

FTE von Brennstoffzellen für stationäre Energiesysteme und tragbare Kleingeräte

Strategiepapier

G. Simader

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

2/2002

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 Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
oder unter:

Projektfabrik Waldhör
Nedergasse 23, 1190 Wien
Fax 01 /36 76 151 - 11
Email: projektfabrik@nexta.at

Forschung und technologische Entwicklung von Brennstoffzellen für stationäre Energiesysteme und tragbare Kleingeräte

Strategiepapier

Arbeitstitel: Fuelcell - III

Günter Simader

Energieverwertungsagentur

Wien, Oktober 2001

Danksagung

Die E.V.A. dankt folgenden Personen für Ihre fundierten Beiträge und wertvollen Anregungen für diesen Bericht.

Dipl.-Ing. Dr. Gerhard Wolkerstorfer (STEWEAG)

Dipl.-Ing. Kurt Pollak (OMV)

Univ.-Prof. Dr. Karl Kordesch (Inst. f. Chem. Techn. Anorg. Stoffe, TU-Graz)

Dipl.-Ing. Dr. Viktor Hacker (Inst. f. Hochspannungstechnik, TU-Graz)

Univ.-Prof. Dr. Beate Reetz (Inst. für Wärmetechnik, TU-Graz)

Dipl.-Ing. Ulrich Hohenwarter (Inst. f. Wärmetechnik, TU-Graz)

Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Rauch (Inst. f. Verfahrenstechnik, TU-Wien)

Dr. Nils Stelzer (ECHEM)

Dipl.-Ing. Heinrich Wilk (Energie AG, Oberösterreich)

Dipl.-Ing. Dr. Andreas Markom (PROFACTOR)

Dipl.-Ing. Dr. Ewald Wahlmüller (PROFACTOR)

Dipl.-Ing. Marianne Haberbauer (PROFACTOR)

Dipl.-Ing. Christoph Panhuber (FRONIUS)

Dr. Wolfgang Glatz (Plansee AG)

Dr.-Ing. Martin Janousek (Plansee AG)

Gilles Lequeux (DG RESEARCH, EC Commission)

Dr. Georg Patay (Vaillant Österreich)

Dipl.-Phys. Gerhard Huppmann (MTU)

Dipl.-Ing. Markus Jenne (Sulzer Hexis AG)

Dipl.- Ing. Michael Zoglauer (TIWAG)

Dipl.-Ing. Dr. Ingrid Prohaska (BIT)

Dr. Gerhard Filip (MTU)

Dr. Heinz Nabielek (Forschungszentrum Jülich)

Dipl.-Ing. Doris Pollak (FFF)

Dipl.-Ing. Thomas Heissenberger (E-Control, vormals AFG)

Hans Nischkauer (E-Control, vormals Bundeslastverteiler)

Der Autor des Berichts möchte sich insbesondere bei Herrn DI Andreas Indinger (E.V.A.) für seine inhaltlichen Beiträge und bei Herrn Dr. Andreas Markom (PROFACTOR) für die Mitgestaltung des Kapitels 8 bedanken.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | <i>Executive Summary</i> | 9 |
| 2 | <i>Einleitung</i> | 11 |
| 3 | <i>Zur Technologie der Brennstoffzellen</i> | 13 |
| 3.1 | Allgemein | 13 |
| 3.2 | Die Brennstoffreformierung | 17 |
| 3.2.1 | Erzeugung eines wasserstoffreichen Gases | 19 |
| 3.2.2 | Prozessgas-Aufbereitung | 20 |
| 3.3 | Schematischer Aufbau einer Brennstoffzellen-Anlage | 21 |
| 3.4 | Brennstoffzellen-Typen | 22 |
| 3.4.1 | Die alkalische Brennstoffzelle (AFC) | 24 |
| 3.4.2 | Die Protonenelektrolytmembran-Brennstoffzelle (PEFC)..... | 26 |
| 3.4.3 | Die phosphorsaure Brennstoffzelle (PAFC) | 37 |
| 3.4.4 | Die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC) | 42 |
| 3.4.5 | Die oxidkeramische Brennstoffzelle (SOFC) | 48 |
| 3.4.6 | Die Direktmethanol-Brennstoffzelle (DMFC)..... | 58 |
| 3.5 | FTE-Status von Brennstoffzellen-Systemen für typische Produktapplikationen .. | 59 |
| 3.6 | Benchmark – Konventionelle Systeme | 63 |
| 3.7 | FTE Bedarf bei Brennstoffzellen-Systemen | 66 |
| 4 | <i>Internationale Brennstoffzellen FTE Programme</i> | 68 |
| 4.1 | Fünftes Rahmenprogramm für FTE der Europäischen Union | 68 |
| 4.1.1 | Kurzfristige Zielvorhaben: „Brennstoffzellen für spezifische Einsatzbereiche“ | 72 |
| 4.1.2 | Mittel- bis langfristig angelegte Zielvorhaben; „Brennstoffzellen und H ₂ “ | 73 |
| 4.2 | Sechstes Rahmenprogramm für FTE der Europäischen Union | 74 |
| 4.3 | Weitere nationale europäische Brennstoffzellen-Programme | 74 |
| 4.3.1 | Brennstoffzellen-Programme in Deutschland..... | 75 |
| 4.4 | Programme der USA | 78 |
| 4.4.1 | Forschung und Entwicklung | 78 |
| 4.4.2 | Demonstrationsprojekte..... | 81 |
| 4.5 | Japanische FTE Aktivitäten | 81 |
| 4.5.1 | Forschung und Entwicklung..... | 82 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 4.5.2 | Demonstrationsprojekte..... | 83 |
| 4.6 | International Energy Agency (IEA) – Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells | 83 |
| 4.6.1 | Task XI: Polymer Electrolyte Fuel Cells..... | 84 |
| 4.6.2 | Task XII: Fuel Cell Systems for Stationary Applications | 84 |
| 4.6.3 | Task XIII: Solid Oxide Fuel Cells | 84 |
| 4.6.4 | Task XIV: Molten Carbonate Fuel Cells towards Demonstration..... | 85 |
| 4.6.5 | Task XV: Fuel Cell Systems for Transportation | 85 |
| 5 | <i>Rahmenbedingungen für stationäre Energiesysteme in Österreich.....</i> | 87 |
| 5.1 | Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen und Einsatzpotentiale für Brennstoffzellen-Systeme in Österreich..... | 87 |
| 5.2 | Trend zu erneuerbaren Energieträgern | 93 |
| 5.2.1 | Forcierung von erneuerbaren Energieträgern für die Stromerzeugung in Österreich..... | 93 |
| 5.2.2 | Europarechtliche Vorgaben | 94 |
| 5.2.3 | Erneuerbare Energieträger und Brennstoffzellen | 95 |
| 5.3 | Einsatzfelder von Brennstoffzellen-Systemen | 98 |
| 5.4 | Betreiber von Brennstoffzellen-Systemen..... | 100 |
| 5.5 | Genehmigung von Mikro- und Mini-BHKW Systemen in Österreich | 103 |
| 5.5.1 | Gewerbliches Betriebsanlagenrecht..... | 105 |
| 5.5.2 | Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz..... | 105 |
| 5.5.3 | Grenzwertempfehlungen für Genehmigungsverfahren in Österreich..... | 106 |
| 6 | <i>Brennstoffzellen für tragbare Anwendungen.....</i> | 108 |
| 6.1 | Allgemein..... | 108 |
| 6.2 | Relevante Brennstoffzellen-Typen | 108 |
| 6.3 | Alternative Brennstoffe für Kleingeräte..... | 108 |
| 6.3.1 | Wasserstoff..... | 109 |
| 6.3.2 | Reformierung kohlenstoffstämmiger Brennstoffe..... | 110 |
| 6.3.3 | Direktverstromung von Alkoholen..... | 110 |
| 6.4 | Benchmark: Batterien und Akkumulatoren | 110 |
| 6.5 | Nutzeranforderungen für Energieversorgungssysteme von Kleingeräten | 111 |
| 6.6 | Technischer Vergleich zwischen Brennstoffzelle und Akkumulator | 112 |
| 6.7 | Kosten für die Energieversorgungssysteme von Kleingeräten | 114 |
| 6.8 | Ökologische Aspekte..... | 115 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 6.8.1 | Energiebereitstellung | 115 |
| 6.8.2 | Betrieb | 115 |
| 6.8.3 | Entsorgung..... | 115 |
| 6.9 | Marktperspektiven | 115 |
| 7 | <i>Brennstoffzellen-relevante Forschungs- und Technologieinstrumentarien in Österreich.....</i> | 117 |
| 7.1 | Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF)..... | 117 |
| 7.2 | Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft (FFF) | 118 |
| 7.3 | Der Innovations- und Technologiefonds..... | 120 |
| 7.4 | Impulsprogramm: Nachhaltig Wirtschaften..... | 120 |
| 7.5 | ERP-Fonds..... | 121 |
| 7.6 | Kommunalkredit Austria AG | 121 |
| 7.7 | K plus | 122 |
| 7.8 | Förderung von industriellen Kompetenzzentren und Kompetenznetzwerken (K _{ind} /K _{net}) | 124 |
| 7.9 | Christian Doppler Forschungsgesellschaft (CDG) | 124 |
| 7.10 | Österreichisches Energieforschungs- und –technologiekonzept..... | 125 |
| 8 | <i>Rolle von österreichischen KMU für die Produkt- und Komponentenentwicklung von Brennstoffzellen-Systemen.....</i> | 127 |
| 8.1 | Situation und Struktur österreichischer KMU | 127 |
| 8.2 | Österreichische Instrumente für die Technologie- und Innovationsförderung ... | 129 |
| 8.3 | Europäische Instrumente für die Technologie und Innovationsförderung von KMU | 130 |
| 8.4 | Technologieförderung für Kleine und Mittlere Unternehmen – Exploratory Awards und Co-operative Research (CRAFT) | 131 |
| 8.5 | Beispiel für eine erfolgreiche Beteiligung österreichischer KMU in europäischen Forschungsprojekten an Hand der Firma PROFACTOR..... | 132 |
| 8.6 | Mögliche Ansätze zur Forcierung von österreichischen KMU für stationäre Brennstoffzellen Systeme [L 82] | 133 |
| 8.6.1 | Innovationskampagne durch Information mit Zielrichtung KMU..... | 133 |
| 8.6.2 | Prozessorientierte Forschungs- und Innovationsförderung | 133 |
| 8.6.3 | Technologieparks und Demonstrationsprojekte | 134 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.6.4 | Kombination und Förderung bestehender technologischer Stärken als Eintrittskarte | 134 |
| 9 | Österreichische FTE Aktivitäten im Bereich „Brennstoffzellen für stationäre Systeme“ | 135 |
| 10 | Empfehlungen..... | 142 |
| 11 | Zusammenfassung..... | 145 |
| 12 | Literatur | 150 |
| 13 | Abbildungsverzeichnis..... | 155 |
| 14 | Tabellenverzeichnis | 158 |

1 EXECUTIVE SUMMARY

Die dynamische Entwicklung zu einer globalisierten Weltwirtschaft hat zu einer verstärkten Konkurrenz einzelner Volkswirtschaften geführt. Im Wettbewerb zwischen den weltweiten Wirtschaftsstandorten ist Forschung und technologische Entwicklung ein wesentlicher Faktor zur Stärkung der eigenen nationalen Position. Gerade ein wirtschaftlich derart entwickeltes Land wie Österreich kann nur durch verstärkte Forschung, Entwicklung und Innovation einen Vorsprung gegenüber anderen Volkswirtschaften erreichen.

Die Brennstoffzellen-Technologie repräsentiert eines der Zukunftsthemen, die einerseits in den letzten Jahren international sehr an Gewicht zulegen konnte, die andererseits in der nationalen FTE-Landschaft nicht eindeutig positioniert sind. Weltweite Entwicklungsanstrengungen großer Unternehmen und umfangreiche staatliche Förderprogramme dokumentieren die Erwartung, dass mit dem Einsatz der Brennstoffzelle erhebliche Marktpotenziale erschlossen sowie Problemlösungen in der Energiewirtschaft, im Verkehrssektor und bei Kleingeräten gefunden werden können. Der vorliegende Bericht versucht, ein speziell für Österreich möglichst realistisches, umfassendes und differenziertes Bild vom Stand der Entwicklung der Brennstoffzelle für stationäre Energiesysteme und für Kleingeräte zu geben. Dabei sollte dieses Bild einerseits Basis für die öffentlichen/industriellen Entscheidungsträger sein, das Thema „Brennstoffzelle“ neu für die österreichische Forschungslandschaft zu bewerten und zu positionieren, andererseits den vielen „stake holders“ als gute Informationsquelle für ihre weiteren Aktivitäten dienen.

Von den Brennstoffzellen-Entwicklungsfirmen werden zur Zeit die folgenden Applikationen für den Einsatz in stationären Energiesystemen entwickelt:

- (i) Brennstoffzellen-Heizgeräte für Ein- und Mehrfamilienhäuser bzw. für den industriellen/gewerblichen Sektor (z.B. kleine Hotels, Gasthäuser, etc.);
- (ii) Blockheizkraftwerke für öffentliche, industrielle/gewerbliche Applikationen (z.B. Krankenhäuser, Telekommunikationszentren, größere Hotelanlagen, etc.);
- (iii) Kombianlagen bestehend aus Brennstoffzellen und Gasturbine (vorwiegend für industrielle Anwendungen und für EVUs);
- (iv) Notstromanlagen bzw. Inselsysteme.

In Österreich werden eine Vielzahl von Brennstoffzellen-Aktivitäten durchgeführt. Die Grundlagenforschung konzentriert sich auf Niedertemperatur-Brennstoffzellen, auf Gasaufbereitungssysteme und auf SOFC Stackkomponenten. Diese stehen zum Teil noch am Anfang, zum Teil wurde bestehendes Know-how aus anderen Wissensgebieten erfolgreich auf die Entwicklung von Systemkomponenten der Brennstoffzelle transferiert bzw. weiterentwickelt. Das Engagement der EVUs/GVUs bei der angewandten Forschung spielt bei der Marktüberführung von Demonstrationsprojekten hin zu kommerziellen Produkten eine entscheidende Rolle, die in Österreich von den Firmen Energie AG, TIWAG, STEWEAG/ESTAG und der AFG wahrgenommen wird.

Für die zukünftigen österreichischen Brennstoffzellen-Aktivitäten werden folgende Zielsetzungen empfohlen:

- (i) Einbindung bestehender und Aufbau von österreichischer Spitzenforschung durch Beteiligungen an internationalen Aktivitäten (z.B. Teilnahme an IEA-relevanten Implementing Agreements, EU-Programmen, etc.);

- (ii) Stärkung der angewandten Forschung im Hinblick auf mittelfristige wirtschaftliche Umsetzung in neuen oder bestehenden Unternehmen (mit speziellem Fokus auf die Einbindung österreichischer KMU);
- (iii) Stärkung/Forcierung der Grundlagenforschung unter Nutzung nationaler bestehender Instrumente auf hohem wissenschaftlichen Niveau.

Für die Erreichung obiger Zielsetzungen wird eine Bündelung bzw. Vernetzung österreichischer FTE Aktivitäten zum Aufbau einer kritischen Masse (Zusammenarbeit zwischen universitärer/-außeruniversitärer Wissenschaft und Wirtschaft) empfohlen, die mittels einer möglichst nachhaltigen Struktur beispielsweise in Form eines oder mehrerer Cluster erzielt werden kann. Die Analyse der österreichischen FTE Landschaft hat ergeben, dass bis dato die österreichischen horizontalen FTE Instrumente (wie FWF, FFF, etc.) für nationale Projekte nur sehr vereinzelt in Anspruch genommen wurden und das Potenzial bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist. Für den nationalen Know-how Aufbau sollte die Nutzung dieser Instrumente verstärkt in Anspruch genommen werden. Internationales Know-how, welche durch IEA- bzw. EU-Beteiligungen aufgebaut werden, könnten hierzu maßgeblich beitragen. Ähnliche Strukturen haben in den letzten Jahren in Deutschland zu beachtlichen Erfolgen bei der Weiterentwicklung des Themas „Brennstoffzelle“ geführt.

2 EINLEITUNG

Die dynamische Entwicklung zu einer globalisierten Weltwirtschaft hat zu einer verstärkten Konkurrenz einzelner Volkswirtschaften geführt. Im Wettbewerb zwischen den weltweiten Wirtschaftsstandorten ist Forschung und technologische Entwicklung ein wesentlicher Faktor zur Stärkung der eigenen nationalen Position. Gerade ein wirtschaftlich derart entwickeltes Land wie Österreich kann nur durch verstärkte Forschung, Entwicklung und Innovation einen Vorsprung gegenüber anderen Volkswirtschaften erreichen. Zentrales Ziel der österreichischen Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik muss es daher sein, durch gesteigerte FTE-Leistungen¹ die Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen Wirtschaft zu stärken und wesentlich zur Lösung gesellschaftlicher Probleme beizutragen sowie durch Schaffung langfristiger, hochqualifizierter Arbeitsplätze hierfür notwendiges Humanpotenzial aufzubauen bzw. abzusichern.

Technologische Hoffnungspotenziale an die internationale Spitze heranzuführen bzw. die Forcierung von Themenfeldern, die in unserem zukünftigen Energiesystem in der einen oder anderen Form einen positiven Beitrag leisten werden, können als wichtige Elemente für zukünftiges Wirtschaftswachstum und für den Ausbau der Wettbewerbsstärke österreichischer Unternehmen in anspruchsvollen und qualitativ hochwertigen Marktsegmenten eingestuft werden.

Die Brennstoffzellen-Technologie repräsentiert eines der Zukunftsthemen, die einerseits in den letzten Jahren international sehr an Gewicht zulegen konnte, die andererseits in der nationalen FTE-Landschaft nicht eindeutig positioniert sind. Weltweite Entwicklungsanstrengungen großer Unternehmen und umfangreiche staatliche Förderprogramme dokumentieren die Erwartung, dass mit dem Einsatz der Brennstoffzelle erhebliche Marktpotenziale erschlossen sowie Problemlösungen in der Energiewirtschaft, im Verkehrssektor und bei Kleingeräten gefunden werden können.

Der vorliegende Bericht versucht, ein speziell für Österreich möglichst realistisches, umfassendes und differenziertes Bild vom Stand der Entwicklung für stationäre Energiesysteme und für Kleingeräte zu geben. Dabei sollte dieses Bild einerseits Basis für die öffentlichen/industriellen Entscheidungsträger sein, das Thema „Brennstoffzelle“ neu für die österreichische Forschungslandschaft zu bewerten und zu positionieren,

¹ FTE ist die Abkürzung für Forschung und technologische Entwicklung.

andererseits den vielen „stake holders“ als gute Informationsquelle für ihre weiteren Aktivitäten dienen.

Der Bericht ist folgendermaßen aufgebaut. Nach der Einleitung in Kapitel 1 wird in Kapitel 2 die Technologie der Brennstoffzelle und die damit in Verbindung stehenden Applikationen für den Einsatz in stationären Energiesystemen vorgestellt. Der FTE-Status der verschiedenen brennstoffzellen-basierten Applikationen, zu erfüllende Benchmarks bei der Markteinführung und der FTE-Bedarf für die weiteren FTE Aktivitäten hin zu kommerziellen Systemen bilden einen wesentlichen Bestandteil dieses Abschnitts.

In Kapitel 3 werden die weltweiten Brennstoffzellen-Programmeaktivitäten (Europa mit Schwerpunkt Deutschland, USA, Japan und der IEA) angeführt. Kapitel 4 geht auf die österreichischen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen (inkl. der europäischen Vorgaben wie der Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt) ein. Aktuelle Trends in der österreichischen Kraftwerkswirtschaft, die Rolle von Erneuerbaren Energieträgern, die Einsatzfelder von Brennstoffzellen in den verschiedenen industriellen/gewerblichen/öffentlichen Sektoren, Motivationslagen für Betreibergesellschaften und die bei Errichtung derartiger Anlagen notwendigen Genehmigungsverfahren bilden die zentralen Elemente dieses Kapitels.

Kapitel 5 skizziert die Anwendungen von Brennstoffzellen für Kleingeräte wie Notebooks, Camcorder, Handys, etc. Prognosen der Analysten für die Entwicklung des weltweiten Marktes für tragbare elektronische Geräte sind sehr positiv. Vorausgesetzt die Brennstoffzelle erreicht bzw. übertrifft die Benchmarks der bis dato zum Einsatz kommenden Akkumulatoren, könnte dieses Marktsegment das erste sein, in dem die Brennstoffzelle implementiert werden können.

Die Instrumente für die Durchführung von österreichischen FTE Aktivitäten in Bezug auf Brennstoffzellen werden in Kapitel 6 angeführt. Kapitel 7 zeigt eine Übersicht der österreichischen Akteure und Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzellen für stationäre Anwendungen. Kapitel 8 – das zentrale Kapitel für die weitere Ausrichtung des Themenfelds in Österreich – gibt Empfehlungen für die Neupositionierung des Brennstoffzellen-Themas für Österreich. Kapitel 9 fasst den Bericht zusammen.

3 ZUR TECHNOLOGIE DER BRENNSTOFFZELLEN

3.1 Allgemein

Die Arbeitsweise einer Brennstoffzelle ist mit der Umkehrung der Elektrolyse des Wassers vergleichbar. Während bei der Elektrolyse durch Zufuhr von elektrischer Energie das Wassermolekül in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird, reagieren in einer Brennstoffzelle H_2 und O_2 unter Abgabe von elektrischer und thermischer Energie zu Wasser.

Der prinzipielle Aufbau einer Brennstoffzelle ist in Abbildung 1 dargestellt. Es gibt mehrere Typen von Brennstoffzellen. Unabhängig vom Typ besteht eine Brennstoffzelle aus zwei Elektroden, einer Anode und einer Kathode, die durch einen gasundurchlässigen, protonenleitenden Elektrolyten voneinander getrennt sind. Die Elektroden hingegen besitzen eine poröse Struktur und sind damit gasdurchlässig.

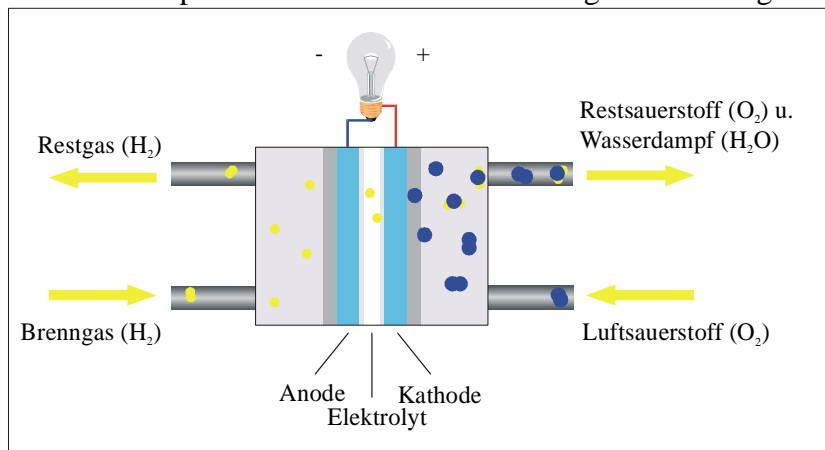


Abbildung 1 Schematischer Aufbau einer Brennstoffzelle (Quelle: E.V.A.)

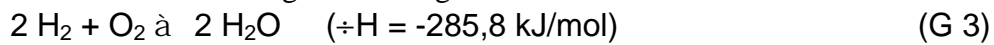
An die Anode wird Wasserstoff antransportiert, von dem ein Teil wie folgt reagiert:²
 $H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2 e^-$ (G 1)

Die Elektronen (e^-) fließen über den Stromkreis zur Kathode und verrichten dabei elektrische Arbeit. Die Protonen (H^+) wandern durch den Elektrolyten zur Kathode. An der Kathode wird der Sauerstoff nach folgender Gleichung umgesetzt:

² Die angeführten Elektrodenreaktionen sind Beispiele und gelten für die Brennstoffzellen mit saurem Elektrolyten (z.B. PEMFC und PAFC). Die Charakterisierung der verschiedenen Brennstoffzellen-Typen wird im Abschnitt 3.4 auf Seite 22 durchgeführt.



Als Bruttoreaktion ergibt sich folgende exotherme Reaktion:

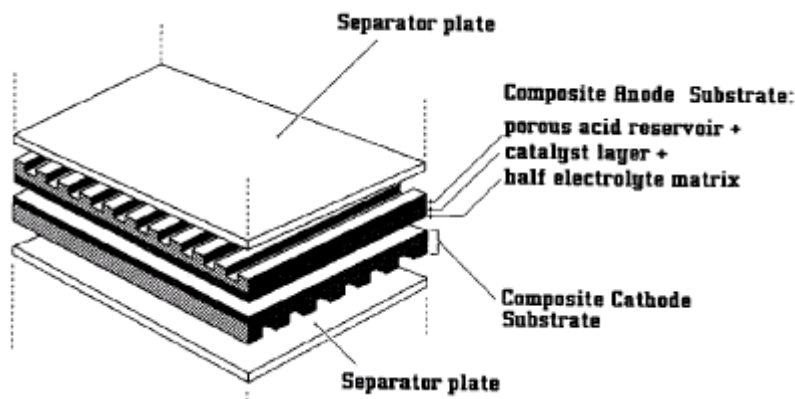


Von der Kathode wird der überschüssige Sauerstoff und der Wasserdampf abgeleitet. Der nicht umgesetzte Wasserstoff an der Anode kann zurückgeführt werden.

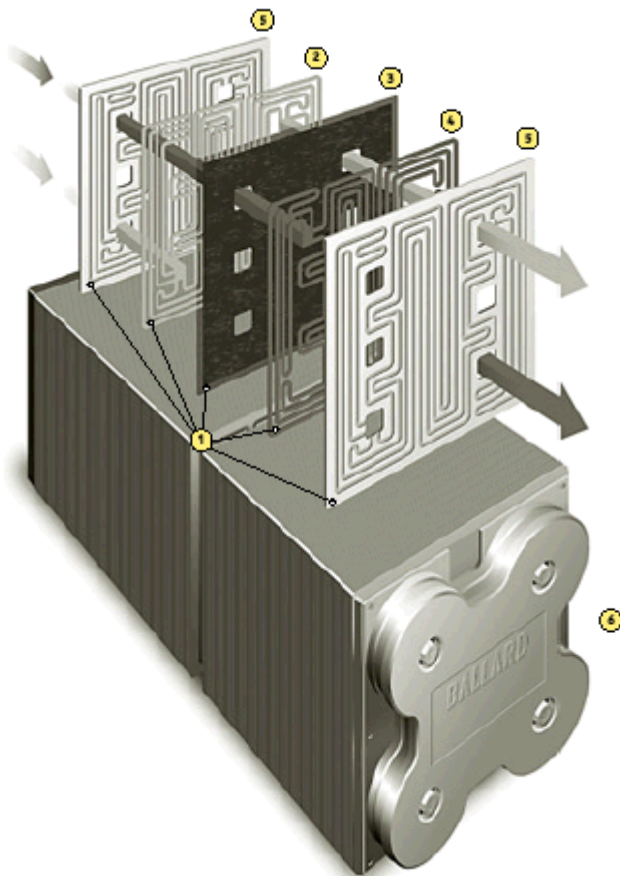
Die theoretische Leerlaufspannung einer H_2/O_2 -Zelle beträgt bei Raumtemperatur 1,23 V und sinkt mit steigender Zelltemperatur. Um höhere Spannungen und Leistungsdichten zu realisieren, werden Zellen in Serie zum sogenannten Zellstapel³ geschaltet (siehe hierzu Abbildung 2 und Abbildung 3).

Abbildung 2 Oben: Konzeptionelles Design einer sich wiederholenden Brennstoffzellen-Einheit basierend auf einer phosphorsauren Brennstoffzelle (Quelle: [L 8])

Unten: Integrative Darstellung von sich wiederholenden PEFC-Brennstoffzellen-Einheiten in einem Brennstoffzellen-Stack (Quelle: [L 9])



³ In diesem Bericht wird für den Brennstoffzellen-Stack die übliche eingedeutschte englische Bezeichnung „stack“ verwendet.



- 1 Detailansicht von Komponenten einer Brennstoffzellen
- 2 Wasserstoff Strömungsfeld (integriert in der bipolaren Platte)
- 3 MEA – Membran-Elektroden-Einheit
- 4 Luft Strömungsfeld (integriert auf der bipolaren Platte)
- 5 Bipolare Platten
- 6 Brennstoffzellen-Sequenz zusammengefasst in einem Stack



Abbildung 3 Beispiel für einen technisch realisierten 75 kW Brennstoffzellen-Stack von Ballard Power Systems (Mark 900)⁴ [Quelle: Ballard Power Systems,

⁴ Der „Mark 900“ Stack wurde mit möglichst billigen („from the self“) Materialien/Werkstoffen gebaut und ist konzipiert für die Serienfertigung im Automobilbau. Der Mark 900 Stack ist gekennzeichnet durch eine hö-

Inc.]

Wird elektrische Arbeit verrichtet, so verringert sich die Leerlaufspannung durch den inneren elektrischen Widerstand der Zelle. Die Abhängigkeit der Spannung bzw. der Leistung von der Stromdichte wird in Form von Strom/Spannungs- bzw. Leistungskurven, den typischen Kennlinien von Brennstoffzellen-Systemen zum Ausdruck gebracht (siehe Abbildung 4).

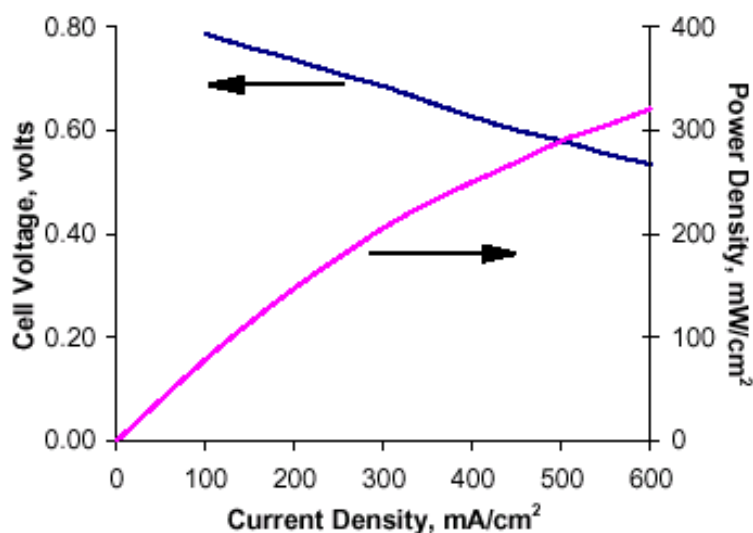
Der Anteil an Brennstoffenthalpie, der nicht in elektrische Energie umgewandelt werden kann, wird in thermische Energie umgesetzt und durch Kühlung vom Brennstoffzellen-Stapel⁵ abgeführt.

Abbildung 4 Abbildung einer Strom-/Spannungskurve bzw. Strom-/Leistungskurve⁶ einer Brennstoffzelle (Quelle: [L 8])

Cell Voltage steht für Zellspannung [U, Einheit: Volt];

Current density für Stromdichte [I, Einheit: mA/cm²];

Power Density steht für Leistungsdichte [P, Einheit: mW/cm²]



Die tatsächlich realisierbare Zellspannung bzw. Leistung einer Brennstoffzelle wird durch die folgenden Betriebsparameter beeinflusst: (i) Temperatur, (ii) Druck, (iii) Gaszusammensetzung, (iv) Reaktantausnutzung und (v) Stromdichte. Weitere Faktoren sind: (i) Unreinheiten in den Reaktanten, (ii) eingesetzte Materialien/Komponenten, (iii) Alterungsprozesse der Komponenten/Zelle und (vi) die Lebensdauer der Zelle (siehe Abbildung 5).

here Leistung (75 kW) und einen kompakteren Aufbau als alle bisher der Öffentlichkeit vorgestellten Brennstoffzellen-Stacks.

⁵ Kühlplatten sind integrativer Bestandteil eines Brennstoffzellen-Stacks. Abhängig vom Brennstoffzellentyp werden diese sequentiell (beispielsweise ist jede 4./5. Zelle ist durch eine Kühlplatte ersetzt) in den Stack eingebaut. Bei Brennstoffzellen, die einen flüssigen Umlaufelektrolyten beinhalten, wird die Wärme mittels diesem System abgeführt („Thermal Management“).

⁶ Leistungsdichte P ist das Produkt aus Spannung U und Stromdichte.

In einem realen Brennstoffzellen-System kann durch Vorgabe von bestimmten physikalischen Betriebsparametern zu einem bestimmten Grad der Leistungsoutput vorgegeben werden (siehe Abbildung 5). Die vorgegebenen Betriebsparameter für jeden Stack jedes Brennstoffzellen-Typs müssen optimiert werden und stellen sehr oft einen Kompromiss zwischen Wirkungsgrad, Lebensdauer und Kosten dar.

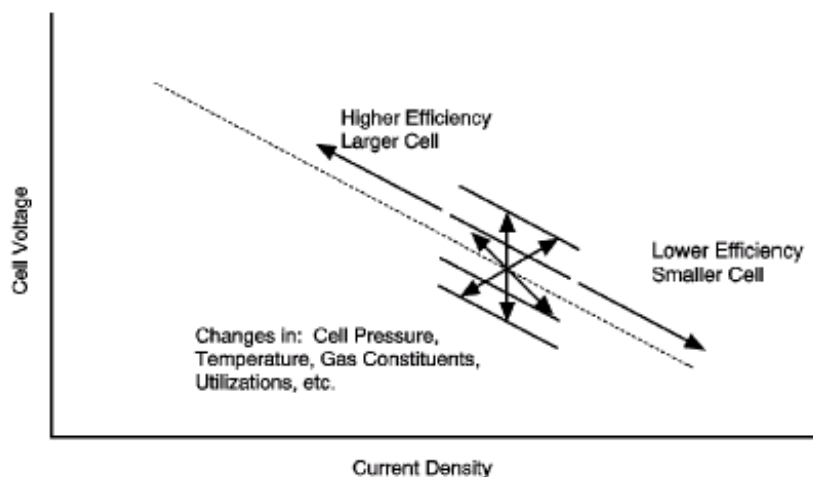


Abbildung 5 Einfluss von Betriebsparametern auf die Zellspannung bzw. Zelleistung von Brennstoffzellen (Quelle: [L 8])

3.2 Die Brennstoffreformierung

Brennstoffzellen-Systeme müssen in der Lage sein, in der Praxis übliche Brennstoffe („logistische“ Energieträger) zu verarbeiten. Für stationäre Anlagen kommen aus diesem Grunde in erster Linie fossile Energieträger zum Einsatz. In den letzten Jahren sind auch verstärkt FTE Tendenzen zu erkennen, welche Wasserstoff aus den verschiedensten Formen von erneuerbaren und sonstigen Energieträgern extrahieren bzw. konvertieren. Da in der Brennstoffzelle Wasserstoff und Sauerstoff umgesetzt werden, muss der verwendete Brennstoff so aufbereitet werden, dass das der Anode zugeführte Gas einen möglichst hohen Anteil an Wasserstoff besitzt. Kathodenseitig wird in den meisten Fällen Luftsauerstoff eingesetzt, der über einen Staubfilter gereinigt wird.⁷ In Abhängigkeit des verwendeten Brenngases muss beachtet werden, dass vor der Reformierung eventuell eine Gasaufbereitung notwendig ist, in der die den Zellstapel schädigenden Bestandteile (z.B. Schwefelspuren, Chloride, Ammoniak) entfernt werden.

⁷ AFC Systeme benötigen kathodenseitig einen zusätzlichen Aufbereitungsschritt für die Entfernung/Reduzierung des CO₂-Gehalts der Luft.

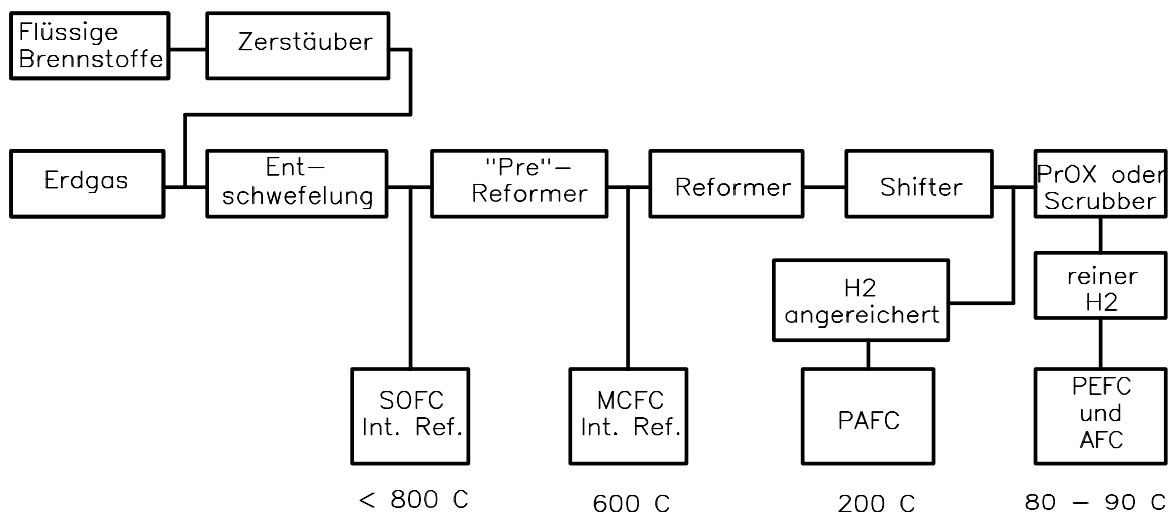


Abbildung 6 Abhängigkeit des Reformierungskonzeptes von der verwendeten Brennstoffzelle ⁸ (Quelle: [L 3])

Entschwefelung: $\text{ZnO} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{ZnS} + \text{H}_2\text{O}$

Reaktionen im Pre-Reformer und Reformer: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{H}_2 + \text{CO}$

Reaktionen im Shift-Konverter („Shifter“): $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Reaktionen im PrOX-Konverter:⁹ $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

Die Anforderungen der verschiedenen Brennstoffzellen-Typen an die Gasreinheit des Wasserstoffs und den hierfür benötigten Apparatenaufwand für die Reformierung von gasförmigen und flüssigen kohlenstoffhaltigen Brennstoffen ist in Abbildung 6 zusammengefasst.

Bei Betriebstemperaturen ab 600 °C beginnt bereits zellintern¹⁰ die Reformierungs- und Konvertierungsreaktion einzusetzen. Damit reduziert sich der Apparatenaufwand für externe Reformierungs- und Konvertierungsreaktoren deutlich. Bei Betriebstemperaturen kleiner 200 °C erhöht sich der Aufwand für die Gasaufbereitung, da die Katalysatoren in den Elektroden des Brennstoffzellen-Stapels für die elektrochemische Umsetzung durch Kohlenmonoxidspuren aus dem Reformierungsprozess deaktiviert werden.

In Abbildung 6 ist auch klar ersichtlich, dass Brennstoffzellen, welche mit Wasserstoff direkt arbeiten würden, den geringsten Apparatenaufwand für die Brennstoffaufbereitung benötigen. In den achtziger Jahren wurde das Konzept der dezentralen/zentralen Wasserstoffwirtschaft forciert, bei der Wasserstoff als Sekundärenergieträger aus regenerativen Energiequellen wie Wasserkraft, Wind und Photovoltaik über Elektrolyseanlagen zum Einsatz gelangt. Die Diskussion über diese Option unserer Energiezukunft hat allerdings in den letzten Jahren sehr an Dynamik verloren. Der Einsatz von Wasserstoff bildet vorwiegend in Projekten einen Schwerpunkt, bei denen durch industrielle Prozesse industrieller Wasserstoff als Nebenprodukt anfällt (z.B. in der chemischen Industrie, etc.).

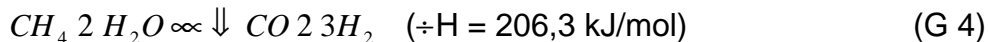
⁸ Die verschiedenen Brennstoffzellen-Typen (AFC, PEFC, PAFC, MCFC und SOFC) werden in Abschnitt 3.4 auf Seite 22 vorgestellt.

⁹ Anstelle des PrOX-Konverters kommen auch selektive Membranen basierend auf Ag/Pd zum Einsatz, welche bei hohem Druck nur H₂ hindurchlassen bzw. werden Konverter eingesetzt, bei denen die reversible Shift-Reaktion abläuft: $\text{CO} + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$.

¹⁰ Dieser Vorgang wird oft auch als "internal reforming" bezeichnet.

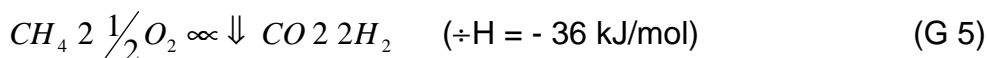
3.2.1 Erzeugung eines wasserstoffreichen Gases

Für die großtechnische Erzeugung von Wasserstoff und für den Einsatz von Erdgas als Energieträger für stationäre Brennstoffzellen-Systeme ist die **Dampfreformierung** am weitesten verbreitet. Durch Zufuhr von Wasserdampf entsteht über eine katalytische Reaktion wasserstoffreiches Synthesegas. Diese Reaktion ist endotherm, d.h. im Falle von Erdgas muss thermische Energie¹¹ zugeführt werden, um das Reaktionsgleichgewicht auf die Produktseite zu verschieben.



Vorteile sind bei der Dampfreformierung in den hohen Wirkungsgraden, vergleichsweise niedrigen Betriebstemperaturen und – aufgrund der endothermen Prozessführung – in der guten Steuerbarkeit des Prozesses zu sehen. Die Wirkungsgrade realisierter Anlagen liegen für Erdgas bei 70 bis 85 % (theoretisch maximal 94 %). Nachteile sind u. a. die langsamen Anfahrzeiten beim Kaltstart. Die Zielsetzungen der Entwicklungsfirmen sind dahingehend, durch Optimierung von konstruktiven und betrieblichen Maßnahmen die Startzeiten weiter zu optimieren. Kleinste kommerzielle Erdgasreformer werden bereits ab einer H₂-Erzeugungsrate von 15 Nm³/h angeboten. Für die Dampfreformierung von Methanol genügen signifikant niedrigere Betriebstemperaturen.

Die Verfahren der **partiellen Oxidation** setzen Kohlenwasserstoffe unter Zumengung unterstoichiometrischer Sauerstoff-/Luftgemische bei Temperaturen von über 1.300 °C und Drücken bis zu 90 bar um.



Da die partielle Oxidation exotherm abläuft – somit auch keine externen Wärmequellen erforderlich sind – sind die Start- und Lastwechselzeiten kürzer als bei der Dampfreformierung. Zudem stellt sie – im Gegensatz zur Dampfreformierung – keine besonderen Anforderungen an die Qualität der eingesetzten Energieträger. Katalysatoren sind generell nicht erforderlich.

Die Wasserstoffausbeute ist im Vergleich zur Dampfreformierung jedoch geringer, die Wirkungsgrade sind insgesamt niedriger, die Prozessbedingungen (z.B. Gefahr der Verkokung¹²) sind schwieriger. Bei Verwendung von Luft als Oxidationsmittel werden weiters Inertgase in den Prozess eingebracht, die den Partialdruck des Wasserstoffs verringern (damit auch die Zellspannung und -leistung). Laut Springer et. al. [L 17] verstärkt sich die Empfindlichkeit gegenüber CO in PEFC Systemen, wenn der Wasserstoff-Partialdruck abnimmt.

Die **autotherme Reformierung** stellt eine Kombination von Dampfreformierung und partieller Oxidation dar. Der Vorteil der autothermen Reformierung liegt ebenfalls im

¹¹ Das Temperaturniveau liegt bei 700 bis 800 °C.

¹² Die folgenden Beiden Reaktionen sind für die Verkokung verantwortlich:

(1) Boudouard Gleichgewicht: $2CO \rightleftharpoons C + CO_2$ ($\div H = - 172 \text{ kJ/mol}$);

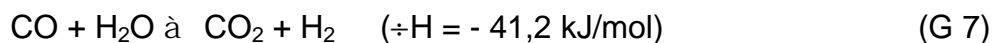
(2) Direkter Zerfall von Methan: $CH_4 \rightleftharpoons C + 2H_2$ ($\div H = + 75 \text{ kJ/mol}$)

Wegfall der externen Wärmequelle. Hinsichtlich thermischer Integration ergibt sich eine günstigere Situation als bei der partiellen Oxidation. Dampf muss erzeugt werden, dafür kann Prozessabwärme genutzt werden. Das Problem der Inertgase bleibt allerdings aufrecht, verglichen mit dem Dampfreformierungsprozess ergibt sich ein besseres Start- und Lastwechselverhalten.

Der Wasserstoffgehalt des entstehenden Produktgases (und somit der Wirkungsgrad) ist höher als bei der partiellen Oxidation, jedoch niedriger als bei der Dampfreformierung. Die Reaktionen laufen katalytisch bei Betriebstemperaturen von 850 bis 1000 °C und Drücken < 50 bar ab.

3.2.2 Prozessgas-Aufbereitung

Sowohl bei der Dampfreformierung als auch bei der partiellen Oxidation von kohlenstoffstämmigen Energieträgern entstehen neben H₂ auch erhebliche Mengen Kohlenmonoxid CO. Darum wird eine **CO-Konvertierung** durchgeführt, bei der CO mit H₂O unter Erzeugung von H₂ in CO₂ umgesetzt wird.



Dazu wird dem Reformier ein **CO-Shift-Reaktor** nachgeschaltet. Die Konvertierungsreaktion bzw. Shift-Reaktion ist exotherm, die Betriebstemperaturen von Dampfreformern nachgeschalteten CO-Konvertern liegen bei Hochtemperatur-Shift-Reaktoren bei 350 bis 400 °C und bei Niedertemperatur-Shift-Reaktoren bei 190 bis 260 °C. Einer Erdgasreformierung wird typischerweise eine zweistufige CO-Konvertierung mit einer Hoch- und einer Niedertemperaturstufe nachgeschaltet. Dadurch können die CO-Konzentrationen auf 0,5 bis 1,0 % abgesenkt werden.

Auch bei Methanol-Dampfreformierungsprozessen, bei denen theoretisch ausschließlich H₂ und CO₂ entstehen, wird in realen Anlagen eine einfache CO-Konvertierung als Reinigungsschritt nachgeschaltet.

Um das Gas in Niedertemperatur-Brennstoffzellen wie der PEFC einzusetzen, sind weitere Reinigungsstufen erforderlich.

Das am häufigsten eingesetzte industrielle Verfahren zur Wasserstoff-Feinreinigung ist die **Druckwechseladsorption (DWA)**. Für die Gewährleistung eines kontinuierlichen Betriebs ist bei der DWA die Verwendung mehrerer Adsorber erforderlich. Dadurch können die vier Arbeitszyklen: (i) Einleitung der wasserstoffreichen Gasgemische, (ii) Druckaufbau, (iii) Adsorption des Wasserstoffs an das Adsorptionsmittel (Beladung) und (iv) Entspannung zeitlich versetzt ablaufen.

Zu den bekannten Adsorptionsmitteln gehören beispielsweise Silica-Gel, Al-Gel, zeolithische Molekularsiebe und Aktivkohle. Typische Betriebsdrücke industrieller DWA liegen bei ca. 20 bar, selten bei 10 bar. DWAs sind vorwiegend für Anlagen mit größeren Kapazitäten entwickelt worden. Anlagenkapazitäten von 100.000 Nm³/h sind keine Seltenheit. Inflexible Anlaufzeiten und entsprechendes Teillastverhalten sind Gründe, dass diese Technologie für dezentrale Anlagen nicht eingesetzt wird.

Ein weiteres Verfahren ist die selektive **CO-Methanisierung**.



Als Katalysatoren werden die folgenden Metalle eingesetzt: Ru, Ni, Co, Fe und Mo. Störende Nebenreaktionen wirken sich negativ auf die Selektivität der Katalysatoren aus. Um beispielsweise einen CO-Gehalt von < 100 ppm zu erreichen, muss der CO₂-Gehalt auf unter 0,5 % reduziert werden. Der dafür notwendige apparative Aufwand lässt den Einsatz für dezentrale stationäre und Kleinanwendungen als wenig sinnvoll erscheinen. **Membranverfahren** haben das Ziel, eine Komponente aus einem Gasgemisch durch selektive Permeation bzw. Migration anzureichern. Für Wasserstoffgemische eignen sich beispielsweise Metallmembranen auf der Basis von Pd/Ag-Legierungen. Wasserdampf kann hierbei allerdings den H₂-Volumenstrom durch die Membran reduzieren. In geringem Ausmaß existieren auch Durchlässigkeiten für CO und CO₂. Durch die erforderlichen Schichtdicken und wegen der hohen spezifischen Kosten von Pd ergeben sich hohe Investitionen für dieses Verfahren.

Bei der selektiven **CO-Oxidation**



wird unter Verwendung von Edelmetall-Katalysatoren CO durch Zugabe von O₂ oder Luft zu CO₂ oxidiert. Dabei darf nur soviel O₂ zugeführt werden, dass für die Umsetzung des CO benötigt wird. Ansonsten kommt es auch zu einer Oxidation des H₂ zu H₂O und zu einem Wirkungsgradverlust. Eine hohe CO-Selektivität des Katalysators ist hierfür wünschenswert. Von Vorteil sind die niedrigen Betriebsdrücke der selektiven Oxidation (< 5 bar) im Vergleich zu Druckwechseladsorptionsanlagen (20 bar) und zu Membranverfahren mit Pd/Ag-Membranen (10 bar). Niedrigere Druckniveaus vereinfachen die Betriebsbedingungen und sind positiv hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen insbesondere von dezentralen Energieanlagen.

3.3 Schematischer Aufbau einer Brennstoffzellen-Anlage

Ausgehend von der Funktionsweise des Zellstapels und der Brennstoffaufbereitung kann folgender schematischer Aufbau einer erdgasbetriebenen Brennstoffzelle dargestellt werden.

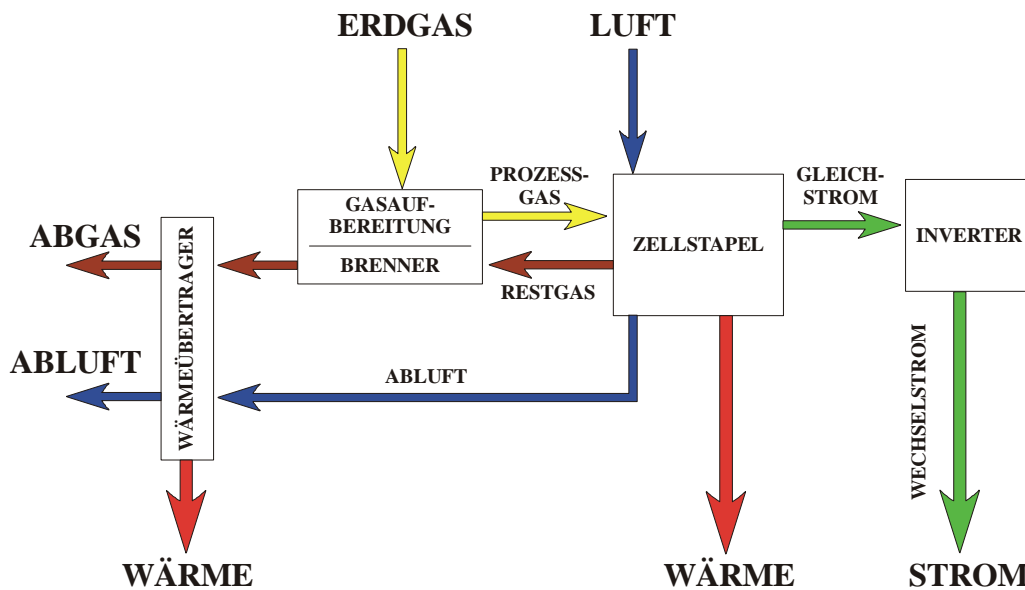


Abbildung 7 Allgemeiner Aufbau einer erdgasbetriebenen Brennstoffzellen-Anlage (Quelle: E.V.A.)

Zunächst gelangt das Erdgas in die Brennstoffaufbereitung. Im Entschwefler werden eventuell vorhandene Schwefelbestandteile entfernt. Anschließend werden die Kohlenwasserstoffe des Erdgases im Reformier zu einem H₂-reichen Prozessgas umgesetzt. Dieses Prozessgas wird der Anode des Brennstoffzellen-Stapels zugeführt. Die bei der Brennstoffzellen-Reaktion freigesetzte Wärme wird soweit möglich als Nutzwärme ausgekoppelt. Der Gleichstrom der Brennstoffzelle wird im Inverter zu Wechselstrom der gewünschten Frequenz und Spannung umgeformt. Der nicht in der Zelle umgesetzte Wasserstoff gelangt zum Reformierbrenner und liefert durch seine Verbrennung die Energie für den Reforming-Prozess. Die im Abgas des Reforming-Prozesses und in der Abluft des Zellstapels enthaltene thermische Energie wird ebenfalls soweit möglich über Wärmetauscher als Nutzwärme ausgekoppelt. Daraus ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad der Anlage, der zwischen 80 und 90 % – abhängig von Brennstoffzellen-Typ und Anlage – liegt.

3.4 Brennstoffzellen-Typen

Brennstoffzellen lassen sich nach mehreren Gesichtspunkten einteilen. Eine gängige Klassifizierung ist nach der Höhe der Prozesstemperatur, wobei in Nieder- und Hochtemperatur-Brennstoffzellen eingeteilt wird. Eine andere – ebenfalls übliche – Möglichkeit ist die Unterscheidung nach der Art des Elektrolyten.

Niedertemperatur-Brennstoffzellen (Arbeitstemperatur 80 °C bis 220 °C)

AFC Alkaline Fuel Cell¹³, Alkalische Brennstoffzelle

¹³ Die Verwendung ~~dieser von~~ englisch-sprachigen Bezeichnungen ~~haben hat sich ist auch~~ im deutschen Sprachraum bereits ~~üblich, deshalb werden sie in diesem Bericht ebenfalls angeführt, manifestiert, und sie werden aus diesem Grund in dieser Broschüre verwendet.~~

| | |
|--------------------|---|
| PEFC ¹⁴ | Polymer Electrolyte Fuel Cell, Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle |
| PAFC ¹⁵ | Phosphoric Acid Fuel Cell, phosphorsaure Brennstoffzelle |
| DMFC | Direct Methanol Fuel Cell, Direktmethanol-Brennstoffzelle |

Hochtemperatur-Brennstoffzellen (Arbeitstemperatur 600 °C bis 1000 °C)

| | |
|------|--|
| MCFC | Molten Carbonate Fuel Cell, Karbonatschmelze-Brennstoffzelle |
| SOFC | Solid Oxide Fuel Cell, oxidkeramische Brennstoffzelle |

Die nachfolgende Tabelle zeigt in übersichtlicher Form die verschiedenen Eigenschaften der verschiedenen Brennstoffzellen-Typen.

¹⁴ Weitere gebräuchliche Abkürzungen sind SPFC, solid polymer fuel cell; PEMFC, polymer electrolyte membrane fuel cell, IEMFC, ion exchange membrane fuel cell, etc.

¹⁵ Für PAFC Systeme kann auch eine Klassifizierung [in-als](#) Mitteltemperatur-Brennstoffzellen erfolgen.

