Inhaltlich werden in diesem Task folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- (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 -aspekte, 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: MTU, Deutschland)

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 letzten 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. Für SOFC-Brennstoffzellen liegt bereits ein Bericht aus dem vorangegangenen Task XIX vor. 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 basierend auf den Anlagenkosten 5.000 €/kW für den Wohnbereich und 1.500 €/kW 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. Eine andere Studie beschäftigt sich mit den Brennstoffzellensystemen und Möglichkeiten, die Anzahl der eingesetzten Komponenten deutlich zu reduzieren.

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: ENEA, Italien und 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.

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 ist auch die Entwicklung von Normen und Richtlinien.

Die folgenden Institutionen und Unternehmen beteiligen sich in Annex 25:

- The Swedish Energy Agency (STEM) acting through E.ON Sverige AB (Schweden)
- ENEA (Italien)
- The New Energy and Industrial Technology Development Organisation, NEDO (Japan)
- Forschungszentrum Jülich GmbH (Deutschland)
- MTU Motoren- und Turbinen-Union GmbH (Deutschland)
- Austrian Energy Agency & Energie AG Oberösterreich (Österreich)
- ECN (Niederlande)
- Department of Energy (USA)
- EPRI (USA)
- VITO (Belgien)
- Risø National Laboratory (Dänemark)
- Ceramic Fuel Cells Ltd (Australien)
- Electricité de France (Frankreich)
- Office Fédérale de l'Energie (Schweiz)
- VTT Kemiantekniikka (Finnland)

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

5.2.3 Aktivitäten in Österreich

Von österreichischer Seite werden insbesondere die Anforderungen für den Einsatz von Brennstoffzellen-Heizgeräten (Mikro-KWK-Anlagen) untersucht. Neben Analysen hinsichtlich des Stands der Technik von Brennstoffzellen für den stationären Einsatz sollen Aussagen über Kosteneffizienz und ökologische Vorteile im Vergleich zu konventionellen Systemen getroffen werden. Die folgenden Schwerpunkte wurden bearbeitet:

- Analyse von typischen Lastgängen in österreichischen Haushalten

- Analyse der verschiedenen Output-Spezifika von Brennstoffzellen-Anlagen im Vergleich zu konventionellen Mikro-KWK-Systemen und Kesselanlagen
- Potenzialanalyse hinsichtlich Verbesserungen hinsichtlich Endenergieeinsatz und CO₂-Minderungspotenzialen
- Empfehlungen für die Forcierung von „residential“ Brennstoffzellen-Einheiten

In diesem Zusammenhang ist auf den sehr veralteten Kesselbestand in österreichischen Haushalten hinzuweisen (siehe Abbildung 5). Im Rahmen der Umsetzung des Artikel 8 der Gebäude-RL sind zukünftig Inspektionsverfahren für Kesselanlagen mit einer Nennleistung über 20 kW, die älter als 15 Jahre sind, von den europäischen Mitgliedsstaaten vorzusehen.

Auf der Grundlage dieser Inspektion, die auch die Prüfung des Wirkungsgrads der Kessel und der Kesseldimensionierung im Verhältnis zum Heizbedarf des Gebäudes umfasst, ist vorgesehen, dass die entsprechenden Fachleute den Betreibern Ratschläge für den Austausch der Kessel, für sonstige Veränderungen am Heizungssystem und für Alternativlösungen geben. Diese Überprüfungen bieten sowohl für die Kesselindustrie als auch für Alternativlösungen- und damit auch für Brennstoffzellen-Hausanlagen – Chancen für eine breitere Umsetzung.

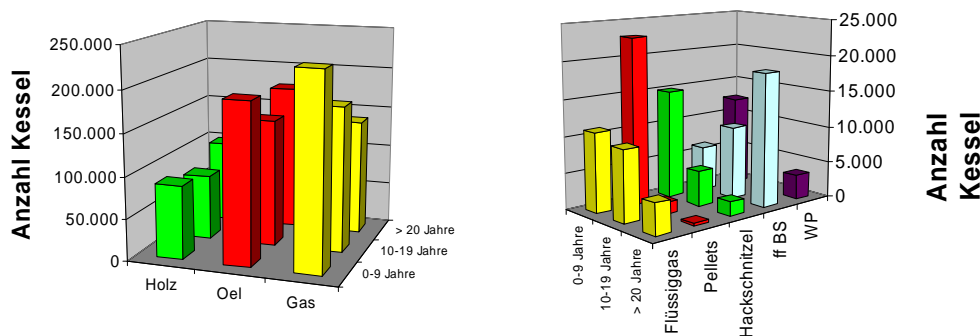


Abbildung 5: Rund 30 % bzw. 450.000 Kessel weisen ein Kesselalter > 20 Jahre auf (basierend auf Abschätzungen der Österreichischen Energieagentur)

Dieser Task wurde gemeinsam mit der Energie AG Oberösterreich geplant; damit wird auf Erfahrungen von bisherigen Demo-Projekten zurückgegriffen (siehe Abbildung 6). Weiters können die Anforderungen der Energiewirtschaft, die bei der Realisierung derartiger Anlagen eine wichtige Rolle spielen, berücksichtigt werden (Stichwort: Dezentralisierung der Stromversorgung, Smart Grids). Volkswirtschaftlich bzw. innovationspolitisch übernehmen hierbei Versorgungsunternehmen bzw. in diesem Fall die Energie AG eine wichtige Rolle, da die Kosten von derartigen Demonstrationsprojekten – insbesondere in Kombination mit den „lessons learned“ ähnlicher Projekte in der IEA – als hoch anzusetzen sind; de facto entlasten sie damit die Forschungsbudgets der österreichischen Forschungsprogramme.

5.2.4 Ergebnisse

5.2.4.1 Methodischer Zugang

Im Unterschied zur letzten Berichtsperiode, in der im stationären Bereich durch österreichische Versorgungsunternehmen sechs Pilot- und Demonstrationsprojekte durchgeführt wurden (Mikro-BHKW-Anlagen bzw. Kleinanlagen zwischen 1 bis 5 kW_{el} und eine Biogas-Pilotanlage), wurden im Zeitraum 2009–2010 keine Projekte realisiert. (siehe Abbildung 6). Stattdessen werden die Erfahrungen der Demonstrationsprojekte von zwei Ländern (Deutschland, Japan) herangezogen.



Abbildung 6: Projektaktivitäten im Themenfeld „Stationäre Brennstoffzellen“ der österreichischen Versorgungsunternehmen (Quelle: Österreichische Energieagentur)

Die Ergebnisse der damaligen österreichischen Projekte kamen zu dem Schluss, dass noch erheblicher Entwicklungsbedarf für die Markteinführung in den folgenden Bereichen gegeben ist:

- Senkung der Investitions- und Betriebskosten der Systeme
- Vereinfachung des Systemdesigns
- Verbesserung der Lebensdauer, Zuverlässigkeit und der Wirkungsgrade (inkl. des Stromeverbrauches)
- Verbesserung der hydraulischen Einbindung
- Optimierung der Steuerungs- und Bedienungssoftware

5.2.4.2 Stand der Technik von Brennstoffzellen-Heizgeräten

Im Rahmen der Projektaktivitäten konnten Ergebnisse von zwei Ländern berücksichtigt werden. In Deutschland sollen, im Rahmen des CALLUX-Projekts, bis 2015 etwa 800 Anlagen der Hersteller Baxi Innotech, Hexis und Vaillant erprobt und bis 2015 in großem Stil in den Markt eingeführt werden. Das seit September 2008 laufende Programm stellt den deutschlandweit größten Praxistest von Brennstoffzellen-Heizgeräten für Eigenheime dar und wird vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und

Stadtentwicklung (BMVBS) gefördert und koordiniert. Anfang Juni 2010 waren insgesamt 64 Anlagen der Hersteller Hexis und Baxi Innotech installiert.

Das auf einer Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC) beruhende Brennstoffzellen-Heizgerät „Galileo 1000 N“ wurde bis März 2010 insgesamt 30mal im Rahmen des Callux-Programms installiert [L 8]. Neben der Brennstoffzelle verfügt es außerdem über einen Zusatzbrenner mit Brennwertnutzung, um Lastspitzen abfangen zu können (technische Daten s. Tabelle 4).



Abbildung 7 Aufbau des „Galileo 1000N“ (Quelle: Hexis AG)

Tabelle 4: Technische Daten „Galileo 1000N“ (Quelle: Hexis AG)

Ei. Leistung Brennstoffzelle [kW]	ca. 1
Th. Leistung Brennstoffzelle [kW]	ca. 2
Th. Leistung Zusatzbrenner [kW]	4–20
Ei. Wirkungsgrad BZ:	30 % (Ziel: > 35 %)
Gesamtwirkungsgrad:	90–105 %
Brennstoffzellentyp:	Hexis SOFC
Brennstoff:	Erdgas, Netzdruck
Elektrischer Anschluss:	230 V, 50 Hz

Die Baxi Innotech gehört genauso wie die Firma Senertec (ein führender Mikro-BHKW Lieferant) zur Baxi Group, die zusammen mit De Dietrich Remeha Group zu BDR Thermea fusionierte. Seit Beginn des Callux-Programms wurden bis 1. März 2010 insgesamt 34 Brennstoffzellen-Heizungen des Typs „Gamma 1.0“ und „Beta 1.5 Plus“ (dessen Vorgängermodell) installiert [L 8].

Die Basis des Gamma 1.0-Geräts ist eine PEM-Brennstoffzelle mit einer Leistung von $1,0 \text{ kW}_{\text{el}}$ und $1,7 \text{ kW}_{\text{th}}$, wodurch es sich, ebenso wie das Galileo N, ideal für den Einsatz in Einfamilienhäusern eignet.



Abbildung 8: Gamma 1.0 (Quelle: Baxi Innotech GmbH)

Für den Betrieb steht ein Zusatzheizgerät mit Brennwertnutzung zur Verfügung. Mit der Markteinführung wird 2013 gerechnet. Ein Preis für dieses System wird noch nicht genannt. Die technischen Daten sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5 Technische Daten „Gamma 1.0“

El. Leistung Brennstoffzelle [kW]	1,0*
Th. Leistung Brennstoffzelle [kW]	1,7*
Th. Leistung Zusatzbrenner [kW]	3,5–15 oder 3,5–20
El. Wirkungsgrad BZ:	32
Gesamtwirkungsgrad:	96
Brennstoffzellentyp:	Niedertemperatur PEM-Brennstoffzelle (70°C)
Brennstoff:	Erdgas
Elektrischer Anschluss:	230V, 50 Hz

* modulierend bis 30% Nennleistung

Der zweite größere Feldtest wird derzeit in Japan durchgeführt. Dort werden PEFC-Heizgeräte seit dem Frühjahr 2009 unter dem Handelsnamen „ENE FARM“ von einem Konsortium aus regionalen Energieversorgern und Anlagenherstellern vertrieben. Dieses ging aus dem „Largescale Demonstration Project“, einem groß angelegten Demonstrationsprojekt für PEFC-Heizungen im Hausenergiebereich, hervor. Die vermarkteten Anlagen verfügen über eine el. Leistung von 750 bis 1000 W. Generell wird davon ausgegangen, dass Japan bei der Entwicklung von PEM-Brennstoffzellensystemen für Hausanwendungen einen Entwicklungsvorsprung von rund drei Jahren gegenüber europäischen Herstellern hat; es werden bereits marktreife Geräte auf Basis dieser Technologie in Japan angeboten [L 9], so dass bis 2013 diese Anlagen auch auf dem europäischen Markt vertrieben werden könnten.

Tabelle 6: Hersteller und Verfügbarkeit von Brennstoffzellen-Heizgeräten (Stand: 2010)

Hersteller/ Model	max. el. Leistung [kW _{el}]	Verfügbarkeit / Stand der Entwicklung
Entwicklungen für den europäischen Markt		
Viessmann (NT-PEM)	2,4	Entwicklungsarbeit eingestellt
Vaillant SOFC	1	Laborversuch, ab 2011 sind erste Geräte für den

Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells (AFC)

		Callux Feldtest vorgesehen
Vaillant (HT-PEM)	4,6	Entwicklungsarbeit eingestellt: NT- BZ 2006, HT- BZ 2009 ²
Baxi Innotech Gamma 1.0 (NT-PEM)	1,0	34 Stk. im Praxistest Callux, gepl. Markteinführung 2013
RBZ: Inhouse 5000 (NT-PEM)	5	Feldtest, Markteinführung für 2013 geplant
Hexis AG: Galileo N (SOFC)	1	30 Stk. Im Praxistest Callux, gepl. Markteinführung 2013
CFCL: Blue Gen (SOFC)	2	Geplante Feldversuche bei EWE AG, RheinEnergie AG, E.ON Ruhrgas, Alliander
Entwicklungen für den japanischen Markt		
Eneos / Toshiba (PEMFC)	0,75	Kommerzialisierungsphase (Kostensenkungsprogramme)
Panasonic / Ebara Ballard (PEMFC)	1,0	
Toyota / Aisin (PEMFC)	0,75	F&E Aktivitäten
Toyota / Aisin / Kyocera (SOFC)	0,7	F&E Aktivitäten

Die Ausfall-Analysen aus beiden Programmen, Callux und Ene-Farm, legen nahe, dass der Optimierung der Anlagen-Peripherie (Balance-of-plant (BOP)) eine zentrale Rolle in der Verbesserung der Zuverlässigkeit der Geräte zufällt. Die Brennstoffzellen selbst bereiten wenig Probleme.

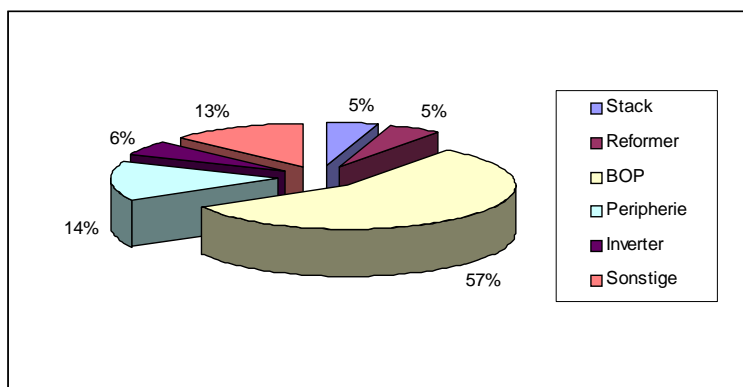


Abbildung 9: Prozentualer Anteil der Bauteile am Versagen der Brennstoffzellen-Heizungen (Quelle: [L 8])

Bezüglich des elektrischen Wirkungsgrads von Brennstoffzellen-/Mikro-KWK-Anlagen lässt sich festhalten, dass die im Rahmen des deutschen nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) im Bereich Hausenergie anvisierten elektrischen Wirkungsgrade zwischen 30 und 33 % von den in Betrieb befindlichen Anlagen teilweise erreicht werden. Anlagen, die im Rahmen des japanischen „Large-scale Demonstration Project“ erprobt wurden, erreichten bis zum Ende des Jahres 2008 einen durchschnittlichen elektrischen Wirkungsgrad von 31 %, vereinzelt finden sich auch Anlagen mit einem elektrischen Wirkungsgrad bis zu 35 %. Der durchschnittliche von Brennstoffzellen-Heizanlagen erreichbare elektrische Wirkungsgrad wurde mit 31 % analysiert (siehe nachfolgende Abbildung).

² Information durch Email von Hr. Paulus, Vaillant GmbH, 07.06.2010.

