



Abschlussbericht

Studie zur Entwicklung eines Markteinführungsprogramms für Brennstoffzellen in Speziellen Märkten

im Auftrag
des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung,
vertreten durch den Projektträger Jülich und
Projektbegleitung durch die NOW GmbH

Düsseldorf, August 2010

Projektleiter:

Dr. Dr. Axel Zweck
Tel.: +49 (0) 211 62 14-5 72
E-Mail: zweck@vdi.de

Ansprechpartner:

Dr. Heinz Eickenbusch
Tel.: +49 (0) 211 62 14-6 62
E-Mail: eickenbusch_h@vdi.de

Zukünftige Technologien Consulting
der VDI Technologiezentrum GmbH
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf



Zukünftige Technologien Consulting

Inhaltsverzeichnis

Zielsetzung der Studie	3
Zusammenfassung	5
Teil I: Markt- und Portfolioanalyse.....	11
1 Zielsetzung und Methodik	11
2 Stromversorgung Business (USV, Notstromversorgung, netzferne Stromversorgung, autarke Stromversorgung)	14
3 Stromversorgung Freizeit (Reisemobil/Caravan, Boot, Outdoor)	21
4 Lagertechnik-Fahrzeuge (Stapler, Schlepper)	27
5 Sonderfahrzeuge (Kommunalfahrzeuge, Servicefahrzeuge wie mobiles Büro)	34
6 Elektrische Leichtfahrzeuge (E-Fahrräder, Cargo Bikes) und Boote.....	39
7 Mikrobrennstoffzellen (> 20 Watt, Power Tools, Laptops).....	44
8 Mikrobrennstoffzellen (< 20 Watt, Handy, Kameras, Medizin)	48
9 Zusammenfassung der Markt- und Portfolioanalyse.....	55
Teil II: Markthemmnisanalyse, Priorisierung der Handlungsoptionen und Empfehlung von Maßnahmen zur Markteinführung	64
10 Zielsetzung und Methodik	64
11 Marktsegment „Stromversorgung Business“	65
12 Marktsegment „Lagertechnik-Fahrzeuge/Sonderfahrzeuge“	74
13 Marktsegment „Kleinleistungsbereich“	85
14 Literatur.....	92
15 Anhang: Grafiken und Tabellen	93

Zielsetzung der Studie

Die Entwicklung und Marktvorbereitung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie wird in Deutschland seit 2007 mit dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzelle (NIP) über einen Zeitraum von 10 Jahren mit rund 500 Mio. Euro gefördert. Die 500 Mio. € Fördersumme werden durch das BMVBS zusätzlich zur fortlaufenden Forschungsförderung durch das BMWi in Höhe von etwa 200 Mio.€ in zehn Jahren und den Aktivitäten des BMBF sowie der Bundesländer insbesondere für Demonstrationsprojekte eingesetzt. Die Industrie hat sich mit dem NIP verpflichtet, mindestens noch einmal die Summe von über 700 Mio. in Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte zu investieren. Faktisch werden natürlich weit höhere Mittel der BZ-Industrie in die Erforschung, Entwicklung und Demonstration von Technologien und den Aufbau der Fertigung von Brennstoffzellensystemen und -komponenten investiert.

In der Brennstoffzellentechnologie zeichnet sich das Anwendungssegment „Spezielle Märkte“ durch eine im Vergleich zu anderen Anwendungen weiter fortgeschrittene Marktnähe und Anwendungsreife aus. Der Begriff der speziellen Märkte umfasst insbesondere den Einsatz der Brennstoffzellen für Notstromversorgung, Lagertechnikfahrzeuge (z. B. Gabelstapler, Flughafenschlepper), elektrische Leichtfahrzeuge und Boote, Bordstromversorgung (Freizeitboote, Wohnmobile) sowie Kleinstanwendungen auf der Basis von Mikrobrennstoffzellen. Diese Märkte können eine Schlüsselrolle bei der Etablierung der Brennstoffzellentechnologie in Deutschland spielen, da sie entscheidend für die Ausbildung von Wertschöpfungsketten zwischen den Unternehmen der Brennstoffzellen-Industrie sind. Weiterhin werden über frühe Märkte Vertriebsstrukturen aufgebaut, die für die Markteinführung von Nachfolgeprodukten zum entscheidenden Wettbewerbsvorteil werden können. Die frühen Märkte haben auch einen starken Einfluss auf die Imagebildung der Technologie bei Verbrauchern, Unternehmen und Politik.

Der Weltmarkt für Brennstoffzellen in Speziellen Märkten, der von 140 Mio. US\$ im Jahr 2009 auf 3,2 Mrd. US\$ im Jahr 2017 ansteigt, wird von dem größten Marktsegment der Stromversorgung Business/Notstromversorgung bestritten (56 %, 1,8 Mrd. US\$). Die weiteren größeren Bereiche stellen Brennstoffzellen für die Lagertechnik (15 %) und Mikrobrennstoffzellen (11 %) dar. Die meisten deutschen Unternehmen

sind derzeit in den Marktsegmenten „Stromversorgung Business“ (25 %) und „Mikro-brennstoffzelle bis 20 W“ (21 %) tätig. Durch das Unternehmen SFC ist Deutschland im Bereich der Stromversorgung Freizeit weltmarktführend.

Ziel der Studie ist es, die bestehenden Markthürden für Brennstoffzellen in Speziellen Märkten in Deutschland zu identifizieren und Empfehlungen für konkrete Maßnahmen und Instrumente zur Überwindung der Hemmnisse und zur Markteinführung von Brennstoffzellen in Speziellen Märkten zu geben.

Die Studie gliedert sich in zwei Teile:

Im **Teil I, Markt- und Portfolioanalyse**, werden die Märkte analysiert, um zu entscheiden, welche Märkte sich besonders für Maßnahmen zur Beseitigung der Hemmnisse und zum Einsatz von Instrumenten zur Markteinführung in Deutschland eignen. Davon ausgehend erfolgt im **Teil II eine Markthemmnisanalyse mit Priorisierung der Handlungsoptionen und Empfehlung von Maßnahmen zur Markteinführung**.

Zusammenfassung

Die in der vorliegenden Studie betrachteten Speziellen Märkte mit frühen Vermarktungschancen haben eine wichtige Türöffnerfunktion zur schrittweisen Marktdurchdringung von Brennstoffzellen in die Anwenderbranchen und können entscheidende Pionierarbeit zur Entwicklung von Massenmärkten im Bereich der Brennstoffzellen leisten. Durch die im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) forcierte F&E-Förderung der Speziellen Märkte, insbesondere durch die laufenden und geplanten Leuchtturm-Projekte, werden die notwendigen technologischen Voraussetzungen geschaffen und entsprechende Marktvorbereitungen erreicht. Parallel dazu sind jedoch weitere gezielte Förderinstrumente zu entwickeln, die insbesondere Brennstoffzellen-Systemen in den Speziellen Märkten einen frühzeitigen Markteintritt ermöglichen. Da die Produktions- und Anschaffungskosten für Brennstoffzellen zurzeit noch wesentlich höher sind als für entsprechende konventionelle Produkte (z. B. Batterien), hat bereits in den USA und Japan eine massive Markteinführungsförderung eingesetzt. Beispielsweise wurde in den USA neben einem „Investment Tax Credit (ITC) for fuel cell technology“ (30 % der Kosten, maximal US\$ 3.000/kW) ein 41,9 Millionen US\$ Förderprogramm aufgelegt, um die Kommerzialisierung von Brennstoffzellen allein in den Bereichen Notstromversorgung und Flurförderzeuge voranzutreiben. Vor diesem Hintergrund bedarf es auch für die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands eines vergleichbaren Markteinführungsprogrammes für Brennstoffzellen in Speziellen Märkten. Nur so kann sicher gestellt werden, dass zukünftig deutsche Brennstoffzellen-Produkte auf den nationalen und internationalen Märkten angeboten werden können.

Aufgrund knapper werdender fossiler Energien und im Sinne eines nachhaltigen Umwelt- und Klimaschutzes beteiligen sich alle Industriestaaten neben erneuerbaren Energien auch an der Forschung und Entwicklung von Brennstoffzellen für mobile und stationäre Anwendungen sowie für Spezielle Märkte. Der Fokus der Speziellen Märkte liegt in dieser Studie auf den Einsatz der Brennstoffzellen für unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV), Notstromversorgung, Lagertechnikfahrzeuge (z. B. Gabelstapler, Schlepper), Bordstromversorgung im Freizeitbereich (Caravan, Boote), portable, netzunabhängige Stromversorgung (Power Tools, Baustellen, Ver-

kaufsstände) und Elektroleichtfahrzeuge (E-Bikes, Cargobikes). Auch die deutsche Wirtschaft engagiert sich in diesen Zukunftsmärkten mit dem Ziel, mittelfristig eine Vorreiterrolle einzunehmen.

Aufbauend auf den Analyseergebnissen geben wir die folgenden wesentlichen Handlungsempfehlungen für Maßnahmen, mit denen die Markteinführung gezielt vorangetrieben werden kann und die geeignet sind, die deutsche Technologieführerschaft im internationalen Vergleich zu halten und auszubauen.

Marktsegment „Stromversorgung Business“

(unterbrechungsfreie Stromversorgung, netzferne Stromversorgung, autarke Stromversorgung, jeweils im Leistungsbereich von einigen Kilowatt bis einige 10 Kilowatt)

Marktanreizprogramm

Um mehr Netzsicherheit mit innovativen Technologien effizient zu erreichen und gleichzeitig eine Industrie mit erheblichem Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenzial in Deutschland aufzubauen, ist die Markteinführung von Brennstoffzellentechnologien im Bereich Notstromversorgung durch Flankierung von einigen Tausend Systemen erforderlich. Nur so lassen sich im Wettbewerb mit etablierten, aber weniger effizienten Technologien und Märkten, die substantiellen Mittel bereitstellen, Markt und Industrie in Deutschland aufbauen. Im Rahmen des geplanten Verstärkungsbonus im Erneuerbare Energien Gesetz oder in Anlehnung an das gerade ruhende Mikro-KWK-Programm könnte ein Backup-Power-Programm für 10.000 BZ-Notstromaggregate entwickelt werden. Bei der Anschubfinanzierung eines Backup-Systems mit 2.000 €/kW installierter Leistung und maximal 5.000 €/System würde das Programm im Zeitraum von 3 Jahren maximal 50 Mio. € kosten. Eine stufenweise Reduktion des Zuschusses an den Betreiber um 10 % pro Jahr würde die Kosten weiter reduzieren. Es könnte sich beispielsweise aus dem Verkauf von Strom aus erneuerbaren Energien an Drittländer refinanzieren, die Ihre EE-Ziele der europäischen EE-Richtlinie bis 2020 nicht erreichen, wenn Deutschland – wie absehbar – die Zwischenziele übertrifft.

Öffentliches Beschaffungsprogramm

Neben einem Marktanreizprogramm empfehlen wir ein öffentliches Beschaffungsprogramm, mit dem 2.000 Systeme für BOS-Netze, Bundeswehr oder THW eingesetzt werden können, die auch als Referenz- und Demonstrationsprojekte dienen können.

Flankierende Maßnahmen

Um den Genehmigungsaufwand zu verringern, empfehlen wir als ersten Schritt eine Task Force mit Vertretern von NOW, DWV, VdTÜV etc. zu gründen, die die Schaffung eines einheitlichen Regelwerkes für Genehmigungsverfahren vorantreibt.

Für den gezielten Export von USV-Anlagen in Länder mit erhöhtem Bedarf aufgrund geringerer Netzstabilität als in Deutschland ist eine Exportflankierung durch die Exportinitiative Energieeffizienz der Deutschen Auslandshandelskammern anzuraten.

Marksegment „Lagertechnik-Fahrzeuge / Sonderfahrzeuge“

(Stapler, Schlepper; Kommunal-, Servicefahrzeuge)

Öffentliches Beschaffungsprogramm

Um die Markteinführung von Brennstoffzellen für Lagertechnik- und Sonderfahrzeugen zu realisieren und damit eine CO₂-freie Logistik und schadstoffarme Innenstädte zu erreichen, ist die möglichst sofortige Einführung eines bundesweiten kommunalen, Länder übergreifenden staatlichen Beschaffungsprogramms für diese Brennstoffzellen-Systeme erforderlich. Das Programm sollte 10.000 Brennstoffzellen-Lager- und Sonderfahrzeuge im kommunalen Einsatz oder in sonstigen öffentlichen Bereichen in den kommenden 10 Jahren mit anfangs jeweils maximal 15.000 € bezuschussen. Die Gesamtkosten belaufen sich auf maximal 150 Millionen Euro. Durch 10 % Abschmelzung des Zuschusses können die Kosten noch deutlich reduziert werden. Wir empfehlen jedoch, auf die Abschmelzung zu verzichten, wenn Kooperationen zwischen den beteiligten Unternehmen zu Synergien bei Komponenten und Schnittstellen führen. Das Programm könnte sich aus den Einnahmen aus Energiesteuern oder aus einem Energieeffizienzfond speisen, der im Rahmen des Energiekonzepts umgesetzt werden kann und an dem 120-Mio € Bundesliegenschaftenprogramm orientieren.

Ein größerer Einsatz von Brennstoffzellen in Lagertechnik- und Sonderfahrzeuge kann in Deutschland auch die Markteinführung in die mobilen Massenmärkte erleichtern und vorantreiben, denn Spezielle Märkte sind Enabler der Massenmärkte.

Flankierende Maßnahmen

Neben dem genannten öffentlichen Beschaffungsprogramm, gekoppelt mit Anreizen zur stärkeren Kooperation der Unternehmen, raten wir zu einer Flankierung der Wasserstoff-Infrastruktur einschließlich der Befreiung des Wasserstoffs von der Mineralölsteuer. Die flankierenden Maßnahmen zur Wasserstoff-Infrastruktur sollten mit den laufenden Förderaktivitäten abgestimmt werden und in die Überarbeitung des Nationalen Entwicklungsplans zum „Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ eingebracht werden. Bevorzugt sollte eine Wasserstoff-Infrastruktur gefördert werden, die Synergien durch Kombination von verschiedenen BZ-Anwendungen nutzt.

Marktsegment „Kleinleistungsbereich“

(Mikrobrennstoffzellen mit mehr als 20 Watt Leistung – für portable, netzunabhängige Stromversorgung, z. B. in Baustellen, elektrische Leichtfahrzeuge wie E-Fahrräder und Cargo Bikes sowie als Bordstromversorgung im Freizeitbereich für Caravans und Boote)

Marktanreizprogramm: CO₂-Vermeidungsprämie

Brennstoffzellen werden zwar im hochpreisigen Freizeitbereich bereits tausendfach vermarktet, jedoch sind die manufakturartig hergestellten Brennstoffzellensysteme für Consumer-Artikel und öffentliche Einrichtungen noch zu teuer. Die Kostenschere zu ineffizienten Wettbewerbstechnologien schließt sich erst beim Erreichen von Skaleneffekten, ist aber derzeit noch zu groß. Wenn Bundesregierung und Bundestag Brennstoffzellen im kleinen Leistungsbereich in den Massenmarkt führen und damit die Akzeptanz für die Massenmärkte im mobilen und stationären BZ-Bereich unterstützen und eine Brennstoffzellen-Zulieferindustrie in Deutschland etablieren wollen, ist die Einführung einer zeitlich befristeten und degressiven CO₂-Vermeidungsprämie in einem 10.000- Brennstoffzellen-Programm erforderlich. Das 10.000-BZ-Programm sollte in den kommenden 5 Jahren BZ-Systeme, die Benzinaggregate ersetzen, mit

einem einmaligen Zuschuss 1.000 Euro pro System unterstützen. Das Programm könnte aus dem CO₂-Emissionszertifikatehandel gespeist werden.

Flankierende Maßnahmen

Neben monetären Maßnahmen sind die Rahmenbedingungen u. a. durch eine stärkere Vernetzung der Akteure bzw. einen intensiveren Informationsaustausch und eine Standardisierung auf Seiten der Zulieferer zu verbessern. Als wichtigste nicht-monetäre Maßnahme kommt hier eine Imagekampagne in Betracht, die sowohl die technische Bezeichnung „Brennstoffzelle“ substituiert, als auch das äußerst geringe Betriebsgeräusch von Brennstoffzellen plakativ herausstellt.

Marktsegmentübergreifende Maßnahmen

■ **Schließen von Lücken in der Wertschöpfungskette**

In allen Marktsegmenten sind noch Lücken in der Wertschöpfungskette festzustellen, insbesondere fehlen Stack-Hersteller und Systemintegratoren in den Bereichen Stromversorgung Business und Lagertechnik-Fahrzeuge/Sonderfahrzeuge; zudem sollte die Zulieferindustrie für alle Marktsegmente weiter ausgebaut werden. Um diese Lücken zu schließen und die deutsche Marktposition im internationalen Vergleich zu stärken, sollten dringend kurzfristig strategische Unternehmenskooperationen, ggf. mit ausländischen Unternehmen, initiiert werden. NOW könnte hier vermitteln, u. a. im Rahmen der NIP-Leuchtturmprojekte. Auch die Ansiedlung von neuen Unternehmen im Rahmen von regionalen Netzwerkinitiativen, die gezielt fehlende Elemente der Wertschöpfungskette schließen, kann genutzt werden.

■ **Schaffung von Ausbildungs- und Arbeitsplätzen**

Neben den positiven ökologischen Einflussnahmen sind Brennstoffzellen in Speziellen Märkte auch von großem volkswirtschaftlichen Interesse. Das hohe Innovationspotenzial eröffnet hier insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen nicht nur neue Marktchancen, sondern auch die Schaffung von neuen Ausbildungs- und Arbeitsplätzen. Auf diese Weise könnten auch die oben genannten bestehenden Lücken in der Wertschöpfungskette geschlossen werden und damit eine Technologieführerschaft Deutschland im internationalen Vergleich sicher gestellt werden. Neben der Technologie- und Wirtschaftsförderung ist in Deutschland die Entwicklung

von Aus- und Weiterbildungs- sowie Arbeitsprofilen einschließlich berufsqualifizierender Abschlüsse im BZ-Sektor zu unterstützen.

Handlungsempfehlungen für ein Markteinführungsprogramm im Bereich Brennstoffzellen in Speziellen Märkten			
	Stromversorgung Business	Lagertechnik-Fahrzeuge/ Sonderfahrzeuge	Kleinleistungsbe- reich
Marktanreiz- programm	Förderung des Endanwenders: 50 Mio € über 3 Jahre (10.000 Anlagen bei 5.000 € pro System)		CO ₂ -Substitutionsprämie durch BZ-Einsatz: 10 Mio € über 5 Jahre (10.000 Anlagen bei 1.000 € pro System)
Öffentliches Beschaffungs- programm	2.000 Systeme für BOS-Netze, Bundeswehr und THW (als Referenzprojekte)	10.000 Fahrzeuge für kommunalen Einsatz: 150 Mio € über 10 Jahre (bei 15.000 € pro Fahrzeug)	
Flankierende Maßnahmen	Vereinfachte Genehmigungsverfahren durch Regelwerke, Normen und Standards sowie Exportflankierung	Flankierung des Aufbaus einer Wasserstoff-Infrastruktur	Imagekampagne, stärkere Vernetzung der Akteure, Standardisierung seitens der Zulieferer
Marktsegment- übergreifende Maßnahmen	Schließen von Lücken in der Wertschöpfungskette, Schaffung von Ausbildungs- und Arbeitsplätzen		

Teil I: Markt- und Portfolioanalyse

1 Zielsetzung und Methodik

Ziel der Markt- und Portfolioanalyse ist es, den aktuellen Kenntnisstand zu den Märkten der Brennstoffzelle (im Folgenden mit der Abkürzung BZ bezeichnet) zusammenzutragen und die Marktentwicklung innerhalb der nächsten 10 Jahre abzuschätzen und diese der relativen Stärke der deutschen BZ-Wirtschaft gegenüberzustellen. Damit wird es möglich, die Marktsegmente zu bestimmen, in denen die Marktchancen der deutschen BZ-Wirtschaft besonders groß sind, so dass die weiteren Teile der Studie auf diese Schlüsselmärkte fokussiert werden können. In einem zweiten Schritt werden durch Interviews mit Akteuren der deutschen Brennstoffzellen-Community sowohl die Markteinschätzung als auch die Einschätzung der relativen Stärke Deutschlands für die einzelnen Marktsegmente konsolidiert.

1.1 Definition der Speziellen Märkte für Brennstoffzellen

Tab. 1.1 Kategorien der Speziellen Märkte für Brennstoffzellen						
Stromversorgung Business	Stromversorgung Freizeit	Lagertechnik Fahrzeuge	Sonderfahrzeuge	Elektrische Leichtfahrzeuge	Mikrobrennstoffzelle > 20 Watt	Mikrobrennstoffzellen < 20 Watt
Notstromversorgung (USV)	Caravan (APU)	Gabelstapler	Servicefahrzeuge (Mobile Werkstatt)	Fahrräder, Cargo Bikes, Velotaxen	Laptops	Handys
Netzferne Stromversorgung	Camping	Cargo-Schlepper	Kommunale Fahrzeuge/Reinigungsfahrzeuge	Golf-Caddies	Cordless Power Tools	Camera
Autarke/Hybride Stromversorgung	Berghütte	Hubwagen		Leichtboote (Antrieb)	Meteorologische Instrumente	Spezialleuchten
Netzersatzanlagen (NEA)	Freizeitboote (APU)	Förderbandwagen		BZ-Elektroller	Technische Sensorik, (Bahn, Pipelines)	Spielzeug
				Medizinische Fahrhilfe		Medizinische Geräte

In Absprache mit dem Auftraggeber und in Anlehnung an die im deutschen Sprachraum übliche Kategorisierung, wie sie von der NOW GmbH und vom Beirat der NOW vertreten wird, ist in dieser Studie die in Tabelle 1.1 aufgeführte Kategorisierung verwendet worden.

1.2 Marktzahlen zu den Speziellen Märkten

Nach den durchgeführten Recherchen gibt es derzeit keine Marktstudie, die die weltweiten Speziellen Märkte der Brennstoffzelle in den oben aufgeführten Kategorien abdeckt. Daher ist für diese Studie Zahlenmaterial von den Anbietern PikeResearch [2009] und Freedonia [2008] eingekauft worden. Die recherchierten und eingekauften Marktzahlen beziehen sich dabei teilweise auf den Weltmarkt und teilweise auf den US-Markt. Um eine einheitliche Zahlenbasis zu schaffen, sind die Weltmärkte überschlägig abgeschätzt worden. Dabei wurde die Näherungsregel eingesetzt, dass sich Märkte für Produkte mit geringer regionaler Spezifität jeweils zu etwa einem Drittel auf die USA, Europa und Asien verteilen. Die Segmente Sonderfahrzeuge und Elektrische Leichtfahrzeuge sind in den einschlägigen Marktstudien nicht aufgearbeitet worden, so dass hier die Marktzahlen lediglich in der Größenordnung geschätzt werden können. Die dazu getroffenen Annahmen bezüglich der Marktdurchdringung, der Preise für Brennstoffzellen etc., sind in den jeweiligen Kapiteln aufgeführt. Im Rahmen der durchgeführten Interviews mit Branchenexperten sind diese Schätzwerte noch einmal einer Prüfung unterzogen worden.

1.3 Relative Stärke Deutschlands in den Speziellen Märkten

Um die relative Stärke der deutschen BZ-Wirtschaft in den einzelnen Marktsegmenten zu bestimmen, ist versucht worden so vollständig wie möglich alle deutschen Unternehmen zu identifizieren, die in diesem Bereich tätig sind. Dazu wurden Unternehmenslisten der einschlägigen Verbände und Netzwerke ausgewertet u. a.:

- Brennstoffzellen Herstellerverzeichnis VDMA
- Kompetenznetzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff NRW
- Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Initiative Hessen
- Brennstoffzellenverband Deutschland
- Brennstoffzellenallianz Baden-Württemberg

Für jedes Marktsegment werden die Unternehmen den folgenden Kategorien der Wertschöpfungskette zugeordnet: Zulieferer, BZ-Hersteller, Systemintegrator und

OEM. Weiterhin werden die entwickelten Produkte und ihr Entwicklungsstadium aufgeführt. Abschließend erfolgt die Bewertung der deutschen Unternehmenslandschaft für die einzelnen Marktsegmente im Vergleich zu den internationalen Aktivitäten in einem Scoring Modell. Dabei wird die relative Stärke zur internationalen Unternehmenslandschaft in den folgenden Kategorien bestimmt:

- OEMs: Anzahl und Größe
- BZ-Hersteller: Anzahl und Größe
- BZ-Produkte: Anzahl, Entwicklungsstand, Absatz
- Wertschöpfungskette: Grad, in dem alle Wertschöpfungsstufen abgedeckt sind

Dabei erfolgt eine Dreipunktebewertung der deutschen BZ-Wirtschaft, mit der die relative Stärke der einzelnen Segmente zueinander bewertet wird, wie in Tabelle 1.2 aufgeführt:

Tab. 1.2: Bewertungskriterien für das Scoring Modell		
Bewertungskriterium	3 Punkte	1 Punkt
OEMs/Systemintegratoren	Weltweit führende OEMs mit Zugang zu Massenmärkten, haben führende Position bei der Integration der BZ-Technologie	OEMs haben nur Zugang zu Nischenmärkten, oder es besteht nur geringes Interesse an der Implementierung von Brennstoffzellen
BZ-Hersteller	Deutsche Unternehmen zählen zu den Marktführern und haben Zugang zu den führenden OEMs	Geringe Anzahl in Relation zur Marktgröße, keine Marktführer und schlechter Zugang zu den OEMs
BZ-Produkte	Markteinführung im internationalen Vergleich weit fortgeschritten. Adressierung von Massenmärkten	Markteinführung im internationalen Vergleich verzögert. Adressierung von Nischenmärkten
Wertschöpfungskette	Vom Brennstoffhersteller über Systemintegrator und OEM vollständig geschlossen	Starke Lücken in der Wertschöpfungskette bei den BZ-Herstellern oder den OEMs

2 Stromversorgung Business (USV, Notstromversorgung, netzferne Stromversorgung, autarke Stromversorgung)

2.1 Unternehmen

In Deutschland konnten 25 Unternehmen identifiziert werden, die dem Anwendungsbereich Brennstoffzellen für Notstromversorgung zugeordnet werden können. Darunter befinden sich 9 Unternehmen, die Brennstoffzellen in Notstromsysteme integrieren und hier als Systemintegratoren klassifiziert sind. Zu den deutschen Systemintegratoren, die bereits Produkte auf dem Markt haben, zählen Rittal, P21 und FutureE Fuel Cell. FutureE Fuel Cell ist ein Start-up, dass 2006 gegründet wurde und 2008 das erste BZ-Notstromsystem der Jupiterfamilie verkauft hat. b+w Electronic Systems ist ein weiteres Unternehmen, das in diesem Marktsegment tätig ist und Notstromversorgungen sowie autarke Energiesysteme entwickelt und installiert. Zu den deutschen Brennstoffzellenherstellern, deren BZ speziell auch im Bereich der Notstromversorgung eingesetzt werden können, zählen SFC mit ihren Methanol BZ-Systemen und Enerday mit der Entwicklung einer SOFC Brennstoffzelle für die netzfreie Stromversorgung. Zu den Zulieferern zählen Schunk als Stack-Lieferant und beispielsweise Unternehmen, die DC/AC-Inverter entwickeln, wie die Innecken Elektrotechnik GmbH. Darüber hinaus gibt es viele weitere Unternehmen, die Stack- oder Peripheriekomponenten herstellen.¹

Übersicht der Unternehmen in D			
	Anzahl	Untern. mit Produkten/Einzelanfertigung	Untern. Prototypen / F&E
OEM	1	0	1
Systemintegrator	9	6	3
BZ-Hersteller	13	9	4
Zulieferer	2	2	0

¹ Die starke deutsche Zuliefer- und Produktionsmittelindustrie, insbesondere Hersteller von Peripheriekomponenten und Fertigungstechnologien aus dem Maschinen- und Anlagenbau, wurde hier nicht weiter dargestellt, da sie aufgrund Ihrer Vielfalt und Anwendung übergreifenden Bedeutung die Portfolio- und Markthemmnisanalyse gesprengt hätte. Die Markteinführung von Brennstoffzellen in Speziellen Märkten hilft gleichwohl der Zuliefer- und Produktionsmittelindustrie Stückzahlen zu erkennen, Marktperspektiven aufzubauen und Fertigungserfahrungen zu sammeln und dient damit der gesamten BZ-Industrie.

2.2 Märkte – weltweit

Nach der Freedonia Studie „Fuel Cells to 2012“ aus dem Jahr 2008 wurden im Jahr 2007 Brennstoffzellensysteme für die Notstromversorgung in den USA im Wert von 25 Mio. US\$ verkauft. Bis zum Jahr 2012 soll der Markt auf 200 Mio. US\$ und bis 2017 auf 600 Mio. US\$ ansteigen. Geht man von einem dreifach größeren Weltmarkt aus, so ergibt sich ein globaler Markt von 1,8 Mrd. US\$. Zu den führenden Brennstoffzellen- und Stacklieferanten in diesem Segment zählen IdaTech, Hydrogenics, ReliOn, Protonex und Ballard (Stacklieferant).

2.3 Markt/Produkte – Deutschland

Von den 12 BZ Herstellern, die angeben, dass ihre Brennstoffzellen auch im Bereich der Notstromversorgung eingesetzt werden können, haben 9 ein Produkt auf den Markt gebracht bzw. fertigen Brennstoffzellen in der Einzelanfertigung. Eine Einordnung des Absatzpotenzials für die einzelnen Unternehmen, ist auf Basis der verfügbaren Informationen nicht möglich. Von keinem der Unternehmen ist bekannt, dass es über eine Kooperation mit einem der führenden Endabnehmer z. B. aus der Telekommunikationsindustrie verfügt, oder dass die Systeme bereits in der Industrie über Demonstratoren-Tests hinaus Verwendung finden. Von den Systemintegratoren, wie Rittal (RiCell System), P21, b+w Electronic Systems und das Start-up FutureE Fuel Cell (Jupiter Produktfamilie), die bereits alle Systeme für die Notstromversorgung an Kunden verkauft haben, produziert nur P21 eigene Brennstoffzellen. Rittal verwendet für Brennstoffzellen mit großer Leistung Stacks von Ballard (Lieferung über die Partnerschaft mit FutureE Fuel Cell) und für kleine Leistungen Stacks von Schunk. b+W Electronic Systems setzt Brennstoffzellen von IdaTech ein, die in Mexico produziert werden. Auch FutureE Fuel Cell integriert in seine Systeme Stacks des kanadischen Unternehmens Ballard.