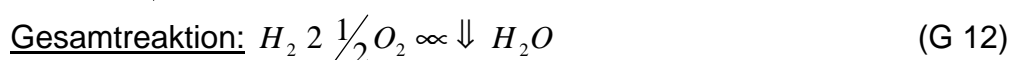
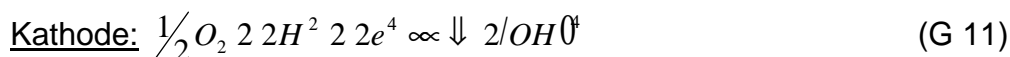
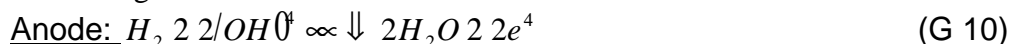
Tabelle 1 Übersicht über die verschiedenen Brennstoffzellen-Typen (Quelle: E.V.A.)

| | Niedertemperatur Brennstoffzellen | | | | Hochtemperatur Brennstoffzellen | |
|---|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------|
| | AFC | PEFC | PAFC | DMFC | MCFC | SOFC |
| Elektrolyt | Wässrige KOH-Lösung | Polymer-membran | Phosphorsäure in einer Matrix | Polymer-membran | Karbonat-schmelze in Matrix | Keramischer Festkörper |
| Arbeits-temperatur | < 100 °C | 60 – 100 °C | 160 – 205 °C | 60 – 120 °C | 600 – 650 °C | 800 – 1000 °C |
| Brennstoff der Anlage | Wasserstoff | Erdgas, Methanol | Erdgas | Methanol | Erdgas | Erdgas |
| Elektrischer System-wirkungs-grad (UHW) ³⁾ | 50 % ^{1) 2)} | 30 - 40 % ²⁾ | 32 – 40 % ²⁾ | N.A. ⁴⁾ | 45 – 50 % ²⁾ | 25 – 70 % ²⁾ |

- 1) Basierend auf H₂ als verwendeten Brennstoff.
- 2) Die große Schwankungsbreite bei den Wirkungsgraden erklärt sich dadurch, dass auf der unteren Ebene die tatsächlich realisierten Werte von Pilot-/Demonstrationsanlagen herangezogen werden und auf der oberen Ebene die prognostizierten Werte (für optimierte kommerzielle Anlagen) eingesetzt werden. SOFC Systeme werden sowohl bei Mini-/Mikro-BHKWs, BHKWs als auch bei Großanlagen (Kombianlagen aus Brennstoffzelle und Gasturbine) für die reine Stromerzeugung eingesetzt. Aufgrund dieser sehr unterschiedlichen Leistungsgrößen erklärt sich auch der besonders stark variierende Wirkungsgrad.
- 3) UHW ist die Abkürzung für den unteren Heizwert.
- 4) Bis dato sind DMFC Anlagen kommerziell für dezentrale Energieanlagen nicht verfügbar, aus diesem Grund fehlen auch entsprechende Wirkungsgrad-Angaben.

3.4.1 Die alkalische Brennstoffzelle (AFC)

Die alkalische Brennstoffzelle wurde in den 60er-Jahren entwickelt und besitzt heute einen hohen Entwicklungsstand für den reinen Wasserstoff/Sauerstoff-Betrieb in Weltraumapplikationen. Von allen Brennstoffzellen weist dieser Typ die höchsten Anforderungen an das Brenngas und den Oxidanten auf. Anoden- wie auch kathodenseitig wird sehr reiner Wasserstoff und Sauerstoff eingesetzt. In der alkalischen Brennstoffzelle laufen folgende elektrochemische Reaktionen ab:



Bereits geringe Verunreinigungen (z.B. das CO₂ der Luft auf der Kathodenseite) beeinträchtigen die Funktionsfähigkeit der Zelle und müssen entfernt werden, da sonst zellintern irreparable Schäden auftreten:



Internationale FTE Entwicklungen bestätigen allerdings, dass beispielsweise die Zuzumischung von Karbonaten in die Laugen beständigere Zelleistungen zur Folge hat, da dadurch die CO₂-Toleranz verbessert wird.

Alkalische Brennstoffzellen wurden vorwiegend für die Raumfahrt und Militärtechnik entwickelt. Sie besitzen geringe Bedeutung für die dezentrale Energieversorgung bei Verwendung von kohlenstoffstämmigen Energieträgern.

Tabelle 2 Materialien und Herstellverfahren für AFC Zellstapel (Quelle: [L 65])

| | Komponente | Materialien | Herstellung |
|------------|---------------|---|---|
| Elektroden | Anode | PTFE Pulver Kohle/Graphit Pulver Katalysatoren: Pt / Pd Ni-Al, AG | Mechanische Verfahren wie Mahlen, Dispergieren, Filtern, Rollen, Pressen und Trocknen |
| | Kathode | PTFE Pulver Kohle/Graphit Pulver Katalysator: Pt | Mechanische Verfahren wie Mahlen, Dispergieren, Filtern, Rollen, Pressen und Trocknen |
| Modul | Stromsammler | Nickelmaterialien | Pressen |
| | Plastikrahmen | ABS Kunststoffe | Spritzgießen und manuelle Montage der Elektroden |
| | Distanzstücke | Diverse Materialien | -- |

Bei Verwendung von Wasserstoff als Energieträger kann dieser Brennstoffzellen-Typ ebenfalls für stationäre und Kleinanwendungen eingesetzt werden. [L 65] Die eingesetzten Materialien und die Fertigungsverfahren für diesen Zelltyp werden in Tabelle 2 zusammengefasst.

An der Technischen Universität Graz (Inst. für Chemische Technologie Anorganischer Stoffe, Inst. für Hochspannungstechnik) wird eine alkalische Brennstoffzelle für den Einsatz in Personenkraftfahrzeugen entwickelt. Anodenseitig wird der benötigte Wasserstoff von einem Ammoniak Cracker ($NH_3 \rightleftharpoons 1/2 N_2 + 3/2 H_2$) zugeführt. Die CO₂-Spuren in der Luft werden kathodenseitig durch konzentrierte Kalilaugen entfernt. Internationale Kooperationen bestehen zu den Firmen Electric Auto Corporation (USA) und ZETEC (UK), nationale Kooperationen zu den Firmen AVL und OMV. Vorteile hinsichtlich dieses Systems sind vorwiegend in der Einfachheit des Gesamtsystems und in den erwarteten niedrigen Kosten zu sehen. [L 13], [L 14], [L 15]

Die Firma ZETEK Power (UK) bietet AFC Stacks basierend auf Wasserstoff als Energieträger (keine Kompaktsysteme) in einem Leistungsbereich zwischen 0,4 kW und 2,8 kW kommerziell an. Anodenseitig kann für diese Zellen industriell reiner Wasserstoff (99,95 %) eingesetzt werden, kathodenseitig wird Luft mit max. 50 ppm CO₂ toleriert. Die Zellen arbeiten bei leichtem Überdruck (30 mbar). Die Wirkungsgrade werden zwischen 45 und 55 % angegeben. Bei 5.000 Betriebsstunden werden an die 10 %

Leistungsdegradationen von Zetek angegeben. Ein 2,8 kW System mit dazugehöriger Kennlinie wird in Abbildung 8 gezeigt.

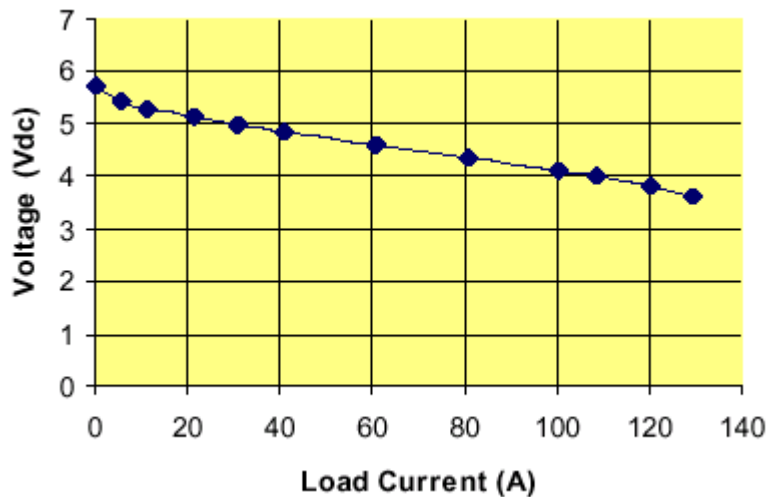


Abbildung 8 Oben: 2,8 kW AFC Stack der Firma ZETEK (bestehend aus 8 seriell geschalteten MK2 Modulen)

Unten: Strom/Spannungskurve eines MK2 Moduls (0,4 kW) bestehend aus sechs Zellgruppen seriell, die wiederum aus 4 parallelen Zellen zusammengefasst sind (insgesamt 24 Zellen).¹⁶ (Quelle: Zetek)

3.4.2 Die Protonenelektrolytmembran-Brennstoffzelle (PEFC)

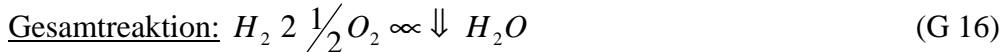
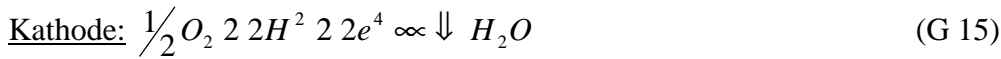
Die PEFC wurde in den 60er Jahren ebenfalls für die Raumfahrt und Militärtechnik entwickelt, aufgrund von Mängeln in der Membran¹⁷ zunächst zurückgestellt, und in den siebziger Jahren – durch die Entwicklung von Fluormembranen – vorwiegend für die mobile Entwicklung, später für stationäre und Kleinapplikationen wieder aufgegriffen.

¹⁶ Der MK2-8 stack von ZeTek besteht aus insgesamt 192 Zellen.

¹⁷ Aufgrund der harschen elektrochemischen Bedingungen entstanden feine Löcher in der Membran.

Die Anforderungen der Zelle an die Reinheit der Gase muss ebenfalls als sehr hoch bezeichnet werden. Im Unterschied zur AFC liegt allerdings ein saurer Elektrolyt vor, der sowohl CO₂ in den Anodengasen als auch die geringen Spuren in der Luft kathodenseitig toleriert.

Bei der PEFC laufen ähnlich wie bei der PAFC folgende durch Edelmetalle katalysierte Elektrodenreaktionen ab:



Die eingesetzten Materialien und die Fertigungsverfahren für diesen Zelltyp werden in Tabelle 3 zusammengefasst. Zentraler Bestandteil einer PEFC ist die MEA, das „Membrane-Electrode-Assembly“ bzw. die Membran-Elektroden-Einheit.

Tabelle 3 PEFC Materialien und Herstellverfahren (Quelle: [L 8])

| | Komponente | Materialien | Herstellungsverfahren |
|--------------------------|--|--|--|
| MEA | Membran | Sulfonierte Polymermembran (B. Nafion, BAM 3G, etc.) | Komplexes chemisches Verfahren |
| | Elektroden-Substrat | Kohlepapier, PTFE | Heißpressen |
| | Katalysator | Pt bzw. Pt/Ru | Verschiedene Beschichtungsverfahren |
| Andere Stack-Komponenten | Bipolare Platten (inkl. Strömungsfelder) für die Reaktanten und Produkte | Graphite, rostfreier Stahl, Kohlepolymere, etc. | Herausgearbeitet aus volumigen Werkstoffen, Stanzen, Spritzgussverfahren |
| | Diverse Materialien | Standardkomponenten | Standardverfahren |

Die bis dato erreichten Leistungsdichten von PEFC sind in Abbildung 9 zusammengefasst. Bei der PEFC handelt es sich um jenen Typus von Brennstoffzelle, der die höchsten Leistungsdichten erreichen kann. Grund hierfür sind die materialtechnischen und optimierten Komponentenentwicklungen. Die sehr dynamischen Entwicklungen und Leistungssteigerungen sind von einer Reihe von internationalen FTE Organisationen und Firmen forciert worden, mit der Firma Ballard Power Systems (British Columbia, Canada) als Marktführer.

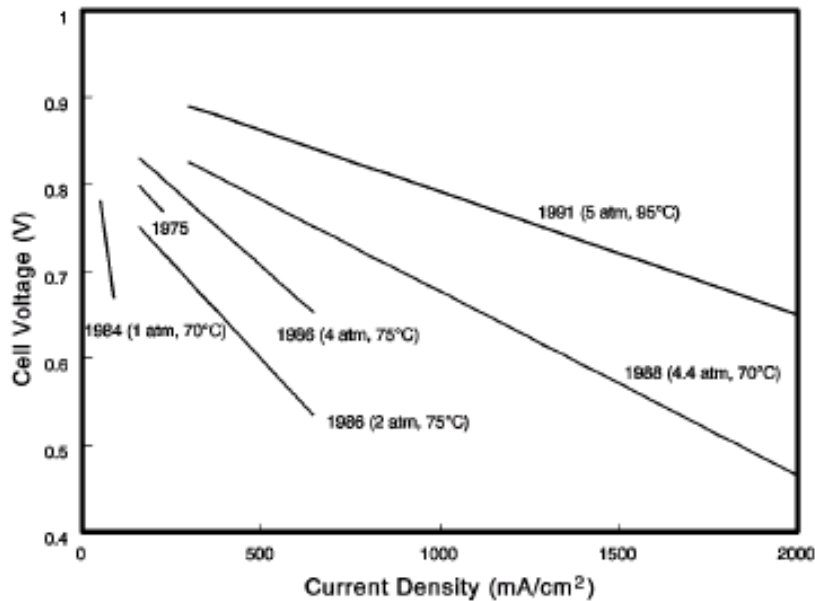


Abbildung 9 Leistungsentwicklung von PEFC (Quelle: [L 8])

Als Brenngas wird sowohl reiner Wasserstoff als auch kohlenstoffstämmige Energieträger wie Erdgas oder Methanol mit externer Reformierung verwendet. Die unterschiedlichen Brennstoffkonzepte und die erforderlichen Reformierungsschritte wurden bereits in Kapitel 3.2 vorgestellt.

Derzeit laufen weltweit intensive Entwicklungsarbeiten, die den Einsatz von PEFC-Systemen in Kraftfahrzeugen zum Ziel haben. Bezüglich der FTE Anstrengungen im mobilen Bereich und einer österreichischen Positionierung hierzu, sei auf [L 19] verwiesen.

Vielversprechende Ansätze gibt es auch bei der Nutzung von PEFC für die dezentrale Energieversorgung. Insbesondere zwei Applikationslinien werden von den Entwicklungsfirmen forciert:

- (i) Dezentrale Anlagen mit einer elektrischen Leistungsgröße bis zu $250 \text{ kW}_{\text{el}}$ für gewerbliche/industrielle Applikationen
- (ii) Brennstoffzellen-Heizgeräte für Ein- bzw. Mehrfamilienhäuser in einem Leistungsbereich bis 5 kW_{el} .

3.4.2.1 Dezentrale PEFC Anlagen (bis $250 \text{ kW}_{\text{el}}$)

Diese Applikationslinie wird von der Firma Ballard Power Systems forciert, welche für den Vertrieb von derartigen Anlagen für den europäischen Markt mit der Firma Alstom eine strategische Allianz (mit dem Namen Alstom Ballard) eingegangen ist (siehe Abbildung 10).

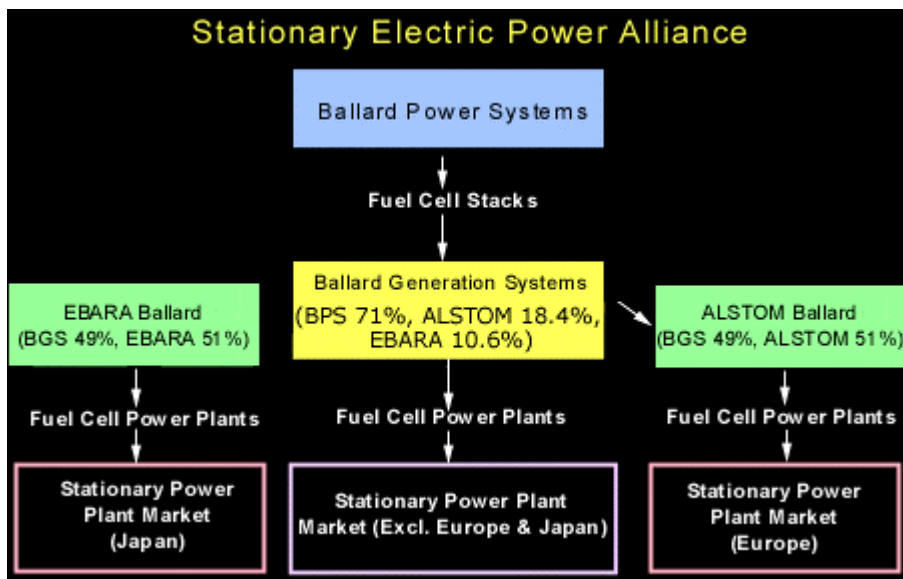


Abbildung 10 Firmenkonglomerat der Firma Ballard Power Systems für die stationäre Brennstoffzellen-Entwicklung (Quelle: Ballard Power Systems)

Alstom Ballard GmbH mit Sitz in Dresden will ab dem Jahr 2004 kommerzielle Brennstoffzellen-Anlagen mit einer elektrischen Leistungsgröße von 250 kW für folgende Anwendungsbereiche einführen:

- (i) BHKW-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung),
- (ii) Notstromaggregate, und
- (iii) Spitzenstrom-Anlagen (Premium Power).

In Form eines Feldtests bis Ende 2003 sollen mit insgesamt 6 PEM-BHKW Versuchsanlagen (Typbezeichnung P2B in Containerausführung, für Außenaufstellung konzipiert, Netzparallel-Betrieb, Brennstoff Erdgas) die Funktionalität derartiger Anlagen bewiesen werden. Die Überprüfung des Anlagenkonzeptes unter: (i) Vor-Ort-Bedingungen bei verschiedenen Randbedingungen, (ii) bei verschiedenen Einsatzbedingungen und (iii) bei verschiedenen Erdgasqualitäten und –zusammensetzungen. Aussagen hinsichtlich der Lebensdauer der Anlage sowie der Degradation der Hauptkomponenten wie des Brennstoffzellenstapels und der Reformierungseinheit sind ebenfalls Kernpunkte der mittel- bis langfristigen Versuchsreihen. Tabelle 4 zeigt die Leistungsdaten der P2B-Anlagen, Abbildung 11 zeigt die Außenansicht der BEWAG Anlage in Deutschland. Das Systemkonzept und das Systemflussdiagramm dieser Anlage werden in der Abbildung 12 gezeigt.

Tabelle 4 Leistungs-Eckdaten der P2B Anlagen in Berlin und Basel (Quelle:

Alstom Ballard)

| | |
|------------------------------|-------------------|
| Elektrische Leistung (netto) | 212 kW |
| Thermische Leistung | 240 kW |
| Elektrischer Wirkungsgrad | 35 % |
| Gesamt-Wirkungsgrad | 76 % |
| Aufstellung | Outdoor |
| Abmessungen | 7,3 x 2,4 x 2,7 m |



Abbildung 11 250 kW_{el}-Anlage der Firma Alstom Ballard bei der BEWAG in Deutschland (Quelle: Alstom Ballard)

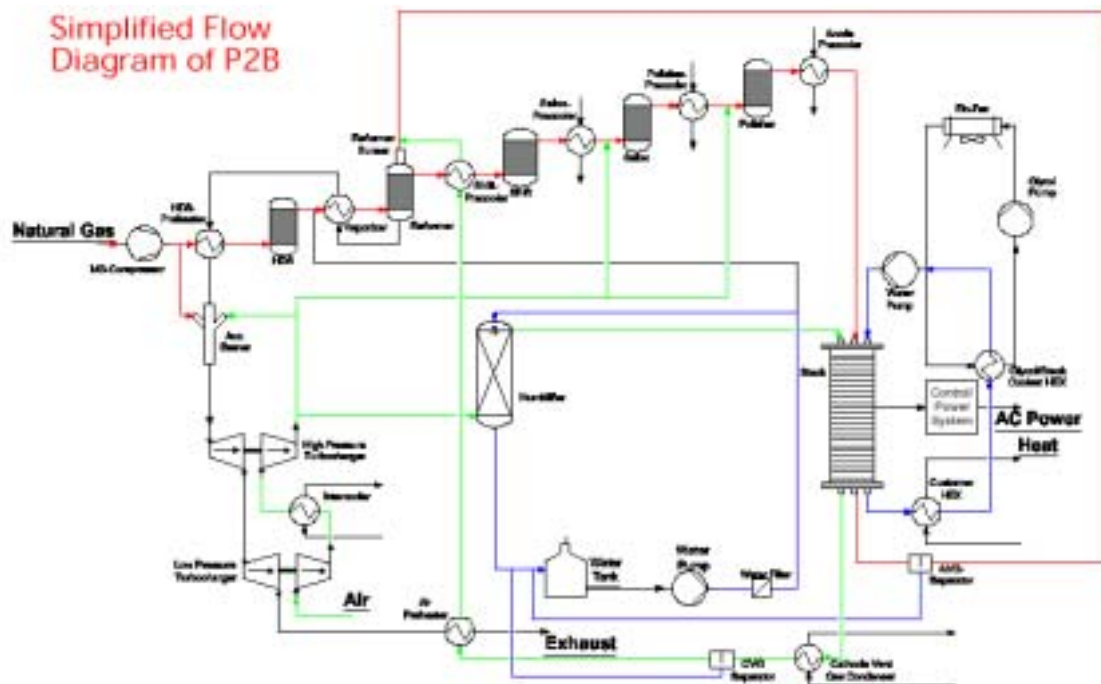
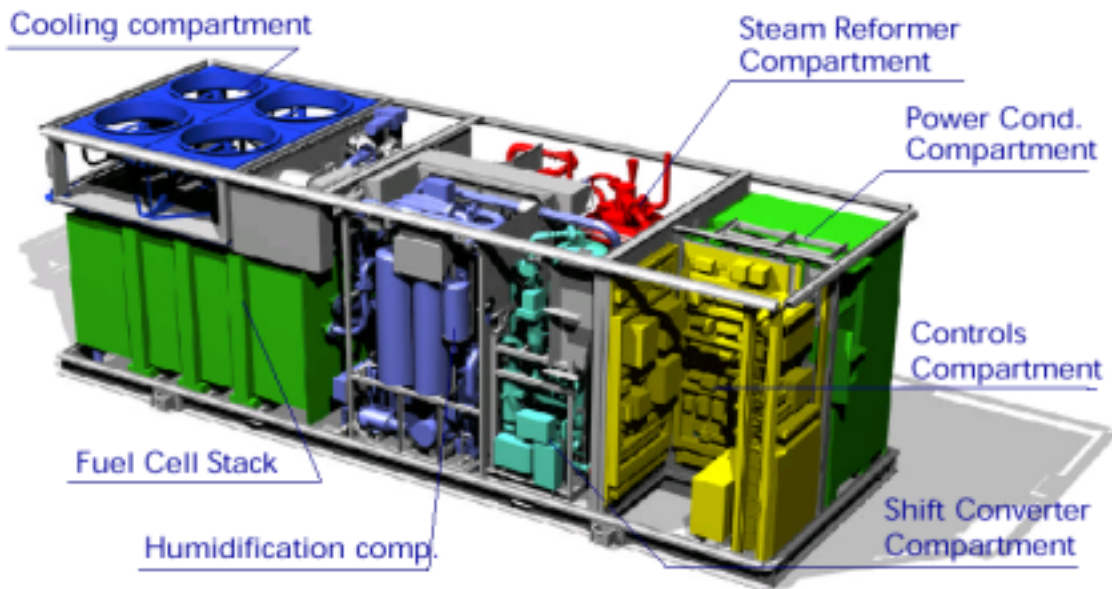


Abbildung 12 Oben: Konzeptionelles Design der P2B; unten: Flussdiagramm der P2B-Anlagen von Alstom Ballard (Quelle: Alstom Ballard)

Alstom Ballard setzt in den stationären Systemen die selben Brennstoffzellen-Stacks ein wie für die mobilen Anwendungen. Damit können zwar Synergien bei den FTE Anstrengungen optimal genutzt und Kostenvorteile auf Grund der Mengeneffekte erzielt werden. Der Erfolg der FTE-Aktivitäten für die stationären

Applikationen hängt damit sehr vom Erfolg der mobilen Applikationen ab. Das Ziel von Alstom-Ballard ist die Errichtung einer Produktionsanlage zur Stack-Produktion für beide Produktlinien (mobil und stationär) unter Verwendung der gleichen Maschinen, Werkzeuge und Materialien.

Es überrascht aus diesem Grund auch nicht, dass Alstom Ballard Marktapplikationen wie wasserstoffbetriebene Notstromanlagen (und nicht erdgasbetriebene BHKW-Anlagen) forciert, die von den Entwicklungen der Automobilindustrie möglichst direkt auf stationäre Applikationen adaptiert bzw. optimiert werden können. Das Marktumfeld für wasserstoffbetriebene PEM-Notstromaggregate wird von Alstom Ballard positiv eingeschätzt. Bis zum Jahr 2003 werden Gesamtkosten von 1.000 US-\$/kW_{el} für derartige Anlagen genannt, welche bis zum Jahr 2005 auf 500 US-\$/kW_{el} sinken sollen. [L 20]

Das Produkt-Portfolio, das sich bis dato für stationäre Anwendungen auf das 250 kW_{el} System beschränkt hat, wird von Ballard Generation Systems in den nächsten Jahren auf 10 und 60 kW Systeme erweitert, ebenfalls für Notstrom- und Backup Applikationen (und nicht für BHKW Anwendungen). Ein 1 kW_{el} System wird zusammen mit der Firma Ebara für den japanischen Markt entwickelt. [L 9]

3.4.2.2 PEM Brennstoffzellen-Heizgeräte (bis 5 kW_{el})

In Europa gibt es derzeit vier Anbieterfirmen von Brennstoffzellen-Kleinanlagen, von denen drei auf der PEFC Technologie basieren. Diese Firmen können einerseits auf eine eigene Brennstoffzellenstack-Fertigung verweisen (Nuvera) bzw. kaufen die Grundkomponenten aus den USA zu und verlagern eigene Aktivitäten auf die Entwicklung eines integrierten BHKW-Gerätes (z.B. Vaillant, HGC). (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5 Anbieterfirmen von Brennstoffzellen-Systemen < 25 kW_{el} (Quelle: [L 4] und E.V.A.)¹⁸

| Herstellerfirmen | Elektrische und thermische Leistung [kW] | Brennstoff | Brennstoffzellen-Type | Entwicklungsstufe |
|--|--|----------------------|-----------------------|-------------------|
| Vaillant (Deutschland) | 4,6 kW _{el} / 7 kW _{th} und bis 50 kW _{th} (Zusatz-Heizgerät) | Erdgas | PEFC | Pilotanlage |
| Hamburger Gas Consult (Deutschland) | 3 kW _{el} / 8 kW _{th} | Erdgas | PEFC | Pilotanlage |
| Nuvera (Italien) | 1 kW _{el} / k.A.*) 5 kW _{el} / k.A.*) | Propan Erdgas | PEFC | Prototyp |
| Sulzer Hexis AG (Schweiz) | 1 kW _{el} / 3 kW _{th} und 12/16/22 kW _{th} (Zusatz-Heizgerät) | Erdgas ¹⁹ | SOFC | Pilotanlage |

*) Über die thermischen Leistungen werden von Seiten Nuveras keine detaillierten Aussagen gemacht; lediglich ein Gesamtwirkungsgrad von > 75 % ist den Spezifikationsblättern zu entnehmen. k.A. steht für keine Angaben hierzu erhältlich.

Vaillant arbeitete bis Oktober 1999 mit der Firma Sulzer Hexis an der Entwicklung eines SOFC Heizgerätes. Seit dem Jahr 2000 konzentrierten sie sich allerdings auf die Entwicklung von PEFC Brennstoffzellen-Heizgeräten in Kooperation mit der amerikanischen Firma Plug Power. Laut Auskunft von Vaillant wird eine Kombination bestehend aus Brennwertgerät und Brennstoffzelle im Jahr 2004 kommerziell verfügbar sein (siehe Abbildung 13). Vaillant Österreich rechnet bis zum Jahr 2010, einen Marktanteil von 4 bis 5 % mit dem Brennstoffzellen-Heizgerät im österreichischen Heizkesselmarkt zu erreichen. Dies entspricht 4.000 bis 5.000 Stück. Der Preis für die kommerzielle Serie wird von Vaillant mit ATS 150.000 basierend auf 100.000 verkauften Stück in ganz Europa angegeben.

¹⁸ Zusätzlich zu den hier genannten Firmen haben auch die Firmen Viessmann, Buderus und Gaz de France Entwicklungs- und Vertriebsaktivitäten im Jahre 2001 angekündigt. Detaillierte Produktbeschreibungen sind noch nicht verfügbar.

¹⁹ Sulzer hat ein intensives FTE-Programm zum Testen einer Reihe von anderen Brennstoffen laufen, u.a. Biogas, Gas aus fester Biomasse, Heizöl, Methanol, Ethanol, etc.

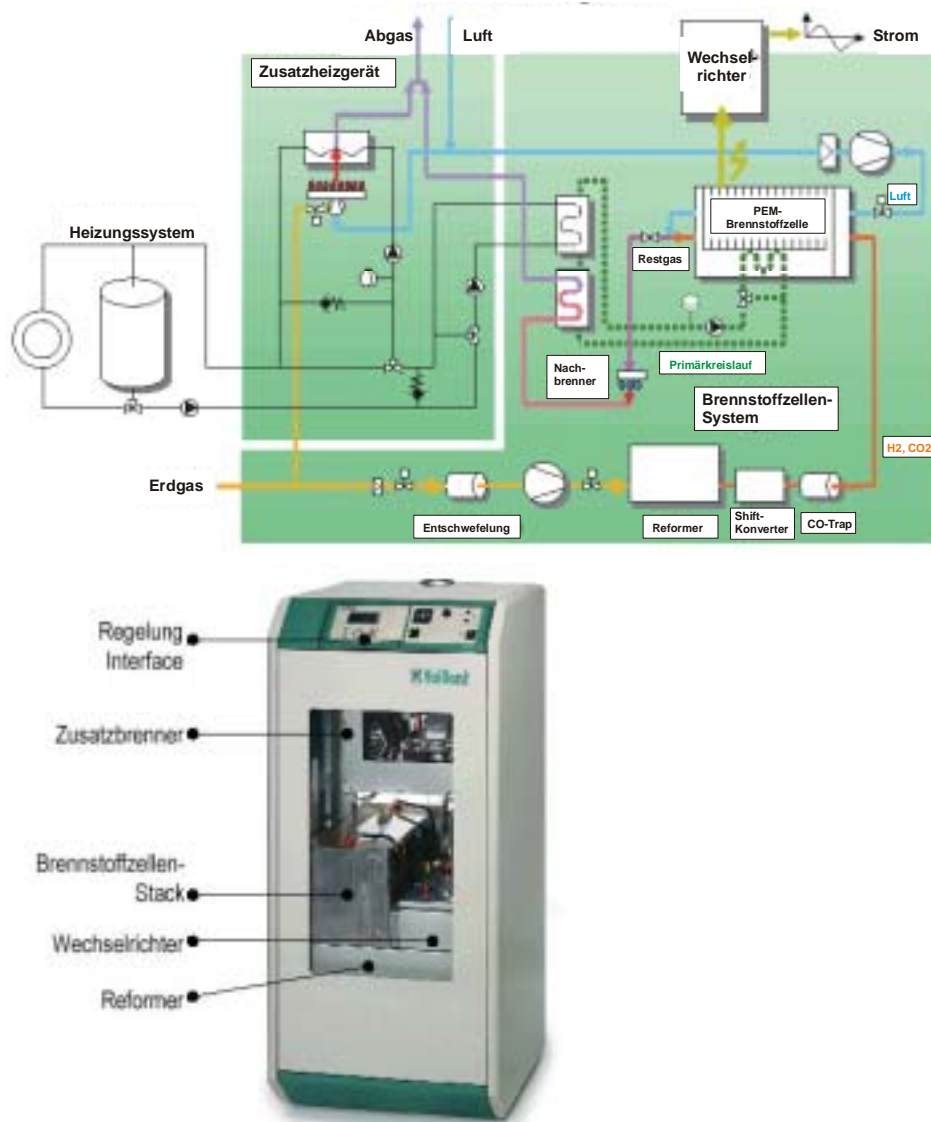


Abbildung 13 Oben: Prozessflussbild des Vaillant Brennstoffzellen-Heizgerätes
Unten: Dummy-Version des Vaillant PEFC Heizgerätes (Quelle: Vaillant)

Hamburger Gas Consult, mit dem Vertrieb von innovativen Energietechnologien beschäftigt, vertreibt seit Herbst 1998 die 3 kW_{el} Anlage der Firma Dais Analytic Corporation. Der geplante Feldtest der 3 kW_{el} Anlagen konnte bis dato nicht eingehalten werden. HGC spricht von einem Lieferstopp der 3 kW_{el} Einheiten und von einem Downscaling der Leistung auf 1,5 kW_{el}. Frühestens im Jahr 2002/2003 rechnet HGC mit einer Auslieferung von derartigen Systemen. Detaillierte Angaben hinsichtlich Technik, Preis und Lieferbedingungen können derzeit nicht beantwortet werden.



Abbildung 14 Prototyp der 3 kW_{el} Einheit von Dais Analytic Corp. (Quelle: Dais-Analytic Corp.)

Im Mai dieses Jahres haben die Firmen **RWE** und **Nuvera Fuel Cells Inc.** ein Joint Venture bekannt gegeben, das die Entwicklung von dezentralen PEM Systemen bis zu einer elektrischen Leistungsgröße von 50 kW forcieren wird. Bis zum Jahr 2004 sollen kommerzielle Einheiten mit einer elektrischen Leistungsgröße von 1 und 5 kW (basierend auf Erdgas und Propan als Energieträger) auf den Markt gebracht werden. Nuvera Fuel Cells mit Sitz in Cambridge und Mailand entstand im Jahre 2000 durch eine Fusion zwischen De Nora Fuel Cells S.p.A. und Epyx Corp. mit Expertise sowohl bei PEFC Systemen als auch bei Reformertechnologien für fossile Energieträger. Bis dato sind noch keine Testergebnisse von Pilot- bzw. Demonstrationsanlagen bekannt gegeben worden. Die Designs der 1 kW_{el} und 5 kW_{el} Anlagen (basierend auf Propan und Erdgas) werden in Abbildung 15 vorgestellt.



Abbildung 15 Design der 1 kW Propan PEFC (links) und 5 kW Erdgas PEFC

Anlagen (rechts) (Quelle: Nuvera)

Buderus, Viessmann

Buderus und Viessmann haben ebenfalls eine Presseankündigung für die Entwicklung von Brennstoffzellen-Heizgeräten im Jahre 2001 ausgesandt. Gemeinsam mit International Fuel Cells (IFC) wird ein System mit einer elektrischen Leistung von 2 bis 5 kW und einer Wärmeleistung von 6 bis 9 kW entwickelt. Diese Brennstoffzellen lassen sich ebenfalls mit einem zusätzlichen Spitzenlastkessel kombinieren - die vollständige energetische Versorgung zur Heizwärmeversorgung größerer Wohneinheiten ist damit gewährleistet. Mit ersten Gerätetests wird ab Mitte 2003 gerechnet.

Nach Vaillant und Buderus steigt mit Viessmann ein weiterer Heizungshersteller in die Brennstoffzelle ein. Viessmann will sein Hausenergiesystem mit 2 kW mit Sachsenring Zwickau (Brennstoffzellensystem), SGL Carbon (Komponenten), Siemens Landis & Staefa (Steuerung und Regelung) und dem Ulmer ZSW (wissenschaftliche Begleitung) entwickeln. Es handelt sich um ein vom deutschen BMWi gefördertes Verbundprojekt.

In den USA hat sich eine Reihe von kleineren Entwicklungsfirmen etabliert²⁰, von denen in den nächsten Jahren erwartet wird, dass sie ebenfalls mit europäischen Firmen Allianzen für das „Packaging“, den Vertrieb und den Support von Brennstoffzellen-Systemen für Europa aufbauen werden. In Abbildung 16 wird beispielsweise die Anlage von IdaTech mit Sitz in Oregon (USA) vorgestellt.



Abbildung 16 3 kW_{el} PEFC Pilotanlage der Firma IdaTech (Quelle: IdaTech)

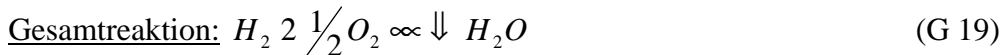
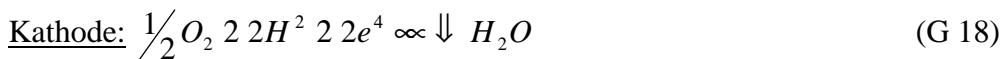
Eine Dokumentation der Entwicklungen von dezentralen Anlagen wird seit 1997 in periodischen Abständen von der E.V.A. im Auftrag der STEWEAG durchgeführt. [L 4]

²⁰ Diese sind: H-Power, Avista Laboratories, Energy Partners, DCH Technology Inc., Idatech

3.4.3 Die phosphorsaure Brennstoffzelle (PAFC)

Die bis heute am weitesten entwickelte Brennstoffzelle für den Einsatz in stationären Anlagen ist der phosphorsaure Brennstoffzellen-Typ. Der Leistungsbereich, in dem dieser Typ von Brennstoffzelle für Demonstrationsanlagen entwickelt worden ist, liegt zwischen wenigen kW und mehreren MW. Weltweit wurden etwa 200 Anlagen in einem Leistungsbereich von $200 \text{ kW}_{\text{el}}/230 \text{ kW}_{\text{th}}$ installiert, etwa die Hälfte der Anlagen ist noch in Betrieb, und über 2 Millionen Teststunden sind realisiert. Allein im benachbarten Deutschland wurden an die 15 dieser Brennstoffzellen-Anlagen installiert, von denen noch etwa 10 im Einsatz stehen.

In der phosphorsauren Brennstoffzelle laufen makroskopisch dieselben Reaktionen wie in Polymermembran-Brennstoffzellen ab, da es sich ebenfalls um einen chemisch sauren Elektrolyten handelt:



Die eingesetzten Materialien und die Fertigungsverfahren für diesen Zelltyp werden in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6 Historische Entwicklung der eingesetzten Materialien in den PAFC Zellkomponenten (Quelle: [L 8])

| Komponente | Ca. 1965 | Ca. 1975 | Derzeit |
|---------------------------|--|---|---|
| Anode | PTFE gebundenes Pt black 9 mg/cm ² | PTFE gebundenes Pt/C Vulcan XC-72 0,25 mg Pt/cm ² | PTFE gebundenes Pt/C Vulcan XC-72 0,1 mg Pt/cm ² |
| Kathode | PTFE gebundenes Pt black 9 mg/cm ² | PTFE gebundenes Pt/C Vulcan XC-72 0,50 mg Pt/cm ² | PTFE gebundenes Pt/C Vulcan XC-72 0,50 mg Pt/cm ² |
| Elektroden-Trägermaterial | Feinmaschiges Ta | Kohlepapier | Kohlepapier |
| Elektrolyt-Trägermaterial | Glasfasern | PTFE gebundenes SiC | PTFE gebundenes SiC |
| Elektrolyt | 85 % H ₃ PO ₄ | 95 % H ₃ PO ₄ | 100 % H ₃ PO ₄ |

Die bis dato erreichten Leistungsdichten von PAFC seit den sechziger Jahren sind in Abbildung 17 zusammengefasst. Heute typische Leistungsdaten liegen bei 300 mA/cm^2 und $0,65 \text{ V}$ ($0,195 \text{ mW/cm}^2$). Mitsubishi publiziert hierzu Degradationsraten von $2 \text{ mV}/1000 \text{ h}$ bei 10.000 Betriebsstunden bei $200 - 250 \text{ mA/cm}^2$. [L 2], [L 8]

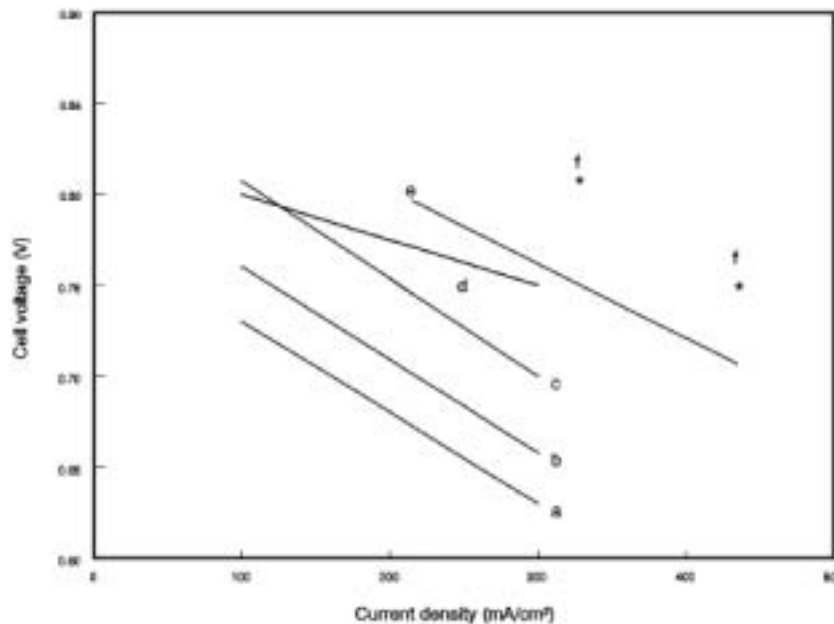


Abbildung 17 Historische Entwicklung der Leistungsdaten von PAFC Systemen (Wasserstoff angereicherte Synthesegase / Luft) (Quelle: [L 8])

- a) 1977: 190°C; 3 atm, Pt-Gehalt von 0,75 mg/cm² bei beiden Elektroden
- b) 1981: 190°C; 3,4 atm, Pt-Gehalt der Kathode 0,5 mg/cm²
- c) 1981: 205°C; 6,3 atm, Pt-Gehalt der Kathode 0,5 mg/cm²
- d) 1984: 205°C; 8 atm, Katalysator(-gehalt) wurde nicht spezifiziert
- e) 1992: 205°C; 8 atm, 10 ft² (– 0,09 m²) „short stack“²¹, 200 Stunden, Katalysator(-gehalt) wurde nicht spezifiziert
- f) 1992: 205°C; 8 atm, kleindimensionierte Zellen, Katalysator(-gehalt) wurde nicht spezifiziert

Das vereinfachte Systemkonzept für phosphorsaure Brennstoffzellen zeigt weitere Vorteile gegenüber PEFC-Brennstoffzellen-Systemen (siehe Abbildung 18). Die erhöhte Betriebstemperatur von bis zu 200 °C hat eine erhöhte Toleranz gegenüber CO (1,5 Vol.-% Peak-Lastung) zur Folge. Das Entwicklungspotenzial von atmosphärisch betriebenen PAFC Systemen scheint bereits ausgereizt und der elektrische Wirkungsgrad ist bei den erwähnten Leistungsgrößen von 200 kW_{el} mit 40 % limitiert. FTE Anstrengungen sind dahingehend die Leistungsdegradation des Brennstoffzellen-Stacks über die Stack-Lebensdauer von 40.000 Betriebsstunden möglichst gering zu halten. Gravierender Nachteil dieses Typs ist, dass das Temperaturniveau des Brennstoffzellen-Stacks eine bestimmte Schwelle nicht unterschreiten darf, da ansonsten die Phosphorsäure (Elektrolyt) auskristallisieren und die Elektrodenkomponenten nachhaltig beeinträchtigt werden würden. Applikationen mit längeren Stillstandszeiten scheidet somit aus.

²¹ Unter einem „short stack“ wird ein Laboratoriums-Zellstapel verstanden, der vorwiegend für Testzwecke fungiert. Zellstapel für kommerzielle Applikationen sind normalerweise größer dimensioniert.

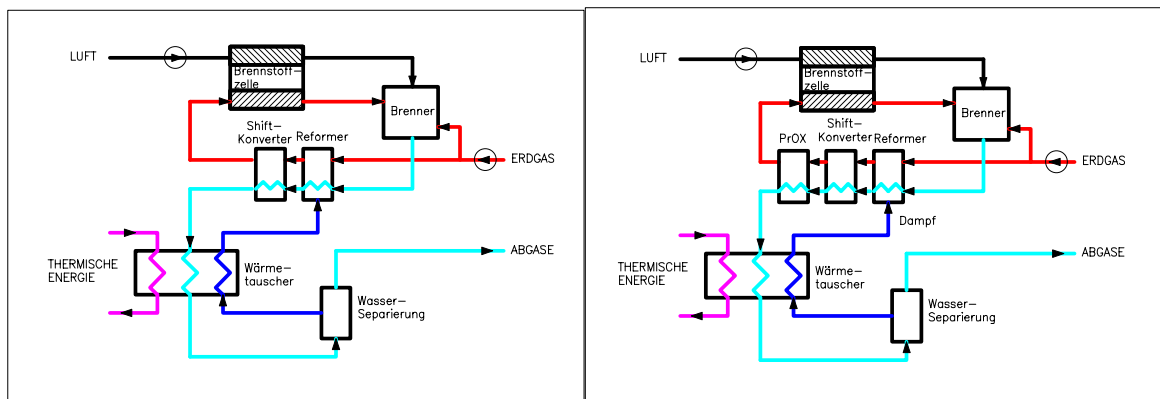


Abbildung 18 Vereinfachtes Systemdiagramm von PAFC und PEFC Systemen ²²
(Quelle: [L 4])

Derzeit einziger Anbieter von Komplettanlagen einer phosphorsauren Brennstoffzelle ist die amerikanische Firma ONSI Corporation, die bereits langjährige Erfahrung auf dem Gebiet der phosphorsauren Brennstoffzellen vorweisen kann. Weitere zukünftige Anbieter von derartigen Anlagen sind in Japan angesiedelt: Fuji, Mitsubishi und Toshiba, die sich allerdings vorerst auf den japanischen Markt konzentrieren. Kommerzielle Anlagen für den europäischen Markt werden derzeit nicht ausgeliefert.



Abbildung 19 Ansicht der PC25-C (200 kW_{el}) von ONSI (Quelle: IFC)
Die PC25-C von ONSI (USA) wird als anschlussfertiger Container ausgeliefert, in dem Brennstoffaufbereitung (Entschwefler, Reformer und Shift-Konverter), Zellstapel, Wechselrichter, Wärmeauskopplung und Brennstoffzellen-Steuerung integriert sind. Für eine Inbetriebnahme sind die Erdgaszuführung (optional auch Flüssiggas-Luft-Gemische), die Stromauskopplung, eine Telefonleitung für die Fernüberwachung seitens ONSI, die Wärmeanbindung und die Stickstoffversorgung (Inertisierung bei An- und Niederfahrvorgängen) anzuschließen. Außerdem muss der mitgelieferte Kühler an das Containermodul angeschlossen werden.

²² Festzustellen ist weiters, dass PAFC Systeme vorwiegend atmosphärisch betrieben werden, der Betriebsdruck bei PEFC-Systeme liegt bei > 3 atm. Dies hat eine komplexere Betriebsführung und einen erhöhten Apparatenaufwand (ein bzw. zweistufige Turbokompressoren luftseitig) bei PEFC-Systemen zur Folge.

Die elektrische Nennleistung dieser Brennstoffzelle beträgt 200 kW, die thermische Leistung bei Nennlast ist mit 220 kW bei (60°C/40°C) angeführt. Der elektrische Wirkungsgrad beträgt bei Inbetriebnahme ca. 40 % (UHW).

Tabelle 7 Technische Daten der Brennstoffzelle PC 25-C²³ (Quelle: [L 4])

| | |
|------------------------------|---|
| Elektrische Leistung | 200 kW (400 V, 50 Hz, 3 Phasen) |
| Nutzbare thermische Leistung | Ca. 110 kW bei 110°C/90°C und ca. 70 kW bei 50°C/40°C bei Verwendung einer optionalen Hochtemperaturskopplung |
| Gasverbrauch | 54 m ³ /h _{i,N.} , Erdgas H |
| Masse | 18 t |
| Volumen | L: 5,5 m; B: 3,0 m; H: 3,0 m |
| Aufstellungsort | Außen / innen |

In einer Vielzahl von Pilotprojekten konnte die prinzipielle Eignung einer solchen Anlage zur Strom- und Wärmeversorgung (bei geeigneten Temperaturniveaus) von Wohnanlagen, Schwimmbädern, Gewerbebetrieben u.ä. demonstriert werden. Eine weitere Verbreitung der PC25-C wird vor allem durch die hohen Investitionskosten und bestimmte technische Gegebenheiten (wie Ganzjahres-Betrieb) limitiert, die noch nicht mit konventionellen BHKW-Anlagen konkurrieren können. Die prognostizierte Preisreduktion der Anlagenpreise konnte von ONSI nicht bestätigt werden. Im Gegenteil, es kam zu Preissteigerungen in den letzten Jahren (siehe hierzu Abbildung 20).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für dieses Brennstoffzellen-System wurden in [L 3] durchgeführt.

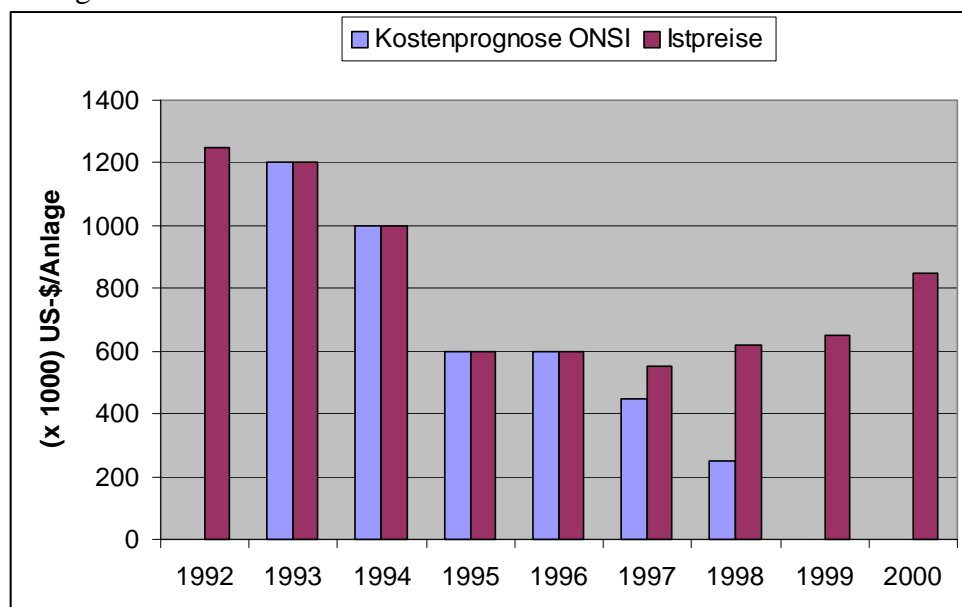


Abbildung 20 Kostenprognose und Preisentwicklung der PC 25 von ONSI ²⁴

²³ _Auslieferung als ein anschlussfähiges Containeraggregat mit Kühlmodul.

(Quelle: [L 23])

Der Trend bei PAFC Systemen war in den letzten Jahren dahingehend, die verfügbare Abwärme in Form von Dampf (bis 170 °C) und Warmwasser zu nutzen. Der erwartete thermische Wirkungsgrad ist dabei zwischen 20 bis 25 % (UHW) für Dampf und etwa 20 % für Warmwasser.

Die Anlagen der ersten Generation der PC25-A sind nach durchschnittlich etwa 30.000 Betriebsstunden mehrheitlich wieder außer Betrieb genommen worden. Dabei wurde festgestellt, dass der elektrische Wirkungsgrad innerhalb der Einsatzzeit von 40 % auf etwa 30 bis 35 % gefallen war!

Die Abnahme des Wirkungsgrades wird zum überwiegenden Teil durch die Degradation im Zellstapel und nur zu einem sehr geringen Teil durch die anderen Anlagenteile hervorgerufen.

Anhand der Emissionswerte einer PC25-C soll beispielhaft die Umweltfreundlichkeit der Brennstoffzellen im Vergleich zu österreichischen Grenzwerten (LRV-K 1989 in der Novelle vom 30.9.1994) bzw. dem Stand der Technik von Gasmotoren und Mikro-Gasturbinen vorgestellt werden. Weiters finden sich in diesem Diagramm die maximalen Emissionsgrenzwerte für Gasmotoren $\Omega 800 \text{ kW}_{el}$, welche zur Erlangung einer Förderung durch die Österreichische Kommunalkredit AG eingehalten werden müssen. Der Standard-Fördersatz von derartigen Projekten beträgt 30 %, das maximale Fördervolumen ATS 20 Millionen.²⁵

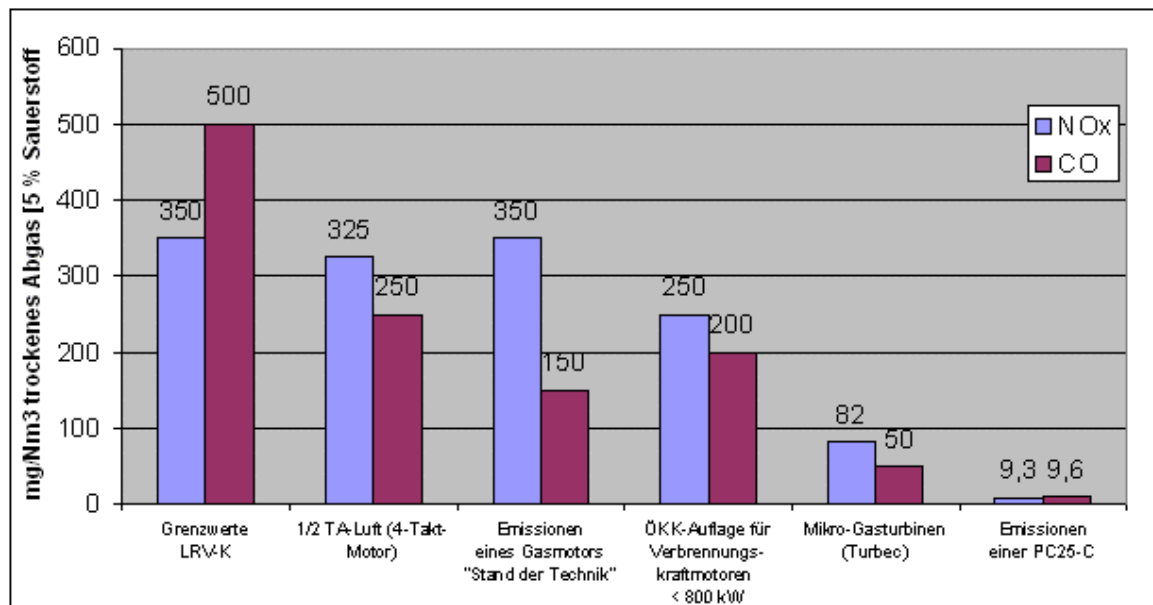


Abbildung 21 Emissionswerte von phosphorsauren Brennstoffzellen (ONSI PC25C) und Mikro-Gasturbinen im Vergleich zu den Emissionsgrenzwerten der LRV-K, der TA-Luft und eines Gasmotors „Stand der Technik“ und den ÖKK-Auflagen zur Erlangung einer Investförderung.²⁶ (Quelle: [L 4])

²⁴ Eine konventionelle 200 kW_{el} BHKW-Anlage ist zu Preisen von ATS 10.000/kW_{el} erhältlich (siehe hierzu auch Kapitel 3.6. Dies entspricht ca. US-\$ 140.000. /[L 26/

²⁵ basierend auf Umweltförderungsgesetz BGBl. Nr. 185/1993, Förderungsrichtlinien 1997.