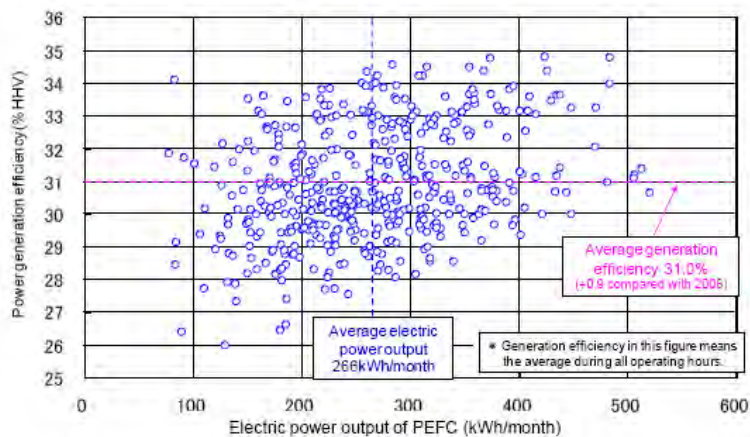


Abbildung 10: Elektrische Wirkungsgrade und bereitgestellte elektrische Arbeit pro Monat von Anlagen im „Large-Scale Stationary Fuel Cell Demonstration Project“ (Quelle: [L 9])

Für die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Analysen wurden in erster Linie die Ergebnisse des deutschen Callux-Programms herangezogen, weiters zusätzliche Informationen, die von den teilnehmenden Firmen (Baxi Innotech, Sulzer Hexis, Vaillant) zur Verfügung gestellt wurden.

Der ökonomische und ökologische Vergleich der Technologien wird anhand von konkreten Versorgungsaufgaben basierend auf typischen österreichischen Lastsituationen durchgeführt. Diese Versorgungsaufgaben wurden in Form von fünf Modellgebäuden analysiert, die hinsichtlich ihrer Größe und ihres Energiebedarfs möglichst repräsentativ den österreichischen Gebäudebestand bzw. typische Investitionsfälle abbilden sollen. Die Annahmen für diese Modellgebäude werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

Modellgebäude: Annahmen für die Wohngebäude

Die in dieser Arbeit betrachteten Wohngebäude basieren auf den Ergebnissen der Gebäude- und Wohnungszählung 2001 (GWZ 2001) der Statistik Austria. Daraus geht hervor, dass die meisten Einfamilienhäuser in Niederösterreich, die meisten Mehrfamilienhäuser in Oberösterreich stehen. Aufbauend auf den Daten der GWZ 2001 wurden Modellgebäude entwickelt, jeweils zwei Ein- und Mehrfamilienhäuser, ein Bestandsgebäude und ein Neubau nach aktuellen Richtlinien. Die Gebäude entsprechen der durchschnittlich ermittelten Wohnungsgröße der jeweiligen Gebäudetypen. Die Energiekennzahlen dieser Gebäude wurden nach OIB-Richtlinie 6 bzw. ON B 8110-6 und ON H 5056 bis ON H 5059 mit dem gängigen Tool „Gebäudeprofi – plus“ der Firma ETU berechnet. Der für die Gebäude angenommene Strombedarf wurde aus dem Strom- und Gastagebuch 2008 übernommen.

Modellgebäude: Annahmen für das Einfamilienhaus (EFH)

Bestandsgebäude

Das angenommene Ein- und Zweifamilienhaus Bestandsgebäude stammt aus Bauperiode 4, von 1961–1981, der bei Wohngebäuden insgesamt am häufigsten vertretenen Bauperiode. Die zu Grunde gelegten Maße gelten auch für das angenommene Neubau-EFH. Die Grundmaße sind 9,5 x 8,5 m, das Dachgeschoß ist ausgebaut und in Benutzung. Die Fensterflächen bilden je 13,29 % der Außenwandflächen. Aus der Nutzfläche (NF) von 110 m² (nach Statistik Austria) ergibt sich die Bruttogrundfläche (BGF) von rund 150 m². In dem durchschnittlichen Einfamilienhaus wohnen 3 Personen.

Tabelle 7: Thermisch relevante Flächen der Einfamilienhäuser

Außenwand (AW):		Fenster (FE):	
Nord: 40,9 m ²	Ost: 32 m ²	Nord: 4 m ²	Ost: 6 m ²
Süd: 34,9 m ²	West: 32 m ²	Süd: 10 m ²	West: 6 m ²
Bodenplatte (BP): 80,57 m ²	Obere Decke (OD): 42,12 m ²	Dachfläche (DF): 47,50 m ²	

Neubau-Einfamilienhaus

Das angenommene Einfamilienhaus-Neubau ist Baujahr 2010, entstammt also Bauperiode 8 und hat dieselben Maße wie das oben erläuterte Bestandsgebäude. Es wird ebenfalls von 3 Personen bewohnt.

Um mit den automatisiert berechneten Flächen der jeweiligen Bauteile die Energiekennzahlen des Gebäudes errechnen zu können, ist die Festlegung der U-Werte nötig. Diese werden in Abhängigkeit des Standortes nach dem „Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“ des OIB festgelegt.

Legt man das Referenzklima zu Grunde, ergeben sich für die Flächen des Bestands- und Neubaugebäudes nachfolgende U-Werte:

Tabelle 8 U-Werte der betrachteten Einfamilienhäuser

	Bestandsgebäude	Neubau nach OIB RL6-2010
	U-Wert	U-Wert
Dach	0,55	0,17
Obere Decke	0,55	0,19
Außenwand	0,55	0,20
Bodenplatte	1,35	0,23
Fenster	3,0	1,10

Aus den angenommenen Flächen und U-Werten ergeben sich, bezogen auf das Referenzklima, folgender Heizwärmebedarf und für eine Normaußentemperatur³ von -13,0 °C folgende Norm-Heizlast für die Einfamilienhäuser (s.u.). Der Warmwasserwärmebedarf als nutzerabhängige Größe wird, unabhängig von der thermischen Qualität der Hülle, nach der Energieeinsparverordnung und in Anlehnung an [L 14] mit einem Pauschalwert von 12,5 kWh/m²BGFa für alle Wohngebäude angenommen.

³ Die Normaußentemperatur ist das tiefste Zweitagesmittel, das zehnmal in 20 Jahren erreicht wird. Aus ihr ergibt sich die Norm-Heizlast, auf die die Heizkessel dimensioniert werden müssen.

Tabelle 9: Heizwärmebedarf und Norm-Heizlast bezogen auf das Referenzklima, sowie Warmwasserwärmebedarf der Einfamilienhäuser

	Bestandsgebäude	Neubau nach OIB RL6-2010
Heizwärmebedarf (HWB _{BGF,Ref}) [kWh/m ² a]	218,96	46,57
Norm-Heizlast [kW]	14,0	4,3
Warmwasserwärmebedarf (WWWB) [kWh/m ² _{BGFA}]	12,5	

Modellgebäude: Annahmen für das Mehrfamilienhaus (MFH)

Bestandsgebäude

Für das Bestandsgebäude wurde ebenso wie für das Einfamilienhaus die Bauperiode 4 angenommen. Durchschnittlich ergibt sich für dieses Gebäude eine Anzahl von sechs Wohneinheiten, verteilt über drei Etagen mit einer Nutzfläche von je 150 m². Daraus ergeben sich eine Nettfläche von 450 m², und eine BGF von rund 560 m². Auch hier wurden alle Flächen automatisiert vom ETU-Tool berechnet.

Tabelle 10: Thermisch relevante Flächen der Mehrfamilienhäuser:

Außenwand (AW):		Fenster (FE):	
Nord: 141 m ²	Ost: 91 m ²	Nord: 28 m ²	Ost: 18 m ²
Süd: 141 m ²	West: 91 m ²	Süd: 28 m ²	West: 18 m ²
Kellerdecke: 187 m ²		Oberste Geschossdecke: 187 m ²	

Neubau

Der angenommene Mehrfamilienhaus-Neubau ist Baujahr 2010, entstammt also Bauperiode 8 und hat dieselben Maße wie das Bestandsgebäude (s.o.). Es umfasst ebenfalls sechs Wohneinheiten. Die U-Werte wurden wie beim Einfamilienhaus wie folgt festgelegt (s. Tabelle 11).

Tabelle 11: U-Werte der thermisch relevanten Flächen.

	Bestandsgebäude	Neubau nach OIB RL6-2010
	U-Wert	U-Wert
Dach	0,74	0,20
Oberste Geschossdecke	0,66	0,20
Außenwand	1,02	0,35
Kellerdecke	0,92	0,40
Fenster	2,42	1,40

Aus den angenommenen Flächen und U-Werten ergeben sich, bezogen auf das Referenzklima, folgender Heizwärmebedarf und für eine Außentemperatur von -13,0 °C folgende Norm-Heizlast für die Mehrfamilienhäuser (s.Tabelle 12). Wie bei den Einfamilienhäusern wird von einem spezifischen Warmwasserwärmebedarf von 12,5 kWh/m²BGFa für alle Wohngebäude ausgegangen.

Tabelle 12: Heizwärmebedarf und Norm-Heizlast bezogen auf das Referenzklima, sowie Warmwasserwärmebedarf der Mehrfamilienhäuser

	Bestandsgebäude	Neubau nach OIB RL6-2010
Heizwärmebedarf (HWB _{BGF,Ref}) [kWh/m ² a]	130,2	35,7
Norm-Heizlast [kW]	37,3	14,6
Warmwasserwärmebedarf (WWWB) [kWh/m ² BGFa]	12,5	

Strombedarf Wohngebäude

Der Strombedarf ist eine nutzerabhängige Größe, die als unabhängig von der thermischen Qualität der Gebäudehülle erachtet werden kann.⁴ Somit sind die angenommenen Stromverbräuche innerhalb der Gebäudekategorien für Bestandsgebäude und Neubauten gleich.

Auf Basis des österreichischen Strom- und Gastagebuchs 2008 [L 14] und in Anlehnung an [L 12] ergibt sich der Stromverbrauch aus dem durchschnittlichen Jahresstromverbrauch (2008) von Ein- und Mehrfamilienhäusern, welcher um den Strombedarf für Warmwasserbereitung, Umwälzpumpe und Heizung bereinigt wurde.

Tabelle 13: Durchschnittlicher Jahresstromverbrauch 2008 für alle österreichischen Haushalte (Ein-Zweifamilienhaus versus verdichteter Wohnbau)

	Einfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser
Geräte (kWh/a)	2.636	1.646
Beleuchtung (kWh/a)	433	327
Summe (kWh/a)	3.069	1.974

Modellgebäude: Annahmen für das Bürogebäude

Das Modell des Bürogebäudes basiert auf Daten eines bestehenden Objekts, das als repräsentativ angenommen wird. Die für die Berechnung erforderlichen Werte wurden dem Energieausweis entnommen. Demnach ist das angenommene Modell-Bürogebäude ein Niedrigenergiegebäude, das 1971 gebaut, aber thermisch saniert wurde. Aus dem Energieausweis ergibt sich eine Brutto-Grundfläche von 3.617 m² mit einem konditionierten Brutto-Volumen von 11.700 m³. Der Heizwärmebedarf bezogen auf das Referenzklima beträgt 147.640 kWh/a, somit ergibt sich ein spezifischer Heizwärmebedarf von 40,82 kWh/m²a. Die Normheizlast bei einer angenommenen Volllastbetriebszeit

⁴ Es werden keine el. Heizgeräte eingesetzt

von 1.600 h beträgt ca. 103 kW. Der spezifische Warmwasserwärmebedarf des Bürogebäudes ergibt sich aus dem jährlichen Warmwasserwärmebedarf und wird ebenfalls aus dem Energieausweis übernommen.

Tabelle 14: Heizwärmebedarf und Norm-Heizlast bezogen auf das Referenzklima, sowie Warmwasserwärmebedarf des Bürogebäudes

	Bürogebäude
Heizwärmebedarf (HWB _{BGF,Ref}) [kWh/m ² a]	40,82
Norm-Heizlast [kW]	103
Warmwasserwärmebedarf (WWWB) [kWh/m ² _{BGFA}]	4,71

Der Strombedarf des Modellfalls ergibt sich aus den Abrechnungen des existierenden Objekts des Jahres 2009 zu einem jährlichen Verbrauch von 129.450 kWh.

Modellgebäude: Übersicht über berechnungsrelevante Gebäudedaten

Abschließend werden die für die Wirtschaftlichkeits- und Emissionsberechnung relevanten Daten zusammengefasst dargestellt (s. Tabelle 15).

Tabelle 15: Berechnungsrelevante Daten der Modellgebäude

	Wohngebäude				Bürogebäude
	Einfamilienhaus Bestand	Einfamilienhaus Neubau	Mehrfamilienhaus Bestand	Mehrfamilienhaus Neubau	Renoviertes Bürogebäude
Bauperiode	1961–1981	2010	1961–1981	2010	1971, saniert
Brutto-Grundfläche [m²]	150	150	560	560	3.617
Anzahl der Bewohner/ Wohneinheiten	3	3	6	6	-
Heizwärmebedarf (HWB_{BGF}) [kWh/m²_{BGFA}]	219,0	46,6	130,2	35,7	40,8
Spezifischer Warmwasserbedarf (WWWB_{BGF}) [kWh/m²_{BGFA}]	12,5	12,5	12,5	12,5	4,7
Nutzwärmebedarf [kWh/a]	34.718	8.859	79.902	26.982	164.610
Stromverbrauch [kWh/a]	3.069	3.069	1.974 / WE	1.974 / WE	129.450
Normheizlast [kW]	14,0	4,3	37,3	14,6	103,0

Jahresganglinien des Bedarfs

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 die Wirtschaftlichkeit. 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 ab. Die genaue Kenntnis des zeitlichen Anfalls dieser Größen ist also ein entscheidendes

Kriterium zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen. Für bestehende Gebäude beschreibt die VDI-Richtlinie 2067 Blatt 7 notwendige Maßnahmen, um anhand von Messungen von typischen, ausgewählten Tagen, Lastprofile für den Strom und Wärmebedarf von Objekten zu erstellen. Bei den durchgeführten Analysen wurden auf die Lastprofile der Wohngebäude basierend auf der VDI-Richtlinie 4655 zurückgegriffen.

Referenzlastprofile der Wohngebäude

Die VDI-Richtlinie 4655 bietet mit ihren Referenzlastprofilen eine Grundlage zur Auslegung von KWK-Anlagen in Wohngebäuden. Ihre Gültigkeit erstreckt sich auf den Einsatz von KWK-Anlagen mit einer maximalen Brennstoffleistung von 70 kW (bezogen auf den Heizwert) für Einfamilienhäuser mit bis zu 12 Bewohnern und Mehrfamilienhäuser mit bis zu 40 Wohneinheiten.

Basierend auf Messungen an echten Objekten hält die VDI 4655 zehn Typtagprofile bereit, untergliedert in Jahreszeit, Bewölkung und Werk- oder Sonntag, die jeweils den täglichen Verlauf des Heizwärme-, Warmwasser-, und Strombedarfs beschreiben. Bei den Einfamilienhäusern geschieht dies in Intervallen von einer, bei Mehrfamilienhäusern in Intervallen von 15 Minuten. Der Standort des Gebäudes findet über die Wahl der Klimazone Eingang in die Berechnung. Das Klima in Deutschland wird anhand von 15 Klimazonen, in die Deutschland unterteilt ist, berücksichtigt. Für jede Klimazone ist ein sog. Testreferenzjahr hinterlegt, das die einzelnen Wetterelemente in möglichst großer Übereinstimmung mit den dreißigjährigen Mittelwerten der Klimazone abbildet.

Über einen Faktor, der nach Klimazone variiert, wird der Tagesbedarf für jeden Typtag in Abhängigkeit vom Jahresbedarf für Heizwärme-, Warmwasser-, und Strombedarf ermittelt. Aus der Multiplikation des Tagesbedarfs mit den Minuten- oder Viertelstundenwerten des normierten Energiebedarfs der gegebenen Typtagprofile ergibt sich der Typtagverlauf des Objekts. Diese Typtagesverläufe können dann, anhand der Anzahl der betreffenden Typtage in einem Testreferenzjahr zu einem ganzen Jahr gereiht werden, wodurch sich ein Verlauf des Jahresbedarfs des entsprechenden Objekts für Heizwärme, Warmwasser und Strom abbilden lässt.