IdaTech zählt zu den Marktführern und hat 2009 einen Auftrag über die Lieferung von 310 BZ-Systemen für den indischen Telekommunikationszulieferer ACME erhalten. Da vertraglich bedingte Meilensteine nicht erfüllt werden konnten, ist der Liefervertrag, der weitere 9690 BZ-Systemen bis zum Jahr 2010 umfasst, in eine Vertriebspartnerschaft umgewandelt worden, die die Entwicklung des indischen Telekommarktes für BZ-Backup-Systeme beinhaltet [Idatech, 2010].

2.4 Wettbewerbsvorteile

Im Bereich der Notstromversorgung hat die Brennstoffzelle folgende Wettbewerbsvorteile im Vergleich zur Batterie: 1) Längere Autonomiezeiten und Skalierbarkeit der Autonomiezeit durch die Gasversorgung, 2) deutlich längere Lebensdauer, die bis zu 10 Jahre beträgt, 3) breiterer Bereich der Betriebstemperaturen. Insgesamt ergeben sich für den Betreiber geringere Total Costs of Ownership. Im Vergleich zum Dieselmotor hat die Brennstoffzelle insbesondere den Vorteil einer höheren Betriebszuverlässigkeit, geringerem Wartungsaufwand und leiserer und emissionsfreier Stromerzeugung.

2.5 Wertschöpfungskette

Das Unternehmen Rittal hat bereits 2003 eine strategische Partnerschaft mit IdaTech für die Integration von Brennstoffzellensystemen für Notstromaggregate abgeschlossen, um deren ElectraGen5 Notstromaggregate in die Notstromversorgungseinheiten einzubauen. Diese Kooperation ist allerdings wieder aufgelöst worden. Derzeit steht Rittal in Partnerschaften mit FutureE Fuel Cell, die Stacks von Ballard verwenden sowie mit der Fa. Schunk, die eigene Stacks entwickelt haben. Auch SFC und P21 stellen eigene Brennstoffzellen her. Eine weitere strategische Partnerschaft besteht zwischen IdaTech und b+w Electronic Systems, die IdaTechs ElectraGen Produktfamilie für die Installation von Notstromversorgungs- und autarken Stromversorgungssystemen einsetzen.

2.6 Scoring Modell

Bewertungskriterium	Erläuterung
Stromversorgung Business	
Systemintegratoren ■ ■ ■	9 Systemintegratoren von Notstromversorgungssystemen darunter Rittal, P21, b+w Electronic Systems, FutureE Cell. Gute Ausgangsposition
BZ-Hersteller ■	13 BZ-Hersteller, u. a. Schunk, P21, Proton Motor, h-tec Im Vergleich zu US-Unternehmen Idatech, Hydrogenics, Ballard geringere Marktpräsenz
BZ-Produkte ■	Produkte noch im frühen Markteinführungsstadium, im Vergleich zu US-amerikanischen Unternehmen
Wertschöpfungskette ■ ■	Wertschöpfungskette ist nur teilweise geschlossen, u. a. Einsatz von Stacks/Brennstoffzellen von Ballard und Idatech

2.7 Zusammenfassung

- 25 Unternehmen davon 9 Systemintegratoren, 13 BZ Hersteller, 2 Zulieferer, 1 OEM
- 6 Systemintegratoren mit Produkten oder Einzelanfertigung
- BZ-Hersteller überwiegend klein und noch keine großvolumige Serienproduktion erkennbar
- IdaTech (USA) ist mit der ACME Group (Indien) eine Vertriebspartnerschaft eingegangen, um den indischen Telekommunikationsmarkt mit mehreren Tausend BZ-Backup-Systemen auszustatten. Einen ersten Markteintritt hat auch in Dänemark stattgefunden, wo von den 450 Stationen seines BOS-Mobilfunknetz 120 Brennstoffzellensysteme von Dantherm Power eingesetzt werden (s. Kapitel 11.1).

2.8 Auswahl von BZ-Herstellern, Zulieferern und OEMs

Auswahl an OEMs, BZ-Herstellern und Zulieferern im Segment „Stromversorgung Business“				
OEM/ Anwender	Branche	Größe	Produkt	Status
PASM Power and Air Condition Solution Management (OEM)	Telekommunikation	Großunternehmen	BZ als Notstromversorgung für Telekommunikation	Tests
Systemintegratoren				
b+w Electronic Systems GmbH	Schalt- und Steuertechnik	mittelständisch	Installation von autarken Energiesystemen inkl. BZ von Idatech	Einzelanfertigung
Elektrochemische Generatoren ECG	BZ	Start-up	Systemintegrator für BZ von einigen Watt bis 5 kW, u.a. auch für Notstromversorgungen	Einzelanfertigung
FutureE Fuel Cell Solutions	BZ	klein/mittelständig	Jupiter Produktfamilie, für die netzunabhängige Energieversorgung	Produkt
Gustav Klein GmbH	Stromversorgungsanlagen	200 Mitarbeiter	BZ für den Einsatz in Stromversorgungsanlagen	unbekannt
n2telligence	BZ	Start-up	BZ zur (Not)stromversorgung und die Abgase zum Brandschutz	F&E
P21 GmbH	Energiemanagementsysteme für BZ	50 Mitarbeiter	Back-up Power für Telekommunikationsanlagen und Energiemanagementsysteme. Eigene BZ-Produktion	Produkt
Rau Stromversorgungen GmbH	Notstromversorgungen	mittelständig	Entwicklung eines Notstromversorgungssystems insbesondere für Signaltechnik- und Verkehrsleitsysteme	Prototyp
Rittal GmbH & Co KG	Schalt- und Klimaschränke	Großunternehmen	Ricell BZ-System für die netzunabhängige Stromversorgung, Einsatz in Bergwerken wird erprobt. Verwendung von Schunk und Ballard-Stacks	Produkt
Zebotec	BZ	Start-up	Notstromversorgungen auf Basis von BZ der Partnerfirma Dantherm Power, Dänemark	Einzelanfertigung

Auswahl an OEMs, BZ-Herstellern und Zulieferern im Segment „Stromversorgung Business“

BZ- und Stack-Hersteller				
EBZ Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft Brennstoffzelle GmbH	BZ	1-20	Entwicklung von modularen BZ zur Stromversorgung auf Basis von SOFC	Einzelanfertigung
Enerday GmbH	BZ	ca. 20	SOFC die mit Flüssiggas betrieben werden für autonome Stromversorgung	F&E/Prototypen
FCPower	BZ	Start-up	Entwicklung und Produktion von Brennstoffzellen	unbekannt
Flexiva Automation	Maschinen- und Anlagenbau	mittelständisch	Brennstoffzellensysteme für die Strom- oder Notstromversorgung	Produkt
Heliocentris	BZ	40 Mitarbeiter	Systemintegration von Stacks von Ballard, Schunk und HypM	Produkt/Dienstleistung
h-tec Wasserstoff-Energie-Systeme GmbH	BZ	30	Herstellung von Brennstoffzellensystemen bis 100 Watt, bis 5 kW in Entwicklung	Entwicklung
MFC MicroFuel-Cells Brennstoffzellentechnologien	BZ	1-20	BZ für Indoor und Outdoor Stromversorgung u. a. industrielle Notstromversorgung	Produkt
Proton Motor Fuel Cell GmbH	BZ	45	Kerngeschäft ist die Herstellung von BZ für Flur-, und Sonderfahrzeuge und Busse. Als Anwendung werden aber auch UPS aufgeführt	Stand der UPS-Entwicklungen ist nicht bekannt
RBZ Riesaer Brennstoffzellentechnik GmbH	BZ	klein	BZ im Leistungsbereich von 5-20 kW u. a. für UPS	Einzelanfertigung
Schunk Bahn- und Industrietechnik GmbH	Stromübertragungstechnik	< 250	Herstellung von Einzelstacks (360 W bis 1,4 kW)	Produkt
SFC Smart Fuel Cell	BZ	100	BZ-Anwendungen für Sicherheitstechnik	Produkt
Swarco Fuel Cell GmbH	BZ	klein	Reformer-BZ System, das mit LPG betrieben werden kann	unbekannt
Ulmer Brennstoffzellen Manufaktur	BZ	klein	Stacks in Leistungsklassen von 1 W bis 20 kW - Plug and Play Systeme - Test- und Demonstrationssysteme, Produktstatus	Produkt

Auswahl an OEMs, BZ-Herstellern und Zulieferern im Segment „Stromversorgung Business“

Zulieferer²

Delta Energy Systems GmbH	Stromversorgungsg eräte	251-500	DC/AC-Inverter für BZ	Produkt
Innecken Elektrotechnik GmbH	Elektrische Anlagen für die Automati- on	101-250	Zusammenbau von BZ und Entwicklung von elektronischen BZ- Managementsystemen	Produkt

² Aufgrund der Vielzahl von Stackkomponenten- und Peripheriekomponentenhersteller sowie weiterer Systemzulieferer können hier nicht alle aufgeführt werden, es werden beispielhaft nur zwei Zulieferer genannt.

3 Stromversorgung Freizeit (Reisemobil/Caravan, Boot, Outdoor)

3.1 Unternehmen

Insgesamt sind in Deutschland 15 Unternehmen identifiziert worden, die Brennstoffzellen-Anwendungen im Freizeitbereich (Reisemobil/Caravan, Boot, Outdoor) adressieren. Davon sind 6 Unternehmen BZ-Hersteller und 6 OEMs. Der führende BZ-Hersteller ist SFC Smart Fuel Cell, dessen DMFC-Brennstoffzellen bereits seit 2005 in Wohnmobile eingebaut werden. Die Truma Gerätetechnik GmbH und die Enerday GmbH setzen auf die Hochtemperatur PEM (HT-PEM) mit Flüssiggas bzw. Methan als Brennstoff. Während Truma mit 100 BZ-Systemen im Feld bereits in der Phase der Kleinserienfertigung ist, befinden sich die Brennstoffzellen von Enerday noch im Prototypenstadium. Charakteristisch für die Zulieferunternehmen ist, dass die entwickelten Komponenten nicht spezifisch für den Anwendungsbereich „Bordstromversorgung“ im Freizeitmarkt sind. Die identifizierten OEMs sind allesamt Caravanhersteller, die die EFOY-Brennstoffzelle von SFC als Sonderausstattung oder serienmäßig im hochpreisigen Segment anbieten.

Übersicht der Unternehmen in D			
	Anzahl	Untern. mit Produkten	Untern. Prototypen/F&E
OEM	6	5	1
BZ-Hersteller	6	2	4
Zulieferer	3	2	1

3.2 Märkte – weltweit

Im Bereich der Brennstoffzellen für Caravans gilt Europa führend, mit zwei Unternehmen, die bereits Produkte auf den Markt gebracht haben: SFC Smart Fuel Cells in Deutschland und Energy Group plc in UK. SFC ist dabei Marktführer und hat es geschafft mit führenden Reisemobil- und Caravan-Herstellern zu kooperieren, die heute die SFC Brennstoffzellen als Zubehör bzw. als Grundausstattung im Premiumsegment anbieten. SFC rüstet derzeit noch einen überwiegenden Teil der Caravans selbst bei Endkunden nach. Das englische Unternehmen Voller fokussierte sich stärker auf Anwendungen im marinen Freizeitbereich, wobei die Systeme auch für Caravans eingesetzt werden können. Diese Aktivitäten sind aber mittlerwei-

le eingestellt worden [Adamson, 2009]. Als Konkurrent von SFC tritt das amerikanische Unternehmen Protonex auf, dass 2010 eine 250 Watt DMFC für den Freizeitmarkt auf den Markt einführen will.

Der Markt in den USA für Brennstoffzellen im Caravan-Bereich wird von Pike Research im Zeitraum 2012-2014 mit ca. 3 Mio. US\$ angegeben und im Zeitraum von 2015-2017 mit 60 Mio. US\$. Unter der Annahme, dass der US-Markt etwa ein Drittel des Weltmarktes ausmacht, wird der globale Umsatz von Brennstoffzellen im Bereich Caravan für das Jahr 2017 auf 180 Mio. US\$ geschätzt. Geht man weiterhin davon aus, dass der Absatz für Camping und Caravan 50 % des Absatzes von Brennstoffzellen im Freizeitbereich ausmacht, dann ergibt sich ein Schätzwert für den globalen Absatz im Freizeitbereich im Jahr 2017 von 360 Mio. US\$. Allerdings kann ein größerer Weltmarkt angenommen werden, da alleine der bisherige Umsatz von SFC mit ca. 7 Mio € wesentlich größer ist als der von Pike-Research angegebene US-Markt für 2012-2014.

3.3 Markt/Produkte – Deutschland

Die meisten der deutschen BZ-Hersteller, die dem Marktsegment „Bordstromversorgung im Freizeitmarkt“ zugeordnet sind, entwickeln Brennstoffzellen, die in mehreren der Anwendungsbereiche Reisemobil/Caravan, Boot, Outdoor eingesetzt werden können. Der Markteinstieg ist durch das Unternehmen SFC erfolgt, dessen DMFC (EFOY) bereits seit 2005 in Reisemobile eingebaut werden. Mittlerweile wird die EFOY bereits von fünf deutschen Reisemobilherstellern als Sonderausstattung angeboten. Der serienmäßige Einsatz von BZ in Freizeitbooten ist nicht bekannt. Jedoch werden EFOY-Brennstoffzellen von dem Unternehmen Bukh für den Einsatz in Booten vertrieben. Weiterhin bietet das Unternehmen MFC MicroFuelCells Brennstoffzellentechnologie ein BZ-Outdoor Ladegerät für Bleiakkumulatoren an. Die Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen von Truma sollen 2010/2011 auf dem Markt eingeführt werden.

3.4 Wettbewerbsvorteile

Vorteile der Brennstoffzelle gegenüber herkömmlichen Dieselgeneratoren im Freizeitbereich sind die geringe Geräuschentwicklung und der schadstofffreie Betrieb. Im Vergleich zu größeren Batterien sind sie umweltfreundlicher, da sie ohne schädliche Batteriechemikalien auskommen. Brennstoffzellensysteme sind generell langlebig,

robust, wartungsarm und energieeffizienter. Die sich daraus ergebenden stark verringerten Wartungsarbeiten tragen zu wesentlichen Kosteneinsparungen bei. Das Brennstoffzellensystem kann auch den jeweiligen Anwendungsumgebungen äußerst flexibel angepasst werden. So ist hier ohne viel Aufwand eine Leistungs- und/oder Kapazitätsvergrößerung möglich, zumal sie im Vergleich zu Batterien und Solaranlagen eine höhere Ladekapazität aufweisen. Außerdem ist der Platzbedarf bei den Brennstoffzellensystemen vielfach wesentlich geringer. CO₂-Emissionsminderung und Brennstoffvermeidung stehen zwar in diesem Anwendungsfeld nicht im Vordergrund, sind aber dennoch insbesondere gegenüber Dieselgeneratoren ein deutlicher Wettbewerbsvorteil von Brennstoffzellen.

Highlights in D: Produkte und Prototypen



Produkt: EFOY Brennstoffzelle von SFC

- EFOY-Brennstoffzelle von SFC seit 2003 auf dem Markt
- Einsatz u. a. im Freizeitbereich für Bordstromversorgung von Reisemobilen
- Aufbau eines Logistiksystems für Methanol
- Wird von Hymer, Bürstner, Eura-Mobil, Westfalia in Wohnmobile und von Daimler in Behördenfahrzeuge eingebaut.
- SFC hat im Dezember 2009 bereits über 15.000 Brennstoffzellen verkauft



Prototyp: VeGA Brennstoffzelle von Truma

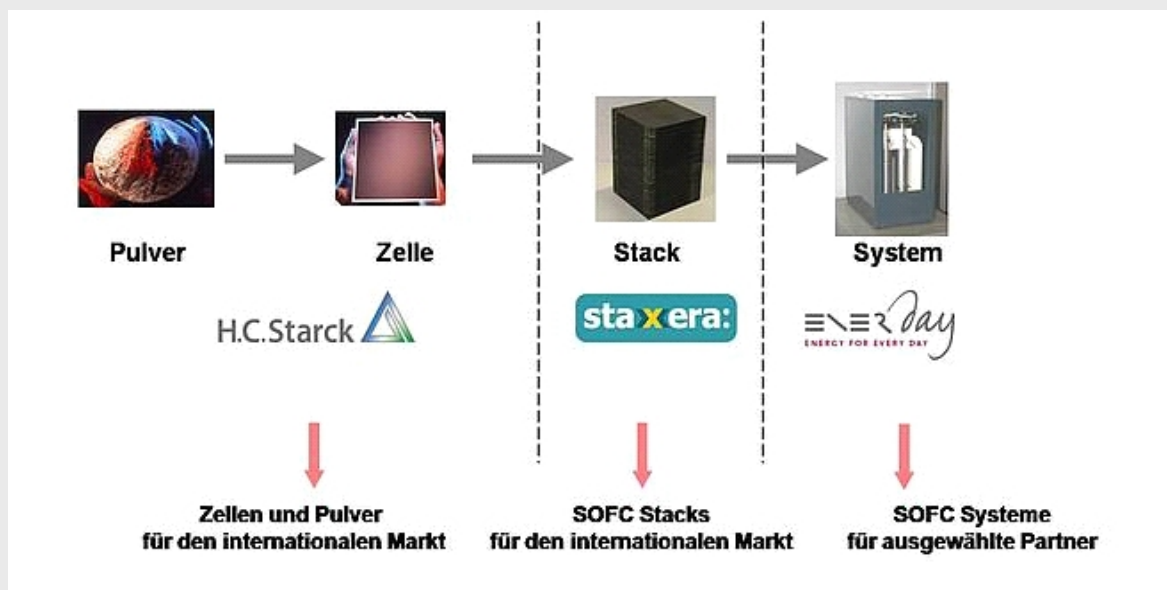
- HT-PEM mit einer Leistung von 250 W, die mit Flüssiggas betrieben wird und speziell für den Caravan-Markt entwickelt wurde
- Die Einführung einer Kleinserie erfolgt derzeit durch 100 Systeme im Feldtest und 1000 geplante Systeme für das Jahr 2011

3.5 Wertschöpfungskette

Die Wertschöpfungskette ist zumindest im Bereich der Bordstromversorgung von Wohnmobilen vom Komponentenhersteller über den BZ-Hersteller bis zum OEM, also den Wohnmobilherstellern, vorbildlich geschlossen. Zulieferer aus Deutschland können hier Stückzahlen erkennen und Serienfertigung üben. Erste Umsätze werden erzielt und vor Ort mit bald einigen Hundert Arbeitsplätzen neue Beschäftigungsfelder erschlossen. Das Produktportfolio der Zulieferunternehmen ist dabei nicht nur spezifisch für Freizeitanwendungen.

Wertkette Enerday

Die Enerday GmbH entwickelt eine SOFC-Brennstoffzelle (Erdgas oder Flüssiggas) für die autarke Energieversorgung, die auch im Freizeitbereich eingesetzt werden kann. Markteinführung ist 2011 geplant. Durch das Joint Venture Staxera, als Stack-Produzenten, haben die Enerday GmbH und die H.C. Starck GmbH die Wertschöpfungskette zwischen Zellen und BZ-System geschlossen.



3.6 Scoring Modell

Bewertungskriterium	Erläuterung
Stromversorgung Freizeit	
OEM, industrieller Endkunde ■ ■ ■	Einsatz von EFOY-Brennstoffzellen durch eine Vielzahl von Reisemobilherstellern, Bootsbauern und privaten Endkunden
BZ-Hersteller ■ ■ ■	6 Hersteller, ein Marktführer: SFC; Truma, enerday, Enymotion
BZ-Produkte ■ ■ ■	DMFC erfolgreich im Markt eingeführt
Wertschöpfungskette ■ ■ ■	Abdeckung der gesamten Wertschöpfungskette inkl. der Brennstoffzellenproduktion über Wohnmobil und Yacht-Hersteller, guter Zugang zum Endkunden

3.7 Zusammenfassung

- Insgesamt 15 BZ-Unternehmen, davon 6 BZ-Hersteller und 6 OEMs
- SFC Smart Fuel Cell ist Marktführer und kooperiert mit führenden Caravan-Herstellern
- Die Truma Gerätetechnik GmbH wird aufgrund seiner starken Rolle als Klimatechniker, Automobil- und Caravanzulieferer mit direktem Marktzugang eine zunehmende Bedeutung erlangen.

3.8 Auswahl von BZ-Herstellern, Zulieferern und OEMs

Auswahl von OEM, BZ-Hersteller, Zulieferer im Segment „Stromversorgung Freizeit“				
OEMs	Branche	Größe	Produkt	Status
Bürstner-Reisemobil, Burow-Mobil, Euro-Mobil, Hymer, Westfalia, Dometic	Reisemobile	mittelständisch	Einbau der EFOY-Brennstoffzelle von SFC	Produkt im Premiumbereich
BZ-Hersteller				
Enerday	BZ	Start-up	Flüssiggasbetriebene SOFC auch für Freizeitbereich	Prototyp Juni 2009 fertiggestellt, Markteinführung 2011 geplant
enymotion	BZ	Start-up	HT-PEM (Propan/Butan), Caravans, Freizeitboote etc.	F&E, genauer Entwicklungsstatus nicht bekannt
MFC, MicroFuelCells	BZ	1-20	Portable Stromversorgung mittlere Leistungsbereiche	Produkt
SFC smart Fuel Cell	BZ	> 100	DMFC für Caravan und Camping etc.	Produkt
Swarco FuelCell GmbH	BZ	mittelständisch	Reformer-BZ-System das mit LPG betrieben werden kann	F&E
Truma	Flüssiggasheizungen für Freizeitfahrzeuge und Boote	mittelständisch	HT-PEM für Caravan und Reisemobil Markt	Kleinserie für 2011 geplant
Zulieferer ³				
Behr GmbH & Co KG	Automobilzulieferer	17000	Wärmetauscher für BZ	Produkt
Eberspächer GmbH	Automobilzulieferer	5600	Entwicklung eines APU-Systems inkl. Reformer	F&E
Innecken Elektrotechnik GmbH	Elektrische Anlagen für die Automation	100-250	Elektronische BZ-Managementsysteme	Produkt

³ Aufgrund der Vielzahl von Stackkomponenten- und Peripheriekomponentenhersteller sowie weiterer Systemzulieferer können hier nicht alle aufgeführt werden, es werden beispielhaft nur drei Zulieferer genannt.

4 Lagertechnik-Fahrzeuge (Stapler, Schlepper)

4.1 Unternehmen

In Deutschland konnten insgesamt 12 Unternehmen identifiziert werden, die im Bereich Brennstoffzellen für Flurförderzeuge tätig sind. Beide deutschen OEMs, KION (mit den Marken Still und Linde) sowie Jungheinrich, führen F&E-Projekte für brennstoffzellengetriebene Flurförderzeuge durch und haben bereits Prototypen entwickelt. Nach Toyota gehören KION und Jungheinrich mit den Plätze 2 und 3 zu den führenden Herstellern im Bereich der Flurförderzeuge. Zu den wichtigen Brennstoffzellenherstellern in Deutschland in diesem Gebiet zählen Proton Motor und Hydrogenics. Proton Motor hat sich darauf spezialisiert Brennstoffzellensysteme für Sonderfahrzeuge, wie Gabelstapler, Reinigungsfahrzeuge aber auch Schiffe. Hydrogenics ist ein kanadisches Unternehmen mit einer Tochtergesellschaft in Deutschland, das Brennstoffzellen für Busse, Material Handling und USV herstellt.

Übersicht der Unternehmen in D			
	Anzahl	Untern. mit Produkten/Einzelanfertigung	Untern. Prototypen/F&E
OEM	4	0	4
BZ-Hersteller/Systemintegratoren	4	2	2
Zulieferer	4	4	0

4.2 Märkte – weltweit

In der Studie „Fuel Cells to 2012“ von Freedonia wird der amerikanische Markt im Bereich der Motive Power, der neben dem Materials Handling auch Scooter, Golfcarts und Elektrische Rollstühle umfasst, im Jahr 2012 mit 40 Mio. US\$ angegeben. Die wichtigsten Brennstoffzellen-Hersteller sind Plug Power, Hydrogenics, Deka/Nuvera (PEM) und Oorja Protonics (DMFC-Batterieladegerät für mobile Systeme). Das Gendrive System von Plug Power wird von Unternehmen wie Wegmans, Whole Food und Sysco mittlerweile nicht mehr nur für Pilotversuche sondern auch für Flottenausstattungen bestellt.

PikeResearch gibt den globalen Markt für Materials Handling mit 160 Mio. US\$ im Jahr 2012 an und mit 470 Mio. US\$ im Jahr 2017 an. Pike Research sieht die Marktentwicklung also deutlich optimistischer als Freedonia. Nach der Studie von Pike Research würde die Marktdurchdringung mit Brennstoffzellen im Jahr 2017 bereits etwa 20 % betragen, wenn man von etwa gleichen Kosten von Brennstoffzellen und Batterien ausgeht und berücksichtigt, dass der Markt für Traktionsbatterien für Lagertechnikfahrzeuge im Jahr 2004 weltweit nur 1,5 Mrd. US\$ betrug.

4.3 Markt/Produkte – Deutschland

Derzeit befinden sich noch keine serienreifen Flurförderzeuge auf dem Markt. Die Entwicklungen von Brennstoffzellen Gabelstaplern und Flurfahrzeugen bei Linde/Still befinden sich in der Felderprobungsphase und bei Jungheinrich noch in der Entwicklungsphase. Das einzige Unternehmen in Deutschland, das als BZ-Hersteller für diesen Anwendungsbereich identifiziert werden konnte, ist Proton Motor Fuel Cell GmbH. Allerdings hat auch der kanadische BZ-Hersteller Hydrogenics eine deutsche Tochtergesellschaft, inwieweit hier auch Brennstoffzellen produziert werden, ist nicht bekannt. Weiterhin entwickelt das Forschungszentrum Jülich ein BZ-System für Flurförderzeuge und die Hoppecke Batterien GmbH integriert Brennstoffzellen und Batterien für diesen Anwendungsbereich. Marktführer für Brennstoffzellen für Flurförderzeuge ist das amerikanische Unternehmen PlugPower. Nach Aussagen von Fuel Cells 2000 befinden sich weltweit heute etwa 500 Flur- und Förderfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieben in der Feldtestphase [Fuel Cells 2000, 2009].

4.4 Fördermodell USA

Im Oktober 2008 wurde vom US Congress die Verlängerung des „Investment Tax Credit (ITC) for fuel cell technology“ verabschiedet. Das Förderinstrument ist damit bis Dezember 2016 verlängert worden. 30 % der Kosten, maximal aber US\$ 3000/kW, können so bei der Steuererklärung zurückgefordert werden. Voraussetzung ist, dass die Kapazität der Brennstoffzelle mindestens 0,5 kW beträgt und dass die Effizienz der elektrischen Energieerzeugung mindestens 30 % beträgt. Weiterhin wurde am 15. April 2009 vom DoE ein 41,9 Millionen US\$ Förderprogramm bekannt gegeben, um die Kommerzialisierung von Brennstoffzellen in den Bereichen Notstromversorgung und Flurförderzeuge voranzutreiben. Mit der Maß-

nahme werden u. a. Projekte mit 385 Flurfahrzeugen gefördert, in denen die Alltags-tauglichkeit und der Flottenbetrieb getestet werden.

4.5 Wettbewerbsvorteile

Das Hauptargument für den Einsatz von Brennstoffzellen im Vergleich zu Batterie sind die geringeren Lade- und damit Standzeiten der Fahrzeuge. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die Fahrzeuge im Dreischichtbetrieb genutzt werden. Wird ein Life-Cycle Costing durchgeführt, so zeigt sich, dass BZ-Lagerfahrzeuge im 3-Schichtbetrieb kostengünstiger sind als batteriebetriebene Fahrzeuge. Allerdings können die Einsparungen die zusätzlichen Anschaffungskosten nicht kompensieren. Durch eine Subvention in der Größenordnung von etwa US\$ 2000/kW kann erreicht werden, dass die Brennstoffzelle preislich wettbewerbsfähig wird.

Im Vergleich zu Verbrennungsmotor getriebenen Fahrzeugen wird der Vorzug der Brennstoffzelle in der Emissionsfreiheit gesehen. Weiterhin kommt eine Studie des Argonne National Laboratories zu dem Ergebnis, dass batteriegetriebene Gabelstapler 63 % mehr CO₂ emittieren als Gabelstapler mit Brennstoffzellenantrieb [Gaines et al., 2008].

4.6 Wertschöpfungskette

Bei den Flur- und Förderfahrzeugen gehören KION (Linde und Still) und Jungheinrich weltweit zu den führenden Unternehmen. Die BZ-Fahrzeuge von Linde und Still befinden sich bereits in der Feldtestphase, die meisten dieser Fahrzeuge sind mit Brennstoffzellen der amerikanischen Unternehmen Hydrogenics und Nuvera ausgestattet. Dabei erfolgt die Systemintegration der Hydrogenics Stacks von der in Gladbeck angesiedelten Tochtergesellschaft. Allerdings wird in Feldversuchen und F&E-Projekten auch mit deutschen Brennstoffzellenentwicklern zusammengearbeitet. So wurde in einem Feldversuch am Flughafen München im Zeitraum 2001-2004 mit einem Still Gabelstapler eine Brennstoffzelle von Proton Motors eingesetzt. Weiterhin arbeitet Still in Kooperation mit Linde und mit dem Industriebatteriehersteller Hoppecke Batterien GmbH&Co.KG an der Entwicklung eines Brennstoffzellen-Batterie-Hybrid-Systems für Flurförderzeuge.

Bsp. Wertketten	Still Schlepper/Stapler (Feldtests)	Linde Schlepper (Prototyp)	Jungheinrich Gabelstapler (F&E)
Treibstoffversorgung	Linde Gas		
Zulieferer	AKG, ebm-Papst-Landshut, Ritter Elektronik		
BZ-Hersteller	Hydrogenics, Nuvera (USA/D), Proton Motor (D)	Hydrogenics (USA/D)	Forschungszentrum Jülich
Systemintegrator	Hoppecke Batterien		
OEM	Still GmbH	Linde Material Handling	Jungheinrich
Anwender	HHLA Logistics, Flughafen Hamburg, BASF Coatings, Flughafen München		

Das Unternehmen Jungheinrich entwickelt ebenfalls BZ-Antriebssysteme für seine Flurförderzeuge, setzt dabei allerdings auf DMFC-Technologie. Die Brennstoffzellen werden im Forschungszentrum Jülich entwickelt, weiterhin sind verschiedene deutsche Zulieferer beteiligt, wie AKG GmbH (Wärmetauscher/Kühlung), ebm-Papst-Landshut (Ventilation/Lüftung) und Ritter Elektronik (Steuerungselektronik).

Prinzipiell sind die Voraussetzungen für eine geschlossene Wertschöpfungskette in Deutschland gegeben: Die Anwender und OEMs sind vorhanden und auch interessiert, allerdings sind sie aufgrund des kostenkritischen Logistikmarkts nicht bereit in Vorleistung zu treten. Auch die Zulieferer stehen in Deutschland weitgehend bereit, ihnen fehlt wie den BZ-Herstellern der Marktzugang.