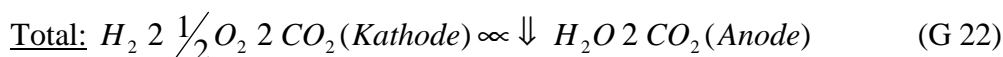
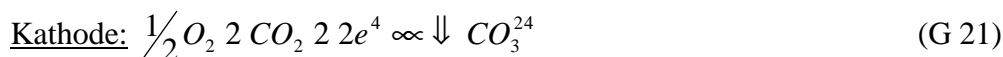
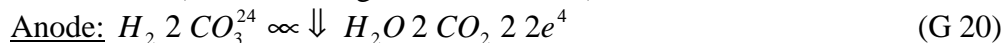
²⁶ basierend auf 5 % O₂ im Abgas.

Betrachtet man die Produktentwicklung der PAFC insbesondere der Firma IFC/ONSI, so ist festzustellen, dass die durchgeführten Entwicklungen nicht die angestrebten technischen und wirtschaftlichen Optimierungen bewirkt haben. Zumindest in Europa ist daher derzeit mit einer breiten Marktdurchdringung dieses Typs nicht zu rechnen. Nischenanwendungen wie z.B. der Einsatz von PAFC Anlagen für die Nutzung von Klärgas, wie dies durch die GEW Köln derzeit erprobt wird, können nach Vorliegen von unabhängigen Testresultaten zu anderen Schlussfolgerungen führen.²⁷

3.4.4 Die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC)

Die MCFC wird oft auch als Brennstoffzelle der zweiten Generation bezeichnet, da eine Kommerzialisierung nach der phosphorsauren Brennstoffzelle erwartet wird. Die führenden Brennstoffzellen-Entwicklungsfirmen sind Fuel Cell Energy in den USA und MTU in Deutschland. Weitere Entwicklungsfirmen in Europa sind ECN, Ansaldo, in Japan Firmen wie Hitachi, Mitsubishi Electric Corp. und Ishikawajima-Harima Heavy Industries. [L 28]

In der Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle wird ein Elektrolyt in Form geschmolzener Alkali-Karbonate, zumeist in einer hochporösen keramischen Matrix verwendet (siehe Tabelle 8). Die Ionenleitung erfolgt über Karbonationen. Die MCFC erlaubt die elektrochemische Umsetzung von H₂/CO-Gemischen, wobei das CO nicht elektrochemisch umgewandelt wird, sondern auf der Elektrode chemisch in H₂ konvertiert wird (CO + H₂O → CO₂ + H₂). Der Sauerstofftransport von der Kathode zur Anode erfolgt durch Wanderung von Karbonationen im Elektrolyten, d.h. zusätzlich zur elektrochemischen Reaktion des H₂ und O₂ erfolgt ein Transfer des CO₂ von der Anode zur Kathode (siehe nachfolgende Reaktionen).



Unterschiedlich zu den Niedertemperatur-Systemen AFC, PEFC und PAFC werden für die Elektroden-Materialien der MCFC poröse Metalle bzw. Metalllegierungen vorwiegend auf Ni-Basis eingesetzt (siehe hierzu Tabelle 8).

²⁷ Projektinformationen finden sich unter: <http://www.h2guide.de/projekte/pfs19.html>

Tabelle 8 Historische Entwicklung der eingesetzten Materialien in den MCFC Zellkomponenten (Quelle: [L 8])

| Komponente | Ca. 1965 | Ca. 1975 | Derzeit |
|---------------------------|--|---|--|
| Anode | Pt, Pd oder Ni | Ni, - 10 Gew-% Cr | Ni-Cr/Ni-Al 3 - 6 σ m Porengröße 45 - 70 % Porosität 0,20 - 1,5 mm Schichtdicke 0,1 - 1 m ² /g |
| Kathode | Ag ₂ O oder Lithium dotiertes NiO | Lithium dotiertes NiO | Lithium dotiertes NiO 7 - 15 σ m Porengröße 70 - 80 % Porosität zu Beginn 60 - 65 % Porosität nach der Oxidation 0,5 - 1 mm Schichtdicke 0,5 m ² /g |
| Elektrolyt-Trägermaterial | MgO | Mischung aus ζ -, η - v- LiAlO ₂ 10 - 20 m ² /g | v-LiAlO ₂ , ζ -LiAlO ₂ 0,1 - 12 m ² /g 0,5 - 1 mm Schichtdicke |
| Elektrolyt *) | 52 Li - 48 Na 43,5 Li, 31,5 Na, 25 K | 62 Li - 38 K ~ 60 - 65 % Heißpress-Verfahren 1,8 mm Schichtdicke | 62 Li - 38 K 50 Li - 50 Na Bandzieh-Verfahren 0,5 - 1 mm Schichtdicke |

*) Angaben werden in Mol-Prozent gemacht.

Die Optimierungen in den Elektroden wie z.B. die Verringerung der Schichtdicken führten – ähnlich wie bei den anderen Brennstoffzellen-Typen – zu einer deutlichen Verbesserung der Leistungsdaten, die in Abbildung 22 gezeigt werden. Typische Leistungsdichten von MCFC Systemen liegen bei 120 mW/cm² (0,7 V, 200 mW/cm²).

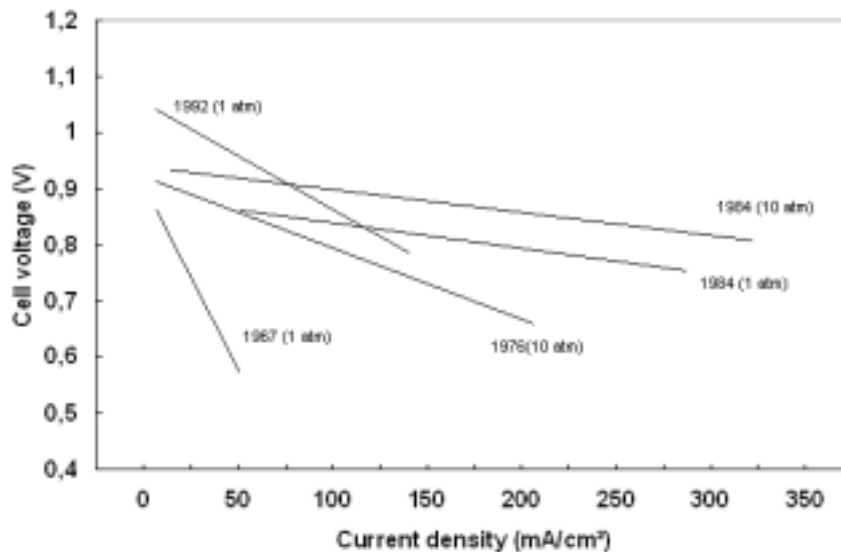


Abbildung 22 Historische Leistungsentwicklung von MCFC Systemen (Quelle: [L 8])

Die Arbeitstemperatur einer MCFC liegt etwa zwischen 600 und 650 °C. Aus diesem Temperaturbereich resultieren einige Vorteile, die sie gegenüber den anderen Zelltypen hervorheben:

- (i) Die hohe Arbeitstemperatur erlaubt es, die Abwärme des Zellstapels für die Reformierung des Brenngases²⁸ zu verwenden. Außerdem ist eine MCFC im Gegensatz zur PAFC, die nur wenig CO (< 1 % im Volumenstrom) verträgt, unempfindlich gegenüber CO und CO₂. Dadurch können herkömmliche Brenngase wie Erdgas, Synthesegas oder Biogas²⁹ direkt eingesetzt und intern reformiert werden.
- (ii) Die hohe Arbeitstemperatur hat den Vorteil, dass im Gegensatz zu Niedertemperatur-Brennstoffzellen keine teuren Katalysatoren verwendet werden müssen. Außerdem können für die Fertigung in diesem Temperaturbereich noch handelsübliche Werkstoffe/Materialien eingesetzt werden.
- (iii) Die hohe Arbeitstemperatur hat auch ein hohes Temperaturniveau der Abwärme zur Folge, welche eine Vielzahl von Anwendungen sowohl in der Industrie als auch im öffentlichen Bereich ermöglicht.

Diesen Vorteilen stehen allerdings auch eine Reihe von Nachteilen bzw. Ressentiments gegenüber. Insbesondere konnten die großen amerikanischen Demonstrationsprojekte der Firmen ERC³⁰ und MC-Power im Leistungsbereich von 250 kW_{el} bis 1 MW_{el} nicht klären, ob der Betrieb von derartigen Anlagen thermische Zyklen (wiederholtes schnelles An- und Abfahren) und transiente Lastgänge zulässt, wie dies im praktischen Betrieb oft vorkommen kann. [L 29]. Die Gründe hierfür lagen sowohl bei den eingesetzten Komponenten im Brennstoffzellen-Stack, bei den Systemkomponenten als auch bei der Systemlösung, die zum Einsatz kam.

²⁸ Dieser Vorgang wird oft auch als internes Reformieren ("internal reforming") bezeichnet.

²⁹ Gereinigtes Biogas ohne Verunreinigungen, wie z.B. S, Cl, Staub, etc.

³⁰ Im Jahre 1999 änderte die Firma Energy Research Corp. (ERC) ihren Namen zu Fuel Cell Energy.

Weiters konnten wichtige Fragen hinsichtlich Lebensdauer, Leistung, Verfügbarkeit, Kosten, Wartung und Betriebsführung nicht beantwortet werden. [L 29].



Abbildung 23 Oben: 250 kW_{el} Anlage der Firma MC-Power
Unten: 2 MW_{el} Anlage der Firma ERC (Quelle: DOE)

In den Jahren 1997/1998 stieg die deutsche Firma MTU Friedrichshafen in die MCFC-Technologie ein und entwickelte das sogenannte „Hot Module“ mit einer Leistung von 280 kW_{el}. Dieses "Hot-Module" (siehe Abbildung 24) unterscheidet sich sehr wesentlich von den bisherigen MCFC Ausführungen, da der Stack in einem beheizbaren Stahlmantel eingebettet ist. Damit ergeben sich eine Reihe von Vorteilen beim Betrieb des Brennstoffzellen-Stacks. Weiters können die MCFC Stacks sehr einfach ausgetauscht werden (siehe hierzu Abbildung 24). Die erfolgversprechenden FTE-Ergebnisse der MTU resultierten in weiterer Folge in der Durchführung von zwei Pilotprojekten bei den Stadtwerken in Bielefeld und in der Rhon-Klinik in Freistadt an der Saale. Die prinzipiellen Kenndaten des Hot-Modules sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

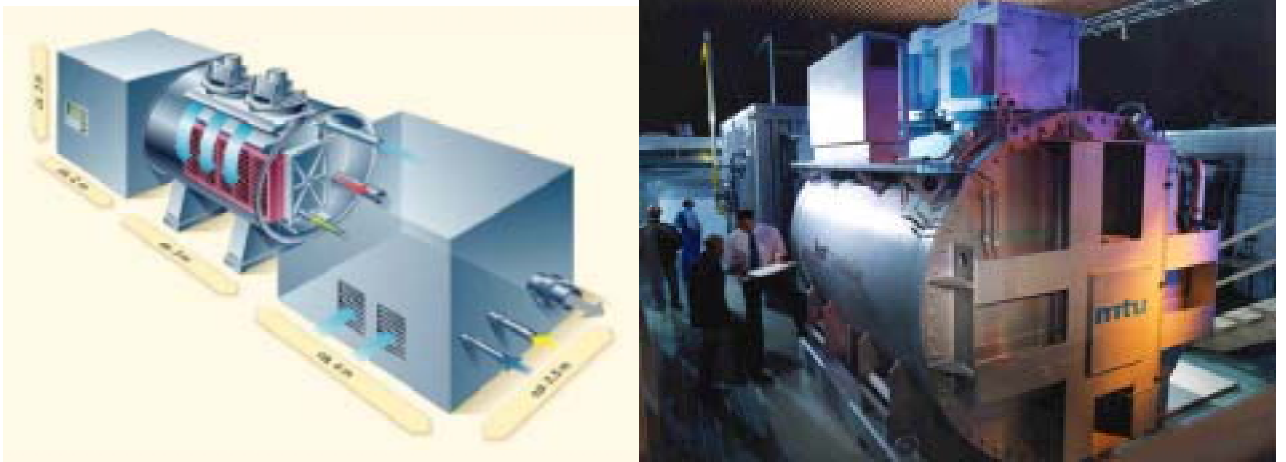


Abbildung 24 Konzeptionelles Design und Foto des „Hot-Modules“ der Firma MTU (Quelle: [L 32])

Tabelle 9 Charakteristika des Hot-Modules (Quelle: [L 33])

| | |
|--------------------------------------|--|
| Elektrische Nennleistung | 250 kW |
| Tatsächlich erzielte Leistung | 225 kW |
| Elektrische Leistung im Dauerbetrieb | 153 kW |
| Elektrischer Wirkungsgrad | 47 % |
| Emissionen | CO: 14 mg/m ³ NO _x : < 2 mg/m ³ C _x H _y : 5 mg/m ³ |

Basierend auf den positiven Testresultaten der Anlagen in Bielefeld und Neustadt an der Saale hat die MTU im Rahmen des 7. Grove Fuel Cell Seminars im September d. J. in London sieben weitere Demonstrationsprojekte angekündigt, die im nächsten Jahr in Europa realisiert werden sollen. Folgende Firmen/Standorte wurden genannt: (i) RWE (BHKW-Ausführung für deren Energiepark), (ii) IZAR Schiffsbau (BHKW-Ausführung), (iii) Deutsche Telecom (DC und Back-up), (iv) EnBW / Michelin (BHKW-Ausführung; Strom, Wärme und Dampf für die Reifenproduktion), (v) E-ON / Degussa (BHKW-Ausführung und CO₂-Nutzung), (vi) IPF-KG (Notstrom- und BHKW-Anlage), (vii) VSE-AG (BHKW Ausführung für eine Wäscherei und CO₂-Nutzung in einem Gewächshaus). Die MTU sieht insbesondere im Einsatz von Biogas eine vielversprechende Anwendung für die MCFC Technologie. Durch die direkte Nutzungsmöglichkeiten des CO anodenseitig und der Kühleffekte des CO₂ anodenseitig³¹, erreichen MCFC Anlagen basierend auf Biogas ähnlich hohe Wirkungsgrade wie beim Einsatz von Erdgas. [L 33] Die FTE-Aktivitäten der MCFC Technologie werden derzeit von der MTU dominiert. Die Firma Fuel Cell Energy liefert hierzu die MCFC Stacks zu und verweist ihrerseits auf ein Produkt-Portfolio, das drei Produktgrößen inkludiert (250 kW_{el}, 1000 kW_{el} und 2000 kW_{el}). In den USA laufen bis dato 5 Demonstrationsanlagen (bzw. „Commerical Trials“ wie diese von FCE bezeichnet werden)³². Die Ergebnisse, der vom amerikanischen Energieministerium DOE gestützten Projekte, wurden oben bereits skizziert. Weiters beschäftigt sich Fuel Cell Energy mit der Entwicklung einer Hybridanlage bestehend aus MCFC und Gasturbine im Rahmen des „Vision 21“ Programms des DOE. Die Entwicklungen in Japan beschränkten sich bis dato auf Pilotanlagen. Die Ergebnisse der 1 MW_{el} Anlage³³ in Kawagoe und der 200 kW_{el} Anlage³⁴ in Amagasaki sind ähnlich zu werten wie die obig skizzierten amerikanischen Projekte. [L 28]

³¹ Zur Erklärung: An die 40 bis 50 % der Brennstoffenthalpie wird in jeder Brennstoffzelle in Wärme umgewandelt, der Rest in elektrische Energie in Form von Gleichstrom.

³² Hierbei sind Projekte inkludiert, die kurz vor Projektbeginn stehen.

³³ Für diese Anlage lieferten sowohl die Firma Ishikawajima - Harima Heavy Industries als auch die Firma Hitachi jeweils 2 x 250 kW_{el} MCFC Stacks im Rahmen des japanischen "New-Sunshine" FTE Programms.

³⁴ Diese Anlage wurde von der Firma Mitsubishi Electric Corp. im Rahmen des "New-Sunshine" FTE Programms realisiert.

3.4.5 Die oxidkeramische Brennstoffzelle (SOFC)

Die Betriebstemperatur von SOFC Systemen liegt bei ca. 1000 °C. Dieses Temperaturniveau stellt insbesondere an die eingesetzten Materialien/Komponenten sehr hohe Anforderungen. Durch die hohe Betriebstemperatur ergeben sich allerdings auch eine Reihe von Vorteilen wie:

- (i) der Wegfall teurer Edelmetall-Katalysatoren für die elektrochemische Reaktion,
- (ii) die Möglichkeit, gasförmige Kohlenwasserstoffe direkt zu reformieren („internal reforming“) und
- (iii) ein sehr hohes Temperaturniveau der anfallenden Abwärme, welches ein breites Anwendungsfeld für die diversen öffentlichen und industriellen Sektoren ermöglicht.

Die SOFC ist die einzige Brennstoffzelle, die vollständig aus Festmaterialien/Keramiken aufgebaut ist. Dadurch ergeben sich auch Vorteile beim Betrieb des Stacks, da kein Elektrolytmanagement - wie bei anderen Brennstoffzellentypen - erforderlich ist. Aufgrund der hohen Temperatur sind die Polarisationsverluste vergleichsweise gering. Die elektrochemischen Reaktionen, die in einer SOFC ablaufen, werden in Abbildung 25 vorgestellt. Anodenseitig reagiert Wasserstoff und/oder Kohlenmonoxid mit Oxidionen zu Wasser bzw. Kohlendioxid. Dabei werden zwei Elektronen für den äußeren Stromkreis frei. Diese Elektronen reagieren kathodenseitig mit Sauerstoff und produzieren Oxidionen.

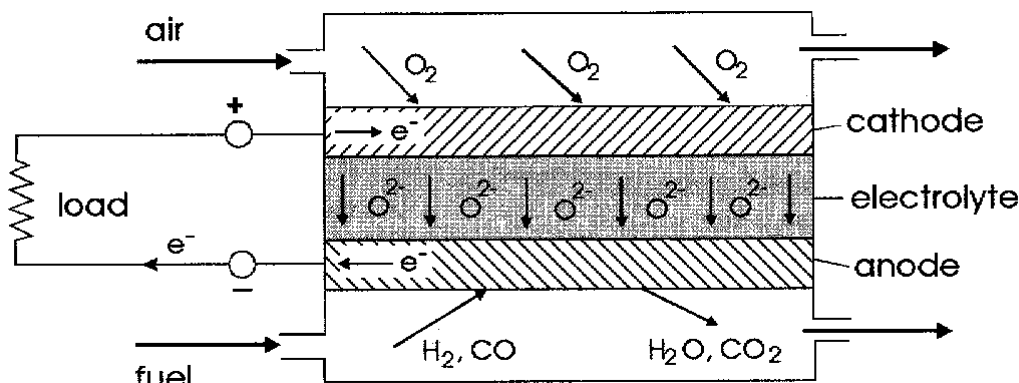


Abbildung 25 Funktionsprinzip der elektrochemischen Reaktionen in einer SOFC (Quelle: [L 2])

chemische Reaktionen in Abbildung 25:

Brennstoffzelle: Anode: $\text{H}_2 + \text{O}^{2-} \downarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$, $\text{CO} + \text{O}^{2-} \downarrow \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$

Kathode: $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{e}^- \downarrow \text{O}^{2-}$

Tabelle 10 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die derzeit eingesetzten Materialien für die verschiedenen Zellkomponenten. Dabei wurden vorwiegend Materialien/Komponenten des röhrenförmigen Zellenkonzepts der Firma Siemens/Westinghouse berücksichtigt. Aufgrund der hohen Betriebstemperatur (bis 1000 °C) ergeben sich für die verwendeten Materialien folgende Anforderungen:

- (i) hohe chemische und strukturelle Stabilität in oxidierender und reduzierender Atmosphäre,
- (ii) hohe chemische Stabilität der Kontaktmaterialien,
- (iii) gute ionische und elektrische Leitfähigkeit der aktiven Zellkomponenten und
- (iv) gute thermochemische Kompatibilität.

FTE Aktivitäten bei der SOFC sind dahingehend zu sehen, dass Materialien/Komponenten entwickelt werden, die bereits bei einem Temperaturniveau von 450 bis 650 °C obig genannte Anforderungen erfüllen.

Tabelle 10 Historische Entwicklung der Zellkomponenten von oxidkeramischen Brennstoffzellensystemen (Quelle: [L 8], [L 34])

| Komponenten | ca. 1965 | ca. 1975 | derzeitiger Status ¹⁾ |
|----------------------------|--|---|--|
| Anode | poröse Platin-elektroden | Ni / ZrO ₂ Cermet | Ni / ZrO ₂ Cermet (30 mol-% Ni) „deposit slurry“ 12,5 x 10 ⁻⁶ cm / cm √C Expansionskoeffizient (25 bis 1000 √C) ~ 150 σm Schichtdicke 20 - 40 % Porosität |
| Kathode | poröse Platin-elektroden | Stabilisiertes ZrO ₂ welches mit Praseodymoxid imprägniert und mit ZnO dotiertem Im ₂ O ₃ beschichtet ist. | Strontium dotiertes Lanthanmanganit (10 mol.-% Sr) „deposit slurry“, Sintern ~ 1 mm Schichtdicke 12 x 10 ⁻⁶ cm/cm √C Expansionskoeffizient (25 bis 1000 √C) 20 - 40 % Porosität |
| Elektrolyt | Yttrium stabilisiertes ZrO ₂ 0,5 mm Schichtdicke | Yttrium stabilisiertes ZrO ₂ | Yttrium stabilisiertes ZrO ₂ (8 mol.-% Y) EVD ³⁾ 10,5 x 10 ⁻⁶ cm/cm √C Expansionskoeffizient (25 bis 1000 √C) ~ 40 σm Schichtdicke |
| Zellverbindung | Platin | Mangan dotiertes Kobaltoxid | Magnesium dotiertes Lanthanchromit (10 mol.-% Mg) EVD ³⁾ ~ 40 σm Schichtdicke |
| Supportröhre ⁴⁾ | Yttrium stabilisiertes ZrO ₂ | Yttrium stabilisiertes ZrO ₂ | Kalzium stabilisiertes Zirkondioxid (15 mol.-% CaO) 34 – 35 % Porosität 12,8 mm innerer Durchmesser 1-2 mm Wanddurchmesser |

- 1) Spezifikationen gelten für das röhrenförmige Konzept von Siemens/Westinghouse
- 2) Y₂O₃ stabilisiertes ZrO₂
- 3) EVD („Electrochemical Vapor Deposition“) = Elektrochemisches Aufdampfverfahren zur Herstellung von dünnen keramischen Schichten
- 4) Diese Supportröhre wurde im röhrenförmigen Zellendesign von Siemens/Westinghouse aufgrund der limitierten Leistungsdaten eliminiert. Die Kathode, welche mittels Extrusionsverfahren gefertigt wird, ist nun etwas dicker, um die Supportröhre zu kompensieren.

Eine detaillierte Beschreibung hinsichtlich der Anforderungen und Eigenschaften der eingesetzten Materialien und Komponenten in einer SOFC Brennstoffzelle findet sich in [L 35].

Unterschiedlich zu den Karbonatschmelze Brennstoffzellen (aber auch phosphorsäuren und Polymermembran Brennstoffzellen), die vorwiegend nach dem bipolaren planaren System aufgebaut sind, wurden bei der oxidkeramischen Brennstoffzelle unterschiedliche Designs entwickelt (siehe Abbildung 26).

- (i) **tubular** (Siemens/Westinghouse und Mitsubishi Heavy Industries MHI)
- (ii) **monolithic** (Honeywell)
- (iii) **planar** (Ceramatec, MHI und Sulzer)

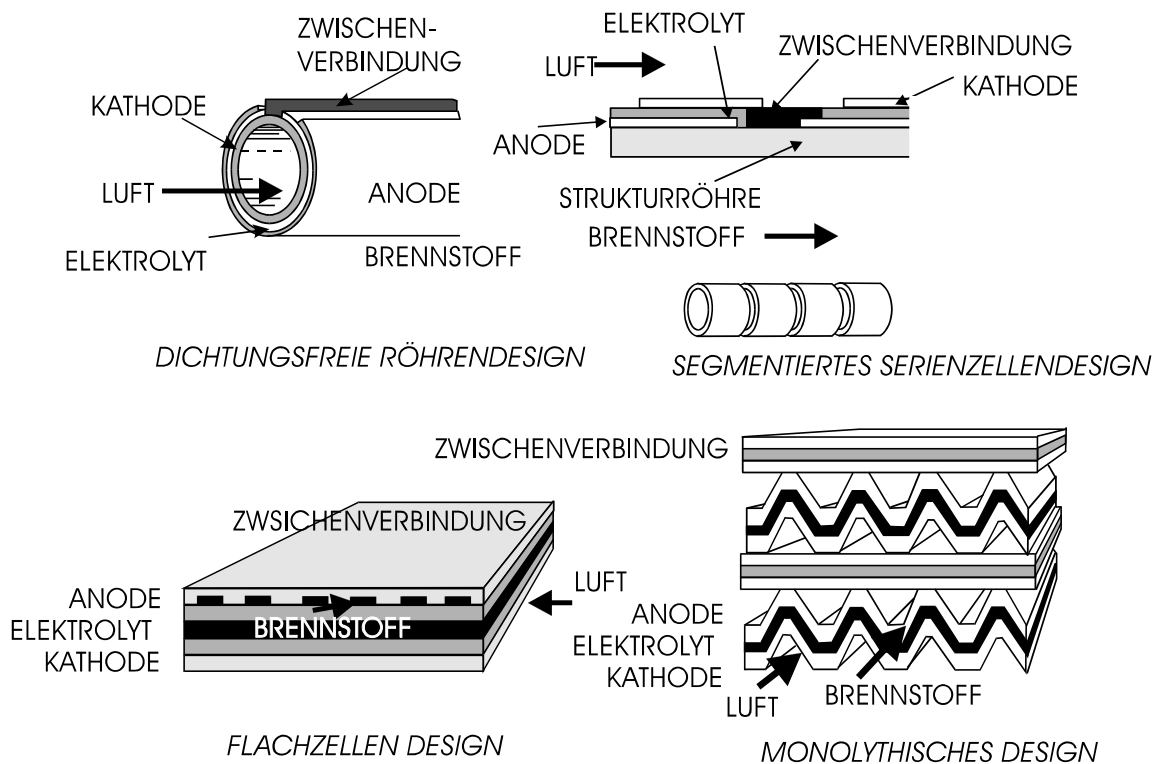


Abbildung 26 Oxidkeramische Brennstoffzellen-Designs (Quelle: [L 4])

Die nächsten Punkte enthalten eine Analyse bzw. Charakterisierung der derzeit in Entwicklung befindlichen oxidkeramischen Brennstoffzellen-Designs:

- (i) Die gegenwärtig relevanten Designs und die damit eingesetzten Materialien werden bei einer Temperatur bis an die 1000 °C betrieben. Diese hohe Temperatur ist bedingt durch die Leitfähigkeiten der Keramikverbindungen und hat teure Fertigungsverfahren der Komponenten zur Folge.
- (ii) Die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der verschiedenen Zellkomponenten führen zu mechanischen Stresssituationen und in weiterer Folge zu Rissen in den Zellkomponenten („Cracking“). Dieses Phänomen ist vor allem bei bipolaren „planaren“ Stapelkonfigurationen zu beobachten.
- (iii) Phasengrenzreaktionen der Zellkomponenten führen zu Alterungserscheinungen und dem damit verbundenen Verlust der Zellintegrität (z.B. Sinterungserscheinungen) und
- (iv) die verwendeten Keramiken basieren auf komplexen Produktionsvorgängen, die teure Produktionskosten zur Folge haben.

Aus diesen vier Punkten resultieren auch die derzeitigen FTE-Aktivitäten der verschiedenen Entwicklungsfirmen, wobei vorweggenommen werden kann, dass das röhrenförmige Design von Siemens/Westinghouse für den Einsatz in BHKW und reinen Stromerzeugungsanlagen als das am weitesten entwickelte Konzept angesehen werden kann.

Die Entwicklungsaktivitäten bei der SOFC konzentrieren sich auf die folgenden Applikationen:

- (i) Brennstoffzellen-Heizgeräte (bis zu einer elektrischen Leistungsgröße von 5 kW)
- (ii) BHKW-Anlagen und dezentrale Stromerzeugungsanlagen (250 kW_{el} bis 1 MW_{el}).

3.4.5.1 Brennstoffzellen-Heizgeräte auf SOFC-Basis

Sulzer Hexis AG konzentriert sich auf Geräte mit einem Leistungsbereich von 1 kW_{el} und 3 kW_{th} . Abbildung 27 zeigt den schematischen Aufbau und ein Bild eines Brennstoffzellen-Heizgerätes dieser Firma. Für die wärmetechnische Einbindung in die Gebäudetechnik wird ein Zusatzbrenner zur Erzeugung der zusätzlich benötigten Wärmeenergie eingesetzt. Dies ist aus mehreren Gründen sinnvoll. Zum einen ist so eine Entkopplung der elektrischen und der thermischen Energie möglich, zum anderen muss die Brennstoffzelle nicht auf den gesamten Wärmebedarf ausgelegt werden, da der Zusatzbrenner die Restwärme erzeugt. Durch einen ausreichend dimensionierten Wärmespeicher ist eine weitergehende Entkopplung der thermischen und elektrischen Erzeugung möglich, wodurch z.B. während der Sommermonate auf den Zusatzbrenner verzichtet werden kann.

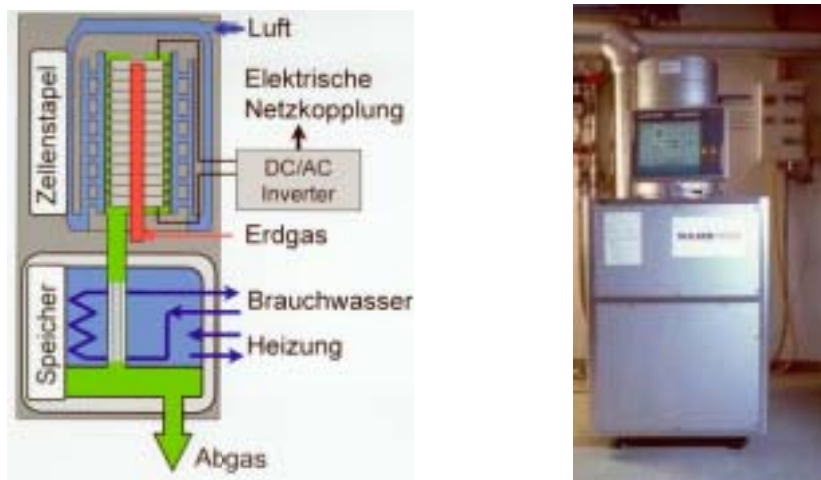


Abbildung 27 Sulzer Hexis Brennstoffzellen-Modul, Prozessschema und Foto der Anlage. (Quelle: Sulzer Hexis AG)

Seit Herbst 1997 wurden 8 Feldtestanlagen (ζ -Testserie) bei Vertriebspartnern von Sulzer Hexis installiert (siehe Tabelle 11). Bis Ende 2000 haben diese Anlagen insgesamt 50.000 Betriebsstunden akkumuliert. Die gesammelten Erfahrungen kommen der weiteren Produktentwicklung zugute. An einzelnen Anlagen wurden Spezialprogramme durchgeführt, wie:

- (i) das Abfahren von diversen Tagesganglinien,
- (ii) das Testen von neuartigen Stacks und
- (iii) alternative Gasaufbereitungsverfahren auf ihre Praxistauglichkeit geprüft.

Tabelle 11 Sulzer's Feldtests von 1997 bis 2001 (Quelle: Sulzer Hexis AG)

| Feldtestpartner | Jahr des Feldtests | Ort | Charakterisierung |
|---|--------------------|------------------------|--|
| Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH | 1997-1998 | Dortmund, Deutschland | Regionales Energieversorgungsunternehmen |
| Städtische Werke Winterthur www.stadt-winterthur.ch/stww | 1997-1998 | Winterthur, Schweiz | Regionales Energieversorgungsunternehmen |
| Amt für Umwelt und Energie www.bs.ch/bd/aeu.htm | 1998-2001 | Basel, Schweiz | Öffentlicher Sektor |
| EWE AG www.ewe.de | 1998-2001 | Oldenburg, Deutschland | Regionales Energieversorgungsunternehmen |
| Thyssengas GmbH www.thyssengas.de | 1998-2001 | Duisburg, Deutschland | Überregionales Gasversorgungsunternehmen |
| Tokyo Gas Co. Ltd. www.tokyo-gas.co.jp | 1998-2001 | Tokyo, Japan | Regionales Gasversorgungsunternehmen |
| Sociedad de Gas de Euskadi, S.A. | 1998-2001 | Bilbao, Spanien | Regionales Gasversorgungsunternehmen |
| Gasunie www.gasunie.nl | 1998-2001 | Groningen, Niederlande | Überregionales Gasversorgungsunternehmen |

Bei der Produktentwicklung hat Sulzer Hexis ursprünglich mit Vaillant zusammen gearbeitet. Aufgrund verschiedener strategischer Entscheidungen haben beide Firmen diese Kooperation in den Jahren 1996/1997 gelöst. Die Produktweiterentwicklung wurde von Sulzer Hexis mit der Firma Hoval fortgesetzt, mit der ein integratives Produkt entwickelt wurde, das in einem Gehäuse sowohl Brennstoffzelle, Wärmetauscher als auch Wärmespeicher unterbringt (siehe Abbildung 28).

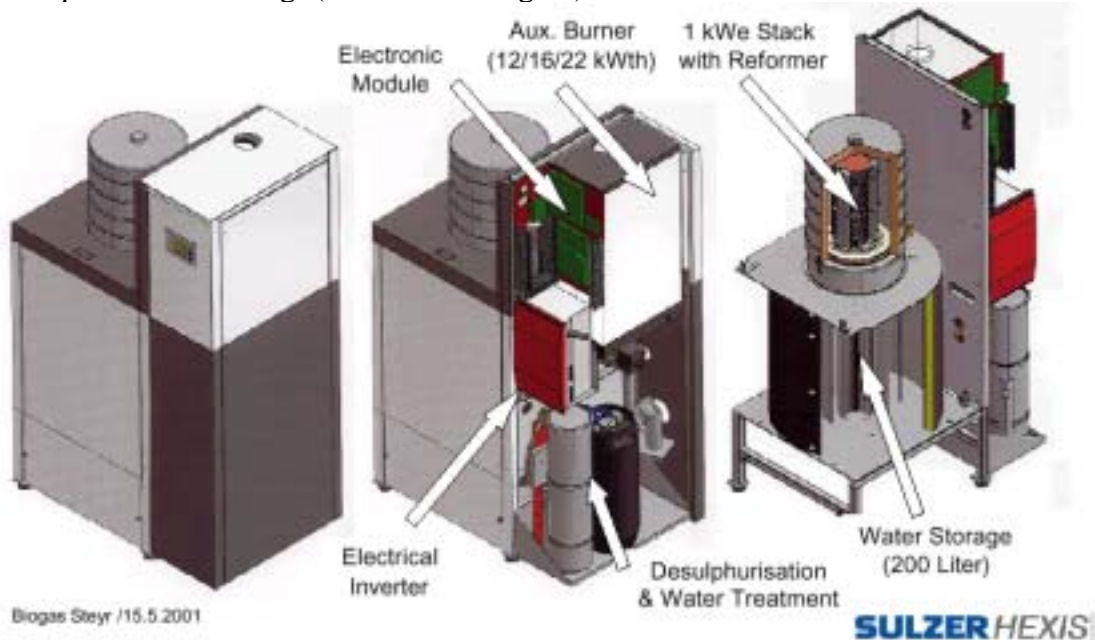


Abbildung 28 Hydraulische Schaltung der einzelnen Komponenten des Wärme-kraftkopplungs-Systems von Sulzer Hexis (Quelle: Sulzer Hexis AG)

Die Vermarktungsstrategie von Sulzer Hexis zielt auf Vertriebspartnerschaften mit Stadtwerken und Versorgungsgesellschaften ab, die Hexis-Systeme im Contracting über

ESCOs³⁵ bei ihren Kunden im Rahmen einer innovativen Dienstleistung anbieten. Installation und Service wird vom lokalen Handwerk durchgeführt (nach Schulung durch Sulzer Hexis).

In den Jahren 2001/2002 spricht Sulzer Hexis von geplanten verkauften Stückzahlen von mehreren 100 Anlagen pro Jahr, die in Winterthur gefertigt werden können. Verglichen mit Massenprodukten werden die Preise für die ersten kommerziellen Kleinserien entsprechend teuer und für ESCOs nicht übermäßig attraktiv sein! Erst ab voraussichtlich 2004/2005 rechnet Sulzer Hexis mit einer Serienproduktion mit hohen Stückzahlen (keine genauen Angaben). Detaillierte Preisvorstellungen werden von Sulzer Hexis nicht bekanntgegeben. Ältere Publikationen gehen von SFr 6.300 pro kW_{el} aus.³⁶

Die technischen Daten der Sulzer Hexis 2001 Entwicklung sind folgende:

Tabelle 12 Technische Daten der Sulzer Hexis 2001 Brennstoffzelle (Quelle: Sulzer Hexis AG)

| | |
|---|----------------------------------|
| Brennstoffzelle | |
| Elektrische Leistung | 0,05 bis 1 kW _{el} max. |
| Thermische Leistung | 0,4 bis 3 kW _{th} max. |
| Wirkungsgrad | > 25 % |
| Zusatzheizgerät | |
| Modulierendes Brennwertgerät Hoval | 4 bis 12 kW |
| TopGas (12, 16, 22) | 5 bis 16 kW |
| Thermische Leistungen | 7 bis 22 kW |
| Leistungsdaten Wärmekraftkopplungssystem | |
| Gesamtinhalt Wärmespeicher | 200 Liter |
| Elektrische Leistung | 0,5 bis 1 kW |
| Thermische Leistung | bis max. 25 kW |
| Gesamtwirkungsgrad | > 90 % |

Mit dem vorliegenden Produkt kann Sulzer Hexis an die hohen Wirkungsgrade, die in den Laborversuchen (zwischen 30 und 40 %) realisiert wurden, bis dato nicht anschließen. Grund hierfür ist – laut Sulzer - dass seriell zur Brennstoffzelle ein modulierendes Gas-Brennwertgerät mit bestimmten Systemanforderungen eingebaut ist.³⁷

Parallel zu den Feldtests werden FTE-Aktivitäten mit einer Vielzahl von Brennstoffen durchgeführt. Unter Beibehaltung der Standardkomponente des Brennstoffzellen-Stapels wird dem jeweiligen Brennstoff der jeweilige Reformier angepasst. Dieser wird bei Sulzer Hexis konzipiert und gebaut. Sulzer Hexis AG verweist auf den positiven Umstand, dass die Wirkungsgrad-Verluste von typischen Biogas-Zusammensetzungen in ersten Vorversuchen max. 5 % ausmachen. Die gute Biogas-Verträglichkeit von Brennstoffzellen, die bereits bei Versuchen der MTU im vorigen Kapitel erwähnt wurden, wird durch die Testergebnisse von Sulzer bestätigt.

³⁵ ESCO ist die Abkürzung für „Energy Service Company“ und steht für Energiedienstleistungs-Unternehmen. Diese Unternehmen werden von Sulzer für die Markteinführung von innovativen Energiedienstleistungen favorisiert.

³⁶ Siehe hierzu [L 4].

³⁷ Der Zielwert für den elektrischen Wirkungsgrad liegt – laut Herrn Dr. Raak, Telefongespräch vom 2. März d. J. – bei 30 %.

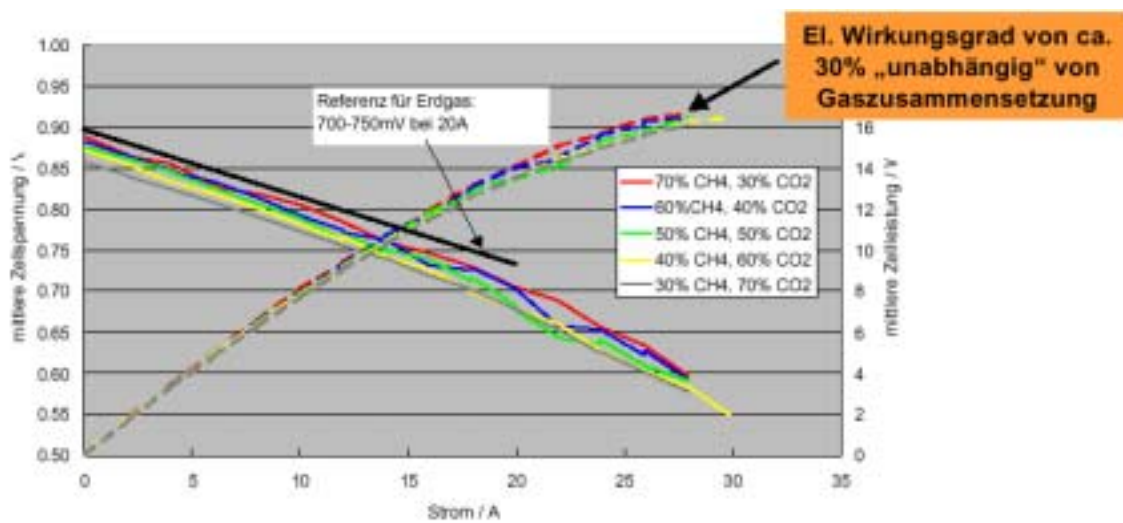


Abbildung 29 Strom-/Spannungskurve einer Sulzer Hexis Anlage mit variablen CH₄/CO₂-Gemischen (für die Simulation von möglichen Biogas-Zusammensetzungen) (Quelle: Sulzer Hexis)

Insbesondere für die Produktion von Ökostrom aus Biomasse/Biogas scheint diese Entwicklung von großer Bedeutung unter Berücksichtigung der ordnungspolitischen Rahmenbedingungen (z.B. EIWOG in Österreich) zu sein.³⁸

Zentrales Element des Brennstoffzellen-Stacks ist die bipolare Platte (siehe hierzu auch [[L 39]], welche von der Firma Plansee AG aus Reutte in Tirol zugeliefert wird. Weitere Informationen hierzu sind in Kapitel 9 auf Seite 135 angeführt.

3.4.5.2 BHKW-Anlagen und Anlagen zur reinen Stromerzeugung

Die Entwicklung der gasbefeierten SOFC-Brennstoffzelle mit bzw. ohne Mikro-/Mini-Gasturbine wird vorwiegend von der Firma Siemens Westinghouse vorangetrieben. Siemens-Westinghouse publiziert bis dato folgende durchgeführte Pilotprojekte (siehe Tabelle 13). Entwicklungen von anderen Firmen sind eher als Grundlagenarbeiten für die Weiterentwicklung von Komponenten/Stacks einzustufen und führten bis dato zu keinen Pilotanlagen.

³⁸ Das EIWOG wird in Kapitel 5.2.1 auf Seite 93 skizziert.

Tabelle 13 Liste der Pilotprojekte der Firma Siemens-Westinghouse (Quelle: [L 36])

| Jahr | Kunde | Zelltype | Nennleistung [kW _{el}] | Betriebsstunden [Bh] | Brennstoff | Erzeugte el. Energie [MWh] |
|------|--------------|----------|----------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1986 | TVA | TK-PST | 0,4 | 1700 | H ₂ und CO | 0,5 |
| 1987 | Osaka Gas | TK-PST | 3 | 3012 | H ₂ und CO | 6 |
| 1987 | Osaka Gas | TK-PST | 3 | 3683 | H ₂ und CO | 7 |
| 1987 | Tokyo Gas | TK-PST | 3 | 4882 | H ₂ und CO | 10 |
| 1992 | JGU-1 | TN-PST | 20 | 817 | Erdgas | 11 |
| 1992 | Utilities-A | TN-PST | 20 | 2601 | Erdgas | 36 |
| 1992 | Utilities-B1 | TN-PST | 20 | 1579 | Erdgas | 26 |
| 1993 | Utilites-B2 | TN-PST | 20 | 7064 | Erdgas | 108 |
| 1994 | SCE-1 | TN-PST | 20 | 6015 | Synth.Brennstoff | 99 |
| 1995 | SCE-2 | AES | 27 | 5582 | Erdgas | 118 |
| 1996 | JGU-2 | AES | 25 | 13194 | Erdgas | 282 |
| 1998 | SCE-2/NFCRC | AES | 25 | 3394 | Erdgas | 73 |
| 1997 | EDB/ELSAM | AES | 27 | 4035 | Erdgas | 471 |
| 1999 | EDB/ELSAM | AES | 100 | 12653 | Erdgas | 1474 |
| 2000 | SCE | AES | 220 | 778 | Erdgas | 131 |

TK-PST steht für „Thick Wall Porous Support Tube“

TN-PST steht für „Thin Wall Porous Support Tube“

AES steht für „Electrode Supported“

Bis dato sind von Siemens/Westinghouse vorwiegend Projekte realisiert worden ohne Einbindung der Mikro-Gasturbine. Die 100 kW_{el} Pilotanlage in Arnherm (NL) (siehe Abbildung 30) konnte die guten bis dato vorliegenden Testresultate von Siemens/Westinghouse weiter bestätigen. Die Anlage lief über 16.000 Stunden bei einem Wirkungsgrad von 46 % (BHKW-Modus) und lieferte kontinuierlich 109 kW in das elektrische Versorgungsnetz und 64 kW ins lokale Fernwärmenetz.

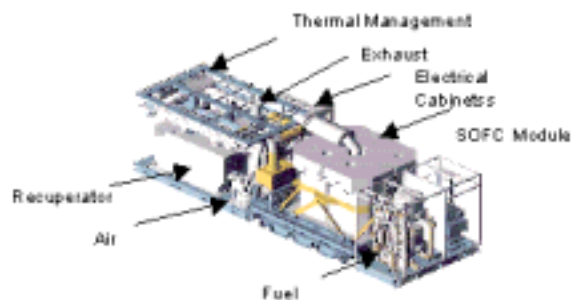


Abbildung 30 Foto und Systemkonzept der 100 kW_{el} Pilotanlage des holländisch/dänischen EVU-Konsortiums in Arnherm, Niederlande (Quelle: Siemens/Westinghouse)

In den letzten Jahren sind im Labor oxidkeramische Brennstoffzellen entwickelt worden, die bei höheren Druckbedingungen (bis 5 bar Überdruck) arbeiten und die eine Einbindung (Nachschaltung) der Mikro-/Mini-Gasturbine³⁹ sinnvoll erscheinen lassen

³⁹ DOE Definitionen limitieren die elektrische Größe von Mikro-Gasturbinen bis 250 kW, von Mini-Gasturbinen bis 1000 kW.

(Systemdiagramm und Konzeption siehe Abbildung 31). Durchgeführte Simulationen gehen davon aus, dass sich die elektrischen Wirkungsgrade durch die bessere Ausnutzung der Brennstoffenthalpie von 40 bis 45 % (single cycle mode) auf 60 bis 70 % (dual cycle mode, siehe Abbildung 31) steigern lassen.

Die Produktentwicklung von Siemens/Westinghouse konzentriert sich auf zwei Produktlinien:

- (i) 250 kW_{el} und 1 MW_{el} BHKW-Anlagen (single cycle mode) mit elektrischen Wirkungsgraden von 45 – 50 % (Gesamtwirkungsgrad: > 80 %) und
- (ii) 300 kW_{el} und 1 MW_{el} Hybrid-Anlagen (dual cycle mode) mit elektrischen Wirkungsgraden von 58 – 70 % (Gesamtwirkungsgrad > 80 %)

Wirtschaftlichkeitsabschätzungen gehen davon aus, dass solche SOFC-GT Kraftwerke mit konventionellen GuD⁴⁰-Kraftwerken konkurrieren können, wenn die Investitionskosten bei etwa 500 bis 1.000 US-\$/kW_{el} zu liegen kommen.⁴¹ [L 31]

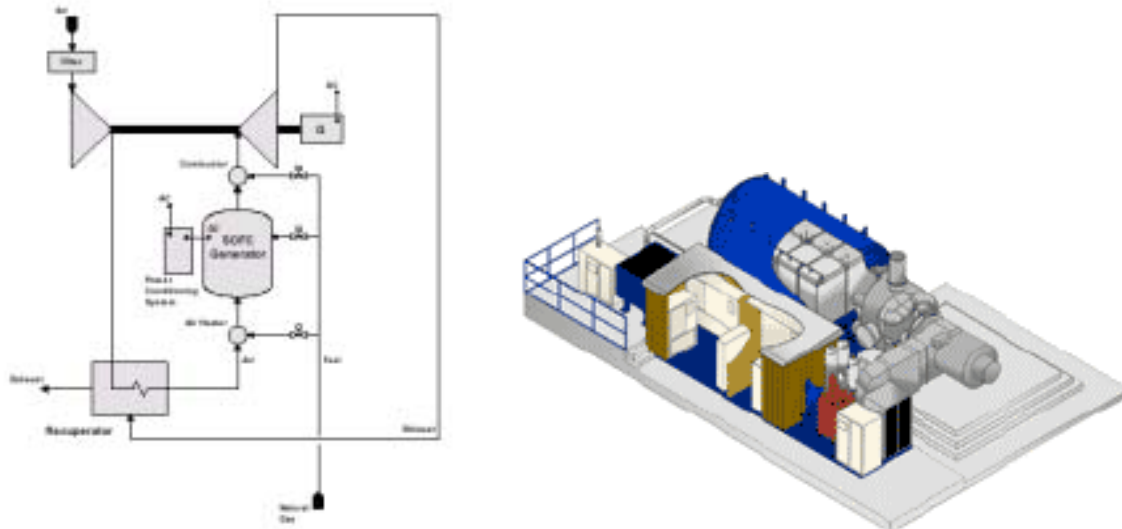


Abbildung 31 Systemdiagramm und Konzeption einer 1 MW_{el} SOFC/Gasturbinen Hybridanlage (Quelle: Siemens/Westinghouse)

Für die nächsten Jahre kündigt Siemens/Westinghouse die folgenden Pilotprojekte an (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14 Zukünftige Pilotprojekte der Firma Siemens/Westinghouse (Quelle: [L 36])

| Jahr | Kunde / Anlagentyp | Nennleistung [kW _{el}] | Brennstoff |
|------|-------------------------------------|----------------------------------|------------|
| 2001 | OPT | 250 | Erdgas |
| 2002 | Edison Spa Kombianlage | 230 | Erdgas |
| 2002 | RWE Kombianlage | 230 | Erdgas |
| 2003 | Ft Maede Kombianlage | 800 | Erdgas |
| 2003 | EnBW Kombianlage | 800 | Erdgas |
| 2003 | Shell – CO ₂ -Separation | 250 | Erdgas |

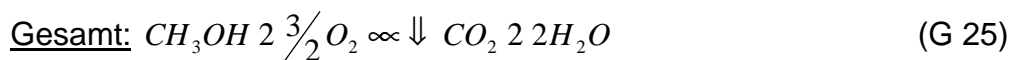
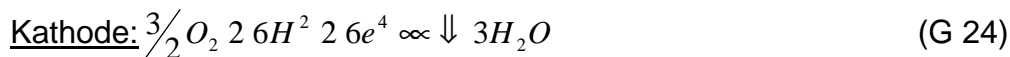
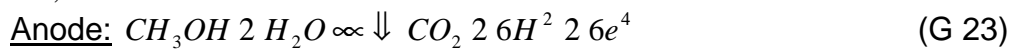
⁴⁰ GuD ist die Abkürzung für Gas- und Dampfturbine.

⁴¹ Siehe hierzu auch Ausführungen in Kapitel 3.6 auf Seite 63.

Die gegenwärtigen FTE-Aktivitäten von Siemens/Westinghouse sind dahingehend, die Kosten der Systeme zu reduzieren und das Vertrauen (längere Standzeiten, höhere Verfügbarkeit, etc.) von potenziellen Betreibern/Investoren in diese Technologie weiter zu stärken. Die Kostenreduktion der Anlagen soll durch kostengünstige Materialien, neuartige Herstellverfahren und ein neues Design erreicht werden.

3.4.6 Die Direktmethanol-Brennstoffzelle (DMFC)

Zum Unterschied zu den bisherig genannten Brennstoffzellen-Typen verwendet die DMFC anodenseitig flüssiges (80 – 90 °C) bzw. dampfförmiges (120 - 130 °C) Methanol. Kathodenseitig kommt ebenfalls Luft zum Einsatz. Die DMFC stellt vor allem für den Antrieb von Fahrzeugen eine sehr interessante Alternative dar - etwa zum Batteriebetrieb bzw. zu wasserstoffbetriebenen PEFC Fahrzeugen – da in der DMFC Methanol nicht erst durch einen Reformier in Wasserstoff umgewandelt werden muss. Als Katalysatormaterial wird zumeist eine Mischung aus Platin und Ruthenium eingesetzt, die sich besonders zur Oxidation von Methanol sowie entstehender Intermediate eignet. Die Leerlaufspannung der anodenseitigen Halbreaktion liegt – ähnlich wie beim H₂ bei PEFC-Systemen – bei E₀ = 0,029 V.



Die DMFC befindet sich noch im Stadium der Grundlagen-Forschung („Basic R&D“) und es wurden bis dato „nur“ Laboranlagen realisiert. Der Wirkungsgrad und die Leistungsdichten der DMFC liegen noch weit hinter der anderer Brennstoffzellen zurück. Gründe hierfür sind insbesondere:

- (i) die Ausbildung von Mischpotenzialen (aufgrund der Verwendung der selben Katalysatoren anoden- und kathodenseitig),
- (ii) Methanol „cross over“ Querdiffusion des Methanols von der Anode zur Kathode und
- (iii) Beständigkeit der Katalysatoren gegenüber Produktintermediaten des Methanols.

In Österreich werden FTE-Aktivitäten hierzu am Inst. f. Hochspannungstechnik bzw. Inst. f. Chemische Technologie durchgeführt [L 16]. DMFC befinden sich derzeit noch im Laborstadium, deren Einsatz für stationäre Energiesysteme ist zwar prinzipiell erwäglich, ist jedoch erst im Falle einer existierenden Methanol-Infrastruktur von Interesse. Weiters ist Methanol derzeit als Chemikalie eingestuft und es bedarf weiterer legislatischer Maßnahmen für dessen Implementierung in der Energiewirtschaft. Dieser Brennstoffzellen-Typ wird aus diesen Überlegungen in diesem Teil des Berichts nicht weiter ausgeführt.

3.5 FTE-Status von Brennstoffzellen-Systemen für typische Produktapplikationen

Auf Grund des sehr unterschiedlichen technischen Entwicklungsstandes der verschiedenen Brennstoffzellen-Typen und den damit in Verbindung stehenden Applikationen soll an dieser Stelle eine Abgrenzung bzw. Definition der verschiedenen technologischen FTE⁴²-Ebenen durchgeführt werden (mit Hilfe von für Energietechnologien typischen FTE Zyklen, siehe hierzu auch Abbildung 32).