Tabelle 16: Anzahl der Typtage in Klimazone eins. (Daten: VDI 4655, eigene Darstellung)

	ÜWH	ÜWB	ÜSH	ÜSB	SWX	SSX	WWH	WWB	WSH	WSB
TRY01	36	95	7	22	76	12	26	69	6	16

Nachdem die VDI 4655 eine deutsche Norm ist, sind keine Klimazonen und dementsprechend kein Testreferenzjahr für Österreich hinterlegt. Deshalb wurde anhand eines Vergleichs jene deutsche Klimazone ermittelt, die dem österreichischen Referenzklima am nächsten kommt. Dies ist Klimazone 13. Dem Jahresverlauf des Energiebedarfs der Wohngebäude wurden daher die klimatischen Gegebenheiten der deutschen Klimazone 13, der Klimazone mit der größten Übereinstimmung zum österreichischen Referenzklima, zu Grunde gelegt. Mit 3.403 Heizgradtagen entspricht der Ort Tattendorf (237 m über Seehöhe) im österreichischen Bundesland Niederösterreich am ehesten dem Referenz-

klima, weshalb für die Dimensionierung der Kleinwind- und Photovoltaikanlage die Wetterdaten der zu Tattendorf nächstgelegenen Wetterstation zu Grunde gelegt werden.⁵

Referenzlastprofil für das Bürogebäude

Aus dem Energieausweis des Bürogebäudes geht der monatliche Heizwärmebedarf hervor. Aufgrund der fehlenden Aufschlüsselung des zeitlichen Verlaufs des Heizwärmebedarfs wurde unter Zuhilfenahme des Sochinsky-Verfahrens eine geordnete Jahresdauerlinie entwickelt (Abbildung 11).

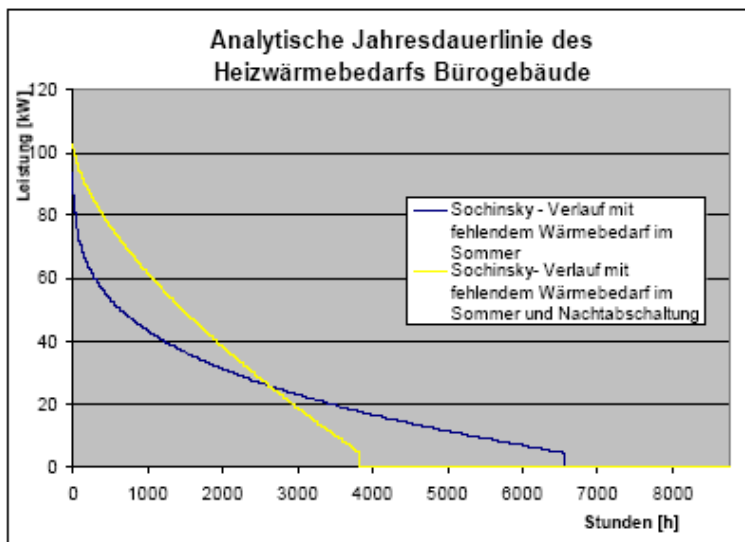


Abbildung 11: Verlauf des Nutzwärmebedarfs mit und ohne Abschaltung der Heizungsanlage in der Zeit von 20–6 Uhr.

Verlauf der elektrischen Last

Auf Grund der Nichtverfügbarkeit des Lastgangs des elektrischen Bedarfs im Bürogebäude wurde die Annahme getroffen, dass das vom BDEW (ehm. VDEW) veröffentlichte Lastgangprofil G1 (Gewerbe 8–18 Uhr) als repräsentativ für das betrachtete Objekt gelten kann. Der Verlauf der elektrischen Last ist vom BDEW für verschiedene Typtage in entsprechenden Lastprofilen veröffentlicht.

5.2.4.3 Kosteneffizienz von Brennstoffzellen- bzw. Mikro-KWK-Systemen

Die Grundlage der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Betrachtung bildet die VDI-Richtlinie 2067, Blatt 1 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenrechnung“ [L 15] und Blatt 7 „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen – Blockheizkraftwerke“ [L 16] die ein Verfahren zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen und Blockheizkraftwerken auf Basis der Annuitätenmethode bieten. Dabei werden einmalige Zahlungen und laufende Zahlungen über einen gewählten Betrachtungszeitraum mittels eines Annuitätsfaktors zusammengefasst und somit gleich hohe jährliche Zahlungen über den Betrachtungszeitraum gebildet.

⁵ Da für die Berechnung eines Strom- und Gaspreises auch eine Ortsangabe von Nöten ist, wurde ebenfalls Tattendorf als Bezugsort für die Preisermittlung herangezogen.

Die entstehenden Jahreskosten der Versorgung durch die betrachteten Technologien werden den Jahreskosten der Versorgung mittels Referenzanlage gegenübergestellt. Eine relative Wirtschaftlichkeit ist dann gegeben, wenn die Jahreskosten durch die Versorgung mittels der betrachteten Technologie geringer sind, als die des Referenzsystems. Eine absolute Wirtschaftlichkeit ergäbe sich, wenn die Jahreskosten durch Erlöse überkompensiert würden, es also zu jährlichen Einzahlungen käme. Dies ist allerdings nur bei Technologien möglich, die tatsächlich auch Erlöse (z.B. Einspeisevergütungen) generieren.

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit wird als Referenzfall die Ausstattung der Modellfälle mit einer Gas-Brennwertheizung zur Wärme- und Warmwasserversorgung angenommen, was den am breitesten installierten neuen Heizsystemen entspricht. Die betrachteten Referenzsysteme der Wohngebäude orientieren sich dabei am „Vollkostenvergleich Heizsysteme“ des IE Leipzig. Die Annahmen der Investitionskosten sowie der Betriebskosten finden sich in den nachfolgenden Tabellen.

Tabelle 17: Nettokosten der angenommenen Referenzheizsysteme [€]

	Erdgas-Brennwertkessel inkl. Regelung und Zubehör	Warmwasserspeicher	Schornstein	Installation	Gesamt
EFH Bestand	2.400	600	400	600	4.000
EFH Neubau	2.400	600	400	600	4.000
MFH Bestand	3.300	1.700	700	900	6.600
MFH Neubau	3.000	1.700	700	900	6.300
Büro	8.000	1.700	1.700	1.500	12.900

Tabelle 18: Betriebsgebundene Kosten und Lebensdauer der Komponenten

	Lebensdauer [a]	Wartungskosten in [%] der Investitionskosten	Schornsteinfegergebühren [€]
Erdgas-Brennwertkessel, wandhängend	18	1,5	20
Erdgas-Brennwertkessel, bodenstehend	20	1,0	
Warmwasserspeicher, Pufferspeicher	25	1,0	
Schornstein	50	1,0	

Den verbrauchsgebundenen Kosten wurde ein durchschnittlicher Gaspreis von 0,0492 €/kWh (Stand August 2010) zugrunde gelegt. Der Jahresnutzungsgrad für die Erzeugung der Brennwertkessel wurde aus [L 17] übernommen, und mit 87,6 % bezogen auf den oberen Heizwert angenommen.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Brennstoffzellen bzw. Mikro-KWK wurden folgende Annahmen gewählt.

- Für die Investitionskosten von Brennstoffzellen wurden die Preise von derzeitigen Mikro-KWK-Systemen (mit vergleichbaren Leistungsdaten) angesetzt. Es kann davon ausgegangen werden, dass für einen erfolgreichen Markteintritt ähnliche Preisniveaus von den Brennstoffzellen-Geräten vorliegen müssen. Die weiteren technischen Annahmen beruhen auf den Spezifikationen der Systeme Gamma 1.0 (Baxi Innovtech GmbH) und Galileo 1000 N (Sulzer Hexis).
- Für die Wirtschaftlichkeitsanalysen werden drei Berechnungsvarianten angesetzt:
 - Variante 1 basiert auf den vorliegenden österreichischen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Für den eingespeisten Strom wird eine Vergütung von 4,85 ct/kWh angesetzt.⁶
 - Variante 2 entspricht Variante 1; zusätzlich wird eine Investitionsförderung in Höhe von 25 % berücksichtigt.⁷
 - Variante 3 entspricht Variante 2; zusätzlich wird ein Einspeisetarif nach deutschem Vorbild⁸ und(!) eine Investitionsförderung in Höhe von 25 % berücksichtigt.

Weiters wurden die folgenden wirtschaftlichen Annahmen getroffen:

- Der Kalkulationszinssatz wird nach VDI 2067 mit 6 % p.a. zu Grunde gelegt.
- Der Betrachtungszeitraum wird mit 15 Jahren festgelegt.
- Preissteigerungen werden nicht berücksichtigt.
- Außerdem wird davon ausgegangen, dass der Betreiber des BHKW im Bürogebäude vorsteuerabzugsberechtigt ist.

Aus den Berechnungen leiten sich die folgenden Ergebnisse ab.

⁶ Annahme beruht auf Rückfragen bei der EVN AG.

⁷ Damit wird auf die österreichische Umweltförderung für hocheffiziente KWK-Anlagen Bezug genommen.

⁸ Es wird damit ein Bezug zum deutschen KWK Gesetz 2009 hergestellt (KWK Gesetz 2009); u.A. wird auch der selbst genutzte Strom gefördert (plus Einspeisevergütung durch den Versorger und Kompensationszahlungen für vermiedene Netznutzung).

Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells (AFC)

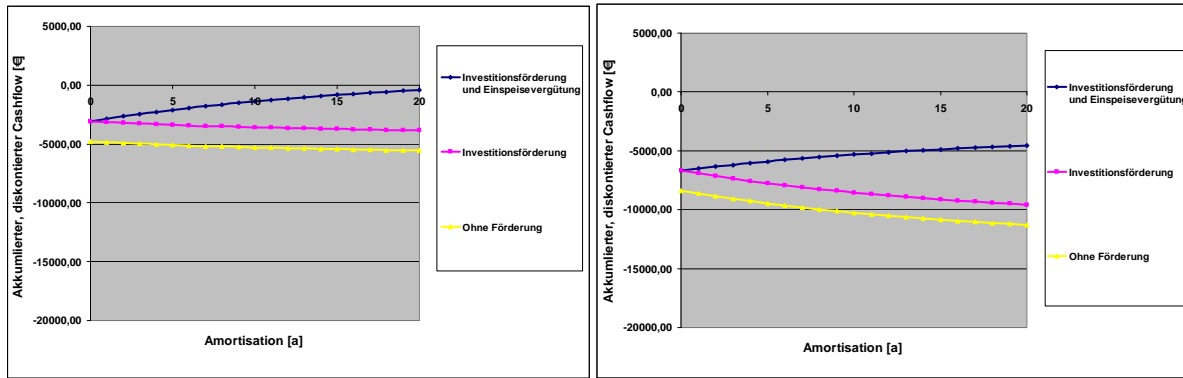


Abbildung 12: Kapitalwertentwicklung des Brennstoffzellen-BHKWs im Vergleich zu einer Gas-Brennwertheizung in einem Einfamilienhaus: links - Neubau; rechts Bestandsgebäude

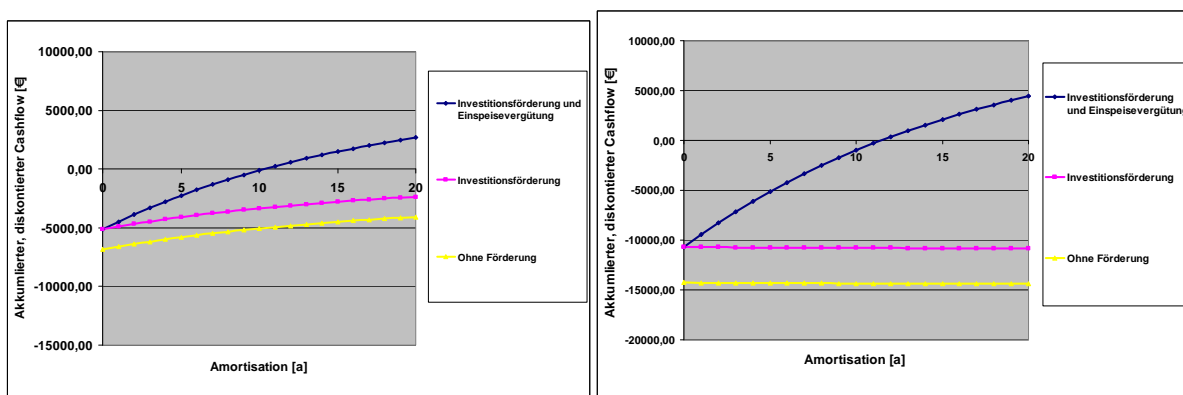


Abbildung 13: Kapitalwertentwicklung des Brennstoffzellen-BHKWs im Vergleich zu einer Gas-Brennwertheizung in einem Mehrfamilienhaus: links Neubau; rechts Bestandsgebäude

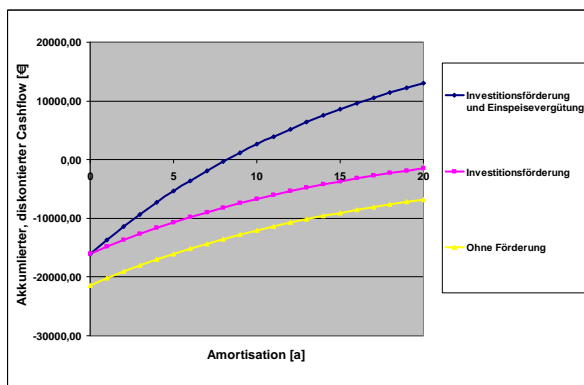


Abbildung 14: Kapitalwertentwicklung des Brennstoffzellen-BHKWs im Vergleich zu einer Gas-Brennwertheizung im renovierten Bürogebäude

Das Bürogebäude zeichnet sich durch einen hohen Strombedarf und eine gute zeitliche Überdeckung mit dem Wärmebedarf aus. Der Strom des Brennstoffzellen-Heizgeräts kann somit fast gänzlich im Bürogebäude verwendet werden. Trotz dieser idealen Voraussetzungen ergibt sich „nur“ eine Wirtschaftlichkeit, wenn der Eigenverbrauch mit gefördert wird (Variante 3). Alleine auf Basis einer vorhandenen Investitionsförderung für gewerbliche Betreiber (oder ohne Förderung) ist ein wirtschaftlicher Betrieb nicht möglich (Abbildung 14).

Für das Bestands-Mehrfamiliengebäude mit dem zweithöchsten Wärmebedarf (der betrachteten Modellfälle) ergibt sich ebenfalls eine Wirtschaftlichkeit (basierend den Förderbedingungen von Variante 3). Bei anderen Förderbedingungen (Variante 1 und 2) kann keine Amortisation der Anlage erreicht werden (Abbildung 13).

Bei den Einfamilienhäusern kann weder im Bestandsgebäude noch im Neubau – obwohl ein monovalenter Betrieb des Brennstoffzellen-Heizgeräts angesetzt wurde (ohne zusätzlichem Heizgerät) – eine Wirtschaftlichkeit bei Berücksichtigung aller drei Varianten erzielt werden. Die negative Kapitalwertentwicklung zeigt weiters, dass die Rahmenbedingungen für diese Einsatzfelder in Österreich massiv verändert werden müssten. (Abbildung 12) Im Grunde gilt dies für alle gerechneten Varianten; die Ergebnisse in den Mehrfamilienhäusern und im Bürogebäude zeigen allerdings zumindest in Variante 3 positive Kapitalwertentwicklungen.

5.2.4.4 Ökologischer Vergleich

Der ökologische Vergleich der Systeme wird ebenfalls wie der ökonomische Vergleich basierend auf den 5 Modellgebäuden ausgeführt. Hierfür wurde die Software „GEMIS“⁹ eingesetzt. Die Betrachtung erfolgt hinsichtlich der Emissionen von CO₂ bzw. CO₂-Äquivalenten sowie der Summe des kumulierten Energieaufwands.