4.7 Scoring Modell

Bewertungskriterium	Erläuterung
Lagertechnik Fahrzeuge	
OEM, industrieller Endkunde ■ ■	3 führende Unternehmen im Bereich Flurförderzeuge, Jungheinrich, Still (KION) und Linde (KION) Nur verhaltenes Interesse am Einsatz von Brennstoffzellen
BZ-Hersteller/Systemintegratoren ■ ■	3 BZ-Hersteller im Bereich Flurförderzeuge, Marktführer kommen jedoch aus dem Ausland: Plug Power, Hydrogenics und Oorja Protonics
BZ-Produkte ■	Bislang erst einzelne Prototypen getestet Durch staatliche Förderung erfolgen in den USA bereits Feldtests mit größeren Flotten
Wertschöpfungskette ■	Der Zugang zum Endkunden über die OEM ist vorhanden aber keine starken BZ/Stack-Hersteller Kooperation der OEMs auch mit US-amerikanischen BZ-Herstellern: Hydrogenics, Nuvera

4.8 Zusammenfassung

- 12 Unternehmen davon 4 OEMs, 3 BZ-Hersteller, 1 Systemintegrator, 4 Zulieferer
- Alle Anwendungsbereiche noch im Prototypen- und Teststadium
- Stärkste Aktivitäten im Bereich Logistik Förderfahrzeuge (Linde/Still, Jungheinrich)

4.9 Auswahl von BZ-Herstellern, Zulieferern und OEMs

Auswahl an OEMs, BZ-Herstellern und Zulieferern im Segment Lagertechnik-Fahrzeuge				
OEMs	Branche	Größe	Produkt	Status
Jungheinrich	Flurförderzeuge, Lagertechnik	Großunternehmen	FC-Hubwagen und Stapler	F&E mit DMFC
Linde (KION)	Flurförderzeuge	Großunternehmen	Schlepper	Bau von 50 Fahrzeugen geplant für Feldtest (Abschluss 2015)
Mulag	Flughafenfahrzeuge, Straßenunterhaltungsgeräte	mittelständisch	Schlepper Förderbandwagen	F&E
Still (KION)	Intralogistik, Gabelstapler, Flurförderzeuge	Großunternehmen	PEM-Gabelstapler und Schlepper	Testphase Flughafen Hamburg und München
BZ-System-integrator				
Akkumulatorenwerke Hoppecke Carl Zoellner & Sohn GmbH	Industriebatterien	500-1000	Entwicklung eines BZ-Batterie Hybriden, der die Systemkosten um 75 % senkt	Prototypen
BZ-Hersteller				
Forschungszentrum Jülich	Forschungsinstitut	4400	DMFC für Flur- und Förderfahrzeuge in Kooperation mit Jungheinrich	F&E
Hydrogenics	BZ	mittelständisch	Brennstoffzellen für Flurförderzeuge, Busse, USV	Produkt
Proton Motor Fuel Cell GmbH	BZ	45	PEM für Sonderfahrzeuge	Einzelanfertigung, Still Gabelstapler, Hymove (Kehrmaschine)
Zulieferer				
Air Liquide	Gase	> 10.000	H2-Infrastruktur	4 H2-Tankstellen in D
AKG GmbH	Wärmetauscher	> 1000	Kühlsysteme für BZ für Lagertechnik-Fahrzeuge und Sonderfahrzeuge	Prototypeneinsatz HyLite (DLR), Gabelstapler (Still), Scooter (Jülich)

Linde	Gase	> 10.000	H2-Infrastruktur	H2-Tankstellen
Ritter Elektronik	Leistungselektronik	< 250	Periphere Elektronik für FC, DMFC	Entw. der Elektronik für Junghans Hubwagen

5 Sonderfahrzeuge (Kommunalfahrzeuge, Servicefahrzeuge wie mobiles Büro)

5.1 Unternehmen

In Deutschland gibt es nur wenige Unternehmen, die einen Fokus auf den Bereich Sonderfahrzeuge haben. Als OEMs bzw. First Tier Supplier konnten nur Daimler, Kärcher und der Automobilzulieferer Webasto identifiziert werden. Zu den Brennstoffzellenherstellern, die in diesem Bereich aktiv sind, zählen SFC, die Ulmer Brennstoffzellen Manufaktur in Kooperation mit dem Systemintegrator ECG, Heliocentris und Proton Motor. Weiterhin kommen als Hersteller hier prinzipiell auch die Unternehmen in Betracht, die Komponenten für den Anwendungsbereich „Bordstromversorgung im Freizeitmarkt“ entwickeln (wie die enymotion GmbH und die Truma Gerätetechnik GmbH). Als Zulieferer, der sich auf APUs im Fahrzeugbereich spezialisiert hat, konnte nur das Unternehmen Eberspächer identifiziert werden, das einen Reformer für eine SOFC-APU entwickelt.

Übersicht der Unternehmen in D			
	Anzahl	Untern. mit Produkten	Untern. Prototypen/F&E
OEM	3	1	2
Systemintegrator	1	1	0
BZ-Hersteller	6	4	2
Zulieferer, kaum Zulieferer mit spezifischen Produkten für APUs	1	0	1

5.2 Märkte – weltweit

Für den Bereich Sonderfahrzeuge sind keine Marktdaten verfügbar und Entwicklungsaktivitäten von Unternehmen kaum sichtbar. Am häufigsten finden sich Entwicklungsprojekte, in denen APUs für Sonderfahrzeuge entwickelt werden, so dass hier der größte Markt in diesem Segment erwartet werden kann. Für APUs für Sonderfahrzeuge sind im Gegensatz zu APUs im Freizeitbereich keine Marktdaten verfügbar, von Pike Research wird dieses Segment als Nischenmarkt eingeschätzt. Es ist daher in ihren Marktstudien nicht explizit aufgeführt.

Der größte Markt für APUs im nicht-Freizeitbereich wird in der Standstromversorgung von LKWs gesehen. Diese Systeme befinden sich derzeit noch im Prototypenstadium. Verwendet man APUs für den Einsatz in LKWs als eine Obergrenze für das Marktsegment, so kann die Marktobergrenze folgender Weise abgeleitet werden. Der Weltmarkt für APUs wird auf 80.000 Einheiten pro Jahr geschätzt (HyTran, 2009). Es wird ein Marktwachstum von 5 % angenommen, so dass 2012 90.000 und 2017 120.000 Einheiten abgesetzt werden. Bei einem Preis für eine 5 kW Brennstoffzelle von 20.000 US 2012 und einer Marktdurchdringung von 5 % ergibt sich ein Markt von 90 Mio. US\$. Für das Jahr 2017 leitet sich analog ein Markt von 110 Mio. US\$ ab, wenn man von einem Preis von 10.000 US\$ (Pike Research) für eine 5 kW Brennstoffzelle und einer Marktdurchdringung von 10 % ausgeht.

5.3 Markt/Produkte – Deutschland

Derzeit befinden sich noch keine serienreifen Brennstoffzellensysteme für Sonderfahrzeuge auf dem Markt. Lediglich die ECG GmbH hat für die Sparkasse Euskirchen ein APU-System für eine mobile Geschäftsstelle konzipiert, die mit einer 50 l H₂-Gasflasche zehn Stunden betrieben werden kann. Das Brennstoffzellensystem stammt von der Ulmer Brennstoffzellen Manufaktur (UBZM).

Darüber hinaus ist bekannt, dass die Fa. Webasto an einem Brennstoffzellensystem arbeitet, das mit Diesel betrieben werden kann und das als APU für die Stromversorgung von Standheizungen und Klimaanlage eingesetzt werden soll.

Das erste BZ-getriebene Sonderfahrzeug wurde von Proton Motor in Kooperation mit Bucher Schöring, der Brusa Elektronik AG und weiteren Partner entwickelt und im Sommer 2009 an das Tiefbauamt in Basel ausgeliefert, um dort einem ausführlichen Praxistest unterzogen zu werden.

5.4 Wettbewerbsvorteile

Der Einsatz von Brennstoffzellen in Sonderfahrzeugen, wie z. B. Kommunalfahrzeugen, hat den Vorteil eines im Vergleich zu Dieselmotoren geringeren Treibstoffverbrauchs. Aufgrund der Emissionsfreiheit können die Systeme zudem auch in geschlossenen Räumen eingesetzt werden.

Den Hintergrund für die Entwicklung von APUs für Sonderfahrzeuge bildet der autarke Strombedarf für an Bord befindliche Geräte. Insbesondere der Stromverbrauch bei stehendem Fahrzeug sind durch die Speicherkapazität der Batterie bislang Grenzen gesetzt. Bisherige konventionelle Stromgeneratoren (z. B. mit Verbren-

nungsmotoren) können aus Platz-, Gewichts-, Geräusch- und Abgasgründen nur außerhalb des Fahrzeuges eingesetzt werden. Dagegen können auf Brennstoffzellentechnik basierende APUs als „Mini-Kraftwerke“ im Fahrzeug den Bordnetzstrom umweltfreundlich über längere Zeiträume erzeugen. Die Effizienz der Stromerzeugung ist aufgrund der direkten Umsetzung der Brennstoffenergie in Strom wesentlich höher als bei der heutigen Stromerzeugung über Motor und Lichtmaschine. Damit ergibt sich für das Fahrzeug eine Steigerung des Gesamtwirkungsgrades.

5.5 Wertschöpfungskette

Prinzipiell sind in Deutschland alle Stufen der Wertschöpfungskette von der Brennstoffzelle über den OEM bis zum Endverbraucher vertreten, insbesondere im Leistungsbereich von einigen 100 W. Im Leistungsbereich von 1-5 kW werden SOFC-Brennstoffzellen von Webasto in Kooperation mit Staxera entwickelt. Für PEMs im Leistungsbereich von einigen kW sind im Segment der Flurförderzeuge amerikanische Unternehmen wie Hydrogenics und Nuvera führend. Es ist daher naheliegend, dass bei einem Einsatz von Brennstoffzellensystemen dieser Leistungsklasse im APU-Bereich auch hier bevorzugt Brennstoffzellensysteme amerikanischer Unternehmen eingesetzt würden.

5.6 Scoring Modell

Bewertungskriterium Sonderfahrzeuge	Erläuterung
OEM, First Tier Supplier ■ ■	3 OEMs/First Tier Suppliers, Daimler, Webasto, Kärcher, prinzipiell große Anzahl von Sonderfahrzeugbauern in Deutschland
BZ-Hersteller/ Systemintegratoren ■ ■	Brennstoffzellensysteme verschiedener Hersteller im Bereich von einigen 100 Watt bis einigen Kilowatt einsetzbar: SFC, Proton Motor, UBzM etc.
BZ-Produkte ■ ■	Bislang erste Nischenprodukte und Feldtests mit einzelnen Sonderfahrzeugen, aber auch international sind nur wenige Aktivitäten bekannt
Wertschöpfungskette ■ ■	Die Wertschöpfungskette ist zumindest im unteren Leistungsbereich geschlossen

5.7 Zusammenfassung

- Bisher erst wenige Unternehmen aktiv, überwiegend 6 BZ-Hersteller, 3 OEMs und ein Systemintegrator (ECG GmbH)
- Potentielle Kunden im Sonderfahrzeugbau müssen noch eingebunden werden.
- Bislang nur Einzelanfertigungen von deutschen Unternehmen auf dem Markt

5.8 Auswahl von BZ-Herstellern und OEMs

Auswahl von OEM und BZ-Hersteller im Segment Sonderfahrzeuge (Servicefahrzeuge wie mobiles Büro, Reinigungsfahrzeuge etc.)				
	Branche	Größe	Einsatzbereiche	Status
OEMs / First Tier Supplier				
Daimler AG	Automobil	Großunternehmen	Power Tools	F&E
Kärcher	Reinigungsgeräte	mittelständisch	Fahrbare Reinigungsgeräte	F&E
Webasto	Automobilzulieferer	mittelständisch	Standheizungen, Klimaanlage	F&E
Systemintegrator				
Elektrochemische Generatoren ECG	BZ	klein	BZ-Stromversorgung für ein fahrbares Sparkassenbüro	Einzelanfertigung
BZ-Hersteller				
Elring Klinger	Automobilzulieferer	4200	Entwicklung von SOFC-Stacks	F&E
Heliocentris	BZ	40	BZ-Anpassung für unterschiedlichste Anwendungen u. a. APUs	Einzelanfertigung
Proton Motor Fuel Cell GmbH	BZ	45	PEM für Sonderfahrzeuge	Einzelanfertigung
SFC Smart Fuel Cell	BZ	> 100	Batterielader 20-50 W	Produkt
Swarco	BZ	mittelständisch	Entwicklung eines Reformers-BZ-Systems das mit LPG betrieben werden kann	F&E
Ulmer Brennstoffzellen-Manufaktur	BZ	klein	Entwicklung von BZ u. a. für den Einsatz als APU	Einzelanfertigung
Zulieferer				
Eberspächer	Automobil	5600	Entwicklung eines Reformers für SOFC-APU	F&E

6 Elektrische Leichtfahrzeuge (E-Fahrräder, Cargo Bikes) und Boote

6.1 Unternehmen

Insgesamt sind in Deutschland 12 Unternehmen identifiziert worden, die das Anwendungsfeld BZ-Leichtfahrzeuge adressieren: 5 OEMS (Hawk Bikes, Herkules Accell, Meyra-Ortopedia, Veloform, H2Yacht) ein Systemintegrator (Clean Air Bike GmbH) und 3 BZ-Hersteller. Führende BZ-Hersteller sind die Masterflex AG und SFC Smart Fuel Cell. Unter den Zulieferern sind nur jene aufgeführt, die spezifische Produkte für BZ-getriebene elektrische Leichtfahrzeuge herstellen. Weil auf dem Gebiet der BZ-betriebenen Leichtfahrräder derzeit die stärksten Entwicklungsaktivitäten in Deutschland zu verzeichnen sind und hier auch die Informationslage am besten ist, wird in der folgenden Diskussion der Fokus auf dieses Anwendungsfeld gelegt.

Übersicht der Unternehmen in D			
	Anzahl	Untern. mit Produkten/Kleinserie	Untern. Prototypen/F&E
OEM	5	2	3
Systemintegratoren	2	1	1
BZ-Hersteller	3	3	0
Zulieferer (nur die spezifische Produkte für Leichtfahrzeuge herstellen)	2	1	1

6.2 Märkte - weltweit

Von allen Anwendungsmärkten der BZ in Leichtfahrzeugen entwickelt sich das Marktsegment Fahrräder mit elektrischem Zusatzantrieb am dynamischsten. Von diesen Rädern sind im Jahr 2008 23 Millionen Stück verkauft worden, davon über 90 % in Asien. Damit sind die Vorhersagen aus dem Jahr 2005 von Frost und Sullivan um mehr als 35 % übertroffen worden (Business Week). Bis zum Jahr 2012 soll sich die Anzahl der Pedelecs verdoppeln (Business Week). In dieser Studie gehen wir davon aus, dass bis zum Jahr 2017 60 Mio. E-Bikes verkauft werden.

Über der Anzahl der E-Bikes, die mit Brennstoffzellen betrieben werden, sind keine Zahlen bekannt. Nach einem Report von Fuel Cells 2000 [2009a] sind seit dem Jahr 2001 weltweit 46 Prototypen für BZ-getriebene Leichtfahrzeuge (E-Bikes, E-Scooter, Golfcarts, BZ-Rollstühle) vorgestellt worden, davon 11 E-Bikes. Zu den Unternehmen, die in diesem Bereich tätig sind und bereits Prototypen auf den Markt gebracht haben, zählen Manhattan Scientifics (USA) in Kooperation mit Aprilia (Italien), Palcan Fuel Cells (Kanada) in Kooperation mit Yamaha, FAAM (Italien) in Kooperation mit Beijing Fuyuan (China), Tropical S.A. (Griechenland), Horizon Fuel Cell Technologies (Singapur), Iwatani Corp (Japan), Powerzinc Electric (China), Shanghai Green Light Electric Bicycle (China) sowie in Deutschland Veloform jeweils in Kooperationsprojekten mit SFC und Masterflex.

Zwei- und dreirädrige Fahrzeuge (Pedelec/E-Bike, Scooter, elektrische Behindertenfahrzeuge, etc.) sind in den letzten Jahren für einen Nischenmarkt (regionale Demonstratoren, Messen, etc.) bereits auf dem Markt. Seit 2007 sind vermehrte Aktivitäten bei den dreirädrigen BZ-unterstützten Cargo-Bikes festzustellen. Diese sollen als Flottenfahrzeuge für Postzustellungen (oder sonstige Lieferungen) und die Personenbeförderungen (Velotaxen) dienen.

Derzeit wird ein Einsatz von Brennstoffzellen im Bereich der E-Bikes nur in Nischenmärkten gesehen, da die Brennstoffzellen 1) im Vergleich zum E-Bike zu teuer sind, 2) die Wasserstoffversorgung noch nicht sichergestellt ist und Wasserstoff aufgrund der geringen Energiedichte nur eine vergleichsweise geringe Reichweitenverbesserung gegenüber der Batterie ermöglicht und 3) weil die DMFC Brennstoffzelle noch so groß ist, dass sie nur auf Dreirädern montiert werden kann. Basierend auf Informationen aus den Experteninterviews wird für 2017 von einem Markt von 30000 BZ-Bikes weltweit ausgegangen. Dies entspricht bei Kosten einer Brennstoffzelle von 1000 US\$ einem Markt von 30 Mio. US\$.

6.3 Markt/Produkte Deutschland

Die drei treibenden Unternehmen, die in Deutschland im Bereich der E-Bikes arbeiten, sind die Brennstoffzellenhersteller SFC und Masterflex, sowie das Unternehmen CleanMobile, das sich auf die Herstellung von Antriebssystemen für BZ-Fahrräder spezialisiert hat.

Masterflex kooperiert bei der Herstellung von BZ-Fahrrädern mit dem Fahrradherstellern Hawk Bikes und dem Velotaxen-Hersteller Veloform. Mit beiden Unterneh-

men werden BZ-Fahrräder, -Lastenfahrzeuge und -Velotaxen als Transportmittel für Personen und Waren hergestellt. Die von Masterflex entwickelten Cargo Bikes werden seit 2006 in Kleinserie produziert. Käufer sind z. B. die Deutsche Telekom, die 40 Cargo-Bikes während der Fußballweltmeisterschaft 2006 und während der Internationalen Funkausstellung 2008 in Berlin einsetzte. Mittelfristiges Ziel von HAWK Bikes ist die Erarbeitung von Flottenlösungen, z. B. Transporträder für die Deutsche Post AG.

Auch die Clean Mobile AG entwickelt BZ-Cargo Bikes mit dem Brennstoffzellenhersteller Smart Fuel Cell und dem Fahrradhersteller Hercules und sieht den Eintrittsmarkt bei der Postzustellung.

6.4 Wettbewerbsvorteile

Gegenüber batteriebetriebenen Fahrzeugen haben BZ-Fahrzeuge den Vorteil der längeren Ladungsintervalle und der größeren Reichweite. Diese Wettbewerbsvorteile kommen vor allem bei Reichweiten von mehr als 20 km zur Geltung. Jegliche Weiterentwicklung der Batterietechnologie im Hinblick auf Preis, Ladekapazität und Lebensdauer wird den Markteintritt der Brennstoffzelle erschweren.

6.5 Wertschöpfungskette

Die Wertschöpfungskette im Bereich BZ-Fahrräder und Lastenräder ist in Deutschland mit den BZ-Herstellern SFC und Masterflex, dem Getriebehersteller Clean Mobile und Fahrradherstellern wie Veloform und Hawk Bikes geschlossen.

6.6 Scoring Modell

Bewertungskriterium Elektrische Leicht- fahrzeuge	Erläuterung
OEM ■ ■	5 OEMs aus dem Bereich elektrische Leichtfahrzeuge: Hawk Bikes, Veloform, Herkules Accell, Meyra-Ortopedia, H2Yacht
BZ-Hersteller ■ ■	2 führende Hersteller: SFC, Masterflex
BZ-Produkte ■ ■	Im fortgeschrittenen Prototypenstadium, Voraussetzungen für eine Serienproduktion sind gegeben
Wertschöpfungskette ■ ■ ■	Die Wertschöpfungskette ist mit Brennstoffzellen- und Getriebeherstellern sowie OEMs geschlossen.

6.7 Zusammenfassung

- Insgesamt 12 BZ-Unternehmen, davon 3 BZ-Hersteller und 5 OEMs
- Führende BZ-Hersteller sind die Masterflex AG und SFC Smart Fuel Cell.
- Die Anwendungsentwicklung von BZ-betriebenen Leichtfahrrädern ist weit fortgeschritten, im Boot-Bereich gibt es erst wenige Demonstratoren.

6.8 Auswahl von BZ-Herstellern, Zulieferern und OEMs

Auswahl von OEM, BZ-Hersteller, Zulieferer im Segment elektrische Leichtfahrzeuge				
OEMs	Branche	Größe	Produkte	Status
H2Yacht	BZ-Schiffbau	klein	BZ-Tuckerboot	Prototyp
Hawk Bikes E&M GmbH	Fahrradhersteller	mittelständisch	CargoBike mit Masterflex	Kleinserie
Herkules Germany	Accell Fahrradhersteller	mittelständisch	CargoBikes mit Clean Mobile	Prototypen
Meyra-Ortopedia	Rollstühle/Therapiegeräte	mittelständisch	Rollstuhl	Prototypen
Veloform GmbH	Fahrrad-, Rikschahersteller	1-10 Mitarbeiter	Riksha	Prototypen/ Kleinserie
Systemintegratoren				
Clean Mobile	Antriebe und Konzeption für BZ-Lastenräder	1-20	Antriebe und Konzeption für BZ-Lastenfahräder	Prototypen
zebotec	BZ	klein	Integration von Dantherm BZ u. a. für Bootsantriebe	Einzelanfertigung
BZ-Hersteller				
SFC Smart Fuel Cell	BZ	> 100	DMFC für Caravan und Camping etc.	Produkt, EFOY-BZ, bereits seit 2005 in Caravans eingesetzt
Masterflex Brennstoffzellen GmbH	BZ	1-20	BZ für Fahrräder und Labor/Werkstattwagen	Kleinserie
Ulmer Brennstoffzellen-Manufaktur	BZ	1-20	BZ als Batterieextender für elektrische Schiffsantriebe	Einzelanfertigung
Zulieferer				
Air Liquide	Gase	Großunternehmen	Abfüllanlage für 2l 700 bar H2-Kartuschen	Aufbau 2006
Clean Air Bike GmbH	Vertrieb	klein	Vertrieb und Entwicklung von BZ-Rädern in Kooperation mit Masterflex u.a.	Prototypen

7 Mikrobrennstoffzellen (> 20 Watt, Power Tools, Laptops)

7.1 Unternehmen

Mikrobrennstoffzellen mit einer Leistung größer 20 Watt sind derzeit die meistverkauften Brennstoffzellen für den Camping und Caravanbereich. Weiterhin werden Brennstoffzellen mit dieser Leistung auch im Bereich der elektrischen Leichtfahrzeuge eingesetzt. Diese beiden Anwendungsbereiche der Brennstoffzelle werden in den entsprechenden Abschnitten separat behandelt. Hier werden daher nur die Brennstoffzellenaktivitäten aufgenommen, die technische Anwendungen wie Power Tools, Portable Elektronik und technische Anwendungen wie Stromversorgung für Sensornetzwerke adressieren.

Insgesamt wurden nur 3 OEMs für Brennstoffzellen im 100 W Bereich identifiziert: AMMONIT (autarke Messtechnik), Haseke GmbH (Golf Caddies) und Bosch (Power Tools). Zu den BZ-Herstellern in dieser Leistungsklasse zählen Heliocentris Fuel Cell AG mit dem Constructor Systemprogramm mit einer Leistung von max. 50 W, die Ulmer Brennstoffzellenmanufaktur und die SFC Smart Fuel Cell AG mit ihrem EFOY-Programm mit einer Leistung zwischen 25 und 90 Watt. Die Zulieferer für Membranen, Stacks und Peripheriekomponenten sind nicht spezifisch für die Leistungsklasse von 100 Watt und werden hier daher nicht explizit aufgeführt.

Übersicht der Unternehmen in D			
	Anzahl	Unternehmen mit Produkten/Einzelanfertigung	Unternehmen mit Prototypen/F&E
OEM	3	0	3
BZ-Hersteller	5	4	1
Zulieferer (nicht spezifisch für 100 Watt BZ)	2	2	0

7.2 Märkte – weltweit

In der Studie von PikeResearch „Fuel Cells for Portable Power Applications“ werden als wichtigste Anwendungsbereiche der Brennstoffzelle > 20 Watt Sicherheitsanwendungen (Sicherheitskameras, Sensoren, Zäune etc.), netzferne Sensoren ange-

geben. Weitere Anwendungsbereiche sind Power Tools, Unterhaltungselektronik, portable medizinische Anwendungen. Der globale Markt im 100 Watt-Bereich für 2012-2014 wird mit 150 Mio. US\$ angegeben und für den Zeitraum 2015-2017 mit 350 Mio. US\$. Zu den Unternehmen, die in diesem Leistungsbereich Brennstoffzellen entwickeln, gehören Aquafairy, Hitachi, NEC, Sony, Tekion, Toshiba, Angstrom, Lilliputian, NanoDynamics, MTI MicroFuel Cells Inc., Jadoo, Protonex, UltraCell und Adaptive Materials Inc.

7.3 Markt/Produkte – Deutschland

Das einzige deutsche Unternehmen, das in diesem Leistungsbereich bereits serienmäßig Brennstoffzellen herstellt, ist SFC, der Hauptabsatz wird dabei im Caravanbereich erzielt. Weiterhin ist Heliocentris noch ein bereits etablierter Hersteller von Brennstoffzellen im Bereich >20 Watt. Auffallend ist, dass in den öffentlich geförderten Projekten in diesem Leistungsbereich wie „myPower“ und Micropower keine einschlägig bekannten Brennstoffzellenproduzenten beteiligt sind.

OEMs, die in deutschen öffentlich geförderten Forschungsprojekten zu BZ in diesem Leistungsbereich teilnehmen, sind Ammonit, Haseke und Bosch, von denen nur Bosch mit BZ für die Stromversorgung von Powertools einen Massenmarkt adressiert.

7.4 Wettbewerbsvorteile

Primärer Wettbewerbsvorteil der Mikrobrennstoffzelle im Leistungsbereich > 20 Watt ist die höhere Energiedichte und somit die längere Laufzeit für elektrisch betriebene Geräte. Weiterhin werden als Argument auch Kostenvorteile geltend gemacht, vor allem wenn es um einen Vergleich mit der Stromversorgung auf Basis von Batterien geht.

7.5 Wertschöpfungskette

Der einzige OEM, der in Deutschland Zugang zu Massenmärkten hat und von dem bekannt ist, dass er BZ-Entwicklungsprojekte unterhält, ist Bosch. Somit ist in diesem Segment der Marktzugang in Deutschland schlecht abgebildet. Weiterhin ist SFC das einzige Unternehmen, das Brennstoffzellen in diesem Leistungsbereich serienmäßig herstellt. Die Wertschöpfungsketten sind damit bislang erst fragmentarisch abgebildet.

7.6 Scoring Modell

Bewertungskriterium Mikrobrennstoffzellen (> 20 Watt)	Erläuterung
OEM ■	Bosch und 2 OEMs, die Marktnischen adressieren, Haseke Ammonit
BZ-Hersteller ■ ■	5 Hersteller, u. a. SFC, Heliocentris, eZelleron
BZ-Produkte ■ ■	BZ für netzunabhängige Stromversorgung von Lichtanlagen und Sensorik
Wertschöpfungskette ■	Marktzugang über Mittelständler, die kleinere Märkte adressieren. Zugang zu Unternehmen aus dem Bereich Consumer Electronics fehlen

7.7 Zusammenfassung

- Hauptakteure sind 5 Brennstoffzellenhersteller und 3 OEMs
- Nur ein BZ-Hersteller auf dem Markt: Heliocentris mit Produkten für Modellbau und Batterielader
- Alle anderen Anwendungsbereiche sind noch im F&E-Stadium

7.8 Auswahl von BZ-Herstellern, Zulieferern und OEMs

OEMs BZ-Hersteller und Zulieferer im Segment Mikrobrennstoffzelle > 20 Watt				
	Branche	Größe	Produkte	Status
OEM				
Ammonit	Messgeräte für die Windindustrie	mittelständisch	Netzferne Sensorik	F&E
Bosch	Technologie	Großunternehmen	Power Tools	F&E
Haseke	Steuergehäuse und Tragarmsysteme	mittelständisch	Golf Caddy	F&E
BZ-Hersteller				
eZelleron GmbH	BZ	Start-up	Mikrobrennstoffzellen 1-75 Watt	F&E
Heliocentris	BZ	40 Mitarbeiter	Modellbau, Batterielader 20-50 W	Produkt
Schunk Bahn- und Industrietechnik GmbH	Stromübertragungstechnik	< 250	Herstellung von Einzelstacks (360 W bis 1,4 kW)	Produkt
Smart Fuel Cell	BZ	> 100	Unterhaltungselektronik	Produkt
Ulmer Brennstoffzellen Manufaktur	BZ	klein	Brennstoffzellen ab ein Watt	Produkt
Zulieferer				
Eisenhuth	Werkzeugbau, Spritzguss	mittelständisch	Bipolarplatten, Kooperationsprojekt mit Haseke für den Einsatz in BZ für Golf Caddies	Produkt
EVT Gesellschaft für Energieverfahrenstechnik mbH	BZ	20-50	Entwicklung einer Brennstoffzelle für einen Golf-Caddy	Einzelanfertigung
Kaum spezifische Zulieferer für den Bereich 20 - 100 Watt				

8 Mikrobrennstoffzellen (< 20 Watt, Handy, Kameras, Medizin)

8.1 Unternehmen

Durch die intensive Förderung der Mikrobrennstoffzelle mit der BMBF-Leitinnovation „Mikrobrennstoffzelle“ sind mehr als 35 Unternehmen bekannt, die in diesem Umfeld tätig sind. Jedoch ist der Beitrag der Unternehmen zur Wertschöpfung teilweise gering, z. B. wenn das Unternehmen nur die Beschichtungstechnologie oder Oberflächenveredelung beiträgt. Daher sind für diese Studie nur 21 Unternehmen in die Unternehmensliste aufgenommen worden, von diesen sind alle bis auf Heliocentris im Leistungsbereich unter 20 Watt tätig, viele der Zulieferer, teilweise aber auch die Brennstoffzellenhersteller bieten allerdings auch Produkte an, die für Brennstoffzellen mit mehr als 20 Watt eingesetzt werden können.