Je nach FTE Status wird in diesem Bericht zwischen **Prototypen**, **Pilotanlagen**, **Demonstrationsanlagen** und **kommerziellen Anlagen** unterschieden. **Prototypen** als erste Realisierungsstufe der Produktentwicklung in der FTE-Kette (siehe Abbildung 32) werden hierbei als Systeme definiert, die den „proof of concept“ der Gesamtkonzeption der Technologie zu gewährleisten haben. Meist handelt es sich dabei um kleinere Leistungsgrößen als die nachfolgenden **Pilotanlagen**, die oft auch als „**ζ-units**“ bezeichnet werden. Die Feldtests von Pilotanlagen werden von den Firmen als „**ζ-testing**“ bezeichnet. Die Leistungsgrößen von Pilotanlagen differieren hinsichtlich der endgültigen Leistungsgröße der kommerziellen Anlagen von Fall zu Fall. Bei den phosphorsauren Brennstoffzellen-Systemen war es beispielsweise der Faktor 5 (von 40 kW_{el} auf 200 kW_{el}).

Pilotanlagen dienen vorwiegend dazu, erste Betriebserfahrungen zu sammeln und die Teilkomponenten weiter zu optimieren. Die Finanzierung der Produktentwicklung in dieser Phase – insbesondere von kleineren FTE-Firmen – ist als besonders schwierig zu bezeichnen, da der Kapitalaufwand beträchtlich ist und das Risiko für strategische Investoren aufgrund der Unsicherheiten in der Produktqualität und in der möglichen Marktdurchdringung schwer abgeschätzt werden kann. Die öffentliche Hand unterstützt diese Entwicklungen meist durch erhebliche (bis zu 50 %) Projektförderungen.

Demonstrationsanlagen (η-units, η-testing) sind Weiterentwicklungen von Pilotanlagen und werden im Rahmen von Feldtests auf die realen Marktverhältnisse adaptiert bzw. optimiert. Die Leistungsgrößen entsprechen bereits den vorgesehenen kommerziellen Anlagen. In dieser Phase werden strategische Allianzen mit relevanten Zuliefer-Firmen bzw. mit Anwendern geschlossen. Brennstoffzellen-Entwickler haben in der Vergangenheit mit EVU in dieser Phase sehr oft unter Nutzung von nationalen und europäischen Förderungsinstrumenten (wie z.B. das 5. Rahmenprogramm) kooperiert.

Kommerzielle Anlagen können in erste kommerzielle Kleinserien bzw. in bereits am Markt vertretene „state-of-the-art“ Technologien unterschieden werden, die bereits bestimmte Anteile in bestimmten Marktsegmenten (oft auch nur Marktnischen) aufweisen. Die Übergangsphase hin zu kommerziellen Produkten ist geprägt durch sehr hohe Kapitalströme und die Überwindung möglicher Markteintrittsbarrieren. Diese sind sowohl:

- (i) legislativer (z.B. Genehmigungsverfahren, Normen, etc.),
- (ii) finanzieller (z.B. Förderungen, Venture Kapital, etc.),
- (iii) ökologischer (z.B. Emissionsvorschriften, etc.) und
- (iv) organisatorischer Art (z.B. Konsumentenschutz, etc.).

⁴² FTE ist die Abkürzung für Forschung und technologische Entwicklung

In dieser Phase ist es auch entscheidend,

- (i) welchen Kapitalzugang das Unternehmen für die Produktkommerzialisierung schafft,
- (ii) welche Vertriebsstruktur aufgebaut werden kann und
- (iii) welches Produkt- bzw. Anlagenservice (inkludiert die Schulung der entsprechenden Fachkräfte) angeboten werden kann.

Abbildung 32 gibt die verschiedenen Entwicklungsstufen in einem typischen Forschungs-, technologischen Entwicklungs- und Disseminationsszyklus (FTE&D-Zyklus) wieder.



Abbildung 32 Typischer FTE&D-Zyklus⁴³ der Produktentwicklung von Energietechnologien von der Forschung bis hin zur Kommerzialisierung (Quelle: E.V.A.)

Mit Ausnahme der PAFC BHKW Systeme⁴⁴ haben Brennstoffzellen bis dato den Status von Pilotanlagen nicht verlassen (siehe Tabelle 15). Die Anzahl der Firmen, die sich mit FTE-Aktivitäten auf dem Brennstoffzellen-Sektor beschäftigen, hat sich in den letzten Jahren allerdings deutlich erhöht, insbesondere bei der Entwicklung von Brennstoffzellen-Heizgeräten. Die Durchführung (η -testing) von Demonstrationsprojekten wird derzeit von verschiedenen Firmen geplant.

Tabelle 15 Stand der Technik der verschiedenen Brennstoffzellen-Systeme (September 2001) (Quelle: Herstellerangaben und E.V.A.)

| Typ | Prototyp | Pilotanlage | Demonstrations-Anlage | Kommerzielle Anlage |
|------|----------|-------------|-----------------------|---------------------|
| AFC | ✓ | | | |
| PEFC | | ✓ | | |
| PAFC | | | | ✓ ⁴⁴⁾ |
| MCFC | | ✓ | | |
| SOFC | | ✓ | | |

⁴³ FTE&D steht für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration.

⁴⁴ Die PAFC ist kommerziell verfügbar, allerdings wirtschaftlich mit konventionellen Systemen nicht konkurrenzfähig (siehe hierzu Kapitel 3.4.3, 3.6 und [L 3])

| | | | | |
|------|---|--|--|--|
| DMFC | ✓ | | | |
|------|---|--|--|--|

Von den Entwicklungsfirmen ist weiters – neben dem Stand der Technik – wichtig zu hinterfragen, inwieweit die angebotenen Produkte sich für den Markt eignen. Von den Firmen werden die folgenden Applikationen entwickelt:

- (i) Brennstoffzellen-Heizgeräte (bzw. Mikro-/Mini-BHKW Anlagen) für Ein- und Mehrfamilienhäuser bzw. für den industriellen/gewerblichen Sektor (z.B. kleine Hotels) vorwiegend auf Basis Erdgas als Energieträger. Typische elektrische Leistungsgrößen gehen bis 5 kW.
- (ii) BHKW-Systeme für öffentliche, industrielle/gewerbliche Applikationen (z.B. Krankenhäuser, Telekommunikationszentren, größere Hotelanlagen, etc.) vorwiegend mit Erdgas als Energieträger. Die Leistungsgrößen von derartigen Anlagen liegen bei ca. 200 kW_{el}. Der Energieträger Biogas gewinnt bei den FTE-Aktivitäten an Bedeutung.
- (iii) Kombianlagen bestehend aus Brennstoffzellen und Gasturbine (vorwiegend für industrielle Anwendungen und für EVUs) ebenfalls mit Erdgas als Energieträger. Derartige Anlagen weisen bis dato Leistungsgrößen bis 1 MW_{el} auf, Konzeptionen gehen bis 70 MW_{el}.
- (iv) Notstromanlagen bzw. Inselsysteme.

In Tabelle 16 werden die derzeitigen Produktentwicklungen basierend auf den derzeit in Diskussion befindlichen (und in Kapitel 3.4 aufgelisteten) Brennstoffzellen-Typen aufgelistet und bewertet.

Für den Einsatz in Brennstoffzellen-Heizgeräten (Mikro-/Mini-BHKW Anlagen) im Leistungsbereich < 5 kW_{el} kommen vorwiegend PEFC- und SOFC-Systeme zum Einsatz (siehe Abbildung 33). Die Vor- und Nachteile dieser beiden Technologien und der daraus entwickelten Anlagen sind in der jeweiligen Systemkonzeptionierung und in den Anforderungen an die Brennstoffaufbereitung zu sehen, welche in entsprechenden Wirkungsgraden bzw. flexiblen/inflexiblen Betriebsweisen der Anlagen resultieren. Unterschiedlich zu den Angaben von Herstellerfirmen ist der Einsatz von SOFC Systemen aufgrund des inflexiblen Lastverhaltens bei Kaltstarts für Einfamilien-Häuser nur bedingt marktfähig.

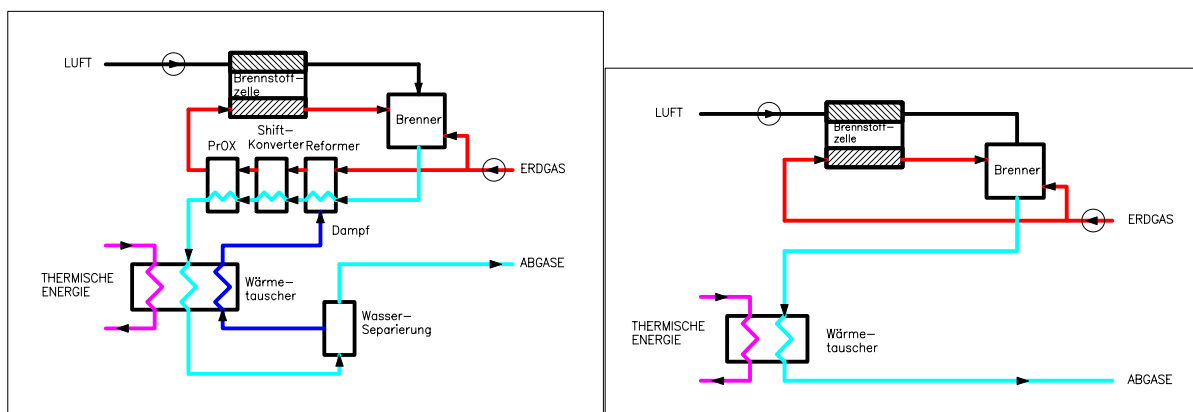


Abbildung 33 Vereinfachtes Systemkonzept von PEFC (links) und SOFC (rechts); Systeme mit Erdgas als Brennstoff

Ablaufende Reaktionen im PEFC System:

Brennstoffzelle: Anode: $\text{H}_2 \downarrow 2 \text{H}^+ + 2\text{e}^-$

Kathode: $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2\text{e}^- \downarrow \text{H}_2\text{O}$

Reformer: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \downarrow \text{CO} + \text{H}_2$

Shift-Kovertter: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \downarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

PrOX: $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \downarrow \text{CO}_2$

Ablaufende Reaktionen im SOFC System:

Anode: $\text{H}_2 + \text{O}^{2-} \downarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

$\text{CO} + \text{O}^{2-} \downarrow \text{CO}_2 + 2 \text{e}^-$

$\text{CH}_4 + 4 \text{O}^{2-} \downarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 8 \text{e}^-$

Kathode: $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{e}^- \downarrow \text{O}^{2-}$

In Europa werden BHKW-Anlagen vorwiegend wärmegeführt betrieben. Für derartige Einsatzgebiete eignen sich grundsätzlich PEFC, PAFC, MCFC und SOFC-Anlagen. An die 200 PAFC BHKW Anlagen wurden bis dato ausgeliefert. Zusammenfassend konnten die folgenden Ergebnisse bei diesen Feldtests erzielt werden [L 3], [L 5]:

- (i) Die Wirkungsgrade (im Vollast und Teillastbetrieb) konnten bestätigt werden,
- (ii) weiters die niedrigen Emissionswerte der Spurengase (NO_x , CO und Kohlenwasserstoffe),
- (iii) geringe Lärmentwicklung,
- (iv) lange Betriebszeiten zwischen auftretenden Störfällen (Wenn Probleme auftraten, dann vorwiegend in den Nebenaggregaten und nicht im „Stack“),
- (v) gute Stromqualität: hohe Verfügbarkeit 90 %, geringer Oberwellen-Anteil.

Negativ zu erwähnen, sind:

- (i) die hohen spezifischen Investitionskosten,
- (ii) die hohen Degradationsraten im Zellstapel (insbesondere bei der PC 25 A Serie),
- (iii) der inflexible Betrieb,
- (iv) die Qualität und Quantität der thermischen Koppelprodukte und
- (v) das schlechte Supportsystem (führte teilweise zu einer niedrigen Verfügbarkeit der Anlagen).

Die Qualität der Abwärme von MCFC und SOFC Systemen (aufgrund der höheren Betriebstemperatur) bieten zusätzliche Einsatzmöglichkeiten in industriellen und gewerblichen Sektoren. Allerdings liegen hierzu noch keine Ergebnisse von Feldversuchen vor. Inflexibilitäten in den Betriebsweisen sind auch für Hoch-

temperatur-Brennstoffzellen zu erwarten. Der Einsatz derartiger Anlagen für die Deckung der thermischen und elektrischen Grundlasten würde dieses Problem weitestgehend relativieren.

Erfolgreiche Tests für Kombi-Anlagen - bestehend aus Brennstoffzellen und Gasturbine – wurden erst von einer SOFC Entwicklungsfirma (nämlich Siemens/-Westinghouse) publiziert.

Aufgrund ihres flexiblen Lastverhaltens beim Kaltstart werden PEFC Systeme vorwiegend – neben der Anwendung für Brennstoffzellen-Heizgeräte – für Notstrom-Anlagen entwickelt. AFC Systeme können bei Verwendung von Wasserstoff als Energieträger ebenfalls für Notstrom- bzw. Inselanlagen eingesetzt werden.

Die nachfolgende Tabelle fasst die derzeitigen Produktentwicklungen zusammen, berücksichtigt den derzeitigen technologischen Status der Brennstoffzellen-Typen gemäß Herstellerangaben (siehe Tabelle 15) und führt Produktbewertungen hinsichtlich ihrer Marktfähigkeit durch.

Tabelle 16 Applikation und Produktbewertung der derzeitigen Brennstoffzellen-Systeme (Quelle: Herstellerfirmen und E.V.A.)

| Applika- tion | Brennstoffzellen-Heizgeräte (bzw. Mikro-/Mini-BHKW) | | | BHKW | Kombianlage (BZ-GT) | Notstromanlage, Inselsystem |
|------------------|---|--------------|--------------------|------|---------------------|-----------------------------|
| | 1-Familien | Mehrfamilien | Industrie/-Gewerbe | | | |
| AFC | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | + |
| PEFC | +++ | +++ | +++ | + | ~ | +++ |
| PAFC | ~ | ~ | ~ | ++ | ~ | + |
| MCFC | ~ | ~ | ~ | +++ | + | ~ |
| SOFC | + | +++ | +++ | +++ | +++ | ~ |

- ~ Applikation wird derzeit von den Entwicklungsfirmen für die angegebene Produktlinie nicht angeboten
- ⊕ Applikation wird von den Entwicklungsfirmen angeboten, Marktfähigkeit noch nicht durch erfolgreich abgewickelte Pilot- und Demonstrationsanlagen bestätigt
- ⊕⊕ Applikation wird von den Entwicklungsfirmen angeboten. Aufgrund der Ergebnisse der Demonstrationsprojekte ist die Marktfähigkeit nur für bestimmte Nischen gegeben.
- ⊕⊕⊕ Applikation wird von den Firmen entwickelt, prinzipielle Marktfähigkeit durch die Ergebnisse der bisherigen Pilotanlagen bestätigt.

3.6 Benchmark – Konventionelle Systeme

Bei der Annahme, dass Brennstoffzellen-Systeme zukünftig signifikante Marktanteile erreichen sollen, müssen diese zumindest! die selben technologischen und ökonomischen

Parameter für einen potenziellen Investor aufweisen wie konventionelle Systeme. Das bedeutet, dass Brennstoffzellen-Systeme zumindest:

- (i) Gleiche bzw. niedrigere spezifische Investitionskosten⁴⁵,
- (ii) gleiche bzw. niedrigere spezifische Wartungskosten („Operation and Maintenance“),
- (iii) ähnliche bzw. eine höhere Verfügbarkeit aufweisen und
- (iv) ähnliche bzw. längere Lebensdauer vorweisen müssen,

wie konventionelle Technik basierend auf Motor- bzw. Turbinen-Technologie.

Die nachfolgende Abbildung zeigt derzeitige Richtpreise für Erdgas- und Heizöl-Motoren für BHKW Anwendungen. Die Kurven in dieser Abbildung repräsentieren Durchschnittswerte basierend auf 178 Modulen von 28 europäischen Anbietern. Der Lieferumfang für diese Richtpreise umfasst die folgenden Positionen: [L 26]

- (i) KWK Modul (inkl. Schalldämpfung und Katalysator zur Erreichung ½ TA Luft: Emissionsgrenzwerte (250 mg/Nm³ NO_x und 325 mg/Nm³ CO)),
- (ii) Schmierölver- und -entsorgung,
- (iii) Schaltschrank,
- (iv) Be- und Entlüftung,
- (v) Fernüberwachung,
- (vi) Transport und Montage,
- (vii) Inbetriebnahme, Probetrieb und Abnahme.

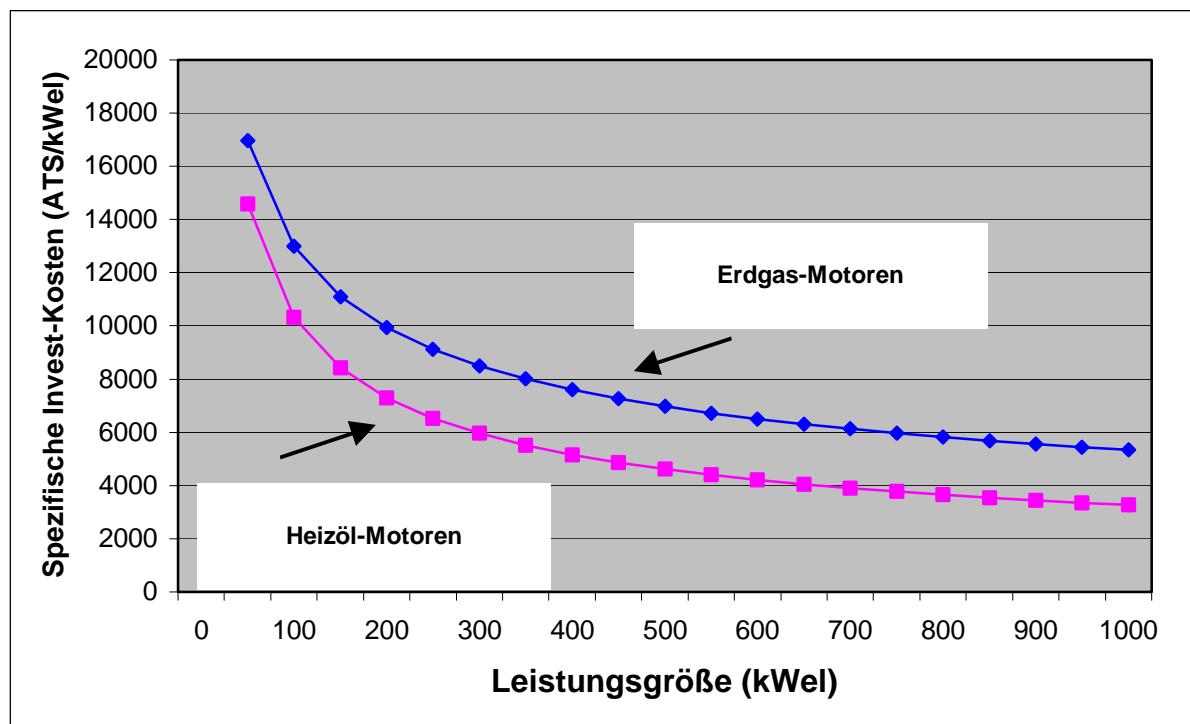


Abbildung 34 Richtpreise von KWK-Anlagen als Funktion der elektrischen Leistung für Erdgas- (obere Linie) und Heizöl- (untere Linie) Motoren bis 1000 kW_{el} (Quelle: [L 44])

⁴⁵ In einem liberalisierten Energiemarkt gilt weiters, dass bei gleicher Wirtschaftlichkeit jene Anlagen bzw. Technologien mit geringeren Investkosten Vorteile für einen Investor aufweisen.

Beim Vergleich der derzeitig publizierten Wirkungsgrade der verschiedenen Brennstoffzellen-Systeme mit den Wirkungsgraden der Erdgas- und Heizölmotoren für BHKW-Anlagen können ähnliche Bandbreiten festgestellt werden. Aus diesem Grund sind auch die genannten Richtpreise für zukünftige Brennstoffzellen-Systeme repräsentativ.

Tabelle 17 Wirkungsgrade von Erdgas und Heizöl BHKW-Anlagen (Quelle: [L 44])

| Wirkungsgrade Erdgas BHKW-Anlagen 5,5 – 6.100 kW_{el} | | | |
|--|--------------|---------|---------|
| | Durchschnitt | Maximal | Minimal |
| Elektrischer Wirkungsgrad | 34,2 % | 44,3 % | 25,0 % |
| Thermischer Wirkungsgrad | 53,3 % | 65,3 % | 41,1 % |
| Gesamtwirkungsgrad | 87,5 % | 96,8 % | 73,1 % |
| Wirkungsgrade Heizöl BHKW-Anlagen 5 – 17.000 kW_{el} | | | |
| | Durchschnitt | Maximal | Minimal |
| Elektrischer Wirkungsgrad | 38,2 % | 46,0 % | 27,9 % |
| Thermischer Wirkungsgrad | 44,8 % | 61,9 % | 30,4 % |
| Gesamtwirkungsgrad | 83,0 % | 93,5 % | 67,1 % |

Die im Jahre 2000 üblichen Preiskonditionen als Funktion der elektrischen Leistungsgröße für Instandhaltungsverträge (bzw. Vollwartungsvertrag) sind in Abbildung 35 zusammengefasst. Ein typischer Instandhaltungsvertrag – laut VDMA⁴⁶ - beinhaltet alle Wartungs- und Reparaturarbeiten, Ersatzteile, Betriebsstoffe (außer Brennstoff), die für die BHKW-Anlage benötigt werden. Eine sogenannte Generalüberholung ist, bedingt durch die Dauer des Vertrages von 10 Jahren, ebenfalls enthalten. Dieser Vertrag entspricht weitestgehend einer bezahlten Garantieleistung. Generell sind Preise für Instandhaltungsverträge ver-

⁴⁶ VDMA ist die Abkürzung für den deutschen Verband für Maschinen- und Anlagenbau.

handelbar und damit abhängig von der Position des Käufers/Verkäufers, sowie der Anzahl von gleichen Anlagen, die z.B. ein Stadtwerk oder Contracting-Anbieter betreibt. Für Heizölmaschinen liegen keine repräsentativen Zahlen vor. Erfahrungsgemäß können die erhobenen Kosten als Richtwert – mit einem gewissen Aufschlag – auch für Heizölmaschinen herangezogen werden.

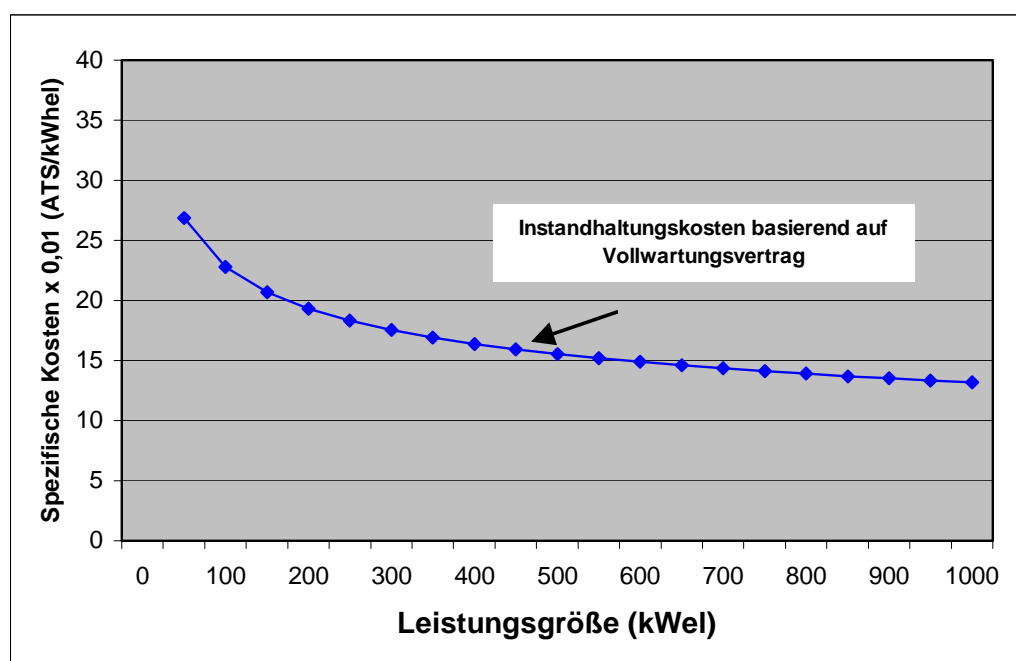


Abbildung 35 Preiskonditionen für Vollwartungsverträge für Erdgas BHKW-Anlagen basierend auf [L 26]

Für gasbetriebene GuD-Anlagen, die als Pendant für die Kombianlage bestehend aus Brennstoffzelle und Gasturbine angesehen werden können, werden Investkosten zwischen 500 und 1000 US-\$ angegeben. Die Wartungskosten (O&M) für gasbetriebene Anlagen werden mit 0,10 bis 0,50 US-cents/kWh_{el} publiziert. [L 27]

3.7 FTE Bedarf bei Brennstoffzellen-Systemen

Die FTE Aktivitäten für Brennstoffzellen-Systeme sind vorwiegend vom Ziel bestimmt, die bestehenden Benchmarks von konventionellen Systemen in den bestehenden Märkten zu erreichen. Bei Erreichung dieser und in Kombination mit den intrinsischen Vorteilen der Brennstoffzelle wie niedrige Emissionen an Spurengasen, hohe Wirkungsgrade, gutes Teillast-Verhalten, geringe Lärmemissionen und gute Strom/Spannungsqualität können entscheidende Vorteile für die Vermarktung derartiger Produkte erzielt werden.

Im Mittelpunkt der FTE Arbeiten stehen:

- (i) die Senkung der Kosten für Materialien, Komponenten und der Gesamtsysteme,

- (ii) die Optimierung der Systemkomponenten (z.B. Regeltechnik) und des Gesamtsystems,
- (iii) die Erhöhung der Verfügbarkeit (bessere Standzeiten),
- (iv) die Abwicklung von erfolgreichen Demonstrationsprojekten (Demonstration der Funktionalität) und
- (v) das Erreichen der 40.000 Betriebsstunden für den Brennstoffzellen-Stack (Lebensdauer).

Eine detaillierte Diskussion dieser Punkte für die verschiedenen Anwendungen und für die verschiedenen Brennstoffzellen-Typen würde den Rahmen dieses Berichts sprengen. In diesem Zusammenhang wird auf die aktuellen Publikationen/Proceedings der verschiedenen Veranstaltungen verwiesen, die im Rahmen dieser Untersuchung besucht bzw. im Rahmen dieses Projektes organisiert wurden. [L 2], [L 4], [L 8], [L 23], [L 24], [L 25], [L 29], [L 36], [L 37], [L 42], [L 43]

4 INTERNATIONALE BRENNSTOFFZELLEN FTE PROGRAMME

4.1 Fünftes Rahmenprogramm für FTE der Europäischen Union

Als Instrument für die Förderung von innovativen Energietechnologien innerhalb der Europäischen Union sind vorwiegend die Rahmenprogramme für Forschung und technologische Entwicklung zu nennen.

Bezüglich FTE-Aktivitäten bei Brennstoffzellen verweist die EU auf an die 70 Projekte mit kumulierten EU Mitteln von 120 M-Euro, die seit 1995 in dieses Themenfeld investiert wurden (siehe Abbildung 36).

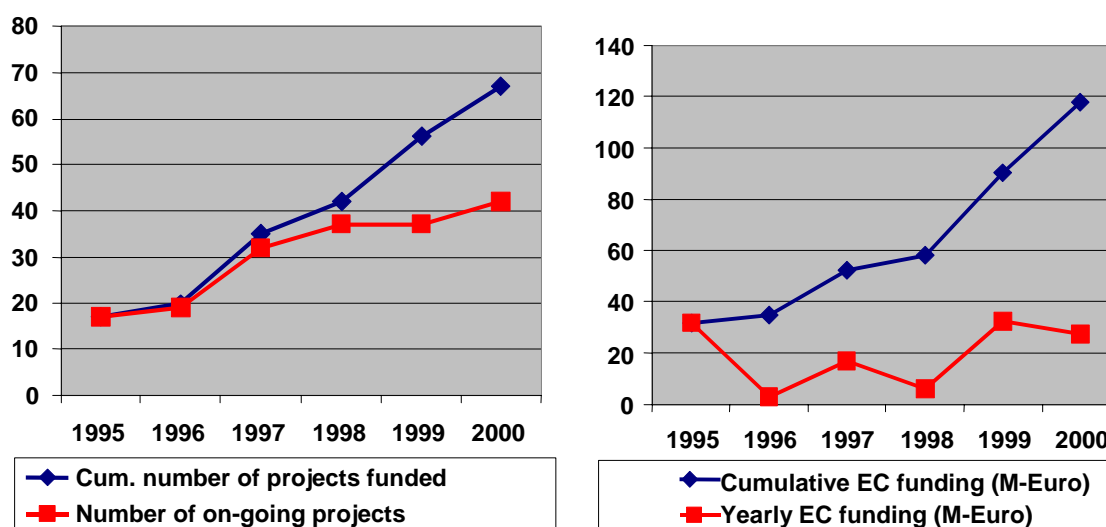


Abbildung 36 EU-Förderung von Brennstoffzellen-Projekten seit 1995 in Form von Projekten und Budgets (Quelle: [L 42])

Verglichen mit den USA - dem Technologieführer bei Brennstoffzellen-Systemen - relativiert sich diese Förderhöhe, da rund doppelt soviel in die Brennstoffzellen--Technologie investiert wurde (unter Berücksichtigung sowohl nationaler als auch EU Fördermittel) (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18 Nationale und europäische Fördermittel für Brennstoffzellen-Systeme pro Jahr im Vergleich zu den USA (Basisjahr: 1999) (Quelle: [L 42])

| DE | FR | ES | IT | DK | UK | SE | SW | Total MS | EU EC | USA DOE & DOD |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|-------|---------------|
| | | | | | | | | | | |

| [MEuro] | [MEuro] | [MEuro] | [MEuro] | [MEuro] | [MEuro] | [MEuro] | [MEuro] | [MEuro] | [MEuro] | [MEuro] |
|----------------------|--------------|--------------|----------------------|---------|------------------------------|----------------------|----------------------|---|---------|---------|
| 8 | 11,5 | 3 | 2,3 | 2,7 | 2 | 0,7 | 1 | 31 | 30 | 120 |
| SOFC MCFC DMFC | All types | PEFC MCFC | SOFC MCFC PEFC | SOFC | SOFC MCFC PEFC PAFC | SOFC MCFC PEFC | SOFC PEFC PAFC | SOFC PEFC DMFC all types in MT/LT | | |

Die EU-Rahmenprogramme für FTE werden als zentraler Hebel für die Umsetzung europäischer und nationaler FTE-Politiken angesehen. Es wird weiters bescheinigt, dass die Rahmenprogramme ein wichtiger Faktor in der österreichischen Forschungs- und Technologielandschaft geworden sind, sowohl hinsichtlich der Finanzströme nach Österreich als auch hinsichtlich zunehmender Internationalisierung und Einbindung in europäische Innovationsnetzwerke. [L 46]

Analysen des 4. RP (94 – 98) gehen weiters von einer Arbeitsteilung zwischen nationaler und EU-Förderung aus. Diese sieht folgendermaßen aus, dass EU-Projekte den österreichischen Teilnehmern eher komplexe Weiterentwicklungen in Feldern bestehender technologischer Kompetenz anbieten bzw. derartige Projekte auch etwas anwendungsorientierter sind, als die Projekte, die national gefördert werden. Eine Vielzahl von TeilnehmerInnen, insbesondere unter den Unternehmen, planen nach dem Abschluss des EU-Projekts die – auch von nationaler Förderung unterstützte – Umsetzung der Forschungsergebnisse in Produkt- und Prozessinnovationen. Dies hat wichtige Implikationen für die Ausrichtung der nationalen Förderpolitik, der offenbar der Part zukommt, auf der einen Seite die vorgelagerte Grundlagenforschung, auf der anderen Seite die anwendungsorientierte Forschung und Diffusion zu fördern. [L 46]

Unter der Berücksichtigung dieser Analysen kommt der Teilnahme österreichischer Firmen/Institutionen in EU-Rahmenprogrammen (wie z.B. TIWAG, Planseewerke, TU-Graz, TU-Wien, PROFACOR, etc.)⁴⁷ besondere Bedeutung zu. Die Beiträge österreichischer Forscher konzentrierten sich dabei sehr stark auf Brennstoffaufbereitungsthemen, Integration von erneuerbaren Energieträgern und Optimierung des Gesamtsystems und nicht so sehr die Brennstoffzelle selbst.

Zum Unterschied vom 4. RP wird im 5. RP (1998 – 2002) ein neuer Ansatz zugrunde gelegt, der im Wesentlichen auf den drei folgenden Elementen beruht:

- (i) Bereitstellung eines erheblichen Anteils des Programmhaushalts (rund 60 %) für eine feste Anzahl von Zielvorhaben, die als Wegbereiter für Lösungen mit einer quantifizierbaren Wirkung, einem hohen Stellenwert und einer unmittelbaren Bedeutung für die politischen Ziele der Europäischen Union fungieren sollen. Die Zielvorhaben verbinden fach- und branchenübergreifende Aktivitäten, in die – wo immer dies möglich ist – öffentlich-private Partnerschaften und Endnutzer aus Handel, Gewerbe und Politik einbezogen werden.

⁴⁷ Diese Projekte wurden – mit Ausnahme der Aktivitäten der Plansee AG - im Rahmen dieses Projektes bei zwei Veranstaltungen vorgestellt: (i) 31. Januar 2001 in der WKÖ in Wien und (ii) am 15. Mai 2001 in Steyr.

- (ii) Identifizierung einer begrenzten Anzahl von Prioritäten mit strategischer Bedeutung für die Europäische Union, für die die übrigen 40 % des Programmhaushalts bereitgestellt werden. Vorschläge für Themen des Arbeitsprogramms sollten sich auf mindestens eine dieser Prioritäten beziehen.
- (iii) Eine klare Abgrenzung zwischen Vorschlägen, die sich mit **kurzfristig** (in weniger als fünf Jahren) lösbaren Problemen und einsetzbaren Technologien befassen, und Vorschlägen, die sich mit **mittel- bis langfristig** (in mehr als fünf Jahren) lösbaren Probleme und einsetzbaren Technologien befassen.

Diese zeitliche Unterscheidung zwischen kurzfristig und mittel- bis langfristig angelegten Vorhaben gilt für alle vom Programm geförderten FTE-Maßnahmen, d. h. für Vorhaben auf Kostenteilungsbasis (Grundlagenforschung, industrielle Forschung und Demonstration, einschließlich Technologieförderung für KMU und Forschungsinfrastruktur, Koordinierungstätigkeiten einschließlich konzertierte Aktionen und thematische Netze, Marie-Curie-Ausbildungsstipendien und Begleitmaßnahmen). Die bewilligten Haushaltsmittel werden entsprechend aufgeteilt: die eine Hälfte der Haushaltsmittel wird auf Aktivitäten für kurzfristige Ziele verteilt, und die andere Hälfte auf Aktivitäten für mittel- bis langfristige Ziele.

Diese zeitliche Unterscheidung bedeutet nicht, dass alle kurzfristig lösbaren Probleme zwangsläufig mit Demonstrationsprojekten oder alle erst langfristig lösbaren Probleme zwangsläufig mit Forschungsprojekten verbunden sind, die Unterscheidung bezieht sich vielmehr auf die Art der vorgestellten Lösungen, und nicht auf die Art der angewandten indirekten FTE-Maßnahmen.

Vor diesem Hintergrund sollten Vorschläge für kurzfristige FTE-Ziele folgende Anforderungen erfüllen:

- (i) Ergebnisse liefern, die in weniger als fünf Jahren kommerziell oder in sonstiger Weise verwertbar sind und in engem Zusammenhang mit den Zielen der Energiepolitik stehen und/oder Verbesserungen in den Rechtsvorschriften für die Energiepolitik herbeiführen können.
- (ii) Kurzfristige Lösungen bereitstellen, die:
 - š die Sicherheit und Diversifizierung der Energieversorgung verbessern,
 - š die Emissionen der wichtigsten Treibhausgase und anderer Schadstoffe reduzieren,
 - š einen Beitrag zu den Zielen des Weißbuchs über erneuerbare Energieträger leisten,
 - š einen Beitrag zur Entwicklung einer durchschlagenden Binnenmarktstrategie für den Energiebereich leisten,
- (iii) einen Beitrag zur Senkung der mit der Einführung neuer Technologien verbundenen Kosten leisten; darin eingeschlossen sind auch Aspekte im Zusammenhang mit Finanz- und Marktunsicherheiten oder –risiken,
- (iv) hauptsächlich Demonstrationsvorhaben oder Maßnahmen zur Förderung der Akzeptanz, Verbreitung und Übertragung von Energietechnologie beinhalten,
- (v) demonstrieren, wie innovative technologische Lösungen unter realistischen Einsatzbedingungen integriert werden können.

Vorschläge für mittel- bis langfristige FTE-Ziele sollten folgende Anforderungen erfüllen:

- (i) Ergebnisse liefern, die in mehr als fünf Jahren kommerziell oder in sonstiger Weise verwertet werden können,

- (ii) hauptsächlich wissenschaftliche und technologische Hindernisse oder Risiken oder sozioökonomische Unsicherheiten zum Gegenstand haben,
- (iii) sich auf Probleme konzentrieren, für die der derzeitige Kenntnisstand nicht ausreicht und die weitere Forschungs- oder Entwicklungsarbeiten erfordern,
- (iv) hauptsächlich Forschungsprojekte (einschließlich sozioökonomischer Forschung) und FTE-bezogene Vernetzungsaktivitäten und Ausbildungsstipendien beinhalten,
- (v) neue Erkenntnisse hervorbringen, die einen Beitrag zu den folgenden Gemeinschaftspolitiken leisten:
 - š Forschungspolitik, insbesondere die Stärkung der wissenschaftlichen und technologischen Grundlagen in Europa, um die Wettbewerbsfähigkeit und das Potenzial der europäischen Industrie zur Schaffung von Arbeitsplätzen zu verbessern sowie die Entstehung eines Europäischen Forschungsraums zu forcieren,
 - š Umweltpolitik, insbesondere die Reduzierung von Treibhausgasemissionen und die Eindämmung von Klimaänderungen,
 - š mittel- und langfristige Ziele der Energiepolitik, insbesondere die Diversifizierung und Sicherung einer nachhaltigen Energieversorgung, die zunehmend auf erneuerbaren Energieträgern und einer niedrigeren Energieintensität beruhen wird.

Zielvorhaben des 5. RP

Es wurde eine begrenzte Anzahl von Zielvorhaben ausgewählt, die eine Kerngruppe von vorrangigen Themen aus der aktuellen Fassung des Arbeitsprogramms zum Gegenstand haben. Dadurch soll die Herausbildung einer neuen Klasse von Projekten gefördert werden, die substantielle Auswirkungen auf europäischer Ebene, einen hohen Stellenwert und die größtmögliche Relevanz für die Bürger Europas und die Politiken der Gemeinschaft haben. Rund 60 % der verfügbaren Finanzmittel werden für die Zielvorhaben bereitgestellt.

Die Themen, um die es bei den Zielvorhaben geht, betreffen kurzfristige und/oder mittel- bis langfristige Aktivitäten. Bei der Durchführung dieser Aktivitäten können die Antragsteller verschiedene Arten von FTE-Maßnahmen kombinieren. Die Zusammenarbeit, Koordinierung und Komplementarität innerhalb der Zielvorhaben sowie zwischen ihnen und anderen im Rahmen dieses Programms und anderer thematischer oder nationaler Programme durchgeführten Aktivitäten werden groß geschrieben.

Die sechs kurzfristig angelegten Zielvorhaben sowie die sechs mittel- bis langfristigen Zielvorhaben sind in Tabelle 19 gelistet. Brennstoffzellen nehmen hierbei sowohl bei den kurz- als auch bei den langfristigen Aktivitäten einen Schwerpunkt der EU FTE Aktivitäten ein.

Tabelle 19 Kurz- und mittel-/langfristige FTE Schwerpunkte im 5. RP der EU (Quelle: [L 42])

| Short-term (Results exploited < 5 years – demo) | Medium to long-term (Results exploited > 5 years – R&D) |
|---|---|
| <i>Application driven fuel cells</i> | <i>Fuel Cells and H₂</i> |

| | |
|-------------------------|-----------------------------|
| Bio-electricity | Bio-energy |
| Sustainable Communities | Integration |
| Clean Urban Transport | Cleaner fuels for transport |
| Eco-buildings | Storage |
| Gas Power Generation | PV |

4.1.1 Kurzfristige Zielvorhaben: „Brennstoffzellen für spezifische Einsatzbereiche“⁴⁸

Brennstoffzellen gehören zu einem Gebiet, auf dem bereits umfangreiche private FTE-Investitionen für mobile, ortsfeste und tragbare Anlagen getätigt wurden. Der baldigen Markteinführung dieser neuen Technologien, insbesondere in der Automobilindustrie (d. h. im Zeitraum 2004 - 2008), wird von verschiedenen Industriekonsortien eine hohe Priorität eingeräumt.

Ziel dieses Vorhabens ist es, sowohl für ortsfeste als auch für mobile Anlagen die technische und wirtschaftliche Machbarkeit innovativer Brennstoffzellenkonzepte und neuer Energiesysteme zu demonstrieren, die Brennstoffzellen, erneuerbare Energieträger und eine Wasserstoffinfrastruktur miteinander kombinieren. Das Zielvorhaben soll Informationen über Einsatzbedingungen, Zuverlässigkeit und potenzielle Kostensenkungen zutage fördern, die zur Festlegung gemeinsamer Vergleichsgrößen (Benchmarks) für Prüf- und Zertifizierungsverfahren beitragen können.

Bei ortsfesten Anlagen sollten sich die Vorschläge auf die Einführung von Brennstoffzellensystemen auf Zwischenmärkten konzentrieren, die höhere Stromerzeugungskosten auffangen können ('Nischenmärkte'). Bei Anlagen für die Industrie sollten die Vorschläge die Flexibilität der Brennstoffzellentechnologien in verschiedenen Einsatzbereichen (Prozesse im hohen und mittleren Temperaturbereich, Kraft-Wärme-Kopplung, Premium-Energieversorgung vor Ort, Ausgleich von Bedarfsspitzen usw.) und den potenziellen Nutzen für die Vereinfachung des Systems, insbesondere im Hinblick auf Installations- und Wartungsverfahren, demonstrieren. Bei Haushaltsgeräten und kommerziellen ortsfesten Anlagen sollten die Vorschläge auf die Zukunftschancen neuer Energiesysteme eingehen, die auf verteilten Brennstoffzellennetzen basieren.

Vorschläge für mobile Anlagen sollten Prüfstände für diverse Betankungs-Infrastrukturen, insbesondere für Wasserstoff, beschreiben, auf deren Grundlage die verschiedenen Optionen im Hinblick auf Produktions-, Verteilungs- und Lagerungskosten, Emissionsreduzierung, Sicherheits- und Standardisierungsaspekte analysiert werden können.

⁴⁸ Der Text wurde direkt aus der deutschen Fassung des 5. Rahmenprogramms übernommen [L 45].

4.1.2 Mittel- bis langfristig angelegte Zielvorhaben; „Brennstoffzellen und H₂“⁴⁹

Brennstoffzellen wird in der zukünftigen Energieversorgung eine bedeutende Rolle zugeschrieben, sie könnten langfristig einen Großteil der heutigen Verbrennungssysteme in allen Endnutzensektoren ersetzen. In Verbindung mit konventionellen Brennstoffen wie z.B. Erdgas bieten sie mittel- bis langfristig ein hohes Potenzial für Energieeinsparungen und für eine erhebliche Reduzierung der CO₂- und Schadstoffemissionen. Langfristig ist davon auszugehen, dass Brennstoffzellen einen festen Bestandteil der auf erneuerbaren Energieträgern basierenden Energieversorgung bilden werden, vor allem weil Brennstoffzellen mit Wasserstoff als Brennstoff immanent sauber sind. Diese Entwicklung ist jedoch an folgende Voraussetzungen gebunden:

Die FTE-Maßnahmen zu Protonen-Austausch-Membranbrennstoffzellen (PEMFC), Direkt-Methanol-Brennstoffzellen (DMFC) und Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) sowie verwandten Technologien wie Reformier- und Wasserstofftechnologien für Fahrzeuge, für Systeme mit Kraft-Wärme-Kopplung für Gebäude (Kogenerierung) und für die dezentrale Stromerzeugung sollten eine starke Kostenreduzierung anstreben, um vergleichbare oder niedrigere Kosten als für konventionelle Technologien, allerdings bei erheblich niedrigerem CO₂- und Schadstoffausstoß, zu erreichen.

Die sozio-ökonomische und pränormative Forschung, die die Entwicklung von Normen vereinfacht und die Erfordernisse in den Bereichen Regulierung und Sicherheit sowie allgemeine und berufliche Bildung berücksichtigt, wird ebenfalls gefördert.

Vorläufige FTE-Themen:

Brennstoffzellen und verwandte Technologien für ortsfeste Anlagen und für Fahrzeuge
Kostenreduzierung bei PEMFC- und DMFC-Komponenten (z.B. Stapel, Reformier) und -Systemen (z.B. PEMFC für "hohe" Temperaturbereiche)

Entwicklung kostengünstiger Verfahren zur Wasserstoffherstellung (durch Elektrolyse und Reformier), -speicherung und -verteilung

Brennstoffzellensysteme für ortsfeste Anlagen:

Ortsfeste KWK-Systeme für Wohngebäude und kommerzielle Einsatzbereiche im Leistungsbereich zwischen 10 und 100 kW

Hochtemperatur-Festoxid-Brennstoffzellen (100 kW_{el} bis 1 MW_{el}) zur Stromerzeugung mit einem Wirkungsgrad bis zu 70 %; eventuell auch unter Einsatz von Gasturbinenhybridanlagen. Die Kogenerierung von chemischen Stoffen und Strom kann ebenfalls in Betracht gezogen werden

Systemvereinfachung und Hilfskomponenten (Balance of Plant, BoP)

Tragbare Stromaggregate im Bereich 500 W bis 3 kW_{el}

Kostengünstige Bauteile und Systeme, u. a. mit Vielstoffeignung und Brennstoffflexibilität

Brennstoffzellensysteme für Fahrzeuge:

⁴⁹ Der Text wurde direkt aus der deutschen Fassung des 5. Rahmenprogramms übernommen [L 45].

Im Mittelpunkt der Forschung und technologischen Entwicklung wird die Entwicklung von Brennstoffzellensystemen für den öffentlichen Straßen- und Schienenverkehr und die Schifffahrt stehen, z.B. Busse, Straßenbahnen, Lieferwagen und Taxis.

Das Problem der Treibstoffwahl (z.B. H₂ (langfristig bevorzugt), Methanol, Erdgas, Benzin (Naphtha) und Diesel) sollte auf EU-Ebene erörtert werden, wobei auch Aspekte wie z.B. Kosten, Emissionen, Sicherheit, Infrastruktur, Verteilung usw. zu berücksichtigen sind.

4.2 Sechstes Rahmenprogramm für FTE der Europäischen Union

Zur Zeit laufen die Vorbereitungen für das nachfolgende Rahmenprogramm für FTE der EU (2002 – 2006). Die von der Europäischen Kommission vorgelegten Vorschläge für das 6. Rahmenprogramm und die entsprechenden spezifischen Programme geben der Entwicklung und dem Einsatz von Brennstoffzellensystemen hohe Priorität.

Auszug aus dem Vorschlag für die spezifischen Programme vom Mai 2001:

„Brennstoffzellen: Diese sich anbahnende Technologie dürfte längerfristig einen Großteil der jetzigen Verbrennungssysteme in der Industrie, in Gebäuden und im Straßenverkehr ersetzen, da sie eine bessere Energieausbeute, einen niedrigeren Schadstoffausstoß und das Potenzial zu Kosteneinsparungen bietet. Langfristig wird ein Kostenziel von 50 EURO /kW im Straßenverkehr und 300 EURO /kW in stationären Anwendungen langer Lebensdauer und Brennstoffzellen-/Elektrolyseanlagen angestrebt.“

„Im Mittelpunkt der Forschung werden folgende Themen stehen: Kostenreduzierung bei der Brennstoffzellenfertigung und bei Anwendungen für Gebäude, Verkehr und dezentrale Stromerzeugung; fortgeschrittene Werkstoffe für Nieder- und Hochtemperatur-Brennstoffzellen für die oben genannten Einsatzbereiche.“

Im 6. Rahmenprogramm sollen weiters neue Instrumente zur Umsetzung der FTE-Vorhaben eingesetzt werden (Integrierte Projekte, Exzellenznetze)

4.3 Weitere nationale europäische Brennstoffzellen-Programme

Die europäische Union hat im Rahmen einer Veranstaltung – bereits im März des vorigen Jahres – eine Reihe von Mitgliedsstaaten eingeladen, ihre nationalen Programme/Aktivitäten vorzustellen bzw. in die EU-Aktivitäten einzubinden.⁵⁰ Die Kommission verfolgte dabei folgende Zielsetzungen: [L 77]

⁵⁰ Österreich war von diesem Meeting ausgeschlossen, da nur Mitgliedsstaaten mit eigenen Programmaktivitäten bzw. nationalen Initiativen eine Position einbringen sollten.

- (i) **„Mapping out fuel cell research activities in EU member states in order to foster the dissemination of results and excellence throughout the EU“**,
- (ii) **„Promoting closer collaboration between national and European fuel cell research by setting up networks on a number of important topics in the area of fuel cell RTD“**,
- (iii) **„Serving as a meeting place for persons from a wide range of organisations related to fuel cell research in order to prepare collaborative projects for future European Commission calls for proposals on this and other energy related topics“**.

Die europäischen Länder konzentrieren sich in ihren FTE Anstrengungen insbesondere auf die PEFC, SOFC, MCFC und in den letzten Jahren wieder vermehrt auf DMFC⁵¹ (siehe Tabelle 18 auf Seite 68). Neben Frankreich führt insbesondere Deutschland nennenswerte FTE Aktivitäten auf dem Brennstoffzellen-Sektor durch. Deutschland hat sowohl ein staatliches Brennstoffzellen-Programm („TOP-DOWN Programm“) als auch nennenswerte regionale Aktivitäten („BOTTOM-UP Programme“) vorzuweisen, welche im nächsten Abschnitt näher vorgestellt werden.⁵²

4.3.1 Brennstoffzellen-Programme in Deutschland

Im Rahmen des Zukunftsinvestitionsprogramm (ZIP) des BMWi⁵³ nimmt die Brennstoffzellen-Technologie einen Schwerpunkt im deutschen Energieforschungsprogramm ein. In den nächsten drei Jahren sollen zusätzlich 40 Mio. DM in die Brennstoffzellen-Forschung fließen. Damit ergibt sich ein voraussichtliches Gesamtbudget von über 20 Mio. DM pro Jahr für dieses Themenfeld (siehe Abbildung 37).

⁵¹ Eine Erklärung der Abkürzungen der verschiedenen Brennstoffzellen-Typen findet sich in Kapitel 3.4 auf Seite 22 dieses Berichts.

⁵² Die deutschen Brennstoffzellen-Programme (sowohl die nationalen Programme als auch die regionalen Initiativen) wurden dem Auftragnehmer im Rahmen eines Besuchs im KFA Jülich von den Herren Dr. Malinowski und Dr. Thienen (beide Forschungszentrum Jülich) vorgestellt.

⁵³ BMWi ist die Abkürzung für Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie.

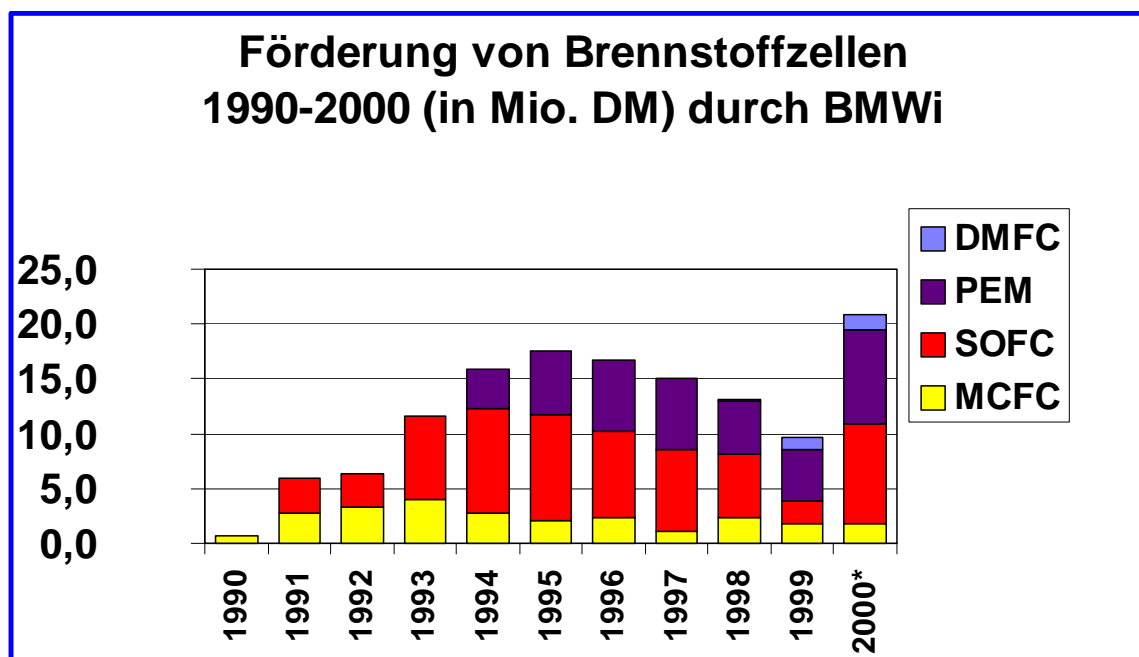


Abbildung 37 Nationale Brennstoffzellen-Förderungen in Deutschland aufgeschlüsselt nach Brennstoffzellen-Typen und Jahr (Quelle: BEO)

Im Rahmen des „BERTA“-Programms (Brennstoffzellen: Entwicklung und Erprobung für stationäre und mobile Anwendungen) sollen folgende Ziele erreicht werden:

- (i) Beschleunigung der technischen Weiterentwicklung von Brennstoffzellen-Systemen,
- (ii) Beitrag zur Erhaltung bzw. zum Ausbau der technologischen Wettbewerbsfähigkeit für die deutsche Industrie und für deutsche Forschungsinstitutionen,
- (iii) Offensive zur Qualifizierung von mittelständischen Unternehmen bzw. des Handwerks,
- (iv) Untersuchungen zur Genehmigung, zum Test und zur Normung, und
- (v) Stimulierung des Marktes sowohl auf der Hersteller- als auch auf der Anwenderseite.

Die F&E Themen im Rahmen des BERTA Programmes lesen sich folgendermaßen:

- (i) Anlagenkomponenten zur kostengünstigen Fertigung,
- (ii) Erprobung von Brennstoffzellen für die dezentrale Strom- und Wärmeerzeugung (Einbeziehung Mittelstand),
- (iii) Erprobung von brennstoffzellenbetriebenen Kraftfahrzeugen (Einbeziehung Mittelstand),
- (iv) Testeinrichtungen zur herstellerunabhängigen Qualifizierung,
- (v) Entwicklung von Genehmigungsverfahren, Qualifizierung von Personal und Betrieben, Normung,

(vi) Entwicklung und Erprobung von Technologien zur Brennstoffherstellung und Brennstoffaufbereitung,

(vii) Grundlagenorientierte Untersuchungen.