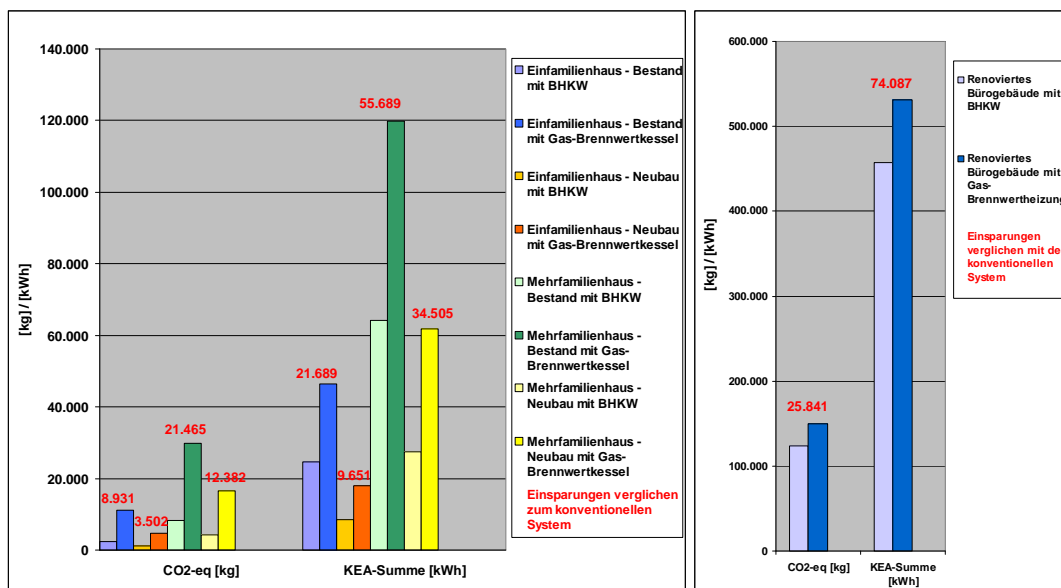


Abbildung 15: Vergleiche der CO₂-eq Emissionen und des kumulierten Energieaufwands (KEA) zwischen Brennstoffzellen-Heizgerät und konventionellem Heizungssystem (Gasbrennwert-Heizung):

links: Emissionen der EFH und MFH; rechts: Emissionen des Bürogebäudes

Die roten Zahlen ober den Balkenpaaren zeigen die erzielten Einsparungen, die mit einem Brennstoffzellen-Heizgerät verglichen mit einem konventionellen Heizungssystem erreicht werden.

⁹ Das „Globale Emissionsmodell integrierter Systeme“ ist ein Programm des Öko-Instituts und der Gesamthochschule Kassel zur Analyse von Umweltauswirkungen verschiedenster Prozesse der Energiewandlung. Dabei berücksichtigt GEMIS die gesamte „Energiekette“, also alle wesentlichen Schritte von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis hin zur Nutzenergie bzw. Stoffbereitstellung, und bezieht auch den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen mit ein.

Im Vergleich der absoluten Emissionen der Wärmeversorgung mittels Brennstoffzellen-Heizgerät verglichen mit einem konventionellen Heizsystem (idF Gasbrennwert Heizung) wird die ökologische Vorteilhaftigkeit der Brennstoffzelle zur Strom- und Wärmeerzeugung gegenüber der Gas-Brennwertheizung ersichtlich. Sowohl hinsichtlich der Treibhausgasemissionen als auch beim kumulierten Energieaufwand ergeben sich deutlich sichtbare Energieeinsparungen.

Diese werden vor allem bei den monovalent ausgeführten Anlagen im Einfamilienhaus, aber auch beim Neubau-Mehrfamilienhaus besonders deutlich, weil hier keine Emissionen eines Spitzenlastkesseles anfallen. Somit erfolgt für die gesamte bereitgestellte Wärme eine Gutschrift durch den gleichzeitig bereitgestellten Strom. Bei den Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern können CO₂eq Einsparungen von an die 80 % erreicht werden; bei den Primäraufwendungen von über 50 % im Vergleich zu konventionellen Heizungsanlagen. Die monovalente Ausführung zeigt sich dabei als besonders vorteilhaft.

Im Bürogebäude ergeben sich CO₂eq Einsparungen von rund 17 %; beim kumulierten Energieaufwand von rund 14 %. In allen Betrachtungen ergeben sich erhebliche Emissionseinsparungen und geringere kumulierte Energieaufwände beim Einsatz von Brennstoffzellen-Heizgeräten.

5.2.5 Fazit

Von österreichischer Seite wurden im Rahmen dieser Berichtsperiode die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Brennstoffzellen-Heizgeräten (Mikro-KWK-Anlagen) in Österreich untersucht. Neben Analysen hinsichtlich des Stands der Technik von Brennstoffzellen-Heizgeräten wurden Berechnungen hinsichtlich der Kosteneffizienz und ökologischen Vorteilen im Vergleich zu konventionellen Heizsystemen basierend auf 5 repräsentativen Modellgebäuden (EFH: Neubau und Bestand; MFH: Neubau und Bestand, renoviertes Bürogebäude) durchgeführt. Folgende Ergebnisse lassen sich zusammenfassen.

- Im Unterschied zur Berichtsperiode 2007/2008 wurden in Österreich in den Jahren 2009/2010 keine Demonstrationsprojekte von Versorgungsunternehmen durchgeführt. Für die Analysen wurde auf die Ergebnisse der deutschen bzw. japanischen Demonstrationsprojekte (Task 25) zurückgegriffen. In Europa werden derzeit zwei Typen von Brennstoffzellen-Heizgeräten der Firmen Baxi Innotech und Sulzer Hexis getestet.
- Für die Analyse der Kosteneffizienz wurden fünf repräsentative Modellgebäude definiert: (i) Einfamilienhäuser – Bestand und Neubau; (ii) Mehrfamilienhäuser – Bestand und Neubau; (iii) ein renoviertes Bürogebäude. Für die Analyse der Kosteneffizienz wurden drei Berechnungsvarianten angesetzt. Die Basisvariante (Variante 1) basiert auf den vorliegenden nationalen Rahmenbedingungen; Variante 2 berücksichtigt zusätzlich eine Investitionsförderung von 25 %. Variante 3 basiert auf Variante 2; zusätzlich wird ein Einspeisetarif nach deutschem Vorbild (KWK Gesetz) berücksichtigt.
- Die Ergebnisse in den fünf Modellfällen sind sehr ernüchternd; bei den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen kann in keinem der fünf Modellfälle eine Wirtschaftlichkeit erreicht werden (bei den Einfamilienhäusern liegt eine negative Entwicklung des Kapitalwerts vor). Auch die derzeit in Österreich gewährte inländische Umweltförderung führt zu keiner Amortisation. Erst eine Kombination der Förderungen würde in den Modellfällen Mehrfamiliengebäuden (nach 10 bzw. 12 Jahren) und im renovierten Bürogebäude nach rund 8 Jahren eine Wirtschaftlichkeit ergeben. Diese Ergebnisse gelten nicht nur für Brennstoffzellen-Heizgeräte,

sondern die Aussagen können generell auf Mikro-KWK-Anlagen übertragen werden. Ein etwaiges Förderinstrument in Österreich sollte in jedem Fall – neben der Investitionsförderung – auch die Förderung der erzeugten elektrischen Energie berücksichtigen. Dieses Förderinstrument müsste mit den Leitlinien der Gemeinschaft für staatliche Umweltschutzbeihilfen¹⁰ abgestimmt werden.

- Die Analysen zeigen, dass aufgrund der thermischen und elektrischen Verbräuche Anwendungsgebiete insbesondere in MFH (>> 6 Parteien) und in Dienstleistungsgebäuden existieren.
- Für die Herstellerfirmen ergibt sich aus den Schlussfolgerungen, dass sowohl die Preise als auch die Instandhaltungskosten signifikant gesenkt werden müssen, um mit und (!) ohne Fördermaßnahmen einen Marktdurchbruch zu erreichen.
- Die ökologischen Analysen zeigen, dass bei Verwendung von fossilen Energieträgern durch Brennstoffzellen-Heizgeräte in allen fünf Modellfällen signifikante Treibhausgas-Einsparungen (an die 80 % bei EFH und MFH, rund 17 % im Bürogebäude) und Reduktionen des kumulierten Energieaufwands (an die 50 % bei EFH und MFH, bzw. rund 14 % im Bürogebäude) erreicht werden können. Die Brennstoffzellen-Technologie kann somit einen erheblichen Beitrag zu Erreichung österreichischer Klimaziele erbringen bzw. generell einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten.

Die Teilnahme von Österreich an diesem Task ermöglichen Analysen, die „nur“ im Rahmen einer Internationalen Zusammenarbeit möglich wurden. Die Kosten der durchgeführten Feldtests in Deutschland und Japan – insbesondere mit den „lessons learned“ – müssen als sehr hoch eingestuft werden; de facto entlasten sie damit die Forschungsbudgets der anderen Länder.

Der österreichische Beitrag bzw. die Schlussfolgerungen können generell auf den Sektor fossile Mikro-KWK-Anlagen übertragen werden. Für die Marktüberführung sind erhebliche Änderungen der Rahmenbedingungen in Österreich erforderlich. Der Hersteller sind gefordert, Kostensenkungsprogramme bei der Produktentwicklung erfolgreich zu implementieren.

¹⁰ Informationen hierzu unter: http://europa.eu/legislation_summaries/competition/state_aid/ev0003_de.htm (Dezember 2010)

5.3 Task 27: „Fuel Cells for Portable Applications“

5.3.1 Ziele des Tasks

Das Hauptziel dieses anwendungsorientierten Tasks ist es, die Entwicklung von portablen Brennstoffzellen und deren Kommerzialisierung durch internationale Kooperation zu beschleunigen. Kernpunkte sind:

- Austausch von Informationen zur Lösung von komplexen Problemen bei der Stapel- und Systementwicklung sowie im Betrieb von portablen Brennstoffzellensystemen,
- Berücksichtigung von Endnutzer-Anforderungen an den Betrieb der portablen Brennstoffzelle mit dem Ziel, die Größe und die Kosten der Zellen und Systeme zu minimieren,
- Untersuchung des Einsatzes alternativer Materialien, welche im Gegensatz zum Stand der Technik eine Kostenreduktion und/oder Lebenszeitverlängerung ermöglichen.

5.3.2 Inhaltliche Gliederung des Tasks

Die Aufgaben innerhalb des Annex 27 setzen sich aus folgenden Teilaufgaben zusammen.

Subtask 1: Systemanalyse für portable Brennstoffzellen

Das Ziel bestand darin, die vielfältigen und komplexen Herausforderungen im Brennstoffzellestapel und im ganzen Brennstoffzellensystem einerseits durch detaillierte Modellierung und Simulation von Massen- und Energietransport auf Basis von dreidimensionalen Strömungs- und Wärmeübertragungsberechnungen sowie andererseits auf Basis von System-Analyse für portable Anwendungen, z.B. Analyse des Energiebedarfs der Zusatzkomponenten, Wasser- und Wärmemanagement, etc., zu lösen.

Für den Betrieb, die Lagerung und den Transport von portablen Brennstoffzellen wurden in der internationalen Zusammenarbeit Informationen über Vorschriften und Regelungen gesammelt.

Subtask 2: System-, Stack- und Zell-Entwicklung für portable Brennstoffzellen

In dieser Teilaufgabe wurden verschiedene Betriebskonzepte für portable Systeme, z. B. Kaltstartkonzepte, dynamische Lastverhalten usw. untersucht. Es wurden Design-Ziele für portable Systeme sowie ein Vergleich mit vorhandenen Technologien, wie Lithium-Ionen-Akkus oder Batterien, erarbeitet und die Ableitung von Spezifikationen für Stacks und Systeme ausgewertet. Des Weiteren wurden auch Brennstoffspeicher-Konzepte für die spezifischen Anforderungen von portablen Anwendungen untersucht. In diesem Rahmen wurden DMFC-Systeme mit einer Zuführung von flüssigem Brennstoff an der Anode untersucht und ebenso die Verwendung von Mikro-Reformer-Systemen zu Herstellung von Wasserstoff aus Kohlenwasserstoffen.

Subtask 3: Haltbarkeit der Werkstoffe unter Betriebsbedingungen / Innovative Materialien

Es werden Stack- und Systemtests im Hinblick auf Leistung, Effizienz und Lebensdauer durchgeführt. Im Wesentlichen wurden dabei Kostenaspekte, z. B. Verwendung von billigen und einfach zu verarbeitenden Materialien, berücksichtigt.

Die folgenden Institutionen und Unternehmen beteiligen sich in Annex 27:

- Technische Universität Graz, Brennstoffzellenlabor, Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik (Österreich)
- DRDC Defence Research and Development Canada – Atlantic, Halifax (Kanada)
- NRC ICPET Institute for Chemical Process and Environmental Technology, Ottawa (Kanada)
- Forschungszentrum Jülich (Deutschland)
- FWB Kunststofftechnik (Deutschland)
- Fraunhofer Institut Chemische Technologie, Pfinztal (Deutschland)
- CNR-ITAE – Institute of Advanced Energy Technologies, Messina (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

Von österreichischer Seite wurden im Rahmen dieses Annexes im Wesentlichen die Herstellungsmöglichkeiten von Wasserstoff aus Bioethanol untersucht.

Derzeit wird beinahe die gesamte Energie, die im Transportsektor verwendet wird, direkt oder indirekt aus nicht erneuerbaren Quellen – den fossilen Brennstoffen – gewonnen, wodurch es zur Freisetzung großer Mengen an Treibhausgasen kommt. Die Verknappung der Reserven an fossilen Brennstoffen, sowie deren geopolitische Lage führt zu Bedenken hinsichtlich der Sicherheit der Energieversorgung. Das definierte Ziel der Verringerung der Treibhausgasemissionen in Kombination mit der Steigerung der Energieeffizienz hat ein großes Interesse an alternativen Energietechnologien und an erneuerbaren Brennstoffen, wie Bioalkohol, Methan aus Biogas, Biodiesel und Wasserstoff hervorgerufen.

Wasserstoff-Brennstoffzellen sind gegenwärtig die vielversprechendsten Systeme für die effiziente Stromproduktion, da sie deutlich umweltverträglicher als herkömmliche thermische Maschinen sind. Erdgas ist bis heute die wichtigste Quelle für Wasserstofferzeugung, aber es gibt ein großes Interesse an der Entwicklung alternativer Methoden zur Erzeugung von Wasserstoff durch den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen. Unter diesen Energieträgern erweist sich Ethanol wegen seines hohen Wasserstoffgehalts, der Verfügbarkeit, der Ungiftigkeit und der Sicherheit bezüglich Lagerung und Handhabung als sehr attraktiv [L 18]. Zusätzlich kann Bio-Ethanol der 2. Generation aus nachwachsender Lignozellulose-Biomasse, wie Energiepflanzen, landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Reststoffen oder organischen Abfällen hergestellt werden. Dieser Prozess ist mit wesentlich geringeren CO₂-Emissionen verbunden als die Methan-Dampfreformierung und besteht aus der Photolyse von Lignozellulose, der Produktion von Ethanol, der Reformierung von Ethanol zu Wasserstoff mit anschließender Verstromung in der Brennstoffzelle.

Die weltweite Bedeutung von Ethanol als erneuerbarer Treibstoff lässt sich an der Steigerung der Ethanolproduktion darstellen. Während im Jahr 2007 weltweit rund 50 Mio. t/Jahr Ethanol hergestellt wurden, hat sich im Jahre 2009 die Produktion auf rund 74 Mio. Liter um 50 % gesteigert [L 19].

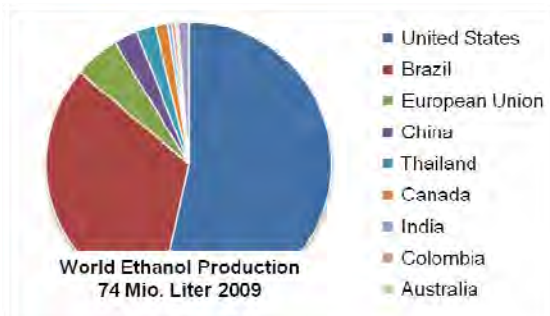


Abbildung 16: Weltweite Ethanolproduktion [L 19]

Ethanol wird von vielen Regierungen, allen voran den USA, aber auch von China, als wesentlicher Treibstoffersatz mit hohem CO₂-Reduktionspotenzial eingestuft.