Von den 21 Unternehmen sind 4 OEMs, bei denen es sich um mittelständische Unternehmen aus den Bereichen Messtechnik, Medizintechnik, Beleuchtung und Mikrosystemtechnik handelt. Von keinem der OEMs ist bekannt, dass bereits ein BZ-Produkt erfolgreich auf dem Markt eingeführt worden ist. Weiterhin wurden 9 Hersteller von Mikrobrennstoffzellen identifiziert, von denen 4 bereits ein Produkt auf den Markt gebracht haben. Hervorzuheben ist hierbei die Gaserzeugungszelle V 130 H2 von Varta Microbattery mit der die Gasversorgung von Brennstoffzellen in Batteriegröße sichergestellt werden kann. Weiterhin hat Heliocentris ein Mikrobrennstoffzellensystem mit 20-50 Watt Leistung für die Kleinstromversorgung und den Modellbau auf den Markt gebracht. Die Brennstoffzellensysteme mit < 20 W Leistung von FWB und SFC befinden sich noch im Entwicklungsstadium.

Für die Herstellung von Miniaturbrennstoffzellen ist von der Mühlbauer AG aus Roding im Jahr 2007 ein Rolle-zu-Rolle Verfahren entwickelt worden, das es erlaubt stündlich 1000 bis 2000 Exemplare herzustellen. Ob die Technologie bereits für die Herstellung von Brennstoffzellen eingesetzt wird, ist nicht bekannt. Weiterhin sind aus einer Vielzahl von Zulieferern 8 identifiziert worden, die für Mikrobrennstoffzellen spezifische Produkte herstellen. Dazu zählen Membranhersteller wie fumatech und SolivCore, Hersteller von Bipolarplatten, wie SGL Carbon und PSFU GmbH oder Pumpenhersteller wie Bartels und thinxxs.

Übersicht der Unternehmen in D			
	Anzahl	Unternehmen mit Produkten	Unternehmen mit Prototypen F&E
OEM	4	0	4
BZ-Hersteller	9	4	5
Zulieferer	8	4	4

8.2 Märkte – weltweit

Im Bereich der Mikrobrennstoffzellen sind die großvolumigen Märkte Stromversorgungen für elektronische Geräte, wie Mobiltelefone, PDAs, Digitalkameras, Funkgeräte etc. Das einzige Unternehmen, das in diesem Bereich ein Produkt anbietet ist Medis Corporation mit seinem Fuel Cell Charger, dessen nominelle Leistung bei einem Watt liegt und der ausreichend Strom für ca. 30 Stunden Gesprächsdauer mit einem Mobiltelefon liefert. Unternehmen, die diesen BZ-Markt < 20 Watt adressieren und bereits Prototypen auf den Markt gebracht haben sind Aquafairy, Hitachi, NEC, Sony, Tekion, Toshiba, Angstrom, Mechanical Technology Inc und Lilliputian. Produkte werden allerdings bereits in Nischenmärkten wie Demonstrator-Kits, Spielzeuge und militärische Anwendungen verkauft.

Der Umsatz in diesen Märkten wird derzeit auf ein bis 1-2 Mio. US\$ geschätzt. Der Eintritt in die Elektronik-Massenmärkte wird ab 2010 erwartet. Nach dem PikeResearch Report „Fuel Cells for Portable Power Applications“ wird der Umsatz mit Brennstoffzellen <20 W weltweit im Jahr Zeitraum 2012 auf 38 Mio. US\$ geschätzt und im Jahr 2017 auf 240 Mio. US\$. Obwohl die Umsätze im Vergleich zu anderen Marktsegmenten relativ niedrig sind, gilt das Marktsegment für portable Elektronik-Anwendungen als der einzige Massenmarkt der Brennstoffzelle in den speziellen Märkten. Jedoch hat sich die von Markteinführung die von Toshiba bereits für das Jahr 2005 angekündigt wurde immer wieder verzögert. Weiterhin führen die Entwicklungen auf dem Gebiet der Li-Ionenbatterie zu einer Verschlechterung der „Wettbewerbsposition“ der Brennstoffzelle. Wenn die technischen Probleme vollständig gelöst sind wird von einer für die Konsumgüterindustrie typischen schnellen Marktdurchdringung gerechnet, so dass Marktvolumina von mehreren Milliarden, wie von Wintergreen Research vorhergesagt durchaus plausibel sind.

8.3 Markt/Produkte – Deutschland

Heliocentris ist das einzige deutsche Unternehmen, dass bisher im Leistungsbereich 20-50 Watt mit dem Constructor Systemprogramm ein Produkt im Mikrobrennstoffzellenbereich auf den Markt gebracht hat, dass bereits mehrere Hundert mal verkauft worden ist. Die BZ-Produkte aller anderen Unternehmen, die in diesem Bereich tätig sind, befinden sich noch im Prototypenstadium oder werden in Kleinstserie gefertigt.

Bei den Entwicklungsprojekten sind die Aktivitäten von Varta Microbattery hervorzuheben, die darauf abzielen Brennstoffzellen mit der dreifachen Energiedichte von Mikrobatterien zu entwickeln. Auch die Entwicklungsprojekte der Würth Elektronik GmbH & Co KG, Niedernhall und der Mühlbauer AG, Roding, die ein Rolle-zu-Rolle Verfahren für die Herstellung von Brennstoffzellen entwickelt haben (Prozell-Projekt), zielen auf Brennstoffzellen als Ersatz für Batterien ab. Weiterhin arbeitet SFC an Brennstoffzellen im Bereich <20 Watt für die Stromversorgung tragbarer elektronischer Geräte. Alle anderen Projekte, die im Rahmen der Leitinnovation Mikrobrennstoffzelle laufen, adressieren spezielle Anwendungen der Mikrobrennstoffzelle <20 W, wie medizintechnische Geräte, autonome Mikrosensoren oder Messgerätebau ab.

8.4 Wettbewerbsvorteile

Primärer Wettbewerbsvorteil der Mikrobrennstoffzelle <20 Watt ist die höhere Energiedichte und somit die längeren Laufzeiten für elektrisch betriebene Geräte. Weiterhin besteht die Möglichkeit den Energiewandler, also die Brennstoffzelle vom Energiespeicher, der ein Methanoltank oder eine Gaserzeugungszelle sein kann, zu trennen. Vorausgesetzt die Gaserzeugungszellen lassen sich kostengünstiger produzieren als herkömmliche Batterien, so kann durch den geringeren Preis ein weiterer Wettbewerbsvorteil erzielt werden.

8.5 Wertschöpfungskette

In Deutschland fehlen die Elektronik OEMs, die die primären Abnehmer für Brennstoffzellen im Bereich Unterhaltungselektronik darstellen. Aufgrund der eigenen Entwicklungsaktivitäten von Panasonic, Sony und Toshiba ist der Marktzugang für deutsche Unternehmen erschwert. Für externe Ladegeräte ist auch ein Markteintritt

unabhängig von den OEMs denkbar, wobei hier durch die Entwicklungsprogramme der OEMs mit entsprechend starker Konkurrenz gerechnet werden muss.

In Deutschland konzentriert sich die Entwicklung zum einen auf den Ersatz von Batteriezellen durch Brennstoffzellen und auf der anderen Seite auf Anwendungen in Nischenmärkten, wie Medizintechnik, Mikrosystemtechnik, Messtechnik, für die in Deutschland die gesamte Wertschöpfungskette bis zum OEM abgebildet werden kann. Auffallend ist jedoch bei den meisten öffentlich geförderten Projekten, dass gerade diese OEMs eher kleinere Unternehmen sind, die entsprechend nur Märkte mit vergleichsweise geringen Volumina bedienen.

8.6 Scoring Modell

Bewertungskriterium Mikrobrennstoffzelle < 20 Watt	Erläuterung
OEMs ■	Mittelständler, die kleinere Märkte adressieren, u.a. Acculux, Höft und Wessel, Medset Medzintechnik
BZ-Hersteller ■ ■	9 Hersteller, u. a. FWB, eZelleron, Micronas, SFC und Varta Microbattery Consumer Elektronik wird nur von Varta Microbattery adressiert
BZ-Produkte ■	BZ für Batterie-Ladegeräte, Spielzeuge und Sensorik
Wertschöpfungskette ■	Zugang zu Volumenmärkten im Bereich Consumer Electronics fehlt.

8.7 Zusammenfassung

- Insgesamt 21 Unternehmen, weitere Unternehmen an Mikrobrennstoffzellenprogramm des BMBF beteiligt, die allerdings nur geringen Wertschöpfungsanteil haben (z. B: Beschichtungstechnologie, Oberflächenveredelung etc.)
- Nur 4 Hersteller mit Mikrobrennstoffzelle auf dem Markt : u. a. Heliocentris mit einem eher großen 50 Watt Modul (z. B. für Modellbau) und Varta Microbattery GmbH
- Fokus der Zulieferer auf Mikropumpen, Membranen und Stacks, Mikrosystemtechnik/Produktionstechnik
- Als Anwender bisher nur Nischenmärkte, Messgeräte, Spezialleuchten etc.

Aktuell werden Demonstratoren überwiegend in den derzeit laufenden 9 interdisziplinären BMBF-Verbundprojekten entwickelt (s. Übersicht ausgewählter Projekte in Abschnitt 8.9).

8.8 Auswahl von BZ-Herstellern, Zulieferern und OEMs

Prominente OEM, BZ-Hersteller und Zulieferer im Segment Mikrobrennstoffzelle < 20 Watt					
	Branche	Größe	Einsatzbereiche	Status	
OEM					
Acculux	Spezialleuchten	mittelständisch	Spezialleuchten	F&E	
efm-systems GmbH	Mikrosystemtechnik	mittelständisch	BZ für Mikrosystemtechnik Baukastensystem	F&E	
Höft und Wessel	IT Hard und Software für den Handel	500 Mitarbeiter	mobile Datenerfassung	F&E	
Medset Medizintechnik GmbH	Medizintechnik	mittelständisch	EK-Aufnahmesystem	F&E	
BZ-Hersteller					
eZelleron GmbH	BZ	Start-up	Mikrobrennstoffzellen 1-75 Watt	F&E	
FWB Kunststofftechnik	Kunststofftechnik	mittelständisch	Einstiegsmärkte : Logistik, Video-, Monitoring Systeme	Prototyp	
Heliocentris	BZ	40 Mitarbeiter	Modellbau, Batterielader 20-50 W	Produkt	
MFC MikroFuelCells Brennstoffzellentechnologie	BZ	klein	Ladegerät für Akkumulatoren mit 15 Watt Leistung	Produkt	
Micronas	Halbleiterhersteller	920	Entwicklung CMOS-Prozess für die monolithische Integration von BZ	F&E	
Mühlbauer AG	Chip-Karten, Reisepässe	2000	Entwicklung eines Rolle-zu-Rolle Verfahrens zur Herstellung für Mikrobrennstoffzellen	F&E	
Smart Fuel Cell	BZ	> 100	Unterhaltungselektronik	F&E	
Ulmer Brennstoffzellen Manufaktur	BZ	klein	Brennstoffzellen ab ein Watt	Produkt	
Varta Microbattery GmbH	Batterien	600 Mitarbeiter	Mikrobrennstoffzellen und Gasentwicklungszellen als Alternative für Batterien	Produkt	
Zulieferer					
Bartels	Mikrosystemtechnik	ca. 30	Membranpumpe für Mikro-BZ	Produkt	

Elbau Elektronik Bauelemente GmbH	Mikrosystemtechnik/Sensorik	mittelständisch	Entwicklung von Mikrointegrationstechnologie für Mikrobrennstoffzellenkaskaden mit Wasserstoffspeicher	Prototyp
Hirschmann Laborgeräte GmbH	Laborgeräte	100	Entwicklung von Fluidiksystemen für Mikrobrennstoffzellen	F&E
L. Brüggemann	Chemie	mittelständisch	Ausgangsmaterialien für Zinkschaum und Zinkanoden	F&E
PSFU mbH	Fertigungs- und Umwelttechnik	k. A.	PEMFC-Stacks, Bipolarplatten nach Kundenspezifikationen	Produkt
SLG Carbon GmbH	Kohlenstoff, Graphit	6500	Bipolarplatten und Membranen u. a. für Mikrobrennstoffzelle	Produkt
thinxxs	Gummi- und Kunststoffwaren	20-50	Mikromembranpumpen für BZ	Produkt
Würth Elektronik GmbH	Elektronik	6000 Mitarbeiter	Entwicklung von Komponenten für die Mikrobrennstoffzelle	Prototyp

8.9 Übersicht ausgewählter Projekte zur Brennstoffzellenentwicklung < 20 Watt im Rahmen der BMBF-Leitinnovation Mikrobrennstoffzelle

- **„PemGen“** – PEM-(Proton-Exchange-Membrane-)Brennstoffzelle mit Wasserstoff-Mikrogenerator ->> Alternative zu Mikrobatterien, Varta Microbattery, Höft und Wessel, Acculux
- **„I²BRENN“** – Intelligente monolithisch-integrierte Mikrobrennstoffzelle inklusive Wasserstoffspeicher ->> Stromversorgung für autarke Mikrosysteme, Micronas
- **„DDMFC“** – Dampfbetriebene Direkt-Methanol-Brennstoffzelle, ->> Medzintechnik, Handtuchspender, FWB
- **„ZiLuZell“** – Zink/Luft-Mikrobrennstoffzelle ->> für Datenlogger für meteorologische Daten., efm, Würth, Ammonit
- **„Mobile und portable Brennstoffzellen“** ->> Energieversorgung für tragbare Elektronikgeräte, SFC
- **„Prozell“**: ->> Konkurrenz zu Alkali-Mangan und Lithium-Batterien,

9 Zusammenfassung der Markt- und Portfolioanalyse

Nach Studien der Marktforschungsunternehmen Freedonia und Pike Research wird für das 2017 ein globaler Markt für Brennstoffzellen insgesamt auf 8,6 Mrd. US\$ prognostiziert. Der größte Weltmarktanteil stellen Brennstoffzellen für die stationäre Stromversorgung (43 %, 3,75 Mrd. US\$) dar, gefolgt von dem Markt für Brennstoffzellen in Speziellen Märkten (38 %, 3,24 Mrd. US\$) wie er in dieser Studie definiert ist (Abb. 9.1).

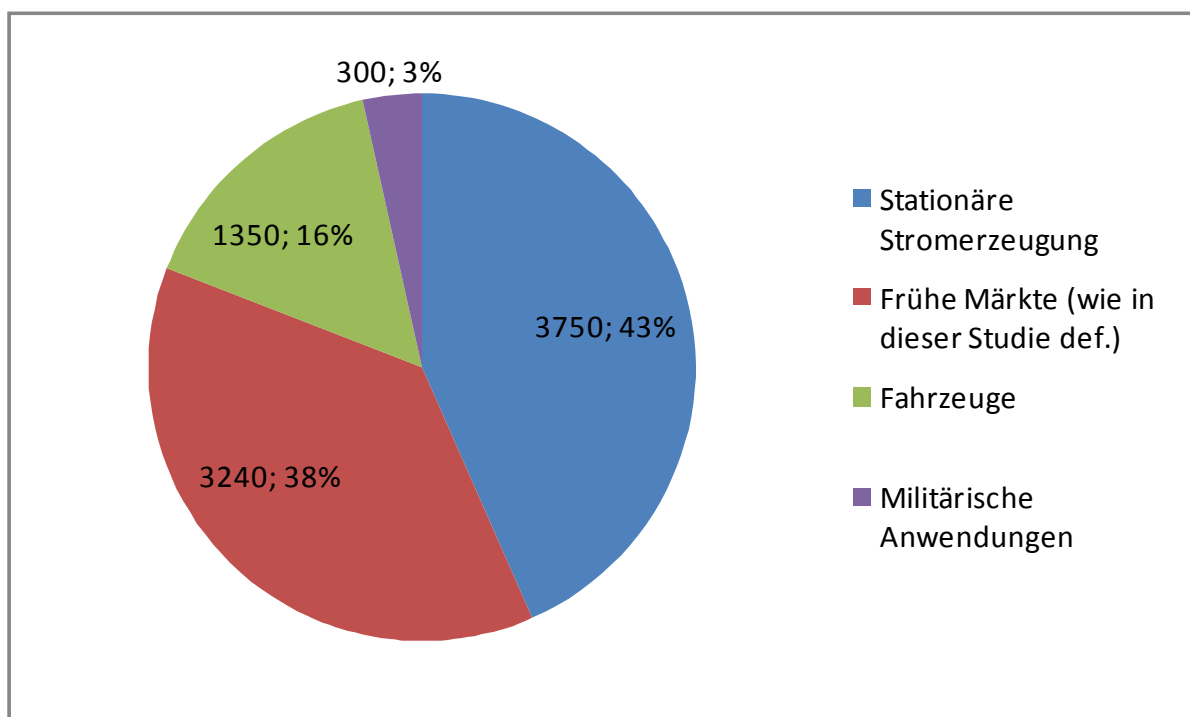


Abb. 9.1: Prognose des globalen Marktes für Brennstoffzellen im Jahr 2017 (in Mio US\$, Freedonia, Pike Research)

Der Weltmarkt für Brennstoffzellen in Speziellen Märkten, der von 140 Mio. US\$ im Jahr 2009 auf 3,2 Mrd. US\$ im Jahr 2017 ansteigt, wird von dem größten Marktsegment der Stromversorgung Business/Notstromversorgung bestritten (56 %, 1,8 Mrd. US\$). Die weiteren größeren Bereiche stellen Brennstoffzellen für die Lagertechnik (15 %) und Mikrobrennstoffzellen (11 %) dar (Abb. 9.2).

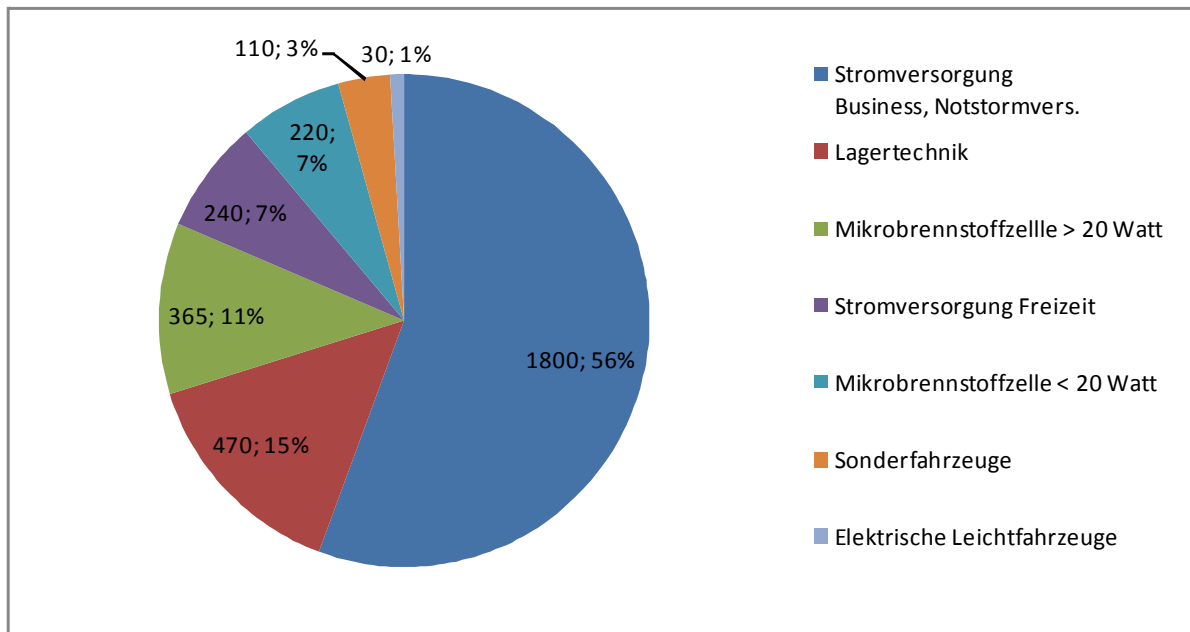


Abb. 9.2: Prognose der globalen Speziellen Märkte für das Jahr 2017 (in Mio US\$, Freedonia, Pike Research)

Die im Bereich der Speziellen Märkte identifizierten 107 Unternehmen in Deutschland teilen sich wie folgt auf die verschiedenen Marktsegmente auf: Die meisten Unternehmen sind derzeit in den Marktsegmenten „Stromversorgung Business“ (25 %) und „Mikrobrennstoffzelle bis 20 W“ (21 %) tätig. Ein dritter Großteil ist unabhängig von einem Marktsegment aktiv. Die anderen Unternehmen verteilen sich etwa zu gleichen Teilen auf die restlichen Marktsegmente (Abb. 9.3).

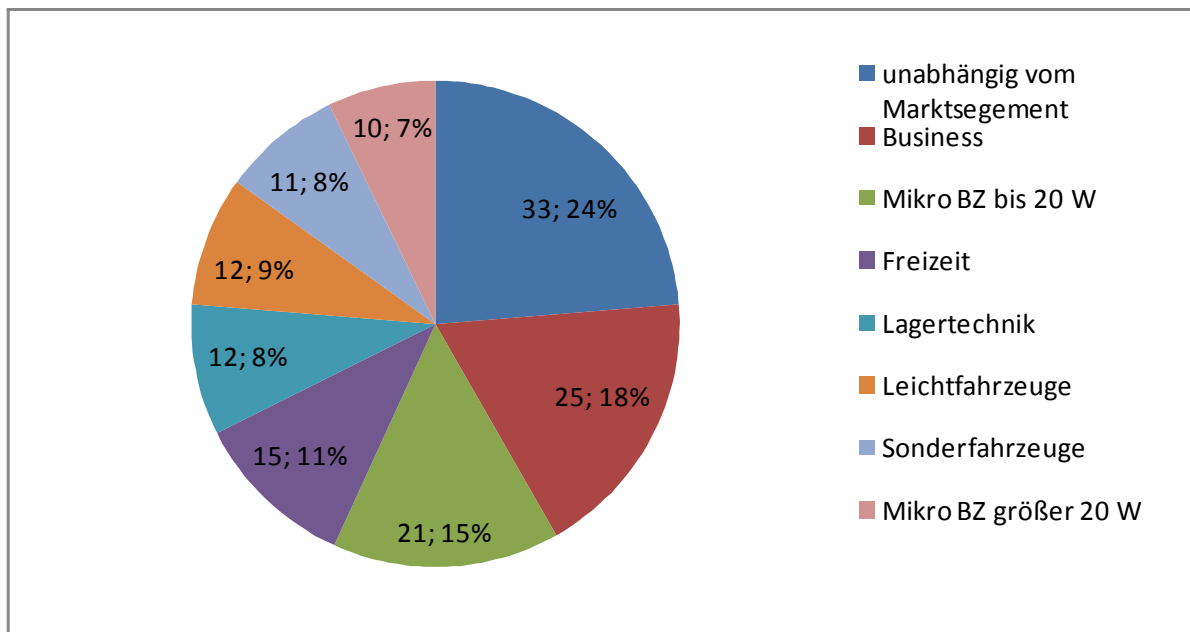


Abb. 9.3: Aufteilung der Unternehmen in Deutschland auf die Marktsegmente der Speziellen Märkte (107 Unternehmen, Mehrfachnennung möglich)

Die im Bereich der Speziellen Märkte tätigen 107 Unternehmen in Deutschland sind größtenteils Zulieferer (42 %) und zu gleichen Teilen OEMs (24 %) und BZ/Stack-Hersteller (24 %). Der Rest (10 %) sind Systemintegratoren (Abb. 9.4).

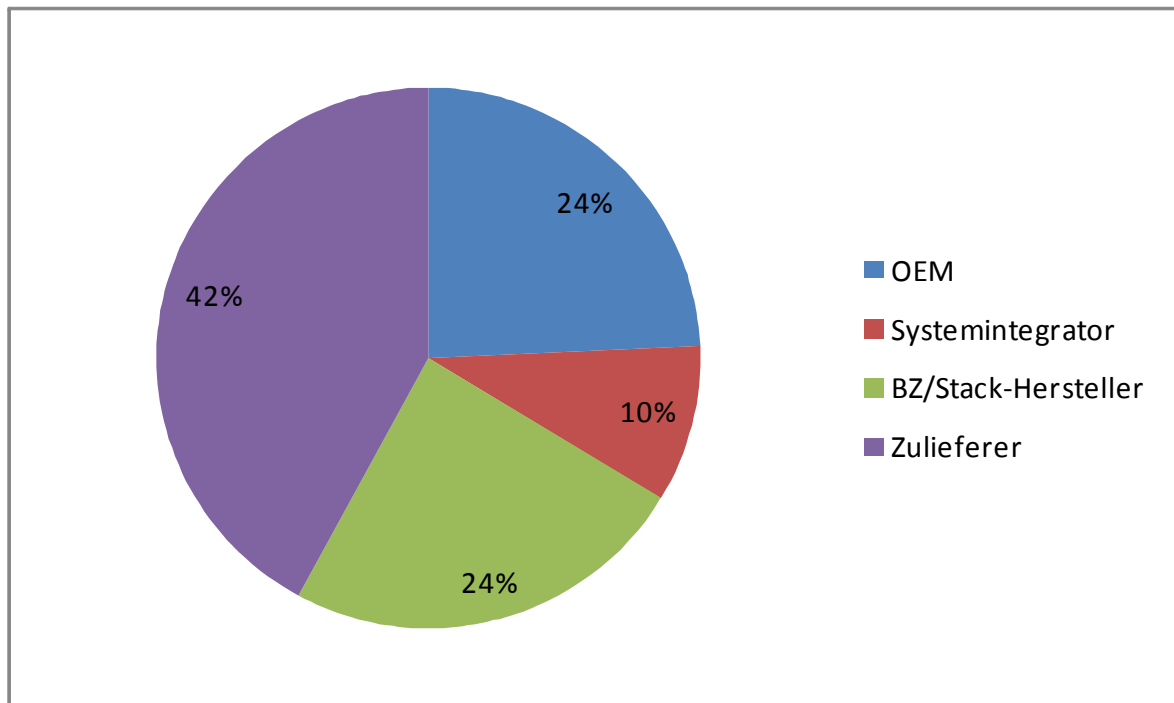


Abb. 9.4: Aufteilung der Unternehmen in Deutschland im Bereich der Speziellen Märkte nach der Wertschöpfungsstufe

Werden die prognostizierten weltweiten Marktvolumina den relativen Stärken Deutschlands im Bereich der Speziellen Märkte gegenüber gestellt, so zeigt sich, dass Deutschland im Bereich der Stromversorgung Freizeit eine ausgeprägte Stärke aufweist, allerdings in einem mittelgroßen und begrenzten Weltmarkt. Umgekehrt verhält es sich mit der Stromversorgung Business, die ein sehr hohes Marktvolumen verspricht, jedoch ist die derzeitige Stärke Deutschland im internationalen Vergleich niedrig. Darüber hinaus sind auch noch die Lagertechnik und die Mikrobrennstoffzellen im Leistungsbereich größer 20 Watt marktattraktiv. Für eine internationale Wettbewerbsfähigkeit müssten in Deutschland die Kompetenzen in diesen Bereichen weiter ausgebaut werden. Bei Mikrobrennstoffzellen < 20 Watt fehlen in Deutschland im Vergleich zu der stärkeren asiatischen Konkurrenz die OEMs für die elektronischen Massenmärkte. Außerdem werden hier von den mittelständischen Unternehmen nur Nischenmärkte adressiert (Abb. 9.5).

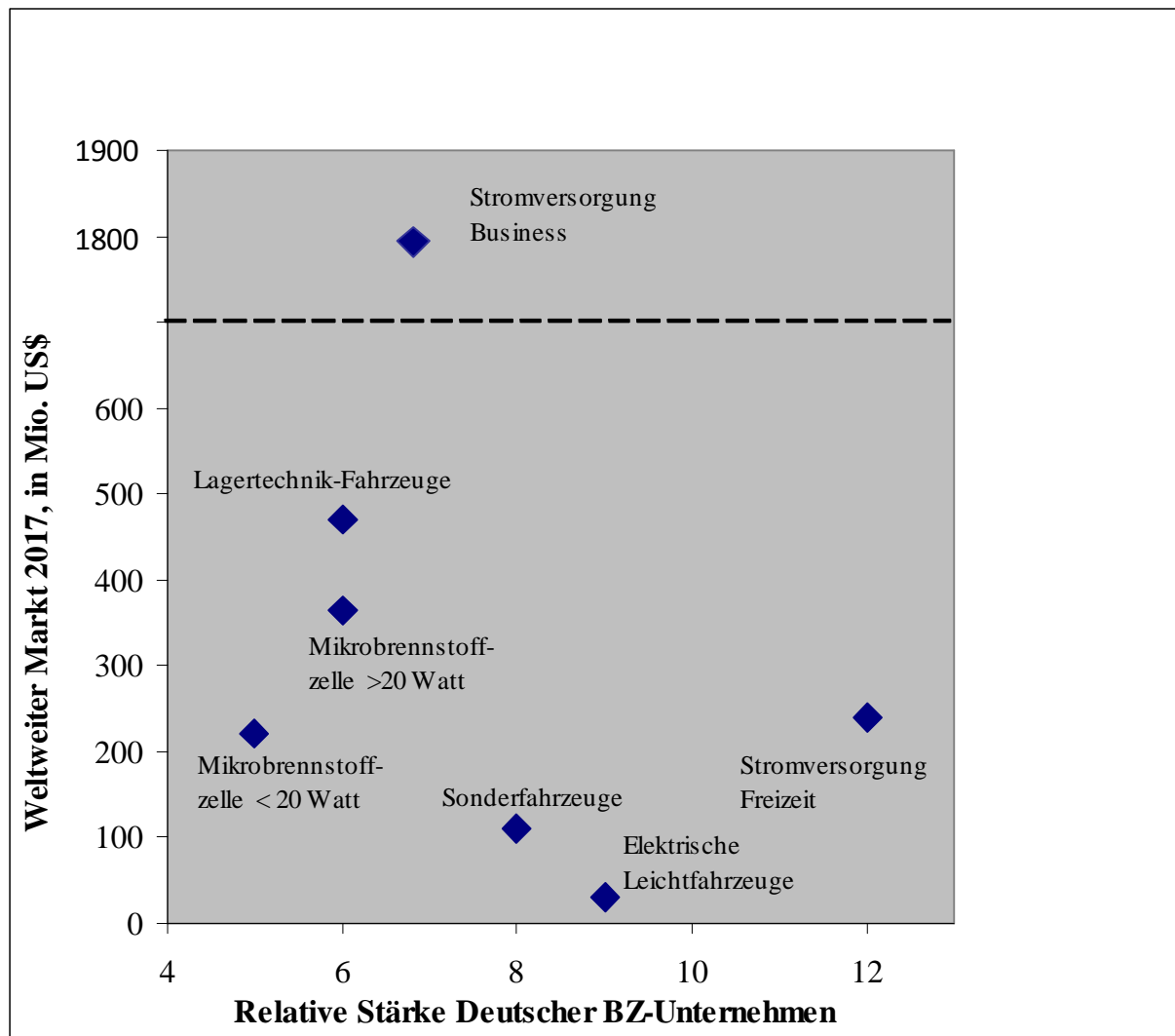


Abb. 9.5: Portfolioanalyse der deutschen Brennstoffzellenwirtschaft. Die Weltmärkte sind aus Marktstudien abgeleitet. Die relative Stärke Deutschland wurde mit Hilfe eines einfachen Scoring Modells ermittelt (s. Tab.1.2).