Grundsätzlich wurden die erweiterten Fördermittel durch das ZIP von Dr. Malinowski – zuständig für die Abwicklung des nationalen Brennstoffzellen-Programms – begrüßt. Laut Malinowski sollte bei einem nationalen Programm die Kontinuität der Förderpolitik im Vordergrund stehen, damit die Qualität der abgewickelten Projekte sichergestellt werden kann. Bereitgestellte hohe Einmalbudgets haben weitaus geringere Auswirkungen auf die Qualität der Projekte als kontinuierliche Basisbudgets.

Kompetenz-Netzwerk Brennstoffzelle in Nordrhein-Westfalen

Das Kompetenz-Netzwerk Brennstoffzelle NRW wird unter dem Dach der Landesinitiative Zukunftsenergien NRW vom Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen sowie vom Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen getragen.

Das Gesamtziel dieses Netzwerks liegt in der Stärkung des Produktions- und Forschungsstandorts NRW auf dem Gebiet der Brennstoffzellentechnik durch Bündelung vorhandener und Schaffung neuer Kompetenz.

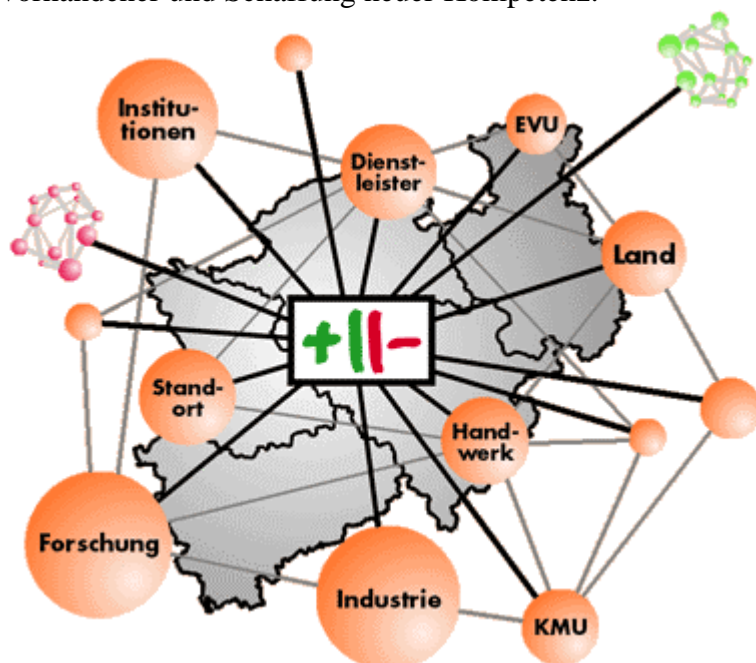


Abbildung 38 Visualisierung des Kompetenz-Netzwerk Brennstoffzellen NRW (Quelle: BEO)

Das Kompetenz-Netzwerk Brennstoffzelle NRW bietet ein breites Spektrum an Dienstleistungen an:

- (i) Information und Kommunikation: Fachveranstaltungen, Arbeitskreise, Internetplattform
- (ii) Kooperations- und Einzelprojekte: Partnerfindung, Projektinitiierung, Umsetzungsunterstützung und Förderberatung
- (iii) Ansiedlung: Gewinnung ansiedlungsbereiter Unternehmen, Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen
- (iv) Öffentlichkeitsarbeit: Internet-Homepage, Flyer, Fachpublikationen
- (v) Qualifizierung: Workshops, Round-Tables, Firmenbesuche
- (vi) Internationalisierung: Unternehmerreisen, Gemeinschaftsstände auf Messen, internationale Kontakte zu anderen Brennstoffzellen-Initiativen

Seit der Gründung des Netzwerks im April 2000 wurden bisher 22 Brennstoffzellen-Projekte⁵⁴ mit einem Fördervolumen von mehr als 30 Mio. DM aus Mitteln des Förderprogramms "Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen", der AG-Solar und weiterer Einrichtungen des Landes NRW unterstützt. Schon nach einem Jahr konnte das Zentrum einen sehr positiven und leistungsstarken Nachweis der verschiedenen Aktivitäten erbringen.

Derartige Cluster-/Netzwerk-Aktivitäten bzw. Kompetenzzentren gibt es zahlreiche in Deutschland. Neben Nordrhein-Westfalen sind die folgenden Bundesländer zu erwähnen: Baden-Württemberg („Forum Brennstoffzelle“)⁵⁵, Bayern⁵⁶, Sachsen, etc.

4.4 Programme der USA

4.4.1 Forschung und Entwicklung

Das US Department of Energy (DOE) verabschiedete im Dezember 2000 den "Strategic Plan for Distributed Energy Resources (DER)". Hauptziel dieses Plans ist es in den nächsten 2 Jahrzehnten saubere, zuverlässige und kostengünstige dezentrale Energietechnologien zu entwickeln. [L 29], [L 48]

VISION 2020: "The United States will have the cleanest and most efficient and reliable energy systems in the world maximising the use of affordable energy resources"

Dieser strategische Plan sieht ein Rahmenprogramm vor, in das die vielen im DOE laufenden Programme/Aktivitäten hinsichtlich dezentraler Energiesysteme eingebunden werden. Damit soll für die nächsten 2 Jahrzehnte ein Grundstock gelegt werden, eine Vielzahl von Technologien und Dienstleistungen für die verschiedenen Anwender aus Industrie und Gewerbe bzw. aus dem öffentlichen und privaten Sektor zu entwickeln.

⁵⁴ Projektinformationen bzw. allgemeine Informationen finden sich unter <http://www.brennstoffzelle-nrw.de/> (Stand: Oktober 2001)

⁵⁵ siehe Website: <http://www.forum-brennstoffzelle.de/> bzw. <http://www.kompetenznetze.de/> (Stand: Oktober 2001)

⁵⁶ siehe Website: <http://www.hyweb.de/> (Stand: Oktober 2001)

Kurzfristig werden Schwerpunkte für die Entwicklung von "next generation" dezentralen Energietechnologien gesetzt. Sechs unterschiedliche strategische Themenfelder werden forciert: [L 48]

- (i) Leitung und Koordination von FTE&D⁵⁷ Investitionen für dezentrale Erdgas-Technologien:
 - fortgeschrittene Gasturbinen und Mikro-Gasturbinen,
 - Kühl-, Heiz- und KWK-Systeme,
 - Brennstoffzellen-Systeme,
 - Hybridsysteme (bestehend aus Brennstoffzelle/Gasturbine und fossilen/erneuerbaren Systemen),
 - Erdgasmotoren.
- (ii) Durchführung unterstützender FTE&D Aktivitäten für diverse horizontale Technologien wie:
 - Verbrennungssysteme,
 - Brennstoffaufbereitung,
 - Wasserstoffenergiesysteme,
 - Materialien und Herstellungsverfahren,
 - Leistungselektronik,
 - Sensor- und Kontrollsysteme.
- (iii) Leitung und Koordination von FTE&D Maßnahmen bei der Energieerzeugung und bei Transport-/Verteilungssystemen für dezentrale Energiesysteme wie:
 - Fernwärme,
 - Energiespeicherung,
 - Netzeinbindung,
 - Modellierung und Simulationstools,
 - Energieparks und Mini-Netze,
 - Supraleitfähige Materialien für elektrische Systeme,
 - Übertragung und Verteilung.
- (iv) Koordinationsaktivitäten bei folgenden RES⁵⁸-Themen:
 - Solarenergie und Integration von Solarenergie in Gebäuden,
 - Geothermie,
 - PV Systeme,
 - Windenergie Systeme.
- (v) Etablierung von gemeinsamen Technologie-Transfer-Partnerschaften zwischen Industrie, staatlichen Agenturen, Universitäten und nationalen Laboratorien basierend auf:
 - mehrjährigen Programmen, die industrielle Zielsetzungen und Zeitpläne berücksichtigen;
 - "Cost-sharing" Aktivitäten bei gemeinsamen FTE&D Aktivitäten und Technologie-Transfer-Aktivitäten.

⁵⁷ FTE&D ist die Abkürzung für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration.

⁵⁸ RES ist die Abkürzung für „Renwable Energy Sources“ und steht für erneuerbare Energieträger.

(vi) Durchführung von Aktivitäten hinsichtlich gesamtheitlicher Systemuntersuchungen, welche infrastrukturelle, institutionelle und legislative Anforderungen berücksichtigen wie:

- Bauvorschriften und Normen;
- Umweltverträglichkeit, Raumplanung, etc.

Hinsichtlich Brennstoffzellen lagen in der Vergangenheit die Schwerpunkte in der Entwicklung von kommerziellen phosphorsauren Brennstoffzellen und der weiteren Optimierung von Karbonatschmelze und oxidkeramischen Brennstoffzellen-Systemen. Bis zum Jahre 2003 sollen Hochtemperatur-Brennstoffzellen zu Investkosten von US-\$ 1000 – 1.500/kW_{el} mit 60 % elektrischen Wirkungsgrad, geringen Emissionen und mit einer Lebensdauer für die Hauptkomponenten von 40.000 Betriebsstunden kommerziell verfügbar sein. Die Entwicklung von PEFC Systemen hat in den letzten Jahren ebenfalls massiv zugenommen, der Entwicklungsstand wird allerdings noch als „early development and testing phase“ eingestuft.

Im Rahmen des „Strategic Plans for DER“ finden eine Reihe von Programmen und Initiativen statt. Eine davon ist die „**Solid State Energy Conversion Alliance (SECA)**“ in der kostengünstige Keramiken für SOFC Systeme mittels neuer innovativer Herstellverfahren hergestellt werden sollen. In zusammenfassender Form wird die SECA Initiative in Abbildung 39 vorgestellt.

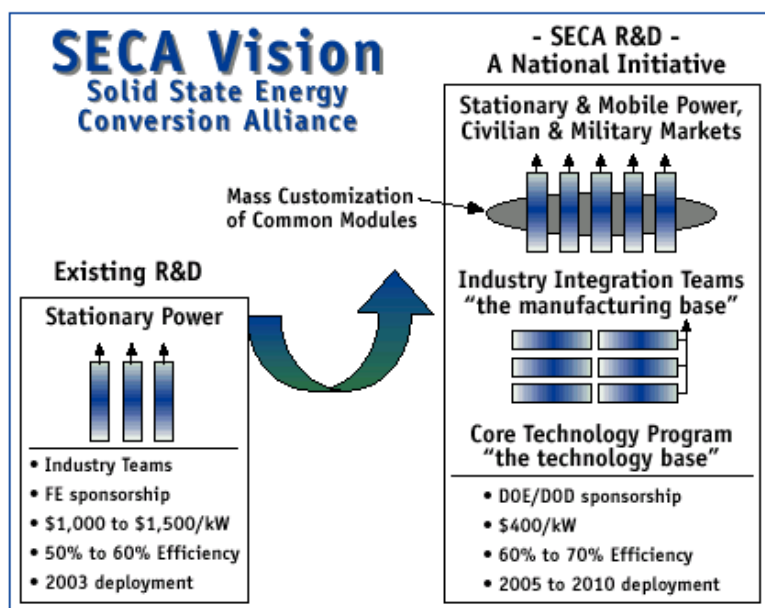


Abbildung 39 SECA „Solid State Energy Conversion Alliance“ Programm, Initiative im Rahmen des „Strategic Plan for DER“ (Quelle: [L 48])

Im Jahr 2000 umfasste das Budget im Rahmen des „Strategic Plan for DER“ für Brennstoffzellen an die 48 Millionen US-\$. Unter Berücksichtigung der Demonstrationsprojekte (siehe nachfolgenden Abschnitt) werden die gesamten zur Verfügung stehenden FTE Ausgaben mit 120 Millionen US-\$ angegeben. [L 42], [L 48]

4.4.2 Demonstrationsprojekte

Eine Kooperation zwischen dem Department of Energy (DOE), dem Department of Defense (DOD), verschiedener Industrieunternehmen, etc. haben die Initiierung von Demonstrationsprojekten zum Ziel, welche die prinzipielle Einsetzbarkeit/Funktionalität von Brennstoffzellen-Systemen in den verschiedenen öffentlichen und industriellen Sektoren und die Vorteile von Brennstoffzellen aufzeigen sollen.

Insbesondere für die Senkung der Herstellungskosten haben das DOE und DOD gemeinsame Projekte durchgeführt, in denen innovative Herstellverfahren und neue Systeme und Komponenten eingesetzt und getestet worden sind. Die phosphorsaure Brennstoffzellen-Technologie stand dabei in den letzten Jahren im Vordergrund (neben Aktivitäten bei MCFC, SOFC und PEFC-Systemen) (siehe hierzu auch Tabelle 20). Derzeit gewährt das DOD⁵⁹ Investförderungen für Demonstrationsprojekte in den USA Diese Förderungen sollen 1/3 der Projektkosten (inkl. Anlagenkosten, Lieferung, Installation und einjährigem Probebetrieb) nicht überschreiten, bei einer maximalen Fördersumme von US-\$ 1000/kW_{el}. Die Förderung gilt für Anlagen in einem Leistungsbereich Ø3 kW_{el} bzw. Ω3 MW_{el}. Die nachfolgende Tabelle zeigt in übersichtlicher Darstellung die geförderten Projekte der letzten 3 Jahren.

Tabelle 20 Übersicht der US Demonstrationsprojekte (Quelle: [L 48])

| Jahr 1997 | Jahr 1998 | Jahr 1999 |
|--------------------------|--|--|
| 53 PC25 IFC/ONSI Anlagen | 15 ONSI PC25 200 kW PAFC 90 Plug Power 7 kW PEFCs 16 Analytic Power 3 kW PEFCs 1 Siemens/Westinghouse 300 kW SOFC | 10 IdaTech 3 KW Anlagen 23 Plug Power 7 kW PEFCs 8 ONSI 200 kW PAFCs 1 Siemens/Westinghouse 250 kW SOFC 1 Fuel Cell Energy 250 kW MCFC |

Mit Ausnahme der PEFC Systeme und deren Anwendungen sind die USA bei den Hauptkomponenten von allen Brennstoffzellen-Typen wie AFC, PAFC, MCFC und SOFC die Technologie-Führer.⁶⁰

4.5 Japanische FTE Aktivitäten

Staatliche FTE&D Aktivitäten hinsichtlich industrieller Technologien wie Brennstoffzellen-Systemen werden von der "New Energy and Industrial Technology Development Organisation (NEDO)" gefördert und abgewickelt. Diese Organisation steht wiederum unter der Direktion des "Ministry of Economy, Trade and Industry (METI)" der japanischen Regierung. Brennstoffzellen-Programme sind Teil des "New Sunshine Programs".

⁵⁹ Abgewickelt werden diese „Grants“ durch das DOE National Energy Technology Laboratory in Morgantown (WV).

⁶⁰ Siehe hierzu auch die Angaben zur Technologie der Brennstoffzelle, den verschiedenen in Entwicklung befindlichen Brennstoffzellen-Typen und den in diesem Zusammenhang stehenden Applikationen.

4.5.1 Forschung und Entwicklung

Die Forschungsthemen bezüglich Brennstoffzellen umfassen MCFC, SOFC und PEFC-Systeme, wobei letztere im Vergleich zu den USA und Europa erst 1992 mit signifikanten Aktivitäten begonnen haben. Die Budgets für diese Aktivitäten haben die folgenden Größenordnungen.

Tabelle 21 F&E Budgets in Japan⁶¹ (Quelle: [L 40])

| | FY 2000 | FY 2001 | Aktivitäten im Jahr 2001 |
|------------------------|----------------|----------------|--|
| MCFC | 2.232 | 2.411 | Entwicklung von Hochleistungs-komponenten Erhöhung der Lebensdauer |
| SOFC | 573 | 1.056 | Entwicklung eines 10 kW Moduls Erforschung der Alterungseffekte von Zellmaterialien und Leistungs-komponenten |
| PEFC | 1.149 | 3.230 | Fundamentale FTE von innovativen Technologien zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer |
| Weitere Themenbereiche | 129 | 133 | |
| Total (M-Yen) | 4.084 | 6.839 | |
| Total (M-Euro) | 36,21 | 60,63 | |

Wie bereits erwähnt starteten die PEFC-Aktivitäten erst im Jahre 1992, relativ spät verglichen mit den Systemen MCFC, SOFC und PAFC. PAFC erhalten aufgrund des fortgeschrittenen F&E Charakters keine Mittel mehr für Grundlagenforschung. Ab dem Jahr 1992 wurden die Budgetmittel für PEFC von Jahr zu Jahr sukzessive aufgestockt. Die F&E Programme bei MCFC, SOFC und PEFC führten bis dato zu keinen Demonstrationsprojekten.

Bei der PAFC wurde mit IFC/ONSI eine erfolgreiche Kooperation für BHKW-Anlagen aufgebaut, die einen Technologietransfer aus den USA nach Japan gewährleistete, bei der PEFC mit Ballard Power Systems scheint eine ähnliche Entwicklung für Brennstoffzellen-Heizgeräte zu gelingen (siehe hierzu Abbildung 10 auf Seite 29). Zusammenfassende Darstellungen über japanische FTE-Aktivitäten werden in jährlichen Berichten vom japanischen Fuel Cell Information Center publiziert. [L 49]

⁶¹ 100 Yen entsprechen 12,20 ATS (Oktober 2001).

Für die Zeitperiode 1999 bis 2003 werden die folgenden Strategien für die Umsetzung dieses IA verfolgt: [L 47]

- (i) Fortsetzung und Erweiterung des Informationsnetzwerkes,
- (ii) Durchführung von Marktanalysen und Marktmonitoring,
- (iii) Identifizierung und das Überwindung von Implementierungsbarrieren,
- (iv) Stimulation von gemeinsamen FTE Aktivitäten:
 - Forcierung der Entwicklung von technisch und wirtschaftlich optimierten Stacks und Systemen,
 - „Balance of Plant“ Aktivitäten,
 - Entwicklung von Designoptionen zur weiteren Komponenten- und System-Optimierung,
 - Optimierung der Effektivität von Demonstrationsprogrammen und
 - Beitrag zu „Feasibility“-Studien für den Einsatz der Brennstoffzellen-Technologien.

Die derzeitigen Tätigkeiten umfassen applikations- und technologieorientierte Tasks:

4.6.1 Task XI: Polymer Electrolyte Fuel Cells

FTE Aktivitäten zur Senkung der Kosten und Verbesserung der Wirkungsgrade von PEFCs, DMFCs und verwandten Brennstoffzellen-Systemen. Diese Tätigkeiten inkludieren: (i) neue Materialien für Brennstoffzellen-Stacks und Brennstoff-Aufbereitungssysteme, (ii) die Entwicklung neuartiger Computertools für Prozess-Simulationen und (iii) Untersuchungen für neuartige Stack- und Systemdesigns.

4.6.2 Task XII: Fuel Cell Systems for Stationary Applications

Technische und wirtschaftliche Analysen für die Implementierung von stationären Brennstoffzellen-Systemen in die Energiewirtschaft. Diese Arbeit fokussiert auf zwei Anwendungsfelder: (i) PEFCs für BHKW-Applikationen (< 500 kW) und (ii) Hochtemperatur-Brennstoffzellen mit und ohne Kombination mit einer Gasturbine (0,5 – 2 MW und größer).

4.6.3 Task XIII: Solid Oxide Fuel Cells

Eine Verbesserung der Leistungskomponenten und Verringerung der Kosten stehen im Mittelpunkt dieses Tasks. In Form von jährlichen Workshops/Meetings soll über den Fortschritt informiert und diskutiert werden. Jedes dieser Workshops/Meetings sollte unterschiedliche Inhalte zum Ziel haben, wie: (i) Herstellungsverfahren, (ii)

Designparameter, (iii) niedrige Betriebstemperaturen, (iv) Modellierungsaktivitäten und (v) allgemeine Aspekte von SOFC Systemen.

4.6.4 Task XIV: Molten Carbonate Fuel Cells towards Demonstration

Die Kommerzialisierung von MCFC Systemen voranzutreiben ist das primäre Ziel dieses Tasks. Aktivitäten hinsichtlich: (i) Leistungsverbesserungen und Kostenreduktion des Stacks, (ii) Entwicklung und Standardisierung von Testprozeduren und (iii) der Datenvergleich von experimentellen MCFC Stacks stehen im Mittelpunkt der Aktivitäten in diesem Task.

4.6.5 Task XV: Fuel Cell Systems for Transportation

Das Ziel dieses Tasks (vorgeschlagen für den Zeitraum 2001 bis 2003) wird es sein, die Aktivitäten der verschiedenen mobilen Themenbereiche und in diesem Zusammenhang stehenden Themenfelder wie alternative Treibstoffe, etc. zu koordinieren. Die teilnehmenden Länder für diese Tasks sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet:

Tabelle 22 Teilnehmende Länder in den verschiedenen Brennstoffzellen-Tasks (Quelle: [L 40])

| Land | Task XI | Task XII | Task XIII | Task XIV | Task XV |
|-------------|---------|----------|-----------|----------|---------|
| Australien | | 1 | 1 | | |
| Kanada | 1 | | 1 | | |
| Frankreich | | 1 | 1 | | |
| Deutschland | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Italien | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| Japan | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Korea | 1 | | | 1 | |
| Niederlande | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Norwegen | | 1 | | | |
| Schweden | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| Schweiz | | | 1 | | 1 |
| UK | 1 | | 1 | | |
| USA | 1 | | 1 | 1 | 1 |

Österreich ist in diesen Tasks bis dato nicht involviert (siehe Tabelle 22). Durch die Teilnahme von Österreich an den oben angeführten Tasks (insbes. Tasks XI, XII und XIII) könnte Österreich durch einen relativ geringen Mitteleinsatz erheblich vom internationalen Know-how – bei entsprechender Umsetzung – profitieren.

5 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR STATIONÄRE ENERGIESYSTEME IN ÖSTERREICH

5.1 Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen und Einsatzpotentiale für Brennstoffzellen-Systeme in Österreich

Der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ist sowohl international als auch national stark in das energiewirtschaftliche und umweltpolitische Interesse gerückt. So stammten in Österreich im Jahr 1999 26,1 % der Bruttostromerzeugung aus Wärmekraftwerken mit Wärme-Auskopplung (siehe Abbildung 41).

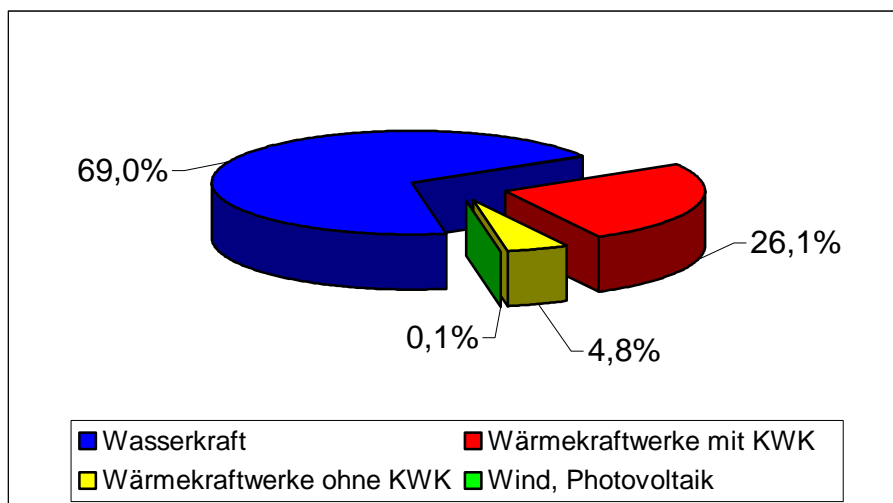


Abbildung 41 Kraft-Wärme-Kopplung in Österreich, Anteile in Prozent, Gesamt-Bruttostromerzeugung im Jahr 1999: 18.623,4 GWh (Quelle: [L 51])

Die eingesetzten Energieträger in den Wärmekraftwerken mit/ohne KWK schlüsseln sich dabei folgendermaßen auf (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23 Strom- und Wärmeerzeugung in GWh (1999) (Quelle: [L 52])

| Energieträger | Wärmekraftwerke mit KWK | Wärmekraftwerke ohne KWK | Strom- und Wärmeerzeugung |
|---------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | | |

| | Nettowärme- erzeugung | Bruttostrom- erzeugung | Summe | Bruttostrom- erzeugung | |
|---|--------------------------|---------------------------|--------|---------------------------|--------|
| Biogene Brennstoffe im engeren Sinn *) | 1.355 | 406 | 1.762 | 44 | 1.805 |
| Sonstige Energieträger **) | 4.481 | 1.243 | 5.724 | 148 | 5.872 |
| Fossile Energieträger ***) | 18.361 | 14.088 | 32.449 | 2.694 | 35.143 |
| Summe | 24.197 | 15.737 | 39.934 | 2.886 | 42.820 |

*) Biogene Brennstoffe im engeren Sinn beinhalten: (i) Biomasse, (ii) Holz, Rinde und Holzabfälle (ohne Unterscheidungsmöglichkeit der Provenienz), (iii) Biogas und Deponiegas

***) Sonstige Energieträger sind unterteilt in: (i) Laugen, (ii) Klär- und sonstige Schlämme, (iii) Müll und Abfälle (ohne Unterscheidungsmöglichkeit in biogene und andere Abfälle), (iv) andere sonstige Energieträger, (v) Abwärme

****) Fossile Brennstoffe sind unterteilt in: (i) Steinkohle (einschließlich Produkte), (ii) Braunkohle (einschließlich Produkte), (iii) Erdölprodukte flüssig, (iv) Naturgas, (v) sonstige gasförmig Brennstoffe (einschließlich Flüssiggase und Raffinerie-Restgase)

Die dominierende Energietechnologie der thermischen KWK-Anlagen sind die Dampfturbinen, gefolgt von den kombinierten Prozessen und den Verbrennungsmotoren. Eingesetzt werden diese hauptsächlich im Energieversorgungsbereich (an die 70 % der installierten Leistung). Bei der industriellen Eigenerzeugung dominieren die Sektoren: (i) Papierindustrie, (ii) Eisen- und Stahlindustrie, (iii) Raffinerien und (iv) chemische Industrien (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24 Nächste Seite: Leistung und Erzeugung von betriebsbereiten Wärmekraftwerken nach Differenzierung in Technologien und Sektoren⁶³ (Quelle: [L 53]).

⁶³ In offiziellen KWK-Statistiken werden – wie in Tabelle 24 – Leistungsangaben in Form von SNL und Stromerzeugungsangaben in Form von S_{SNL} gegeben.

SNL steht für Soll-Nettoleistung. Die Soll-Nettoleistung einer KWK-Anlage entspricht gewöhnlich ihrer maximalen elektrischen Nettoleistung. Es gibt jedoch Ausnahmefälle für Anlagen, die vorwiegend Strom produzieren. In diesen Fällen wird eine eigene Formel für die Errechnung der SNL herangezogen.

S_{SNL} steht für Stromerzeugung einer KWK-Einheit. Die Stromerzeugung einer KWK-Einheit entspricht ihrer tatsächlichen Bruttostromerzeugung. Für die bei der SNL Soll-Nettoleistung erwähnten Ausnahmefällen wird sie ebenfalls nach einer bestimmten Formel ermittelt (siehe hierzu [L 53]).

| Prozeß | Maximale Leistung | | | Erzeugung | | | Brennstoffeinsatz TJ | Zahl der Einheiten n |
|-----------------------------------|-------------------|--------------|--------------|------------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| | Strom | | Wärme | Strom | | Wärme | | |
| | SNL | Brutto | Netto | S _{SNL} | Brutto | Netto | | |
| | MW | MW | MW | GWh | GWh | TJ | | |
| Kombinierter Prozess | 760 | 760 | 1.503 | 4.012 | 4.012 | 20.641 | 58.527 | 8 |
| Dampf: Gegendruckturbine | 522 | 526 | 2.864 | 2.662 | 2.691 | 37.715 | 75.172 | 48 |
| Dampf: Kondensationsturbine | 2.056 | 2.393 | 2.842 | 7.274 | 7.949 | 21.103 | 83.878 | 20 |
| Gasturbine mit Wärmerückgewinnung | 15 | 15 | 19 | 40 | 40 | 275 | 967 | 2 |
| Verbrennungsmotor | 63 | 64 | 118 | 280 | 283 | 1.733 | 4.755 | 31 |
| Andere | | | | | | | | |
| Insgesamt | 3.415 | 3.758 | 7.346 | 14.268 | 14.974 | 81.467 | 223.299 | 109 |

| Sektor | Maximale Leistung | | | Erzeugung | | | Brennstoffeinsatz TJ | Zahl der Einheiten n |
|--|-------------------|--------------|--------------|------------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| | Strom | | Wärme | Strom | | Wärme | | |
| | SNL | Brutto | Netto | S _{SNL} | Brutto | Netto | | |
| | MW | MW | MW | GWh | GWh | TJ | | |
| Energieversorgung | 2.344 | 2.687 | 2.968 | 7.891 | 8.598 | 26.773 | 95.591 | 45 |
| Eigenerzeuger | | | | | | | | |
| Gewinnung und Herstellung fester Brennstoffe | | | | | | | | |
| Gewinnung von Erdöl und Erdgas | 9 | 9 | 15 | 52 | 52 | 139 | 728 | 4 |
| Kokereien | | | | | | | | |
| Raffinerien | 108 | 108 | 611 | 723 | 723 | 2.056 | 8.180 | 1 |
| Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen | | | | | | | | |
| Eisen- und Stahlindustrie | 255 | 255 | 733 | 1.536 | 1.536 | 14.811 | 33.024 | 3 |
| NE-Metalle | | | | | | | | |
| Chemische Industrie | 59 | 59 | 344 | 282 | 282 | 4.579 | 7.893 | 5 |
| Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden | | | | | | | | |
| Bergbau | | | | | | | | |
| Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung | 53 | 53 | 420 | 169 | 169 | 4.260 | 7.945 | 7 |
| Textil-, Bekleidungs- und Ledergewerbe | 17 | 17 | 76 | 62 | 62 | 851 | 1.492 | 7 |
| Papier-, Verlags- und Druckgewerbe | 521 | 521 | 1.961 | 3.351 | 3.351 | 25.776 | 63.469 | 19 |
| Metallwaren, Maschinenbau | 10 | 10 | 13 | 51 | 51 | 196 | 694 | 3 |
| Andere Wirtschaftszweige | 22 | 22 | 136 | 90 | 90 | 1.037 | 2.248 | 5 |
| Verkehr | | | | | | | | |
| Dienstleistungen usw. | 18 | 18 | 69 | 60 | 60 | 990 | 2.035 | 10 |
| Andere | | | | | | | | |
| Insgesamt | 3.415 | 3.758 | 7.346 | 14.268 | 14.974 | 81.467 | 223.299 | 109 |

Mit 26,1 % KWK-Anteil an der Stromerzeugung liegt Österreich im europäischen Vergleich – nach Dänemark, den Niederlanden und Finnland – an der vierten Stelle (siehe Abbildung 42).

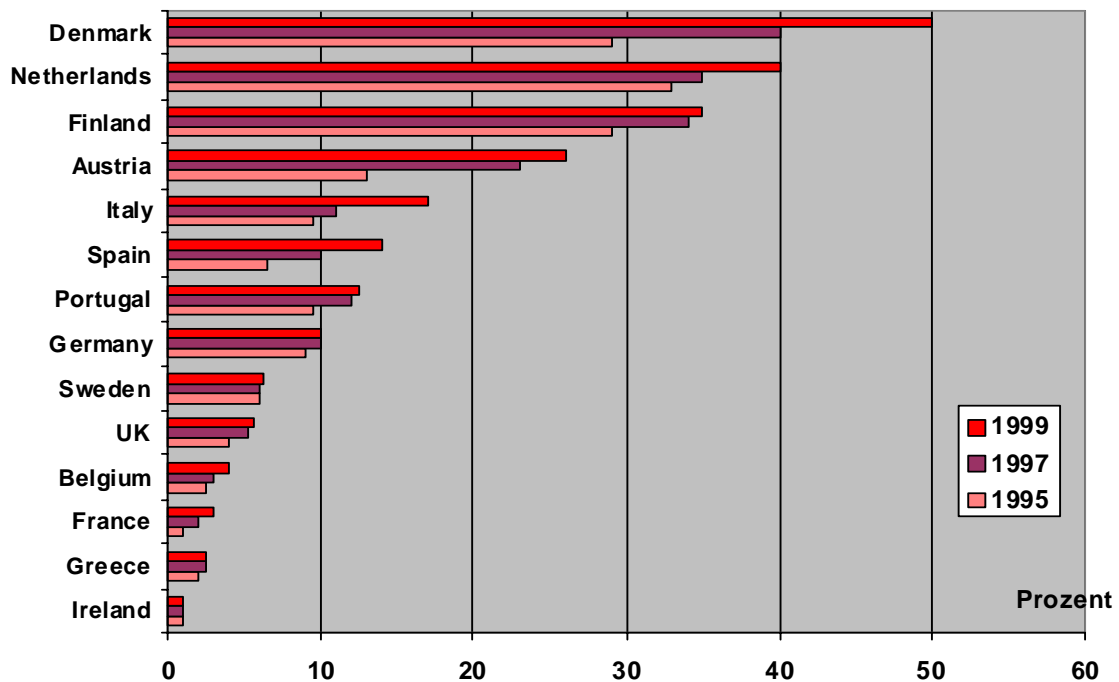


Abbildung 42 Anteil der KWK an der Stromerzeugung in Europa in den Jahren 1995, 1997 und 1998 (Quelle: [L 56])

Eine Analyse der Kenndaten der österreichischen Wärmekraftwerke – basierend auf [L 51], [L 52], [L 53], [L 54] – zeigt weiters folgende Trends:

- (i) Zunahme der Netto-Wirkungsgrade (an die 40 % im Jahr 1999) und Netto-Gesamtwirkungsgrade (an die 54 % im Jahr 1999) der Kraftwerke bzw. Kraftwerksblöcke

è **Trend zu effizienten Technologien bzw. Betriebsweisen**

- (ii) Der Einsatz von Erdgas in Wärme-Kraftwerken hat sich in den letzten 20 Jahren verdoppelt und erreichte im Jahr 1999 an die 1.400 Mio. m³. Basierend auf dem Energieinhalt der verschiedenen eingesetzten Energieträger stammt somit jede 2. produzierte kWh aus einem gas-betriebenen Wärmekraftwerk

è **Trend zu Erdgas als primärem Energieträger**

- (iii) Bis zum Jahr 2007 sind die Verteilnetzbetreiber verpflichtet, 4 % des abgegebenen Stroms an Endverbraucher basierend auf biogenen Brennstoffen im engeren Sinne abzugeben (siehe ElWOG Legislation). Abschätzungen ergeben, dass bis zu 2.500 GWh (im Jahre 1999: 450 GWh) aus anerkannten Ökostrom-Anlagen stammen müssen.

è **Trend zu erneuerbaren Energieträgern (siehe auch Kapitel 5.2 auf Seite 93)**

Eine detaillierte Differenzierung der eingesetzten Technologien nach (i) Leistungsklassen, (ii) Verwendungszweck und Sektor, (iii) Stromproduktion und (iv) Engpassleistung wird in den aktuellen Statistiken des Bundeslastverteilers nicht durchgeführt.

Wird der Leistungsbereich berücksichtigt, für den Brennstoffzellen-Systeme für stationäre Applikationen (BHKW-Anlagen, Notstrom- und Spitzenstrom-Anlagen) primär entwickelt

werden, so ist dies ein Leistungsbereich $\Omega 1 \text{ MW}_{\text{el}}$.⁶⁴ Dies ist weiters jener Leistungsbereich, der vornehmlich von Verbrennungsmotoren abgedeckt worden ist und der von den Brennstoffzellen-Systemen – unter Berücksichtigung der Aussagen in den Kapiteln 3.5, 3.6 und 3.7 – theoretisch substituiert werden kann. Langfristige EU-Prognosen (siehe Kapitel 4.1.2) gehen sogar davon aus, dass Brennstoffzellen-Systeme das Potenzial aufweisen alle konventionellen Energietechnologien zu substituieren. Unter weiterer Berücksichtigung der verschiedenen Zielsetzungen der Herstellerfirmen und den energiewirtschaftlichen Voraussetzungen in Österreich ergäbe sich ein theoretisches Einsatzpotenzial für die Brennstoffzelle – bei Substitution aller Wärmekraftwerke mit einer elektrischen Leistung $< 10 \text{ MW}_{\text{el}}$ – von an die 350 MW.

Offizielle Publikationen des BMUJF, welche sich auf die Bestandsstatistik 1994 und Betriebsstatistik 1996 stützen [L 55], listen für diesel-, heizöl- und erdgasbetriebene stationäre Motoren in einem Leistungsbereich $> 20 \text{ kW}_{\text{el}}$ folgende Anlagenzahlen auf:

- (i) 1263 Dieselmotoren (davon 207 im Normalbetrieb, mittlere installierte Leistung $600 \text{ kW}_{\text{el}}$, 1056 Notstrombetrieb, mittlere installierte Leistung: $260 \text{ kW}_{\text{el}}$)
- (ii) 171 Erdgasmotoren (davon 112 im Normalbetrieb, mittlere installierte Leistung $610 \text{ kW}_{\text{el}}$, 59 Notstrombetrieb, mittlere installierte Leistung $50 \text{ kW}_{\text{el}}$)

Bezüglich Anlagen mit einer elektrischen Leistung $\Omega 20 \text{ kW}_{\text{el}}$ kann den aktuellen Referenzlisten der führenden Anlagenlieferanten entnommen werden, dass in den letzten zwei bis drei Jahren in Österreich über 150 Mikro-BHKW-Anlagen (> 250 Einheiten) basierend auf Motoraggregaten und fossilen Energieträgern (Erdgas, Flüssiggas und Heizöl) vorwiegend in Tourismusbetrieben (90 %) installiert wurden (siehe [L 61]); vereinzelt werden in diesen Anlagen auch erneuerbare Energieträger eingesetzt.

Ein weiteres Anwendungsfeld für Brennstoffzellen sind Brennstoffzellen-Heizgeräte für Ein- und Mehrfamilienhaushalte. Nachfolgende Ausführungen zeigen die derzeit eingesetzten Brennstoffe und Energietechnologien für die Wärmeversorgung in österreichischen Haushalten.

Bei den verwendeten Brennstoffen in österreichischen Haushalten ist Erdgas im Jahr 2000 mit 27,8 % der neue Spitzenreiter, gefolgt von flüssigen Brennstoffen wie Heizöl, Ofenöl und Flüssiggas mit 27,0 %. Bei den verwendeten Brennstoffen fällt vor allem der deutliche Rückgang von Kohle, Koks und Briketts auf. Der prozentuelle Anteil betrug im Jahr 2000 nur mehr 3,4 % (1994 noch 9,2 %), auch elektrischer Strom wurde im Jahre 2000 etwas weniger eingesetzt (9,0 % verglichen mit 9,8 % im Jahr 1997) (siehe Tabelle 25). [L 59], [L 60].

⁶⁴ Entwicklungsziele bzw. bisher abgewickelte Pilot- und Demonstrationisprojekte hatten elektrische Leistungsgrößen bis 10 MW zum Ziel.

Tabelle 25 Wohnungen nach Art der Heizung und verwendeten Heizmaterialien (Quelle: [L 59])

| Art der Heizung, Heizmaterial | Wohnungen | | | | | |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| | März 1994 | Juni 1997 | Juni 2000 | März 1994 | Juni 1997 | Juni 2000 |
| | In 1.000 | | | In % | | |
| Art der Heizung | | | | | | |
| Einzelofenheizung | 1.041,3 | 925,1 | 810,3 | 34,2 | 29,4 | 24,9 |
| Gaskonvektor | 160,7 | 177,5 | 180,2 | 5,3 | 5,6 | 5,5 |
| Elektroheizung | 200,9 | 210,8 | 190,7 | 6,6 | 6,7 | 5,9 |
| Anderer Brennstoff | 679,8 | 536,8 | 439,4 | 22,3 | 17,1 | 13,5 |
| Etagenheizung | 440,5 | 445,4 | 460,5 | 14,4 | 14,1 | 14,1 |
| Hauszentralheizung | 1.263,0 | 1.387,0 | 1.509,8 | 41,1 | 44,1 | 46,3 |
| Fernwärme | 306,2 | 390,2 | 477,4 | 10,0 | 12,4 | 14,7 |
| Insgesamt | 3.051,1 | 2.610,9 | 3.258,1 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Heizmaterial | | | | | | |
| Holz | 575,6 | 514,2 | 465,0 | 18,9 | 16,3 | 14,3 |
| Kohle, Koks, Briketts | 280,7 | 182,2 | 112,2 | 9,2 | 5,8 | 3,4 |
| Heizöl, Ofenöl, Flüssiggas | 812,7 | 862,5 | 879,6 | 26,6 | 27,4 | 27,0 |
| Elektrischer Strom | 317,0 | 308,1 | 291,7 | 10,4 | 9,8 | 9,0 |
| Erdgas | 712,9 | 792,6 | 906,3 | 23,4 | 25,2 | 27,8 |
| Fernwärme | 306,2 | 390,2 | 458,2 | 10,0 | 12,4 | 14,1 |
| Sonstiger Brennstoff, unbek. | 46,0 | 98,0 | 145,1 | 1,5 | 3,1 | 4,5 |
| Insgesamt | 3.051,1 | 3.147,8 | 3.258,1 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Unterschiedlich zu Applikationen wie BHKW-, Notstrom- und Spitzenstrom-Anlagen, in denen Brennstoffzellen-Systeme konventionelle Technologie direkt substituieren könnte, bilden Brennstoffzellen-Heizgeräte eine Technologie, die es bis dato für die anvisierten Sektoren Ein- und Mehrfamilienhäuser nicht gegeben hat. Aus diesem Grund variieren die Aussagen über die möglichen Marktpotenziale erheblich. Es gibt Anbieterfirmen, die alle installierten Gas-Heizgeräte als substituierbar ansehen (dies wären über 900.000 Systeme in Österreich, andere wiederum gehen davon aus, dass Brennstoffzellen-Heizgeräte nur in jenen Sektoren eingesetzt werden, in denen die installierte Leistung bestmöglich genutzt wird und mehrere tausend Betriebsstunden erreicht werden können.

Die Firma Vaillant – beispielsweise - geht davon aus, dass bis zum Jahr 2010 in Österreich vier bis fünftausend Brennstoffzellen-Heizgeräte installiert sein werden. Dies sind bei einem Marktvolumen von ca. 100.000 Stück pro Jahr, rund 4 bis 5 % aller installierten Gasheizgeräte in Österreich und kann – unter Berücksichtigung der Aussagen in den Kapiteln 3.5, 3.6 und 3.7 – als realistisch angesehen werden.

5.2 Trend zu erneuerbaren Energieträgern

5.2.1 Forcierung von erneuerbaren Energieträgern für die Stromerzeugung in Österreich

Die Forcierung von erneuerbaren Energieträgern ist eine wesentliche Strategie zur Erreichung energiepolitischer und technologiepolitischer Ziele Österreichs. [L 54], [L 75] Mit dem Beschluss des Energieliberalisierungsgesetzes im Juli 2000 wurde auch das aus dem Jahr 1998 stammende Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz (EIWOG) novelliert, wodurch sich auch Neuerungen für Strom auf Basis erneuerbarer Energieträger ergeben.

Das EIWOG 2000 unterscheidet grundsätzlich zwischen Strom aus Kleinwasserkraftwerken (KWKW) mit einer Engpassleistung bis 10 MW und aus Anlagen auf Basis anderer erneuerbarer Energieträger. Darunter fallen neben **Anlagen auf Basis fester oder flüssiger heimischer Biomasse, Biogas, Deponie- und Klärgas, geothermischer Energie (Erdwärme), Wind- und Sonnenenergie** nun auch „**Mischfeuerungsanlagen mit hohem biogenen Anteil**“ sowie die Verbrennung von „**Abfällen mit hohem biogenen Anteil**“.⁶⁵ Ausdrücklich nicht darunter fallen jedoch Anlagen auf der Basis von Müll oder Klärschlamm.

Während für KWKW mit dem Fördermechanismus der „Kleinwasserkraftwerkszertifikate“ ein für Österreich neuer, wettbewerbsorientierter Weg eingeschlagen wird, wurde das System zur Förderung von elektrischer Energie auf Basis erneuerbarer Energieträger aus dem EIWOG 1998 in seinen Grundzügen beibehalten, in seinen Details jedoch verfeinert und erweitert: So muss der Anteil der abgenommenen Ökoenergie nun

- (i) ab 1. Oktober 2001 mindestens 1 %,
- (ii) ab 1. Oktober 2003 mindestens 2 %,
- (iii) ab 1. Oktober 2005 mindestens 3 % und
- (iv) ab 1. Oktober 2007 mindestens 4 %

der Stromabgabe an die Endverbraucher im Verteilnetz betragen. Bei Nichterreichen dieses Ziels muss der Verteilnetzbetreiber darüber hinaus für das Defizit an Ökoenergie eine sog. „Ausgleichsabgabe“ entrichten.

Diese Ausgleichsabgabe ist von den Ländern vorzusehen und hat sich in ihrer Höhe an der Differenz zwischen dem Marktpreis und den durchschnittlichen Produktionskosten der Ökoenergie zu orientieren. Die Mittel aus dieser Ausgleichsabgabe fließen in Fonds bei den Bundesländern, aus denen zweckgebunden Ökoanlagen gefördert werden müssen.

Mit der Festlegung der Einspeisetarife sind auch weiterhin die Landeshauptmänner betraut, die Höhe des Tarifs muss aber, über die Regelungen des EIWOG 1998 hinausgehend, nicht nur die Wertigkeit der Energie und allfällige Förderungen berücksichtigen, sondern sich nun auch an den durchschnittlichen Erzeugungskosten der Ökoenergie orientieren.

Ausführliche Informationen hinsichtlich österreichischer Rahmenbedingungen wie Einspeisetarife und Zuschläge zu den Systemnutzungstarifen bzw. deren laufende

⁶⁵ Siehe hierzu auch [L 74].

Aktualisierungen finden sich auf der Website der E.V.A.⁶⁶ (mit besonderem Hinweis auf die Literaturstellen [L 72] und [L 74]).

5.2.2 Europarechtliche Vorgaben

Unter Bezugnahme auf das EU-Weißbuch über erneuerbare Energieträger hat die Europäische Kommission am 10.5.2000 den Vorschlag für eine „**Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt**“ verabschiedet. Am 4. 7. 2001 hat das Europäische Parlament in zweiter Lesung seine Position zum gemeinsamen Standpunkt des Rates vom März 2001 verabschiedet. Die formelle Beschlussfassung des Rates erfolgte im September d.J. Die Mitgliedstaaten haben die Richtlinie in einer Frist von 2 Jahren in nationales Recht umzusetzen.

Nachfolgende Tabelle enthält die Richtziele laut Richtlinie, an welchen sich die Mitgliedstaaten bei der Festlegung nationaler Ziele für Strom aus erneuerbaren Energiequellen orientieren sollen.

Tabelle 26 Strom aus erneuerbaren Energiequellen (in den Zahlen ist auch die Großwasserkraft enthalten) (Quelle: [L 73])

| Mitgliedsland | Strom aus EE (1997) | Richtwert für 2010 (%) |
|---------------|---------------------|------------------------|
| Belgien | 1,1 | 6,0 |
| Dänemark | 8,7 | 29,0 |
| Deutschland | 4,5 | 12,5 |
| Griechenland | 8,6 | 20,1 |
| Spanien | 19,9 | 29,4 |
| Frankreich | 15,0 | 21,0 |
| Irland | 3,6 | 13,2 |
| Italien | 16,0 | 25,0 |
| Luxemburg | 2,1 | 5,7 |
| Niederlande | 3,5 | 9,0 |
| Österreich | 70,0 | 78,1 |

⁶⁶ Adresse der Website: <http://www.eva.ac.at>

| | | |
|---------------------------|------|------|
| Portugal | 38,5 | 39,0 |
| Finnland | 24,7 | 31,5 |
| Schweden | 49,1 | 60,0 |
| Vereinigtes Königreich | 1,7 | 10,0 |
| EU15 | 13,9 | 22,0 |

Von Österreich wurde im Rat Energie vom Dezember 2000 dem Zielwert von 78,1 % mit der Maßgabe zugestimmt, dass „ ... **ausgehend von der Annahme, dass im Jahr 2010 der Bruttoinlandsstromverbrauch 56,1 TWh betragen wird, 78,1 % eine realistische Zahl wäre**“.

Hierzu ist anzumerken, dass der Bruttoinlandsstromverbrauch bereits 1999 auf 56,9 TWh gestiegen ist und bis 2010 voraussichtlich auf 67,4 TWh steigen wird. Die obige Annahme bedeutet in Zahlen, dass Österreich bis 2010 gegenüber 1997 zusätzlich 4,8 – 5 TWh Strom aus erneuerbaren Energieträgern – voraussichtlich – erzeugen wird müssen.

Zum Vergleich: Zur Erreichung des 4 % EIWOG-Zieles im Jahr 2007 sind rund 2,5 TWh erforderlich. Würden die bestehenden EIWOG-Ziele für 2001, 2003, 2005 und 2007 linear auf ein 5,5 %-Ziel für 2010 fortschreiben werden und auch für 2010 eine 8 % Quote für Strom aus Kleinwasserkraft festlegen, ergäbe sich in Summe bereits die 5 TWh (ohne Großwasserkraft, die laut Richtlinie auch zur Zielerreichung beitragen kann).

5.2.3 Erneuerbare Energieträger und Brennstoffzellen

Kurzfristige FTE Aktivitäten bei Brennstoffzellen basieren nach wie vor auf dem Energieträger Erdgas. Mit geringerer Intensität sind FTE Aktivitäten bei flüssigen fossilen Energieträgern wie Heizöl, Dieselöl zu erkennen.⁶⁷ Feste Energieträger wie Kohle spielen bei Brennstoffzellen-FTE-Aktivitäten nur mehr eine sehr untergeordnete Rolle. Nationale und europäische Rahmenbedingungen forcieren den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern in den verschiedenen Endkundenmärkten, welche zu klaren makro-ökonomischen und -technologischen Verschiebungen bzw. klar akzentuierteren FTE Aktivitäten führen werden.

⁶⁷ Diese konzentrierten sich bis dato auf mobile Anwendungen wie Automobile, Schiffe, etc.

Hinsichtlich der Verwendung von erneuerbaren Energieträgern in Brennstoffzellen zeigen sich folgende Entwicklungstrends:

≠# Mittelfristig: die Verwendung von gasförmigen biogenen Energieträger;

≠# langfristig: (i) die Verwendung von fester/flüssiger Biomasse und (ii) die Herstellung von Elektrolyse-Wasserstoff mit Strom aus Wind, Wasserkraft und Solarenergie.

Die aktuelle Entwicklungstendenzen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

PAFC-Technologie

Zur vollständigen energetischen Nutzung des Klärgases im Klärwerk Köln-Rodenkirchen betreibt die GEW Köln AG eine phosphorsaure Brennstoffzelle vom Typ PC25C der amerikanischen Firma IFC/ONSI. Laut Auskunft des Anlagenbauers TBE handelt es sich hierbei um die erste europäische Anlage zur Nutzung von Klärgas. Erste Betriebserfahrungen sind sehr positiv verlaufen, die Anlage läuft seit Februar 2000 und konnte bis dato 10.000 Betriebsstunden erreichen (bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 38 %). Probleme hinsichtlich Schwefel, Chlor, Siloxane, bzw. anderer schädlicher Spurengase sind mit der zum Einsatz kommenden Reinigungsstufe nicht aufgetreten.

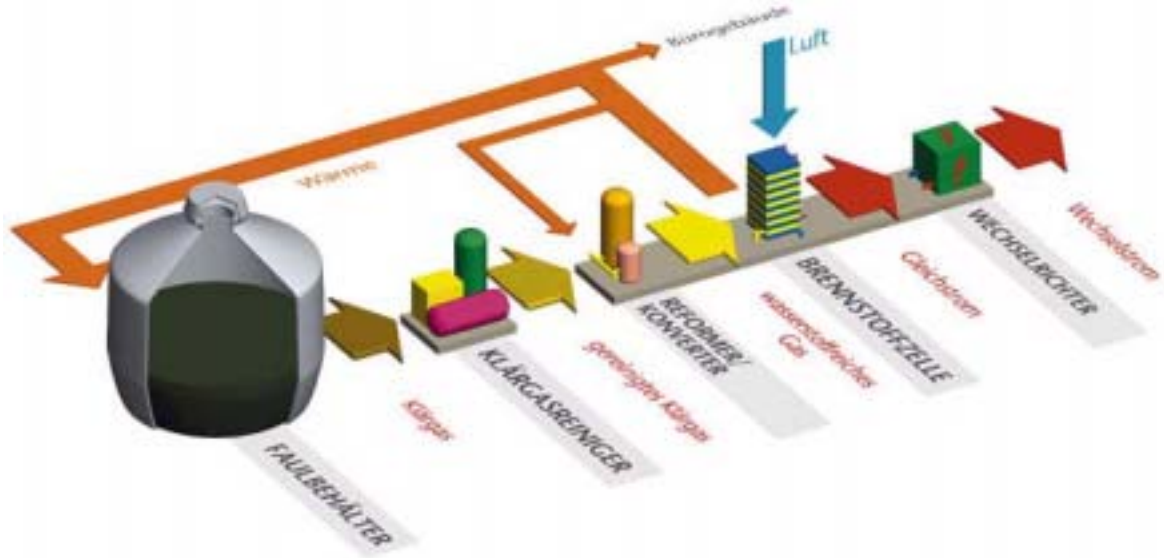


Abbildung 43 Konzeptionelles Design des Klärgas-Projektes in Köln (Quelle: GEW Köln)

MCFC/SOFC Technologie

Sowohl die Firma MTU als auch die Firma Sulzer Hexis führen in Europa FTE Aktivitäten für die Nutzung von gasförmiger, flüssiger und fester Biomasse durch (siehe hierzu die Abschnitte 3.4.4 und 3.4.5). Diese Aktivitäten führten bis dato zu Versuchsanlagen (Prototypen) und zu Projekten, welche im Rahmen des 5. Rahmenprogramms eingereicht und großteils auch gefördert wurden. Primäres Ziel dieser Projekte ist es, die Funktionalität und die Wirtschaftlichkeit derartiger Anlagen aufzuzeigen und erste Pilotanlagen vor Ort zu installieren.

Im Rahmen des FuelCell-III Projekts wurde eine Veranstaltung zum Thema: „**Biogas Brennstoffzellen-Systeme**“ gemeinsam mit der Firma PROFACTOR und dem BMVIT organisiert, bei der der aktuelle nationale und internationale Entwicklungsstatus vorgestellt wurde.⁶⁸ Österreichische FTE Aktivitäten, welche insbesondere in der Gasaufbereitung

⁶⁸ Der Tagungsband der Veranstaltung [L 43] kann von der Firma PROFACTOR bezogen werden. Da sich einige Präsentationen von den Beiträgen im Tagungsband unterscheiden, haben sich die Veranstalter zu

bzw. Gasreinigung liegen, werden von der Firma PROFACTOR und der TU-Wien (RENET-Gruppe betreut von Herrn Prof. Hofbauer) durchgeführt. Näheres hierzu wird in Kapitel 9 auf Seite 135 angeführt.