Vor diesem Hintergrund ist auch die Verwendung von Ethanol als Treibstoff für Brennstoffzellen zu betrachten. Wasserstoff für Brennstoffzellen muss letztendlich CO₂-neutral produziert werden, damit sich die Brennstoffzellentechnologie gegenüber der herkömmlichen Technologie durchsetzen kann. In Abbildung 17 sind die klimarelevanten Emissionen und Treibstoffherstellungskosten unterschiedlicher Treibstoffe dargestellt. Die Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbarem Strom, wie Wind, Solarthermie und Photovoltaik, könnten geringste CO₂-Emissionen ermöglichen, allerdings sind die Herstellungskosten um den Faktor 1,5 – 3 höher als für herkömmliche Treibstoffe. Ethanol ermöglicht im Vergleich zu fossilen Treibstoffen eine Wasserstoffherzeugung mit stark reduzierten CO₂-Emissionen.

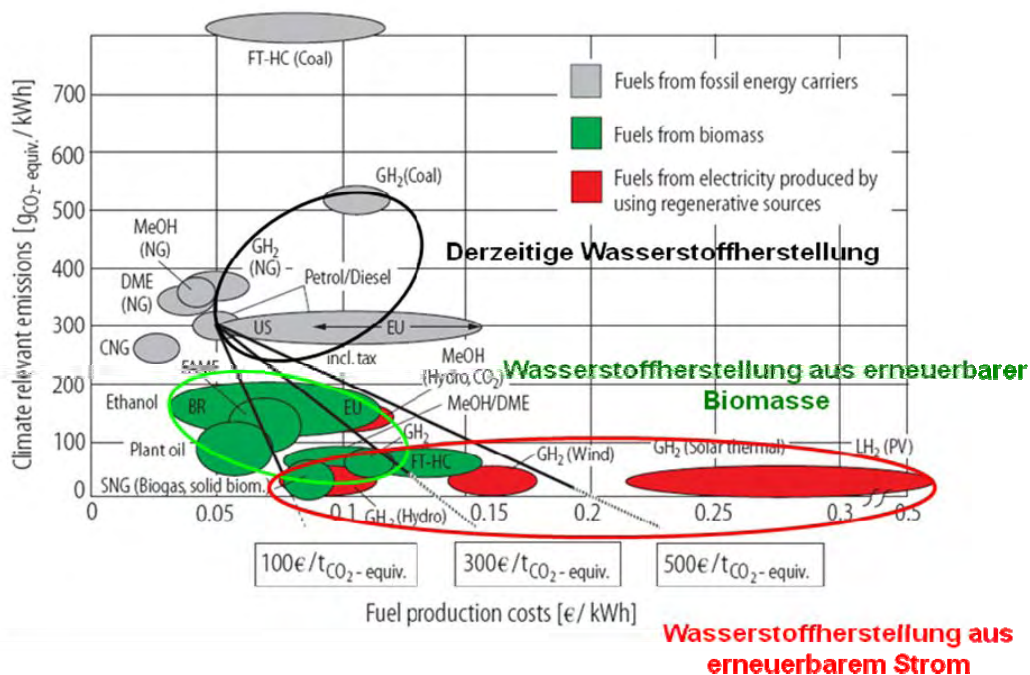


Abbildung 17: Klimarelevante Emissionen und Treibstoffherstellungskosten [L 20]

Der Vorteil einer Umsetzung von Ethanol in einem Reformer-Brennstoffzellensystem im Vergleich zu einer Umsetzung in einer Verbrennungskraftmaschine ist in Abbildung 18 dargestellt. Der höhere Wirkungsgrad der Brennstoffzelle ermöglicht trotz der zusätzlichen Wandlungsverluste im Reformer insgesamt eine um ~50 % höhere Energieausnutzung im Vergleich zur Verbrennungskraftmaschine. Ein weiterer Vorteil der Verwendung von flüssigen Treibstoffen im Vergleich zu reinem Wasserstoff besteht in der hohen Energiespeicherdichte von flüssigen Treibstoffen. Ein Vergleich des Systemvolumens und -gewichts für einen Tank mit Energieinhalt eines 50 l Benzinäquivalents ist in Abbildung 19 dargestellt.

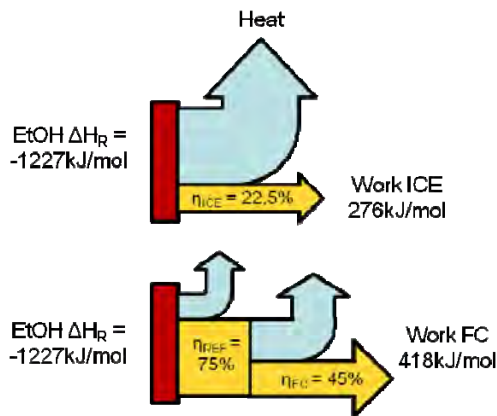


Abbildung 18 Vergleich der Energieerzeugung von Ethanol in einer Verbrennungskraftmaschine und einem Reformer-Brennstoffzellensystem [L 21]

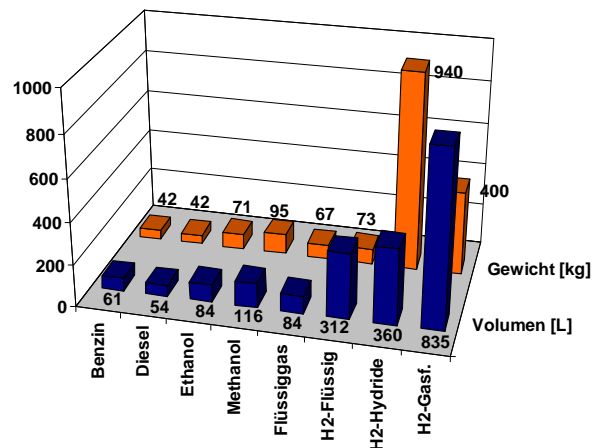


Abbildung 19 Vergleich der volumetrischen und gravimetrischen Speicherdichten unterschiedlicher Treibstoff und Tankkonzepte (Basis ist Energieinhalt von 50 l Benzin) [L 22]

Der Bedarf an Wasserstoffherzeugung aus erneuerbaren Kraftstoffen, wie Ethanol, macht es notwendig, die Reformierung für Brennstoffzellensysteme im Bereich von einem bis einigen 100 kW zu untersuchen:

- a) Entwicklung neuer Reaktorstrategien, welche Reformer mit hoher Leistungsdichte ermöglichen. Es ist nicht möglich, die bestehende Technologie der Methandampfreformierung aus der Chemieindustrie- und dem Raffineriebereich im MW-Bereich, auf kleinere Leistungen herunter zu skalieren und damit kompakte und kostengünstige Brenngaserzeugungseinheiten zu ermöglichen.
- b) Entwicklung neuer Katalysatoren für die Ethanolreformierung, da keine kommerziellen Katalysatoren zur Verfügung stehen. Die notwendigen neuen Reaktorconfigurationen für Reformer mit hoher Leistungsdichte machen es notwendig, hochaktive Katalysatoren mit einer hohen Lebensdauer zu verwenden. Ein Katalysatortausch während des Reformers-Lebenszyklus ist infolge der integrierten Konstruktion keine Option.

Das Forschungsprojekt beschäftigte sich mit der Entwicklung eines mikrostrukturierten Kraftstoffprozessors zur Ethanolreformierung.

Die wesentlichen Themen waren:

- Einrichtung einer Versuchsanlage zur Untersuchung der Ethanol-Reformierung auf Katalysatorpulver sowie in mikrostrukturierten Reaktoren

- Prozessgasanalyse
- Untersuchung der Thermodynamik der unterschiedlichen Reformierungsverfahren
- Katalysatorentwicklung, da es keine kommerziellen Katalysatoren für Ethanol-Dampfreformierung gibt.
- Beschichtung von Mikrostrukturen
- Untersuchungen im mikrostrukturierten Reaktor

5.3.4 Ergebnisse

Thermodynamik des Ethanolreformierungsprozesses [L 23]

Die Thermodynamik der unterschiedlichen Ethanolreformierungsverfahren:

- Dampfreformierung,
- partielle Oxidation und
- autotherme Reformierung

wurden ausführlich hinsichtlich Produktgaszusammensetzung, Wasserstoffausbeute, Kohlenstoffbildung und Energiebedarf untersucht.

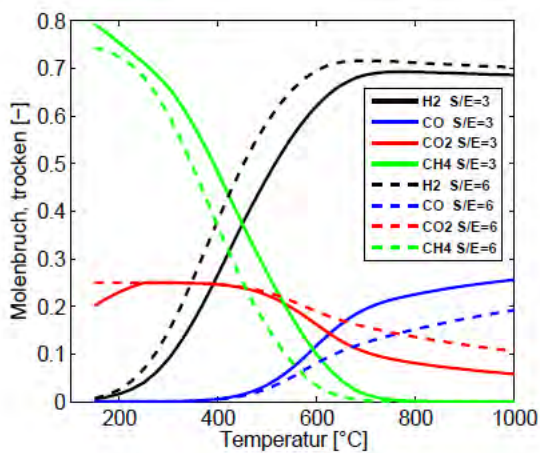


Abbildung 20 Produktzusammensetzung des Reformats in Molanteilen auf trockener Basis für die Dampfreformierung mit einem Dampf-zu-Ethanol Verhältnis von $S/E = 3$ und 6 , Sauerstoff-zu-Ethanol Verhältnis $O/E = 0$ und atmosphärischen Druck.

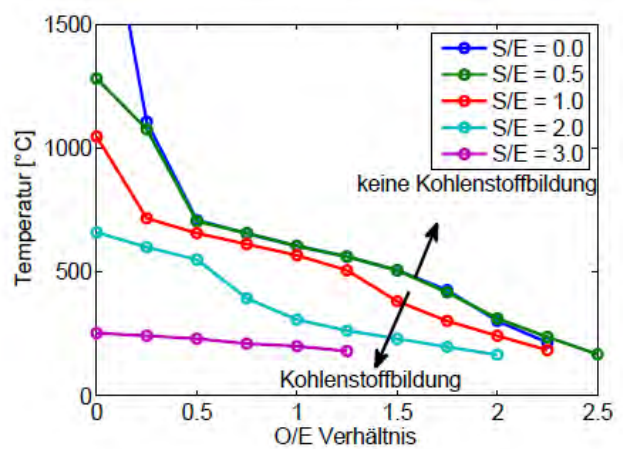


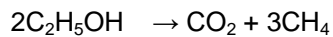
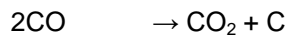
Abbildung 21 Kohlenstoffbildungsgrenze für die Ethanol Dampfreformierung, Partielle Oxidation und Autotherme Reformierung als Funktion des Dampf-zu-Ethanol S/E (mol $H_2O/mol EtOH$) und Sauerstoff-zu-Ethanol-Verhältnisses O/E (mol $O_2/mol EtOH$)

In Abbildung 20 sind die thermodynamisch stabilen Produkte der Ethanolampfreformierung über die Temperatur dargestellt.

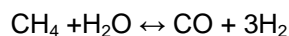
Ethanol ist im gesamten Temperaturbereich thermodynamisch instabil und zerfällt. Die Ergebnisse lassen sich im Wesentlichen durch die Ethanolzersetzung, die Boudouard-Reaktion und die Kohlen-

stoffhydrierung im niederen Temperaturbereich und der Methanreformierung und der Wassergas-Shiftreaktion im höheren Temperaturbereich darstellen.

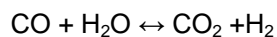
Ethanolzersetzung



CH₄-Reformierung



Wassergas-Shift Reaktion



Die Thermodynamik zeigt, dass relative hohe Temperaturen notwendig sind, um das Zwischenprodukt Methan zu aktivieren und Wasserstoff daraus zu erzeugen. Auf der anderen Seite verschiebt sich das Wassergas-Shift-Gleichgewicht bei höheren Temperaturen in Richtung von höheren CO-Gehalten. Dieser Effekt sollte tunlichst vermieden werden, da ein höherer CO-Gehalt gesteigerte Anforderungen an die nachfolgenden Shift-Stufen stellt.

Ein wesentlicher Aspekt ist die Kohlenstoffbildung, welche in Abbildung 21 für die unterschiedlichen Reformierungsvarianten dargestellt ist. Im Wesentlichen kann man durch Erhöhung des atomaren Sauerstoffgehalts (O₂ und/oder H₂O) im Reformat und durch Erhöhung der Temperatur die Kohlenstoffbildung minimieren.

Die wesentliche Aussage der Analyse besteht darin, dass nur H₂, CO, CO₂ und CH₄ thermodynamisch stabil sind und Zwischenkomponenten, welche in Reaktionsuntersuchungen auftreten, wie z.B. Acetaldehyd, Aceton oder Ethylen als instabile Zwischenstufen der katalytischen Reaktion aufzufassen sind.

Eine Zusammenfassung der Produktgaszusammensetzung und des Energiebedarfs der unterschiedlichen Reformierungsverfahren ist in Tabelle 19 dargestellt. Die Partielle Oxidation, welche zwar reaktionstechnisch einfach zu gestalten ist, zeigt gänzlich ungünstige Eigenschaften. Infolge der Energiezufuhr über die Verbrennung des Eduktgases erzeugt man einen Prozessenergieüberschuss. Allerdings kommt es infolge des fehlenden Wassers im Edukt nur zu einer geringen Wasserstoffausbeute und somit ist das Verfahren in Bezug auf die erzeugte Wasserstoffmenge am energieintensivsten. Der hohe CO-Gehalt birgt hohe Anforderungen an die nachfolgende Shift-Stufe und die Luftzufuhr bedingt einen hohen Inertgasanteil im Reformat.

Tabelle 19: Produktgaszusammensetzung, Wasserstoff-zu-Kohlenmonoxid-Verhältnis und Energiebedarf der Dampfreformierung (SR), Partiellen Oxidation (POX) und Autothermen Reformierung (ATR) und Produktgaszusammensetzung nach Durchlaufen einer Wassergas-Shift-Stufe (WGS) [L 21]

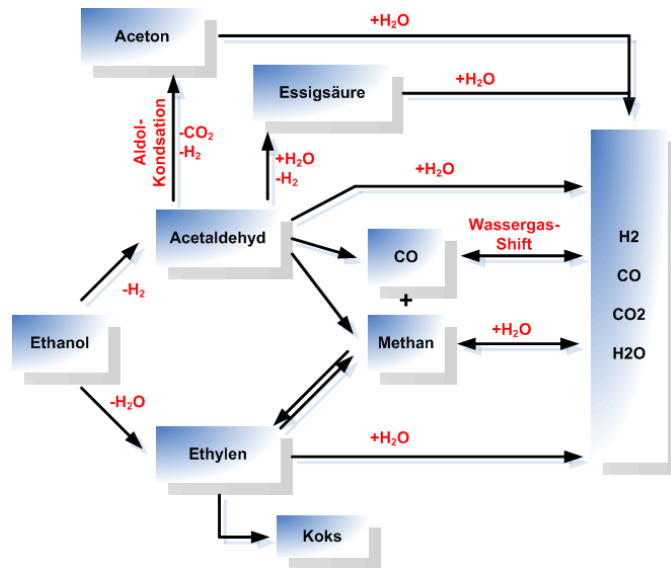
T = 650°C	POX	POX	SR	SR	ATR	ATR
	O/E = 1	+ WGS	S/E = 4	+ WGS	S/E = 3, O/E = 0,25	+WGS
H ₂ [%]	27,8	37,6	68,9	72,7	49,1	54,5
CO [%]	15,7	20ppm	14,0	20ppm	11,7	20ppm
CO ₂ [%]	7,7	20,2	14,5	25,0	13,3	22,4
CH ₄ [%]	1,6	1,4	2,6	2,3	1,1	1
N ₂ [%]	47,3	40,8	0,0		24,7	22,1
H ₂ /CO	1,8		4,9		4,2	
Prozessenergiebedarf [kJ/kmolH ₂]	-84		97		53	
Totaler Energiebedarf [kJ/kmolH ₂]	471		375		360	

Die Dampfreformierung ermöglicht einen sehr hohen Wasserstoffgehalt im Reformat und benötigt im Vergleich zur autothermen Reformierung nur etwas mehr Energie. Die autotherme Reformierung ermöglicht einen technisch einfacheren Reaktor im Vergleich zur Dampfreformierung, da nicht die vollständige Prozesswärme von außen eingekoppelt werden muss und dadurch der Reformier kleiner gebaut werden kann. Nachteilig bei der autothermen Reformierung ist der hohe Inertgasanteil, welcher das Reformat verschlechtert. Ein Vorteil der autothermen Reformierung ist die geringere Kohlenstoffbildung (POX >> SR > ATR).