9.1 Stromversorgung Business

Weltweiter Markt: Auf Basis der Freedonia Studie „Fuel Cells to 2012“ wird der weltweite Markt an Brennstoffzellen für Notstromversorgungen auf 1,8 Mrd. US\$ geschätzt. Notstromversorgung Business ist damit der größte Markt von allen Marktsegmenten der Speziellen Märkte. Hierbei ist zu beachten, dass die Freedonia Studie die Entwicklung des Brennstoffzellenmarktes von der Tendenz her optimistischer sieht als die Marktstudie von Pike-Research, der die Marktzahlen für die Segmente Lagertechnik, Freizeit und Mikrobrennstoffzellen entnommen wurden. Der relative Unterschied zwischen dem Markt für Notstromversorgungen und den anderen

Marktsegmente ist daher möglicherweise kleiner als in der Portfolioanalyse angegeben. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Mikrobrennstoffzellen, wenn sie technologisch erfolgreich sind, einen deutlich größeren Markt als Notstromversorgungen adressieren und die Marktdurchdringung, wie für Konsumgütermärkte typisch, sehr schnell erfolgen kann. Langfristig und bei technischem Erfolg ist der Markt für Mikrobrennstoffzellen also größer als für Notstromversorgungen.

Relative Stärke: In Deutschland sind 13 BZ-Hersteller identifiziert worden, die im Bereich Notstromversorgung und autarke Stromversorgung tätig sind. Jedoch werden von den Unternehmen nur wenige Informationen über den Entwicklungsstand und potentielle Einsatzbereiche preisgegeben. Als Marktführer auf diesem Gebiet gelten vor allem amerikanische Unternehmen wie IdaTech, Hydrogenics, ReliOn etc. Die relative Stärke Deutschlands wird in Bezug auf die Anzahl der Unternehmen als durchschnittlich und Bezug auf den Entwicklungsstand als unterdurchschnittlich bewertet. Auch ist wenig über Vertragsabschlüsse oder -anbahnungen deutscher BZ-Hersteller bekannt, während IdaTech bereits Absichtserklärungen über den Kauf mehrerer Tausend Brennstoffzellen durch einen indischen Telekommunikationsausrüster vorliegen. Einen ersten Markteintritt in das dänische BOS-Mobilfunknetz hat auch der Brennstoffzellenhersteller Dantherm Power erreicht. Da unklar bleibt, wie gut der Zugang der deutschen BZ-Hersteller zu den OEMs ist und weil Unternehmen wie Rittal und b+w Electronic Systems auf Brennstoffzellen amerikanischer Hersteller zurückgreifen müssen, aufgrund eines Mangels adäquater Angebote in Deutschland, wird die Abdeckung der Wertschöpfungskette als unterdurchschnittlich bewertet. Insgesamt ergibt sich für Deutschland im Anwendungsbereich Stromversorgung Business eine unterdurchschnittliche Bewertung.

9.2 Stromversorgung Freizeit

Weltweiter Markt: Als Näherung für den BZ-Markt in Freizeitanwendungen wird hier der Einsatz in Caravans verwendet, da dieses Marktsegment den BZ-Freizeitmarkt derzeit dominiert. Im Vergleich zu den Mikrobrennstoffzellen und den Stromversorgungen im Businessbereich ist dieser Markt mit geschätzten 360 Mio. US\$ Umsatz weltweit im Jahr 2017 ein vergleichsweise kleiner Markt.

Relative Stärke: Das deutsche Unternehmen SFC ist Weltmarktführer im Bereich der BZ-Bordstromversorgung für Caravans. SFC hat Kooperationen mit den führen-

den Caravan-Herstellern in Europa und bereits mehrere Tausend Brennstoffzellen in diesem Segment verkauft. Die Wertschöpfungskette ist vom Caravanhersteller als OEM über den Brennstoffzellenhersteller SFC, der die Brennstoffzellen Inhouse produziert, geschlossen. Darüber hinaus gibt es in Deutschland 6 weitere BZ-Hersteller, die BZ-Systeme für den Freizeitmarkt entwickeln.

9.3 Lagertechnik-Fahrzeuge

Weltweiter Markt: Basierend auf den in der Pike Studie aufgeführten Marktzahlen wird der weltweite Markt für BZ im Bereich Lagertechnik Fahrzeuge im Jahr 2017 auf ca. 470 Mio. US\$ weltweit geschätzt.

Relative Stärke: In einschlägigen Studien werden Plug Power, Hydrogenics, De-ka/Nuvera und Oorja Protonics als die wichtigsten Hersteller für BZ in diesem Anwendungsbereich genannt. Das einzige Unternehmen in Deutschland, das BZ für dieses Segment herstellt, ist Proton Motor. Die Bedeutung deutscher BZ-Hersteller in diesem Segment wird daher als unterdurchschnittlich bewertet und damit auch die Abbildung der Wertschöpfungskette. Stark hingegen ist Deutschland bei den OEMs aufgestellt mit Still/Linde und Jungheinrich. Allerdings sind die Entwicklung von Brennstoffzellenantrieben bei diesen Unternehmen erst im Prototypenstadium, so dass im relativen Vergleich zu den Aktivitäten in den USA, wo Brennstoffzellen-Gabelstapler bereits in kleinen Flotten eingesetzt werden, als durchschnittlich gewertet wird. Bei Berücksichtigung aller Bewertungskriterien wird die Stärke Deutschlands auf diesem Gebiet als unterdurchschnittlich bewertet.

9.4 Sonderfahrzeuge

Weltweiter Markt: Sonderfahrzeuge sind ein Nischenmarkt, für den keine Marktzahlen verfügbar sind. Daher wird eine Obergrenze anhand der APUs für Lastkraftwagen verwendet, deren Absatz derzeit auf 80.000 Einheiten geschätzt wird. Geht man von einem moderaten Wachstum von 5 % pro Jahr aus, von einer Marktdurchdringung der Brennstoffzellen von 10 % im Jahr 2017 und einem Preis von 10.000 US\$ für eine 5 kW Brennstoffzelle, so ergibt sich ein Markt von 110 Mio. US\$. Damit ist dies der relativ kleinste Markt unter den speziellen Märkten der Brennstoffzelle.

Relative Stärke: Adressiert wird dieses Marktsegment in Deutschland von 6 BZ-Unternehmen, von denen bisher nur die SFC Smart Fuel Cell AG bereits Brennstoff-

zellen für den Einsatz in Sonderfahrzeugen in kleinen Stückzahlen an die Daimler AG verkauft hat. Insgesamt wird die relative Marktstärke Deutschlands in diesem Feld als durchschnittlich eingeschätzt: Auf der einen Seite sind die Voraussetzungen für eine starke Marktposition sowohl von Seiten der BZ-Hersteller als auch der OEMs gegeben, auf der anderen Seite, sind die Entwicklungsaktivitäten der Unternehmen geringer und der Entwicklungsstatus der Produkte weniger fortgeschritten im Vergleich zum Freizeitbereich.

9.5 Elektrische Leichtfahrzeuge

Weltweiter Markt: Für dieses Marktsegment sind keine Marktzahlen verfügbar, so dass eine Abschätzung durchgeführt werden muss. Basierend auf Informationen aus den Experteninterviews wird für 2017 von einem Markt von 30.000 BZ-Bikes weltweit ausgegangen. Dies entspricht bei Kosten einer Brennstoffzelle von 1000 US\$ einem Markt von 30 Mio. US\$.

Relative Stärke: Deutschland ist mit den beiden Brennstoffzellenherstellern SFC und Masterflex und E-Bike Herstellern wie Herkules Accell, Hawk Bikes und Veloform gut positioniert. Jedoch ist die internationale Konkurrenz im Vergleich zum Freizeitbereich deutlich stärker, so dass die Position relativ dazu schwächer ist. Die Wertschöpfungskette wird durch den Spezialgetriebehersteller Clean Mobile komplettiert. Die entwickelten Systeme befinden sich im Prototypenstadium bzw. werden bereits in Kleinserie produziert. Allerdings ist mit 90 % Marktanteil China der größte E-Bike Markt und so gibt es hier bereits ein Unternehmen, das BZ-getriebene E-Bikes serienmäßig herstellt. Die relative Marktstärke Deutschlands in diesem Segment wird daher als geringer im Vergleich zum Freizeitmarkt eingeschätzt.

9.6 Mikrobrennstoffzelle > 20 Watt

Weltweiter Markt: Auf Basis der Marktzahlen von Pike Research wird der Gesamtmarkt für den Leistungsbereich um 100 Watt im Jahr 2017 auf 350 Mio. US\$ geschätzt. Zu den wichtigsten Anwendungsbereichen zählen die Stromversorgung für Sicherheitstechnik, Sensorik und Signaltechnik.

Relative Stärke: Um die Entwicklungsaktivitäten zu stärken, werden F&E-Brennstoffzellenprojekte im Leistungsbereich größer 20 Watt von der Leitinnovation

Mikrobrennstoffzelle gefördert. Das einzige Unternehmen, das in diesem Bereich bereits Brennstoffzellen in großen Stückzahlen verkauft, ist SFC. Jedoch wird die überwiegende Anzahl der BZ für Freizeitanwendungen verkauft, die entsprechend dem Freizeitsegment der speziellen Märkte zugeordnet sind, in dem Marktsegment Mikrobrennstoffzelle keine Berücksichtigung finden. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass in dem Anwendungsbereich Brennstoffzellen > 20 Watt die internationale Konkurrenz sehr viel härter ist als im Freizeitbereich: insbesondere japanische Unternehmen wie Toshiba, Hitachi, NEC haben bereits angekündigt, BZ in dieser Leistungsklasse auf den Markt bringen zu wollen. Weiterhin ist in Deutschland das Interesse von OEMs mit Zugang zu Massenmärkten bisher nur von Bosch bekannt. Aktuell wird die Brennstoffzellenentwicklung von Bosch nur beobachtet, da der Preis der Systeme für den Einsatz in Bosch-Produkten noch zu teuer ist. Insgesamt wird die relative Stärke Deutschlands in diesem Marktsegment insbesondere aufgrund der Aktivitäten von SFC etwas höher eingeschätzt als im Marktsegment Mikrobrennstoffzelle < 20 Watt.

9.7 Mikrobrennstoffzelle < 20 Watt

Weltweiter Markt: Der weltweite Markt für Mikrobrennstoffzellen wird auf Basis der Marktzahlen von Pike Research auf 240 Mio. US\$ geschätzt. Die wichtigsten Anwendungen sind hierbei der Einsatz in Funkgeräten und als Batterieersatz für Consumer Electronics. Bei dieser Marktzahl muss berücksichtigt werden, dass die Marktdurchdringung in Konsumelektronikmärkten sehr schnell erfolgen kann. Sollte die Brennstoffzelle also von Konsumenten angenommen werden, so kann sich aus Mikrobrennstoffzellen sehr schnell ein Markt von mehreren Milliarden US\$ entwickeln. Die Mikrobrennstoffzelle < 20 Watt stellt damit im Hinblick auf die Marktentwicklung eine Wild Card unter den BZ-Anwendungen dar.

Relative Stärke: Aufgrund der BMBF-Leitinnovation Mikrobrennstoffzellen sind auf diesem Gebiet starke Forschungsaktivitäten in Deutschland zu verzeichnen. Allerdings sind bei diesen Projekten Endanwender eingebunden, die mit medizintechnischen Geräten, Leuchten und Mikrosystemtechnikanwendungen Nischenmärkte adressieren. Daher werden die Marktzugangschancen als unterdurchschnittlich bewertet. Weiterhin müssen die deutschen Aktivitäten im internationalen Vergleich

zu den Entwicklungsaktivitäten von Elektronikkonzernen wie Toshiba, Hitachi, NEC und Sony gesehen werden. Unter dieser Perspektive sind die deutschen BZ-Aktivitäten unterdurchschnittlich im Vergleich zu den Anwendungsbereichen Freizeit oder elektrische Leichtfahrzeuge.

Teil II: Markthemmnisanalyse, Priorisierung der Handlungsoptionen und Empfehlung von Maßnahmen zur Markteinführung

10 Zielsetzung und Methodik

Ziel des 2. Teils der Studie ist die Empfehlung von konkreten Maßnahmen und Instrumenten zur Überwindung der Hemmnisse und zur Markteinführung von Brennstoffzellen in Speziellen Märkten. Dabei soll differenziert werden, welche der existierenden Markteintrittshürden im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) durch übergeordnete Projektmodule (Leuchttürme, programmbereichsübergreifende Themen) und welche nur über weiterführende Förderinstrumente abgebaut werden können.

Vorangestellt wurde eine Markthemmnisanalyse, um die bestehenden Markthürden für Brennstoffzellen in Speziellen Märkten in Deutschland zu identifizieren. Dazu wurde ein Workshop am 25.02.2010 in Düsseldorf mit Akteuren der deutschen Brennstoffzellen-Community durchgeführt (Teilnehmerliste im Anhang Kap. 15, Tab. 15.3). Darüber hinaus wurden zuvor telefonische Einzelinterviews mit Experten aus den jeweiligen Marktsegmenten geführt.

Auf Basis der Ergebnisse einer durchgeführten Markt- und Portfolioanalyse (s. Teil I) wurde im Rahmen der Markthemmnisanalyse der Schwerpunkt auf die drei Marktsegmente „Stromversorgung Business“ (Auswahlkriterium hohes Marktpotential), „Lagertechnik-Fahrzeuge/Sonderfahrzeuge“ (Zusammenlegung ähnlicher BZ-Systeme im Nutzfahrzeugbereich) und „Kleinleistungsbereich“ (Zusammenlegung von Mikrobrennstoffzelle > 20 W, elektrische Leichtfahrzeuge und Freizeit, da ähnlicher Leistungsbereich vorliegt und viele Unternehmen alle drei dieser Märkte adressieren) gelegt. Mikrobrennstoffzellen < 20 Watt wurden wegen des frühen F&E-Standes, des fehlenden Marktzugangs in Deutschland (keine OEMs) und anderer technologischer Fragestellungen, z. B. Rolle-zu-Rolle-Produktion von BZ, Integration in CMOS-Architekturen, Entwicklung von Gaserzeugungszellen, in der Markthemmnisanalyse nach Abstimmung mit NOW nicht betrachtet.

Auf der Basis der identifizierten Markteintrittshürden werden Handlungsoptionen vorgeschlagen und priorisiert. Es werden Empfehlungen für ein Markteinführungsprogramm in Deutschland entwickelt, mit dem gezielt die Markteinführung vorangetrieben und somit auch die Technologieführerschaft Deutschlands im internationalen Vergleich gehalten und ausgebaut werden.

11 Marktsegment „Stromversorgung Business“

Das hier definierte Marktsegment „Stromversorgung Business“ umfasst unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV), Notstromversorgung, netzferne Stromversorgung, autarke/hybride Stromversorgung und Netzersatzanlagen im Leistungsreich von einigen kW bis einige 10 kW.

11.1 Marktchancen und Einstiegsmärkte für die deutsche BZ-Wirtschaft

Der USV-Markt bietet mit derzeit etwa 10 GW installierter Notstromleistung allein in Deutschland in Form von wartungsintensiven Bleibatteriefeldern und Dieselaggregaten durch den teilweisen und mittel- bis langfristig vollständigen Ersatz durch Brennstoffzellensysteme ein sehr großes Potential zur Vermeidung von Schadstoffen und zur Einsparung von Material. Brennstoffzellen können, anders als Dieselaggregate, langfristig im Dauerbetrieb auch in intelligente Stromnetze integriert werden, wie sie im Energiekonzept der Bundesregierung vorgeschlagen werden. Im diesem Verbund können Brennstoffzellen dann helfen, einen hohen Anteil erneuerbare Energien im Netz auszugleichen.

Der Einsatz von Brennstoffzellen in diesem Marktsegment ist dort optimal, wo kleine Leistungen und lange Reservezeiten benötigt werden (der Break even wird bei 2-4 Stunden Reservezeit erreicht, bei kürzeren Zeiten sind Batterien besser, der Sweet Spot wird bei 8-24 Stunden gesehen). Einen möglichen Einstiegsmarkt für BZ USV bietet das TETRA-Netz. Insbesondere durch die längere Lebensdauer von BZ (u. a. im Vergleich zu der Lebensdauer von Bleiakkus von nur 3-4 Jahren), höheren Wirkungsgrad, geringeren Platzbedarf, geringere Geräuschentwicklung und geringeren Wartungsaufwand im Vergleich zur Konkurrenztechnologie der Dieselgeneratorsysteme werden sich mittel- bis langfristig Technologie- und Kostenvorteile erzielen und damit weitere Anwendungs- und Marktpotentiale erschließen lassen.

Aufgrund der geringen Netzausfallzeiten in Deutschland von durchschnittlich nur 15 Minuten pro Jahr ist aus kurzfristiger Marktsicht der Bedarf an BZ-USV-Anlagen in klassischen Einstiegsmärkten wie dem Mobilfunk vergleichsweise gering. Gerade für kurze Reservezeiten werden Batterielösungen auch mittelfristig die kostengünstigste Lösung bleiben.

Als wichtigster deutscher Einstiegsmarkt im Bereich der Stromversorgung Business wurden USV für digitale Funknetze, insbesondere für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) mit einem Bedarf von 450-500 Systemen identifiziert.

Weiterhin besteht ein Markt bei den non-BOS Funknetzen, d. h. bei Betriebsfunk-Netzen von ÖPNV-Betrieben, Flughäfen, der Deutschen Bahn oder anderen Betreibern interner Funknetze. In diesem Marktsegment wird ein Bedarf von 300-400 Anlagen für einen Zeitraum von 3-4 Jahren gesehen.

Ein Beispiel einer Markteinführungsstrategie in diesem Bereich ist in Dänemark zu finden, das in Teilen seines BOS-Mobilfunknetz Brennstoffzellensysteme von Dantherm Power einsetzt. Von den 450 Stationen in Dänemark sind 330 mit Batterien ausgestattet und 120 mit BZ. Diese 120 Stationen sind die sogenannten kritischen Knoten, die zur Aufrechterhaltung des Gesamtnetzes 7 Tage ohne Netzstrom autark arbeiten müssen. Zur Brennstoffversorgung werden dabei 25 % des Wasserstoffs direkt an der Station vorgehalten, während der Rest im Bedarfsfall zur Station geliefert wird.

Wesentliche größere Absatzmärkte für BZ-USV als in der Europäischen Union bestehen bereits heute in Asien und den USA, mit einem Bedarf von mehreren Tausend Stück pro Jahr. Alleine die Ausstattung des AT&T-Funknetzwerkes mit BZ-USV in den USA ergibt ein potenzielles Marktvolumen von 1,5 Mrd. US\$. Treiber für die größeren Märkte sind die längeren Netzausfallzeiten in diesen Ländern aufgrund fehlender oder veralteter Infrastrukturen der Stromnetze. Jedoch wird zukünftig auch in süd- und osteuropäischen Ländern ein prinzipiell interessanter Markt gesehen, dessen Größe jedoch nicht beziffert werden konnte.

Sekundäre Eintrittsmärkte ab 2015 sind in der USV EDV-Anlagen und die Verkehrstechnik wie Baustellensicherung, Tunnelsicherheit, Verkehrsleittechnik mit einem Bedarf von jeweils mehreren 10.000 Stück p.a. für Deutschland. Darüber hinaus wird ein potenzieller Markt im Bereich des Spitzenlastmanagements gesehen. Dabei werden BZ eingesetzt, um bei Bedarfsspitzen Strom ins Netz einzuspeisen.

Weitere Märkte können sich im Bereich der Notstromversorgung für deutsche Offshore-Windenergieanlagen (ca. 1.000 Anlagen insgesamt) ergeben, sowie für Krankenhäuser, vorausgesetzt, dass in diesen zukünftig dezentrale USV-Strukturen aufgebaut werden.

11.2 Markthürden für die deutsche BZ-Wirtschaft

Als die beiden größten Hürden für die Einführung von Brennstoffzellensystemen in diesem Marktsegment wurden a) der Genehmigungsaufwand für die Installation einer BZ-USV und b) die hohen Kosten, bestehend aus den Investitionskosten für die

Brennstoffzelle und den Betriebskosten für die Gasversorgung, identifiziert. Technische Hemmnisse, im Sinne einer notwendigen Verbesserung der Lebensdauer der BZ, wurden nur als untergeordnetes Markthemmnis betrachtet, da im USV-Bereich nur geringe Laufzeiten der Anlagen über die gesamte Lebensdauer des Systems gefordert sind. Im Einzelnen wurden die folgenden Markthürden identifiziert:

- **Hoher Genehmigungsaufwand**

Eine der größten Markthürden für die Einführung von Brennstoffzellen sind die Genehmigungsverfahren, die den Zeitaufwand bei der Aufstellung von Brennstoffzellen-Systemen erhöhen und zu höheren Kosten durch zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen führen. Im Einzelnen ergeben sich folgende Probleme:

Es fehlt ein übergeordnetes Regelwerk, das die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Brennstoffzelle und Gasversorgung definiert. Die Genehmigung von Brennstoffzellenanlagen wird derzeit in Deutschland von den zuständigen Behörden, wie Feuerwehr, Regierungspräsidien, etc. noch nicht einheitlich gehandhabt. Dadurch entstehen für die Anwender zusätzliche Kosten und Zeitrissen, da der Aufwand für die Sicherheitsmaßnahmen bei Wasserstoff betriebenen Anlagen, wie H₂-Sensorik bzw. die Einhaltung von Sicherheitsauflagen wie Sicherheitsabstände zu Brandwänden, im voraus nur eingeschränkt kalkulierbar ist.

Die Einsatz von Wasserstoff als Brennstoff muss in vielen verschiedenen Anwendungsszenarien noch gesondert genehmigt werden (Bsp. Tunnel). Generell gelten derzeit für die Wasserstoffversorgung die amtlich anerkannten technischen Regeln und Richtlinien für Druckbehälter und Druckgase. Beispielsweise wird das Betreiben von Druckgasbehältern nach den Technischen Regeln für Druckgase - TRG 280 - reguliert. Die Anlagen müssen einzeln von der Feuerwehr abgenommen werden. Die Genehmigungsverfahren sind vergleichsweise aufwendig und auch nicht einheitlich. So kann es z. B. zu Einzelentscheiden kommen, bei der installierte Gasbehälter bis zu 5 m von einer Wand entfernt stehen müssen.

Erschwert werden die Genehmigungsverfahren für den Anwender auch dadurch, dass die prüfenden Behörden zum Teil wenig Erfahrung mit H₂-betriebenen Anlagen haben und sich daraus ein erhöhtes Sicherheitsbedürfnis ergibt.

■ Hohe Kosten der Brennstoffzelle und der Gasversorgung

Die zweite zentrale Hürde für den Markteintritt sind die hohen Kosten der BZ und der Wasserstoffversorgung, die dazu führen, dass die Brennstoffzellen derzeit nur in ganz bestimmten Anwendungsbereichen konkurrenzfähig sind. Insbesondere bei Reservezeiten zwischen 8 und 24 Stunden könnten sich Brennstoffzellen gegenüber Batterien bzw. Dieselgeneratoren bei entsprechenden Kostensenkungen durchsetzen. Um in Massenmärkten konkurrenzfähig zu sein, müsste der Preis der Brennstoffzellen von derzeit ca. 4.000 Euro/kW auf ca. 1.000 Euro/kW fallen. Insgesamt rechnen sich BZ-USV dann nur für lange Back-up Zeiten. Für kurze Back-up Zeiten müssen die Systeme noch deutlich preisgünstiger werden (< 1.000 Euro/kW, wie von den Anwendern angegeben). Geht man von einem für neue Technologien typischen Lernkurveneffekt aus, wonach die Kosten bei Verdoppelung der produzierten Menge um 20 % sinken, so würde dies bedeuten, dass die 50-100fache Menge der bestehenden USV-BZ-Leistung installiert werden müsste, bis in der USV die Brennstoffzellen in Massenmärkten konkurrenzfähig zu Batterien bzw. Dieselgeneratoren sind.

Ein weiterer bedeutender Kostenfaktor beim Betrieb von BZ-USV ist die Wasserstoffversorgung. Da die Reservezeiten mit 200 bar Wasserstoff-Flaschen zu kurz sind, wäre die standardmäßige Verwendung von 700 bar Druckgasflaschen eine deutliche Verbesserung, da nicht nur die Reservezeiten verlängert sondern auch Kosten für Flaschenschränke verringert werden könnten. Beispielsweise werden für 8 Betriebsstunden bei einem 5 kW System 4 Flaschen Wasserstoff verwendet, die in einem Schrank gelagert werden müssen, der ca. 4.000 Euro kostet. Bei höheren Reservezeiten muss ein zweiter Schrank installiert werden, so dass es entsprechend zu höheren Kosten kommt.

Aufgrund des geringen Bedarfes sind die Gasversorgungsunternehmen noch nicht bereit, diese Flaschen in großen Stückzahlen zu produzieren, so dass die Preise für USV-Anwendungen zu hoch sind. Weiterhin entstehen hohe Kosten durch die in vielen Anwendungen geforderte H₂-Sicherheitstechnik. Auch hier gibt es derzeit einerseits nicht ausreichend Anbieter, die die notwendigen hochempfindlichen H₂-Sensoren herstellen, andererseits sind den Anwendern Informationen über das bestehende Sensor-Produktspektrum noch nicht ausreichend vermittelt worden.

Generell ist aufgrund der hohen Kosten die derzeit vorhandene Logistik für eine Wasserstoff-Lieferung zu jedem Zeitpunkt und zu jedem Ort noch unzureichend.

■ **Fehlende Referenzprojekte**

Als weiteres Hemmnis wurde angeführt, dass es noch zu wenige Referenzprojekte mit BZ-USV gibt. Dies führt insbesondere auf Kundenseite zu einem Kaufwiderstand, da die generelle Funktionsfähigkeit und Profitabilität der Systeme für den Kunden nicht oder nur schwer unter Beweis gestellt werden kann. Durch die Referenzprojekte könnte für den Käufer also das Risiko der Installation einer BZ-USV verringert und Kostenstrukturen transparenter dargestellt werden. Hier greift bereits das NIP mit der Umsetzung von ersten Projekten.

In diesem Zusammenhang sind auch fehlende Normen und Standards anzuführen, wodurch ein Leistungsvergleich bestehender BZ-Systeme für unterschiedliche Anwendungen erschwert wird. Derzeit existieren noch keine einheitliche Technologie- und Einsatzstandards, dies gilt sowohl für die Stacks (Entwicklung eines einheitlichen Stacks - wie der „German Stack“ - war bisher nicht erfolgreich) als auch z. B. für Anschlusssysteme für die Brennstoffversorgung.

Aus betriebswirtschaftlicher Perspektive erwarten potenzielle Kunden zudem einen positiven Return of Invest (ROI) in weniger als 2 Jahren, derzeit wird ein positiver ROI erst in 4 Jahren erreicht.

11.3 Priorisierung der Handlungsoptionen und Empfehlung von Maßnahmen zur Markteinführung

Auf Basis priorisierter Handlungsoptionen werden die folgenden sechs monetären und nicht-monetären Maßnahmen zur Unterstützung der Markteinführung von Brennstoffzellen im Bereich Stromversorgung Business vorgeschlagen, von denen wir die ersten drei als vordringlich betrachten, weil sie die größte Wirkung zeigen werden:

■ **Markteinführungsprogramm**

Zielsetzung eines Markteinführungsprogramms ist es, BZ-USV-Anlagen konkurrenzfähig zu den Alternativen Bleibatterie und Dieselgenerator zu machen. Damit wird das Problem adressiert, dass die Brennstoffzelle als neue umweltfreundliche Technologie mit konventionellen Technologien konkurrieren muss, die seit Jahrzehnten etabliert sind und die aufgrund der hohen Stückzahlen kostengünstiger produziert werden können. Die Förderung der Brennstoffzelle sollte daher solange erfolgen, bis ein Level Playing Field erreicht ist und die Brennstoffzellen hinsichtlich der Total

Cost of Ownership wettbewerbsfähig mit Bleibatterien bzw. Dieselgeneratoren sind. Um diese Wettbewerbsfähigkeit von Brennstoffzellen im Marktsegment „Stromversorgung Business“ zu erreichen, ist eine Förderung von mindestens 10.000 Anlagen mit einer variablen Förderung von 2.000 Euro/kW bei maximal 5.000 Euro pro System erforderlich. Die Fördergelder sollen dabei direkt an den Betreiber der Anlagen gehen. Dabei sollte sich die Gesamtförderung pro System degressiv entwickeln, und zwar in dem Maße, wie die Produktionskosten für die BZ sinken. Als wichtiger Erfolgsfaktor für die Maßnahme wird ein geringer Beantragungsaufwand für den Anwender gesehen.

Benchmark für ein deutsches Markteinführungsprogramm ist neben der Steuervergünstigung in den USA, die als Zuschuss ausgezahlt wird („tax credit“), das Ordnungsrecht in Dänemark. Durch die stark ordnungsrechtlich geprägte dänische Energiepolitik wird der Ausbau von energieeffizienten und erneuerbaren Energien mit einem planwirtschaftlichen Ansatz vorangetrieben. Durch beide Maßnahmen wird die Wettbewerbsfähigkeit von BZ-USV begünstigt, wie beispielhaft in Tabelle 11.3 gezeigt wird. Die Einführung sollte frühestmöglich erfolgen, um die entstehenden Wettbewerbsnachteile deutscher Anbieter gegenüber den bereits durch Förderung bevorteilten amerikanischen Herstellern auszugleichen.