5.3 Einsatzfelder von Brennstoffzellen-Systemen

Die Einsatzfelder von Brennstoffzellen für stationäre Anwendungen liegen vorwiegend in der dezentralen und nicht so sehr in der zentralen Energiebereitstellung. Die Differenzierung zwischen dezentraler und zentraler Energieerzeugung erfolgt im Wesentlichen nach der Anlagengröße. Dezentral werden eher kleinere Anlagen genannt, die am Verteilungsnetz angeschlossen sind (bzw. sein können), jedoch nicht in die zentrale Kraftwerkseinsatzplanung integriert sind. Zentral werden entsprechend größere Anlagen wie Kohle-, Öl- Gaskraftwerke bzw. Wasserkraftwerke genannt, die fester Bestandteil der Kraftwerkseinsatzplanung sind. [L 41] Definitionen für die Leistungsgrößen von zentralen und dezentralen Anlagen variieren von Land zu Land, das US-Department of Energy "DOE" bezeichnet beispielsweise Anlagen bis zu einer elektrischen Leistungsgröße von 250 MW_{el} als "distributed generators".

Das Hauptanwendungsfeld für Brennstoffzellen liegt aufgrund ihrer technischen Eigenschaften vor allem in der Kraft-Wärme-Kopplung in Form von Blockheizkraftwerken (BHKW) und der kleinen Brennstoffzellen-Heizgeräte. Darüber hinaus sind auch Anwendungen für Notstrom-Aggregate bzw. Anlagen zur alleinigen Stromproduktion denkbar (siehe Tabelle 16 auf Seite 63).

Als Blockheizkraftwerke (BHKW-Anlagen) werden relativ kleine und dezentrale (siehe Tabelle 27), d.h. in unmittelbarer Nähe des Versorgungsobjektes, einsetzbare Energieanlagen zur Erzeugung elektrischen Stroms und Wärme bezeichnet. Die klassische Definition geht davon aus, dass zur Erzeugung des elektrischen Stroms Generatoren (Synchron-/Asynchron-Generatoren) eingesetzt werden, die von Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen angetrieben werden. Die Wärmeerzeugung resultiert aus der Nutzung der Abwärme der Antriebsmaschinen [L 57]. Diese Definition kann auch für die Charakterisierung der Brennstoffzellen-Systeme für stationäre Anwendungen in allgemeiner Form adaptiert werden.

Tabelle 27 Definition von BHKW-Anlagen basierend auf der elektrischen Leistungsgröße (Quelle: [L 58])

| | Elektrische Leistungsgröße |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Mikro BHKW Anlage | < 20 kW |
| Mini BHKW Anlage | 20 bis 100 kW |
| Kleine BHKW Anlage | 100 bis 500 kW |

einer Aktualisierung der Beiträge entschlossen, die von der E.V.A.-Website als kostenloses Download zur Verfügung gestellt werden: <http://www.eva.ac.at/opet/>.

| | |
|--------------------|----------|
| BHKW Anlage | > 500 kW |
|--------------------|----------|

Im Prinzip sind BHKW-Systeme in jenen Anwendungsbereichen eine gute Lösung, bei denen die produzierte Wärme und der produzierte Strom in ausreichendem Maße (normalerweise > 4000 Vollaststunden) gebraucht wird. Dies gilt auch für den Einsatz von BHKW Systemen (inkl. Brennstoffzelle, Mikro-Gasturbine und Gasmotor). Eine der Hauptauslegungspunkte bzw. die dimensionierende Größe für ein BHKW und insbesondere für ein Mini-/Mikro-BHKW inkludiert die möglichst volle Nutzung der anfallenden Wärme entsprechend ihrem Temperatur-Niveau. Diese Energiekonzepte inkludieren folgende Anwendungen:

- (i) Krankenhäuser: ideale Voraussetzung durch ganzjährige gleichmäßige Wärmegrundlast und hohen Strombedarf; der erforderliche Notstrombedarf kann dem BHKW ebenfalls gutgeschrieben werden),
- (ii) Schulen und Hochschulen: Abnahmestruktur überwiegend durch die fest begrenzten Öffnungszeiten vorgegeben, die Abwärme kann für Klimatisierungszwecke genutzt werden;
- (iii) Hallenbäder: beinahe ganzjährige Öffnung;
- (iv) Dienstleistungsgebäude: ebenfalls feste Öffnungszeiten, Einbeziehung von naheliegenden, zusätzlichen Wärmequellen, Klimatisierung in den Sommermonaten möglich;
- (v) Wohnsiedlungen: für die Raumheizung sind in der Regel nur ca. 1.500 bis 2.500 Betriebsstunden anzusetzen, Erhöhung der Grundlast durch die Warmwasserbereitstellung, Realisierung von Nahwärmekonzepten;
- (vi) Gewerbe / Industrie: sehr unterschiedliche Wärmebedarfscharakteristik, Differenzierung zwischen Produktions-/ Heizwärme und Klimatisierung in den Sommermonaten;
- (vii) Biogas-, Deponie- und Klärgasanlagen: begünstigt durch das EIWOG § 32, siehe hierzu auch Kapitel 5.2.1 auf Seite 93.

Verglichen mit Gasmotor-Systemen weisen Brennstoffzellen-Systeme eine höhere Stromkennzahl⁶⁹ auf, welche zu Vorteilen bei Projekten mit limitierter Wärmelast führen kann. Bei SOFC und MCFC Systemen ist weiters auf das hohe Temperaturniveau der Abwärme (> 450 °C) hinzuweisen, welche zu Vorteilen bei verschiedenen gewerblichen und industriellen Anwendungen (Dampf- und Kälteerzeugung) bzw. bei Klimatisierung in den Sommermonaten (ebenfalls

⁶⁹ Die Stromkennzahl (SKZ) ist der Quotient aus der Erzeugung elektrischer Energie (Q_{el}) und der

$$\text{Wärmeabgabe der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage } (Q_{th}); \quad \left[SKZ = \frac{Q_{el}}{Q_{th}} \right]$$

Anwendungen in Gewerbe/Industrie aber auch Dienstleistungsgebäuden) führen kann.

5.4 Betreiber von Brennstoffzellen-Systemen

Stationäre Brennstoffzellen-Systeme können den dezentralen Energietechnologien „DGs“⁷⁰ zugeordnet werden. Das Technologie-Portfolio von dezentralen Energietechnologien weist ein sehr reichhaltiges Spektrum auf und reicht von Windrädern über kleine Wasserkraftwerke, PV-Anlagen bis hin zu Gasmotoren, -turbinen und Brennstoffzellen-Systemen. Der Leistungsbereich von DGs reicht von einigen kW_{el} bis 250 MW_{el}.⁷¹

Die Motivation für den vermehrten Einsatz von dezentralen Erzeugungseinheiten ist in den letzten Jahren stark gestiegen. Die Motivationslage speziell für Versorgungsgesellschaften ist in Tabelle 28 skizziert:

Tabelle 28 Motivation für Versorgungsunternehmen für die Installation von dezentralen Energietechnologien (Quelle: VDEW)

| | |
|-------|---|
| (i) | Verbrauchernahe „lastnahe“ Installation der Anlagen und damit geringe Übertragungs- und Verteilungsverluste und –kosten |
| (ii) | Standorte für DGs sind leichter zu erschließen und zu realisieren als für Großkraftwerke (bis zu bestimmten Leistungsgrößen vereinfachte Genehmigungsverfahren) |
| (iii) | Gute Verfügbarkeit von Energieträgern wie z.B. Erdgas (in Lastzentren), LNG und/oder LPG ⁷² |
| (iv) | Verbrauchsnahe kleine Wärme- und Stromerzeuger können deutlich kostengünstiger ausgelegt werden als Kraftwerke mit aufwändigen Wärmeverteilungsnetzen |
| (v) | Geringe Projektplanungszeiten durch „Turn-key“ Lösungen und einfache Bewilligungsverfahren |
| (vi) | Gute Finanzierungsmöglichkeiten und eine Anzahl von individuell abstimmbaren Betreibermodellen |
| (vii) | Nationale Fördermöglichkeiten von DGs (vor allem RES aber auch fossil) |

⁷⁰ Im deutschen Sprachgebrauch findet für diese Technologiegruppe die englische Bezeichnung „distributed generators“ bzw. deren Abkürzung DGs Verwendung.

⁷¹ Einer Definition des US-DOE („Department of Energy“) folgend.

⁷² LNG/LPG sind die Abkürzungen für „Liquid Natural Gas“ und „Liquid Petroleum Gas“

Insbesondere in den USA haben dezentrale Energieerzeugungsanlagen in den letzten Jahren einen massiven Aufschwung erfahren. Besonders die in den letzten Jahren vermehrt auftretenden Stromausfälle bzw. Abschaltungen – wie in Kalifornien und im Großraum Chicago – haben zu einem Run auf dezentrale Energietechnologien geführt. Die Stromausfälle bzw. -abschaltungen führten in bestimmten Industriezweigen zu einem hohen Geschäftsentgang. Dies sind beispielsweise Industriezweige, die e-commerce Lösungen in ihrem Vertriebskonzept anbieten (siehe Tabelle 29).

Tabelle 29 Geschäftsentgang durch Stromausfälle verschiedener e-commerce basierter Geschäftszweige (Quelle: [L 48])

| Industriezweig | Durchschnittlicher Geschäftsentgang durch Systemausfälle [pro Stunde] |
|-------------------------------------|---|
| Mobiltelefongesellschaften | US-\$ 41.000 |
| Telefonische Ticketbestellungen | US-\$ 72.000 |
| Reservierungen von Flugtickets | US-\$ 90.000 |
| Kreditkartenabwicklungen | US-\$ 2,850.000 |
| Abwicklung von Wertpapiergeschäften | US-\$ 6,480.000 |

Die Betreiber von dezentralen Energietechnologien sehen in der Nutzung von derartigen Technologien folgende Vorteile (siehe nachfolgende Tabelle):

Tabelle 30 Motivation für Betreiber (Endverbraucher) DGs einzusetzen (Quelle: VDEW)

| | |
|-------|--|
| (i) | Günstigere Wärme- und Strompreise bei guter Auslegung |
| (ii) | Hohe Zuverlässigkeit und gute Stromqualität |
| (iii) | Spitzenlastbetrieb möglich zur Senkung von hohen Kosten |
| (iv) | Verbesserung der Gesamtwirkungsgrade bei KWK-Anwendungen |

Die VDEW⁷³ hat insbesondere die Optionen für die Verwendung von Brennstoffzellen für deutsche EVU untersucht und dabei folgende Handlungsempfehlungen ausgearbeitet, die auszugsweise zitiert werden. [L 63]

„Vor dem Hintergrund liberalisierter Energiemärkte sollten die EVU die Entwicklung der Brennstoffzellentechnik mitgestalten. Diesen Bereich anderen Marktteilnehmern zu überlassen, würde bedeuten, auf einen Vorsprung in Bezug auf theoretisches Wissen und praktische Erfahrung gegenüber den Wettbewerbern zu verzichten. Hierbei sind besonders die durch das neue Energiewirtschaftsgesetz eröffneten Möglichkeiten der Durchleitung von Elektrizität durch das Netz der allgemeinen Versorgung und die Direktversorgung Dritter zu berücksichtigen. Die Zielsetzung von EVU muss daher bereits heute darin bestehen, sich den Entwicklern und Herstellern als bevorzugter Ansprechpartner zu empfehlen.“

Die VDEW Argumente sehen weiters insbesondere in der Beteiligung an Demonstrationsprojekten eine Schlüsselrolle für EVU, sich als innovative und kompetenter Energiedienstleister zu präsentieren. Beim derzeitigen Stand der Technik sieht die VDEW zwar noch keinen wirtschaftlichen Betrieb von Brennstoffzellen für die Strom- und Wärmeversorgung. Allerdings können derartige Projekte die schrittweise Umsetzung von

⁷³ VDEW ist die Abkürzung für Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke.

Kostenreduktionspotenzialen und technischen Entwicklungszielen unterstützen. Die VDEW erkennt im Engagement von EVU mit innovativen Energietechnologien vorwiegend einen imagebildenden Faktor in der Öffentlichkeit, der die Akzeptanz des Produkts „Elektrizität/Strom“ und damit auch zum EVU erhöht. Neben attraktiven Dienstleistungsangeboten und marktorientiertem Handeln wird dieser Gesichtspunkt im Wettbewerb zunehmend wichtiger.

5.5 Genehmigung von Mikro- und Mini-BHKW Systemen in Österreich

Neben der Motivationslage von potenziellen Anwendern von BHKW-Anlagen sind die Genehmigungsverfahren für die Errichtung von stationären Energieanlagen von Bedeutung. In der folgenden Tabelle wird überblicksartig dargestellt, welche Genehmigungsverfahren für die einzelnen Anwendungsfelder in Österreich relevant sein können.

Tabelle 31 Genehmigungsverfahren für stationäre Motoren (Quelle: [L 64])

| | Genehmigung nach: | Berücksichtigung von Emissionen aus Motoren: |
|--|--|---|
| Gewerbliche Betriebsanlagen | GewO 1994 | § 77 Abs. 1 und 3 |
| | Bauordnung | nur indirekt über Immissionsschutz für Nachbarn |
| | LRG-K (in GewO-Verf. mitangew.) | nur mit Abhitzeessel |
| | EI(W)G der Länder ¹ | teilweise subsidiär zu GewO, teilweise über Nachbarschutz |
| Öffentliche Gebäude, Wohnhäuser | Bauordnung | nur indirekt über Immissionsschutz für Nachbarn |
| Energieversorgungsunternehmen | GewO 1994, wenn gewerblich (siehe § 74 Abs. 5) | § 77 Abs. 1 und 3 |
| | EI(W)G ⁷⁴ | teilweise subsidiär zu GewO, teilweise über Nachbarschutz |
| | LRG-K | nur mit Abhitzeessel |
| | Bauordnung | nur indirekt über Immissionsschutz für Nachbarn |
| Krankenhäuser, Altenheime | KAG | keine Emissionsvorschriften |
| | Bauordnung | nur indirekt über Immissionsschutz für Nachbarn |
| Deponien⁷⁵ | GewO 1994 AWG DeponieVO WRG | §77 Abs. 1 und 3 Anwendung GewO, DeponieVO ... regelt Stand der Technik f. Ablagerungen subsidiär zur DeponieVO, regelt Anpassung bestehender Anlagen an DeponieVO |
| Klärgasanlagen | WRG | WRG regelt nur Abwasseremissionen |
| Landwirtschaftl. Betriebe | Bauordnung | nur indirekt über Immissionsschutz für Nachbarn |

Gemäß § 77 Abs. 3 GewO 1994 müssen im gewerbebehördlichen Genehmigungsverfahren Emissionen von Luftschadstoffen jedenfalls nach dem Stand der Technik begrenzt werden.

In diesem Zusammenhang ist auch auf § 20 des **Immissionsschutzgesetzes-Luft (IG-L)** hinzuweisen. Demnach gilt die **Begrenzung der Emissionen von Luftschadstoffen nach**

⁷⁴ Siehe dazu § 67 Abs. 2 EIWOG.

⁷⁵ In diesem Zusammenhang sei der Vollständigkeit halber auf die §§ 2 Abs. 9 und 6 Abs. 3 AISAG hingewiesen (Deponiegasfassung).

dem Stand der Technik auch für Anlagen, die nach anderen *bundesgesetzlichen* Vorschriften genehmigungspflichtig sind.

Ebenfalls hinzuweisen ist auf die **subsidiäre luftreinhalterrechtliche**

Genehmigungspflicht nach § 21 IG-L für Anlagen, die keiner bundesgesetzlichen Genehmigungspflicht unterliegen, aber geeignet sind, erhebliche Mengen an Luftschadstoffen zu emittieren. Allerdings ist dazu die Erlassung einer DurchführungsVO nach § 21 Abs. 2 IG-L erforderlich.

5.5.1 Gewerbliches Betriebsanlagenrecht

Gewerbliche Betriebsanlagen dürfen nur mit Genehmigung der Behörde errichtet und betrieben werden, wenn sie u. a. wegen der Verwendung von Maschinen und Geräten (wie z.B. Stationärmotoren) geeignet sind, Leben und Gesundheit zu gefährden oder die Nachbarn durch Geruch, Lärm, Rauch, Staub, Erschütterungen oder in anderer Weise zu belästigen (§74 Abs 2 Z 1 und 2 GewO 1994).

Der Betriebsanlage ist u. a. die Genehmigung zu erteilen, wenn nach dem Stand der Technik und dem Stand der medizinischen und der sonst in Betracht kommenden Wissenschaften zu erwarten ist, dass voraussehbare Gefährdungen vermieden und Belästigungen überhaupt oder bei Einhaltung von Auflagen auf ein zumutbares Maß beschränkt werden (§ 77 Abs 1 GewO 1994). Maßstäbe für die Zumutbarkeit der Belästigungen sind folgende objektive Kriterien (§ 77 Abs 2 GewO 1994):

- (i) die Auswirkungen der durch die Betriebsanlage erfolgten Änderungen auf die örtlichen Verhältnisse;
- (ii) die Auswirkungen auf den gesunden, normal empfindenden Erwachsenen und
- (iii) das gesunde, normal empfindende Kind.

Die Forderung des § 77 Abs. 3 GewO 1994, wonach Emissionen von Luftschadstoffen jedenfalls nach dem Stand der Technik zu begrenzen sind, bedeutet, dass die Begrenzung der Luftschadstoffe nach dem Stand der Technik auch dann vorzuschreiben ist, wenn dies im Hinblick auf den Nachbarschutz gar nicht erforderlich wäre. Eine über den Stand der Technik hinausgehende Beschränkung von Luftschadstoffen ist jedoch dann möglich, wenn der Schutz der Gesundheit und die Zumutbarkeit von Nachbarbelästigungen nur so gewährleistet werden kann.

5.5.2 Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz

Das EIWOG, BGBl. I Nr. 143/1998, ist hinsichtlich der Grundsatzbestimmungen mit 19. August 1998 in Kraft getreten (§ 67 Abs. 1). § 12 Abs. 2 EIWOG normiert, dass die Ausführungsgesetze der Länder vorsehen können, dass bestimmte Stromerzeugungsanlagen (KWK, elektrische Energie aus erneuerbaren Energien oder Abfällen) bis zu einer bestimmten Leistung einem vereinfachten Verfahren oder einem Anzeigeverfahren zu unterziehen sind. Ausdrücklich wird in § 12 Abs. 2 zweiter Satz festgelegt, dass eine Bewilligungspflicht nach EIWOG im Hinblick auf nach der GewO 1994 bewilligungs- oder anzeigepflichtige Anlagen nur subsidiär gilt.

5.5.3 Grenzwertempfehlungen für Genehmigungsverfahren in Österreich

Für in Österreich neu zu genehmigende Anlagen werden die in Tabelle 32 genannten Emissionsgrenzwerte vorgeschlagen. Die in dieser Tabelle angeführten Leistungen sind jeweils als Gesamtleistung einer Anlage zu verstehen, die aus mehreren Motoren bestehen kann, die in einem engen örtlichen Zusammenhang stehen und gleichzeitig betrieben werden können. Notstromaggregate werden bei diesen Empfehlungen als Motoren mit weniger als 50 Betriebsstunden im Jahr definiert, wobei Probeläufe nach Betriebsanleitung nicht zu den Jahresstunden gerechnet werden. Die Grenzwerte gelten als Halbstundenmittelwerte für trockenes Abgas im Normzustand und bezogen auf 5 % O₂, in der Regel bei Nennlast.

Für kleine Anlagen bis 125 kW kann der Staubgrenzwert durch eine Beurteilung der Abgastrübung (z.B. Bosch-Zahl, Sichtkontrolle) ersetzt werden, da die regelmäßige messtechnische Überwachung des Staubgrenzwertes mit einfachen Messmethoden technisch nicht möglich ist.

Bei besonderen örtlichen Verhältnissen oder wenn zu erwarten ist, dass nach Inbetriebnahme der Anlage die Immissionsgrenzwerte nach IG-L, BGBL I Nr. 115/1997, nicht eingehalten werden können, sind niedrigere Emissionsgrenzwerte als die in der Tabelle 32 angeführten vorzusehen.

Tabelle 32 Grenzwertempfehlungen für Stationärmotoren⁷⁶ (Quelle: [L 64])

| | NO _x | CO | NMHC | Staub | H ₂ S |
|---|----------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Heizöl extraleicht/Dieselmotoren < 50 kW *) Ø50 kW { 400 kW (Oxi-Kat) **) Ø400 kW { 1000 kW (SCR-Kat) ***) Ø1000 kW (SCR-Kat) ***) | 4000 2500 400 250 | 650 650 250 250 | k.A. k.A. k.A. k.A. | Bosch 3 50 50 30 | k.A. k.A. k.A. k.A. |
| Erdgas / Flüssiggas (Ottomotor) { 1000 kW Ø1000 kW | 250 150 | 200 200 | 150 50 | k.A. k.A. | k.A. k.A. |
| Biogas { 100 kW Ø100 kW | --- 400 | 650 650 | --- 150 | k.A. k.A. | k.A. 5 |
| Klärgas, Deponiegas ****) { 100 kW Ø100 kW (Magermotor) | --- 500 | 650 400 | --- 150 | k.A. k.A. | k.A. k.A. |

⁷⁶ Die Grenzwertempfehlungen sind auf 0°C, 1013 mbar, 5 % O₂ bezogen und gelten in der Regel für eine Abnahme bei Nennleistung. Die Brennstoffwärmeleistung BWL ist maßgebend für die Klassifizierung innerhalb dieser Tabelle. Die angegebenen Leistungen sind als mechanische Leistungen zu verstehen, die unter Annahme eines Wirkungsgrades von 40 % aus der BWL errechnet wurden und als Richtwert anzusehen sind. Für Notstromaggregate gelten die entsprechend ihrer Leistung in der Tabelle angeführten Grenzwerte für CO und Staub. Für NO_x ist der Grenzwert in der Höhe von 4000 mg/Nm³ einzuhalten.

- 1) Es gibt bereits Anbieter, die in diesen Leistungsbereich die Einhaltung eines NO_x-Grenzwertes von 2.500 mg/Nm³ garantieren. Es sind hier Fortschritte in der technischen Weiterentwicklung abzusehen.
- 2) Vorteilhaft zur Reduzierung der unverbrannten Kohlenwasserstoffe und der Geruchsbelastung
- 3) Zur Einhaltung der angeführten Grenzwerte ist nach derzeitigem Stand der Technik ein SCR Katalysator erforderlich. Ein Ammoniakschlupf von höchstens 5 mg/Nm³ darf nicht überschritten werden.
- 4) Grundsätzlich sind die übrigen Luftschadstoffe wie bei der Müllverbrennung zu begrenzen. In der Regel wird eine Rohgasreinigung erforderlich sein, siehe hierzu LRV-K 1989, BGBl Nr. 19/1989 i.d.F. BGBl II Nr. 324/1997.

6 BRENNSTOFFZELLEN FÜR TRAGBARE ANWENDUNGEN

6.1 Allgemein

In den letzten Jahren hat ein Trend hin zu tragbaren, elektronischen Kleingeräten mit integrierter Energieversorgung deutlich zugenommen. Beispiele hierfür sind Notebooks, Laptops, Funk- und Schnurlos-Telefone, Fernseher, Video-Kameras und Camcorder. Diese werden üblicherweise mit Batterien oder Akkumulatoren betrieben. Netzabhängige Betriebsweisen können damit vom Versorgungssystem durch den Einsatz von alternativen Energieträgern entkoppelt werden und Betriebsweisen auch verlängert werden.

6.2 Relevante Brennstoffzellen-Typen

Die Kompaktheit und die diversen – meist vorgegebenen – Designs von Kleingeräten haben ein limitiertes Platzangebot für die Energieversorgung im Allgemeinen und für integrierte Energieversorgungen im Speziellen zur Folge. Eine weitere Einschränkung für konventionelle Betriebsweisen (aus Praktikabilitäts- bzw. auch Sicherheitsgründen, möglichst einfache Bedienbarkeit u. a.) stellt das rasche Ein- und Ausschalten der Kleingeräte dar. Zu den bisher für Kleingeräte getesteten Brennstoffzellen gehören PEFC, DMFC und AFC, wobei die PEFC u.a. aufgrund von Synergieeffekten mit stationären und mobilen Einsatzgebieten für Brennstoffzellen bis dato einen deutlich höheren Entwicklungsstand erreicht hat. Die Technologie dieser Brennstoffzellen-Typen wurde in Kapitel 3 auf Seite 13 beschrieben.

6.3 Alternative Brennstoffe für Kleingeräte

Brennstoffseitig wird für die Kleingeräte vorwiegend reiner Wasserstoff eingesetzt. Forschungsschwerpunkte für kommerzielle Applikationen liegen aus diesem Grund vorwiegend bei der Wasserstoffspeicherung. Ansätze gibt es auch für die Verwendung von kohlenstoffstämmigen Energieträgern wie z.B. Propan, Butan, Alkohole, etc. Bei Direkt-Methanol Brennstoffzellen wird – wie der Name schon impliziert – Methanol eingesetzt.



Abbildung 44 Manhattan Scientific's Konzept eines CH_3OH betriebenen mobilen Telefons (Quelle: [L 70])

6.3.1 Wasserstoff

Unter Berücksichtigung der technischen Anforderungen an Kleingeräte – u.a. hohe gravimetrische und volumetrische Energiedichten bei hohem Kundenkomfort – wird reiner Wasserstoff am effektivsten direkt aus einem Speichermedium bezogen. Von den bekannten Speichervarianten für Wasserstoff [L 68] wird bei bisher präsentierten Prototypen v. a. auf Metallhydride zurückgegriffen. Für Laboranlagen können diese über Wasserstoffflaschen beladen werden. Die Speicherung von flüssigem Wasserstoff bei extrem tiefen Temperaturen (LH_2) ist für portable Anwendungen tendenziell weniger geeignet. Die Wasserstoffspeicherung unter hohem Druck (DH_2) ist bei zentraler Befüllung der Druckflaschen durchaus geeignet, wobei hier Sicherheitsfragen bzw. -aspekte abgeklärt werden müssen. Die Speicherung mittels Kohlenstoff „Nano-fibres“ befindet sich noch in der Grundlagen-Forschung.

Für den Endkunden stellt sich aus heutiger Sicht vorwiegend das Problem der Wasserstoffbereitstellung zur Wiederbefüllung der Hydridspeicher. Als Perspektive für die Zukunft bieten sich hierzu zwei Varianten an:

- (i) die Verwendung eines Mini-Elektrolyseurs und/oder
 - (ii) der Aufbau eines Distributionsnetzes zum Austausch leerer Wasserstoffspeicher.
- Beim Mini-Elektrolyseur kann die Wiederbefüllung des Wasserstoffspeichers direkt im Haushalt, Büro oder unterwegs erfolgen. Wie beim Ladegerät werden hierfür Strom aus dem Netz und zusätzlich destilliertes Wasser benötigt. Der entstehende Wasserstoff wird gespeichert, der Sauerstoff wird an die Umgebung abgegeben. Alternativ bzw. ergänzend könnte ein Versorgungsnetz ähnlich wie für Akkumulatoren (z.B. in Kaufhäusern, Tankstellen, etc.) aufgebaut werden, wo leere Speicher gegen volle ausgetauscht werden. Damit wäre gleichzeitig auch ein Recycling-System vorhanden. Ein derartiges Distributionsnetz könnte auch für andere Energieträger (z.B. Alkoholpatronen) zum Einsatz kommen.

6.3.2 Reformierung kohlenstoffstämmiger Brennstoffe

Bei tragbaren Kleingeräten mit Brennstoffzellen erscheint eine externe Reformierung kohlenstoffstämmiger Brennstoffe zu Wasserstoff etwa für eine PEFC bzw. auch AFC auf den ersten Blick wenig praktikabel. Zum einen, weil ein tragbares Kleingerät mit zusätzlichem Reformier tendenziell unhandlicher wird und zum anderen, weil für Kleingeräte ausgelegte Mini-Reformer bis dato nicht entwickelt worden sind. Das "Down-Scaling" von konventionellen Groß-Reformern stellt bereits für Brennstoffzellen-Heizgeräte im kW-Bereich zur Hausenergieversorgung große Herausforderungen. Der Entwicklungsstand von derartigen Mikro-Reaktoren befinden sich noch in der Grundlagen-Forschung.

6.3.3 Direktverstromung von Alkoholen

Als Alternative für den Einsatz von Wasserstoff in Kleingeräten werden auch Alkohole, vorwiegend Methanol, vorgeschlagen. Bis dato wurden 3 – 5 %ige wässrige Methanol-Lösungen für Mini-DMFC getestet. Ethanol ist prinzipiell ebenfalls einsetzbar, jedoch sind die Umsetzungsraten der derzeit verfügbaren Katalysatoren als zu gering zu bezeichnen. Beim Methanol – einem flüssigen, bisher unüblichen Brennstoff für den "Hausgebrauch" – ist die Frage des "Handlings" anders einzustufen als bei Ethanol. Hier ist im Vergleich zu Ethanol von einer Chemikalie auszugehen, deren Vertrieb dem Chemikaliengesetz unterliegt und zu handhaben ist.

6.4 Benchmark: Batterien und Akkumulatoren

In Konkurrenz zur Brennstoffzelle stehen alle diejenigen Systeme, mit denen bis dato Energie gespeichert wurde, so da sind: (i) Einweg-Batterien und (ii) wiederaufladbare Akkumulatoren.

Als adäquate Vergleichsbasis für Brennstoffzellen-Systeme kommen vorwiegend Akkumulatoren (Sekundärzellen) in Frage. Energiedichten, Entwicklungsstand und Kosten der vier gängigsten Akkus werden in Tabelle 33 zusammengefasst.

Tabelle 33 Technische und wirtschaftliche Charakteristika von Akkumulatoren (basierend auf [L 66])

| Akku | Energiedichte | | Herstellungskosten [ATS/Wh] | Cycle-life*) [-] | Einsatz |
|-------------|---------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|---|
| | [Wh/kg] | [Wh/dm ³] | | | |
| Bleiakku | 35 | 70 | k.A. | 250 – 1500 | Starterbatterie, Notstromaggregat, etc. |
| Ni-Cd Akku | 35 | 80 | Ca. 10 | 300 – 700 | Niedrigpreis-Geräte |
| Ni-MeH Akku | 50 | 160 | Ca. 17 | 300 –600 | Höherwertige Geräte |

| | | | | | |
|---------------|-----|-----|--------|-------|-------------------|
| Li-Ionen Akku | 120 | 260 | Ca. 50 | > 500 | Hochpreis-Segment |
|---------------|-----|-----|--------|-------|-------------------|

*) Abhängig von der Entladungstiefe

Der Bleiakкумулятор wird vorwiegend im größeren Leistungsbereich (Starterbatterie, Notstromversorgung, etc.) eingesetzt. Er spielt für den Einsatz in tragbaren Kleingeräten keine wesentliche Rolle und wird vorwiegend für Vergleichszwecke angeführt. Der Nickel/Cadmium Akkumulatur ist am weitesten verbreitet. Dieses System weist ein sehr gutes Preis-/Leistungsverhältnis bei einer relativ guten Zyklenstabilität auf. Als Weiterentwicklung ist der Nickel-/Metallhydrid-Akkumulatur zu sehen, welcher höhere Energiedichten bei schlechterer Zyklenstabilität – insbesondere bei höheren Temperaturniveaus – aufweist. Lithium-Ionen-Akkumulatoren weisen derzeit die höchste „Energiedichte“ bei einem allerdings relativ hohen Preis auf. Die Marktverbreitung von derartigen Systemen nimmt deutlich zu.

Die Energie- und Leistungsdichten der verschiedenen Akkumulatoren weisen unterschiedliche Abhängigkeiten bzw. Limitierungen auf, so da sind:

- (i) Einfluss der Entladungsrate auf die Energiedichte,
- (ii) Temperaturabhängigkeit der Lade/Entladeraten,
- (iii) Ladungsretention,
- (iv) Zyklenstabilität und Lebensdauer,
- (v) Ladecharakteristik.

Weiterentwicklungen von Li-Ionen-Akkus beziehen sich v.a. auf die Optimierung bestehender Anordnungen im - etwa in Notebooks - zur Verfügung stehendem Raum bei höheren Energie- und Leistungsdichten.

6.5 Nutzeranforderungen für Energieversorgungssysteme von Kleingeräten

Bei tragbaren Geräten steht aus Nutzeransicht eine möglichst lange Unabhängigkeit von einem stationären Stromnetz im Vordergrund. Ferner ist von der Erwartung einer deutlich längeren netzunabhängigen Arbeitszeit sowie dem Wunsch, die Kleingeräte an jeden beliebigen Ort mitzunehmen, auszugehen.

Wiederaufladbare Akkumulatoren weisen eine begrenzte Laufzeit pro Ladezyklus auf. Feststellbar ist weiters, dass der Energieverbrauch neuer, verbesserter tragbarer Kleingeräte schneller zunimmt als die Energiedichte weiter entwickelter Akkumulatoren. Damit sind auch weiterhin Limitierungen hinsichtlich realisierbarer Betriebszeiten gegeben.

Der Nutzenergiebedarf der Kleingeräte (z.B. Informationsübertragung beim Telefon) ist relativ gering. Durch schlechte Ladewirkungsgrade und hohe Selbstentladungsraten ergibt sich ein Eigenbedarf, der oft um Größenordnungen über dem eigentlichen Nutzenergiebedarf liegen kann.

Das Marktvolumen von Kleingeräten ist weiterhin im Steigen begriffen und somit besteht auch weiterhin ein Bedarf an Energieversorgungskonzepten. Neue, alternative Energietechnologien, die den in den Kleingeräten verfügbaren Platz optimal nutzen (hohe Energie-/Leistungsdichten), die Handlichkeit des Gerätes nicht einschränken bzw. auch

ein modisches Design ermöglichen, und zudem hohe Betriebszeiten gewährleisten, können auch mit einem hohen Marktanteil bei den höherwertigen und hochpreisigen Marktgeräten rechnen.

6.6 Technischer Vergleich zwischen Brennstoffzelle und Akkumulator

Als Referenz für einen Vergleich wird dem Mini-PEFC-System mit Metallhydrid-Speicher für Wasserstoff der derzeit leistungsfähigste Akkumulator (z.B. Li-Ionen) gegenübergestellt. Außer dem Ventil zum Öffnen und Schließen des Hydridwasserstoffspeichers sind bei beiden keine bewegten mechanischen Teile vorzufinden. Im Unterschied zu gängigen Batterie- und Akkumulatorsystemen sind bei der Brennstoffzelle Energieerzeugung (Zelle) und Energiespeicher (Brennstoffversorgung) räumlich getrennt. Die eigentlichen Reaktionspartner sind zum Unterschied vom Akkumulator nicht Teil der Zelle. Damit kann theoretisch - nur begrenzt von der Lebensdauer der Brennstoffzelle - so lange Energie bereitgestellt werden wie extern Brennstoff zugeführt wird. Die Leistung der Brennstoffzelle und die Kapazität des Wasserstoff- (bzw. Methanolspeichers bei DMFCs) sind daher unabhängig voneinander wählbar. Bei längerer Lagerung ohne Betrieb des Kleingerätes kann die Brennstoffzufuhr unterbrochen werden, ohne das Problem der Selbstentladung. Metallhydridspeicher und Brennstoffzelle werden als System zusammen auf die Leistung des Kleingerätes ausgelegt. Dabei ergibt sich in Bezug auf Kapazität und resultierendes Gewicht sowie Volumen ein linearer Zusammenhang (siehe Abbildung 45).

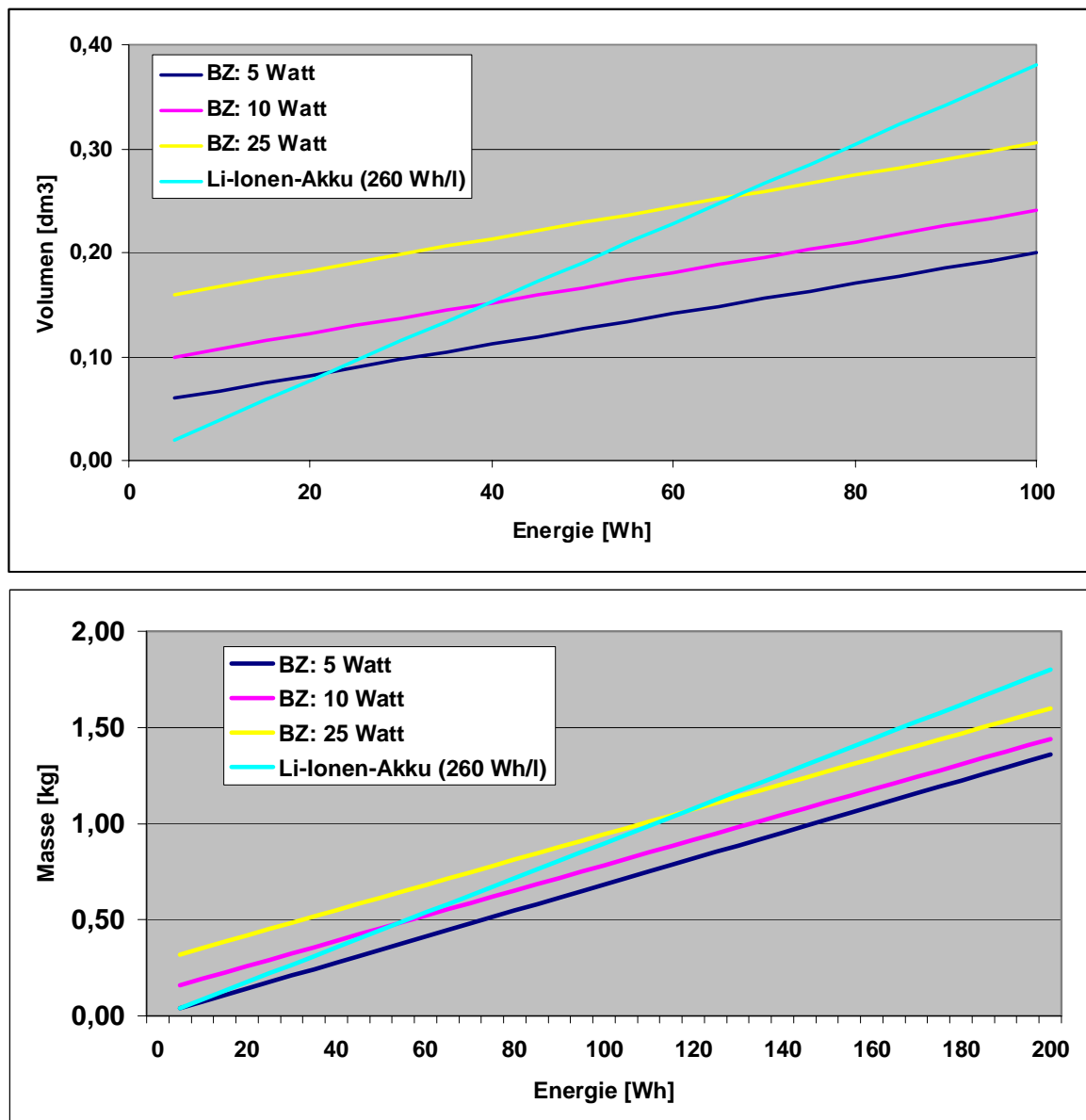


Abbildung 45 Volumen und Gewicht eines tragbaren Brennstoffzellen-Systems (BZ) in Abhängigkeit von der Kapazität, Annahmen zur Berechnung: gravimetrische Energiedichte von Hydridspeichern: 200 Wh/kg, volumetrische Energiedichte von Hydridspeichern: 750 Wh/dm³ (Quelle: [L 41])

Ausgehend von einem tragbaren, mit Wasserstoff und Luftsauerstoff betriebenen System, bestehend aus Brennstoffzelle und Metallhydridspeicher (ohne Pumpe), ergibt sich – im Vergleich zu Li-Ionen-Akkumulatoren – in Bezug auf Volumen und Gewicht, dass erst ab einer bestimmten Kapazität die Energiedichte eines Li-Ionen-Akkus übertroffen wird. Je höher die Leistung desto später wird dieser Punkt überschritten. Weiters spielt die Häufigkeit der Nachladung des Speichers eine Rolle. Prinzipiell kann ein Wasserstoffspeicher (Speicherung als Druckwasserstoff oder in Metallhydrid) mehrere tausend mal be- und entladen werden. [L 41]

6.7 Kosten für die Energieversorgungssysteme von Kleingeräten

Für eine ökonomische Betrachtung werden die jeweiligen Gesamtsysteme von Li-Ionen Akkumulator und PEFC-System als Vergleichsbasis herangezogen. Dies bedeutet für den Li-Ionen-Akkumulator, dass auch die Einbindung (Ladeelektronik, Anschlüsse, optimierte Anordnung im Notebook, etc.) in den angeführten Preisen integriert sind. Leistungsfähige Akkumulatoren sind derzeit – Herstellerangaben folgend – mit einem Preis zu ATS 70 anzusetzen.⁷⁷ Für die maximalen Ladezyklen werden für den Li-Ionen-Akkumulator 500, für das System Metallhydrid – PEFC 1000 angesetzt. Für eine Vergleichsrechnung (siehe Tabelle 34) werden entsprechend zwei Akkumulatoren zu Grunde gelegt. [L 41]

Tabelle 34 Vergleichsrechnung zwischen Li-Ionen Akku und PEFC-MeH System (Quelle: basierend auf obigen Annahmen und [L 41])

| Parameter | Li-Ionen Akku (500 Zyklen) | Zwei Li-Ionen Akkus (1000 Zyklen) | MeH-Brennstoffzellen- System |
|---|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Investkosten [ATS/Wh] | 70 | 140 | 70 (Annahme) |
| Anzahl der Lade-/- Entladezyklen | 500 | 1000 | 1000 |
| Stromkosten (ATS/kWh) | 2,20 | 2,20 | 2,20 |
| Wirkungsgrad des Ladegerätes | 0,7 | 0,7 | |
| Wirkungsgrad der H ₂ - Erzeugung mittels Mini- Elektrolyseur | - | - | 0,7 |
| Wirkungsgrad des Brennstoffzellen-Systems | - | - | 0,5 |
| Resultat, Investkosten und Betriebskosten [ATS/Wh] | 70 + 0,03 | 140 + 0,03 | 70 + 0,06 |

Unter der Annahme, dass ein Brennstoffzellen-System (inkl. Metallhydridspeicher und Mini-Elektrolyseur) den selben Preis hat, wie ein Lithium-Ionen-Akkumulator bei doppelten Ladezyklen ergeben sich Vorteile für die Brennstoffzelle, insbesondere bei den spezifischen Investkosten. Bei vergleichbaren spezifischen Anschaffungskosten beider Systeme relativiert sich bei den hohen Preisen für Li-Ionen-Akkus der Einsatz von vergleichsweise teurem Wasserstoff.

⁷⁷ Internetrecherche basierend auf Akkus für Notebooks und Camcorder, Quelle:
<http://www.akkushop.com/accushop/index.htm>

6.8 Ökologische Aspekte

6.8.1 Energiebereitstellung

Akkumulatoren werden mittels Strom aus dem öffentlichen Netz geladen, mit dem auch Mini-Elektrolyseure betrieben werden können. Emissionen treten hierbei dem aktuellen "Strommix" bei der Stromerzeugung und entlang der vorgelagerten Brennstoffketten auf. Der benötigte Strom kann auch aus regenerativen Energiequellen bereitgestellt werden. Beim Einsatz von kohlenstoffstämmigen Brennstoffen (z.B. Propan, Butan, Methanol, etc.) entstehen ebenfalls Emissionen bei der Bereitstellung. Diese Brennstoffe sind momentan jedoch von untergeordneter Bedeutung.

6.8.2 Betrieb

Beim Gebrauch der Kleingeräte, also dem eigentlichen Betrieb der Brennstoffzelle, entsteht bei der PEFC nur Wasser als Reaktionsprodukt (mit Wasserstoff als eingesetzten Energieträger), welches verdunstet. Bei der DMFC ergibt sich aus dem Methanol-Einsatz, dass neben Wasser auch noch Kohlendioxid entsteht. (siehe Reaktionsgleichungen in Abschnitt 3.4.6 auf Seite 58).

6.8.3 Entsorgung

Aus Kostengründen wird bei der Herstellung von Brennstoffzellen auf Standardmaterialien zurückgegriffen, was bei der Entsorgung der Brennstoffzelle von Vorteil ist. Dabei können bestehende Verfahren zur umweltgerechten Entsorgung einzelner Komponenten der Brennstoffzelle eingesetzt werden. Prinzipiell können beispielsweise aufgebrauchte Katalysatormaterialien wie z.B. Platin oder Metallhydride in den Speicherelementen zurückgewonnen, regeneriert und wieder verwertet werden. Die Entsorgung von Spezialkomponenten wie z.B. der Fluormembranen ist bis dato von den Herstellerfirmen sehr beschränkt diskutiert worden. Allerdings bieten Firmen wie Fumatech (zur österreichischen BWT Gruppe gehörend) bereits unfluorierte Membranen an, die diese Nachteile bei der Entsorgung nicht mehr aufweisen. Kohlematerialien für Elektroden bzw. bipolare Platten sollten ebenfalls problemlos entsorgt werden können.

6.9 Marktperspektiven

Die Marktperspektiven für Mini-Brennstoffzellen für den tragbaren Einsatz werden sehr positiv eingeschätzt (siehe Tabelle 35). Der Markt für derartige Kleingeräte ist im Vergleich zur stationären Energieversorgung und zu Fahrzeugen allerdings gänzlich

anders strukturiert. Kleingeräte weisen oft relativ kurze Lebenszyklen auf (z.B. 2 - 4 Jahre für tragbare Computer), so dass eine Markteinführung neuer Energieversorgungssysteme relativ schnell möglich ist. Bei entsprechender Kundenpräferenz, z.B. für eine längere Laufzeit des Kleingerätes, dürfte auch die Bereitschaft zunehmen, eine vergleichsweise teurere, jedoch qualitativ höherwertige Energieversorgung zu erwerben.

Tabelle 35 Entwicklung des weltweiten Marktes für tragbare elektronische Geräte (in Millionen) Prognose (Quelle: [L 41])

| | 1996 | 2001 | 2006 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Anzahl von tragbaren Kleingeräten | 1.580 | 4.140 | 6.525 |

Für die Markteinführung von Brennstoffzellen-Systemen in Kleingeräten bieten sich zwei Varianten an. Zum einen können herkömmliche Akkus beim normalen Wechselrhythmus durch Brennstoffzellen-Systeme substituiert werden. Dem Vorteil einer schnellen Markteinführung steht der Nachteil des bereits bestehenden Designs (und damit keiner optimalen räumlichen Unterbringung des Brennstoffzellen-Systems) für das Konkurrenz-System gegenüber. Diese Optimierung z.B. als Flachzellen im Boden des Notebooks kann während des Designs und der Herstellung bei Neugeräten besser gestaltet werden.

7 BRENNSTOFFZELLEN-RELEVANTE FORSCHUNGS- UND TECHNOLOGIE-INSTRUMENTARIEN IN ÖSTERREICH

Österreich hat kein spezifisches Programm für die Förderung von Brennstoffzellen vorzuweisen. Allerdings können eine Reihe von österreichischen Fonds/Programmen/Aktionslinien für die Abwicklung von Brennstoffzellen-bezogenen FTE Aktivitäten bis hin zur Markteinführung herangezogen werden.

7.1 Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF)

Der FWF fördert genau umschriebene Forschungsvorhaben einzelner oder mehrerer FörderungswerberInnen auf allen Gebieten der wissenschaftlichen Forschung, sofern sie der weiteren Entwicklung der Wissenschaften in Österreich dienen und nicht auf Gewinn gerichtet sind. Er gewährt Beihilfen für Forschungsaufgaben des wissenschaftlichen Nachwuchses und fördert die Stimulierung der europäischen Forschungsk Kooperationen. Die Öffentlichkeitsarbeit im Dienste der öffentlichen Forschung und der Forschungsförderung, die Vorsorge für eine geeignete Verbreitung und Verwertung der Ergebnisse aus geförderten Vorhaben sowie die Teilnahme an forschungs- und technologiepolitischen Beratungen im Bundesbereich sind weitere Schwerpunkte. Oberstes Kriterium des FWF ist die wissenschaftliche Qualität.

Der FWF bietet folgende Instrumente für eine wissenschaftliche Schwerpunktsetzung in der Grundlagen-Forschung an:

- (i) **Spezialforschungsbereiche (SFBs):** Fächerübergreifende Forschungsprogramme konzentriert an einem Forschungsstandort, Laufzeit max. 10 Jahre
- (ii) **Forschungsschwerpunkte (FSPs):** Fächerübergreifende Problemlösungen, österreichweit auf mehrere Forschungsstandorte verteilt, Laufzeit max. 5 Jahre

- (iii) **Wissenschaftskollegs (WKs):** Zentren wissenschaftlichen Arbeitens auf spezifischen Gebieten, Kontakt zu international ausgewiesenen WissenschaftlerInnen

Von den verschiedenen Schwerpunktsetzungen ist in diesem Zusammenhang insbesondere die TU-Graz anzuführen, die ein SFB zum Thema: „**Elektroaktive Stoffe (Laufzeit: 1996 – 2006)**“ unter der Leitung von Herrn oUniv.-Prof. Dr. Jürgen Besenhard (Inst. f. chem. Technologie Anorg. Stoffe) durchführt. Laut Auskunft von Herrn Besenhard werden in diesem Projekt Grundlagen-Untersuchungen bei PEFC Membranen durchgeführt.

Weiters werden vom FWF die folgenden Projekte in Bezug auf Brennstoffzellen gelistet:⁷⁸

P13030: „**Wasserstoff für Brennstoffzellen aus dem Eisenschwammprozess**“ (K. Friedrich, TU-Graz, Laufzeit: 1.9.1998 bis 31.5.2001)

J1227: „**Brennstoffzellen für die Elektrotraktion (I) und (II)**“ (G. Simader⁷⁹, TU-Graz, Laufzeit: 10.1994 – 1.1997)

7.2 Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft (FFF)

Die Förderungstätigkeit des FFF umfasst den Bereich der Forschung und der Entwicklung. Gefördert werden Projekte, die für Österreichs Wirtschaft von Bedeutung sind. Der FFF bietet Förderungsmöglichkeiten für alle innovativen Forschungs- und Entwicklungsprojekte aus allen technologischen Bereichen, die wirtschaftlich verwertet werden können. Ergänzend dazu gibt es zeitlich begrenzte Sonderaktionen. Förderungsschwerpunkte sind Produkt- und Verfahrensentwicklung, Vorhaben zur Lösung von Material- und Fertigungsproblemen sowie umweltschutz-, energie-, rohstoff- und branchenbezogene Problemlösungen.

Im Allgemeinen werden **50 % der genehmigten Gesamtkosten** eines positiv begutachteten Projekts durch einen **Mix aus Zuschüssen, FFF-Darlehen, Kreditkostenzuschüssen und Haftungsübernahmen** finanziert.

Das FFF-Darlehen ist derzeit mit 3 % verzinst und 2 Jahre nach Ende des Projekts tilgungsfrei. Die restlichen 50 % sind vom Förderungsnehmer aus Eigen- und Fremdmitteln aufzubringen.

Beispiel einer FFF-Projektfinanzierung:

50% Fremd- oder Eigenmittel

⁷⁸ Basierend auf einer Website-Abfrage (<http://www.fwf.ac.at/index.asp>, Oktober 2001).

⁷⁹ Autor dieses Berichts.

20% Zuschuss

30% Darlehen

Das ergibt einen Förderbarwert von rund 22,8 %.

Der Förderbarwert wird im Förderungsübereinkommen mitgeteilt. Sollte ein Spielraum zu den Förderobergrenzen der EU (für Klein- und Mittelbetriebe 35%) gegeben sein, so kann in einigen Bundesländern eine zusätzliche Landesförderung genützt werden.

Neben der Normalförderung von Projekten ermöglicht der FFF Schwerpunktsetzungen im Rahmen von spezifischen Programmlinien, die auch für Brennstoffzellen-Schwerpunkte genutzt werden können, so da sind [L 76]:

- (i) Strategische Großprojekte: Die österreichische Industrie soll in ihren strategischen Forschungskonzepten zu Großprojekten angeregt werden. Der FFF erwartet sich jährlich ein bis zwei Projekte mit Jahreskosten von jeweils 50 bis 200 Mio. Schilling bei einer zwei- bis vierjährigen Projektlaufzeit.
- (ii) Kompetenzzentren internationaler Konzerne: Es hat sich gezeigt, dass ein wichtiger Motor für die Forschungsdynamik Österreichs die Existenz und aktive Rolle von Kompetenzzentren internationaler Konzerne ist. Diese Entwicklung wird – laut FFF – weiter begünstigt.
- (iii) Ausbau der Forschungsaktivitäten von KMU: Mit dieser Initiative sollen KMU verstärkt zu F&E Anstrengungen angeregt und die F&E-Tätigkeit auf eine kontinuierliche wachsende Basis gestellt werden.

Neben diesen Aktionslinien sind auch die Sonderprogramme des FWF zu erwähnen (wiederum in Bezug auf Nutzung für Brennstoffzellen-Aktivitäten):

- (i) Feasibility – Studies: Im Rahmen dieser Aktion erstellen Forschungsinstitute und andere qualifizierte Institutionen Studien zur technischen Machbarkeit der innovativen Ideen der KMU.
- (ii) F&E – Dynamik: Durch verbesserte Rahmenbedingungen – insbesondere durch Verbesserung der Personalsituation und der Infrastruktur für Forschung und Entwicklung – soll das Potenzial von KMU weiter gestärkt werden.

Hinsichtlich Brennstoffzellen sind in der Vergangenheit vereinzelt Brennstoffzellen-Projekte über den FFF abgewickelt worden, mit den folgenden Firmen:

- (i) Plansee AG (SOFC Komponenten-Entwicklung),
- (ii) AVL (Mess- und Prüfeinheiten für Brennstoffzellen-Systeme vorwiegend für mobile Applikationen),

(iii) Schuh (mobile Anwendungen von Brennstoffzellen-Systemen).

Weiters wird von Seiten des FFF die Anbahnung von EU-Projekten gefördert (z.B. die Fa. INTEMA Consult).

7.3 Der Innovations- und Technologiefonds

Der FFF ist vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) mit der Geschäftsführung des ITF (Innovations- und Technologiefonds) betraut. Die Programme im Bereich Technologietransfer sowie Technologien für die Informationsgesellschaft sind per Jahresende 2000 ausgelaufen. Es können noch Fortsetzungen zu bereits geförderten Projekten eingereicht werden. Derzeit stehen eine Reihe von neuen Programmen zur Diskussion. Konkret mit der Förderungsabwicklung betraut wurde der FFF mit zwei Programmlinien des Impulsprogramms "Nachhaltig Wirtschaften" (siehe Kapitel 7.4 auf Seite 120. Es sind dies die Programmlinien "Haus der Zukunft" und "Fabrik der Zukunft".

7.4 Impulsprogramm: Nachhaltig Wirtschaften

Das Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften ist ein fünfjähriges Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Es initiiert und unterstützt richtungweisende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und die Umsetzung modellhafter Pilotprojekte.⁸⁰

Das Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften verfolgt klar definierte inhaltliche Schwerpunkte und ist durch das Ausschreibungsprinzip bei der Auswahl der Projekte, durch die Vernetzung einzelner Forschungsprojekte und durch ein begleitendes Programmmanagement gekennzeichnet.