Katalysatoruntersuchungen [L 21, L 24]

Co-Metall wurde als Katalysator gewählt, da es eine hohe C-C Bindungsspaltungsaktivität aufweist; Ru-Metall, da es das billigste Metall mit Edelmetalleigenschaften ist. CeO₂ wurde als Trägermaterial gewählt, da es ein Sauerstoffaustauschmaterial ist und damit Sauerstoff aus der CeO₂ Oberfläche an den katalytischen Prozess abgeben kann und sich durch Wasserspaltung wieder rückoxidieren kann. Damit sollte CeO₂ die Wassergas-Shift-Reaktion und die Gasifizierung von CH_x-Fragmenten zu CO unterstützen, sowie die Bildung von Kohlenstoff reduzieren.

Das Reaktionsnetzwerk der Ethanolreformierung ist in Abbildung 22 dargestellt. Es gibt im Wesentlichen zwei Hauptreaktionswege: Dehydratisierung zu Ethylen (auf saueren Oberflächen) und Dehydrierung zu Acetaldehyd (auf basischen Oberflächen).



Reaktion	Bez.	Gleichung
Reformierung mit Wasserüberschuß	R1	$C_2H_5OH + 3H_2O \rightarrow 2CO_2 + 6H_2$
Reformierung mit Wasserdefizit	R2	$C_2H_5OH + H_2O \rightarrow 2CO + 4H_2$
EtOH-Zersetzung	R3	$C_2H_5OH \rightarrow CH_4 + CO + H_2$
Dehydrierung	R4	$C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4O + H_2$
Acetaldehyd Zersetzung	R5	$C_2H_4O \rightarrow CH_4 + CO$
Acetaldehyd Reformierung	R6	$C_2H_4O + H_2O \rightarrow 3H_2 + 2CO$
Dehydratisierung	R7	$C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$
Koksbildung	R8	$C_2H_4 \rightarrow \text{polymerische Ablagerungen (Koks)}$
Aldolkondensation	R9	$C_2H_4O \rightarrow C_3H_6O + CO_2 + H_2$
Aceton-rekombination	R10	$2 C_2H_5OH \rightarrow C_3H_6O + CO + 3H_2$
Methanisierung	R11	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$
	R12	$CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2 H_2O$
Methan-Zersetzung	R13	$CH_4 \rightarrow 2H_2 + C$
Boudouard Reaktion	R14	$2CO \rightarrow CO_2 + C$
Wassergas-Shift Reaktion	R15	$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$
Methandampf-Reformierung	R16	$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$

Abbildung 22: Reaktionsnetz der Ethanolreformierung

Der Einfluss verschiedener Herstellungsmethoden von Co/CeO₂-Katalysatoren auf die katalytische Aktivität und Kohlenstoffbildung wurde untersucht. Dabei wurden die Parameter Dispersion des katalytisch aktiven Materials und Oberfläche des Supportmaterials durch die Katalysatorherstellungsmethode variiert.

- Imprägnationsmethode – IW: Standard in der Katalysatorherstellung, CeO₂ mit Minimum an Wasser und Co(NO₃)₂ imprägniert
- Kofällung – CPR: Lösung mit 0,1 molare Ce(NO₃)₂ und 0,1 molare Co(NO₃)₂ wird mit 1 molarer Na₂CO₃ Lösung tropfenweise versetzt bis pH = 8. Die Ausfällungen wird für 3hr gealtert, gefiltert und zur Na-Entfernung gewaschen.
- Solution Combustion Synthese – SCS: Glyzin als Oxidant, das Verhältnis Glyzin/Gesamtmetallkationen = 1,8 wird leicht überstöchiometrisch gewählt, Aufheizen auf Wärmeplatte 240°C, bis Selbstzündung eintritt.

Die Katalysatoren wurden charakterisiert und dabei zeigte sich folgendes Bild:

Co-Kristallitgröße	SCS ≈ IW > CPR
CeO ₂ -Kristallitgröße	SCS > IW > CPR
BET-Oberfläche	SCS < IW < CPR

Entsprechend der Charakterisierung der Katalysatoren, sollte der Kofällungskatalysator CPR die besten katalytischen Eigenschaften und der Solution-Combustion-Synthese-Katalysator SCS die schlechtesten Eigenschaften haben.

Dies zeigte sich auch im Reduktionsverhalten der Katalysatoren. Wesentlich ist auch das Reduktionsverhalten der CeO₂ Oberfläche. Dies läuft mit in der Reihenfolge SCS>IW>CPR bei immer niedrige-

ren Temperaturen ab und kann damit dem katalytischen Prozess schon bei niedrigen Temperaturen mit Sauerstoff unterstützen, siehe Abbildung 23.

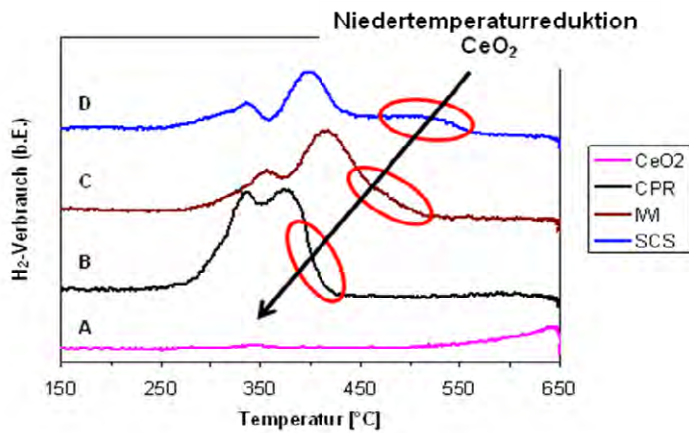


Abbildung 23: Temperaturprogrammierte Reduktion unterschiedlicher 10%Co/CeO₂ Katalysatoren

Die Katalysatoren zeigten alle katalytische Aktivität und reagierten nach dem Dehydrierungsmechanismus zu Acetaldehyd und der geforderten Acetaldehyd-Reformierung zu CO₂ und H₂.

Der Kofällungskatalysator zeigte eine wesentlich höhere Aktivität als die beiden anderen Katalysatorherstellungsmethoden. Ein Umstand, der am Ethanolumsatz und der Wasserstoffausbeute (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25) erkennbar ist.

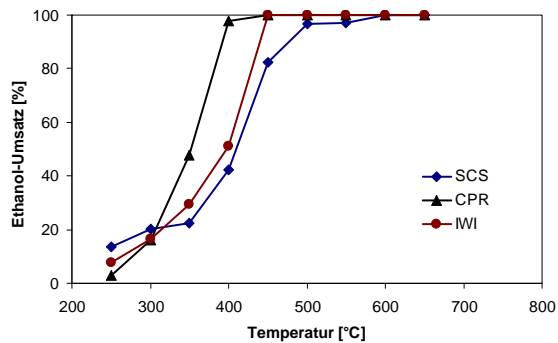


Abbildung 24: Ethanolumsatz über die Reaktionstemperatur. Reaktionsbedingungen: S/E = 6, WHSV = 3000 mlEtOH/gKath und atmosphärischer Druck

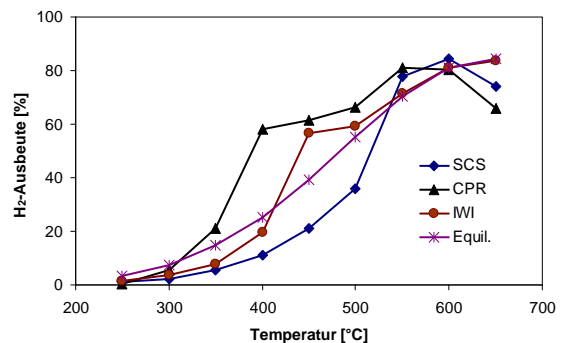


Abbildung 25: H₂-Ausbeute über die Reaktionstemperatur, Reaktionsbedingungen: S/E = 6, WHSV = 3000 mlEtOH/gKath und atmosphärischer Druck

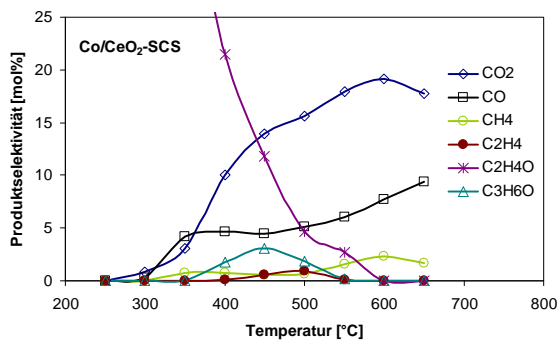


Abbildung 26: Produktzusammensetzung der Ethanolreformierung über nach Solution-Combustions-Synthese SCS hergestellte Co/CeO₂-Katalysatoren, Reaktionsbedingungen: S/E = 6, WHSV =3000 mlEtOH/gKath und atmosphärischer Druck

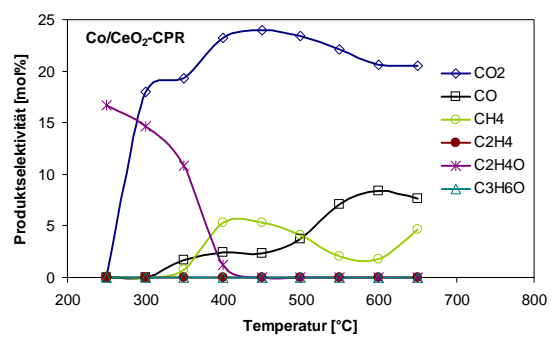


Abbildung 27: Produktzusammensetzung der Ethanolreformierung über nach Kofällungsmethode CPR hergestellte Co/CeO₂-Katalysatoren, Reaktionsbedingungen: S/E = 6, WHSV =3000 mlEtOH/gKath und atmosphärischer Druck

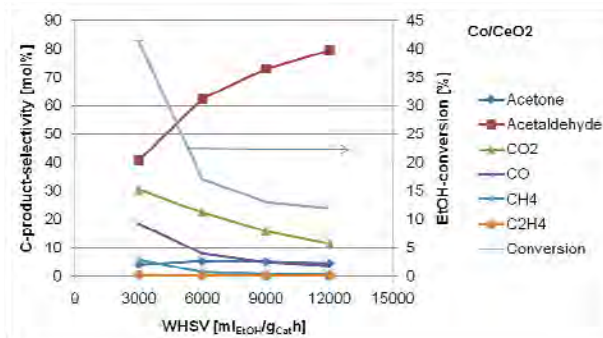


Abbildung 28: Einfluss der Verweilzeit auf die Aktivität und Selektivität des Co/CeO₂-CPR Katalysators, S/E = 6, T = 450°C

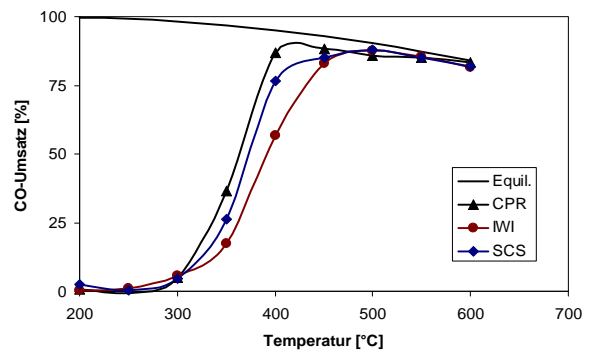


Abbildung 29: CO-Umsatz der Wassergas-Shift-Reaktion über verschiedene Co/CeO₂ Katalysatoren Reaktionsbedingungen: 200mg Katalysator, 10vol% CO, 20vol% H₂ and 70vol% H₂O, N₂-Verdünnung (Gasmischung / N₂) = 2, N₂-Fluss = 75Nml/min

Abbildung 26 und Abbildung 27 zeigen die Produktselektivitäten der Ethanolreformierung über den Kofällungskatalysator und den Solution-Combustion-Synthese Katalysator. Die Selektivitäten zeigen einen ähnlichen Verlauf, mit Dehydrierung zu Acetaldehyd und weitergehender Acetaldehyd-Reformierung zu CO₂ und H₂. Diese Abfolge ist aus den Selektivitätsdaten bei unterschiedlichen Verweilzeiten ersichtlich, siehe Abbildung 28. Die Acetaldehydzersetzung zu CH₄ und CO findet nicht statt und deshalb sind auf beiden Katalysatoren nur geringe CH₄-Selektivitäten ersichtlich. Der Kofällungskatalysator zeigt nur CH₄ als Nebenprodukt und der schlechtere Solution-Combustion-Synthese Katalysator zeigt im mittleren Temperaturbereich auch die Nebenprodukte Aceton und Ethen. Die Wassergas-Shift-Reaktion ist auf allen drei Katalysatoren aktiv, siehe Abbildung 29 und auch hier zeigt der Kofällungskatalysator die beste Leistung.

Ein wesentlicher Aspekt der Verwendbarkeit der Katalysatoren im geplanten Reformersystem ist deren Standzeit und Verkokungsanfälligkeit.

Ein interessantes Ergebnis ist, dass alle Katalysatoren bei $T \geq 500^\circ\text{C}$ stabile Umsätze über 12h Betrieb haben, obwohl es zu starker Kohlenstoffbildung kommt, siehe Abbildung 31. Bei niedrigeren Reaktionstemperaturen kommt es zu anfänglichen Aktivitätsverlusten und dann gleichbleibender Aktivität.

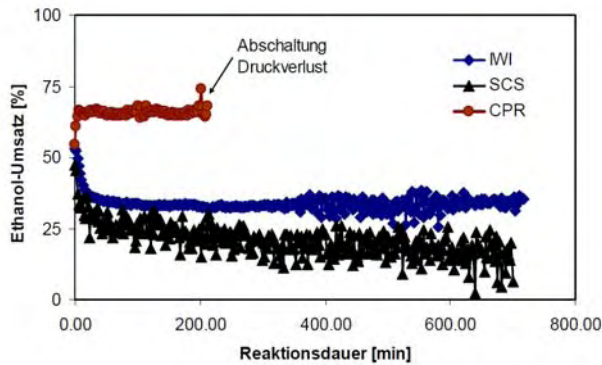


Abbildung 30: Katalytische Stabilität (EtOH-Umsatz) über 13h Versuchsdauer. Reaktionsbedingungen: S/E=6, 200 mg Katalysator, WHSV = 3000 mlEtOH/gKath

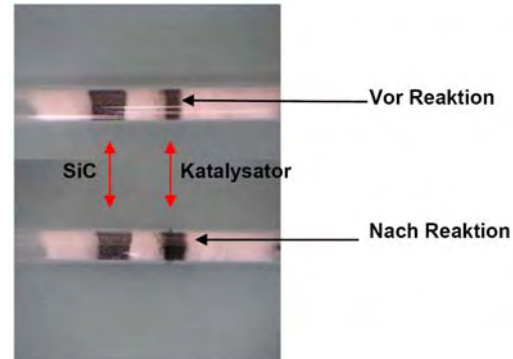


Abbildung 31: Ausdehnung des Co/CeO₂-CPR-Katalysators infolge Kohlenstoffbildung

Die Menge der Kohlenstoffablagerungen bei unterschiedlichen Reaktionstemperaturen wurde mittels einer temperaturprogrammierten Oxidation in einer TGA ermittelt. Die Ergebnisse nach einer Versuchsdauer von 13h sind in Abbildung 32 dargestellt. Die stärkste Kohlenstoffbildung wurde am Solution-Combustion-Synthese-Katalysator (SCS) gemessen. Der Kofällungskatalysator hingegen zeigt die geringste Kohlenstoffbildung, welche beinahe um einen Faktor 10 kleiner als die des SCS-Katalysators ist. Die Menge der Kohlenstoffablagerungen hängt sehr stark von der Reaktionstemperatur ab und das Maximum der Kohlenstoffbildung tritt für alle Katalysatoren im Bereich von 450–550°C auf. Eine Steigerung der Reaktionstemperatur über 600°C reduziert die Gefahr der Kohlenstoffbildung wesentlich.