	OUTDOOR INSTALLATIONS			INDOOR INSTALLATIONS		
	BATTERY/ GENERATOR	PEM FUEL CELL WITHOUT TAX INCENTIVE	PEM FUEL CELL WITH TAX INCENTIVE	BATTERY ONLY	PEM FUEL CELL WITHOUT TAX INCENTIVE	PEM FUEL CELL WITH TAX INCENTIVE
8-hour run time				\$19,037	\$14,023	\$12,136
52-hour run time	\$61,082	\$61,326	\$56,609			
72-hour run time	\$47,318	\$33,901	\$32,014			
176-hour run time	\$75,575	\$100,209	\$95,491			

Tab. 11.3: Wettbewerbsfähigkeit von PEM-Brennstoffzellen im Vergleich zu Batterien/Generatoren bei Backup Power Systemen in den USA. Bei 176 Stunden Betriebszeit sind die Brennstoffzellen primär wegen der hohen Kosten für die Wasserstoff-Speicherung nicht wettbewerbsfähig. (Quelle: Battelle Memorial Institute)

■ **Öffentliches Beschaffungsprogramm für Brennstoffzellen**

Mit einem öffentlichen Beschaffungsprogramm soll im kleineren Umfang als mit einem Markteinführungsprogramm insbesondere der Aufbau von Referenz- und Proof-of-Concept-Anlagen unterstützt werden. Die Anlagen sollten dabei häufig redundant zu einem bestehenden USV-System (Batterie oder Dieselgenerator) aufgebaut sein, um sie ohne jedes Risiko testen zu können. Wir empfehlen die Beschaffung von 2.000 Systemen für BOS-Netze, Bundeswehr oder THW. Um eine Begünstigung von internationalen Wettbewerbern zu vermeiden, sollte diese Maßnahme nur unter der Bedingung der Fertigung in Deutschland und Europa oder Unternehmenssitz in Deutschland und Europa erfolgen. Benchmark für eine solche Maßnahme ist das Energieeinsparprogramm Bundesliegenschaften des BMVBS zur energetischen Sanierung von Bundesgebäuden (das so genannte „120-Millionen-Programm“). Mit dem Programm könnten neben der Stärkung von Innovation, Investition, Wachstum und Beschäftigung öffentliche USV-Anlagen mitfinanziert werden, die durch den effizienteren Betrieb von Brennstoffzellen zu Reduzierungen des CO₂-Ausstoßes führen und die deutlich über die Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung hinausgehen. Die Bundesregierung könnte damit einen aktiven Beitrag zur Erfüllung ihrer nationalen und internationalen Klimaschutzverpflichtungen (Kyoto-Protokoll) leisten. Gleichzeitig tragen die energiesparenden Maßnahmen zur Senkung der Energie- bzw. Betriebskosten bei, so dass auch zusätzlich Energiecontracting-Projekte (Einspar- und Anlagen-Contracting) initiiert werden können.

Der Startzeitpunkt eines solchen öffentlichen Beschaffungsprogramms sollte so früh wie möglich liegen, um möglichst schnell Referenzprojekte zur Verfügung zu haben, die den weiteren Markteintritt der BZ-USV begünstigen.

■ **Schaffung eines Regelwerkes für die Genehmigung von BZ-Anlagen**

Zielsetzung dieser Maßnahme ist die Erstellung eines Leitfadens für Genehmigungsbehörden, um ein einheitliches, praktikables und für alle Beteiligten verbindliches Genehmigungsverfahren zu etablieren.

In diesem Zusammenhang wäre es bereits eine große Vereinfachung, wenn Wasserstoff und Methanol, genau wie Benzin oder Erdgas, als Brennstoffe klassifiziert werden würden (Änderung des Chemikaliengesetzes). Derzeit ist z. B. Wasserstoff noch als technisches Gas klassifiziert. Mit dieser vergleichsweise einfachen Maß-

nahme einer Neu-Klassifizierung würde der Genehmigungsaufwand für den Betrieb von Brennstoffzellen und damit auch die Installationskosten bereits deutlich reduziert.

An der Bestandsaufnahme der Regelwerke und der Entwicklung der Leitlinie sollten insbesondere folgende Akteure teilnehmen: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV), Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (DKE), Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST), Verband der TÜV e.V. (VdTÜV) und der Verein Deutscher Ingenieure (VDI). NOW könnte die Akteure koordinieren. Die Leitlinie sollte bis 2011 erarbeitet werden.

Nach den drei vordringlichen Maßnahmen steht an nächster Stelle die Exportflankierung, um den gerade im Ausland vorhandenen Bedarf nach unterbrechungsfreier Stromversorgung aufgrund der längeren Netzausfallzeiten mit der entsprechenden Brennstoffzellen-Technologie zu decken:

■ **Exportflankierung**

Da sehr große Absatz- bzw. Anwendungsmärkte für BZ-USV in Asien liegen, ist eine staatliche bzw. politische Unterstützung bei der Akquise einer asiatischen Markterschließung förderlich. Zu empfehlen sind entsprechende regelmäßige Auslands-Messen und -Reisen mit begleitenden Wirtschaftsdelegationen, durch die die Auslandsaktivitäten der deutschen Wirtschaft gestärkt werden können. Insbesondere für den deutschen Mittelstand hat dieses Instrument eine wichtige Türöffnerfunktion. Daher sollten mittelständische Unternehmen bei der Zusammenstellung von Delegationen besonders berücksichtigt werden. Diese Reisen sollten entsprechend der Wachstums- und Entwicklungspotenziale auf Schwerpunktländer konzentriert werden und einem strategischen, ressortübergreifenden Gesamtkonzept entspringen. Ein wichtiger Bezugspunkt ist die Exportinitiative Energieeffizienz der Deutschen Auslandshandelskammern (AHK), die hierfür in die Pflicht genommen werden können, um den Export von Brennstoffzellentechnologien im Rahmen der bestehenden Aktivitäten der Bundesregierung zu entwickeln.

■ **Gesetzliche Rahmenbedingungen**

Durch gesetzliche Maßnahmen, u. a. nach dem Vorbild einer Gesetzgebung in Kalifornien, die den Einsatz von Dieselgeneratoren verbietet, kann der Einsatz von BZ bei der USV gesteigert werden. Wir empfehlen den Einsatz von Brennstoffzellen vorzugsweise in besonders umweltbelasteten Regionen und sicherheitskritischen Bereichen, in denen sie gegenüber herkömmlichen USV-Anlagen ihre Stärken ausspielen können. Vor dem Hintergrund der Umwelt- und Klimaproblematik sowie einer zunehmenden Gefährdung durch Naturkatastrophen in Deutschland ist eine politische bzw. gesetzgeberische Einflußnahme erforderlich und mit der Brennstoffzellen-Lösung umsetzbar.

■ **Anlaufstelle für BZ und H₂-Fragen**

Da es sich bei Brennstoffzellen um eine neue Technologie handelt, ist der Informationsbedarf nach Referenzprojekten, Genehmigungsverfahren, Sicherheit von Wasserstoff etc. auf Seiten potenziellen Käufer von BZ-Systemen sehr groß. Jedoch gibt es bislang keine zentrale Organisation, die ein entsprechend strukturiertes Informationsangebot bietet. Die zu gründende Informationsstelle sollte bei einer Organisation eingerichtet werden, die über hohes Ansehen verfügt und die bei potenziellen Informationssuchenden als unabhängig und neutral eingestuft wird.

Vor diesem Hintergrund schlagen wir vor, bei NOW eine Anlaufstelle für Fragen rund um die Installation von Brennstoffzellen und die Wasserstoffversorgung einzurichten.

12 Marktsegment „Lagertechnik-Fahrzeuge/Sonderfahrzeuge“

Die hier berücksichtigten Brennstoffzellensysteme/Marktsegmente umfassen sowohl den Bereich der Flurförderzeuge (vornehmlich Lagertechnik-Fahrzeuge wie Stapler, Schlepper und Förderbandwagen) als auch den Bereich der Sonderfahrzeuge (vornehmlich Kommunalfahrzeuge und Servicewagen) im Leistungsbereich von wenigen kW bis einige 10 kW.

12.1 Marktchancen und Einstiegsmärkte für die deutsche BZ-Wirtschaft

Aus heutiger Sicht sehen die OEMs die Markteinführung von Brennstoffzellen in größeren Stückzahlen wegen nicht vorhandener Rentabilität für den Endkunden als nicht umsetzbar. Dies ist der Hauptgrund, dass bisher noch keine serienreifen Flur- und Sonderfahrzeuge auf dem deutschen Markt eingeführt wurden. Die Entwicklungen von Brennstoffzellen-Gabelstaplern und -Schleppern befinden sich bei den deutschen OEMs noch in der Demonstrations- und Felderprobungsphase. Auch gibt es in Deutschland bisher nur wenige Unternehmen, die einen Fokus auf den Bereich Sonderfahrzeuge gelegt haben. Aufgrund der hohen Kosten für die BZ-Systeme wurden bisher nur Einzelfahrzeuge in den jeweiligen Marktsegmenten hergestellt. Aus diesen Gründen und zusätzlich bedingt durch die anhaltende Wirtschaftskrise sind die Aussagen über die erwartete Größe der Marktsegmente für die nächsten 7 Jahre sehr zurückhaltend und auch bei einem optimistischen Szenario schwer einschätzbar. Als wichtigster deutscher Einstiegsmarkt wurden Gabelstapler und Schlepper auf Wasserstoff-BZ-Basis identifiziert. Unter den derzeitigen Bedingungen wird allerdings für 2015 nur eine Kleinserie von 20-100 Fahrzeugen p.a. und unter günstigen Rahmenbedingungen eine Produktion von insgesamt ca. 1.000 Fahrzeugen p.a. als realisierbar gesehen. Ab letzterer Größenordnung fängt eine Produktion für ein Unternehmen erst an, wirtschaftlich zu werden.

Bei Hubwagen auf Direkt-Methanol BZ-Basis wird 2015 unter günstigen Rahmenbedingungen mit 250-500 Fahrzeugen p.a. gerechnet. Diese Angaben basieren auf Berechnungen des Forschungszentrums Jülich. Vor allem für den Hubwagenbereich gilt, dass sich eine Umstellung auf Brennstoffzellen nur unter besonderen Anwendungsbedingungen lohnt (v. a. Dreischichtbetrieb).

Der Bereich der Kommunalfahrzeuge (vor allem Reinigungsfahrzeuge) verspricht grundsätzlich einen interessanten und frühen Markteintritt, allerdings wird bei der angespannten Haushaltslage der Kommunen aus heutiger Sicht für 2013 von höchstens ca. 100 Fahrzeugen p.a. ausgegangen.

Bei den Servicefahrzeugen („mobiles Büro“ wie z. B. ein bereits entwickelter Sparkassenwagen, Werkstatt- und Messwagen, Förderbandwagen) ist der tatsächliche Bedarf noch unklar, so dass nach dem derzeitigen Stand für 2015 ein Markt von ca. 100 Fahrzeugen p.a. denkbar ist.

Weitere Einzelfahrzeuge mit BZ-Antrieb oder APU (Auxiliary Power Unit) könnten zu Marketing- und Promotionszwecken bei Events bzw. Groß-Veranstaltungen eingesetzt werden.

In Rahmen der geführten Expertengespräche wurden folgende Vorteile angeführt, die mittel- bis langfristig die Wettbewerbs- und Marktfähigkeit von Brennstoffzellen gegenüber bestehenden Antrieben in diesem Marktsegment auszeichnet:

- **Längere Autonomiezeiten**

Der größte Vorteil von BZ-Antrieben im Bereich der Flurförderzeuge wird in der Gewährleistung eines ununterbrochenen 2- bis 3-Schichtbetriebs gesehen, da über einen 1- bis 2-Schichtbetrieb hinaus die Energieversorgung mit den heute eingesetzten Batterien in den meisten Fällen nicht mehr ausreicht. Eine für einen 2- bis 3-Schichtbetrieb notwendige Batterie-Aufladung bzw. ein Batterie-Wechsel ist sehr zeit- und kostenintensiv, bedingt durch längere Ladezeiten (6-10 Stunden Batterieladung gegenüber 3-5 Minuten H₂-Tanken) und durch den Aufwand für Wechselbatterien (Doppelte Batterie-Vorratshaltung, Batterie-Austausch mit Kran, etc.). Insbesondere bei größeren Flotten von Gabelstaplern (> 100 Fahrzeugen) könnten im 2- bis 3-Schichtbetrieb die Betriebskosten von BZ-Systemen wirtschaftlicher als Batterien sein. Einen Einsatzbedarf von Brennstoffzellen besteht auch bei Schleppern im Flughafenvorfeld, die meistens lange Strecken zurücklegen müssen und dabei sowohl Outdoor als auch Indoor fahren. Als Einstieg bieten sich die technisch komplexeren und hochpreisigen Hybrid-Schlepper (Diesel/Batterie) an. Auch kann die BZ-Betankung zunehmend effizienter gestaltet werden: In den USA wird bei der Kon-

zeption von neuen Logistikcentern die Betankungsinfrastruktur bereits berücksichtigt, u. a. auch das mögliche H₂-Betanken innerhalb geschlossener Hallen.

Ein weiterer Vorteil von Brennstoffzellen ist deren Einsatztauglichkeit bei tiefen Temperaturen (z. B. in Tiefkühlhäusern), da Bleibatterien dort nicht funktionsfähig sind. Allerdings kommen solche Einätze relativ selten vor, z. B. beträgt der Anteil des Kühlhaus-Einsatzes am gesamten Lagertechnik-Einsatz nur ca. 5-10 %.

■ **Längere Lebensdauer**

Obwohl das Ziel, eine Lebensdauer von ca. 22.000 Betriebsstunden bei Brennstoffzellen zu erreichen, derzeit noch nicht möglich ist (ca. 5.000 h), zeichnen sich langfristig BZ gegenüber Batterien (z. B. Blei-Batterie: ca. 12.000 Betriebsstunden bei 1.500 Zyklen und 8 Stunden Entladung pro Zyklus) durch eine längere Lebensdauer aus. Bei den neuen Batterie-Generationen, wie die schnell ladbaren Li-Ionen-Batterien, geht die häufige und schnelle Aufladung zu Lasten der Lebensdauer.

■ **Emissionsfreiheit (schadstofffrei, geräuscharm)**

Auf dem Weg zu Null-Emissionen und aufgrund strengerer Umweltvorschriften sind BZ-Antriebssysteme zunehmend von Bedeutung, insbesondere für geschlossene Bereiche am Flughafen, an Häfen, in Logistikcentern und öffentlichen Bereichen. Dadurch könnte insbesondere die Reichweite von Batterie getriebenen Gabelstaplern erhöht werden und Diesel angetriebene Schlepper, die teilweise bereits als Diesel/Batterie Hybrid-Systeme eingesetzt werden, substituiert werden.

■ **Geringe Betriebskosten (TCO)**

Aufgrund längerer Lebens- und Betriebsdauer sowie höherer Wirkungsgrade (bis zu 60 % gegenüber bis zu 40 % bei Diesel-Verbrennungsmotor) können nach weiterer Technologieoptimierung mittel- bis langfristig geringere Betriebskosten als bei Batterie- und Verbrennungsmotor-Antrieben erzielt werden. Nach einem Return on Investment Model in den USA von Ballard Power Systems kann bereits nach zwei bis drei Jahren eine Amortisierung des Total Cost of Ownership (TCO) einsetzen und in einem Zeitraum von 10 Jahren beim Endanwender eine Kosteneinsparung von 34 % erreicht werden (s. Tab. 12.1/Abb. 12.1).

Zurzeit sind jedoch noch keine geringeren Betriebskosten realisierbar. Neben den Kosten für die Brennstoffzellen (derzeit bis zu ca. 40.000 Euro für BZ in Gabelstapler

gegenüber entsprechenden Batterie-Kosten von bis zu ca. 10.000 Euro) sind hohe Investitionen für Wasserstofftankstellen (Drucktanks, Kompressoren, Sicherheitstechnik) erforderlich. Darüber hinaus ist je nach Herstellungsart der H₂-Preis relativ hoch: eine Wasserstoff-Betankung kostet heute ca. 8 Euro/kg, das entspricht ca. 3 l Diesel zu einem Preis von ca. 3 Euro; eine H₂-Flasche kostet sogar 40 Euro/kg).

Key assumptions for the fuel cell system option are:		Key assumptions for the battery option are:	
Cost per fuel cell system:	\$20,000 Class 3 \$40,000 Classes 1 & 2	Cost per battery:	\$2,600 Class 3 \$4,900 Class 2 \$5,500 Class 1
Number of fuel cell systems:	1 per truck	Number of batteries:	2 per truck
Fuel cell tax credit rebate:	30%, up to \$3,000 per kW	Cost of battery chargers:	\$2,300 per truck
Hydrogen price incl. delivery and storages:	\$8 per kg	Electricity price:	\$0,08 per kWh
Annual Fuel Cell System maintenance:	\$200 per truck	Annual battery room G&A:	\$1,000 per truck
Average Fuel Cell System life:	10 years	Average battery life:	5 years
Annual Fuel Cell Stack life:	10,000 hours	Lost productivity per battery charge:	20 minutes
Lost productivity per hydrogen refill:	3 minutes	Labor rate of the lift truck driver:	\$25 per hour
Labor rate of the lift truck driver:	\$25 per hour		

(Quelle: Ballard Power Systems)

Tab. 12.1: Vergleich der Investitions- und Betriebskosten bzw. des daraus resultierenden „Total Cost of Ownership“ für Brennstoffzellen- und Batterie- Antriebe im Bereich Gabelstapler

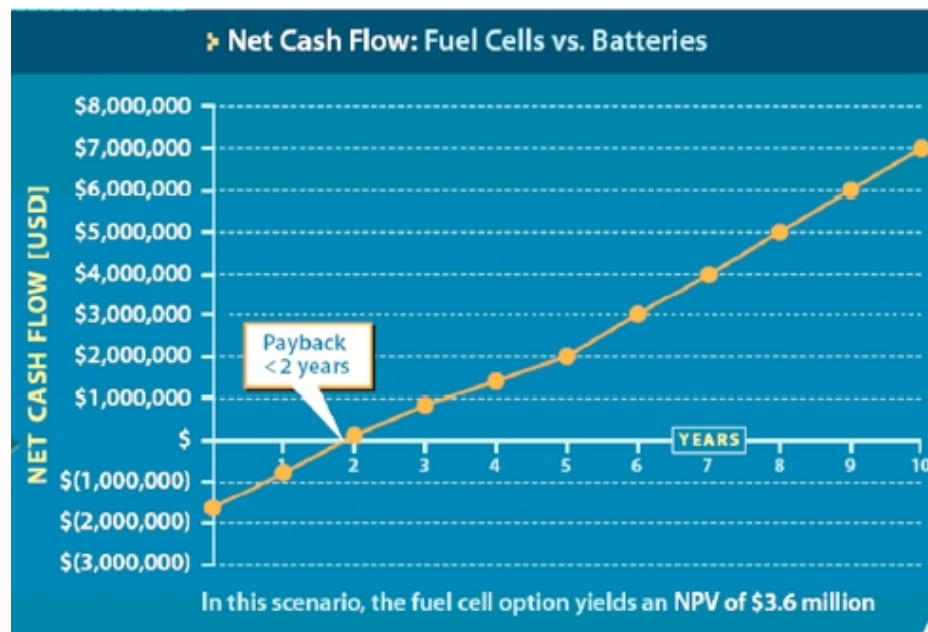


Abb. 12.1: Grafische Darstellung eines TCO-Szenarios über 10 Jahre für Gabelstapler mit Brennstoffzellen-Antrieb im Vergleich zu entsprechenden Batterie-Antrieben (Quelle: Ballard Power Systems).

12.2 Markthürden für die deutsche BZ-Wirtschaft

Es wurde eine Reihe von Markthürden identifiziert und in der unten aufgelisteten Reihenfolge priorisiert. Als die mit Abstand wichtigsten Hürden, die vordringlich abgebaut werden müssen, werden 1) die hohen Kosten für die BZ-Systeme und 2) die hohen Infrastrukturkosten bewertet.

Im Folgenden werden die Markthürden näher beschrieben:

■ Hohe Kosten für BZ-Systeme

Die Kosten für größere BZ-Systeme belaufen sich derzeit bei ca. 5.000 €/kW und sind damit mindestens ca. 4 bis 5 mal teurer als die heute eingesetzten Batterie-Systeme. Bei kleineren BZ-Systemen können die Kosten sogar auf bis zu 10.000 – 15.000 €/kW ansteigen. Wegen der geringen Stückzahlen ist eine deutliche Kostenreduktion heute schwierig.

■ Hohe Infrastrukturkosten

Für den hier überwiegend vorliegenden hohen Leistungsbereich (Ausnahmen: kleinere Systeme wie Hubwagen, Reinigungsmaschinen und APUs, die mit Methanol betrieben werden können) sind Wasserstoff-Tankstellen erforderlich. Für eine Wasserstoff-Tankstelle sind Kosten von ca. 150.000 € zzgl. H₂-Lagerung zu veranschlagen. Eine schnelle Betankung (3-5 Minuten), insbesondere bei Flottenfahrzeugen und bei 700 bar, erfordert zusätzlich leistungsstarke Kompressoren. Bei größeren Flotten sind zudem zwei oder mehr Tankstellen am Standort erforderlich, um Staus beim Schichtwechsel zu vermeiden. Darüber hinaus fallen nicht unerhebliche Kosten für Wasserstoff-Tanks und für den Wasserstoff, der möglichst CO₂-frei hergestellt werden sollte, an. Allerdings liegt das Problem derzeit eher darin, dass für zunächst angestrebte kleine Versuchsflotten die Infrastrukturkosten in Relation viel höher sind als bei großen Flotten.

■ Hoher administrativer Aufwand beim Kunden

Ein weiteres Markthemmnis wird in dem hohen administrativen Aufwand bei der Förderantragstellung und der Genehmigungsverfahren für Zulassung und Infrastruktur gesehen. Dieser zusätzliche Aufwand schreckt Kunden ab, die sonst möglicherweise bereit wären, die Technologie in ihrem Unternehmen einzuführen.

- **Zurückhaltung des Kunden gegenüber neuer Technologie**

Wegen Ungewissheit der Zuverlässigkeit und der Serviceleistung bei der neuen Brennstofftechnologie sind die Kunden bzw. Endanwender bei der Einführung zurückhaltend. Außerdem sind zur Sicherstellung des Fuhrparks zusätzliche Ersatzfahrzeuge erforderlich. Auch wird von vielen potenziellen Kunden der Umgang mit Wasserstoff als sehr risikobehaftet gesehen, oft aus Unwissenheit oder falschen Vorstellungen.

- **Keine ausreichende Zahl an Stack-Herstellern in Deutschland**

Für eine Serienproduktion von Flurförderzeugen und Sonderfahrzeugen fehlen in Deutschland in der Wertschöpfungskette neben Proton Motor als einzigen deutschen Stack-Hersteller noch weitere Stack-Lieferanten. Um wirtschaftlich arbeiten zu können, muss ein BZ-Hersteller mindestens 4.000 - 6.000 Stück p.a. produzieren.

- **Logistik ist ein sehr preissensibler Markt**

Die Tatsache, dass der Haupteinsatzbereich der Flurförderzeuge in der Logistik liegt, die generell nicht viel kosten darf, erschwert die Einführung der kostenintensiven Brennstofftechnologie.

- **Fehlende Versuchsflotten und repräsentative Erprobungstests**

Fragen zur Verlässlichkeit, Betriebskosten und Wartung von BZ-Systemen in Flurförderzeugen sind noch unklar, da Daten im Feld noch erhoben werden müssen, insbesondere Standsicherheit, Life Cycle Kosten und Fahrdynamik (Fahr- und Lastprofile). Beispielsweise sind bei BZ tiefe Temperaturen $< 0^{\circ}\text{C}$ problematisch, da die sich bildenden Eiskristalle Komponenten zerstören können und deshalb keine schnelle Inbetriebnahme möglich ist. Auch für die Entwicklung eines komplett neuen BZ-Fahrzeugdesigns sind Feldversuche unter Einbeziehung von Fahrzeugherstellern, Systemintegratoren und Anwendern erforderlich.

Für die Durchführung der Erprobungsversuche unter den verschiedenen praktischen Einsatzbedingungen fehlt derzeit eine größere Anzahl an BZ-Fahrzeugen (50 - 100 Stück) in Deutschland (im Gegensatz zu den USA, wo sich bereits ca. 350 BZ-Flurförderzeuge in der Testphase befinden).

■ **Fehlende Wasserstoff-Infrastruktur und Handhabungsprobleme**

Eine zuverlässige Wasserstoffversorgung ist für den Endkunden ein wichtiges Kaufargument für eine BZ-Nutzung. Umgekehrt verhindert ein geringer Bedarf des Endanwenders den Auf- und Ausbau einer Wasserstoffinfrastruktur. Teilweise gibt es Probleme bei der Handhabung mit zu schweren und sperrigen Wasserstoff-Flaschen (bei Gabelstaplern) und Methanol-Kanistern (z. B. beim Reinigungspersonal, das Schubreinigungsgeräte bedient). Eine Lösung könnten leichtere Carbonfaserverbund-Wasserstoff-Flaschen sein.

Da die Flurförderzeuge in der Regel keine Zulassung für den öffentlichen Straßenverkehr besitzen, können sie auch nicht die verfügbaren öffentlichen Wasserstoff-Tankstellen nutzen. Deshalb sollte dieser Aspekt beim Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur berücksichtigt werden und Synergien für die Versorgung beider Bereiche genutzt werden (z. B. Verbindung von öffentlichen mit nicht-öffentlichen Tankstellen).

Neben den hohen Investitionskosten für Wasserstofftankstellen incl. schnelles Betanken von Flottenfahrzeugen, Indoor-Tanken, etc.) sind noch Verfahren zur Genehmigung und Normung zu entwickeln und zu etablieren. Beispielsweise wenden TÜV Süd und TÜV Nord unterschiedliche Verfahren und Normen an.

■ **Zugang zu den Anwendungsmärkten**

Vielfach ist noch eine mangelnde Bekanntheit der BZ-Technologie bei den Endanwendern zu verzeichnen. Insbesondere muss für die jeweiligen Einsatzfelder der spezielle Nutzen analysiert und vermittelt werden. Beispielsweise sollte geklärt werden, welcher signifikante Bedarf für eine höhere Auslastung des Flurförderzeuges im 2- und 3-Schichtbetrieb vorliegt. Denn oftmals scheint in Deutschland ein ununterbrochener Einsatz nicht gegeben zu sein, so dass auch eine Batterie mit einer Zykluszeit von 8 Stunden ausreichend und kostengünstiger ist. In USA und teilweise in Großbritannien ist das anders, hier gibt es eine höhere Auslastung und entsprechende Logistik-Konzepte.

12.3 Priorisierung der Handlungsoptionen und Empfehlung von Maßnahmen zur Markteinführung

Im Wesentlichen sind fünf Maßnahmen notwendig, um die Markthürden im Bereich Lagertechnik-Fahrzeuge/Sonderfahrzeuge zu überwinden. Diese in der unten aufgelisteten Reihenfolge priorisierte Maßnahmen werden empfohlen:

■ Öffentliche Beschaffungsprogramme

Wenn Brennstoffzellen in Speziellen Märkten wie dem Bereich Logistik und Sonderfahrzeuge in Deutschland in den Markt eingeführt werden, wird auch die Markteinführung in die mobilen Massenmärkte einfacher. Spezielle Märkte sind Enabler der Massenmärkte. Wenn die Bundesregierung die Markteinführung von Brennstoffzellen in der Logistik und bei Sonderfahrzeugen erreichen und damit CO₂-freie Logistik und schadstoffarme Innenstädte erreichen will, ist die sofortige Einführung eines bundesweiten kommunalen, Länderübergreifenden staatlichen Beschaffungsprogramms für Lager- und Sonderfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb erforderlich. Das Programm sollte 10.000 Brennstoffzellen-Lager- und Sonderfahrzeuge im kommunalen Einsatz oder in sonstiger öffentlicher Beschaffung in den kommenden 10 Jahren mit anfangs jeweils maximal 15.000 € bezuschussen, so würde dies maximal 250 Millionen Euro Kosten. Durch 10 % Abschmelzung des Zuschusses sollten die Kosten noch deutlich reduziert werden. Das kommunale 10.000-BZ-Sonderfahrzeugprogramm könnte sich aus den Einnahmen aus Energiesteuern oder aus einem Energieeffizienzfond speisen, der im Rahmen des Energiekonzepts umgesetzt werden kann und sich an dem 120-Mio € Bundesliegenschaftenprogramm orientieren.

■ Stärkere Kooperation der Unternehmen

Damit Deutschland in diesem Marktsegment wettbewerbsfähig wird und mit Produkten schneller als die internationalen Wettbewerber auf den Weltmarkt bzw. Exportmarkt kommt, sind auch Kooperationen zwischen Unternehmen innerhalb der Wertschöpfungskette wichtig. Die Akteure könnten hier durch Austausch von Spezifikationen und entsprechenden Synergien beim Einsatz von Komponenten ihre gemeinsamen Ziele besser erreichen. Vorbild wäre das japanische Konzept, ein Markteinführungsprogramm für die Hausenergie mit Kooperationen der OEM zu verknüpfen. Um Komponenten und Schnittstellen zu vereinheitlichen und auf diese

Weise Skaleneffekte bei Zulieferern und OEMs zu erzielen, sind solche Unternehmenskooperationen anzustreben. Dafür könnte die 10 %-Abschmelzung des o.g. Beschaffungsprogramms entfallen, was diese Maßnahme für Zulieferer und OEMs doppelt attraktiv macht. Die Details für derartige Kooperationen sollen in der bereits bestehenden VDMA-Arbeitsgemeinschaft Brennstoffzellen definiert werden.

■ **Flankierung Wasserstoff-Infrastruktur**

Bevorzugt sollte eine Wasserstoff-Infrastruktur gefördert werden, die Synergien durch Kombination von verschiedenen Anwendungen nutzt. Beispielsweise könnte die Deutsche Bahn eine Wasserstoffversorgung für verschiedene Fahrzeuge wie Gabelstapler, Schlepper, Züge und USV-Anlagen nutzen.

Generell bedarf es einer Analyse einer flächendeckenden Wasserstoff-Infrastruktur (regionale Bestandsaufnahme zur Bedarfsermittlung und Nutzung von Synergien) und der Entwicklung eines Energiemanagements für die gesamte Wasserstoff-Herstellungskette („smart grid“, bei dem verschiedene Anwendungen ihre Wasserstoff-Überkapazitäten bei Bedarf gegenseitig zur Verfügung stellen).

Auch die weitere verbrieft Befreiung des Wasserstoffs von der Mineralölsteuer würde die Markteinführung von BZ-Fahrzeugen begünstigen sowie Planungssicherheit geben. Die flankierenden Maßnahmen zur Wasserstoff-Infrastruktur sollten mit den laufenden Förderaktivitäten abgestimmt werden und in die Überarbeitung des Nationalen Entwicklungsplans zum „Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ eingebracht werden.