Ziele des Impulsprogramms:

- (i) Neue Chancen für die Wirtschaft
- (ii) Sparsame Nutzung natürlicher Ressourcen
- (iii) Ausbau des Technologievorsprunges Österreichs
- (iv) Positive Wirtschafts- und Beschäftigungseffekte

Diese Zielsetzungen sollen durch folgende Aktivitäten erreicht werden:

- (i) Stärkung der F&E-Kompetenz
- (ii) Interdisziplinarität und Vernetzung
- (iii) Verbreitung und Anwendung von F&E-Ergebnissen

Das Impulsprogramm führt derzeit zwei Programmlinien Ausschreibungen durch.

- (i) Programmlinie: **Haus der Zukunft**

⁸⁰ Weitere Informationen sind der Website <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/atstd.htm> zu entnehmen.

(ii) Programmlinie: **Fabrik der Zukunft**

Unter der Programmlinie „Haus der Zukunft“ wird das Projekt: „**Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk im Kloster Gleisdorf**“, bei dem eine PEFC-Anlage von der Firma HGC in Kooperation mit den Feistritzwerken und der TU-Graz (Fr. Prof. Beate Reetz, Inst. für Wärmetechnik) realisiert werden soll.⁸¹ Die Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ listet noch keine Projekte.⁸²

Zur Zeit ist eine dritte Programmlinie, die die Umsetzung des österreichischen Energieforschungs- und -technologiekonzepts (siehe Kapitel 7.10 auf Seite 125) unterstützen soll, in Vorbereitung.

7.5 ERP-Fonds

Der ERP-Fonds ist das älteste Instrument der direkten Investitionsförderung in der 2. Republik und die größte Förderungsinstitution im Bereich Industrie und Gewerbe. Die Förderung des Fonds besteht vor allem in der Vergabe von zinsbegünstigten Marktkrediten. Zur Zeit gibt es folgende Programmschwerpunkte: Technologie (auch für Klein- und Mittelbetriebe), Regional-, Ost-europa- und Infrastrukturförderung. Darüber hinaus werden weitere Finanzierungsaktionen vom ERP-Fonds getragen, wie die Bund-Länder-Aktion RIP (= Regionale Innovationsprämie; Förderungsart: "verlorene" Zuschüsse).

7.6 Kommunalkredit Austria AG

Die Agenden des ehemaligen "Öko-Fonds" wurden 1993 vom Umweltministerium der damaligen Österreichischen Kommunalkredit AG per Umweltförderungsgesetz übertragen. Die Förderungsschwerpunkte gliedern sich wie folgt:

- (i) Wasserwirtschaftsförderungen
- (ii) Umweltförderung im Inland
- (iii) Umweltförderung im Ausland
- (iv) Altlastensanierungen

Laut den Förderungsaktionen nach § 7 Abs. 10 der Förderungsrichtlinien von 1997 findet man unter Punkt 2: „Betriebliche Maßnahmen zur Energieeinsparung“ auch die Förderungsaktion Erdgas-KWK-Anlagen. Der Förderungsinhalt dieser Aktion richtet sich auf folgende Technologien: (i) Turbinen, (ii) Motoren, (iii) Generatoren und (iv) Abgasreinigungsanlagen.

⁸¹ Website: <http://www.hausderzukunft.at/> (Stand: Oktober 2001)

⁸² Website: <http://www.fabrikderzukunft.at/> (Stand: Oktober 2001)

Da die Emissionen von Brennstoffzellen-Systemen um ein bis zwei Zehnerpotenzen unter denen von Verbrennungskraftmotoren liegen und damit wesentlich zur Luftreinhaltung beitragen können, ist es durchaus denkbar – nach Vorliegen von Förderungsansuchen bei der Kommunalkredit Austria AG – dass für derartige Projekte ein Förderungssatz von 30 % bei einer maximalen Fördersumme von ATS 40 Millionen gewährt wird.⁸³

Basierend auf dem europäischen Gemeinschaftsrahmen für staatliche Umweltschutzbeihilfen ist das gegenwärtige System der Umweltförderung, insbesondere der Förderung von erneuerbaren Energieträgern derzeit in Umbruch. Als zulässige Betriebsbeihilfeförderungen für erneuerbare Energieträger bietet die Kommission insgesamt vier Optionen für Regelungsmodelle an. Option 1 beschreibt Beihilfen, „um den Unterschied zwischen den Kosten für die Energieerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern und dem Preis am Markt der betreffenden Energie auszugleichen“. Das österreichische Modell der Förderung gemäß dem Bundes-ElWOG entspricht im Wesentlichen dieser Option 1 des Gemeinschaftsrahmens. Hinsichtlich betrieblicher Erdgas-KWK-Anlagen, die vom ElWOG ausgenommen sind, könnte erwartet werden, dass die Förderung fortgesetzt wird.

7.7 K plus

Im Rahmen des Kompetenzzentrenprogramms K plus werden zeitlich befristete Forschungseinrichtungen gefördert, die darauf ausgerichtet sind, auf hohem Niveau langfristige, international konkurrenzfähige, zielgerichtete und vorwettbewerbliche F&E auf Gebieten zu betreiben, die sowohl akademisch als auch für die Wirtschaft von hoher Relevanz sind. Ziel ist es, Forschung in Bereichen durchzuführen und Humankapital aufzubauen, die entweder ihrerseits multidisziplinär sind oder für mehrere Sektoren bzw. Unternehmen relevant und in diesem Sinn vorwettbewerblich sind.

Notwendig für die Errichtung und den Betrieb eines Kompetenzzentrums ist eine langfristige Beteiligung von Forschungseinrichtungen auf der einen und von (mindestens fünf) Unternehmen auf der anderen Seite. K plus - Kompetenzzentren sind sehr oft an Universitäten angesiedelt, ebenso kann aber eine außeruniversitäre Forschungseinrichtung oder ein Unternehmen Kern eines Zentrums sein. Wesentliches Kriterium ist jedenfalls die Existenz eines derartigen Kerns, reine Netzwerke sind nicht K plus - tauglich.

Die im folgenden dargestellten Ziele geben allgemeine Richtungen und Orientierungen für das Programm als Ganzes an und dienen als solche weniger als Zielvorgaben für Antragsteller und Proponenten, sondern mehr als Grundlage für die Herleitung von Kriterien und Richtlinien sowie die Evaluierung des gesamten K plus - Programms.

- (i) Bessere Nutzung bestehender Kompetenzen und Ressourcen und Aufbau neuen Wissens sowie Schaffung nationaler Kompetenz und kritischer Massen mittels Durchführung längerfristiger Forschungsprogramme mit hohen Additionalitätseffekten sowohl im Wissenschaftsbereich als auch im Unternehmenssektor.

⁸³ Website: <http://www.kommunalkredit.at/>

- (ii) Veränderung der Forschungskultur: Vermehrter Übergang zu Forschungsprogrammen, einer stärkeren Industrieorientierung, zu systematischem Management, zu einem geordneten Berichts- und Kommunikationswesen.
- (iii) Erhöhung der Standortattraktivität und Verbesserung der österreichischen Teilnahmechancen an internationalen Forschungsprogrammen. Dadurch wird ein Beitrag zur Sicherung des Forschungsstandortes Österreich im internationalen Wettbewerb geleistet. Hier ist es ein Anliegen dazu beizutragen, dass sich einige 'Leuchttürme' der internationalen Forschung in Österreich entwickeln.
- (iv) Entwicklung von Humanressourcen: Dieses Ziel genießt einen besonders hohen Stellenwert, da hier an der Schnittstelle von akademischer und industrieller Forschung große Chancen für die Entwicklung von Know-how entstehen und dadurch eine wichtige Transferfunktion erfüllt werden kann.

Bisher sind 12 K plus-Zentren eingerichtet worden; u. a. seit Januar 2000 auch das ECHEM (K plus Zentrum für Angewandte Elektrochemie).

Das ECHEM listet bei einem Gesamtbudget von 189 Mio. ATS (für vier Jahre) drei Arbeitsschwerpunkte auf:⁸⁴

- (i) Elektrochemische Oberflächenbehandlung und Beschichtungstechnik (ESURF)
- (ii) Batterien und Brennstoffzellen (BATT)**
- (iii) Elektrochemisches Recycling und Umwelttechnik (ECRE)

Die wissenschaftlichen Partner von ECHEM sind folgende: (i) Institut für Physikalische Chemie, Arbeitsgruppe Elektrochemie, Universität Wien, (ii) Institut für Elektrochemie und Festkörperchemie, Technische Universität Wien, (iii) Institut für Chemische Technologie Anorganischer Stoffe, Technische Universität Graz, (iv) Technische Versuchs- und Forschungsanstalt der TU Wien, (v) Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Bereich Umwelt und (vi) Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, Bereich Werkstofftechnik.

Weiters werden vom ECHEM 23 Unternehmenspartner neben dem Land Niederösterreich angeführt. Weitere Informationen können der Website von ECHEM entnommen werden.⁸⁵

⁸⁴ Informationen beruhen auf mündlichen Gesprächen mit Dr. Nauer und Dr. Stelzer bzw. auf der TIG-Website: <http://www.tig.or.at/> (Stand: Oktober 2001)

⁸⁵ Website: <http://www.echem.at/> (Stand: Oktober 2001)

7.8 Förderung von industriellen Kompetenzzentren und Kompetenznetzwerken (K_{ind}/K_{net})

Im Zuge der Technologieoffensive der österreichischen Bundesregierung unterstützt das BMWA für wirtschaftliche Angelegenheiten die Gründung und den Aufbau von Kompetenzzentren und von Kompetenznetzwerken unter Leadership der Wirtschaft.⁸⁶ Diese sollen insbesondere der Bildung bzw. dem Ausbau industrieller Cluster ("Technologiecluster") durch Verbreiterung der clusterspezifischen Wissensbasis dienen. Die Konzentration materieller und immaterieller Ressourcen auf aktuell oder mittelfristig industrierelevante Technologiefelder ist daher ein Hauptanliegen dieses Förderschwerpunktes.

Kompetenzzentren sind Einrichtungen bzw. Kooperationsformen mit ausgewiesener, hoher Leistungsfähigkeit in jenen Technologiebereichen, in denen Nachfrage und Kooperationsbereitschaft seitens der Wirtschaft und der Wissenschaft bestehen. Die Aktionslinie k_{ind} (industrielle Kompetenzzentren) fördert die Konzentration der F&E-Aktivitäten mehrerer Unternehmen und Forschungseinrichtungen an einem Ort. Die Aktionslinie k_{net} (Kompetenznetzwerke) unterstützt den Verbund mehrerer örtlich disziplinierter Kompetenzknoten in den Bereichen Wirtschaft und Wissenschaft mit synergetischer thematischer Ausrichtung.

Das Wirtschaftsministerium fördert in Form von nicht rückzahlbaren Zuschüssen für eine Projektdauer von vorerst vier Jahren. Die Höhe des Bundeszuschusses beträgt maximal 40% der förderbaren Kosten und wird von einer Kofinanzierung durch die Bundesländer abhängig gemacht. Eine Mitfinanzierung von privaten Geldgebern in einem Ausmaß von mindestens 40% ist obligatorisch.

Beispiele für derartige K_{ind}/K_{net} Zentren sind das Kompetenzzentrum für Mechatronik und Automation in Linz, das Kompetenzzentrum für Fahrzeugakustik in Graz und das Kompetenznetzwerk „Energie aus Biomasse“ (RENET). Anträge für K_{ind}/K_{net} -Zentren können bis 31. 12. 2002 im BMWA (Abteilung: Abteilung IV/B/16) eingebracht werden.

7.9 Christian Doppler Forschungsgesellschaft (CDG)

Aus wirtschafts- und forschungspolitischer Sicht soll die Christian Doppler Forschungsgesellschaft (CDG) eine wesentliche Ergänzung sowohl zu den bestehenden horizontalen Forschungsförderungsfonds (FFF und FWF) bilden, die projektorientiert fördern, als auch zu den bestehenden Kompetenzzentren (K_{plus} , K_{ind}/K_{net}), um die Lücke zwischen Grundlagenforschung und experimenteller Entwicklung zu schließen. Die nicht auf Gewinn ausgerichtete Gesellschaft bezweckt die Förderung von Entwicklungen der Naturwissenschaften, der Technik und der Ökonomie sowie deren wirtschaftliche Umsetzung und Anwendung. Sie ermöglicht talentierten Wissenschaftlern an renommierten Forschungsstätten, qualitativ hochwertige Forschung und

⁸⁶ Siehe hierzu die Website des BMWA: <http://www.bmwa.gv.at/> (Stand: Oktober 2001)

Wissenstransfer, ausgerichtet auf die Wünsche und zum Vorteil der heimischen Industrie, zu leisten.

Die Ziele und den Nutzen für die österreichische Industrie werden nachfolgend zusammengefasst.

Tabelle 36 Ziele und Nutzen der CDG Labors (Quelle: CDG)

| <u>ZIELE DER CDG</u> | <u>NUTZEN FÜR DIE INDUSTRIE</u> |
|---|---|
| Förderung der Vorfeldforschung | Innovationsimpulse |
| Wissenschafts- und Technologietransfer | Mitarbeitermotivation |
| Vorwettbewerbliche / gemeinschaftliche Projekte | F & E Projektförderung – Kooperationsanbahnung – Aus- und Weiterbildung im Unternehmen – Förderung industrienaher Grundlagenforschung – Umfeldmonitoring im Bereich der Spitzentechnologien |

Im Automotiv-Bereich führt die Website des CDG⁸⁷ das Labor: „**Brennstoffzellen-Systeme mit flüssigen Elektrolyten**“. Leiter des Labors ist Dr. Viktor Hacker (TU-Graz). Als industrielle Partner sind die OMV und die AVL List GmbH angeführt. Die Eröffnung des CD Labors steht kurz bevor.

7.10 Österreichisches Energieforschungs- und -technologiekonzept

Das kurz vor der Veröffentlichung stehende österreichische Energieforschungs- und -technologiekonzept⁸⁸ (ein Entwurf liegt der E.V.A. als an der Erstellung beteiligte Organisation vor) stellt einen nationalen Orientierungsrahmen für die Energieforschungs- und -technologiepolitik dar. Es beschreibt die Situation der österreichischen Energieforschung und Energietechnologieentwicklung, die erwarteten Änderungen der Energiemärkte und die gesellschaftlichen Herausforderungen an ein zukünftiges Energiesystem.

Aufbauend darauf sowie auf den allgemeinen Zielsetzungen der österreichischen Forschungs- und Technologiepolitik und einer Analyse der neuen Rahmenbedingungen entwickelt das Konzept Leitlinien für die Ausrichtung der mittelfristigen Energieforschungs- und -technologieentwicklung.

Diese Leitlinien sind:

⁸⁷ Adresse der Website: <http://www.cdg.ac.at/> (Stand: Oktober 2001).

⁸⁸ Stand: Oktober 2001

- (i) Ausbau bestehender Stärken
- (ii) Nachhaltige Entwicklung vorantreiben
- (iii) Europäische Forschung mitgestalten
- (iv) Mittelfristige Programmforschung betonen

Ausgehend von diesen Leitlinien wurden unter Einbindung der Fachöffentlichkeit sechs Schwerpunktthemen definiert. Diese Schwerpunktthemen sind:

1. **Bioenergie und Wasserkraft:** Erhaltung und Erreichung der Technologieführerschaft bei Bioenergie, Wasserkraft (und Abfall);
2. **Klimaschutzorientierte Stromversorgungssysteme:** Entwicklung von Technologien und Managementsystemen für ein Stromnetz im liberalisierten Markt, die eine hohe Qualität der Versorgung bei erhöhtem Einsatz erneuerbarer Energieträger sowie verstärkter dezentraler Aufbringung gewährleisten;
3. **Nachhaltige Gebäude:** Effizienter Energieeinsatz im Neubau und bei der Sanierung des Gebäudebestands unter besonderer Berücksichtigung der CO₂-Emissionen;
4. **Industrielle Verfahren und Konzepte:** Optimierung und Neuentwicklung industrieller Prozesse zur Reduktion des Energiebedarfs, Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger und der Abwärmeauskopplung;
5. **Effiziente Mobilität:** Optimierung des Mobilitätssystems in Hinblick auf einen geringen Energieeinsatz, der verstärkt mit erneuerbaren Energieträgern abzudecken ist;
6. **Langfristige Klimaschutztechnologien in internationalen Netzwerken:** Unterstützung der Teilnahme an internationalen, langfristig angelegten Aktivitäten im Bereich klimarelevanter Forschung und Technologieentwicklungen (insb. Photovoltaik, Brennstoffzellen, CO₂-Absorption).

Das Thema Brennstoffzellen wird explizit im sechsten Schwerpunktthema angesprochen, ist aber auch für einige weitere Schwerpunktthemen von Bedeutung (Bioenergie, Stromversorgungssysteme, Mobilität).

Aufbauend auf diesem Konzept wird zur Zeit ein Vorschlag für eine 3. Programmlinie im Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften des BMVIT (Arbeitstitel: Energiesysteme der Zukunft) vorbereitet. (siehe Kapitel 7.4 auf Seite 120).

8 ROLLE VON ÖSTERREICHISCHEN KMU FÜR DIE PRODUKT- UND KOMponentenENTWICKLUNG VON BRENNSTOFFZELLEN-SYSTEMEN⁸⁹

8.1 Situation und Struktur österreichischer KMU⁹⁰

Die überwiegende Mehrzahl der österreichischen Betriebe sind kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Diese werden von verschiedenen Seiten oft als das Rückgrad der österreichischen aber auch der europäischen Wirtschaft bezeichnet. In Hinblick auf Innovationskraft und Technologieentwicklung müsste man zumindest hinterfragen, inwieweit dieses Bild (Träger der Innovation) zu relativieren ist. Mehr als 84 % der Betriebe sind Kleinstbetriebe, die alleine schon wegen ihrer begrenzten Ressourcen eher weniger als Zielgruppe für Maßnahmen der Innovationsförderung in Frage kommen – sofern Innovation am technologischen Neuheitsgrad von Produkten gemessen wird, zu denen es kaum österreichische Eigenentwicklungen gibt.

Das theoretische Potenzial an Unternehmen, die für Forschungsförderungen im traditionellen Sinn – allein wegen ihrer Größe – in Frage kommen, beträgt daher bestenfalls etwa 15%.

Unter Berücksichtigung der relativ aufwändigen Begutachtungs- und Evaluierungsverfahren insbesondere bei EU-Projekten⁹¹, die einen hohen Anspruch an die Qualität der Ausarbeitung der Projektvorschläge setzen, reduziert sich dieses Potenzial für Forschungsförderung erheblich. Vor allem den mittleren Unternehmen stehen meist weder die finanziellen noch die personellen Ressourcen zur Verfügung, um auf diese Art und Weise – aus eigener Kraft – in ihre Zukunft zu investieren. Damit ist natürlich auch ein

⁸⁹ Dieses Kapitel wurde von DI Dr. Andreas Markom (PROFACTOR) im Rahmen des FuelCell-III Projekts maßgeblich mitgestaltet. [L 82]

⁹⁰ Ein KMU bzw. SME („Small and Medium Enterprise) ist – einer EU-Empfehlung (96/280/EC) folgend - ein Unternehmen, auf das folgende Kriterien zutreffen:

*) has fewer than 250 employees (full time equivalents),

*) has either, an annual turnover not exceeding 40 million euro, or an annual balance-sheet total not exceeding 27 million euro,

*) conforms to the criteria of independence as defined in the Commission Recommendation 96/280/EC.

⁹¹ Trifft für FFF Projekte nicht zu!

bedeutendes Lenkungsinstrument – die Forschungsförderung selbst – in ihrer Breitenwirkung verloren.

Die Konsequenz daraus ist, dass eher die größeren Unternehmen (~0,5%) in der Lage sind, sich aktiv um Forschungsförderungen zu bewerben. Die mittleren Unternehmen können den Großen lediglich folgen oder Kooperationen informeller Natur (Netzwerke) eingehen. Diese Konsequenz wird umgangen durch Unternehmen, Institutionen und Einrichtungen deren Mission es ist, diese mittleren Unternehmen – vor allem bei der technologisch-inhaltlichen Definition – eines Innovationsprojekts zu unterstützen, um Forschungsförderungen erfolgreich zu akquirieren.

In Hinblick auf die aktuelle Möglichkeit vor allem der mittleren österreichischen Unternehmen, Schritte in Richtung eines gerade entstehenden Marktes „Brennstoffzelle“ zu setzen, sollte deshalb vor allem auf die wenigen Unternehmen in Österreich die hier eine „Treiberfunktion“ haben, gesetzt werden. Dabei wäre insbesondere zu klären, welche Kompetenzen im Bereich der Systemtechnik (bzw. BOP wie z.B. Katalysatoren, Gasaufbereitung sowie Steuer und Regelungstechnik) bestehen. Darüber hinaus könnten sich österreichische KMU bei der Fertigungsüberleitung, Automation und Produktionstechnik positionieren.

Auf die möglichen Ansätze zur wirksamen Forcierung von österreichischen KMU in Hinblick auf Brennstoffzellen-Systeme wird vor allem in Kapitel 8.6 auf Seite 133 eingegangen. Eine Einschätzung des Potenzials von relevanten KMU kann – basierend auf einem Auszug aus der aktuellen Statistik der Wirtschaftskammer (siehe Tabelle 37) – nachfolgend gegeben werden.

Tabelle 37 KMU Potenzial in ausgewählten Fachverbänden (Quelle: PROFACTOR)

| Fachverband | aktiv |
|---|--------------|
| 16 Maschinen- und Stahlbauindustrie | 1.039 |
| 18 Metallwarenindustrie | 1.002 |
| 19 Elektro- und Elektronikindustrie | 456 |
| 22 Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen | 258 |
| INSGESAMT | 2755 |

Dabei fällt auf, dass etwa 2750 Betriebe der Sektion Industrie, die aus oben genannten Gründen am ehesten für wirksame Forschungsförderung in Frage kommt, das gesamte Potenzial ausmachen. Dies ist wiederum als Argument für die bereits erwähnte Notwendigkeit einer „Treiberfunktion“ weniger Unternehmen – an die sich andere Betriebe, die in der zweiten und dritten Linie der Zulieferkette stehen, orientieren können – denn es fehlt den österreichischen KMU vor allem an Wissen, welche Kompetenzen für die Hersteller von Brennstoffzellen interessant sind.

8.2 Österreichische Instrumente für die Technologie- und Innovationsförderung

Die Aussagen dieses Abschnitts sollten in Ergänzung der Inhalte des vorigen Kapitels 7 zu sehen sein. Allgemein kann festgestellt werden, dass es kein nationales Instrument gibt, das es einem österreichischen KMU ermöglichen würde, einen europäischen technologischen Trend in einer eigenen Geschäftsidee effektiv – beispielsweise mit Hilfe eines one-stop Shops – umzusetzen, d.h.:

- (i) Einen Überblick über mögliche Kooperationspartner und deren technologischen Bedarfe in Europa zu erlangen;
- (ii) Kontakte aufzunehmen und Sondierungsgespräche zu führen;
- (iii) gemeinsame Interessen zu Projektideen bzw. Geschäftsideen zu entwickeln und
- (iv) Projektanträge zu formulieren.

8.3 Europäische Instrumente für die Technologie und Innovationsförderung von KMU

Den Programmen der europäischen Union ist gemeinsam, dass in der Regel eine Zusammenarbeit von mehreren Unternehmen bzw. Institutionen (wie z.B. Universitäten) aus verschiedenen europäischen Staaten erforderlich ist. Damit wird zwar der europäische Austausch im Rahmen von Forschungs- bzw. Entwicklungsprojekten gefördert, demgegenüber steht aber: (i) ein hoher Aufwand zur Vorbereitung eines Antrags, (ii) das damit verbundene Risiko einer Ablehnung, (iii) der administrative Aufwand zur Verhandlung eines Forschungsvorhabens und (iv) die relativ lange Zeit zwischen Antragsvorbereitung und Projektstart (oft mehr als ein Jahr). Sprachliche und kulturelle Barrieren sind darüber hinaus im Fall der Kooperation von Unternehmen aus mehreren Staaten eine zusätzliche Hürde.

Positiv zu werten ist jedenfalls, dass innovativen und flexiblen Unternehmen die Möglichkeiten eröffnet wird, sich europäisch zu vernetzen um potenzielle Kooperationspartner für weiterführende Geschäftstätigkeiten zu gewinnen. Darüber hinaus bieten EU-Projekte für das technische Personal eines Unternehmens die einmalige Gelegenheit, an „vorderster Front“ Informationen und Erfahrungen zu sammeln, zu denen sie weder als Mitarbeiter in kleinen Unternehmen, und oft auch nicht in größeren Unternehmen Zugang hätten.

Vor allem KMU sollten den längerfristigen Effekt einer Teilnahme an einem EU-Projekt nicht unterschätzen. In der Regel stellen erfolgreiche Konsortien immer wieder Projektanträge, so dass sich über die Jahre der Aufwand des einzelnen Partners eines solchen Konsortiums (bezüglich der Antragstellung) in Grenzen hält. Zu erwähnen ist sicherlich auch der nicht unbeträchtliche „Prestigewert“ eines EU-Projekts, der vor allem KMU eine gute Ausgangsposition für technologische Kooperationen mit anderen Unternehmen und z.B. Universitäten schafft.

Zusammenfassend können EU-Projekte als gutes Instrument der Förderung von Innovation und Technologie in Europa gewertet werden, wenngleich das Niveau eines Antrags sehr hoch sein muss um im Evaluierungsverfahren erfolgreich zu sein. Der damit verbundene (i.d.R. personelle) Aufwand ist vor allem für KMU beträchtlich⁹², demgegenüber stellen sich aber die Kontakte die dadurch eröffnet werden, zumindest längerfristig als bedeutende Chance dar.

Einen detaillierten Überblick über die europäischen Instrumente bietet auch die Website des BIT (Büro für internationale Forschungs- und Technologiekooperation) unter <http://www.univie.ac.at/bit> bzw. die diversen Internetpräsentationen der Partnerorganisationen des BIT in den Bundesländern.

⁹² Von Seiten des FFF gibt es hierzu Förderungen für KMU für die Projektanbahnung (bis max. ATS 260.000).

8.4 Technologieförderung für Kleine und Mittlere Unternehmen – Exploratory Awards und Co-operative Research (CRAFT)

Speziell für KMU wurde von der EU das CRAFT Schema eingerichtet. Es bietet den Vorteil, dass eine Gruppe von KMU einen Forschungsdienstleister beauftragen kann, Entwicklungsarbeiten durchzuführen. Der Forschungsdienstleister wird von der EU bezahlt, aber die Nutzungsrechte an der Entwicklung stehen den KMUs zu.

Projektvorschläge können in zwei Stufen eingereicht werden. Die Einreichung einer Projektskizze kann zu einer Sondierungsprämie führen (= Exploratory Award - Stufe 1), die zur Deckung der Kosten für die Ausarbeitung eines endgültigen Projektvorschlags (= Co-operative Research Project - Stufe 2) beitragen soll. Die Einreichung von Projektskizzen ist freiwillig (d.h. endgültige Projektvorschläge können auch direkt eingereicht werden). Mit Sondierungsprämien können Vorschläge für folgende Projektarten ausgearbeitet werden:

- (i) Gemeinschaftsforschungsprojekte gestatten es Gruppen von KMU mit ähnlichen technischen Problemen und unzureichenden eigenen FTE-Kapazitäten, Dritte (FTE-Dienstleister) mit einem Großteil der Forschungsarbeiten zu beauftragen. Die entsprechenden Bedingungen und Antragsformulare sind unter www.cordis.lu/sme zu finden.
- (ii) FTE Projekte (Verbundforschung) gestatten es Organisationen, eigene Forschung durchzuführen und so neue Kenntnisse zu erwerben, um Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen zu entwickeln oder zu verbessern und/oder Anforderungen der Gemeinschaftspolitiken zu erfüllen.
- (iii) Demonstrationsvorhaben sollen den Beteiligten die Möglichkeit geben, in realistischem Maßstab neue Technologien zu erproben, deren Forschungsphase weitgehend abgeschlossen ist, die aber wegen noch bestehender technischer und wirtschaftlicher Risiken nicht unmittelbar vermarktet werden können.
- (iv) Kombinierte F&E und Demonstrationsvorhaben beinhalten eine Kombination der obigen Bestandteile von FTE und Demonstrationsvorhaben.
- (v) Innovationsprojekte sind kombinierte F&E- und Demonstrationsprojekte speziell im Programm „Förderung der Innovation und der Einbeziehung für KMU“. Sie befassen sich mit solchen Technologien, die nicht in den Thematischen Programmen entwickelt wurden und bieten Finanzierungsmöglichkeiten für grenzüberschreitenden Technologietransfer. Innovationsprojekte werden in Gruppen zusammengefasst, um gegenseitigen Erfahrungsaustausch anzuregen, methodologische Aspekte zu betonen, und um wirtschaftliche, soziale und organisatorische Aspekte der Innovation zu analysieren.

Die Sondierungsprämien sollen KMU die Möglichkeit geben, eine führende oder wesentliche Rolle in den jeweiligen Projekten zu übernehmen. Während Gemeinschaftsforschungsprojekte speziell auf die Bedürfnisse von KMU zugeschnitten sind, richten sich Verbundforschungsprojekte, Demonstrationsprojekte, kombinierte F&E- und Demonstrationsprojekte und Innovationsprojekte an alle Arten von Organisationen. Die jeweiligen Bedingungen und Antragsformulare sind in der „Anleitung für Antragsteller“ der entsprechenden Programme enthalten.

8.5 Beispiel für eine erfolgreiche Beteiligung österreichischer KMU in europäischen Forschungsprojekten an Hand der Firma PROFACTOR

Die Produktionsforschungs GmbH PROFACTOR (Production Manufacturing Technology and Organisation Research) ist eine anwendungsorientierte Forschungsgesellschaft mit Sitz in Steyr, die sich auf Forschung und Entwicklung von neuen Methoden für ganzheitliche Produktions- und Managementsysteme in der gesamten Wirtschaft spezialisiert hat. Dabei werden klassische Zielkonflikte (z.B. Zeit versus Qualität versus Kosten) nicht nur lokal, sondern komplex gelöst. Praktisches Know-how fließt vom wissenschaftlichen Beirat und der Muttergesellschaft VPTÖ (Vereinigung zur Förderung der Modernisierung der Produktionstechnologie in Österreich) in Profactor ein. Diese 100 % Tochter von der VPTÖ wurde im Dezember 1994 gegründet und ist eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung. Die Mission der VPTÖ (1/3 Industrie, 1/3 Wissenschaft, 1/3 Administration) besteht in der Unterstützung und Stimulation hochwertiger industrieller Forschung sowie auch in der Entwicklung und Einführung neuer Produktionskonzepte und neuer Technologien.

Die Idee eines industrie- und forschungsnahen Zentrums wurde vom Wissenschafts- und Wirtschaftsministerium sowie durch das Technologieknottenkonzept der öö. Landesregierung Anfang der 90er Jahre unterstützt und gilt als Prototyp für die heute entstehenden "K plus-Zentren". Die Vernetzung von Technologietransfer, angewandter und industrieller Grundlagenforschung ist ein Hauptanliegen von PROFACTOR.

Wesentlich dabei ist die Initiierung von Forschungsprojekten auf internationalem Niveau (z.B. EU-Projekte), wo gemeinsam mit Industriepartnern gesamtheitliche, innovative und praktikable (Problem)lösungen erarbeitet werden. Die Mitarbeiter von Profactor forschen u. a. für die Wettbewerbsfähigkeit der produzierenden Industrie und für die Stärkung der Standortkompetenz der österreichischen Wirtschaft. Dabei wird sehr großer Wert auf die Zusammenarbeit mit KMUs gelegt. Als Vermittler zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung arbeitet Profactor eng mit Entwicklungsstellen und mit der Wirtschaft zusammen. Mit mehr als 110 Projektpartnern – großteils aus der Region Oberösterreich, aber auch aus dem internationalen Raum – führte Profactor in den letzten fünf Jahren 22 erfolgreiche EU-Projekte durch. Das Gesamtbudget aus dieser Periode belief sich auf rund 210 Millionen Schilling. Es wurde in oberösterreichische Firmen reinvestiert und bewegte Know-how in der Höhe von fast einer Milliarde Schilling.

THEMENBEREICHE

(i) Holistic Engineering:

Anlagenplanung und -optimierung durch Simulation, Energie- und Umwelttechnologien, Automatisierung, Holonische Produktionstechnik, Holistic Evaluation.

(ii) Quality Controlled Production:

Hochgeschwindigkeitszerspannung (HSC), Dünnschichtmesstechnik, Sensorgeführte Robotik, Industrielle Bildverarbeitung.

(iii) Systeme der Unternehmensführung (Enterprise Integration Systems):

Wissens- und Innovationsmanagement, Supply Chain Management, Produktionslogistik.

Biogasentschwefelung zur Nutzung in Brennstoffzellen

PROFACTOR ist Koordinator in einem großen EU-Forschungsprojekt (Arbeitstitel: EFFECTIVE),⁹³ das die Nutzung von Biogas in Hochtemperatur-Brennstoffzellen ermöglichen soll. Bei PROFACTOR wird dazu ein Gasreinigungsmodul entwickelt. Neben den Hauptkomponenten Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂) enthält Biogas nämlich auch Schwefelwasserstoff, der in der Brennstoffzelle Korrosionsschäden hervorruft. Neben chemischen und physikalischen Methoden, stehen auch biologische Filter zur Biogasaufbereitung zur Verfügung: Der effiziente Abbau von Schwefelverbindungen zu elementarem Schwefel oder Sulfaten erfolgt durch Mikroorganismen in einem Biotropfkörper. Alle Anlagenparameter können bei diesem Prozess leicht überwacht und gesteuert werden. Der entscheidende Vorteil biologischer Verfahren – kostengünstige Brenngasaufbereitung – resultiert aus dem einfachen Anlagenaufbau, niedrigem Mess- und Regelaufwand, dem Einsatz preiswerter Werkstoffe, leicht verfügbarer Betriebsmittel, dem Fehlen schädlicher Reaktionsprodukte, sowie der hohen Betriebssicherheit.

8.6 Mögliche Ansätze zur Forcierung von österreichischen KMU für stationäre Brennstoffzellen Systeme [L 82]

8.6.1 Innovationskampagne durch Information mit Zielrichtung KMU

Produzierenden KMU ist vielfach nicht bewusst, dass ihre Produkte und ihr Wissen über diese Fertigungsprozesse auch für Brennstoffzellensysteme interessant sind. Eine geeignete Einrichtung, die über ein breites Spektrum an Fachwissen und über die erforderlichen Kontakte verfügt, könnte mit den div. Herstellern von Brennstoffzellen Kontakt aufnehmen, um derartige Komponenten und Expertisen zu identifizieren. Mit diesen Ergebnissen könnten dann KMU – beispielsweise durch die WIFI Betriebsberatung – motiviert werden, in Gespräche einzutreten, die zu längerfristigen Kooperationen führen. Jedenfalls sollte eine derartige Initiative bundesweit koordiniert werden.

8.6.2 Prozessorientierte Forschungs- und Innovationsförderung

Wie bereits erwähnt, besteht ein grundsätzliches Defizit in der KMU-Forschungsförderung. Bestehende Maßnahmen setzen nur punktuell an und sind projektorientiert. Vor

⁹³ Mittlerweile koordiniert PROFACTOR ein zweites ähnlich ausgerichtetes EU-Projekt (Arbeitstitel: AMONCO).

allem KMU würden allerdings eine (auch fach-) kompetente Prozessbegleitung (Innovations-Coaching) benötigen. Die Aufgabe wäre also die Konkretisierung einer Idee bis zum Projekt und darüber hinaus bis zur Markteinführung. Je nach dem Grad der Konkretisierung des Projektgegenstandes sollte ein externer Berater dem Unternehmen helfen, das geeignete Finanzierungsinstrument auszuwählen.

Da es insbesondere KMU schwer fällt, mit den sich bereits etablierenden Herstellerfirmen von Brennstoffzellen in Kontakt bzw. ins Gespräch zu kommen, müsste ein derartiger Förderansatz auch die Bildung einer Plattform beinhalten, die diese Kontaktaufnahme fördert, um mögliche Kooperationen bezüglich der Entwicklung bzw. Optimierung einzelner Komponenten bis zum Projekt zu führen. Eine derartige Plattform wäre sinnvollerweise bundesweit einzurichten, um Doppelgleisigkeiten zu vermeiden, und um eine kritische Masse an Interessenten anzusprechen bzw. um Kooperationen zu fördern.

8.6.3 Technologieparks und Demonstrationsprojekte

Wie bereits bei der Brennstoffzellenkonferenz im Mai 2000 in Brüssel von Kommissar Busquin angesprochen, sollte die Öffentlichkeit vermehrt über die neue Technologie „Brennstoffzelle“ informiert werden, um möglichen Vorbehalten entgegenzuwirken. Zu diesem Zweck könnte ein Themenpark „Nachhaltige Energietechnologien“ initiiert werden, der die verschiedenen neuen Technologien zeigt.

Demonstrationsprojekte in einem etwas größeren Maßstab hätten sicherlich auch eine entsprechende Breitenwirkung. Dabei sind vor allem die Länder angesprochen, da im Rahmen von Demonstrationsprojekten die regionalen Gegebenheiten aus ganzheitlicher Sicht berücksichtigt werden müssen, um einen Erfolg bzw. um eine entsprechende Akzeptanz sicherzustellen.

8.6.4 Kombination und Förderung bestehender technologischer Stärken als Eintrittskarte

In Zusammenarbeit mit den Herstellern von Brennstoffzellensystemen sollten bestehende technologische Stärken Österreichs von einer unabhängigen und dafür geeigneten Einrichtung dahingehend bewertet werden, ob sich daraus neue Anwendungen für Brennstoffzellensysteme ergeben. Eine derartige Studie sollte bundesweit beauftragt werden und vor allem ein mögliches Vorgehen entwickeln, wie österreichische Einrichtungen und Unternehmen am europäischen Trend „Brennstoffzelle“ partizipieren können. Als wesentlichster Indikator dafür muss die als Entwurf bereits vorliegende Konzeption des 6. Rahmenprogramms für Forschung und Entwicklung der EU eine Grundlage dieser Untersuchung sein.

9 ÖSTERREICHISCHE FTE AKTIVITÄTEN IM BEREICH „BRENNSTOFFZELLEN FÜR STATIONÄRE SYSTEME“

Für die Bearbeitung dieses Kapitels wurden im Rahmen des Projekts folgende Aktivitäten durchgeführt:

- (i) Organisation von zwei Veranstaltungen, in denen die österreichischen und europäischen Forschungsaktivitäten (5. und 6. RP für FTE) vorgestellt und der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern für Brennstoffzellen-Systeme unter Einbindung österreichischer KMU aufgezeigt wurden;
„Brennstoffzellen-Systeme für stationäre Anwendungen“, WKÖ, Wien, 30. Januar 2001,
„Biogas Brennstoffzellen-Systeme“ in Kooperation mit PROFACTOR, Steyr, 15. Mai 2001
Beide Proceedings stehen als kostenlose Download-Versionen auf der E.V.A. Website zur Verfügung.⁹⁴
- (ii) Ergänzend zu den Veranstaltungen wurde eine Anzahl von Unternehmens- bzw. Institutionsbefragungen durchgeführt, die an den Veranstaltungen nicht aktiv vertreten waren, um das österreichische Aktivitätsspektrum möglichst vollständig abzudecken. Dies waren vorwiegend Organisationen/Institutionen, die ein Commitment für FTE Aktivitäten in Bezug auf Brennstoffzellen-Aktivitäten im stationären Bereich aufweisen bzw. zumindest aktiv kommunizieren. Folgende Unternehmen/Institutionen nahmen daran teil: OMV, Plansee AG, STEWEAG, TIWAG, Inst. f. Wärmetechnik (TU-Graz), Inst. f. Hochspannungstechnik (TU-Graz) und das ECHEM (K plus Zentrum).

Zusammenfassend kann folgendes Bild der österreichischen FTE Aktivitäten im Themenfeld Brennstoffzelle für den Einsatz in stationären Energiesystemen gegeben werden.

Die österreichische Grundlagen-Forschung – insbesondere bei **Niedertemperatur--Brennstoffzellen** – wurde in der Vergangenheit von **Univ.-Prof. Dr. Karl Kordesch** am Inst. für chemische Technologie (TU Graz) vorangetrieben. Univ.-Prof. Dr. Karl Kordesch – nunmehr emeritiert – setzt seine Studien im Rahmen von diversen Projekten in Kooperation mit dem Inst. für Hochspannungstechnik fort. Die Optimierung von Brennstoffzellen-Systemen mit flüssigem Elektrolyten wie **AFC und DMFC** für die

⁹⁴ Die Adresse der Website ist: <http://www.eva.ac.at/opet/fuelcell.htm>

mobile Nutzung sind das vorrangige Ziel dieser Aktivitäten. Hierbei besteht – wie bereits erwähnt – eine enge Kooperation mit dem Institut für Hochspannungstechnik⁹⁵ (Abteilung für Energieinnovation und elektrische Energiewirtschaft), welche vormals von **Univ.-Prof. Dr. Kurt Friedrich** (seit vorigem Jahr Univ.-Prof. Dr. Heinrich Stigler) geleitet wurde. Diese Aktivitäten hatten die Erforschung von **innovativen Gasaufbereitungsprozessen für fossile und erneuerbare Energieträger für Brennstoffzellen** zum Ziel. Die Aktivitäten nutzten sowohl nationale Förderschienen (wie FWF) als auch die europäischen Rahmenprogramme (4. RP). Die Weiterentwicklung dieser Aktivitäten wird von **Dr. Viktor Hacker** (TU-Graz) vorangetrieben, wobei der Fokus auf der mobilen Anwendung liegt. Synergien zu stationären Anwendungen liegen vorwiegend in der Mess- und Regeltechnik, bei Messständen und dem Basiswissen bei Gasaufbereitungssystemen und Niedertemperatur-Brennstoffzellen. Ein **CD Labor** mit dem Titel: „**Brennstoffzellen-Systeme mit flüssigen Elektrolyten**“ in Kooperation mit der AVL List und der OMV wird voraussichtlich in diesem Herbst eröffnet. Die TU-Graz führt in diesen Monaten eine inhaltliche Neupositionierung und Reorganisation der Tätigkeitsfelder in Bezug auf Brennstoffzellen innerhalb der erwähnten Institutionen durch.

Das Inst. für Wärmetechnik an der TU-Graz (**Univ.-Prof. Dr. Beate Reetz, Dipl.-Ing. Ulrich Hohenwarter**) beschäftigt sich seit 1999 explizit mit Brennstoffzellen für den stationären Einsatz. Folgende Projektaktivitäten werden derzeit von diesem Institut durchgeführt:

- (i) **PEFC BHKW-Anlage für Gleisdorf** (unter Nutzung der Programmschiene: at:sd: Haus der Zukunft) und
- (ii) Aufbau einer **Brennstoffzellen-Laboranlage**, die die folgenden Komponenten umfasst: Steamreformer, LT/HT-Shiftkonverter⁹⁶, SELOX und PEFC (in Kooperation mit der STEWEAG bzw. ESTAG-Gruppe).

Die FTE Aktivitäten des Instituts umfassen sowohl Untersuchung im Grundlagenbereich als auch Systembetrachtungen von Gesamtsystemen (Schwerpunkt liegt bei **Brennstoffzellen-Heizgeräten**). Längerfristige FTE Ausrichtungen inkludieren größere **Kombisysteme** (bestehend aus **Brennstoffzelle und Mikro-Gasturbine**) und der Einsatz von **fester Biomasse in Brennstoffzellen**. Synergien mit anderen FTE Schwerpunkten können hierfür herangezogen werden. Das Institut für Wärmetechnik verweist auf Kooperationen mit der ESTAG Gruppe bei der weiteren Entwicklung der Brennstoffzellen-Aktivitäten.

Eine weitere Institution mit direkter Involvierung in Brennstoffzellen ist das K plus Zentrum **ECHEM** („K plus Zentrum für Angewandte Elektrochemie“) in Wiener Neustadt. Das Projekt **BATT 3 "Brennstoffzellen"** hat den Ausbau von vorhandenem Know-how sowie die Unterstützung österreichischer Unternehmen für die Nutzung dieser neuen Technologien zum vorrangigen Ziel. In diesem Projekt werden für die beteiligten Unternehmen wie Sollektor Energieversorgungs-GmbH, Firma Schuh, Plansee AG und Maschinenfabrik Starlinger innovative Konzepte und Designs von **PEM-Brennstoffzellen-Prototypen (bzw. Komponenten)** erstellt und umgesetzt. Hierbei sollen im strategischen Bereich des Projektes die Leistungseffizienz sowie eine für die Markteinführung von PEM-Brennstoffzellen notwendige Kostenreduktion einzelner

⁹⁵ Nunmehr Institut für Elektrische Anlagen und Hochspannungstechnik.

⁹⁶ LT/HT ist die Abkürzung von low temperature und high temperature.

Komponenten forciert werden. Ansprechpartner im ECHEM für die Abwicklung dieser Aktivitäten sind: **Dr. Nils Stelzer** und **Univ.-Prof. Dr. Gerhard Nauer**. Neben 29 Industriepartnern verweist ECHEM auf folgende österreichische Forschungspartner: Forschungszentrum Seibersdorf (inkl. ÖFPZ), Inst. f. physikal. Chemie (Uni Wien), Inst. f. chem. Technologie Anorg. Stoffe (TU-Graz) und Inst. f. Elektro- und Festkörperchemie (TU-Wien).

Die Firma **PROFACTOR**⁹⁷ (**Dr. Ewald Wahlmüller, Dipl.-Ing. Marianne Haberbauer**) ist mit der **Gasreinigung von Biogasen für PAFC, MCFC und SOFC** Anlagen beschäftigt und konnte in der Vergangenheit zwei EU-Projekte in diesem Themenfeld akquirieren (Arbeitstitel der Projekte: **EFFECTIVE** und **AMONCO**). Die Firma PROFACTOR verweist im Biogasbereich auf zahlreiche erfolgreich abgewickelte EU-Projekte (auch im CRAFT-Programm) und setzt – neben der technische Entwicklung – auch Schwerpunkte hinsichtlich der Überwindung nicht-technischer Barrieren zur Implementierung und Integration von neuen Energieträgern und -systemen. Von PROFACTOR werden folgende Partner bei den Brennstoffzellen-Projekten angeführt: ESG-Linz, STUDIA-Schlierbach, BOKU-Wien, IFA Tulln, Seaborne E.R.L., Krüger A/S, CIEMAT, Urbaser S.A., die Universität Nitra und die E.V.A.

Hinsichtlich der Verwendung von Biogas für Brennstoffzellen und Mikro-Gasturbinen sind auch von Seiten des **Instituts für Land-, Umwelt- und Energietechnik** an der Universität für Bodenkultur (**Univ.-Prof. Dr. Thomas Amon**) Aktivitäten für das nächste Jahr geplant.

Das **Institut für Verfahrenstechnik** (TU-Wien) verweist in seinen Aktivitäten auf die **Erzeugung von wasserstoff-angereicherten Synthesegasen aus fester Biomasse**, die in PAFC, MCFC und SOFC-Systemen zum Einsatz kommen können. **Univ.-Prof. Dr. Hofbauer** und **Dr. Reinhard Rauch** konnten eine Reihe von EU-Projekten in diesem Zusammenhang akquirieren:

- (i) **Hydrogen-rich Gas from Biomass Steam Gasification (incl. PAFC)** und
- (ii) **Clean Energy from Biomass (incl. MCFC)**.

Dr. Reinhard Rauch verweist weiters insbesondere auf die Projektaktivitäten des Biomasseprojekts in Güssing. Die eingesetzte **feste Biomasse** wird in einem **Wirbelschichtreaktor** konvertiert, dann gereinigt und in weiterer Folge in einem Jenbacher-Motor in Strom und Wärme umgesetzt. Konzeptionell ist in weiterer Folge auch der Einsatz einer Brennstoffzelle geplant. Das Inst. f. Verfahrenstechnik ist einer der Initiatoren und Partner des **RENET**⁹⁸ (**ARGE Kompetenznetzwerk Energie aus Biomasse**) bestehend aus den folgenden Organisationen: (i) AE Energietechnik, (ii) EVN AG, (iii) Güssinger Fernwärme AG und – wie bereits erwähnt – dem Inst. f. Verfahrenstechnik. Bezüglich der Brennstoffzellen-Aktivitäten wurde bis dato insbesondere mit italienischen Institutionen/-Unternehmen kooperiert (**CLC Srl, ENEA, etc.**).

⁹⁷ Siehe hierzu auch das vorige Kapitel

⁹⁸ RENET wird aus dem K_{ind}/K_{net} Programm des BMWA finanziert.

Vaillant Österreich

Dr. Georg Patay von Vaillant Österreich ist mit dem Aufbau einer Vertriebschiene für **PEFC Heizkraftwerken** in Österreich betraut. Ergänzend zu den bisherigen Produktapplikationen der gasbefeuerten Heizsysteme rechnet er mit 4000 bis 5000 Anlagen bis zum Jahr 2010 in Österreich. Die Entwicklungsarbeiten hierfür werden primär von Vaillant Deutschland in Remscheid abgewickelt.

Gas- und Elektrizitätswirtschaft

In Österreich sind eine Reihe von EVUs und Unternehmen der Gaswirtschaft an FTE Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzellen-Systemen interessiert bzw. involviert. Die angeführte Motivationslage der EVUs/GVUs deckt sich mit den Aussagen in Kapitel 5.4 auf Seite 100 dieses Berichts. Von Seiten des VEÖ wird die Brennstoffzelle sehr positiv eingeschätzt, allerdings sind bis dato von Seiten der EFG keine Aktivitäten/Initiativen bekannt gemacht worden. [L 81]

- (i) **Energie AG/Ferngas AG:** Beide Unternehmen starten ab Dezember laut Aussagen von Herrn **Dipl.-Ing. Heinrich Wilk** als erster österreichischer Energieversorger Tests mit dem Einsatz der **Sulzer-Hexis SOFC Anlage** (HXS 1000 PREMIERE, Vorserie 2001) (siehe Abschnitt 3.4.5.1 auf Seite 52). Dieses Konsortium wird – Pressemeldungen folgend – in den nächsten Jahren ATS 7 Millionen in die Technologieevaluierung von SOFC-Heizgeräten investieren.
- (ii) **TIWAG:** Die TIWAG engagiert sich im Rahmen eines EU-Projekts (an die 7 Millionen ATS) an der Errichtung des derzeit größten europäischen Brennstoffzellen-Kraftwerks, einer **1 MW_e SOFC Anlage** in Marbach (D). Technische Informationen über die SOFC Technologie findet sich in Abschnitt 3.4.5.2 auf Seite 55. Der im Bereich des alten Dampfkraftwerks entstehende Gewerbepark eröffnet mit der Integration in das örtliche Wärmenetz ein interessantes Beispiel für eine auch durch thermische Einbindung optimierte Energienutzung. Ausschlaggebend für das Engagement der TIWAG in einem Projekt aus diesem Programm war die Überlegung – so **Dipl.-Ing. Michael Zoglauer** – dass Brennstoffzellen neben der Wasserkraft eine der wenigen Technologieoptionen sind, um die in Tirol anzulegenden Umweltkriterien einer großtechnischen Stromerzeugung erfüllen zu können. [L 80], [L 42]
- (iii) Die **STEWEG (ESTAG)** untersucht seit dem Jahr 1997 den Einsatz von **Brennstoffzellen-Heizgeräten** in Kooperation mit der TU-Graz (Inst. f. Wärmetechnik) und E.V.A. [L 4] Zusammen mit den Feistritzwerken und der TU-Graz ist die Installation eines PEFC Brennstoffzellen-Heizgerätes in Gleisdorf geplant. In den nächsten Jahren ist von Seiten der ESTAG Gruppe – laut Herrn **Dr. Gerhard Wolkerstorfer** – eine deutliche Schwerpunktsetzung auf dem Gebiet der Brennstoffzelle geplant in Kooperation der in diesem Bericht angeführten Universitätsinstitute in Graz (Inst. f. Hochspannungstechnik, Inst. f. Chem. Technologie Anorg. Stoffe, CD-Labor) und der E.V.A.
- (iv) Die **Austria Ferngas GmbH** erwarb Anfang der neunziger Jahre eine erste kommerzielle Vorserie einer **phosphorsauren Brennstoffzelle** der Firma **IFC/ONSI** (Typenbezeichnung: **PC25A**) und betraute die **Wiengas** und **EVN** mit der Abwicklung des Projekts. Die Lieferung der Anlage erfolgte Ende 1992. Nach Aussage von **Dipl.-Ing. Thomas Heissenberger** (E-Control) bewährte sich die Kerntechnologie in mehr als 22.000 Betriebsstunden. Keine einzige ungeplante Abschaltung wurde durch ein Versagen des Zellstapels hervorgerufen. Die **AUSTRIA FERNGAS** hat sich in Fortsetzung ihrer Brennstoffzellen-Aktivitäten als Sponsor an

einem Projekt der Studiengesellschaft Brennstoffzellen e.V. in Nürnberg beteiligt. Hier wird seit Beginn 1998 das neueste Modell der Firma ONSI, die **PC25C**, in Verbindung mit einer **Absorptionswärmepumpe** getestet. [L 3]

Weiters gibt es eine Reihe von Firmen/Institutionen, die großes Interesse an Entwicklungs- bzw. anderweitigen Aktivitäten bekunden, deren Involvierung bis dato zu keinen offiziellen Statements geführt hat. Anzuführen sind hierbei die Firmen: **Fronius**, **OMV Cogen**, **OMV**⁹⁹, **Hoval**, **VA-TECH**, **VAI**, **BOKU**, etc. Erwähnt werden sollten in diesem Zusammenhang die Membranentwicklungen der Firma **Fumatech** für PEFC, DMFC-Systeme (Teil des **BWT Konzerns** in Österreich), die allerdings in Deutschland abgewickelt werden.¹⁰⁰

⁹⁹ Hinsichtlich Aktivitäten bei stationären Brennstoffzellen-Anlagen.

¹⁰⁰ Weitere Informationen sind der Website: <http://www.fumatech.de> bzw. <http://www.bwt-group.com> zu entnehmen.