Obwohl die Kohlenstoffbildung thermodynamisch unter den verwendeten Betriebsbedingungen (S/E = 6) nicht möglich sein sollte, siehe Abbildung 21, kommt es in Realität zu starker Kohlenstoffablagerung. Die thermodynamische Analyse kann die Kohlenstoffbildung im Reaktor nicht korrekt vorhersagen, da die Kohlenstoffbildung mit einer kinetischen Restriktion am katalytisch aktiven Zentrum in Bezug steht. Wenn Reaktionszwischenprodukte nicht schnell genug weiterreagieren und von der Oberfläche desorbieren, kann lokal der Reaktionsweg der festen Kohlenstoffbildung thermodynamisch favorisiert werden.

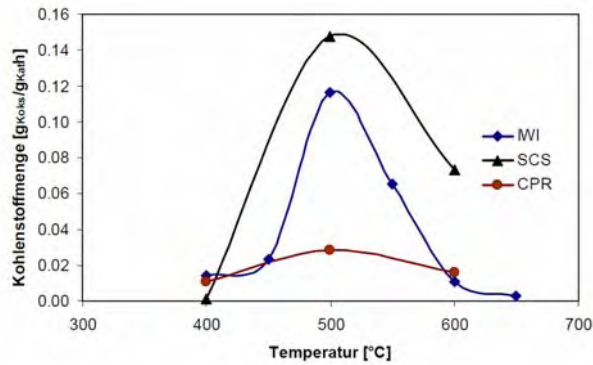


Abbildung 32: Kohlenstoffablagerung auf verschiedenen Co/CeO₂-Katalysatoren. Reaktionsbedingungen: S/E = 6, WHSV=3000 mlEtOH/gKath und atmosphärischer Druck

Die Morphologie der frischen und in der Ethanolreformierung benützten Katalysatoren wurde mittels Rasterelektronenmikroskopie REM untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 33 dargestellt. Die Kohlenstoffanlagerungen bestehen hauptsächlich aus Kohlenstofffilamenten. Für den Imprägnationskatalysator (IWI) und den Solution-Combustion-Katalysator (SCS) sind für die Versuche bei 400°C keine sichtbaren Kohlenstoffablagerungen vorhanden. Für den Kofällungskatalysator (CPR) konnten bei 400°C bereits Kohlenstofffilamente erkannt werden. Die Proben aus der Reaktion bei 500°C und 600°C zeigen für alle Katalysatoren Kohlenstofffilamente. Auf dem IWI-Katalysator sind bei höheren Reaktionstemperaturen zwei Filamentarten erkennbar – dicke lange und sehr kleine Fasern.

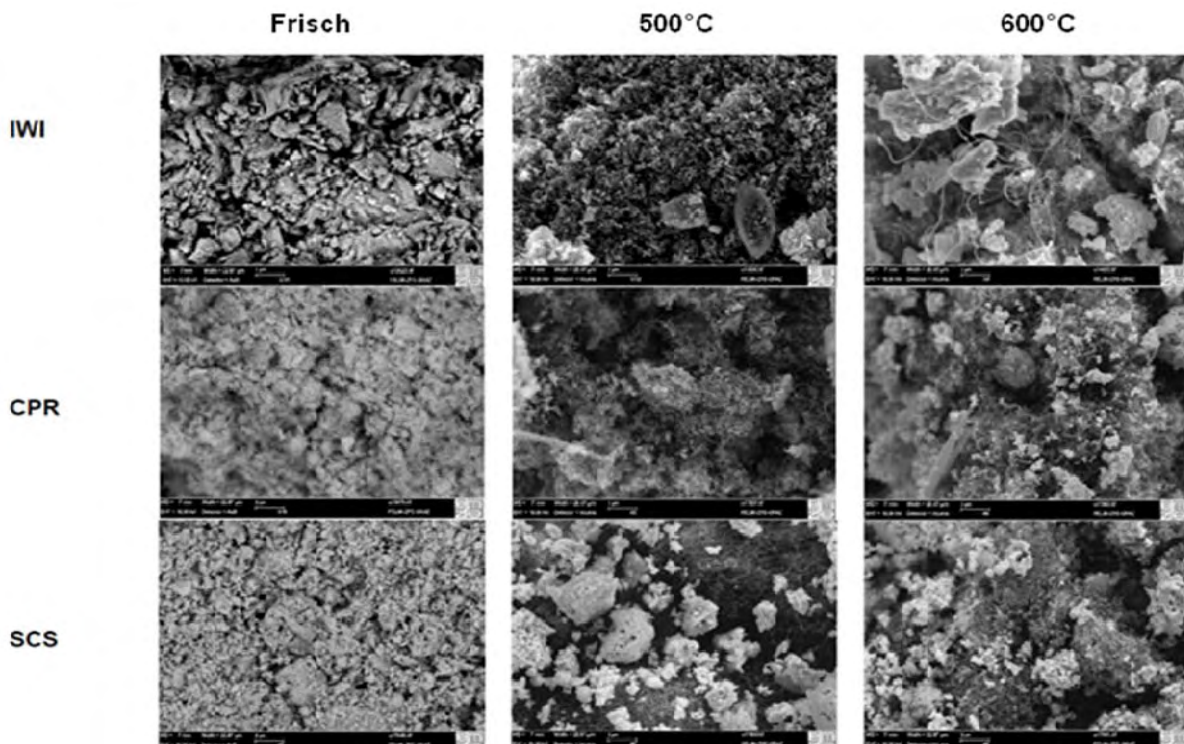


Abbildung 33: REM-Aufnahmen der verschiedenen Co/CeO₂-Katalysatoren: (A) frisch, (B) nach Reaktion bei 500°C, (C) nach Reaktion bei 600°C

Die Langzeittest bei $T=600^{\circ}\text{C}$ zeigten einen stabilen Betrieb mit hoher Wasserstoffausbeute und nur geringen Methankonzentrationen als Nebenprodukt, siehe Abbildung 34 und Abbildung 35.

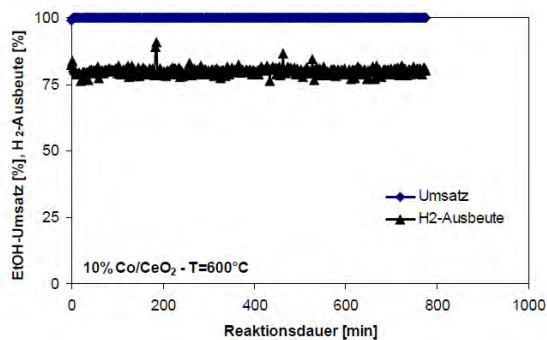


Abbildung 34: EtOH-Umsatz und H_2 -Ausbeute über die Reaktionsdauer für 10%Co/CeO₂-Katalysator, $T=600^{\circ}\text{C}$, $S/E=6$, $\text{WHSV} = 3000\text{NmlEtOH/gKath}$

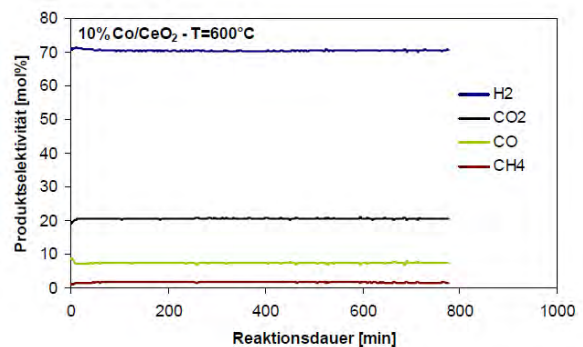


Abbildung 35: Produktzusammensetzung über die Reaktionsdauer für 10%Co/CeO₂-Katalysator, $T=600^{\circ}\text{C}$, $S/E=6$, $\text{WHSV} = 3000\text{NmlEtOH/gKath}$

Die Erklärung des katalytischen Reaktionsmechanismus und die Kohlenstoffbildung lässt sich am besten durch die Eigenschaften des Kobalts und des Ceriumoxid-Katalysatorträgers erklären.

Die Aktivierung der Ethanolreformierung beginnt durch die Adsorption und Dehydrierung von Ethanol. Der zweite Schritt ist die C-C-Bindungsspaltung, welche durch das Kobaltmetall bereits bei niedrigen Temperaturen katalytisch aktiviert ist.

Die C-C-Spaltung erzeugt nun ein CH_xO_y Fragment, welches ähnlich der Wassergas-Shift-Reaktion mit Wasser weiter zu CO_2 und H_2 reagiert. Das andere Fragment ist ein CH_3 -Fragment und entspricht eigentlich einem aktivierten Methanmolekül. Entsprechend Untersuchungsergebnissen aus der Methanreformierung erfolgt die weitere Reaktion durch eine sukzessive Dehydrierung bis zu elementarem Kohlenstoff. Die Gasifizierung des Kohlenstoffs wird durch die Sauerstoffabgabe des CeO_2 ermöglicht und dadurch ist das Ausmaß des Kohlenstoffbildung wesentlich durch die Sauerstoffaustauscheigenschaften des CeO_2 bedingt, siehe Abbildung 32 und Abbildung 23. Durch den Sauerstoff aus dem CeO_2 kommt es zur Bildung von CO_2 . Die reduzierte CeO_2 Oberfläche wird durch die Adsorption und Spaltung von Wasser wieder reoxidiert und die katalytische Oberfläche wieder in den Ausgangszustand versetzt.

Ist der Sauerstoffaustausch des CeO_2 gehemmt kommt es zur Kohlenstoffbildung. Die Ablagerungen erfolgen durch Aufwachsen von C-Nanofasern, welche das Partikel vom Träger abheben, aber die katalytische Oberfläche intakt lassen und dadurch eine starke Deaktivierung verhindern.

Die Kohlenstoffablagerungen sind sehr amorph und lassen sich einfach durch Erhöhung der Betriebstemperatur entfernen, da bei höheren Temperaturen der Sauerstoffaustausch von Ceriumoxid sehr stark aktiviert wird.

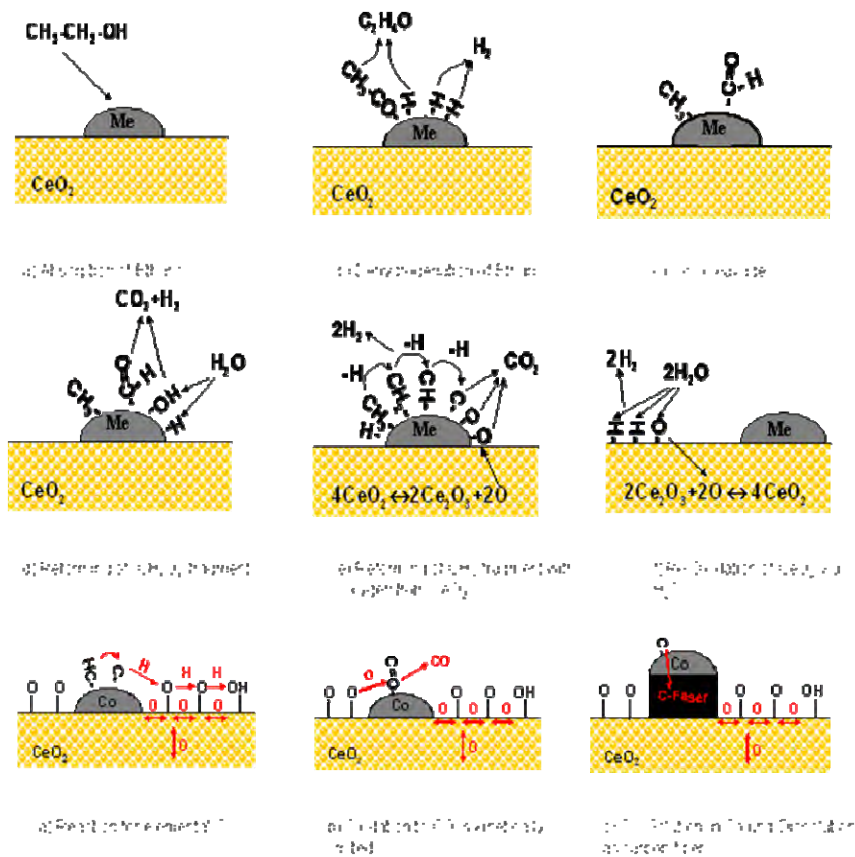


Abbildung 36: Reaktionsmechanismus und Kohlenstoffbildung

5.3.5 Fazit

Die österreichischen Beiträge in diesem Annex umfassten die Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energieträgern. Der Ethanolreformierungsprozess ist ein thermodynamisch bevorzugter Prozess. Hinsichtlich Wasserstoffausbeute und Reformatqualität sind die Varianten der Dampfreformierung und der autothermen Reformierung im Gegensatz zur Partiellen Oxidation zu bevorzugen.

Die Katalysatoruntersuchungen zeigten, dass die Materialpaarungen Co/CeO₂ optimale Varianten darstellen und kostengünstig im Vergleich zu Edelmetallkatalysatoren wie Rhodium sind. Durch das Verständnis des Reaktionsmechanismus können in weiterer Folge einerseits die Eigenschaften der Co/CeO₂ Katalysatoren durch optimierte Herstellungsprotokolle verbessert sowie Betriebsparameterbereich ermittelt werden, in welchen kein Kohlenstoff entsteht. Die Entwicklung des Reformersystems zur Herstellung von Wasserstoff aus Ethanol kann auf Basis dieser Ergebnisse begonnen werden.

Durch die Teilnahme in diesem Annex konnten die aktuellen Erfahrungen der Mitgliedsstaaten in der F&E ausführlich diskutiert werden. Diese Erfahrungen sind direkt in die laufenden Forschungsprojekte eingeflossen und haben auch zu weiteren internationalen Kontakten geführt. Ein Beispiel ist die Teilnahme von Österreich an der COST Action 543 „Bioethanol“.

6 Know-how-Transfer

Die Aktivitäten hatten einerseits zum Ziel, dass nationale Stakeholder über die Projektaktivitäten mittels Websites, Präsentationen und Veranstaltungen informiert werden, andererseits wurden österreichische Firmen bestmöglich in die Taskaktivitäten und beim nationalen Workshop eingebunden. Für die Dissemination auf internationaler Ebene wurde der Zwischenbericht in englischer Sprache verfasst (inkl. der Ergebnisse aus der Berichtsperiode 2007 und 2008) und verteilt, weiters wurden eine Reihe von Publikationen angefertigt und Posterpräsentationen durchgeführt. Nachfolgend die Aktivitäten im Detail:

- (i) Aktualisierung der Projekt-Website:
<http://www.energyagency.at/energiotechnologien/aktuelle-projekte/afc.html>
- (ii) Aktualisierung des Beitrags über das Implementing Agreement auf nachhaltigwirtschaften.at : (<http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/results.html/id3378>)
- (iii) Am 26. März 2009 fand in Wien das Meeting des Annex XIX „Fuel Cells for Stationary Applications“ in der Österreichischen Energieagentur statt. Am 27. März 2009 wurde das Meeting im Europäischen Zentrum für Erneuerbare Energien in Güssing fortgesetzt. Anschließend erfolgte eine Besichtigungstour des Biomassekraftwerks in Güssing. Die Organisation erfolgte durch die Österreichische Energieagentur; die Besichtigung wurde vom Inst. f. Verfahrenstechnik (TU Wien) und dem Europäischen Zentrum für Erneuerbare Energien unterstützt.
- (iv) Teilnahme am IEA Netzwerktreffen des BMVIT am 24. November 2009.
- (v) Der Zwischenbericht „IEA – Advanced Fuel Cells – Austrian Participation in the IEA Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells 2004 – 2008“ wurde in englischer Sprache verfasst; damit der Know-how-Transfer der österreichischen Aktivitäten auch international erfolgen kann; der Bericht wurde in der Schriftenreihe 42/2010 des BMVIT veröffentlicht:
http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea_pdf/endbericht_201042_iea_afc.pdf
- (vi) (Mit-)Veranstaltung der „International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells“ vom 26. August bis 30. September 2010 an der TU Graz in Zusammenarbeit mit der Yokohama National University Japan
- (vii) Organisation des Workshops „Advanced Fuel Cells, am 1. September 2010 an der Technischen Universität Graz
- (viii) Beiträge in Konferenzberichten und Printmedien:

Mohsin, M.; Hacker, V.: Life Time Investigation of Low Temperature Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. – In: Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, 3rd International Summer School. (2010), S. 171

Plörer, D.; Stadlhofer, A.; Hacker, V.: Determination of membrane degradation with respect on current distribution. – In: Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, 3rd International Summer School. (2010), S. 173

Plörer, D.; Stadlhofer, A.; Hacker, V.: Determination of current distribution at hydrogen starvation conditions. – In: Meeting Abstracts, 218th ECS Meeting [], 2010

Strasser, R.; Thaler, M.; Siebenhofer, M.; Hacker, V.: Visualization of liquid water transport in PEM fuel cells by neutron radiography. – In: Meeting Abstracts, 218th ECS Meeting [], 2010

Brandstätter, H.; Hacker, V.; Fouquet, N.; Ramschak, E.: Real-Time Diagnosis of the Operating State of Fuel Cells by Electrochemical Impedance Spectroscopy. – In: Meeting Abstracts, 218th ECS Meeting [], 2010

(ix) Posterpräsentationen:

Mohsin, M.; Hacker, V.: Life Time Investigation of Low Temperature Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. – In: Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, 3rd International Summer School, Graz, 26.08.2010.