■ **Marktanreizprogramm zur Förderung des Endkunden**

Um dem Endkunden Kaufanreize zu geben, wird nach dem Vorbild des 100.000-Dächer-Programm zur Förderung von neuen Photovoltaikanlagen ein staatliches Mobilitätsprogramm empfohlen, mit dem 10.000 Fahrzeugen über 10 Jahre finanziell unterstützt werden. Ähnlich wie das in den USA bis 2016 laufende Gabelstapler-Programm „Investment Tax Credit (ITC) for fuel cell technology“ (Benchmark) sollen steuerliche Vergünstigungen bis zu 30 % oder maximal bis zu 3.000 €/kW gewährt werden. Die Förderung soll sich dabei nur auf den Differenzbetrag zu den Kosten eines entsprechenden Elektrofahrzeuges bzw. der TCO beziehen. Die Förderung soll auch in Abhängigkeit von den Vorteilen und des erhöhten Nutzwertes, den das BZ-System ermöglicht, erfolgen. Beispielsweise dürften Fahrzeuge zur Abfallentsor-

gung, Straßenreinigung und Wertstoffeinsammlung mit BZ-Antrieb aufgrund der geringeren Lärmemissionen bereits ab 5:00 oder 6:00 Uhr morgens auf die Straße, eine Stunde bzw. zwei Stunden früher als es die entsprechende Bundes-Verordnung für Geräte- und Maschinenlärmschutz erlaubt und könnten so die Effizienz steigern. Auch für emissionssensible Zonen wie Stadtzentren, Häfen, Flüsse und Seen oder in geschlossenen Bereichen wie Lagerhallen und Tunnel könnte sich der Einsatz von BZ-Fahrzeugen bzw. auch Booten in besonderer Weise eignen. Dennoch sollte man auch vom Endkunden ein gewisses Commitment erwarten können, die neue Technologie voranzutreiben und zu gestalten, auch wenn dies mit unternehmerischen Risiken verbunden ist. Zur Umsetzung der Maßnahme sind Politik, Lobbyisten, Verbände, Endkunden und OEMs einzubinden. Die Maßnahme sollte 2012 eingeführt sein.

■ **Flankierung Gesamtpaket Infrastruktur und Fahrzeug im Betrieb**

Die Wasserstoff-Infrastruktur soll in Verbindung mit den eingesetzten BZ-Fahrzeugen gefördert werden. Denkbar sind verbesserte Abschreibungsmöglichkeiten und vergünstigte Kredite, z. B. durch KfW-Bankengruppe. Benchmark ist das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG). Mit dem ERP-Umwelt- und Energieeffizienzprogramm, eine gemeinsame Initiative des Bundeswirtschaftsministeriums und der KfW-Bankengruppe können Energieeffizienzmaßnahmen von KMUs bis zu einer Höhe von 10 Millionen Euro unterstützt werden. Das wäre insbesondere für Serviceunternehmen wie z. B. Logistik- und Reinigungsdienstleister geeignet. Differenziert nach F&E und anwendungsorientierten Feldversuchen sollen entsprechend vereinfachte Förderverfahren entwickelt und bereitgestellt werden. Dabei ist eine Einbeziehung bzw. Abstimmung der Förderung der Batterietechnologie, die eng mit der BZ-Technologie verknüpft ist, unumgänglich. Einzubindende Akteure sind Politik, Energieerzeuger, Wasserstoff-Lieferanten und Endkunden. Die dafür erforderlichen Maßnahmen sollten bis 2012 eingeführt sein.

■ **Vereinfachte Genehmigungsverfahren**

Der Marktzugang kann durch eine Vereinfachung der Genehmigungsverfahren für die Zulassung und Inbetriebnahme erleichtert werden. Dazu ist eine Standardisierung der Zulassung mit einer stärkeren Einbindung bzw. einem größeren Engagement der zuständigen Zulassungsstellen wie TÜV notwendig. Das setzt die Erstel-

lung von Normen und Standards sowie eine Qualifizierung von Sachverständigen (z. B. für ein einheitliches Qualitätslevel, u. a. beim TÜV) voraus. Darüber hinaus sind Möglichkeiten der Eigenzertifizierung und der Unterstützung bei der betrieblichen Gefahrenanalyse zu prüfen.

Letztlich wäre eine Checkliste für die Inbetriebnahme und ein Handbuch, das im Auftrag von NOW erstellt werden könnte, nützlich.

Für die Umsetzung dieser Maßnahme sind u. a. Zertifizierer unter Beteiligung der Industrie, TÜV, Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen (BGF) einzubeziehen. Mit der Maßnahme sollte sofort begonnen werden.

■ **Beratung des Endkunden**

Es wäre von Vorteil, wenn das für eine Markteinführung notwendige Wissen, u. a. auch Erfahrungen aus Feldversuchen, in einer Informationsbroschüre und Referenzdatenbank für Endkunden aufbereitet und zugänglich wäre. An der Verbreitung und Transparenz der Informationen können auch Verbände wie der VDI, VDMA, möglichst in Abstimmung und Zusammenarbeit untereinander, beitragen. Denkbar wäre auch die Entwicklung eines OEM-Geschäftsmodells, das neben dem Verkauf von Fahrzeugen auch weitergehende Servicedienstleistungen anbietet. Alle Dienstleistungen sollen dazu dienen, beim Endanwender die Risiken bei der Umstellung auf BZ-Systeme abzufangen und durch vertrauenbildende Maßnahmen beim Kunden, ihn dazu zu motivieren, die Einführung der neuen Technologie mit voranzutreiben.

Bei allen Maßnahmen ist eine Sicherheit der Planbarkeit für Investoren wichtig. Das bedeutet z. B., dass die Politik bzw. die Regierung die gesetzlichen und unterstützenden Rahmenbedingungen für einen mittelfristigen Zeitraum verbindlich zusagt.

13 Marktsegment „Kleinleistungsbereich“

Die hier berücksichtigten Brennstoffzellensysteme/Marktsegmente umfassen den Leistungsbereich bis einige Hundert Watt für Bordstromversorgung im Freizeitbereich (Caravan, Boote), portable, netzunabhängige Stromversorgung (Power Tools, Baustellen, Verkaufsstände) und Elektroleichtfahrzeuge (E-Bikes, Cargobikes).

13.1 Marktchancen und Einstiegsmärkte für die deutsche BZ-Wirtschaft

Bereits bestehende Märkte bzw. solche mit kurz bevor stehendem Markteintritt sind im Freizeitsektor zu verzeichnen. Im Bereich Caravaning kann von einem Potenzial von 80.000 Fahrzeugen pro Jahr in der EU und 60.000 Fahrzeugen in den USA ausgegangen werden, bei einem Einstiegspreis für das BZ-System von 3.000 bis 4.000 Euro. Im marinen Freizeitsektor wird ein Potenzial von zwölf- bis fünfzehntausend Stück jährlich in der EU, den USA und Australien geschätzt; dies für eine Leistung von etwa 300 W bei 6.000 Euro Einstiegspreis.

Während sich die Potenzialaussagen auf die Maximalzahl ausrüstbarer Einheiten bezieht, sieht ein Unternehmen bei portablen Systemen von 100 bis 300 Watt für Freizeitanwendungen (Caravaning, Boote) sowie APUs für Sonderfahrzeuge und Netzersatzanlagen für netzferne Anlagen einen Markt von 4.000 bis 6.000 BZ-Einheiten jährlich, bei jährlich mindestens 50 % Wachstum.

Bei den Cargo-Leichtfahrzeugen wird von 8.000 - 10.000 Fahrzeugen jährlich ausgegangen. Für die Märkte „Sensorik und Kamerasysteme“ sowie „netzunabhängige Stromversorgung“ scheint nach Expertenbefragung ein Markt von 10.000 Stück pro Jahr für Kameras möglich zu sein. Bei Sensorik ist sogar ein weit größerer Markt realisierbar, wenn der Preis niedriger wird ($\ll 100$ €/System).

Etwa ab dem Jahr 2013 können weitere Märkte erschlossen werden. Bei den Leichtfahrzeugen der Leistungsklasse 200 bis 300 Watt in Konsumentenhand wird ein sehr viel größerer Markt gesehen, sofern der Leistungsbereich in der Betrachtung auf 500 bis 1.500 Watt ausgeweitet würde. Dann wären nicht nur Zwei- oder Dreiräder von Interesse, sondern auch leichte vierrädrige Fahrzeuge. Insgesamt wird für Brennstoffzellen im Bereich Leichtfahrzeuge in den nächsten 20 bis 30 Jahren ein sehr

dynamisch wachsender Markt erwartet. Konkrete Marktprognosen könnten wegen der hohen Marktdynamik jedoch nicht getroffen werden.

Größte Marktchancen werden dort gesehen, wo längere Ladungsintervalle bzw. größere Reichweiten im Vergleich zu Batterien erforderlich sind (Einsatz von BZ ab Entfernungen > 20 km, bei professionellen Anwendungen bei 50 - 100 km Reichweite).

Neben den Power Tools bestehen Einsatzmöglichkeiten für die Bordstromversorgung von Nutzfahrzeugen, differenziert nach Sonderfahrzeugen und LKW, bei letzteren mit einem Absatz von ca. 10.000 Systemen jährlich mit 6.000 - 8.000 Euro Stückpreis.

Für alle diskutierten Marktsegmente wird ein Markteintritt sofort bis spätestens in drei Jahren angestrebt. Diese Markteintritte absorbieren die Kräfte der Unternehmen so stark, dass an eine fernere Zukunft derzeit nicht gedacht wird.

Im Rahmen der Experteninterviews wurde eine weitere Marktausweitung der Produkte City- und DeliveryCruiser, d. h. als Dreirad sowohl zur Personenbeförderung als auch als Cargobike, gesehen. Die Finanzierung erfolgt bisher hauptsächlich über Werbeeinnahmen. Der Endkunde ist also Franchisenehmer. Aufgrund der Einordnung als Fahrrad kann die Werbewirkung auch in Bereichen stattfinden, die für motorisierte Straßenfahrzeuge gesperrt sind. Derzeit sind ca. 1.800 Velotaxen in 50 Ländern weltweit unterwegs. Davon sind allerdings nur 3 bis 5 % mit BZ ausgerüstet. Hier besteht noch für Brennstoffzellen ein Substitutions- und Ausbaupotential.

13.2 Markthürden für die deutsche BZ-Wirtschaft

Als größte Markthürde werden nach Diskussion und Abstimmung die Kosten gesehen. Deutlich auf dem zweiten Rang wird das ungünstige Verhältnis Baugröße/Leistung bewertet. Als weitere Hemmnisse werden die Infrastrukturproblematik und die unzureichende öffentliche Wahrnehmung von Brennstoffzellen in diesem Marktsegment angeführt. Anzumerken ist, dass BZ keine Problemlösung für den Anwender darstellen und sowohl Batterien als auch Photovoltaik Alternativen sind, bei denen sich die Nutzer mit den Nachteilen dieser Technologien arrangiert haben.

■ **Hohe Herstellungskosten für BZ-Systeme**

Bei den Kosten wurde unterschieden nach Produktionskosten, den Anschaffungs- und Folgekosten für den Anwender. Durch den Edelmetalleinsatz, wie z. B. Platin, wurden besonders die Rohstoffkosten als zu hoch genannt. Dieser Nachteil tritt prinzipbedingt nicht bei der SOFC auf.

Besonders für den Automobilbereich wurde kritisiert, dass dort die Kostenziele für Komponenten (hier also ein BZ-System) vorgegeben sind, diese aber derzeit unter den Einzelteilpreisen bei der Herstellung eines BZ-Systems liegen, was einen Markteintritt verhindert.

Hinzu kommt generell, dass sich Skalierungseffekte für die Zulieferer nicht attraktiv gestalten, da diese für höhere Stückzahlen massiv in Produktionsanlagen investieren müssen, so dass sich die von den Abnehmern erwartete Kostendegression verringert.

■ **Ungünstiges Verhältnis Baugröße/Leistung**

Hierbei wurde ein eher technisches Problem adressiert, das auf den Markt durchschlägt: die leistungsbezogene Baugröße sei zu hoch. Heutzutage seien 25 Liter Volumen für 100 Watt Leistung nötig, eine Reduktion auf ein Drittel des Volumens sei für ein attraktives, integrierbares Produkt notwendig. Als Ziele wurden für Automobilanwendungen 10 Liter/kW und bei Flugzeuganwendungen 1 Liter/kW genannt. Am Rande wurde noch die zu hohe Masse der BZ-Systeme erwähnt.

■ **Unklare Infrastruktur-Regularien**

Die Infrastruktur wurde als weiteres Hemmnis angeführt, hier mit Blick auf die rechtlichen Probleme, besonders auf die jedem Land eigenen Regularien, die in den Auslandsmärkten zu einer gewissen Unübersichtlichkeit führten.

■ **Geringe öffentliche Wahrnehmung**

Weiterhin lässt sich feststellen, dass sich Endanwender durchaus vor vermeintlich gefährlichen Brennstoffzellen fürchteten. Auf der anderen Seite werde die BZ auch gar nicht oder lediglich als „Zukunftsmusik“ wahrgenommen. Brennstoffzellen vermitteln auch kein „Lebensgefühl“.

Im Rahmen der Interviews wurden zwar Batterien eher als Komplementärtechnologie gesehen und BZ-Fahrzeuge auch zu Elektromobilität gezählt. Diese haben aber zurzeit den Vorteil der stärkeren öffentlichen Aufmerksamkeit als BZ-Systeme.

- **Unzureichende Treibstoff-Infrastruktur**

Bisher fehlt sowohl in Deutschland als auch weltweit noch eine flächendeckende Treibstoffversorgung. Bei City- und CargoCruiser werden bisher in Deutschland von den OEMs (Masterflex, SFC) nur Insellösungen für den Kunden (z. B. die komplette Methanolversorgung von SFC für die weltweit eingesetzten Velotaxen der Velotaxi GmbH Berlin) angeboten. In anderen Ländern wie Spanien und Frankreich gibt es erste Kooperation mit Partnern, z. B. Air Liquide.

Bei Anwendung als Power Tools ist das Handling und Kosten bei Verwendung von Wasserstoff für den Kunden problematisch: H_2 hat eine zu geringe Energiedichte, so dass viele 2-Liter-Druckgasflaschen getauscht werden müssten, dafür ist der Pfandpreis entsprechend zu hoch.

- **Hohe Kosten für Power Tools**

Die BZ-Kosten für Power Tools (portable Stromerzeuger und Batterieladegeräte) sind für einen Massenmarkt (> 100.000 Stück) zu hoch. Kostentreiber ist der Edelmetallpreis, der das Limit vorgibt, hinzu kommt die teure Stack-Fertigung. Für Nischen ist 1.500 € für 50 W noch akzeptabel.

13.3 Priorisierung der Handlungsoptionen und Empfehlung von Maßnahmen zur Markteinführung

Für den Kleinleistungsbereich empfehlen wir die folgenden priorisierten Maßnahmen:

- **CO₂-Substitutionsprämie**

Im Kleinleistungs-, und hier besonders im Freizeitbereich, sind einzelne Brennstoffzellensysteme marktnah etabliert und erfolgreich. Ihr langer unterbrechungs- und geräuschfreier Betrieb stellt einen wichtigen Wettbewerbsvorteil dar. Aufgrund der positiven Marktentwicklung sollte ein Zuschussprogramm für dieses Marktsegment zeitlich befristet und degressiv ausgelegt sein. In Analogie zum 100.000-

Dächerprogramm der Solartechnik stellen wir uns ein Marktanreizprogramm für eine Substitutionsprämie zur CO₂-Vermeidung durch Brennstoffzellen-Einsatz vor, das durch die öffentliche Hand mit insgesamt 10 Mio € über 5 Jahre für 10.000 Anlagen bei 1.000 € pro System bezuschusst wird. Besonders der Ersatz von Benzingeneratoren ist dabei interessant, zum Beispiel im Baustelleneinsatz (verstärkter Trend zu Nachtbaustellen) oder bei der Wohnhaussanierung (Bedarf nach leiser Energiebereitstellung). Auch könnten bisher stationäre Systeme wie Automaten bzw. Terminals durch BZ-Einsatz mobilisiert und somit flexibler werden. Dazu müssen Anwendungen, Rahmenbedingungen und Zielgrößen definiert werden und gesetzliche Vorgaben gemacht werden (bzgl. CO₂-Emission, Schallpegel). Geeignete Akteure sind die Gas- und Wasserstoffwirtschaft als auch Industrieverbände und Hersteller. Eine solche Maßnahme sollte in den Jahren 2013 bis 2015 eingeführt werden.

Ziel ist es, in den nächsten fünf bis sieben Jahren ein Drittel bis die Hälfte des Weltmarktvolumens für Freizeitanwendungen aus Deutschland zu bedienen (s. Angaben zur Marktgröße in Kapitel 3.2.). Wenn es gelingt, dieses Ziel zu erreichen, könnten mittelfristig allein in dem Freizeitbereich mit 120 Millionen Euro Umsatz über 1000 Beschäftigungsverhältnisse in Deutschland entstehen und gesichert werden. Als Maßstab für diese Hochskalierung können die Umsätze des Weltmarktführers SFC herangezogen werden, der in diesem Jahr mit etwa 100 Beschäftigten einen Umsatz von ca. 7 Millionen Euro generiert hat.

■ **Imagekampagne**

Das Ziel einer Imagekampagne soll sein, BZ im öffentlichen Raum sichtbar zu machen, zum Beispiel zur Stromversorgung von Automaten oder Anzeigetafeln an Bushaltestellen. Dabei soll das Gehäusedesign ansprechend sein. Auch ein Namenswechsel weg von der Bezeichnung „Brennstoffzelle“ wird vorgeschlagen. Zwar gab es keine konkreten Vorschläge, die Assoziation zu „Elektroeffizienz“ wurde jedoch ins Spiel gebracht. Entsprechend könne ein eigenes Energieeffizienz-Label geschaffen werden, oder – besser noch – ein vorhandenes mit genutzt werden.

Neben der Energieeffizienz könnte der Vorteil der Geräuscharmheit herausgestellt werden („Die leise Energie“). Die derzeitige Fokussierung des Interesses auf Elektromobilität könnte genutzt werden, den Brennstoffzellen die obligatorische Batterie als Hybridsystem zur Seite zu stellen.

Als Akteure wurden verschiedene Umweltverbände ausgemacht, mit der entsprechenden Vorsicht, dass die öffentliche Wahrnehmung der Kombination aus „Umweltverband“ und „Brennstoffzellentechnik“ nicht fehlgeleitet wird. Auch die Energieagenturen können bei der Umsetzung mitwirken.

Als Benchmark gilt das Energieeffizienz-Label für Kühlschränke („A++“), aber auch die Firma Yello, die dem Strom eine Farbe gegeben hat – eine Imagekampagne könnte der BZ einen (leisen) Sound geben.

Publikumswirksam sind auch Imagekampagnen auf bedeutenden Konferenzen, z. B. auf der im zweijährigen Rhythmus stattfindenden internationalen Weltwasserstoffkonferenz (WHEC) und Messen wie die Caravan, Boot.

▪ **Lücke zwischen Demonstrator und Markteintritt durch Förderung schließen.**

Die wichtigste Voraussetzung für die Markteinführung ist, das Fertigungs-know-how beim Übergang in die Serienproduktion zu stärken. Dabei sollten entsprechende Markteinführungsprogramme durchaus die Produktion von Kleinserien erlauben. Da eine Förderung der Lücke zwischen Demonstrator und Markteintritt nach EU-Recht als Subvention gilt, andere Länder wie die USA und Japan diese Vorgabe jedoch nicht haben und den Übergang gezielt fördern können, besteht hier ein Wettbewerbsnachteil der EU. Dementsprechend ist Lobbyarbeit in Brüssel nötig.

Für die BZ-Systemfertigung ist auch eine Standardisierung auf Seiten der Zulieferer vorteilhaft, um durch Elementegleichheit Kosten zu reduzieren. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Hochschulen und deren know-how in der Fertigungsoptimierung. Allerdings müsste die Frage der Nutzungsrechte zuvor eindeutig mit den Hochschulen abgeklärt werden, da diese sonst häufig in der Hochschule verbleiben und nicht an die Industrie gelangen.

Im Vertrieb sind für die kleinen Unternehmen große, im Markt erfahrene Player von Vorteil, um Kooperationen zur Markterschließung einzugehen. Empfehlenswert ist in diesem Zusammenhang auch eine Beratung zum Markteintritt, aber auch Marktforschung – die Märkte sollen aus Anwendersicht beschrieben und bewertet werden. Als Akteure werden System- und Komponentenhersteller sowie die Industrieverbände gesehen.

■ Markteintrittsprogramm durch die öffentliche Hand

Hier wurden verschiedene Maßnahmen angesprochen, wie zum Beispiel den Ansatz, dass jeder kommunale Bauhof von Diesel- auf BZ-Generatoren umstellt, die Straßenmeistereien für Warnleuchten nur noch wartungsarme BZ-Systeme statt Bleibatterien verwenden, oder für Zustellfahrzeuge bei Postdiensten eine Abwrackprämie bei Anschaffung eines BZ-Leichtfahrzeugs gezahlt wird. Bei Vergabevorschriften könnte die Energieeffizienz durch Kriterien vorgegeben werden, die nur durch extrem effiziente Systeme wie BZ zu erfüllen sind. Gemeinden könnten sich einem Energieeffizienz-Wettbewerb unterziehen. Ergänzend können Ausbilder in Berufsschulen als Multiplikatoren dienen.

Als Akteure wurden die Gemeinden – zusammen mit jeweils einem Industriepartner – als auch der Deutsche Städtetag gesehen.

14 Literatur

Adamson, Kerry-Ann, 2009 Niche Transport Survey, FuelCellToday, August 2009.
Freedonia, Fuel Cells to 2012, Fuel Cell Market Report, Cleveland Ohio, 2008.

Fuel Cells 2000, Materials handling giving fuel cell industry major lift, press release, April 2009.

Fuel Cells 2000, Fuel Cell Specialty Vehicles, www.fuelcells.org/info/charts/specialty.pdf, April 2009a.

Gaines, L.L., Elgowainy, A., Wang, M.Q., Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems, Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, 2008.

Idatech, New Distribution Agreement with ACME, Pressemitteilung, 16. Nov. 2009.

PikeResearch, Fuel Cells for Portable Power Applications, Fuel Cell Market Report, Boulder, 2009.

15 Anhang: Grafiken und Tabellen

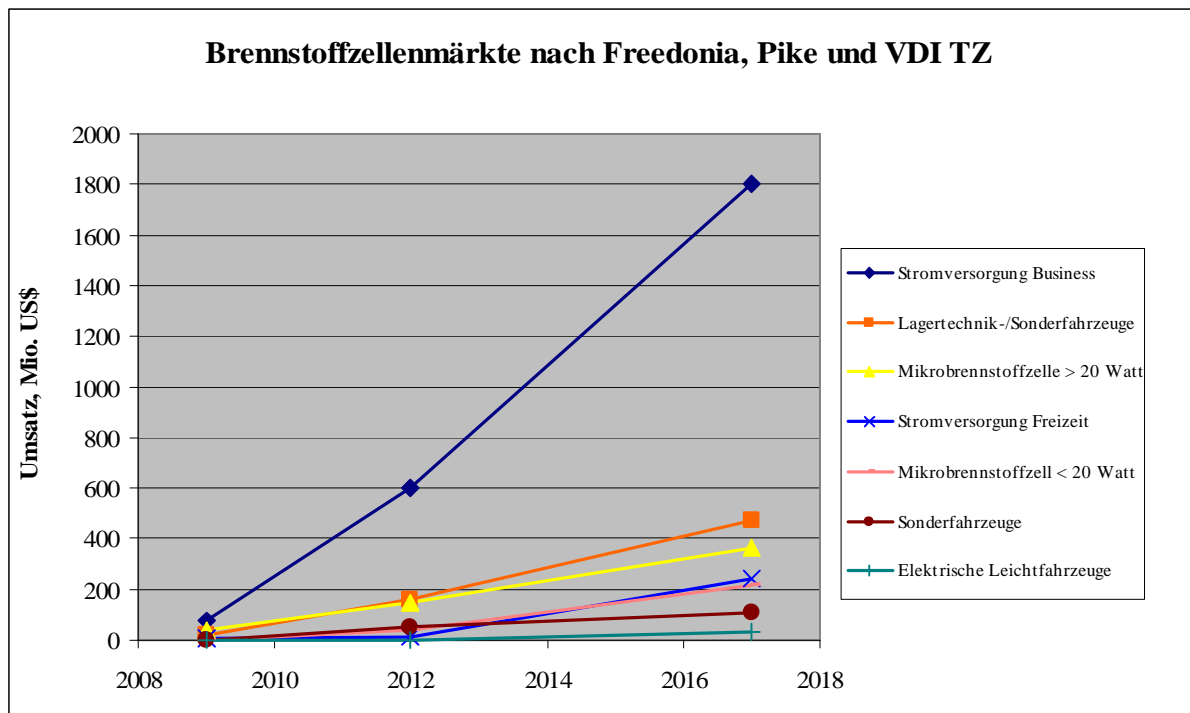


Abb. 15.1: Entwicklung der Brennstoffzellenmärkte weltweit bis 2017. Erläuterungen zur Ableitung der Marktzahlen befinden sich in den Abschnitten zu den Marktsegmenten und komprimiert im Kapitel 9 „Zusammenfassung der Markt- und Portfolioanalyse“.

Tab. 15.1: Vergleich der Anwendungsfelder. Zusammenführung der Ergebnisse der Analyse der Marktsegmente nach den Kriterien Anzahl der Unternehmen, Abdeckung der Wertschöpfungskette und adressierte Märkte. Erläuterungen siehe Abschnitte zu den einzelnen Marktsegmenten.

	Anzahl der Unternehmen						
	OEM	System-integratoren	BZ- und Stack-Hersteller	Zulieferer	Unternehmen mit Produkten oder Einzelanfertigung	Abdeckung Wertschöpfungskette	Adressierte Märkte
Stromversorgung Business	1	9	13	2	17	Teilweise, BZ-Hersteller an der Schwelle zur Serienfertigung	Gesamtmarkt
Stromversorgung Freizeit	6		6	3	9	Vollständig	Gesamtmarkt Reisemobile/Caravan, Outdoor, EFOY-System erfolgreich am Markt eingeführt
Lagertechnik Fahrzeuge	4	1	3	4	6	Teilweise, Schwächen bei den BZ-Herstellern	Gesamtmarkt Sonderfahrzeuge
Sonderfahrzeuge	3	1	6	1	6	Durchschnittlich	Förderbandwagen, Rollende Werkstatt
Elektrische Leichtfahrzeuge	5	2	3	2	7	Vollständig	Fahrräder, Rollstühle
Mikro-Brennstoffzelle > 20 Watt	3		5	2	6	Teilweise, Schwächen bei den OEMs	Teilmärkte, Power Tools, Netzferne Sensorik
Mikro-Brennstoffzelle < 20 Watt	4		9	8	8	Teilweise, Schwächen bei den OEMs	Nische (Spezialleuchte, Datenerfassungsgeräte)

Tab. 15.2: Scoring Modell: Zusammentragung der Ergebnisse für die einzelnen Marktsegmente. Erläuterungen s. Abschnitte zu den einzelnen Marktsegmenten. Die Bewertung erfolgt im relativen Vergleich der einzelnen Marktsegmente in Deutschland zueinander: 1 Punkt = unterdurchschnittlich, 2 Punkte = durchschnittlich, 3 Punkte = überdurchschnittlich.

	OEMs System- integrato- ren	BZ- Hersteller	Stadium der Markteinfüh- rung	Abdeckung Wertschöp- fungskette	Summe Punkte
Stromversorgung Business	3	1	1	2	7
Stromversorgung Freizeit (Caravan etc.)	3	3	3	3	12
Lagertechnik-	2	2	1	1	6
Sonderfahrzeuge	2	2	2	2	8
Elektrische Leichtfahrzeuge	2	2	2	3	9
Mikro-Brennstoffzelle > 20 Watt	1	2	2	1	6
Mikro-Brennstoffzelle < 20 Watt	1	2	1	1	5

Tab. 15.3: Teilnehmerliste des Workshops „Markthemmnisanalyse für Brennstoffzellen in Speziellen Märkten in Düsseldorf am 25.02.2010

Michael Arndt STILL GmbH Berzeliusstraße 10 22113 Hamburg	Benedikt Eska Technology Management SK Münchener Str. 35a 85748 Garching
Wolfgang Axthammer NOW GmbH Fasanenstr. 5 10623 Berlin	Tim Faber TÜV SÜD Industrie Service GmbH Westendstraße 199 80686 München
Armin Bayer SolviCore GmbH & Co. KG Rodenbacher Chaussee 63457 Hanau-Wolfgang	Alexander Geis DB Netz AG Mainzer Landstr. 201-203 60326 Frankfurt am Main
Dr. Peter Beckhaus Zentrum für BrennstoffzellenTechnik Carl-Benz-Str. 201 47057 Duisburg	Bernhard Gutmann Clean Mobile AG Inselkammerstr. 4 82008 München
Bernd Bindbeutel Flughafen Stuttgart GmbH Postfach 23 04 61 70624 Stuttgart	Thilo Haller Still GmbH Breisenbachstraße 106 44357 Dortmund
Martin Ebert MULAG Fahrzeugwerk Gewerbestr. 8 77728 Oppenau	Peter Heuberger MULAG Fahrzeugwerk Gewerbestr. 8 77728 Oppenau
Achim Edelman Gräbener Maschinentechnik Am Heller 1 57250 Netphen-Werthenbach (Bhf.)	Jörg Jacob Deutsche Bahn AG Köthener Straße 1 10963 Berlin
Dr. Heinz Eickenbusch VDI Technologiezentrum GmbH VDI-Platz 1 40468 Düsseldorf	Oliver Kaiser VDI Technologiezentrum GmbH VDI-Platz 1 40468 Düsseldorf

Matthias Kaufmann P21 GmbH Balanstraße 73 / Gebäude 12 81541 München	Jürgen Mathes Schenker Deutschland AG Langer Kornweg 34 E 65451 Kelsterbach
Dr. Oliver Knauff ECG GmbH Widdersdorfer Str. 240 50825 Köln	Jürgen Mergel Forschungszentrum Jülich 52425 Jülich
Dr. Frank Koch Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff NRW Haroldstr. 4 40213 Düsseldorf	Matthias Naumann zebotec GmbH Blarerstraße 56 78462 Konstanz
Jürgen Kokott DB AG Richelstraße 3 80634 München	Reiner Niethammer Air Liquide Deutschland Hans-Günther-Sohl-Str. 5 40235 Düsseldorf
Daniel König Deutsche Bahn AG Köthener Straße 1 10963 Berlin	Mark-Uwe Oßwald FutureE Fuel Cell Solutions GmbH Kißlingstr. 1 72622 Nürtingen
Max Kratzer Webasto AG Kraillinger Str. 5 82131 Stolldorf	Hartmut Paul Rittal GmbH & Co. KG Auf dem Stützelberg 35745 Herborn
Dr. Oliver Krauß VDI Technologiezentrum GmbH VDI-Platz 1 40468 Düsseldorf	Dr. Bernd Pitschak Hydrogenics GmbH Am Wiesenbusch 2 45966 Gladbeck
Dr.-Ing. Sascha Kühn eZelleron GmbH Collenbuschstr. 22 01324 Dresden	Ulrich Platthaus 3M Deutschland GmbH Carl-Schurz-Str. 1 41453 Neuss
Christiane Ploetz VDI Technologiezentrum GmbH VDI-Platz 1 40468 Düsseldorf	Stefan Schulte Masterflex Brennstoffzellentechnik GmbH Konrad-Adenauer-Str. 9-13 45699 Herten

Werner Rau RAU- Stromversorgungen GmbH Zum Wartberg 7 63667 Nidda	Wolfgang Schümann Flughafen Hamburg GmbH Zentralbereich Umwelt 22331 Hamburg
Karsten Reiners J. Eberspächer GmbH & Co. KG Eberspächerstr. 24 73730 Esslingen am Neckar	Kai Steckmann SFC Smart Fuel Cell AG Eugen-Sänger-Ring 4 85649 Brunnthal-Nord
Dr. Gunter Schädlich HOPPECKE Batterien Bontkirchener Straße 1 59929 Brilon-Hoppecke	Klaus Steinhart Ulmer Brennstoffzellen Manufaktur Helmholtzstr. 8 89081 Ulm
Andreas Schiegl Truma Gerätetechnik GmbH & Co. KG Werner-von-Braun-Str. 12 85640 Putzbrunn	Siegfried Suchaneck Heliocentris Fuel Cells AG Rudower Chaussee 29 12489 Berlin
Johannes Schiel VDMA Brennstoffzellen Unter den Linden 42 10117 Berlin	Michael Tausch IDATECH Fuel Cells GmbH Doncaster Platz 5 45699 Herten
Dominic Schluessel enymotion GmbH Wannenäckerstr. 71 74078 Heilbronn	Dr. Olav Teichert VDI Technologiezentrum GmbH VDI-Platz 1 40468 Düsseldorf
Frank Schöler ECG GmbH Widdersdorfer Str. 240 50825 Köln	Prof. Dr. Werner Tillmetz Zentrum für Sonnenenergie- und Helmholtzstraße 8 89081 Ulm
Dr. Silke Wagener Freudenberg FCCT KG Höhnerweg 2-4 69465 Weinheim	Dirk Weniger/Winfried Bogdanski b+w Electronic Systems Zur Eisenhütte 11 46047 Oberhausen
Dr. Volker Wagner VDI Technologiezentrum GmbH VDI-Platz 1 40468 Düsseldorf	Bernhard Wolshofer Proton Motor Fuel Cell GmbH Benzstraße 7 82178 Puchheim

Tab. 15.4: Unternehmen, die im Bereich der Speziellen Märkte der BZ tätig sind.