Tabelle 38 Österreichische Brennstoffzellen-Aktivitäten für stationäre Energiesysteme (Quelle: E.V.A.)

| | Grundlagen FTE | Prototypen | Pilot-/Demonstrationsanlagen |
|--|-------------------------------|---|---|
| Inst. f. Hochspannungstechnik (TU-Graz) | AFC, DMFC | AFC | |
| Inst. f. Wärmetechnik (TU-Graz) | Reformer PEFC | Reformer, PEFC | PEFC Heizgeräte (Kombianlagen) |
| ECHEM | PEFC | PEFC | |
| Plansee AG | SOFC Komponenten (PEFC?) | SOFC Komponenten | SOFC Komponenten |
| Inst. f. Verfahrenstechnik (TU-Wien) | Vergasung von fester Biomasse | Wirbelschicht-Vergaser (indirekt: PAFC, MCFC) | Wirbelschicht-Vergaser (indirekt: PAFC, MCFC) |
| Profactor | Reinigung von Biogas | Reinigung von Biogas (indirekt: PAFC, MCFC, SOFC) | Reinigung von Biogas (PAFC, MCFC, SOFC) |
| Vaillant Österreich | | | PEFC Heizgeräte |
| Energie AG | | | SOFC Heizgeräte |
| TIWAG | | | Kombianlagen (SOFC und Gasturbine) |
| STEWAG (ESTAG) | | | Brennstoffzellen-Heizgeräte |
| Austrian Ferngas | | | PAFC (PC25) |

Zusammenfassung:

In Österreich gibt es eine Reihe von Brennstoffzellen-Aktivitäten, die die relevanten Systeme und Applikationen testen. Grundlagen FTE – mit Ausnahme der Firma Plansee AG (SOFC-Komponenten) – konzentrieren sich vorwiegend auf die Niedertemperatur-Brennstoffzellen (ECHEM, TU-Graz) und Gasaufbereitungssysteme (TU-Graz, TU-Wien, PROFACTOR). Diese stehen zum Teil noch am Anfang (TU-Graz), zum Teil wurde bestehendes Know-how aus anderen Wissensgebieten auf Komponenten von Brennstoffzellen-Systemen erfolgreich transferiert bzw. weiterentwickelt (Plansee AG, PROFACTOR, TU-Wien). Eine Reihe von EU-Projekten konnten hierzu akquiriert werden, zum Teil treten österreichische Firmen/Institutionen bei derartigen Projekten als Koordinator auf (PROFACTOR, TU-Wien).

Bei PAFC, MCFC und SOFC-Systemen (Ausnahme: Entwicklung der bipolaren Platte für das SOFC Heizgerät der Firma Sulzer Hexis) gibt es keine Grundlagenarbeiten bei der Brennstoffzelle selbst, sondern die Aktivitäten konzentrieren sich auf Systemkomponenten

wie die Gasaufbereitung bzw. Gasreinigung (PROFACTOR, TU-Wien). Die österreichischen Forschungsinstrumente wie FWF, FFF, at:sd, K plus, K_{ind}/K_{net}, CDG werden in Anspruch genommen, allerdings scheint das Potenzial der Inanspruchnahme noch keineswegs erschöpft.

Das Engagement der EVUs/GVUs bei der Durchführung von Brennstoffzellen-Aktivitäten ist beträchtlich und hat sich in den letzten Jahren massiv verstärkt. Sowohl Brennstoffzellen-Heizgeräte als auch Kombianlagen bestehend aus Brennstoffzelle und Gasturbine sind zentrale Themen in österreichischen EVUs. (TIWAG, Energie AG, STEWEAG (ESTAG-Gruppe)). Kooperationen mit österreichischen Forschungsinstitutionen für die Projektbegleitung bestehen nur zum Teil (STEWEAG, TU-Graz). Das Interesse für phosphorsaure Brennstoffzellen für BHKW-Applikationen hat hingegen in den letzten Jahren abgenommen (AFG, EVN, Wienstrom). Bei einer weiteren Akzentuierung des Brennstoffzellen-Themas von Seiten der öffentlichen Hand kann davon ausgegangen werden, dass sich die Anzahl der österreichischen Firmen/Institutionen deutlich erhöht.

Festzustellen ist allerdings, dass Österreich im Themenfeld „Brennstoffzelle“ keine klassischen Anlagenlieferanten, Anlagenbauer bzw. Entwicklungsfirmen wie unsere Nachbarländer Deutschland (z.B. Siemens/Westinghouse, MTU, Vaillant, etc.) und Schweiz (z.B. Sulzer Hexis AG) vorzuweisen hat. Im Unterschied zu diesen Firmen haben österreichische Anlagenbauer wie Jenbacher AG, VA Tech bis dato keine Schwerpunktsetzungen hinsichtlich der Brennstoffzellen-Technologie geplant. Gründe hierfür werden von den Forschungs- und Entwicklungschefs der Firmen wie z.B. von Dr. Günter Herdin (Jenbacher) dahingehend beantwortet, dass speziell für längerfristige FTE Aktivitäten - mit Produktentwicklungszeiträumen > 5 Jahre - bestimmte konzerninterne Vorgaben hinsichtlich „Return on Investment“ nicht eingehalten werden können.¹⁰¹

¹⁰¹ Aussage basierend auf einem persönlichen Gespräch mit Dr. Günter Herdin anlässlich der Halleneröffnung der Firma Oberdorfer in Paternion (Kärnten), Juni 2001.

10 EMPFEHLUNGEN

Bis dato wurden in Österreich vorwiegend Disseminationsaktivitäten im Themenfeld „Brennstoffzelle“ von Seiten des BMVIT unterstützt, welche die Ergebnisse von aktuellen nationalen/internationalen Entwicklungen aufzeigen, und darauf aufbauend bestehende Projektmöglichkeiten für industrielle/öffentliche Unternehmen und Institutionen aktiv vorantreiben sollten („Know-How Transfer“).

Im Herbst vorigen Jahres wurden zwei Studien von Seiten des BMVIT vergeben, die bestehende Position Österreichs für stationäre und mobile Systeme zu evaluieren und Empfehlungen für eine etwaige Neupositionierung Österreichs in diesen Themenfeldern zu geben.

Als Resultat dieses Berichts wird für das Themenfeld „Brennstoffzellen-Systeme für stationäre Energiesysteme und tragbare Kleingeräte“ eine stärkere Positionierung Österreichs empfohlen. Nationale/internationale FTE Rahmenbedingungen bzw. nationale/internationale energiewirtschaftliche Trends sollten hierbei für die Neuausrichtung eine besondere Berücksichtigung finden. Diese sind:

- (i) Die nationalen FTE Leitlinien und Schwerpunkte, kommuniziert durch den Rat für Forschung und technologische Entwicklung [L 7] bzw. durch Entwürfe des österreichischen Energieforschungs- und Energietechnologiekonzepts (siehe Kapitel 7.10 auf Seite 125);
- (ii) Die europäischen/internationalen FTE Rahmenbindungen hinsichtlich Brennstoffzellen, die durch Programme der IEA bzw. europäischen FTE Programme (5. und 6. RP) kommuniziert werden (siehe die Kapitel 4.1, 4.2, 4.6 auf den Seiten 68, 74 und 83);
- (iii) Die europäischen und nationalen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen (z.B. die Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt, das EIWOG, bzw. Trends der österreichischen Wärmekraftwirtschaft) (siehe Kapitel 5 auf Seite 87);
- (iv) Nationale FTE Aktivitäten im Rahmen bestehender Instrumente im Themenfeld „Brennstoffzelle für stationäre Energiesysteme“ (siehe Kapitel 9 auf Seite 135).

Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen werden für die Brennstoffzellen folgende Zielsetzungen empfohlen:

- (i) Einbindung bestehender und Aufbau von österreichischer Spitzenforschung durch Beteiligungen an internationalen Aktivitäten (z.B. Teilnahme an IEA relevanten Implementing Agreements, EU-Programmen, etc.);
 - (ii) Stärkung der angewandten Forschung im Hinblick auf mittelfristige wirtschaftliche Umsetzung in neuen oder bestehenden Unternehmen (mit dem speziellem Fokus der Einbindung bzw. der Forcierung von Aktivitäten österreichischer KMU, siehe hierzu Kapitel 8 auf Seite 127);
 - (iii) Stärkung/Forcierung der Grundlagenforschung unter Nutzung nationaler bestehender Instrumente auf hohem wissenschaftlichen technologischen Niveau.
- Österreich kann auf dem Gebiet der Brennstoffzelle auf vereinzelte Forschungsaktivitäten (z.T. durchaus auf internationalem Niveau) vorweisen, z.T. sind diese erst in den letzten Jahren entstanden. Für die Erreichung obiger Zielsetzungen wird eine Bündelung bzw. Vernetzung österreichischer FTE Aktivitäten zum Aufbau einer kritischen Masse (Zusammenarbeit zwischen universitärer/außeruniversitärer Wissenschaft und Wirtschaft) empfohlen. Ein konkretes Beispiel bzw. Instrument für eine derartige Bündelung bzw. Vernetzung wäre durch einen Cluster¹⁰² zu erreichen.

Der oder die Cluster sollte(n) möglichst alle österreichischen Akteure – gemäß ihrer Rolle in der österreichischen FTE Landschaft (siehe Kapitel 9) – einbinden. Zur Erreichung der genannten Zielsetzungen werden konkret folgende Punkte vorgeschlagen:

- (i) Teilnahme an internationalen Programmen wie IEA-spezifischen Brennstoffzellen Implementing Agreements, Dissemination der internationalen FTE Aktivitäten, die in weiterer Folge zu klaren nationalen/internationalen Projekten/Aktivitäten (unter Nutzung bestehender Instrumente bzw. privaten Investoren) führen sollten (siehe Abschnitt 4.6 auf Seite 83);
- (ii) Unterstützungsaktivitäten für eine verstärkte Teilnahme an EU-Rahmenprogrammen unter besonderer Berücksichtigung der neuen Instrumente des 6. FTE Rahmenprogramms. Diese sind: Exzellenznetzwerke, integrierte Projekte und finanzielle Beteiligungen an gemeinsam durchgeführten nationalen Programmen (siehe Kapitel 4.1 auf Seite 68 und Kapitel 4.2 auf Seite 74), Beratungsdienstleitungen für beteiligungswillige Industrieunternehmen (inkl. „Innovation-Coaching“ für KMU, Vorschläge siehe Kapitel 8.6 auf Seite 133), Ausnutzung der maximalen Kofinanzierungsrahmen;
- (iii) Aufbau von neuer Kompetenz durch Initiierung von nationalen/internationalen Projekten („Know-how-Aufbau) unter Inanspruchnahme der zahlreichen nationalen horizontalen Förderinstrumente wie FWF, FFF, K_{ind}/K_{net}, CD, etc. (siehe Kapitel 7 beginnend ab Seite 117) unter besonderer Berücksichtigung von Punkt (i).

Ein direkter Mittelbedarf ist insbesondere für die internationalen Einbindungen der österreichischen FTE Aktivitäten und für den Aufbau möglichst nachhaltiger Strukturen zur Erreichung der Punkte (i) bis (iii) notwendig, die auch nach Ablauf von bestimmten Förderschienen weiter existieren können. Die hierfür notwendigen Mittel sind dadurch zu rechtfertigen, da es in Österreich kein Instrument für einen derartigen Technologieimpuls – insbesondere für das Themenfeld Brennstoffzelle – gibt.

¹⁰²Porter definiert Cluster als wirtschaftliche Stärkefelder durch horizontale und vertikale Kooperationen zwischen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und öffentlichen Institutionen.

Die Analyse der österreichischen FTE Landschaft hat ergeben, dass bis dato die österreichischen horizontalen FTE Instrumente (wie FWF, FFF, etc.) für nationale Projekte nur sehr vereinzelt in Anspruch genommen wurden und das Potenzial bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist. Für den Know-how Aufbau sollten diese Instrumente verstärkt in Anspruch genommen werden. Internationales Know-how, welche durch IEA- bzw. EU-Aktivitäten aufgebaut werden, könnten hierzu maßgeblich beitragen. Im Konkreten könnte eine möglichst nachhaltige Struktur in Form eines Clusters folgende Dienstleistungen anbieten bzw. forcieren:

- (i) **Kooperations- und Einzelprojekte:** Partnerfindung, Projektinitiierung, Umsetzungsunterstützung (z.B. „Innovation Coaching“ von KMU), Projektdurchführung (national und internationale Projekte) und Förderberatung;
- (ii) **Ansiedlung:** Gewinnung ansiedlungsbereiter Unternehmen, Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen;
- (iii) **Information und Kommunikation:** Fachveranstaltungen, Arbeitskreise, Internetplattform;
- (iv) **Qualifizierung:** Workshops, Round-Tables, Firmenbesuche;
- (v) **Öffentlichkeitsarbeit:** Internet-Homepage, Flyer, Fachpublikationen;
- (vi) **Internationalisierung:** Unternehmerreisen, Gemeinschaftsstände auf Messen, internationale Kontakte zu anderen Brennstoffzellen-Initiativen.

Ähnliche Strukturen haben in Deutschland (siehe das Kompetenz-Zentrum NRW, Kapitel 4.3.1 auf Seite 75) innerhalb von kurzer Zeit zu beachtlichen Erfolgen geführt. Es konnten beispielsweise innerhalb von zwei Jahren 22 Projekte mit einem Umsatz von über ATS 200 Millionen auf dem Gebiet der Brennstoffzelle akquiriert werden, die sowohl nationale, regionale und private Geldgeber involvierte.

Die FTE-Aktivitäten hinsichtlich stationärer und mobiler Brennstoffzellen-Systeme weisen sowohl eine Reihe von Synergien auf wie:

- (i) Grundlagen der Chemie, Elektrochemie, Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Elektrotechnik, etc.
 - (ii) sicherheitstechnische Fragestellungen, etc.
- als auch sehr unterschiedliche Frage- und Problemstellungen wie:
- (i) eingesetzte Brennstoffe und Infrastrukturfragen,
 - (ii) Produktapplikationen,
 - (iii) Produktentwicklungszeiträume,
 - (iv) Märkte und
 - (v) damit in Zusammenhang stehenden Rahmenbedingungen und Politiken.

Aus diesem Grund wird empfohlen, die Synergien zwischen den Themenbereichen der mobilen und stationären Systemen optimal zu nutzen, allerdings auf die unterschiedlichen Frage- und Problemstellungen unterschiedliche Strategien anzuwenden.

11 ZUSAMMENFASSUNG

Die Brennstoffzellen-Technologie repräsentiert eines der zahlreichen Zukunftsthemen, die einerseits in den letzten Jahren international sehr an Gewicht zulegen konnte, die andererseits in der nationalen FTE-Landschaft nicht eindeutig positioniert sind. Weltweite Entwicklungsanstrengungen großer Unternehmen und umfangreiche staatliche Förderprogramme (USA, Japan, EU, Deutschland, etc.) dokumentieren die Erwartung, dass mit dem Einsatz der Brennstoffzelle erhebliche Marktpotenziale erschlossen sowie Problemlösungen in der Energiewirtschaft, im Verkehrssektor und bei Kleingeräten gefunden werden können.

Der vorliegende Bericht versucht, ein speziell für Österreich möglichst realistisches, umfassendes und differenziertes Bild vom Stand der Entwicklung für stationäre Energiesysteme und für Kleingeräte zu geben. Dabei sollte dieses Bild einerseits Basis für die öffentlichen/industriellen Entscheidungsträger sein, das Thema „Brennstoffzelle“ neu für die österreichische Forschungslandschaft zu bewerten und zu positionieren, andererseits den vielen „stake holders“ als gute Informationsquelle für ihre weiteren Aktivitäten dienen.

Von den Firmen werden zur Zeit die folgenden Applikationen für den Einsatz in stationären Energiesystemen entwickelt:

- (v) Brennstoffzellen-Heizgeräte (bzw. Mikro-/Mini-BHKW Anlagen) für Ein- und Mehrfamilienhäuser bzw. für den industriellen/gewerblichen Sektor (z.B. kleine Hotels), vorwiegend auf Basis Erdgas als Energieträger. Typische elektrische Leistungsgrößen gehen bis 5 kW.
- (vi) BHKW-Systeme für öffentliche, industrielle/gewerbliche Applikationen (z.B. Krankenhäuser, Telekommunikationszentren, größere Hotelanlagen, etc.), vorwiegend mit Erdgas als Energieträger. Die Leistungsgrößen von derartigen Anlagen liegen bei ca. 200 kW_{el}. Der Energieträger Biogas gewinnt bei den FTE-Aktivitäten an Bedeutung.
- (vii) Kombianlagen bestehend aus Brennstoffzellen und Gasturbine (vorwiegend für industrielle Anwendungen und für EVUs bzw. für merchant power plants¹⁰³) ebenfalls mit Erdgas als Energieträger. Derartige Anlagen weisen bis dato Leistungsgrößen bis 1 MW_{el} auf, Konzeptionen gehen bis 70 MW_{el}.
- (viii) Notstromanlagen bzw. Inselsysteme.

Mit Ausnahme der PAFC BHKW Systeme¹⁰⁴ haben Brennstoffzellen bis dato den Status von Pilotanlagen nicht verlassen. Die Anzahl der Firmen, die sich mit FTE-Aktivitäten auf dem Brennstoffzellen-Sektor beschäftigen, hat sich in den letzten Jahren allerdings

¹⁰³Die erzeugte elektrische Energie dieser Großanlagen wird direkt an der Börse gehandelt bzw. die Umsätze an Börsen abgewickelt. Langfristige Lieferverträge zwischen Erzeuger bzw. IPP („Independent Power Producer“) und Netzgesellschaft liegen nicht mehr vor.

¹⁰⁴Die PAFC ist kommerziell verfügbar, allerdings wirtschaftlich mit konventionellen Systemen nicht konkurrenzfähig (siehe hierzu Kapitel 3.4.3, 3.6 und [L 3])

deutlich erhöht, insbesondere bei der Entwicklung von Brennstoffzellen-Heizgeräten. Die Durchführung (η -testing) von Demonstrationsprojekten (Feldtests) wird derzeit von verschiedenen Firmen geplant.

Neben dem Stand der Technik ist weiters wichtig zu analysieren, inwieweit sich von den Entwicklungsfirmen angebotenen Produkte für den Markt eignen. Hierfür wurden die Ergebnisse der bisherig vorliegenden FTE Ergebnisse – unter Berücksichtigung der Herstellerangaben - auf ihre Marktfähigkeit evaluiert (siehe Tabelle 39).

Tabelle 39 Applikation und Produktbewertung der derzeitigen Brennstoffzellen-Systeme (Quelle: Herstellerangaben und E.V.A.)

| Applika- tion/Type | Brennstoffzellen-Heizgeräten (bzw. Mikro-/Mini-BHKW) | | | BHKW | Kombianlage (BZ-GT) | Notstrom, Inselsystem | FTE Status |
|-----------------------|---|-------------------|-----------------------|------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 1-Familien | Mehr- familien | Industrie/ Gewerbe | | | | |
| AFC | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | + | Prototyp |
| PEFC | +++ | +++ | +++ | +++ | ~ | +++ | Pilotanlage |
| PAFC | ~ | ~ | ~ | ++ | ~ | + | Kommerziell verfügbar |
| MCFC | ~ | ~ | ~ | +++ | + | ~ | Pilotanlage |
| SOFC | + | +++ | +++ | +++ | +++ | ~ | Pilotanlage |

~ Applikation wird derzeit von den Entwicklungsfirmen für die angegebene Produktlinie nicht angeboten

⊕ Applikation wird von den Entwicklungsfirmen angeboten, Marktfähigkeit noch nicht durch erfolgreich abgewickelte Pilot- und Demonstrationsanlagen bestätigt

⊕⊕ Applikation wird von den Entwicklungsfirmen angeboten. Aufgrund der Ergebnisse der Demonstrationsprojekte ist die Marktfähigkeit nur für bestimmte Nischen gegeben.

⊕⊕⊕ Applikation wird von den Firmen entwickelt, prinzipielle Marktfähigkeit durch die Ergebnisse der bisherigen Pilotanlagen bestätigt.

Die FTE Aktivitäten für Brennstoffzellen-Systeme sind vorwiegend dadurch gekennzeichnet, die bestehenden Benchmarks von konventionellen Systemen in den bestehenden Märkten zu erreichen. Bei Erreichung dieser und in Kombination mit den intrinsischen Vorteilen der Brennstoffzelle – wie niedrige Emissionen an Spurengasen, hohe Wirkungsgrade, gutes Teillast-Verhalten, geringe Lärmemissionen und gute Strom/Spannungsqualität – können entscheidende Vorteile bei der Vermarktung verschiedener Produktapplikationen erzielt werden.

Im Mittelpunkt der FTE Aktivitäten der Entwicklungsfirmen stehen insbesondere:

- (i) Die Senkung der Kosten für Materialien, Komponenten und das Gesamtsystem;
- (ii) die Optimierung der Systemkomponenten (z.B. Regeltechnik) und des Gesamtsystems;
- (iii) die Erhöhung der Verfügbarkeit (bessere Standzeiten);
- (iv) die Abwicklung von erfolgreichen Demonstrationsprojekten (Demonstration der Funktionalität) und
- (v) das Erreichen der 40.000 Betriebsstunden für den Brennstoffzellen-Stack (Lebensdauer).

Eine Analyse der Kenndaten der österreichischen Wärmekraftwerke zeigt folgende Trends:

è **Trend zu effizienten Technologien bzw. Betriebsweisen**

è **Trend zu Erdgas als primärem Energieträger**

è **Trend zu erneuerbaren Energieträgern**

Insbesondere der letzte Trend manifestiert sich durch energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen wie das EIWOG (4 % RES bis zum Jahr 2007) und die EE-Richtlinie¹⁰⁵ (8 % RES bis zum Jahr 2010).

¹⁰⁵ EE Richtlinie ist die Abkürzung für die Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt.

Wird der Leistungsbereich berücksichtigt, für den Brennstoffzellen-Systeme für stationäre Applikationen (BHKW-Anlagen, Notstrom- und Spitzenstrom-Anlagen) primär entwickelt werden, so ist dies ein Leistungsbereich $\Omega 1 \text{ MW}_{\text{el}}$. Dies ist weiters jener Leistungsbereich, der bis dato vornehmlich von Verbrennungsmotoren abgedeckt wurde und der von den Brennstoffzellen-Systemen – unter Berücksichtigung der Aussagen in den Kapiteln 3.5, 3.6 und 3.7 – theoretisch substituiert werden kann. Langfristige EU-Prognosen (siehe Kapitel 4.1.2) gehen sogar davon aus, dass Brennstoffzellen-Systeme das Potenzial aufweisen alle konventionellen Energietechnologien zu substituieren.

Unter weiterer Berücksichtigung der verschiedenen Zielsetzungen der Herstellerfirmen und den energiewirtschaftlichen Voraussetzungen in Österreich ergäbe sich ein theoretisches Einsatzpotenzial für die Brennstoffzelle – bei Substitution aller Wärmekraftwerke mit einer elektrischen Leistung $< 10 \text{ MW}_{\text{el}}$ – von an die 350 MW.

In Österreich gibt es eine Vielzahl von Brennstoffzellen-Aktivitäten. Grundlagen FTE – mit Ausnahme der Firma Plansee AG (Entwicklung der bipolaren Platte für SOFC-Systeme) – konzentrieren sich vorwiegend auf die Niedertemperatur-Brennstoffzellen (ECHEM, TU-Graz) und Gasaufbereitungssysteme (TU-Graz, TU-Wien, PROFACTOR). Diese stehen zum Teil noch am Anfang (TU-Graz), zum Teil wurde bestehendes Know-how aus anderen Wissensgebieten auf Komponenten von Brennstoffzellen-Systemen erfolgreich transferiert bzw. weiterentwickelt (Plansee AG, PROFACTOR, TU-Wien). Eine Reihe von EU-Projekten konnten hierzu akquiriert werden, zum Teil treten österreichische Firmen/Institutionen bei derartigen Projekten als Koordinatoren auf (PROFACTOR, TU-Wien).

Das Engagement der EVUs/GVUs bei der Durchführung von Brennstoffzellen-Aktivitäten ist beträchtlich und hat sich in den letzten Jahren massiv verstärkt. Sowohl Brennstoffzellen-Heizgeräte als auch Kombianlagen bestehend aus Brennstoffzelle und Gasturbine sind zentrale Themen in den FTE-Aktivitäten österreichischer EVUs. (TIWAG, Energie AG, STEWEAG/ESTAG-Gruppe). Kooperationen mit österreichischen Forschungsinstitutionen für die Projektbegleitung bestehen nur zum Teil (STEWEAG, TU-Graz). Das Interesse für phosphorsaure Brennstoffzellen für BHKW-Applikationen hat hingegen in den letzten Jahren abgenommen (AFG, EVN, Wienstrom).

Für die zukünftigen österreichischen Brennstoffzellen-Aktivitäten werden folgende Zielsetzungen empfohlen:

- (i) Einbindung bestehender und Aufbau von österreichischer Spitzenforschung durch Beteiligungen an internationalen Aktivitäten (z.B. Teilnahme an IEA-relevanten Implementing Agreements, EU-Programmen, etc.);
- (ii) Stärkung der angewandten Forschung im Hinblick auf mittelfristige wirtschaftliche Umsetzung in neuen oder bestehenden Unternehmen (mit dem speziellen Fokus der Einbindung bzw. der Forcierung von Aktivitäten österreichischer KMU, siehe hierzu die Vorschläge in Kapitel 8 auf Seite 127);
- (iii) Stärkung/Forcierung der Grundlagenforschung unter Nutzung nationaler bestehender Instrumente auf hohem wissenschaftlichen technologischen Niveau.

Für die Erreichung obiger Zielsetzungen wird eine Bündelung bzw. Vernetzung österreichischer FTE Aktivitäten zum Aufbau einer kritischen Masse (Zusammenarbeit zwischen universitärer/außeruniversitärer Wissenschaft und Wirtschaft) empfohlen, die beispielsweise mittels einer möglichst nachhaltigen Struktur in Form eines oder mehrerer Cluster erzielt werden kann.

Ein direkter Mittelbedarf ist insbesondere für die internationale Einbindung der österreichischen FTE Aktivitäten und für den Aufbau möglichst nachhaltiger Strukturen notwendig, die auch nach Ablaufen von bestimmten Förderschienen weiter existieren können. Die hierfür notwendigen Mittel sind dadurch zu rechtfertigen, da es in Österreich kein Instrument für einen derartigen Technologieimpuls gibt.

Die Analyse der österreichischen FTE Landschaft hat ergeben, dass bis dato die österreichischen horizontalen FTE Instrumente (wie FWF, FFF, etc.) für nationale Projekte nur sehr vereinzelt in Anspruch genommen wurden und das Potenzial bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist. Für den Know-how Aufbau sollten diese Instrumente verstärkt in Anspruch genommen werden.

Im Konkretum könnte eine derartige Struktur in Form eines Clusters folgende Dienstleistungen anbieten bzw. forcieren:

- (i) Kooperations- und Einzelprojekte: Partnerfindung, Projektinitiierung, Projektdurchführung (sowohl nationale als auch internationale Projekte), Umsetzungsunterstützung und Förderberatung;
- (ii) Ansiedlung: Gewinnung ansiedlungsbereiter Unternehmen, Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen;
- (iii) Information und Kommunikation: Fachveranstaltungen, Arbeitskreise, Internetplattform;
- (iv) Qualifizierung: Workshops, Round-Tables, Firmenbesuche;
- (v) Öffentlichkeitsarbeit: Fachpublikationen, Internet-Homepage, Flyer;
- (vi) Internationalisierung: Unternehmerreisen, Gemeinschaftsstände auf Messen, internationale Kontakte zu anderen Brennstoffzellen-Initiativen.

Ähnliche Strukturen haben in Deutschland (siehe das Kompetenz-Zentrum in Nordrhein Westfalen) innerhalb von kurzer Zeit zu beachtlichen Erfolgen geführt. Es konnten beispielsweise innerhalb von zwei Jahren 22 Projekte mit einem Umsatz von über ATS 200 Millionen auf dem Gebiet der Brennstoffzelle akquiriert werden, die sowohl nationale, regionale als auch private Geldgeber involvierte („publicprivate partnerships“).

12 LITERATUR

- [L 1] G. Simader, „**Brennstoffzellen als Element einer nachhaltigen Energieinnovation für die österreichische Energiewirtschaft**“, Dissertation, Graz, 1994
- [L 2] G. Simader, K. Kordesch, „**Fuel Cells and their Applications**“, VCH, Weinheim, 1996
- [L 3] G. Simader, Th. Heissenberger, „**Brennstoffzellen-Systeme – Energietechnik der Zukunft?**“, Informationsbroschüre im Rahmen des bmvit Projekts: „Brennstoffzellen-Informationeninitiative“, Wien, 1999
- [L 4] G. Simader, et. al., „**Brennstoffzellen für die dezentrale Energienutzung**“, Studien für die STEWEAG, Wien, 1997, 1998, 2000/2001, 2001
- [L 5] G. Simader, „**Brennstoffzellen-Systeme: Energiekonverter für das 21. Jahrhundert**“, Präsentation im Rahmen eines Brennstoffzellen-Workshops der Energie AG OÖ, Linz, 11. Oktober 1999
- [L 6] BMBWK, „**Forschungs- und Technologiebericht 2001**“, Wien, 2001
- [L 7] Rat für Forschung und Technologieentwicklung, allgemeine Informationen hinsichtlich österreichischer FTE Anstrengungen, <http://www.rat-fte.at/> (August 2001)
- [L 8] DOE-FETC, „**Fuel Cell Handbook, Fourth and Fifth Edition**“, Morgantown (WV), 1998 und 2000
- [L 9] Ballard Power Systems, „**Annual Report 2000**“, Burnaby (B.C., Canada), 2000
- [L 10] J. C. Amphlett, B. A. Peppley, „**Fuel Processing Options for PEFC Systems**“, 1st European PEFC Forum, Proceedings, 2. – 6. Juli 2001, Luzern, pp. 357 – 366
- [L 11] M. A. Pena, J. P. Gomez, J. L. G. Fierro, „**New Catalytic Routes for Syngas and Hydrogen Production**“ Applied Catalysis A: General **144** (1996) 7 - 57
- [L 12] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sections: „**Hydrogen**“, „**Methanol**“, „**Gas Production**“, Weinheim, 1998
- [L 13] K. Meitz, P. Prenninger, V. Hacker, K. Kordesch, „**Alkalische Brennstoffzellensysteme für Fahrzeugantriebe – eine mögliche Antwort auf offene Problemstellungen**“, Publikation überreicht von V. Hacker, Graz, Oktober 2001
- [L 14] G. Faleschini, V. Hacker, M. Muhr, K. Kordesch, R. Aronson, „**Ammonia**“

for High Density Hydrogen Storage“, Fuel Cell Seminar 2000, Portland (OR), November 2000, pp. 336–339

[L 15] Hacker, P. Enzinger, M. Muhr, K. Kordesch, J. Gsellman, M. Cifrain, P. Prenninger, K. Meitz, R. Aronsson „**Advantages of Alkaline Fuel Cell Systems for Mobile Applications**“, Fuel Cell Seminar 2000, Portland (OR), November 2000, pp. 336–339

[L 16] K. Kordesch, V. Hacker, U. Bachhiesl, „**Direct Methanol-Air Fuel Cells with Membranes plus circulating Electrolyte**“, J. Power Sources **96** (2001) 200 - 203

[L 17] T. E. Springer, T. Rockward, T.A. Zawodzinski, Sh. Gottesfeld, „**Model for Polymer Electrolyte Fuel Cell Operation of Reformate Feed**“, J. of the Electrochemical Society **148** (2001) A11 – A23

[L 18] Zetek, **Produktinformationen**, http://www.zetekpower.com/public_html/Catalogue.htm; September 2001

[L 19] Intema Consult, „**Brennstoffzellenforschung, -entwicklung und –vermarktung in der mobilen Anwendung**“, Endbericht für das BMVIT, Graz, Januar 2001

[L 20] OPET CORA, „**Brennstoffzellen im stationären Einsatz: Anwendung, Praxiserfahrung und Wirtschaftlichkeit**“, OPET-Veranstaltung, Leipzig, März, 2001

[L 21] VDI, "**Energieversorgung mit Brennstoffzellen-Anlagen**", VDI-Berichte 1174, 1995

[L 22] VDI, "**Energieversorgung mit Brennstoffzellen-Anlagen**", VDI-Berichte 1383, Essen, 1998

[L 23] VDI, „**Stationäre Brennstoffzellen: Markteinführung**“, VDI-Berichte, Heilbronn, April 2001

[L 24] VDI, „**Fortschrittliche Energiewandlung und –anwendung, Schwerpunkt: Dezentrale Energiesysteme**“, VDI-Berichte 1594, Bochum, März 2001

[L 25] VGB, „**Kraftwerke 2000**“, Proceedings, Düsseldorf, Oktober 2000

[L 26] Stadt Frankfurt am Main, „**Richtpreisübersicht MHKW-Anlagen 2000**“, Frankfurt, 2000

[L 27] IEA, „**Projected Costs of Generating Electricity, Update 1998**“, Paris, 1998

[L 28] Fuel Cell Information Center, „**Fuel Cell RD & D in Japan**“, Tokyo, Berichte aus den Jahren 1997, 1998, 1999 und 2000

[L 29] US-DOE, "**Fuel Cell Review Meetings**", Berichte aus den Jahren 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999

[L 30] Fuel Cell Engineering Co., "**MCFC Product Development Test**", Annual Report, Morgantown (USA), 1998

- [L 31] G. Simader, V. Hacker, "**Stand der Technik von Karbonatschmelze-Brennstoffzellen für den Einsatz in stationären Energiesystemen**", Endbericht für die ELIN, TU-Graz, 1997
- [L 32] MTU-Broschüre, "**Das Brennstoffzellen-Kraftwerk**", www.mtu-friedrichshafen.com, September 2001
- [L 33] G. Huppmann, "**Brennstoffflexibilität bei MCFC: Stand der Technik und aktuelle Entwicklungen**", Referat im Rahmen der Veranstaltung: "Biogas-Brennstoffzellen-Systeme", Steyr, Mai 2001
- [L 34] A. J. Appleby, „**New Materials for Fuel Cell Systems**“, First International Symposium on New Materials for Fuel Cell Systems, Montreal (Ontario, Canada), July 9 - 13, 1995, pp. 2 - 35
- [L 35] N. Q. Minh, "**Ceramic Fuel Cells**", Journal of the American Ceramic Society **76** (1993) 563 - 588
- [L 36] M. Nurdin, „**The Fuel Cell Home**“, Proceedings, Luzerne, Juli 2001
- [L 37] F. N. Büchi, G. Scherer, A. Wokaun, „**1st European PEFC Forum**“, Proceedings, Lucerne, July 2001
- [L 38] DG Research, „**Conference on Fuel Cell Research and Development**“, Preparatory Meeting held on 7/3/00 in Brussels, March 2000
- [L 39] W. Glatz, B. Doggwiler, „**Endkonturnahe PM-Fertigung von Interkonnektoren aus Cr-Basislegierungen für oxidkeramische Brennstoffzellen (SOFC)**“, Hagener Symposium Pulvermetallurgie „Neue Märkte – neue Produkte“, Hagen, November 2000
- [L 40] Spencer Management Associates, „**Market Prospects and Strategies to Accelerate the Deployment of Fuel Cells in Distributed Power Generation**“, Bericht im Rahmen eines IEA-Projekts, Paris, August 2001 (informeller Bericht)
- [L 41] TAB, „**TA-Projekt: „Brennstoffzellen-Technologie**“, TAB-Arbeitsbericht Nr. 67, Dezember 2000, Berlin
- [L 42] E.V.A., „**Brennstoffzellen-Systeme für stationäre Anwendungen**“, Workshop, Wien, Januar 2001 (<http://www.eva.ac.at/service/veranst/fuelcell3.htm>)
- [L 43] Profactor, E.V.A., BMVIT, „**Biogas-Brennstoffzellen Systeme**“, Proceedings, Steyr, Mai 2001
- [L 44] Stadt Frankfurt am Main, „**Richtpreisübersicht MHKW-Anlagen**“ für die Jahre 1999, 2000, Frankfurt am Main, 1999 und 2000
- [L 45] EU, „**Energie, Umwelt und nachhaltige Entwicklung, Aktualisierte Fassung des Arbeitsprogramms**“, Juli 2001, Teil B: Energie, Prioritäten und Ablaufpläne 2001 – 2002
- [L 46] Joanneum Research, „**Evaluierung der österreichischen Beteiligung am 4. Rahmenprogramm der EU für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration**“, Wien, April 2001
- [L 47] Renewable Energy Unit, „**Market Prospects and Strategies to**

Accelerate the Deployment of Fuel Cells in Distributed Power Generation", IEA, August 2001 (informeller Bericht)

[L 48] US-DOE, "**Strategic Plan for Distributed Energy Resources**", prepared by the Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, the Office of Fossil Energy, September 2000

[L 49] Fuel Cell Information Center, diverse Berichte aus den Jahren 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, Tokyo

[L 50] Fuel Cell Seminar 2000, CD, Portland (Oregon, USA), 2000

[L 51] BMWA, Bundeslastverteiler, „**Betriebsstatistiken 1997, 1998, 1999**“, Wien

[L 52] BMWA, Bundeslastverteiler, „**Betriebsstatistik 1998, Bestandsstatistik 1998, Gesamtergebnisse**“, Wien, 1999

[L 53] BMWA, Bundeslastverteiler, „**Kraft-Wärme-Kopplung in Österreich: Statistik der Heizkraftwerke für 1996, 1997, 1998**“, Wien

[L 54] BMWA, „**Energieberichte 1993 und 1996**“, Wien

[L 55] BMUJF, „**Emissionsbegrenzung und Anwendungsbereiche von stationären Motoren**“, Band 4/1999, Wien, 1999

[L 56] G. Simader, „**Micro-scale CHP in Austria**“, Workshop „Combined Heat & Power in a Liberalised Electricity Market“, Dublin, 29th March 2000

[L 57] W. Suttor, „**Praxis Kraft-Wärme-Kopplung**“, 35. Erg.Lfg. August 2001, Verlag C.F. Müller, Heidelberg

[L 58] Petra Haßlacher (ÖEKV), „**Typology of CHP plants in Austria**“, im Rahmen des EU-Projekts „PROSMACCO“, Athen, Februar 2000

[L 59] W. Janik, „**Beheizung der Wohnungen 2000**“, Mikrozensus 2001, Statistische Nachrichten Juni 2001, S. 401 – 407

[L 60] ÖSTAT, „**Energieverbrauch der Haushalte 1996/1997**“, Ergebnisse des Mikrozensus Juni 1997, Heft 1.279, Wien 1998

[L 61] Firma Oberdorfer, **Referenzliste**, Dezember 2000

[L 62] DG RESEARCH, „**Integration of Renewable Energy Sources and Distributed Generation in Energy Systems**“, Konferenz, Brüssel, September 2001

[L 63] VDEW-Projektgruppe „Brennstoffzellen“, „**Brennstoffzellen – eine Option für EVU?**“, Elektrizitätswirtschaft **24** (2000) 60 - 66

[L 64] BMWA, „**Technische Grundlage für die Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren**“, Wien, 2001

[L 65] G. McLean, T. Niet, S. Prince-Richard, N. Djilali, „**An Assessment of Alkaline Fuel Cell Technology**“, forthcoming publication in the International Journal of Hydrogen Energy

[L 66] David Linden, "**Handbook of Batteries**", Second Edition, McGraw Hill, Inc., New York, 1994

-
- [L 67] J. P. Daum, "**Determining the Costs of Hydrogen**", Inform, Vol. 4, No 12 1993
- [L 68] W. A. Amos, „**Costs of Storing and Transporting of Hydrogen**“, NREL-Report, Golden (USA), 1998
- [L 69] C.E.G. Padro, V. Putsche, „**Survey of the Economics of Hydrogen Technologies**“, MREÖ/TP-570-27079, Golden (USA), 1999
- [L 70] R.G. Hockaday, „**MicroFuel Cells™ For Portable Electronics**“, San Diego, 2000
- [L 71] J. A. Peterson, „**Micropower: The Next Electrical Era**“, Worldwatch Paper 151, Worldwatch Institute, July 2000
- [L 72] M. Cerveny, A. Veigl, „**Einspeisungen elektrischer Energie aus erneuerbaren Energieträgern in das öffentliche Netz (Einspeisetarife und Zuschläge zu den Systemnutzungstarifen)**“, EVA, Wien, März 2001
- [L 73] EU, „**Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt**“, Brüssel, August 2001
- [L 74] R. Schanda, „**Strom aus erneuerbaren Energieträgern in Österreich**“, Orac, Wien, 2001
- [L 75] R. Haas, M. Berger, L. Kranzl, „**Strategien zur weiteren Forcierung erneuerbarer Energieträger in Österreich unter besonderer Berücksichtigung des EU-Weissbuches für erneuerbare Energie und der Campaign for Take-off**“, Wien, April 2001
- [L 76] FFF, „**Jahresbericht 2000**“, Wien, 2001 und aktuelle Infos auf der FFF-Website: <http://www.fff.co.at> (Oktober 2001)
- [L 77] DG Research, „**Conference on Fuel Cell Research and Development**“, Proceedings, Brüssel, März 2000
- [L 78] BMWi, „**Energieforschung: Investition in die Zukunft**“, Berlin, 2001
- [L 79] G. Glaze, Präsentation im Rahmen des **OPET AGM Meetings** in Sorrento, Sorrento (Italien), April 2001
- [L 80] M. Zoglauer, „**Die Erwartungen in Projekte zur Entwicklung und Demonstration von Brennstoffzellen**“, VEÖ Journal, 6 (2001) 30 –32
- [L 81] Schwerpunktthema „**Brennstoffzellen**“ im VEÖ-Journal 6 (2001) 29 – 56
- [L 82] Andreas Markom, „**Rolle von KMU's für die Produkt- und Komponentenentwicklung von Brennstoffzellensystemen (Stationärbetrieb) in Österreich**“, Bericht im Rahmen des FuelCell-III Projektes, Juli 2001
- [L 83] M. Porter, „**Competition and Competitiveness Laboratory: Building Competitive Clusters**“, Harvard Business School, Vorlesung Winter 1998

13 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| Abbildung 1 Schematischer Aufbau einer Brennstoffzelle (Quelle: E.V.A.) _____ | 13 |
| Abbildung 3 <u>Oben:</u> Konzeptionelles Design einer sich wiederholenden Brennstoffzellen-Einheit basierend auf einer phosphorsauren Brennstoffzelle (Quelle: [L 8]) <u>Unten:</u> Integrative Darstellung von sich wiederholenden PEFC-Brennstoffzellen-Einheiten in einem Brennstoffzellen-Stack (Quelle: [L 10]) _____ | 14 |
| Abbildung 5 Beispiel für einen technisch realisierten 75 kW Brennstoffzellen-Stack von Ballard Power Systems (Mark 900) [Quelle: Ballard Power Systems, Inc.] _____ | 15 |
| Abbildung 7 Abbildung einer Strom-/Spannungskurve bzw. Strom-/Leistungskurve einer Brennstoffzelle (Quelle: [L 8]) _____ | 16 |
| Abbildung 9 Einfluss von Betriebsparametern auf die Zellspannung bzw. Zelleistung von Brennstoffzellen (Quelle: [L 8]) _____ | 17 |
| Abbildung 11 Abhängigkeit des Reformierungskonzeptes von der verwendeten Brennstoffzelle (Quelle: [L 3]) _____ | 18 |
| Abbildung 12 Allgemeiner Aufbau einer erdgasbetriebenen Brennstoffzellen-Anlage (Quelle: E.V.A.) _____ | 22 |
| Abbildung 13 <u>Oben:</u> 2,8 kW AFC Stack der Firma ZETEK (bestehend aus 8 seriell geschalteten MK2 Modulen) <u>Unten:</u> Strom/Spannungskurve eines MK2 Moduls (0,4 kW) bestehend aus sechs Zellgruppen seriell, die wiederum aus 4 parallelen Zellen zusammengefasst sind (insgesamt 24 Zellen). (Quelle: Zetek) _____ | 26 |
| Abbildung 15 Leistungsentwicklung von PEFC (Quelle: [L 8]) _____ | 28 |
| Abbildung 17 Firmenkonglomerat der Firma Ballard Power Systems für die stationäre Brennstoffzellen-Entwicklung (Quelle: Ballard Power Systems) _____ | 29 |
| Abbildung 19 250 kW _{el} -Anlage der Firma Alstom Ballard bei der BEWAG in Deutschland (Quelle: Alstom Ballard) _____ | 30 |
| Abbildung 21 <u>Oben:</u> Konzeptionelles Design der P2B; <u>unten:</u> Flussdiagramm der P2B-Anlagen von Alstom Ballard (Quelle: Alstom Ballard) _____ | 31 |
| Abbildung 23 <u>Oben:</u> Prozessflussbild des Vaillant Brennstoffzellen-Heizgerätes <u>Unten:</u> Dummy-Version des Vaillant PEFC Heizgeräts (Quelle: Vaillant) _____ | 34 |
| Abbildung 25 Prototyp der 3 kW _{el} Einheit von Dais Analytic Corp. (Quelle: Dais-Analytic Corp.) _____ | 35 |
| Abbildung 26 Design der 1 kW Propan PEFC (links) und 5 kW Erdgas PEFC Anlagen (rechts) (Quelle: Nuvera) _____ | 35 |
| Abbildung 28 3 kW _{el} PEFC Pilotanlage der Firma IdaTech (Quelle: IdaTech) _____ | 36 |
| Abbildung 30 Historische Entwicklung der Leistungsdaten von PAFC Systemen (Wasserstoff angereicherte Synthesegase / Luft) (Quelle: [L 8]) _____ | 38 |
| Abbildung 32 Vereinfachtes Systemdiagramm von PAFC und PEFC Systemen (Quelle: [L 4]) _____ | 39 |
| Abbildung 34 Ansicht der PC25-C (200 kW _{el}) von ONSI (Quelle: IFC) _____ | 39 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 35 Kostenprognose und Preisentwicklung der PC 25 von ONSI (Quelle: [L 24]) _____ | 40 |
| Abbildung 37 Emissionswerte von phosphorsauren Brennstoffzellen (ONSI PC25C) und Mikro-Gasturbinen im Vergleich zu den Emissionsgrenzwerten der LRV-K, der TA-Luft und eines Gasmotors „Stand der Technik“ und den ÖKK-Auflagen zur Erlangung einer Investförderung. (Quelle: [L 4]) _____ | 41 |
| Abbildung 38 Historische Leistungsentwicklung von MCFC Systemen (Quelle: [L 8]) _____ | 44 |
| Abbildung 40 <u>Oben:</u> 250 kW _{el} Anlage der Firma MC-Power <u>Unten:</u> 2 MW _{el} Anlage der Firma ERC (Quelle: DOE) _____ | 45 |
| Abbildung 41 Konzeptionelles Design und Foto des „Hot-Modules“ der Firma MTU (Quelle: [L 36]) _____ | 46 |
| Abbildung 43 Funktionsprinzip der elektrochemischen Reaktionen in einer SOFC (Quelle: [L 2]) _____ | 48 |
| Abbildung 45 Oxidkeramische Brennstoffzellen-Designs (Quelle: [L 4]) _____ | 51 |
| Abbildung 47 Sulzer Hexis Brennstoffzellen-Modul, Prozessschema und Foto der Anlage. (Quelle: Sulzer Hexis AG) _____ | 52 |
| Abbildung 49 Hydraulische Schaltung der einzelnen Komponenten des Wärmekraftkopplungs-Systems von Sulzer Hexis (Quelle: Sulzer Hexis AG) _____ | 53 |
| Abbildung 51 Strom-/Spannungskurve einer Sulzer Hexis Anlage mit variablen CH ₄ /CO ₂ -Gemischen (für die Simulation von möglichen Biogas-Zusammensetzungen) (Quelle: Sulzer Hexis) _____ | 55 |
| Abbildung 52 Foto und Systemkonzept der 100 kW _{el} Pilotanlage des holländisch/dänischen EVU-Konsortiums in Arnherm, Niederlande (Quelle: Siemens/Westinghouse) _____ | 56 |
| Abbildung 54 Systemdiagramm und Konzeption einer 1 MW _{el} SOFC/Gasturbinen Hybridanlage (Quelle: Siemens/Westinghouse) _____ | 57 |
| Abbildung 56 Typischer FTE&D-Zyklus der Produktentwicklung von Energietechnologien von der Forschung bis hin zur Kommerzialisierung (Quelle: E.V.A.) _____ | 60 |
| Abbildung 58 Vereinfachtes Systemkonzept von PEFC (links) und SOFC (rechts); Systeme mit Erdgas als Brennstoff _____ | 62 |
| Abbildung 60 Richtpreise von KWK-Anlagen als Funktion der elektrischen Leistung für Erdgas- (obere Linie) und Heizöl- (untere Linie) Motoren bis 1000 kW _{el} (Quelle: [L 46]) _____ | 64 |
| Abbildung 61 Preiskonditionen für Vollwartungsverträge für Erdgas BHKW-Anlagen basierend auf [L 27] _____ | 66 |
| Abbildung 63 EU-Förderung von Brennstoffzellen-Projekten seit 1995 in Form von Projekten und Budgets (Quelle: [L 45]) _____ | 68 |
| Abbildung 65 Nationale Brennstoffzellen-Förderungen in Deutschland aufgeschlüsselt nach Brennstoffzellen-Typen und Jahr (Quelle: BEO) _____ | 76 |
| Abbildung 67 Visualisierung des Kompetenz-Netzwerk Brennstoffzellen NRW (Quelle: BEO) _____ | 77 |
| Abbildung 68 SECA „Solid State Energy Conversion Alliance“ Programm, Initiative im Rahmen des „Strategic Plan for DER“ (Quelle: [L 48]) _____ | 80 |
| Abbildung 70 Übersicht der japanischen FTE-Projekte (Quelle: [L 52]) _____ | 83 |
| Abbildung 71 Kraft-Wärme-Kopplung in Österreich, Anteile in Prozent, Gesamt-Bruttostromerzeugung im Jahr 1999: 18.623,4 GWh (Quelle: [L 52]) _____ | 87 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 73 Anteil der KWK an der Stromerzeugung in Europa in den Jahren 1995, 1997 und 1998 (Quelle: [L 60]) _____ | 90 |
| Abbildung 75 Konzeptionelles Design des Klärgas-Projektes in Köln (Quelle: GEW Köln) _____ | 97 |
| Abbildung 76 Manhattan Scientific's Konzept eines CH ₃ OH betriebenen mobilen Telefons (Quelle: [L 75]) _____ | 109 |
| Abbildung 77 Volumen und Gewicht eines tragbaren Brennstoffzellen-Systems (BZ) in Abhängigkeit von der Kapazität, Annahmen zur Berechnung: gravimetrische Energiedichte von Hydridspeichern: 200 Wh/kg, volumetrische Energiedichte von Hydridspeichern: 750 Wh/dm ³ (Quelle: [L 41]) _____ | 113 |

14 TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Tabelle 1 Übersicht über die verschiedenen Brennstoffzellen-Typen (Quelle: E.V.A.) | 24 |
| Tabelle 2 Materialien und Herstellverfahren für AFC Zellstapel (Quelle: [L 65]) | 25 |
| Tabelle 3 PEFC Materialien und Herstellverfahren (Quelle: [L 8]) | 27 |
| Tabelle 4 Leistungs-Eckdaten der P2B Anlagen in Berlin und Basel (Quelle: Alstom Ballard) | 29 |
| Tabelle 5 Anbieterfirmen von Brennstoffzellen-Systemen < 25 kW _{el} (Quelle: [L 4] und E.V.A.) | 33 |
| Tabelle 6 Historische Entwicklung der eingesetzten Materialien in den PAFC Zellkomponenten (Quelle: [L 8]) | 37 |
| Tabelle 7 Technische Daten der Brennstoffzelle PC 25-C (Quelle: [L 4]) | 40 |
| Tabelle 8 Historische Entwicklung der eingesetzten Materialien in den MCFC Zellkomponenten (Quelle: [L 8]) | 43 |
| Tabelle 9 Charakteristika des Hot-Modules (Quelle: [L 33]) | 47 |
| Tabelle 10 Historische Entwicklung der Zellkomponenten von oxidkeramischen Brennstoffzellensystemen (Quelle: [L 8], [L 34]) | 50 |
| Tabelle 11 Sulzer's Feldtests von 1997 bis 2001 (Quelle: Sulzer Hexis AG) | 53 |
| Tabelle 12 Technische Daten der Sulzer Hexis 2001 Brennstoffzelle (Quelle: Sulzer Hexis AG) | 54 |
| Tabelle 13 Liste der Pilotprojekte der Firma Siemens-Westinghouse (Quelle: [L 36]) | 56 |
| Tabelle 14 Zukünftige Pilotprojekte der Firma Siemens/Westinghouse (Quelle: [L 36]) | 57 |
| Tabelle 15 Stand der Technik der verschiedenen Brennstoffzellen-Systeme (September 2001) (Quelle: Herstellangaben und E.V.A.) | 60 |
| Tabelle 16 Applikation und Produktbewertung der derzeitigen Brennstoffzellen-Systeme (Quelle: Herstellerfirmen und E.V.A.) | 63 |
| Tabelle 17 Wirkungsgrade von Erdgas und Heizöl BHKW-Anlagen (Quelle: [L 44]) | 65 |
| Tabelle 18 Nationale und europäische Fördermittel für Brennstoffzellen-Systeme pro Jahr im Vergleich zu den USA (Basisjahr: 1999) (Quelle: [L 42]) | 68 |
| Tabelle 19 Kurz- und mittel-/langfristige FTE Schwerpunkte im 5. RP der EU (Quelle: [L 42]) | 71 |
| Tabelle 20 Übersicht der US Demonstrationsprojekte (Quelle: [L 48]) | 81 |
| Tabelle 21 F&E Budgets in Japan (Quelle: [L 40]) | 82 |
| Tabelle 22 Teilnehmende Länder in den verschiedenen Brennstoffzellen-Tasks (Quelle: [L 40]) | 86 |
| Tabelle 23 Strom- und Wärmeerzeugung in GWh (1999) (Quelle: [L 52]) | 87 |
| Tabelle 24 Nächste Seite: Leistung und Erzeugung von betriebsbereiten Wärmekraftwerken nach Differenzierung in Technologien und Sektoren (Quelle: [L 53]). | 88 |
| Tabelle 25 Wohnungen nach Art der Heizung und verwendeten Heizmaterialien (Quelle: [L 59]) | 92 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 26 Strom aus erneuerbaren Energiequellen (in den Zahlen ist auch die Großwasserkraft enthalten) (Quelle: [L 73]) _____ | 94 |
| Tabelle 27 Definition von BHKW-Anlagen basierend auf der elektrischen Leistungsgröße (Quelle: [L 58]) | 98 |
| Tabelle 28 Motivation für Versorgungsunternehmen für die Installation von dezentralen Energietechnologien (Quelle: VDEW) _____ | 100 |
| Tabelle 29 Geschäftsentgang durch Stromausfälle verschiedener e-commerce basierter Geschäftszweige (Quelle: [L 48]) _____ | 102 |
| Tabelle 30 Motivation für Betreiber (Endverbraucher) DGs einzusetzen (Quelle: VDEW) _____ | 102 |
| Tabelle 31 Genehmigungsverfahren für stationäre Motoren (Quelle: [L 64]) _____ | 104 |
| Tabelle 32 Grenzwertempfehlungen für Stationärmotoren (Quelle: [L 64]) _____ | 106 |
| Tabelle 33 Technische und wirtschaftliche Charakteristika von Akkumulatoren (basierend auf [L 66]) _ | 110 |
| Tabelle 34 Vergleichsrechnung zwischen Li-Ionen Akku und PEFC-MeH System (Quelle: basierend auf obigen Annahmen und [L 41]) _____ | 114 |
| Tabelle 35 Entwicklung des weltweiten Marktes für tragbare elektronische Geräte (in Millionen) Prognose (Quelle: [L 41]) _____ | 116 |
| Tabelle 36 Ziele und Nutzen der CDG Labors (Quelle: CDG) _____ | 125 |
| Tabelle 37 KMU Potenzial in ausgewählten Fachverbänden (Quelle: PROFACOR) _____ | 129 |
| Tabelle 38 Österreichische Brennstoffzellen-Aktivitäten für stationäre Energiesysteme (Quelle: E.V.A.) | 140 |
| Tabelle 39 Applikation und Produktbewertung der derzeitigen Brennstoffzellen-Systeme (Quelle: Herstellerangaben und E.V.A.) _____ | 147 |