Plörer, D.; Stadlhofer, A.; Hacker, V.: Determination of membrane degradation with respect on current distribution. – In: Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells, 3rd International Summer School, Graz, 26.08.2010.

Plörer, D.; Stadlhofer, A.; Hacker, V.: Determination of current distribution at hydrogen starvation conditions. – In: 218th ECS Meeting. Las Vegas, USA, 10.10.2010.

Strasser, R.; Thaler, M.; Siebenhofer, M.; Hacker, V.: Visualization of liquid water transport in PEM fuel cells by neutron radiography. – In: 218th ECS Meeting. Las Vegas, USA, 10.10.2010

Brandstätter, H.; Hacker, V.; Fouquet, N.; Ramschak, E.: Real-Time Diagnosis of the Operating State of Fuel Cells by Electrochemical Impedance Spectroscopy. – In: 218th ECS Meeting. Las Vegas, USA, 10.10.2010.

(x) Voraussichtliche Teilnahme am IEA Netzwerktreffen des BMVIT am 9. März 2011 in Wien

Weitere Details hinsichtlich der angeführten Publikationen finden sich im Tätigkeitsbericht.

International Summer School on Advanced Studies of Polymer Electrolyte Fuel Cells

Das Programm der Sommerakademie umfasste neben Design und Entwicklung von Brennstoffzellensystemen auch Themenbereiche der Elektrochemie, Thermodynamik, Kinetik und Katalyse. Das vorrangige Ziel der Veranstaltung war die Bereitstellung des theoretischen Backgroundwissens für die jungen WissenschaftlerInnen und die Schaffung einer Plattform des wissenschaftlichen Austausches in den interdisziplinären Wissenschaftszweigen.

Die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und der Wissenstransfer zwischen den ForscherInnen sind essentiell für eine Implementierung dieser neuen und umweltschonenden Technologie.

53 TeilnehmerInnen aus Deutschland, Finnland, Italien, Japan, den Niederlanden, Österreich, Tunesien, Türkei und aus Ungarn registrierten sich für die Sommerakademie. Schlussendlich nahmen 48

Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells (AFC)

StudentInnen an der dritten Internationalen Sommerakademie im Bereich der Wasserstoff- und Brennstofftechnologie teil. 5 Anmeldungen wurden zurückgezogen.

19 International anerkannte Experten im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie konnten für die Veranstaltung gewonnen werden und fungierten als Vortragende. Zusätzlich wurde für alle TeilnehmerInnen die Besichtigung der ersten österreichischen Wasserstoffabgabestelle organisiert. Das HyCentA (Hydrogen Center Austria) fördert die Nutzung von Wasserstoff als regenerativem Energieträger. Mit einem Wasserstoffprüfzentrum und der ersten österreichischen Wasserstoffabgabestelle fungiert das HyCentA als Kristallisationspunkt und Informationsplattform für wasserstoffbezogene Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.

7 Zusammenfassung

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);
- System- und Marktanalysen durchgeführt.

Derzeit beteiligen sich folgende 18 Länder an diesem Implementing Agreement: Australien, Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Italien, Japan, Kanada, Korea, Mexiko, Niederlande, Norwegen, Österreich, Schweden, Schweiz, Türkei und U.S.A.

Österreich ist mit Ende des Jahres 2004 offiziell dem Implementing Agreement beigetreten. Die Beteiligung sieht Aktivitäten in den Annexen 22 (PEFC), 25 (stationäre Applikationen) und 27 (portable Applikationen) vor. Die Ziele für diese Beteiligung sind wie folgt:

- Integration österreichischer Spitzenforschung in internationale FTE-Arbeitsschwerpunkte
- Internationale Arbeitsteilung bei Hochrisikoforschungen und bei kapitalintensiven Forschungs-/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.

Aus den Task-Teilnahmen leiten sich die folgenden Schlussfolgerungen ab.

Task 22: „Polymer Electrolyte Fuel Cells“

Die im Rahmen der österreichischen Forschungsprojekte erzielten Ergebnisse sind viel versprechend und wurden im Rahmen des Annexes intensiv diskutiert:

- Analyse der Membrandegradation durch Pinhole-Bildung

Die Pinhole-Bildung konnte in einem aufwändigen Forschungsprojekt überprüft und der Einfluss von Betriebsbedingungen auf die Haltbarkeit der Membran abgeleitet werden. Damit können Betriebsstrategien für Brennstoffzellen entworfen werden, welche die geringste Alterung erlauben.

- New Fuel Cell Monitoring THDA

Das neuartige elektrische Messverfahren eröffnet eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Kontrolle eines Brennstoffzellenstapels im Betrieb und zur Ableitung entsprechender Betriebsstrategien zum gefahrungsfreien Betrieb.

Die 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 und 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 Studenten und Teilnehmern aus der Industrie, zugänglich gemacht.

Task 25: "Fuel Cells for Stationary Applications"

Von österreichischer Seite wurden im Rahmen dieser Berichtsperiode die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Brennstoffzellen-Heizgeräten (Mikro-KWK-Anlagen) in Österreich untersucht. Neben Analysen hinsichtlich des Stands der Technik von Brennstoffzellen-Heizgeräten wurden Berechnungen hinsichtlich der Kosteneffizienz und ökologischen Vorteile im Vergleich zu konventionellen Heizsystemen basierend auf 5 repräsentativen Modellgebäuden (EFH: Neubau und Bestand; MFH: Neubau und Bestand, renoviertes Bürogebäude) durchgeführt.

Die Ergebnisse in den fünf Modellfällen sind ernüchternd: Unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen kann in keinem der fünf Modellfälle eine Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Auch die derzeit in Österreich gewährte inländische Umweltförderung führt zu keiner Amortisation. Erst eine Kombination von Förderungen (Investitionsförderung, Förderung der erzeugten elektrischen Energie) würde in den Modellfällen Mehrfamiliengebäuden (nach 10 bzw. 12 Jahren) und im renovierten Bürogebäude nach rund 8 Jahren eine Wirtschaftlichkeit ergeben. Diese Ergebnisse gelten nicht nur für Brennstoffzellen-Heizgeräte: Die Aussagen können generell auf Mikro-KWK-Anlagen übertragen werden. Ein etwaiges Förderinstrument in Österreich sollte in jedem Fall – neben der Investitionsförderung – auch die Förderung der erzeugten elektrischen Energie berücksichtigen. Dieses Förderinstrument müsste mit den Leitlinien der Gemeinschaft für staatliche Umweltschutzbeihilfen abgestimmt werden.

Für die Herstellerfirmen ergibt sich aus den Schlussfolgerungen, dass sowohl die Preise als auch die Instandhaltungskosten signifikant gesenkt werden müssen, um mit und(!) ohne Fördermaßnahmen einen Marktdurchbruch zu erreichen.

Die ökologischen Analysen zeigen, dass bei Verwendung von fossilen Energieträgern durch Brennstoffzellen-Heizgeräte in allen fünf Modellfällen signifikante Treibhausgas-Einsparungen (an die 80 % bei EFH und MFH, rund 17 % im Bürogebäude) und Reduktionen des kumulierten Energieaufwands (an die 50 % bei EFH und MFH, bzw. rund 14 % im Bürogebäude) im Vergleich zu konventionellen Heizsystemen erreicht werden können. Die Brennstoffzellen-Technologie kann somit einen erheblichen Beitrag zu Erreichung österreichischer Klimaziele erbringen bzw. generell einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten.

Die Teilnahme von Österreich an diesem Task ermöglichten Analysen, die „nur“ im Rahmen dieser Arbeitsgruppe möglich waren. Die Kosten der durchgeführten Feldtests in Deutschland und Japan – insbesondere mit den „lessons learned“ – müssen als sehr hoch eingestuft werden; de facto entlasten sie damit die Forschungsbudgets der anderen Länder.

Task 27: „Fuel Cells for Portable Applications“

Die österreichischen Beiträge in diesem Annex umfassten die Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energieträgern. Der Ethanolreformierungsprozess ist ein thermodynamisch bevorzugter Prozess. Hinsichtlich Wasserstoffausbeute und Reformatqualität sind die Varianten der Dampfreformierung und der autothermen Reformierung im Gegensatz zur Partiellen Oxidation zu bevorzugen.

Die Katalysatoruntersuchungen zeigten, dass die Materialpaarungen Co/CeO₂ optimale Varianten darstellen und kostengünstig im Vergleich zu Edelmetallkatalysatoren wie Rhodium sind. Durch das Verständnis des Reaktionsmechanismus können in weiterer Folge einerseits die Eigenschaften der Co/CeO₂-Katalysatoren durch optimierte Herstellungsprotokolle verbessert und weiters Betriebsparameterbereiche ermittelt werden, in welchen kein Kohlenstoff entsteht. Die Entwicklung des Reformersystems zur Herstellung von Wasserstoff aus Ethanol kann auf Basis dieser Ergebnisse begonnen werden.

Durch die Teilnahme in diesem Annex konnten die aktuellen Erfahrungen der Mitgliedsstaaten bei diesem F&E-Thema ausführlich diskutiert werden. Diese Erfahrungen sind direkt in die laufenden Forschungsprojekte eingeflossen und haben auch zu weiteren internationalen Kontakten geführt. Ein Beispiel ist die Teilnahme von Österreich an der COST Action 543 „Bioethanol“.

8 Literaturverzeichnis

- L 1 Liu H., Gasteiger H.A., Laconti A.B., Zhang J., Factors Impacting Chemical Degradation Of Perfluorinated Sulfonic Acid Ionomers. ECS Transactions; 2006, 1 (8), 283.
- L 2 Kinumoto T. et al., Durability of perfluorinated ionomer membrane against hydrogen peroxide. J. Power Sources, 2006, 158, 1222.
- L 3 Mittal V.O., Kunz H. R., Fenton J. M., Is H₂O₂ Involved in the Membrane Degradation Mechanism in PEMFC? Electrochem. and Solid-State Lett., 2006, 9, A299.
- L 4 Aoki M., Uchida H., Watanabe M., Novel evaluation method for degradation rate of polymer electrolytes in fuel cells. Electrochemistry Communications, Volume 7, Issue 12, December 2005, Pages 1434–1438.
- L 5 Qiao J., Saito M., Hayamizu K., Okada T., Degradation of Perfluorinated Ionomer Membranes for PEM Fuel Cells during Processing with H₂O₂. Electrochem. Soc., 2006, 153, A967.
- L 6 Atrazhev V., Burlatsky S.F., Cipollini N.E., Condit D.A., Erikhman N., Aspects of PEMFC Degradation. ECS Transactions, 2006, 1 (8), 239.
- L 7 Theiß, E.: Entwicklungsstand bei Brennstoffzellen-Heizgeräten. IKZ-ENERGY, (6/2009), S.50–53 http://www.baxi-innotech.de/fileadmin/user_upload/Pressespiegel/090918_IKZ_Energy.pdf (01.06.2010).
- L 8 Berg, J.: Callux, Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim – Informationen zum aktuellen Projektstand, März 2010. http://www.nowgmbh.de/fileadmin/user_upload/Strategierat/2010/12_Vollversammlung_NIP_Berg_Leuchtturm_Callux.pdf (14.06.2010).
- L 9 New Energy Foundation (Hrsg): FY 2008 Interim Annual Report – Progress Report on The Large-scale Stationary Fuel Cell Demonstration Project in Japan. April 2009 http://iea-hiaannex18.sharepointsite.net/Public/Selected%20Case%20Studies/Japan%20Residential%20FC%20Report_20091013.pdf (05.06.2010).
- L 10 Baxi Innotech GmbH: Presseinformation: Aufschwung in der Zielgeraden vor dem Markteintritt: Baxi Innotech zeigt deutlich Form auf der ISH, März 2009. http://www.baxi-innotech.de/fileadmin/user_upload/Presseinformationen/BI_Nachlese_ish2009_deu.pdf (Juni 2010).
- L 11 OIB, OIB Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz, April 2007 (http://www.oib.or.at/RL6_250407.pdf).
- L 12 Zach, F.: Simader. G.: Primärenergiefaktoren und damit verbundene THG-Emissionen in Österreich, Endbericht, Wien 2009.
- L 13 Statistik Austria (Hrsg.): Strom- und Gastagebuch 2008: Strom- und Gaseinsatz sowie Energieeffizienz österreichischer Haushalte – Auswertung Gerätebestand und Einsatz, Österreichische Energieagentur, Wien 2009.
- L 14 Österreichische Energieagentur (Hrsg.): Bewertung der Zielerreichung gemäß Energieeffizienz- und Energiedienstleistungsrichtlinie 2006/32/EG – Bottom-Up-Methoden. Wien 2009.

- L 15 Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2067, Blatt 1 – Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung. Berlin, September 2000.
- L 16 Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2067, Blatt 7 – Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen – Blockheizkraftwerke. Berlin, Dezember 1998.
- L 17 Austrian Energy Agency (Hrsg.): Raising the efficiency of new heating systems (BOILeff), Wien 2009.
- L 18 EU COST-Action 543, Research and Development of Bioethanol Processing for Fuel Cells, <http://www.oulu.fi/pyolam/COST54>.
- L 19 Licht F.O., zitiert in Renewable Fuels Association, Ethanol Industry Outlook 2008, 2009, and 2010, S. 16, 29, und 22. Verfügbar www.ethanolrfa.org/.
- L 20 Zuberbühler U., Why bio-fuels – An introduction into the topic and overview of different bio-fuel options, 2nd European Summer School on Renewable Motor Fuels, Agricultural University of Warsaw, 29–31 August 2007.
- L 21 Rabenstein G., Ethanolreformierung zur Wasserstoffproduktion für Brennstoffzellen, Dissertation Technische Universität Graz 2010.
- L 22 Ledjeff-Hey K., Mahlendorf F., Ross J., Brennstoffzellen, 2. Auflage, C. F. Müller Verlag, Heidelberg, DE, 2001.
- L 23 Rabenstein, G.; Hacker, V., Hydrogen for fuel cells from ethanol by steam-reforming, partial-oxidation and combined auto-thermal reforming: A thermodynamic analysis, Journal of Power Sources, Volume 185, pp 1293–1304, 2008.
- L 24 Rabenstein, G.; Hacker, V.; Siebenhofer, M., Decentralized Production of Renewable Hydrogen Based On Ethanol Using Co/CeO₂ Catalysts. Vortrag: AIChE Annual Meeting - Nashville, 2009.



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