Es sind nur Unternehmen berücksichtigt, die spezifische Produkte oder Dienstleistungen der BZ-Technologie anbieten und ihre Aktivitäten öffentlich kommunizieren. BZ-Consulting Unternehmen sind nicht berücksichtigt.

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt- OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro- -	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
3M	Che- mie/Tec hnologie	PEMFC	ca. 1,9 Mrd. Euro, 4.810 MA							1				1	1				Betreibt in Deutschland Prototypenfertigung und Labor zum Bau und Prüfung von MEAs
Acculux	Spezial- leuchten	Mikrobrenn- stoffzelle (1,2-3,6 Watt)	mittel- stän- disch						1		1			-			1		Erprobung des Einsat- zes von Mikrobrenn- stoffzellen in Spezial- leuchten (Verbundprojekt (1,2- 3,6 Watt) PEMGEN 2006-2010)
Air Liquide	Gase	Wasserstoff FC	internationaler Konzern			1		1						1	1				Aufbau von 4 H2- Tankstellen in D
AirProducts	Gase	k. A.	10 Mrd. US- Dollar, 22.000 MA							1				1	1				Gasversorgung für Brennstoffzellen

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
AKG GmbH & Co. KG	Wärme- taucher	Wärmetauscher für BZ	>1000			1									1	1				Lieferung von Kühlsystemen für BZ-Prototypen, HyLite, Gabelstapler Still, Scooter Jülich, Jung-hans Hubwagen
Akkumulatorenwerke HOPPECKE Carl Zoellner & Sohn GmbH	Industrie- batteriesysteme	Brennstoffzellen-Hybridsysteme	501-1000			1							1					1		Flurfahrzeuge, Entwicklung eines FC-Batterie Hybriden, der die Systemkosten um 75 % senkt.
AMMONIT Gesellschaft für Messtechnik mbH	Messgeräte für die Windindustrie	Mikrobrennstoffzellen	mittelständisch						1			1						1		Entwicklung eines Energieversorgungsmoduls auf Basis von Zink-Luft-BZ für autarke Messtechnik Anwendungen
Ätztechnik Herz GmbH & Co	Laser- und Ätztechnik	k. A.	k. A.							1					1	1				Ätz-Lasertechnik zur Herstellung von Bipolarplatten

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Baltic Fuel Cells GmbH	FC	PEM									1			1	1	1				Hersteller von Brennstoffzellen und BZ-Komponenten, sowie BZ-Charakterisierung
Bartels	Mikro- system- technik	Mikrobrennstoffzelle	ca. 30							1					1	1				Piezoelektrische Membranpumpe, die auf spezifische Anforderungen der FC-Anwendung angepasst werden kann (Leistungsbereich unklar, vermutlich < 20 Watt)
BASF Fuel Cell GmbH	Chemie/BZ	Membran Elektrodeneinheiten für PEM u. a. auch für mobile Anwendungen wie Ladegerät von Ultracell (Produktstatus)	51-100								1				1	1				MEAS für Brennstoffzellen

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Bayer Technology Services GmbH	Chemie	HT-PEM	Konzern								1				1			1		Entwicklung von Bipolarplatten auf Basis von CNT-Kompositen
Behr GmbH & Co. KG	Auto- mobil	PEM	3,332 Mrd. Euro 17.000 MA		1						1				1	1				Behr ist der Innovationsführer in der - Klimatisierung und - Motorkühlung Hier werden entweder einzelne Module oder Komplettsysteme angeboten. Im Bereich der BZ werden speziell entwickelte Wärmetauscher angeboten
Borit Leichtbau-Technik GmbH	Metall- verar- beitung	Biopolarplatten	1-20								1				1	1				Fertigung von Biopolarplatten von Brennstoffzellen

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Bosch	Techno- logiekon- zern	100 Watt für Powertools	Konzern						1			1						1		Systemintegration und Aufbau eines Gesamtsystems für ein 100 W BZ für die Stromversorgung von Powertools im Rahmen des Verbundprojektes MyPower (2007 -2008) beratende Teilnahme an Verbundprojekt MicroPower
Burow Mobil	Reise- mobile	DMFC			1							1				1				EFOY-Brennstoffzelle Serienmäßig in Top- modelle
b+w Electronic Systems	Schalt- und Steuer- technik	3-15 kW	k.A.	1									1			1				Installation und Inbet- riebnahme von BZ, Entwicklung autarker Energieversorgungs- systeme, Verwendung von Idatech BZ und Reformer.

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Bürstner Rei- semobile	Reise- mobile	DMFC			1							1				1				EFOY-Brennstoffzellen sind als Sonderaus- stattung in Bürstner- Reisemobilen erhältlich
Clean Air Bike GmbH (CAB)			1-10					1							1		1			Vertrieb und Entwick- lung u.a. von BZ-Rädern in Kooperation mit Masterflex AG, Velo- drive (Antriebe) und HawkBikes (Fahrräder)
Clean Mobile	FC	DMFC	> 20					1					1				1			Produktion von DMFC Antrieben für LEV- Hersteller
Coatema Coating Machinery GmbH	Maschi- nenbau	AFC, PEMFC/HTPE MFC/DMFC, MCFC, SOFC	k. A.								1				1	1				Spezifische Beschich- tungstechnologien für BZ-Komponenten

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Daimler AG	PKW/Nu- tzfahrze- uge	DMFC					1					1				1				EFOY-Brennstoffzelle als Sonderausstattung in Behördenfahrzeugen
Delta Energy Systems (Ger- many) GmbH	Strom- versor- gungsge- räte	BZ - Komponenten, USV, Inverter	251-500	1											1	1				DC/AC Inverter für FC, Erzeugung von netz- kompatiblen AC Strom
Eberspächer GmbH CO KG	Auto- mobil	SOFC	5600 Mitarbei- ter		1		1								1			1		Entwicklung eines Re- formers (CPOX) und eines Restgasbrenners für eine SOFC-APU für den Einsatz für die Bordstromversorgung Brennstoffe sollen Benzin und Diesel sein.

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
EBZ Entwick- lungs- und Ver- triebsgesellsch aft Brennstoff- zelle mbH	Mikro- system- technik	Hochtempera- tur- Brennstoffzelle SOFC im Be- reich von 3 - 50 kW elektrischer Leistung und mobile FC	1-20	1										1		1				modulares SOFC- Brennstoffzellensystem für Erzeugung von Strom und Wärme oder als netzunabhängige Stromversorgung, Ein- zelanfertigung?
efm-systems GmbH	Mikro- system- technik	Mikrobrenn- stoffzellen (< 20 Watt?)	klein/mitt elständis ch							1		1						1		Entwicklung von Zink- Luft-Brennstoffzellen- Baustein für Match-X System (Mikrosystem- technik Bausteinsy- stem) im Rahmen des BMBF Projektes ZiLuZell (2007-2010)

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Eisenhuth	Werk- zeugbau , Spritz- guss	PEM	mittel- stän- disch						1						1	1				Bipolarplatten und pro- filiierte Dichtungen für BZ. Kooperation mit Haseke zur BZ- Produktion für Golf- Caddies
Elbau Elektro- nik Bauelemen- te GmbH	Mikro- system- tech- nik/Sens orik	Microbrennstoff zellen	mittel- stän- disch							1					1		1			Beteiligung an ver- schiedenen BMBF ge- förderten Projekten im Bereich der Mikro- brennstoffzelle. U. A. Entwicklung der Mikro- integrationstechnologie von Mikrobrennstoffzel- lenkaskaden mit Was- serstoffspeicher
elcomax	FC	nicht spezifiziert	Start-up								1			1				1		Hat sich zum Ziel ge- setzt Kosteneffiziente BZ zu entwickeln (Re- duktion des Platinver- brauchs)

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
ECG Elektro- chemische Ge- neratoren	BZ	H2		1			1						1			1				Einzelfertigung, Konzipierung einer BZ- Stromversorgung für ein fahrbares Sparkas- senbüro Euskirchen.
ElringKlinger AG	Automo- tive, Motor- technik, Kunst- stoff- technik	PEM, SOFC, DMFC	657,8 Mio.				1				1			1				1		Fertigung von Kompo- nenten und Stacks für SOFC. Einsatzmög- lichkeiten: Hybridkon- zepte für PKW, Stand- klimatisierung von LKW. Entwicklung von Bipolarplatten für PEMFC, wie sie für den Antriebsstrang eingesetzt werden sol- len. Entwicklung von Dichtungssätzen für

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Enerday GmbH	FC	SOFC		1	1									1			1			Markteintrittsprodukt ist die 1000 Watt SOFC-Zelle EN-1000 LPG mit Flüssiggasbetrieb. Der erste Prototyp wurde im Juni 2009 fertiggestellt
enymotion GmbH	FC	PEM-BZ für kleine und mittlere Bedarfe, Betrieb mit Campinggas und Benzin?	Start-up, finanziert durch High-Tech Gründerfonds und Zukunftsfonds Heilbronn		1									1				1		Entwicklung von PEM-FC die mit Campinggas betrieben werden kann, insbesondere für Einsatz in Caravans und Freizeitbooten. Entwicklungsstand nicht bekannt

Eura-Mobil	Reise- mobile	DMFC			1							1				1				Eura-Mobil integriert seit 2009 serienmäßig EFOY-Plug and Play Vorbereitung in seine Oberklassemodelle
Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp, F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen	
EVT Gesell- schaft für Energiever- fahrenstechnik mbH	FC	?	21-50						1		1				1	1			Koordination des MIMEMIZ Projektes und Entwicklung der Brennstoffzelle, die vorerst für einen Golfcaddy eingesetzt werden soll.	
Dometic	Reise- mobil- und Ho- telausst attungen	verschiedene	mittel- stän- disch		1							1					1		Test von verschiede- nen 250 Watt BZ- Systemen für den Ein- satz im Freizeitmarkt	
eZelleron GmbH	BZ	BZ, Brennstoff: H2, Camping- gas etc.	start-up						1	1				1			1		Entwicklung von Mik- robrennstoffzellen im Leistungsbereich zwi- schen 1 und 75 Watt	
FCPower	BZ	unklar	start-up	1														1	unklar	

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Flexiva automa- tion & Anlagen- bau GmbH	Maschi- nen- und Anla- genbau	PEM	klein	1										1		1				Angebot von Brenn- stoffzellen für die netz- unabhängige Strom- versorgung
Forschungs- zentrum Jülich	For- schungs zentrum	DMFC	4400			1								1			1			Entwicklung einer Direktmethanolbrennst offzelle für den Einsatz in Flur- und Förder- fahrzeugen in Koope- ration mit Jungheinrich
Freudenberg FCCT KG	FC	PEMFC, DMFC								1					<u>1</u>	1				Herstellung von Dich- tungen, Filtern und Befeuchtungssystemen von Brennstoffzellen

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
FuMA-Tech GmbH	Brenn- stoffzel- len und Membra ntechnol ogie	PEM	k.A.								1				1	1				Membranen für Brenn- stoffzellen
FutureE Fuel Cell Solutions GmbH	FC	PEM von 0,5 kW bis einige zig kW	Start-up A- Finanzie rungsrun de	1									1			1				Jupiter Produktfamilie, für die netzunabhängi- ge Energieversorgung, Dez. 2008 erste Auslie- ferung einer Jupiter- einheit, Verwendung von Ballard Stack. Lie- ferung der BZ an Rittal
FWB Kunststofftech- nik GmbH	Kunst- stoff- technik	Planare Direkt- Methanol-BZ im Kleinleistungs- bereich	klein/mitt elständis ch							1				1			1			Planare DMFC für Logistik, Video und Monitoring- Systeme

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
GKN Sinter Metals Filters GmbH	Metall- erzeu- gung und - bearbei- tung	?	101-250								1				1	1				Zulieferer insbesonde- re für die H2- Herstellung: Membransubstrate, Elektroden für die Wasserelektrolyse
Gräbener	Maschi- nenbau										1				1	1				Herstellung von Bipolarplatten mit Hydroformingverfahren
Gustav Klein GmbH	Strom- versor- gungsan- lagen	unbekannt	200	1									1						1	
H2Yacht	BZ	1-2 kW	klein					1				1					1			Entwicklung eines Tuckerbootes mit H2- BZ-Antrieb, das in Se- rie kommerziell zu ei- nem Preis von 120.000 Euro hergestellt wer- den könnte.

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
HAWK Bikes E&M GmbH	Fahrrä- der	PEMFC	mittel- stän- disch					1				1				1				Entwicklung des BZ getriebenen Cargo Bikes zusammen mit Masterflex
Haseke GmbH	Steuer- gehäuse und Trag- armsy- steme	HT-PEM	55 Mi- tarbeiter						1			1						1		Entwicklung eines Golf Caddies mit BZ im Rahmen des BMBF Verbundprojektes MIMEMIZ
Heliocentris Fuel Cells AG	FC	Brennstoffzel- lensysteme mit 50 W bis 16 kW	40 Mi- tarbeiter	1			1		1	1				1		1				50 W BZ für Klein- stromversorgung und Modellbau. Unterstützt bei der Integration von BZ-Stacks von Ballard, Schunk und Hydrogenics
Hellmuth elect- ronics GmbH	Steue- rung/Re gelung	?	1-20								1				1	1				Entwicklung und Pro- duktion elektronischer Komponenten von BZ

Herkules Accell Germany GmbH	Fahrräder, E-Bikes	DMFC	mittelständig					1				1						1	Herstellung von BZ-Bikes in Kooperation mit Clean Mobile und SFC	
Unternehmen	Bran-chen	Brennstoffzellen system/Produkte	Unternehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produkte/Prototypen
Hirschmann Laborgeräte GmbH & Co.KG	Laborgeräte	Mikrobrennstoffzelle	100 Mitarbeiter							1					1			1		Entwicklung von Fluidiksysteme für Mikrobrennstoffzellen im Rahmen des BMBF Verbundprojektes PEMGEN (10 mW- 10 W) (2006-2010)
Höft und Wessel AG	IT Hard- und Software-spezialist für Handel und Logistik	Mikrobrennstoffzelle (8-10 Watt)	500 Mitarbeiter							1		1						1		Erprobung des Einsatzes von Mikrobrennstoffzellen in mobilen Datenerfassungsgeräten (8-10 Watt) (Verbundprojekt PEMGEN 2006-2010)

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
h-tec Wasser- stoff-Energie- Systeme GmbH	FC	Brennstoffzel- lensysteme derzeit bis 100 W bis 5 kW in Entwicklung LT PEM und HT PEM Technolo- gie, Brennstoff: Wasserstoff PEM Fuel Gas Generatoren	30 Mi- tarbeiter	1							1			1		1				Ursprünglich BZ für Ausbildung und De- monstration, dann auch für industrielle Anwendungen derzeit bis 100 W. Produktsta- tus unbekannt.
Hydrogenics	FC	PEM	mittel- stän- disch			1								1		1				Entwicklung und Ver- kauf von Brennstoffzel- len für Flurförderzeuge und USV, Wertschöp- fung der deutschen Tochter unklar.
Hymer AG	Reise- mobile	DMFC			1							1				1				Seit 2005 Einbau von SFC DMFC- Brenn- stoffzellen als Bord- stromversorgung für Reisemobile

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Innecken Elektrotechnik GmbH	Elektri- sche Anlagen für die Automa- tion	stationär und mobil	101-250	1	1										1	1				Konstruktion und Zu- sammenbau von sta- tionäre und mobile FCs, insbesondere elektronische FC- Managementsysteme
Jungheinrich	Flurför- derfahrz euge, Lager- technik	DMFC	Umsatz 2 Mrd.			1						1					1			Entwicklung von Brennstoffzellensyste- men zusammen mit Forschungszentrum Jülich für Hubwagen und Stapler
Kärcher	Reini- gungsge räte	Methanol					1					1						1		Einsatz von Brenn- stoffzellen für fahrbare Reinigungsgeräte

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
L. Brüggemann KG	Chemie	Mikrobrennstoffzelle	mittel- stän- disch							1					1			1		Herstellung von Ausgangsmaterialien für Zinkschaum und für hochreaktive Zinkanoden
Linde	Gase		Groß- unter- nehmen			1									1	1				Aufbau von Wasserstofftankstellen
Linde Material Handling	Gabel- stapler, Lager- technik- geräten	PEM?	Groß- unter- nehmen			1						1					1			Schlepper P 250 mit Brennstoffzellenantrieb. Es ist der Bau von 50 Exemplaren geplant um bis 2015 Messdaten in Feldtests zu sammeln (NIP gefördert). Die Brennstoffzelle stammt von Hydrogencis.
Masterflex AG Brennstoffzellentechnik	Gummi- /Kunststoff	PEMFC	1-20					1						1		1				Cargobike 200 W FC, Entwicklungsstand Freizeit unklar

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Medset Medi- zintechnik GmbH	Medizin- technik	DMFC Mikrobrenn- stoffzelle								1		1						1		Entwicklung eines mi- niaturisierten, portable EKG-Aufnahmesystem mit Mikrobrennstoffzel- le zur mobilen Strom- versorgung BMBF-Verbundprojekt DDMFC (vermutlich kleiner 20 W) (2007- 2010)
Meyra- Ortopedia	Rollstühl e/Thera- piegerät e							1				1					1			Entwicklung eines Rollstuhls mit SFC-BZ
MFC MicroFuelCells Brennstoffzel- lentechnologien	FC (ge- samte Wert- schöp- fungsket- te)	Brennstoffzel- len, 1 W bis 3 kW	1-20	1	1					1				1		1				BZ für Outdoor- und Industrieanwendungen 150 W - 5 kW

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Marktseg-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Produkt/Einzelanfertigung	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Micronas	Halbleiterhersteller mit Firmensitz in Zürich und Produktionsstätte in Freiburg	Brennstoffzelle < 20 Watt	920							1				1				1		Entwicklung eines C-MOS Prozess zur Herstellung von monolithisch-integrierten Brennstoffzellen (I2Brenn Projekt)
MS2 Engineering und Anlagenbau	Anlagenbau, Verfahrenstechnik	k.A.									1				1	1				Prüftechnik für BZ-Systeme

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Mühlbauer AG	Herstel- lung von Karten, Reise- pässen und RFID	Microbrennstoff zelle < 20 Watt	2000 Mitarbei- ter							1				1			1			Entwicklung eines Rol- le-zu-Rolle Fertigungs- technik für die Herstel- lung von Mikro- Brennstoffzellen im Rahmen des ProZell Projektes das 2007 abgeschlossen wurde.
MULAG Fahr- zeugwerk Heinz Wössner GmbH u. Co. KG	Sonder- fahrzeu- ge für Flugha- fenvorfel d und in der Stra- ßenunte rhaltung					1						1						1		Brennstoffzellen für Förderbandwagen
n2telligence		unklar	klein	1									1					1		Verwendung von BZ zur Stromerzeugung und die Abgase zum Brandschutz

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
P21 GmbH	Ener- giemana- gements ysteme und FC	PEMFC, Brennstoff: Wasserstoff	50 Mi- tarbeiter	1										1		1				MBO von Vodafone, Unterbrechungsfreie Notstromversorgung insbesondere für Tele- kommunikationsan- wendungen , inhouse Brennstoffzellenent- wicklung, Entwick- lungsstand unklar
PASM Power and Air Condi- tion Solution Management GmbH & Co. KG	Tele- kommu- nikation	k. A.	k. A.	1								1					1			Test von BZ als Not- stromversorgung in der Telekommunikation (2005-2007)

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Proton Motor Fuel Cell GmbH	FC	Brennstoffzellen und Hybridsysteme, PEM 5-150 kW	45 Mitarbeiter (Internet)	1		1	1							1		1				Brennstoffzellensysteme für Sonderfahrzeuge, Entwicklung der FC für den Still FC-Gabelstapler, der am Frankfurter Flughafen getestet wird, Brennstoffzelle für FC-Fahrgastschiff FCS Alsterwasser
PSFU GmbH	Profil-Schleif-, Fertigungs- & Umwelttechnik	PEM, 10-500 W	k. A.							1					1	1				PEMFC-Stacks, Bipolarplatten nach Kundenspezifikation sowie eigene Designs (10 bis mehrere 100 Watt)
Rau Stromversorgungen GmbH	Notstromversorgung		mittelständisch	1									1			1				Entwicklung einer USV Anlage insbesondere für die Notstromversorgung insbesondere für Signaltechnik- und Verkehrsleitsysteme

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße																	
				Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer	Mikro BZ bis 20	Unabhängig von	OEM	Systemintegrat	BZ/Stack-Herst	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	
RBZ Riesaer Brennstoffzellentechnik GmbH	FC	5-20 kW	k. A.	1									1				1		Brennstoffzellen im Leistungsbereich von 5-20 kW, mit Fokus auf Heizgeräten und USV	
Reinz-Dichtungs-GmbH & Co. KG	Dichtungen	SOFC, PEM	216,4 Mill. EUR, 1.368 MA							1				1	1				Bipolarplatten aus Edelstahl	
Rittal GmbH & Co. KG	Schalt- und Klimaschränke, Stromverteilungskomponenten, FC	PEM, Methanol mit Reformer, Gesamtlösungen 100 W bis 20 kW	> 1000	1								1			1				Ricell BZ-System für die netzunabhängige Stromversorgung, Intensive Entwicklung von Notstromaggregaten für Bergwerke. Serienproduktion für Herbst 2008 angekündigt. Brennstoffzellen werden von Idatech geliefert.	

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Ritter Elektro- nik GmbH	Lei- stungsel elektronik	FC	101-250			1									1	1				Entwicklung der Elektronik für DMFC- System für Hubwagen von Jungheinrich
S++ Simulation Service	Softwa- re/Simul ation für F&E	SOFC, PEM, DMFC	1-20							1					1	1				Simulation und Model- lierung im Bereich BZ- und Wasserstofftech- nologie
Schuler Hydroforming	Umform- technik	nicht spezifiziert	5700 Mitarbei- ter							1					1			1		Herstellung von Anla- gen und Bauteile (Bipolarplatten und Reformerbleche) für BZ. Teilnahme an MIMEMIZ (2007- 2009)Projekt des MicroBZ Programms

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Schunk Bahn- und Industrietechnik GmbH	Strom- übertra- gungste- chnik im Bahn- und In- dustrieb ereich	FC im Bereich von 360 W bis 1,4 kW, Außer- dem ein 60 und ein 80 W Modul	101-250	1					1		1			1		1				Herstellung von Einzelstacks, die im Bereich von 360 W bis 1,4 kW zusamme- geschaltet werden kön- nen Einsatz für USV, (aber auch für Kleintraktion, Caravan, Boot, Camping) Pro- duktstatus
SFC Smart Fuel Cell AG	FC	DMFC 250 - bis 1,6 kW	> 100	1	1		1	1	1	1				1		1				Brennstoffzellen für Anwendungen in der Sicherheitstechnik in- sgesamt bereits 10000 verkaufte Exemplare

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
SGL CARBON GmbH	Kohlen- stoff Graphit	PEM	1,6 Mrd. Euro 6500 MA							1	1				1	1				SIGRACET® Bipolarplatten (BPP), Gasdiffusionsschichten (GDL) und Protonen- austausch-Membran für PEMFC- Brennstoffzellen, Teil- nahme am Verbund- projekt Mikro- Direktmethanolbrennst- offzelle mit FWB (Ver- mutlich für weiten Lei- stungsbereich einsetz- bar)
SMA Solar Technology AG	Geräte für Elektrizi- tätserze- ugung und - vertei- lung	FC	>1000							1					1	1				Wechselrichter für Brennstoffzellen

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Smart Electronic Development GmbH	Prüf- technik für elektro- nische Steuer- geräte	FC	51-100								1				1	1				Textsysteme u. a. für Brennstoffzellen
SolviCore GmbH & Co. KG	Kunst- stoff, Metalle	PEM									1				1			1		Teilnahme am Ver- bundprojekt Mikro- Direktmethanolbrennstoffzelle mit FWB, Her- stellung von Membranen (Vermutlich für weiten Leistungsbe- reich einsetzbar)

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Staxera GmbH	FC	SOFC Stacks									1				1	1				Entwicklung und Pro- duktion von SOFC Hochtemperatur BZ
STILL GmbH	Gabel- stapler	PEM	k.A.			1						1					1			2 Brennstoffzellen- Schlepper auf dem Flughafen Hamburg im Einsatz. BZ- Gabelstapler auf dem Münchner Flughafen im Testbetrieb.
Südchemie	Chemie	k. A.	1,2 Mrd. Euro 6.500 MA								1				1	1				Syngaskatalysatoren für Wasserstofferzeu- gung, Reformer-katalysatoren für Brennstoffzellen

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Sulzer Metco Coatings GmbH	Be- schich- tung	SOFC, und ggf. weitere	k. A.								1				1	1				Spezielle Oberflächen- technologie für BZ
Swarco FuelCell GmbH	BZ	BZ die mit LPG betrieben wer- den kann	klein	1	1		1							1					1	Entwicklung eines Re- former-BZ-Systems, das mit LPG betrieben werden kann als APU im Freizeitbe- reich, Sonderfahrzeug- bau oder UPS
thinxs	Gummi- und Kunst- stoffwa- ren	Mikropumpen für portable FC	21-51						1						1	1				Mikromembranpumpen in der Größe einer Eu- romünze, 0,25 Watt, für portable Brennstoff- zellensysteme

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Truma Geräte- technik GmbH & Co. KG	Flüssig- gashei- zungen für Frei- zeit- Fahr- zeuge und Boote	250 W, Betrieb mit Pro- pan/Butan, Re- former + HT- PEM BZ	mittel- stän- disch		1									1			1			Brennstoffzelle veGA 250 Watt (Flüssiggas- betrieb) befindet sich in Testphase, Serienmo- dell 2010
Ulmer Brenn- stoffzellen- Manufaktur	FC	PEM	klein	1			1	1	1	1				1		1				Stacks in Leistungs- klassen von 1 W bis 20 kW - Plug and Play Systeme - Test- und Demonstrationssyste- me , Produktstatus
Umicore	Metall- basierte Spezial- produkte	DMFC, PEM	> 1000								1				1	1				Produktion von Kataly- satoren für die Herstel- lung als auch für die katalytische Verbren- nung von Wasserstoff

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
Varta Microbattery GmbH	Batte- rien	Mikrobrenn- stoffzelle	600 Mi- tarbeiter							1				1		1				Beteiligung an BMBF Projekten im Microbrennstoffzellen Förderprogramm. (PEMGEN) Verkauf einer Hydrogen Battery V4690H
Veloform GmbH	Fahrrad, Rikscha herstel- ler	DMFC 250 W	1-10					1				1				1				Herstellung von Rik- schas mit BZ-Antrieb von SFC
Webasto AG	Auto- mobil	SOFC					1					1						1		Entwicklung von APUs für den Einsatz in Serienfahrzeugen, die von Prinzip aber auch in Sonderfahrzeugen eingesetzt werden können.
Westfalia	Reise- mobile	DMFC	mittel- stän- disch		1							1				1				EFOY-Brennstoffzelle als Sonderprogramm in Reisemobilen

Unternehmen	Bran- chen	Brenn- stoffzellen system/Pr odukte	Unter- nehmen sgröße	Business	Freizeit	Lagertechnik	Sonderfahrzeuge	Leichtfahrzeuge	MikroBZ größer 20 W	Mikro BZ bis 20 W	Unabhängig vom Markt-	OEM	Systemintegrator	BZ/Stack-Hersteller	Zulieferer	Pro-	Prototyp,	F&E	unbekannt	Beschreibung der Produk- te/Prototypen
W.L.Gore & Associates GmbH	Chemie	PEM	keine Angaben f. Deutschland								1				1	1				Gore konzentriert sich ausschließlich auf die Produktion von MEAs. Gore-MEAs werden von nahezu allen bedeutenden BZ-Entwicklern eingesetzt.
WS Reformer GmbH	Reformer	k. A.	k. A.							1					1	1				Reformer zur Herstellung von Wasserstoff
Würth Elektronik GmbH (Rot am See)	Elektronik	Mikrobrennstoffzelle	6000 Mitarbeiter							1					1			1		Untersuchungen bzgl. Elektronikapplikationen von Zink-Luft-Mikrobrennstoffzellen (Verbundprojekt ZiLuZell)
zebotec GmbH	FC und Solaranlagen	PEM	k. A.	1				1					1			1				Verwendung von Dantherm Brennstoffzellenmodule insbesondere zum Aufbau von Notstromaggregaten aber auch Einsatz zur Stromversorgung von Boatsantrieben

